

# ZALEW ZEMBORZYCKI – DIAGNOZA AKTUALNEGO STANU ORAZ PROPOZYCJE STRATEGII DZIAŁAŃ MAJĄCYCH NA CELU POPRAWĘ JAKOŚCI WODY I OGRANICZENIE ZAKWITÓW SINIC



Zespół autorski:

Prof. dr hab. Radosław Dobrowolski  
Prof. dr hab. Zdzisław Michalczyk  
Prof. dr hab. Barbara Pawlik-Skowrońska  
Dr hab. Wojciech Pęczyła  
Mgr inż. Zdzisław Szczepaniak

**LUBLIN, STYCZEŃ 2016**

## **1. WSTĘP** (*Radostaw Dobrowolski, Barbara Pawlik-Skowrońska, Wojciech Pęczuła*).

Zalew Zemborzycy - zbiornik w Lublinie o funkcji retencyjno-rekreacyjnej, utworzony 40 lat temu na rzece Bystrzycy, od wielu lat doświadcza masowego rozwoju sinic, zwanych także cyjanobakteriami. Zjawisko to, występujące w różnym nasileniu od wiosny do jesieni określane jest terminem „sinicowy zakwit wód” i sprawia, że zbiornik obecnie nie może pełnić funkcji rekreacyjnej, co stanowi duży problem społeczny.

Przedmiotem opracowania jest diagnoza stanu ekologicznego Zalewu Zemborzycy, rozpatrywana w kontekście szeroko rozumianych uwarunkowań środowiskowych i gospodarczych, a także wskazanie scenariuszy działań naprawczych mających na celu poprawę jakości wody w zbiorniku. Szczegółowe warunki zlecenia określone zostały w umowach nr 153-157/OŚ/2015 z dnia 16.11.2015 roku (sporządzonej odrębnie dla każdego z wykonawców zlecenia), pomiędzy Gminą Lublin z siedzibą w Lublinie, pl. Króla Władysława Łokietka 1, reprezentowaną przez Prezydenta Miasta Lublin – Krzysztofa Żuka, a zespołem ekspertów<sup>1</sup> wskazanym przez zleceniodawcę. W opracowaniu uwzględnione zostały wyniki prac badawczych wykonanych w ostatnich latach na obszarze Zalewu Zemborzycy, w tym także prac zleczonych przez Gminę Lublin naukowcom lubelskich uczelni wyższych. Dodatkowo wykorzystano materiały archiwalne i publikacyjne związane z problematyką bezpieczeństwa środowiskowego i ekologicznego zbiorników zaporowych o zbliżonych do Zalewu Zemborzycy parametrach hydrotechnicznych.

Kolejne rozdziały opracowania mają charakter autorski i sygnowane są przez poszczególnych wykonawców ich nazwiskiem. W przypadku zdań odrębnych, odnoszących się do sugerowanych działań naprawczych (rozdziały 4 i 5) naniesiono autorskie komentarze sygnowane imieniem i nazwiskiem lub inicjałami autora.

Autorzy pragną podziękować p. Zdzisławowi Strycharzowi (doradcy Prezydenta Miasta Lublin ds. zagospodarowania doliny rzeki Bystrzycy) za inicjatywę zrealizowania

---

<sup>1</sup> Zespół ekspertów w składzie: prof. dr hab. Radostaw Dobrowolski, geograf-geomorfolog (Zakład Geoekologii i Paleogeografii, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie); prof. dr hab. Zdzisław Michalczyk, geograf-hydrolog (Zakład Hydrologii, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie); prof. dr hab. Barbara Pawlik-Skowrońska, biolog-fykolog (Katedra Hydrobiologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie); dr hab. Wojciech Pęczuła, biolog-hydrobiolog, koordynacja prac zespołu i redakcja techniczna opracowania (Katedra Hydrobiologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie); mgr inż. Zdzisław Szczepaniak, hydrotechnik (Structum sp. z o.o. w Lublinie). Przedstawione w opracowaniu opinie są oceną ekspercką wyłącznie ich autorów i nie reprezentują opinii instytucji, w których są oni zatrudnieni.

niniejszego opracowania i pomoc w pracach zespołu ekspertów a także p. Andrzejowi Poncet (kierownikowi referatu ds. gospodarki wodno-ściekowej, ochrony przed hałasem, geologii i hydrologii Wydziału Ochrony Środowiska UM Lublin) za dostarczenie niezbędnych materiałów na temat Zalewu Zemborzyckiego oraz cenne uwagi dotyczące tekstu niniejszego opracowania.

## 2. DIAGNOZA AKTUALNEGO STANU ZALEWU ZEMBORZYCKIEGO

### 2.1. Stan formalno-prawny zbiornika (*Zdzisław Szczepaniak*).

Zalew Zemborzycki (zwany też Zbiornikiem Zemborzyce), dalej w opracowaniu nazywanym w skrócie: ZZ, jest sztucznym zbiornikiem wodnym, utworzonym na gruntach miasta Lublina należących do majątku Skarbu Państwa, na wodach powierzchniowych płynących rzeki Bystrzycy, poprzez jej spiętrzenie na jazie i zaporze czołowej w km 32+900. Obiekt został oddany do użytku w dniu 22.07.1974 r. i obecnie uprawnienia właścicielskie Skarbu Państwa (sprawy własności wód oraz gruntów pokrytych wodami) są na ZZ sprawowane przez Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Warszawie, Zarząd Zlewni w Puławach, przy czym obiekt przekazany jest przez Miasto Lublin w stałe użytkowanie i eksploatację Miejskiemu Ośrodkowi Sportu i Rekreacji w Lublinie.

Zbiornik został zaprojektowany i wykonany jako „wielofunkcyjny”, w celach:

- ochrony przeciwpowodziowej miasta Lublina poprzez redukcję fali powodziowej,
- wykorzystania rekreacyjno - sportowego,
- poboru wody na potrzeby Elektrociepłowni Wrotków,
- umożliwienia infiltracji wody z zalewu do warstw wodonośnych ujęcia wód podziemnych „Prawiedniki”,
- wykorzystania rybacko - wędkarskiego,

W trakcie trwającej już blisko 42 lat eksploatacji uwzględniono dodatkowo wykorzystywanie energetyczne wód zbiornika na MEW (nie było ono jednak przewidywane w pierwotnym projekcie ZZ).

Pod względem formalnym, aktualnie podawane są następujące parametry zbiornika: Parametry piętrzenia i przepływu (w aktualnym układzie współrzędnych „1992”):

- Minimalny poziom piętrzenia Min PP: 177,77 m n.p.m.
- Normalny poziom piętrzenia NPP: 178,77 m n.p.m. (w lecie) i 178,37 m n.p.m. (w zimie)
- Maksymalny poziom piętrzenia Max PP: 179,27 m n.p.m.
- Nadzwyczajny poziom piętrzenia Nad PP: 180,03 m n.p.m.
- Przepływ nienaruszalny  $Q_n = 0,80 \text{ m}^3/\text{s}$

Kubatury retencjonowane w zbiorniku:

- Przy Min PP: 4,66 mln.m<sup>3</sup>,
- Przy NPP: 6,12 mln.m<sup>3</sup> (w lecie) i 5,50 mln.m<sup>3</sup> (w zimie)
- Przy Max PP: 7,55 mln.m<sup>3</sup>
- Przy Nad PP: 9,71 mln.m<sup>3</sup>
- Kubatura martwa: poniżej rzędnej progę, czyli rzędnej 175,77 m n.p.m..
- Pojemność powodziowa forsowana: 2,16 mln.m<sup>3</sup>

Parametry zapory czołowej:

- klasa budowli: II
- rzędna korony: 180,43 m n.p.m.
- szerokość korony: 11,25 m,
- długość zapory: 573 m,
- maksymalna wysokość zapory: 6,5 m,
- nachylenie skarpy odwodnej: 1:2,5 i 1:3,
- nachylenie skarpy odpowietrznej: 1:2,
- ubezpieczenie skarpy odwodnej: płyty żelbetowe, grubości 12cm na podsypce 20cm,

Jaz żelbetowy:

- klasa budowli: II
- światło: 2 x 7,5 m = 15,0 m
- upusty denne: brak
- zamknięcia główne: kłapy stalowe,
- zamknięcia remontowe: iglice z rur stalowych,
- Maks. przepustowość jazu: 191,6 m<sup>3</sup>/s: przy całkowitych otwartych kłapach i

nadpiętrzeniu

- Maks. przepustowość jazu: 184 m<sup>3</sup>/s: według projektu pierwotnego

Parametry czaszy zalewu:

- Powierzchnia zalewu przy NPP w lecie: 280 ha,
- Powierzchnia zalewu przy NPP w zimie: 273 ha,
- Długość zbiornika: 2 900 m,

- Szerokość - max/średnia: 1 330 / 1 000 m,
- Głębokość - max/średnia: 4,5 / 2,2 m,

Parametry innych urządzeń wodnych ZZ (w tym grobli wstecznych, dwóch pompowni w cofce, budowli w strefie nabrzeży zbiornika, rowów opaskowych itp.) nie są w niniejszej pracy podawane, jako że urządzenia te nie mają zasadniczego wpływu na stan techniczny zbiornika jako całości, w szczególności zaś, na bezpieczeństwo obiektu hydrotechnicznego jakim jest ZZ, o zaprogramowanej wysokiej II klasie ważności.

Równocześnie podaje się, że na podstawie ostatniej oceny stanu technicznego (sporządzonej w 2013 r. już po udzieleniu ostatniego pozwolenia wodnoprawnego) wysokość piętrzenia ze względów bezpieczeństwa okresowo obniżono na zbiorniku o 0,5 m. Z podanego obniżenia o 0,5m wycofano się w roku 2014, po dokonaniu określonego pakietu niektórych prac naprawczych na zaporze czołowej.

Aktualnie obowiązujące pozwolenie wodnoprawne dla ZZ (Decyzja Marszałka Województwa Lubelskiego z dnia 2.03.2012 r.), zgodnie z Ramową Dyrektywą Wodną, zobowiązywało MOSiR Bystrzyca w Lublinie do „Zapewnienia w terminie do 31 grudnia 2014 r. ciągłości morfologicznej rzeki Bystrzycy poprzez budowę urządzenia umożliwiającego migrację ryb i innych organizmów wodnych” wskazywało jednoznacznie, że budowa takiego urządzenia jest „obowiązkiem zaliczającym się do niezbędnych przedsięwzięć ograniczających negatywne oddziaływanie na środowisko wynikających z art. 128, ust.2, pkt. 8 Prawa wodnego”, dodatkowo też, z przywołaniem przepisów z art.38 i art. 63 Prawa wodnego.

Urządzeniem takim w szczególności mogłaby być działająca grawitacyjnie „przepławka”, „pokonująca” występujący na obiekcie spad wody, wynoszący dla ZZ w warunkach pełnego piętrzenia - obecnie około 5 m (178,50-173,50). **Mimo upływu terminu, w którym „przepławka” powinna być wykonana, urządzenia takiego do chwili obecnej (styczeń 2016 r.) nie wykonano, a nawet nie przystąpiono do czynności poprzedzających jego wykonanie, w szczególności na przykład, nie wykonano żadnych prac projektowych (a nawet koncepcyjnych) dla takiej realizacji.**

Ponieważ zapewnienie „ciągłości morfologicznej rzeki Bystrzycy poprzez budowę urządzenia umożliwiającego migrację ryb i innych organizmów wodnych” było jednym z istotnych warunków, pod którymi pozwolenie zostało udzielone, obecnie istnieje zagrożenie, że w przypadku zaskarżenia Decyzji Marszałka Województwa Lubelskiego z dnia 2.03.2012 r.,

przez dowolną zainteresowaną osobę, lub też przez sam organ gospodarki wodnej w ramach działania kontrolnego, pozwolenie wodnoprawne na piętrzenie w ZZ może zostać uchylone, z wszelkimi konsekwencjami takiej decyzji.

## **2.2. Stan hydrotechniczny zbiornika, budowli piętrzących oraz innych urządzeń hydrotechnicznych (Zdzisław Szczepaniak).**

Z ostatnio wykonanej „Oceny stanu technicznego obiektów Zalewu Zemborzyckiego w Lublinie”, sporządzonej w maju 2013 r. przez Techniczną Kontrolę Zapór IMGW w Warszawie wynikała potrzeba wykonania pilnego, kompleksowego remontu zapory czołowej zbiornika, przede wszystkim w jej części prawostronnej. W tej specjalistycznej ocenie stanu technicznego i bezpieczeństwa, zdecydowanie najważniejsze były (udokumentowane badaniami i szeroką wiedzą specjalistów Technicznej Kontroli Zapór) oceny dla samej zapory ziemnej. Prawą część zapory, ze względu na rozpoznane niekorzystne zjawiska filtracji IMGW określił, jako „mogącą zagrażać bezpieczeństwu”. W związku z tym IMGW zalecił niezwłoczne obniżenie poziomu spiętrzenia wody w zbiorniku o 0,5 m, oraz wykonanie „doraźnych zabezpieczeń skarpy filtracyjną przymą dociągającą”. Zalecenia te oczywiście sumiennie wypełniono, a poza tym, w latach 2014-2015 staraniem MOSiR Bystrzyca wykonano na ZZ część niezbędnych robót naprawczych, z korony zapory czołowej i na jacie od strony „odpowietrznej”, a więc na tyle, ile można było zrobić bez opróżnienia ZZ z wody, co w pewnej części wypełniło wymagania i oczekiwania specjalistów z IMGW.

W ekspertyzie IMGW stwierdzono jednak też, że „**Rozwiązanie docelowe zabezpieczające korpus zapory przed szkodliwym oddziaływaniem procesu filtracji powinno zostać opracowane w projekcie remontu zapory**”.

**W projekcie remontu zbiornika jak wyżej (konkretnie remontu zapory ziemnej) należałoby z całą pewnością uwzględnić szczegółowe zalecenia i spostrzeżenia IMGW w przedmiocie występującego zagrożenia, w szczególności wyjaśniające, że:**

- Zbiornik wysokiej (II) klasy technicznej został zaprojektowany i wykonany jako zbiornik zaporowy, a więc o szczególnie wysokim stopniu zagrożenia w przypadku jego przepelnienia wodami powodziowymi, z zaporą ziemną niestety bez jakichkolwiek uszczelnień, zarówno w strefie głębokiego podłoża i w samym korpusie, jak też bezpośrednio w strefach odwodnych i na „ponurze” zapory, w których nie wykonano żadnego ekranu ograniczającego filtrację.

- Stan techniczny zapory (oczywiście chodziło o stan z roku 2013) w jej części prawostronnej został uznany jako „*niedostateczny, mogący zagrażać bezpieczeństwu eksploatacji*”. Ocena taka oznaczała bezpośrednio (2013 rok) występowanie zagrożenia bezpieczeństwa dla miasta Lublina i jego mieszkańców, zaś w tej kwestii, inna interpretacja, dla użytego w ekspertyzie IMGW słowa „*niedostateczny*”, oczywiście przy traktowaniu problemu w sposób odpowiedzialny, w ogóle nie mogła być użyta.

- Paradoksem, jakkolwiek fachowo wyjaśnionym i wytłumaczonym (w 2013 roku) przez specjalistów z IMGW, było stwierdzenie zawarte w omawianej ekspertyzie, iż zaporą prawostronna znajdowała się w tak złym stanie, mimo, że począwszy od roku 2009 wykonywano na tym właśnie odcinku zapory, (czyli od strony lasu Dąbrowa) roboty naprawcze, konkretnie zaś: iniekcje pustek w strefach niedogęszczonych korpusu ziemnego. Prace te wykonano jednak w sposób merytorycznie niepoprawny, w dodatku z zastosowaniem materiałów iniekcyjnych, niewłaściwych dla iniekcji w korpusie ziemnym, „*będącym pod stałym wpływem ciśnienia hydrostatycznego*” i nieodpowiednio do występującej specyfiki robót (prace bez wcześniejszego opróżnienia zbiornika z wody). Konkretnie zaś, zastosowano do iniekcji zaczyny cementowe Centrievete FB i Centrievete MV, sztywniejące w korpusie ziemnym, których wykorzystanie na ZZ uznano za „*nieuprawnione i stwarzające wątpliwość, co do trwałości prac iniekcyjnych*”. W efekcie - w sposób zatrważający dla hydrotechników - z wykonanej przesłony zauważono procesy wypłukiwania cząstek gruntu i „*rozmywanie przesłony*” wykonanej iniekcyjne oraz wysoce niebezpieczne procesy „*filtracji nieustalonej, w rezultacie których pewne obszary korpusu zapory na przemian się udrażniają, lub ulegają kolmatacji*”. Na podstawie pomiarów i badań oraz odczytów, w zainstalowanych w zaporze 20 piezometrach, w ekspertyzie IMGW z 2013 roku stwierdzono, że „*wykonana w 2009 roku przesłona, nazywana w dokumentacji przeciwwfiltracyjną, nie pełni funkcji urządzenia przeciwwfiltracyjnego, gdyż nie zamyka całego przepuszczalnego przekroju zapory*” oraz, że (cytat) „*z uwagi na występującą migrację cząstek gruntu i cementu istnieje możliwość kolmatacji otulin filtracyjnych rurociągów drenażowych*” (zapory - od strony odpowietrznej).

- W podsumowaniu IMGW (2013 rok) stwierdził też, że w rzeczywistości prace iniekcyjne zapory prawostronnej „*(...), które miały na celu poprawienie stateczności słabo zagęszczonych partii nasypu w efekcie, w omawianym rejonie, pogorszyły warunki filtracji*”.



Oceny stanu technicznego pozostałych urządzeń wodnych zbiornika mówią o mniejszym, lub większym zużyciu się tych urządzeń i ich wyeksploatowaniu (dekapitalizacji), stosownie do dotychczasowego czasokresu eksploatacji, wynoszącego już ponad 40 lat. Taki stan tych urządzeń nie ma jednak bezpośredniego przełożenia na bezpieczeństwo na terenach do nich przyległych, zwłaszcza, że staraniem MOSiR Bystrzyca urządzenia te są systematycznie naprawiane, odtwarzane i remontowane (ostatnio na przykład podjęto temat przebudowy drugiej, z dwóch pompowni, w strefie cofkowej zalewu). W ostatnim czasie przeprowadzono w szczególności remont samego jazu piętrzącego zbiornika, głównie od strony odpowietrznej, realizując w ten sposób, dla tego urządzenia wodnego, przynajmniej częściowo zalecenia zawarte w ostatniej, a więc aktualnie obowiązującej „Ocenie stanu technicznego”, wykonanej przez IMGW w 2013 roku.

**Wykonanie w latach 2014-2015 określonego pakietu napraw na jazie i ograniczone, ze względu na możliwości prowadzenia robót przy istniejącym piętrzeniu na ZZ prace na zaporze, nie zmieniły jednak zdaniem autora niniejszej pracy w sposób wystarczający oceny „niedostatecznej” wydanej dla stanu technicznego samej zapory ziemnej zbiornika. Tu nadal, co najmniej od 2013 roku, istnieje określone zagrożenie jej przerwaniem, być może mniejsze niż dotychczas, w wyniku wykonania właśnie w latach 2014-2015 konkretnych robót.**

Dla zapór ziemnych istnieją generalnie dwie możliwości powstania awarii, zawsze katastrofalnej w swoich skutkach. Jest to, albo przelanie się wód przez koronę, co dla ZZ z różnych przyczyn merytorycznych, nie musi być brane pod uwagę, albo też, po „przebiciu” się wód filtrujących przez korpus takiej zapory - i tu, zagrożenie jest zdaniem IMGW, a także autora niniejszej pracy, wysoce prawdopodobne. Skutki „przebicia filtracyjnego” przez korpus zapory, jej miejscowego rozpłukania mogą być wręcz dramatyczne, przy czym dla ZZ zostały one już wcześniej określone w pracy pod tytułem „Określenie przebiegu fali i skutków awarii” (1980 r.). Praca ta ma oczywiście charakter jedynie hipotetyczny, nie mniej jednak, służby zarządzania kryzysowego muszą ją brać pod uwagę także obecnie i rozpatrywać zawsze włącznie z aktualną oceną stanu technicznego zbiornika i samej zapory. Z uwagi na charakter cytowanej pracy, w niniejszym opracowaniu można podać jedynie wyniki niektórych tylko z wariantowych, obliczeniowych symulacji hydraulicznych. I tak, w przypadku filtracyjnego przerwania (przebicia) zapory zbiornika, a przy założeniu wcześniejszego pełnego napełnienia akwenu, fala katastrofalna wynosiłaby na przykład

jeszcze w rejonie ulic Wapiennej i Dzierżawnej 709 m<sup>3</sup>/s (z przepływem blisko 4 razy większym od maksymalnego, obliczeniowego przepływu wód wielkich przez jaz zbiornikowy, czyli 184 m<sup>3</sup>/s ) i miałyby prędkość przemieszczania się aż 3,0 m/s. Fala katastrofalna z rzędną lustra wody 173,53 m n.p.m., nie „zmieściłaby” się tu w obwałowaniach Bystrzycy, zaprojektowanych właśnie na przejście jedynie wody 184 m<sup>3</sup>/s i zalałaby gęsto zamieszkane tereny ulic Wapiennej i Dzierżawnej warstwą o wysokości aż do 3m. Przy takiej prędkości i wysokości przemieszczania się fali awaryjnej, całkowitemu zniszczeniu uległyby wszystkie zabudowania przy w/w ulicach, a poza tym wszystkie mosty na odcinku miejskim, aż do rejonu oczyszczalni na Hajdowie. Powstałoby poza tym poważne zagrożenie utraty życia przez wielu mieszkańców, nie tylko z najbardziej zagrożonego rejonu ulic Wapiennej i Dzierżawnej, lecz także ulic Zamojskiej, Rusałka, Bronowickiej i kilku innych. Zalany byłby Park Ludowy z obiektami Targów Lubelskich, a także stare i nowe obiekty sportowe na miejskim odcinku pradoliny rzeki, w tym nowy stadion i nowa pływalnia. Zalane zostałyby liczne obiekty handlowe, w tym podziemia kompleksu Tarasy Zamkowe, poważnemu zniszczeniu uległaby infrastruktura miejska, w tym drogi i ulice oraz napowietrzne linie elektroenergetyczne, sieci gazowe, wodociągowe, kanalizacyjne i oczywiście wszystkie wały powodziowe nad Bystrzycą.

**Przy aktualnym stanie zapory ziemnej zbiornika ZZ, przypomnienie hipotetycznie możliwych skutków popełnionych wcześniej błędów (projektowych), zaniedbania (eksploatacyjnego) i zaniechania (remontu), jest dziś zdecydowane konieczne, choćby po to, by po pilnym wykonaniu stosownych, a zarazem niezbędnych prac naprawczych zbiornika, nie powtórzyła się sytuacja z awarią, jaka miała choćby miejsce w nocy z 2 na 3.02.2000 r. w miejscowości Górowo Ławieckie na maleńkim cieku Młynówka (Fiedler Krzysztof, „Awarie i katastrofy zapór - zagrożenia, ich przyczyny i skutki oraz działania zapobiegawcze”). W wyniku zaniedbań i zaniechań służb eksploatacyjnych i Inwestora, wcześniej też projektanta, doprowadzono w Górowie Ławieckim do filtracyjnego „przebicia” zapory ziemnej o wysokości 8,5 m, a więc podobnej do wysokości zapory ZZ, na niedużym zbiorniku, o powierzchni zaledwie 10,6 ha i o pojemności 320 tys. m<sup>3</sup>. Mimo więc, że zbiornik w Górowie Ławieckim był przeszło 20 -krotnie mniejszy od ZZ, w miejscowości tej zginęło troje ludzi, zaś samo miasteczko, położone podobnie jak Lublin „poniżej zbiornika”, zostało w większości zdemolowane.**

Dodatkowo podaje się, że aktualnie (styczeń 2016 rok) w lewym świetle jazu jest zabudowana **elektrownia lewarowa** (MEW). Została ona częściowo zdemontowana (demontaż lewarów) na czas prowadzenia prac remontowych na jazu i jak niestety zakładano, tylko okresowo. Zdaniem autora niniejszej pracy ponowne zabudowanie lewarów MEW w lewym świetle jazu będzie oznaczało istotne umniejszenie zdolności spustowych urządzenia wodnego, gdyż będzie sprzeczne z pierwotnymi założeniami projektowymi tej budowli, w których dla przeprowadzenia przepływu „kontrolnego” ( $184 \text{ m}^3/\text{s}$ ) przyjmowano obydwie światła jazu jako w pełni otwarte. Tak więc, kolejne zabudowanie lewarów MEW w lewym świetle jazu oznaczać będzie ponowne, wyraźne pogorszenie się warunków przepływu przez stopień wodny i niedopuszczalne zwiększenie zagrożenia dla mieszkańców miasta Lublina. W tym miejscu podaje się też, że z punktu widzenia bezpieczeństwa, raz obliczone przepływy „miarodajne”, czy „kontrolne” budowli nie mogą ulegać zmianom, nawet, gdyby w kolejnych wieloletniach charakterystyki hydrologiczne wód maksymalnych rocznych, o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia były (zresztą tylko czasowo) inne, niż je oceniano w okresie wykonywania projektu ZZ. Powyższe stanowisko wynika bezpośrednio z Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20.04.2007 r. oraz z „Wytucznych instruktażowych projektowania budowli wodno - melioracyjnych, Jazy”, obowiązujących w czasie projektowania ZZ.

### **2.3. Uwarunkowania geologiczne, geomorfologiczne i gospodarcze zlewni zbiornika (*Radosław Dobrowolski*).**

Pierwsze wzmianki na temat warunków geologicznych doliny Bystrzycy w okolicach Lublina, głębokości jej erozyjnego rozcięcia oraz miąższości i zróżnicowania litologicznego osadów wypełniających podaje Lewiński (1938). Potwierdzenie zaproponowanych przez niego wydzieleni wraz z jednoczesną polemiką interpretacyjną dotyczącą wieku spągowych osadów dolinnych w tym rejonie podejmuje z kolei Jahn (1956). Ten sam autor podaje również pierwsze informacje na temat głównych elementów rzeźby całej doliny Bystrzycy, jej zróżnicowania morfologicznego i hipsometrycznego. W tym samym czasie pojawiają się również pierwsze informacje, wraz z dokumentacją kartograficzną, na temat geologicznych, morfologicznych i hydrologicznych uwarunkowań rozwoju doliny Bystrzycy w okolicach Zemborzyc. Znalazły one swój wyraz w "Założeniach projektowych budowy jeziora dla miasta

Lublina..." autorstwa Bryńskiego (1956), stanowiących *de facto* pierwszy dokument koncepcyjny przyszłej inwestycji związanej z budową zbiornika wodnego. Stały się one również punktem wyjścia do opracowania szczegółowej dokumentacji geologiczno-technicznej obszaru projektowanego zbiornika (Maruszczak 1958). Zebrany wówczas materiał dokumentacyjny posłużył Maruszczakowi dwie dekady później do odtworzenia głównych epizodów ewolucyjnych współczesnego dna doliny (Bałaga i Maruszczak 1981). Kolejne etapy rozpoznania budowy geologicznej całej zlewni doliny Bystrzycy, związane są z realizacją prac nad Szczegółową mapą geologiczną Polski w skali 1:50000, arkusz Lublin (Harasimiuk i Henkiel 1982). Poza finalnym opracowaniem kartograficznym (mapa wraz z przekrojami geologicznymi) efektem tych badań jest również obszerny komentarz opisowy, prezentujący wyniki prac wiertniczych i analitycznych oraz interpretację lito- i morfogenetyczną.

Wyniki ostatnich badań geologicznych zemborzycyckiego odcinka doliny Bystrzycy (w granicach zbiornika zaporowego), wykonane przez zespół pracowników Wydziału Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej UMCS w Lublinie, związane są z dwoma zleceniami Urzędu Miasta Lublin z 2009 i 2014 roku (Dobrowolski i in. 2009,2014). Ich efektem jest szczegółowe rozpoznanie paleomorfologii dna ZZ, określenie głównych jednostek litofacjalnych i biolitifacjalnych budujących stropową, organiczną serię wypełnień dolinnych oraz bilansowe określenie objętości osadów biogenicznych zalegających w dnie zbiornika (Dobrowolski i in. 2009, 2015).

Położenie doliny Bystrzycy w rejonie Zemborzyc, wraz z ulokowanym w jej dnie Zalewem Zemborzycykim, uznać należy za szczególne pod względem fizjograficznym. Wyznacza ona bowiem naturalną granicę dwóch jednostek subregionalnych Wyżyny Lubelskiej. Według Chałubińskiej i Wilgata (1954) oraz Kondrackiego (1994) są to: od strony zachodniej Równina Bełżycka oraz od wschodniej – Wyniosłość Giełczewska, natomiast według Maruszczaka (1972), odpowiednio: Płaskowyż Bełżycki i Płaskowyż Łuszczowski. Obie jednostki subregionalne, niezależnie od nomenklatury stosowanej w różnych podziałach regionalnych, cechuje odrębność geologiczna i morfologiczna, przejawiająca się wyraźnym zróżnicowaniem utworów powierzchniowych i przewodnich cech rzeźby lewo- i prawostronnej części zlewni ZZ.

Lewostronna część zlewni, w obrębie Równiny Bełżyckiej, zbudowana jest ze skał węglanowych (wapienie margliste, margle) i węglanowo-krzemionkowych (opoki, gezy)

górną kredy i paleocenu, nadbudowanych relatywnie cienką, kilkumetrową pokrywą osadów czwartorzędowych (głównie piasków pylastych i pyłów lessopodobnych). Rzeźba terenu jest słabo rozczłonkowana, zdominowana przez formy denudacyjne – połogie, rozległe powierzchnie wierzchowinowe, przechodzące łagodnie w długie stoki, miejscami rozcięte przez suche doliny erozyjno-denudacyjne. Wysokości bezwzględne w strefie wododziału sięgają 225-228 m n.p.m., zaś deniwelacje wynoszą 50 m.

Prawostronną część zlewni, w granicach Wyniości Giełczewskiej, budują górnokredowe (=mastrycht) margle i wapienie margliste oraz mastrychckie opoki i paleoceńskie gezy (głównie na kulminacjach wzniesień). Powszechnie odsłaniają się one na powierzchni w południowo-wschodniej części zlewni, zwłaszcza na wschód od zapory zbiornika. Stanowią one trzon wzniesień, wyznaczających wododział. W strefie kulminacji budują one rozległe powierzchnie wierzchowinowych zrównań denudacyjnych, przechodzących w długie stoki, rozcięte wtórnie przez procesy erozyjno-denudacyjne. Kompleks kredowo-paleoceński w strefie przydolinnej przykryty jest kilkumetrową serią vistuliańskich piasków rzeczno-peryglacjalnych, formujących terasę nadzalewową Bystrzycy (Bałaga, Maruszczak 1981). Powierzchnię terasową urozmaicają dodatkowo pojedyncze zespoły wydmowe, stanowiące efekt morfologiczny późnovistuliańskiej akumulacji eolicznej. W wyższych pozycjach hipsometrycznych kompleks kredowo-paleoceński przykryty jest cienką serią pylasto-piaszczystą, związaną litogenetycznie z plenivistuliańską akumulacją eoliczną oraz późnoglacialnymi i holoceńskimi procesami deluwialnymi. Wysokości bezwzględne w strefie wododziału wynoszą 210-220 m n.p.m., przy deniwelacjach przekraczających nieznacznie 40 m.

Sama dolina Bystrzycy w rejonie Zemborzyc wycięta została do głębokości kilkudziesięciu metrów w górnokredowo-paleoceńskim kompleksie węglanowo-krzemionkowym. Wypełniają ją zróżnicowane wiekowo i genetycznie osady czwartorzędowe (Harasimiuk, Henkiel 1982). W odcinku spągowym są to eoplejstocieńskie (=preglacjalne) piaski i żwiry rzeczne o miąższości kilku metrów. Na nich zalega równowiekowa seria mułków jeziornych, przykryta przez rzeczne osady piaszczyste i piaszczysto-żwirowe z dwóch cykli interglacjalnych (interglacjalów mazowieckiego i eemskiego). Górne ogniwo mineralnych wypełnień dolinnych stanowią warciańskie i vistuliańskie piaski i żwiry rzeczne (Harasimiuk, Henkiel 1982). Te ostatnie utwory budują po obydwu stronach doliny terasy nadzalewowe, których kilkumetrowe krawędzie stanowią obecnie strome, zwłaszcza po stronie wschodniej,

brzezi ZZ. Linia brzegowa zbiornika jest wyraźnie urozmaicona; nawiązuje swym przebiegiem do krawędzi teras nadzalewowych, podcinanych przez wielkomeandrową rzekę, typową dla przejściowych warunków klimatycznych, związanych ze schyłkiem ostatniego zlodowacenia (Bałaga, Maruszczak 1981). Ślady wielkich meandrów, o promieniu kilkuset metrów, widoczne są zwłaszcza w podcięciach brzegów obecnych zatok po obu stronach doliny, oraz w przebiegu łukowatych obniżzeń mineralnego podłoża.

Dno doliny Bystrzycy o szerokości 0,7-1,2 km, zalane obecnie na odcinku ok. 3 km w związku z budową zbiornika zaporowego, zbudowane jest z holocenijskich mied piaszczystych, namułów mineralno-organicznych oraz torfów dolinnych.

W rzeźbie podłoża holocenijskich, biogenicznych osadów dolinnych, w granicach zbiornika, występuje szereg pagórków, garbów i obniżzeń o deniwelacjach osięgających 2-3 m (Dobrowolski i in. 2015). Generalnie w osi zbiornika zaznacza się garb podłoża rozdzielający występujące po obu stronach zagłębienia. W najgłębszych z nich pierwszym ogniwem sedymentacji biogenicznej (w układzie stratygraficznym) jest gytia o miąższości nie przekraczającej zwykle 1 m. Przeważnie jednak na piaskach podłoża zalegają zróżnicowane pokłady torfu o miąższości 3-4 m. W wielu miejscach, zwłaszcza w południowo-zachodniej części zbiornika, pokłady torfu przedzielone są cienkimi warstewkami osadów piaszczystych lub mułkowych, zwykle z materiałem organicznym. Utwory mineralno-organiczne nadbudowują zwykle strop osadów dolinnych po zachodniej stronie zbiornika, natomiast po stronie wschodniej na powierzchni występują torfy. Wszystkie osady dolinne są bezwęglanowe. Miąższość dolinnych osadów biogenicznych jest zróżnicowana przestrzennie. Ich pokłady wypełniają obniżenia w dnie podłoża mineralnego. Największe ich nagromadzenie, o miąższości przekraczającej 4 m, znajduje się w największej zatoce po wschodniej stronie zalewu. Łączna objętość tych osadów w całym zbiorniku wynosi 5,90 mln m<sup>3</sup>, co w przeliczeniu na jego powierzchnię daje średnią miąższość, wynoszącą 2,04 m (Dobrowolski i in. 2014, 2015).

#### **2.4. Współczesne osady zbiornikowe (*Radostaw Dobrowolski*).**

Pierwsze informacje na temat procesów sedymentacyjnych współczesnych osadów zbiornikowych ZZ są efektem prac zespołu badawczego Instytutu Nauk o Ziemi UMCS w Lublinie, realizowanych w ramach zlecenia Urzędu Miasta Lublin z 2009 r. (Dobrowolski i in.

2009, Rodzik i in. 2009). Kontynuacja tych prac badawczych w latach kolejnych, również na zlecenie Urzędu Miasta Lublin, pozwoliła na uszczegółowienie stylu sedymentacji, miąższości oraz cech litologicznych i geochemicznych współczesnych osadów zbiornikowych tego obiektu (Dobrowolski i in. 2014, 2015).

Współczesne osady zbiornikowe w sensie litologicznym, to silnie węglanowe gytie ilaste i gytie wapienne. Zalegają one nierówną warstwą na dnie zbiornika, wypełniając niemal całkowicie dawne koryto Bystrzycy (Dobrowolski i in. 2015). Rozległy ich pokład, o miąższości przekraczającej 1 m, występuje w zatoce zachodniej. Mniejsze nagromadzenia tych osadów, o miąższości do 1 m, występują w kilku miejscach przy brzegach zbiornika. Średnia ich miąższość w zbiorniku wynosi 0,37 m, zaś łączna objętość wynosi 1,08 mln m<sup>3</sup>. Mechanizm sedymentacji współczesnych osadów zbiornikowych opisany został przez Rodzika i in. (2009). Jej zróżnicowana miąższość wynika z przenoszenia osadów przez przydenne prądy kompensacyjne podczas silnego falowania. Wskazuje na to m.in. niemal całkowite wypełnienie nimi dawnego koryta Bystrzycy. Stropowa warstwa tych osadów może być ustawicznie przemieszczana, co uniemożliwia ich konsolidację. Średnie tempo sedymentacji współczesnych osadów zbiornikowych, oszacowane na podstawie ich miąższości wynosi 1 cm rocznie (Dobrowolski i in. 2014, 2015).

Łączna miąższość osadów biogenicznych w dnie zbiornika, obejmująca zarówno biogeniczne osady dolinne, jak i współczesne osady zbiornikowe, jest wyraźnie zróżnicowana przestrzennie. W zatokach: wschodniej i zachodniej przekracza ona znacznie 4 m, zaś w części północnej nawet 5 m. Całkowita kubatura tej serii osadowej wynosi 7,12 mln m<sup>3</sup> (Tab. 1). Składają się na nią: (1) współczesne osady zbiornikowe (gytie ilaste i wapienne), (2) biogeniczne osady dolinne (torfy i gytie), a także występujące między nimi (3) przewarstwienia mineralno-organiczne, których objętość nie przekracza 2% objętości całego kompleksu osadowego. Średnia miąższość całej tej serii wynosi 2,46 m (**Tab. 1**).

## **2.5. Stan zagospodarowania zlewni zbiornika (*Radosław Dobrowolski*).**

Szacunkowa powierzchnia zlewni Bystrzycy powyżej Zalewu Zemborzyckiego to prawie 750 km<sup>2</sup>. Pod względem geologicznym zbudowana jest ona ze skał węglanowych i węglanowo-krzemionkowych kompleksu górnokredowo-paleoceńskiego. W strukturze użytkowania zdecydowanie dominują tu użytki rolne (prawie 85%), a zwłaszcza grunty orne

(68%). Na lasy przypada jedynie 10% powierzchni, zaś na tereny osadnicze niespełna 6% ogólnej powierzchni. Szczegółowe zestawienie form użytkowania terenu górnego odcinka zlewni Bystrzycy przedstawia **Tabela 2**.

Zróźnicowanie geologiczne, a zwłaszcza morfologiczne, bezpośredniej zlewni zbiornika w istotny sposób zdeterminowało charakter jego przestrzennego zagospodarowania. Relatywnie szeroką listwę terasy nadzalewowej Bystrzycy po stronie zachodniej ZZ zajmują: wieś Zemborzycze oraz kompleks rekreacyjny „Marina”, natomiast po stronie wschodniej – kompleks leśny „Dąbrowa” oraz infrastruktura ośrodka rekreacyjno-wypoczynkowego "Słoneczny Wrotków". Las "Dąbrowa", o powierzchni 12,3 km<sup>2</sup>, zajmuje znaczną część prawostronnej zlewni zbiornika, wkraczając na stoki i partie wierzchowinowe zachodniej peryferii Wyniosłości Giełczewskiej (**Tab. 3**). Najniższe powierzchnie hipsometryczne, związane z dnem doliny Bystrzycy (na odcinku od ujścia Nędznicy po południową granicę zbiornika zemborzycckiego) zajmują użytki zielone (**Tab. 3**).

Lewostronna część zlewni zdominowana jest przez grunty orne, zajmujące niemal 75% jej powierzchni (**Tab. 2**). Szczegółowe zestawienie form użytkowania terenu w zlewni Zalewu Zemborzycckiego przedstawia **Tabela 2**, zaś delimitacje zlewni - **Rycina 1**.

## **2.6. Stan hydrologiczny i hydrogeologiczny (Zdzisław Michalczyk).**

Wielkość zasobów wody i ich dynamika w zlewni górnej Bystrzycy została opracowana na podstawie prac wykonanych w Zakładzie Hydrologii UMCS. Podstawowe pytanie dotyczy oceny wartości i zmian przepływu rzek w strefie Zalewu Zemborzycckiego. Zagadnienie to zostało udokumentowane na podstawie bezpośrednich pomiarów przepływu wykonywanych w latach 1990-2014 (**Ryc. 2., Tab. 4.**). Pomiary te, w ramach współpracy Zakładu Hydrologii UMCS i MPWiK Lublin, wykonywane były corocznie powyżej Zalewu Zemborzycckiego (w Nowinach na Bystrzycy i w Krężnicy na Krężniczance) oraz 400 m poniżej ZZ (Michalczyk i in. 2015). W wyróżnionych latach o niskim przepływie (1990-1998), jednocześnie przy największym zasięgu lubelskiego leja depresyjnego, stwierdzano ubytek przepływu w rejonie Zalewu. W drugim okresie (1999-2006), przy wysokim zasilaniu atmosferycznym oraz zmniejszonym poborze wody, nastąpiło zmniejszenie i wyptyczenie leja depresyjnego (Michalczyk i in. 2005), co zaznaczyło się przyrostem przepływu w rejonie Zalewu Zemborzycckiego. W trzecim okresie (2008-2014), przy wysokim zasilaniu



atmosferycznym i malejącym poborze wody z ujęcia, zasięg i głębokość leja depresyjnego zdecydowanie zmniejszyły się, co uwidoczniło się dalszym przyrostem zasilania podziemnego (Michalczyk i in. 2015). W ostatnim piętnastoleciu nastąpiło po wschodniej stronie Zalewu Zemborzycznego „odbudowanie się” zasobów podziemnych do poziomu nieznacznie niższego od stanów naturalnych.

Wielkość przepływu wody w strefie Zalewu Zemborzycznego w okresie wielolecia 1961-2010 została oceniona na podstawie danych IMGW dotyczących przepływów w profilu wodowskazowym Lublin (Michalczyk 2012). Maksymalne roczne przepływy Bystrzycy w przekroju wodowskazowym Lublin zamieszczono na **Rycinie 3**.

W celu uzyskania szczegółowych danych dotyczących zmian przepływu wody w rejonie Zalewu Zemborzycznego pracownicy Zakładu Hydrologii UMCS prowadzili w latach 2010-2014 szczegółowe obserwacje hydrometryczne we wspomnianych trzech profilach wodowskazowych (Nowiny, Krężnica i Zapora) (**Ryc. 4.**). Średni przepływ Bystrzycy w profilu Nowiny (powyżej Zalewu) miał wartość  $2,29 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , a w profilu Zapora  $3,34 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Krężniczanka w profilu Krężnica prowadziła  $0,93 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , którą wprowadzała do recipienta w górnej części zbiornika (**Tab. 4.**). Na dopływ wody z bezpośredniej zlewni Zalewu Zemborzycznego przypada  $0,12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Michalczyk i in. 2015).

Zebrane materiały hydrometryczne dokumentują bardzo istotną rolę Zalewu Zemborzycznego w kształtowaniu zasobów wodnych południowej części miasta. **Po uwzględnieniu parowania z powierzchni wody oraz niewielkiego poboru wód powierzchniowych można szacować, w okresach niskich stanów wód, ubytek ze zbiornika na  $200-300 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , czyli około  $1,0 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}$**  (Michalczyk, Łoś 1996). **Wody te zasiły zasoby podziemne rejonu ujęć Prawiedniki i Wrotków** (Michalczyk i in. 1983). **W okresach średnich i wysokich stanów wód podziemnych nie stwierdzano ucieczki wody z zasobów powierzchniowych do podziemnych.**

Na skraju doliny Bystrzycy w południowej części miasta odwiercone zostały, jeszcze przed wybudowaniem Zalewu Zemborzycznego, studnie ujęcia Prawiedniki. Uruchomienie ujęcia spowodowało istotne zmiany stosunków wodnych w sąsiedztwie zbiornika. Przed wybudowaniem Zalewu Zemborzycznego i uruchomieniem studni ujęcia Prawiedniki, swobodne zwierciadło wód czwartorzędowych w dolinie Bystrzycy znajdowało się na głębokości kilku decymetrów. Bystrzyca i jej dolina była zasilana (drenowała) z zasobów wód podziemnych spływających z obszarów wyżej wyniesionych. Zwierciadło wody

powierzchniowej i podziemnej pozostawało w równowadze drenowania. Zasilanie płytkiego wodonośnego poziomu czwartorzędowego odbywało się bezpośrednio przez infiltrację opadów atmosferycznych, a także z wód naporowego poziomu piętra kredowego.

Po oddaniu do użytku Zalewu Zemborzyckiego w 1974 roku oraz po etapowym uruchomieniu studni ujęcia w Prawiednikach (cztery w 1972 roku, a całe ujęcia w 1976 roku), zmieniły się kontakty hydrauliczne w strefie doliny Bystrzycy. Podpiętrzone wody z Zalewu Zemborzyckiego przepływają przez warstwę osadów czwartorzędowych i docierają do zasobów wód podziemnych głównego poziomu kredowego, co powoduje podniesienie zwierciadła wody podziemnej w sąsiedztwie zbiornika, po jego zachodniej stronie. Efekty piętrzenia zauważalne są w sąsiednich studniach kopanych oraz w ujęciach komunalnych Prawiedniki i Wrotków (Michalczyk i in. 1983, 2012, 2014, Łoś, Michalczyk 1984), które w okresach niskich stanów wody podziemnej zasilane są strumieniem płynącym podziemnie od Zalewu Zemborzyckiego.

W rejonie ujęcia Prawiedniki, z uwagi na duży pobór wody w latach 1980-1990, wytworzył się lej depresyjny, z dużym obniżeniem zwierciadła statycznego i dynamicznego zwierciadła wody (Michalczyk i in. 1983, Michalczyk 1997). Największy zasięg i głębokość lubelskiego leja depresyjnego stwierdzono w 1992 roku, co skutkowało ucieczką wody rzecznej do zasobów pietra kredowego, szczególnie w sąsiedztwie dużych ujęć wody (Michalczyk 1997). W okresie niskich stanów wody podziemnej do rejonu ujęcia Prawiedniki napływają wody podziemne ze strefy doliny Bystrzycy oraz z Zalewu Zemborzyckiego. Inny strumień wody zasila rejon ujęcia Wrotków, co zauważa się w systematycznym podnoszeniu zwierciadła wody w studniach (Michalczyk 2012). Wielkość tego dopływu była określana metodami hydrologicznymi (Michalczyk, Łoś 1984, Michalczyk 1997).

Nie ulega wątpliwości, że Zalew Zemborzycki zwiększa zasoby dyspozycyjne wód, w niewielkim stopniu wpływa na przepływ niżówkowy oraz zmniejsza przepływ kulminacyjny Bystrzycy w Lublinie. Ta rola jest jednak ograniczona niewielką pojemnością wody, gdyż całkowicie pusty zbiornik może pomieścić dobową objętość przepływu w ilości  $73 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Np. w ciągu czterech dni od 29.03 do 1. 04 2006 roku ze zlewni górnej Bystrzycy dopłynęło 12,77 mln  $\text{m}^3$  wody, czyli dwukrotnie więcej od pojemności Zalewu Zemborzyckiego. Podobna sytuacja wystąpiła w 2003 roku, kiedy w dniach 12-16 marca dopłynęło 13,4 mln  $\text{m}^3$  wody (Michalczyk i in. 2015).

Należy podkreślić, że hydrologiczna rola Zalewu Zemborzyckiego zmienia się w zależności od: ilości prowadzonej wody, stanów wody podziemnej oraz od wielkości wytwarzanych depresji w studniach ujęć komunalnych. W czasie bardzo wysokich przepływów Zalew w niewielkim stopniu wpływa na transformację fali wezbraniowej, głównie z uwagi na małą pojemność retencyjną. W okresie przeciętnych przepływów i przy średnich lub wysokich stanach wody podziemnej następuje niewielki przyrost ilości płynącej wody poniżej Zalewu. Natomiast przy niskich stanach wody podziemnej następuje ucieczka wody powierzchniowej do zasobów podziemnych (zarówno w strefie Zalewu, jak i doliny Bystrzycy) szczególnie przy dużych depresjach wytwarzanych w ujęciach wody. Wspomniane ustalenia wynikają z wieloletnich pomiarów hydrometrycznych wykonywanych powyżej i poniżej Zalewu Zemborzyckiego.

## **2.7. Stan hydrochemiczny zbiornika i rzeki Bystrzycy** *(Barbara Pawlik-Skowrońska, Zdzisław Michalczyk).*

### **2.7.1. Stan hydrochemiczny Zalewu Zemborzyckiego.**

W czasie przepływu wód Bystrzycy przez Zalew Zemborzycki następują istotne zmiany jej cech fizyczno-chemicznych. Decyduje o tym zmiana charakteru rzeki z typu fluwialnego na limniczny, co wpływa również na akumulację pierwiastków w zbiorniku.

Wody ZZ są lekko lub średnio alkaliczne, optymalne dla rozwoju sinic. Zakres wartości odczynu wód zbiornika (warstwy powierzchniowej) waha się w sezonie od wiosny do jesieni w zakresie pH 7,2-9,1, a średnie sezonowe wartości oscylują wokół pH 8 (od 8,0 do 8,6).

Wieloletnie badania wykazały, że corocznie występują w zbiorniku wysokie stężenia związków fosforu i azotu, które są związkami biogenicznymi, czyli budującymi biomasę fitoplanktonu, a w okresie letnim, szczególnie toksyno-twórczych sinic.

Średnie stężenia fosforu ogólnego w zbiorniku w ostatnich 5-ciu latach mieściły się w zakresie 0,13 – 0,25 mg P dm<sup>-3</sup>, z czego znaczną część stanowił łatwo przyswajalny przez sinice fosfor mineralny w formie orto-fosforanów. Stężenia tej formy fosforu zmieniały się corocznie i mieściły się w zakresie od 0,013 do 0,045 mg P-PO<sub>4</sub>·dm<sup>-3</sup>. Należy tu podkreślić, że **mierzone w ZZ stężenia to pozostałość fosforanów nie wbudowanych w biomasę glonów i przybrzeżnej roślinności wodnej.**

Związki azotu, które przyczyniają się bezpośrednio do nadmiernego rozwoju sinic w wodach to azotany i związki amonowe. Całkowite stężenie azotu w tych mineralnych formach, stwierdzone w wodach zbiornika są już tylko pozostałością, która nie została wbudowana w biomasę glonów i roślin. Średnie stężenia azotu azotanowego mieściły się w ostatnich 5-ciu latach w zakresie: 0,09-0,25 mg N-NO<sub>3</sub>·dm<sup>-3</sup>, a średnie stężenia azotu amonowego od 0,08 do 0,26 N-NH<sub>4</sub>·dm<sup>-3</sup>. **Sumarycznie, w wodach zbiornika w obecności rozwijających się sinic stwierdzano nadal znaczne stężenia mineralnych form azotu: średnio od 0,190 do 0,480 mg N·dm<sup>-3</sup>.** Przedstawione wyniki wskazują (Sprawozdania z lat 2011-2015; Pawlik-Skowrońska i in. 2015), że **rozwój sinic w wodach zbiornika nie jest ograniczany ani związkami fosforu ani azotu, które stale są dostarczane do zbiornika.**

Generalnie, stan ekologiczny Zalewu Zemborzyckiego oceniany był jako zły, głównie w półroczu letnim. W okresie ciepłym stwierdzano wysokie zawartości chlorofilu „a” (>100 µg·dm<sup>-3</sup>), a okresowo obserwowano „zakwity wody” wywołane przez sinice (Pawlik-Skowrońska i in. 2004, 2013, Solis 2007). O takim stanie decydują zarówno czynniki zewnętrzne, duża zawartość biogenów w wodach Bystrzycy i spływach powierzchniowych odprowadzanych do zbiornika, jak i wewnętrzne, szczególnie mała głębokość zbiornika. Czynniki te powoduje nagrzewanie się całej tafli wody (brak stratyfikacji termicznej), nawet w upalne dni powyżej 30 °C. Sezonowe jej pomiary wykazują, że często już pod koniec kwietnia temperatura wody w zbiorniku przekracza 20°C (Chmiel i in. 2009).

### **2.7.2. Stan hydrochemiczny rzeki Bystrzycy.**

Jak wykazały wieloletnie badania, odczyn wód Bystrzycy jest alkaliczny i mieści się w zakresie pH 7,4-8,6. Wody rzeki Bystrzycy powyżej Zalewu Zemborzyckiego charakteryzują się znacznymi zasobami pierwiastków o dużym potencjale eutroficznym (azotu i fosforu). Analizy stężeń związków biogenych w wodach rzeki Bystrzycy u jej ujścia do zbiornika (Zemborzyce, ul. Cienista) wykazały, że średnie stężenia fosforu ogólnego (P) w wodach rzeki, choć ulegały znacznym wahaniom, były zawsze znacznie wyższe niż w wodach zbiornika i mieściły się w ostatnich 5-ciu latach w zakresie 0,173 - 0,450 mg P·dm<sup>-3</sup> (średnia zawartość 0,281 mg P·dm<sup>-3</sup>). Od 32 % do 76 % tej puli stanowił fosfor mineralny w formie rozpuszczalnych fosforanów. Średnie stężenia tej mineralnej formy fosforu w rzece mieściły się w zakresie od 0,12 do 0,31 mg P-PO<sub>4</sub>·dm<sup>-3</sup>.

Średnie stężenie N-ogólnego to  $2,9 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Średnie stężenie jonów amonowych w rzece u jej ujścia do zbiornika ulegało znacznym wahaniom i mieściło się w zakresie od  $0,15\text{-}0,45 \text{ mg N-NH}_4\cdot\text{dm}^{-3}$ , natomiast średnie stężenia azotu azotanowego w wodach wnoszonych do zbiornika zmieniały się w zakresie  $0,13\text{ – }2,15 \text{ mg N-NO}_3\cdot\text{dm}^{-3}$ . Natomiast poniżej Zalewu nastąpiła znaczna ich redukcja: N-ogólny  $2,5 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , P-ogólny  $0,19 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  (Chmiel i in. 2012, Michalczyk i in. 2015). Dane te **jednoznacznie wskazują na Bystrycę jako bezpośrednie źródło użyźniania wód zbiornika** (Pawlik-Skowrońska i in. 2015).

Jak wspomniano wcześniej, w czasie przepływu wody Bystrzycy przez Zalew Zemborzycki następują istotne zmiany jej cech fizyczno-chemicznych. Zmiana charakteru rzeki z typu fluwialnego na limniczny wpływa na akumulację pierwiastków w zbiorniku (również metali ciężkich toksycznych dla środowiska). Wypływanie zbiornika wzmacnia procesy resuspensji pierwiastków (w tym o charakterze biogennym N, P i C), zdeponowanych w osadach; zwłaszcza w okresach intensywnego mieszania wód z osadami np. podczas wezbrań czy silnych wiatrów. Uzyskane wyniki badań, potwierdzone danymi zaczerpniętymi z publikacji (Radwan 2006, Ligęza i in. 2007, Chmiel i in. 2009, 2012, Rodzik i in. 2009) wskazują na duży transport i wysoką depozycję substancji w postaci rozpuszczonej i zawieszanej do zbiornika. Pomiar wykonywane w latach 2010-2014, wykazały że w okresie letnim ich redukcja w zbiorniku dochodziła do  $50 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3} \text{ CaCO}_3$ , a w okresie zimowym była o połowę niższa (Michalczyk i in. 2015).

Azot mineralny powyżej zbiornika stanowił około  $\frac{3}{4}$  azotu ogólnego. Poniżej zbiornika stężenie azotu mineralnego miało znacznie niższe wartości i stanowiło  $\sim 40\%$  azotu ogólnego. Podobne zmiany następowały w przypadku fosforu. Powyżej zbiornika fosfor mineralny stanowił ponad  $70\%$  fosforu ogólnego, natomiast poniżej zbiornika udział fosforu mineralnego spadał poniżej  $40\%$ . Układ form oraz zawartość azotu i fosforu w wodach na dopływie i odpływie z Zalewu Zemborzyckiego wskazuje na intensywny rozwój życia biologicznego co w konsekwencji prowadzi do obniżenia jakości wód. Wyniki badań hydrochemicznych i hydrometrycznych wskazują, że w przeciętnym roku hydrologicznym deponowane było w zbiorniku około  $100 \text{ ton}$  azotu,  $6 \text{ ton}$  fosforu,  $2000 \text{ ton}$  węgla mineralnego oraz ok.  $1000 \text{ tony}$  zawiesiny (Michalczyk i in.2015).

Wyniki obliczeń wskaźnika TSI (Trophic State Indices) wskazują na silnie eutroficzny charakter wód dopływających do Zalewu (TSI –  $60\text{-}70$ ), natomiast poniżej zbiornika (wskaźnik  $\text{TSI}>70$ ), dokumentuje hipertrofię wód wypływających ze zbiornika.

Z materiałów WIOS wynika, że w Zalewie Zemborzyckim zachodzi proces samooczyszczania się wody (Iwaniuk i in. 2015). Z porównania jakości wody wpływającej do Zalewu i jej parametrów w zbiorniku wynika znaczna redukcja biogenów, OWO oraz polepszenia warunków tlenowych wód. Jednocześnie materiały te wskazują na zwiększenie się w latach 2007-2015 ogólnego węgla organicznego, azotu ogólnego, fosforanów.

## **2.8. Stan biocenozy zbiornika (*Wojciech Pęczyła*).**

W ramach badań monitoringowych i naukowych przeprowadzonych przez różne grupy badawcze w ostatnich kilkunastu latach (2004-2007, 2010 oraz 2015) dokonano rozpoznania najważniejszych biocenozy Zalewu Zemborzyckiego (Radwan i in. 2005, Pęczyła i in. 2006, Chmielewski i Radwan 2007, Chmielewski 2010, Badanie stanu ichtiofauny ...2010, 2015, Opinia o stanie ichtiofauny... 2015). Analizowano: fitoplankton (glony planktonowe), makrofity (roślinność wodna), zooplankton (orzęski, wrotki i skorupiaki planktonowe), zoobentos (zwierzęta bezkręgowce związane z osadem dennym) a także ichtiofaunę (ryby) i jej znaczenie dla ekosystemu zbiornika.

### **2.8.1. Biocenozy producentów pierwotnych (fitoplankton i makrofity).**

Ilościowa struktura fitoplanktonu Zalewu Zemborzyckiego charakteryzowała się najczęściej dominacją trzech grup taksonomicznych: okrzemek (głównie centrycznych), sinic (głównie nitkowatych) oraz zielenic z tendencją do zwiększania udziału dwóch pierwszych grup w latach od 2005 do 2010. W ciągu sezonu wegetacyjnego dawał się ponadto zauważać powtarzalny wzorzec zwiększonego udziału okrzemek (lub zielenic) w chłodniejszych porach roku, które ustępowały latem na rzecz dominacji sinic. Obfitość fitoplanktonu wyrażona zarówno liczebnością ogólną jak i koncentracją chlorofilu-a była w badanych okresie bardzo duża (wartości maksymalne - liczebność: 20 – 60 mln os. dm<sup>-3</sup>, chlorofil-a: 200-250 µg dm<sup>-3</sup>). **Zarówno struktura gatunkowa jak i obfitość fitoplanktonu wskazują na bardzo wysoką trofię (żyźność) zbiornika i są charakterystyczne dla wód silnie eutroficznych lub hypertroficznych.** Bardzo wysokie wartości liczebności glonów planktonowych powodują niską przejrzystość wody w zbiorniku (0,6 – 0,3 m w 2007 roku) co ma konsekwencje w postaci słabego rozwoju makrofitów zanurzonych (roślinności przytwierdzonej do dna z

pędami w toni wodnej). Ta ekologiczna formacja bardzo ważna dla utrzymywania równowagi biologicznej w ekosystemie była w badanym okresie słabo wykształcona. Najczęściej stwierdzano występowanie tylko kilku gatunków makrofitów zanurzonych (od jednego do siedmiu w zależności od roku badań i stanowiska) z dominującymi dwoma gatunkami rdestnic (*Potamogeton perfoliatus* i *P. pectinatus*). Zasięg występowania tej grupy organizmów warunkowany zarówno morfometrią zbiornika (stromie stoki) jak i niską przezroczystością wody był niewielki i wynosił od 0,3 do 1,2 m głębokości, co skutkuje małą powierzchnią fitolitoralu, co jest stanem niekorzystnym z punktu widzenia utrzymywania dobrej jakości wody. Ze względu na pierwszy z wymienionych czynników (morfometria) w zbiorniku nie wykształcają się obficie także makrofitry wynurzone. Chociaż realizowana na początku XX w. odbudowa tej fitocenozy (nasadzenia przy zachodnim brzegu) przyniosła pewne pozytywne efekty, zostały one zniweczone poprzez zniszczenie pasa szuwarów przy modernizacji ścieżki rowerowej. Ponadto daje się zauważyć znaczne zubożenie struktury gatunkowej wszystkich makrofitów na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat. W okresie 1985-2005 ilość zbiorowisk roślinnych w zbiorniku zmniejszyła się z 16 na 10. **Przedstawione dane wskazują na pogorszenie się warunków siedliskowych dla roślinności podwodnej a czynnikiem, który wydaje się w tym procesie kluczowy jest przezroczystość wody warunkowana nadmiernym rozwojem fitoplanktonu.**

### 2.8.2. Zooplankton.

W grupie organizmów zooplanktonowych orzęski były analizowane tylko w latach 2004-2005. Zespół ten charakteryzował się wysoką liczebnością (14 – 80 mln os. dm<sup>-3</sup>) oraz dominacją gatunków bakteriożernych (z rzędu *Scuticociliatida*) przy małym udziale gatunków wszystkożernych. Wyniki te wskazują zarówno na duże obciążenie zbiornika materią organiczną jak i na dużą żyzność wód (dużą zawartość związków biogenych). Zespół wrotków planktonowych (które analizowane były w całym okresie badawczym) charakteryzował się: dużą liczebnością, niezrównoważoną strukturą dominacji, czego przejawem był silna dominacja gatunku *Keratella cochlearis* formy *tecta*. Takie parametry populacji wrotków planktonowych wskazują na proces silnej eutrofizacji zbiornika. Kluczową rolę w utrzymywaniu dobrej jakości wody m.in. poprzez możliwość kontroli rozwoju glonów odgrywają skorupiaki planktonowe. W ZZ liczebność oraz struktura tej grupy ekologicznej

badanej w latach 2004-2005 oraz 2007 podlegała fluktuacjom. Ogólna charakterystyka tej grupy ekologicznej wskazuje niemniej na wysoką trofię oraz degradację ekosystemu. Przemawiają za tym: okresowo bardzo niska liczebność skorupiaków, dominacja małych wioślarek (np. z rodzaju *Bosmina*), które nie potrafią efektywnie wyžerać fitoplanktonu oraz niska różnorodność gatunkowa tej grupy. Za taki stan tej zoocenozy odpowiadał najprawdopodobniej brak dobrej bazy pokarmowej, co było widoczne zwłaszcza w okresie letnim, gdy w fitoplanktonie dominowały duże nitkowate sinice (ze względu na rozmiary i kształt są trudno wyžerane przez skorupiaki). **Stan omówionych zoocenoz planktonowych wskazuje na wysoki stopień eutrofizacji Zalewu Zemborzycznego i degradację jego ekosystemu. Słaby rozwój skorupiaków planktonowych jest prawdopodobnie efektem niedostatecznej bazy pokarmowej jak i nadmiernej kontroli ze strony ryb planktonożernych.**

### 2.8.3. Zoobentos.

Badania bezkręgowej fauny dennej z lat 2004-2005, 2007 oraz 2010 wskazywały na szybkie i niekorzystne zmiany zachodzące w zbiorniku w tym okresie. Były to: mała liczba gatunków litoralowych (bezkęgowców związanych z roślinnością), duża liczba gatunków typowo profundalowych (żyjących w osadach dennych) gdzie dominują organizmy mułozerne, istotny spadek udziału *Chironomidae* (larwy ochotkowatych) i wyraźne zwiększanie dominacji *Oligochaeta* (skąposzczetów) w tym z grupy *Tubificidae* **co wskazuje na wzrost żyzności zbiornika i obfitości materii organicznej a także okresowe pogarszanie się warunków tlenowych w osadach dennych.**

### 2.8.4. Ichtiofauna.

Dane na temat stanu ichtiofauny Zalewu Zemborzycznego pochodzą z lat 2010 i 2015. Badania wykonane w roku 2010 wskazywały na poprawę struktury ichtiofauny w ZZ w stosunku do lat poprzednich. Pozytywnym objawem był duży udział (66%, **Ryc. 5.A**) ryb drapieżnych (sandacz, szczupak, okoń) w ogólnej biomacie ryb uzyskanych w czasie odłowów kontrolnych (wartość średnia dla trzech sezonów). Niestety, udział procentowy drapieżników w ogólnej liczebności (**Ryc. 5 B**) był o wiele niższy (<25%) na tle ryb karpiowatych, wśród których dominowały dwa gatunki: leszcz (63%) i płoć (6%).



Ta w miarę poprawna struktura rybostanu uległa pogorszeniu w ciągu następnych pięciu lat na co wskazują dane z roku 2015 (**Ryc. 5. B i D**). Zmniejszył się udział ryb drapieżnych w biomacie do ok. 48%, natomiast gatunek dominujący w liczebności – leszcz stanowił prawie 90 % wszystkich odławianych ryb (dane średnie dla trzech sezonów). Bardzo niepokojące dane uzyskano z odłowów w sierpniu 2015 roku, gdy leszcz stanowił ponad 99% liczebności ryb. **Dominacja ryb spokojnego żeru jest zjawiskiem niekorzystnym z punktu widzenia jakości wody oraz kontroli nadmiernego rozwoju fitoplanktonu.** Zarówno leszcz jak i płoć są gatunkami wszystkożernymi: młody narybek żywi się głównie skorupiakami planktonowymi (zjawisko niekorzystne gdyż ogranicza presję zooplanktonu na fitoplankton) natomiast osobniki dorosłe fauną denną (żerowanie wśród osadów dennych przyczynia się do niekorzystnego zjawiska resuspensji, w wyniku czego następuje uwalnianie fosforu do toni wodnej, gdzie staje się on pożywką dla fitoplanktonu). Jako niekorzystną należy również uznać obecność w zbiorniku bentosożernego karpia, który choć nieliczny stanowił od 5% do 9 % biomasy odławianych ryb.

#### **2.8.5. Interakcje troficzne.**

Eksperymentalne badania nad rolą ryb w ekosystemie ZZ przeprowadzone w latach 2004-2005 potwierdziły większość z przedstawionych wyżej zależności. W efekcie eksperymentu terenowego uzyskano wyniki pozwalające m. in. na stwierdzenie, że: a) zoobentos a nie zooplankton jest głównym składnikiem diety pokarmowej ryb spokojnego żeru; b) bardzo ważnym źródłem składników użyźniających dla fitoplanktonu są osady denne.

#### **2.8.6. Stan biocenoz - podsumowanie.**

**Analiza danych z lat 2004-2015 wskazuje na zły stan biocenoz Zalewu Zemborzycznego. Kluczowym negatywnym zjawiskiem jest nadmierny rozwój fitoplanktonu - w tym dominacja sinic nitkowatych w okresie letnim, co prowadzi do braku stabilności ekosystemu i negatywnie wpływa na pozostałe biocenozy ekosystemu zbiornika.**

## 2.9. Sinicowe zakwity wód zbiornika (Barbara Pawlik-Skowrońska).

Zalew Zembrzycki w Lublinie skonstruowany na rzece Bystrzycy, która wprowadza bezustannie wody bogate w związki azotu i fosforu, jest zbiornikiem płytkim, polimiktycznym, w którym temperatura wody jest ściśle związana z temperaturą powietrza i szybko rośnie w okresie od wiosny do jesieni. **W związku z tym panują w ZZ idealne warunki do masowego i szybkiego rozwoju sinic (cyjanobakterii).**

Rozwój sinic w Zalewie Zembrzyckim monitorowany był w okresie ostatnich 15 lat (Pawlik-Skowrońska et al., 2004, 2013, 2015). Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że sinicowe zakwity wód występowały corocznie i utrzymywał się przez okres co najmniej 4 miesiące w sezonie od późnej wiosny do wczesnej jesieni, gdy temperatura wody w zbiorniku zmieniała się w zakresie od 15 do 29 °C.

Okresy największego ich nasilenia zmieniały się w poszczególnych latach, co zależało głównie od warunków pogodowych, gdyż wnoszenie wysokich ładunków związków fosforu i azotu jest zjawiskiem stałym. I tak np. najintensywniejszy zakwit wiosenny wystąpił w roku 2002, najsilniejszy pod koniec lata (wrzesień) wystąpił w latach 2005, 2010, 2012, natomiast w pozostałych latach najintensywniejszy rozwój sinic utrzymywał się od czerwca do sierpnia (włącznie). W okresie występowania zakwitów przejrzystość wody była bardzo niska i zmieniała się w zakresie od 0,1 do 0,5 m. W okresach stabilnej pogody obserwowano widoczne gołym okiem sinicowe kożuchy na powierzchni wody.

**W Zalewie Zembrzyckim występują wielogatunkowe zakwity wód tworzone głównie przez następujące gatunki sinic nitkowatych wytwarzających komórki przetrwalnikowe (tzw. akinety):** *Aphanizomenon flos-aquae*, *Aphanizomenon gracile*, *Dolichospermum flos-aquae*, *D. planctonicum*, *D. spiroides*, *D. circinale*, *D. crassum*, *D. mendotae*, oraz przez sinice nie tworzące przetrwalników: *Microcystis aeruginosa*, *M. wesenbergii*, *M. flos-aquae*, *M. viridis* i *Planktothrix agardhii*. Okresowo pojawiają się większe ilości nitkowatej sinicy *Cuspidothrix issatschenkoi* lub *Woronichinia naegeliana*. **W okresie od wiosny do jesieni stwierdzano w wodzie zbiornika od 8 do 17 gatunków sinic.** Świadczy to o dużej niestabilności warunków środowiskowych panujących w zbiorniku. Poszczególne gatunki dominują w różnych okresach, przy czym *P. agardhii* pojawia się masowo najczęściej gdy temperatura wody jest niższa niż 20 °C.

Biomasa sinic tworzących zakwity zmieniała się w zależności od warunków temperaturowych w sezonie wiosenno-letnio-jesiennym w zakresie od 5 do 200 mg dm<sup>-3</sup>.

W zbiorniku zaobserwowano również znaczne zmiany w strukturze dominacji poszczególnych rodzajów sinic tworzących zakwity wód. I tak: w latach 2001-2003 dominował *Aphanizomenon* spp ze znacznym udziałem *Dolichospermum* spp, w kolejnych latach występował współudział *Aphanizomenon*, *Dolichospermum*, *Planktothrix*, a w latach 2010-2011 wzrósł udział *Microcystis*, natomiast spadł udział *Planktothrix* (Pawlik-Skowrońska i in. 2004; 2013). W latach 2012, 2014, 2015 (Ryc. 6.) zakwit wód tworzyły głównie *Aphanizomenon*, *Dolichospermum*, *Planktothrix* oraz *Woronichinia* ( w 2014), natomiast w roku 2013 *Dolichospermum* spp i *Microcystis* spp. Obserwowano również istotną zmienność sezonową dominacji gatunkowej. W okresach badawczych w latach 2005-2010 zagęszczenie sinic w wodach zbiornika było wysokie i przejściowo osiągały wysokie wartości w zakresie 10-100 x 10<sup>6</sup> os. dm<sup>-3</sup>, natomiast w kolejnych latach (2011-2015) wartości te spadły o jeden rząd wielkości i mieściły się w zakresie 1-120 x 10<sup>5</sup> os. dm<sup>-3</sup> wody, ale nadal były wysokie (Sprawozdania z lat 2011-2015; Pawlik-Skowrońska i in. 2015).

**W związku z nieprzewidywalną sezonową i coroczną zmianą rodzajów/ gatunków sinic dominujących w tworzeniu zakwitu wód zmieniały się również stężenia produkowanych przez sinice cyjanotoksyn (mikrocystyn i anatoksyny-a).** I tak: w latach 2001-2007 przy dominacji sinic z rodzaju *Dolichospermum* o skręconych niciach i *Aphanizomenon* obecna była w zbiorniku anatoksyna-a i mikrocystyny (MC), jednakże anatoksyna-a osiągała wyższe stężenia (aż do 120 µg ·dm<sup>-3</sup>) niż MC (maks. 5 µg ·dm<sup>-3</sup>). W kolejnych latach 2009-2011 gdy w zbiorniku pojawiły się i osiągnęły znaczną biomasę sinice z rodzaju *Dolichospermum* o niciach prostych (*D. planctonicum*, *D. affinis*) oraz *Microcystis*, wzrosła znacznie produkcja mikrocystyn (maks. 22 µg ·dm<sup>-3</sup>) przy jednoczesnym spadku stężenia anatoksyny-a - maksymalnie 14,4 µg ·dm<sup>-3</sup> w 2010 (Pawlik-Skowrońska i in. 2004, 2013). W ostatnich czterech latach (2012-2015) stężenie anatoksyny-a produkowanej przez sinice dalej spadało aż do stężeń poniżej 1 µg ·dm<sup>-3</sup> natomiast stężenie mikrocystyn wahało się w szerokim zakresie osiągając przejściowo nawet 23 µg ·dm<sup>-3</sup> w 2014 r. Stężenia powyżej 20 µg ·dm<sup>-3</sup> to stężenia przekraczające wartość graniczną zalecaną dla wód wykorzystywanych rekreacyjnie. **W związku z bardzo zmiennymi warunkami panującymi w zbiorniku, podobnie jak w przypadku rozwoju biomasy sinic również zagrożenie cyjanotoksynami jest zmienne i trudne do przewidywania.**

### **3. PRZYCZYNY ZŁEGO STANU EKOLOGICZNEGO ZBIORNIKA.**

#### **3.1. Zlewnia Bystrzycy powyżej Zalewu Zemborzycznego (Zdzisław Michalczyk).**

Pod względem fizjograficznym zlewnia górnej Bystrzycy wchodzi w obręb dwu regionów fizjograficznych; najwyższa jej część znajduje się na obszarze Roztocza, a pozostała na Wyżynie Lubelskiej (Chałubińska, Wilgat 1954). Jest to obszar zbudowany ze skał węglanowych górnej kredy, lokalnie nadbudowanych osadami paleocenu, na których zalegają osady czwartorzędowe o zróżnicowanym pochodzeniu. Doliny rzeczne wypełnione są osadami piaszczysto-ilastymi, a w strefach wierzchowinowych zalega less lub cienka warstwa osadów piaszczysto-pylastych. Na tym podłożu wytworzyły się gleby brunatne i pseudobielicowe o dobrych warunkach retencjonowania wody, w terenach o większych spadkach silnie podatne na erozję wodną. Warunki infiltracji zmieniają się wraz z temperaturą gruntu, jego zamarzaniem oraz stanem pokrycia roślinnego i zabiegami agrotechnicznymi. Tylko w dnach dolin rzecznych występują gleby: glejowe, mułowo-torfowe, torfowe i murszowo-torfowe, murszowo-mineralne oraz czarne ziemie. Dobre gleby zdecydowały o zajęciu obszaru zlewni górnej Bystrzycy głównie pod grunty orne. Są to tradycyjne tereny rolnicze, raczej z małym udziałem gospodarstw towarowych.

Gleby oraz cała strefa aeracji odznaczają się dobrą przepuszczalnością wodną, co znajduje odzwierciedlenie w małej gęstości sieci rzecznej. Jednocześnie dobra wodoprzepuszczalność skał strefy aeracji stwarza korzystne warunki do retencjonowania wody w podłożu skalnym. Jednakże w czasie intensywnego topnienia pokrywy śnieżnej lub w czasie gwałtownych opadów dochodzi w obszarach o większych spadkach do tworzenia się spływu powierzchniowego, którego wody niosą wysokie ilości zawiesiny oraz związków rozpuszczonych.

Zlewnia górnej Bystrzycy znajduje się w środkowej części lubelsko-podlaskiego (IX) regionu hydrogeologicznego (Paczyński 1995). Wody podziemne pierwszego poziomu występują w spękanych skałach górnej kredy oraz lokalnie w osadach paleocenu i w piaszczysto-żwirowych utworach czwartorzędu. Głębokość występowania zwierciadła wody jest bardzo zróżnicowana i wykazuje ogólny związek z rzeźbą terenu. W dolinach rzecznych wody podziemne w warunkach naturalnych występują tuż pod powierzchnią teras

zalewowych. W dolnych partiach zboczy grubość warstwy suchej wynosi kilka metrów, a w obszarach wierzchowinowych dochodzi do 30-50 m. Uzupełnianie zasobów wód podziemnych następuje poprzez infiltrację opadów atmosferycznych. Wody podziemne piętra kredowego, paleoceńskiego i czwartorzędowego tworzą jeden zbiornik, hydraulicznie powiązany z wodami powierzchniowymi (Michalczyk 1986, 1997). Wody podziemne spływają podziemnie z obszarów wierzchowinowych do dolin rzecznych, rozwiniętych na strefach nieciągłości tektonicznych skał. Zasilają one aluwialne osady dolin, rzeki oraz wypływają w źródłach. Badania terenowe wykonane w 1991 roku dokumentują w dorzeczu Bystrzycy 319 źródeł (Michalczyk, Rederowa 1993). Wydajności źródeł są bardzo zróżnicowane, gdyż w dorzeczu są wypływy okresowo zanikające oraz osiągające wydatek ponad  $100 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$ . Sumaryczna ich wydajność, zarejestrowana przy bardzo niskich stanach wód podziemnych 1991 roku wynosiła  $567,2 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , co odpowiada chwilowemu odpływowi jednostkowemu  $0,43 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$ . W 19 źródłach wydajność przekraczała  $10 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Po zestawieniu łącznej wydajności źródeł z przepływem rzeki wynika, że 27% wody pochodzi z zasilania wodami źródłanymi (Michalczyk 1997).

Wody podziemne w całym dorzeczu Bystrzycy odznaczają się bardzo dobrą jakością. Mają skład chemiczny typowy dla zbiornika wód wytworzonego w skałach kredowych. Są to wody głównie wodorowęglanowo-wapniowe, bądź wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowe o odczynie obojętnym lub lekko alkalicznym odczynie, mineralizacji ogólnej 300-500  $\text{mg dm}^{-3}$  i temperaturze około  $9,0^{\circ} \text{C}$ , średnio twarde i twarde, niekiedy z podwyższoną zawartością żelaza i manganu. Ich właściwości kształtują się w czasie długotrwałego procesu filtracji w środowisku skalnym. Na powolne przepływy wody w głównym poziomie wodonośnym dorzecza Bystrzycy - od kilkudziesięciu do ponad 100 lat, wskazują niezwykle niskie stężenia trytu (Michalczyk 1997).

Zlewnia górnej Bystrzycy cechuje się niezwykle rzadką siecią wód powierzchniowych, która jest konsekwencją występowania na powierzchni terenu dobrze przepuszczalnych utworów. Bystrzyca zaczyna swój bieg ze źródeł w Sulowie. W górnym biegu rzeka zasilana jest wodą z wydajnych źródeł drenujących kredowy zbiornik wodonośny. Pierwszy niewielki dopływ o nazwie Rudnik zasila rzekę z prawej strony we wsi Bystrzyca. Po przepłynięciu 27,5 km Bystrzyca przyjmuje dopływ Kosarzewkę. Obie rzeki niewiele się różnią wielkością dorzeczy - Bystrzyca ma tu  $228,2 \text{ km}^2$ , a Kosarzewka  $208,2 \text{ km}^2$ . Powyżej Zalewu Zemborzyckiego z lewej strony uchodzi Krężniczanka, która jest niewiele krótsza od

Bystrzycy, ma 20,3 km długości. Jej zlewnia o powierzchni 225,2 km<sup>2</sup> jest niemal dwukrotnie mniejsza od Bystrzycy (Michalczyk 1997).

Zasoby wodne zlewni górnej Bystrzycy zmieniają się w cyklach wieloletnich, nawiązujących do wielkości zasilania atmosferycznego. W skrajnych przypadkach minimalny dopływ wody do Zalewu Zemborzyckiego nie osiągał nawet 0,5 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, czyli był zdecydowanie niższy od przepływu biologicznego (nienaruszalnego). Przepływy minimalne Bystrzycy mogą być niższe od przepływu nienaruszalnego nawet w ciągu kilku kolejnych miesięcy, co zdecydowanie wpływa na tempo wymiany wody w zbiorniku.

**Zlewnia górnej Bystrzycy odznacza się wysokimi walorami środowiska przyrodniczego. Jej obszar decyduje o ilości i jakości wody dopływającej do Zalewu Zemborzyckiego i Lublina. Jednocześnie woda ta decyduje o stanie ekologicznym zbiornika oraz stanowi podstawę do zaopatrzenia miasta w wodę (jest jedynym źródłem wody dla Lublina).**

### **3.2. Jakość wód rzeki Bystrzycy (Zdzisław Michalczyk, Barbara Pawlik-Skowrońska).**

Jakość wody w zlewni górnej Bystrzycy jest kształtowana poprzez procesy naturalne i działalność człowieka w całym jej obszarze zlewni górnej Bystrzycy – od działu wodnego do zapory czołowej. W obszarze zlewni Zalewu Zemborzyckiego konieczne jest zidentyfikowanie, a następnie wyeliminowanie rzeczywistych i potencjalnych ognisk zanieczyszczenia oraz zagrożeń ich jakości.

Na Bystrzycy, około 2,5 km poniżej Zalewu Zemborzyckiego (**Ryc. 1**), istnieje wodowskaz IMGW Lublin zamykający zlewnię o powierzchni 748 km<sup>2</sup>. Wiarygodne dane pomiarowe zestawione zostały za lata 1961-2010. Zatem część serii pomiarowej obejmuje okres do wybudowania Zalewu Zemborzyckiego, która może być wykorzystana do analizy warunków naturalnych odpływu ze zlewni. Średni przepływ Bystrzycy w Lublinie wynosi 2,95 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, co odpowiada odpływowi jednostkowemu (z jednego kilometra kwadratowego) 3,95 l/s·km<sup>2</sup>. Najwyższe średnie miesięczne przepływy przypadają na marzec i kwiecień, o czym decyduje wiosenne topnienie śniegu, a najniższe na wrzesień. W latach 1961-2010 minimalny przepływ obniżał się do poziomu 0,5 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, a maksymalny przekraczał 100 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>.

Najwyższe roczne przepływy w profilu Lublin zamieszczono na ryc. 1. W poszczególnych miesiącach wartość najwyższego przepływu mieściła się w granicach  $9-16 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , jedynie w marcu i w kwietniu była wyższa, odpowiednio  $56,4$  i  $108 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Michalczyk 2012, Michalczyk i in. 2015), natomiast najniższego miesięcznego od  $0,4$  do  $0,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Podane wielkości wskazują na okresowe pojawianie się zarówno bardzo wysokich jak i skrajnie niskich przepływów. W czasie wysokich sptywów wody Bystrzycy transportują duże ilości materiału zawieszzonego, decydującego o zanieczyszczeniu Zalewu Zemborzyckiego i jego powolnym wypłycaaniu.

**Jedną z podstawowych przyczyn złego stanu ekologicznego Zalewu Zemborzyckiego, przejawiającego się w nadmiernym rozwoju toksyno-twórczych sinic, są duże ładunki związków azotu i fosforu nieustannie wnoszone bezpośrednio przez wody rzeki Bystrzycy.** Ładunki związków biogennych (N i P) wnoszone przez wody Bystrzycy (określone aktualnie w 2015 r., Sprawozdanie z badań) przy średnim przepływie wód rzeki  $3,2 \text{ m}^3 / \text{s}$ , przyjętym na podstawie 25 letniego okresu (Michalczyk i in. 2015) wyniosły rocznie:

-  $20631 \text{ kg/rok}$  całkowitego fosforu, z czego  $73 \%$  stanowi łatwo przyswajalny fosfor mineralny ( $15104 \text{ kg P-PO}_4/\text{rok}$ ).

-  $280519 \text{ kg/rok}$  całkowitego azotu, z czego  $44 \%$  to łatwo przyswajalny azot azotanowy ( $122300 \text{ kg N-NO}_3/\text{rok}$ ) i  $2 \%$  łatwo przyswajalnego azotu amonowego ( $5676 \text{ kg N-NH}_4/\text{rok}$ ).

### **3.3. Zagospodarowanie zlewni bezpośredniej zbiornika (Radostaw**

*Dobrowolski, Barbara Pawlik-Skowrońska).*

Struktura przestrzennego zagospodarowania zlewni bezpośredniej Zalewu Zemborzyckiego (zwłaszcza jego lewostronnej części) oraz wynikające z tego faktu konsekwencje hydro- i morfodynamiczne, w znacznym stopniu przyczyniają się do pogłębiania złego stanu ekologicznego zbiornika. Zasadniczy wpływ na taki stan rzeczy mają: (1) dominacja użytków rolnych, zwłaszcza gruntów ornych; charakterystyczny układ pól, nawiązujący do spadku terenu, przy jednoczesnym niewielkim ich areale i znacznym rozdrobnieniu (przeciętna szerokość ok.  $20-50 \text{ m}$ , przy długości  $500-650 \text{ m}$ ) sprzyjają

intensyfikacji procesów erozyjnych na stokach w czasie intensywnych odwilży i opadów nawalnych, a w konsekwencji dostawie produktów erozji wodnej bezpośrednio do zbiornika. Przy uwzględnieniu konfiguracji terenu (obecność uprzywilejowanych stref odpływu wzdłuż miedz oraz obniżen erozyjno-denudacyjnych, wykorzystywanych przez lokalne ciągi komunikacyjne), znaczna część zanieczyszczeń rolniczych i komunikacyjnych trafia sezonowo do zbiornika.

- (2) zwarta zabudowa osadnicza (jednorodzinna i/lub zagrodowa) wzdłuż południowo-zachodniego brzegu zbiornika, z potencjalnym punktowym lub linearnym zanieczyszczeniem wód gruntowych.
- (3) obecność drogowych ciągów komunikacyjnych wzdłuż obu brzegów zbiornika, z relatywnie dużym (zwłaszcza sezonowo) natężeniem ruchu, przyczynia się do strefowego zanieczyszczenia wód gruntowych.

**Ładunki związków azotu i fosforu pochodzące ze zlewni bezpośredniej są dostarczane do wód Zalewu Zembrzyckiego za pośrednictwem zbiorników wyrównawczych zbierających spływy powierzchniowe.** Dwa zbiorniki wyrównawcze usytuowane w bezpośrednim sąsiedztwie Zalewu są istotnym źródłem zasilania w związki fosforu i azotu. Szczególnie zbiornik nr 2 usytuowany przy ul. Niezapominajki wnosi do ZZ znacznie większe ładunki tych związków (5,5 razy więcej fosforu i 8 razy więcej azotu) niż zbiornik wyrównawczy nr 1 przy ul. Grzybowej (Sprawozdanie... 2015). Stężenie fosforu ogólnego w wodach przepompowywanych do ZZ wynosiło średnio w zbiorniku wyrównawczym nr 1 - 0,3 mg P ogólnego  $\cdot \text{dm}^{-3}$ , natomiast w zbiorniku nr 2 aż 0,66 mg P ogólnego  $\text{dm}^{-3}$ , z czego aż 60-65 % stanowił rozpuszczalny P mineralny.

Ze względu na brak danych dotyczących częstotliwości przepompowywania wód ze zbiorników wyrównawczych określono najmniejsze roczne ładunki związków biogenych przy założeniu, że zrzucane są one tylko jeden raz na dobę przez jedną pompę (zbiorniki są wyposażone w 2 lub 3 pompy). W okresach nasilonych opadów atmosferycznych zrzuty są częstsze i pracują pozostałe pompy. I tak: te najmniejsze roczne ładunki są znaczne i wynoszą sumarycznie (z obu zbiorników) :

- 750 kg azotu ogólnego/rok, z czego 60 % stanowi azot w formie azotanów i ok. 14 % azot w formie jonów amonowych (razem 74 % związków łatwo przyswajalnych przez sinice);
- 213 kg fosforu ogólnego / rok, z czego ok. 67 % to łatwo przyswajalny fosfor w formie orto-fosforanów.



### 3.4. Morfologia zbiornika i urządzenia hydrotechniczne.

#### 3.4.1. Morfologia zbiornika (*Radostaw Dobrowolski, Zdzisław Szczepaniak*).

Nie uwzględniając faktu zaistnienia już (w czasie 42 lat pracy akwenu) określonych zmian w kubaturze ZZ, z powodu jego wieloletniego zamulania, główne parametry zbiornika, czyli kubatura i powierzchnia zalewu - w oficjalnych dokumentach, takich jak aktualne pozwolenie wodnoprawne i aktualne oceny stanu technicznego - formalnie podawane są następująco:

- Kubatura przy Min PP: 4,66 mln.m<sup>3</sup>,
- Kubatura przy NPP: 6,12 mln.m<sup>3</sup> (w lecie) i 5,50 mln.m<sup>3</sup> (w zimie)
- Kubatura przy Max PP: 7,55 mln.m<sup>3</sup>
- Kubatura przy Nad PP: 9,71 mln.m<sup>3</sup>
- Powierzchnia zalewu przy NPP w lecie: 280 ha i w zimie: 273 ha,
- Długość zbiornika: 2 900 m,
- Szerokość - max/średnia: 1 330/1 000 m,
- Głębokość - max/średnia: 4,5/2,2 m.

Nachylenie dna zbiornika jest równomierne i wynosi 0,75‰, podobnie jak nachylenie dawnego dna doliny Bystrzycy (Dobrowolski i in. 2014, 2015).

Zarówno współczesna, jak i pierwotna morfologia doliny w sposób bezpośredni determinują przestrzenny rozkład współczesnej sedymentacji biogenicznej w dnie ZZ. Obszary predystynowane paleomorfologicznie do zwiększonego tempa depozycji materiału biogenicznego i mineralnego w obrębie zalewu (=większych miąższości osadów zbiornikowych, przekraczających 1m) to: (1) dawne koryto rzeczne – niemal całkowicie wypełnione gytą ilastą i ilasto-wapienną, (2) dawne podcięcia meandrowe, wyznaczające współcześnie zatoki zbiornika po obu jego stronach oraz (3) ujściowy odcinek Bystrzycy do zalewu w rejonie Zemborzyc-Boru. Dodatkowo, istniejąca infrastruktura hydrotechniczna, zwłaszcza zaporą zbiornika wymusza zwiększoną depozycję osadów. Należy jednak podkreślić, że ze względu na znaczne uwodnienie współczesnych sedymentów, duże znaczenie odgrywają procesy redepozycyjne, warunkowane falowaniem i przydennymi prądami kompensacyjnymi (Rodzik i in. 2009, Dobrowolski i in. 2014).

### **3.4.2. Urządzenia hydrotechniczne (Zdzisław Szczepaniak).**

W programowaniu i projektowaniu zbiorników obowiązuje generalna zasada, że wszelkie urządzenia hydrotechniczne dostosowuje się nie tylko do wymogów przepisów, lecz także do posiadanego arealu terenu, do występujących stosunków hydrologicznych, warunków hydraulicznych na dopływie i na odpływie, jak też, do różnorodnych warunków miejscowych, w tym warunków geotechnicznych, hydrogeologicznych, a wśród nich także: do występującej morfologii czaszy zbiornika oraz morfologii terenów cofkowych. Tak też postąpiono w trakcie programowania i projektowania ZZ na przełomie lat 60 i 70-tych zeszłego wieku. Rozwiązania techniczne zastosowane na ZZ były więc wypadkową wszystkich, cytowanych wyżej uwarunkowań, natomiast obecny jego stan, jako zbiornika zaporowego, wynika zarówno z nadanego mu wstępnie rozwiązania, z dokonanych w czasie 42 letniej eksploatacji zwykle drobnych zmian inwestycyjnych, a także z oddziaływania na akwen warunków naturalnych, w tym w szczególności z występujących ciągle procesów zamulania zbiornika prowadzonym przez rzekę Bystrzycę „rumowiskiem wleczonym i unoszonym”.

Na podstawie wniosków z ostatniej „Oceny stanu technicznego” z roku 2013, już po udzieleniu w roku 2012 ostatniego pozwolenia wodnoprawnego, wysokość piętrzenia ze względów bezpieczeństwa okresowo (w roku 2014) obniżono na zbiorniku o 0,5 m. Oznaczało to wówczas, że przy NPP głębokość średnia na zbiorniku wynosiła w pewnym przybliżeniu zaledwie 1,7 m (2,2 m - 0,5 m), zaś głębokość maksymalna, przy zaporze, nie więcej niż 4,0 m. Równocześnie też, w górnej partii zbiornika napełnienia na znacznych częściach zalewu były wtedy sporo mniejsze od 1,0 m, zwłaszcza zaś, gdy uwzględnia się zdeponowane właśnie w cofkowej części ZZ produkty erozji.

Tak więc, o morfologii zbiornika w kontekście wpływu na urządzenia hydrotechniczne, można się wypowiadać dla fazy obecnej, w której zbiornik znajduje się w sytuacji niejako wymuszonej aktualnym złym stanem urządzeń hydrotechnicznych, z okresowo występującymi obniżonymi poziomami wody w akwenu, albo też dla sytuacji przyszłościowej, jaka zaistnieje po dokonaniu niezbędnych wręcz remontów. Faza przyszłościowa powinna zakładać poziomy wody jak w rozwiązaniach wstępnych zbiornika i układ czaszy stosownie do przyjętych ostatecznie rozwiązań w kwestii odmulenia zbiornika, a nawet alternatywnie, przy założeniu jego częściowego przegłębienia.

Zdaniem autora niniejszej pracy, faza obecna, jako tymczasowa, powinna trwać możliwie jak najkrócej, głównie z uwagi na potrzebę ograniczania czasokresu, w którym miasto Lublin pozostawać będzie w sytuacji zagrożenia katastrofą, wynikającą z przerwania zapory ziemnej, obecnie możliwą już nie tylko hipotetycznie i o prawdopodobnych skutkach, dla nie specjalistów, wręcz mało wyobraźalnych.

### **3.5. Rola osadów dennych.**

#### **3.5.1. Charakterystyka osadów zbiornikowych** (*Radostaw Dobrowolski.*)

Mechanizm sedymentacji współczesnych osadów zbiornikowych ZZ (gytii wapienno-ilastej i wapiennej) związany jest głównie z dostawą substancji rozpuszczonych i zawieszonych w wodach Bystrzycy (Radwan 2006, Ligęza i in. 2007, Chmiel i in. 2009, Rodzik i in. 2009, Dobrowolski i in. 2014). Są to nie tylko substancje biogenne, ale przede wszystkim produkty denudacji chemicznej (w mniejszym stopniu także denudacji mechanicznej) górnego odcinka zlewni Bystrzycy oraz bezpośredniej zlewni zbiornika. Ich silna węglanowość wynika zatem z uwarunkowań geologicznych, t.j. powszechnego występowania w podłożu - górnokredowego, węglanowego kompleksu skalnego, miejscami przykrytego dodatkowo serią plejstocenijskich, również węglanowych utworów pylastych.

Zły stan ekologiczny zbiornika zaznacza się zwłaszcza w półroczu letnim. Na taki stan rzeczy, poza substancjami biogennymi oraz produktami denudacji transportowanymi z wodami Bystrzycy, wpływa także płytki charakter zbiornika, skutkujący brakiem stratyfikacji termicznej (Chmiel i in. 2009).

Zmiana charakteru rzeki z typu fluwialnego na limniczny wpływa na wymuszoną akumulację większości materiału rozpuszczonego i zawieszinowego bezpośrednio w zbiorniku (w tym także metali ciężkich toksycznych dla środowiska), co ogranicza możliwość rekultywacji wód. Dalsze wypływanie zbiornika będzie wzmagało procesy resuspensji pierwiastków (w tym o charakterze biogennym N i P) zdeponowanych w osadach; zwłaszcza w okresach intensywnego mieszania wód z osadami np. podczas wezbrań czy silnych wiatrów (Chmiel i in. 2009, Dobrowolski i in. 2014).

### **3.5.2. Współczesne osady denne jako źródło związków biogennych** (Barbara Pawlik-Skowrońska).

Współczesne osady denne stanowią wewnętrzne źródło rozpuszczalnych związków fosforu i azotu. W warunkach słabego dostępu tlenu do osadów fosfor może się z nich uwalniać i zasilać pulę rozpuszczalnych fosforanów. Oszacowano ( na podstawie analiz laboratoryjnych, Sprawozdanie 2015 r.), że biorąc pod uwagę 5-cio centymetrową warstwę osadów średnio z całej powierzchni zbiornika może się potencjalnie uwalniać do wody 103 kg P-PO<sub>4</sub>/dobę. Należy również wziąć po uwagę, że współczesne osady denne zawierają także nagromadzone w nich związki azotu, w większości jednak w formie organicznej , niewykorzystywanej bezpośrednio przez sinice ( Ligęza i in. 2007).

### **3.5.3. Osady denne jako bank form przetrwalnikowych sinic** (Barbara Pawlik-Skowrońska).

Współczesne osady denne w zbiorniku są również „magazynem” form przetrwalnikowych i form wegetatywnych różnych gatunków sinic, które w sprzyjających warunkach rozwiną się masowo powodując zakwit wód w kolejnym roku. Jak wskazują badania prowadzone w tym zakresie na świecie kiełkowanie w osadach dennych sinic tworzących zakwity także w Zalewie Zembrzyckim ( *Aphanizomenon*, *Dolichospermum*) może następować bardzo szybko. Również zimujące na powierzchni osadów dennych formy wegetatywne sinic takich jak *Planktothrix agardhii* i *Microcystis* spp, występujących w ZZ, zachowują swoją witalność i w wyniku mieszania się wód w płytkich zbiornikach przemieszczane są do toni wodnej, gdzie ulegają dalszemu rozwojowi ( Hasler i in., 2004; Verspagen i in. 2004).

**Dolne upusty w tamie Zalewu Zembrzyckiego sprzyjałyby usuwaniu uwodnionych powierzchniowych osadów ze zbiornika zawierających zarówno związki biogenne jak również inokulum dla masowego rozwoju sinic.**

### 3.6. Użytkowanie wędkarskie (Wojciech Pęczuła).

Od początku istnienia Zalewu Zemborzyckiego za gospodarkę wędkarsko-rybacką odpowiedzialny jest Polski Związek Wędkarski (PZW), który prowadzi przede wszystkim gospodarkę zarybieniową (Pikula 2004). W latach 1978-1989 przeprowadzano ponadto odłowy gospodarcze. Odłowiono w tym czasie ponad 37 ton ryb, z czego 41 % stanowiły leszcze a dalsze 40% ryby drapieżne (szczupak i sandacz w podobnej ilości). Warto zwrócić uwagę, że w początkowym okresie działalności rybackiej odławiano przede wszystkim ryby drapieżne, które prawdopodobnie dominowały w zbiorniku (np. jeszcze w 1986 roku 40% masy ryb stanowił sandacz). Dopiero w latach osiemdziesiątych XX w., wraz ze zubożeniem ichtiofauny drapieżców w odłowach przeważały ryby spokojnego żeru - przede wszystkim leszcz. **Prowadzone odłowy gospodarcze stanowiły pierwsze istotne zaburzenie struktury ekologicznej ZZ i miały z pewnością negatywny i długotrwały wpływ na ekosystem, co potwierdzają przedstawione w rozdziale 2.6. dane dotyczące aktualnego (złego) stanu biocenozy zbiornika.**

Od roku 2000 prowadzone są także odłowy selekcyjne mające na celu ograniczenie populacji leszcza, co powinno być działaniem korzystnym z punktu widzenia funkcjonowania ekosystemu. Jako incydentalny należy potraktować przypadek z roku 2000 gdy w miejsce odłowionych 1,9 tony leszczy wpuszczono do zbiornika 2 tony karpia.

Według danych PZW dotyczących corocznych zarybień z lat 1975-2000 do ZZ wpuszczono w tym okresie łącznie 108,8 ton ryb (średnio rocznie 4,184 t), z czego prawie połowę stanowił krocze i narybek karpia (47,4 %) a dalsze 24,8 % karaś (ryby spokojnego żeru niekorzystne z punktu widzenia jakości wody). W okresie tym drapieżniki (szczupak, okoń i sandacz) stanowiły zaledwie 10,5 % materiału zarybieniowego. Na podkreślenie zasługuje również fakt, że w omawianym okresie do zbiornika świadomie wprowadzano gatunki obce takie jak tołpyga biała i amur biały. Oba gatunki wyjątkowo niekorzystnie oddziałują na stan ekologiczny zbiorników wodnych: tołpyga poprzez wyżeranie skorupiaków planktonowych oraz wywoływanie efektu „ichtioeutrofizacji” a amur dodatkowo poprzez niszczenie makrofitów zanurzonych, które stanowią główne źródło pożywienia osobników dorosłych. **Przedstawione dane z okresu 1975-2000 pokazują, że gospodarka zarybieniowa w tym okresie była prowadzona w sposób rażąco błędny z**

**punktu widzenia stabilności ekosystemu i jakości wody co niewątpliwie przyczyniło się do gwałtownego pogorszenia stanu ekologicznego ZZ na początku XXI w.**

Wg danych z lat 2005-2014 prowadzone dalsze zarybienia uwzględniły w większym stopniu potrzeby racjonalnej i przyjaznej dla ekosystemu gospodarki wędkarskiej. Ilość materiału zarybieniowego wpuszczanego corocznie wynosiła średnio 4,08 t. Zwiększył się udział drapieźników w materiale zarybieniowym (sandacz i szczupak) zmniejszono do minimum ilość karpia i karasia (z wyjątkiem roku 2014, gdy wpuszczono do zbiornika ponad jedną tonę karpia). Niepokojący jest fakt braku w materiale zarybieniowym okonia, gatunku który znacząco może poprawić strukturę ichtiofauny w ZZ.

Dane dotyczące ilości osób wędkujących na Zalewie Zemborzyckim oraz ilości i struktury odławianych ryb są fragmentaryczne (Szadkowski 2001, Pikula 2004, Kolejko 2010). Najbardziej szczegółowe wyniki uzyskano z badań ankietowych przeprowadzonych przez cały rok w sezonie 2000/2001 (Pikula 2004). W okresie tym stwierdzono obecność średnio ok. 100 wędkujących na dzień. Większość osób wędkujących stosowała metody gruntową i spławikową, co wynika z gatunków odławianych ryb: ponad 80% procent biomasy złowionych ryb w tym okresie stanowiły ryby spokojnego żeru (leszcz, płóc i karp). Metoda spinningowa służąca do połowu ryb drapieżnych stosowana była rzadziej (ok. 20% badanych osób) co w konsekwencji dało tylko ok. 9% ogólnej biomasy złowionych ryb. Przeciętna masa ryb złowionych przez jednego wędkarza wyniosła  $0,69 \text{ kg dzień}^{-1}$ , co po przemnożeniu przez średnią ilość deklarowanych dni wędkowania oraz średnią liczbę osób wędkujących dziennie daje 3682 kg odłowionych ryb rocznie.

Przedstawione wyniki pokazują, że presja wędkarska w ZZ dotyczy głównie ryb spokojnego żeru (przede wszystkim leszcza) co jest zjawiskiem korzystnie wpływającym na strukturę ichtiofauny. Bardziej niepokojący wydaje się fakt stosowania przez większość ankietowanych wędkarzy (95 %) zanęt, co wynika z preferowanych metod połowu (gruntowa i spławikowa). Z kolei według badań Kolejki (2010) ok. 80 % wędkarzy łowiących nad zbiornikiem używało różnego rodzaju zanęt, z czego ok. 40 % były to produkty komercyjne (w formie granulatu lub pasty) kupowane w specjalistycznych sklepach wędkarskich. Ilość zużywanej zanęty przez pojedynczego wędkarza nad ZZ jest trudna do ustalenia, niemniej wyniki badań w innych zbiornikach Polski szacują tą wartość na ok. 2 kg na dzień (Czerniawski i in. 2010). Znając przybliżony skład stosowanych zanęt i zawartość w nich azotu i fosforu można oszacować wielkość wprowadzanego tą drogą do zbiornika ładunku

związków użyźniających. Według Kolejki (2010) w 1 kg zanęty przygotowywanej własnoręcznie przez wędkarza znajdować się może 18,7 g azotu oraz 4,0 g fosforu natomiast w produktach komercyjnych odpowiednio 9,9 g i 1,2 g tych pierwiastków. Z kolei Czerniawski i in. (2010) szacują przeciętną zawartość azotu na 12 g/kg i fosforu na 4 g/kg. Uwzględniając przedstawione wcześniej dane (100 wędkarzy na dzień, z czego 96% stosuje zanęty) i przy założeniu że pojedynczy wędkarz zużywa 2 kg zanęty można oszacować, że do wód Zbiornika Zemborzyckiego dostaje się tą drogą dziennie od 1,9 do 3,6 kg azotu oraz od 0,23 do 0,77 kg fosforu. W przeliczeniu na cały rok daje to średnie wielkości rzędu 1000 kg azotu oraz 180 kg fosforu na cały zbiornik. W bilansie tym należy uwzględnić ilość biogenów wynoszonych ze zbiornika wraz z odłowionymi rybami, który (przy założeniu, że 1 kg ryby słodkowodnej zawiera 29,6 g azotu i 7 g fosforu, Czerniawski i in. 2010) można oszacować na ok. 108 kg N oraz ok. 26 kg P. Obciążenie zbiornika związkami użyźniającymi pochodzącymi z użytkowania wędkarskiego wynosi więc ok. 892 kg N rok<sup>-1</sup> i 154 kg P rok<sup>-1</sup>. co w przeliczeniu na jednostkę powierzchni daje 0,32 g N m<sup>-2</sup> rok<sup>-1</sup> oraz 0,05 g P m<sup>-2</sup> rok<sup>-1</sup>. **Są to wartości znaczące, co prowadzi do wniosku, że użytkowanie wędkarskie ZZ w wyniku stosowania przez wędkarzy zanęt ma negatywny wpływ na zbiornik poprzez istotne zwiększenie ładunku związków użyźniających, co w konsekwencji prowadzi do nadmiernego rozwoju fitoplanktonu i degradacji całego ekosystemu.**

### **3.7. Użytkowanie rekreacyjne (Wojciech Pęczuła).**

Zalew Zemborzycki został zaplanowany i wykonany jako zbiornik wielozadaniowy, jednak dominującą funkcją tego obiektu stała się w ostatnich latach rekreacja. Dane dotyczące natężenia ruchu turystycznego wokół zbiornika pochodzą z szacunków Wydziału Sportu i Turystyki Urzędu Miasta Lublina (lata siedemdziesiąte XX w.), danych Miejskiego Ośrodka Sportu i Rekreacji „Bystrzyca w Lublinie Sp. z o.o. (MOSiR) z lat 2009-2015 oraz z badań polegających na chwilowych obserwacjach przeprowadzanych w różnych miesiącach (najczęściej latem) i porach dnia, stąd wyniki tych badań są bardzo rozbieżne (Szadkowski 2001, Kułak i Waryszak 2010, Bourdo 2014).

W latach siedemdziesiątych liczbę osób przebywających w okolicy zbiornika szacowano na 30 000 dziennie. Badania wykonane w późniejszych latach zweryfikowały tę

liczbę do 2540 osób dziennie w roku 1998, 1500-2000 osób w roku 2000 i 2006 (wszystkie dane dotyczą dni weekendowych w okresie letnim). W roku 2010 szacowano liczbę korzystających z rekreacji na 4640 osób  $d^{-1}$  w dni weekendowe i 2019 osób  $d^{-1}$  w dni powszednie. Szczegółowa analiza natężenia ruchu turystycznego przeprowadzona w ciągu całego roku w sezonie 1999/2000 pokazała dużą zmienność tego parametru w zależności od pory roku i warunków pogodowych. Przeciętną liczbę wszystkich odwiedzających dziennie oszacowano na ok. 600 osób z czego ok. 100 stanowili wędkarze. Natomiast w okresie letnim (czerwiec-sierpień) wartość ta wyniosła 1330 osób  $d^{-1}$ , przy czym w czasie deszczowego i chłodnego lipca było to ok. 300 osób  $d^{-1}$  podczas gdy w czasie upałów sierpniowych prawie 2000 osób  $d^{-1}$ . Dostępne dane MOSiR z lat 2009-2015 dotyczą osób odwiedzających dwa obiekty nad ZZ, będące własnością tej miejskiej spółki: Ośrodka Wypoczynkowego „Marina” oraz Ośrodka Wypoczynkowego „Słoneczny Wrotków” (informacja ustna). Średnio w ciągu jednego sezonu (tożsamego z okresem wakacji szkolnych) notuje się tam ok. 80 tys. osób, z czego większość (ok. 67 tys.) odwiedza uruchomiony w 2009 r. ośrodek „Słoneczny Wrotków”, co w przeliczeniu daje liczbę 1212 osób  $d^{-1}$ . Interesujące dane znaleźć można także w wynikach badań dotyczących natężenia ruchu na odcinku ścieżki rowerowej pomiędzy ul. Romera a ul. Żeglarską w pobliżu zapory czołowej, które wykonano po zakończeniu budowy drogi rowerowej wokół zbiornika (Bourdo 2014). Dokonywano liczenia wszystkich osób przemieszczających się ścieżką rowerową (rowerzyści, osoby na rolkach, biegacze oraz spacerowicze) w dwa wolne od pracy dni w październiku (przy pogodzie bezdeszczowej i temp. 16°C) i listopadzie (przy pochmurnej pogodzie z niewielkimi opadami i temp. 8°C). W godzinach największego natężenia ruchu (od godzin przedpołudniowych do popołudnia) zanotowano od 233 do 237 osób  $h^{-1}$ , z czego większość (średnio 81%) stanowili rowerzyści. Zakładając, że wszystkie zarejestrowane osoby zmierzały do lub wracały z ZZ, można więc oszacować, że w jesienne wolne od pracy dni ścieżką rowerową w okolicy zapory czołowej ZZ dociera dziennie ok. 1400 osób uprawiających aktywne formy rekreacji (średnie natężenie pomnożone przez 6 godz.). W okresie letnim, przy korzystnej pogodzie liczba ta może być co najmniej dwukrotnie wyższa (obserwacje własne).

Na podstawie przedstawionych danych można podjąć próbę oszacowania liczby osób przebywających nad ZZ w sezonie (czerwiec-sierpień) w ostatnich latach (po uruchomieniu ośrodka „Słoneczny Wrotków” oraz zakończeniu budowy ścieżki rowerowej wokół zbiornika). Zakładając, że osoby uprawiające aktywne formy rekreacji (rowerzyści itp.) oraz osoby



korzystające ze stacjonarnych form wypoczynku (baseny i inne urządzenia w ośrodkach MOSiR) to grupy w niewielkim stopniu tożsame oraz uwzględniając dodatkowo grupę wędkarzy można oszacować ilość „użytkowników rekreacyjnych” ZZ i jego najbliższej okolicy na co najmniej 4000 osób d<sup>-1</sup>, co w przeliczeniu daje obciążenie rekreacyjne zbiornika wynoszące >14,6 osoby d<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> powierzchni zbiornika lub >0,34 osoby d<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup> jego linii brzegowej.

Bezpośredni wpływ osób użytkujących rekreacyjnie ZZ na jakość jego wód jest niezwykle trudno do oszacowania. Wynika to m.in. z dużej różnorodności form pobytu, takich jak: spacer, bieganie, jazda na rowerze, wędkarstwo, pobyt w restauracji, plażowanie, kąpiel w zbiorniku lub w basenach, uprawianie sportów wodnych, łyżwiarstwo czy nawet turystyka przyrodnicza. Każda z tych aktywności może potencjalnie generować zagrożenie np. zwiększoną dostawą związków biogennych jednak zkwantyfikowanie tego zjawiska jest praktycznie niemożliwe i zależy nie tylko z zachowań osób przebywających nad zbiornikiem ale przede wszystkim od sprawności urządzeń sanitarnych i sposobu zarządzania gospodarką wodno-ściekową w obiektach turystycznych i rekreacyjnych położonych nad ZZ. Według danych MOSiR, we wszystkich obiektach będących pod zarządem tej spółki (z których korzysta ok. 1/3 wszystkich odwiedzających ZZ) ścieki odprowadzane są do kanalizacji miejskiej. W niektórych miejscach wokół ZZ ustawione są suche toalety przenośne typu TOI TOI (A. Poncet, informacja ustna), z których korzystają m.in. użytkownicy ścieżki rowerowej. Brak danych dotyczących pozostałych obiektów sanitarnych uniemożliwia jakiegokolwiek dalsze szacunki. Łatwiejszy do oszacowania jest wpływ osób kąpiących się bezpośrednio w wodach danego zbiornika na jakość jego wód poprzez obliczenie potencjalnych ładunków związków biogennych które pozostają w wodzie po kąpielu. Przykładowo przyjmuje się, że jedna osoba kąpiąca się pozostawia dziennie w wodzie 1 g azotu oraz 0.457 g fosforu (Szyper i Gołdyn 2002). Niemniej badania oceniające wpływ rekreacji plażowej na jakość wód bezodpływowego jeziora Zagłębcze (Polesie Lubelskie) pokazały, że wartości takich ładunków są niewielkie w porównaniu do dostawy ze źródeł rozproszonych z całej zlewni (Serafin i in. 2014). Oszacowanie tego typu w przypadku Zbiornika Zemborzycy jest obecnie niemożliwe ze względu na brak danych dotyczących ilości osób korzystających z kąpielu w wodach zbiornika. Wydaje się ponadto, że udział „rekreacyjnej” dostawy związków biogennych w ogólnym bilansie materii w zbiorniku przepływowym, zasilanym rzeką o dużej zlewni jest minimalny (z wyjątkiem wędkarstwa omówionego w rozdziale poprzednim).

Jednym z rodzajów aktywności rekreacyjnej w zbiornikach wodnych który może mieć istotny i bezpośredni wpływ na jakość wody są sporty motorowodne, w tym narciarstwo wodne. Przykładowe badania w USA pokazały, że w wodzie o głębokości 1,5 m nawet silniki łodzi motorowych o małej mocy (5 KM) mogą podrywać bardzo drobne cząstki osadów o średnicy 0,05 mm (McComas 2003). W kilku innych badaniach stwierdzano spadek przezroczystości wody, wzrost jej mętności i wzrost stężenia fosforu w wyniku intensywnego, weekendowego ruchu łodzi motorowych w płytkich jeziorach. Udowodniono także eksperymentalnie, że ruch łodzi motorowych ogranicza wzrost roślin wodnych co pośrednio wpływa na stabilność osadów (Asplund 2000). Istnieje obecnie wiele doniesień na temat wpływu ruchu łodzi motorowych i uprawiania narciarstwa wodnego na wzrost mętności wody, koncentracji fosforu a nawet na powstawanie zakwitów glonów (Mosisch i Arhington 1998). Problem ten występuje w ZZ ze względu na istnienie toru dla narciarzy wodnych, który usytuowany jest w północno-wschodniej części zbiornika (Ośrodek Sportowo-Rekreacyjny „RELAND”). Ze względu na brak danych dotyczących natężenia ruchu w tym obiekcie oraz brak badań na temat roli tego ruchu w resuspensji osadów w tej części zbiornika trudno o oszacowanie realnego wpływu tego obiektu na jakość wód zbiornika. Rozpoznanie tego zagadnienia powinno zostać włączone do badań monitoringowych omawianego akwenu.

**Podsumowując, wpływ użytkowania rekreacyjnego na jakość wód oraz na cały ekosystem Zalewu Zemborzycznego jest trudny do oszacowania. Wydaje się, że okazjonalna rekreacja w postaci kąpielii w wodach zbiornika ma niewielki i nieistotny wpływ na zwiększenie dostawy związków biogennych. Realnie bardzo duży wpływ ma wędkarstwo (omówione w rozdziale 3.5.) a potencjalnie duży ma narciarstwo wodne, co wymaga dalszych badań na ten temat.**

### **3.8. Inne przyczyny złego stanu Zalewu Zembrzyckiego.**

#### **3.8.1. Szybkie nagrzewanie się wód w stale wypływającym się zbiorniku (Barbara Pawlik-Skowrońska).**

W tak żyznych i stale zasilanych związkami azotu i fosforu wodach Zbiornika Zembrzyckiego sinice mogą się masowo rozwijać się już przy temperaturze wody około 15 °C i wyższej.

Średnia temperatura wód rzeki Bystrzycy w okresach badawczych (maj-wrzesień) w ostatnim 10-cio leciu mieściła się z zakresie 13-16 °C , natomiast średnia temperatura wód zbiornika w tym samym okresie wynosiła od 19,9 do 22,4 °C. Świadczy to o bardzo szybkim nagrzewaniu się wód w zbiorniku do poziomu , który stwarzał optymalne warunki do rozwoju kilku, różnych gatunków sinic.

Mała głębokość Zbiornika Zembrzyckiego sprzyja bardzo szybkiemu nagrzewaniu i mieszaniu się jego wód. Zbiornik Zembrzycki ulega ciągłemu wypłycaaniu, gdyż jak stwierdzono na podstawie analizy ładunku zawiesiny wnoszonej przez rzekę Bystrycę w 2015 r. wynosi on ok. 761200 kg / rok (Sprawozdanie, 2015). Znaczna część tej zawiesiny może ulegać sedymentacji, o czym świadczy większa masa zawiesiny u ujścia rzeki do zbiornika i w centralnej jego części.

Średnie tempo sedymentacji współczesnych osadów dennych w zbiorniku wynosi 0,92 g/rok, a wypłycaanie ok. 1 cm/rok (Dobrowolski i in, 2015).

Należy jednak zauważyć, że również w głębokich, ale żyznych zbiornikach wodnych dochodzi do powstania zakwitów sinicowych, gdy powierzchniowe warstwy wody ulegają nagrzewaniu w okresie od wiosny do jesieni do temperatur sprzyjających rozwojowi sinic. Zróżnicowane wymagania temperaturowe różnych gatunków sinic są także przyczyną zmienności gatunkowej zakwitów. Np. w spokojnych wodach głębokiego zbiornika Dobczyckiego w zależności od temperatury wody zakwity powodowały sinice z rodzaju *Microcystis* lub *Woronichinia* (Wilk-Woźniak 1996; Wilk-Woźniak i Mazurkiewicz Boroń 2003).

### **3.7.2. Czas retencji wody w Zalewie Zemborzycyckim** (*Zdzisław Michalczyk, Barbara Pawlik-Skowrońska*).

Składowe decydujące o wymianie wody w Zalewie Zemborzycyckim to przede wszystkim: objętość misy ZZ, dopływ wody ze zlewni górnej Bystrzycy (Bystrzyca i Krężniczanka), parowanie z wolnej powierzchni wody, potencjalny dopływ wody podziemnej do Zalewu (w jego górnej części) oraz infiltracja wody z ZZ do podłoża skalnego.

Syntetyczna ocena składowych: parowanie z wolnej powierzchni wody, zasilanie ZZ wodami podziemnymi oraz infiltracja wody powierzchniowej do zasobów podziemnych może być dokonana na podstawie jednoczesnych pomiarów przepływu powyżej i poniżej Zalewu Zemborzycyckiego. Wszystkie wspomniane trzy składowe zmieniają się okresowo lub sezonowo.

Wielkość parowania z wolnej powierzchni wody jest uzależniona głównie od temperatury powietrza. Najwyższe wartości przypadają na okres wysokich temperatur, a najniższe w okresie zamrożonego ZZ.

Zasilanie wodami podziemnymi misy ZZ lub ucieczka wody ze zbiornika do zasobów podziemnych zmienia się w zależności od stanu wypełnienia kredowego i czwartorzędowego zbiornika wody podziemnej. Zasilanie ZZ następuje tylko w górnej części, w czasie wysokich stanów wody podziemnej. Natomiast infiltracja wody powierzchniowej do zasobów podziemnych stale następuje w części północnej, z szczególnie północno-zachodniej, w rejonie Zembrzyc i Wrotkowa.

Zebrane materiały hydrometryczne zebrane w Zakładzie Hydrologii wskazują, że parowanie z wolnej powierzchni wody, stosunkowo niewielki pobór wód powierzchniowych oraz infiltracja wody do zasobów podziemnych powodują, w okresach niskich stanów wód podziemnych, zmniejszenie odpływu wody (względem jej dostawy rzekami) o 200-300 dm<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, czyli około 1,0 dm<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>·ha (Michalczyk, Łoś 1996). Wody te zasilają zasoby podziemne rejonu ujęć Prawiedniki i Wrotków (Michalczyk i in. 1983). W okresach średnich i wysokich stanów wód podziemnych nie stwierdzano ucieczki wody z zasobów powierzchniowych do podziemnych.

W okresie pięciolecia 2010-2014 górna Bystrzyca prowadziła powyżej Zalewu Zemborzycyckiego 2,29 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, natomiast Krężniczanka wprowadzała do Bystrzycy w górnej części zbiornika 0,93 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. Łącznie Bystrzyca i Krężniczanka wprowadzały do Zalewu

Zemborzyckiego  $3,22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Poniżej Zapory Bystrzyca w latach 2010-2014 prowadziła  $3.34 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Michalczyk i in. 2015). Należy podkreślić, że pod względem hydrologicznym był to okres wysokich zasobów wód podziemnych w dorzeczu Bystrzycy.

Przepływ Bystrzycy poniżej Zalewu Zemborzyckiego w latach 1961-2010 wynosił  $2,95 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , co dobitnie podkreśla dość wysokie zasoby wody ostatnich lat. Średnie miesięczne przepływy w tym okresie zmieniały się od  $4,04 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  w marcu do  $2,55 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  we wrześniu.

**Po przyjęciu pojemności Zalewu Zemborzyckiego jako  $6,3 \text{ mln m}^3$ , czas wymiany wody przy przepływie średnim  $3,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  wynosi 24 dni. W marcu, przy średnim miesięcznym przepływie  $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  woda wymieni się w ciągu 18 dni, a w czasie średnich niskich przepływów jesiennych czas wymiany wydłuży się do 30 dni. Z wieloletnich pomiarów przepływu wynika, że w okresie letnim przepływy Bystrzycy poniżej Zalewu Zemborzyckiego obniżają się nawet do  $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , wówczas wymiana wody dokona się w ciągu 73 dni.**

Jak wykazano na podstawie licznych danych (ze 134 jezior W. Brytanii) dotyczących zakwitów wód w żyznych zbiornikach wód słodkich o neutralnym lub alkalicznym odczynie, długi czas retencji wody ( $> 30$  dni) sprzyja nadmiernemu rozwojowi sinic (Carvalho i in 2011). Również badania przeprowadzone na kilku przekształconych przez człowieka jeziorach Lubelszczyzny wskazują, że przyspieszony przepływ i wymiana mas wody może zmniejszyć masowy rozwój toksyno-twórczych gatunków sinic (Pawlik-Skowrońska i Toporowska 2016, w druku). **Należy z całą mocą podkreślić, że w przypadku czasu retencji wody krótszym niż 30 dni przy poziomie fosforu ogólnego niższym niż  $20 \mu\text{g P dm}^{-3}$  do sinicowych zakwitów wód nie dochodzi.** W ZZ, w zależności od tempa przepływu wód czas retencji wody mieści się w szerokim zakresie (od 18 dni wiosną do 73 dni latem). W zatokach, które są oddalone od głównego nurtu rzeki przepływającej przez zbiornik, czas przebywania wody może być jeszcze dłuższy i przy wysokim stężeniu związków fosforu i azotu, wysokiej temperaturze wody, dochodzi do masowego rozwoju sinic.

**Szczególnie niebezpieczny dla jakości wód ZZ jest bardzo długi czas retencji wody w okresie letnim, umożliwiając powstanie sinicowych zakwitów wody.**

#### **4. PROPOZYCJE DZIAŁAŃ MAJĄCYCH NA CELU POPRAWĘ STANU EKOLOGICZNEGO ZBIORNIKA WRAZ Z OKREŚLENIEM ZAKŁADANYCH KORZYŚCI I PRZEWIDYWANYCH SKUTKÓW NEGATYWNYCH.**

##### **4.1. Uwarunkowania formalno-prawne podejmowanych działań** (*Zdzisław Szczepaniak*).

Pozwolenie wodnoprawne dla ZZ, aktualnie obowiązujące (Decyzja Marszałka Województwa Lubelskiego z dnia 2.03.2012 r., znak: RŚ-V.7322.34.2011.AG), zobowiązywało Miejski Ośrodek Sportu i Rekreacji „Bystrzyca” w Lublinie, zgodnie z Ramową Dyrektywą Wodną, do *„Zapewnienia w terminie do 31 grudnia 2014 r. ciągłości morfologicznej rzeki Bystrzyca poprzez budowę urządzenia umożliwiającego migrację ryb i innych organizmów wodnych”* wskazywało jednoznacznie, że budowa takiego urządzenia jest *„obowiązkiem zaliczającym się do niezbędnych przedsięwzięć ograniczających negatywne oddziaływanie na środowisko wynikających z art. 128, ust.2, pkt. 8 Prawa wodnego”*, dodatkowo też, z przywołaniem przepisów z art.38 i art. 63 Prawa wodnego.

Urządzeniem takim w szczególności mogłaby być działająca grawitacyjnie „przepławka”, „pokonująca” występujący na obiekcie spad wody, wynoszący dla ZZ w warunkach pełnego piętrzenia około 5m. Mimo upływu terminu, w którym „przepławka” powinna być wykonana, Miejski Ośrodek Sportu i Rekreacji „Bystrzyca” w Lublinie urządzenia takiego do chwili obecnej (styczeń 2016 r.) nie wykonał, a nawet nie przystąpił do czynności poprzedzających jego wykonanie, w szczególności na przykład, nie wykonano żadnych prac projektowych (a nawet koncepcyjnych) dla takiej realizacji.

W aktualnie obowiązującej, „Ocenie stanu technicznego ZZ” (IMGW, 2013 rok), wykonanej kompleksowo i merytorycznie przez specjalistów Technicznej Kontroli Zapor, jednoznacznie wskazano na potrzebę wykonania nie tylko w/w przepławki dla ryb, lecz także na dobudowanie na zaporze komory spustów dennych. Dodatkowo jednak, **IMGW wskazał na niezbędność wykonania całościowego remontu zapory czołowej, z docelowym zabezpieczeniem jej korpusu przed szkodliwym oddziaływaniem procesu filtracji. Instytut wskazał też, że docelowy, obecnie niezbędny remont zapory, łącznie z wykonaniem przepławki i spustów dennych, powinien być poprzedzony opracowaniem projektu jej remontu.**

#### **4.2. Działania w zlewni rzeki Bystrzycy (Zdzisław Michalczyk).**

O procesach zachodzących w zlewni górnej Bystrzycy, oprócz warunków wynikających z charakteru środowiska przyrodniczego, decyduje działalność gospodarcza, głównie rolnictwa z postępującą chemizacją. Z uwagi na występowanie dobrych i bardzo dobrych gleb (ponad 80% użytków rolnych), ponad 3/4 powierzchni zlewni zajmują uprawy rolne (Michalczyk 1997). Wśród różnych miejscowych oddziaływań gospodarki na cechy jakościowe wód, należy wymienić:

- rolnicze zanieczyszczenia obszarowe związane głównie z chemizacją rolnictwa,
- punktowe lub liniowe - strefowe zanieczyszczenia wzdłuż ciągów zabudowy wiejskiej,
- zanieczyszczenia liniowo - strefowe wzdłuż tras komunikacyjnych,
- zanieczyszczenia przestrzenne w obrębie obszarów miejskich Bełżyc, Bychawy, Zakrzówka,
- zanieczyszczenia punktowe związane z lokalizacją wysypisk śmieci, wylewisk, (zwłaszcza nielegalnych), składowisk nawozów mineralnych i substancji chemicznych, stacji benzynowych itp.,
- zanieczyszczenia związane z pozyskiwaniem energii, tj. elektrociepłownie, ciepłownie, paleniska domowe,
- zanieczyszczenia wód powierzchniowych i podziemnych w wyniku oddziaływań przemysłu.

W celu zachowania dobrego stanu środowiska, a szczególnie utrzymania wysokiej jakości wody, konieczne jest zidentyfikowanie, a następnie wyeliminowanie rzeczywistych i potencjalnych ognisk zanieczyszczenia oraz zagrożeń ich jakości. W obszarze rolniczym zlewni górnej Bystrzycy powinny one dotyczyć działań ochronnych wszystkich komponentów środowiska, z szczególnie wód podziemnych i powierzchniowych. Jako najważniejsze działania w obszarach typowo rolniczych można wskazać: uporządkowanie gospodarki wodno-ściekowej, w tym gospodarki gnojowicą i odpadami, oraz nawozami zarówno mineralnymi jak i organicznymi. W zakładach przetwórczych (mleczarnie, gorzelnie zakłady owocowo-warzywne) zapewnić racjonalne gospodarowanie wodą i odpadami. W obszarach zurbanizowanych zapewnić odbiór ścieków komunalnych oraz dobre funkcjonowanie systemu kanalizacji sanitarnej i oczyszczalni ścieków. W strefie Zalewu Zemborzyckiego wyeliminować bezpośredni spływ wody z terenów rolnych do Bystrzycy.

### **4.3. Budowa zbiornika wstępnego lub/i polderów powyżej zbiornika**

*(Zdzisław Michalczyk, Wojciech Pęczuła).*

Powyżej Zalewu Zemborzyckiego istnieją tereny dogodne do lokalizacji zbiornika wstępnego, które znajdują się pomiędzy ul. Cienistą a górną częścią Zalewu. Jest to obszar zlokalizowany w strefie obecnie podtapianych terenów łąk znajdujących się po prawej stronie Zalewu (w latach 90. okresowo przesuszonych). Z uwagi na charakter obszaru i jego położenie teren ten może być zajęty pod budowę normalnego zbiornika wody lub zbiornika płytkiego o charakterze biofiltra. W tym miejscu wskazywano lokalizację zbiornika w Prawiednikach, który miał za zadanie zwiększenie zasobów wody ujęcia wybudowanego na południowy-wschód od Zalewu Zemborzyckiego (Michalczyk, Łoś 1996).

W pierwszej wersji (Michalczyk, Łoś 1996) zasugerowano wybudowanie zbiornika, który miałby wpływać na zwiększenie retencji podziemnej i powierzchniowej w południowej części miasta. Zbiornik miał być zlokalizowany na prawym brzegu Bystrzycy, pomiędzy jej korytem a wyniesieniem pokrytym lasem, w obrębie którego są wybudowane studnie ujęcia Prawiedniki. Zalewem objęte byłyby łąki, których znaczna część najpierw została zdegradowana i „wypadła” z użytkowania na skutek przesuszenia wywołanego szczypaniem wód podziemnych, a w ostatnich latach podtopienia utrzymującego się po wypełnieniu lokalnej depresji. Z ogólnej powierzchni zbiornika 116 ha wydzielono komorę wstępną o powierzchni 17,5 ha i średniej głębokości zaledwie 0,5 m. Całkowita pojemność zbiornika określona została na 1,564 mln m<sup>3</sup> (Michalczyk, Łoś 1996).

Obecnie na terenie gminy Strzyżewice planowana jest budowa zbiornika na wysokości Osmolic i Piotrowic. Byłby to stosunkowo blisko położony zbiornik względem projektowanego zbiornika/biofiltra Prawiedniki oraz Zalewu Zemborzyckiego. Te trzy zbiorniki będą tworzyły kaskadę zbiorników. Pierwszy będzie zbierał najwięcej zawiesin i innych zanieczyszczeń. Następne będą otrzymywały wodę nieco oczyszczoną, ale mającą w okresie letnim wyższą temperaturę. Zatem, woda dopływająca do Zalewu Zemborzyckiego będzie nieci podgrzana, będzie miała wyższą (od obecnej) temperaturę. Wynika to z nagrzewania się wody w projektowanym zbiorniku przewidywanym do budowy na terenie gminy Strzyżewice i w Prawiednikach. Należy jednoznacznie stwierdzić, że budowa zbiorników retencyjnych w zlewni górnej Bystrzycy utrudni utrzymanie dobrego stanu ekologicznego wód Zalewu Zemborzyckiego- mimo dopływu nieco oczyszczonych wód.



Niemniej zbiorniki wstępne są rozwiązaniem stosunkowo często stosowanym w przypadku próby poprawy jakości wody w zbiornikach zaporowych, głównie w kontekście ograniczenia ładunku zawiesiny (przez co spowalnia się proces zamulania zbiornika głównego) oraz redukcji związków biogennych (co zmniejsza ryzyko powstawania sinicowych zakwitów wody).

W zależności od typu i położenia zbiornika głównego (w tym jakości i ilości materii transportowanej zasilająca go rzeką) stosuje się dwa główne typy rozwiązań. Pierwszy to zbiorniki głębokie pełniące rolę swego rodzaju „komór sedymentacyjnych”, w których zachodzi proces mechanicznego osadzania się zawiesiny oraz proces przechwytywania rozpuszczonych form azotu i fosforu przez organizmy planktonowe. Po zakończeniu cyklu życiowego organizmy te sedymentują na dno zbiornika. Tego typu zbiorniki wymagają okresowego odmulania i pozbywania się nagromadzonej, bogatej w związki biogenne materii z ich dna. Efektywność w redukowaniu związków biogennych w tych zbiornikach zależy od czasu retencji (optymalny to 4-8 dni) oraz głębokości (minimum 3 metry). Dane literaturowe wskazują na możliwość uzyskania maksymalnie 50-80% redukcji związków biogennych.

Drugim typem zbiorników wstępnych są płytkie zbiorniki o charakterze makrofitowym. Wyłapywanie związków biogennych polega w nich w mniejszym stopniu na procesach wymienionych wyżej ale raczej na wbudowywaniu azotu i fosforu w tkanki roślin szuwarowych (np. trzcina pospolita, pałka szerokolistna) oraz na aktywności mikroorganizmów dennych. Ich działanie przypomina więc funkcjonowanie roślinnych oczyszczalni ścieków, które są stosowane w indywidualnych gospodarstwach lub ośrodkach wypoczynkowych. Podobnie jak poprzedni typ, także i zbiorniki makrofitowe wymagają stosowania określonych wymagań eksploatacyjnych, polegających przede wszystkim na cyklicznym wykaszaniu roślinności i wynoszeniu jej poza zlewnię zbiornika głównego.

Istnieje także możliwość budowy zbiorników typu pośredniego, z częścią sedymentacyjną oraz biofiltrem. Zbiorniki tego typu są budowane m.in. w celu oczyszczania wód burzowych.

Przykłady zastosowania zbiorników wstępnych w różnych krajach wraz z oceną ich efektywności w redukowaniu związków biogennych przedstawiono w **Tabeli 5**.

#### **4.4. Odizolowanie zbiornika od wód rzeki Bystrzycy („bypass”) (Zdzisław Michalczyk, Zdzisław Szczepaniak).**

*(Zdzisław Michalczyk)*

Wysokie ładunki związków biogenych dopływające do Zalewu Zemborzyckiego i ich depozycja w zbiorniku zdecydowanie utrudniają przeprowadzenie rekultywacji wody i utrzymania jej na dobrym poziomie. Poprawa jakości wody i stanu ekologicznego Zalewu Zemborzyckiego będzie możliwa po ograniczeniu dopływu biogenów z górnej części zlewni rzeki Bystrzycy oraz ich resuspensji z osadów. Działania te wskazują na konieczność poprawy stanu gospodarki wodnej w górnej zlewni Bystrzycy i jej dopływów Kosarzewki i Krężniczanki oraz na wybranie osadów, a tym samym pogłębienie Zalewu. Te działania spowodują zwiększenie głębokości i pojemności Zalewu, a tym samym przyczynią się do obniżenia temperatury wody.

Problem dopływu wody ze zlewni górnej Bystrzycy zawierającej duże ilości biogenów może być rozwiązany poprzez wyłączenie Zalewu Zemborzyckiego z bezpośredniego zasilania wodami rzecznyymi. W tym celu należy wybudować nowe koryto Bystrzycy, wzdłuż Zalewu Zemborzyckiego, którym będą płynęły wody z górnej części zlewni. Jego trasa możliwa jest do przeprowadzenia zarówno wzdłuż wschodniego lub zachodniego brzegu (skraju pierwotnej doliny). W obu przypadkach nastąpi zajęcie części powierzchni obecnego Zalewu na nowe koryto, które powinno pomieścić przepływ rzędu  $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Jego długość będzie wynosiła około 4 km. Poprowadzenie koryta wzdłuż zachodniego brzegu Zalewu oddzieli zabudowania miejscowości Zemborzyce od zbiornika, a tym samym wyłączone zostaną potencjalne możliwości zanieczyszczania wody ściekami odprowadzanymi z gospodarstw i domów letniskowych. Jednocześnie jest to łatwiejsze rozwiązanie, również z uwagi na wyższy brzeg na którym znajduje się zabudowa Zemborzyc.

Budowa nowego koryta Bystrzycy na wysokości Zalewu Zemborzyckiego wymaga przygotowania dalszej części doliny do przyjęcia szybko spływającej wody. Zalew Zemborzycki w niewielkim stopniu spełniał zadania buforu, opóźniającego dopływ wody do miasta oraz wpływał na zmniejszenie przepływów maksymalnych

Uzupełniające zasoby wody do Zalewu Zemborzyckiego, w czasie spływu powierzchniowego (niskiej jakości wody w Bystrzycy), w ilości przynajmniej  $200 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  powinny być doprowadzane ze zbiornika wstępnego, pełniącego rolę biofiltra. Dogodne

tereny do lokalizacji zbiornika wstępnego znajdują się pomiędzy ul. Cienistą a górną częścią Zalewu. Jest to obszar zlokalizowany w strefie obecnie podtapianych terenów łąk znajdujących się po prawej stronie Zalewu (w latach 90. okresowo przesuszonych). Do zalewu woda włączana by była przez istniejącą przepompownię od strony Lasu Dąbrowa. W tym miejscu wskazywano lokalizację zbiornika w Prawiednikach, który miał za zadanie zwiększenie zasobów wody ujęcia wybudowanego na południowy-wschód od Zalewu Zemborzyckiego (Michalczyk, Łoś 1996). W okresach średnich i niskich przepływów, czyli wody płynącej w Bystrzycy pochodzącej z zasilania podziemnego, cały przepływ może być kierowany przez ZZ – przez biofiltr, co przyspieszy wymianę wody w zbiorniku.

Za wyłączeniem wód Bystrzycy z bezpośredniego zasilania Zalewu Zemborzyckiego przemawiają także plany budowy zbiorników wody w gminie Strzyżewice. Niżej położony zbiornik, na wysokości Osmolic i Piotrowic, byłby stosunkowo blisko Zalewu Zemborzyckiego. Zatem, woda dopływająca do Zalewu Zemborzyckiego będzie miała wyższą (od obecnej) temperaturę. Wynika to z nagrzewania się wody w projektowanym zbiorniku przewidywanym do budowy na terenie gminy Strzyżewice. Należy jednoznacznie stwierdzić, że budowa zbiorników retencyjnych w zlewni górnej Bystrzycy utrudni utrzymanie dobrego stanu ekologicznego wód Zalewu Zemborzyckiego.

*(Zdzisław Szczepaniak)*

ZZ został zaprojektowany, a następnie wykonany jako zbiornik „zaporowy”, z ziemną zaporą czołową, z zabudowanym w niej jazem piętrzącym oraz z zespołem zapór (grobli) wstecznych w rejonie cofki spiętrzenia, odcinających dwa boczne poldery, odwadniane za pomocą dwóch pompowni, położonych na obydwu brzegach rzeki, w strefie jej dopływu do czaszy zalewu.

Według posiadanych informacji, w okresie programowania i projektowania ZZ, co miało miejsce około roku 1970, wstępnie rzeczywiście rozpatrywano, jako jeden z wariantów budowy, możliwość realizacji zbiornika „lateralnego”, a więc bocznego; mówiąc zaś językiem nietechnicznym: zbiornika „odizolowanego od rzeki Bystrzycy”. Ponieważ wariant budowy, ze zbiornikiem „lateralnym” został wówczas ostatecznie i to z wielorakich powodów zaniechany, w ZZ nie ma obecnie żadnych urządzeń wodnych, które byłyby, w najmniejszym choćby stopniu, przystosowane do pełnienia funkcji zbiornikowych w wariantcie „odizolowania od rzeki”. Obecnie, zmiana generalnej koncepcji zbiornika, ze zbiornika

„zaporowego”, z zaporą czołową, na zbiornik „lateralny”, teoretycznie jest oczywiście nadal możliwa, wiązałaby się jednak z potrzebą całkowitej przebudowy nie tylko zapór, w tym oczywiście zapory czołowej, lecz także wszystkich urządzeń wodnych zbiornika, w tym także samego istniejącego jazu. Na obwodowej trasie rzeki konieczne byłoby wówczas wykonanie nowej budowli „progowej”, o spadzie odpowiadającym pierwotnej niwelecie dna koryta rzeki, z przejazdem, czyli mostem, dla połączenia stref rekreacji na obydwu brzegach, a także wykonanie nowej budowli wpustowej na zbiornik (w górze akwenu) w jego układzie „lateralnym” i wykonanie wielu, wielu jeszcze innych obiektów i urządzeń.

Rozważane natomiast, hipotetycznie możliwe, zasilanie „odizolowanego” zbiornika poprzez ciągłą pracę pompowni Nr 1 na prawym wale cofkowym, budziłoby szereg wątpliwości technicznych, technologicznych i organizacyjnych, także z uwagi na skuteczność tego sposobu alimentacji akwenu oraz oczywiście, ze względu na obawy o zasadny rachunek ekonomiczny dla tego rodzaju czynności. W tym drugim przypadku, w sposób trudny do przyjęcia i nawet do zrozumienia, zbiornik pracujący dotychczas bez najmniejszych problemów jako „grawitacyjny”, przynajmniej z zakresie zasilania wodami napływającymi z góry zlewni, stałby się zbiornikiem alimentowanym przez pompownię, a więc z „podnoszeniem” lustra wody. Nowemu rozwiązaniu podlegałyby wówczas także urządzenia wodne istniejącego ujęcia na Elektrociepłownię, strefy zagospodarowania istniejącej rekreacji, w szczególności na brzegu lewym, układ i rozwiązania dolnego stanowiska stopnia wodnego itd. itd.

Praktycznie więc, „odizolowanie zbiornika od rzeki Bystrzycy” oznaczałoby nic innego jak jego całkowitą przebudowę, z wcześniejszą likwidacją, lub generalną przebudową wszystkich działających urządzeń wodnych zbiornika „zaporowego”. W szczególności konieczne by było wykonanie odcinkowej regulacji rzeki po nowej trasie, o przepustowości dostosowanej do przejścia przepływów „kontrolnych” i budowa potężnej, o długości blisko 2 km zapory bocznej, zlokalizowanej pomiędzy zbiornikiem i tym nowym korytem rzeki oraz zarazem posadowionej w fatalnych warunkach geotechnicznych. Przebudowa taka nie miałaby poza tym żadnych znamion remontu: „bieżącego”, „kapitalnego”, czy też „poawaryjnego” - jakie dopuszczalne są w ramach eksploatacji obecnego ZZ i musiałyby być z pewnością traktowana przez organy budowlane, jako inwestycja całkowicie nowa, z wszystkimi konsekwencjami takiego założenia, wynikającymi z przepisów.

Niezależnie od złożonej i to w wielu aspektach, sprawy oddziaływań środowiskowych takiego nowego, „lateralnego” zbiornika, istniałoby poważne zagrożenie, że obiekt taki, z uwagi na wymogi obowiązujących od 2007 roku przepisów technicznych, w ogóle nie mógłby powstać na miejscu istniejącego zalewu. Powyższe wynika bezpośrednio z wymogów Rozporządzenia Ministra Środowiska z 20.04.2007 r. *„w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie* (Dz. U. Nr 86 z 16.05.2007, poz. 579), nakazujących rozpatrzenie *„przebiegu i zasięgu fali wezbraniowej, wywołanej zniszczeniem, lub uszkodzeniem budowli”* - zgodnie z § 24.p.2 tego przepisu. W związku *„z zagrożeniem życia”* (w takiej sytuacji) dla mieszkańców Lublina (§ 24.p.3), konieczne byłyby dokonanie *„zabezpieczeń chroniących ludność”*. Wobec oczywistej niemożności wykonania takich zabezpieczeń na znacznym obszarze miasta, respektując wymogi w/w Rozporządzenia, należałoby dokonać przesiedlenia mieszkańców terenów zagrożonych katastrofalnie wielką falą powodziową, hipotetycznie możliwą, w przypadku awaryjnego przerwania takiej (nowej) zapory. Ponieważ ze względów oczywistych, nie jest to obecnie w ogóle możliwe do przeprowadzenia, ani realnie, ani nawet tylko do zaproponowania w odpowiedzialnie wykonanej „koncepcji projektowej”, nowy w istocie zbiornik „powyżej” Lublina (a więc oddzielony od rzeki), praktycznie nie jest dzisiaj możliwy do zrealizowania, **a zatem, sam pomysł „odizolowania zbiornika od rzeki Bystrzycy”, powinien obecnie być, zdaniem autora, całkowicie zaniechany, a najlepiej nawet, zupełnie zapomniany.**

#### **4.5. Usunięcie współczesnych osadów zbiornikowych lub/i usunięcie osadów biogenicznych (Radosław Dobrowolski).**

Z uwagi na specyfikę współczesnej depozycji w płytkich zbiornikach zaporowych, poprawa stanu ekologicznego zbiornika możliwa będzie dopiero po znaczącym ograniczeniu dopływu biogenów z górnej części zlewni Bystrzycy oraz ich resuspensji z osadów. Z litodynamicznego punktu widzenia radykalnym krokiem w tym zakresie, koniecznym lecz jak się wydaje niewystarczającym, powinno być usunięcie osadów biogenicznych, i to zarówno współczesnych osadów zbiornikowych (gytii ilastej i wapiennej), jak i dolinnej serii biogenicznej w podłożu zbiornika (torfów i gytii z przewarstwieniami mineralnymi).

Wiązałoby się to z mechanicznym wybraniem ponad 7 mln m<sup>3</sup> osadów z dna całego akwenu, po wcześniejszym spuszczeniu z niego wody.

Spodziewane efekty w kontekście poprawy stanu ekologicznego zbiornika to:

(1) znaczące, ponad dwukrotne, zwiększenie głębokości i objętości zbiornika, dające szansę na (2) poprawę stratyfikacji termicznej wód (w tym potencjalne obniżenie temperatury wody, również w sezonie letnim), (3) zmniejszenie zasilania wewnętrznego zbiornika w biogeny, a co za tym idzie (4) zmniejszenie ryzyka potencjalnych zakwitów sinicowych wód.

Rozważany hipotetycznie proces usunięcia wyłącznie współczesnych osadów zbiornikowych uznać należy za niewystarczający, a wręcz potencjalnie pogarszający stan ekologiczny zbiornika. Argumenty za taką tezą są następujące: (1) proces mechanicznego usuwania produktów współczesnej depozycji zbiornikowej (niezależnie od zastosowanej metody) spowoduje naruszenie osadów biogenicznych w podłożu zbiornika, przyczyniając się do (2) zdynamizowania procesów eutrofizacji wód, ponadto (3) kubatura zbiornika zwiększy się w stopniu minimalnym, zaś (4) poniesione koszty finansowe będą niewspółmierne do uzyskanych efektów.

**Należy jednak wyraźnie zaznaczyć, że tak radykalne działania związane ze znaczącym pogłębieniem zbiornika musiałyby dokonywać się paralelnie ze zmianą sposobu jego zasilania, ograniczającą dostawę pierwiastków biogenych zarówno w formie mineralnej, jak i organicznej.**

#### **4.6. Budowa upustów dolnych w zaporze czołowej (*Zdzisław Szczepaniak*).**

Spusty denne, jako urządzenia upustowe zbiorników z ziemną zaporą czołową, są generalnie biorąc standardem w programowaniu i projektowaniu budowli wodnych, przy czym obligatoryjna potrzeba wykonania takich spustów wynikała zarówno z przepisów dotyczących obiektów hydrotechnicznych, jakie obowiązywały w trakcie projektowania ZZ na podstawie rozporządzeń z dnia 16.02.1967 r. i później z dnia 28.11.1972 r. - jak też, z obecnych przepisów, obowiązujących od roku 2007 (Rozporządzenie Ministra Środowiska z 20.04.2007 r. "w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne...."). Tak więc, ZZ spusty takie powinien mieć już od samego początku swojego istnienia, a ich faktyczny brak, jest uznawany przez specjalistów, za wyraźny i

zarazem istotny błąd autorskiego - dla tego obiektu - biura projektowego, którym była firma *Hydroprojekt* w Warszawie. Błąd ten eksponowany jest dosłownie we wszystkich pięcioletnich, okresowych „*Ocenach stanu technicznego i bezpieczeństwa*”, zaś praktycznie oznacza on, że ZZ, przy aktualnym stanie urządzeń wodnych, nie może być całkowicie opróżniony w sposób grawitacyjny, przy rzędnych zwierciadła wody w zalewie niższych od rzędnej 175,77 m n.p.m., czyli niższych od poziomu progę jazu (rzędna ta odpowiada dolnemu poziomowi klap, czyli zamknięć stalowych). W konsekwencji, zbiornik posiada stosunkowo dużą pojemność „martwą”, zaś jakiegokolwiek naprawy, czy kontrole stanu i bezpieczeństwa zapory i jazu w dolnych partiach tych urządzeń od strony „odwodnej”, mogły być przez cały okres dotychczasowej pracy zbiornika wykonywane głównie przez ekipy nurków i tylko w ramach podstawowych czynności zapobiegających awarii ZZ. Brak spustów oznacza też gorsze parametry hydrauliczne przy przejściu przez przekrój spiętrzenia wód wielkich, „miarodajnych” dla zbiornika, a przede wszystkim uniemożliwia jednostce eksploatacyjnej zalewu, wykonanie wszystkich robót zalecanych do realizacji w kolejnych „*Ocenach stanu technicznego i bezpieczeństwa*”, w szczególności zaś niezbędnych prac naprawczych w stanowisku „górnym” (dotyczy doszczelnienia zapory i przebudowy umocnień skarpowych, - robót zmierzających do ograniczenia nadmiernych przesiąków „przez” i „pod” zaporą oraz do likwidacji występujących na zaporze ziemnej tzw. „uprzywilejowanych dróg filtracji”, itd.

Występujący obecnie na ZZ brak spustów dennych jest więc wysoce niekorzystny dla obiektu hydrotechnicznego wysokiej, II klasy technicznej, stwarzając na kierunku rzeki Bystrzycy istotne umniejszenie wymaganego poziomu bezpieczeństwa dla mieszkańców miasta. Dobudowanie obecnie spustów w zaporze czołowej, oznaczałoby natomiast naprawienie pierwotnego błędu projektowego i wyraźnie podniosłoby standard bezpieczeństwa poważnego obiektu hydrotechnicznego, a co jest szczególnie ważne, obiektu położonego w warunkach Polski w sposób wyjątkowy i zdecydowanie niekorzystny, konkretnie zaś, tuż „powyżej” dużej aglomeracji miejskiej. **Dobudowanie spustów z różnych powodów hydrotechnicznych może się odbyć wyłącznie przy założeniu wcześniejszego całkowitego, lub prawie całkowitego opróżnienia akwenu z wody**, przy czym, ze względu na swoją częściową grawitacyjną „niespuszczalność” (pojemności „martwej”), konieczne byłoby wyprzedzające wykonanie na rzece tymczasowego kanału „lateralnego”, czyli według słownictwa zawodowego: tzw. „obwodnicy”.

Realizacja spustów dennych musiałaby być prowadzona w sposób zapewniający stałe doprowadzenie wody do *Elektrociepłowni Lublin Wrotków*, zgodnie z jej ważnymi potrzebami w zakresie poboru wód do celów chłodniczych i stosownie do posiadanego przez ten zakład pozwolenia wodnoprawnego. Po spuszczeniu pojemności „martwej”, lub znacznej jej części, możliwe byłoby też wykonanie na zaporze czołowej „przepławki” dla ryb, wymaganej przez obowiązujące dla ZZ pozwolenie wodnoprawne i także zdecydowane, odpowiednie do potrzeb, a zarazem skuteczne odmulenie akwenu, czy też nawet utworzenie w jego toni optymalnych głębokości, (co także nie zostało zrealizowane na podstawie projektu pierwotnego). Wydaje się też, że przy okazji można by wrócić do realizacji toru wyścigów żeglarskich, czy też kajakarstwa nizinnego, pomysłu umieszczonego w koncepcji i częściowo też w samym projekcie realizacyjnym zbiornika (chodziło wówczas o tor sportowy głębokości minimum 2,0 m, na całej jego długości: od istniejącej jeszcze dziś konstrukcji nabrzeża startowego po stronie Dąbrowy, do mety, zlokalizowanej w pobliżu zapory).

#### **4.7. Mechaniczne mieszanie wody** (*Barbara Pawlik-Skowrońska*).

Celem metody byłoby ograniczenie rozwoju sinic i tworzenia powierzchniowych kożuchów na korzyść innych grup fitoplanktonu. Koszty instalacji odpowiednich urządzeń napowietrzających głębsze warstwy wody są wysokie (400-5000 USD/ha rocznie). Metoda ta stosowana zarówno w głębokich jak i płytkich zbiornikach nie przynosiła jednoznacznie pozytywnych efektów. Czasem może dochodzić do nasilenia sinicowych zakwitów (w 50 % przypadków), co ma związek z uwarunkowaniami lokalnymi i ekologicznymi wymaganiami różnych gatunków sinic (Visser i in. 1996). Metoda wymaga długotrwałych badań na konkretnym zbiorniku, gdyż istotne jest dopracowanie tempa mieszania. Poza tym brak danych dotyczących odporności na mieszanie poszczególnych gatunków rozwijających się w ZZ. Zabieg mieszania o odpowiednim tempie musi być stale stosowany, w innym wypadku dochodzi do nawrotów silnych zakwitów. Niekorzystnymi efektami metody jest resuspensja osadów i przenoszenie biogenów z osadów do toni wodnej, zmniejszenie przejrzystości wody, zmiany w pH i hipersaturacja gazami, głównie N<sub>2</sub>, może być niebezpieczny dla ichtiofauny. Aeratory ustawione w zatokach przy kąpieliskach mogą stanowić utrudnienia w rekreacyjnym korzystaniu z akwenu.



#### 4.8. Inaktywacja związków biogennych w toni wodnej i osadach dennych

(Wojciech Pęczuła).

Technika ta polega na dodaniu do Zbiornika Zembrzyckiego koagulantów, których zadaniem jest:

- a) **związanie fosforu obecnego w wodzie;**
- b) **przeciwdziałanie procesowi wydzielania fosforu z osadów dennych.**

Koagulanty, po dodaniu do wody wytrąca zawieszynę, w trakcie czego nastąpi związanie fosforu występującego w toni wodnej i jego przejście w formę niedostępną dla fitoplanktonu. Przy okazji niektóre koagulanty zwiążą drobne cząstki glonów i sinic planktonowych, co spowoduje ich sedimentację i przejście do osadów dennych. Zawiesina opadająca na dno zbiornika nie tylko oczyszcza tonię wodną z fosforu i fitoplanktonu, ale też zwiększa zdolność wiązania fosforu przez osady denne.

Jako koagulanty używane się różne substancje, w tym: związki glinu, żelaza i wapnia lub ich kombinacje oraz różnego rodzaju gliny/iły – w czystej postaci lub zmodyfikowane.

Najczęściej stosowanym związkiem z tej grupy jest **siarczan glinu**  $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 14 \text{H}_2\text{O}]$ . Po dodaniu go do zbiornika wodnego następuje szybkie wytrącanie się dużych cząstek wodorotlenku glinu, które opadają na dno zbiornika. Następuje bezpośrednie wiązanie fosforanów z glinem lub jego adsorpcja na wytrąconym wodorotlenku glinu. Dodatkowym efektem jest wytrącanie wraz osadem drobnych cząstek, co powoduje obniżenie zawartości fosforu ogólnego (także tego w formie partykularnej, a więc zawartej w komórkach glonów, bakterii). Zaletą stosowania tego związku jest fakt, że glin jest pierwiastkiem powszechnie występującym na Ziemi, więc jego dodanie do zbiornika nie zmienia zazwyczaj składu chemicznego wody. Wytrącony wodorotlenek glinu nie rozpuszcza się nawet w warunkach beztlenowych, nie ma więc obawy ponownego powrotu fosforu z osadów do toni wodnej w przypadku wystąpienia braku tlenu.

Z danych literaturowych wynika, że pozytywne efekty (spadek koncentracji fosforu, wzrost przejrzystości wody, odbudowa makrofitów, spadek ilości fitoplanktonu) utrzymuje się, w zależności od zastosowanej dawki (1,2 - 8,6 mg Al dm<sup>-3</sup> wody lub 18 g Al m<sup>-2</sup> osadów) najczęściej **od kilku miesięcy do kilku lat**, w jednym przypadku kilkanaście lat.

Mechanizm działania związków żelaza (**chlerek żelaza** [FeCl<sub>3</sub>] lub **siarczan żelaza** [Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>]) jest podobny do glinu. Niestety stabilność połączenia żelaza z fosforem jest zależna od potencjału oksydoredukcyjnego i w związku z tym, przy deficytach tlenowych (<1 mg O<sub>2</sub> x dm<sup>-3</sup>) dochodzi do ponownego wydzielania fosforu z kompleksu Fe-P. Wytrączony osad nie ma możliwości adsorpcji cząstek i komórek glonów – tak jak dzieje się to w przypadku związków glinu. Pozytywne efekty w postaci zmniejszenia ilości wydzielanego fosforu utrzymywały się po zastosowaniu tego zabiegu **kilka miesięcy**.

Kolejną grupą substancji są związki wapnia. Używa się tutaj dwóch soli wapniowych: **wodorotlenku wapnia** (wapno, Ca(OH)<sub>2</sub>) lub **węglanu wapnia** (kalcyt, CaCO<sub>3</sub>). Zaletami stosowania soli wapnia są: niski koszt oraz bezpieczeństwo dla organizmów wodnych. Węglan wapnia wiąże fosfor najsilniej przy wysokim odczynie wody (pH >9.0) adsorbując go na swojej powierzchni. W przypadku użycia wapna fosfor jest wiązany chemicznie w tworzące się kryształy hydroksyapatytu (Ca<sub>10</sub> (PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>(OH)<sub>2</sub>). Hydroksyapatyt jest nierozpuszczalny dopóki odczyn wody jest wysoki. W jeziorach gdzie zastosowano tą metodę, jej pozytywne efekty zauważalne były kilkanaście miesięcy.

Do wiązania fosforu jak i bezpośredniego wytrącania komórek glonów stosuje się także **naturalne lub modyfikowane materiały ilaste**. Przykładem modyfikowanej glinki jest preparat „Phoslock”. Został on wyprodukowany w Australii przez narodową agencję badawczą CSIRO w ramach projektu, którego celem było znalezienie nowych technik ograniczania wewnętrznego wydzielania fosforu w dwóch rzekach Australii. Surowcem wyjściowym preparatu jest minerał ilasty – bentonit, w którym, w wyniku reakcji z chlorkiem lantanu, sód zostaje zastąpiony przez lantan. Efektem zastosowania tego preparatu jest zazwyczaj znaczna redukcja wydzielania fosforu z osadów dennych. Ze względu na stosunkowo niedawne początki jego zastosowania brak jest danych na temat długoterminowych efektów działania.

**Przykłady literaturowe wskazują, że w/w metody były stosowane z różnymi skutkami głównie w jeziorach bezodpływowych. W przypadku jezior zasilanych ciekami wodnymi efekty były bardzo krótkotrwałe ze względu na dopływ nowej puli fosforu.**

#### **4.9. Biomanipulacja (Wojciech Pęczuła).**

Biomanipulacja jako metoda ograniczenia zakwitów sinic chociaż jest stosowana od nie więcej niż 30 lat, jest dobrze udokumentowana w literaturze naukowej. Teoretyczne podstawy biomanipulacji oparte są m.in. na koncepcji „kaskad troficznych” z lat 80 XX w., chociaż pierwsze opublikowane obserwacje na temat wpływu ryb drapieżnych na fitoplankton pochodzą z już lat 40 XX w. Według koncepcji kaskad troficznych zmiana na jednym poziomie sieci troficznej wywołuje zmianę na innym poziomie, przenosząc się następnie na inny poziom (efekt kaskadowy). Biomanipulacja ma na celu redukcję presji ryb na zooplankton skorupiakowy, odżywiający się fitoplanktonem. **Można to osiągnąć poprzez zarybienie zbiornika drapieżnymi rybami (ang.: piscivores fish stocking) i/lub odłów ryb planktonożernych (ang: planktivorous fish removal) co daje zazwyczaj wzrost liczebności populacji dużych skorupiaków planktonowych (np. z rodzaju *Daphnia*).** Te zooplanktonowe organizmy żywiąc się w drodze filtracji glonami planktonowymi mogą efektywnie ograniczyć populację fitoplanktonu, co zazwyczaj jest celem przeprowadzonej biomanipulacji. **Innym przykładem manipulacji w sieci troficznej jest odłów ryb bentosożernych (ang. *benthivorous fish removal*).** Ryby te żerując w dnie zbiorników wodnych przyczyniają się do zwiększenia resuspensji osadów dennych, a to umożliwia powrót do toni wodnej zarówno fosforu jak i komórek sinic zalegającym w osadach. Dodatkowo, stadia młodociane tych ryb odżywiają się skorupiakami planktonowymi. Redukcja - często całkowita - populacji ryb bentosożernych sprzyjać więc powinna ograniczaniu biomasy fitoplanktonu.

Bardzo ważnym mechanizmem działającym w efekcie przeprowadzenia biomanipulacji w płytkim jeziorach jest odbudowa zespołu makrofitów. Uważa się, że tak jak w okresie wiosennym największe znaczenie w ograniczaniu biomasy glonów mają skorupiaki planktonowe, to latem rolę tę „przejmują” makrofity, które równie efektywnie mogą kontrolować ich rozwój.

Biomanipulacja jest uważana za efektywny sposób rekultywacji jezior. Pod koniec lat 90 oceniano, że 60 % opisanych w publikacjach naukowych przypadków biomanipulacji zakończyło się sukcesem a tylko 15% porażką. Jak każda metoda, ma jednak swoje ograniczenia i słabości. Zastosowanie tej metody rekultywacji wymaga przede wszystkim dobrego rozpoznania sieci troficznych w danym jeziorze oraz zaangażowania w przedsięwzięcie wysokiej klasy specjalistów z dziedziny hydrobiologii. Ze względu na konieczność kontrolowania całej populacji ryb, sens stosowania biomanipulacji ogranicza się do zbiorników niewielkich. Uważa się ponadto, że biomanipulacja ma szanse powodzenia

tylko w zbiornikach płytkich, nie stratyfikowanych, ze względu na to, że dużą rolę w końcowym sukcesie rekultywacji ma odnowa populacji makrofitów, które stabilizują stan czystej wody. Biomanipulacja nie udaje się też w zbiornikach silnie przeżyźnionych - o koncentracji fosforu ogólnego przekraczającej  $100 \mu\text{g} \times \text{dm}^{-3}$ .

**Po kilkunastu latach obserwacji efektów biomanipulacji okazało się, że w większości przypadków metoda ta nie przynosi długotrwałych efektów: po ok. 10 latach większość jezior powraca do stanu dominacji fitoplanktonu. Potrzebne jest więc ponowne przeprowadzenie zabiegów.**

#### **4.10. Inne zabiegi z zakresu fizycznej, chemicznej i biologicznej kontroli fitoplanktonu (Wojciech Pęczuła).**

##### **4.10.1. Stosowanie ultradźwięków.**

Użycie ultradźwięków powoduje zniszczenie wakuol gazowych (drobnych pęcherzyków) w komórkach sinic, przez co tracą one swoją dodatnią pływalność i opadają na dno zbiornika. Dodatkowymi mechanizmami ujemnie wpływającymi na sinice może być uszkodzenie ich aparatu fotosyntetycznego oraz zwiększenie podatności na rozkład przez bakterie z rodzaju *Myxobacter*. Istnieje kilka doniesień na temat skutecznego usuwania sinic z kolumny wody za pomocą ultradźwięków ale w warunkach laboratoryjnych. W terenie stosowano tę metodę m.in. w hipertroficznym jeziorze Senba w Japonii jako jeden z zabiegów rekultywacyjnych (obok przepłukiwania zbiornika, natleniania oraz mieszania). Zabiegi stosowano w sposób ciągły przez dwa lata dzięki czemu uzyskano poprawę podstawowych parametrów wody. Brak danych na temat stanu zbiornika po zakończeniu zabiegów, jednak należy spodziewać się, że efekty były krótkotrwałe (Lee i in. 2002). Ponadto nieznanym jest wpływ na inne biocenozy wodne. Tak jak większość metod stosowanych doraźnie nie likwiduje ona przyczyn nadmiernego rozwoju sinic.

##### **4.10.2. Algicydy, w tym słoła jęczmienna.**

Algicydy to związki chemiczne, które są stosowane w celu zabicia komórek glonów bądź zahamowania ich rozwoju. Najczęściej stosowanym związkiem chemicznym jest siarczan

miedzi  $[CuSO_4 \times 5H_2O]$ . Używanie algicydów bezpośrednio w ekosystemach wodnych ma jednak więcej wad niż zalet. Najważniejszym problemem może być nieselektywne działanie związków chemicznych: mogą one wpłynąć negatywnie nie tylko na sinice, ale też na inne organizmy wodne. Zabijanie dużej biomasy sinic w krótkim czasie może ponadto spowodować intensywne uwalnianie toksyn (w przypadku gatunków toksycznych) oraz gromadzenie się dużych ilości materii organicznej w osadach, co wpływa negatywnie na warunki tlenowe w wodzie lub osadach (a to w konsekwencji sprzyja zwiększonemu zasilaniu wewnętrznemu fosforu oraz może powodować śnięcie ryb). Efekt stosowania algicydów jest także bardzo ograniczony w czasie: mają one wpływ na sinice tylko wtedy gdy znajdują się w wodzie w odpowiednim stężeniu. Gdy ich stężenie spadnie (w wyniku rozcieńczenia lub rozkładu) sinice znów mogą rozwijać się swobodnie. Stosowanie algicydów może też być bardzo kosztowne, ze względu na potrzebę ciągłego ich dawkowania (Cooke i in. 2005, Pęczuła 2012).

Słoma jęczmienna jako materiał używany do ograniczania nadmiernego rozwoju glonów planktonowych nie jest sama w sobie algicydem – działanie hamujące na rozwój glonów uzyskuje się poprzez powolny rozkład materiału w wodzie. Mechanizm hamowania rozwoju fitoplanktonu nie jest jednak wciąż dobrze rozpoznany. Przypuszcza się, że proces ten jest związany z zachodzącą w wodzie dekompozycją materiału organicznego: rozwijające się na substracie mikroorganizmy (bakterie, pierwotniaki i grzyby) rozkładają - w warunkach tlenowych - budulcowe związki organiczne zawarte w tkankach roślinnych (celuloza, lignina). Efektem procesu rozkładu jest produkcja szeregu związków organicznych (głównie związki fenolowe) o różnej budowie, które wykazują działanie inhibitujące na fitoplankton. Dodatkowo, uwolnione związki ulegając fotooksydacji prowadzą do wydzielania nadtlenu wodoru, które ma działanie glonobójcze. Ograniczanie zakwitów sinic poprzez eksponowanie rozkładającej się słomy jęczmiennej wydaje się środkiem tanim i bezpiecznym ekologicznie, niemniej jego skuteczność stoi pod znakiem zapytania. Obecnie nadal nie ma ewidentnych przykładów skutecznego zastosowania słomy jęczmiennej w skali całego akwenu w dużych przeżyźnionych zbiornikach wodnych. Ponadto metoda ta nie likwiduje przyczyn zakwitów.

#### **4.10.3. Wspomaganie odbudowy makrofitów**

Makrofity zanurzone ograniczają rozwój fitoplanktonu poprzez: konkurencję o związki biogenne i światło, stabilizację osadów dennych i ograniczanie resuspensji, tworzenie kryjówek dla zooplanktonu oraz poprzez wydzielanie związków chemicznych hamujących rozwój glonów. Glony peryfitonowe rozwijające się na roślinach pobierają duże ilości fosforu, ograniczając jego dostępność dla fitoplanktonu. Wspomaganie odnowy makrofitów może odbywać się bezpośrednio (sadzenie roślin) lub pośrednio, poprzez dodatkowe zabiegi poprawiające warunki do ich samoistnej odnowy. Czynniki sprzyjające odnowie roślin i zabiegi, które mogą je poprawić to: poprawa warunków świetlnych (obniżenie mętności wody poprzez wytrącanie zawiesiny lub obniżenie poziomu wody), zmniejszenie falowania (tworzenie mechanicznych barier), stabilizacja osadów dennych (układanie nylonowych siatek na dnie), mała obsada ryb i ptactwa, które niszczą rośliny (redukcja ryb). Odbudowywanie populacji makrofitów zanurzonych w Zalewie Zemborzyckim może być metodą wspomagającą inne zabiegi rekultywacyjne i powinno się ją stosować razem z biomanipulacją, ale tylko po zlikwidowaniu lub ograniczeniu głównej przyczyny degradacji zbiornika jakim jest nadmierna ilość związków biogenych.

#### **4.10.4. Stosowanie tzw. "efektywnych mikroorganizmów".**

Jedną z silnie promowanych w ostatnich latach metod ograniczania zakwitów sinic jest stosowanie tzw. "efektywnych mikroorganizmów" (ang. *effective microorganisms*, w skrócie: EM) w postaci wysuszonych kulek z osadu dennego zawierających zespół mikroorganizmów (Zakaria i in. 2010). Idea ich stosowania polega na koncepcji wypierania konkurencyjnego sinic poprzez aktywność zespołu mikroorganizmów obecnych w preparacie (konkurencja o związki biogenne). Jego producenci twierdzą, że zawiera on ponad 80 gatunków bakterii fotosyntetyzujących, bakterii kwasu mlekowego (*Lactobacillus* ssp. i *Lactococcus* ssp.), promieniowców, drożdży i innych grzybów (Higa 1998). Jednak niezależne badania, w tym badania molekularne przy użyciu techniki elektroforezy żelowej z PCR, pokazały, że mieszanka ta zawiera głównie bakterie kwasu mlekowego oraz drożdże z rodzajów *Sacharomycetes* i *Candida*, podczas gdy obecność innych mikroorganizmów jest znikoma lub są zupełnie nieobecne (Van Vliet i in. 2006, Lurling i in. 2015).

Istnieje niewiele badań naukowych na temat wpływu EM na ekosystemy wodne, większość informacji pochodzi natomiast ze stron internetowych, które nie przedstawiają

naukowych (eksperymentalnych) dowodów. Niektóre publikacje na ten temat dowodzące skuteczności EM cierpią na braki metodyczne, np. brak zbiorników kontrolnych lub pobór prób tylko w sezonie zimowym i wiosennym (m.in. Joo i Foldenyi 2012, Józwiakowski i in. 2009). Co więcej, w jednym z eksperymentów terenowych, po dodaniu EM do stawu ogrodowego zanotowano wzrost koncentracji fosforanów i spadek przezroczystości wody (Padisak i in. 2014). Kontrolowane badania laboratoryjne pokazały również brak efektywności EM w ograniczaniu rozwoju sinic, co więcej w niektórych przypadkach notowano wzrost koncentracji związków biogenych, spadek natlenienia oraz uwalnianie metali ciężkich (glinu, kadmu, miedzi, lantanu i ołowiu)(Lurling i in. 2009, 2010). Władze holenderskie zakazały stosowania EM przy rekultywacji Almere-Haven ze względu na zawartość w preparacie rtęci i związków biogenych (Lurling i in. 2015).

Teza, że "EM utrzymują niski poziom związków biogenych dzięki czemu ograniczają rozwój sinic" w zbiornikach wodnych **nie jest poparta naukowymi dowodami**. Co więcej kontrolowane eksperymenty laboratoryjne pokazały wprost, że EM nie są w stanie ograniczać rozwoju sinic.

#### 4.10.5. Podsumowanie

Podsumowując należy stwierdzić, że przedstawione w Rozdziale 4.10. metody mogą mieć zastosowanie tylko jako środki doraźne (w przypadku ultradźwięków oraz algicydów) albo wspomagające (w przypadku odbudowy makrofitów) lub też, że nie ma naukowych podstaw do ich zastosowania (w przypadku EM). Metody te nie likwidują głównej przyczyny złego stanu zbiornika jakim jest nadmierna ilość związków biogenych. Ponadto niektóre metody niosą trudne do oszacowania niebezpieczeństwo ujemnego wpływu na biocenozy wodne ZZ .

#### 4.11. Okresowa wymiana wody w zbiorniku (Zdzisław Szczepaniak).

Po realizacji spustów dennych na ZZ, zaistnieje możliwość dokonywania w nim okresowej wymiany wody, konkretnie zaś, spuszczenia do dolnego stanowiska większości z wód, magazynowanych w warstwie retencyjnej, nazywanej „pojemnością martwą”. Obecnie można zakładać, że wymiana taka była by przeprowadzana w każdym przypadku

uzasadnionym technicznie, mającym swoje odzwierciedlenie w zapisach instrukcji eksploatacji i utrzymania, lub instrukcji gospodarowania wodą ZZ, w szczególności też dla przeprowadzenia miejscowych, lub lokalnych napraw w strefach zbiornika obecnie stale zalanych wodą, także ze względów sanitarnych, lub innych oraz rutynowo, jakkolwiek nie obligatoryjnie, na przykład w cyklu co 10 lat.

#### **4.12. Zbiorcza ocena propozycji działań naprawczych w Zalewie**

##### **Zemborzyckim.**

Zestawienie opisanych wyżej działań wraz z ekspercką oceną specjalistów z różnych dziedzin zawierającą przewidywane efekty pozytywne i skutki negatywne przedstawiono w

**Tabeli 6.**



## 5. PROPONOWANE SCENARIUSZE DZIAŁAŃ.

### 5.1. Ocena efektów pozytywnych i skutków negatywnych scenariuszy działań naprawczych (*Radosław Dobrowolski, Zdzisław Michalczyk, Barbara Pawlik-Skowrońska, Wojciech Pęczuła, Zdzisław Szczepaniak*).

Ocena ekspercka zaproponowanych przez Zamawiającego scenariuszy działań została przedstawiona w **Tabeli 7**. Zawiera ona ocenę skutków pozytywnych i negatywnych, szacowany czas i koszt realizacji każdej strategii oraz prawdopodobieństwo uzyskania zamierzonych efektów pozytywnych. Dodatkowo w **Tabeli 7** znalazły się propozycje innych strategii, które mogłyby przyczynić się do poprawy stanu ekologicznego Zalewu Zemborzyckiego.

### 5.2. Perspektywiczna ocena możliwości poprawy stanu ekologicznego Zalewu Zemborzyckiego w kontekście ograniczenia ładunku związków fosforu (*Wojciech Pęczuła*).

#### 5.2.1. Ocena łącznego ładunku fosforu całkowitego (TP) do Zalewu Zemborzyckiego.

Na podstawie przedstawionych w opracowaniu danych innych współautorów (Rozdział 4.) można podjąć próbę oszacowania łącznego ładunku fosforu (P) dostającego się do ZZ w ciągu roku a tym samym znormalizowanego obciążenia tym pierwiastkiem ekosystemu zbiornika.

Należy zaznaczyć że są to **dane szacunkowe** obarczone przy obliczeniach błędami wynikającymi z braku następujących danych:

- nieznane realne tempo wydzielania fosforu z osadów dennych (dostępne dane mówią tylko o potencjalnym wydzielaniu mineralnego fosforu rozpuszczonego w warunkach beztlenowych);
- nieznana realna częstotliwość zrzutów zanieczyszczonych wód z przepompowni;
- nieznana realna dawka zanęt używanych przez wędkarzy.

Należy ponadto przyjąć, że ze względu na to, iż wyliczenia dotyczące poszczególnych ładunków fosforu zostały przedstawione **jako minimalne**, ocena ogólnego ładunku tego

pierwiastka do ZZ jest zaniżona i prawdopodobnie jest on wyższy. Oprócz wymienionych wyżej czynników na zniżenie szacunkowych wartości wpływ mają takie czynniki jak: zmienność przepływu rzeki Bystrzycy, różne poziomy piętrzenia ZZ oraz fluktuacje meteorologiczne związane ze zmianami klimatu.

**Wyniki obliczeń przedstawione są w Tabeli 8. i na Ryc. 6. Pokazują one, że aktualnie dwiema głównymi składowymi wpływającymi na wielkość ładunku TP ( $40\ 022\ \text{kg rok}^{-1}$ ) są: wody rzeki Bystrzycy oraz osady dennne.**

Biorąc pod uwagę realne możliwości działań podejmowanych przez Gminę Lublin można oszacować także **szanse na zredukowanie ładunku fosforu dostającego się do ZZ.**

Przyjęto następujące założenia:

- budowa zbiornika wstępnego o średniorocznej efektywności redukcji TP ok. 50%;
- całkowite usunięcie punktowych źródeł w postaci wód z przepompowni;
- wprowadzenie ograniczeń przy zanęcaniu co umożliwi ok. 50 % redukcję ładunku P;
- całkowite wybranie osadów dennnych (współczesnych i dolinnych); ze względu na bardzo szybkie tempo narastania osadów ( $1\ \text{cm rok}^{-1}$ ) przyjęto że w kilka lat po zabiegu wydzielanie fosforu z nowopowstałych osadów dennnych będzie na poziomie 10 % obecnego.

Wyniki w.w. obliczeń szacunkowych przedstawia **Ryc. 7. Pokazuje on, że przy wykonaniu ww. zabiegów naprawczych istnieje szansa na redukcję rocznego ładunku fosforu ogólnego (TP) z poziomu ok. 40 t rok<sup>-1</sup> do poziomu ok. 10 t rok<sup>-1</sup>.**

Żeby ocenić, czy tego typu redukcja przyczyni się do znacznej poprawy stanu ekologicznego należy odnieść tą wartość do spodziewanych parametrów wody, które będą stanowić odpowiedź ekosystemu na dany ładunek fosforu ogólnego.

W latach 70 XX w. Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD) pod kierownictwem R. Vollenweidera przeprowadziła pięcioletnie badania nad wpływem ładunku związków biogennych (P i N) a ilością fitoplanktonu w zbiornikach wodnych. W kosztujących 50 mln USD badaniach uwzględniono dane z 200 jezior strefy umiarkowanej (Europa, Ameryka PN i Azja). Wynikiem tych prac są powszechnie przyjmowane tzw. „**model eutrofizacji Vollenweidera i OECD**”. Były one następnie empirycznie weryfikowane przez różnych badaczy na coraz większej grupie jezior (Jones i Lee 1982, 1986, 1988). Efektem tych prac jest m.in. wzór na **znormalizowany roczny ładunek fosforu [L(P)] pozwalający z dużym prawdopodobieństwem przewidzieć w jaki sposób ładunek fosforu dostarczony do jeziora da efekt w postaci rozwoju biomasy fitoplanktonu.**

Na podstawie obliczonych wyżej ładunków i obciążeń, obliczono więc znormalizowany roczny ładunek P dla Zalewu Zemborzyckiego według wzorów zaproponowanych przez Jonesa i Lee (1986), uwzględniających: roczne powierzchniowe obciążenie ZZ w fosfor, jego średnią głębokość oraz średni czas retencji wody. Dla Zalewu Zemborzyckiego szacowana wartość tego parametru wynosi obecnie **345,9 mg m<sup>-3</sup>** natomiast szacowana prawdopodobna wartość po zabiegach rekultywacyjnych i redukcji ładunku wyniesie **92,3 mg m<sup>-3</sup>**.

**Rycina 8.** przedstawia zależność pomiędzy znormalizowanym rocznym ładunkiem TP a spodziewaną koncentracją chlorofilu-*a* w wodzie (który mówi o ilości fitoplanktonu w wodzie latem). Zależność ta została opracowana na podstawie badań 750 zbiorników wodnych w różnych częściach świata (Jones i Lee 1986). Odniesienie ładunku fosforu ogólnego (spodziewanego po zabiegach naprawczych) do odpowiadających im wartości koncentracji chlorofilu-*a* wskazuje, że **istnieje niebezpieczeństwo uzyskania parametrów wody nie lepszych niż występujące w jeziorach o zaawansowanej eutrofii** (TSI ~70, koncentracja TP w wodzie ~90 µg dm<sup>-3</sup>, koncentracja chlorofilu-*a* ~50-60 µg dm<sup>-3</sup>, co odpowiada przejrzystości wody ~1 m, Carlson 1977). Należy zaznaczyć, że w założeniach wszystkich przedstawianych obliczeń przyjęto, że aktualne wartości ładunku TP są zaniżone, stąd istnieje duże prawdopodobieństwo uzyskania tylko niewielkiej poprawy jakości wody.

### **5.2.2. Wnioski dotyczące perspektyw poprawy jakości wody w Zalewie Zemborzyckim w kontekście ładunku fosforu ogólnego.**

1. Przeprowadzenie działań rekultywacyjnych polegających na budowie zbiornika wstępnego, usunięciu osadów dennych, likwidacji zrzutów z przepompowni oraz wprowadzeniu zakazu zanęcania przez wędkarzy może **przynieść efekt w postaci niewielkiej poprawy jakości wody do parametrów typowych dla jeziora o zaawansowanej eutrofii**. Efektem tego będzie **wyłącznie obniżenie ryzyka występowania intensywnych sinicowych zakwitów wody**. Istnieje prawdopodobieństwo, że zakwity wody będą nadal występować, choć z mniejszą intensywnością.

2. Uzyskanie parametrów wody typowych dla jeziora eutroficznego ale z niskim ryzykiem zakwitów wody i stosunkowo dobrą dla rekreacji czystością wody (TSI ~ 50,

chlorofil-a  $\sim 10 \mu\text{g dm}^{-3}$ , przejrzystość  $\sim 2 \text{ m}$ ) wymagałoby dalszej redukcji znormalizowanego ładunku fosforu **do poziomu  $10\text{-}40 \text{ mg m}^{-3}$** . Możliwe to jest wyłącznie poprzez zmniejszenie ładunku TP dochodzącego do (hipotetycznego) zbiornika wstępnego powyżej ZZ o co najmniej połowę. **Podsumowując, łączna redukcja ładunku TP wymagana do znacznej poprawy jakości wody w ZZ powinna wynieść nie mniej niż 90% (z aktualnego  $345,9 \text{ mg m}^{-3}$  do pożądanego poziomu  $10\text{-}40 \text{ mg m}^{-3}$ ).**

**6. WNIOSKI** (*Radosław Dobrowolski, Zdzisław Michalczyk, Barbara Pawlik-Skowrońska, Wojciech Pęczyła, Zdzisław Szczepaniak*).

**6.1. Diagnoza aktualnego stanu ekologicznego Zalewu Zemborzyckiego i jego przyczyny.**

1. Aktualny stan ekologiczny ZZ wskazuje na **znaczną degradację ekosystemu wodnego**, którego najistotniejszymi objawami jest zły stan wszystkich biocenoz wodnych oraz uporczywe sinicowe zakwity wody. Efektem tego stanu jest istotne ograniczenie jednej z jego podstawowych funkcji jakim jest użytkowanie rekreacyjne. Z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że stan ten nie ulegnie samoistnej poprawie, co więcej, będzie ulegał dalszemu pogorszeniu.

2. Zły stan ekologiczny ZZ **jest efektem wielu, zróżnicowanych co do rangi i znaczenia, czynników.**

3. Dominującą negatywną rolę odgrywa **nadmierna koncentracja związków biogennych (fosforu i azotu) w wodzie ZZ**. Wynika to z: (a) stałej dostawy tych związków do relatywnie płytkiego zbiornika wraz z wodami Bystrzycy (w formie rozpuszczonej i w zawiesinie); (b) ich trwałej akumulacji w dnie akwenu (we współczesnych osadach limnicznych) oraz (c) innych źródeł (przepompownie przy zachodnim i wschodnim brzegu zbiornika oraz użytkowanie wędkarskie).

4. Niezależnym, drugim co do znaczenia czynnikiem jest **nieodpowiednia struktura ichtiofauny**, która jest konsekwencją nieracjonalnej i nieprzyjaznej dla ekosystemu gospodarki rybacko-wędkarskiej, zwłaszcza w okresie od powstania zbiornika do początków XXI w. Czynnikiem ten przyspieszył i ułatwił degradację ekosystemu, który znajdował się pod bardzo dużą presją nadmiernej dostawy związków biogennych.

5. **Dodatkowymi czynnikami**, które przy tak dużym obciążeniu związkami biogennymi miały także wpływ na szybką degradację ekosystemu były i są: zbyt mała głębokość zbiornika, co wywołuje zjawisko nadmiernej resuspensji, okresowo zbyt długi czas wymiany wody oraz nagrzewanie się wód zbiornika.

## 6. 2. Działania naprawcze.

Zasadniczym celem działań naprawczych niezależnie od przyjętych rozwiązań, powinno być zarówno radykalne ograniczenie dostawy związków fosforu i azotu do Zalewu Zemborzycznego, jak również takie ukształtowanie ekosystemu które umożliwi jego stabilne funkcjonowanie w przyszłości.

Analiza możliwości podjęcia działań naprawczych, związanych z poprawą stanu wód ZZ skłania do następujących wniosków:

1. Nie ma jednej, uniwersalnej metody, której zastosowanie prowadziłyby do szybkiej i długotrwałej poprawy stanu ekologicznego ZZ;

2. Każde z proponowanych jednostkowych działań naprawczych (patrz Rozdział 4) wymaga relatywnie dużych nakładów finansowych. Poza spodziewanymi pozytywnymi efektami może przyczynić się do czasowego pogorszenia jakości wody lub całkowitej przebudowy dotychczasowego ekosystemu;

3. Skuteczność działań zmierzających do długotrwałej poprawy stanu ekologicznego ZZ możliwa będzie jedynie przy zastosowaniu **podejścia kompleksowego**, wykorzystującego **obligatoryjnie** kilka zadań naprawczych **realizowanych równolegle** (patrz scenariusze działań - Rozdział 5);

4. **Spośród zaproponowanych scenariuszy najbardziej skutecznym, uwzględniającym możliwości techniczne i ograniczenia formalno-prawne, wydaje się przyjęcie następującego pakietu działań naprawczych:**

**A - Budowę wstępnego zbiornika retencyjnego powyżej ZZ, spełniającego funkcję swoistego biofiltra dla obciążonych nadmiernym ładunkiem fosforu i azotu wód Bystrzycy połączone ze znalezieniem rozwiązania hydrotechnicznego, które ograniczy przynajmniej o 90% ogólną dostawę związków biogenych i zawiesiny do ZZ;**

**B - Wybranie osadów dennych (wskazane jest całkowite usunięcie osadów biogenicznych - współczesnych gyttii oraz kopalnych torfów) na wyłączonym z użytkowania ZZ;**

**C - Wybudowanie kolektora lub zbiornika akumulującego, przejmującego bogate w związki biogenne wody ze spływu powierzchniowego z terenów przylegających do ZZ i wyprowadzającego je poniżej zbiornika;**

**D - Poprawa gospodarki wodno-ściekowej wokół ZZ.**

**5. Uzyskanie długotrwałych pozytywnych efektów zastosowania w/w działań naprawczych wymagać będzie następująco:**

E - wspomaganie odbudowy biocenoz wodnych w tym makrofitów oraz kształtowania racjonalnej gospodarki wędkarskiej w ZZ;

F - stałego monitorowania i kontrolowania stanu ekologicznego ZZ, zwłaszcza z uwzględnieniem tych zjawisk i procesów, które przyczyniły się do degradacji jego ekosystemu;

G - prowadzenia działań edukacyjnych w zakresie przyczyn i konsekwencji powstawania sinicowych zakwitów wody.

**6. Należy wyraźnie zaznaczyć, że istnieją czynniki niezależne od działalności człowieka, na które instytucje odpowiedzialne za jakość wód ZZ nie mają wpływu, a które oddziałują na jego stan ekologiczny niekorzystnie, jako czynniki dodatkowe. Są to m.in.: budowa geologiczna i geomorfologiczna zlewni zbiornika, ustrój hydrologiczny rzeki Bystrzycy, naturalna wysoka podatność każdego zbiornika zaporowego na eutrofizację oraz zmiany klimatyczne. W związku z tym proponowany pakiet działań naprawczych może przyczynić się tylko do znacznego ograniczenia ryzyka wystąpienia sinicowych zakwitów wód lecz nie wyeliminuje go całkowicie.**

## 7. LITERATURA

- Asplund T. D. 2000. The effects of motorized watercraft on aquatic ecosystems - University of Wisconsin, Madison (maszynopis).
- Badanie stanu ichtiofauny w Zbiorniku Zemborzyckim 2010. Aqua Projekt, Olsztyn (maszynopis).
- Badanie stanu ichtiofauny w Zbiorniku Zemborzyckim w 2015 roku 2015. Fish Projekt, Olsztyn (maszynopis).
- Bałaga K., Maruszczak H. 1981. Rozwój współczesnego dna doliny Bystrzycy w świetle badań torfów w Zemborzycach koło Lublina. *Folia Soc. Sc. Lublinensis* 23, Geogr., 1/2: 61-66.
- Bourdo A. 2014. System ścieżek rowerowych wokół Zalewu Zemborzyckiego jako miejsce aktywnego wypoczynku mieszkańców Lublina. Praca magisterska. Uniwersytet przyrodniczy w Lublinie (maszynopis).
- Bryński K. 1956. Założenia projektowe budowy jeziora dla miasta Lublina w dolinie rzeki Bystrzycy. Maszynopis. Archiwum UMCS.
- Burchardt L., Pawlik-Skowrońska B. 2005. Zakwity sinic- konkurencja międzygatunkowa i środowiskowe zagrożenie. *Wiad. Bot.* 49:39-49.
- Carlson R.E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography* 22: 361--369.
- Carvalho L., Miller (nee Ferguson) C.A., Scott E.M., Codd G.A. Sian Davies P., Tyler A.N. 2011. Cyanobacterial blooms: statistical models describing risk factors for national-scale lake assessment and lake management. *Sci Tot. Environ.* 409:5353-5358.
- Chałubińska A., Wilgat T., 1954: Podział fizjograficzny województwa lubelskiego. *Przew. V Ogólnop. Zjazdu PTG. Lublin*, 3-44.
- Chmiel S., Głowacki S., Gluza Z., Michalczyk Z., 2012: Właściwości fizyczno-chemiczne wód. [w:] Ocena warunków występowania wody i tworzenia się spływu powierzchniowego w Lublinie., *Badania Hydrograficzne w Poznawaniu Środowiska, Tom X*, red. Michalczyk Z., Wyd. UMCS, Lublin, 212-231.
- Chmiel S., Głowacki S., Michalczyk Z., Sposób J, 2009. Some issues in the assessment of eutrophication of river waters as a consequence of the construction of a storage reservoir (on the example of the Bystrzyca River). *Ecohydrology and Hydrobiology. Vol. 9 (2-4); 175-179.*
- Chmielewski T. J., Radwan S. (red.) 2007. Raport z realizacji zadania badawczego: Monitoring stanu ekologicznego Zalewu Zemborzyckiego w roku 2007. Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie, Akademia Rolnicza - Zakład Ekologii Krajobrazu i Ochrony Przyrody, Lublin (maszynopis)
- Chmielewski T.J. (red.) 2010. Raport z realizacji zadania badawczego. Monitoring stanu ekologicznego Zalewu Zemborzyckiego w roku 2010. Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie - Zakład Ekologii Krajobrazu i Ochrony Przyrody, Lublin (maszynopis).
- Cooke G. D., Welch E. B., Peterson S. A., Nichols S. A. 2005 - Restoration and Management of Lakes and Reservoirs - 3rd Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Czamura W., Czamura A., Wiatkowski M. 2008. The use of pre-dams with plant filters to improve water quality in storage reservoirs. *Archives of Environmental Protection*, 34(spec.): 79-89.
- Czerniawski R., Domagała J., Pilecka-Rapacz M. 2010. Analiza wielkości presji wędkarskiej oraz poziomu wprowadzanych biogenów w zanętach w wodach zlewni środkowej i dolnej Drawy *Roczniki Naukowe PZW* 23: 119-130.
- Dąbrowska J. 2010. Wpływ osadnika wstępnego z filtrem biologicznym na zmiany wartości wybranych parametrów fizykochemicznych wody. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 8: 5-13.
- Decyzja Marszałka Województwa Lubelskiego z dnia 2.03.2012 r., znak: RŚ-V.7322.34.2011.AG, będąca aktualnym pozwoleniem wodnoprawnym dla ZZ.
- Dobrowolski R., Rodzik J., Pietruczuk J., Lata L. 2015. Rozpoznanie geologiczne osadów dennych struktury podłoża Zbiornika Zembrzyckiego. W: *Zalew Zembrzycki w Lublinie szanse i zagrożenia*. Urząd Miasta Lublin, str: 49-61.

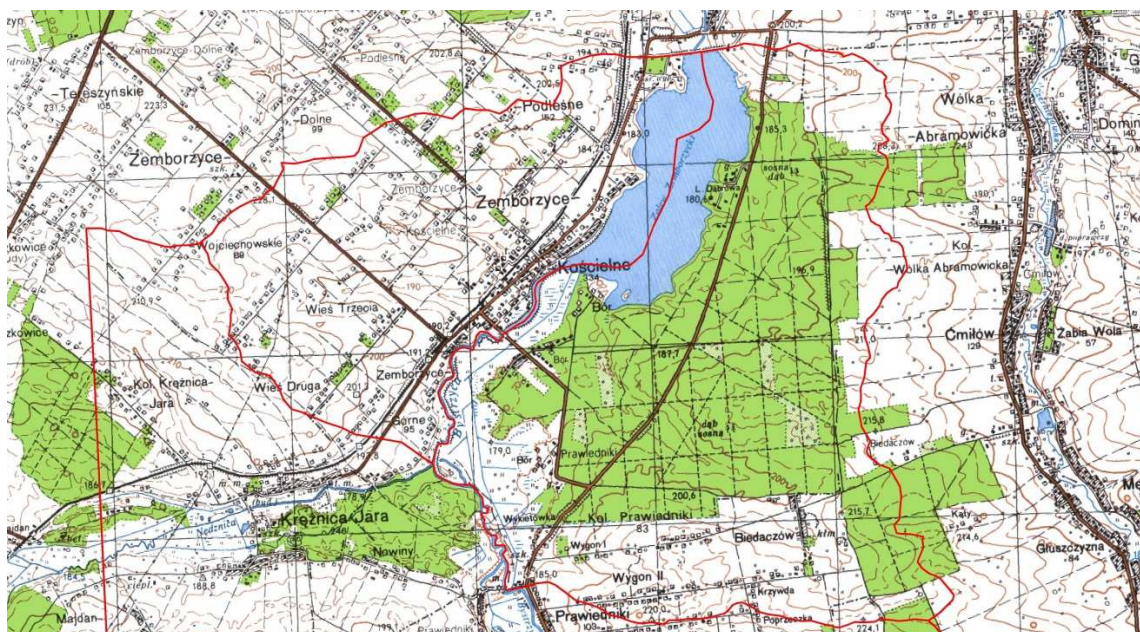


- Dobrowolski R., Melke J., Rodzik J. 2009. Ocena wielkości i jakości sedimentacji zbiornikowej w Zalewie Zemborzyckim ? sprawozdanie z prac wykonanych w roku 2009 na zlecenie Urzędu Miasta Lublin. Maszynopis. Archiwum Urzędu Miasta Lublin.
- Dobrowolski R., Rodzik J., Chmiel S., Lata L., Pietruczuk J. 2014. Raport końcowy z prac geologiczno-wiertniczych oraz analiz sedimentologicznych, hydro- i geochemicznych osadów dennych i wód Zalewu Zemborzyckiego wykonanych w 2014 r. na zlecenie Urzędu Miasta w Lublinie z dnia 10.02.2014 roku. Maszynopis. Archiwum Urzędu Miasta Lublin.
- Dobrowolski R., Rodzik J., Pietruczuk J., Lata L. 2015. Rozpoznanie geologiczne osadów dennych i struktury podłoża Zbiornika Zemborzyckiego. [w:] Zalew Zemborzycki w Lublinie - szanse i zagrożenia. Urząd Miasta Lublin: 49-62.
- Fiedler K. Awaryjne i katastrofy zapór - zagrożenia, ich przyczyny i skutki oraz działania zapobiegawcze, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa, 2007 r.
- Harasimiuk M., Henkiel A. 1982. Objąsnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski, Arkusz Lublin (749), 1:50 000, Warszawa.
- Hasler P., Poulickova A., Lysakova M. 2004. The survival and vitality of cyanobacteria and algae in fishpond bottom sediments. Czech Phycology, Olomouc 4:133-144.
- Higa T. 1998. Effective Micro-organisms. For Sustainable Agriculture and Healthy Environment, Jan van Arkel, Utrecht.
- Iwaniuk A., Bielak-Bielecki P., Parcheta D., Miazga J., 2015: Monitoring jakości wód rzeki Bystrzycy i Zalewu Zemborzyckiego. W: Zalew Zemborzycki w Lublinie szanse i zagrożenia. Wyd. Urząd Miasta Lublin, 29-39.
- Jones R. A., Lee G. F. 1982. Recent Advances in Assessing the Impact of Phosphorus Loads on Eutrophication-Related Water Quality. Water Research 16:503-515
- Jones R. A. Lee G. F. 1986. Eutrophication Modeling for Water Quality Management: An Update of the Vollenweider-OECD Model. World Health Organization's Water Quality Bulletin 11: 67-174.
- Jones R. A. Lee G. F. 1988. Use of Vollenweider-OECD Modeling to Evaluate Aquatic Ecosystem Functioning, Functional Testing of Aquatic Biota for Estimating Hazards of Chemicals, ASTM STP 988, Amer. Soc. Test. & Mat., Philadelphia: 17-27.  
<http://www.gfredlee.com/Nutrients/EcosystemFunctionOECD.pdf>
- Joo S., Foldenyi R. 2012. Removal of dissolved organic matter (DOM) from water with activated carbon and effective microorganisms. Water Sci. Techno. 12: 65-71.
- Jóźwiakowski K., Czernaś K., Szczurowska A. 2009. Preliminary results of studies on the purification of water in a pond using the SCD Probiotics technology. Ecohydrology and Hydrobiology 9: 307-312.
- Kolejko M. 2010. Próba bilansu biogenów [W:] Chmielewski T.J. (red.) Raport z realizacji zadania badawczego. Monitoring stanu ekologicznego Zalewu Zemborzyckiego w roku 2010. Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie - Zakład Ekologii Krajobrazu i Ochrony Przyrody, Lublin: 3 - 7 (maszynopis)
- Kuław A., Waryszak P. 2010. A study of size and structure of tourist movement in 1998-2010 around the Zemborzycki Reservoir in Lublin. Teka Kom. Ochr. Kszt. Środ. Przym. 7: 192-202.
- Lee T. J., Nakano K, Matsumura M. 2002 - A novel strategy for cyanobacterial bloom control by ultrasonic irradiation. Water Science and Technology 46: 207-215.
- Lewiński J. 1938. Preglacja w dolinie Bystrzycy pod Lublinem. Spraw. Tow. Nauk. Warsz., XXI, Warszawa.
- Ligeza, S., Smal, H., Pietruczuk, D. 2007. Nitrogen forms in bottom sediments of the dam reservoir Zalew Zemborzycki. Teka Kom. Ochr. Kszt. Środ. Przym. 4, 132-138.
- Lurling M., Tolman Y., Euwe M. 2009. Mitigating cyanobacterial blooms: how effective are 'effective microorganisms'? Lakes Reserv. Res. Manag. 14: 353-363.
- Lurling M., Tolman Y., van Oosterhout F. 2010. Cyanobacteria blooms cannot be controlled by Effective Microorganisms (EM®) from mud- or Bokashi-balls. Hydrobiologia 646: 133-143.

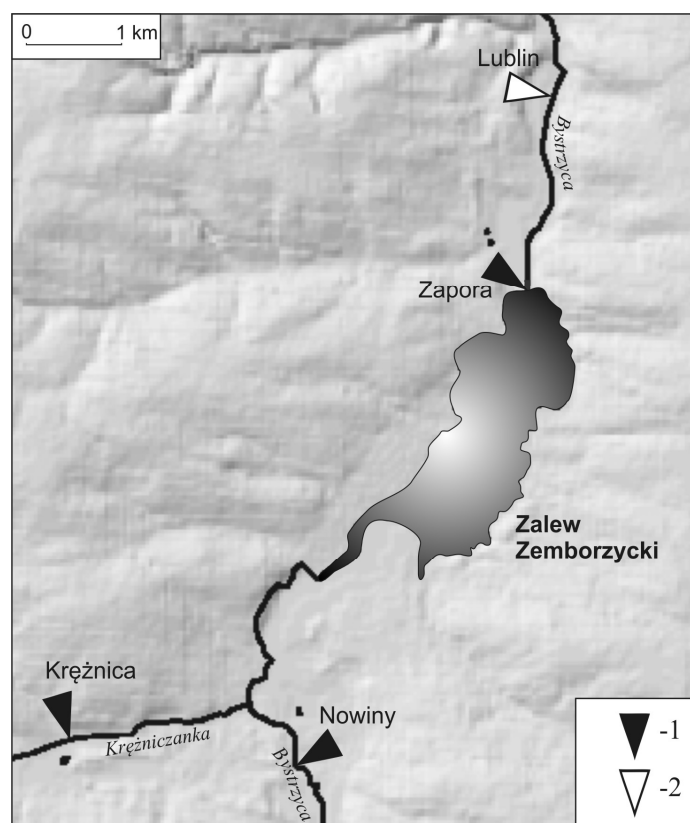
- Lürling, M., Waajen, G., & de Senerpont Domis, L. N. 2015. Evaluation of several end-of-pipe measures proposed to control cyanobacteria. *Aquatic Ecology*, DOI 10.1007/s10452-015-9563-y
- Łoś M.J., Michalczyk Z., 1984: Wpływ gospodarki wodnej Lublina na przepływ Bystrzycy. *Gosp. Wodna*, 1, 12-14
- Maruszczak H. 1958. Dokumentacja geologiczno-techniczna obszaru projektowanego sztucznego jeziora w Zembrzycach. *Maszynopis. Archiwum Urzędu Miasta Lublin*.
- McComas S. 2003. *Lake and Pond Management Guidebook*. CRC Press LLC, Lewis Publishers, London-New York- Washington.
- Michalczyk Z. (red.) 1997: *Strategia wykorzystania i ochrony wód w dorzeczu Bystrzycy*. Wydawnictwo UMCS. Lublin, 1-192
- Michalczyk Z., 1986: Warunki występowania i krążenia wód na obszarze Wyżyny Lubelskiej i Rostocza. *Wyd. UMCS, Lublin*, 1-195
- Michalczyk Z., 2006; *Wody zlewni górnej Bystrzycy*. [w] *Zalew Zembrzycki. Struktura ekologiczna, antropogeniczne zagrożenia i ochrona. Monografia przyrod.* Pod red. S. Radwana. *Wyd. AR Lublin*, 11-20. Michalczyk Z. (red.) 2012: *Ocena warunków występowania wody i tworzenia się spływu powierzchniowego w Lublinie*. *Wyd. UMCS Lublin*. 1-268.
- Michalczyk Z., Chmiel S., Głowacki S., 2015: *Hydrologiczna rola Zalewu Zembrzyckiego*. W: *Zalew Zembrzycki w Lublinie szanse i zagrożenia*. *Wyd. Urząd Miasta Lublin*, 16-28.
- Michalczyk Z., Głowacki S., Sposób J., Zielińska B., 2014: *Zmiany położenia zwierciadła wody podziemnej w Lublinie w latach [W:] Woda w nieście*. Red. T. Ciupa, R. Suligowski. *Monografie Komisji Hydrologicznej PTG - t.2*, *Wyd. Instytut Geografii UJK Kielce*, 165-172.
- Michalczyk Z., Łoś M., 1996: *Koncepcja zasilania zasobów wód podziemnych ze zbiorników retencyjnych w zlewni Bystrzycy Lubelskiej*. [W:] *Mała retencja w kształtowaniu środowiska*. *Zeszyty Naukowe AR Wrocław nr 289, Wrocław*, 99-108.
- Michalczyk Z., Łoś M., Sawicka-Ner Z., 1983: *Zasięg oddziaływania ujęć wód podziemnych miasta Lublina*, *IG, Pr. Hydrogeol. - seria spec.*, z.16, 1-83.
- Mosisch T.D., Arhington A. H. 1998. The impacts of power boating and water skiing on lakes and reservoirs. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 3: 1-17.
- Opinia o stanie ichtiofauny w Zbiorniku Zembrzyckim 2015*. Fish Projekt, Olsztyn (maszynopis).
- Ocena stanu technicznego obiektów Zalewu Zembrzyckiego w Lublinie* ", sporządzona w maju 2013 r. przez Ośrodek Technicznej Kontroli Zapór IMGW w Warszawie
- Określenie przebiegu fali i skutków awarii - Ekspertyza prognozująca skutki fali wodnej wywołanej ewentualną awarią zbiornika Zembrzyce na rzece Bystrzycy*, Hydroprojekt Warszawa, 1980 r.
- Padisak J. 2014. *Transparency of garden pond failed be controlled by effective microorganisms*. W: *Book of Abstract 8th Shallow Lakes Conference*: 63.
- Paul L. 2003. *Nutrient elimination in pre-dams: results of long term studies*. *Hydrobiologia* 504: 289-295.
- Paul L., Pütz K. 2008. *Suspended matter elimination in a pre-dam with discharge dependent storage level regulation*. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 38: 388-399.
- Pawlik-Skowrońska B., Skowroński T., Pirszel J., Adamczyk A. 2004. *Relationship between cyanobacterial bloom composition and anatoxin-a and microcystin occurrence in the eutrophic dam reservoir (SE Poland)*. *Polish Journal of Ecology* 52:479-490.
- Pawlik-Skowrońska B., Toporowska M., Kalinowska R. 2015. *Badania dynamiki rozwoju sinic i produkcji cyjanotoksyn w Zbiorniku Zembrzyckim na tle warunków środowiskowych*. W: *Zalew Zembrzycki w Lublinie szanse i zagrożenia*. *Urząd Miasta Lublin*, str. :63-67.
- Pawlik-Skowrońska B., Kalinowska R., Skowroński T. 2013. *Cyanotoxin diversity and food web bioaccumulation in a reservoir with decreasing phosphorus concentration and perennial cyanobacterial blooms*. *Harmful Algae* 28:118-125.
- Pęczuła W. 2012. *Methods applied in cyanobacterial bloom control in shallow lakes and reservoirs*. *Ecological Chemistry and Engineering A* 19: 795-806

- Pęczyła W., Kornijów R., Gorzel M., Rechulicz J. 2006. Wpływ eksperymentalnej eliminacji ryb na wybrane biocenozy w litoralu eutroficznego zbiornika zaporowego (Zalew Zembrzycki). Raport z badań (czerwiec - wrzesień 2005). Akademia Rolnicza w Lublinie, Lublin (maszynopis).
- Pikula Z. 2004. Połowy wędkarskie w Zbiorniku Zaporowym Zembrzyce koło Lublina. Praca magisterska. Akademia Rolnicza w Lublinie, Lublin (maszynopis).
- Pütz K., Benndorf J. 1998. The importance of pre-reservoirs for the control of eutrophication of reservoirs. *Water Science and Technology* 37: 317-324.
- Radwan S., Płaska W., Adamczuk M., Mieczan T., Paleolog A., Sender J., Solis M., Stępień B, Szydłowski L. 2005. Badania elementów biologicznych i fizyko-chemicznych wód Zalewu Zembrzyckiego. Akademia Rolnicza w Lublinie, Lublin (maszynopis).
- Radwan S., red. 2006: Zalew Zembrzycki. Struktura ekologiczna, antropogeniczne zagrożenia i ochrona. Monografia przyrodnicza. PAN Oddział w Lublinie, Lublin.
- Radwan, S. [red.] 2006. Zalew Zembrzycki. Struktura ekologiczna, antropogeniczne zagrożenia i ochrona. Monografia przyrodnicza. Wyd. Akademii Rolniczej, Lublin, Poland.
- Rodzik J., Dobrowolski R., Melke J. 2009. Estimation of kind, amount and mechanism of sedimentation in the Zembrzyce Reservoir near Lublin. *TEKA Kom. Ochr. Kszt. Środ. Przyr. - OL PAN*, 6: 261-276.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20.04.2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie, Dz. U. Nr 86, poz.579
- Salvia-Castellvi M., Dohet A., Van der Borgh P., Hoffmann L. 2001. Control of the eutrophication of the reservoir of Esch-sur-Sûre (Luxembourg): evaluation of the phosphorus removal by predams. *Hydrobiologia*, 459: 61-71.
- Serafin A., Banach B., Szczurowska A., Czernaś K. 2014. Estimation of potential loads of contaminants generated by beach tourism on Lake Zagłębcze in two summer seasons, 2008 and 2010. *Teka Kom. Ochr. Kszt. Środ. Przyr.* 11: 181-190.
- Solis M., 2007: Phytoplankton of Zalew Zembrzycki dam reservoir. A phenomenon of water bloom. *Teka Kom. Ochr. Kszt. Środ. Przyr. - OL PAN*, 4, 237-242.
- Szadkowski D. 2001. Próba oceny rekreacyjnego wykorzystania Zalewu Zembrzyckiego. Akademia Rolnicza w Lublinie, Lublin (maszynopis).
- Van Vliet P.C.J., Bloem J., de Goede R.G.M. 2006. Microbial diversity, nitrogen loss and grass production after addition of Effective Micro-organisms (EM) to slurry manure. *Appl Soil Ecol* 32:188-198.
- Verspagen J.M.H., Snelder E., Visser P., Huisman J., Mur L.R., Ibelings B.W. 2004. Recruitment of benthic *Microcystis* (Cyanophyceae) to the water column: internal buoyancy changes or resuspension? *J. Phycol.*40:260-270.
- Wilk-Woźniak E. 1996. Changes in the biomass and structure of phytoplankton in the Dobczyce Reservoir (southern Poland). *Acta Hydrobiol.* 38:125-131.
- Wilk-Woźniak E., Mazurkiewicz-Boroń G. 2003. The autumn dominance of cyanoprokaryotes in a deep meso-eutrophic submontane reservoir. *Biologia, Bratislava* 58:17-24.
- Visser P.M., Ketelaars H.A.M., van Breemen L.W.C.A., Mur L.R. 1996. Diurnal buoyancy changes of *Microcystis* in an artificially mixed storage reservoir. *Hydrobiologia* 331: 131-141.
- Wytyczne instruktażowe projektowania budowli wodno - melioracyjnych, JAZY", Nr wytycznych: 70, CBSiPWW Warszawa
- Zakaria Z., Gairola S., Shariff N.M. 2010. Effective Microorganisms (EM) technology for water quality restoration and potential for sustainable water resources and management. In: *Proceedings international congress on environmental modelling and software, S0. Open session, S.0.04* <http://www.iemss.org/iemss2010/proceeding>

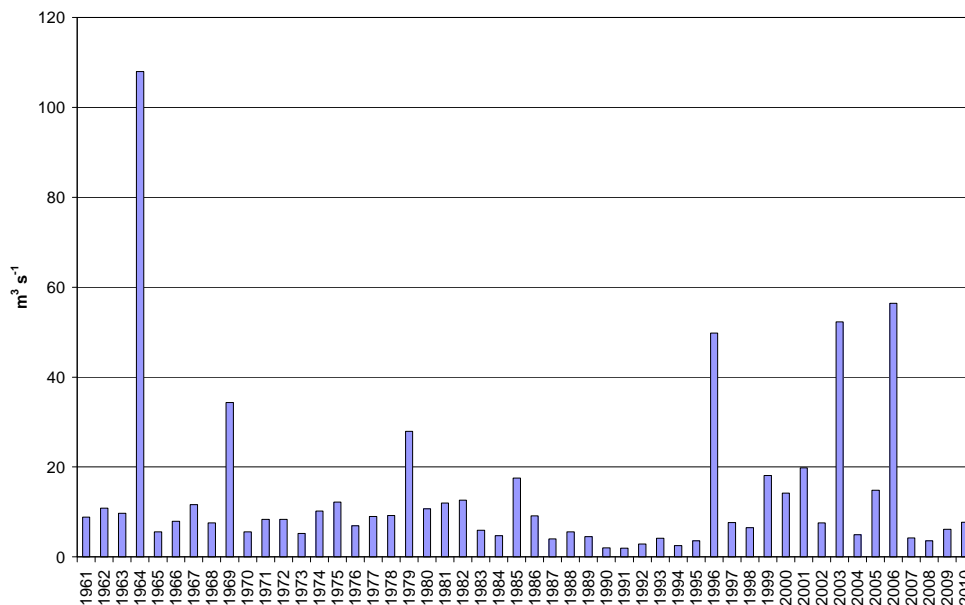
## 8. RYCINY I TABELE



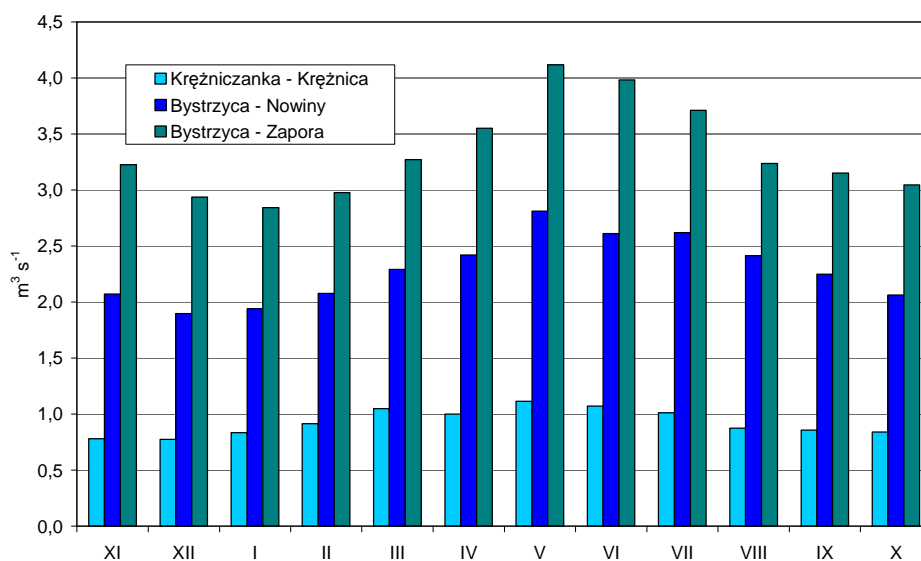
**Ryc. 1.** Zlewnia bezpośrednia Zbiornika Zemborzyckiego na podkładzie mapy topograficznej w skali 1:25000.



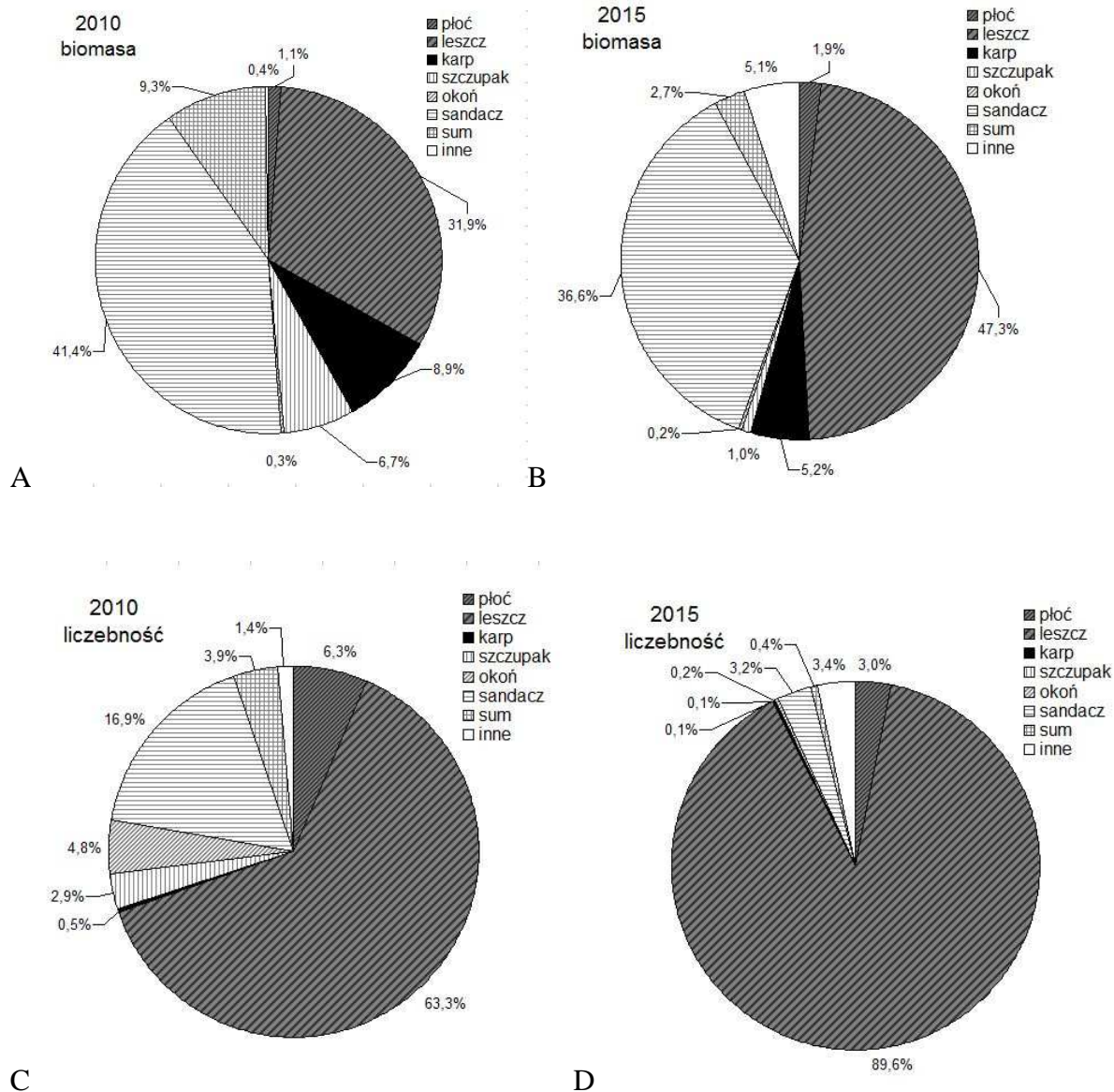
**Ryc. 2.** Sieć rzeczna i rozmieszczenie wodowskazów w rejonie Zalewu Zemborzyckiego.  
1. wodowskazy Zakładu Hydrologii UMCS 2. wodowskaz IMGW (Michalczyk i in. 2015).



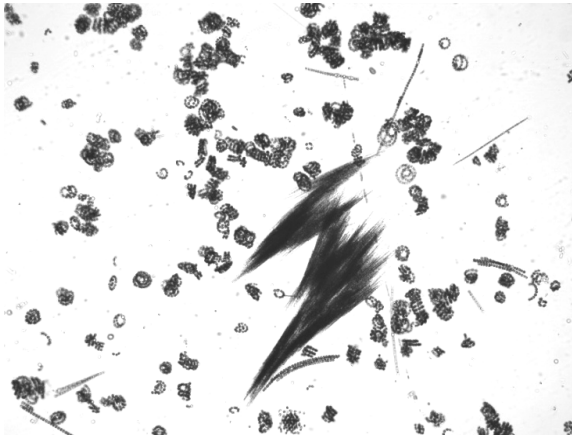
**Ryc. 3.** Maksymalne roczne przepływy Bystrzycy w profilu wodowskazowym Lublin (dane IMGW) (Michalczyk i in. 2015).



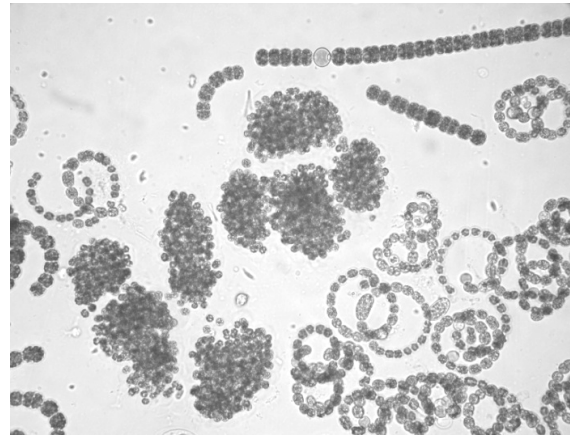
**Ryc. 4.** Miesięczne przepływy rzek w rejonie Zalewu Zemborzyczyńskiego w latach 2010-2014 (Michalczyk i in. 2015).



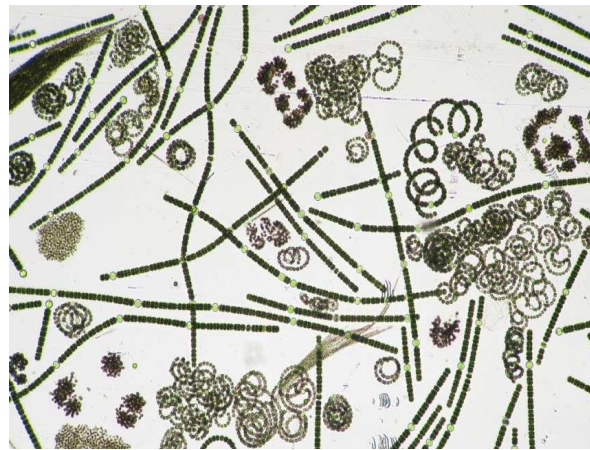
**Ryc. 5.** Udział procentowy poszczególnych gatunków ryb w ZZ ustalony na podstawie odłowów kontrolnych w roku 2010 i 2015 (średnie dla trzech odłowów w różnych sezonach). Ciemne wypełnienia przyporządkowano rybam spokojnego żeru (wszystkożernym i bentosożernym), jasne rybam drapieżnym. Dane za: Badanie stanu...2010 oraz Badanie stanu...2015.



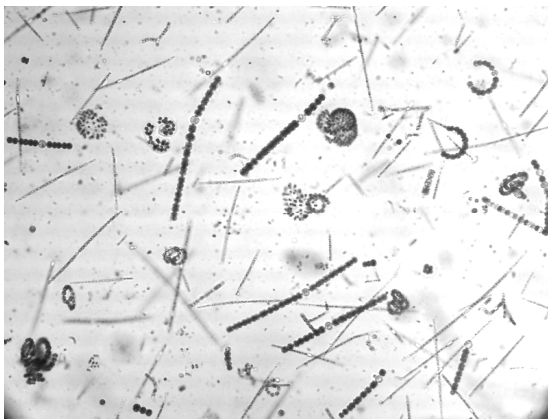
**2010:** *Aphanizomenon* spp,  
*Dolichospermum* sp



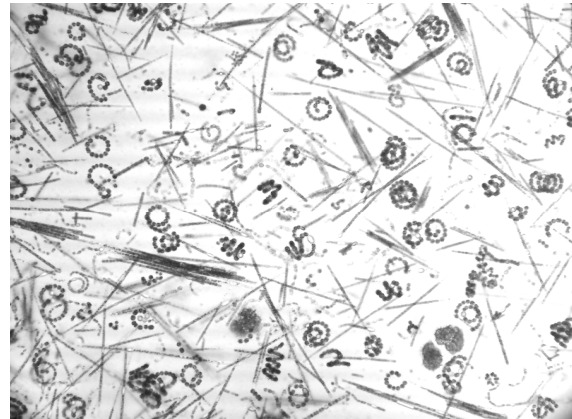
**2011:** *Dolichospermum* spp,  
*Microcystis* spp



**2012:** *Dolichospermum* spp, *Microcystis* spp, *Aphanizomenon* spp.

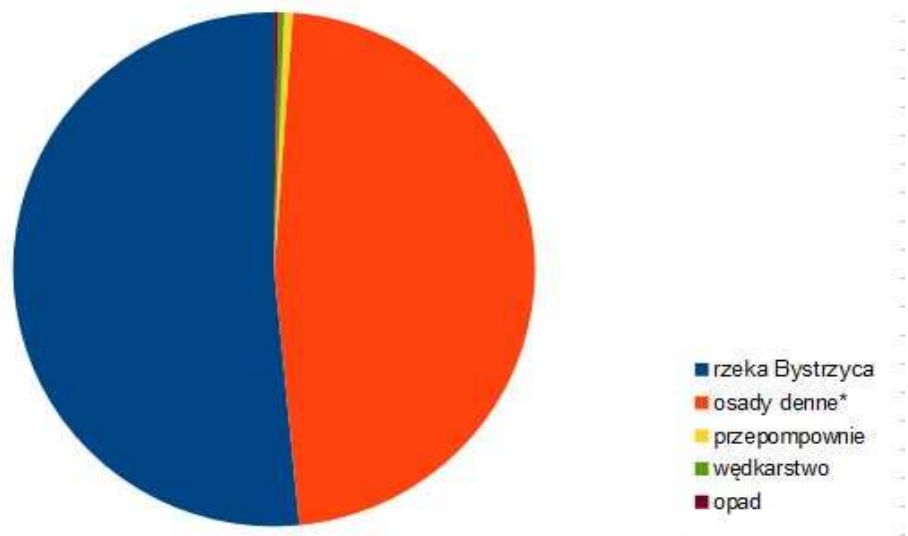


**2014:** *Aphanizomenon* spp,  
*Dolichospermum* spp, *Woronichinia* sp.,  
*Microcystis* spp

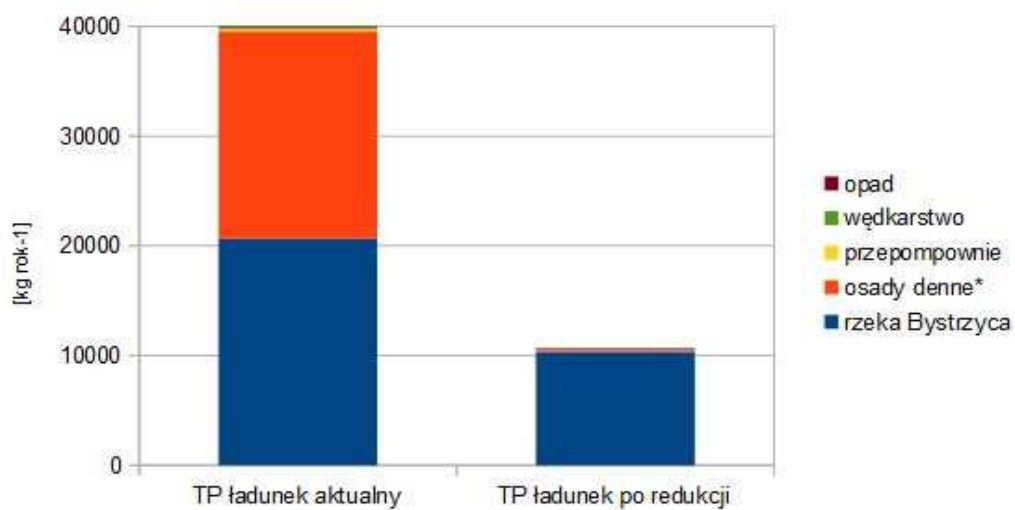


**2015:** *Aphanizomenon* spp,  
*Dolichospermum* spp

**Ryc. 5.** Zmienność w różnorodności rodzajowej/gatunkowej i dominacji sinic w Zbiorniku Zemborzyckim w okresie lipiec-sierpień, w latach 2010- 2015.

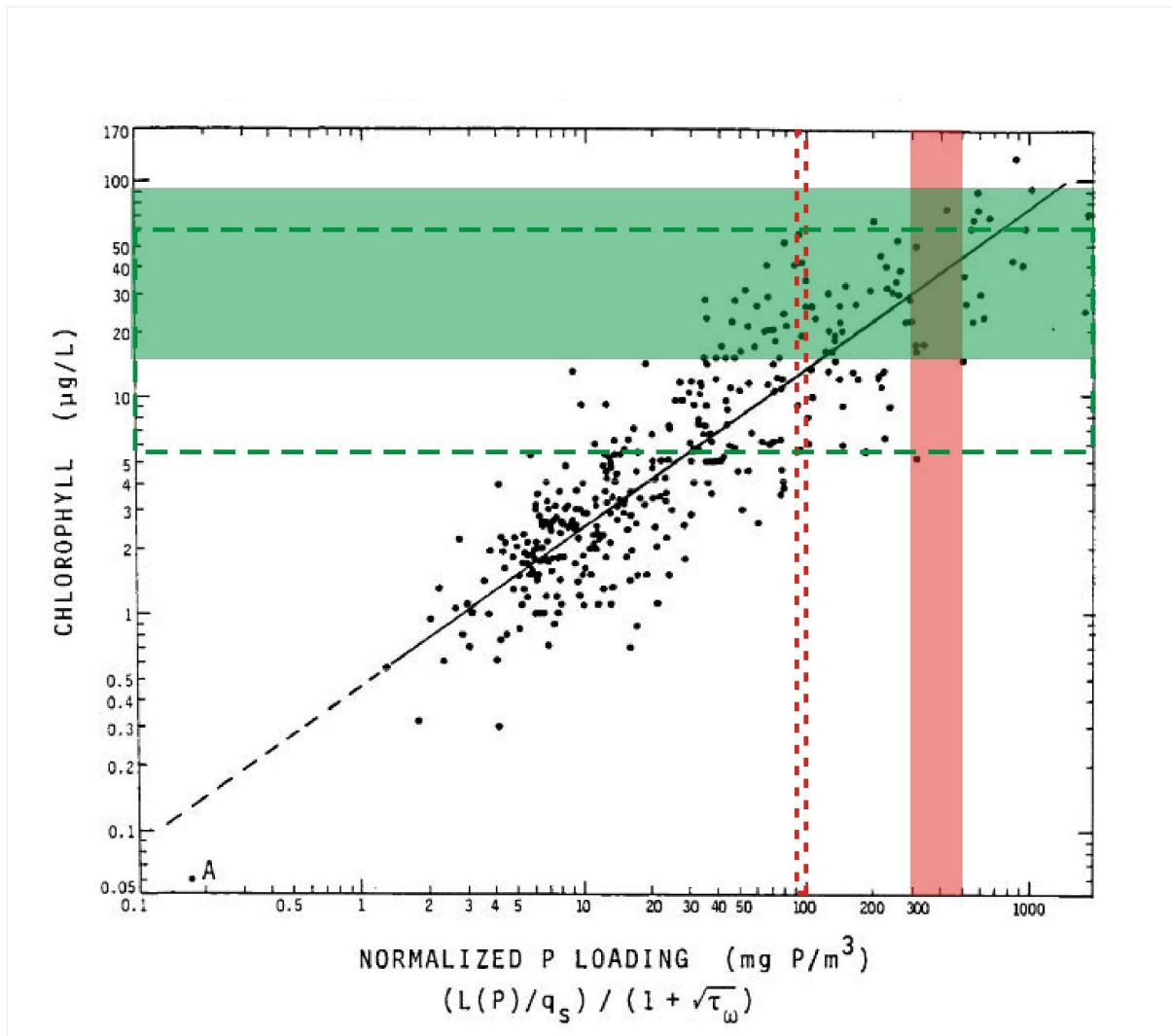


**Ryc. 6.** Struktura rocznego ogólnego ładunku fosforu ogólnego (TP) do Zalewu Zemborzyckiego (\* - wyliczenia tylko na podstawie fosforanów).



**Ryc. 7.** Wielkość oraz struktura łącznego rocznego ładunku rocznego fosforu ogólnego (TP) przed i po podjęciu ewentualnych działań naprawczych (\* - wyliczenia tylko na podstawie fosforanów).





**Ryc. 8.** Zależność pomiędzy znormalizowanym rocznym ładunkiem fosforu do zbiornika wodnego a efektem w postaci biomasy glonów planktonowych (wyrażonej jako koncentracja chlorofilu-a, średnia dla lata). Czerwony pionowy pas oznacza szacowany aktualny ładunek dla ZZ, zielony poziomy pas – odpowiedź ekosystemu w postaci biomasy glonów. Liniami przerywanym oznaczono analogicznie przypuszczalną zależność po rekultywacji zbiornika (za: Jones i Lee 1986, zmienione).

**Tabela 1.** Bilans osadów biogenicznych w dnie Zalewu Zemborzyckiego (za Dobrowolski i in. 2014, 2015).

Rodzaj osadów	Charakterystyka osadów	Objętość osadów w mln m <sup>3</sup>	Średnia miąższość osadów w m
Współczesne osady zbiornikowe	Gytia (ilasta i wapienna)	1,08	0,37
Biogeniczne osady dolinne	Torfy, torfy spiaszczone i gytie	5,90	2,04
Biogeniczne osady dolinne i zbiornikowe sumarycznie	Gytia wapienna oraz torfy, torfy spiaszczone i gytie wraz z mineralno-organicznymi przewarstwieniami	7,12	2,46

**Tabela 2.** Użytkowanie terenu w zlewni Bystrzycy (od źródeł do tamy zbiornika).

Powierzchnia zlewni		Formy użytkowania terenu
[ha]	%	
4151,79	5,64	zabudowa mieszkalna rozproszona
55,27	0,08	tereny przemysłowe, handlowe i kolejowe
55,56	0,08	zieleń miejska
50121,04	68,09	grunty orne
1358,71	1,85	łąki, pastwiska
10198,65	13,85	inne tereny rolnicze
7359,54	10,00	lasy
309,70	0,42	zbiorniki wodne
73610,24	100	SUMA

**Tabela 3.** Użytkowanie terenu w zlewni bezpośredniej Zalewu Zemborzyckiego (od dopływu Nędznicy do tamy zbiornika).

Powierzchnia zlewni [ha]			Formy użytkowania terenu
L	P	Suma	
-	0,64	0,64	grunt nieużytkowany
10,82	-	10,82	teren pod torowiskami
8,81	1249,38	1258,19	teren leśny i zadrzewiony
1,58	2,73	4,31	zakrzaczenia
3,95	3,17	7,12	pozostały teren niezabudowany (głównie tereny składowe, place oraz pod urządzeniami technicznymi)
142,94	86,93	229,87	zabudowa
884,65	475,00	1359,65	grunty orne
93,37	259,55	352,92	użytki zielone
46,19	35,35	81,54	uprawy trwałe (sady, plantacje, szkółki, ogródki działkowe)
1192,31	2112,75	3305,06	SUMA

**Tabela 4.** Średnie wartości z corocznych pomiarów przepływu wykonanych w letnich miesiącach lat 1990-2014 w rejonie Zalewu Zemborzyckiego (Michalczyk i in. 2015).

Lp.	Rzeka	Miejscowość	A	1990-1998		1999-2006		2007-2014		1990-2014	
				Q	q	Q	q	Q	q	Q	Q
			Km <sup>2</sup>								
1	Bystrzyca	Nowiny	461	1196	2,59	2123	4,61	1818	3,94	1692	3,67
2	Krężniczanka	Krężnica	219	470	2,14	790	3,61	645	2,95	628	2,87
3	Bystrzyca	Zapora/Wrotków	725	1357	1,87	3019	4,16	2608	3,60	2290	3,16
Zlewnia różnicowa 1 = 3-1-2			<b>45</b>	<b>-309</b>	<b>-6,86</b>	<b>106</b>	<b>2,36</b>	<b>146</b>	<b>3,24</b>	<b>-30</b>	<b>-0,66</b>

A - powierzchnia zlewni, Q - przepływ w  $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , q - odpływ jednostkowy w  $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$

**Tabela 5.** Przykłady zastosowania zbiorników wstępnych w celu obniżenia ładunków związków biogennych i zawiesiny wraz oceną ich efektywności (P – powierzchnia, Gł. śr. – głębokość średnia, V – objętość).

Nazwa zbiornika głównego	Parametry zbiornika głównego	Parametry zbiornika wstępnego	Typ zbiornika wstępnego	Efektywność i uwagi	Źródło danych i typ badań
Mściwój na rzece Wierzbak, Polska	P = 35 ha Gł. śr.= 2,0 m V = 0,735 mln m <sup>3</sup> Czas retencji 65 dni	P = 14 ha Gł. śr.= 1,3 m V = 0,175 mln m <sup>3</sup> Czas retencji 15 dni	Zbiornik o zróżnicowanej strukturze: 3 komory o różnej głębokości: odstojnik- biofiltr-osadnik.  W biofiltrze o powierzchni ok. 5 ha rośnie trzcina pospolita i pałka szerokolistna.  Roślinność nie jest wykaszana, zbiornik nie jest czyszczony.	Średnia redukcja azotanów w ok. 65% a fosforanów w ok. 52%	Czamara i in. 2008  Badania w 2001 – 2 lata po powstaniu zbiornika wstępnego.
				Bardzo zmienny procent redukcji, w zależności od pory roku. Fosforany: od kilku do kilkudziesięciu procent, ale np. w lecie: wzrost o 20% w lipcu i o 48% w sierpniu. Azotany: redukcja, najbardziej intensywna w okresie czerwiec-sierpień (>50%).	Dąbrowska 2010  Badania w sezonie ciepłym 2008 – 9 lat po powstaniu zbiornika wstępnego.
11 systemów typu: zbiornik wstępny-zbiornik główny w Saksonii, Niemcy	b.d.	b.d.	Zbiorniki typu sedimentacyjnego. Główną rolę w wyłapywaniu związków biogennych pełni fitoplankton.	Redukcja fosforu ogólnego: 22-46 %, fosforanów: 34-60%. Najbardziej optymalne warunki do redukcji związków fosforu: głębokość strefy eufotycznej 3 m, czas retencji: kilka dni. Głównym problemem jest fakt największej efektywności latem podczas gdy największe ładunki doprowadzane są w wodach roztopowych wiosną (gdy efektywność zbiorników wstępnych jest niska).	Putz 1998

<p>Esch-sur-Sûre na rzece Sure, Luksemburg.</p>	<p>P=380 ha</p>	<p>Dwa zbiorniki wstępne na dwóch różnych dopływach:  Zb. Misere  P = 20 ha  Gł. śr.= 2,5 m  V = 0,500 mln m<sup>3</sup>  Czas retencji 1,5 dnia  Zb. Bavnigne  P = 23 ha  Gł. śr.= 7,1 m  V = 1, 668 mln m<sup>3</sup>  Czas retencji 44 dni</p>	<p>Zbiorniki górskie/wyżynne, typu sedymentacyjnego, gdzie główną rolę pełni osadzanie się zawiesiny.  W zbiorniku głębszym dodatkową rolę pełnią gęste darnie moczarki na dnie, umiejscowione przy wpływie rzeki</p>	<p>W zbiornik płytkim (Misere) średni stopień redukcji fosforu ogólnego to 60%, przy dużej zmienności sezonowej (największa efektywność zimą, najmniejsza latem i jesienią). Fosforany redukowane w stopniu nieznacznym, z wyjątkiem okresu letniego, gdy stopień redukcji sięgał 30%.  W zbiorniku głębszym (Bavnigne) średni stopień redukcji fosforu ogólnego to 82%, przy braku wyraźnych zmian sezonowych. Fosforany redukowane średnio w ok. 52%</p>	<p>Salvia-Castellvi i in. 2001  Badania co dwa tygodnie przez cały rok</p>
<p>Saidenbach, główny dopływ: rzeka Haselbach, Saksonia, Niemcy</p>	<p>P = 142 ha  Gł. śr.= 2,0 m  V = 2238 mln m<sup>3</sup>  Czas retencji b.d.</p>	<p>Zbiornik wstępny Haselbach  P = 12 ha  Gł. max = 7 m  V = 0, 588 mln m<sup>3</sup>  Czas retencji: kilka dni.</p>	<p>Zbiorniki typu sedymentacyjnego.  Zbiornik Forchheim ze zmiennym stopniem wypełnienia.</p>	<p>Zanotowano dużą efektywność w redukowaniu fosforanów, średnio 60%. W okresie letnim stopień redukcji jeszcze wyższy – 80%. Stwierdzono ścisłą zależność pomiędzy czasem retencji wody w zbiorniku wstępnym a efektywnością usuwania fosforanów – optymalny czas retencji pomiędzy 4 a 8 dni.</p>	<p>Paul 2003  Badania cotygodniowe przez kilkanaście lat</p>
		<p>Zbiornik wstępny Forchheim  P = 7-12 ha  Gł. max = 6-10 m  V = 0,228 - 0, 588 mln m<sup>3</sup>  Czas retencji: zmienny</p>		<p>Redukcja zawiesiny ogólnej do 80 % w czasie roztopów.</p>	<p>Paul i Putz 2008  Badania cotygodniowe w latach 2003-2006</p>

**Tabela 6.** Proponowane działania mające na celu poprawę jakości wody i ograniczenie zakwitów sinic w Zalewie Zemborzyckim (BPS- prof. dr hab. Barbara Pawlik-Skowrońska, ZM- prof. dr hab. Zdzisław Michalczyk, RD – prof. dr hab. Radosław Dobrowolski, WP – dr hab. Wojciech Pęczuła, ZS – mgr inż. Zdzisław Szczepaniak).

Lp.	Proponowane działanie (autor)	Cel działania i oczekiwane efekty	Ocena możliwości technicznych, przewidywane koszty <sup>1</sup> , w tym związane z niezbędnymi badaniami naukowymi, oszacowanie długotrwałości efektu, problemy społeczno-gospodarcze itp.	Możliwe skutki negatywne dla ekosystemu zbiornika	Spodziewane skutki w zakresie hydrologii i gospodarki wodnej dotyczące zbiornika	Możliwe skutki dla rzeki Bystrzycy (hydrologiczne, ekologiczne, inne)
1.	Wybudowanie zbiornika z przeznaczeniem do mechanicznego i biologicznego oczyszczenia części wód górnej Bystrzycy (ZM).	Poprawa jakości dopływającej wody do Zalewu. Wyeliminowanie substancji biologicznych sprzyjających odnawianiu się zakwitów sinic. Wybudowanie zbiornika do oczyszczenia części wód Bystrzycy w celu uzupełniania zasobów Zalewu Zemborzyckiego	Zbiornik – biofiltr – wybudowany zostanie na miejscu obecnych zdegradowanych, podmokłych łąk. Zasilany będzie wodą z Bystrzycy w okresach niskich i średnich przepływów. Część wody po oczyszczeniu będzie doprowadzona do Zalewu Zemborzyckiego.	Zmiana jakości wody doprowadzanej do zalewy korzystnie wpłynie na jego ekosystem	Zalew będzie zasilany wodą o dobrej jakości, oczyszczoną w zbiorniku wstępnym, praktycznie pozbawioną biogenów	Wybudowanie i funkcjonowanie zbiornika nie wpłynie na reżim hydrologiczny Bystrzycy
<b>UWAGI POZOSTAŁYCH AUTORÓW</b>						
	(WP)	Budowa tego typu zbiornika powinna dać efekt w postaci redukcji zewnętrznego ładunku P i N oraz zawiesiny ogólnej niesionych rzeką. Zbiornik będzie ponadto stanowił nowe siedlisko dla pożądanych gatunków o znaczeniu biocenotycznym (ryby drapieżne, wioślarki filtrujące, zoobentos litoralowy).	Podczas projektowania tego typu zbiornika niezbędne jest oszacowanie przyszłej efektywności w wyłapywaniu związków biogenych (pożądanym celem jest uzyskanie w toni wodnej ZZ koncentracji fosforu ogólnego poniżej 0,1 mg dm <sup>-3</sup> ). Roślinność w projektowanym zbiorniku, która będzie pełnić rolę pułapki dla związków biogenych poprzez wbudowywanie ich w swoje tkanki musi być cyklicznie wykaszana i wynoszona poza zlewnię ZZ. W takim przypadku efekt redukcji zw. biogenych będzie długotrwały. Odpowiednie zaprojektowanie tego typu zbiornika umożliwiłoby wykorzystywanie go jako źródła surowców budowlanych (np. uprawa trzciny strzechowej lub wierzby na cele wikliniarskie/ energetyczne itp.)	Dodatkowe nagrzewanie się wody w płytkim, stagnującym zbiorniku będzie niekorzystne z punktu widzenia rozwoju sinic planktonowych.	-	-

	(ZS)		Wybudowanie zbiornika o funkcji biofiltru, na terenach łąkowych przy pompowni Nr 1, z przeznaczeniem go do mechanicznego i biologicznego oczyszczenia części wód górnej Bystrzycy, może być jednym z najważniejszych, możliwych działań dla poprawy jakości wody i ograniczenia zakwitów sinic w ZZ.		W zakresie hydrologii i gospodarki wodnej zbiornika, skutki wykonania biofiltru będą neutralne.	
	(BPS)	Zmniejszenie dopływu związków fosforu i azotu bezpośrednio do ZZ z wodami Bystrzycy .	Zgadzam się z zastrzeżeniami i warunkami (przedstawionymi wyżej przez WP), które musiałby spełniać taki zbiornik. Przede wszystkim obniżyć stężenie biogenów w ZZ , a w szczególności fosforu ogólnego poniżej 0,1 mg/l. Jednakże Bystrzyca nie jest jedynym źródłem wysokich ładunków biogenów; są nim również spływy powierzchniowe przepompowywane bezpośrednio do ZZ i ładunek wewnętrzny.	Płytki, nagrzewający się zbiornik wstępny sam może być siedliskiem rozwoju planktonowych sinic, które będą przemieszczać się do ZZ.		

Lp.	Proponowane działanie (autor)	Cel działania i oczekiwane efekty	Ocena możliwości technicznych, przewidywane koszty <sup>1</sup> , w tym związane z niezbędnymi badaniami naukowymi, oszacowanie długotrwałości efektu, problemy społeczno-gospodarcze itp.	Możliwe skutki negatywne dla ekosystemu zbiornika	Spodziewane skutki w zakresie hydrologii i gospodarki wodnej dotyczące zbiornika	Możliwe skutki dla rzeki Bystrzycy (hydrologiczne, ekologiczne, inne)
2.	Wybudowanie zbiornika rekreacyjnego na terenie gminy Strzyżewice „Prawiedniki” (ZM)	Zwiększenie retencji wód powierzchniowych w dolinie Bystrzycy oraz rekreacyjne wykorzystanie terenu. Poprawa jakości wody dopływającej do Zalewu Zemborzycznego	Zbiornik ma być wykonany w oparciu o zaporę czołową spiętrzającą wody Bystrzycy. Istnieje możliwość spiętrzenia wody rzeki w przewężeniu doliny. Zbiornik będzie wąski . stosunkowo małej głębokości i niewielkiej pojemności.  Inwestycja prowadzona przez gminę Strzyżewice	Wybudowanie zbiornika w Prawiednikach spowoduje w okresie letnim dopływ wód do Zalewu o wyższej temperaturze. To może sprzyjać rozwojowi sinic	Raczej wpłynie na zmniejszenie biogenów. Wyższa temperatura wody wpłynie na wzrost zagrożenia pojawienia się sinic	Wody Bystrzycy będą zawierały mniej zawiesiny oraz zmniejszy się w nich ilość biogenów.
<b>UWAGI POZOSTAŁYCH AUTORÓW</b>						
	(WP)	Budowa tego typu zbiornika powinna dać efekt w postaci redukcji zewnętrznego ładunku związków biogenych niesionych rzeką – przy założeniu zaprojektowania i wybudowania poprawnej struktury biocenozy.	Przynajmniej część zbiornika powinna mieć charakter litoralowy („biofiltr”) i być wyłączona z użytkowania rekreacyjnego.	Typowo rekreacyjne użytkowanie nowo wybudowanego zbiornika przy źle zaprojektowanych biocenozach niesie za sobą niebezpieczeństwo pojawienia się zakwitów sinic. Wpłynie to niekorzystnie na ekosystem ZZ.		
	(ZS)		Realizacja zbiornika „Prawiedniki”, w najprostszej i najtańszej wersji, jest możliwa jako akwenu „lateralnego”, a więc bocznego, z wykorzystaniem istniejącego jazu kozłowego przy młynie. Zasilanie tego zbiornika odbywałoby się „w dół” od tego spiętrzenia, bez potrzeby wykonywania zapory przegradzającej całą dolinę Bystrzycy. Taka wersja rozwiązania zawarta uprzednio była w			



			<p>konceptji budowy kilku zbiorników retencyjnych w całej górnej zlewni rzeki Bystrzycy, opracowanej przez firmę PROEKO w Warszawie, na zlecenie gminy Strzyżewice („Szkiecowa koncepcja budowy zbiorników wodnych w dolinach rzek zlewni górnej Bystrzycy, wraz z określeniem warunków do dalszych etapów programowania i projektowania”).</p>			
	(BPS)		<p>Nie istnieją żadne dane, które określiłyby w jakim stopniu taki zbiornik zmniejszyłby dopływ związków biogenych do ZZ. Związki biogenne będą częściowo wbudowywane w biomasę glonów i sinic i wraz z tą biomasą przenoszone dalej do ZZ .</p>	<p>Mały, płytki zbiornik zawierający żywe wody rzeczne podobnie jak inne małe zbiorniki retencyjne na Lubelszczyźnie będzie się borykał z problemem sinicowych zakwitów i nie będzie mógł być wykorzystywany do celów rekreacyjnych.</p>		

Lp.	Proponowane działanie (autor)	Cel działania i oczekiwane efekty	Ocena możliwości technicznych, przewidywane koszty <sup>1</sup> , w tym związane z niezbędnymi badaniami naukowymi, oszacowanie długotrwałości efektu, problemy społeczno-gospodarcze itp.	Możliwe skutki negatywne dla ekosystemu zbiornika	Spodziewane skutki w zakresie hydrologii i gospodarki wodnej dotyczące zbiornika	Możliwe skutki dla rzeki Bystrzycy (hydrologiczne, ekologiczne, inne)
3.	Wybudowanie zbiornika retencjonującego wody spływu powierzchniowego z terenów rolniczych przylegających do Zalewu (ZM)	Wyłączenie wód spływu powierzchniowego z terenów rolniczych zawierających duże ilości zawiesiny i biogenów z bezpośredniego wpływu do Zalewu	Konieczność znalezienia miejsca na retencję okresowo spływającej wody w rejonie ul Cienistej oraz z innych dolin w Zemborzycach. Największe spływy te najczęściej uruchamiane są w okresie zamrożonego gruntu.	Nie przewiduje się negatywnych skutków. Działanie korzystne dla jakości wody w Zalewie	Zmniejszenie dopływu zawiesiny i biogenów do Zalewu.	Zmniejszenie ładunku zanieczyszczeń
<b>UWAGI POZOSTAŁYCH AUTORÓW</b>						
	(WP)		Budowa tego typu jest konieczna i niezbędna, jednak niewystarczająca do ograniczenia ładunku związków biogennych. To rozwiązanie należy potraktować jako działanie uzupełniające inne zabiegi.	-	-	-
	(ZS)		Proponowane działanie jest zgodne z wymogami zawartymi w unijnej Ramowej Dyrektywie Wodnej. Poszukiwanie miejsc na retencję dla spływów z terenów rolniczych „powyżej” ZZ, powinno pozostawać w zakresie stałych zamierzeń i starań organów administracji państwowej i samorządowej, w tym ich jednostek planistycznych.			
	(BPS)		Budowa tego typu zbiornika jest konieczna ale niewystarczająca do istotnego zmniejszenia ładunków biogenów dopływających do ZZ. Powinno to być uzupełnieniem do innych działań, które ograniczą dopływ biogenów bezpośrednio z wodami Bystrzycy.			

Lp.	Proponowane działanie (autor)	Cel działania i oczekiwane efekty	Ocena możliwości technicznych, przewidywane koszty <sup>1</sup> , w tym związane z niezbędnymi badaniami naukowymi, oszacowanie długotrwałości efektu, problemy społeczno-gospodarcze itp.	Możliwe skutki negatywne dla ekosystemu zbiornika	Spodziewane skutki w zakresie hydrologii i gospodarki wodnej dotyczące zbiornika	Możliwe skutki dla rzeki Bystrzycy (hydrologiczne, ekologiczne, inne)
4.	Wybudowanie nowego koryta Bystrzycy na całej długości Zalewu Zemborzyckiego (ZM)	Odcięcie toni wodnej Zalewu od bezpośredniego zasilania wodami Bystrzycy bogatymi w zawiesinę i związki biogenne. Ochrona zbiornika przed wprowadzaniem żyznych wód górnej Bystrzycy, zawierających duże ilości zawiesiny i biogenów do czaszy Zalewu Zemborzyckiego	Wykonanie koryta dla przepływu wód górnej Bystrzycy wzdłuż Zalewu Zemborzyckiego – po zachodniej lub wschodniej jego stronie. Wybudowanie nowego koryta rzeki zmniejszy powierzchnię obecnego zbiornika. Zabieg ten wyeliminuje retencjonowane w Zalewie zanieczyszczonych wód powierzchniowych.  Wysokie koszty inwestycji.	Zmiana warunków funkcjonowania Zalewu.  Wyłączenie możliwości dopływu dużej ilości biogenów i zawiesiny korzystnie wpłynie na ekosystem Zalewu	Wykonanie nowego koryta Bystrzycy wymaga doprowadzenia wody o dobrej jakości do Zalewu	Wody Bystrzycy szybko zostaną przeprowadzone nowym korytem. Wymaga to przygotowania terenów poniżej Zalewu do przyjęcia wody i jej przepływu na odcinku miejskim – bez możliwości spiętrzania w strefie meandrującego koryta.
<b>UWAGI POZOSTAŁYCH AUTORÓW</b>						
	(ZS)		Obiekt taki („bypass”), z uwagi na wymogi obowiązujących od 2007 roku przepisów technicznych, w ogóle nie mógłby powstać na miejscu istniejącego zalewu. Powyższe wynika bezpośrednio z wymogów Rozporządzenia Ministra Środowiska z 20.04.2007 r. "w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 86 z 16.05.2007, poz. 579), nakazujących rozpatrzenie "przebiegu i zasięgu fali wezbraniowej, wywołanej zniszczeniem, lub uszkodzeniem budowli" - zgodnie z &24.p.2 tego przepisu. W związku „z zagrożeniem życia” (w takiej sytuacji) dla mieszkańców Lublina (& 24.p.3), konieczne byłyby	Odizolowanie zbiornika od wód rzeki Bystrzycy poprzez realizację „bypass- u” z uwagi na wymogi obecnych przepisów, dotyczących bezpieczeństwa (konkretnie: mieszkańców miasta Lublina) nie może	Odizolowanie zbiornika od Bystrzycy poprzez wykonanie „bypass-u”, z uwagi na wymogi przepisów, nie może być obecnie przeprowadzone i w związku z tym, spodziewane skutki w zakresie	Wykonanie „bypass-u”, oznaczałoby wykonanie regulacji rzeki po nowej trasie, ze wszystkimi, powszechnie znanymi negatywnymi skutkami dla środowiska,

			<p>dokonanie "zabezpieczeń chroniących ludność". Wobec oczywistej niemożliwości wykonania takich zabezpieczeń na znacznym obszarze miasta, respektując wymogi w/w Rozporządzenia, należałoby dokonać przesiedlenia mieszkańców z terenów zagrożonych katastrofalnie wielką falą powodziową, hipotetycznie możliwą, w przypadku awaryjnego przerwania takiej (nowej) zapory. Ponieważ ze względów oczywistych, nie jest to obecnie w ogóle możliwe do przeprowadzenia, ani realnie, ani nawet tylko do zaproponowania w odpowiedzialnie wykonanej „koncepcji projektowej”, nowy w istocie zbiornik „powyżej” Lublina (a więc oddzielony od rzeki, płynącej „bypassem”), praktycznie nie jest dzisiaj możliwy do zrealizowania.</p> <p><b>Z podanych powodów, zdaniem autora, pomysł „odizolowania zbiornika od rzeki Bystrzycy”, powinien obecnie być całkowicie zaniechany, a najlepiej nawet, zupełnie zapomniany.</b></p>	<p>być przeprowadzone i w związku z tym, negatywne skutki dla ekosystemu zbiornika rozważać można obecnie jedynie hipotetycznie (teoretycznie), a nie, w odpowiedzialnych analizach inżynierskich i ekonomicznych.</p>	<p>hydrologii i gospodarki wodnej zbiornika rozważać można obecnie jedynie hipotetycznie (teoretycznie), a nie, w odpowiedzialnych analizach inżynierskich i ekonomicznych.</p>	<p>związanymi z takimi pracami .</p>
(WP)	<p>Odcięcie ZZ od żyznych wód Bystrzycy – bardzo znaczna redukcja ładunku zewnętrznego związków biogenych.</p>	<p>Zabieg ten może być pierwszym niezbędnym elementem przy rekultywacji ZZ. Jednak ze względu na dodatkowe wewnętrzne zasilanie toni wodnej ZZ w związku biogenne z osadów dennych musi być uzupełniony o dalsze działania, które powinny zredukować ładunek wewnętrzny (wybranie osadów, inaktywacja fosforu itp.)</p>	<p>Znaczne zwiększenie czasu retencji wody w ZZ będzie niekorzystne z punktu widzenia formowania się sinicowych zakwitów wody. Niezbędne będzie kilkukrotne w ciągu sezonu przepłukiwanie ZZ wodami Bystrzycy.</p>			
(BPS)	<p>Odcięcie ZZ od ładunków zewnętrznych</p>	<p>j.w. Może warto zastanowić się nad tzw. „bypassem” wynoszącym żyzne wody ze spływów powierzchniowych zbieranych w zbiornikach wyrównawczych do Bystrzycy poniżej ZZ. To ograniczy istotnie ładunek biogenów ze spływów ale musi to być działanie towarzyszące ograniczeniu dopływu biogenów ze zlewni Bystrzycy .</p>				

Lp.	Proponowane działanie (autor)	Cel działania i oczekiwane efekty	Ocena możliwości technicznych, przewidywane koszty <sup>1</sup> , w tym związane z niezbędnymi badaniami naukowymi, oszacowanie długotrwałości efektu, problemy społeczno-gospodarcze itp.	Możliwe skutki negatywne dla ekosystemu zbiornika	Spodziewane skutki w zakresie hydrologii i gospodarki wodnej dotyczące zbiornika	Możliwe skutki dla rzeki Bystrzycy (hydrologiczne, ekologiczne, inne)
5.	Usunięcie współczesnych osadów zbiornikowych lub/i usunięcie dolinnych osadów biogenicznych (RD)	<p>(1) znaczące, ponad dwukrotne, zwiększenie głębokości i objętości zbiornika, dające szansę na</p> <p>(2) poprawę stratyfikacji termicznej wód (w tym także potencjalne obniżenie średniej temperatury wody, również w sezonie letnim),</p> <p>(3) zmniejszenie zasilania wewnętrznego zbiornika w biogeny, a co za tym idzie</p> <p>(4) zmniejszenie ryzyka potencjalnych zakwitów sinicowych wód, a w konsekwencji m.in.</p> <p>(5) zwiększenie atrakcyjności rekreacyjnej zbiornika</p>	<p>Całkowite usunięcie osadów dennych oraz biogenicznych osadów dolinnych (torfów i gytii) wymusza konieczność całkowitego spuszczenia wody ze zbiornika co najmniej na okres 2 lat. Zabieg jest jednorazowy, choć rozłożony w czasie. Wymaga relatywnie dużych nakładów finansowych, związanych zarówno z samą ekskawacją, jak i czasowym składowaniem jej produktów.</p> <p>Skuteczność działań uwarunkowana podjęciem równoległych prac hydrotechnicznych zmierzających do zmiany charakteru zasilania zbiornika, ograniczającego dostawę pierwiastków biogennych.</p> <p>Zastosowanie tak radykalnych działań może budzić kontrowersje społeczne (czasowe wyłączenie funkcji wędkarskiej i rekreacyjnej Zalewu); konieczna będzie akcja edukacyjna.</p> <p>Alternatywnym zabiegiem jest usuwanie osadów rzecznych (u ujścia Bystrzycy do zalewu) i osadów zbiornikowych przy pomocy podciśnieniowego refulera. Zabieg ten może być wykonywany bez konieczności spuszczenia wody ze zbiornika, choć z racji relatywnie małych miąższości serii osadowych wymagać będzie kilkukrotnego powtarzania procedur w perspektywie kolejnej dekady. Kubatura zbiornika zwiększy się w wyniku tych zabiegów w stopniu minimalnym, zaś poniesione koszty finansowe będą niewspółmierne do uzyskanych efektów.</p> <p>Skuteczność działań raczej krótkotrwała, i również uwarunkowana podjęciem równoległych prac</p>	<p>Całkowita reorganizacja ekosystemu zbiornika; sukcesja wtórna.</p> <p>Prawdopodobne wystąpienie skutków negatywnych:</p> <p>(1) naruszenie osadów biogenicznych w podłożu zbiornika, co będzie skutkowało (2) zdynamizowaniem procesów eutrofizacji wód.</p>	<p>Radykalna poprawa stosunków wodnych</p> <p>Udrożnienie koryta Bystrzycy w ujściowym odcinku do zalewu (od mostu na ul. Cienistej)</p>	<p>Zachowany zostanie stan jakości wody jak w górnej części rzeki Bystrzycy (przed zbiornikiem) - warunek konieczny to wcześniejsze bajpasowanie koryta Bystrzycy na odcinku "zemborzyckim"</p>

			<p>hydrotechnicznych zmierzających do zmiany charakteru zasilania zbiornika, ograniczającego dostawę pierwiastków biogenych.</p> <p>Zastosowanie metody nie powinno budzić kontrowersji społecznych.</p>			
UWAGI POZOSTAŁYCH AUTORÓW						
(ZM)	Zwiększenie głębokości Zalewu i poprawa jakości wody w zbiorniku.	<p>Problem składowania/ utylizacji dużej ilości osadów dennych. Konieczność opracowania sposobów utylizacji osadów zawierających niebezpieczne dla środowiska związki chemiczne, a także wykorzystania osadów jako potencjalny nawóz</p> <p>Koszty: wysokie.</p> <p>Konieczność całkowitego wyłączenia zbiornika z użytkowania oraz zapewnienia poboru wody dla Elektrociepłowni Wrotków</p>	Zmiana warunków funkcjonowania Zalewu	Zwiększenie pojemności zbiornika. Poprawa jakości wody.	Uwolnienie dużych ilości związków biogenych oraz innych związków chemicznych i odprowadzenie ich do rzeki poniżej Zalewu	
(WP)	<p>Usunięcie wewnętrznego źródła zasilania toni wodnej ZZ w fosfor i azot oraz form przetrwanych fitoplanktonu.</p> <p>Ograniczenie resuspensji</p> <p>Ograniczenie nagrzewania się wody.</p>	<p>Działanie wykonane samodzielnie, bez uprzedniej redukcji zewnętrznego ładunku związku biogenych niesionych Bystrzycą będzie miało krótkotrwały efekt (&lt;10 lat).</p> <p>Po usunięciu osadów niezbędne jest takie uformowanie nowej misy zbiornika aby mogły wykształcić się tam wszystkie biocenozy wodne, przede wszystkim makrofity zanurzone (należy uwzględnić utworzenie strefy płytkiego litoralu).</p> <p>Działanie to musi być uzupełniane przez kilka lat po zakończeniu biomanipulacją i wspomaganie odbudowy makrofitów.</p>	<p>Całkowite zniszczenie wszystkich biocenoz wodnych spowoduje niestabilność ekosystemu przez kilka lat po zakończeniu działania.</p> <p>Nieodpowiednie uformowanie nowej misy zbiornika może utrudnić wykształcenie się pożądanych i niezbędnych biocenoz wodnych – przede wszystkim makrofitów.</p>			
(ZS)		<p>Realizacja robót możliwa jest dla kubatury nie większej od 1 mln.m<sup>3</sup>. Prace o większym rozmiarze spowodują natomiast powstanie pojemności „martwej”, której nie będzie można „spuścić” do dolnego stanowiska stopnia wodnego w sposób grawitacyjny, zarówno aktualnie, jak w dowolnym</p>		<p>Przy robotach ziemnych w czaszy większych od 1 mln.m<sup>3</sup>, ZZ będzie częściowo „pracował” w</p>		

			czasie w przyszłości..		układzie „jeziorowym”, wysoce niekorzystnym dla zbiornika znajdującego się w sytuacji hydrologicznej, w jakiej jest obecnie.	
	(BPS)		Działanie nie usuwające głównej przyczyny sinicowych zakwitów tj ciągłego dopływu związków biogennych ze źródeł zewnętrznych. Może to być działanie uzupełniające, gdyż tylko w mniejszej części obniży stężenie fosforu i azotu w wodzie zbiornika. Pogłębienie zbiornika jakkolwiek korzystne, bez ograniczenia dopływów zewnętrznych nie usunie problemu zakwitów, które również występują w mniej żyznych ale głębszych niż ZZ zbiornikach.			

Lp.	Proponowane działanie (autor)	Cel działania i oczekiwane efekty	Ocena możliwości technicznych, przewidywane koszty <sup>1</sup> , w tym związane z niezbędnymi badaniami naukowymi, oszacowanie długotrwałości efektu, problemy społeczno-gospodarcze itp.	Możliwe skutki negatywne dla ekosystemu zbiornika	Spodziewane skutki w zakresie hydrologii i gospodarki wodnej dotyczące zbiornika	Możliwe skutki dla rzeki Bystrzycy (hydrologiczne, ekologiczne, inne)
6.	Budowa upustów dennych w zaporze czołowej (ZS)	<p>Celem działania jest uzyskanie całkowitej, lub prawie całkowitej „spuszczalności” zbiornika zgodnie z wymogami przepisów i ograniczenie w nim kubatury „martwej” oraz poprawienie w ten sposób warunków troficznych akwenu, a dodatkowo, uzyskanie lepszych warunków dla przejścia wód powodziowych (z poprawą bezpieczeństwa mieszkańców).</p> <p>Dodatkowe możliwe efekty:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dobudowanie „przepławki” dla ryb, zapewniającej ciągłość morfologiczną rzeki - stosownie do dyspozycji zawartej w aktualnym pozwoleniu wodno prawnym na eksploatację zbiornika i zgodnie z RDW.</li> <li>2. Niezbędne odmulenie ZZ, w warunkach optymalnych dla realizacji takich robót</li> </ol> <p>Efekty do rozważenia:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Uruchomienie toru wodnego, przy wymaganych przez związki sportowe parametrach</li> <li>2. Wykonanie elektrowni (MEW)</li> </ol>	<p>Po czasowym spuszczeniu wody ze zbiornika, co jest warunkiem niezbędnym dla „budowy upustów dennych w zaporze czołowej” istnieć będą możliwości likwidacji błędów projektowych i zaniechań z fazy realizacji zbiornika, a także spełnienie żądań władz wodnych i władz ochrony środowiska, z uzyskaniem części, czy też wszystkich efektów, sprecyzowanych w niniejszej tabeli.</p> <p>Możliwości techniczne przeprowadzenia wszystkich robót (dla uzyskania wymienionych celów) istnieją, przy czym można je zrealizować jako rutynowy hydrotechniczny remont bieżący zbiornika, w ramach aktualnego pozwolenia wodno prawnego na jego eksploatację i utrzymanie.</p> <p>Efekt wykonania spustów i innych robót możliwych przy okazji spuszczenia wody z zalewu będzie długotrwały, w sposób zdecydowany podnosząc walory zbiornika w wielu aspektach: bezpieczeństwa, rekreacji, walorów środowiskowych, nawet tworzenia energii odnawialnej i innych.</p> <p>Generalnym efektem z wykonania hydrotechnicznego remontu bieżącego zbiornika, będzie dla niego przedłużenie jego żywotności, jednocześnie przy zapewnieniu bezpieczeństwa obiektu hydrotechnicznego na wysokim poziomie.</p>	<p>Okresowe spuszczenie wody ze zbiornika wiązać się będzie z potrzebą czasowego przemieszczenia ryb z ZZ do innego akwenu.</p> <p>Dzięki utworzeniu przepławki zostanie zapewniona ciągłość morfologiczna rzeki, która powinna w szybkim czasie zneutralizować negatywne oddziaływanie na ekosystem zbiornika czasowo prowadzonych prac.</p>	<p>Wykonanie spustów dennych i wariantowo także innych urządzeń i obiektów, cytowanych w rubryce „Cel i efekty”, przy zachowaniu bez zmian poziomów piętrzenia, będzie neutralne w zakresie hydrologii oraz zdecydowane korzystne w zakresie gospodarki wodnej zbiornika.</p> <p>Po wykonaniu spustów dennych i wszystkich robót (jak wyżej) oraz przyjęciu zasady czasowego (np., co 10 lat) opróżniania zbiornika, będzie można mieć nadzieję, że walka z plagą sinic na ZZ będzie wygrana.</p>	<p>Odprowadzanie znacznie czystszych wód zbiornika do rzeki i ich (wariantowe) stałe napowietrzanie przez MEW będzie korzystnie wpływać na parametry czystości wód rzeki na odcinku miejskim.</p> <p>Ocenia się także, że wobec pozostawienia bez zmian parametrów piętrzenia, kubatur warstw użytkowych i innych parametrów hydrotechnicznych akwenu, skutki hydrologiczne dla rzeki poniżej ZZ będą neutralne.</p>



UWAGI POZOSTAŁYCH AUTORÓW

	(WP)	Działanie takie może częściowo zredukować wewnętrzne zasilanie toni wodnej ZZ w związki biogenne poprzez okresowe pozbywanie się górnej warstwy uwodnionych osadów dennych.	Działanie o charakterze doraźnym, nie spowoduje znacznej redukcji zasilania wewnętrznego w związki biogenne i nie będzie miało wpływu na redukcję zasilania zewnętrznego. Tym samym nie przyczyni się do ograniczenia zakwitów sinic. Może być zastosowane jako działanie uzupełniające inne przedsięwzięcia.			
	BPS	j.w.	j.w. Działanie uzupełniające do działań ograniczających zasilanie zewnętrzne w związki biogenne. Usuwanie współczesnych osadów dennych nie będzie powiększać już istniejącego zasilania wewnętrznego w biogeny i puli form przetrwalnikowych sinic. Jednakże sinice są naturalnym składnikiem biocenoz i w sprzyjających warunkach (ciągły dopływ biogenów) znów zaczną się masowo rozwijać.			

Lp.	Proponowane działanie (autor)	Cel działania i oczekiwane efekty	Ocena możliwości technicznych, przewidywane koszty <sup>1</sup> , w tym związane z niezbędnymi badaniami naukowymi, oszacowanie długotrwałości efektu, problemy społeczno-gospodarcze itp.	Możliwe skutki negatywne dla ekosystemu zbiornika	Spodziewane skutki w zakresie hydrologii i gospodarki wodnej dotyczące zbiornika	Możliwe skutki dla rzeki Bystrzycy (hydrologiczne, ekologiczne, inne)
7.	Mechaniczne mieszanie wody (BPS)	Ograniczenie rozwoju sinic i tworzenia powierzchniowych kożuchów na korzyść innych grup fitoplanktonu	Wysokie koszty instalacji odpowiednich urządzeń napowietrzających głębsze warstwy wody ( 400-5000 USD/ha rocznie). Metoda stosowana zarówno w głębokich jak i płytkich zbiornikach przynosiła niejednoznacznie pozytywne efekty. Czasem może dochodzić do nasilenia zakwitów ( w 50 %) przypadków). Metoda wymaga długotrwałych badań na konkretnym zbiorniku , gdyż s- istotne jest dopracowanie tempa mieszania. Poza tym brak danych dotyczących odporności na mieszanie poszczególnych gatunków rozwijających się w ZZ. Zabieg mieszania o odpowiednim tempie musi być stale stosowany, w innym wypadku dochodzi do nawrotów silnych zakwitów.	Przenoszenie biogenów z osadów do toni wodnej. Zmniejszenie przejrzystości wody, zmiany w pH i hipersaturacja gazami, głównie N2 , może być niebezpieczny dla ichtiofauny. Aeratory ustawione w zatokach przy kąpieliskach mogą stanowić utrudnienia w rekreacyjnym korzystaniu z akwenu.	--	-
<b>UWAGI POZOSTAŁYCH AUTORÓW</b>						
	(WP)		Metoda doraźna o trudnych do przewidzenia efektach.	Dodatkowe mieszanie zwiększy resuspensję osadów dennych co przyczyni się do zwiększonego zasilania toni wodnej w związki biogenne.  Nie są możliwe do przewidzenia skutki dla biocenoz wodnych. Niektóre		

				gatunki fitoplanktonu, w tym sinic preferują wody często mieszane. Może to spowodować zmianę składu gatunkowego fitoplanktonu, lecz nie zmniejszy jego biomasy.		
--	--	--	--	---	--	--

Lp.	Proponowane działanie (autor)	Cel działania i oczekiwane efekty	Ocena możliwości technicznych, przewidywane koszty <sup>1</sup> , w tym związane z niezbędnymi badaniami naukowymi, oszacowanie długotrwałości efektu, problemy społeczno-gospodarcze itp.	Możliwe skutki negatywne dla ekosystemu zbiornika	Spodziewane skutki w zakresie hydrologii i gospodarki wodnej dotyczące zbiornika	Możliwe skutki dla rzeki Bystrzycy (hydrologiczne, ekologiczne, inne)
8.	Inaktywacja fosforu w toni wodnej i osadach dennych przy pomocy mineralnych związków chemicznych (zw. glinu, żelaza, wapnia, minerały ilaste) (WP)	Zmniejszenie dostępności fosforu dla fitoplanktonu, w tym sinic planktonowych oraz zmniejszenie ilości fitoplanktonu w wyniku sedymentacji komórek. Oczekiwany efekt jest spadek ilości glonów planktonowych oraz poprawa warunków świetlnych, co umożliwiłoby odnowę zespołu makrofitów (roślinności dennej).	Metoda stosunkowo łatwa do zastosowania (w czasie sezonu wegetacyjnego). Konieczność powtarzania zabiegów co kilka lat. Koszty umiarkowane lub duże (w przypadku preparatów typu Phoslock). Przed zastosowaniem na całym zbiorniku niezbędne byłoby przeprowadzenie dawkowania eksperymentalnego w zagrodach (wydzielone części zbiornika) przez jeden sezon wegetacyjny.  Ze względu na ciągły dopływ fosforu wraz z wodami Bystrzycy należy się spodziewać, że pozytywne efekty utrzymają się przez krótki okres czasu (kilka – kilkadziesiąt miesięcy). Zastosowanie tej metody nie powinno budzić kontrowersji społecznych ani zagrożenia dla zdrowia ludności, jednak potrzebna będzie akcja edukacyjna.	Możliwe wystąpienie skutków negatywnych: - związki glinu: negatywny wpływ na wioślarki planktonowe z rodzaju Daphnia; wzrost koncentracji jonów amonowych $NH_4^+$ ; - związki glinu: wiązanie fosforu niestabilne przy deficytach tlenowych - związki wapnia: możliwość redukcji makrofitów i negatywnego wpływu na zooplankton	Brak wpływu na stosunki wodne	Poprawa jakości wody w Bystrzycy poniżej zbiornika
<b>UWAGI POZOSTAŁYCH AUTORÓW</b>						
	(BPS)		Krótkotrwałe efekty przy ciągłym dopływie biogenów ze źródeł zewnętrznych. Zastosowanie jej wymagałoby dokładnego opracowania dawek, częstotliwości stosowania i określenie przyrostu miąższości osadów dennych. Biogeny dopływają ciągle a ich strącanie następowałoby okresowo, co nie powodowałoby stałego usunięcia biogenów z wody.	Powstające osady nierozpuszczalnych związków fosforu przyczynią się do wypłymania ZZ.		

Lp.	Proponowane działanie (autor)	Cel działania i oczekiwane efekty	Ocena możliwości technicznych, przewidywane koszty <sup>1</sup> , w tym związane z niezbędnymi badaniami naukowymi, oszacowanie długotrwałości efektu, problemy społeczno-gospodarcze itp.	Możliwe skutki negatywne dla ekosystemu zbiornika	Spodziewane skutki w zakresie hydrologii i gospodarki wodnej dotyczące zbiornika	Możliwe skutki dla rzeki Bystrzycy (hydrologiczne, ekologiczne, inne)
9.	Biomanipulacja poprzez zarybianie rybami drapieżnymi (szczupak, okoń, sandacz) połączone z selektywnymi odłowami ryb planktonożernych i bentosożernych (leszcz, karaś, płóc, karp) (WP)	<p>Przebudowa struktury ichtiofauny w celu:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ograniczenia populacji ryb planktonożernych;</li> <li>- wzmocnienia populacji skorupiaków filtrujących;</li> <li>- ograniczenia resuspensji osadów dennych przez ryby bentosożerne.</li> </ul> <p>Oczekiwany efekt jest ograniczenie nadmiernego rozwoju fitoplanktonu.</p>	<p>Metoda stosunkowo łatwa do zastosowania, jednak ze względu na silne przeżyźnienie ZZ (koncentracja TP &gt; 100 mg m<sup>-3</sup>) efekty mogą być ograniczone. Dodatkowym czynnikiem, który może osłabić efekty jest migracja niepożądanych ryb z Bystrzycy.</p> <p>W ZZ zabiegi tego typu (w małej skali) są częściowo stosowane przy okazji corocznych zarybień przez PZW oraz w ramach odłowów selektywnych leszcza przez Urząd Miasta. Koszty stosunkowo niskie (przykładowy koszt zarybień drapieżnikami w 2014 roku to ok. 100 000 zł, przy intensyfikacji zabiegów i dodatkowych odłowach selektywnych koszty mogą wzrosnąć do kilkuset tysięcy zł co kilka lat.). Istnieje konieczność powtarzania zabiegów co kilka lat lub nawet corocznie. Przy powtarzaniu zabiegów można uzyskać efekty długotrwałe.</p> <p>Selektywny odłów ryb spokojnego żeru (leszcz, karaś, karp, płóc) spotka się prawdopodobnie z bardzo dużym oporem środowisk wędkarskich..</p>	Brak negatywnego wpływu	Brak wpływu na stosunki wodne	Zmiana struktury ichtiofauny w rzece
<b>UWAGI POZOSTAŁYCH AUTORÓW</b>						
	brak					

Lp.	Proponowane działanie (autor)	Cel działania i oczekiwane efekty	Ocena możliwości technicznych, przewidywane koszty, w tym związane z niezbędnymi badaniami naukowymi, oszacowanie długotrwałości efektu, problemy społeczno-gospodarcze itp.	Możliwe skutki negatywne dla ekosystemu zbiornika	Spodziewane skutki w zakresie hydrologii i gospodarki wodnej dotyczące zbiornika	Możliwe skutki dla rzeki Bystrzycy (hydrologiczne, ekologiczne, inne)
10.	Ograniczanie zakwitów sinic poprzez stosowanie: ultradźwięków, algicydów (w tym słomy jęczmiennej), mikroorganizmów. Wspomaganie odbudowy makrofitów. (WP)	Bezpośrednie działanie glonobójcze lub ograniczające rozwój glonów planktonowych. Spodziewanym efektem jest obniżenie biomasy fitoplanktonu, co poprawi warunki świetlne w zbiorniku wodnym. Brak naukowych podstaw do stosowania tzw. EM (efektywnych mikroorganizmów).	Ultradźwięki i algicydy chemiczne – bardzo wysokie koszty, efekt krótkotrwały, duże kontrowersje społeczne, metody te nie usuną przyczyn degradacji ZZ; Słoma jęczmienna – koszt mały, ale istnieje konieczność zastosowania bardzo dużych ilości słomy – dawka skuteczna w przypadku ZZ nie mniejsza niż 100 t, konieczność powtarzania zabiegów, efekt krótkotrwały i trudny do przewidzenia. Odbudowa makrofitów – tylko jako metoda wspomagająca, efekty długotrwałe, koszty stosunkowo niskie, możliwy opór użytkowników rekreacyjnych i wędkarskich	W przypadku ultradźwięków i algicydów chemicznych możliwe wystąpienie negatywnych efektów w postaci wpływu na inne zespoły organizmów wodnych. Wpływ ten jest trudny do przewidzenia. W przypadku stosowania tzw. EM duże ryzyko uwolnienia fosforanów z osadów dennych do toni wodnej, co zwiększy natężenie zakwitów	W przypadku odbudowy zespołu makrofitów nastąpi zwolnienie przepływu.	Poprawa stanu ekologicznego rzeki.
<b>UWAGI POZOSTAŁYCH AUTORÓW</b>						
	brak					

Lp.	Proponowane działanie (autor)	Cel działania i oczekiwane efekty	Ocena możliwości technicznych, przewidywane koszty <sup>1</sup> , w tym związane z niezbędnymi badaniami naukowymi, oszacowanie długotrwałości efektu, problemy społeczno-gospodarcze itp.	Możliwe skutki negatywne dla ekosystemu zbiornika	Spodziewane skutki w zakresie hydrologii i gospodarki wodnej dotyczące zbiornika	Możliwe skutki dla rzeki Bystrzycy (hydrologiczne, ekologiczne, inne)
11.	Okresowa wymiana wody w zbiorniku (ZS)	<p>Okresowa wymiana wody w zbiorniku w celu:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- początkowo: umożliwiające budowę spustów i przepławki oraz realizację uzupełniającego remontu zapory od strony wody.</li> <li>- w dalszym użytkowaniu: dla umożliwienia bieżących napraw, remontów, ze względów sanitarnych (na przykład w warunkach skażenia wód), dla okresowego odmulania czaszy itp.</li> </ul> <p>Oczekiwany efekt jest też ograniczenie nadmiernego rozwoju fitoplanktonu.</p>	<p>Po realizacji spustów dennych na ZZ, zaistnieje możliwość dokonywania w nim okresowej wymiany wody, konkretnie zaś, spuszczenia do dolnego stanowiska większości z wód, magazynowanych w warstwie retencyjnej, nazywanej „pojemnością martwą”. Obecnie można zakładać, że wymiana taka była by przeprowadzana w każdym przypadku uzasadnionym technicznie, mającym swoje odzwierciedlenie w zapisach instrukcji eksploatacji i utrzymania, lub instrukcji gospodarowania wodą ZZ, w szczególności dla przeprowadzenia miejscowych, lub lokalnych napraw w strefach zbiornika obecnie stale zalanych wodą, także ze względów sanitarnych, lub innych oraz, rutynowo, jakkolwiek nie obligatoryjnie, na przykład <b>w cyklu co 10 lat.</b></p>	<p>Negatywny wpływ na ekosystem ZZ wystąpi jedynie w okresie bezpośrednio związanym ze zrzutem wód (pojemności martwej) przez spusty denne.</p>	<p>Poprawa w zakresie bieżącej eksploatacji i utrzymania ZZ, także ułatwienie w zakresie gospodarowania wodą.</p>	<p>Możliwość poprawy struktury ichtiofauny w ZZ, po dokonaniu okresowych (na przykład, co 10 lat) odłowów selekcyjnych i czasowego przeniesienia ryb poza ZZ.</p>
<b>UWAGI POZOSTAŁYCH AUTORÓW</b>						
	(WP)	<p>Brak uzasadnienia z punktu widzenia efektów w postaci poprawy stanu ekologicznego i ograniczenia zakwitów sinic.</p>	<p>Konieczność cyklicznego odtwarzania niemal wszystkich biocenoz wodnych.</p>	<p>Cykliczne odsłanianie osadów dennych (bez ich bagrowania) spowoduje istotne zwiększenie ładunku wewnętrznego związków biogennych, co nasili zjawisko zakwitów sinic. Cykliczne niszczenie biocenoz wodnych spowoduje dodatkowo niestabilność ekologiczną</p>		

				ekosystemu co zwiększy natężenie zakwitów sinic.		
	(BPS)	Brak uzasadnienia dla długoczasowej poprawy stanu ekologicznego ZZ w sytuacji ciągłych dostaw zw. Biogennych ze źródeł zewnętrznych.	Efekt krótkotrwały, gdy takie same żyzne wody będą napełniały zbiornik. Nasuwa się pytanie w jakim okresie i jak długi były czas usuwania „części wód”. W przypadku usunięcia na początku okresu letniego i szybkiego napełnienia zbiornika, w danym roku można by uzyskać efekt poprawy. Tzw. „przepłukiwanie zbiornika” mogłoby przyczynić się do ograniczenia rozwoju niektórych toksynotwórczych gatunków sinic. Uzyskanie długotrwałych efektów wymaga jednak ograniczenia zasilania zewnętrznego ( tj ze spływów powierzchniowych w zlewni Bystrzycy i sąsiedztwie ZZ).	Istnieje zagrożenie zniszczenia biocenozy wodnych.		



**Tabela 7.** Proponowane scenariusze działań mających na celu poprawę jakości wody i ograniczenie zakwitów sinic w Zalewie Zemborzyckim.

(prof. dr hab. Barbara Pawlik-Skowrońska)

	Opis scenariusza	Spodziewane efekty pozytywne i negatywne	Okres	Koszt	Czas uzyskania efektów	Szanse	Uwagi
A	Wybranie namułu z dna ZZ (miąższość do 80 cm) na czynnym zbiorniku ok. 2 mln m <sup>3</sup> Budowa zbiornika „Prawiedniki” powyżej ZZ na terenie gm. Strzyżewice Budowa polderu powyżej ZZ po prawej stronie rz. Bystrzycy (ok. 30 ha)	Nieznaczne powiększenie kubatury zbiornika bez wpływu na poprawę warunków pod kątem ograniczenia zakwitów. Nieokreślone ograniczenie stężenia biogenów w wodzie ZZ. Budowa zbiornika Prawiedniki może raczej negatywnie wpłynąć na warunki w ZZ ( rozwój sinic i przemieszczanie ich do ZZ i wzrost temperatury wody). Budowa polderu , pod warunkiem dobrego zaprojektowania, przyczynić się może do ograniczenia dopływu biogenów o ograniczenia sinicowych zakwitów.	2-3 lat	Duży,	Trudno określić	-----	
B	Wybranie namułu na czynnym ZZ Wybranie torfu (miąższość do 4m) na czynnym ZZ ok. 5 mln m <sup>3</sup> Budowa zbiornika „Prawiedniki” Budowa polderu	Raczej niekorzystne działania na czynnym ZZ. Degradacja ekosystemu Bystrzycy i samego zbiornika. Uwalnianie biogenów z osadów. Budowa zbiornika Prawiedniki na żywnych wodach Bystrzycy nie będzie miała pozytywnego wpływu na sam ZZ. Budowa polderu może przyczynić się do częściowego ograniczenia dopływu biogenów.	2-3 lat	Duży, brak!	Trudno określić	-----	
C	Wybranie namułu z dna ZZ Wybranie torfu Praca przy zbiorniku wyłączonym z eksploatacji Budowa polderu	Całkowita likwidacja wewnętrznego źródła biogenów z osadów organogenicznych podłoża (namuły+torfy); Znaczące zwiększenie kubatury zbiornika, poprawiające jego strukturę termiczną (w tym obniżenie temperatury wody).  Włączenie zbiornika z użytkowania na dłuższy czas. Brak możliwości znaczącej poprawy charakteru zasilania ZZ (w	2-3 lata	Duży	Zaraz po napełnieniu zbiornika ale nie wiadomo na jak długo!!!!	Działania nie zahamują całkowicie dostawy biogenów z wodami Bystrzycy	

		tym dostawy związków biogenych); Budowa polderu w ograniczonym stopniu zmienia charakter zasilania ZZ (nie wyklucza dostawy związków biogenych ze spływów powierzchniowych. Powolna sukcesja wtórna biocenozy.					
D	Wybranie namułu z dna ZZ Wybranie torfu Praca przy nieczynnym zbiorniku Budowa zbiornika „Prawiedniki” Budowa polderu	<u>Efekty pozytywne:</u> Całkowita likwidacja wewnętrznego źródła biogenów z osadów organogenicznych podłoża (namuły+torfy); Znaczące zwiększenie kubatury zbiornika, poprawiające jego strukturę termiczną Wyłączenie zbiornika z użytkowania na okres co najmniej 2-3 lat. Brak możliwości znaczącej poprawy charakteru zasilania ZZ (w tym dostawy związków biogenych); Budowa polderu w ograniczonym stopniu zmienia charakter zasilania ZZ (nie wyklucza dostawy związków biogenych ze spływów powierzchniowych. Powolna sukcesja wtórna biocenozy	2-4 lat miesiące	Duży	Mogą być efekty krótko po napełnieniu zbiornika ale nie wiadomo na jak długo	Działania te nie zahamują w pełni dostawy biogenów z wodami Bystrzycy	
E	Przygotowanie programu edukacyjnego, którego celem byłoby utworzenie strefy buforowej pomiędzy polami uprawnymi, a rzeką Bystrzycą oraz prowadzenie upraw w układzie równoległym do rzeki Udrożnienie rzeki Bystrzycy (wybieranie namułu) na odcinku od granic ZZ do granic miasta Lublin	Ograniczenie bezpośredniej dostawy biogenów do ZZ w wyniku okresowych spływów powierzchniowych z pól; Częściowa oprawa stanu jakości wód w ZZ ale niewystarczająca do zapobieżenia sinicowemu zakwitom. Działanie ważne jako uzupełniające. Nieuzasadnione wybieranie namułu z rzeki.	1-2 lat	Duży	--	Powadzenie upraw w układzie równoległym do rzeki) nierealna do przeprowadzenia przy istniejącej strukturze powierzchniowej i własnościowej gruntów	
F	Wybranie osadów z dna Wybranie torfu Budowa kanału ulgi (by-passu) dla rzeki Bystrzycy na odcinku ZZ zbierającego spływy powierzchniowe gromadzone	<u>Efekty pozytywne:</u> (1) znaczące, ponad dwukrotne, zwiększenie głębokości i objętości zbiornika, dające szansę na (2) poprawę stratyfikacji termicznej wód (3) zmniejszenie zasilania wewnętrznego zbiornika w biogeny	2-4 lat	Bardzo duży	1-2 lata od zakończenia inwestycji	Wymaga kampanii promocyjnej. Działania kompleksowe przyczynią się do poprawy sytuacji, natomiast ograniczanie	

	<p>w zbiornikach wyrównawczych będące również istotnym źródłem biogenów.</p> <p>Praca przy zbiorniku wyłączonym z eksploatacji.</p> <p>Budowa polderu wychwytyjącego nadmiar biogenów z wód Bystrzycy powyżej ZZ i ciągłe prace na nim w celu suwania powstającej biomasy.</p> <p>Zmiana gospodarki zarybieniowej w zbiorniku w kierunku ryb drapieżnych i rozwój makrofitów, tworzenie strefy buforowej przy ZZ, działania uswiadamiające.</p>	<p>(4) znaczne ograniczenie zasilania zewnętrznego</p> <p><u>Efekty negatywne:</u></p> <p>Wyłączenie zbiornika z użytkowania na okres co najmniej 24 miesięcy;</p>				<p>dopływu biogenów tylko z jednego źródła nie zmniejszy problemu zakwitów sinicowych. Należy mieć stale na uwadze, że głównym i łatwo przyswajalnym ich źródłem jest rzeka Bystrzyca i jej zlewnia oraz spływy powierzchniowe.</p>	
--	---	--	--	--	--	---	--

(Prof. dr hab. Zdzisław Michalczyk)

	Opis scenariusza	Spodziewane efekty pozytywne i negatywne	Okres	Koszt	Czas uzyskania efektów	Szanse	Uwagi
A	Wybranie namułu z dna ZZ (miąższość do 80 cm) na czynnym zbiorniku ok. 2 mln m <sup>3</sup> Budowa zbiornika „Prawiedniki” powyżej ZZ na terenie gm. Strzyżewice Budowa polderu powyżej ZZ po prawej stronie rz. Bystrzycy (ok. 30 ha)	Budowa zbiornika retencyjnego powyżej Zalewu Zemborzyckiego oraz polderu zmniejszy dopływ zawiesiny i biogenów do ZZ. Nie będzie to znaczące zmniejszenie – szczególnie w odniesieniu do zbiornika wody stojącej. Redukcja biogenów nie będzie duża. Niestety, w zbiorniku i polderze będzie następował wzrost temperatury wody, co będzie potęgowało rozwój sinic w ZZ. Wybranie tylko namułów na czynnym ZZ – nie ma sensu rozpoczynania tego typu prac. Doprowadzą one do długotrwałego zanieczyszczenia wody ZZ oraz Bystrzycy zawiesiną trudno opadającą. Dodatkowo falowanie będzie uruchamiało odkryty torf. Część zawiesiny będzie osadzona w korycie Bystrzycy w Lublinie. Duża ilość zawiesiny negatywnie wpływa na jakość wody, jej przezroczystość, a także będzie sprzyjała jej nagrzewaniu. Jeżeli podejmować prace – to wybranie namułu i osadów organicznych.	dość długi	bardzo wysoki	po ponownym napełnieniu ZZ i stabilizacji wody oraz osadów	Nie wykorzystanie możliwości zwiększenia zasobów i jakości wody	
B	Wybranie namułu na czynnym ZZ Wybranie torfu (miąższość do 4m) na czynnym ZZ ok. 5 mln m <sup>3</sup> Budowa zbiornika „Prawiedniki” Budowa polderu	Zabieg trudny do realizacji. Wybieraniu namułów, a przede wszystkim torfu - przy czynnym Zalewie – spowoduje mechaniczne zanieczyszczenie wody. Do toni wodnej dostanie się duża ilość zawiesiny, która trudno opada, a zatem będzie przenoszona przez fale wiatrowe. Budowa zbiornika Prawiedniki i polderu nie będzie miała znaczenia dla jakości wody w ZZ, który będzie silnie zanieczyszczony własną zawiesiną.	długi, trudny do realizacji	bardzo wysoki	po ponownym napełnieniu ZZ i stabilizacji wody oraz osadów.	nastąpi zwiększenie pojemności wodnej ZZ. Długa stabilizacja jakości wody	
C	Wybranie namułu z dna ZZ Wybranie torfu Praca przy zbiorniku wyłączonym z eksploatacji	Działania bardzo pożądane dla poprawy warunków funkcjonowania Zalewu Zemborzyckiego. Nastąpi zwiększenie pojemności wodnej, głębokości ZZ, poprawie ulegnie jakość dopływającej wody. Do tego scenariusza koniecznie należy włączyć poprawę jakości wody w zlewni górnej Bystrzycy, co po	długi okres realizacji	bardzo wysoki	po napełnieniu zbiornika	szansa na uporządkowanie gospodarki wodnościeko	

	Budowa polderu	części można uzyskać po uporządkowaniu gospodarki wodnościekowej. Woda w polderze będzie się nagrzewała, co niekorzystnie będzie wpływało na ZZ – szczególnie w okresie wysokich temperatur				wej oraz uzyskanie długotrwałego efektu	
D	Wybranie namułu z dna ZZ Wybranie torfu Praca przy nieczynnym zbiorniku Budowa zbiornika „Prawiedniki” Budowa polderu	Działania bardzo pożądane dla poprawy warunków funkcjonowania Zalewu Zemborzyckiego. Nastąpi zwiększenie pojemności wodnej, głębokości ZZ, poprawie ulegnie jakość dopływającej wody. Do tego scenariusza koniecznie należy włączyć poprawę jakości wody w zlewni górnej Bystrzycy, co po części można uzyskać po uporządkowaniu gospodarki. Negatywny czynnik – to podniesienie temperatury wody w okresie letnim, co nie będzie ułatwiało zachowaniu korzystnych biocenoz w ZZ.	długi okres realizacji	bardzo wysoki	po napelnieniu zbiornika	szansa na uzyskanie efektu ekologicznego.	
E	Przygotowanie programu edukacyjnego, którego celem byłoby utworzenie strefy buforowej pomiędzy polami uprawnymi, a rzeką Bystrzycą oraz prowadzenie upraw w układzie równoległym do rzeki Udrożnienie rzeki Bystrzycy (wybieranie namułu) na odcinku od granic ZZ do granic miasta Lublin	Korzystne jest zachowanie strefy buforowej wokół Zbiornika Zemborzyckiego i innych wód powierzchniowych. Udrożnienie koryta Bystrzycy nie spowoduje korzystnych efektów ekologicznych. W strefie buforowej powinien być wyeliminowany bezpośredni spływ powierzchniowy z obszarów rolniczych do wód powierzchniowych.	24 miesiące	mały	po zagospodarowaniu	możliwa szybka realizacja	
F	Budowa nowego koryta Bystrzycy „bypassa”, wybudowanie biofiltra, wybranie namułów, wybranie torfu (przy nieczynnym ZZ) uporządkowanie gospodarki wodnościekowej w zlewni,	Jest to szansa na kompleksowe rozwiązanie problemu jakości wody w Zalewie Zemborzyckim. Nastąpi pogłębienie ZZ, zwiększenie jego pojemności. Powinna zaznaczyć się stabilizacja temperatury wody na niższym poziomie. Większa głębokość będzie powinna wykluczyć resuspencję osadów. Ułatwione będzie korzystanie z wód ZZ do sportów wodnych. Nastąpi zdecydowane zmniejszenie dopływu zawiesiny i biogenów, co będzie sprzyjało utrzymaniu dobrego stanu ekologicznego ZZ.	długi okres realizacji	bardzo wysoki	po napelnieniu wodą	szansa na długotrwałe utrzymanie się dobrych warunków ekologicznych	

(prof. dr hab. Radosław Dobrowolski)

	Opis scenariusza	Spodziewane efekty pozytywne i negatywne	Okres	Koszt	Czas uzyskania efektów	Szanse	Uwagi
A	Wybranie namułu z dna ZZ (miąższość do 80 cm) na czynnym zbiorniku ok. 2 mln m <sup>3</sup> Budowa zbiornika „Prawiedniki” powyżej ZZ na terenie gm. Strzyżewice Budowa polderu powyżej ZZ po prawej stronie rz. Bystrzycy (ok. 30 ha)	<u>Efekty pozytywne:</u> Niewielkie zwiększenie kubatury zbiornika, jakkolwiek nieistotne dla poprawy stratyfikacji termicznej akwenu; Czasowe usunięcie jednego z potencjalnych źródeł biogenów (=współczesne osady zbiornikowe); Czasowe ograniczenie dostawy biogenów bezpośrednio z wodami Bystrzycy; <u>Efekty negatywne:</u> Duże prawdopodobieństwa naruszenia stropowych partii torfów i co za tym idzie uruchomienia dodatkowego źródła dostawy biogenów do wód ZZ (skutki nieprzewidywalne, odwrotne od zamierzonych i prawdopodobnie długotrwałe); Budowa polderu w ograniczonym stopniu zmienia charakter zasilania ZZ (nie wyklucza dostawy związków biogennych); Retencjonowanie wody przed dostawą do ZZ, przyczyni się pośrednio do wzrostu temperatury wody w zalewie (=zakwity sinicowe).	12-24 miesiące	Duży, niewspółmierny do efektów	2-3 lata od zakończenia inwestycji	Techniczna możliwość wybrania namułu na czynnym zbiorniku ograniczona do jednej metody z wykorzystaniem refulatora.	
B	Wybranie namułu na czynnym ZZ Wybranie torfu (miąższość do 4m) na czynnym ZZ ok. 5 mln m <sup>3</sup> Budowa zbiornika „Prawiedniki” Budowa polderu	Brak racjonalnych przesłanek, ale i technicznych możliwości mechanicznego usunięcia torfów dolinnych na czynnym zbiorniku! Teoretyczne wykonanie takiego zabiegu spowodowałoby długotrwałe pogorszenie stanu ekologicznego ZZ (uruchomienie dodatkowego źródła dostawy biogenów do wód akwenu).	-----	Duży, brak uzasadnienia finansowania tego scenariusza!	-----	Brak możliwości realizacji przedsięwzięcia lub szanse znikome	

C	<p>Wybranie namułu z dna ZZ          Wybranie torfu          Praca przy zbiorniku wyłączonym z eksploatacji          Budowa polderu</p>	<p><u>Efekty pozytywne:</u>          Całkowita likwidacja potencjalnego źródła biogenów z osadów organogenicznych podłoża (namuły+torfy);          Znaczące zwiększenie kubatury zbiornika, poprawiające jego strukturę termiczną (w tym obniżenie temperatury wody i ograniczenie zakwitów sinicowych);</p> <p><u>Efekty negatywne:</u>          Wyłączenie zbiornika z użytkowania na okres co najmniej 24 miesięcy;          Brak możliwości znaczącej poprawy charakteru zasilania ZZ (w tym dostawy związków biogenych); Budowa polderu w ograniczonym stopniu zmienia charakter zasilania ZZ (nie wyklucza dostawy związków biogenych);          Retencjonowanie wody przed dostawą do ZZ, przyczyni się pośrednio do wzrostu temperatury wody w zalewie (=zakwity sinicowe).</p>	≥24 miesiące	Duży	2-3 lata od zakończenia inwestycji	Działania te nie zmienią w istotny sposób charakteru zasilania ZZ, nie zahamują dostawy biogenów z wodami Bystrzycy
D	<p>Wybranie namułu z dna ZZ          Wybranie torfu          Praca przy nieczynnym zbiorniku          Budowa zbiornika „Prawiedniki”          Budowa polderu</p>	<p><u>Efekty pozytywne:</u>          Całkowita likwidacja potencjalnego źródła biogenów z osadów organogenicznych podłoża (namuły+torfy);          Znaczące zwiększenie kubatury zbiornika, poprawiające jego strukturę termiczną (w tym obniżenie temperatury wody i ograniczenie zakwitów sinicowych);</p> <p><u>Efekty negatywne:</u>          Wyłączenie zbiornika z użytkowania na okres co najmniej 24 miesięcy;          Całkowita reorganizacja ekosystemu zbiornika; sukcesja wtórna.          Ograniczona poprawa charakteru zasilania ZZ (w tym dostawy związków biogenych); retencjonowanie wody przed dostawą do ZZ, przyczyni się do wzrostu temperatury wody w zalewie (=zakwity sinicowe).</p>	≥24 miesiące	Duży	2-3 lata od zakończenia inwestycji	Działania te w ograniczonym stopniu zmienią charakter zasilania ZZ, nie zahamują w pełni dostawy biogenów z wodami Bystrzycy

E	<p>Przygotowanie programu edukacyjnego, którego celem byłoby utworzenie strefy buforowej pomiędzy polami uprawnymi, a rzeką Bystrzycą oraz prowadzenie upraw w układzie równoległym do rzeki</p> <p>Udrożnienie rzeki Bystrzycy (wybieranie namułu) na odcinku od granic ZZ do granic miasta Lublin</p>	<p><u>Efekty pozytywne:</u> Ograniczenie lub całkowita likwidacja bezpośredniej dostawy biogenów do ZZ w wyniku okresowych spływów powierzchniowych z pól; Częściowa, ale tylko okresowa poprawa stanu jakości wód w ZZ.</p> <p><u>Efekty negatywne:</u> Brak możliwości znaczącej poprawy charakteru zasilania ZZ (w tym dostawy związków biogenych);</p>	<p>Scenariusz w pełnym zakresie mało realny do przeprowadzenia; realizacja w węższym zakresie <math>\geq 12</math> miesięcy</p>	<p>Mały - w zakresie programu edukacyjnego; Średni - w zakresie udrożnienia koryta Bystrzycy</p>	<p>1-2 lata od zakończenia inwestycji</p>	<p>Część zadań przewidzianych w scenariuszu (=prowadzenie upraw w układzie równoległym do rzeki) nierealna do przeprowadzenia przy istniejącej strukturze powierzchniowej i własnościowej gruntów (=duże rozdrobnienie działek i ich pasowy układ)</p>	
F	<p>Wybranie namułu z dna ZZ</p> <p>Wybranie torfu</p> <p>Budowa kanału ulgi (by-passu) dla rzeki Bystrzycy na odcinku ZZ</p> <p>Praca przy zbiorniku wyłączonym z eksploatacji</p>	<p><u>Efekty pozytywne:</u> (1) znaczące, ponad dwukrotne, zwiększenie głębokości i objętości zbiornika, dające szansę na (2) poprawę stratyfikacji termicznej wód (w tym także potencjalne obniżenie średniej temperatury wody, również w sezonie letnim), (3) zmniejszenie zasilania wewnętrznego zbiornika w biogeny, a co za tym idzie (4) zmniejszenie ryzyka potencjalnych zakwitów sinicowych wód, a w konsekwencji m.in. (5) zwiększenie atrakcyjności rekreacyjnej zbiornika</p> <p><u>Efekty negatywne:</u> Wyłączenie zbiornika z użytkowania na okres co najmniej 24 miesięcy; Całkowita reorganizacja ekosystemu zbiornika; sukcesja wtórna.</p>	<p><math>\geq 24</math> miesięcy</p>	<p>Duży</p>	<p>1-2 lata od zakończenia inwestycji</p>	<p>Wymaga daleko idącej kampanii promocyjnej wraz z dostosowaniem zakresu działań do obowiązujących uregulowań formalno-prawnych</p>	



	Opis scenariusza	Spodziewane efekty pozytywne i negatywne	Okres	Koszt	Czas uzyskania efektów	Szanse	Uwagi
A	Wybranie namułu z dna ZZ (miąższość do 80 cm) na czynnym zbiorniku ok. 2 mln m <sup>3</sup> Budowa zbiornika „Prawiedniki” powyżej ZZ na terenie gm. Strzyżewice Budowa polderu powyżej ZZ po prawej stronie rz. Bystrzycy (ok. 30 ha)	Czasowa degradacja ekosystemu Bystrzycy i Wieprza oraz czasowe pogorszenie stanu ekologicznego ZZ. W dłuższej perspektywie istotna redukcja zasilania ZZ w związki biogenne, ograniczenie ryzyka zakwitów sinic. Przy złym zaprojektowaniu, wybudowaniu i użytkowaniu zbiornika Prawiedniki uzyskanie pozytywnych efektów nie jest pewne. Pozostawienie osadów dolinnych (torfów) przyniesie trudne do przewidzenia skutki. Jednym z nich może być zjawisko tzw. humoeutrofizacji – związki humusowe wydzielane z torfów mogą pod wpływem promieniowania UV wydzielać do wody fosforany.	2-5 lat	Duże	Trudny do oszacowania	Trudne do oszacowania	
B	Wybranie namułu na czynnym ZZ Wybranie torfu (miąższość do 4m) na czynnym ZZ ok. 5 mln m <sup>3</sup> Budowa zbiornika „Prawiedniki” Budowa polderu	Czasowa bardzo istotna degradacja ekosystemu Bystrzycy i Wieprza oraz czasowe istotne pogorszenie stanu ekologicznego ZZ. W dłuższej perspektywie istotna redukcja zasilania ZZ w związki biogenne, znaczne ograniczenie ryzyka zakwitów sinic. Przy złym zaprojektowaniu, wybudowaniu i użytkowaniu zbiornika Prawiedniki uzyskanie pozytywnych efektów nie jest pewne.	2-4 lat	Duże	Trudny do oszacowania	Trudne do oszacowania	
C	Wybranie namułu z dna ZZ Wybranie torfu Praca przy zbiorniku wyłączonym z eksploatacji Budowa polderu	Czasowe istotne pogorszenie stanu ekologicznego ZZ. W dłuższej perspektywie istotna redukcja zasilania ZZ w związki biogenne, znaczne ograniczenie ryzyka zakwitów sinic. <b>Najlepszy wariant spośród zaproponowanych przez Urząd Miasta Lublin, jednak wymaga uzupełnienia o inne zabiegi.</b>	2-3 lata	Duże	2-3 lata od napełnienia zbiornika	wysokie	
D	Wybranie namułu z dna ZZ Wybranie torfu Praca przy nieczynnym zbiorniku Budowa zbiornika „Prawiedniki” Budowa polderu	Czasowe istotne pogorszenie stanu ekologicznego ZZ. W dłuższej perspektywie istotna redukcja zasilania ZZ w związki biogenne, znaczne ograniczenie ryzyka zakwitów sinic. Przy złym zaprojektowaniu, wybudowaniu i użytkowaniu zbiornika Prawiedniki uzyskanie pozytywnych efektów nie jest pewne.	2-4 lat	Duże	Trudny do oszacowania	Trudne do oszacowania	

E	Przygotowanie programu edukacyjnego, którego celem byłoby utworzenie strefy buforowej pomiędzy polami uprawnymi, a rzeką Bystrzycą oraz prowadzenie upraw w układzie równoległym do rzeki Udrożnienie rzeki Bystrzycy (wybieranie namułu) na odcinku od granic ZZ do granic miasta Lublin	Działanie wspomagające jako dodatek do scenariusza C (ale bez udrażniania Bystrzycy, które wydaje się bezcelowe)	Trudne do oszacowania	Niski	Odległy	niskie	
F	Scenariusz C + Scenariusz E (bez udrażniania Bystrzycy) + biomanipulacja + wspomaganie odbudowy makrofitów	<b>W dłuższej perspektywie największe szanse na istotną redukcję zasilania ZZ w związku biogenne oraz znacznego ograniczenia ryzyka zakwitów sinic.</b>	2-3 lata + zabiegi powtarzane co kilka lat	Duże	2-3 lata od zakończenia pierwszego zarybienia	wysokie	

	Opis scenariusza	Spodziewane efekty pozytywne i negatywne	Okres	Koszt	Czas uzyskania efektów	Szanse	Uwagi
A	<p>Wybranie namułu z dna ZZ (miąższość do 80 cm) na czynnym zbiorniku ok. 2 mln m<sup>3</sup></p> <p>Budowa zbiornika „Prawiedniki” powyżej ZZ na terenie gm. Strzyżewice</p> <p>Budowa polderu powyżej ZZ po prawej stronie rz. Bystrzycy (ok. 30 ha)</p>	<p>Wybranie namułu o miąższości do 80cm, przy czynnym zbiorniku, jedną z możliwych technologii wykonawczych, opisanych oddzielnie w p. 4.5 niniejszej pracy, jest generalnie całkowicie możliwe, jakkolwiek trzeba zwrócić uwagę na to, że lokalizacja tych robót powinna być oddalona na bezpieczną odległość nie tylko od samej zapory ziemnej (rzędu do 100 m), lecz także od innych urządzeń wodnych zbiornika, na przykład nabrzeży i zapór cofkowych (orientacyjnie do 50 m).</p> <p>Przy takich założeniach, uzyskanie zakładanej kubatury odmulenia zbiornika, do 2 mln m<sup>3</sup>, byłoby jednak mało realne. Bardzo ważne jest też, by prace odmulające nie spowodowały dodatkowego zwiększenia istniejącej „pojemności martwej” zbiornika i aby, dla sytuacji docelowej (po remoncie zapory czołowej i wykonaniu spustów dennych), akwen ten mógł być eksploatowany jako „spuszczalny”.</p> <p>Po przeprowadzonych pracach odmulających, zbiornik uzyskałby jednak wyraźne, zarazem korzystne zwiększenie średniej głębokości akwenu oraz zwiększenie swojej pojemności, nawet o 20 do 30%. Pozytywne skutki odmulenia zbiornika w zakresie poprawy stanu ekologicznego zbiornika są szeroko omówione w innych punktach niniejszej pracy.</p> <p>Problemem pozostaje jednak, kiedy takie prace mogłyby być wykonane. Przy obecnym stanie zapory ziemnej i wykazanym „niedostatecznym” stopniu jej bezpieczeństwa, jakiegokolwiek prace techniczne na samym zalewie, zmieniające jej parametry hydrotechniczne (głębokość, pojemność) z całą pewnością nie uzyskałyby aprobaty RZGW w Warszawie, przed wykonaniem odpowiedniego remontu samej zapory. Ponieważ jednak remont</p>	12 m-cy	Duży	1 rok dla efektów pozytywnych i 3-4 lata dla stwierdzenia efektów negatywnych.	Znikome	Zakres odmulenia (miąższość do 80 cm, na czynnym zbiorniku ok. 2 mln m <sup>3</sup> ) <b>jest z punktu widzenia hydrotechnicznej eksploatacji ZZ nie do przyjęcia.</b>

		<p>zapory, bez wcześniejszego opróżnienia zbiornika z wody, w ogóle nie jest możliwy, prace odmulające, prowadzone z lustra wody, nie mogą uzyskać pierwszeństwa, przed ekwiwalentnymi robotami (odmulającymi), wykonywanymi na suchym, lub prawie suchym dnie zbiornika (w czasie jego remontu).</p> <p>W omawianym wariantcie działań, hipotetycznie w pełni możliwa jest budowa polderu przy ul. Cienistej i zbiornika „Prawiedniki”, jakkolwiek pod warunkiem prowadzenia prac przy obniżonym o około 1m poziomie normalnego piętrzenia NPP na ZZ (czyli o 0,5 m poniżej poziomu wody, obniżonego już obecnie, w wyniku żądań Technicznej Kontroli Zapór).</p>					
B	<p>Wybranie namułu na czynnym ZZ Wybranie torfu (miąższość do 4m) na czynnym ZZ ok. 5 mln m<sup>3</sup> Budowa zbiornika „Prawiedniki” Budowa polderu</p>	<p>W omawianym wariantcie B działań, mowa jest w rzeczywistości o znacznych pracach pogłębiających zbiornik, przy czym trzeba przyjąć, że w ramach wybierania torfu w zbiorniku zostanie tu równocześnie dokonane jego całkowite odmulenie ze zdeponowanego w zalewie rumowiska „unoszonego” i „włeczonego”, pochodzącego z erozji wodnej w górnej partii zlewni Bystrzycy.</p> <p>Pogłębienie zbiornika oznaczałoby zmianę parametrów jego pojemności w sposób następujący:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Przy Min PP: <math>V = 4,66 \text{ mln.m}^3 + 5,00 \text{ mln m}^3 = 9,66 \text{ mln m}^3</math></li> <li>- Przy NPP (w lecie): <math>V = 6,12 \text{ mln.m}^3 + 5,00 \text{ mln m}^3 = 11,12 \text{ mln m}^3</math></li> <li>- Przy NPP (w zimie) <math>V = 5,50 \text{ mln.m}^3 + 5,00 \text{ mln m}^3 = 10,50 \text{ mln m}^3</math></li> <li>- Przy Max PP: <math>V = 7,55 \text{ mln.m}^3 + 5,00 \text{ mln m}^3 = 12,55 \text{ mln m}^3</math></li> <li>- Przy Nad PP: <math>V = 9,71 \text{ mln.m}^3 + 5,00 \text{ mln m}^3 = 14,71 \text{ mln m}^3</math></li> <li>- Pojemność martwa, przed wykonaniem spustów: <math>V = 0,466 + 5,00 \text{ mln m}^3 = 5,466 \text{ mln m}^3</math></li> <li>- Pojemność martwa, po wykonaniu. spustów: ok. <math>V = 80\% \times 5,00 \text{ mln m}^3 = \text{ok. } 4,00 \text{ mln m}^3</math></li> <li>- Pojemność powodziowa „forsowana”: 2,16 mln.m<sup>3</sup> (bez zmian)</li> </ul> <p>Przy minimalnym piętrzeniu na zbiorniku, jego pojemność po</p>	24 m-cy	Duży	2 lata dla efektów pozytywnych i 4-5 lat dla stwierdzenia efektów negatywnych.	Żadne	Zakres odmulenia (miąższość do 400 cm, na czynnym zbiorniku ok. 5 mln m <sup>3</sup> ) <b>jest z punktu widzenia hydrotechnicznej eksploatacji ZZ absolutnie nie do przyjęcia</b>

		<p> pogłębieniu o ok. 5 mln m<sup>3</sup> przekraczałyby zatem pojemność aktualną aż o 107%, zaś przy normalnym poziomie piętrzenia o 82 % w lecie i 91 % w zimie. Przy NPP podane wskaźniki byłyby jeszcze wyższe w przypadku uwzględnienia faktycznie dopuszczonych do stosowania, obniżonych obecnie o 0,5 m poziomów wody (ze względów bezpieczeństwa).</p> <p> W każdym jednak analizowanym przypadku, ZZ jako zbiornik „prawie” spuszczalny został by zamieniony faktycznie na akwen o charakterze jeziorowym, z wszystkimi negatywnymi skutkami stagnowania w nim wód, ich warstwowej stratyfikacji, z problemami w zakresie warunków hydrobiologicznych i stanu czystości w warunkach alimentacji ze zlewni w większości rolniczej, a więc przy zasilaniu olbrzymim ładunkami nutrientów, w olbrzymiej części deponowanymi na stałe w takim „jeziorze”.</p> <p> Niezależnie od powyższego, przy tak zmienionych parametrach zbiornika należałoby uzyskać nowe pozwolenie wodno prawne, a wcześniej też nowe uwarunkowania środowiskowe.</p> <p> W analizowaniu rozwiązań 2 wariantu działań, podobnie jak w wariantcie 1 problemem pozostaje ocena, kiedy takie prace mogłyby być w ogóle wykonane. Przy obecnym stanie zapory ziemnej i wykazany „niedostatecznym” stopniu jej bezpieczeństwa, jakiegokolwiek prace techniczne na samym zalewie, zmieniające jej parametry hydrotechniczne (głębokość, pojemność) z całą pewnością nie uzyskałyby aprobaty RZGW w Warszawie, przed wykonaniem odpowiedniego remontu samej zapory. Ponieważ jednak remont zapory, bez wcześniejszego opróżnienia zbiornika z wody, w ogóle nie jest możliwy, prace pogłębiające zbiornik o 5,00 mln m<sup>3</sup>, prowadzone z lustra wody, nie mogą uzyskać pierwszeństwa, przed ekwiwalentnymi robotami (odmulającymi, czy też nawet częściowo pogłębiającymi zbiornik), wykonywanymi na suchym, lub prawie suchym dnie zbiornika (w czasie jego remontu).</p>					a.
C	<p>Wybranie namułu z dna ZZ</p> <p>Wybranie torfu</p> <p>Praca przy zbiorniku wyłączonym z eksploatacji</p>	<p>Wariant ten może być realizowany równocześnie z remontem zapory czołowej zbiornika i z wykonaniem na tej zaporze upustów dennych, także przepławki dla ryb wędrownych.</p> <p>Wybieranie namułu i torfu z czaszy można by rekomendować w tym wariantcie działań w zakresie, który nie spowoduje powstania</p>	48 m-cy	Bardzo duży	2 lata	Wysokie w przypadku uzyskani	

	Budowa polderu	<p>na zalewie pojemności „martwej”, a więc o ile zbiornik, po takim generalnym remoncie, będzie nie tylko bezpieczny, ale też możliwie w całości „spuszczalny”.</p> <p>Szacuje się, że zmiana konfiguracji w czaszy, bez tworzenia pojemności martwej mogłaby zostać dokonana poprzez wykonanie robót ziemnych o pojemności około 1 mln m<sup>3</sup>, przy czym na ilość składałyby się zarówno same namuły, jak i częściowo torfy. Znaczną część z w/w prac ziemnych można by ewentualnie skumulować na trasie przyszłego (na razie tylko hipotetycznie) toru wyścigów żeglarskich, czy też kajakarstwa nizinnego, zabezpieczając na całej jego długości parametry toru sportowego głębokości minimum 2,0 m.</p> <p>Wykonanie polderu w rejonie ulicy Cienistej należałoby połączyć z pracami ziemnymi zmierzającymi do poszukiwania optymalnego miejsca do dla zdeponowania urobku z czaszy, o kubaturze, jak podano wyżej rzędu 1 mln m<sup>3</sup>.</p> <p>W tym wariantcie działań istotne jest „wyłączenie zbiornika z eksploatacji”, oczywiście tylko na okres prowadzonych w czaszy prac ziemnych oraz dla przeprowadzenia prac remontowych i modernizacyjnych w strefie zapory czołowej. W związku z tym „wyłączeniem” konieczne byłyby poza tym specjalne prace w czaszy zbiornika, zapewniające stały dopływ wody do ujęcia Elektrociepłowni na Wrotkowie, stosownie do posiadanego przez ten zakład pozwolenia wodno prawnego.</p> <p>Prace na zaporze, wspólnie zresztą z robotami ziemnymi w czaszy, powinny być poprzedzone projektem remontu, o którym wspomina Techniczna Kontrola Zapór w swej ostatniej „Ocenie stanu technicznego...”.</p> <p><b>Projekt remontu ZZ wyprzedzająco winien mieć sporządzony „Program remontu”, w którym należałoby uwzględnić główne rozwiązania remontu, a mianowicie:</b></p> <p>- Zapewnienie, że autor projektu uwzględni zarówno ostatnie oceny stanu obiektu (IMGW), jak też wszystkie interdyscyplinarne zalecenia zespołu autorów niniejszej pracy</p>				a dofinansowania ze środków głównie UE i znikome jako inwestycja własna województwa lubelskiego.	
--	----------------	---	--	--	--	--	--

		<p>- Radykalną poprawę filtracyjnych warunków pracy zapory czołowej, poprzez wykonanie od strony „odwodnej” (10-15 m powyżej podstawy stopy zapory) stalowej ścianki szczelnej w głębokim podłożu, z koroną na rzędnej 175,77 m n.p.m., odpowiadającej poziomowi aktualnej „niespuszczalności” zbiornika, głębokości rzędu 14 - 18 m, zamykającej filtrację pod zaporą oraz ekranu szczelnego od strony odwodnej, z uszczelnieniami bentonitowymi w rozbudowanym od strony wody korpusie zapory (do rzędnej korony tego korpusu: 175,77 m n.p.m.), zmierzające do całkowitego, lub prawie całkowitego zamknięcia filtracji do dolnego stanowiska stopnia wodnego.</p> <p>- Dodatkowe naprawy w prawostronnej zaporze ziemnej, ostatecznie likwidujące negatywne skutki wykonanych w niej (od 2009 r.) zabezpieczeń (?) iniekcyjnych, zrealizowanych wówczas w sposób niewłaściwy i wręcz niebezpieczny.</p> <p>- Realizacja upustów dennych i przepławki w jednym bloku urządzeń, jak się zakłada w zaporze lewostronnej, w bezpiecznej odległości od jazu istniejącego, który pozostałby bez zmian (tylko uzupełniający remont od strony odwodnej).</p> <p>Prace ziemne na polderze i w dnie zbiornika, odmulające czaszę i ewentualnie związane z usunięciem części torfów, łącznie w kubaturze do 1 mln m<sup>3</sup>, prowadzone byłyby według oddzielnych zaleceń, wypracowanych przez interdyscyplinarny zespół autorski niniejszej pracy.</p>					
D	<p>Wybranie namułu z dna ZZ          Wybranie torfu          Praca przy nieczynnym zbiorniku          Budowa zbiornika „Prawiedniki”          Budowa polderu</p>	<p>Sygnalizowane prace (wybranie namułu, wybranie torfu, prace przy nieczynnym zbiorniku) muszą być skorelowane z innymi pracami w strefie zapory ziemnej, naprawczymi i modernizacyjnymi, szerzej omówionymi w wariancie C.          Budowa polderu w rejonie ulicy Cienistej należałoby połączyć z pracami ziemnymi zmierzającymi do poszukiwania optymalnego miejsca dla zdeponowania urobku z czaszy, o przewidywanej kubaturze rzędu 1 mln m<sup>3</sup>.</p>	4 lata (48m-cy)	Bardzo duży	2 lata	Wysokie w przypadku uzyskania dofinansowania ze	

		<p>Budowa zbiornika „Prawiedniki” może być inwestycją prowadzoną niezależnie, lub równolegle z robotami modernizacyjnymi i naprawczymi samego zbiornika Zemborzyce. Byłby to zalew o powierzchni rzędu nawet 137 ha, a więc w przybliżeniu równy połowie powierzchni lustra wody w ZZ. We wstępnych studiach programowych przewidziano tu wykonanie komory wstępnej o powierzchni około 18 ha i o głębokości rzędu 50 cm, pozwalającej na realizację pomysłu „biofiltra” na wlocie na ten nowy zbiornik. Część główna zbiornika miałaby powierzchnię 119 ha i średnią głębokość 1,60 m (1,50 – 2,20 m). Generalnie, zbiornik „Prawiedniki” byłby akwenem „lateralnym”, a więc z „obejściem” rzeki obok tego zalewu, przy czym budowa zbiornika nie wymagałaby klasycznej regulacji rzeki. Budowa nowego zbiornika nie groziłaby też powstaniem deficytów wody powierzchniowej, zaś filtracja z jego czaszy pozwoliłaby na alimentowanie studni ujęcia wód głębinowych miasta Lublina, zwiększając i poprawiając możliwości poboru tych wód przez MPWiK.</p> <p>Zbiornik „Prawiedniki” mógłby być inwestycją stosunkowo tania, ze względu na swoją założoną już wstępnie „lateralność”, przy jednoczesnym wykorzystaniu istniejącego jazu na rzece (przy młynie). Budowa zbiornika „Prawiedniki” pozwoliłby poza tym na wyłączenie z eksploatacji jednej z dwóch pompowni cofkowych zbiornika Zemborzyce. W ramach ochrony krajobrazu możliwe byłoby w szczególności „ukrycie” grobli nowego zbiornika w szerokich terenach odkładów mas ziemnych, uzyskanych w ramach prac wykonawczych i zarazem utworzenie dwóch, lub nawet trzech stref akwenu, o różnym stopniu przewidywanej sedymentacji i podczyszczania wód (przed ich zrzutem do zbiornika Zemborzyce), jak również, stosowanie specjalnego doboru roślinności, nawodnej, podwodnej (strefie płytkiej i w strefie głębokiej) i przybrzeżnej, o szczególnych walorach w zakresie podczyszczania przez nie wód otwartych.</p>				<p>środków głównie UE i znikome jako inwestycj a własna wojewód ztwa lubelskie go.</p>	
--	--	--	--	--	--	--	--



E	<p>Przygotowanie programu edukacyjnego, którego celem byłoby utworzenie strefy buforowej pomiędzy polami uprawnymi, a rzeką Bystrzycą oraz prowadzenie upraw w układzie równoległym do rzeki</p> <p>Udrożnienie rzeki Bystrzycy (wybieranie namułu) na odcinku od granic ZZ do granic miasta Lublin</p>	<p>Przygotowanie programu edukacyjnego w celu utworzenia strefy buforowej w górnej partii i w zlewni naturalnej ZZ, zmierzającego do poprawy stanu ekologicznego wód zalewu, wynika bezpośrednio z dyspozycji zawartych w Ramowej Dyrektywie Wodnej. Program edukacyjny jak wyżej powinien być realizowany bez względu na wybrany wariant działań dla zbiornika Zembrzyce - jednego z omówionych wariantów: od numeru 1 do numeru 4.</p> <p>Udrożnienie rzeki w dół od zbiornika Zembrzyckiego byłoby natomiast działaniem praktycznie niewpływającym na stan ekologiczny samego zalewu.</p>	24 m-ce	Małe	5 lat	Wysokie	
F	<p><b><u>Wypełnienie wymogów unijnej Ramowej Dyrektywy Wodnej i posiadanego pozwolenia wodnoprawnego oraz doprowadzenie stanu bezpieczeństwa ZZ (z uwagi na eksploatację dużego zbiornika „powyżej” terenów zabudowanych) do poziomu zgodnego z przepisami i oczekiwanego przez mieszkańców miasta Lublina</u></b></p>	<p><b>Przewiduje się:</b></p> <p>Wyprzedzające wykonanie Programu remontu ZZ, zawierającego:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zapewnienie, że autor projektu uwzględni zarówno ostatnie oceny stanu obiektu (IMGW), jak też wszystkie interdyscyplinarne zalecenia zespołu autorów niniejszej pracy</li> <li>- Radykalną poprawę filtracyjnych warunków pracy zapory czołowej, poprzez wykonanie od strony „odwodnej” (10-15 m powyżej podstawy stopy zapory) stalowej ścianki szczelnej w głębokim podłożu, z koroną na rzędnej 175,77 m n.p.m., odpowiadającej poziomowi aktualnej „niespuszczalności” zbiornika, głębokości rzędu 14 - 18 m, zamykającej filtrację pod zaporą oraz ekranu szczelnego od strony odwodnej, z uszczelnieniami bentonitowymi w rozbudowanym od strony wody korpusie zapory (do rzędnej korony tego korpusu: 175,77 m n.p.m.), zmierzające do całkowitego, lub prawie całkowitego zamknięcia filtracji do dolnego stanowiska stopnia wodnego.</li> <li>- Dodatkowe naprawy w prawostronnej zaporze ziemnej, <b>ostatecznie</b> likwidujące negatywne skutki wykonanych w niej (od 2009 r.) zabezpieczeń (?) iniekcyjnych, zrealizowanych wówczas w sposób niewłaściwy i wręcz niebezpieczny.</li> <li>- Realizacja upustów dennych i przepławki w jednym bloku urządzeń, jak się zakłada w zaporze lewostronnej, w bezpiecznej</li> </ul>	18 m-cy	Duży	1 rok	Wysokie	

		<p>odległości od jazu istniejącego, który pozostałby bez zmian (tylko uzupełniający remont od strony odwodnej).</p> <p>Prace ziemne w dnie zbiornika, odmulające czaszę i ewentualnie związane z usunięciem części torfów, łącznie w kubaturze do 1 mln m<sup>3</sup>, prowadzone byłyby według oddzielnych zaleceń, wypracowanych przez interdyscyplinarny zespół autorski niniejszej pracy.</p> <p><b><u>W omawianym scenariuszu budowa polderu nie musiałaby być wykonywana (budowa przesunięta na inny okres, podobnie jak budowa zbiornika „Prawiedniki”).</u></b></p>					
--	--	---	--	--	--	--	--

**Tabela. 7.** Wielkość rocznego ładunku fosforu ogólnego (TP) z podziałem na ładunki częściowe oraz łączne roczne obciążenie TP Zalewu Zemborzyckiego.

	TP Ładunek [kg rok <sup>-1</sup> ]	TP Obciążenie łączne [mg m <sup>-2</sup> rok <sup>-1</sup> ]
Rzeka Bystrzyca	20 631	
Osady denne <sup>1</sup>	18 928	
Przepompownie	213	
Wędkarstwo <sup>2</sup>	154	
Opad <sup>3</sup>	96	
<b>ŁĄCZNIE</b>	<b>40 022</b>	

<sup>1</sup> – tylko dla fosforanów, przyjęto założenie wydzielania fosforanów w tempie 103 kg P-PO<sub>4</sub> d<sup>-1</sup> minimum przez połowę dni w roku;

<sup>2</sup> - netto, po uwzględnieniu P wyławianego w tkankach ryb

<sup>3</sup> – przy założeniu dostawy 0,35 kg P ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> (Kufel i in., dane niepublikowane, projekt wykonywany na zlecenie RZGW w Krakowie „Sformułowanie w warunkach korzystania z wód regionu wodnego ograniczeń w korzystaniu z wód jezior lub zbiorników oraz w użytkowaniu ich zlewni”, Instytut Ochrony Środowiska w Warszawie, MGGP SA w Tarnowie).