

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,
Wydział Biologii, Zakład Ochrony Wód

URZĄD MIEJSKI
W ROGOŹNIE
KANCELARIA

Data
wpł. 12-02-2018

L.Dz. 2526

Ilość ark. 43 Podpis

10-20-22

**Operat wodnoprawny na przeprowadzenie rekultywacji
jezior Rogoźno i Budziszewskiego**

dr Renata Dondajewska
mgr inż. Marek Francuzik

Poznań, wrzesień 2017

Dokumentacja, na podstawie której
Marszałek Województwa Wielkopolskiego
wydal decyzję z dnia 29.12.2017r.
znak: DSR-1-1.FBZZ.174.2017

ZAWARTOŚĆ OPRACOWANIA:

1. Cel opracowania	3
2. Podstawy opracowania	3
3. Część opisowa	4
3.1 Opis problemu	4
3.2 Charakterystyka ogólna jezior Rogoźno i Budziszewskiego	6
3.3 Stan prawny jezior Rogoźno i Budziszewskiego.....	8
3.4 Piętrzenie wód rzeki Mała Welna w jeziorze Rogoźno	8
3.5 Stopień eutrofizacji jezior Rogoźno i Budziszewskiego	9
3.6 Obciążenie zewnętrzne	19
3.7 Gospodarka rybacka	20
4. Inaktywacja fosforu - metoda chemiczna	23
4.1 Preparaty strącające fosfor – dawki i okresy aplikacji	23
4.2 Mobilna aeracja pulweryzacyjna z precyzyjną inaktywacją fosforu	25
4.3 Stale strefy inaktywacji fosforu na częściach dna obu jezior narażonych na warunki beztlenowe w okresie wegetacyjnym	27
5. Obliczenia.....	28
6. Aeracja wód naddennych	29
7. Biomanipulacja.....	29
8. Dodatkowe zabiegi w zakresie roślinności zanurzonej	31
9. Monitoring stanu biologicznego i fizyczno-chemicznego wód i osadów dennych	32
10. Warunki BHP	32
11. Harmonogram prac w czterech latach rekultywacji	33
12. Powiązania z innymi dokumentami.....	35
13. Wnioski.....	36
14. Literatura cytowana	37

1. Cel opracowania

Celem niniejszego opracowania jest sporządzenie operatu wodnoprawnego, niezbędnego do wydania decyzji na wykonanie zabiegów zmierzających do rekultywacji jezior Rogoźno i Budziszewskiego, położonych na terenie gminy Rogoźno. Operat niniejszy określa sposoby i terminy przeprowadzenia tych zabiegów a także warunki techniczne przedsięwzięć i ich skutki.

Ubiegającym się o wydanie pozwolenia wodnoprawnego na wykonanie rekultywacji jezior Rogoźno i Budziszewskiego jest Urząd Miejski w Rogoźnie, ul. Nowa 2, 64-610 Rogoźno.

2. Podstawy opracowania

Podstawą opracowania niniejszego operatu jest:

- autorska koncepcja rewitalizacji jezior Rogoźno i Budziszewskiego oparta na dotychczasowych doświadczeniach zdobytych w trakcie rekultywacji innych jezior na terenie Wielkopolski;
- wyniki badań jakości wód jezior Rogoźno i Budziszewskiego z lat 1997, 2003, 2008, 2011 i 2014, przeprowadzonych przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska i Poznaniu;
- wyniki badań jakości wód jezior Rogoźno i Budziszewskiego przeprowadzonych w roku 2017 na zlecenie Urzędu Gminy w Rogoźnie (dane niepublikowane Zakładu Ochrony Wód UAM w Poznaniu);
- publikowane wyniki badań skuteczności rekultywacji zbiorników wodnych przy zastosowaniu preparatu PIX (Dondajewska i in. 2013, Dondajewska i in. 2015, Dondajewska i in. 2017, Gołdyn i in. 2008a, Gołdyn i in. 2008b, Gołdyn i in. 2010b, Gołdyn i in. 2014, Gołdyn i in. 2015, Kozak i in. 2009, Rosińska i Gołdyn 2015, Rosińska i in. 2017a,b);
- doświadczenia własne w aeracji jezior oraz precyzyjnym stosowaniu koagulantów nieorganicznych.

3. Część opisowa

3.1 Opis problemu

Nagromadzenie związków fosforu i azotu, pochodzących z niedostatecznie oczyszczonych ścieków i spływających z powierzchni gleby pozostałości nawozów, prowadzi w jeziorach do masowego rozwoju organizmów fitoplanktonowych, głównie sinic. Zakwity wody są nie tylko objawem obniżenia bioróżnorodności w przeżyźnionym jeziorze, lecz przede wszystkim prowadzą do powstawania deficytów tlenowych w strefie naddennej, a w dalszym rezultacie do tzw. śnięcia ryb w efekcie zużycia tlenu rozpuszczonego na rozkład dużej ilości materii organicznej. Ponadto, część gatunków sinic posiada też zdolność wydzielania substancji toksycznych oddziałujących negatywnie na inne organizmy. Konsekwencją tych zjawisk staje się wyłączenie zbiorników wodnych z użytkowania przez człowieka, w tym z wykorzystania rekreacyjnego. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia (2011) użytkowanie kąpielisk w których stwierdzono obecność zakwitu sinicowego jest zabronione.

Zeutrofizowanie jezior, a zwłaszcza nasilające się sinicowe zakwity wody, stanowią nie tylko zagrożenie dla człowieka, lecz również powodują istotne straty w gospodarce, ograniczając rybackie, wędkarskie, turystyczno-rekreacyjne użytkowanie wód. Kluczowym zagadnieniem jest więc przywracanie dobrego stanu ekologicznego zbiornikom zdegradowanym, co podkreśla również Ramowa Dyrektywa Wodna (EC 2000), jak i wdrażające ją Prawo wodne (2001, z późn. zm.). W przypadku wielu zbiorników wodnych, w tym również jezior Rogoźno i Budziszewskiego jest to możliwe jedynie na drodze zabiegów technicznych, w tym polegających na wykorzystaniu naturalnego procesu odkładania fosforu w osadach dennych. Jest on pierwiastkiem limitującym produkcję pierwotną fitoplanktonu, co spowodowane jest dwoma czynnikami:

- w odróżnieniu od azotu nie ma atmosferycznego źródła pochodzenia;
- ma większy wpływ na rozwój fitoplanktonu, bowiem na 1 jednostkę fosforu wykorzystywanego przez te organizmy przypada 16 jednostek azotu ($P : N : C = 1 : 16 : 106$ – tzw. stosunek Redfielda). Jeden gram fosforu w postaci ortofosforanów umożliwia w sprzyjających warunkach, tj. w korzystnej temperaturze i nasłonecznieniu, wyprodukowanie ponad stu gramów fitoplanktonu, tworzącego zakwit wody. W konsekwencji usunięcie 1g fosforu ze zbiornika będzie miało znacznie większe znaczenie w procesie deeutrofizacji aniżeli usunięcie 1 g azotu.

Metodą umożliwiającą usunięcie z toni wodnej fosforu obecnego w formie

biodostępnej, czyli wykorzystywanej przez organizmy fitoplanktonowe, jest tzw. inaktywacja, polegająca na zastosowaniu odpowiedniego środka chemicznego, który wytrąca z wody jon fosforanowy umożliwiając jego sedymentację do osadów dennych, zmniejszając jednocześnie ilość fosforu dopływającego z osadów do toni wodnej (Wiśniewski 2000). Ten zabieg rekultywacyjny uważany jest za stosunkowo prosty i tani w porównaniu do innych znanych metod, dając jednocześnie zadowalające rezultaty (Gawrońska i in. 2003). Szczególnie jest on polecany dla zbiorników stosunkowo płytkich i polimiktycznych (Cooke i in. 1993), licznych w strefie klimatu umiarkowanego i posiadających znaczenie użytkowe z punktu widzenia człowieka. Imobilizacja fosforanów w osadach dennych uruchamia szereg pozytywnych zmian w ekosystemie, jakimi są: ograniczenie masowego rozwoju organizmów fitoplanktonowych, zwłaszcza sinic, związany z nim wzrost przezroczystości wody, co z kolei umożliwia zajmowanie dna przez makrofitę zanurzone, stabilizujące jednocześnie osad denny, co dodatkowo ogranicza wielkość zasilania wewnętrznego.

Najpopularniejszą metodą wytrącania fosforu z toni wodnej i jego depozycji w osadach dennych jest użycie soli metali, które w środowisku wodnym wiążą ortofosforany jako fosforany metali. W tym celu największe zastosowanie mają preparaty zawierające metale posiadające naturalne zdolności do wiązania fosforu, występujące w osadach dennych zbiorników wodnych, jakimi są glin (Al), wapń (Ca) oraz żelazo (Fe). Badania laboratoryjne wykazują jednak, że wraz ze starzeniem się powstałych w zbiorniku związków wiążących fosfor z glinem maleje intensywność tego procesu, co wskazuje na konieczność powtarzania zabiegu (Berkowitz i in. 2006). Przede wszystkim jednak, zastosowanie związków glinu w rekultywacji zbiorników wodnych ograniczone jest przez zakres wartości odczynu pH wody, w jakim środki te można stosować efektywnie i w sposób nie zagrażający środowisku. Istotnym problemem w przypadku związków żelaza jest ich wrażliwość na zmiany potencjału oksydo-redukcyjnego zachodzące na granicy osad-woda a związane ze zmianami stężenia tlenu rozpuszczonego. W zbiornikach głębokich, w których występuje długotrwałe odtlenienie najgłębiej położonych wód hypolimnionu, zastosowanie związków żelaza może być nieskuteczne, jeśli nie zastosuje się dodatkowego natleniania (Deppe i Benndorf 2002), bowiem zredukowanie żelaza z trzeciego stopnia utlenienia na drugi powoduje wzrost rozpuszczalności jego związków i uwolnienie fosforu do toni wodnej. W strefach silnie i często odtlenionych zastosowanie znajduje preparat bentonitowy zawierający lantan tzw. Phoslock, skutecznie wiążący fosfor niezależnie od warunków tlenowych. Jego wadą jest

jednak wysoka cena, co skłania do zastosowania tańszych rozwiązań. Innowacyjnym i tańszym preparatem opatentowanym w Polsce jest Sinobent, którego skład dostosowywany jest do lokalnych warunków, panujących w jeziorze. W strefach beztlenowych należy stosować jego odmianę zawierającą azotany, które utrzymują wysoki potencjał redox osadów dennych, uniemożliwiając redukcję żelaza trójwartościowego. W sytuacji nadmiaru jonów amonowych możliwe jest strącanie fosforu z toni wodnej w postaci fosforanu magnezowo-amonowego, przy pomocy chlorku magnezu.

Odpowiedzią na postawiony problem skutecznej inaktywacji fosforu, nie ingerującej głęboko w ekosystem (tzw. rekultywacja zrównoważona), stała się aeracja pulweryzacyjna z precyzyjną inaktywacją fosforu – metoda rekultywacji zbiorników wodnych opracowana na obecnym Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu, łącząca natlenianie wód z wytrącaniem fosforu z toni wodnej do osadu dennego z zastosowaniem koagulantu żelazowego oraz chlorku magnezu. Metoda ta została już przetestowana na kilku jeziorach, dając pozytywne efekty poprawy jakości wody (Dondajewska i in. 2013, Dondajewska i in. 2015, Gołdyn i in. 2008a, Gołdyn i in. 2008b, Gołdyn i in. 2010b, Gołdyn i in. 2014, Gołdyn i in. 2015, Kozak i in. 2009, Rosińska i in. 2017).

Zaproponowana metoda poprawy jakości wody w akwenu wodnym jest metodą dość nowatorską, proekologiczną, bez skutków ubocznych dla środowiska, która nie ingeruje głęboko w ekosystem, lecz uruchamia naturalne procesy homeostatyczne, umożliwiające jego powrót do dobrego stanu ekologicznego (Gołdyn i in. 2014). Jej uzupełnienie o inne proekologiczne metody rekultywacyjne umożliwi znaczną poprawę jakości wód jezior Rogoźno i Budziszewskiego, celem przywrócenia dawnych ich cech użytkowych i przyrodniczych poprzez ograniczenie widocznych skutków ich degradacji. Osiągnięty efekt przyczyni się do wzrostu atrakcyjności turystycznej akwenów i stworzy warunki do wypoczynku i rybołówstwa, bowiem dodatkowym efektem stanie się poprawa warunków bytowania ichtiofauny zamieszkującej jeziora.

3.2 Charakterystyka ogólna jezior Rogoźno i Budziszewskiego

Jeziora Rogoźno (PLLW10251) i Budziszewskie (PLLW10249) stanowią jednolite części wód powierzchniowych położone w biegu rzeki Mała Welna, będącej scaloną częścią wód powierzchniowych o kodzie W1104. Rzeka ta płynąc w kierunku północno-zachodnim na obszarze gminy Rogoźno przepływa przez oba jeziora. Jezioro

Budziszewskie znajduje się na południowo-wschodnim krańcu gminy, a jego wschodni brzeg stanowi granicę między gminami Skoki i Rogoźno, natomiast jezioro Rogoźno położone jest w centralnej części gminy Rogoźno. Wypływająca z niego Mała Wełna po około 150 m stanowi lewobrzeżny dopływ rzeki Wełny.

Oba jeziora mają charakter rynnowy, wypełniając dość głęboko wciętą dolinę. Pochodzenie determinuje ich cechy morfometryczne, zwłaszcza długość znacznie przekraczającą szerokość akwenów (Tab. 1), przy czym Jezioro Budziszewskie cechuje się większą powierzchnią, jak i głębokością.

Tab. 1. Parametry morfometryczne jezior Rogoźno i Budziszewskiego (za: Jańczak 1996)

parametr	jednostka	jezioro Rogoźno	Jezioro Budziszewskie
położenie	m n.p.m.	69,7	71,5
powierzchnia	ha	139,0	163,0
objętość	tys. m ³	3808,5	7842,9
głębokość maksymalna	m	5,8	14,0
głębokość średnia	m	3,0	4,8
długość maksymalna	m	5100	4600
szerokość maksymalna	m	350	520
długość linii brzegowej	m	10925,0	10025,0

Pod względem podatności na degradację, oba jeziora zostały zaklasyfikowane do III kategorii podatności, co warunkowane jest m.in. niskim procentem stratyfikacji wód, sprzyjającym kontaktowi dużej części dna ze strefą epilimnionu. Wysokie wartości przyjmuje także współczynnik Schindlera (odpowiednio 80,5 dla Jeziora Budziszewskiego oraz 180,6 dla jeziora Rogoźno), wskazujący na intensywność oddziaływania zlewni na akwen. W przypadku Jeziora Budziszewskiego powierzchnia zlewni całkowitej sięga 631 km², zaś dla jeziora Rogoźno zwiększa się do 688 km². W jej zagospodarowaniu przeważają grunty orne. W znacznie mniejszych zlewniach bezpośrednich obu akwenów (18,1 km² dla jeziora Rogoźno i 29,4 km² dla jeziora Rogoźno) także w krajobrazie dominują obszary wykorzystywane rolniczo (Mikołajczak i in. 1998). Z jeziorem Rogoźno sąsiaduje miasto Rogoźno, położone wzdłuż zachodniego brzegu (około 11 tys. mieszkańców), natomiast wzdłuż brzegów Jeziora Budziszewskiego zlokalizowane są liczne ośrodki wczasowe oraz prywatna zabudowa rekreacyjna.

Oba jeziora położone są w obrębie Obszaru Chronionego Krajobrazu pn. Dolina Wełny i Rynna Gołaniecko-Wągrowiecka, utworzonego w 1989 roku (uchwała nr

IX/56/89 Wojewódzkiej Rady Narodowej w Pile Dz. Urz. nr 11, poz. 95, obecnie obowiązujący akt prawny to rozporządzenie nr 5/98 Wojewody Piłskiego z 1998 roku Dz. Urz. nr 13, poz. 83). Obejmuje on część Pojezierza Chodzieskiego i Pojezierza Gnieźnieńskiego, zajmując powierzchnię 22640 ha. Ochronie podlega malowniczy krajobraz dolin rzecznych i rynien jeziornych oraz meandrów i przełomów rzek, w tym Wełny, Małej Wełny i Strugi Gołanieckiej.

3.3 Stan prawny jezior Rogoźno i Budziszewskiego

Właścicielem jezior jest Skarb Państwa, a zarządzającym Marszałek Województwa Wielkopolskiego. Zgodnie z Rozporządzeniem Dyrektora Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej z 15 czerwca 2015 roku jeziora Rogoźno i Budziszewskie wchodzi w skład obwodu rybackiego o nazwie „Jeziora Budziszewskie na rzece Mała Wełna – nr 8”. Użytkownikiem rybackim tego obwodu jest Przedsiębiorstwo Produkcji Rybackiej, Usługowej i Przetwórczej „Maj” Sp. z o.o. z Wągrowca.

Pod względem ewidencyjnym jezioro Rogoźno leży w obrębie miasta Rogoźno na działce nr 1861/2, natomiast Jezioro Budziszewskie w obrębie wsi Budziszewko na działkach nr 339 i 340.

3.4 Piętrzenie wód rzeki Mała Wełna w jeziorze Rogoźno

Budowla piętrząca położona jest w korycie Małej Wełny w km 0+166 jej biegu w miejscowości Rogoźno. Zarządzającym jest Wielkopolski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych w Poznaniu (pozwolenie wodnoprawne na budowę jazu nr OS-VII/P-6210/28/97 z 1997 roku). Zadaniem budowli jest stabilizacja poziomu wody jeziora Rogoźno przez stałe piętrzenie jego wód na rzędnej 69,00 m, co umożliwia wykorzystanie wód akwenu do celów rybackich i rekreacyjnych w okresie lata. Budowla piętrząca składa się z:

- jazu żelbetowego o szerokości 2 m z pojedynczą zasuwą (piętrzenie $H = 1,2$ m);
- przelewu stałego w postaci ścianki szczelnej stalowej o długości 19,3 m;
- upustu alimentacyjnego (średnica 200 mm, zasuwa klinowa, położony w prawym przyczółku jazu)
- przepławki dla ryb o długości 12,3 m, usytuowanej w ścianie przelewu stałego.

Normalny poziom piętrzenia (NPP) wynosi 69,3 m n.p.m., natomiast poziom maksymalny wzrasta do 69,54 m n.p.m., zaś minimalny sięga 68,8 m n.p.m.

Powierzchnia jeziora Rogoźno przy piętrzeniu 69,00 wynosi 133,8 ha, a przy piętrzeniu 69,30 wzrasta do 139 ha. Przy normalnym poziomie piętrzenia (NPP) przepływ wody odbywa się przez przelew stały, a w okresie jego zwiększenia uruchamiana jest zasawa jazu, przez który maksymalny przepływ wody sięga 3,7 m³/s. Zrzut przepływu nienaruszalnego, wynoszącego 0,43 m³/s (dla porównania, przepływ średni wynosi 2,79 m³/s) możliwy jest dzięki upustowi alimentacyjnemu i przepławce dla ryb.

Piętrzenie wód jeziora ma charakter zmienny w ciągu roku. Rozpoczyna się 1 marca, gdy stopniowo następuje podnoszenie poziomu wód jeziora, w tempie nie szybszym niż 5 cm/dzień. Po osiągnięciu NPP (69,3 m n.p.m.) ma miejsce codzienna kontrola stanu i jego ewentualna korekta poprzez zmianę położenia zasawy jazu. Jesienią piętrzenie wód zostaje zmniejszone do poziomu 68,8 m n.p.m. – proces ten realizowany jest w okresie od 15 września do 15 października, a jego tempo nie powinno przekraczać 5 cm/dzień. W okresie zimowym tj. od połowy października do początku marca utrzymywany jest stan wód 68,8 m n.p.m. poprzez odpowiednie zamknięcie zasawy jazu.

Przepławka dla ryb, zbudowana w roku 2002, ma charakter pochylni kamienno-basenowej z 4 komorami, z których każda posiada długość 2 m i szerokość 1,3 m. Długość całości wynosi 12,3 m, a różnica poziomu wód nie przekracza 1 m. Przepustowość przepławki przy NPP sięga 0,48 m³/s (przepływ nienaruszalny), a przy poziomie wody 69,00 m n.p.m. zmniejsza się do 0,21 m³/s. Wtedy niedobory są uzupełniane z wód spiętrzonych w jeziorze (Budowla piętrząca z przepławką na rzece Małej Welnie w km 0+166. Instrukcja gospodarowania wodą).

3.5 Stopień eutrofizacji jezior Rogoźno i Budziszewskiego

Jakość wód jezior Rogoźno i Budziszewskiego w latach 1997-2003

Wody obu jezior, badane przez WIOŚ, sklasyfikowano w latach 1997 i 2003 jako pozaklasowe ze względu na znaczną zawartość materii organicznej (wysokie wartości ChZT i BZT₅), wysokie koncentracje związków biogenych oraz wysoką przewodność elektrolityczną. Także wskaźniki hydrobiologiczne przyjmowały wartości przekraczające normy – w okresie letnim fitoplankton zdominowany był przez sinice (1997: *Aphanizomenon flos-aquae*, *Pseudanabaena redekei*, 2003: *Planktothrix agardhii*), w konsekwencji czego średnia przezroczystość wód z okresu wiosny i lata nie przekraczała 1,0 m w Jeziorze Budziszewskim i 1,1 m w jeziorze Rogoźno. W zooplanktonie dominowały wrotki, głównie gatunki wskaźnikowe dla wód

eutroficznych. Jezioro Rogoźno wykazywało niepełną stratyfikację w najgłębszym miejscu, a strefa naddenna pozostawała w okresie letnim odtleniona z obecnością siarkowodoru. W Jeziorze Budziszewskim deficyty tlenowe odnotowywano już na głębokości 3 m, przy czym w najgłębszym miejscu jezioro wykazywało pełną stratyfikację (Mikołajczak i in. 1998, Raport...2004).

Stan ekologiczny jezior Rogoźno i Budziszewskiego w latach 2008-2014

Od roku 2008 roku w związku z implementacją zapisów Ramowej Dyrektywy Wodnej do polskiego prawodawstwa, ocenie podlega tzw. stan ekologiczny jezior. Podstawą do jego wyznaczenia są wskaźniki biologiczne, uzupełniane przez wskaźniki fizykochemiczne. W oparciu o tę zasadę dokonywano w latach 2008, 2011 i 2014 oceny stanu ekologicznego jezior Rogoźno i Budziszewskiego w ramach monitoringu prowadzonego przez WIOŚ w Poznaniu. W przypadku jeziora Rogoźno w latach 2008 oraz 2014 stan wód uznano za zły z uwagi na silne zakwity fitoplanktonu, zdominowane przez sinice, jak i wysokie koncentracje związków biogenych. W roku 2011 stan uległ nieznacznej poprawie do stanu słabego o czym zdecydował skład ilościowy i jakościowy fitoplanktonu, wyrażony wskaźnikiem PMPL (Polski Multimetriks Fitoplanktonowy). Na stan umiarkowany wskazywała struktura i rozmieszczenie roślinności wodnej, wyrażona wskaźnikiem ESMI (Makrofitowy Indeks Stanu Ekologicznego), zaś wskaźniki fizykochemiczne w większości utrzymywały się na poziomie poniżej dobrego (Tab. 2). We wszystkich badanych latach jedynie wartości przewodności oraz stężenia tlenu nad dnem kształtowały się w granicach stanu dobrego.

Tab. 2. Zmiany stanu ekologicznego jeziora Rogoźno w latach 2008-2014 (za: www.poznan.wios.gov.pl)

wskaźniki	2008	2011	2014
PMPL	nb	3,25 (IV)	4,14 (V)
ESMI	0,079	0,187 (III)	nb
przezroczystość [m]	0,8	0,68 (<db)	0,7 (<db)
przewodność [μ S/cm]	574	443 (db)	494 (db)
azot ogólny [mgN/l]	4,8	3,61 (<db)	3,47 (<db)
fosfor ogólny [mgP/l]	0,115	0,12 (<db)	0,14 (<db)
chlorofil-a [mg/m^3]	135,8	nb	nb
tlen nad dnem [mgO_2/l]	7,8	4,73 (db)	6,33 (db)
stan ekologiczny	ZŁY	SŁABY	ZŁY

IV, V – klasa wskaźnika wg rozporządzenia, db – stan dobry <db – stan poniżej dobrego, nb – nie badano

Stan wód Jeziora Budziszewskiego przez cały analizowany okres sklasyfikowany został jako zły z uwagi na wysokie liczebności fitoplanktonu zdominowanego przez sinice (wskaźnik PMPL) oraz wysokie koncentracje związków biogenych. O ile wartości przewodnictwa elektrolitycznego mieściły się w granicach dla stanu dobrego, to nasycenie hypolimnionu tlenem było tak niskie, że wskazywało na stan poniżej dobrego (Tab. 3).

Pomimo zmiany metodyki oceny w dalszym ciągu jakość wód obu jezior była zła, a ich degradacja wyrażała się niską przezroczystością, związaną z silnymi zakwitami fitoplanktonu, którym towarzyszyły wysokie stężenia azotu i fosforu.

Tab. 3. Zmiany stanu ekologicznego Jeziora Budziszewskiego w latach 2008-2014 (za: www.poznan.wios.gov.pl)

wskaźniki	2008	2011	2014
PMPL	nb	4,14 (V)	4,75 (V)
ESMI	nb	0,119 (IV)	nb
przezroczystość [m]	0,6	0,75 (<db)	0,63 (<db)
przewodność [μ S/cm]	574	484 (db)	502 (db)
azot ogólny [mgN/l]	5,18	3,92 (<db)	3,56 (<db)
fosfor ogólny [mgP/l]	0,15	0,14 (<db)	0,15 (<db)
chlorofil-a [mg/m^3]	135,9	nb	nb
nasycenie hypolimnionu tlenem [%]	1,8	0,86 (<db)	0,72 (<db)
stan ekologiczny	ZŁY	ZŁY	ZŁY

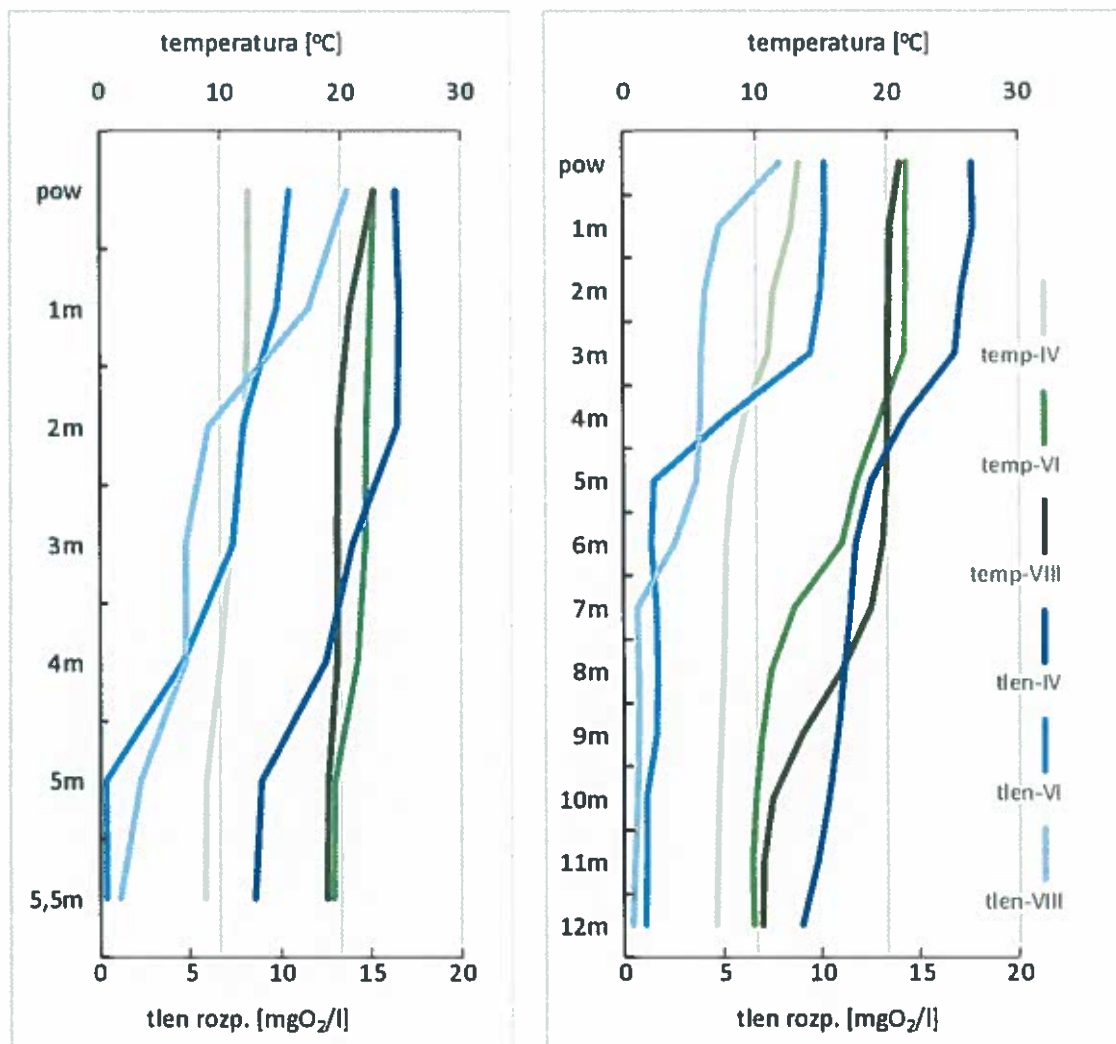
IV, V – klasa wskaźnika wg rozporządzenia, db – stan dobry <db – stan poniżej dobrego, nb – nie badano

Jakość wód jezior Rogoźno i Budziszewskiego w roku 2017

a) warunki termiczno-tlenowe

Badania przeprowadzone wiosną i latem 2017 roku potwierdziły polimiktyczny charakter jeziora Rogoźno (Rys. 1). Pomimo mieszania wód w każdym badanym miesiącu stwierdzano obniżanie koncentracji tlenu rozpuszczonego wraz ze wzrostem głębokości, przy czym latem obserwowano deficyty tlenowe w strefie naddennej. Na głęboczkach Jeziora Budziszewskiego latem wykształcała się stratyfikacja: epilimnion sięgał około 6 m głębokości, zaś hypolimnion zajmował warstwę od 10 m do dna w szczycie sezonu wegetacyjnego (Rys. 1). Wiosną warunki tlenowe były dobre, lecz latem niedobory tlenu notowano już na głębokości 5m.

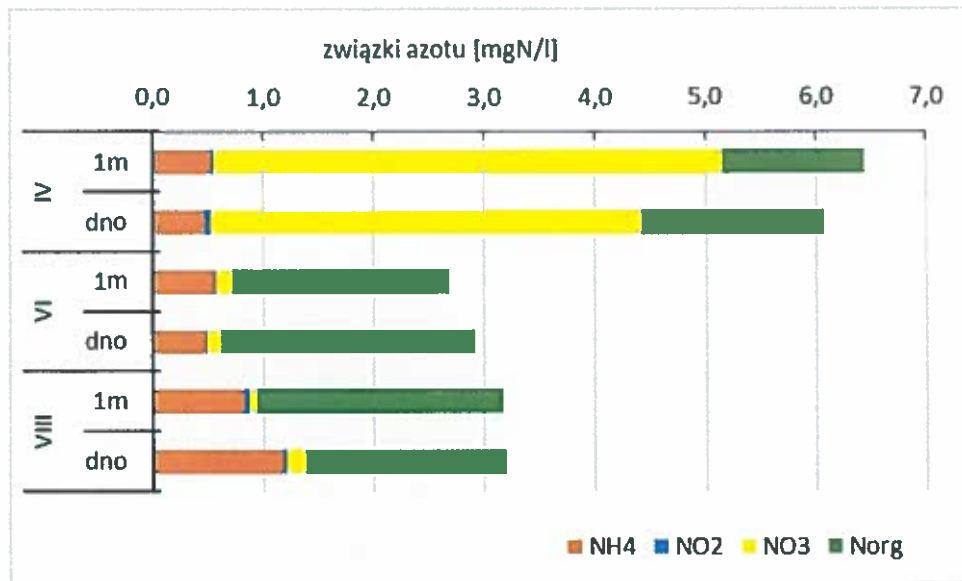
Średnia przezroczystość wód w badanym okresie była zbliżona w obu akwenach wynosząc niecałe 70 cm. Wiosną notowano widzialność krążka Secchiego na poziomie 1,1 m, latem zaś poniżej 0,5 m w obu jeziorach (dane niepublikowane).



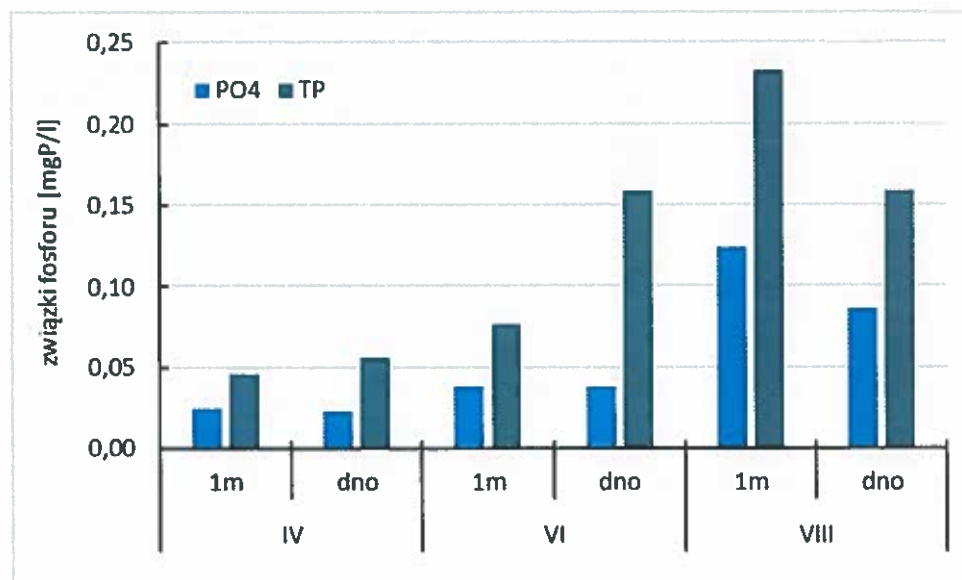
Rys. 1. Zmiany temperatury wód oraz koncentracji tlenu rozpuszczonego w jeziorach Rogoźno (po lewej) i Budziszewskie (po prawej) wiosną i latem 2017 roku (dane niepublikowane)

b) koncentracje związków biogennych

Badania z roku 2017 potwierdziły utrzymywanie się wysokich koncentracji związków biogennych w wodach obu jezior. W jeziorze Rogoźno zawartość azotu ogólnego wahała się od około 3 mgN/l latem do ponad 6 mgN/l wiosną, przy czym latem dominowała forma organiczna, wiosną zaś azotanowa, co związane jest z wysoką produkcją pierwotną fitoplanktonu w lecie a splywem azotu azotanowego ze zlewni w okresie wiosennym (Rys. 2). Pod względem koncentracji fosforu zaznaczył się wyraźny przyrost w okresie lata – wiosną średnia koncentracja w przekroju pionowym dla fosforu ogólnego wynosiła 0,051 mgP/l, zaś latem zwiększyła się do blisko 0,2 mgP/l w szczycie sezonu (Rys. 3). Również stężenia ortofosforanów uległy wzrostowi, stymulując rozwój fitoplanktonu (dane niepublikowane).

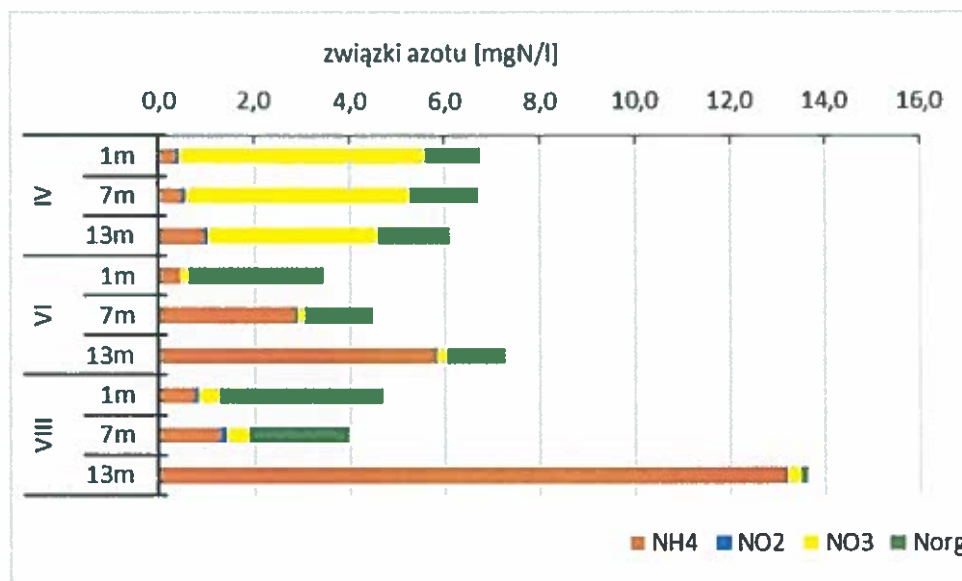


Rys. 2. Koncentracje związków azotu w wodach jeziora Rogoźno wiosną i latem 2017 roku (dane niepublikowane)



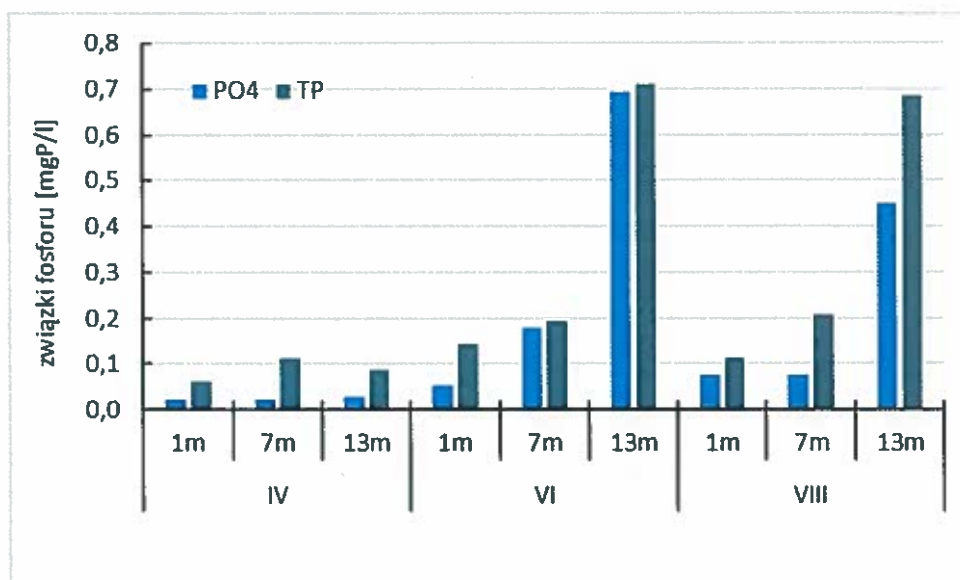
Rys. 3. Koncentracje związków fosforu w wodach jeziora Rogoźno wiosną i latem 2017 roku (dane niepublikowane)

W wodach Jeziora Budziszewskiego – podobnie jak w jeziorze Rogoźno – za wysokie stężenia azotu ogólnego w okresie wiosny odpowiadały podwyższone koncentracje azotu azotanowego (ponad 5 mgN-NO₃/l na głębokości 1 m), zaś latem – azotu organicznego, przy czym zjawisko to dotyczyło wód powierzchniowych. W strefie naddennej na skutek dekompozycji materii organicznej uwalniane były znaczne ilości azotu amonowego, sięgające ponad 13 mgN-NH₄/l w sierpniu (Rys. 4) (dane niepublikowane).



Rys. 4. Koncentracje związków azotu w wodach Jeziora Budziszewskiego wiosną i latem 2017 roku (dane niepublikowane)

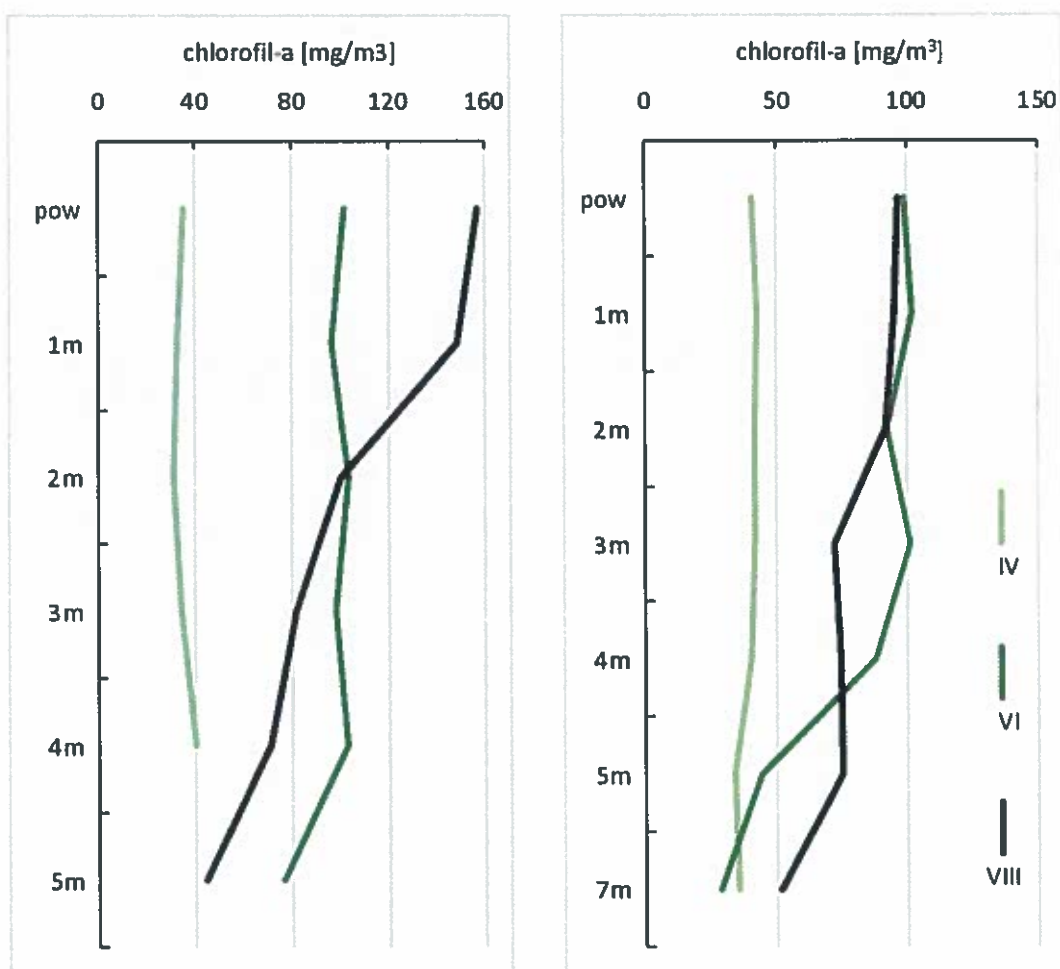
Koncentracje związków fosforu wykazywały trend rosnący w czasie, zwiększając się latem w wodach powierzchniowych do ponad 0,1 mgP/l. Najwyższe stężenia odnotowano jednak w okresie stratyfikacji w strefie naddennej, gdzie sięgały około 0,7 mgP/l, co wiązać należy z intensywnym uwalnianiem fosforu z osadów dennych. Zjawisko to potwierdziły eksperymentalne badania nad wymianą fosforu między osadem dennym a tonią wodną (patrz podpunkt f) (dane niepublikowane).



Rys. 5. Koncentracje związków fosforu w wodach Jeziora Budziszewskiego wiosną i latem 2017 roku (dane niepublikowane)

c) koncentracja chlorofilu- a i struktura zbiorowiska fitoplanktonu

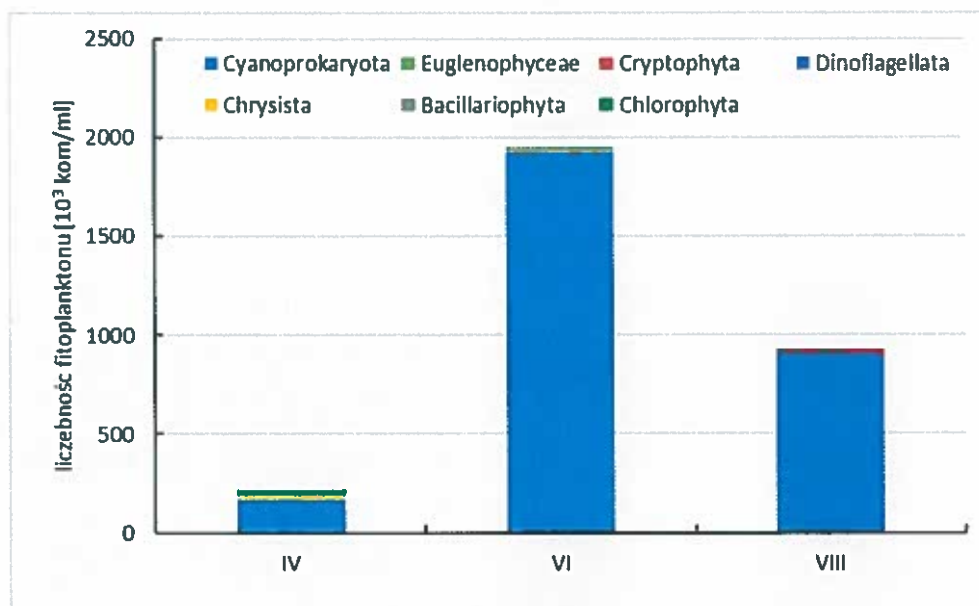
Zawartość chlorofilu-a w wodach obu jezior już w okresie wiosennym przekraczała wartości wskazujące na występowanie zakwitów wód, sięgając około 40 mg/m^3 . Latem koncentracja barwnika zwiększyła się, wzrastając maksymalnie do 150 mg/m^3 w jeziorze Rogoźno i około 100 mg/m^3 w Jeziorze Budziszewskim (Rys. 6) (dane niepublikowane), dowodząc intensywnej produkcji pierwotnej fitoplanktonu w reakcji na wzmoczoną dostawę związków biogenych ze zlewni oraz z osadów dennych.



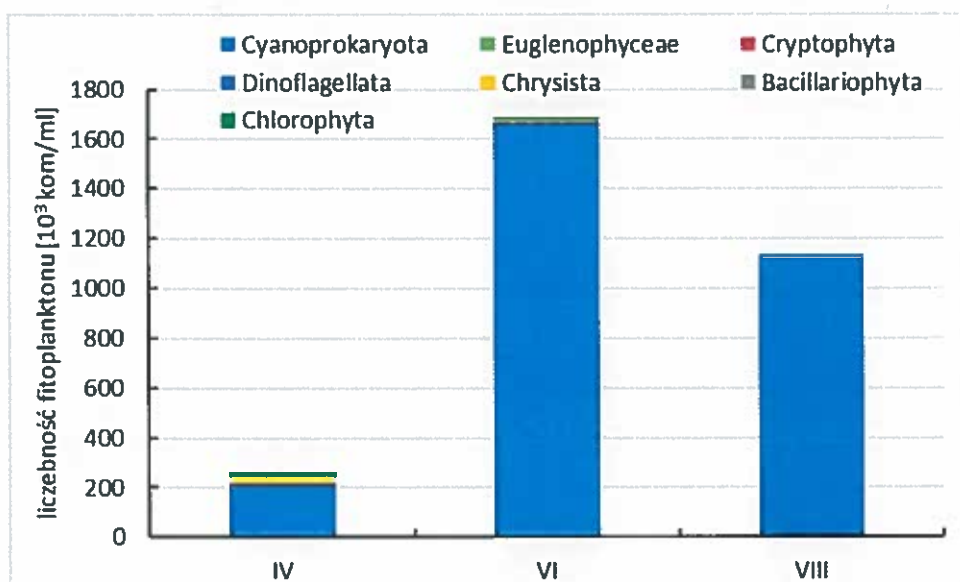
Rys. 6. Koncentracje chlorofilu-a w przekroju pionowym jezior Rogoźno (po lewej) i Budziszewskiego (po prawej) wiosną i latem 2017 roku (dane niepublikowane)

W obu jeziorach w strukturze fitoplanktonu zarówno wiosną, jak i latem dominowały sinice (Cyanoprokaryota, Rys. 7). Ich udział w Jeziorze Budziszewskim w sierpniu 2017 roku sięgał niemal 100% (Rys. 8). Do najczęściej występujących gatunków należały *Planktothrix agardhii* i *Pseudanabaena limnetica*, zdolne do produkcji toksyn o szkodliwym oddziaływaniu na organizmy wodne oraz człowieka. Pod względem liczebności najwyższe wartości stwierdzono w czerwcu, a wynosiły one

blisko 2 mln komórek w 1 ml próbki w jeziorze Rogoźno i blisko 1,7 mln komórek w 1 ml próbki w Jeziorze Budziszewskim (dane niepublikowane). Wyniki te potwierdzają regularne występowanie zakwitów sinic w wodach obu jezior, negatywnie wpływających zarówno na percepcję jakości wód (silne zabarwienie i mętność, występowanie widocznych zgrupowań w postaci tzw. kożuchów w strefie przybrzeżnej), jak i na możliwości jej bezpiecznego wykorzystania.



Rys. 7. Liczebność fitoplanktonu w wodach powierzchniowych jeziora Rogoźno wiosną i latem 2017 roku (dane niepublikowane)



Rys. 8. Liczebność fitoplanktonu w wodach powierzchniowych Jeziora Budziszewskiego wiosną i latem 2017 roku (dane niepublikowane)

d) zooplankton

Zgrupowanie zooplanktonu obu jezior zdominowane było przez wrotki (Rotifera), których liczebności sięgały nawet ponad 16 tys. org./l w czerwcu w jeziorze Rogoźno (Tab. 4). W grupie tej w kwietniu najliczniej reprezentowana była *Polyarthra dolichoptera*, w czerwcu *Anuraeopsis fissa*, a w sierpniu *Synchaeta* sp. w obu jeziorach – taksony typowe dla wód bardzo żyznych. Liczebności wioślarek i widłonogów nie przekraczały 400 org/l. Szczególnie ubogie w wioślarki zdolne do efektywnego odfiltrowywania fitoplanktonu były wody jeziora Rogoźno (Tab. 4). W przypadku Jeziora Budziszewskiego notowano występowanie nieco większych liczebności drobnych wioślarek (Tab. 5) z gatunku *Daphnia cucullata* oraz *Diaphanosoma brachyurum*, lecz utrzymujące się zakwity fitoplanktonu nie mogły być kontrolowane przez tak niskie zagęszczenia filtratorów (dane niepublikowane).

Tab. 4. Liczebności zooplanktonu w wodach jeziora Rogoźno wiosną i latem 2017 roku (dane niepublikowane)

miesiąc	IV	VI	VIII
warstwa	1m+dno	pow+1m	pow+1m
wrotki (Rotifera)	4503	16277	5202
wioślarki (Cladocera)	32	0	0
widłonogi (Copepoda)	95	80	358
razem	4630	16357	5560

Tab. 5. Liczebności zooplanktonu w wodach Jeziora Budziszewskiego wiosną i latem 2017 roku (dane niepublikowane)

miesiąc	IV	VI	VIII
warstwa	1m+7m+dno	pow+1m	pow+1m
wrotki (Rotifera)	2488	4681	6689
wioślarki (Cladocera)	31	52	144
widłonogi (Copepoda)	94	184	238
razem	2613	4917	7071

e) osady denne

Osady denne cechowały się wiosną i latem 2017 roku dość wysoką zawartością materii organicznej, wynikającą z ciągłej dostawy sedymentujących do osadu cząstek, w znacznej części stanowionych przez obumierające komórki planktonu. W Jeziorze Budziszewskim stwierdzono wyższą zawartość fosforu w osadzie oraz w wodzie śródporowej, co wynika z mniej intensywnego rozkładu materii organicznej w warunkach beztlenowych, utrzymujących się nad dnem w strefie głębozka. Z punktu widzenia zasilania toni wodnej w fosfor korzystna jest duża ilość tego pierwiastka

związana trwale w osadzie w postaci frakcji Res-P, lecz niestety około 20% fosforu jest zdeponowane w osadzie w postaci mobilnej (fosfor luźno związany, z żelazem i z materią organiczną), co sprzyja jego uwalnianiu. Okresowo występujące deficyty tlenowe w strefie naddennej jeziora Rogoźno i jeszcze częściej notowane nad dnem głęboczka w Jeziorze Budziszewskim odpowiadają za niewielki udział frakcji związanej z żelazem, zaś znaczna ilość materii organicznej odpowiada za zwiększony udział fosforu zdeponowanego w osadach w postaci frakcji NaOH-nRP (Tab. 6) (dane niepublikowane).

Tab. 6. Wybrane właściwości osadów dennych jezior Rogoźno i Budziszewskiego – wartości średnie z wiosny i lata 2017 roku (dane niepublikowane)

wskaźnik	jeziorno Rogoźno	Jeziorno Budziszewskie
zawartość fosforu w osadzie [mgP/g s.m.]	1,14	1,81
udział materii organicznej [%]	16,75	19,47
koncentracja fosforu w wodzie interstycjalnej [mgP/l]	2,55	7,31
udział frakcji fosforu [%]:		
NH ₄ Cl-P (fosfor luźno związany)	3,7	4,3
BD-P (fosfor związany z żelazem)	1,8	2,4
NaOH-Al (fosfor związany z glinem)	1,6	1,1
NaOH-nRP (fosfor związany z materią organiczną)	12,0	17,3
HCl-P (fosfor związany z wapniem)	3,8	3,8
Res-P (fosfor trwale związany w osadzie)	77,1	71,1

f) obciążenie wewnętrzne - zasilanie w fosfor z osadów dennych

Zarówno wiosną, jak i latem osady denne stanowiły źródło fosforu dla toni wodnej obu jezior. W okresie wiosennym wymieszanie wód i utrzymywanie się dobrych warunków tlenowych sprzyjało uwalnianiu fosforu w procesie dekompozycji materii organicznej. Latem proces ten nasilił się w związku ze wzrostem temperatury, stymulującej aktywność mikroorganizmów w osadach. W rezultacie osady denne jeziora Rogoźno na stanowisku zlokalizowanym na wysokości miasta Rogoźno uwalniały niemal tyle samo fosforu co już odtlenione osady z głęboczka (Tab. 7). Największe ilości fosforu powracały do toni wodnej na głęboczku Jeziora Budziszewskiego wiosną, lecz niewiele niższe na płytszym stanowisku latem, co ponownie wynikało z intensywnego rozkładu materii organicznej, w tym miejscu zarówno autochtonicznej (plankton sedymentujący do osadu), jak i allochtonicznej (materia wprowadzana z wodami Małej Wełny).

Doświadczenia *ex-situ* wskazują na konieczność zmniejszenia zasilania wód w fosfor z osadów dennych w procesie rekultywacji (dane niepublikowane).

Tab. 7. Zasilanie wewnętrzne w fosfor (w mgP/m²*d) z osadów dennych obu jezior wiosną i latem 2017 roku na podstawie badań eksperymentalnych *ex-situ* (dane niepublikowane)

pora roku	jeziro Rogoźno		Jeziro Budziszewskie	
	głęboczek (ok. 5,5 m)	na wysokości miasta Rogoźno (ok. 4 m)	głęboczek (ok. 13 m)	bliżej dopływu Małej Welny (ok. 4 m)
wiosna	2,55	3,10	16,77	5,19
lato	11,86	11,40	14,48	15,98

Podsumowanie i wnioski

Analiza wyników badań jakości wód jezior Rogoźno i Budziszewskiego z lat 1997-2017, a więc obejmująca okres 20 lat wskazuje na utrzymujący się zły stan wód, którego objawami są:

- niska przezroczystość wód;
- silne zakwity fitoplanktonu, w szczycie sezonu letniego niemal całkowicie zdominowanego przez sinice;
- wysokie koncentracja związków biogenych, zwłaszcza w strefie naddennej Jeziora Budziszewskiego;
- okresowe odtlenienie strefy naddennej w płytszych rejonach obu jezior, jak i występujące przez cały okres letni na głęboczkach Jeziora Budziszewskiego;
- wysokie zasilanie wewnętrzne w fosfor z osadów dennych zarówno wiosną, jak i latem, przy jednoczesnym braku wiązania fosforu przez osady nawet w warunkach tlenowych;
- zdominowanie zooplanktonu przez wrotki, świadczące o niewłaściwej strukturze ichtiofauny, zdominowanej przez planktonożerne ryby.

Powyższe wskaźniki uniemożliwiają gospodarcze wykorzystanie wód jeziornych z uwagi na narażenie użytkowników na kontakt z toksynami sinicowymi i wskazują na potrzebę podjęcia działań naprawczych, zmierzających do zmniejszenia ładunków związków biogenych krążących w toni wodnej i stymulujących zakwity fitoplanktonu.

3.6 Obciążenie zewnętrzne

Jeziora Rogoźno i Budziszewskie położone są w dolnym biegu liczącej łącznie 83,8 km długości rzeki Mała Welna, co powoduje, że stanowią miejsce depozycji zawieszin oraz

zanieczyszczeń wprowadzanych do cieków powyżej jezior. Wielkość obciążenia zewnętrznego zwiększa znaczny udział gruntów ornych w zlewni Małej Wełny oraz liczne stawy rybne, zasilane wodami tej rzeki w okresie wiosny i oddające wody zanieczyszczone materią organiczną w okresie jesieni. Do roku 2016 poważnym źródłem związków biogenych była oczyszczalnia ścieków w Skokach, lecz obecnie ścieki są odprowadzane na obiekt położony w Szlachęcinie, skąd trafiają po oczyszczeniu do Warty.

Bezpośrednio na jakość wód Małej Wełny dopływającej do Jeziora Budziszewskiego wpływa Jezioro Rościńskie. Obserwowane w nim zakwity fitoplanktonu sprzyjają zmniejszaniu stężeń związków biogenych w wodach wypływającej rzeki, lecz jednocześnie zwiększają ilość materii organicznej. W roku 1997 stwierdzono obecność licznych sinic, latem stanowiących do 100% fitoplanktonu (Mikołajczak i in. 1998). Badania WIOŚ Poznań z roku 2014 pozwoliły sklasyfikować Małą Wełnę jako pozostającą poniżej dobrego potencjału z uwagi na wysokie koncentracje fosforu, wynoszące średnio 0,46 mgP/l (www.poznan.wios.gov.pl). Utrzymywanie się takiego zanieczyszczenia potwierdzają badania z wiosny i lata 2017 roku (dane niepublikowane), wskazujące ponadto na ciągle zasilanie Małej Wełny przez Jezioro Rościńskie fitoplanktonem (koncentracje chlorofilu-a na poziomie do 120 mg/m³ w okresie letnim).

3.7 Gospodarka rybacka

Użytkownikiem rybackim obwodu rybackiego o nazwie „Jeziora Budziszewskie na rzece Mała Wełna – nr 8” jest Przedsiębiorstwo Produkcji Rybackiej, Usługowej i Przetwórczej „Maj” Sp. z o.o. z Wągrowca.

Średni roczny odłów ryb w Jeziorze Budziszewskim w latach 2011-2015 wyniósł 3,5 kg/ha, co przekłada się na średnio 620 kg ryb rocznie (Tab. 8), przy czym najniższą wydajność uzyskano w roku 2015 (243 kg) a najwyższą w roku 2013 (892 kg). Pod względem struktury odławianych ryb, zarysowuje się nieznaczna dominacja ryb drapieżnych (węgorz, sandacz, szczupak, okoń) w stosunku do gatunków karpiowatych tj. odpowiednio 53,8% do 46,2%. Spośród ryb drapieżnych dominuje sandacz (średni roczny udział w odłowach na poziomie 35%). W zakresie zarybień, do wód Jeziora Budziszewskiego w tym samym okresie wprowadzono narybek węgorza i sandacza oraz leszcza (Tab. 9) (Szeszycki 2016).

W jeziorze Rogoźno średni roczny odłów ryb w latach 2011-2015 sięgnął 730

kg, czyli 5,8 kg/ha (Tab. 10), przy czym wydajność wahała się od 518 kg w roku 2012 do 982 kg w roku 2015. W strukturze odławianych ryb nieznacznie dominowały gatunki ryb karpiowatych (51,1%) w stosunku do drapieżnych (48,9%), spośród których – podobnie jak w Jeziorze Budziszewskim – dominował sandacz (średnio 34,4%). W latach 2011-2015 jezioro zarybiano narybkiem węgorza, sandacza, karasia i karpia, przy czym jedynie węgorzem i karpem corocznie (Tab. 11) (Szeszycki 2016).

Tab. 8. Wielkości odłowów rybackich w Jeziorze Budziszewskim w latach 2011-2015 (za: Szeszycki 2016)

gatunek	odłow [kg]					razem [kg]	średnio rocznie [kg/rok]
	2011	2012	2013	2014	2015		
węgorz	37	60	89	190	-	376	75
sandacz	303	98	251	278	156	1086	217
szczupak	46	22	54	38	30	190	38
okoń	8	-	8	1	2	19	4
lin	139	3	50	102	2	296	59
karaś	11	11	42	35	5	104	21
leszcz	194	41	184	61	28	508	102
płóć i wzdreğa	113	176	214	-	3	506	101
krap	-	-	-	-	17	17	3
razem	851	411	892	705	243	3102	620
wydajność [kg/ha]	4,8	2,3	5,0	4,0	1,4		3,5

Tab. 9. Wielkości zarybień rybackich w Jeziorze Budziszewskim w latach 2011-2015 (za: Szeszycki 2016)

material zarybieniowy	zarybienia					razem
	2011	2012	2013	2014	2015	
węgorz – narybek podchowany [kg]	9	9	8	9	9	44
sandacz – narybek letni [szt.]	9000	13000	5000	-	-	27000
leszcz dłoniak [kg]	-	300	300	-	-	600

Połowry rybackie w obu jeziorach prowadzone są odpowiednim sprzętem rybackim w cyklu całorocznym z uwzględnieniem okresów i wymiarów ochronnych i gospodarczych a także ochrony tarlisk. Są one prowadzone sprzętem stawnym (wontonami o rozmiarze oczek 50 mm) i sprzętem ciągnionym, co umożliwia ochronę młodych roczników sandacza, szczupaka, lina i leszcza. Podczas połowów sprzętem ciągnionym dokonywana jest selekcja gatunków ryb występujących w jeziorze.

Tab. 10. Wielkości odłowów rybackich w jeziorze Rogoźno w latach 2011-2015 (za: Szeszycki 2016)

gatunek	odłowy [kg]					razem [kg]	średnio rocznie [kg/rok]
	2011	2012	2013	2014	2015		
węgorz	23	6	11	32	85	157	31
sandacz	122	154	231	221	419	1147	229
szczupak	116	26	58	108	104	412	83
okoń	8	24	3	18	19	72	14
lin	38	65	29	49	3	184	37
karaś	-	41	62	123	165	391	78
karp	-	-	-	5	-	5	1
plóc i wzdreğa	338	117	148	58	17	678	136
razem	762	518	603	785	982	3650	730
wydajność [kg/ha]	6,0	4,1	4,8	602	7,8		5,8

Tab. 11. Wielkości zarybień rybackich w jeziorze Rogoźno w latach 2011-2015 (za: Szeszycki 2016)

materiał zarybieniowy	zarybienia					razem
	2011	2012	2013	2014	2015	
węgorz – narybek podchowany [kg]	7	7	8	7	9	37
sandacz – narybek letni [szt.]	9000	-	-	-	-	9000
karaś narybek [kg]	-	100	250	-	-	350
karp K1 [kg]	100	150	-	-	-	250
karp K2 [kg]	-	-	150	150	150	450

Zgodnie z Operatem rybackim (Szeszycki 2016) maksymalna wydajność ryb odławianych w Jeziorze Budziszewskim wynosi średnio w okresie trzech lat 9 kg/ha, a w jeziorze Rogoźno 12 kg/ha, przy czym 40% tych wielkości powinny stanowić gatunki karpowate (leszcz, plóc i karaś). W przypadku odłowów regulacyjnych małych gatunków ryb karpowatych (leszcz, krap) a także gatunków niepożądanych (amur, tołpyga) maksymalna wydajność połowowa wynosić może 30 kg/ha, przy czym minimum 60% stanowić winny gatunki niepożądane z punktu widzenia eutrofizacji wód.

Regulacji wielkości i struktury ryb drapieżnych służą zarybienia oraz odłowy rybackie i wędkarskie, zaś w przypadku ryb karpowatych – odłowy rybackie i wędkarskie oraz zarybienia rybami drapieżnymi (Szeszycki 2016). Dokument ten przewiduje także możliwość dokonania odłowów regulacyjnych gatunków nadmiernie rozwiniętych w obu jeziorach.

4. Inaktywacja fosforu - metoda chemiczna

Metodą umożliwiającą usunięcie z toni wodnej fosforu obecnego w formie biodostępnej, czyli wykorzystywanej przez organizmy fitoplanktonowe, jest tzw. inaktywacja, polegająca na zastosowaniu odpowiedniego środka koagulującego, który wytrąca z wody jon fosforanowy a następnie wiąże go w osadach dennych, zmniejszając jednocześnie ilość fosforu dopływającego z osadów do toni wodnej.

4.1 Preparaty strącające fosfor – dawki i okresy aplikacji

W zakresie strącania fosforu z toni wodnej do osadów dennych najkorzystniejsze będzie zastosowanie preparatów, zawierających metale występujące naturalnie w zbiornikach wodnych: żelazo oraz magnez.

W celu usunięcia fosforu w postaci jonów ortofosforanowych P-PO₄ zastosować można:

- środek wiążący jednocześnie jony fosforanowe oraz amonowe tj. chlorek magnezu (MgCl₂);
- środek strącająco-koagulujący PIX (siarczan żelazowy).

Chlorek magnezu

Dawkowanie chlorku magnezu umożliwia jednoczesne strącenie jonów fosforanowych wraz z jonami amonowymi, których znaczne koncentracje docierają ze zlewni do wód jeziora w okresie wiosennym, jak i z osadów dennych w okresie letnim. Kumulują się one w strefie naddennej. Wytrącanie obu tych jonów przy pomocy chlorku magnezu powoduje powstawanie fosforanu magnezowo-amonowego (tzw. struwitu) (NH₄)Mg[PO₄]*6H₂O.

Zabiegi strącania fosforu z toni wodnej przy pomocy MgCl₂ należy prowadzić od wczesnej wiosny, bezpośrednio po zejściu lodu, gdyż w tym okresie następuje duże zaopatrywanie jeziora ze zlewni, powodujące powstanie silnego zakwitu wiosennego. Dawka reagentu musi być ściśle dobrana do stężeń panujących w jeziorze. Zwykle jest ona niższa od 10 kg/ha, co daje maksymalnie około 1390 kg na całe jezioro Rogoźno i 1630 kg na Jezioro Budziszewskie. Jest więc całkowicie bezpieczna dla wszystkich organizmów żyjących w toni wodnej i w dnie jeziora. Ponieważ intensywne zasilanie ze zlewni trwa zwykle 2-3 miesiące, zabieg inaktywacji fosforu należy ponawiać, gdy tylko stężenie fosforu ogólnego w wodzie przekroczy 0,1 mg P/l.

Siarczan żelaza

Po wzroście temperatury wody i osadów dennych powyżej 15°C, a więc zwykle już w maju, rozpoczyna się zasilanie jeziora w fosfor z osadów dennych. Ponieważ stężenie azotu amonowego ulega zmniejszeniu (intensywniejszy proces nityfikacji), inaktywacja fosforu powinna być prowadzona przy pomocy związków żelaza (siarczan żelaza). Jest to naturalny związek chemiczny, obecny w wodzie dopływającej ze zlewni. W miarę zmniejszania się zasilania zewnętrznego jego stężenie w wodzie jeziornej szybko ulega obniżeniu w wyniku sedymentacji i wykorzystywania przez fitoplankton. Zabiegi rekultywacyjne mają więc za zadanie utrzymywać jego zawartość na stałym poziomie, niezbędnym do inaktywacji fosforu. Zrównoważone dawki związków żelaza są niewielkie, zwykle od 4 do 6 kg/ha. Nie wywierają więc negatywnego wpływu na organizmy wodne.

Zabiegi inaktywacji fosforu w pierwszym roku rekultywacji muszą być stosunkowo częste, dostosowane do szybkości zwiększania się stężeń tego pierwiastka w toni wodnej. Należy liczyć się z powtarzaniem zabiegów od jednego do dwóch razy w ciągu miesiąca, co daje ok. 10 zabiegów rocznie. W kolejnych latach rekultywacji ilość zabiegów inaktywacji fosforu w toni wodnej może ulec zmniejszeniu do 5 zabiegów rocznie w roku drugim i trzecim. Stabilizowanie osiągniętych efektów może wymagać powtarzania zabiegów w kolejnych latach, w ilości od 1 do 3 zabiegów strącania fosforu rocznie.

W przypadku preparatu PIX pamiętać należy o trzech zasadach w zakresie wyboru miejsca i sposobu dawkowania:

- punkt dozowania powinien zapewnić dobry kontakt PIX z wodą (w tym przypadku z wodą zanieczyszczoną jonami P-PO₄), tzn. w punkcie dozowania przepływ powinien być burzliwy (zapewnia to charakterystyka aeratorów – por. dalsza część operatu);
- po dodaniu preparatu PIX powinno się unikać dalszego burzliwego mieszania (turbulencji), aby nie spowodować cofnięcia efektu koagulacji.

Następujące w zbiorniku reakcje strącania i hydrolizy preparatu PIX będą tworzyć mieszaninę różnych trudno rozpuszczalnych związków, takich jak: FePO₄, Fe(OH)₃, (FeOH)₃(PO₄)₂, FeS i innych. Utworzą one mineralne osady podobne do występujących powszechnie w glebie i osadach dennych, nie szkodząc elementom ekosystemu jeziora, poza ograniczającym wpływem pośrednim na rozwój fitoplanktonu.

Preparat w normalnej handlowej postaci ma odczyn pH poniżej 1, stąd należy wziąć pod uwagę nieuchronne obniżenie odczynu wody. Wody jezior Rogoźno i Budziszewskiego zawierają wystarczające ilości związków buforujących, toteż zakwaszający wpływ wprowadzonego preparatu PIX będzie niewielki.

Dla pełnego obrazu wszystkich zagrożeń i skutków przeprowadzenia opisanego w operacie procesu należy jeszcze wspomnieć o zanieczyszczeniach wprowadzanych wraz z preparatem PIX. Surowcem do jego produkcji jest minerał zwany *ilmenit*, z którego w wyniku wielu skomplikowanych procesów chemicznych uzyskuje się końcowy produkt. *Ilmenit*, tak jak większość surowców naturalnych o znaczeniu przemysłowym posiada zanieczyszczenia, które podczas procesów jego oczyszczania są usuwane, lecz niewielka ich ilość pozostaje w koagulacie PIX. Posiadany przez KEMIPOL Sp. z o.o. Certyfikat Jakości ISO 9002 wymaga, aby produkt finalny był systematycznie badany przez niezależne laboratorium, między innymi na zawartość metali ciężkich.

4.2 Mobilna aeracja pulweryzacyjna z precyzyjną inaktywacją fosforu

Precyzyjne dawkowanie preparatów jest możliwe przy zastosowaniu specjalnych urządzeń mobilnych, stąd proponowanym rozwiązaniem jest przeprowadzanie tzw. mobilnej aeracji pulweryzacyjnej połączonej z inaktywacją fosforu. Łączenie inaktywacji fosforu z jednoczesnym napowietrzaniem wód, pozwala na stosowanie minimalnych dawek środka wiążącego fosfor, obojętnych dla ekosystemu jeziora. Przewiduje się wykonywanie analiz chemizmu wody podczas wykonywania zabiegu (tzw. zabieg precyzyjny), wynikające ze zróżnicowania warunków panujących w jeziorze. Ma to na celu minimalizację dawek środka i wprowadzanie go do komór aeratora w taki sposób, by do strefy naddennej docierał już dobrze wymieszany z natlenioną wodą i w niskich stężeniach, obojętnych dla ekosystemu jeziornego.

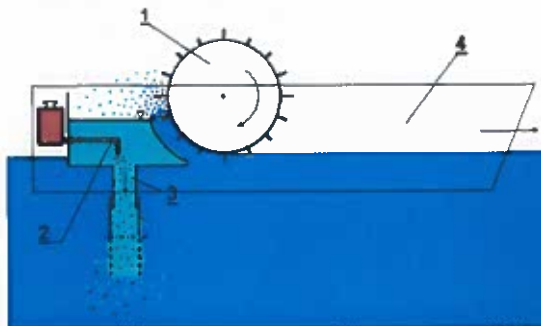
Technologia mobilnej aeracji wykorzystuje proces aeracji pulweryzacyjnej, który jest chroniony Patentem nr 182023 RP udzielonym Akademii Rolniczej (obecnie Uniwersytetowi Przyrodniczemu) w Poznaniu, natomiast firma AERATOR posiada licencję wyłączną na jego wykorzystywanie.

a) zasada działania aeratora

Urządzenie wykorzystuje energię mechaniczną do pulweryzacji wody, umożliwiającej wydatną dyfuzję gazów i odprowadzania natlenionej wody z rozpuszczonym w niej koagulantem na dowolną głębokość (Ryc. 9). Mieszanie koagulantu z natlenioną wodą następuje już w komorze pulweryzacji, dzięki czemu do jeziora trafia on w minimalnych

stężeniach, ściśle dostosowanych do określonej w danej strefie zawartości fosforu. Zakłada się stosowanie jednorazowych dawek w zakresie 4-6 kg koagulantu na każdy hektar powierzchni jeziora. Łączna ilość PIX w trakcie jednorazowego zabiegu będzie więc wynosiła:

- dla jeziora Rogoźno - od 556 do 834 kg;
- dla Jeziora Budziszewskiego – od 652 do 978 kg.



Ryc. 9. Zasada działania mobilnej aeracji pulweryzacyjnej
1 – zespół dyfuzyjny, 2 – instalacja dawkowania koagulantu 3 - komora pulweryzacji, 4 – komora poboru wody

b) eksploatacja aeratora mobilnego z napędem mechanicznym

Aerator ten może również pracować interwencyjnie, w okresach wzmożonego wydzielenia fosforu z osadów dennych lub napływu dużego ładunku fosforu ze zlewni, co pozwala na uniknięcie tzw. zakwitów wody. Mobilny aerator pracuje na powierzchni całego jeziora, mając średnią wydajność 3 ha/godzinę. Dzięki systemowi kontroli i regulacji głębokości pracy aerator może efektywnie pracować zarówno w strefie przybrzeżnej, jak i w toni zbiornika. Aerator posiada ponadto możliwość względnie łatwej translokacji z jednego akwenu na inne.

c) obowiązki ubiegającego się o wydanie pozwolenia w stosunku do osób trzecich

Podczas wykonywania zabiegów mobilnej aeracji pulweryzacyjnej z systemem precyzyjnej inaktywacji fosforu przewiduje się wprowadzenie czasowego zakazu kąpieli, tzw. karencji, wynoszącej ok. 6 godzin po wykonanym zabiegu. W trakcie dawkowania koagulantu PIX teren przystani, gdzie będzie odbywał się załadunek preparatów będzie zabezpieczony i oznakowany. Przewiduje się ustawić tablice informacyjne oraz odgrodzić teren za pomocą taśm. Miejsce składowania koagulantu w okresie jego dozowania zostanie zabezpieczone przed dostępem osób postronnych. Magazynowanie

będzie się odbywać w specjalnych zbiornikach, w odpowiednio zabezpieczonych pomieszczeniach.

4.3 Stale strefy inaktywacji fosforu na częściach dna obu jezior narażonych na warunki beztlenowe w okresie wegetacyjnym

Metoda ta polega na wprowadzeniu na powierzchnię części dna jeziora substancji wiążących fosfor a więc zwiększających kompleks sorpcyjny osadów dennych. Jej zastosowanie jest konieczne w przypadku części dna narażonych na długotrwałe deficyty tlenowe utrzymujące się w tej strefie, co wymaga zastosowania środka mniej wrażliwego na niedobory tlenu. Najkorzystniejsze będzie zablokowanie fosforu przy pomocy preparatu SINOBENT[®]. Reprezentuje on serię preparatów opracowanych w Zakładzie Ochrony Wód Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu, przy współpracy z firmą Aerator z Poznania oraz Zakładów Górniczo-Metalowych Zębiec S.A. Preparaty te zostały objęte ochroną patentową w Urzędzie Patentowym RP jako Środek do rekultywacji powierzchniowych wód śródlądowych (nr 388253). Preparat optymalny do zastosowania w jeziorach Rogoźno i Budziszewskie w swoim składzie zawiera bentonitowy nośnik, na którym osadzono sole żelaza i magnezu oraz azotany, mające za zadanie utrzymanie potencjału redoks na odpowiednio wysokim poziomie, uniemożliwiającym redukcję żelaza. Azotany są akceptorem elektronów dla bakterii, które umożliwiają utlenianie zredukowanych form żelaza występujących w osadzie (Ripl 1976). Ich rola polega także na ograniczeniu redukcji siarczanów do siarki i dalej do siarczków, a tym samym powstawania siarkowodoru. Dodanie azotanów umożliwia bakteriom utlenianie siarki do siarczanów, hamując proces formowania się siarkowodoru (Søndergaard i in. 2002), będącego gazem toksycznym dla większości organizmów, jak i zwiększającym możliwość uwalniania fosforu w wyniku tworzenia się pęcherzyków gazu uwalnianych z osadów. Azotany cechuje lepsza rozpuszczalność w wodzie aniżeli tlen oraz zdolność do głębszego penetrowania osadów dennych (Douglas i in. 1999), co umożliwi zwiększenie puli żelaza utlenionego przez azotany z formy zredukowanej, występującej w połączeniu z siarką FeS (Søndergaard i in. 2002).

W warunkach laboratoryjnych dawka wynosząca 200 kg/ha wykazała się skutecznością wiązania fosforu uwalniającego się z osadów na poziomie ponad 60% (Gołdyn i in. 2010a), co wskazuje na możliwość zastosowania niniejszego preparatu celem stworzenia stałej strefy inaktywacji fosforu w odtleniającej się strefie dna obu jezior. Preparat posiada korzystną formę granulatu lub pasty, który dość szybko opada

na dno zbiornika i tam rozpoczyna swoje działanie. Dzięki temu możliwe jest dawkowanie preparatu pozwalające uniknąć dodawania bardzo dużych jego ilości. Niedobory substancji wiążących fosfor są uzupełniane w wodzie naddennej, gdzie mogą one aktywnie uczestniczyć w wiązaniu fosforu wydzielanego z osadów dennych, jak i strącanego z toni wodnej.

Zabieg ten należy wykonać późną wiosną, gdy temperatura wody nie przekroczy jeszcze 15°C. Będzie go trzeba powtórzyć w kolejnych trzech latach, gdyż fosfor docierający w ten rejon jeziora ze zlewni oraz z toni wodnej, będzie wymagał kolejnej inaktywacji. Pozwoli to wzmocnić stałe strefy inaktywacji fosforu na dnie jezior.

Obszar dna znajdującego się na głębokości przekraczającej 5 m w obu jeziorach zaznaczono na schematach zawartych w załączniku 1 A i B

5. Obliczenia

W zrównoważonej rekultywacji jeziora za pomocą inaktywacji fosforu konieczne jest zastosowanie niewielkich dawek preparatów strącających fosfor. W przypadku chlorku magnezu jednorazowa dawka nie powinna przekroczyć 10 kg/ha, co daje około 1390 kg na jezioro Rogoźno i 1630 kg na Jezioro Budziszewskie. Dawkę taką można bezpiecznie wprowadzić, a ilość zabiegów wyniesie 1-2 w okresie po zejściu lodu tj. marzec-kwiecień.

W przypadku siarczanu żelaza bezpieczna jednorazowa dawka kształtuje się na poziomie 4-6 kg na 1 ha wód jeziornych. Przy powierzchni całkowitej jeziora Rogoźno 139 ha przy normalnym poziomie piętrzenia oznacza to jednorazowe wprowadzenie do środowiska dawki minimalnie ok. 550 kg, zaś dla Jeziora Budziszewskiego z uwagi na większą powierzchnię akwenu (163 ha) dawka ta wzrasta do minimalnie około 650 kg. W zależności od zapotrzebowania tj. zwiększenia koncentracji jonów fosforanowych w wodzie jeziornej możliwe jest zwiększenie zastosowanej dawki do maksymalnie około 830 kg jednorazowo na całe jezioro Rogoźno oraz maksymalnie około 980 kg na całe Jezioro Busziszewskie. Taka dawka preparatu nie wywoła jakichkolwiek ubocznych skutków w faunie zbiornika. W pierwszym roku rekultywacji przewiduje się 9-10-krotne strącanie fosforu za pomocą siarczanu żelaza w okresie maj-listopad. W kolejnych latach ilość zabiegów ulegnie obniżeniu do około 5 rocznie.

W przypadku stałej strefy inaktywacji fosforu utworzonej na dnie o głębokości większej od 5 m łączna roczna dawka SINOVENTU[®] wyniesie około 20 ton. W jeziorze Rogoźno dno na głębokości większej od 5 m zajmuje powierzchnię 8,7 ha, za zatem

jednorazowa dawka SINO Bentu[®] wyniesie 1,74 tony. W Jeziorze Budziszewskim dno na głębokości większej od 5 m zajmuje 88,7 ha (79,4 ha głęboczek położony centralnie oraz około 9,3 ha głęboczek położony w części południowej), co przy założeniu dawki 200 kg/ha daje 17,76 ton.

6. Aeracja wód naddennych

Istotą działania aeratora jest natlenianie wód naddennych, celem zwiększenia potencjału oksydoredukcyjnego. Z uwagi na odtlenienie wód przy dnie, wartości potencjału redoks w okresie letnim utrzymują się na bardzo niskim poziomie, utrudniając skuteczne wiązanie fosforu przez związki żelaza. Konieczne zatem będzie natlenienie wód w tej części obu jezior, dzięki któremu możliwe będzie stworzenie warunków do skutecznej akumulacji fosforu w osadzie dennym.

Wydajność przepływu wody w aeratorze musi być tak dobrana, by nie powodować wzruszenia osadów dennych, co mogłoby mieć niekorzystny wpływ na ekosystem jeziora (resuspensji osadów sprzyja uwalnianiu fosforu, jak i zwiększonemu zużyciu tlenu na rozkład materii organicznej zawartej w osadzie).

Proponowaną lokalizację aeratora (wraz ze współrzędnymi geograficznymi) na jeziorze Rogoźno zaznaczono na mapie sytuacyjno-wysokościowej zawarto w załączniku 2.

7. Biomanipulacja

Jako zabiegi biomanipulacyjne w obrębie zbiorników wodnych rozumiane są zabiegi zmierzające do przebudowy struktury troficznej ekosystemu, co w praktyce polega na wprowadzaniu zmian w stosunkach ilościowych ryb, w celu ich oddziaływania na zooplankton i fitoplankton. Podstawowym celem jest ograniczenie rozwoju fitoplanktonu przez zwiększenie presji wywieranej na fitoplankton przez duży zooplankton skorupiakowy. Uzyskuje się to poprzez usunięcie nadmiernej ilości ryb spokojnego żeru (głównie karpowatych). Ta eliminacja następować może trzema drogami: (i) intensywny odłów; (ii) promowanie gatunków drapieżnych, (iii) ograniczenie możliwości rozrodu ryb karpowatych. W przypadku jezior Rogoźno i Budziszewskiego zabiegi biomanipulacyjne powinny polegać na:

- redukcji nadmiaru ryb karpowatych przez wykorzystanie ciągnionych narzędzi połowowych (tzw. niewód), umożliwiających selektywny odłów ryb

karpiovatych; odłowione ryby drapieżne mogą być wpuszczane z powrotem do jeziora, nie są bowiem kaleczone jak w przypadku zastosowania sieci stawnych zwanych wontonami;

- zarybieniu rybami drapieżnymi; wylęg i narybek letni szczupaka mogą w istotny sposób regulować liczebność płoci i innych ryb karpiovatych; wskazane jest zarybienie narybkiem letnim (tzw. palczakiem) w ilości 1000 szt./ha w następujących proporcjach: 65% szczupaka, 25% sandacza i 10% suma oraz uzupełniające zarybienie narybkiem jesiennym;
- ograniczeniu eksploatacji wędkarskiej ryb drapieżnych poprzez wprowadzenie limitów połowowych i zwiększeniu wymiarów ochronnych;
- promocji rozrodu ryb drapieżnych - ochrona i rozbudowa naturalnych tarlisk.

Zabieg odłowienia nadmiaru ryb karpiovatych najlepiej wykonać jesienią lub wiosną, przy niskiej temperaturze wód, gdyż połowy sieciowe wiążą się z resuspensją osadów dennych, która przy wysokiej temperaturze może być niebezpieczna dla jakości wody. Najkorzystniejsze byłoby odłowienie ryb jesienią przed rozpoczęciem procesu inaktywacji fosforu. Ponieważ odłowieniu podlegają gatunki mało cenne gospodarczo, nakład pracy na odłowienie sieciowe ryb może być większy niż dochód z ich sprzedaży. Należy więc przewidzieć dofinansowanie takich intensywnych połowów ryb.

Zarybienie gatunkami drapieżnymi powinno odbywać się pod koniec maja, z wykorzystaniem podchowanego narybku szczupaka i sandacza, z niewielkim dodatkiem suma. Długość ryb powinna wynosić 10-12 cm, gdyż przy tej wielkości przechodzą one na drapieżny tryb życia. Niezbędne jest wpuszczenie 1 tys. sztuk narybku na hektar. Zabieg ten trzeba powtarzać w kolejnych latach, gdyż przeżywalność narybku jest niewielka, rzędu 5%. Dopiero po pojawieniu się większych powierzchni dna zajętych przez roślinność zanurzoną, można zarybianie przerwać, gdyż roślinność ta stanowi miejsce rozrodu i schronienia dla ryb, dzięki czemu ich populacje stabilizują się. Należy założyć, że zarybienia będą konieczne przez 5 lat lub dłużej.

Wskazane jest dodatkowe zarybienie jeziora jesienią, tzw. jesiennym narybkiem szczupaka, w ilości ok. 20 kg/ha. Narybek ten utrzymuje niską liczebność narybku gatunków karpiovatych, które nie zostały wyeliminowane przez zarybienie majowe. Również to zarybienie powinno być kontynuowane przynajmniej przez pięć kolejnych lat.

Wszystkie zabiegi dotyczące ichtiofauny powinny być wykonywane w porozumieniu z rybackim użytkownikiem jeziora, którym jest Przedsiębiorstwo

Produkcji Rybackiej, Usługowej i Przetwórczej „Maj” Sp. z o.o. z Wągrowca. Znaczne odłowy oraz obostrzenia w zakresie eksploatacji wędkarskiej mogą wymagać wprowadzenia zmian do obowiązującego Operatu rybackiego z roku 2016, przy czym w powyższym dokumencie uwzględniono możliwość odłowów regulacyjnych, w które wpisują się odłowy w ramach biomanipulacji.

8. Dodatkowe zabiegi w zakresie roślinności zanurzonej

Zwiększająca się stopniowo przezroczystość wody jeziornej powinna umożliwić w ciągu trzech lat od rozpoczęcia rekultywacji pojawienie się roślinności zanurzonej (podwodnej). Roślinność ta jest niemile widziana przez wędkarzy oraz ludzi wypoczywających nad jeziorem, szczególnie korzystających z rowerów wodnych. Dla złagodzenia negatywnego oddziaływania można podwodną roślinność przycinać na głębokości ok. 0,5 m pod powierzchnią wody, szczególnie w okolicach kąpielisk. Jednocześnie trzeba zbierać wycięte kawałki roślin i usuwać poza zlewnię jeziora, gdyż pozostawienie ich w jeziorze powodować będzie wzrost żyzności wód. Przycinanie roślin prowadzi się za pomocą samobierającej kosiarki pływającej. Jej zastosowanie jest wskazane w obu jeziorach już w pierwszym roku rekultywacji ze względu na występowanie w nich rogatka sztywnego (*Ceratophyllum demersum*), reprezentującego zbiorowisko roślinności zanurzonej. Gatunek ten jest wskaźnikiem wód przeżyźnionych, a jego usuwanie przyczyni się do usunięcia poza ekosystem jeziora pewnej puli związków biogennych.

Czas koszenia roślin, które pojawią się w obu jeziorach powinien być uzależniony od okresu ich optymalnego rozwoju, tak by nastąpiło usunięcie poza ekosystem jak największej biomasy roślin, a zatem również jak największej puli związków biogennych.

Jeśli w ciągu trzech lat nie pojawi się roślinność podwodna, konieczna będzie jej introdukcja z innych akwenów w okolicy. Ponieważ jej obecność w obu jeziorach w ostatnich kilkadziesiąt latach została silnie zredukowana do pojedynczych stanowisk, może nie być w osadach nasion lub innych organów rozmnażania tych roślin. Wskazane jest wówczas przeniesienie nasion, turionów lub sadzonek młodych roślin, które zapoczątkują ich dalszy rozwój w jeziorze.

9. Monitoring stanu biologicznego i fizyczno-chemicznego wód i osadów dennych

Działania rekultywacyjne wymagają prowadzenie w trakcie ich realizacji szerokiego zakresu badań chemizmu wody i osadów dennych jeziora, celem określenia ich skuteczności. Kompletny zakres badań fizyczno-chemicznych wody (stężenia azotu amonowego, azotynowego, azotanowego, organicznego i ogólnego, fosforu rozpuszczonego i ogólnego, odczynu wód, przewodności elektrolitycznej, koncentracji tlenu) i biologicznych (koncentracja chlorofilu-a, skład ilościowy i jakościowy fitoplanktonu i zooplankton) oraz osadów dennych (frakcje fosforu, fosfor w wodzie śródosadowej, materia organiczna, fosfor ogólny, intensywność zasilania w fosfor z osadów dennych oceniany metodą *ex-situ*) winien być dokonywany przynajmniej 4-krotnie w roku, tj. wiosną, dwukrotnie latem oraz jesienią przez okres minimum 5 lat, po którym przewiduje się powrót zbiornika do stanu równowagi, umożliwiającej wykonywanie jedynie standartowych badań monitoringowych wiosną i w lecie.

Podczas wykonywania zabiegów rekultywacji oraz przez okres działania aeratora pulweryzacyjnego z precyzyjną inaktywacją fosforu sprawowany winien być stały nadzór naukowy. Ścisłego monitorowania wymaga także stan i rozmieszczenie roślinności wodnej, zwłaszcza zanurzonej.

10. Warunki BHP

Ogólne warunki BHP wynikają z charakterystyki produktu. PIX jest substancją żrącą i jako taka wymaga zastosowania standardowych środków i metod ochrony pracy, wymaganych przy pracach z chemicznymi substancjami agresywnymi. Dotyczy to tak transportu, załadunku na aerator jak i opróżniania zbiorników po zakończeniu prac rekultywacyjnych.

11. Harmonogram prac w czterech latach rekultywacji**Tab. 12. Harmonogram prac w pierwszym roku rekultywacji (rok 2017)**

Poz.	Przedsięwzięcie	Termin wykonania	Warunki
1	Przeprowadzenie intensywnych odłowów nadmiaru ryb karpiowatych	październik	-
2	Zarybienie zbiornika jesiennym narybkiem szczupaka, sandacza, z dodatkiem suma (łącznie 20 kg/ha)	listopad	-
3	Wykonanie zabiegu (3x) mobilnej aeracji pulweryzacyjnej z precyzyjną inaktywacją fosforu na powierzchni obu jezior przy użyciu siarczanu żelaza lub chlorku magnezu	październik - grudzień	względnie bezwietrzne
4	Monitoring jakości wód i osadów dennych – 1-krotnie	październik -listopad	-

Tab. 13. Harmonogram prac w drugim roku rekultywacji (rok 2018)

Poz.	Przedsięwzięcie	Termin wykonania	Warunki
1	Wykonanie zabiegu (1-2x) mobilnej aeracji pulweryzacyjnej z precyzyjną inaktywacją fosforu na powierzchni obu jezior przy użyciu chlorku magnezu	marzec-kwiecień	względnie bezwietrzne
2	Uruchomienie stałej strefy inaktywacji fosforu na dnie obu jezior położnym na głębokości powyżej 5 m za pomocą preparatu SINOBENT	kwiecień	-
3	Intensywne zarybienie zbiornika wiosennym narybkiem szczupaka, sandacza, z dodatkiem suma (łącznie 1000 szt./ha)	maj	-
4	Uruchomienie aeratora pulweryzacyjnego na Jeziorze Rogoźno	maj	-
5	Wykonanie zabiegu (8-10x) mobilnej aeracji pulweryzacyjnej z precyzyjną inaktywacją fosforu na powierzchni obu jezior przy użyciu siarczanu żelaza	maj-grudzień	względnie bezwietrzne
6	Zarybienie zbiornika jesiennym narybkiem szczupaka, sandacza, z dodatkiem suma (łącznie 20 kg/ha)	październik	-
7	Monitoring jakości wód i osadów dennych – 4-krotnie	kwiecień, czerwiec, sierpień i listopad	-

Tab. 14. Harmonogram prac w trzecim roku rekultywacji (rok 2019)

Poz.	Przedsięwzięcie	Termin wykonania	Warunki
1	Wykonanie zabiegu (1x) mobilnej aeracji pulweryzacyjnej z precyzyjną inaktywacją fosforu na powierzchni obu jezior przy użyciu chlorku magnezu	marzec-kwiecień	względnie bezwietrzne
3	Wzmocnienie stałej strefy inaktywacji fosforu na dnie obu jezior położnym na głębokości powyżej 5 m za pomocą preparatu SINOBENT	maj	-
4	Intensywne zarybienie zbiornika wiosennym narybkiem szczupaka, sandacza, z dodatkiem suma (łącznie 1000 szt./ha)	maj	-
5	Wykonanie zabiegu (4-5x) mobilnej aeracji pulweryzacyjnej z precyzyjną inaktywacją fosforu na powierzchni obu jezior przy użyciu siarczanu żelaza	maj-listopad	względnie bezwietrzne
6	Zarybienie zbiornika jesiennym narybkiem szczupaka, sandacza, z dodatkiem suma (łącznie 20 kg/ha)	październik	-
7	Monitoring jakości wód i osadów dennych – 4-krotnie	kwiecień, czerwiec, sierpień i listopad	-

Tab. 15. Harmonogram prac w czwartym roku rekultywacji (rok 2020)

Poz.	Przedsięwzięcie	Termin wykonania	Warunki
1	Wykonanie zabiegu (1x) mobilnej aeracji pulweryzacyjnej z precyzyjną inaktywacją fosforu na powierzchni obu jezior przy użyciu chlorku magnezu	marzec-kwiecień	względnie bezwietrzne
3	Wzmocnienie stałej strefy inaktywacji fosforu na dnie obu jezior położnym na głębokości powyżej 5 m za pomocą preparatu SINOBENT	maj	-
4	Intensywne zarybienie zbiornika wiosennym narybkiem szczupaka, sandacza, z dodatkiem suma (łącznie 1000 szt./ha)	maj	-
5	Wykonanie zabiegu (4-5x) mobilnej aeracji pulweryzacyjnej z precyzyjną inaktywacją fosforu na powierzchni obu jezior przy użyciu siarczanu żelaza	maj-listopad	względnie bezwietrzne
6	Zarybienie zbiornika jesiennym narybkiem szczupaka, sandacza, z dodatkiem suma (łącznie 20 kg/ha)	październik	-
7	Monitoring jakości wód i osadów dennych – 4-krotnie	kwiecień, czerwiec, sierpień i listopad	-

W kolejnych latach kontynuacja zabiegów zależna jest od uzyskanych do tego czasu rezultatów:

1. W zależności od wyników monitoringu wód i osadów dennych, konieczne może być wykonanie 1-3 zabiegów strącających fosfor z toni wodnej w ciągu roku
2. W zależności od stopnia rozwoju roślinności zanurzonej może być konieczne kontynuowanie zabiegów biomanipulacyjnych w postaci zarybiania letnim narybkiem szczupaka w ilości 10-30 tys. szt./jezioro i ewentualnie suma 5 tys. szt./jezioro.
3. W przypadku braku roślinności zanurzonej konieczne może być wprowadzenie do jeziora organów rozmnażania lub całych roślin lub też jej wykaszanie w strefach użytkowanych przez kąpiących się i wędkarzy.

12. Powiązania z innymi dokumentami

Działania przewidziane w ramach rekultywacji jezior Rogoźno i Budziszewskie nie będą naruszać:

- ustaleń planu gospodarowania wodami na obszarze dorzecza Odry;
- ustaleń planów ochrony i planów zadań ochronnych dla obszarów chronionych;
- ustaleń planu zarządzania ryzykiem powodziowym;
- ustaleń planu przeciwdziałania skutkom suszy;
- ustaleń programu ochrony wód morskich;
- ustaleń krajowego programu oczyszczania ścieków komunalnych;
- ustaleń miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, decyzji o warunkach zabudowy i decyzji o ustaleniu lokalizacji inwestycji celu publicznego;
- wymagań ochrony zdrowia ludzi, środowiska, ochrony przyrody i dóbr kultury wpisanych do rejestru zabytków oraz wynikających z przepisów ustawy oraz przepisów odrębnych.

Zgodnie z Rozporządzeniem Dyrektora RZGW w Poznaniu z 2015 roku w sprawie warunków korzystania z wód w zlewni Małej Wełny, przewidziane działania rekultywacyjne nie będą naruszać szczegółowych wymagań dotyczących stanu wód zlewni ani też nie będą wpływać negatywnie na zaspokajanie potrzeb wodnych na tym obszarze.

13. Wnioski

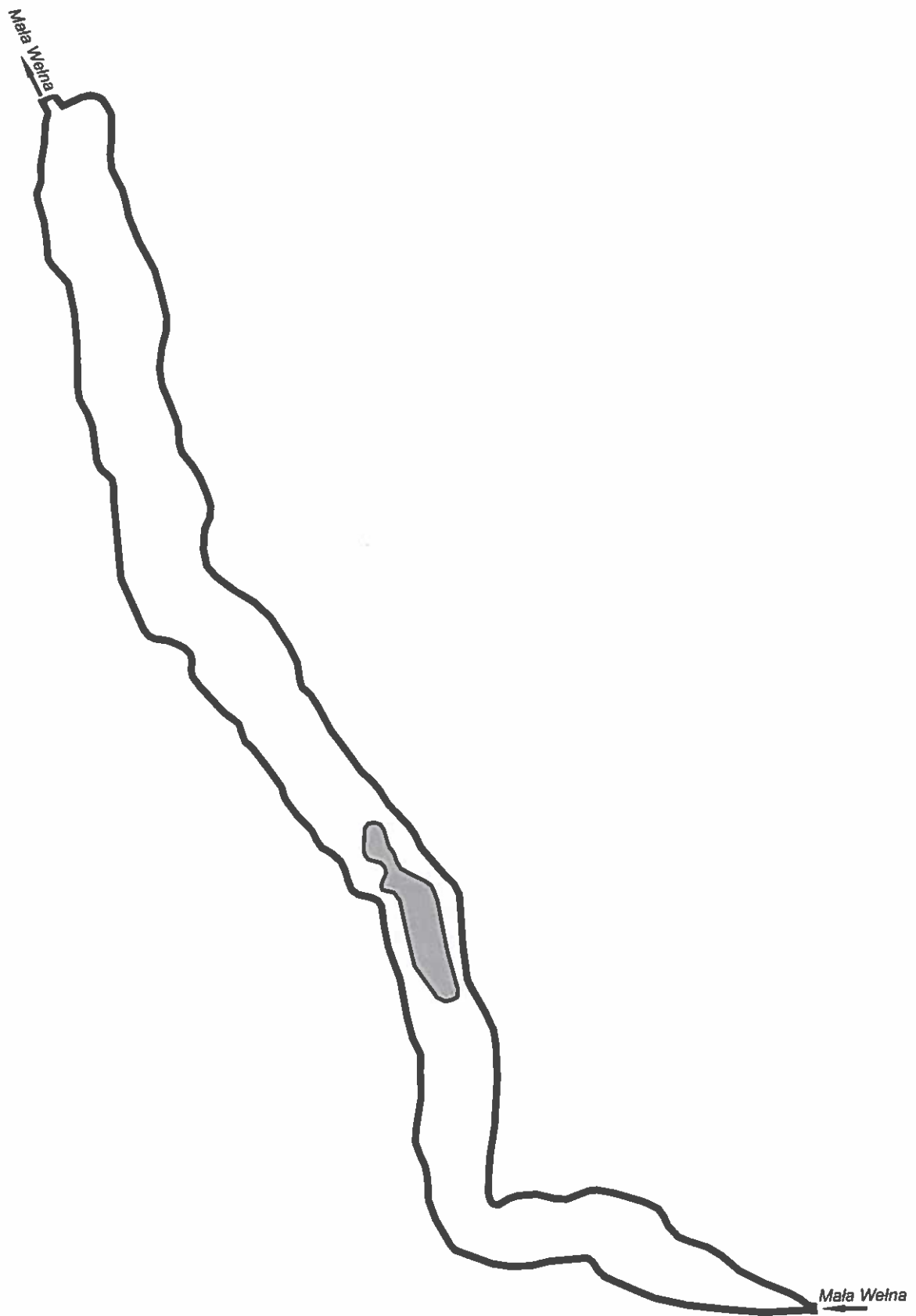
Na podstawie niniejszego operatu proponuje się udzielić Urzędowi Miejskiemu w Rogoźnie pozwolenia wodnoprawnego na rekultywację wód powierzchniowych jezior Rogoźno i Budziszewskiego, polegającą na:

- podawaniu środków strącających fosfor tj. chlorku magnezu i siarczanu żelaza PIX w ciągu czterech pierwszych lat rekultywacji w ilości nie przekraczającej rocznie: w przypadku chlorku magnezu 2800 kg dla jeziora Rogoźno i 3300 kg dla Jeziora Budziszewskiego; w przypadku siarczanu żelaza 8300 kg dla jeziora Rogoźno i 9800 kg dla Jeziora Budziszewskiego (środki podawane do wody podczas aeracji mobilnej);
- podawaniu preparatu SINOBENT© w strefę głębozoków obu jezior (głębokość przekraczająca 5 m) w ciągu trzech lat rekultywacji w ilości nie przekraczającej 2 ton rocznie w przypadku jeziora Rogoźno i 18 ton rocznie w przypadku Jeziora Budziszewskiego;
- aeracji wód naddennych jeziora Rogoźno za pomocą aeratora pulweryzacyjnego;
- wykonanie zabiegu biomanipulacji, polegającego na odłowieniu nadmiaru ryb karpowatych i zarybieniu narybkiem gatunków drapieżnych w ilości 1000 szt./ha w okresie wiosennym i 20kg/ha w okresie jesiennym;
- wykonanie dodatkowych zabiegów inaktywacji fosforu siarczanem żelaza oraz kontynuowanie zarybiania narybkiem ryb drapieżnych w kolejnych latach w zależności od rezultatów uzyskanych podczas czterech pierwszych lat rekultywacji;
- wykonanie ewentualnych zabiegów wykaszania roślinności podwodnej lub jej nasadzenia w przypadku braku jej rozwoju lub zbyt intensywnego wzrostu w strefach użytkowanych przez wędkarzy i kąpiących się;
- wykonywaniu prac monitoringowych jakości wód jeziora w ciągu czterech lat trwania zabiegów oraz po ich zakończeniu jako podstawy oceny procesu rekultywacji jeziora.

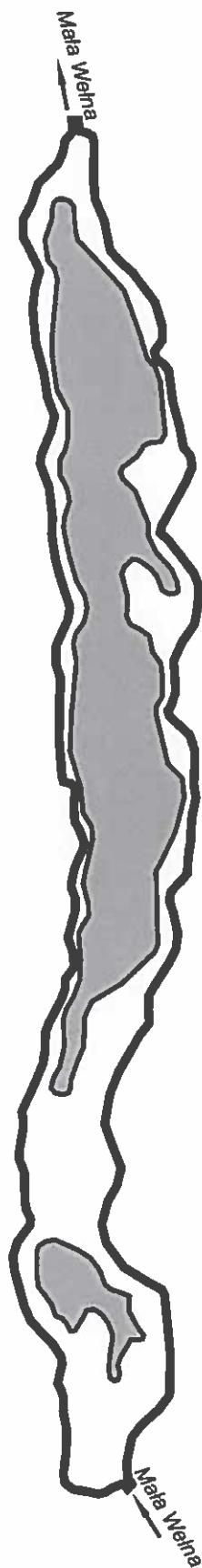
14. Literatura cytowana

- Berkowitz J., Anderson M.A., Amrhein C., 2006, Influence of aging on phosphorus sorption to alum floc in lake water, *Water Research* 40: 911-916
- Cooke G.D., Welch E.B., Martin A.B., Fulmer D.G., Hyde J.B., Schriever G.D., 1993, Effectiveness of Al, Ca and Fe salts for control of internal phosphorus loading in shallow and deep lakes, *Hydrobiologia* 253: 323-335.
- Deppe T., Benndorf J., 2002, Phosphorus reduction in a shallow hypereutrophic reservoir by in-lake dosage of ferrous iron, *Water Research* 36: 4525-4534
- Dondajewska R., Gołdyn R., Kowalczyńska-Madura K., Budzyńska A., Podsiadłowski S., 2015, Rekultywacja zbiornika Rusałka w Poznaniu – przeszłość, stan aktualny, perspektywy [W:] Wiśniewski R. (red.) *Ochrona i rekultywacja jezior*, Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Toruń: 203-214
- Dondajewska R., Gołdyn R., Podsiadłowski S., Kozak A., Kowalczyńska-Madura K., Koźlik K., 2013, Zmiany jakości wody Jeziora Uzarzewskiego na skutek zabiegów rekultywacyjnych, [W:] Wiśniewski R. (red.), *Ochrona i rekultywacja jezior*, Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Oddział Toruń: 47-54
- Dondajewska R., Kozak A., Kowalczyńska-Madura K., Budzyńska A., Gołdyn R., Podsiadłowski S., Tomkowiak A., 2017, The response of a shallow hypertrophic lake to innovative restoration measures – Uzarzewskie Lake case study, *Ecological Engineering* (in press)
- Douglas, G.B., Adeney, J.A., Robb, M.S., 1999, A novel technique for reducing bioavailable phosphorus in water and sediments. *International Association Water Quality Conference on Diffuse Pollution*: 517-523
- EC, 2000, Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 Oct. 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. OJEC L 327/1
- Gawrońska H., Lossow K., Łopata M., 2003, Effectiveness of the aluminium coagulant (PAX) in reducing internal loading in Lake Głęboćek, *Limnological Review* 3: 65-72.
- Gołdyn R., Dondajewska R., Budzyńska A., Kowalczyńska-Madura K., Podsiadłowski S., 2015, Przyczyny zanieczyszczenia i możliwości rekultywacji zbiornika Rusałka [W:] Ławniczak A.E. (red.) *Sposoby ochrony i rekultywacji jezior poznańskich*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe: 65-78
- Gołdyn R., Dondajewska R., Kowalczyńska-Madura K., 2010a, Wpływ nowych preparatów chemicznych na ograniczanie wydzielania fosforu z osadów dennych [W:] Malina G. (red.) *Rekultywacja i rewitalizacja terenów zdegradowanych*. Poznań: 53-64
- Gołdyn R., Kowalczyńska-Madura K., Dondajewska R., Budzyńska A., Podsiadłowski S., 2008a, Reaction of lake ecosystem on the restoration measures using iron treatment. [W:] Bajkiewicz-Grabowska E. i Borowiak D. (eds.), *Anthropogenic and natural transformations of lakes, vol.2*. Department of Limnology, University of Gdańsk, Polish Limnological Society, Gdańsk, str. 55-58.
- Gołdyn R., Kowalczyńska-Madura K., Kozak A., Budzyńska A., Podsiadłowski S., Dondajewska R., 2010b, Efekty rekultywacji metodą inaktywacji fosforu w trzech jeziorach Wielkopolski, *Przegląd Komunalny – Zeszyty Komunalne* 10 (229)/2010:74-78
- Gołdyn R., Podsiadłowski S., Dondajewska R., Kozak A., 2014, The sustainable restoration of lakes – towards challenges of the water framework directive, *Ecohydrology&Hydrobiology* 14(1): 68-74
- Gołdyn R., Podsiadłowski S., Kowalczyńska-Madura K., Dondajewska R., Budzyńska A., Domek P., Romanowicz W., 2008b, Lake restoration using iron treatment: preliminary results. *Proceedings of Taal2007: The 12th World Lake Conference*, str. 2237-2240.
- Kozak A., Gołdyn R., Dondajewska R., Kowalczyńska-Madura K., Podsiadłowski S., 2009, *Rekultywacja Zbiornika Maltańskiego w Poznaniu w latach 2005-2008*. [W:] Malina G. (red.) *Rekultywacja i rewitalizacja terenów zdegradowanych*, Poznań, 329-244.
- Jańczak J. 1996. *Atlas jezior Polski*. Wyd. Bogucki, Poznań

- Mikołajczak M., Pułyk M., Szeremietiew M., Tybiszeńska E., 1998, Stan czystości wód powierzchniowych w zlewni rzeki Małej Wólki na podstawie badań monitoringowych. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Poznaniu, Poznań
- Szeszycki M., 2016, Operat rybacki dla obwodu rybackiego nr 130 „Jezioro Budziszewskie na rzece Mała Wólka nr 8”, Region wodny rzeki Warty. Wągrowiec
- Raport o stanie środowiska w Wielkopolsce w roku 2003, 2004, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Poznaniu.
- Ripl, W., 1976, Biochemical oxidation of polluted lake sediment with nitrate – a new restoration method. *Ambio* 5: 132-135
- Rosińska J., Gołdyn R., 2015, Change in macrophyte communities in Lake Swarzędzkie after the first year of restoration, *Archives of Polish Fisheries* 23 (1): 43-52
- Rosińska J., Kozak A., Dondajewska R., Gołdyn R., 2017a, Cyanobacterial blooms before and during the restoration of a shallow urban lake, *Journal of Environmental Management* 198 (1): 340-347
- Rosińska J., Rybak M., Gołdyn R., 2017b, Patterns of macrophyte community recovery as a result of the restoration of a shallow urban lake, *Aquatic Botany* 138: 45-52
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 8 kwietnia 2011 roku w sprawie prowadzenia nadzoru nad jakością wody w kąpielisku i miejscu wykorzystywanym do kąpieli (Dz. U. nr 86, poz. 478, ze zmianami)
- Søndergaard, M., Wolter, K-D., Ripl, W., 2002, Chemical treatment of water and sediments with special reference to lakes [W:] Perow M.R., Davy A.J. (red.) *Handbook of ecological restoration*, Cambridge University Press: 184-205
- Ustawa Prawo wodne z dnia 20 lipca 2017 r. Dz.U. 2017, poz. 1556
- Wiśniewski R., 2000, Metody rekultywacji zbiorników wodnych - stan obecny i perspektywy. Materiały IV Konferencji Naukowo-Technicznej „Ochrona i rekultywacja jezior”, Przysiek 2000, 21-39.
- www.poznan.wios.gov.pl



Załącznik 1A. Obszar zastosowania preparatu SINOBENT® (kolor szary), obejmujący dno położone na głębokości przekraczającej 5 m w jeziorze Rogoźno (opracowanie własne na podstawie mapy batymetrycznej, będącej załącznikiem do Operatu rybackiego (Szeszycki 2016))



Załącznik 1B. Obszar zastosowania preparatu SINOBENT® (kolor szary), obejmujący dno położone na głębokości przekraczającej 5 m w Jeziorze Budziszewskim (opracowanie własne na podstawie mapy batymetrycznej, będącej załącznikiem do Operatu rybackiego (Szeszycki 2016))



Załącznik 2. Lokalizacja aeratora pulweryzacyjnego na jeziorze Rogoźno (opracowanie własne na podstawie mapy topograficznej 1:10000)

Streszczenie operatu wodnoprawnego na przeprowadzenie procesu rekultywacji jezior Rogoźno i Budziszewskiego w języku nietechnicznym

Celem niniejszego opracowania było zebranie i przedstawienie w formie opisowej i graficznej danych niezbędnych do wydania decyzji na wykonanie zabiegów zmierzających do rekultywacji jezior Rogoźno i Budziszewskiego, położonych w gminie Rogoźno. Operat niniejszy określa sposoby i terminy przeprowadzenia tych zabiegów a także warunki techniczne przedsięwzięć i ich skutki.

W operacie zestawione zostały dane dotyczące wyników badań ekosystemów jezior Rogoźno i Budziszewskiego z lat 1997-2017 oraz autorska koncepcja rewitalizacji obu akwenów, oparta na dotychczasowych doświadczeniach zdobytych w trakcie rekultywacji innych jezior na terenie Wielkopolski.

Jeziora Rogoźno (PLLW10251) i Budziszewskie (PLLW10249) stanowią jednolite części wód powierzchniowych położone w biegu rzeki Mała Welnia. Właścicielem jeziora jest Skarb Państwa, a zarządzającym Marszałek Województwa Wielkopolskiego. Analiza wyników badań jakości ich wód wykazała zły stan wód, którego objawami są m.in. niska przezroczystość, związana z silnymi zakwitami fitoplanktonu; wysokie koncentracje związków biogennych; okresowe odtlenienie strefy naddennej; wysokie zasilanie wewnętrzne w fosfor z osadów dennych oraz zdominowanie zooplanktonu przez wrotki, świadczące o niewłaściwej strukturze ichtiofauny, zdominowanej przez planktonożerne ryby. Powyższe wskaźniki uniemożliwiają gospodarcze wykorzystanie wód jeziornych i wskazują na potrzebę podjęcia działań naprawczych.

Na podstawie niniejszego operatu wnioskuje się o udzielenie Urzędowi Miejskiemu w Rogoźnie pozwolenia wodnoprawnego na przeprowadzenie rekultywacji wód jezior Rogoźno i Budziszewskiego polegającej na:

- podawaniu środków strącających fosfor tj. chlorku magnezu i siarczanu żelaza PIX w ciągu czterech lat rekultywacji;
- wykorzystaniu mobilnej aeracji pulweryzacyjnej z precyzyjną inaktywacją fosforu w toni całego zbiorników;
- podawaniu preparatu SINOBENT© na powierzchnię dna położonego na głębokości przekraczającej 5 m w obu jeziorach;
- instalacji aeratora natleniającego wody naddenne na jeziorze Rogoźno;

- wykonaniu zabiegu biomanipulacji, polegającego na odłowieniu nadmiaru ryb karpiowatych i zarybieniu narybkiem gatunków drapieżnych;
- wykonanie ewentualnych zabiegów wykaszania roślinności podwodnej lub jej nasadzania w przypadku braku jej rozwoju lub zbyt intensywnego wzrostu w strefach użytkowanych przez wędkarzy i kąpiących się;
- wykonywaniu badań monitoringowych jakości wód i osadów dennych jezior.