



**WSPÓŁCZESNE PROBLEMY
INŻYNIERII ŚRODOWISKA**

Jolanta Dąbrowska

**WPLYW CZYNNIKÓW NATURALNYCH,
ANTROPOGENICZNYCH I TECHNICZNYCH
NA JAKOŚĆ WODY
W ZBIORNIKU GOŁUCHÓW**

VI



Wrocław 2008

Autor
Jolanta Dąbrowska

Opiniodawca
dr hab. Jerzy Jańczak, prof. nadzw. UG

Redaktor merytoryczny
dr hab. inż. Krzysztof Pulikowski

Opracowanie redakcyjne
dr Ewa Jaworska

Korekta:
mgr Elżbieta Winiarska-Grabosz
Janina Szydłowska

Łamanie
Alina Gebel

Projekt okładki
Krzysztof Wyszatycki

Monografie LV

Publikacja finansowana przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego
grant badawczy nr 3 P06S 015 22

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław 2008

ISSN 1898-1151
ISBN 978-83-60574-28-7

WYDAWNICTWO UNIwersytetu PRZYRODNICZEGO WE WROCLAWIU

Redaktor Naczelny – prof. dr hab. Andrzej Kotecki
ul. Sopocka 23, 50-344 Wrocław, tel. 071 328-12-77
e-mail: wyd@up.wroc.pl

Nakład 100 + 16 egz. Ark. druk. 4,5
Druk i oprawa: Wydawnictwo Tekst Sp. z o.o.
ul. Kossaka 72, 85-307 Bydgoszcz

SPIS TREŚCI

1. Wstęp	5
2. Cel i zakres pracy	7
3. Piśmiennictwo i metodologia	8
4. Czynniki kształtujące jakość wody w zbiornikach zaporowych, metody ochrony i rekultywacji zbiorników	9
5. Charakterystyka zbiornika i jego zlewni	15
5.1. Wody powierzchniowe i podziemne	15
5.2. Gleby i klimat	18
5.3. Zagospodarowanie przestrzenne i osadnictwo.....	19
6. Stan czystości wód zlewni zbiornika Gołuchów	21
7. Ocena naturalnej podatności na degradację zbiornika Gołuchów	29
8. Bilans azotu i fosforu na poziomie zlewni	33
8.1. Oszacowanie ilości azotu i fosforu wnoszonego ze zlewni zbiornika Gołuchów do wód powierzchniowych	33
8.2. Bilans azotu i fosforu pochodzenia rolniczego.....	37
9. Charakterystyka i ocena działań rekultywacyjnych podjętych w zlewni zbiornika Gołuchów	42
9.1. Osadnik ekologiczny	42
9.2. Bariera biostruktur	55
9.3. Instalacja aeracyjna	58
10. Podsumowanie i wnioski	59
11. Piśmiennictwo	61

1. WSTĘP

Zasoby wodne Polski zaliczane są do najmniejszych w Europie, ilość wody przypadająca na mieszkańca jest tu trzykrotnie niższa od średniej europejskiej, a pięciokrotnie niższa od średniej światowej [Stan... 1996]. Podstawowe znaczenie w zaopatrzeniu gospodarki narodowej w wodę mają zasoby wód powierzchniowych, pokrywające 80% potrzeb. Jednak problemem gospodarczym jest nie tylko mała ilość wód powierzchniowych, ale także ich zła jakość. W ostatnich latach Polska podejmuje zdecydowane działania w celu zapewnienia gospodarce odpowiedniej ilości i jakości wody w związku z międzynarodowymi zobowiązaniami dotyczącymi między innymi ochrony wód Bałtyku.

Mimo niedoboru wody w Polsce w sztucznych zbiornikach zaporowych mieści się jedynie 6% objętości rocznego odpływu z obszaru kraju przy realnej możliwości 15%, w krajach sąsiednich natomiast 10–12% [Stan... 1998, Stan... 1996].

Wody zgromadzone w zbiornikach wodnych pochodzą głównie z opadów atmosferycznych. Obszarem najbardziej deficytowym pod względem zasilania z opadów atmosferycznych są tereny położone w pasie środkowej Polski (rejony wrocławski, wrocławski, poznański i toruński) [Mioduszeński 1999].

Deficyt ten można zniwelować poprzez tworzenie nowych i ochronę już istniejących różnych form retencji w niewielkich systemach wodnych. Małe zbiorniki zaporowe są, biorąc pod uwagę gospodarcze wykorzystanie wody, ważnym elementem programu małej retencji. Istotna jest zarówno ilość zgromadzonej wody, jak i jej jakość, która w wielu przypadkach stanowi czynnik limitujący zagospodarowanie wody. Większość istniejących i tworzonych form retencji znajduje się na terenach rolniczych. Lokalizacja taka sprawia, iż w zlewniach rolniczych należy przeprowadzać badania, mające na celu ochronę zasobów wodnych, zwłaszcza przed zanieczyszczeniami obszarowymi. Rolnicze zanieczyszczenia obszarowe uznawane są przez wielu autorów za główną przyczynę złej jakości wód powierzchniowych [Szyper i Gołdyn 1999, 2000, Kajak 1998, Stan... 1998, Kowalczak i in. 1997]. Z tego źródła pochodzi ok. 60% azotu i 35% fosforu odpływającego z obszaru Polski do Bałtyku [Lossow 1996]. Równie ważne zagrożenie i główne źródło fosforu stanowią zanieczyszczenia punktowe z terenów nieskanalizowanych [Kajak 1998, Kowalczak i in. 1997].

Badania prowadzone od wielu lat dowodzą, że polskie nizinne zbiorniki zaporowe gromadzą wodę złej jakości – cechuje je bardzo wysoki poziom trofii. Nie jest to jednak wynikiem postępującej eutrofizacji, którą można zaobserwować w naturalnych jeziorach, lecz stałego, wysokiego obciążenia przez zanieczyszczone związkami azotu i fosforu wody dopływów [Kajak 1995].

Większość badań dotyczących jakości wód powierzchniowych w Polsce prowadzona jest na rzekach i jeziorach. Głównie też rzeki i jeziora objęte są programami monitorin-

gowymi. Ekosystemy zbiorników wodnych są niezwykle złożone i dopiero od niedawna prowadzi się prace nad ustaleniem metod monitoringu zbiorników zaporowych.

Ważnym zagadnieniem jest rozpoznanie czynników wpływających na jakość magazynowanej wody oraz opracowanie metod, jakimi można przywracać gospodarczą i ekologiczną wartość zgromadzonym w nich zasobom.

Zaproponowane w niniejszej pracy metody i rozwiązania techniczne mogą służyć zarówno do oceny jakości wody, ochrony i remediacji istniejących już zbiorników, jak i do przewidywania jakości wody i projektowania działań ochronnych w fazie opracowywania koncepcji programowej zbiornika.

Praca powstała dzięki dofinansowaniu KBN (grant promotorski 3 P06S 015 22).

2. CEL I ZAKRES PRACY

W niniejszej publikacji przedstawiono czynniki wpływające na jakość wody w zbiornikach zaporowych. Do badań wybrano silnie zeutrofizowany zbiornik w Gołuchowie koło Kalisza. Na tym przykładzie można bowiem przeanalizować wpływ czynników naturalnych, antropopresji oraz rekultywacji technicznej, prowadzonej na obiekcie od kilku lat, na jakość zretencjonowanej w zbiorniku wody.

Zakres pracy obejmuje studia literatury, dokumentacji zbiornika, analizę materiałów i danych archiwalnych, badania terenowe, szereg badań laboratoryjnych wykonanych przez autorkę oraz analizy chemiczne wód, osadów dennych, gleb i roślin ze zlewni zbiornika w Gołuchów wykonane w specjalistycznych laboratoriach.

Na podstawie wstępnego rozpoznania zbiornika i jego zlewni postawiono następujące hipotezy badawcze:

1. Biogeny wprowadzane do wód zbiornika są głównie pochodzenia antropogenicznego: podstawowe źródło azotu stanowią rolnicze zanieczyszczenia obszarowe, natomiast fosforu – zanieczyszczenia punktowe z terenów nieskanalizowanych. Wpływ procesów naturalnych na jakość wody jest znikomy.

2. Na jakość zmagazynowanej wody oddziałują niekorzystnie: kształt zbiornika, jego parametry hydrologiczne oraz charakterystyka zlewni.

3. Urządzenia rekultywacyjne nie mają istotnego znaczenia dla jakości wody.

4. Charakterystyka warunków naturalnych, sposób zagospodarowania zlewni oraz parametry samego zbiornika powodują, że uzyskanie i utrzymanie pożądanej jakości wody w danych warunkach technicznych i ekonomicznych nie jest możliwe.

Identyfikacja powyższych problemów badawczych pozwoliła na określenie następującego programu pracy:

- ocena jakości wody w zbiorniku i wód w zlewni;
- charakterystyka środowiska naturalnego w zlewni pod kątem naturalnej podatności zbiornika na zanieczyszczenia;
- badanie wpływu zagospodarowania terenu i osadnictwa na jakość wody oraz scharakteryzowanie źródeł i określenie ładunków zanieczyszczeń antropogenicznych;
- ocena stopnia eutrofizacji zbiornika na podstawie analiz chemicznych elementów ekosystemu i ładunków zanieczyszczeń;
- charakterystyka podjętych działań rekultywacyjnych i ocena ich skuteczności;
- określenie metod ochrony i sanacji zbiornika.

3. PIŚMIENNICTWO I METODOLOGIA

W pracy wykorzystano wyniki analiz wód z lat 1990–2006 udostępnione przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Poznaniu, Delegaturę w Kaliszu, dane GUS z Powszechnego Spisu Rolnego z 1996 i 2002 r. [GUS 2007, Powszechny... 1997], a także dane zawarte w rocznikach statystycznych z lat 1990–2006 [Ochrona... 1999, Podstawowe... 1998] oraz zamieszczone na stronie internetowej GUS [GUS 2007].

W latach 2000–2002 przeprowadzono szereg badań własnych: analizy wód, gleb, osadów dennych, roślin, sporządzono inwentaryzację zlewni. Próby wody, gleb, roślin pobierano zgodnie z obowiązującymi normami oraz zaleceniami Ostrowskiej i in. [1991]. Analizy wody, roślin i gleb wykonane zostały w Laboratorium Badań Chemicznych Ochrony Środowiska, Mechaniki Gruntów, Kruszyw i Skał, Przedsiębiorstwa Geologicznego „Proxima” S.A. we Wrocławiu, analizy osadów przez Uczelniane Laboratorium Analityczne Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Część badań autorka wykonała samodzielnie w Laboratorium Geotechnicznym Instytutu Inżynierii Środowiska Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Wpływ czynników naturalnych na jakość wody w zbiorniku określiła w oparciu o „System Oceny Jakości Jezior” [Kudelska i in. 1983].

Bilans azotu i fosforu pochodzenia rolniczego został sporządzony metodą „na powierzchni pola” (*soil surface balance*), zalecaną w Rozporządzeniach Ministra Środowiska w sprawie kryteriów wyznaczania wód wrażliwych na zanieczyszczenie związkami azotu ze źródeł rolniczych oraz w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać programy działań mających na celu ograniczenie odpływu azotu ze źródeł rolniczych [Rozporządzenie... 2003, Rozporządzenie... 2002]; stosowaną w Unii Europejskiej i zalecaną przez OECD [OECD... 2001, Szponar i in. 1996, Schleef i Kleinhanß 1994].

Oceny stopnia eutrofizacji dokonano na podstawie metod i kryteriów Vollenweidera, stanowiących podstawę normatywów stosowanych w krajach UE i USA [Nutrient... 2000, Boczar 1994, Czamara i in. 1994, Hino 1994, Kudelska i in. 1983].

W badaniach własnych nie analizowano osadów dennych zbiornika głównego, przebadano jedynie osadnik wstępny. Administrator zbiornika kilkakrotnie próbował bowiem usunąć część osadów. Usunięto niewielką ilość osadów z rejonu wieży przelewowej, jednak w wyniku przemieszczania się ciężkiego sprzętu nastąpiła destryfikacja osadów na dużej powierzchni. Naruszone w ten sposób osady nie mogły być przedmiotem badań. Spośród danych archiwalnych dotyczących składu chemicznego osadów dennych wybrano tylko te z okresu przed naruszeniem warstwy.

Szczegółowe opisy metod znajdują się w kolejnych rozdziałach pracy.

4. CZYNNIKI KSZTAŁTUJĄCE JAKOŚĆ WODY W ZBIORNIKACH ZAPOROWYCH, METODY OCHRONY I REKULTYWACJI ZBIORNIKÓW

Związki biogenne w wodach powierzchniowych pochodzą głównie ze ścieków, spływów z gospodarstw rolnych, ługowania i erozji gleb oraz opadów atmosferycznych. Z badań wynika, że na Niżu Polskim pochodzenie zanieczyszczeń wód powierzchniowych według źródeł jest następujące: 85% azotu pochodzi ze źródeł przestrzennych, 13,5% z obszarów nieskanalizowanych, 1,5% azotu wnoszone jest w wyniku kąpieli, z dróg oraz źródeł punktowych; 50% fosforu pochodzi ze źródeł przestrzennych, 46,5% z obszarów nieskanalizowanych, 3,5% fosforu wnoszone jest w wyniku kąpieli, z dróg oraz źródeł punktowych [Kowalczak 1997].

Związki azotu i fosforu są naturalnymi składnikami gleby. Powstają z rozkładu materii organicznej, a fosfor również z wietrzenia podłoża skalnego. Emisja składników biogenych do wód powierzchniowych jest naturalnym i nieuniknionym procesem. Działalność człowieka prowadzi do intensyfikacji odpływu biogenów oraz do wzrostu ich dostawy do zlewni w wyniku zanieczyszczenia wód opadowych [Taylor i in. 1997].

Przyjmuje się, że głównymi źródłami azotu i fosforu w wodach powierzchniowych są zanieczyszczenia obszarowe, głównie pochodzenia rolniczego [Lossow i Gawrońska 2000]. Intensyfikacja produkcji rolniczej powoduje na fermach powstawanie dużych ilości odchodów zwierzęcych, które nie mogą być w pełni i poprawnie wykorzystane [Starmach i in. 1976]. Prawidłowe zagospodarowanie obornika nie stwarza niebezpieczeństwa dla wód, problemem jest natomiast gnojowica z hodowli bezściołowej. Wylewanie nadmiernej ilości gnojowicy nie tylko niszczy glebę, ale także stanowi ogromne zagrożenie dla wód powierzchniowych i podziemnych [Kajak 1998].

Zmniejszenie nawożenia mineralnego w latach 90. nie wpłynęło znacząco na poprawę jakości wód ze względu na to, że nie tylko dawka nawozu jest tu istotna, ale także sposób uprawy roli, wilgotność gleby, technika i termin nawożenia oraz prace pielęgnacyjne. Zaniedbania związane z agrotechniką któregośkolwiek z tych czynników prowadzą do zmniejszenia efektywności nawożenia, a także zwiększenia strat i odpływu związków nawozowych [Wróbel 1988]. Straty azotu z nawozów są uzależnione również od rodzaju gleby (wymywanie na glebach lekkich jest silniejsze), charakteru roślinności i stopnia pokrycia przez nią powierzchni ziemi, straty z wieloletnich zwartych upraw są nieporównywalnie mniejsze niż z okopowych czy „czarnego ugoru” [Kajak 1998].

Wyniki bardzo licznych prac wskazują, że z gleb jest wypłukiwane do wód średnio 10–25% azotu wprowadzonego na powierzchnię gleby i około 1–5% fosforu, nie ma jednak jednoznacznej metody określenia tych wielkości, wartości podawane w literaturze są bardzo rozbieżne [Szyper 2000, Kajak 1998, Wróbel 1998, Kowalczak i in. 1997, Starmach i in. 1976]. Na terenach rolniczych 90% azotu docierającego do wód to forma

azotanowa, choć nawozy mineralne zawierają więcej formy amonowej. Wynika to z szybkiej hydrolizy mocznika i intensywnej nitrifikacji formy amonowej [Szymańska 1992].

Wymywanie fosforu jest niewielkie i na ogół nie przekracza $0,5 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Rozpuszczalne fosforany z nawozów mineralnych ulegają w glebach szybkiemu wiązaniu i ich przemieszczanie w profilu przebiega powoli. Fosfor dostaje się do wód głównie w wyniku erozji wraz z cząstkami gleb [Wróbel 1988, Starmach i in. 1976]. Badany teren, według kryteriów Prochala [1987], nie jest jednak zagrożony zjawiskiem erozji wodnej i wietrznej gleb. Na terenach, gdzie erozja wietrzna i wodna stanowi duży problem, ilość biogenów eksportowanych ze zlewni do wód może być znaczna, ponieważ zawartość azotu w wierzchniej warstwie gleb wynosi ok. 0,1–0,2% suchej masy, a fosforu ok. 0,1% suchej masy [Kajak 1998, Fotyma i Mercik 1995]. Przy spływie lub wywianiu 1 mm gleby z jednego hektara daje to $10 \text{ kgP}\cdot\text{ha}^{-1}$ i $10\text{--}20 \text{ kgN}\cdot\text{ha}^{-1}$, z czego część dociera do wód.

Znaczącym źródłem składników pokarmowych są opady atmosferyczne, wskazują na to między innymi wyniki badań zbiornika zaporowego w Goczałkowicach, gdzie udział fosforu z opadów wynosi 15%, a azotu 9% całkowitego obciążenia zbiornika. Oprócz poziomu zanieczyszczenia wód opadowych oraz wysokości opadów na danym terenie ważne jest natężenie deszczu. Podczas jednej nawałnicy może być wymyte z gleb nawet 30% rocznego ładunku biogenów [Kajak 1998].

Efektem nadmiernego obciążenia wód biogenami jest zjawisko eutrofizacji, związane z naturalnym procesem starzenia się jezior i zbiorników wodnych. W jego wyniku następuje wzrost stężenia biogenów w wodzie, a także stopniowe zwiększanie się miąższości osadów dennych. Wypełnianie czaszy osadami powoduje spłykanie i stopniowe zarastanie zbiornika.

Pionierem w zakresie badań nad eutrofizacją wód był limnolog niemiecki Tiemann. Wyodrębnił on pojęcie oligotrofii i eutrofii w zastosowaniu do jezior naturalnych. Traktował jednak jeziora jako autonomiczny twór ulegający ewolucji w wyniku procesów naturalnych, co właściwie nazywał eutrofizacją. Natomiast rolę zlewni i działalności człowieka w ewolucji ekosystemu jeziornego podkreślił limnolog amerykański Hutchinson. Jego teoria uwzględniała wody, osady i zlewnię, traktując je jako integralną całość [Barroin 1991].

Czynniki geologiczne i klimatyczne tylko w niewielu przypadkach prowadzą do szybkiej eutrofizacji, na przykład: Klamath Lake w Kolumbii i jezioro Oneida w stanie New York, zwane „Zielony odór”, w ciągu kilkudziesięciu lat znacznie zwiększyły swój stan trofii na skutek działania wyłącznie czynników naturalnych [Barroin 1991]. Zwyczajnie przyspieszenie procesów eutrofizacji następuje w wyniku działalności człowieka, dlatego w literaturze często spotyka się pojęcie eutrofizacji antropogenicznej (*cultural eutrophication*), która została zdefiniowana przez Rydinga i Rasta [1989] jako przyspieszenie naturalnego procesu starzenia przez czynniki antropogeniczne i uważana jest za główny problem jezior i zbiorników wodnych na całym świecie. Prowadzi ona bowiem do zanieczyszczenia zasobów wody pitnej, masowego śnięcia ryb, zanieczyszczenia bakteriologicznego wód, masowych zakwitów toksycznych gatunków glonów. W wodzie drastycznie obniża się poziom tlenu, wzrasta stężenie amoniaku, siarkowodoru, natomiast wzrost glonów i bakterii powoduje uwalnianie kwasu węglowego i wzrost

kwasowości środowiska. Degradacja ekosystemów wód powierzchniowych widziana w szerszej skali przyczynia się do znaczących zmian klimatycznych [Klapper 1991].

W większości zbiorników wodnych proces eutrofizacji, a co za tym idzie – masowy rozwój glonów jest zależny od zawartości związków fosforu i nieorganicznego azotu. Przystawalną dla mikroorganizmów wodnych formą fosforu są ortofosforany, w przypadku wyczerpania tego źródła organiczne związki fosforu z udziałem enzymów – fosfomonoesteraz, ulegają hydrolizie, a powstałe w tym procesie ortofosforany są uwalniane do toni wodnej [Kawecka i Eloranta 1994]. Fosfomonoesterazy są obecne we wszystkich składnikach planktonu. Niedobór azotu nieorganicznego wiele gatunków glonów jest w stanie zrekompenzować, asymilując azot atmosferyczny [Kawecka i Eloranta 1994]. Ze względu na nieograniczony dostęp do azotu atmosferycznego oraz stosunkowo wysoki stosunek N:P w wodach zbiornika fosfor staje się głównym czynnikiem limitującym rozwój glonów. Istnieje znacząca korelacja pomiędzy średnim rocznym stężeniem chlorofilu-a zawartego w zeutrofizowanych wodach a średnim rocznym stężeniem fosforu [Hino 1994].

Wyróżnia się trzy kategorie jezior: oligotroficzne – czyste, zimne, ubogie w biogeny, bez makrofitów, o stężeniu fosforu $< 1,0 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$, mezotroficzne – przejściowe oraz eutroficzne – mętne, bogate w biogeny, z dużą ilością makrofitów, gdzie stężenie fosforu może być większe od $1 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ [Klapper 1991, Owen i Hiras 1990].

W ocenie stopnia eutrofizacji należy uwzględnić, oprócz ładunków zewnętrznych pochodzących ze zlewni, także ładunki wewnętrzne biogenów, które również odpowiadają za złą jakość wody. Choć zjawisko nie jest jeszcze wystarczająco rozpoznane, a wartości trudne do obliczenia, trzeba brać je pod uwagę w ogólnym bilansie biogenów. Przypuszcza się, że z osadów może dostawać się do wody mniej więcej tyle biogenów co ze zlewni [Jańczak i in. 1999].

Głównym źródłem wewnętrznym biogenów są osady dennie. W wyniku zasilania wewnętrznego zdeponowane w osadach związki uwalniane są między innymi w procesie dyfuzji. Nawet w warunkach beztlenowych istnieje wymiana substancji pomiędzy osadami a wodą. Z osadów może dostawać się do wód zbiornika do $100 \text{ mgP}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ (średnio 30) i do $160 \text{ mgN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ [Kajak 1998, Hino 1994], w bilansie biogenów mogą to być ilości istotne. Dyfuzja jest procesem powolnym, w związku z czym do wody przedostaje się stosunkowo niewiele biogenów z powierzchniowej warstwy osadów.

Zmiana równowagi chemicznej (zawartości tlenu, pH) może spowodować raptowne przedostawanie się dużej ilości biogenów z głębszych warstw osadów. Zgromadzony w osadach fosfor fosforanowy w warunkach tlenowych tworzy trudno rozpuszczalne fosforany żelazowe. Natomiast w warunkach beztlenowych zredukowane jony żelazawe tworzą łatwo rozpuszczalne fosforany żelazawe, które w dużych ilościach przechodzą do wód zbiornika [Kajak 1998]. W warunkach beztlenowych następuje szczególnie intensyfikacja zasilania wewnętrznego związkami azotu w wyniku denitryfikacji.

Podobny skutek może wywołać falowanie, które w płytkich zbiornikach powoduje zrywanie i wprowadzanie do obiegu powierzchniowych warstw osadów dennych [Kajak 1998]. Szczególnie narażone na wpływ zasilania wewnętrznego są silnie zeutrofizowane zbiorniki z dużą ilością biogenów zakumulowanych w osadach, gdzie często przy dnie występują warunki beztlenowe.

Choć fosfor jest w większości przypadków czynnikiem limitującym eutrofizację, należy pamiętać, że związki azotu mimo że nie są głównym powodem zakwitów glonów, to jednak ich nadmierny dopływ pogarsza jakość wody, komplikuje proces jej oczyszczania i ogranicza możliwości jej wykorzystania.

Szczegółowe rozpoznanie źródeł i ładunków zanieczyszczeń jest niezbędne do sporządzenia planu ochrony zlewni i zbiornika. Dla poszczególnych trzech typów źródeł zanieczyszczeń: punktowych, obszarowych i liniowych można określić odpowiednie metody minimalizowania ładunków [Chełmicki 2001, Hino 1994]. Za najbardziej niebezpieczne dla wód uznaje się zanieczyszczenia punktowe i obszarowe [Hino 1994].

Do zanieczyszczeń punktowych należą systemy kanalizacyjne oraz spływ powierzchniowy z terenów zurbanizowanych, natomiast minimalizowanie ładunku zanieczyszczeń ze źródeł punktowych polega na: zastosowaniu zaawansowanych, wielostopniowych technik oczyszczania ścieków; rozbudowie systemów kanalizacyjnych; redukcji ilości fosforanów w środkach piorących.

Zanieczyszczenia (emisje) obszarowe definiowane są jako wnoszące ładunek biogenów, niemożliwy do przechwycenia przez urządzenia techniczne. Zalicza się tu: ścieki z obszarów, które nie są podłączone do systemów kanalizacyjnych; opady atmosferyczne; zasilanie wodami podziemnymi; produkty erozji gleb; szczątki roślin i produkty ich rozkładu; spływ powierzchniowy zawierający nawozy mineralne i składniki organiczne; odchody zwierząt hodowlanych; zanieczyszczenia powodowane przez rybactwo i wędkarstwo; ptactwo wodne; wodopoje dla bydła; kąpieliska. Zmniejszanie ładunku zanieczyszczeń ze źródeł obszarowych polega na: ochronie gleb przed erozją; stosowaniu nawozów w odpowiednich dawkach w powiązaniu z fazami rozwojowymi roślin i ochroną wód, wprowadzeniu ochronnych pasów zieleni wzdłuż cieków i zbiorników wodnych.

Dostosowuje się również uprawy i zabiegi agrotechniczne do nachylenia stoków, rodzaju gleb i odległości od cieków i zbiorników wodnych, a także ogranicza się ilość biogenów w dopływach poprzez budowanie barier w postaci zbiorników wstępnych, rowów i zbiorników infiltracyjnych, bioreaktorów, biofiltrów.

Zanieczyszczenia liniowe dostają się do środowiska wzdłuż pewnej linii, którą stanowią najczęściej szlaki komunikacyjne. Tego typu zanieczyszczenia nie mają zazwyczaj większego znaczenia w bilansie biogenów.

Bardzo ważnym czynnikiem podczas opracowywania strategii ochrony zbiornika są koszty przedsięwzięcia oraz odbiór społeczny projektu, które w znaczny sposób wpływają na decyzję i zakres podejmowanych kroków.

Główne zalecenia ochronne to [Lossow i Gawrońska 2000, Lossow 1998, Hino 1994]:

- likwidacja punktowych źródeł zanieczyszczeń, uporządkowanie gospodarki wodno-ściekowej i gospodarki odpadami – szczególnie budowa systemów kanalizacyjnych i oczyszczalni ścieków, budowa bezpiecznych składowisk odpadów i sanacja starych składowisk, wyposażenie gospodarstw w kontenery na odpady i zapewnienie ich wywozu;
- ograniczenie spływu powierzchniowego z pól poprzez tworzenie roślinnych barier ochronnych przeciwdziałających dostawaniu się zanieczyszczeń do wód, zastosowanie odpowiednich nawozów (otoczkowanych), dawek i terminów nawożenia,

- zmianę struktury zasiewów z wyłączeniem uprawy okopowych w pobliżu zbiornika, zmianę użytkowania gruntów ornych na lasy i użytki zielone;
- odpowiednia gospodarka hodowlana w zlewni; zastosowanie hodowli w systemie ściółkowym pozwala ograniczyć powstawanie gnojowicy na rzecz bezpieczniejszego dla środowiska obornika;
 - uporządkowanie terenów rekreacyjnych, zakaz lokalizacji obiektów w bezpośrednim sąsiedztwie zbiornika, wyposażenie plaż w sanitariaty, określenie bezpiecznej dla zbiornika liczby turystów;
 - zakaz stosowania zanęt przez wędkarzy.

Dopiero po zastosowaniu się do wyżej wymienionych zaleceń ochronnych na obszarze zlewni można przystąpić do ewentualnej rekultywacji w obrębie czaszy zbiornika.

Zabiegów rekultywacji zbiorników wodnych dokonuje się wieloma metodami. Można je podzielić na stosowane w czaszy zbiornika i jego zlewni, na techniczne i biologiczne. Częste kontrowersje budzi umieszczenie wśród metod rekultywacji: zbiorników wstępnych, kanalizacji opaskowej, biofiltrów. Zaliczane są one przez wielu autorów do działań ochronnych w zlewni zbiornika. Uważając jednak, że działania ochronne powinny głównie ograniczać migrację biogenów do wód, a nie skupiać się na ich wyeliminowaniu bezpośrednio przed zbiornikiem, umieszczono wyżej wymienione metody w części pracy dotyczącej rekultywacji. Przedstawiono tu także metody biologiczne, które właściwie powinny być stosowane jako uzupełniające, a także techniczne działania w samej czaszy zbiornika. Rekultywacją techniczną nazywa się dalej tylko działania prowadzone w czaszy zbiornika, związane z napowietrzaniem wód, usuwaniem osadów i żyznych wód, zasilaniem chemicznym wód i osadów, przykrywaniem osadów.

Jako pierwszy rekultywacji technicznej zbiorników wodnych podjął się Szwajcar P. Zigerli, który w 1939 r. wyjaśnił zasadę usuwania bogatych w biogeny wód głębinowych metodą syfonowania. Trzydzieści lat później rozwinięto badania, pojawiło się szereg nowych rozwiązań – szwedzki limnolog S. Björk zastosował metodę eliminacji ładunku wewnętrznego poprzez usuwanie osadów dennych na jeziorze Trummen w Szwecji; natomiast Szwajcar P. Mercier na jeziorze Bret wypróbował technikę wypompowywania wód przydennych i napowietrzania ich w specjalnej komorze, a następnie wtłaczania w głąb jeziora. W 1973 roku G. Barroin zastosował, opartą na technikach rolniczych, metodę wstrzykiwania w osady jeziora Marillon siarczanu glinu za pomocą podwodnego pługa; zaś dwa lata później W. Ripl zastosował tę metodę do wstrzykiwania azotanu wapniowego w osady jeziora Lillesjön w Szwecji [Barroin 1991].

Pierwsze doświadczenia w Polsce przeprowadził P. Olszewski, który w 1956 r. na Jeziorze Kortowskim w Olsztynie uruchomił leżący na dnie jeziora rurociąg odprowadzający wody hypolimnionu poniżej jeziora. Metoda ta nazwana „metodą Olszewskiego” jest uważana za jedną z pierwszych, wdrożonych w praktyce metod rekultywacji jezior [Lossow 1998].

W Polsce dopiero w latach 80. nastąpił wzrost liczby rekultywowanych jezior i zbiorników wodnych. Niestety, w większości przypadków nie osiągnięto pozytywnych rezultatów, głównie na skutek błędów projektowych, złego doboru sprzętu, braku należytego nadzoru i konserwacji [Kajak 1998]. Często spektakularne i drogie działania rekultywacyjne stosowano bez wcześniejszego ograniczenia dopływu biogenów do zbiornika i działań ochronnych w zlewni.

Omówione w polskiej literaturze przypadki rekultywacji technicznej, dotyczące głównie jezior, to niestety w większości przykłady, w których nie uzyskano poprawy jakości wody. Stosowane były głównie metody związane z napowietrzaniem wód [Lossow 1994]. Niewątpliwie jednak, szczególnie w USA i Europie Zachodniej, udało się pomyślnie zreaktywować wiele zbiorników.

Należy wyciągnąć wnioski z tych doświadczeń, a przede wszystkim stosować rekultywację techniczną ostrożnie i w ostateczności.

Najczęściej spotykanymi metodami rekultywacji są:

- strącanie fosforanów związkami żelaza i glinu [Perrow i Davy 2002, Szyper i Gołdyn 2000, Olem i Flock 1990, Eutrophication... 1982];
- napowietrzanie wód z zaburzeniem uwarstwienia termicznego [Kajak 1998, Vandermeulen 1992, Steel 1975];
- napowietrzanie wód z zachowaniem uwarstwienia termicznego [Kajak 1998, Olem i Flock 1990, Fast i Lorenzen 1976];
- usuwanie osadów dennych [Kajak 1998, Lossow 1998, Hino 1994, Peterson 1981];
- przykrywanie osadów dennych [Kajak 1998, Hino 1994, Olem i Flock 1990];
- usuwanie żyznych wód hipolimnionu [Kajak 1998, Eutrophication... 1982];
- iniekcje z substancji powodujących utlenienie osadów dennych, związanie fosforu i usunięcie siarczków (metoda Riplox) [Perrow i Davy 2002, Szyper i Gołdyn 2000, Kajak 1998, Barroin 1991, Björk 1985];
- zastosowanie zbiorników wstępnych, biofiltrów [Mioduszeowski 1999, Benndorf i Pütz 1997, Hino 1994, Żbikowski i Żelazo 1993, Prochal 1987];
- eliminacja fosforu z dopływów – system Wahnbach [Hino 1994, Bernhardt i Schell 1982];
- zakładanie rowów i zbiorników infiltracyjnych [Hino 1994];
- wapnowanie [Perrow i Davy 2002, Babin i in. 1989, Murphy i in. 1988].

Rozwój samych glonów można ograniczyć bez zmiany ilości fosforu w ekosystemie poprzez:

- sztuczne mieszanie wód (limitowanie światła);
- biomanipulację [O’Sullivan i Reynolds 2005, Kajak 1998, DeMelo i in. 1992; Jørgensen i Johansen 1989, Bendorf i in. 1984, Shapiro i Wright 1984];
- redukcję czasu przebywania wody w zbiorniku;
- użycie produktów do hamowania rozwoju glonów [Kajak 1998].

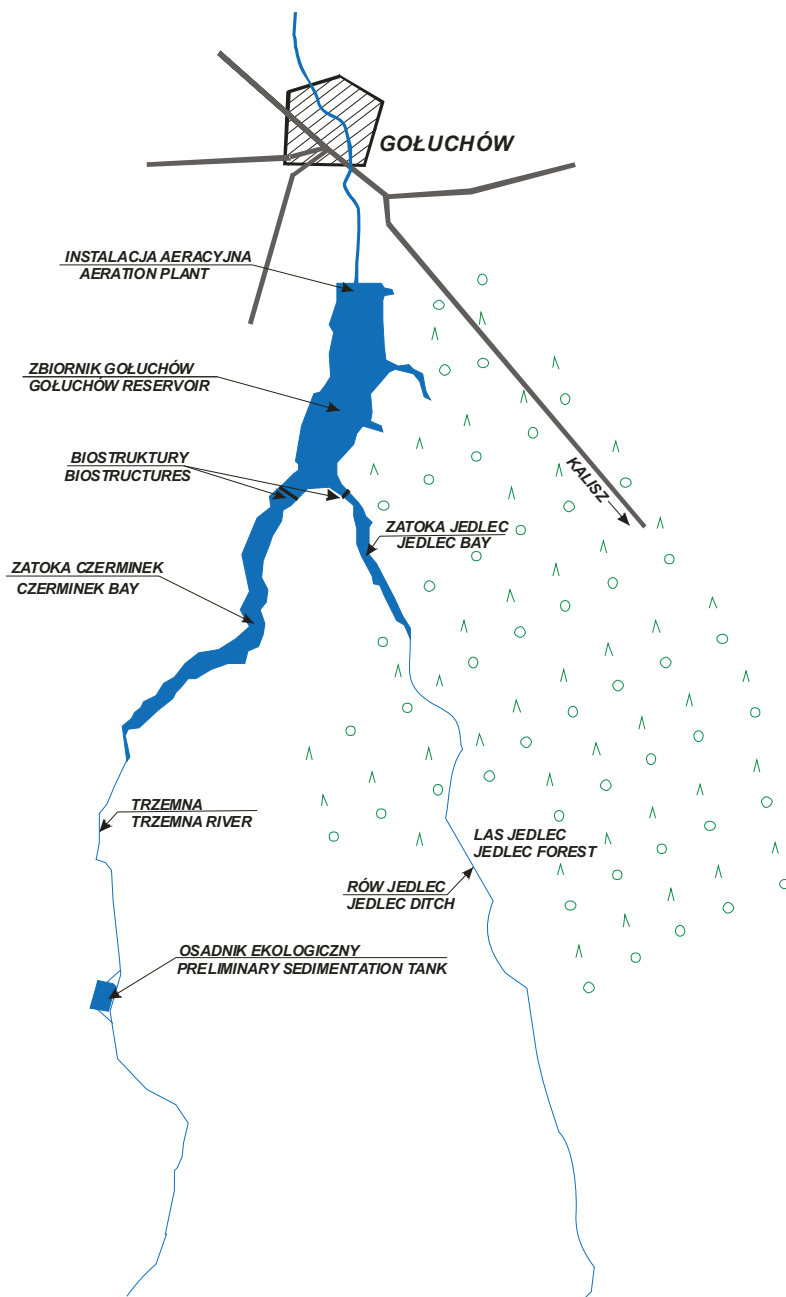
5. CHARAKTERYSTYKA ZBIORNIKA I JEGO ZLEWNI

5.1. WODY POWIERZCHNIOWE I PODZIEMNE

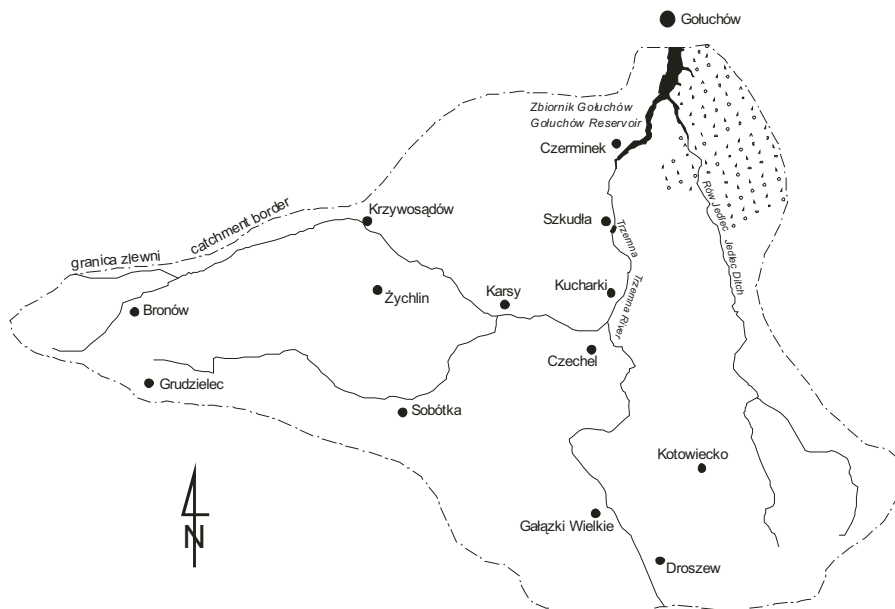
Zbiornik Gołuchów

Zbiornik wodny Gołuchów (rys. 1) został zbudowany w 1970 r. na rzece Trzemnie (pot. Ciemnej), lewobrzeżnym dopływie Proсны w miejscowości Gołuchów, w odległości 15 km od Kalisza (województwo wielkopolskie, powiat pleszewski, gmina Gołuchów). Zlewnia zbiornika rozciąga się na 2 powiaty: Pleszew i Ostrów Wielkopolski oraz gminy: Gołuchów, Nowe Skalmierzyce i Pleszew (znikoma część zlewni znajduje się na terenie gmin Ostrów Wielkopolski i Raszków). Pierwotnie zbiornik przeznaczony był do gromadzenia wody na potrzeby rolnictwa, z czasem jednak na pierwszy plan wysunięte zostały cele rekreacyjne ze względu na bliskie położenie miast: Kalisza, Jarocina, Pleszewa, Ostrowa Wielkopolskiego. Administratorem zbiornika jest Wielkopolski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych w Poznaniu poprzez Delegaturę w Ostrowie Wielkopolskim [Pianka i Zaborowska 1994]. Wszystkie funkcje zbiornika są jednak znacznie ograniczone przez złą jakość wody. Ten najstarszy zbiornik zaporowy w południowej Wielkopolsce został wybudowany na bardzo zanieczyszczonej rzece Trzemnie. Drugi dopływ – Rów Jedlec, choć charakteryzuje się znacznie mniejszymi przepływami, istotnie przyczynia się do zanieczyszczenia zbiornika, ponieważ prowadzi nieoczyszczone ścieki przemysłu rolno-spożywczego i przez długi czas niósł ścieki bytowe. Nieuporządkowana gospodarka wodno-ściekowa w zlewni doprowadziła do silnej eutrofizacji zbiornika Gołuchów, wytworzenia warstwy osadów dennych z wydzielającym się siarkowodorem oraz corocznych zakwitów sinicowych.

Trwające od 1994 r. prace rekultywacyjne polegały na budowie osadnika ekologicznego na rzece Trzemnie, zamontowaniu przy zaporze instalacji aeracyjnej, a na dopływach – barier biostruktur. Podejmując działania rekultywacyjne, nie zadbane jednak o uporządkowanie gospodarki wodno-ściekowej zlewni i w związku z tym do tej pory nie zanotowano poprawy jakości wody.



Rys. 1. Zbiornik zaporowy Gołuchów
 Fig. 1. The Gołuchów reservoir



Rys. 2. Zlewnia zbiornika Gołuchów
 Fig. 2. The catchment of the Gołuchów reservoir

Parametry hydrologiczne i podstawowe dane techniczne zbiornika Gołuchów:

– normalny poziom piętrzenia	110,00 m n.p.m.,
– maksymalny poziom piętrzenia	110,40 m n.p.m.,
– forsowany poziom piętrzenia	110,80 m n.p.m. (dla przepływu kontrolnego $Q_{0,5\%}$),
– minimalny poziom piętrzenia	108,00 m n.p.m.,
– minimalny poziom piętrzenia dla rekreacji	109,00 m n.p.m.,
– powierzchnia zlewni w przekrojach:	
osadnik ekologiczny	72,8 km ² ,
zapora zbiornika	106,8 km ² ,
ujście do Prosny	112,8 km ² ,
– przepływ średni roczny	$Q_{\text{sr}}=0,37 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
– spływ jednostkowy	$3,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (przy Q_{sr}),
– odpływ średni roczny ze zbiornika	11,67 mln m ³ .

Przy normalnym poziomie piętrzenia wymiary zbiornika są następujące:

– długość	2,8 km,
– średnia szerokość	200 m,
– maksymalna szerokość	300 m,
– średnia głębokość	2,7 m,

- maksymalna głębokość 7,0 m,
- powierzchnia 51,5 ha,
- pojemność 1,385 mln m³ [Fierek 1994a i b].

Zbiornik jest zarybiany, dominują w nim gatunki ryb planktonożernych, stanowią one do 90% populacji ryb, reszta to gatunki drapieżne.

Rzeki i wody podziemne

Głównym elementem sieci hydrograficznej oraz źródłem zasilania w wodę zbiornika Gołuchów jest rzeka Trzemna (pot. Ciemna – taka nazwa występuje też w dokumentacji zbiornika i materiałach WIOŚ, w pracy autorka używa nazwy zgodnie z obowiązującą hydronimią). Trzemna jest lewobrzeżnym dopływem Proсны i posiada zlewnię o całkowitej powierzchni 112,8 km² [Fierek 1994a i b]. Jej koryto przedzielono w km 5+600 zaporą ziemną, tworząc zbiornik Gołuchów o powierzchni zlewni 106,8 km². Średni spadek zlewni wynosi 4 promile. Spośród kilku mniejszych cieków zasilających należy wymienić Rów Jedlec, bezpośrednio wchodzący do zbiornika, który mimo niewielkich przepływów wnosi do zbiornika znaczny ładunek zanieczyszczeń.

W tej części podregionu kaliskiego dominują czwartorzędowe poziomy wodonośne. Miąższość tych utworów dochodzi do 10 m. Mocno rozwinięty system czwartorzędowych struktur kopalnych charakteryzuje się średnią i dobrą wodonośnością. Pierwszy użytkowy poziom wodonośny jest w pełni izolowany [Raport... 1999].

Skład chemiczny wód podziemnych scharakteryzowano na podstawie danych WIOŚ [Raport... 2000, 1999, 1996]. Cechuje je duże zanieczyszczenie azotanami i azotynami. Są wodami zmienionymi antropogenicznie.

5.2. GLEBY I KLIMAT

Zlewnia zbiornika Gołuchów położona jest na terenie Wysoczyzny Kaliskiej – części Niziny Południowowielkopolskiej, między Wałem Żerkowskim na północy a Obniżeniem Milicko-Głogowskim na południu oraz między Wysoczyzną Leszczyńską na zachodzie a Równiną Rychwalską na północnym-wschodzie i Wysoczyzną Turecką na wschodzie [Encyklopedia... 2002].

Skałami macierzystymi gleb Wielkopolski są utwory polodowcowe zlodowacenia środkowopolskiego. W warstwie przypowierzchniowej dominują utwory piaszczyste i gliniaste. Na podstawie Mapy Glebowo-Rolniczej Województwa Kaliskiego 1:100 000 stwierdzić można, że w zlewni dominują gleby piaszczyste (piaski gliniaste lekkie i mocne, piaski średnie) różnych typów genetycznych, głównie gleby pseudobielicowe, brunatne właściwe i czarne ziemie [Mapa... 1986]. Największą część zlewni stanowi kompleks żytni dobry i bardzo dobry oraz kompleks pszenno-dobry.

Na badanym terenie nie występują zjawiska nasilonej erozji wodnej i wąwozowej. W porównaniu z innymi częściami Wielkopolski mniejsze jest też nasilenie erozji wietrznej [Prochal 1987].

Zawartość biogenów w glebach zlewni, według badań przeprowadzonych po zbiorach roślin jesienią 2001 r., wynosiła średnio 0,84 gN·kg⁻¹s.m., 0,34 gP·kg⁻¹s.m.,

1,0–1,4 gK·kg⁻¹s.m. Zawartość azotu i fosforu była bardzo zbliżona we wszystkich próbach, zawartość potasu różniła się dość znacznie w poszczególnych próbach. Próby pobrano losowo z pól uprawnych w różnych częściach zlewni. Pod względem składu granulometrycznego wykazywały one uziarnienie piasków gliniastych lekkich i mocnych o zawartości części spławialnych 13–18%.

Klimat województwa wielkopolskiego należy do strefy klimatu umiarkowanego, w obszarze wzajemnego przenikania się wpływów morskich i kontynentalnych. Według regionizacji rolniczo-klimatycznej R. Gumińskiego badany teren leży na granicy dzielnicy środkowej i dzielnicy łódzkiej. Jest to obszar najniższych opadów w Polsce, poniżej 550 mm·rok⁻¹. Długość okresu wegetacyjnego wynosi 200–220 dni. Dzielnica łódzka jest podobna do środkowej, cechuje się nieco większymi opadami ok. 600 mm·rok⁻¹ [Raport... 1999]. Średnie wieloletnie wybranych cech klimatycznych dla badanego terenu przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1
Table 1

Średnie wieloletnie wybranych cech klimatycznych dla badanego terenu [Raport... 1999]
Perennial average of selected climatological features for the research area [Raport... 1999]

Miasto Town	Średnia temperatura powietrza Mean air temperature (°C)	Względna wilgotność powietrza Relative air humidity (%)	Zachmurzenie ogólne nieba Total cloudiness (%)	Suma opadów Total precipitation (mm)	Średnia prędkość wiatru Mean wind velocity (m·s ⁻¹)
Kalisz	7,8	81	65	517	2,9

5.3. ZAGOSPODAROWANIE PRZESTRZENNE I OSADNICTWO

Infrastruktura

Zalesienie zlewni wynosi 7%, głównie jest to las graniczący ze zbiornikiem (rys. 2), użytki zielone zajmują 4% powierzchni zlewni zbiornika, grunty orne o glebach średnioprzepuszczalnych stanowią 79% [Pianka i Zaborowska 1994].

Liczba ludności na obszarze zlewni wynosi aktualnie około 10 000 osób. Miejscowości znajdujące się na terenie zlewni pokazano na rysunku 2.

Zlewnia ma charakter typowo rolniczy, brak jest dużych zakładów przemysłowych. Funkcjonuje tu natomiast kilka małych przedsiębiorstw o profilu rolno-spożywczym. Głównie są to masarnie oraz gorzelnie związane z zakładami rolnymi.

W pobliżu zbiornika przebiega droga krajowa nr 12, która łączy Kalisz z Pleszewem, a dalej biegnie do Poznania. Drugim ważnym szlakiem komunikacyjnym na badanym terenie jest droga nr 11, łącząca na tym odcinku Ostrów Wielkopolski z Pleszewem. Nie przebiegają tu linie kolejowe.

Stan sanitacji

Zaopatrzenie w wodę wg GUS [Powszechny... 1997] jest bardzo dobre, większość gospodarstw (ok. 90%) korzysta z wodociągu publicznego, z zagrodowego wodociągu podłączonego do studni lub ze studni zagrodowych wodę czerpie ok. 10% gospodarstw, a 0,5% gospodarstw nie jest zaopatrywanych w wodę z wyżej wymienionych źródeł.

Odprowadzanie i oczyszczanie ścieków jest wysoce niezadowolające. Do sieci kanalizacyjnej odprowadza ścieki zaledwie 6,5% gospodarstw, do dołów gnilnych 78% gospodarstw (z czego 3/4 bez oczyszczania lub wywozu do oczyszczalni), 15,5% gospodarstw nie posiada kanalizacji ani dołów gnilnych [Powszechny... 1997].

Wybudowanej w Gołuchowie oczyszczalni ścieków WIOŚ zarzuciła, iż nie spełnia ona warunków pozwolenia wodno-prawnego, ponieważ w ściekach zrzucanych przez nią do rzeki przekroczone zostały normy zanieczyszczeń. Ponadto oczyszczalnia przyjmowała zaledwie 25% z przyznanego limitu ścieków, wynoszącego $1131,3 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ [Raport... 2002].

Gospodarka odpadami na terenie zlewni także nie jest prawidłowo zorganizowana. Odpady z 20% gospodarstw są wywożone na zorganizowane wysypiska, 80% gospodarstw zajmuje się odpadami we własnym zakresie. Na terenie zlewni znajdują się następujące zorganizowane składowiska i wysypiska odpadów [Raport... 2000, 1999, 1996]:

- Czechel – bez uszczelnienia podłoża; stan formalno-prawny nieuregulowany; gromadzi głównie odpady komunalne;
- Kajew – bez uszczelnienia podłoża; stan formalno-prawny nieuregulowany; przywożone są zwłaszcza odpady komunalne;
- Sobótka – uszczelnienia podłoża; stan formalno-prawny uregulowany; gromadzi odpady przemysłowe.

Oprócz wymienionych dużych składowisk i wysypisk na terenie zlewni podczas jej inwentaryzacji zaobserwowano wiele małych dzikich wysypisk odpadów zlokalizowanych w pobliżu dróg, a także miejsca, gdzie wyrzucono odpady bezpośrednio do wód powierzchniowych. W 2005 roku gminę Gołuchów wymieniono jako jedną z 10 w województwie, które nie prowadzą selektywnej zbiórki odpadów [Raport... 2006].

Walory kulturowe i przyrodnicze

Gołuchów jest jedną z najciekawszych i najbardziej znanych miejscowości w regionie. Posiada bazę rekreacyjną związaną ze zbiornikiem wodnym. W centrum miejscowości znajduje się zamek Izabeli Czartoryskiej, obecnie oddział Muzeum Narodowego w Poznaniu, z bogatą kolekcją dzieł sztuki, między innymi waz greckich, malarstwa i tkanin. Zamek otoczony jest kompleksem parkowym – największym w Wielkopolsce parkiem dendrologicznym o pow. 162 ha, któremu uroku dodają stawy. W kompleksie parkowym w Ośrodku Kultury Leśnej można zwiedzić, jedyne w Europie, Muzeum Leśnictwa z bogatą kolekcją maszyn i narzędzi, trofeów myśliwskich i sztuki oraz położoną w pobliskim lesie zagrodę żubrów i danieli.

„Dolina Rzeki Ciemnej (Trzemny)” to obszar 3500 ha chronionego krajobrazu.

6. STAN CZYSTOŚCI WÓD ZLEWNI ZBIORNIKA GOŁUCHÓW

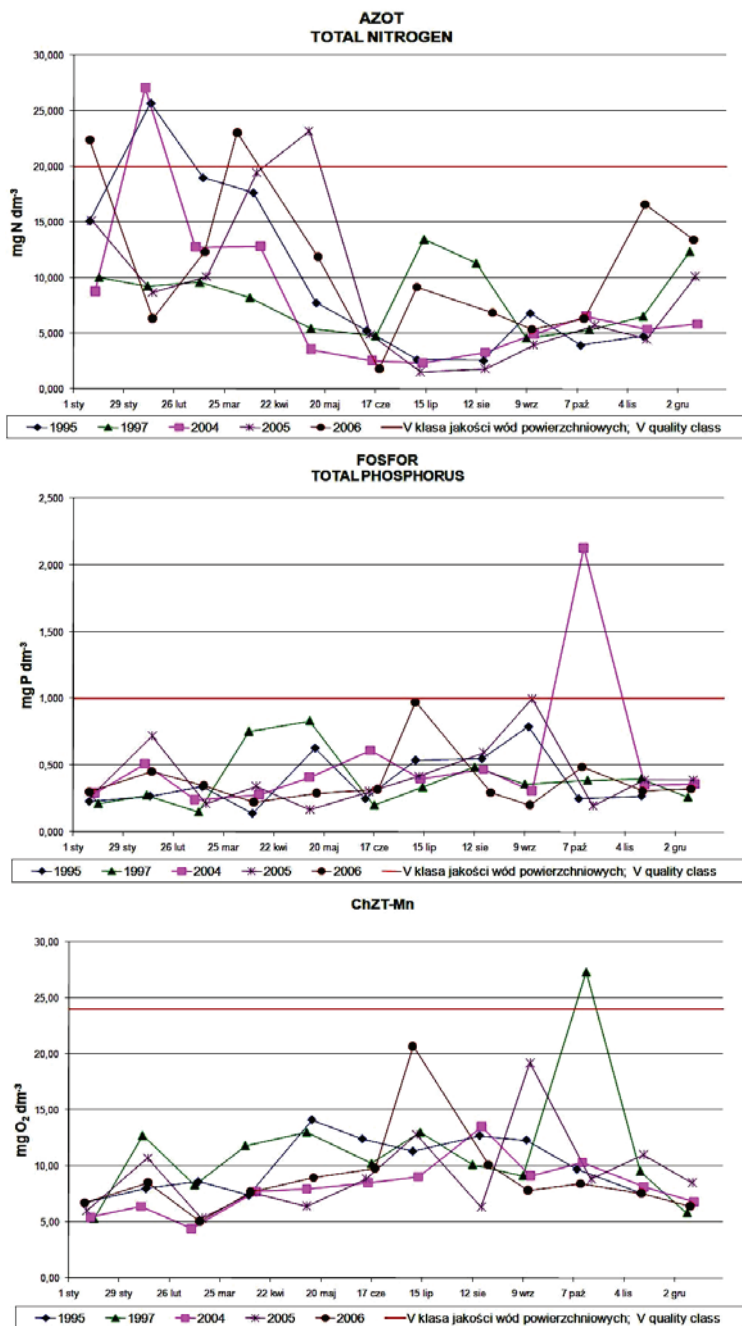
Źródła zanieczyszczeń

Niewątpliwie poważnym problemem w zlewni zbiornika są przestrzenne źródła zanieczyszczeń zarówno rolnicze, jak i pochodzące z opadu atmosferycznego. Wymieniane przez wielu autorów, jako źródło zanieczyszczeń, drogi samochodowe nie stanowią dużego zagrożenia ze względu na oddalenie od głównych cieków i niewielkie natężenie ruchu. W przeciwieństwie do nich poważnym obciążeniem są punktowe źródła zanieczyszczeń. Przeprowadzone w latach 2000–2002 inwentaryzacje zlewni pozwoliły na zlokalizowanie punktowych źródeł zanieczyszczeń i potwierdziły, że znaczna część gospodarstw zrzuca ścieki bezpośrednio do wód powierzchniowych. Istniejące na terenie zlewni zakłady przemysłu rolno-spożywczego i obiekty rekreacyjne w większości nie posiadają oczyszczalni ścieków i odprowadzają je (bez koniecznych zezwoleń) do wód powierzchniowych. Natomiast nieliczne oczyszczalnie nie działają prawidłowo, a nieuporządkowana gospodarka odpadami powoduje dodatkowe zagrożenie dla wód w zlewni.

Stan czystości głównych dopływów zbiornika

Rzeka Trzemna jest badana przez WIOŚ od kilkunastu lat w trzech przekrojach. W latach 1995, 1997, 2004, 2005 i 2006 poddana została monitoringowi rocznemu. Graficzną interpretację wybranych wskaźników, z badań wykonanych w ramach monitoringu rocznego (przekrój w Szkudłach, tuż powyżej zbiornika Gołuchów), przedstawiono na wykresach (rys. 3). Z przeprowadzonych analiz wynika, że rzeka jest silnie zanieczyszczona związkami azotu i fosforu. Notuje się tu wysokie stężenia azotu azotanowego, azotanowego, potasu, fosforu ogólnego i fosforanów. Także chlorofil i wskaźniki mikrobiologiczne, wskaźniki tlenowe i indeksy saprobowości świadczą o dużym zanieczyszczeniu. Największe stężenia azotanów obserwuje się od stycznia do maja, fosforany, oprócz marca i kwietnia, przekraczają wartości graniczne dla V klasy jakości wód powierzchniowych, złe warunki tlenowe panują w rzece latem, a najgorsze jesienią – zawartość tlenu rozpuszczonego drastycznie się zmniejsza. Z opracowań WIOŚ wynika, że Trzemna jest jedną z najbardziej zanieczyszczonych rzek południowej Wielkopolski i we wszystkich trzech przekrojach, w których była badana, zakwalifikowana została do V klasy jakości wód powierzchniowych [Rozporządzenie... 2004*].

* W związku z tym, że rozporządzenie straciło moc prawną z dniem 1 stycznia 2005 r., a nie wprowadzono zastępujących go nowych regulacji prawnych, Główny Inspektor Ochrony Środowiska zezwolił na przeprowadzanie oceny wód według nieobowiązujących przepisów do czasu wejścia w życie nowych.



Rys. 3. Jakość wody rzeki Trzemny w latach 1995, 1997, 2004, 2005, 2006 (wybrane wskaźniki i analizy z badań WIOŚ w przekroju Szkudła)

Fig. 3. Water quality in the Trzemna River in 1995, 1997, 2004, 2005, 2006 pursuant to WIOŚ (selected indexes and analysis from the section Szkudła)

W wodach Jedlec stwierdza się bardzo wysokie stężenia azotanów, fosforanów, fosforu całkowitego BZT₅ (tab. 2). Choć Rów Jedlec charakteryzuje się stosunkowo niewielkim przepływem, to wnoszone przez niego ładunki zanieczyszczeń są znaczące dla zbiornika.

Stan czystości zbiornika

Badania zbiornika w Gołuchowie prowadzone przez WIOŚ są nieregularne i rzadkie. W badaniach nie zachowuje się powtarzalności oznaczania podstawowych wskaźników, niekonsekwencja jest szczególnie widoczna w przypadku form azotu. Brak oznaczenia formy azotynowej i azotu ogólnego często nie pozwala na wyciągnięcie wniosków.

Wodę zretencjonowaną w zbiorniku charakteryzują wysokie stężenia biogenów. Porównując wartości wybranych wskaźników (tab. 2) na dopływach do zbiornika, w samym zbiorniku oraz w rzece Trzemnie, można stwierdzić, że w większości przypadków w zbiorniku obniża się stężenie mineralnych form azotu, fosforanów, fosforu ogólnego, maleje również zawartość zawiesin, BZT₅ i stężenie azotu organicznego. W rzece Trzemnie poniżej zbiornika – BZT₅ i stężenie azotu organicznego nadal obniżają się, stężenia mineralnych form azotu i fosforu nieznacznie wzrastają, najwyższy wzrost notowany jest dla azotu amonowego, natomiast ilość zawiesin utrzymuje się na poziomie porównywalnym ze zbiornikiem lub nieznacznie wzrasta, maleje zaś zawartość tlenu. Skład chemiczny wody odpływającej ze zbiornika jest charakterystyczny dla wód z większej głębokości – zrzucanych upustami dennymi. Z danych przedstawionych w tabeli 3 wynika, że na głębokości upustów dennych (ok. 4 m) zanotowano niższe wartości BZT₅, wyższe stężenia mineralnych form azotu, a szczególnie formy amonowej, niższą zawartość tlenu niż w przypowierzchniowej warstwie wody, podobne zależności zauważono w wodzie odpływającej ze zbiornika (tab. 2).

Na podstawie powyższych danych można stwierdzić, że w zbiorniku Gołuchów następuje oczyszczanie wody. Woda w dopływach jest o wiele bardziej zanieczyszczona związkami biogennymi niż woda wypływająca ze zbiornika. Substancje biogenne kumulowane są w osadach dennych oraz innych składnikach ekosystemu.

Wpływ zabudowy hydrotechnicznej na jakość wody nie jest jednoznacznie określony, a z badań Woyciechowskiej i Dojlido [1982], przeprowadzonych na dużej ilości zbiorników, wynika, że w większości przypadków wpływają one na poprawę jakości wody lub nie wywołują zmian, w niewielu zbiornikach następuje pogorszenie jakości wody. Najczęściej obserwuje się poprawę w małych płytkich zbiornikach zaporowych, takich jak zbiornik Gołuchowski. Niestety, kumulowanie substancji organicznych wpływa na pogorszenie stanu trofii samego zbiornika.

Na początku września 2002 r., zaraz po zakończeniu sezonu rekreacyjnego i intensywnym napowietrzaniu zbiornika, przeprowadzono badanie jakości wody. Wodę pobrano w kilku punktach kontrolnych. Pierwszy zlokalizowany został na osi zbiornika przy zaporze, drugi w 1/3 długości zbiornika, trzeci w 2/3 długości zbiornika, czwarty – tuż przy końcu zbiornika. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 2 cd.
Table 2 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20.06.1995	Trzenna pow. zbiornika	-	0,116	3,30	5,5	-	0,15	10,1	6,5
	Rów Jedlec	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zbiornik	-	0,087	1,81	4,7	-	0,11	16,1	14,0
10.06.1996	Trzenna pon. zbiornika	-	-	-	-	-	-	-	-
	Trzenna pow. zbiornika	-	0,880	8,29	11,4	0,29	1,00	8,5	15,3
	Rów Jedlec	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zbiornik	0,37	0,011	0,10	3,0	0,10	0,52	16,6	12,8
26.05.1997	Trzenna pon. zbiornika	-	-	-	-	-	-	-	-
	Trzenna pow. zbiornika	2,04	0,041	0,45	3,0	0,30	0,60	7,7	9,8
	Rów Jedlec	5,23	0,87	19,70	26,7	1,66	2,18	10,3	85,0
	Zbiornik	1,10	0,01	0,05	2,0	0,49	0,63	3,7	5,4
	Trzenna pon. zbiornika	1,48	0,05	0,45	2,6	0,65	0,81	8,7	4,1
15.09.1997	Trzenna pow. zbiornika	<	0,033	2,55	4,3	0,16	0,28	8,7	<
	Rów Jedlec	0,97	0,227	6,73	9,5	1,28	1,30	7,0	4,8
	Zbiornik	0,75	0,126	0,79	3,2	0,39	1,27	8,5	8,2
	Trzenna pon. zbiornika	1,10	0,069	1,19	3,1	0,76	0,83	8,2	7,0
28.06.1999	Trzenna pow. zbiornika	<	0,463	6,53	8,2	0,16	0,21	9,8	4,9
	Rów Jedlec	<	0,041	15,20	15,2	0,48	0,50	8,6	2,8
	Zbiornik	0,27	0,170	6,42	7,7	0,05	0,07	7,6	2,4
27.09.1999	Trzenna pon. zbiornika	1,04	0,165	4,89	7,3	0,20	0,16	8,4	4,3
	Trzenna pow. zbiornika	0,87	0,070	1,90	3,7	0,39	0,43	5,7	3,3
	Rów Jedlec	0,03	0,010	9,40	9,4	0,05	0,11	8,2	<
	Zbiornik	0,44	0,014	0,02	2,6	0,52	0,67	10,5	10,3
	Trzenna pon. zbiornika	1,10	0,020	0,07	3,1	0,75	0,92	7,7	7,5

Wyniki badań jakości wody przeprowadzonych 05. 09. 2002
Analysis of water quality in reservoir conducted on 05. 09. 2002

Miejsce poboru próby Sampling site	Głębokość pobrania próby Depth (m)	BZT ₅ mgO ₂ ·dm ⁻³	Zawiesiny ogólne Suspended matter mg·dm ⁻³	NO ₃ mgNO ₃ ·dm ⁻³	NO ₂ mgNO ₂ ·dm ⁻³	NH ₄ mgNH ₄ ·dm ⁻³	PO ₄ mgPO ₄ ·dm ⁻³	O ₂ mgO ₂ ·dm ⁻³	pH	Przewodność elektrolityczna Conductivity μS	Temp. wody Water temp. (°C)
1	1	8,9	61	0,44	<0,003	0,10	1,89	9,2	9,5	362	22
	2	8,6	34	0,44	<0,003	0,10	1,92	8,0	9,4	400	22
	4	4,4	58	0,89	0,051	0,31	2,03	3,4	8,9	420	21
	6	7,2	48	1,33	0,425	1,67	1,82	3,5	8,8	414	21
	7 dno – bottom	11,2	48	0,44	0,108	2,58	2,59	2,0	8,7	414	21
	1	9,2	68	0,44	<0,003	0,08	1,88	9,2	9,5	346	22
	2	7,5	49	0,44	<0,003	0,15	1,89	8,2	9,4	329	22
2	5 dno – bottom	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	1	7,4	76	0,44	<0,003	0,15	2,23	8,2	9,5	373	22
	2	7,5	33	0,44	0,021	0,15	2,18	7,6	9,4	414	22
	5 dno – bottom	5,0	70	2,66	0,008	0,10	2,08	4,9	9,0	353	21
	1	7,7	63	0,44	0,025	0,13	1,98	8,1	9,4	363	22
4	2 dno – bottom	7,9	96	7,08	0,197	0,06	1,72	7,4	9,2	380	22

Tabela 4
Table 4

Zawartość biogenów w osadach dennych zbiornika Gołuchów
w latach 1995, 1997 i 1999 według badań WIOŚ (wybrane wskaźniki)
Concentration of nutrients in sediments from the Gołuchów reservoir pursuant to WIOŚ
(selected indexes and analysis)

Data poboru próby Sampling date	Miejsce poboru próby Sampling site	N mgN·dm ⁻³	P mgP·dm ⁻³
20.06.1995	Czasza zbiornika Reservoir bowl	879	108
16.06.1997	Zatoka Czerminiek przed biostrukturami Czerminiek Bay in front of the biostructures	1200	–
16.06.1997	Zatoka Czerminiek za biostrukturami Czerminiek Bay behind biostructures	1290	–
16.06.1997	Zatoka Jedlec przed biostrukturami Jedlec Bay in front of the biostructures	979	–
16.06.1997	Zatoka Jedlec za biostrukturami Jedlec Bay behind biostructures	1022	–
16.06.1997	Czasza zbiornika Reservoir bowl	1050	–
15.09.1997	Zatoka Czerminiek przed biostrukturami Czerminiek Bay in front of the biostructures	1506	288
15.09.1997	Zatoka Czerminiek za biostrukturami Czerminiek Bay behind biostructures	1271	361
15.09.1997	Zatoka Jedlec przed biostrukturami Jedlec Bay in front of the biostructures	2048	146
15.09.1997	Zatoka Jedlec za biostrukturami Jedlec Bay behind biostructures	981	152
15.09.1997	Czasza zbiornika Reservoir bowl	879	178
28.06.1999	Zatoka Czerminiek za biostrukturami Czerminiek Bay behind biostructures	1400	423
28.06.1999	Zatoka Jedlec Jedlec Bay	899	182
28.06.1999	Czasza zbiornika Reservoir bowl	1022	438
27.09.1999	Zatoka Czerminiek Czerminiek Bay	1910	303
27.09.1999	Zatoka Jedlec Jedlec Bay	4480	196
27.09.1999	Czasza zbiornika Reservoir bowl	3440	336
Średnia Mean		1600	260

W punkcie 1, przy samej zaporze, wraz z głębokością maleje stężenie tlenu rozpuszczonego, wartości pH stają się coraz niższe. Przy dnie występują deficyty tlenowe, obniża się stężenie azotu azotanowego i azotynowego, wzrasta BZT₅ i stężenie azotu amonowego. Według badań Kajaka [1998] stężenie azotu azotanowego w zbiornikach eutroficznych, latem, powinno maleć wraz z głębokością, azot azotynowy pojawia się dopiero na pewnej głębokości, a następnie ze wzrostem głębokości jego zawartość w wodzie obniża się, natomiast stężenie azotu amonowego wzrasta. Zaobserwowane przy dnie gwałtowne obniżenie stężenia azotanów i azotynów spowodowane jest ich redukcją w warunkach beztlenowych do azotu amonowego, a także procesami rozkładu materii organicznej z osadów dennych. W pozostałych przypadkach, gdy nie obserwuje się aż tak dużego deficytu tlenowego, zawartość azotanów przy dnie wzrasta.

Integralną częścią zbiornika są osady denne. Zeutrofizowane zbiorniki posiadają w osadach dennych główny ładunek biogenów, zwłaszcza w formie organicznej [Kajak 1998]. Osady zbiornika Gołuchów zawierają średnio 1600 mg·dm⁻³ azotu i 260 mg·dm⁻³ fosforu (tab. 4). Azotany i azotyny obecne są w tych osadach w minimalnych stężeniach, zawartość azotu amonowego wynosi około 200 mg·dm⁻³, resztę stanowi forma organiczna. Średnia zawartość fosforanów to około 30 mg·dm⁻³, jest ona zmienna i waha się od 2–100 mg·dm⁻³, niewątpliwie jednak fosfor występuje tu głównie w formie organicznej.

Najwięcej związków biogenych skumulowanych jest w 10 cm wierzchniej warstwy osadów, z której pobrano próby do badań. W tej właśnie warstwie, przeliczając wartości na 1 m² zbiornika, znajduje się 160 g azotu i 26 g fosforu. Przyjmując średnią głębokość zbiornika 2,7 m, średnie stężenie w wodach zbiornika fosforu 1,1 mg·dm⁻³ i azotu 6,8 mg·dm⁻³, w latach badania osadów, to w zalegającym nad 1 m² osadów słupie wody znajduje się średnio zaledwie 2,97 g fosforu i 18,36 g azotu. W 10 cm warstwie osadu było ponad dziesięciokrotnie więcej biogenów niż w wodzie, a miąższość osadów w zbiorniku dochodziła przy zaporze do 1 m.

7. OCENA NATURALNEJ PODATNOŚCI NA DEGRADACJĘ ZBIORNIKA GOŁUCHÓW

Naturalną podatność zbiornika Gołuchów na degradację oceniono na podstawie „Systemu Oceny Jakości Jezior” [Kudelska i in. 1983]. System ten, stosowany od kilku lat w Polsce, posiada pewne wady [Jańczak 2002], uznano jednak, że z powodzeniem można wykorzystać jego elementy do szacunkowej oceny naturalnej podatności zbiornika na zanieczyszczenie (tab. 5).

Średnia głębokość jest najważniejszym parametrem decydującym o jakości wody w zbiorniku. Od tego parametru zależy stosunek masy wody znajdującej się w epilimnionie (górną, cieplej części) do masy zawartej w hypolimnionie (dolnej, chłodnej części). Im więcej wody mieści się w hypolimnionie, tym mniejsza produktywność, a co za tym idzie – wyższa klasa jakości wód [Łomotowski i Szpindor 1999]. Vollenweider [Kudelska i in. 1983] w swoich badaniach udowodnił ścisłą zależność pomiędzy średnią głębokością i jakością wody, uwzględnił średnią głębokość jako podstawowy parametr do obliczania dopuszczalnych i niebezpiecznych obciążeń zbiornika biogenami. Średnia głębokość jest parametrem reprezentującym szereg cech morfometrycznych zbiornika [Kudelska i in. 1983].

Stosunek objętości zbiornika do długości linii brzegowej określa kontakt zbiornika z otaczającym terenem [Łomotowski i Szpindor 1999]. Im dłuższa i bardziej rozwinięta linia brzegowa, tym większy kontakt z terenami przyległymi i większe zagrożenie zanieczyszczeniami; im większa objętość zbiornika, tym większa jego odporność na zanieczyszczenia i tym bardziej są one rozcieńczane [Kudelska i in. 1983]. Wskaźnik ten jest nazywany w literaturze zachodniej *dilution capacity*. Odzwierciedla on jedynie wpływ zlewni bezpośredniej na zbiornik.

Procent wymiany wody w roku jest to stosunek odpływu ze zbiornika do jego pojemności. Jest wskaźnikiem obciążenia substancjami biogennymi ze zlewni [Łomotowski i Szpindor 1999]. Zbiorniki silnie przepływowe są wzbogacane w substancje biogenne, działają jako odstojniki, włączając we własny obieg materię przyniesioną przez dopływy [Kudelska i in. 1983]. Wskaźnik odzwierciedla wpływ całkowitej zlewni na zbiornik; dla zbiorników zasilanych głównie przez dopływające cieką – wskaźnik będzie wyrażał wpływ zlewni pośredniej, natomiast dla zasilanych sypływem powierzchniowym – wyraża wpływ zlewni bezpośredniej. W zbiornikach, gdzie stratyfikacja nie występuje (do takich należy Gołuchów), szybszy czas wymiany wody jest mniej niebezpieczny, przepływ częściowo utrudnia akumulację nutrientów w mieszających się warstwach wody [Wytyczne... 1994].

Kategorie podatności jezior na degradację [Kudelska i in. 1983]
Categories of lakes susceptibility to degradation [Kudelska et al. 1983]

Wskaźnik Index	Kategoria podatności jeziora Categories of lakes susceptibility to degradation		
	I	II	III
Głębokość średnia Mean depth (m)	≥ 10	≥ 5	≥ 3
$\frac{V_{\text{jeziora/lake}}}{L_{\text{jeziora/lake}}}$	≥ 5	≥ 3	≥ 1
Procent wymiany wody w roku Per cent of water exchange per year	≤ 30	≤ 200	≤ 1000
Współczynnik Schindlera Schindler's coefficient $\frac{P_{\text{jeziora/lake}} + P_{\text{zlewni/basin}}}{V_{\text{jeziora/lake}}}$	≤ 2	≤ 10	≤ 50
Sposób zagospodarowania zlewni bezpośredniej Active basin management	≥ 60% lasów ≥ 60% of forest	< 60% lasów < 60% gruntów ornych < 60% of forest < 60% of arable land	≥ 60% gruntów ornych ≥ 60% of arable land
Procent stratyfikacji wód Per cent of water stratification	≥ 35	≥ 20	≥ 10
$\frac{P_{\text{dna czynnego/active bottom}}}{V_{\text{epilimionu/epilimion}}}$	≤ 0,10	≤ 0,15	≤ 0,30

V – objętość – capacity; P – powierzchnia – surface; L – długość – length

Współczynnik Schindlera jest najlepszym wskaźnikiem obciążenia substancjami biogennymi ze zlewni. Jest to iloraz sumy powierzchni zbiornika i zlewni do objętości zbiornika [Łomotowski i Szpindor 1999]. Uwzględnia on powierzchnię zlewni mierzoną łącznie z powierzchnią jeziora jako obszar przyjmujący zanieczyszczenia, a także objętość zbiornika jako ilość wody, która te zanieczyszczenia rozcieńcza [Wytyczne... 1994, Kudelska i in. 1983].

Sposób zagospodarowania zlewni bezpośredniej określa się w postaci procentowego udziału gruntów orných i lasów w zlewni z zaznaczeniem obecności punktowych źródeł zanieczyszczeń. Duży udział gruntów orných wpływa na wzrost transportu biogenów do wód [Łomotowski i Szpindor 1999, Kudelska i in. 1983]. Jakość wód w zbiornikach może w dużej mierze być uzależniona od sposobu zagospodarowania terenów leżących w bezpośredniej ich bliskości. Stwierdzenie punktowych źródeł zanieczyszczeń jest istotne, ponieważ nawet niewielkie ładunki biogenów mogą dominować w kształtowaniu jakości wód nad wskaźnikami morfometryczno-hydrograficznymi zbiorników [Kudelska i in. 1983].

Przy badaniu lesistości zlewni i jej ochronnej roli należy zwrócić uwagę nie tylko na procentowy udział lasów, ale i na ich rozmieszczenie. Lasy okalające zbiornik działają jako skuteczna bariera przeciw zanieczyszczeniom, ale zlokalizowane z dala od wód powierzchniowych nie spełniają tak dobrze swojej ochronnej roli.

Procent stratyfikacji wód wyraża udział hypolimnionu w całej objętości zbiornika. Produktywność stratyfikowanych zbiorników jest mniejsza, a jakość wody wyższa. Procesy trofogeniczne przebiegają tam w wyraźnie izolowanych warstwach. Trudniejsze jest uwalnianie biogenów z dna do strefy eufotycznej. Im głębszy zbiornik, tym większa objętość hypolimnionu [Wytyczne... 1994].

Horaz powierzchni dna czynnego i objętości epilimnionu jest wskaźnikiem, który obrazuje wewnętrzne wzbogacanie zbiornika w biogeny z osadów dennych. Uważany jest za miarę recyrkulacji substancji biogennych. Powierzchnia dna czynnego jest powierzchnią reaktywną, z której odbywa się uwalnianie biogenów, natomiast objętość epilimnionu jest to objętość wody, w której następuje ich rozcieńczenie [Wytyczne... 1994].

Zastosowanie wybranych wskaźników „Systemu Oceny Jakości Jezior” dla zbiornika Gołuchów i interpretacja wyników

Pośród 7 wymienionych przez autorkę wskaźników – do oceny wybrano 5. Za kryterium wyboru wskaźnika posłużyła dostępność danych.

Wybrane wskaźniki do oceny podatności na degradację to: średnia głębokość, stosunek objętości zbiornika do długości linii brzegowej, procent wymiany wody w roku, współczynnik Schindlera, sposób zagospodarowania zlewni bezpośredniej.

W celu dokonania oceny:

- odniesiono otrzymane wartości poszczególnych wskaźników do odpowiednich kategorii;
- przyjęto następującą punktację dla kategorii: I – 1 punkt, II – 2 punkty, III – 3 punkty, poza kategorią – 4 punkty;
- obliczono średnią arytmetyczną z otrzymanej punktacji;
- wyniki odniesiono do zakresów:

I kategoria $\leq 1,50$ p.

II kategoria $\leq 2,50$ p.

III kategoria $\leq 3,25$ p.

poza kategorią $> 3,25$ p.

Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 6.

Ocena podatności zbiornika Gołuchów na degradację według wybranych wskaźników wykazała, że zbiornik należy do ekstremalnie podatnych na degradację. Niekorzystny, wydłużony i rozwidlony kształt zbiornika z silnie rozwiniętą linią brzegową wpływa na wzmożony dopływ substancji biogennych ze zlewni bezpośredniej. Powierzchnia zlewni całkowitej, w stosunku do powierzchni zbiornika, jest wielka, konsekwencją są więc duże stężenia zanieczyszczeń. Zbiornik jest płytki, co wpływa na jego

produktywność, dostępność światła i wysoką temperaturę wody podczas okresu wegetacyjnego. Niewielka głębokość powoduje także, że wody mieszają się dzięki falowaniu, czego następstwem może być zasilanie wewnętrzne substancjami biogennymi z osadów dennych [Kajak 1998, Wiśniewski 1995].

Tabela 6
Table 6

Ocena naturalnej podatności zbiornika Gołuchów na degradację
Natural assessment of susceptibility to degradation for the Gołuchów reservoir

Wskaźnik Index		Kategoria podatności Category of vulnerability	Punkty Score
Głębokość średnia Mean depth (m)	2,7 m	poza kategorią beyond category	4
$\frac{V}{L}$	0,49	poza kategorią beyond category	4
Procent wymiany wody w roku Per cent of water exchange per year	842,48%	III	3
Współczynnik Schindlera Schindler's coefficient	77,48	poza kategorią beyond category	4
Sposób zagospodarowania zlewni bezpośredniej Active basin management	$\geq 60\%$ gruntów ornych $\geq 60\%$ of arable land	III	3
Ocena ogólna General evaluation		poza kategorią beyond category	średnia mean 3,6

8. BILANS AZOTU I FOSFORU NA POZIOMIE ZLEWNI

Przed przystąpieniem do działań mających na celu ochronę i sanację zlewni należy dokładnie rozpoznać źródła i ładunki zanieczyszczeń. W tym celu dla zlewni zbiornika Gołuchów oszacowano ładunek biogenów wnoszonych do wód powierzchniowych i zbiornika.

8.1. OSZACOWANIE ILOŚCI AZOTU I FOSFORU WNOSZONEGO ZE ZLEWNI ZBIORNIKA GOŁUCHÓW DO WÓD POWIERZCHNIOWYCH

Badania nad bilansem ładunków dopływających do zbiorników wodnych prowadzone są od lat na kilku dużych zbiornikach zaporowych w kraju, dla których istnieje duża ilość informacji, danych hydrologicznych, analiz chemicznych. Zbiornik Gołuchów nie był poddawany szczegółowym badaniom. Analizy chemiczne przeprowadzane są sporadycznie, a danych hydrologicznych nie rejestruje się. Szacowanie ilości biogenów wnoszonych ze zlewni do zbiornika oparto na doświadczeniach i metodyce Osmulskiej-Mról [1998], Dojlidy [1987], Galickiej [1990], Giercuszkiwicz-Bajtlik [1992], Jan-kowskiego i Rzętały [1997], Twaroga i Jarząbka [1998], Mioduszewskiego i innych [2002, 2000], Dannowskiego i innych [2002] oraz publikacji IMUZ [Scientific... 2000].

W celu oszacowania, w wodach zbiornika, ilości azotu i fosforu pochodzących ze zlewni, posłużono się uproszczoną metodą, zaproponowaną przez Jørgensena i Johnsen [1989], gdzie całkowite roczne obciążenie zbiornika biogenami określa się jako sumę trzech składowych:

- 1) ilości biogenów, która dostaje się do zbiornika wraz ze spływem powierzchniowym i wynoszeniem z gleb,
- 2) ilości biogenów dostającej się do wód powierzchniowych łącznie ze ściekami,
- 3) ilości biogenów dostającej się na teren zbiornika wraz z opadem.

Do analizy użyto szacunkowych danych – średnich z lat 1991–2006 oraz informacji zawartych w charakterystyce zbiornika i jego zlewni.

Ilość azotu i fosforu w wodach powierzchniowych określono na podstawie badań Taylor, Bogackiej, Makowskiego [1997]. W świetle tych badań, w roku 1993, dla dorzecza rzeki Proсны emisja biogenów ze źródeł obszarowych wynosiła: 3,370 kg N·ha⁻¹·rok⁻¹ i 0,156 kg P·ha⁻¹·rok⁻¹ (tab. 7).

Tabela 7
Table 7

Emisja azotu i fosforu do wód powierzchniowych ze źródeł obszarowych
w dorzeczu Proсны w roku 1993 [Taylor i in. 1997]
Nutrient emission to surface water from non-point sources of pollution
in Proсны basin in 1993 year [Taylor et al. 1997]

Pierwiastek Chemical element	Rolnictwo Agriculture	Atmosfera Atmosphere	Procesy naturalne Natural processes	Razem Total
N kg·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹	2,56	0,47	0,34	3,37
P kg·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹	0,113	0,006	0,037	0,156

Dla porównania, ładunek azotu wyłukiwanego z gleb dla nawożenia równego 60 kgN·ha⁻¹·rok⁻¹ (średnia z lat 1991–2006) i charakterystycznej dla badanej zlewni gleby średnioprzepuszczalnej, oszacowany na podstawie Kajaka [1998], wynosi około 3,5 kgN·ha⁻¹·rok⁻¹. Ładunek fosforu, obliczony przez Taylor i in. [1997] oraz określony przez autorkę wg Kajaka [1998], jest porównywalny z wartościami podanymi przez Jakubowską [1979] i Wróbla [1988].

Ostatecznie do obliczeń przyjęto: 3,50 kg N·ha⁻¹·rok⁻¹ i 0,16 kg P·ha⁻¹·rok⁻¹.

Średnia depozycja azotu i fosforu z atmosfery, na podstawie danych z raportów WIOŚ [Raport... 2004, 2000, 1999, 1996], wynosi dla badanego obszaru 20 kgN·ha⁻¹·rok⁻¹ i 0,2 kgP·ha⁻¹·rok⁻¹. Wartości te są bardzo zbliżone do podanych przez Szponara i inych [1996] oraz Kajaka [1998].

Z powodu braku szczegółowych danych dotyczących ilości i jakości produkowanych na terenie zlewni ścieków, aby określić ładunki biogenów wprowadzanych do wód powierzchniowych wraz ze ściekami, posłużono się danymi przyjmowanymi w Polsce na etapie projektowania oczyszczalni bytowo-gospodarczych, gdzie przyjmuje się, że jeden mieszkaniec produkuje 13–15,5 gN·d⁻¹ oraz 2,8–3,0 gP·d⁻¹ [Łomotowski i Szpindor 1999]. Do obliczeń przyjęto 13–15,0 gN·d⁻¹ oraz 2,9 gP·d⁻¹. Ilość azotu zredukowano o 30% ze względu na jego ulatnianie. Około 90% całkowitego azotu zawartego w ściekach bytowych stanowią azot amonowy i łatwo rozkładalny azot organiczny (głównie mocznik). Związki te łatwo ulatniają się, wobec czego często w literaturze stosuje się, dla azotu całkowitego zawartego w odchodach ludzkich i zwierzęcych, współczynnik redukcji 0,7 [Szponar i in. 1996, Fotyma i Mercik 1995]. Nie zastosowano współczynników redukcyjnych związanych z oczyszczaniem ścieków, ponieważ na terenie zlewni nie ma systemu ich skutecznego oczyszczania, przyjęto model zlewni nieskanalizowanej, bez oczyszczalni. W rezultacie uzyskano 1059 gP·M⁻¹·rok⁻¹ i 3833 gN·M⁻¹·rok⁻¹.

Wyniki porównano z podawanymi przez Liebmana [Giercuskiewicz-Bajtlik, 1992] dla podobnego typu zlewni: 1095 gP·M⁻¹·rok⁻¹ i 4380 gN·M⁻¹·rok⁻¹ i do ostatecznych obliczeń przyjęto średnie wartości: 1075 gP·M⁻¹·rok⁻¹ i 4100 gN·M⁻¹·rok⁻¹.

Tabela 8
Table 8

Szacunkowe ładunki azotu i fosforu wnoszone w ciągu roku ze zlewni do zbiornika Gołuchów (kg)
Estimated nutrient input from the basin to the Gołuchów reservoir (kg)

Źródło Source	N	P
Wynoszenie z gleb Leaching from soil	37 380 47,07%	1708,8 13,70%
Opady Precipitation	1 030 1,30%	10,3 0,08%
Ścieki Wastewater	41 000 51,63%	10 750 86,22%
Razem Total	79 410 100%	12 469,1 100%

Szacunkowa ilość azotu wprowadzanego do zbiornika ze zlewni w ciągu roku wynosi 79410 kg N, a fosforu 12469,1 kg P (tab. 8). Prawdopodobnie głównym źródłem fosforu są ścieki, z których dostaje się do wód 86% tego pierwiastka. Azot wprowadzany jest w równych ilościach ze ścieków oraz wraz z produktami erozji i ługowania gleb. Z wodami deszczowymi do zbiornika dostają się niewielkie ilości biogenów, co związane jest z metodą obliczania, która uwzględnia tylko opad na powierzchnię zbiornika. Przy dużym stosunku powierzchni zlewni do powierzchni zbiornika wpływ ten jest znikomy. Należy jednak zauważyć, że obciążenie azotem z wód opadowych wynosi aż 20 kgN·ha⁻¹·rok⁻¹. W porównaniu z wynikami badań wielu autorów (por. rozdz. 4) w zbiorniku Gołuchów znacznie więcej biogenów pochodzi ze ścieków, a mniej ze źródeł obszarowych. Ścieki w głównym stopniu wpływają na złą jakość zretencjonowanej wody.

Znając teoretyczne obciążenie zbiornika biogenami, podjęto próbę określenia ładunków dopuszczalnych i niebezpiecznych oraz stanu trofii zbiornika wg dostępnych wytycznych.

Jeżeli ładunek fosforu przekroczy wartość tolerowaną przez dany zbiornik, istnieje duże prawdopodobieństwo, że produkcja fitoplanktonu wzrośnie. Aby w zbiorniku wodnym był niski poziom trofii, ładunki biogenów w dopływach nie mogą przekraczać pewnych progowych wartości. W 1975 roku Vollenweider [Hino 1994] wyprowadził równanie oparte na teorii elementarnego bilansu masy dla określenia krytycznego ładunku biogenów, następnie porównał wyniki rozważań teoretycznych z pokaznym zbiorem badań polowych, uzyskując dobrą zgodność.

W oparciu o uproszczone wzory Vollenweidera można wyznaczyć dopuszczalne i niebezpieczne obciążenie powierzchni zbiornika fosforem [Kajak 1998, Czamara i in. 1994]:

$$L_P^{dop} = 0,01 \left(\frac{h}{\tau} + 10 \right) \text{ [g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{r}^{-1} \text{]}$$

$$L_p^{nieb} = 0,03 \left(\frac{h}{\tau} + 10 \right) [\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{r}^{-1}]$$

h – głębokość średnia (m),

τ – średni czas przebywania wody w zbiorniku (r).

Obliczone z tych wzorów dopuszczalne i niebezpieczne ładunki fosforu dla zbiornika Gołuchów wynoszą odpowiednio:

$$L_p^{dop} = 0,33 [\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{r}^{-1}]$$

$$L_p^{nieb} = 0,98 [\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{r}^{-1}]$$

Według danych WIOŚ średnie stężenie fosforu w rzece Trzemnie na dopływie do zbiornika w latach 2004–2006 wynosiło $0,55 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, przy takim stężeniu ładunek fosforu z głównego dopływu wynosi około $12,5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{r}^{-1}$. Ładunek niebezpieczny jest więc przekroczony ok. 11-krotnie, a dopuszczalny ok. 36-krotnie. Są to dane orientacyjne, bowiem kryterium Vollenweidera jest dość dyskusyjne, ale uzyskane w ten sposób wartości mogą być jednak pomocne przy przewidywaniu jakości wody w zbiornikach zaporowych.

Poziom trofii zbiornika określono również na podstawie Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie kryteriów wyznaczania wód wrażliwych na zanieczyszczenie związkami azotu ze źródeł rolniczych [Rozporządzenie... 2002]. W zbiorniku przekroczone są wartości graniczne podstawowych wskaźników eutrofizacji dla wód stojących, występują także, wymienione jako wskaźniki eutrofizacji: zakwity sinic, odtlenienie warstwy przydennej, wydzielanie się siarkowodoru.

Duże obciążenie zbiornika biogenami spowodowane jest zarówno charakterystyką gospodarczą zlewni, jak i dużym stosunkiem powierzchni zlewni do powierzchni i masy wód zbiornika [Kajak 1998]. Dla wielu zbiorników rzeczywiste ładunki bywają wielokrotnie wyższe od określonych przez Vollenweidera, dla zbiornika Sulejowskiego niebezpieczne obciążenie przekroczone jest 30-krotnie [Giercuskiewicz-Bajtlik 1992].

W przeciwieństwie do zbiorników położonych na obszarach, gdzie ładunki biogenów z procesów naturalnych są bardzo duże, na przykład w zlewni Dunajca, zbiornik Gołuchów ze źródeł naturalnych obciążony jest $0,0008 \text{ gP} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{r}^{-1}$ – wartość tę obliczono na podstawie badań Taylor i innych [1997].

Przy określaniu ładunku biogenów należy też brać pod uwagę ewentualny udział zasilania wewnętrznego, który – choć trudny do oszacowania – w przypadku tak zeutrofizowanego i płytkiego zbiornika może znacznie przekraczać wartości dopuszczalne i niebezpieczne. Nawet po wyeliminowaniu zewnętrznych źródeł zanieczyszczeń przez wiele lat może nie być poprawy jakości wody na skutek uwalniania biogenów z osadów.

8.2. BILANS AZOTU I FOSFORU POCHODZENIA ROLNICZEGO

Zlewnia zbiornika Gołuchów położona jest w południowej Wielkopolsce, na terenie od dawna użytkowanym rolniczo, słynącym z intensywnej produkcji rolnej. Na podstawie danych GUS można stwierdzić, że nawożenie mineralne, podobnie jak plonowanie, jest tu wyższe od średniej krajowej. Dominują gospodarstwa indywidualne, sektor prywatny stanowi ponad 95%, a użytki rolne – 83% zlewni. W zlewni przeważa hodowla bydła i trzody chlewnej, spośród roślin uprawnych największy areal zajmują zboża i ziemniaki.

Bilans sporządzono na podstawie danych GUS, stosując metodę *soil surface balance* [OECD... 2001, Szponar i in. 1996, Schleef i Kleinhanß 1994]. Spośród dwóch zaproponowanych metod wybrano *bilans netto*, najdokładniejszy, uwzględniający po stronie przychodów depozycję azotu z atmosfery, ilość azotu i fosforu w zastosowanych nawozach mineralnych, ilość azotu i fosforu w odchodach zwierzęcych (ilość azotu z tego źródła obniża się o 30%, w związku z ulatnianiem się niektórych jego form). Po stronie rozchodów znajduje się wynoszenie azotu i fosforu w plonach roślin. Druga z zaproponowanych metod – bilans ogólny – nie uwzględnia depozycji z atmosfery i redukcji azotu z odchodów zwierzęcych ze względu na ulatnianie. W obu metodach nie bierze się pod uwagę trudnych do oszacowania elementów bilansu azotu, takich jak przychód azotu w wyniku działalności bakterii wolno żyjących i symbiotycznych oraz strat związanych z ulatnianiem związków azotu z gleb [Chodań i in. 1984].

Podstawowe dane statystyczne GUS opracowane są na poziomie gmin. Zlewnia zbiornika Gołuchów położona jest na terenie gmin: Gołuchów, Nowe Skalmierzyce, Pleszew, znikoma część na terenie gminy Ostrów Wielkopolski i Raszków. Ponad 50% powierzchni zlewni należy do gminy Gołuchów, dlatego dane z poziomu gmin przeniesiono na układ zlewniowy, przyjmując pogłowie zwierząt gospodarskich, strukturę inwentarza i zasiewów jak dla gminy Gołuchów.

Pogłowie zwierząt gospodarskich, strukturę zasiewów, zużycie nawozów mineralnych określono na podstawie Powszechnego Spisu Rolnego z roku 1996 i 2002. Obciążenie wynikające z dopływu azotu z opadem przyjęto na podstawie „Bilansu azotu, fosforu i potasu w rolnictwie polskim”, materiałów OECD oraz danych WIOŚ. Wyniki przedstawiono w tabelach 9, 10 i 11.

Roczna produkcja azotu i fosforu w odchodach zwierzęcych w zlewni zbiornika Gołuchów (kg rok⁻¹) [Dąbrowska 2004]
Annual production of nitrogen and phosphorus from animal excreta for the catchment of Gołuchów reservoir (kg year⁻¹) [Dąbrowska 2004]

Grupa zwierząt Animal group	Liczba dorosłych osobników Number of adults	Produkcja azotu w odchodach Nitrogen production from animal excreta (kg rok ⁻¹) (kg year ⁻¹)	Produkcja fosforu w odchodach Phosphorus production from animal excreta (kg rok ⁻¹) (kg year ⁻¹)	Produkcja azotu w odchodach Nitrogen production from animal excreta (%)	Produkcja fosforu w odchodach Phosphorus production from animal excreta (%)
Bydło Cattle	3 103,30 ¹⁾ 2 530,76 ²⁾	169 905,68 138 559,11	33 981,14 27 711,82	56,88 38,75	60,53 34,90
Trzoda chlewna Pigs	10 661,90 13 866,92	107 797,14 140 194,56	15 332,88 19 968,36	36,08 39,21	27,31 25,15
Owce Sheep	17,14 3,00	150,17 26,28	13,27 2,31	0,05 0,01	0,02 0,00
Konie Horses	128,57 48,82	6 921,96 2 628,47	1 138,02 426,06	2,32 0,74	2,03 0,54
Drób Poultry	25 000 136 000	13 957,60 76 160,42	5 670,28 31 280,00	4,67 21,30	10,10 39,40
Razem Total		298 732,55 357 568,42	56 135,57 79 394,55	100 100	100 100

1) 1996 rok – year

2) 2002 rok – year

Tabela 10
Table 10

Wynoszenie azotu i fosforu ze zlewni zbiornika Gołuchów w płonach roślin uprawnych (kg rok⁻¹) [Dąbrowska 2004]
Uptake of nitrogen and phosphorus with crop for the catchment of Gołuchów reservoir (kg year⁻¹) [Dąbrowska 2004]

Roślina uprawna Cultivated plant	Pobór azotu Nitrogen uptake (kg·Mg ⁻¹)	Pobór fosforu Phosphorus uptake (kg·Mg ⁻¹)	Powierzchnia uprawy Arable surface (% gruntów ornych) (% of arable land)	Powierzchnia uprawy Arable area (ha)	Plony Yield (q ha ⁻¹)	Wynoszenie azotu w płonach Nitrogen uptake with crop (kg rok ⁻¹) (kg year ⁻¹)	Wynoszenie fosforu w płonach Phosphorus uptake with crop (kg rok ⁻¹) (kg year ⁻¹)
Pszennica Wheat	17,00	3,23	21,0 28,0	1 771,81 2 362,42	37 42	111 446,97 168 676,50	21 174,93 32 048,54
Żyto Rye	13,35	3,06	12,0 13,0	1 012,46 1 096,84	26 26,5	35 129,46 38 803,32	8 055,16 8 894,24
Inne zboża Other cereals	15,73	3,15	29,0 26,1	2 446,79 2 202,11	32 34	123 122,37 117 773,20	24 624,47 23 584,59
Kukurydza Maize	13,18	2,89	4,0 4,0	337,49 337,49	50 55	22 232,02 24 464,51	4 876,70 5 364,37
Ziemniaki Potatoes	3,37	0,63	16,0 14,2	1 349,95 1 198,08	180 198	81 888,09 79 943,25	15 308,46 14 944,88
Buraki cukrowe Sugar beets	5,78	0,82	4,0 2,7	337,49 227,80	380 471	74 125,86 62 017,01	10 516,13 8 798,26
Pastewne Fodder crops	5,00	0,65	4,0 3,8	337,49 320,61	100 110	16 874,40 17 633,75	2 193,67 2 292,39
Warzywa Vegetables	5,10	0,81	3,0 4,5	253,12 379,67	180 195	23 236,05 37 758,58	3 698,44 5 996,95
Inne Other	17,00	1,24	7,0 3,7	590,60 312,18	25 27,5	25 100,67 14 594,25	1 830,07 1 064,52
Łąki i pastwiska Meadows and pastures	23,00	3,00	4,0 (% pow. zlewni) 4,0 (% of catchment area)	427,20 427,20	50 55	49 128,00 54 040,80	6 408,00 7 048,80
Razem Total						562 283,90 615 705,16	98 686,03 110 037,54

Tabela 11

Table 11

Bilans netto azotu i fosforu dla zlewni zbiornika Gołuchów [Dąbrowska 2004]
 Nitrogen and phosphorus net balance for the catchment of Gołuchów reservoir [Dąbrowska 2004]

Element bilansu Balance element	Azot Nitrogen (kg rok ⁻¹) (kg year ⁻¹)	Fosfor Phosphorus (kg rok ⁻¹) (kg year ⁻¹)	Azot Nitrogen (kg ha ⁻¹ rok ⁻¹)* (kg ha ⁻¹ year ⁻¹)*	Fosfor Phosphorus (kg ha ⁻¹ rok ⁻¹)* (kg ha ⁻¹ year ⁻¹)*
Nawozy mineralne Mineral fertilizers	505 270,80 576 186,00	67 724,02 73 929,10	57,00 65,00	7,64 8,34
Odchody zwierząt gospodarskich Breeding animal excreta	209 112,78 250 297,90	56 135,57 55 576,19	23,59 28,24	6,33 6,27
Wynoszenie w plonach roślin Uptake with crop	-562 283,90 -615 705,20	-98 686,03 -110 037,50	-63,43 -69,46	-11,13 -12,41
Opady Precipitation	177 288,00 177 288,00	—	20,00 20,00	—
Razem Total	329 387,68 388 066,70	25 173,56 19 467,74	37,16 43,78	2,84 2,20

* w przeliczeniu na hektar użytków rolnych – converted per hectare of agricultural lands

Na podstawie obliczeń określono, że nadwyżka azotu ze źródeł rolniczych wynosi ok. 40 kg N·ha⁻¹·rok⁻¹, a fosforu 2,50 kgP·ha⁻¹·rok⁻¹.

Z badań przeprowadzonych przez Szponara i innych [1996] wynika, że wartości uzyskiwane w bilansie dla byłego województwa kaliskiego są o około 15–20% wyższe od średniej krajowej.

W porównaniu z rokiem 1996 – w 2002 r. nie zauważono znaczących zmian w strukturze użytkowania gruntów i strukturze zasiewów. Pogłowie bydła zmniejszyło się, a trzody chlewnej wzrosło, ponad czterokrotnie wzrosła ilość sztuk drobiu, natomiast znacznie zmniejszyło się pogłowie owiec i koni. Zużycie nawozów sztucznych było w 2002 r. o ok. 12% wyższe dla nawozów azotowych i ok. 6% wyższe dla nawozów fosforowych niż w 1996 roku. Plony głównych roślin uprawnych były w 2002 r. o ok. 10% wyższe niż w 1996 r. [Dąbrowska 2004].

Głównym źródłem przychodu azotu i fosforu w zlewni są nawozy mineralne, w źródłach z produkcji zwierzęcej dominują bydło i trzoda chlewna. Wynoszenie badanych substancji następuje głównie w plonach zbóż.

Z analizy wynika, że buraki cukrowe to roślina, która pobiera najwięcej biogenów z hektara; należy podkreślić, że wymagają one jednak dużo większego, od średniego przyjętego do bilansu, nawożenia (70–150 kg N) i są roślinami, spod których bardzo dużo substancji jest wynoszonych do wód powierzchniowych. Są jednoroczne, nie pokrywają gleby zimą, gdy spływ jest największy, latem pokrycie też nie jest na tyle duże, aby chroniło glebę. Duże ilości azotu i fosforu pobierają także użytki zielone, które pod względem ochrony wód mają niższe wskaźniki wnoszenia azotu i fosforu do zlewni, są

wieloletnimi uprawami, dobrze pokrywającymi powierzchnię gleby zarówno zimą, jak i latem. Dla uzyskania dobrych efektów ekonomicznych, czyli wysokiego plonu siana, wymagają również wysokiego poziomu nawożenia.

Wyniki bilansu azotu i fosforu nie są miarą zanieczyszczenia wód powierzchniowych, pokazują jedynie potencjalne, możliwe źródła substancji. Nie uwzględnia się tu warunków glebowych, klimatycznych, praktyk rolniczych [Pau Vall i Vidal 1999]. Będące w nadmiarze substancje mogą ulegać przemianom chemicznym, takim jak ulatnianie do atmosfery, wymywanie do wód gruntowych, dostawanie się do wód powierzchniowych w wyniku erozji gleb. Bilans pozwala na określenie głównych źródeł biogenów pochodzenia rolniczego, na podstawie których można rozpocząć działania ochronne, np. zmianę użytkowania gruntów lub restrukturyzację produkcji zwierzęcej.

Duża nadwyżka biogenów na badanym obszarze, przy stosunkowo korzystnych właściwościach gleb – średniej przepuszczalności utrudniającej wymywanie i braku nasilonych zjawisk erozyjnych – powoduje, że ilość biogenów wymywanych do wód – $3,50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ i $0,16 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ – na tle wartości średnich dla Polski nie jest duża. Zastosowanie optymalnych praktyk agrotechnicznych może wpłynąć na dodatkowe zmniejszenie ilości wymywanych biogenów.

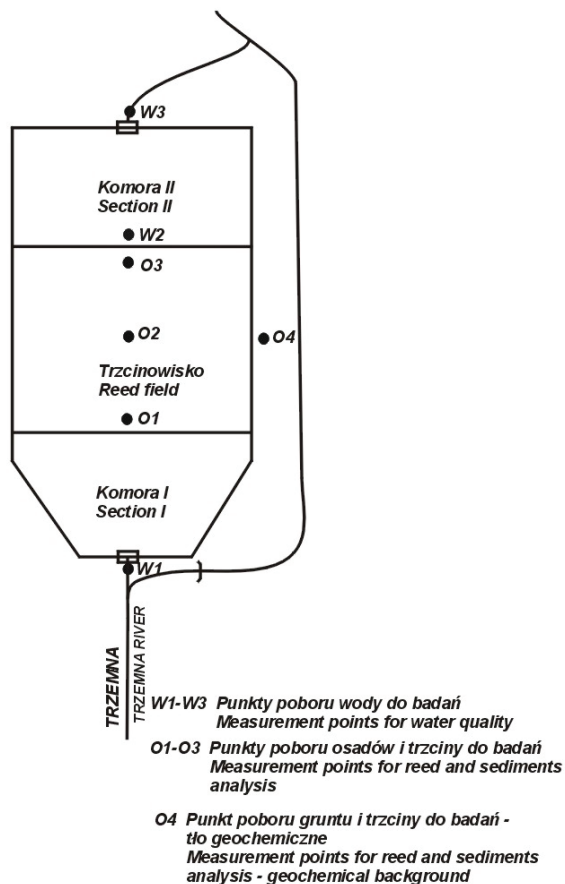
9. CHARAKTERYSTYKA I OCENA DZIAŁAŃ REKULTYWACYJNYCH PODJĘTYCH W ZLEWNI ZBIORNIKA GOŁUCHÓW

9.1. OSADNIK EKOLOGICZNY

Osadnik wybudowano w 1994 r. na głównym dopływie zbiornika – rzece Trzemnie, powyżej zbiornika w miejscowości Czerminek. Ma on powierzchnię 1 ha i objętość 8 000 m³. Składa się z komory I o średniej głębokości 1,25 m, biofiltru trzcinowego o średniej głębokości 0,50 m oraz komory II o średniej głębokości 1,50 m (rys. 4). Długość osadnika ma 130 m, szerokość – 80 m, złożę trzcinowe zajmuje ok. 40% powierzchni. Zgodnie z założeniami projektu trzcina powinna spełniać rolę filtra biologicznego, na którym ma zachodzić częściowa redukcja stężenia biogenów. W schemacie działania osadnika założono też rozwój glonów w komorze I, powodujący redukcję związków biogenych. W zbiorniku częściowo powinno też dochodzić do sedymentacji osadów [Fierek 1994a i b, Pianka i Zaborowska 1994, 1990]. Osadnik wykorzystywany jest od wczesnej wiosny do jesieni. Zamknięta na stałe na ten okres zastawka kieruje cały przepływ wód rzeki Trzemny przez osadnik ekologiczny. Powoduje to niekontrolowane przejścia przez osadnik wód wezbraniowych, które naruszają stabilność osadów, a także powodują zniszczenia w samym osadniku. Zgodnie z zaleceniami [Żbikowski i Żelazo 1993] część wód wezbraniowych należy kierować kanałem obiegowym do zbiornika głównego z pominięciem osadnika.

Przeprowadzone w latach 2000–2002 badania terenowe wykazały, że w części porośniętej trzcina nurt wody wytworzył koryto, którym woda przepływa bezpośrednio z komory I do II, co prawie całkowicie wyeliminowało oczyszczanie na biofiltrze. Powierzchnia części porośniętej trzcina przy obciążeniu azotem rzędu 5–10 mg·dm⁻³ oraz przepływie 0,1 m³/s powinna wynosić ok. 30 000 m² [Mioduszewski 1999]. Dla badanego złoża przepływ jest znacznie wyższy, a jego powierzchnia to zaledwie 4000 m².

Obliczony dla osadnika czas przebywania wody dla przepływu średniego letniego $Q_{s-let}=0,19 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ wynosi 0,49 doby, a dla średniego rocznego $Q_{sr}=0,37 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ – 0,25 doby. W rzeczywistości po uwzględnieniu stref „martwych” zbiornika wartości te są jeszcze niższe. Czas ten jest zdecydowanie za krótki, aby w osadniku ekologicznym następował rozwój planktonu i procesy charakterystyczne dla zbiorników wstępnych [Żbikowski i Żelazo 1993]. W takich warunkach zachodzić może jedynie sedymentacja niektórych frakcji rumowiska. Nawet po usunięciu wyrwy w trzciniowisku, przy czasie przebywania rzędu 0,5 dnia można się spodziewać maksymalnie 15% redukcji stężenia biogenów [Benndorf i Pütz 1997, Prochal 1987].



Rys. 4. Osadnik ekologiczny
Fig. 4. The preliminary sedimentation tank

W 2002 roku przeprowadzono badania jakości wody i stopnia redukcji stężeń zanieczyszczeń w osadniku ekologicznym. Wyniki przedstawiono w tabeli 12. W miesiącach, gdy efektywność oczyszczania powinna być najwyższa, nie stwierdzono znaczącego wpływu działania osadnika ekologicznego na jakość wody. Niezadowalające wyniki badań w 2002 r. można tłumaczyć zarówno wymienionymi powyżej błędami konstrukcyjnymi, jak i wytworzeniem się wyrwy w trzcinowisku.

Udostępnione przez WIOŚ wyniki analiz wód, przedstawione w tabeli 13, potwierdzają fakt, że osadnik ekologiczny od chwili wybudowania nie działa sprawnie. Zarówno badania własne, jak i przeprowadzone przez WIOŚ nie wskazują na tendencję do wyraźnej redukcji stężeń biogenów i zawiesin. Po przejściu przez zbiornik maleje stężenie mineralnych form biogenów, natomiast stężenie form całkowitych utrzymuje się

na podobnym poziomie lub nieznacznie się zmniejsza, świadczy to o przemianie w osadniku form mineralnych w organiczne. Materia organiczna nie ulega sedymentacji, tylko dostaje się do zbiornika głównego.

W ostatnim badaniu wyraźne obniżenie się stężenia azotanów, przy jednoczesnym wzroście stężenia azotu amonowego i niskim stężeniu tlenu, potwierdza zachodzącą w zbiorniku denitryfikację [Łomotowski i Szpindor 1999], zaobserwowano też charakterystyczny dla tego zjawiska wzrost zasadowości na wylocie ze zbiornika. Ten rodzaj denitryfikacji jest niekorzystny, gdyż powoduje wzrost stężenia azotu amonowego.

W maju 2002 roku, w okresie gdy osadnik powinien pracować efektywnie, dokonano biologicznej oceny czystości wody w osadniku. Podstawę badań stanowił system saprobowości, w którym ocenia się stopień zanieczyszczenia na podstawie badania zbiorowisk organizmów wodnych. Prekursorami tej metody byli Kolkwitz i Marsson. Procesy zachodzące w wodzie na skutek zanieczyszczenia ściekami opisano za pomocą analizy ilościowej i jakościowej organizmów wodnych. Stworzono listę organizmów wskaźnikowych, charakterystycznych dla danej strefy saprobowości [Starmach i in. 1976].

Dzięki organizmom wskaźnikowym można scharakteryzować długoterminowe trendy w jakości wody. Zmiany w składzie gatunkowym i liczebności osobników nie są gwałtowne. Badanie biologiczne daje obraz jakości wody w określonym przedziale czasowym w przeciwieństwie do analizy chemicznej, która obrazuje stan w danej chwili i wykazuje dużą zmienność wskaźników w czasie.

Metodyka postępowania przy oznaczaniu: próbę wody ($1,5 \text{ dm}^3$) przesączono przez siatkę planktonową (gazę młynarską) do objętości 50 ml, z czego pobrano 1 ml do komory Kolkwitza-Marssona i oznaczono pod mikroskopem skład gatunkowy organizmów wskaźnikowych, określając częstotliwość występowania osobników według tabeli Pantle'go-Buck'a (tab. 14).

W komorze I osadnika występują liczniej przedstawiciele zooplanktonu (wioślarki, widłonogi). Obecność *Chironomusa* świadczy o znacznym zanieczyszczeniu wody substancjami biogennymi, jest on charakterystycznym mieszkańcem wód obciążonych ściekami. Znaleziono tu inne gatunki zooplanktonu, takie jak *Daphnia*, także są wskaźnikami wód troficznych. Do typowych przedstawicieli fitoplanktonu należą tutaj zieleńce i okrzemki. Dominuje fitoplankton charakterystyczny dla strefy mezosaprobowej [Kawecka i Eloranta 1994].

W komorze II dominuje fitoplankton. Znaleziono tu 16 gatunków organizmów, wśród których najliczniej występują okrzemki. Obecność euglenin świadczy o zanieczyszczeniu substancjami organicznymi, a zieleńce – o zasobności wód w fosfor [Chełmicki 2001]. Większość organizmów to fitoplankton charakterystyczny dla strefy mezosaprobowej, pojawiły się tutaj również gatunki złotowiciowców preferujących wody czyste. Znacznie mniejsza liczebność gatunków zooplanktonu występujących w wodach zanieczyszczonych świadczy o nieco lepszej jakości wody w II części zbiornika (tab. 15).

Osady denne także są cennym źródłem informacji, na ich podstawie można ocenić stopień antropopresji, są odzwierciedleniem procesów zachodzących zarówno w samym zbiorniku, jak i w jego zlewni. Charakterystycznymi zanieczyszczeniami służącymi do takiej oceny są metale ciężkie i biogeny.

Tabela 12
Table 12

Badania jakości wody dla osadnika ekologicznego wykonane w 2002 r.
Analysis of water quality in preliminary sedimentation tank conducted in 2002 year

Data poboru Sampling date	Miejsce poboru próby Sampling site	Azotany Nitrates mg NO ₃ · dm ⁻³	Azotyny Nitrites mg NO ₂ · dm ⁻³	Azot amonowy Ammonium nitrogen mgNH ₄ · dm ⁻³	Fosforany Phosphates mg PO ₄ · dm ⁻³	Temperatura wody Water temperature (°C)
17.05.2002	w1*	41,17	0,286	0,45	1,88	19
17.05.2002	w2	40,73	0,460	0,39	1,43	19
17.05.2002	w3	40,73	0,411	0,41	1,27	19
14.06.2002	w1	37,19	0,220	0,13	0,81	21
14.06.2002	w2	36,74	0,095	0,13	0,78	21
14.06.2002	w3	36,30	0,112	0,09	0,79	21
14.07.2002	w1	11,95	0,168	0,28	0,80	24
14.07.2002	w2	11,07	0,330	0,80	0,88	24
14.07.2002	w3	5,76	0,177	0,58	1,05	24

*położenie punktów poboru prób w1, w2, w3 pokazano na rysunku 4
the location of the measurement points w1, w2, w3 is shown in Fig. 4

Tabela 13
Table 13

Badania jakości wody dla osadnika ekologicznego wykonane w latach 1995–1999 przez WIOŚ
Water quality in preliminary sedimentation tank in 1995–1999 after WIOŚ

Data poboru Sampling date	Miejsce poboru próby Sampling site	N-NH ₄ mg N·dm ⁻³	N-NO ₂ mg N·dm ⁻³	N-NO ₃ mg N·dm ⁻³	N _{og} ** mg N·dm ⁻³	N mg N·dm ⁻³	P-PO ₄ mg P·dm ⁻³	P mg P·dm ⁻³	O ₂ mg O ₂ ·dm ⁻³	BZT ₅ mg O ₂ ·dm ⁻³	Zawiesina ogólna Suspended matter mg·dm ⁻³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20.06.1995	Trzenna przed osadnikiem										
	Trzenna river in front of the preliminary sedimentation tank	–	0,116	3,30	2,08	5,50	–	0,15	10,1	6,5	–
	Trzenna za osadnikiem										
10.06.1996	Trzenna river behind the preliminary sedimentation tank	–	0,149	2,60	1,88	5,60	–	0,12	8,0	5,1	–
	Trzenna przed osadnikiem										
	Trzenna river in front of the preliminary sedimentation tank	–	0,88	8,29	2,22	11,37	0,29	1,00	8,5	15,3	–
	Trzenna za osadnikiem										
	Trzenna river behind the preliminary sedimentation tank	–	0,54	7,68	2,15	10,37	0,36	1,20	8,5	7,8	–

Tabela 13 cd.
Table 13 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
26.05.1997	Trzenna przed osadnikami Trzenna river in front of the preliminary sedimentation tank	1,81	0,069	1,07	2,50	3,34	0,46	0,67	11,7	13,2	24
	Trzenna za osadnikami Trzenna river behind the preliminary sedimentation tank	2,04	0,041	0,45	2,20	2,99	0,31	0,60	7,7	9,8	19
	Trzenna przed osadnikami Trzenna river in front of the preliminary sedimentation tank	<*	0,383	3,70	1,20	5,28	0,28	0,28	7,5	5,9	9
15.09.1997	Trzenna za osadnikami Trzenna river behind the preliminary sedimentation tank	<	0,033	2,55	1,70	4,28	0,16	0,28	8,7	<	9

Tabela 13 cd.
Table 13 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
29.06.1999	Trzenna przed osadnikami Trzenna river in front of the preliminary sedimentation tank	<	0,086	9,15	0,96	10,19	0,28	0,32	8,9	<	3
	Trzenna za osadnikami Trzenna river behind the preliminary sedimentation tank	<	0,463	6,53	1,26	8,25	0,16	0,21	9,8	4,9	3
	Trzenna przed osadnikami Trzenna river in front of the preliminary sedimentation tank	<	0,233	5,5	1,3	7,03	0,82	0,85	4,1	3,1	<
28.09.1999	Trzenna za osadnikami Trzenna river behind the preliminary sedimentation tank	0,87	0,070	1,9	1,7	3,67	0,39	0,43	5,7	3,3	8

* < poniżej dolnej granicy oznaczalności – below indication threshold

** $N_{\text{og}} = N_{\text{og}} + N_{\text{NH4}}$

Tabela Pantle'go-Buck'a [materiały wewnętrzne WIOŚ]
Pantle&Buck Table [internal guidance document of WIOŚ]

Szacunkowe określenie częstości występowania Estimated frequency of occurrence	Łączna liczba osobników w preparacie Total number of specimen in slide
sporadycznie occasionally	1
rzadko sparsely	2–3
niezbyt często not very frequently	4–10
często frequently	11–20
bardzo często very frequently	21–40
masowo mass occurrence	41–100 i więcej 41–100 and more

W okresie zimy 2001/2002 pobrano do badań próbki osadów dennych z osadnika ekologicznego. Stwierdzono, że warstwa osadów zalegała jedynie pod trzcinowiskiem i miała miąższość ok. 10 cm. Z warstwy osadów w 3 punktach pobrano próby do badań. W celu porównania wyników z grobli osadnika pobrano próbę gruntu, która służyła jako tło geochemiczne (rys. 4). Dla wszystkich prób określono skład granulometryczny metodą sitowo-areometryczną, gęstość właściwą oraz zawartość części organicznych zgodnie z normą PN-88 B-04481. Na tej podstawie określono nazwy gruntów według normy PN-86 B-02480. W laboratorium zbadano zawartość biogenów oraz metali ciężkich. Wyniki badań przedstawiono w tabelach 16 i 17.

Z przeprowadzonych badań wynika, że na początku trzcinowiska osady mają większą zawartość części organicznych, dużą wilgotność, składają się z materii organicznej i drobnych frakcji gruntu (głównie pyłowej), zawierają więcej biogenów i metali ciężkich. Dla dalej położonych punktów, w większości przypadków utrzymuje się tendencja do zmniejszania się zawartości poszczególnych pierwiastków oraz zawartości części organicznych, zwiększeniu ulega zawartość frakcji piaskowej. W porównaniu z próbką gruntu pobraną z grobli zbiornika osady wykazywały wyraźnie wyższą zawartość oznaczanych pierwiastków, wyższą zawartość części organicznych, a co za tym idzie – mniejszą gęstość właściwą i zawartość suchej masy.

Dla określenia stopnia zanieczyszczenia osadów dennych metalami ciężkimi porównano otrzymane wyniki z badaniami Bojakowskiej i Sokołowskiej [1998], które jako pierwsze w Polsce zaproponowały klasyfikację osadów wodnych na podstawie kryteriów geochemicznych (tab. 18).

Wyniki analizy ilościowej i jakościowej organizmów wodnych zbiornika ekologicznego
Quantitative and qualitative analysis of aquatic organisms from the preliminary sedimentation tank

Garunek – rodzaj Species – genus	Przynależność systematyczna Taxonomy	Częstość występowania Frequency of occurrence
Komora I osadnik – Section I of the preliminary sedimentation tank		
<i>Cyclops strenuus</i> (forma dorosła)	<i>Copepoda</i> (widłonogi)	często – frequently
<i>Daphnia pulex</i>	<i>Cladocera</i> (wiosłarki)	niezbyt często not very frequently
<i>Daphnia magna</i>	<i>Cladocera</i>	niezbyt często not very frequently
<i>Closterium strigosum</i>	<i>Chlorophyta-conjugatae</i> (zelenice)	rzadko – sparsely
<i>Nitzschia palea</i>	<i>Diatomae</i> (okrzemki)	niezbyt często not very frequently
<i>Navicula cryptocephala</i>	<i>Diatomae</i>	niezbyt często not very frequently
<i>Navicula rhynchocephala</i>	<i>Diatomae</i>	niezbyt często not very frequently
<i>Pediastrum boryanum</i>	<i>Chlorophyta-chlorococcineae</i>	rzadko – sparsely
<i>Chironomus plumosus</i>	<i>Diptera</i> (muchówki)	rzadko – sparsely
<i>Corixa sp.</i>	<i>Heteroptera</i> (owady)	rzadko – sparsely
Komora II osadnika – Section II of the preliminary sedimentation tank		
<i>Cyclops strenuus</i> (forma larwalna – larwa)	<i>Copepoda</i>	rzadko – sparsely
<i>Closterium strigosum</i>	<i>Chlorophyta</i>	rzadko – sparsely
<i>Euglena splendens</i>	<i>Euglenophyceae</i> (eugleniny)	rzadko – sparsely
<i>Synura petersentii</i>	<i>Chrysophyceae</i> (złotowiciowce)	rzadko – sparsely
<i>Synura uvella</i>	<i>Chrysophyceae</i>	rzadko – sparsely
<i>Navicula cryptocephala</i>	<i>Diatomae</i>	często – frequently
<i>Navicula rhynchocephala</i>	<i>Diatomae</i>	często – frequently
<i>Nitzschia palea</i>	<i>Diatomae</i>	często – frequently
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	<i>Chlorophyta-chlorococcineae</i>	często – frequently
<i>Pediastrum boryanum</i>	<i>Chlorophyta-chlorococcineae</i>	często – frequently
<i>Achnanthes lanceolata</i>	<i>Diatomae</i>	niezbyt często not very frequently
<i>Navicula hungarica</i>	<i>Diatomae</i>	niezbyt często not very frequently
<i>Amphora ovalis</i>	<i>Diatomae</i>	niezbyt często not very frequently
<i>Pediastrum duplex</i>	<i>Diatomae</i>	niezbyt często not very frequently
<i>Pandorina morum</i>	<i>Chlorophyta-volvocineae</i>	niezbyt często not very frequently
<i>Cryptomonas erosa</i>	<i>Cryptophyceae</i> (kryptofity)	niezbyt często not very frequently

Tabela 16
Table 16

Zawartość pierwiastków biogennych oraz metali ciężkich w osadach ze zbiornika ekologicznego
Content of nutrients and heavy metals in sediments from the preliminary sedimentation tank

Miejsce poboru próby Sampling site	N g·kg ⁻¹ s.m.	P g·kg ⁻¹ s.m.	K g·kg ⁻¹ s.m.	Cr mg·kg ⁻¹ s.m.	Zn mg·kg ⁻¹ s.m.	Cu mg·kg ⁻¹ s.m.	Ni mg·kg ⁻¹ s.m.	Pb mg·kg ⁻¹ s.m.	Cd mg·kg ⁻¹ s.m.
Początek trzcinowiska Entry of reed field	5,030	1,995	4,794	23,90	86,14	16,65	16,36	26,92	0,276
Środek trzcinowiska Center of reed field	1,828	0,621	1,260	11,40	30,92	6,196	6,757	10,00	0,203
Koniec trzcinowiska End of reed field	1,328	0,654	1,067	10,40	29,31	6,411	10,08	10,33	0,123
Tło geochemiczne (próba gruntu z grobli) Background (soil from mbankment)	0,343	0,184	0,896	8,666	16,72	4,841	6,450	6,79	0,103

Wybrane właściwości osadów z osadnika ekologicznego
 Characteristics of sediments from the preliminary sedimentation tank – selected properties

Miejsce poboru próby Sampling site	Zawartość części organicznych Organic content (%)	Sucha masa Dry mass (%)	Gęstość właściwa Density of solid particles Mg·m ⁻³	Wilgotność naturalna Natural water content (%)	Rodzaj gruntu Soil type	Zawartość poszczególnych frakcji Grain size distribution (%)		
						0.002 ≥ d	0.05 ≥ d > 0.002	2 ≥ d > 0.5
Początek trzcinowiska Entry of reed field	14,91	33,10	2,47	191,79	Пп	7	52	41
Środek trzcinowiska Center of reed field	5,36	59,60	2,58	64,38	Pg	7	28	65
Koniec trzcinowiska End of reed field	4,31	61,40	2,60	53,34	Pg	7	25	68
Tło (próba gruntu z grobli) Background (soil from embankment)	2,56	82,70	2,66	21,62	Pg	7	22	71

Klasyfikacja osadów wodnych na podstawie kryteriów geochemicznych
[Bojakowska i Sokołowska 1998]
Classification of sediments based on geochemical criteria [Bojakowska and Sokołowska 1998]

Składnik Element	Tło geochemiczne Background (ppm)	Klasa czystości – Quality class		
		I (ppm)	II (ppm)	III (ppm)
Ag	< 0.5	< 2	< 5	< 10
As	< 5	< 10*	< 20	< 50
Ba	< 51	< 100**	< 300	< 500
Cd	< 0.5	< 1	< 5	< 20
Co	2	< 10	< 20	< 50
Cr	5	< 20	< 100	< 500
Cu	6	< 20	< 100	< 200
Hg	< 0,05	< 0,1	< 0,5	< 1,0
Ni	5	< 30	< 50	< 100
Pb	10	< 50	< 200	< 500
Zn	48	< 200	< 1000	< 2000

* dla osadów jeziornych – for lake deposit 15 ppm, ** dla osadów jeziornych – for lake deposit 150 ppm,

Analizując otrzymane wyniki (tab. 16) wg klasyfikacji (tab. 18), można stwierdzić, że zawartość cynku, miedzi, niklu, ołowiu i kadmu we wszystkich próbach nie przekracza wartości granicznych dla I klasy czystości. Zawartość chromu w próbce z początku trzcinowiska jest podwyższona i charakterystyczna dla klasy II. Wynika z tego, że osady nie skumulowały w sobie dużej ilości metali ciężkich.

W porównaniu z badaniami innych autorów [Kajak 1998, Sobczyński i in. 1996, Lis i Piaseczna 1995, Zachowicz i Uścińowicz 1995] osady zbiornika ekologicznego charakteryzują się bardzo niską zawartością kadmu, niską zawartością azotu i fosforu. Zawartość pozostałych metali ciężkich także nie jest wysoka. Kadm jest zanieczyszczeniem charakterystycznym dla pól nawożonych nawozami fosforowymi, jest pierwiastkiem łatwo ługowanym i ruchliwym, jego niewielka zawartość w osadach potwierdza tezę o znikomym wymywaniu nawozów fosforowych z pól na badanym obszarze. Niewielka zawartość biogenów w osadach świadczy o złym funkcjonowaniu osadnika.

Ze zbiornika ekologicznego, ze środka trzcinowiska w maju 2002 r. pobrano próbki trzciny pospolitej (*Phragmites communis*) do badań, jako tło pobrano – podobnie jak w badaniach osadów – próbę roślin z grobli. Rośliny zbadano w okresie najintensywniejszej akumulacji biogenów i innych pierwiastków [Kajak 1998], do badań pobrano nadziemne części roślin. Podczas pobierania prób postępowano zgodnie z zaleceniami Ostrowskiej i innych [1991]. W laboratorium określono zawartość pierwiastków biogenych oraz metali ciężkich, wyniki przedstawiając w tabeli 19.

Tabela 19
Table 19Zawartość pierwiastków biogennych oraz metali ciężkich w trzcinie ze zbiornika ekologicznego
Content of nutrients and heavy metals in the reed from preliminary sedimentation tank

Pierwiastek Element	Próba – Sample		Trzcina z osadnika/trzcina z grobli z osadnika/trzcina z grobli Reed from preliminary sedimentation tank / Reed from preliminary sedimentation tank (background)	Grunt z osadnika/grunt z grobli Soil from preliminary sedimentation tank/soil from embankment	Trzcina z osadnika/osad z osadnika/osad preliminary sedimentation tank/sediment	Trzcina z grobli/grunt z grobli Reed from embankment/soil from embankment
	Trzcina z osadnika Reed from preliminary sedimentation tank	Trzcina z grobli (tło) Reed from embankment (background)				
N g·kg ⁻¹ s.m.	37,00	31,00	1,19	5,33	20,24	90,38
P g·kg ⁻¹ s.m.	3,78	3,21	1,18	3,38	6,08	17,45
K g·kg ⁻¹ s.m.	44,26	32,23	1,37	1,41	35,13	35,97
Cd mg·kg ⁻¹ s.m.	< 0,250	< 0,250	–	1,97	–	–
Cr mg·kg ⁻¹ s.m.	40,390	30,115	1,34	1,32	3,54	3,48
Cu mg·kg ⁻¹ s.m.	12,167	8,658	1,41	1,28	1,96	1,79
Ni mg·kg ⁻¹ s.m.	4,080	2,938	1,39	1,05	0,60	0,46
Pb mg·kg ⁻¹ s.m.	7,666	3,814	2,01	1,47	0,77	0,56
Zn mg·kg ⁻¹ s.m.	50,249	33,036	1,52	1,85	1,62	1,97

Z porównania zawartości biogenów w dwóch próbach trzciny wynika, że w próbie ze zbiornika zawartość azotu i fosforu jest ok. 18–19% wyższa, a potasu o ok. 37% wyższa niż w próbie pobranej z grobli. Mimo istotnych różnic w zawartości azotu i fosforu (odpowiednio 5,33 i 3,38 razy więcej w osadzie ze zbiornika) w podłożach, na których wzrastały rośliny (osad z osadnika i grunt z grobli), zawartość tych pierwiastków w samych roślinach nie różniła się tak znacznie. Zawartość metali ciężkich jest zdecydowanie podwyższona w trzcinie ze zbiornika, ołowiu jest 100% więcej niż w trzcinie z grobli, a pozostałych metali ciężkich od 34–52% więcej.

W porównaniu z próbą osadów, pobraną ze środka trzcinowiska, w trzcinie było znacznie więcej potasu i azotu, a z metali ciężkich w największych ilościach przenikał do roślin ołów.

Dla tak funkcjonującego zbiornika, z każdym usuniętym kilogramem suchej masy trzciny, na tym etapie wegetacji, można wycofać z obiegu 37 g azotu i 3,78 g fosforu, a wraz z usunięciem kilograma suchej masy osadów dennych – 1,828 g azotu i 0,621 g fosforu.

9.2. BARIERA BIOSTRUKTUR

Bariery z biostruktur założono początkowo (1994) w zatoce Jedlec, a następnie, po kilku miesiącach, w zatoce Czerminek.

Zastosowano bariery Bio-Hydro [Zbiornik... 1995]. Pojedynczy panel bariery ma wymiary 100×100×16 cm i składa się z pasków polipropylenowych o wymiarach 100×4×0,2 cm. Bariera składa się z paneli podwieszonych pod pływakami. Pływak to rura PCV o średnicy 110 mm i długości 5 m, wypełniona pianką poliuretanową. Połączone ze sobą pływaki tworzą rzędy. W przypadku zbiornika Gołuchów zastosowano barierę z trzech rzędów (I rząd 14 pływaków, II rząd 12 pływaków, III rząd 14 pływaków). Rzędy oddalone są od siebie o około 5 m, każdy z rzędów jest zakotwiony linami do balastów betonowych o wadze 20 kg. Konstrukcja jest elastyczna, tak aby nie była wrażliwa na zmiany położenia zwierciadła wody oraz zmienne prądy wody. Bariery muszą być na okres zimowy zanurzane, a po zejściu pokrywy lodowej wynurzane.

Niedoskonałość działania biostruktur potwierdzają przeprowadzone przez WIOŚ badania jakości wód. Wynika z nich, że podczas przepływu wody przez bariery nie obserwuje się redukcji stężenia biogenów. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 20.

Jakość wody przed i za biostrukturami w latach 1994–1997 (wybrane wskaźniki i analizy z badań WIOS)
Water quality in the front of and behind biobarriers 1994–1997 after WIOS (selected indexes and analysis)

Data poboru Date	Miejsce poboru próby Sampling site	NH ₄	mg N·dm ⁻³			N _{og} *	N	mg P·dm ⁻³		O ₂	BZT ₅
			NO ₂	NO ₃	NO ₃			PO ₄	P		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
27.06.1994	Zatoka Jedlec przed biostrukturami Jedlec Bay in the front of biobarriers	0,26	0,159	6,01	–	–	0,04	0,07	6,1	19	
	Zatoka Jedlec za biostrukturami Jedlec Bay behind biobarriers	0,26	0,153	6,27	–	–	0,03	0,08	5,9	20	
20.06.1995	Zatoka Jedlec przed biostrukturami Jedlec Bay in the front of biobarriers	–	0,089	1,68	3,60	5,4	–	0,28	13,7	11,1	
	Zatoka Jedlec za biostrukturami Jedlec Bay behind biobarriers	–	0,888	1,67	2,75	4,5	–	0,30	11,9	6,6	
10.06.1996	Zatoka Czerminiek przed biostrukturami Czerminiek Bay in the front of biostructures	0,40	0,010	0,10	2,84	2,9	0,10	0,53	12,8	14,5	
	Zatoka Czerminiek za biostrukturami Czerminiek Bay behind biostructures	0,40	0,009	0,10	2,27	2,4	0,12	0,47	15,7	8,6	
	Zatoka Jedlec przed biostrukturami Jedlec Bay in the front of biobarriers	0,40	0,009	0,06	2,08	2,2	0,11	0,24	14,6	11,3	
	Zatoka Jedlec za biostrukturami Jedlec Bay behind biobarriers	0,36	0,008	0,07	2,29	2,4	0,11	0,23	14,9	11,8	

Tabela 20 cd.
Table 20 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
26.05.1997	Zatoka Czerminiek przed biostrukturami Czerminiek Bay in the front of biobarriers	1,10	0,015	0,07	2,20	2,3	0,52	0,60	3,2	2,9
	Zatoka Czerminiek za biostrukturami Czerminiek Bay behind biobarriers	1,10	0,015	0,07	2,00	2,1	0,52	0,60	3,6	3,9
	Zatoka Jedlec przed biostrukturami Jedlec Bay in the front of biobarriers	1,10	0,015	0,06	2,40	2,5	0,55	0,64	4,1	4,0
	Zatoka Jedlec za biostrukturami Jedlec behind biobarriers	1,10	0,016	0,07	2,20	2,3	0,52	0,61	4,1	3,6
15.09.1997	Zatoka Jedlec przed biostrukturami Jedlec Bay in the front of biobarriers	0,67	0,130	0,74	2,20	3,1	0,36	0,65	8,2	8,0
	Zatoka Jedlec za biostrukturami Jedlec Bay behind biobarriers	0,80	0,130	0,73	2,40	3,3	0,39	0,67	8,2	5,2

* $N_{og} = N_{og} + N_{NH4}$

9.3. INSTALACJA AERACYJNA

Urządzenia napowietrzające typu Diflox-600, produkcji firmy Eko-Tech z Warszawy, zainstalowano w zbiorniku w 1994 roku.

Instalacja, składająca się z 2 baterii po 4 urządzenia diflox każda, została zamontowana tuż przy wieży przelewowej zbiornika. Wydajność jednego difloxa to 35–200 m³ powietrza na godzinę, z czego 20–60% tlenu zawartego we wtłaczanym powietrzu ulega rozpuszczeniu w wodzie.

Według założeń projektowych [Suplement... 1994] celem napowietrzania było doprowadzenie tlenu do warstw przydennych, zahamowanie wydzielania siarkowodoru i fosforu z osadów. Urządzenia diflox, oprócz samego napowietrzania, poprzez przepompowywanie wody powinny również wywołać cyrkulację wody w zbiorniku. W wyniku działania instalacji zakwity sinicowe miały przekształcić się w zakwity mniej szkodliwych zielenic. Sedymentacja glonów na dnie zbiornika powinna być wiązana z nieodwracalnym wycofaniem zawartych w nich biogenów z toni wodnej. Tymczasem działanie instalacji aeracyjnej pozostawia wiele do życzenia. Jej praca w znacznej mierze uwarunkowana jest dużym poborem, a zatem i kosztem energii elektrycznej oraz dojazdem obsługi technicznej.

Osady denne zgromadzone są na całej powierzchni zbiornika, mają znaczną grubość nawet w zatokach Czerminiek i Jedlec. Wpływ działania instalacji ogranicza się do niewielkiej powierzchni przy zaporze. Zakwity i obumieranie glonów następują na dużo większej powierzchni. Przeprowadzone po kilkudniowym napowietrzaniu badania w punkcie 1 przy zaporze, w bezpośrednim sąsiedztwie instalacji (tab. 3), wykazały, że deficyt tlenowy przy dnie szybko odnawia się, o ile w ogóle jest niwelowany. Urządzenia są zainstalowane na tyle wysoko, a nurt przepływającej do upustów dennych wody jest na tyle silny, że prawdopodobnie tlen nie dostaje się do samych osadów. Gdyby jednak działanie urządzenia było prawidłowe, zainstalowanie go w bezpośrednim sąsiedztwie upustów dennych stwarza niebezpieczeństwo podrywania osadów dennych przez difloxy i transportowania ich poprzez upusty denne do rzeki Trzemny.

Działanie instalacji aeracyjnej nie przynosi wymiernych efektów, deficyt tlenowy utrzymuje się, jakość wody nie ulega poprawie, nadal zakwitają masowo sinice z rodzajów *Microcystis* i *Aphanizomenon*.

10. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zbiornik w Gołuchowie jest typowym przykładem płytkiego nizinnego zbiornika zaporowego. Charakteryzuje go duży stosunek powierzchni zlewni do powierzchni zbiornika i krótki czas retencji wody. Wahania zwierciadła wody utrudniają wytworzenie się pasa roślinności przybrzeżnej działającej jako strefa ochronna. Struktura zasiewów i użytkowania zlewni zbiornika jest bardzo niekorzystna, biorąc pod uwagę ochronę jakości wody. Zlewnia ma charakter rolniczy. Dominują tu grunty orne, niewielki procent powierzchni zajmują lasy i użytki zielone. Uprawiane są głównie zboża i rośliny okopowe, brak jest upraw wieloletnich, z których wymywanie biogenów jest dużo niższe. Zużycie nawozów sztucznych jest nieco wyższe od średniej krajowej. Na badanym terenie nie obserwuje się też większego zagęszczenia zakładów przemysłu rolno-spożywczego, brak jest innych gałęzi przemysłu. Warunki naturalne są korzystne dla jakości wód, nie występują tu zjawiska nasilonej erozji, średnioprzepuszczalne gleby stanowią pewną barierę ograniczającą wymywanie biogenów do wód podziemnych.

Podstawowy problem stanowi duża powierzchnia zlewni o nieuporządkowanej gospodarce ściekowej i gospodarce odpadami. Podjęte działania rekultywacyjne przy jednoczesnym braku działań ochronnych w zlewni nie przyniosły rezultatów. Duże zastrzeżenia budzą zastosowane metody rekultywacji. Ich nieskuteczność wynika zarówno ze złego doboru metod, błędów projektowych, jak i zaniedbań eksploatacyjnych. Zbiornik obciążony jest dużym ładunkiem biogenów i nawet przy sprawnie działających urządzeniach rekultywacyjnych nie jest możliwa ich redukcja do poziomu, który nie powoduje eutrofizacji.

Dużym zagrożeniem dla jakości wód są też zanieczyszczenia obszarowe. Ich ograniczenie wymaga działań w całej zlewni. Znaczące ograniczenie ładunków biogenów ze źródeł obszarowych do wartości, które nie zagrażają jakości wody, nie wydaje się możliwe do zrealizowania. Dla tak dużej powierzchni zlewni, nawet przy całkowitym poparciu społecznym i wysokich nakładach finansowych, skuteczność tych działań jest wątpliwa. Ładunek dopływających biogenów prawdopodobnie nadal będzie powodował eutrofizację.

Ogromna ilość biogenów zdeponowana jest w osadach dennych. Na skutek falowania, przy niewielkiej głębokości zbiornika, biogeny te są wprowadzane powtórnie do obiegu. Usunięcie osadów dennych w obecnej sytuacji finansowej administratora nie jest możliwe, jest też w dużym stopniu ryzykowne, nieumiejętnie przeprowadzone, może wywołać trudne do przecenienia negatywne skutki.

Jednym z teoretycznych, skutecznych rozwiązań mogłoby być wycofanie biogenów z dopływu tuż przed zbiornikiem, przy jednoczesnych działaniach ochronnych w zlewni bezpośredniej i usunięciu osadów dennych. Takie działanie jest jednak wysoce kosztowne i wymaga budowy instalacji na dwóch dopływach.

Poprzez przegrodzenie zanieczyszczonej rzeki Trzemny w końcowej części jej biegu utworzono zlewnię zbiornika o dużej powierzchni. Jego kształt i charakterystyka hydrologiczna wpłynęły dodatkowo na pogorszenie jakości zgromadzonej wody.

Przedstawione w niniejszej pracy wyniki badań i analiz pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Biogeny wprowadzane do wód zbiornika są głównie pochodzenia antropogenicznego: znaczącym źródłem azotu są zarówno rolnicze zanieczyszczenia obszarowe, jak i zanieczyszczenia punktowe z terenów nieskanalizowanych. Według szacunkowej oceny podstawowym źródłem fosforu – 86% – są zanieczyszczenia punktowe z terenów nieskanalizowanych. W porównaniu do wartości średnich, charakterystycznych dla Polski więcej biogenów wnoszonych jest do wód wraz ze ściekami, mniej jest wymywanych z gleb. Na terenie zlewni nie występują zjawiska nasilonej erozji. Z procesów naturalnych pochodzi znikoma ilość biogenów.

2. Kształt zbiornika i jego parametry hydrologiczne wpływają niekorzystnie na jakość zmagazynowanej wody. Ocena podatności zbiornika na degradację, dokonana na podstawie wybranych wskaźników morfometryczno-hydrograficzno-zlewniowych, wykazała, że zbiornik jest wyjątkowo podatny na degradację.

3. Wyniki przeprowadzonych badań własnych oraz analizy chemiczne wód udostępnione przez WIOŚ potwierdzają, że podjęte ponad 10 lat temu działania rekultywacyjne nie przynoszą założonych efektów.

4. Zła jakość wód, będąca wynikiem wysokiego stężenia biogenów, zachodzących w zbiorniku procesów wydzielania siarkowodoru z osadów dennych, deficytu tlenowego w warstwie przydennej, corocznych zakwitów sinicowych, świadczy o głęboko zaawansowanym procesie eutrofizacji zbiornika. W obecnych warunkach technicznych i ekonomicznych nie należy spodziewać się znaczącej poprawy jakości wody.

11. PIŚMIENNICTWO

- Abel P.D.: 1989. *Water Pollution Biology*, Ellis Horwood Limited, UK, Chichester.
- Babin J., Prepas E., Murphy T., Hamilton H.: 1989. A test of the effects of lime on algal biomass and total phosphorus on concentrations in Edmonton stormwater retention lakes *Lake and Reservoir Management*, 5(1).
- Barroin G.: 1992. La réhabilitation des plans d' eau, *La Recherche*, nr 238, 1991, przedruk : Rekultywacja zbiorników wodnych, *Ekopartner* nr 11 (13).
- Benndorf J., Pütz K.: 1997. Control of eutrophication of lakes and reservoirs by means of pre-dams, I. Mode of operation and calculation of the nutrient elimination capacity, *Water Resources*, vol. 21, no. 7.
- Benndorf J., Recknagel F., Schultz H.: 1984. Food-web manipulation for a man-made lake (Bautzen reservoir), *Land management and impact assessment in developing countries*, VI(3), Dresden.
- Bernhardt H., Schell H.: 1982. Energy-input-controlled direct filtration to control progressive eutrophication, *J. Am. Water Works Assoc.*
- Björk S.: 1985. Scandinavian lake restoration activities, *Lakes Pollution and Recovery*, European Water Pollution Control Association, Int. Congress, Rome.
- Błażejowski R.: 1999. Zagospodarowanie obrzeży jezior jako forma ich ochrony przed nadmierną antropopresją, *Przegląd Komunalny*, 7–8 (94–95).
- Boczar J.: 1994. Uproszczone modele matematyczne eutrofizacji zbiorników wodnych, [w:] *Międzynarodowa Konferencja: Ochrona i Rekultywacja Zbiorników Wodnych*, Międzyzdroje.
- Bojakowska I., Sokołowska G.: 1998. Geochemiczne klasy osadów wodnych, [w:] *Przegląd Geologiczny*, vol. 46, nr 1.
- Cooke G., Welch E., Peterson S., Newroth P.: 1998. *Lake and Reservoir Restoration*, Butterworth Publishers, Stoneham.
- Chełmicki W.: 2001. *Woda, zasoby, degradacja, ochrona*, PWN, Warszawa.
- Chodań J., Grzesiuk W., Mirowski Z.: 1994. *Zarys gleboznawstwa i chemii rolnej*, PWN, Warszawa.
- Czamara W., Krężel J., Łomotowski J.: 1994. Wpływ retencji zbiornikowej na jakość wody powierzchniowej w zlewni Nysy Szalonej, *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Konferencje III*, t. 2, nr 246.
- Dannowski R., Steidl J., Mioduszewski W., Kajewski I.: 2002. GIS-based distributed analysis of subsurface nitrogen flow in the Odra Basin, *Journal of Water and Land Development*, No. 6, 2002: 91–104, Wydawnictwo IMUZ, Falenty.

- Dąbrowska J.: 2004. Wpływ czynników antropogenicznych na jakość zasobów wód powierzchniowych na przykładzie zlewni zbiornika Gołuchów, Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Nr 502, Inżynieria Środowiska XIII, Wrocław.
- DeMelo R., France R, McQueen D.: 1992, Biomanipulation: Hit or myth?, *Limnol. Oceanogr.*, 37(1).
- Dojlido J.: 1987. *Chemia wody*, Arkady, Warszawa.
- Encyklopedia PWN, www.encyklopedia.pwn.pl, : 2002. PWN, Warszawa.
- Eutrophication of Waters, Monitoring, Assessment and Control, :1982. OECD.
- Fast A., Lorenzen M.: 1976/ Synoptic Survey of Hypolimnetic Aeration, *J. Env. Engg. Div., ASCE*, 102.
- Fierek J.: 1994a. Zbiornik wodny Gołuchów, Instrukcja eksploatacji, Ostrów Wielkopolski.
- Fierek J.: 1994b. Zbiornik wodny Gołuchów, Operat wodnoprawny, Ostrów Wielkopolski.
- Fotyma M., Mercik S.:1995. *Chemia rolna*, wydanie 2, PWN, Warszawa.
- Galiczka W.: 1990. Bilans azotu i fosforu całkowitego Zbiornika Sulejowskiego w latach 1981–1987, Funkcjonowanie ekosystemów wodnych, ich ochrona i rekultywacja, Cz. I. Ekologia zbiorników zaporowych i rzek, Wydawnictwo SGGW-AR, Warszawa.
- Giercuszkiwicz-Bajtlik M., Szeligiewicz W., Uchmański J., Zadarnowska A.: 1991. Modele matematyczne prognozowania zmian jakości wód jezior sprawdzone dla warunków Polski, *Gospodarka Wodna*, nr 5.
- Giercuszkiwicz-Bajtlik M.: 1992. Program ochrony Zbiornika Sulejowskiego, [w:] *Gospodarka Wodna*, nr 9.
- GUS, www.stat.gov.pl, 23.07.2007
- Hino M.: 1994. *Hydraulic structures design manual 5: Water quality and its control*, A. A. Balkema, Netherlands, Rotterdam.
- Jankowski A.T., Rzętała M.: 1997. Zmiany ilościowo-jakościowe zbiorników wodnych w warunkach silnej antropopresji, [w:] *Gospodarka Wodna*, nr 4.
- Jańczak J., Kowalik A., Sziwa R.: 1999. Jeziora Pakoskie – degradacja i możliwości poprawy jakości ich wód, *Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior*, [w:] Choiński A., Jańczak J. (red.): 1999. *Konferencja Limnologiczna, Radzyń k. Sławy, 20–22 września 1999*, IMGW, Warszawa.
- Jańczak J.: 2002. Badania monitoringowe jezior w Polsce – potrzeba zmian, [w:] *Gospodarka Wodna*, 4.
- Jørgensen S.E., Johnsen I.: 1989. *Principles of Environmental Science and Technology*, Elsevier, Netherlands, Amsterdam.
- Kajak Z.: 1992. Płytki nizinny zbiornik zaporowy; specyfika funkcjonowania ekosystemu, *Problemy zanieczyszczenia i ochrony wód powierzchniowych – dziś i jutro*, [w:] *Materiały z Konferencji Naukowej, Poznań 16–19 IX 1991*, Wydawnictwo UAM, Poznań.
- Kajak Z.: 1995. Eutrofizacja nizinnych zbiorników zaporowych, [w:] Zalewski M. (red.) *Procesy biologiczne w ochronie i rekultywacji nizinnych zbiorników zaporowych*, praca pod redakcją M. Zalewskiego, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Łódź.

- Kajak Z.: 1998. Hydrobiologia – Limnologia, Ekosystemy wód śródlądowych, PWN, Warszawa.
- Kasprzak K.: 1999 Strategia ochrony jezior, [w:] Przegląd Komunalny, 7–8 (94–95).
- Kawecka B., Eloranta P.V.: 1994. Zarys ekologii glonów wód słodkich i środowisk lądowych, PWN, Warszawa.
- Klapper H.: 1991. Control of Eutrophication in Inland Waters, Ellis Horwood Limited, England.
- Kowalczak P., Farat R., Kępińska-Kasprzak M., Kuźnicka M., Mager P.: 1997. Hierarchia potrzeb obszarowych małej retencji, IMGW, Warszawa.
- Kudelska D., Cydzik D., Soszka H.: 1983. System oceny jakości jezior, Instytut Kształtowania Środowiska, Warszawa.
- Lis J., Piaseczna A.: 1995. Atlas geochemiczny Górnego Śląska w skali 1:200 000, PIG.
- Lossow K.: 1994. Doświadczenia krajowe w rekultywacji jezior i zbiorników wodnych, [w:] Międzynarodowa Konferencja: Ochrona i Rekultywacja Jezior i Zbiorników Wodnych, Międzyzdroje.
- Lossow K.: 1996. Rekultywacja jezior i zbiorników wodnych – dotychczasowe osiągnięcia, możliwości i perspektywy, [w:] II Konferencja Naukowo-Techniczna: Ochrona i Rekultywacja Jezior i Zbiorników Wodnych, Międzyzdroje.
- Lossow K.: 1998. Ochrona i rekultywacja jezior – teoria a praktyka, [w:] Idee Ekologiczne, Tom 13, Seria Szkice Nr 7, Bioróżnorodność w środowisku wodnym, Referaty plenarne XVII Zjazdu Hydrobiologów Polskich pod redakcją Marka Kraski, Sorus, Poznań.
- Lossow K., Gawrońska H.: 2000. Ochrona zbiorników wodnych, Przegląd metod rekultywacji jezior, Przegląd Komunalny, 9 (108).
- Łomotowski J., Szpindor A.: 1999. Nowoczesne systemy oczyszczania ścieków, Arkady, Warszawa.
- Mapa Glebowo-Rolnicza, Województwo kaliskie, 1:100 000, IUNG, 1986.
- Mastyński J. (red.): 1994. Program ochrony ekologicznej zlewni rzeki Ciemnej w woj. kaliskim, Biuro Projektów i Wdrożeń „PRO-AQUA”, Poznań.
- Michałkiewicz M., Fiszer M.: 1999. Charakterystyka, zagrożenia i monitoring jezior jako zbiorników wody użytkowej, Przegląd Komunalny, 7–8 (94–95).
- Mioduszewski W.: 1999. Ochrona i kształtowanie zasobów wodnych w krajobrazie rolniczym, Wydawnictwo Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych, Falenty.
- Mioduszewski W., Dannowski R., Deumlich D., Radczuk L., Olearczyk D., Kajewski I.: 2002. Ocena zanieczyszczenia obszarowego w dorzeczu Odry, Obieg Wody w Zmieniającym się Środowisku, [w:] Prace Instytutu Geografii AŚ w Kielcach 7.
- Mioduszewski W., Zdanowicz A., Dannowski R., Seidl J., Deumlich D., Radczuk L., Kajewski I.: 2000. Ocena ładunku azotu i fosforu ze źródeł rolniczych wnoszonego do rzek w zlewni Odry, [w:] Gospodarka Wodna, 11.
- Murphy T., Hall K., Northcote T.: 1988. Lime treatment of a hardwater lake to reduce eutrophication, Lake and Reservoir Management, 4(2).
- Nutrient Criteria Technical Guidance Manual–Lakes and Reservoirs, EPA-822-B00-001, April 2000.
- Ochrona Środowiska, GUS, Warszawa, 1999.

- OECD National Soil Surface Nitrogen Balances, Explanatory notes, OECD Secretariat, 2001.
- Olem H. Flock D.: 1990. Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual 2nd edition, EPA 440/4-90-006, US EPA.
- O'Neill P.: 1993. Environmental Chemistry, 2nd edition, Chapman & Hall, UK.
- Osmulska-Mróż B.: 1998. Metodyka opracowania programu gospodarki ściekowej i ochrony wód w zlewni rzeki, Ochrona jakości i zasobów wód, Zasady racjonalnej gospodarki wodą, [w:] VII Krajowa, I Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Zakopane-Kościelisko, 17–19 czerwca, Wydawnictwo PZITS, Kraków.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z.: 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
- O'Sullivan P.E., Reynolds C.S.: 2005. The Lakes Handbook, Vol. 2, Lake Restoration and Rehabilitation, Blackwell Science Ltd, Oxford, UK.
- Owen O.S., Chiras D.D.: 1990. Natural resource Conservation, Macmillian Publishing Company, New York.
- Pau Vall M., Vidal C.: Nitrogen in agriculture, European Commission, Agriculture, Environment, Rural Development, Facts and Figures. A Challenge for Agriculture, European Communities, Luxembourg (1999).
http://www.europa.eu.int/comm/agriculture/envir/report/en/nitro_en/report.htm
 (strona dostępna 17.03.2008 r.).
- Peterson S.: 1981. Sediment Removal as a Lake Restoration Technique, EPA 600/3-81-013, US EPA.
- Perrow M., Davy A.: 2002., Handbook of Ecological Restoration, Vol. 1 i 2, Cambridge University Press.
- Pianka S., Zaborowska G.: 1990. Zagrożenia i ochrona zbiorników wodnych w okresie eksploatacji na przykładzie woj. kaliskiego.
- Pianka S., Zaborowska G.: 1994. Rekultywacja zbiornika Gołuchów, materiały wewnętrzne Zarządu Melioracji i Urządzeń Wodnych w Kaliszu.
- PN-86 B-02480 Grunty Budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.
- PN-88 B-04481 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.
- Urząd Statystyczny w Kaliszu, Podstawowe dane statystyczne według miast i gmin za 1997 r., Kalisz, 1998.
- Urząd Statystyczny w Kaliszu, 1997. Powszechny spis rolny 1996, Kalisz.
- Prochal P.: 1987. Podstawy melioracji rolnych, Państwowe Wydawnictwo Rolne i Leśne, Warszawa.
- Raport o stanie środowiska w województwie kaliskim za 1995 rok, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Kaliszu, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Kalisz 1996.
- Raport o stanie środowiska w Wielkopolsce w latach 1997–1998, Inspekcja Ochrony Środowiska, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Poznaniu, Tom I i II, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Poznań 1999.
- Raport o stanie środowiska w Wielkopolsce w roku 1999, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Poznaniu, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Poznań 2000.

- Raport o stanie środowiska w Wielkopolsce w roku 2001, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Poznaniu, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Poznań 2002.
- Raport o stanie środowiska w Wielkopolsce w roku 2004, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Poznaniu, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Poznań 2005.
- Raport o stanie środowiska w Wielkopolsce w roku 2005, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Poznaniu, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Poznań 2006.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód, [Dz. U. z 2004r., Nr 32, poz. 284 nieobowiązujące].
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z 23 grudnia 2002 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać programy działań mających na celu ograniczenie odpływu azotu ze źródeł rolniczych, [Dz. U. z 2003 r., Nr 4, poz. 44].
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z 23 grudnia 2002 r. w sprawie kryteriów wyznaczania wód wrażliwych na zanieczyszczenie związkami azotu ze źródeł rolniczych, [Dz. U. z 2002 r., Nr 241, poz. 2093].
- Ryding S.O., Rast W.: 1989. The control of Eutrophication of Lakes and Reservoirs, The Parthenon Publishing Group, Park Ridge, NJ.
- Schleef K. H., Kleinhanß W.: 1994. Mineral balances in agriculture in the EU, Part I: The regional level, Institute of Farm Economics, Federal Agricultural Research Centre (FAL), Braunschweig.
- Scientific basis to mitigate the nutrient dispersion into the environment, Poland Agriculture and Water Quality Protection, Conference proceedings, Falenty IMUZ Publisher 2000.
- Shapiro J., Wright D.: 1984. Lake restoration by biomanipulations, Round Lake, Minnesota – the first two years, Freshwater Biology, 14.
- Sobczyński T., Zerbe J., Elbanowska H., Siepak J.: 1996. Badania chemiczne osadów dennych Jeziora Góreckiego w aspekcie oceny oddziaływania antropopresji, Ekologia i Technika, nr 2 (20).
- Sozański M.: 1999. Jeziora – monitoring, ochrona, rekultywacja i gospodarowanie wody, Przegląd Komunalny, 7–8 (94–95).
- Stan i wykorzystanie zasobów wód powierzchniowych Polski, IMGW, Seria: Gospodarka Wodna i Ochrona Wód, Warszawa – Kraków, 1996.
- Stan środowiska w Polsce, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, 1998.
- Steel J.: 1975. The management of Thames valley reservoir, Water Research Centre Symposium, The effects of storage on water quality, Medmenham.
- Suplement do rekultywacji zbiornika Gołuchów, Eko-Tech s.c., Warszawa, 1994.
- Szponar L., Pawlik-Dobrowolski J., Domagała R., Twardy S., Traczyk I.: 1996. Bilans azotu, fosforu i potasu w rolnictwie polskim, Instytut Żywności i Żywnienia, Warszawa.
- Starmach K., Wróbel S., Pasternak K.: 1976. Hydrobiologia, Limnologia, PWN, Warszawa.
- Szymańska H.: 1992. Ochrona wód przed rolniczymi zanieczyszczeniami przestrzennymi, Problemy zanieczyszczenia i ochrony wód powierzchniowych – dziś i jutro, Materiały z Konferencji Naukowej, Poznań 16–19 IX 1991, Wydawnictwo UAM, Poznań.

- Szyper H., Gołdyn R.: 1999., Rekultywacja zbiorników wodnych, Przegląd Komunalny, 7–8 (94–95).
- Szyper H., Gołdyn R.: 2000. Ochrona i rekultywacja zbiorników wodnych, IV Międzynarodowa Konferencja: Zaopatrzenie w Wodę, Jakość i Ochrona Wód, Kraków.
- Taylor R., Bogacka T., Makowski Z.: 1997. Emisja azotu i fosforu z obszaru Polski do wód powierzchniowych, Wiadomości Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Tom XX (XLI), Zeszyt 3.
- Twaróg B., Jarzabek A.: 1998. Model jakości wód powierzchniowych intensywnie użytkowanych rolniczo na przykładzie zlewni Czarnej Przemszy, Ochrona jakości i zasobów wód, Zasady racjonalnej gospodarki wodą, VII Krajowa, I Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Zakopane-Kościelisko, 17–19 czerwca, Wydawnictwo PZITS, Kraków.
- Urząd statystyczny w Kaliszu: 1998. Podstawowe dane statystyczne według miast i gmin za 1997 r., Roczniki statystyczne, Kalisz.
- Vandermeulen H.: 1992. Design of testing of a Propeller Aerator for Reservoirs, Water Resources, 26(6).
- Wróbel S.: 1998. Ekochemia wód śródlądowych, [w:] Ekologia wód śródlądowych, pod redakcją K. Tawrida, Warszawa.
- Water Quality Assessments, A guide to the biota, sediments and water in environmental monitoring, edited by D. Chapman, 2nd edition, Chapman & Hall, UK, London 1996.
- Welch E.: 1981. The Dilution/Flushing Technique in Lake Restoration, EPA 600/3-81-016, US EPA.
- Wiśniewski R. J.: 1995. Rola zasilania wewnętrznego w eutrofizacji zbiorników zaporowych, [w:] Procesy biologiczne w ochronie i rekultywacji nizinnych zbiorników zaporowych, praca pod redakcją M. Zalewskiego, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Łódź.
- Woyciechowska J., Dojlido J.: 1982. Zmiany jakości wód powierzchniowych pod wpływem zabudowy hydrotechnicznej, Gospodarka Wodna, 5.
- Wolborska A., Pilecka-Bujnowicz K.: Eutrofizacja zbiorników wodnych, przyczyny, skutki, metody zapobiegania i zwalczania, IV Konferencja: Zapobieganie Zanieczyszczeniu Środowiska, Ustroń 1996,.
- Wytyczne monitoringu podstawowego jezior: 1994. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- Zachowicz J., Uścińowicz Sz.: 1995. Przedstawienie koncepcji oczyszczania i rekultywacji wód i osadów Zalewu Wiślanego, Cz. II. Osady dennie Zalewu Wiślanego i ich stan geochemiczny, Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 6.
- Zbiornik wodny Gołuchów gm. Gołuchów woj. kaliskie, Bariera ze struktur „BIO_HYDRO”, Projekt techniczny powykonawczy, Eko-Tech s.c., Warszawa, 1995.
- Żbikowski A., Żelazo J.: 1993. Ochrona środowiska w budownictwie wodnym, Materiały Informacyjne Ministerstwa Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Agencja Wydawnicza FALSTAFF, Warszawa.

INFLUENCE OF NATURAL, ANTHROPOGENIC AND TECHNOLOGICAL FACTORS ON WATER QUALITY IN THE GOŁUCHÓW RESERVOIR

S u m m a r y

The project presents results of investigation of water quality in dam reservoirs. Natural, anthropogenic and technical factors affecting water quality were determined and characterised.

The Gołuchów reservoir was selected for research due to its high degree of eutrophication, installed reclamation facilities (aeration system and biobarriers) and the presence of pre-reservoir. The reclamation process has been conducted since 1993.

Technical documentation of reservoir and research results of WIOŚ were used in the investigation. The following chemical and physical examinations were carried out: water cleanliness tests, soil, ground, sediment, plant surveys and field investigations.

On the basis of professional literature and investigation results some methods for water quality protection, prediction and improvement were presented.

Results of investigations:

- water quality assessment (in the reservoir and in the basin),
- natural environment characteristics (determination of natural factors affecting water quality),
- characteristic of water basin management (determination of influence on water quality),
- characteristic of pollution sources and load of nutrients (soil surface balance),
- determination of water pollution and degree of eutrophication of water body,
- evaluation of reclamation of water body,
- assessment of methods for water quality protection, improvement and control.

The suggested methods and solutions can be applied for water quality assessment, its protection and control in lowland dam reservoirs. These methods and solutions can be also used for water quality prediction.

Key words: dam reservoirs, surface water protection

WPLYW CZYNNIKÓW NATURALNYCH, ANTROPOGENICZNYCH I TECHNICZNYCH NA JAKOŚĆ WODY W ZBIORNIKU GOŁUCHÓW

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących jakości wód w zbiornikach zaporowych. Scharakteryzowane zostały czynniki naturalne, antropogeniczne i techniczne, mające wpływ na jakość zretencjonowanej wody.

Jako obiekt do badań wybrano silnie zeutrofizowany zbiornik w Gołuchowie z systemem rekultywacji technicznej – instalacją aeracyjną przy zaporze, przegrodami biologicznymi na dopływach oraz osadnikiem ekologicznym. Proces rekultywacji rozpoczęto w 1993 roku.

Zakres pracy obejmuje: studia literatury, dokumentacji zbiornika, analizę materiałów i danych udostępnionych między innymi przez WIOŚ, badania terenowe, szereg badań laboratoryjnych, a także charakterystykę i ocenę skuteczności stosowanych metod ochrony i rekultywacji oraz bilans azotu i fosforu metodą *soil surface balance* i ocenę stopnia eutrofizacji zbiornika oraz naturalnej podatności na degradację.

Wynikiem badań jest:

- ocena jakości wody w zbiorniku i jakości wód w zlewni,
- charakterystyka środowiska naturalnego w zlewni pod kątem naturalnej podatności zbiornika na zanieczyszczenia,
- wpływ zagospodarowania terenu i osadnictwa na jakość wody oraz scharakteryzowanie źródeł i określenie ładunków zanieczyszczeń antropogenicznych,
- ocena stopnia eutrofizacji zbiornika na podstawie analiz chemicznych elementów ekosystemu i ładunków zanieczyszczeń,
- charakterystyka podjętych działań rekultywacyjnych i ocena ich skuteczności,
- określenie metod ochrony i sanacji.

Opisane metody rozwiązania mogą być zastosowane w ochronie wód w nizinnych zbiornikach zaporowych, a także w pracach studialnych dotyczących prognozowania jakości wody w planowanych zbiornikach zaporowych.

Słowa kluczowe: zbiorniki zaporowe, ochrona wód powierzchniowych