

**Małgorzata HELMAN-GRUBBA, Marcin J. MARCINKOWSKI,**

*EKOL-UNICON Sp. z o.o.  
ul. Równa 2, 80-067 Gdańsk  
mhgrubba@ekol-unicon.com.pl*

**NIEKONWENCJONALNE ‘TECHNICZNIE’  
MOŻLIWOŚCI OCHRONY WÓD I REKULTYWACJI  
ZDEGRADOWANYCH AKWENÓW WODNYCH (NA  
PRZYKŁADZIE DOROBKU TECHNOLOGICZNEGO  
I OFERTY EKOL-UNICON SP. Z O.O.).**

‘TECHNICLY’ UNCONVENTIONAL POSSIBILITIES  
OF WATER PROTECTION AND REMEDIATION OF  
DEGRADED WATER RESERVOIRS (BASED ON  
EXAMPLE OF TECHNOLOGICAL EXPERIENCE AND  
QUOTATION OF EKOL-UNICON LTD.)

***Streszczenie w języku polskim***

W dziedzinie ochrony wód podstawowym i pierwszym działaniem będzie korzystanie z dóbr cywilizacyjnych zgodnie z obowiązującymi normami prawnymi i technicznymi, a więc:

- budowa i prawidłowe korzystanie z kanalizacji sanitarnej i **deszczowej**,
- budowa i prawidłowa eksploatacja oczyszczalni ścieków,
- **przestrzeganie zaleceń kodeksu dobrej praktyki rolniczej**,
- budowa i prawidłowa eksploatacja składowisk odpadów **wraz z oczyszczaniem odcieków**.

W realizacji powyższych zadań będzie pomocna szeroka oferta rynkowa takich urządzeń jak: kanały i studzienki, pompownie, oczyszczalnie mechaniczno-biologiczne, osadniki i separatory do wód deszczowych, szczelne zbiorniki na gnojowicę i gnojówkę, zbiorniki retencyjne, urządzenia do regulacji przepływów, podczyszczalnie chemiczne i wiele innych ‘produktów gotowych’, jakimi dysponuje niemal każda poważna firma z branży. Co jednak zrobić, gdy standardy emisyjne z obiektów oczyszczalni są

dotrzymane, zlewnia jest wyposażona w kanalizację uzbrojoną we wszelkie dostępne urządzenia, a mimo to akwen wodny (odbiornik) jest nadal zanieczyszczany np. ze źródeł rozproszonych? Albo w międzyczasie uległ już tak daleko posuniętej degradacji, że samo zaprzestanie zrzutu zanieczyszczeń – nie wystarcza już do jego uzdrowienia?

Pomoc w takim wypadku mogą technologie oparte na inżynierskim wykorzystaniu potęgi natury – zarówno ożywionej, jak i martwej.

W niniejszej pracy przedstawiamy zamysł ideowy oraz udostępnione z różnych źródeł dane eksploatacyjne takich rozwiązań jak :

- stawy hydrofitowe z przepływem powierzchniowym i podpowierzchniowym (przykład – staw w Bielkowie),
- strefy buforowe (przykładowe realizacje: ZOO Gdańsk, Radunia, zbiornik w Sulejowie),
- nowatorski preparat mineralny Phoslock® – **oparty na bazie naturalnych bentonitów, który trwale wiąże fosfor biodostępny usuwając go z toni wodnej i uniemożliwiając jego uwalnianie z osadów dennych** (wdrożenia zagraniczne, testy akwaryjne – jezioro Winiary, pierwsze plany aplikacji w Polsce);

w których powstaniu bądź projektowaniu współuczestniczył autor niniejszego referatu.

#### *Summary of the paper in English*

In the area of water protection, the fundamental and first action will be use of civilisation advancement according to valid legislation and technical norms:

- construction and proper use of **storm water** and sanitary sewage systems,
- construction and proper use of wastewater treatment plants,
- **following recommendations of good agricultural practice,**
- construction and proper use of landfills including **percolate treatment.**

During implementation of the above tasks a wide market offer of devices such as concrete sewers and wells, pumping stations, mechanical and biological wastewater treatment plants, settling tanks and oil separators for storm water, watertight tanks for manure and liquid manure, retention tanks, flow regulators, chemical pre-treatment units, and many more “ready-to-use” products that are available from most major companies in the market will be helpful. However, the question remains: what to do when effluent

standards for wastewater treatment plant are met, drainage area has sewer system fully equipped with all available treatment devices, but water reservoir is still being polluted from non-point discharges? Alternatively, the water reservoir underwent highly advanced degradation and preventing the pollutants discharge is not enough for remediation? In such a case, technologies based on engineering use of nature (both animate and inanimate) can become helpful.

This paper presents functional ideas and operational data gathered from different sources for solutions such as:

- combined flow (surface flow and subsurface flow system) constructed wetland (Bielkowo),
- geochemical barriers (buffer zone), e.g. Gdansk ZOO, Radunia River, Sulejów reservoir,
- Phoslock<sup>®</sup> - a novel, highly stable mineral (lanthanum modified bentonite), capable of reactive phosphorus binding, thus removing it from water body, and preventing re-release of phosphate ions from bottom sediments into the water body (international applications; water column tests – Winiary Lake; first plans for application in Poland);

that were co-designed or introduced by one of the authors.

## **1. Stawy hydrofitowe z przepływem powierzchniowym i podpowierzchniowym**

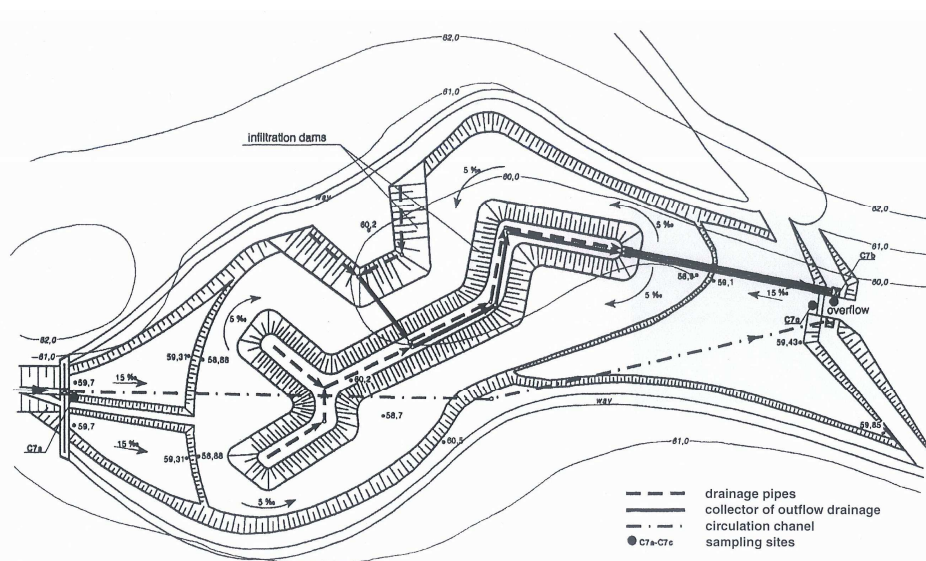
### **1.1. Staw w Bielkowie – budowa i założenia technologiczne**

Staw hydrofitowy z przepływem powierzchniowym i podpowierzchniowym w Bielkowie – został zrealizowany na cieku zwanym „Rowem spod Bielkowa”, na zlecenie Zarządu Miasta Gdańska (projekt 1994, realizacja 1996-1997).

Przedsięwzięcie to miało na celu ochronę ujęcia wody dla Gdańska w Straszynie, poprzez oczyszczanie spływów powierzchniowych ze zlewni zbiornika, jak też pełnienie roli swoistego bufora w przypadkach np. nielegalnych zrzutów ścieków. Badania

bakteriologiczne i fizykochemiczne wykazały bowiem, że ciek ten był źródłem poważnych zagrożeń czystości zbiornika straszyńskiego. Charakter zanieczyszczeń (min. miano Coli, stężenia azotu amonowego) wskazywały na występowanie nielegalnych zrzutów ścieków z zabudowań wsi Lublewo i Bielkowo).

Obiekt zlokalizowano w płaskiej dolinie za zabudowaniami dawnego PGR Bielkowo. W terenie niezabudowanym, około 200 m od granicy lasu, w pobliżu przejścia odcinka skanalizowanego w otwarte koryto ciek wodnego [9]. Nieckę stawu wykonano na istniejącym cieku wodnym – dostosowując kształt stawu do naturalnego układu warstw. Skarpy umocniono faszyną i darnią. Dno basenu nie wymagało sztucznego uszczelnienia, gdyż w naturalnym podłożu dominowały utwory nieprzepuszczalne.



Rys.1. Schemat budowy stawu w Bielkowie

Podstawowe elementy składowe stawu to: budowla wlotowa, kanał dopływowy, kanał obiegowy, część „sucha” (retencyjna), część „mokra” (przepływowa), groble filtracyjne, budowla wylotowa [6, 9].

Groble filtracyjne zaprojektowano z kruszyw o współczynniku filtracji  $K=40\div 86\text{m/d}$  (założenia jak dla filtrów powolnych) [6, 9] – wzbogaconych kredą jeziorną. Otaczające zbiornik oczyszczający skarpy oraz groble filtracyjne gęsto porosły roślinnością dzięki, czemu obiekt wkomponował się w otaczający krajobraz.

### 1.1.1. Parametry obliczeniowe obiektu

Powierzchnia stawu wynosi ok. 6200 m<sup>2</sup>, pojemność tzw. części „mokrej” (przepływowej) - ok. 3400 m<sup>3</sup>, pojemność tzw. części „suchej” (retencyjnej) ok. 1600 m<sup>3</sup>. Całkowita pojemność stawu wynosi ok. 5000 m<sup>3</sup>. Maksymalna głębokość (w okresie wezbraniowym) ok. 1,3m, a poza okresem wezbraniowym - ok. 1m. Przepływ podstawowy (normalny) - 32dm<sup>3</sup>/s, przepływ wezbraniowy - 640 dm<sup>3</sup>/s. Projektowany czas zatrzymania dla przepływu podstawowego wynosi 24 godziny, a dla fali wezbraniowej 0,5 godziny [6, 9].

W zamierzeniach Inwestora i projektantów – staw miał poprawiać jakość sanitarną wód o jedną klasę czystości wód, szczególnie w zakresie zanieczyszczeń bakteriologicznych i biogennych.

### 1.2. Założenia funkcjonowania

Funkcjonowanie obiektu miało być uzależnione od aktualnego natężenia przepływu wody. Zakładano, iż przez większą część roku (8-9 miesięcy) przepływ ciekłu utrzymywać się będzie w granicach obliczonego przepływu normalnego. W tym okresie całość wód ciekłu kierowana będzie korytem otwartym do „części mokrej” stawu. W trakcie przepływu przez „część mokrą” (przez około 24 godziny) zanieczyszczone wody miały infiltrować w głąb przepuszczalnych grobli, a następnie być zbierane systemem drenażowym i odprowadzane budowlą wylotową do koryta ciekłu.

Maksymalne napełnienie stawu w okresie przepływów normalnych zakładano na poziomie około 1 m. A w okresie suszy miało się ono obniżać odsłaniając „część suchą” stawu. W okresie wezbraniowym (wiosna, lato) woda miała być w całej objętości stawu, a maksymalne jej spiętrzenie miało sięgać 1,3 m. Reszta wód wezbraniowych miała być odprowadzana przelewem nadmiarowym w budowlu wylotowej do koryta ciekłu [6, 9].

Zakładano, iż w obiekcie zostaną połączone różne funkcje i mechanizmy oczyszczania, takie jak:

- retencja – zatrzymanie pierwszej fali spływu wezbraniowego,
- sedymentacja – eliminacja zawiesin i związków fosforu,
- sorpcja – wiązanie azotu amonowego na materiale glebowym, fosforu w reakcjach chemicznych z mineralnymi składnikami podłoża,

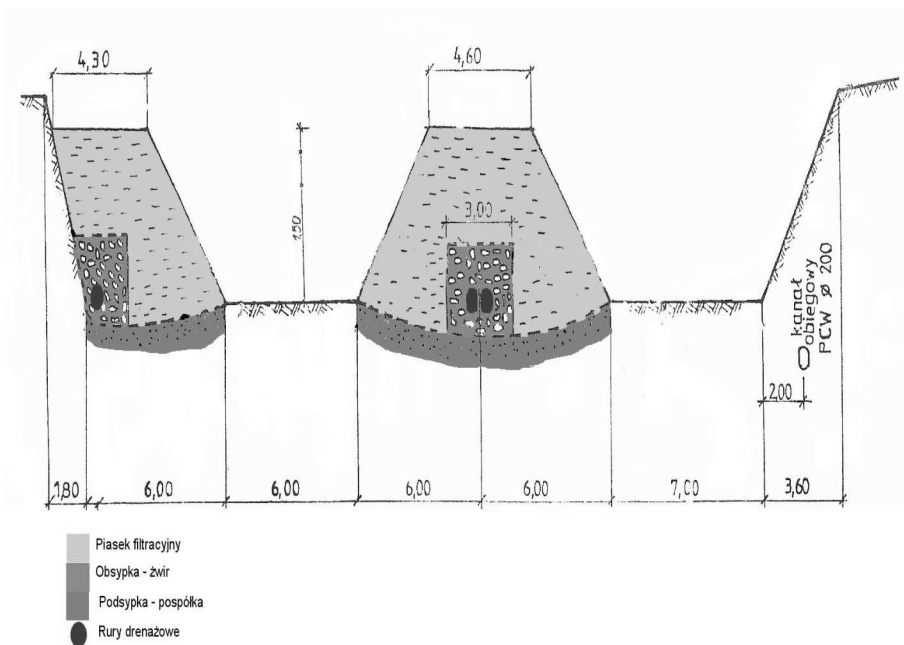
- filtracja powolna – eliminacja zanieczyszczeń bakteriologicznych i zawiesin,
- przemiany mikrobiologiczne – mineralizacja, nityfikacja, denityfikacja,
- zbiór biomasy – usuwanie zanieczyszczeń wraz z biomasą roślinną [6, 9].

Eksploatacja obiektu miała obejmować min. czynności:

1. porządkowo-kontrolne:
  - utrzymanie czystości budowli dopływowej i odpływowej,
  - wykonywanie pomiarów natężenia dopływu wód do stawu oraz poziomu napełnienia stawu,
  - prowadzenie książki eksploatacji obiektu, w której zapisuje się wyniki pomiarów, obserwacje ogólne oraz stanu warunków atmosferycznych.
2. pielęgnację skarp i zieleni na terenie i wokół stawu:
  - obserwacja stanu roślinności na obiekcie,
  - obsadzanie ubytków roślin,
  - wykaszanie koron grobli filtracyjnych (1-2 razy do roku),
  - wykaszanie skarp stawu (3-4 razy do roku w sezonie wegetacyjnym),
  - wygrabianie wykoszonej trawy,
  - wykaszanie (1-2 razy w roku) „części suchej”,
  - utrzymywanie żywopłotu na wysokości 1 m,
  - usuwanie samosiejek drzew,
  - ograniczenie wysokości drzewostanu do 5 m.
3. regulację poziomu napełnienia stawu:
  - aby staw prawidłowo oczyszczał wody powinien w czasie przepływów normalnych wody (32 dm<sup>3</sup>/s) utrzymywać poziom wody około 1 m,
  - w początkowym okresie rozruchu wymagana była bieżąca regulacja napełnienia stawu (m.in. poprzez regulację armatury na kanale odprowadzającym wody drenażowe).
4. okresowe zabiegi konserwacyjne:

- w okresie rozruchu stawu raz do roku dokonywano przeglądu stanu grobli filtracyjnych, a także stopnia zamulenia stawu (w tym czasie, około 2 dni, woda płynęła kanałem obiegowym),
- co 5-7 lat bagrowanie stawu oraz naprawa umocnień grobli,
- konserwacja elementów budowlanych,
- co kilka miesięcy przepłukiwanie rurociągów drenażowych,
- po 10 latach eksploatacji zaplanowano uzupełnienie dodatku sorbującego – kredy jeziornej,

Po kilkunastu (lub kilkudziesięciu) latach pracy obiektu planowano również udrożnienie i częściową wymianę kruszywa filtracyjnego w groblach oraz ponowne nasadzenie roślin wodnych [6].



Rys.2. Przekrój przez groble filtracyjne.

### 1.3. Rzeczywiste funkcjonowanie obiektu

Praktyka realizacyjna i eksploatacyjna częściowo odbiegła od założeń. Po wykonaniu elementów budowlanych obiektu, skarpy grobli obsadzono kłęczami trzciny pospolitej pozyskanymi z okolicy, a obrzeża tzw. części 'suchej' – pałką wodną i tatarakiem. Obiekt częściowo napełniono wodą, część wód kierowano do kanału obiegowego, aby nie rozmyć świeżo usypanych grobli.

Jednak roślinność na groblach, przy upalnej letniej pogodzie (lato 1997) słabo się rozwijała i nie zdążyła odpowiednio zasiedlić grobli filtracyjnych przed końcem sezonu wegetacyjnego 1997. W okresie jesienno-zimowym obiekt napełniono do zakładanych poziomów eksploatacyjnych i zamknięto kanał obiegowy. Wkrótce obiekt uzyskał napełnienia maksymalne, a w budowli odpływowej zaczął pojawiać się przelew. Początkowo przypisywano to wezbraniom. Jesiennym i wiosennym. Latem 1998 zaobserwowano w stawie masowy zakwit glonów. Rozwój glonów był tak intensywny, że z toni wodnej można było wyłowić błonę przypominającą wyglądem fizelinę krawiecką. Podobna błona pokryła skarpy grobli. Nastąpiła wyraźna utrata części przepustowości grobli, a tzw. część 'sucha' została zatopiona. Wiosną 1999r., gdy stan roślinności ciągle nie był zadawalający – podjęto decyzję o ponownym obsadzeniu skarpy grobli filtracyjnych. Ponowienie nasadzeń okazało się skuteczne, roślinność trwale zasiedliła groble. Groble zaczęły pracować stabilnie pomimo kolejnych zakwitów glonów latem 1999. Jednak nie odzyskały już przepustowości na poziomie projektowanym. Zjawisko przelewania się części wód przez przelew budowli odpływowej nabrało charakteru dominującego (tylko w latach 2001 i 2002, podczas 1-go z poborów prób - przelewu nie zaobserwowano).



Rys.3. Widok grobli filtracyjnych – przed obsadą roślinnością 1997

W latach 2000÷2001 nastąpił dalszy rozrost roślinności. Obarska i Ozimek [15, 16] podają, iż w roku 2000 powierzchnia stawu był porośnięta w ok. 30%, a w 2001 – aż w 70%. Nastąpiła też naturalna sukcesja roślinności. Staw zdominowały makrolity wynurzone: Manna (*Glyceria Maxima*), Pałka (*Typha latifolia*), Trzcina (*Phragmites australis*), a spośród gatunków zanurzonych zaobserwowano najwięcej Moczarki kanadyjskiej (*Elodea canadensis*).



Rys.4. Widok stawu grobli filtracyjnych – porośniętych roślinnością 1999

### 1.3.1. Dane eksploatacyjne

Po oficjalnym odbiorze (2.10.1998) obiekt był kontrolowany przez pracowników „Gdańskich Melioracji” średnio raz na kwartał oraz trzykrotnie (rok 99 – raz, rok 2000 – 2 razy) wykonywano zabiegi konserwacyjno-eksploatacyjne polegające m.in. na :

- okoszeniu koryt cieków i skarp zbiornika,
- usuwaniu kożucha roślin pływających z lustra wody,
- płukaniu drenaży,
- sprawdzeniu stanu technicznego i drobnych naprawach budowli wodnych i armatury,
- przeglądzie stanu grobli od strony wody łódką [7].

W tymże okresie nie była prowadzona kontrola bieżąca ani książka eksploatacyjna obiektu, na podstawie której można by odtworzyć co się działo z obiektem (aby np. w tym świetle interpretować wyniki badań). Powodem były trudności w znalezieniu miejscowego pracownika. W październiku 2000 „Gdańskie Melioracje” zatrudniły

miejscowego pracownika. „Ekol-Unicon” przekazał „Gdańskim Melioracjom” wzór karty obserwacyjnej obiektu oraz wytyczne prowadzenia kontroli bieżącej.

Autorowi nie są znane szczegóły prac eksploatacyjnych wykonywanych po roku 2000. Nieznany jest również stan części podwodnej obiektu (stan grobli, ilość namulów, zanieczyszczeń zatopionych, itp.) – w latach 1999-2000 woda nigdy nie była spuszczana.

Biorąc po uwagę, iż obiekt pracuje od ok. 8 lat – staw może wymagać bagrowania.

### **1.3.2. Wyniki badań i ocena skuteczności działania systemu hydrofitowego w Bielkowie**

Monitoring systemu hydrofitowego w Bielkowie prowadzono min. na zlecenie Wydziału Ochrony Środowiska Urzędu Miejskiego w Gdańsku [13]. Badania rozpoczęto we wrześniu 1997 roku i prowadzono je przez 4 miesiące na dwóch stanowiskach. Trzecie stanowisko włączono do badań w roku 1998.

Zakres badań wód systemu hydrofitowego był stały i obejmował 6 wskaźników fizyczno-chemicznych (BZT<sub>5</sub>, ChZT<sub>Mn</sub>, ekstrakt eterowy, zawiesiny ogólne oraz całkowity azot i fosfor) i jeden wskaźnik bakteriologiczny (NPL bakterii *Coli* typu kałowego). Od roku 2000 oznaczano dodatkowo stopień nasycenia wody tlenem i NPL bakterii grupy *Coli*. Łącznie do badań pobrano 207 prób wody z systemu hydrofitowego. Analizę wyników badań systemu hydrofitowego przeprowadzono w oparciu o dane obejmujące 348 oznaczeń bakteriologicznych i 1383 oznaczenia chemiczne.

Oprócz badań analitycznych dokonywano obserwacji makroskopowych. Badania wzrokowe obejmowały obserwację wody i otoczenia stanowiska pod kątem występowania plam olejowych, obecności ciał pływających, obecności glonów i trwałej piany, wskazującej na obecność detergentów. W przypadku wystąpienia zmiany barwy lub mętności wskazującej na wystąpienie zakwitu prowadzono dodatkowo badania mikroskopowe.

Próby do badań pobierano w okresach miesięcznych, przeważnie w sprzyjających warunkach atmosferycznych.

Program badań zleconych przez UM Gdańsk nie zawierał niestety pomiarów natężenia przepływu w cieku III, ani odniesienia do warunków atmosferycznych tak w czasie

pomiarów, jak i w dłuższych okresach (np. czy dany rok pomiarowy był rokiem mokrym, czy suchym, w jakim okresie występował pokrywa lodowa). Stąd opracowanie wyników ma charakter statystyczny. Przy braku odniesienia do przepływów – bilans ładunków zanieczyszczeń nie był możliwy.

W niniejszej pracy przytaczamy wybrane analizy zbiorcze opracowane przez Nowackiego i Szumilas [13].

Analizą porównawczą objęto okres sześcioletni 1998 – 2003. Pierwsze 4 serie badawcze z 1997r. były prowadzone przed włączeniem systemu do normalnej eksploatacji, co miało miejsce w roku 1998. Za podstawę oceny działania systemu przyjęto wyniki badania wody na trzech stanowiskach zlokalizowanych wzdłuż drogi przepływu wody przez system, tzn.: na wlocie do systemu, na przelewie ze stawu podczyszczającego i na wylocie wód drenażowych, czyli po przejściu przez cały system oczyszczający. Pod uwagę wzięto udziały procentowe prób w klasach czystości i średnie wartości oznaczanych wskaźników.

Dane zgrupowano wg stanowisk i wyliczono wartości średnie stwierdzone w poszczególnych latach okresu badawczego.

W niniejszej pracy podajemy wybrane wskaźniki – głównie bakteriologiczne i biogenne.

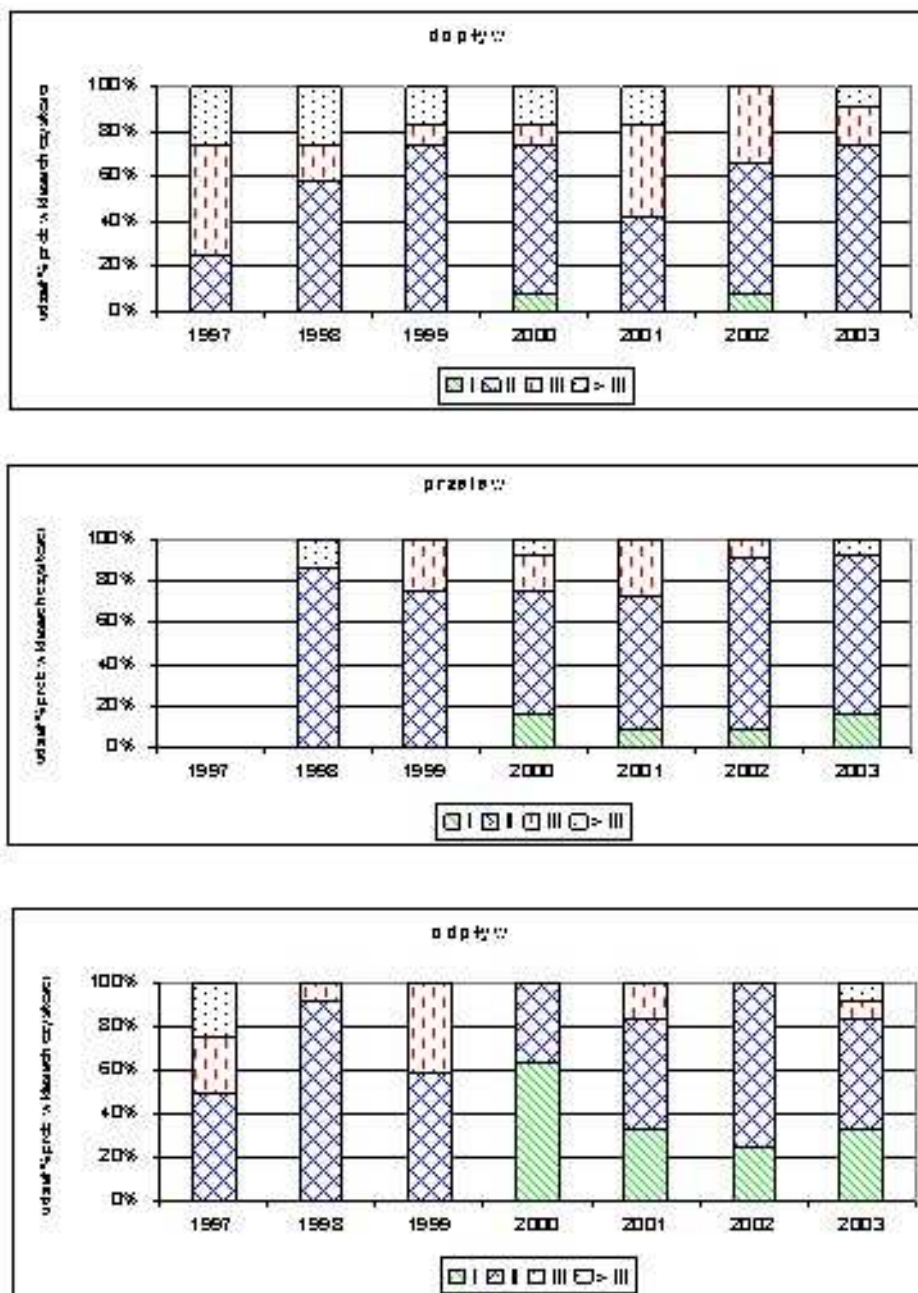
Wyniki bakteriologicznego badania wody na poszczególnych stanowiskach przedstawiono graficznie na rysunkach: 5 (zmiany udziałów % prób w klasach czystości) i 6 (zmiany przeciętnego poziomu zanieczyszczenia określonego wielkością średniego logarytmu NPL bakterii *Coli* typu kałowego).

W odniesieniu do wskaźników bakteriologicznych zaobserwować można wzrost udziałów wyników w I i II klasie czystości i spadek (a w konsekwencji zanik) wyników pozaklasowych oraz stopniowe obniżenie średnich rocznych wartości log NPL *Coli* typu kałowego.

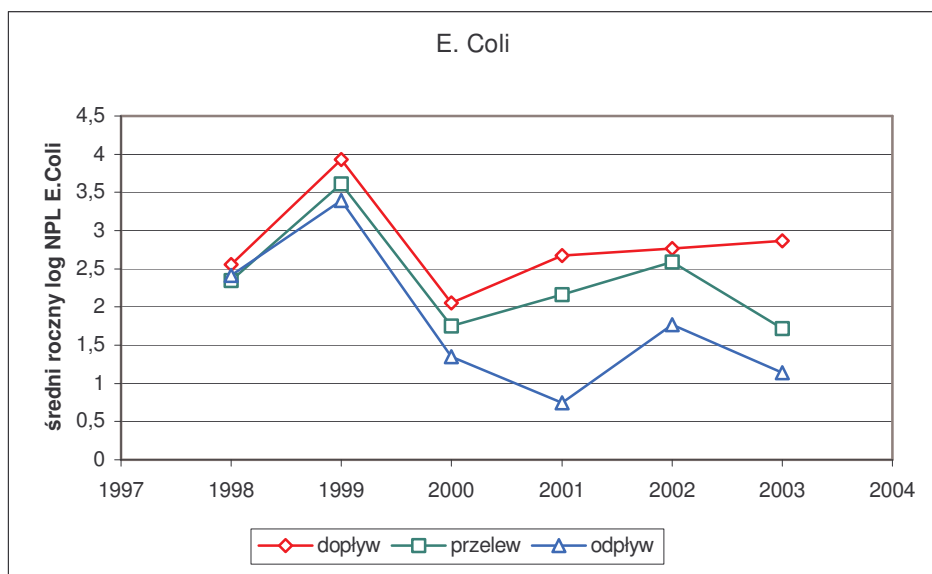
Przykładowo - w okresie od roku 1998 do 2003 wyniki w klasie I odnotowano na dopływie 2 razy z udziałem poniżej 10 %, na przelewie już 4 razy z udziałem od 9 do 17%, a na wypływie też 4 razy, **ale z udziałami, od 25 do 64 %**.

Równocześnie obserwowano zanikanie wyników pozaklasowych od 5 na dopływie do 3 na przelewie i 1 na wypływie.

Także spadek przeciętnego poziomu zanieczyszczenia wody bakteriami coli typu kałowego zaznacza się wyraźnie, choć w różnych okresach czasu jest on różny - najmniejszy w roku 1999 a największy w latach 2001 i 2003 (rys. 6).



Rys.5. Wyniki bakteriologicznego badania systemu hydrofitowego w Bielkowie. Udziały % prób w klasach czystości w poszczególnych latach okresu badawczego 1997 – 2003.

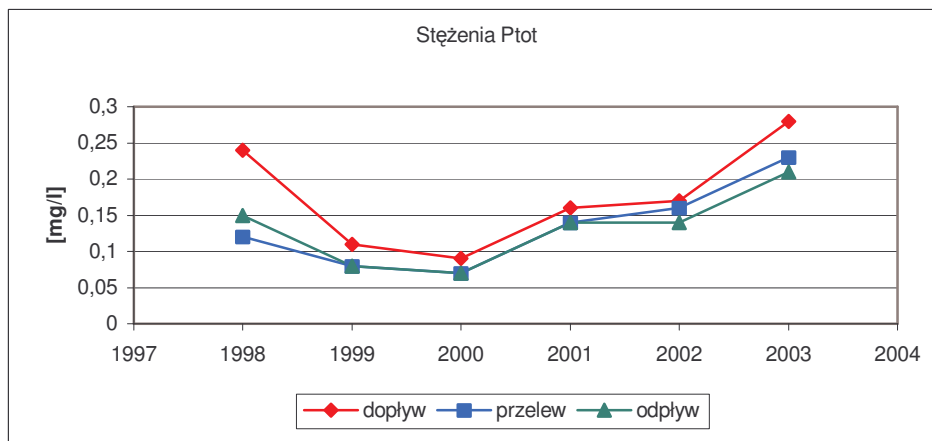
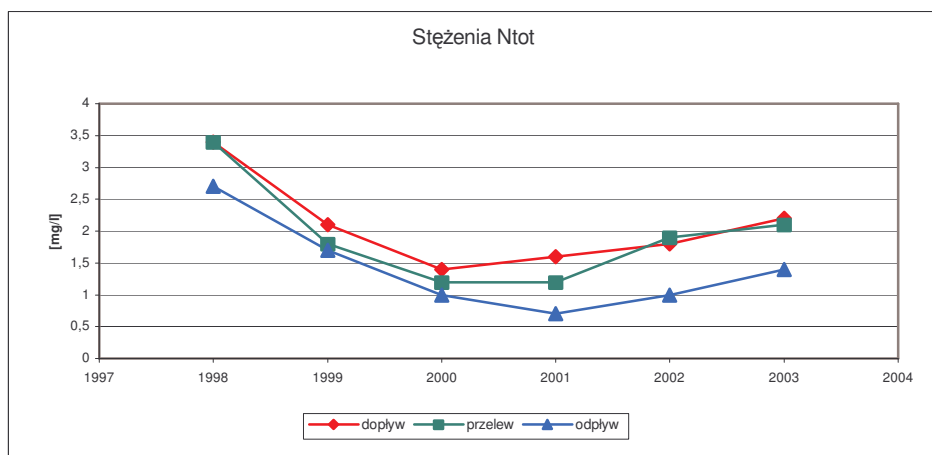
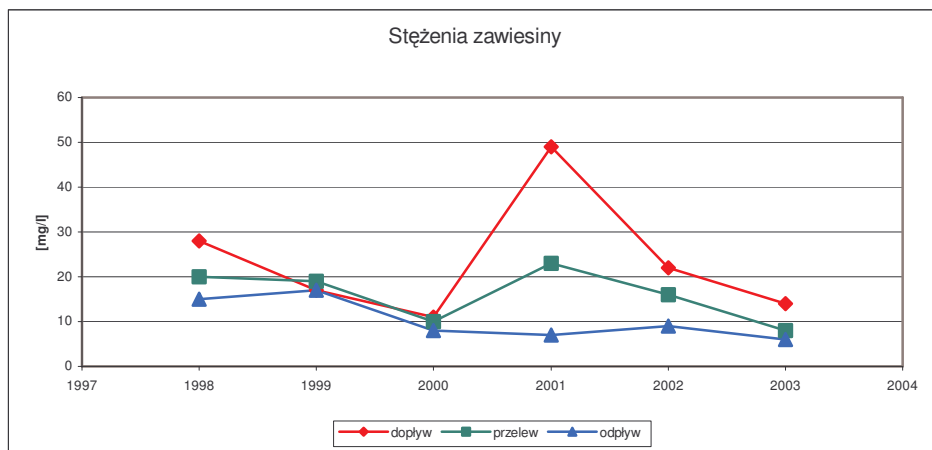


Rys.6. Wyniki bakteriologicznego badania systemu hydrofitowego w Bielkowie. Zmiany średnich rocznych wartości NPL Coli typu kałowego na poszczególnych stanowiskach, w latach 1997 – 2003 [13].

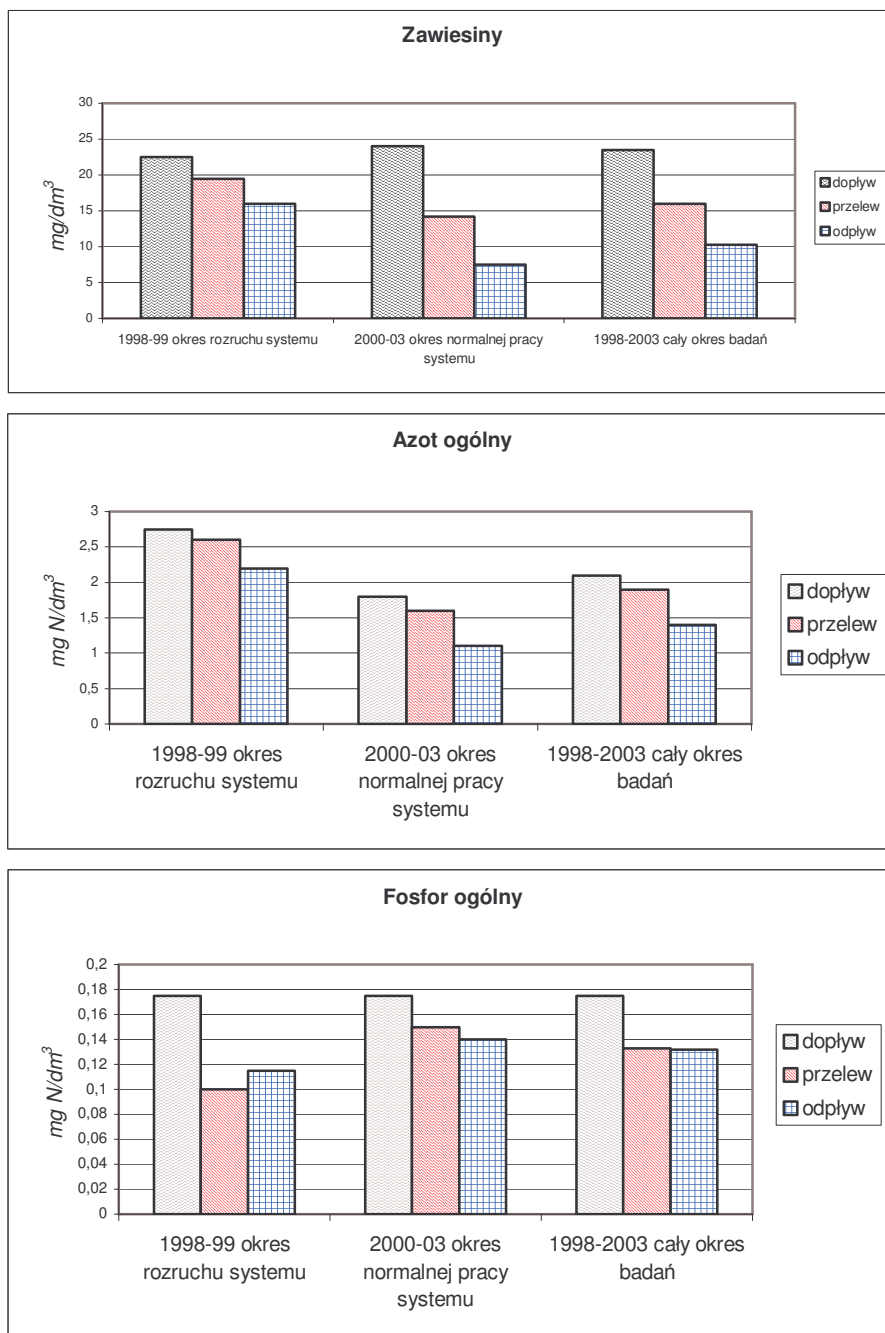
Podobnie jak wyniki badań bakteriologicznych również wyniki badań fizykochemicznych przedstawiono przyjmując jako kryterium oceny średnie roczne wartości sześciu objętych badaniem wskaźników. Tabela 1 pokazuje zmiany średnich rocznych wartości BZT5, ChZT, azotu i fosforu całkowitego, ekstraktu eterowego i zawiesin. Zakres tych zmian jest w różnych latach różny: na ogół mniejszy w latach 1998 – 1999 a większy w latach 2000 – 2003 – generalnie jednak obserwowana jest prawidłowość, że na kolejnych stanowiskach wartości średnie oznaczanych wskaźników są coraz niższe, co potwierdza redukujące działanie systemu. Graficznie przedstawiono przebieg zmienności średnich parametrów wody na poszczególnych stanowiskach dla zawiesiny ogólnej, azotu i fosforu (rys. 7). Zobrazowano również ocenę zdolności redukcji wybranych zanieczyszczeń dla poszczególnych okresów pracy obiektu (rys 8).

Tabela 1: Ocena stopnia oczyszczania wody cieką zasilającego zbiornik w Straszynie (tzw. Rów spod Bielkowa) przez system hydrofitowy w Bielkowie na podstawie wyników badań przeprowadzonych w latach 1998 – 2003 [13].

Stanowisko	Liczba prób objętych analizą	BZT <sub>5</sub> mgO <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	ChZT mgO <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	P-tot mgP/dm <sup>3</sup>	N-tot mgN/dm <sup>3</sup>	Ekstrakt mg/dm <sup>3</sup>	Zawiesiny mg/dm <sup>3</sup>	Średni log NPL coli typu kałowego	Przybliżona wartość NPL coli kat. odpowiadająca średniemu log	Parametry fiz.-chem.		Parametr (npl coli kał.) Oceny bakteriologicznej	
										Udziały % prób w I i II klasie	Udziały % prób poza-klasowych	Udziały % prób w I i II klasie	Udziały % prób poza-klasowych
<b>Wartości średnie uzyskane w ciągu sześciu lat badań (1998 - 2003)</b>													
dopływ	72	5,0	11,9	0,175	2,1	6,0	23,5	2,807	646	65,3	7,8	63,6	9,9
przelew	65	4,7	11,2	0,133	1,9	4,9	16,0	2,363	231	81,8	5,2	70,9	7,1
odpływ	70	3,4	8,9	0,132	1,4	3,5	10,3	1,803	64	86,1	1,4	77,8	4,2
<b>Stopień redukcji zanieczyszczeń [%]</b>													
po przejściu przez staw $100\% - \frac{b}{a} \cdot 100\%$		<b>5,4</b>	<b>5,9</b>	<b>24,0</b>	<b>9,5</b>	<b>18,3</b>	<b>31,9</b>	-	<b>64,2</b>	W miarę przechodzenia przez system obserwowany jest wzrost ilości prób w I i II klasie czystości i spadek ilości prób sklasyfikowanych jako pozaklasowe			
po przejściu przez cały system $100\% - \frac{c}{a} \cdot 100\%$		<b>32,0</b>	<b>25,2</b>	<b>26,6</b>	<b>33,3</b>	<b>41,7</b>	<b>56,2</b>	-	<b>90,1</b>				



Rys.7. Wyniki badania systemu hydrofitowego w Bielkowie. Zmiany średnich rocznych stężeń wybranych wskaźników fizyczno-chemicznych na poszczególnych stanowiskach, w latach 1997 – 2003 [13].



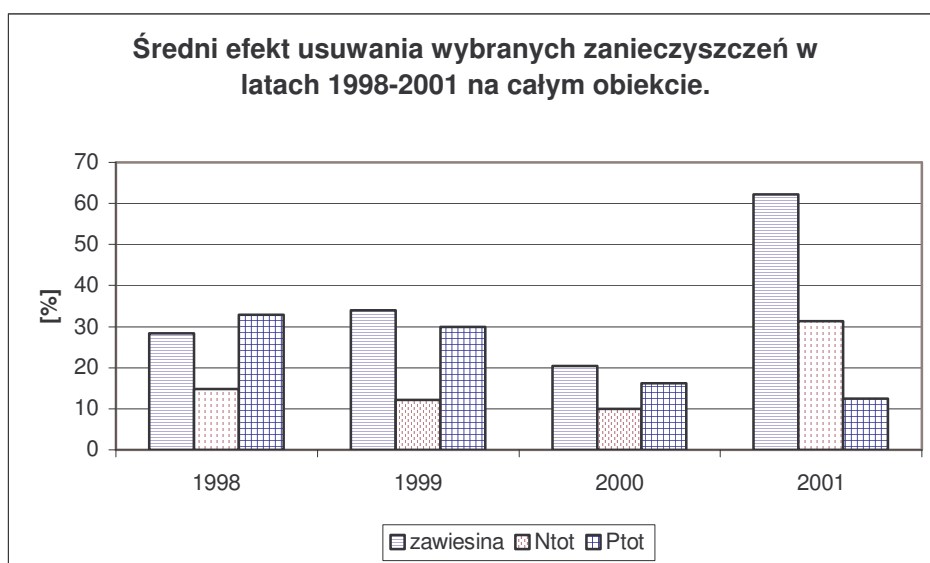
Rys.8. Ocena zdolności redukcji zanieczyszczeń przez system hydrofitowy w Bielkowie w odniesieniu do wybranych wskaźników fizyczno-chemicznych [13].

Obarska, Ozimek i Haustein [15, 16] prowadziły w latach 1998-2001 własne badania na obiekcie w Bielkowie. Badano nie tylko jakość wód na dopływie, przelewie i dopływie, ale również rozwój roślinności i jej wpływ na zjawiska oczyszczania. Ponadto mierzono przepływy, a próby pobierano 2 razy/miesiąc.

Szczegółowe wyniki efektywności uzyskane dla stawu i grobli nieco różnią się od wyników przedstawionych przez Nowackiego i Szumilas [13] – choćby dlatego, iż wartości średnie były wyliczane z innej zbiorowości statystycznej – pokazują jednak pewne wspólne trendy. Zawsze efekty jednostkowe – były większe dla filtratu, a mniejsze dla strugi przepływającej przez przelew (ok. 2-krotnie większa efektywność jednostkowa – dla filtratu w porównaniu z przepływem powierzchniowym).

Pomiar przepływu umożliwił oszacowanie całkowitego efektu ekologicznego uzyskiwanego na obiekcie (patrz rys. 9)

Średni przepływ przez obiekt odpowiadał założonemu przepływowi normalnemu:  $Q=32\text{dm}^3/\text{s}$ , z czego ok. 1/3 strugi przesączała się przez groble filtracyjne ( $Q_f=9,6\text{dm}^3/\text{s}$ ), a 2/3 ( $Q_p=22,4\text{dm}^3/\text{s}$ ) - przepływało przez przelew [15,16]. Stąd sumaryczny ładunek zanieczyszczeń zatrzymywany przez część przepływu i przez groble – jest zbliżony.



Rys.9. Średni roczny efekt usuwania wybranych zanieczyszczeń systemie hydrofitowym w Bielkowie w latach 1998-2001 [15,16].

Badania pokazują lekką tendencję spadkową w usuwaniu fosforu, co może być związane ze stopniowym wysycaniem się domieszki mineralnej (kreda jeziorna) – intensyfikującej

wiązanie fosforu przez materiał filtracyjny grobli. Tendencja ta nie pojawia się jednak w innych rodzajach zanieczyszczeń – np. azot, zawiesiny czy zanieczyszczenia bakteriologiczne – wraz z wiekiem obiektu są usuwane coraz lepiej. Porównanie rys.5,6,7 i 9 wskazuje również, iż większe efekty oczyszczające obserwowane są z reguły w okresach większego obciążenia zanieczyszczeniami (tzn. obiekt pracuje efektywniej, gdy dopływa do niego więcej zanieczyszczeń; na wodach relatywnie czystych – procentowy efekt redukcji zanieczyszczeń zazwyczaj spada).

Roślinność wyraźnie intensywniej rozwijała się w okolicy przelewu, co autorzy tłumaczą większą ilością osadów bogatych w pożywki – deponowanych w końcowej części stawu.

Obarska Ozimek i [15, 16] opracowały dla lat 2000 i 2001 bilans substancji biogennych (azotu i fosforu) - pokazujący udział w usuwaniu ładunku substancji biogennych rozwoju biomasy roślinności makrofitowej i innych procesów oczyszczających (np. nityfikacji, denityfikacji, sedymentacji, czy sorpcji).

W stosunku do całkowitych ładunków dopływających do obiektu biomasa makrofitów zakumulowała jedynie **1,8÷10,8%** ładunku azotu ogólnego oraz **2,4÷6,4%** ładunku fosforu ogólnego [16]. Wyższe efekty uzyskano w roku 2001, co z pewnością jest związane z zaobserwowanym rozrostem roślinności na obszarze obiektu – z ok. 30% do 70% pokrycia powierzchni obiektu.

Analogiczne obliczenia bilansowe dla procesu sorpcji – odpowiednio w latach 2000 i 2001, wskazują na usuwanie tą drogą ok. **9,4÷13,1%** ładunku azotu ogólnego oraz **20,5÷40,5%** ładunku fosforu ogólnego dopływających do obiektu [16].

Efekt względny, tzn. odniesiony do ładunku usuniętego w poszczególnych procesach – obrazuje większą potencjalną zdolność makrofitów w usuwaniu azotu niż w usuwaniu fosforu. Świadomie mówimy tu o zdolności potencjalnej, gdyż w omawianym obiekcie roślin nie usuwano.

Tabela 2: Roczny ładunek  $N_{tot}$  (kg/rok) dopływający, odpływający oraz zakumulowany w makrofitach w latach 2000 – 2001 [16].

rok	dopływ	odpływ	Łączny ładunek usunięty w obiekcie	makrofity	Potencjalny udział makrofitów w usuniętym ładunku
2000	1614,6	1403,2	211,4	28,3	13,3%
2001	1614,6	1110,1	504,5	173,7	34,4%

Tabela 3: Roczny ładunek  $P_{tot}$  (kg/rok) dopływający, odpływający oraz zakumulowany w makrofitach w latach 2000 – 2001 [16].

rok	dopływ	odpływ	Łączny ładunek usunięty w obiekcie	makrofity	Potencjalny udział makrofitów w usuniętym ładunku
2000	80,7	67,6	13,1	1,9	14,5%
2001	161,5	70,6	90,9	10,3	11,3%

Całkowity wynik potwierdza tezę stawianą przez wielu badaczy, iż rola roślin w systemach hydrofitowych polega w dużo większym stopniu na działaniu katalizatora określonych procesów fizyko-chemicznych (wraz z rozwojem roślinności zwiększyła się skuteczność sorpcji) oraz siedliska dla mikroorganizmów odpowiedzialnych za przemiany mikrobiologiczne (np. nityfikację, denityfikację) i oddziaływania bakteriostatyczne, niż na bezpośrednim poborze biogenów do własnych funkcji życiowych.

## 2. Strefy buforowe

Intensywne nawożenie mineralne i kwaśne deszcze powodują zwiększenie wymywania związków chemicznych z ekosystemów lądowych do wód gruntowych i powierzchniowych. Wg danych z 1994 r. 58% studni przydomowych w Polsce zawiera wodę nie nadającą się do picia, głównie z powodu przekroczenia dopuszczalnych stężeń azotanów. (Azotany wywołują powstanie niebezpiecznej przede wszystkim dla dzieci – metahemoglobiny.) Ponadto w Polsce mamy do czynienia z chronicznym brakiem wody dla rolnictwa. Pomimo trudności ekonomicznych objawiających się m.in. spadkiem zużycia nawozów sztucznych - polskie rolnictwo dostarcza do naszych wód powierzchniowych olbrzymi ładunek biogenów powodujących ich wtórne zanieczyszczenie: ok. 39% azotu, 35% fosforu i 64% potasu [1,2].

Trwały i zrównoważony rozwój rolnictwa można będzie osiągnąć tylko przy zachowaniu *ekologicznego zagospodarowania zlewni*. Od kilku lat upowszechniany jest tzw. kodeks dobrej praktyki rolniczej, który wprowadza zasady gospodarki nawozowej w gospodarstwach rolnych (dotyczy to zwłaszcza gospodarki gnojówką i gnojowicą). Wtórkuje mu odpowiednie ustawodawstwo – min. Ustawa o nawozach i nawożeniu z 26 lipca 2000 wprowadzające na obszar Polski wytyczne wynikające z tzw. ‘dyrektywy azotanowej’ Unii Europejskiej.

Poza odpowiednimi zasadami gospodarowania nawozami, skuteczne ograniczanie zanieczyszczeń biogenych pochodzących ze źródeł rozproszonych (zarówno rolniczych, jak i pozarolniczych) będzie wymagało szeregu działań odwołujących się również do *metod hydrofitowych*. Będzie to przede wszystkim wprowadzanie zadrzewień śródpolnych, ochronnych pasów łąk, mokradeł oraz zbiorników śródpolnych.

Stosowany w języku naukowym termin: *bariera biogeochemiczna*, w praktyce projektowej najczęściej przybiera postać *strefy buforowej*. Strefa buforowa (skomponowana gatunkowo odpowiednio do warunków glebowych) szerokości **20 ÷ 30 m** może zatrzymać **80 ÷ 95% azotanów** oraz **25 ÷ 46% fosforu fosforanowego** trafiającego do naszych wód ze źródeł obszarowych [18].

Strefy buforowe stanowią najprostszym pod względem technicznym sposobem ochrony wód przed zanieczyszczeniami spływającymi z dróg, pól, pastwisk, ogródków działkowych, wybiegów dla zwierząt, itp..

Korzenie roślin ograniczają erozję gleby, zwiększają pojemność retencyjną gruntu (zatrzymują więcej wody), intensyfikują procesy tworzenia humusu - wiążące część biogenów i metali ciężkich. Ponadto rośliny same pobierają część biogenów i metali ciężkich wbudowując je w swoje tkanki oraz wzbogacają walory krajobrazowe.

Przykładowymi inwestycjami w tym zakresie, w których współuczestniczył autor są strefy buforowe zastosowane na terenie Ogrodu Zoologicznego w Gdańsku oraz wokół zbiornika wodnego w Sulejowie.

## 2.1. Zastosowanie stref buforowych do ochrony Potoku Rynaszewskiego – na terenie Ogrodu Zoologicznego w Gdańsku

Na terenie Miejskiego ogrodu zoologicznego w Gdańsku przeprowadzono szereg prac badawczych i inwestycyjnych zmierzających do ochrony przepływającego przez ogród potoku Rynaszewskiego przed zanieczyszczeniami pochodzącymi głównie z wybiegów dla zwierząt. Szacunki wykonywane na etapie prac koncepcyjnych wskazywały, iż zwierzęta bytujące na terenie ogrodu wytwarzają łączny ładunek azotu odpowiadający ok. 5000 MR (Mieszkańcom Równoważnym) [4]. W klasyfikacji czystości wód – potok na terenie ZOO wchodził w obszar wód III klasy czystości, a lokalnie nawet w obszar wód pozaklasowych. Głównym parametrem pogarszającym jakość wód cieką był azot organiczny.

Zrealizowane prace (sierpień 1992) obejmowały budowę indywidualnych obiektów podczyszczających, do których miały być kierowane odpływy z wybranych wybiegów (min. z wybiegów jeleni, fok, tapirów), a nawet część wód samego potoku (np. odpływ z tzw. małego stawu). Były to różnego rodzaju filtry: piaskowe, wegetacyjne; stawy z groblami filtracyjnymi, itp.

Jednak równie ważną rolę w koncepcji poprawy czystości wód przypisano najprostszym technicznie (choć stosunkowo trudnym organizacyjnie) zabiegom takim jak:

- ❑ Oddalenie zwierząt od bezpośredniego kontaktu z cieką i wprowadzenie w pasie pomiędzy wybiegami a korytem cieką stref buforowych (min. wybiegi bawołów, jeleni, dzików, krów ZEBU, otoczenie małego stawu),
- ❑ Zmiana sposobu odprowadzania nieczystości z czyszczenia klatek drapieżników – zamiast na skarpę sąsiadującą z cieką – nieczystości odbierane są skanalizowanym korytem, a skarpa obsadzona kolejną strefą buforową.

Łącznie strefami obsadzono ok. 5000m<sup>2</sup> terenu ZOO (głównie wierzbą wiciową). Badania wykonane w lipcu i sierpniu 1993 [5] potwierdziły pozytywny wpływ zrealizowanych prac na jakość wód cieką. Nastąpiła poprawa parametrów czystości pod względem zawartości azotu organicznego, cieką opuszczał teren ogrodu zoologicznego nie pogarszając swojej jakości.

W kolejnych latach w okolicach ujścia potoku poza teren ogrodu zaczęły pojawiać się wydry - zwierzęta charakterystyczne dla wód czystych.

Biorąc pod uwagę znane autorowi problemy eksploatacyjne z obiektami filtracyjnymi (wiele ze zrealizowanych filtrów nie było regularnie zasilane zanieczyszczonymi wodami, gdyż obsługa ZOO przestawiała armaturę regulacyjną i odcinającą – kierując wody bezpośrednio do koryta ciekę), trwałą poprawę jakości wód potok Rynaszewski zawdzięcza głównie obiektowi hydrofitowemu zrealizowanemu na odpływie ze stawu fok i wybiegu hipopotama (staw o labiryntowym przepływie z zespołem grobli filtracyjnych porośniętych makrofitami – zabudowany na obszarze naturalnie porośniętym zagajnikiem z młodymi drzewami) oraz właśnie strefom buforowym, które po prostu są i rosną – niezależnie od bieżących działań personelu ZOO.



Rys.10. ZOO Gdańsk, strefa buforowa oddzielająca koryto ciekę od wybiegu wielbłądów (dawniej krów ZEBU)

## 2.2. Zastosowanie stref buforowych do ochrony Zbiornika Sulejowskiego w zlewni bezpośredniej w rejonie wsi Swolszewice-Karolinów

Jesienią roku 1998 strefa brzegowa Zbiornika Sulejowskiego w rejonie wsi Swolszewice i Karolinów została obsadzona strefami buforowymi mającymi

zabezpieczyć zbiornik przez spływem powierzchniowym, a także przed dziką eksploatacją rekreacyjną objawiającą się min. myciem samochodów oraz porzucaniem śmieci oraz produktów fizjologii człowieka – na skalę nie dającą się opanować przez służby sanitarne dbające o ochronę zbiornika.

W zależności od warunków nasłonecznienia, ukształtowania strefy brzegowej, jej rozległości, nawodnienia, nachylenie, obecności naturalnej roślinności, itp. – określono 4 charakterystyczne typy stref brzegowych i odpowiednio do nich dobrano optymalną obsadę roślinną. Zastosowano takie rośliny jak:

- ❑ Wierzba wiciowa (*Salix viminalis*),
- ❑ Sosna czarna (*Pinus nigra*),
- ❑ Brzoza brodawkowata (*Betula verrucosa*),
- ❑ Róża wielokwiatowa (*Rosa multiflora*).

Łącznie obsadzono ponad **70 tys. m<sup>2</sup> pasa brzegowego**. Dominującą rośliną była wierzba wiciowa - ponad **230 tys. szt.**, (w postaci sadzonek i sztabrów łącznie). Pozostałe gatunki łącznie ok. **34 tys. szt.**

Z uwagi na rozległość terytorialną projektu – nie udało się przeprowadzić badań kontrolnych zmierzających do określenia bezpośredniego wpływu srealizowanej inwestycji na jakość wód zbiornika.

Jednak dzięki ww. inwestycji – radykalnemu ograniczeniu uległo dzikie korzystanie ze zbiornika. Dzięki gęstej strefie roślinności – ludzie używają wyznaczonych obszarów plaż, (gdzie możliwe jest ustawienie i eksploatacji koszy na odpady) dzikie biwakowanie i dojazd samochodów nad sam brzeg jest prawie niemożliwy. Obszary najbardziej dewastowane przez ludzi zostały obsadzone min. kolczastą odmianą róży.

Stąd zmniejszenie częstotliwości zakwitów wód zbiornika – obserwowane w kolejnych latach po realizacji inwestycji – autor uważa za jeden z przejawów skuteczności stref buforowych w ochronie wód zbiornika.



Rys.11. Przykładowa strefa buforowa z wierzby wiciowej – zrealizowana w okolicach rzeki Raduni

### 3. Rekultywacja wód eutroficznych.

Rekultywacja zdegradowanego akwenu wodnego jest z założenia działaniem ostatnim – dopełniającym wszystkie działania porządkujące i ochronne w całej zlewni (budowa kanalizacji, oczyszczalni, zakładanie stref buforowych – przeciwdziałających obszarowym spływom zanieczyszczeń, itp.). W zlewni nieuporządkowanej i ciągle zasilanej zanieczyszczeniami – nie ma sensu, gdyż nie przyniesie spodziewanych rezultatów.

Jednak, gdy wszystkie techniczne i organizacyjne działania w zlewni zostały wykonane, a akwen wodny mimo to sam nie wraca do ‘zdrowia’ – najczęściej oznacza to, iż na dnie akwenu zalegają osady, które są ciągłym źródłem substancji biogenych.

W przypadku wód słodkich – zazwyczaj biogenem krytycznym jest fosfor. Stąd redukcja stężenia  $PO_4$  - jest dla takich akwenów jedyną szansą zapoczątkowania procesu poprawy jego stanu ekologicznego. Dopiero po umiejętnie przeprowadzonej inaktywacji

fosforu biodostępnego możliwe jest uruchomienie łańcucha pozytywnych zmian i procesów, takich jak:

- zahamowanie nadmiernego rozwoju glonów (sinic!),
  - wzrost przezroczystości wody,
  - rozwój makrofitów,
  - stabilizacja osadów dennych,
  - odbudowa zniszczonych struktur sieci troficznej (zooplankton skorupiakowy);
- prowadzących do przejścia ekosystemu w alternatywny stabilny stan czystowodny, zdominowany przez makrofity. Dopiero po zredukowaniu stężenia fosforanów można zastosować inne, przyspieszające proces naprawy, metody rekultywacji.

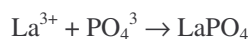
Najprostsze w takim przypadku wydawałoby się zastosowanie popularnych koagulantów glinowych, czy żelazowych – powszechnie stosowanych w oczyszczalniach ścieków. Problem jednak w tym, iż naturalne akweny wodne rzadko kiedy poddają się kontroli człowieka w takim stopniu jak oczyszczane ścieki. Posiadamy bardzo niewielki wpływ na to jakie warunki fizykochemiczne wystąpią w jeziorze. Jak będzie przebiegała zmiana temperatury wody, warunków natlenienia, pH, falowanie, itp.

Wszystkie powyższe czynniki bardzo silnie wpływają na skuteczność i trwałość kompleksów fosforanowych wtrąconych z toni wodnej za pomocą tradycyjnych koagulantów. Warunki beztlenowe praktycznie eliminują możliwość stosowania  $\text{FeCl}_3$ . Z kolei wysokie pH – występujące często podczas zakwitów sinicowych (często pH~9,0) - eliminuje stosowalność  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Kolejnymi problemami towarzyszącymi strącaniu fosforanów są trudności w utrzymaniu wytrąconego materiału na dnie – naturalne falowanie powoduje przemieszczanie się materiału. Wytrącony materiał – wyniesiony do strefy brzegowej wygląda nienaturalnie i raczej odstrasza od korzystania ze zbiornika wodnego.

### **3.1. Phoslock® - nowatorski preparat mineralny do inaktywacji fosforanów**

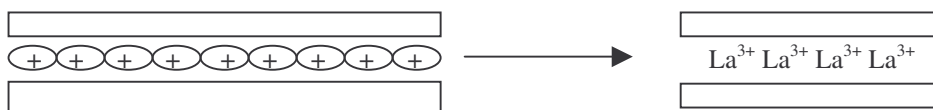
Prowadzone przez ponad 30 lat badania wykazały, iż pierwiastki ziem rzadkich, w szczególności lantan, mogą bardzo efektywnie wiązać różnorodne formy fosforanów z akwenów wodnych. Efektywność wiązania jonów  $\text{PO}_4^{3-}$  z lantanem jest bardzo wysoka,

w porównaniu z popularnymi koagulantami gdyż fosforany wiążą się z lantanem w stosunku molowym 1:1, podczas gdy stosunek molarny w wiązaniu fosforanów np. z  $\text{NaAlO}_2$  – wynosi 1:7.



Potencjalne zagrożenie toksykologiczne związane z lantanem zostało w latach 1990 pokonane poprzez inkorporację jonów lantanu w strukturę minerału o dużej pojemności wymiennej – jakim jest bentonit.

Taka jest w skrócie historia powstania Phoslock® - zmodyfikowanej gliny bentonitowej, która w kontakcie z wodami bogatymi w fosforany tworzy bardzo stabilny minerał – **rabdofan** ( $\text{LaPO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) [12].



Rys.12. Uproszczony schemat modyfikacji minerału gliniastego lantanem.

Dzięki temu, iż pierwiastki ziem rzadkich zostały inkorporowane do struktury gliny preparat Phoslock® może reagować z anionami fosforanowymi zawartymi w wodzie lub pozostawać w strukturze gliny – w szerokim zakresie zmiennych warunków fizykochemicznych – cały czas zachowując swoją aktywność. W ten sposób - przy odpowiedniej dawce - Phoslock® zapobiega również wtórnemu uwalnianiu do środowiska fosforu zawartego w osadach dennych.

Receptura preparatu została opracowana przez główną instytucję naukową w Australii (CSIRO). Licencja na wytwarzanie i sprzedaż preparatu Phoslock® na skalę światową należy do 'IMT Holding Limited' z Sydney, Australia. W grudniu 2005 'IMT Holding Limited' zmieniło nazwę na 'Phoslock Water Solutions Limited'.

Od lipca 2004, Phoslock® jest produkowany w Kunming, Chiny przez Kunming IETC Environmental Technology Protection Limited, spółkę utworzoną we wrześniu 2003.

Dzięki zdolności do trwałego wiązania fosforanów Phoslock® zapobiega zakwitom glonów. Po jego zastosowaniu w wodach spada nie tylko zawartość FRP, ale jakość wód ulega poprawie również pod względem zawartości chlorofilu-a oraz pH.

Związek, który powstaje w wyniku tego procesu pozostaje związany przez gliniastą strukturę preparatu Phoslock® w szerokim spektrum zmiennych warunków chemicznych: pH (4÷11) zasolenia, zawartości rozpuszczonego węgla organicznego (RWO) - zarówno w warunkach tlenowych jak i beztlenowych. Przeprowadzone badania (w tym badania ekotoksykologiczne) – potwierdzają znikomy wpływ preparatu na środowisko. Wytlumaczeniem tej cennej właściwości jest bardzo niska rozpuszczalność zarówno samego preparatu, jak i soli fosforanu lantanu, który powstaje w wyniku wiązania Phoslock® z fosforanami (w praktyce brak rozpuszczalności, stała rozpuszczalności  $K \approx 10^{-24,5}$  dla wód słodkich,  $K \approx 10^{-28,08}$  dla wód słonych [12]).

Phoslock® początkowo był produkowany jako zawiesina wodna, co znacznie utrudniało jego komercyjną dystrybucję. Obecnie – udało się opanować technologię wytwarzania Phoslock® jako suchego granulatu, który w tej postaci jest transportowany z Chin do wszystkich krajów świata.

Przed konkretną aplikacją – preparat ponownie miesza się z wodą (można mieszać z wodą rekultywowanego akwenu) i aplikuje do wód w postaci zawiesiny. Zawiesina działa przez wiązanie fosforu w chwili opadania i tworzy stabilny osad na dnie zbiornika, a następnie adsorbuje fosfor uwalniany z osadów dennych – uniemożliwiając jego wtórne uwalnianie do środowiska. Preparat stosowany jest w różnego rodzaju akwenach wodnych: zbiornikach, jeziorach, rzekach, stawach, oczyszczalniach ścieków, hodowlach ryb i stawach na polach golfowych. Może być dodawany do wody za pomocą „działka szlamowego” lub „pływającego młynka”. Opis patentowy obejmuje również podawanie wgłębne zawiesiny – bezpośrednio do osadów dennych.

### **3.2. Phoslock® w Polsce**

W Polsce pierwsze badania laboratoryjne oraz testy akwaryjne – na wodach jeziora Winiary – przeprowadziła Pracownia Hydrobiologii Stosowanej, Instytut Ekologii i Ochrony Środowiska, UMK Toruń wiosną i latem 2005r. Aktualnie Pracownia prowadzi

dalsze prace badawcze – min. na wydzielonych zagrodach z różnymi preparatami, w tym 1 zagroda z Phoslock®.

Jedno z przeprowadzonych badań polegało na dodaniu do 4 akwariów po 4 ml  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , co odpowiada 4 mg  $\text{PO}_4/\text{l}$ . Jedno akwarium pełniło rolę próby kontrolnej, do pozostałych trzech zaaplikowano koagulant glinowy, żelazowy i Phoslock®. Po 8 godz. od dodania flokulantów do wody Phoslock miał gorsze wyniki niż pozostałe flokulanty. Po wywołaniu resuspensji osadu (zburzeniu utworzonej warstwy izolującej) w przypadku Phoslocku nastąpiła dodatkowa redukcja stężenia fosforu – w wodzie natlenionej z 0,25 do 0,11, w odtlenionej z 0,26 do 0,21 (tabl. 4a). **Dla wody odtlenionej był to najlepszy wynik w porównaniu do innych flokulantów.**

	A woda natleniona		B woda odtleniona		T °C	uS	pH	E h
					21,8	818	8,7	29
					20	102 7	8,7	3 9
Próba kontrolna	2,0 ml $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$				2,0 ml $\text{FeCl}_3$		1,5 g Phoslock	
1	2				3		4	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Stężenie P- $\text{PO}_4$	[mg/L]		[mg/L]		[mg/L]		[mg/L]	
Po dodaniu 4 ml $\text{KH}_2\text{PO}_4$	0,69	0,7	0,69	0,7	0,69	0,7	<b>0,69</b>	<b>0,7</b>
Po 1 godz od dodania flokulanta	0,63	0,68	0,28	0,2	0,12	0,06	<b>0,31</b>	<b>0,33</b>
<b>Po 8 godz od flokulacji</b>	<b>0,54</b>	<b>0,64</b>	<b>0,21</b>	<b>0,17</b>	<b>0,09</b>	<b>0,07</b>	<b>0,25</b>	<b>0,3</b>
Po częściowej resuspensji	0,5	0,62	0,24	0,15	0,1	0,08	<b>0,22</b>	<b>0,26</b>
<b>Po 2 godz od całkowitej resuspensji</b>	0,07	0,55	0,2	0,37	0,08	0,24	<b>0,11</b>	<b>0,21</b>

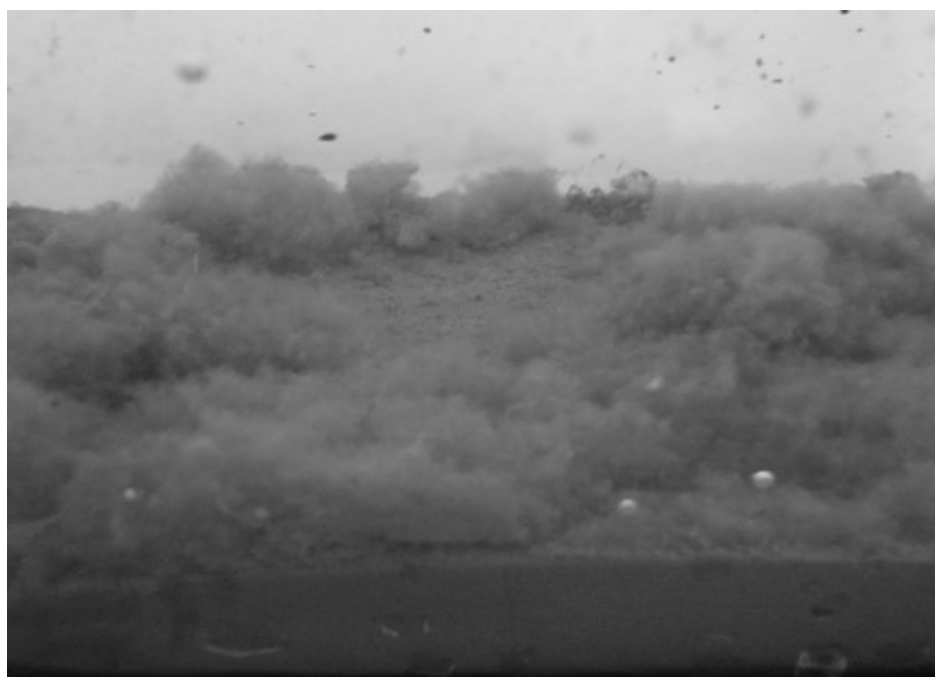
Tablica. 4a. Wyniki eksperymentów nad efektywnością różnych flokulantów w warunkach tlenowych i beztlenowych [19].

	A - woda natleniona bez resuspensji				B - woda odtleniona z resuspensją			
	Próba kontrolna		10 ml $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$		10 ml $\text{FeCl}_3$		2,1 g Phoslock	
	1		2		3		4	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Stężenie P- $\text{PO}_4$	[mg/L]		[mg/L]		[mg/L]		[mg/L]	
Po 6 godz od dodania flokulanta	0,441	0,193	0,016	0,156	0,000	0,082	<b>0,033</b>	<b>0,193</b>
<b>Po 6 godz od wywołania dodatkowej resuspensji</b>	0,984	0,441	0,651	0,255	0,539	0,230	<b>0,502</b>	<b>0,218</b>

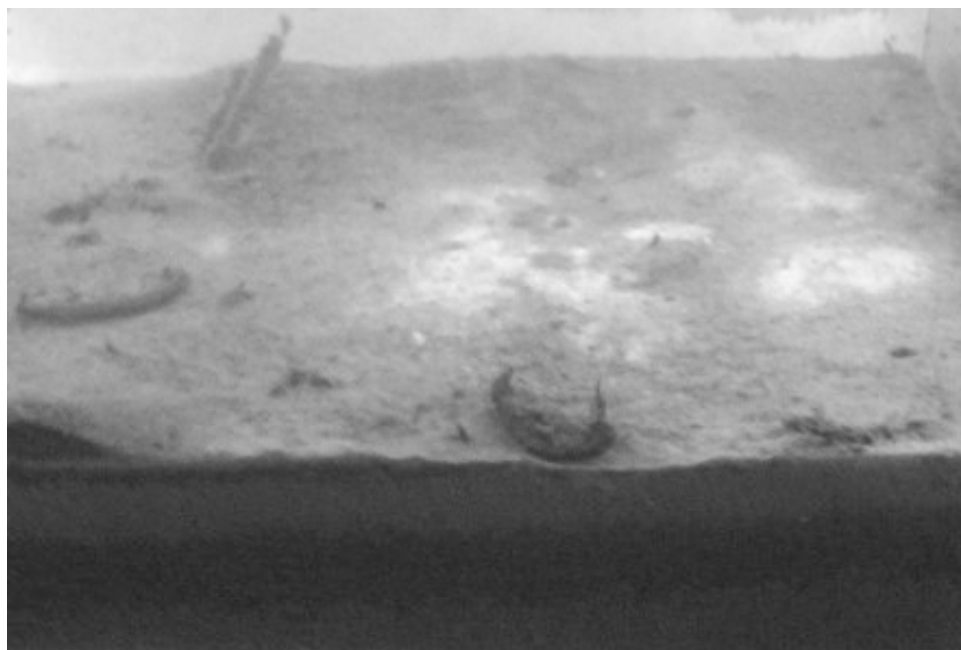
Tablica. 4b. Wyniki eksperymentów nad efektywnością różnych flokulantów Wpływ powtórnej (przypadkowej resuspensji) na trwałość wiązania  $\text{PO}_4$  [19].

Z kolejnych testów wykonanych w Pracowni badań wynika, że Phoslock®. posiada także zaskakującą dodatkową, pozytywną cechę. W eksperymentach symulujących niesprzyjające warunki jeziorne, np. resuspensję osadów dennych, dawka Phoslocku, obliczona dla stężenia 10 mg  $\text{PO}_4/\text{l}$ , była w stanie wchłonąć kolejną, dodatkową porcję 5,0 mg  $\text{PO}_4/\text{l}$  bez uzupełniania tego koagulantu. Po wywołaniu dodatkowej (kolejnej) resuspensji wyniki dla Phoslocku były najlepsze (tablica 4b).

Ponadto – w porównaniu z innymi koagulantami Phoslock® - dzięki dużo większemu ciężarowi – po resuspensji opadał na dno z trudno rejestrowalnym przemieszczeniem (tzn. w wyniku mieszania na pewno poszczególne cząstki preparatu zmieniły miejsce, ale warstwa, która opadła – nadal była dość wyrównana), podczas gdy popularne koagulanty – przemieszczały się wyraźnie (rys. 13).



Rys. 13 Inaktywacja fosforanów za pomocą  $\text{FeCl}_3$  - efekt niewielkiej turbulencji – „wyspowy” rozkład warstwy izolującej powierzchnię osadu.



Rys. 14. Inaktywacja fosforanów za pomocą „Phoslocku” – warstwa bardzo cienka, efektów turbulencji prawie nie widać, białe plamy to niedostatecznie rozmieszany „Phoslock”, po 12 godzinach na powierzchni osadu pojawiły się żywe, mało aktywne Chironomidae.

Dzięki swym unikalnym właściwościom, preparat Phoslock® stwarza realne szanse rekultywacji tych wód eutroficznych, w których inne metody rekultywacji nie znajdują optymalnego zastosowania ze względu na warunki panujące w danym akwencie.

#### 4. Podsumowanie

I. Niekonwencjonalne rozwiązania techniczne stojące na pograniczu inżynierii sanitarnej oraz ekologii i hydrobiologii (do których należą rozwiązania hydrofitowe) mogą w skuteczny sposób chronić akwenty wodne przed dopływem zanieczyszczeń, których z różnych powodów nie udaje się usuwać w oczyszczalniach ścieków np.:

- zanieczyszczenia za źródeł obszarowych i niekontrolowanej działalności człowieka,
- zanieczyszczenia biogenne z oczyszczalni, w których usuwanie azotu i fosforu nie jest wymagane,
- skażenia bakteriologiczne – z różnych niezidentyfikowanych źródeł.

Tym samym – w zdegradowanych zlewniach – obiekty i działania przedstawione w niniejszym artykule stanowią logiczne uzupełnienie inwestycji kanalizacyjnych i oczyszczalni ścieków oraz dają nadzieję tym akwenom, które pomimo uporządkowania gospodarki ściekowej w zlewni – ze względu na stopień degradacji nie są już w stanie samoczynnie wrócić do parametrów hydrobiologicznych charakteryzujących wody czyste.

II. Rozwiązania inżynierskie obiektów hydrofitowych wymagają dalszego doskonalenia, w celu min. odpowiedniemu zapobieganiu skutkom kolmatacji, na którą obiekty podczyszczające wody powierzchniowe są narażone dużo bardziej niż obiekty oczyszczające ścieki sanitarne (relatywnie duże przepływy, dużo mniej pożywki dla roślin, wolniejsze procesy zasiedlania obiektów przez rośliny). Elementy filtracyjne należy projektować z odpowiednim zapasem przepustowości lub jako działające przemiennie. Należy też odpowiednio je rozmieszczać w obiekcie, tak aby docierał do nich jak najmniejszy ładunek zawiesin.

III. Na etapie projektowania i rozruchu niezbędne jest połączenie sił inżynierów projektantów z ekologami roślin i hydrobiologami, celem optymalizacji doboru roślin do danego siedliska oraz ich szybkiej i skutecznej introdukcji. Choć, jak wykazały badania, bezpośredni wpływ roślin na usuwanie zanieczyszczeń nie jest imponujący, to ich działanie pośrednie – jako swoistego katalizatora - jest nieodzowne do prawidłowego wpracowania obiektu i optymalnego wykorzystania całego jego potencjału oczyszczającego, na który składa się suma efektów cząstkowych.

IV. Przy odpowiedniej eksploatacji – obiekty hydrofitowe mogą skutecznie chronić akweny wodne przez długie lata. Eksploatacja pociąga za sobą określone koszty, ale nie są one wygórowane – jeśli nie dopuści się

do zaniedbań. Polegają bowiem na dość prostych czynnościach. Zdecydowanie więcej kosztów pociągają za sobą zaniedbania eksploatacyjne, gdyż trwale obniżają skuteczność obiektu, a w skrajnym przypadku mogą doprowadzić do jego zniszczenia.

V. Analiza efektywności obiektów podczyszczających wody powierzchniowe, wymaga uzupełnienia monitoringu o rejestrację danych meteorologicznych, hydrologicznych (min. pomiary przepływu), a także zwiększenia zbiorowości statystycznej wyników. Do rzetelnej oceny efektów ekologicznych konieczne jest wprowadzenie biologicznych indykatorów stanu czystości środowiska, które wobec kosztów badań fizykochemicznych oraz obiektywnych trudności w interpretacji ich wyników umożliwią bardziej jednoznaczne wnioskowanie.

VI. Ze względu na ciągle nie do końca poznane mechanizmy oczyszczające funkcjonujące w obiektach hydrofitowych – warto kontynuować badania obiektów, celem określenia ich efektów długofalowych. Opisany w artykule staw w Bielkowie – działający już ok. ponad ośmiu lat – może stanowić wdzięczny obiekt takich badań.

VII. Ewentualna bezpośrednia ingerencja w rekultywowanych akwen – w postaci zastosowania środków strącających fosfor - powinna być końcowym etapem uzdrawiania zdegradowanego akwenu – po wyczerpaniu wszystkich działań w zlewni ograniczających dopływ zanieczyszczeń.

VIII. Phoslock® może być szansą uratowania tych akwenów wodnych, dla których inne środki nie znajdują zastosowania lub nie przynoszą trwałych efektów ze względu na zmienne warunki pH, natlenienia, zasolenia, a także efekty uboczne falowania, na które środek ze względu na ciężar – jest relatywnie mniej narażony od popularnych koagulantów. Można go aplikować przez dłuższy okres w roku – nawet w okresie zakwitów.

IX. Zanim jednak sięgniemy po bardziej skomplikowane (a tym samym bardziej kosztowne) metody i środki ochrony wód przed eutrofizacją oraz rekultywacji wód zeutrofizowanych – pamiętajmy o często nie docenianych możliwościach stref buforowych.

## Literatura

- [1] Arczyńska – Chudy E., Gołdyn H., M. Kraska, A. Michalak „Zbiorniki śródpolne jako naturalne oczyszczalnie biologiczne” Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna - Oczyszczalnie Hydrobotaniczne - Gdańsk, 1-3.09.1995.
- [2] Arczyńska – Chudy E., Gołdyn H., A. Michalak „Roślinność wodna i bagienna a neutralizacja zanieczyszczeń” - II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna - Oczyszczalnie Hydrobotaniczne - Poznań, 2-3.09.1996.
- [3] Brix H. „Treatment wetlands : an overview” Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna - Oczyszczalnie Hydrobotaniczne - Gdańsk, 1-3.09.1995.
- [4] Ekol – Unicon Spółka z o.o. „Koncepcja poprawy czystości wód potoku Rynaszewskiego”, Obarska-Pempkowiak, H., Banach K., Gdańsk, październik 1991;
- [5] Ekol – Unicon Spółka z o.o. „Ocena działania obiektów hydrobotanicznych na terenie woj. gdańskiego”, Obarska-Pempkowiak, H., Banach K., Gdańsk, wrzesień 1993;
- [6] Ekol – Unicon Spółka z o.o. „Obiekty oczyszczające wody dopływające do jeziora Goszczyńskiego (zbiornika Straszyn)”, Zeszyt II, Projekt techniczno technologiczny, Gdańsk, grudzień 1994;
- [7] Ekol – Unicon Spółka z o.o. „Staw oczyszczający wody doprowadzane do jeziora Goszczyńskiego przez ciek III – „Rów spod Bielkowa”, Instrukcja eksploatacji stawu oczyszczającego, Gdańsk, październik 1997
- [8] FIN SKOG Geomatics Int. “Ekotonowa strefa buforowa w zlewni bezpośredniej Zbiornika Sulejowskiego w rejonie wsi Swolszewice-Karolinów”, Projekt Zagospodarowania, Gdańsk, sierpień 1998;
- [9] Helman M., „Zastosowanie obiektów hydrobotanicznych do ujęcia wody „Straszyn”. 1996, Materiały II Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej: Oczyszczalnie hydrobotaniczne, s. 35- 48,
- [10] Helman M., „Zastosowanie systemów hydrofitowych do porządkowania gospodarki wodno-ściekowej w gminie”, Konferencja: „Hydrobotaniczne metody oczyszczania ścieków”, Ogólnopolskie Towarzystwo Zagospodarowania Odpadów „3R”, Towarzystwo na Rzecz Ziemi, Andrychów, 1997
- [11] Helman-Grubba M., Bielicka M. „Możliwości zastosowań obiektów hydrofitowych do oczyszczania ścieków specyficznych”, Materiały z Międzynarodowego Seminarium: Oczyszczanie ścieków z wykorzystaniem roślin – nowe doświadczenia i osiągnięcia”, Fundacja Wspomagania Zaopatrzenia Wsi w Wodę, Cedzyna, 19 – 20 października 1999.
- [12] Integrated Mineral technology PTY LTD „Phoslock® a revolution in Phosphorous reduction”, 25 May 2005;
- [13] Nowacki J., Szumilas T., „Zmiany warunków hydrochemicznych i stanu sanitarnego jezior: Osowskiego, Wysokiego, Jasień i Pustego Stawu oraz ocena działania systemu hydrofitowego w Bielkowie”, Instytut Medycyny Tropicznej AMG w Gdyni, 2004.
- [14] Obarska-Pempkowiak H. „Efektywność usuwania związków biogenicznych w oczyszczalni hydrobotanicznych”, Inżynieria Morska i Geotechnika, 1 ,28, 1996.

- [15] Obarska-Pempkowiak H., Ozimek T., Haustein E. „The removal of biogenic compounds and suspended solids in a constructed wetland system.” Polish Journal of Environmental studies, vol. 11, no 3, 261 – 266, 2002.
- [16] Obarska-Pempkowiak H., Ozimek T. “Comparison of usefulness of the three emergent macrophytes for surface water protection against pollution and eutrophication: case study Bielkowo, Poland.” Wetlands nutrients, metals and mass cycling – edited by Jan Vymazal, Leiden Backhuys Publishers, 2003.
- [17] Ozimek T., Renman G. „Rola helofitów w oczyszczalniach hydrobotanicznych” II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna - Oczyszczalnie Hydrobotaniczne - Poznań, 2-3.09.1996.
- [18] Ryszkowski L., Życzyńska - Bałoniak I., Szpakowska B. „Wpływ barier biogeochemicznych na ograniczanie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń obszarowych” II Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna - Oczyszczalnie Hydrobotaniczne - Poznań, 2-3.09.1996.
- [19] Wiśniewski R, Wyniki badań nad efektywnością wytrącania (inaktywacji) P za pomocą PHOSLOCK'u Pracownia Hydrobiologii Stosowanej, Instytut Ekologii i Ochrony Środowiska, UMK Toruń 2005.