



Roślinne wyspy filtracyjne: raport końcowy

2024

Projekt społeczno-edukacyjny: **Roślinne wyspy filtracyjne**

Równość i wpływ społeczny na środowisko

Finansowanie



Realizacja



Partnerzy projektu



Uczestnicy



H2O SCITECH – INSTYTUT WODY

Fundacja H2O SCITECH – INSTYTUT WODY została powołana w 2019 roku we Wrocławiu. Celem Fundacji jest prowadzenie w sposób samodzielny i ciągły badań podstawowych, badań przemysłowych oraz eksperymentalnych prac rozwojowych, jak również rozpowszechnianie na szeroką skalę wyników takich działań poprzez nauczanie, publikację i transfer wiedzy.

Misją fundacji jest edukacja i popularyzacja nauki wśród dzieci, młodzieży i dorosłych w trosce o zasoby wodne naszej planety. Fundacja skupia się na badaniach naukowych i pracy nad nowymi technologiami filtrującymi wodę.

Roślinne wyspy filtracyjne

Roślinne wyspy filtracyjne to naturalny sposób na oczyszczanie wód. Wyspa składa się z odpowiednio dobranych roślin filtrujących, zamocowanych na wypornościowej tratwie. Wyspy filtracyjne pełnią funkcję fitoremediantów „wyciągających” z wody zanieczyszczenia, które zostają uwięzione w roślinnych tkankach.

Celem projektu jest aktywizacja lokalnej społeczności, organizacji pozarządowych i firm do zaangażowania na rzecz ochrony środowiska, w szczególności zachęcenie mieszkańców Wrocławia do podejmowania działań wpływających na poprawę stanu wód. Projekt jest przykładem oddolnej inicjatywy pokazującej integrację i równość środowisk i pokoleń w rozwiązywaniu problemu zanieczyszczenia środowiska wodnego, w tym rzeki Odry, nad którą położony jest Wrocław.

Roślinne wyspy filtracyjne: raport końcowy
Plant filter islands: final report

Autorzy:

Antoni Tkacz
Specjalista ds. analiz
antoni.tkacz@h2o-scitech.eu

Dr Kamilla Myrdek-Rak
Dyrektor ds. rozwoju
kamila.rak@h2o-scitech.eu

Michał Cielewicz
Specjalista ds. analiz
michal.cielewicz@h2o-scitech.eu

Spis treści

W skrócie	6
Wprowadzenie	7
Koncepcja	15
Realizacja	18
Monitoring	24
Wyniki i wnioski	31
Bibliografia	44



Fot. 1. Roślinne wyspy filtracyjne zwodowane na Odrze (źródło: H2O SCITECH)

W skrócie

ZAŁOŻENIA

Roślinne wyspy filtracyjne to proste rozwiązanie typu *nature-based*, które może być wykorzystane do oczyszczania wody. W projekcie, budowa wysp stanowiła formę zaangażowania lokalnej społeczności i stwarzała przestrzeń do „edukacji przez doświadczenie”.

REZULTATY

Zaplanowane zadania były dobrane adekwatnie do profilu uczestników warsztatów. Wyspy filtracyjne nie zachowały pływalności przez cały sezon wegetacyjny, co wymagało dodatkowej interwencji; opracowana koncepcja sprawdziła się pod pozostałymi względami.

LEKCJE

Planowanie prac wymaga należytej staranności, aby uniknąć wszelkich niespójności w ekologicznym przesłaniu. Budowa wysp w oparciu o materiały organiczne jest możliwa, lecz należy zastosować dodatkowe elementy wypornościowe zapewniające przedłużoną pływalność. Wyspy filtracyjne obsadzone różnorodnymi gatunkami roślin oczyszczają wodę i tworzą nowe siedliska w ekosystemie. Szeregowe ułożenie wysp równoległe do brzegu jest korzystnym rozwiązaniem; płytkie cieki wodne o łagodnym przepływie mogą sprzyjać trwałości tratw i efektywności roślin – oczyszczanie większych rzek może polegać na umiejscowieniu wysp w ich mniejszych dopływach. Należy dążyć do zwiększania zakresu prac wykonywanych przez uczestników projektu, jednocześnie zapewniając wsparcie i rozwijając formy zbierania informacji zwrotnej (takiej jak „burza mózgów”).

DALSZE KROKI

Opracowane koncepcje pozwolą na realizację zbliżonych projektów poza ośrodkami miejskimi: w małych miejscowościach i otoczeniu rolniczym, gdzie zanieczyszczenie wód biogenami stanowi istotny problem. Niektóre elementy wysp zostaną ponownie wykorzystane w celu sprawdzenia ich trwałości. Rekomendacje opracowane na podstawie wyników projektu zostaną przetestowane w praktyce.

Wprowadzenie

Problem zanieczyszczenia wód

Katastrofa ekologiczna na Odrze w 2022 roku unaoczniała alarmujący stan naszych rzek. Bezpośrednią przyczyną masowego śnięcia ryb były toksyny uwolnione przez algi gatunku *Prymnesium parvum* („złote algi”). Zjawisko zakwitu tych organizmów występuje pod wpływem czynnika stresowego, którym było zwiększone zasolenie wody związane z jej niskim stanem (spadek ilości rozpuszczalnika zwiększa stężenie substancji rozpuszczonych) oraz zanieczyszczenie biogenami¹.

Substancje biogenne – związki wywołujące eutrofizację wód powierzchniowych i przyczyniające się do nadmiernego rozwoju ekspansywnych organizmów (m.in. fitoplanktonu)².

Do najbardziej problematycznych substancji biogenych należą związki azotu i fosforu. Azotany i fosforany, jako substancje przyczyniające się do eutrofizacji, zostały wymienione w załączniku VIII do *Ramowej dyrektywy wodnej*, który określa najważniejsze zanieczyszczenia wód³.

Szacuje się, że podczas gdy w krajach rozwijających się zanieczyszczenie wód wynika z niewłaściwego gospodarowania ściekami bytowymi, w krajach wysoko rozwiniętych większość

¹ E. Nachlik i in., *Zarządzanie wodą w sytuacjach kryzysowych*, Fundacja Gospodarki i Administracji Publicznej 2023, s. 10-11.

² E. Jachniak, *Związki biogenne, a proces eutrofizacji wód Goczałkowickiego Zbiornika Wodnego*, „Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich” nr 3(3)/2013, s. 33-34.

³ *Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej*, s. 342.

zanieczyszczeń wypłukiwana jest z obszarów rolnych⁴ (źródła punktowe – np. budynki inwentarskie; źródła obszarowe – np. intensywnie nawożone pola)⁵.

Antropogenicznie wzmożona eutrofizacja prowadzi do licznych zjawisk niekorzystnych z punktu widzenia stabilności ekosystemu, m.in.:

- nadmiernego wzrostu biomasy fitoplanktonu;
- rozwoju zakwitających gatunków alg;
- zmian w strukturze gatunkowej roślin wyższych;
- ograniczenia ilości tlenu rozpuszczonego w wodzie;
- spadku przejrzystości wody⁶.

Ograniczenie zanieczyszczeń biogenych poprzez działanie u źródła problemu może być osiągnięte poprzez wprowadzenie specjalnych praktyk do produkcji rolnej. Przykład stanowi *Ecological Recycling Agriculture* (ERA), czyli zaproponowany w ramach projektu *Baltic Ecological Recycling Agriculture and Society* (BERAS) system rolnictwa ekologicznego zakładający integrację produkcji roślinnej i zwierzęcej w obrębie pojedynczych lub pobliskich gospodarstw. Umożliwia to zwracanie do gleby składników pokarmowych pobranych z biomasą roślin paszowych i równomierne rozmieszczenie chowu zwierząt w przestrzeni geograficznej, co w konsekwencji

⁴ *The United Nations world water development report 2024: water for prosperity and peace*, UNESCO 2024, s. 1.

⁵ C. Jasiewicz, A. Baran, *Rolnicze źródła zanieczyszczenia wód – biogeny*, „Journal of Elementology” nr 11(3)/2006, s. 370-373.

⁶ M. Dokulil, K. Teubner, *Eutrophication and climate change: present situation and future scenarios*, w: *Eutrophication: causes, consequences and control*, Springer 2011, s. 2-6.

ogranicza wysycenie gleby azotanami i fosforanami i wymywanie tych związków do wód powierzchniowych⁷.

Wychwycenie już powstałego nadmiaru biogenów wymaga odmiennego podejścia. Coraz większą popularność zyskują rozwiązania typu *nature-based* – wykorzystujące zdolności elementów przyrodniczych do przywracania i utrzymywania równowagi w środowisku naturalnym. Należą do nich m.in. sztuczne mokradła, czy buforowe pasy roślinności⁸.

Roślinne wyspy filtracyjne

Rozwiązaniem *nature-based* są również roślinne wyspy filtracyjne, które w publikacjach anglojęzycznych występują najczęściej pod nazwą *floating treatment wetlands*. W tym przypadku wykorzystywane są zdolności fitoremediacyjne roślin wodnych i bagiennych, które rosną w strukturze tratwy unoszącej się na powierzchni wody. Odkryte korzenie roślin zanurzone są w toni wody, skąd bezpośrednio pobierają substancje odżywcze i zanieczyszczenia i wbudowują je we własną biomasę, która następnie może być łatwo usunięta ze zbiornika lub cieklu wodnego⁹.

Fitoremediacja – wykorzystanie roślin, wyselekcjonowanych pod względem zdolności wchłaniania, degradowania, czy też immobilizacji określonych substancji niepożądanych, do oczyszczania środowiska¹⁰.

⁷A. Granstedt i in., *Ecological recycling agriculture to reduce nutrient pollution to the Baltic Sea*, „Biological Agriculture and Horticulture” nr 26(3)/2008, s. 296-299.

⁸A. Rizzo i in., *Nature-based solutions for nutrient pollution control in European agricultural regions: a literature review*, „Ecological Engineering” nr 186/2023, s. 1-2.

⁹H. Keizer-Vlek i in., *The contribution of plant uptake to nutrient removal by floating treatment wetlands*, „Ecological Engineering” nr 73/2014, s. 684-685.

¹⁰M. Siwek, *Biologiczne metody oczyszczania środowiska – fitoremediacja*, „Wiadomości Botaniczne” nr 52(1/2)/2008, s. 23-26.

Fitoremedianty stosowane do obsadzania wysp filtracyjnych mogą pobierać z wody nie tylko substancje biogenne, ale również metale ciężkie¹¹, stanowiące równie istotny problem, zwłaszcza w rzekach, których długie odcinki przebiegają przez tereny przemysłowe i zurbanizowane¹².

Do zalet roślinnych wysp filtracyjnych należy możliwość ich wykorzystania w lokalizacjach charakteryzujących się zmiennym stanem wody, jak również niewielkie nakłady pracy potrzebnej do wykonania konstrukcji i jej utrzymania; wyspy oferują dodatkowe korzyści w postaci zwiększenia bioróżnorodności i ilości siedlisk w ekosystemach antropogenicznych¹³.

Łatwość wykonania przy jednoczesnej wyraźnej skuteczności sprawia, że roślinne wyspy filtracyjne stanowią trzon projektów o różnym celu i skali. Wyspy umieszczone w zbiornikach na ścieki mogą istotnie poprawiać ich właściwości i pozwolić na ponowne wykorzystanie w rolnictwie¹⁴. Z kolei niewielkie konstrukcje wykonane z materiałów z recyklingu znajdują zastosowanie w ogrodach i gospodarstwach indywidualnych¹⁵.

W projekcie przedstawionym w niniejszym raporcie roślinne wyspy filtracyjne – jak i sam proces budowy, monitoringu oraz analizy ich potencjału – zostały wykorzystane w celu propagowania wśród lokalnej społeczności wiedzy na temat naturalnych rozwiązań inżynierii ekologicznej.

¹¹ R. Sharma i in., *Application of floating treatment wetlands for stormwater runoff: a critical review of the recent developments with emphasis on heavy metals and nutrient removal*, „Science of the Total Environment” nr 777/2021, s. 8-10.

¹² D. Ciszewski, *Wpływ regulacji koryta Odry na akumulację osadów zanieczyszczonych metalami ciężkimi: zróżnicowanie, zmiany w czasie, zagrożenie środowiskowe*, „Studia Naturae” nr 52/2006, s. 5.

¹³ H. Keizer-Vlek i in., *op cit.*, s. 684.

¹⁴ M. Afzal i in., *Floating treatment wetlands as a suitable option for large-scale wastewater treatment*, „Nature Sustainability” nr 2/2019, s. 863-871.

¹⁵ A. Kietla i in., *Pływające wyspy*, Łódź Art Center, s. 1-35.

Potrzeba edukacji ekologicznej

Obawy związane ze stanem środowiska naturalnego deklaruje znaczna część Polaków, ale częściej dotyczą one skali globalnej niż lokalnej. Bardzo duży lub duży niepokój o stan środowiska w skali całego świata deklaruje zdecydowana większość badanych (70%), w skali kraju – ponad połowa (53%), natomiast stan środowiska naturalnego we własnej miejscowości zamieszkania jest przedmiotem troski jedynie co czwartego respondenta (25%)¹⁶.

Jak wskazują badania i obserwacje Instytutu Wody z działań społecznych, spotkań oraz akcji edukacji ekologicznej, świadomość i wiedza dotycząca stanu środowiska naturalnego, zmian klimatycznych jest niska, w najlepszym przypadku bardzo ogólna, czerpana z haseł medialnych, a nie wiarygodnych danych i naukowych źródeł, wskazujących na przyczyny i proponujących konkretne rozwiązania naprawy. Niestety jeszcze gorzej wypadają badania dotyczące aktywności i angażowania się w akcje ekologiczne oraz propagowanie zmian nawyków i codziennych przyzwyczajzeń, które mogłyby w skali globalnej wpłynąć na zatrzymanie trendu „dewastacji” środowiska naturalnego.

Realizacja projektu „Roślinnych wysp filtracyjnych” pokazała, że pozytywne podejście do zaangażowania się w działania ekologiczne i wdrażanie dobrych rozwiązań, deklarują przede wszystkim osoby młodsze i mieszkańcy większych miast. Natomiast wiara w sprawczość jednostki w rozwiązywaniu globalnych problemów klimatycznych jest bardzo niska.

Różnica w poziomie wiedzy, świadomości ekologicznej i angażowanie się w poprawę stanu środowiska naturalnego

¹⁶ Świadomość ekologiczna Polaków, „Komunikat z badań CBOS” nr 163/2020, s. 1.

w społeczności, zależy często od statusu ekonomicznego, wykształcenia oraz miejsca zamieszkania.

Nasilenie obaw związanych ze stanem środowiska we własnej miejscowości zamieszkania wyraźnie zależy od wielkości miejsca zamieszkania – częściej deklarują je mieszkańcy większych miast. Bardzo duży lub duży niepokój wyraża co drugi mieszkaniec największych aglomeracji i jedynie 14% mieszkańców wsi. Zależność tego rodzaju występuje również w przypadku całego kraju i całego świata, lecz jest ona słabsza. Zauważyć można również, że nasilenie obaw związanych ze stanem środowiska naturalnego – w miejscowości zamieszkania, w kraju oraz na świecie – zależne jest od poziomu wykształcenia. Duży lub bardzo duży niepokój częściej wyrażają lepiej wykształceni respondenci¹⁷.

Powyższe dane wskazują zatem niezaprzeczalnie na duże znaczenie wiedzy i potrzebę ciągłej edukacji podnoszącej jej poziom oraz świadomość konieczności działań na rzecz poprawy środowiska.

Wyniki zamieszczone w *Raporcie z badania świadomości i zachowań ekologicznych mieszkańców Polski 2022*, pokazują, że:

Największy spadek w porównaniu z rokiem 2020 odnotował problem ochrony środowiska (24%) – spadek o 28%. W wyniku obecnych zagrożeń wynikających z sytuacji politycznej, kwestia ochrony środowiska jest już oceniana jako mniej priorytetowa. W przypadku zagrożeń środowiska naturalnego największym problemem jest

¹⁷ *Ibidem*, s. 3.

zanieczyszczenie powietrza, problem śmieci
i zanieczyszczenie wód oraz niskie zasoby wody¹⁸.

Stan środowiska naturalnego jest i powinien być nieodłączną częścią świadomości każdego mieszkańca Ziemi; obszarem działań indywidualnych, lokalnych, krajowych i międzynarodowych. Niezależnie od sytuacji politycznej czy gospodarczej troska i plany przeciwdziałania zagrożeniom środowiska naturalnego winny być obecne w polityce klimatycznej i w obszarze zainteresowań każdego obywatela.

Ważnym elementem do osiągnięcia takiego stanu jest edukacja; edukacja ekologiczna na każdym poziomie, w domu, szkole, pracy, prowadzona przez system oświaty, organizacje pozarządowe, instytucje wspierane przez władze samorządowe i rządowe. Oprócz systemowych rozwiązań oraz krajowej, europejskiej i światowej legislacji, istotne dla wzrostu wiedzy ekologicznej są oddolne, społeczne akcje i inicjatywy wpływające pozytywnie na świadomość i zaangażowanie. Każda forma przekazywania wiedzy i popularyzacji pro-środowiskowego postępowania sprzyja ochronie zdrowia i środowiska.

W *Raporcie o stanie świadomości ekologicznej wśród najczęściej wskazywanych powodów dla których Polacy chcą chronić środowisko jest troska o przyszłe pokolenia oraz dbałość o zdrowie człowieka. Natomiast respondenci uważają, że stan środowiska zależy przede wszystkim od aktywności każdego z nas (62%), a w dalszej kolejności od dobrych przepisów prawnych (36%) oraz uznania przez nasze społeczeństwo kwestii środowiska za ważny problem (33%)¹⁹.*

¹⁸ *Raport z badania świadomości i zachowań ekologicznych mieszkańców Polski 2022, Streszczenie zarządcze, Ministerstwo Klimatu i Środowiska 2022, s. 2*

¹⁹ *Ibidem, s. 2.*

Aktywność społeczna, program edukacyjny, a także wymiana wiedzy i doświadczeń między pokoleniami i środowiskami, to elementy, które okazały się skuteczne w projekcie „Roślinnych wysp filtracyjnych”. Edukacja ekologiczna, zainteresowanie wybranym obszarem działań – ochrony czystości wód – przyczyniła się do zaangażowania społeczeństwa w celu rozwiązywania lokalnych problemów, wzrostu wiedzy, świadomości oraz wiary w sprawczość działań i oddolnych inicjatyw.

Zaangażowanie w działania projektowe różnych środowisk i grup wiekowych, czyli uczniów szkół podstawowych, młodzieży, dorosłych, mieszkańców, przedstawicieli nauki, zaangażowanej społecznie firmy „3M” oraz Państwowego Gospodarstwa Wodnego WODY POLSKIE, pozwoliło na integrację społeczną i przygotowanie skutecznego rozwiązania oczyszczającego wody rzek i zbiorników, możliwego do wprowadzenia na większą skalę. Edukacja ekologiczna jest podstawą zachowania równości i skuteczności społeczeństwa w działaniach na rzecz środowiska naturalnego i bezpieczeństwa klimatycznego.

A za kształtowanie postaw i zachowań ekologicznych odpowiedzialny każdy jest indywidualnie.

Koncepcja

Roślinne wyspy filtracyjne składają się kilku głównych elementów, od których zależą ich właściwości i efektywność:

- tratwa – platforma unosząca się na powierzchni wody, tworząca przestrzeń do wzrostu roślin;
- rośliny – gatunki wodne lub bagienne, dobrze przystosowane do warunków panujących w wybranym zbiorniku lub cieku i charakteryzujące się zdolnością akumulacji zanieczyszczeń;
- podłoże – materiał organiczny, którego niewielka ilość pozwala na ukorzenie się roślin;
- elementy mocujące – pozwalają na bezpieczne zacumowanie wysp w wybranej lokalizacji i ich modułowe łączenie.

Projektując wyspy założono, że tratwa powinna być wykonana w możliwie największym stopniu z materiałów biodegradowalnych i jednocześnie zachowywać wyporność z pomocą minimalnej ilości dodatkowych pływaków. Jej wymiary powinny pozwalać na sprawne ręczne przenoszenie. Użyte materiały muszą być na tyle trwałe, aby nie doszło do rozpadu wyspy przed końcem sezonu wegetacyjnego.

Główną część tratwy wykonano z faszyny wierzbowej, która posiada niską gęstość w stanie suchym. Konstrukcję połączono za pomocą kantówek olchowych – gatunku odznaczającego się wysoką trwałością przy pełnym zanurzeniu w wodzie.

Do nasadzeń postanowiono wykorzystać więcej niż jeden gatunek roślin, żeby zachować różnorodność oraz atrakcyjność wizualną instalacji. Wybrane gatunki roślin powinny

charakteryzować się tolerancją na pełne zanurzenie systemu korzeniowego oraz przepływ wody, czyli warunki występujące w Odrze. Wstępnie, na podstawie przeglądu literatury, wytypowano osiem gatunków roślin, aby w końcowym etapie projektu ocenić ich przydatność:

- kosaćca żółtego (*Iris pseudacorus*),
- mięte nadwodną (*Mentha aquatica*),
- oczeret jeziorny (*Schoenoplectus lacustris*),
- pałkę wąskolistną (*Typha angustifolia*),
- ponikło igłowate (*Eleocharis acicularis*),
- sit rozpierzchły (*Juncus effusus*),
- tatarak zwyczajny (*Acorus calamus*),
- trzcinę pospolitą (*Phragmites australis*).

Do sadzenia roślin wybrano podłoże torfowe, odkwaszone, nie zawierające nawozów, które mogłyby uwalniać się do wody oraz woreczki z włókniny biodegradowalnej.

Główne założenia: materiały biodegradowalne, kompaktowy format, różnorodne gatunki, podłoże inertne, trwałe elementy mocujące z metalu i tworzyw sztucznych.

Ze względu na charakter rzeki i fakt, że stanowi ona kanał żeglugowy konieczny był wybór trwałych i dobrze widocznych mocowań. Z tego względu zdecydowano o wykorzystaniu elementów z tworzywa sztucznego i stali nierdzewnej lub ocynkowanej:

- liny polipropylenowej (grubość 12 mm),

- kotwic betonowych (15 kg),
- bój cumowniczych (wyporność 10 kg),
- szpilek gwintowanych, nakrętek, podkładek (\square 10 mm),
- karabińczyków i kabłąków do montażu lin,
- kotw z oczkiem okrągłym (dł. 50 cm).



Fot. 2. Prototyp tratwy – element roślinnej wyspy filtracyjnej (źródło: H2O SCITECH)

Stosując opisane kryteria i wybrane materiały wykonano prototyp tratwy, który próbnie zbudowano w celu wcześniejszego sprawdzenia pływalności. Na tym etapie obrane rozwiązania spełniały potrzeby projektu i zdecydowano o powieleniu modelu w trakcie warsztatów edukacyjnych.

Realizacja

Identyfikacja problemu

I POŁOWA KWIETNIA

Dnia 11 kwietnia 2024 r. odbyły się pierwsze warsztaty projektowe, których celem było zbadanie zanieczyszczenia wody w Odrze oraz próba doboru odpowiednich gatunków roślin filtrujących.

Początkowo omówiono najczęstsze przyczyny złej jakości wód. W wodach polskich rzek coraz częściej występują zakwity alg, których toksyny wywołują masowe śnięcia ryb i zamieranie innych organizmów. Ich główną przyczyną jest wysokie zasolenie, które dodatkowo rośnie w okresach niskiego stanu wody oraz obecność substancji biogennej i innych zanieczyszczeń.

Wodę do testów pobrano z różnych odcinków Odry (starorzecza, kanału, rzeki swobodnie płynącej); dla zobrazowania zmienności poziomu substancji biogennej przygotowano również wodę wodociągową oraz pobraną z systemu akwaponicznego²⁰.

Na czas warsztatów utworzono 5 zespołów. Zadaniem każdego zespołu było zbadanie jednej z przygotowanych próbek pod względem:

- odczynu (pH),
- zasolenia (przewodności elektrolitycznej, EC),
- stężenia fosforanów (PO_4^{3-}),
- stężenia jonów amonowych (NH_4^+),

²⁰ System akwaponiczny łączy w sobie produkcję roślinną i zwierzęcą. Substancje powstające w wodzie z odchodów zwierząt i resztek pokarmu są wykorzystywane w procesie uprawy roślin jadalnych.

- stężenia azotanów (NO_3^-).

Na podstawie uzyskanych wyników oceniono czystość wody z poszczególnych lokalizacji i zaproponowano wyjaśnienie obserwowanych różnic. Każdy zespół – w oparciu o udostępnione materiały – wytypował gatunki roślin najlepiej przystosowane do wzrostu w analizowanych warunkach.



Fot. 3. Uczestnicy warsztatów w trakcie analiz wody (źródło: H2O SCITECH)

Konstrukcja wysp

POŁOWA MAJA

W trakcie drugiego spotkania warsztatowego, które odbyło się 16 maja 2024 r., wykonano konstrukcję tratw stanowiących główny element niezbędny do budowy wysp filtracyjnych. Do tego celu wykorzystano:

- faszynę wierzbową (dł. ok. 1,3 m),

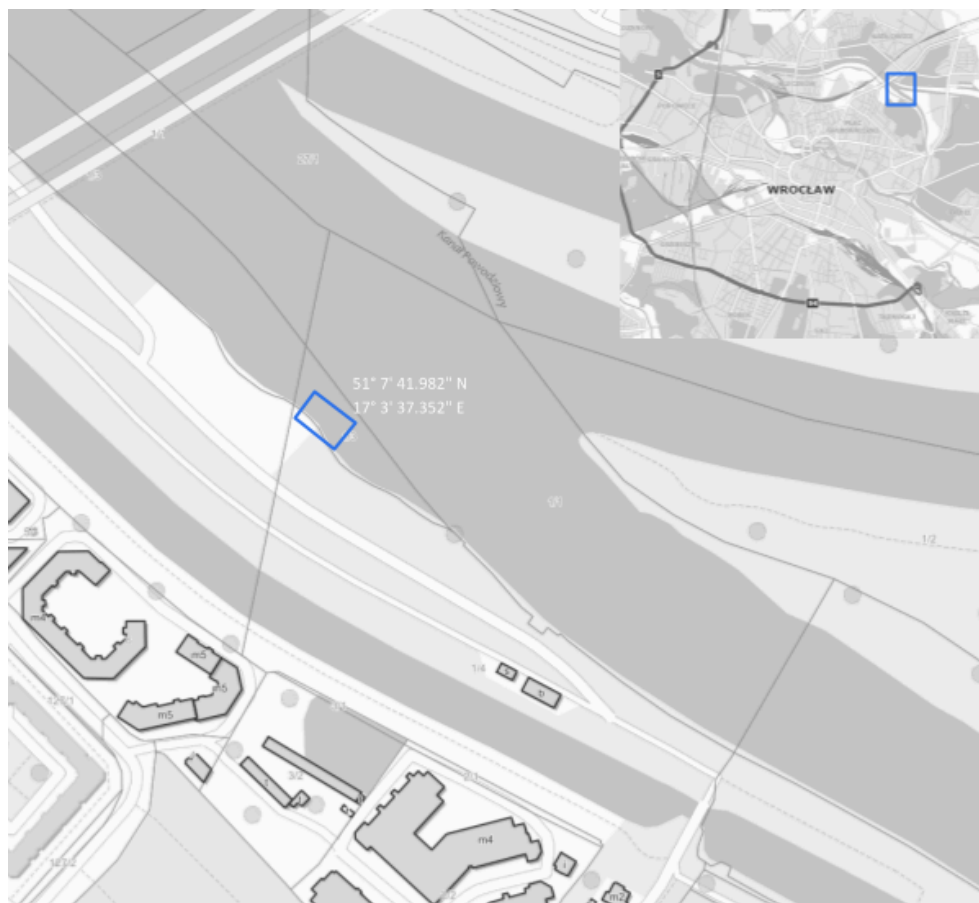
- kantówki olchowe (dł. 1,5 m),
- komplety śrub,
- liny cumownicze,
- sznurek jutowy,
- podstawowe narzędzia: wkrętarce z wiertłem, klucze płaskie, nożyce.



Fot. 4. Proces budowy tratw (źródło: H2O SCITECH)

Każdy z pięciu zespołów miał za zadanie, według wcześniej ustalonej instrukcji, skonstruować swoją tratwę. W czterech kantówkach olchowych wykonywano po 3 otwory, w których umieszczono śruby. Następnie przy pomocy tych zestawów ścisniano dwie równoległe krawędzie tratwy ułożonej z wiązek faszyny; środkowe śruby łączono za pomocą liny z dwiema

pętlami umożliwiającymi późniejsze szeregowe łączenie wysp. Tak skonstruowane tratwy zostały opisane i złożone w pobliżu miejsca wodowania.



Rys. 1. Miejsce wodowania roślinnych wysp filtracyjnych (opracowanie: H2O SCITECH)

Sadzenie roślin

II POŁOWA MAJA

W dniu 18 maja 2024 r. – w miejscu późniejszego wodowania – odbyło się ostatnie spotkanie związane z budową wysp filtracyjnych.

Każdy z zespołów odnalazł przez siebie skonstruowaną tratwę, a następnie miał za zadanie umieścić w niej przygotowane

rośliny. Uczestnicy dobierali proporcje poszczególnych gatunków zgodnie z własnym zamysłem oraz wiedzą zdobytą w trakcie pierwszych warsztatów.



Fot. 5. Uczestnicy projektu umieszczają rośliny w tratwach (źródło: H2O SCITECH)

W każdej tratwie umieszczono od 30 do 50 sadzonek. Rośliny sadzono do woreczków włókninowych wypełnionych podłożem torfowym, które następnie związywano fragmentem sznurka jutowego. Otrzymane w ten sposób „sakiewki” wtykano w przestrzenie w wiązках faszyny, w rozstawie ok. 30 cm.

Proces sadzenia przebiegał sprawnie, a zaproponowana metoda pozwoliła na trwałe wkomponowanie roślin w strukturę tratw. Błędem było zastosowanie podłoża torfowego – uczestnicy zwracali uwagę, że nie jest to materiał pozyskiwany w sposób zrównoważony, ponieważ jego zasoby nie odnawiają się w krótkim okresie czasu. Sytuacja ta wskazuje – oprócz konieczności zmiany rozwiązania – na wysoką świadomość ekologiczną osób zainteresowanych projektem.

Torf odkwaszony wykorzystany w procesie sadzenia roślin powinien zostać zastąpiony materiałami na bazie produktów ubocznych, np. podłożem z włókna kokosowego, które nie wymagają eksploatacji stanowisk naturalnych.

Wodowanie i cumowanie

II POŁOWA MAJA

Po wykonaniu nasadzeń przystąpiono do wodowania wysp.

Na dnie rzeki umieszczono trzy kotwice połączone liną z ostrzegawczymi, pomarańczowymi bojami, które zostały przycumowane również do kotew na nabrzeżu. Odległość między bojami dobrano w taki sposób, aby stanowiła wielokrotność długości pojedynczej wyspy filtracyjnej.

Wyspy umieszczano kolejno na wodzie, a następnie holowano do miejsca przeznaczenia, gdzie łączono je szeregowo za pomocą karabińczyków i przypinano do przygotowanych bojek.



Fot. 6. Łączenie i cumowanie roślinnych wysp filtracyjnych (źródło: H2O SCITECH)

Ostatecznie wyspy utworzyły rząd równoległy do brzegu rzeki, utrzymywany w miejscu przez kotwice. W takim ułożeniu pozostawiono je do końca sezonu wegetacyjnego.



Fot. 7. Wyspy po zwodowaniu w docelowej lokalizacji (źródło: H2O SCITECH)

Monitoring

Aklimatyzacja roślin

POCZĄTEK CZERWCA

Od wodowania do zbioru roślinnych wysp filtracyjnych prowadzono regularny monitoring i dokumentację fotograficzną.

W pierwszych tygodniach obserwowano stopniową aklimatyzację roślin. Tratwy z faszyny utrzymywały się tuż pod lustrem wody, co stwarzało optymalne warunki dla ich wzrostu. Sadzonki w pierwszej kolejności ukorzeniły się w niewielkiej ilości dostępnego podłoża, by później czerpać składniki odżywcze wprost z przepływającej wody.



Fot. 8. Aklimatyzacja roślin w pierwszych dniach czerwca (źródło: H2O SCITECH)



Fot. 9. Zanieczyszczenia napływające w kierunku wysp (źródło: H2O SCITECH)

Równocześnie ze wczesnym wzrostem roślin zaobserwowano, że liniowe, równoległe do brzegu, ułożenie wysp tworzy korytarz, w którego kierunku napływają zanieczyszczenia organiczne.

Szybki wzrost

KONIEC CZERWCA

Po udanej aklimatyzacji rośliny podjęły intensywny wzrost i wypełniły wolne przestrzenie w obrębie tratwy. Strefa korzeniowa roślin znajdowała się stale pod wodą, gdzie ciągły przepływ wody zapewniał dostępność tlenu.

Wyraźnie widoczny przyrost biomasy pozwalał szacować, że jeżeli nie wystąpią szczególne zakłócenia, rośliny osiągną swój naturalny pokrój i rozmiary przed końcem sezonu wegetacyjnego.



Fot. 10. Widoczny przyrost biomasy roślin (źródło: H2O SCITECH)

Na tym etapie możliwe było rozróżnienie wszystkich ośmiu posadzonych taksonów – wszystkie rośliny dostosowały się do warunków panujących w Odrze. Poszczególne wyspy filtracyjne różniły się strukturą gatunkową, co wynikało z wyborów dokonanych przez osoby budujące, jak również z różnego stopnia ekspansywności gatunków. Dzięki temu uzyskano efekt mozaikowości większej, niż w przypadku naturalnych zbiorowisk występujących na brzegu rzeki.

Utrata wyporności

POCZĄTEK LIPCA

Na początku lipca 2024 r. doszło do nagłego zatonięcia wysp filtracyjnych. Początkowo uznano, że jest to spowodowane zbyt krótkimi linami łączącymi wyspy z kotwicami, przez co pozostałyby pod powierzchnią wody w przypadku gwałtownego wzrostu jej stanu.



Fot. 11. Po zatonięciu wysp widoczne jedynie najwyższe rośliny (źródło: H2O SCITECH)

Po zweryfikowaniu wahań poziomu wody w poprzedzających dniach, które nie przekraczały 30-40 cm, podpłynięto do miejsca cumowania wysp i stwierdzono, że pomimo dostępnego zapasu liny znajdują się one na dnie rzeki. Wyspy samoistnie utraciły wyporność, co najprawdopodobniej było spowodowane stopniową degradacją i namakaniem faszyny wierzbowej.

Do zatonięcia wysp doszło, gdy masa intensywnie przyrastających roślin przekroczyła wyporność faszyny chłonącej wodę w wyniku stopniowej biodegradacji.

Dzięki obecności lin cumowniczych możliwe było wyłowienie wysp. Każda tratwa została zaopatrzona w indywidualną boję przymocowaną wzdłuż przekątnej do wierzchnich kantówek, co pozwoliło na wyniesienie roślin ponad powierzchnię wody.



Fot. 12. Wyspy zaopatrzone w indywidualne boje (źródło: H2O SCITECH)



Fot. 13. Powolne odrastanie nadporniejszych gatunków roślin (źródło: H2O SCITECH)

Po interwencji rośliny rozpoczęły regenerację i podjęły ponowny wzrost, który był znacznie wolniejszy, niż w początkowym okresie po zwodowaniu. Zaobserwowano zamieranie ponikła igłowego i situ rozpierschłego, a wyraźny przyrost biomasy był widoczny wyłącznie u najodporniejszych gatunków (kosaciec żółty, trzcina pospolita).

Awaryjny zbiór

POŁOWA WRZEŚNIA

Początkowo zbiór wysp wyznaczono na 17 września 2024 r., aby zachować czas na analizy i podsumowanie projektu przed jego zakończeniem. Według planu wyspy – odpinane pojedynczo – miały zostać przyciągnięte do brzegu z wykorzystaniem pontonu, a następnie przetransportowane do laboratorium w celu segregacji roślin i przygotowania do analiz.

Dnia 15 września 2024 r. zespół projektowy otrzymał informację z Państwowego Gospodarstwa Wodnego o planowanym otwarciu Jazu Psie Pole, związanym ze zbliżającą się falą wezbraniową na Odrze²¹. Zgodnie z przewidywaniami otwarcie jazu i nagły wzrost stanu wody miały skutkować wzrostem natężenia przepływu i zalaniem tzw. międzywala. W związku z komunikatem, tego samego dnia, podjęto decyzję o wcześniejszym, awaryjnym zbiorze wysp filtracyjnych.

Ze względu na warunki hydrologiczne nie było możliwe użycie pontonu i wyspy zostały wciągnięte za pomocą lin łączących je z brzegiem. Wybrana metoda zapewniła bezpieczeństwo pracowników, jednakże rośliny uległy dodatkowym uszkodzeniom w trakcie przemieszczania wysp poprzez zarośla przybrzeżne.



Fot. 14. Wyspy filtracyjne w chwili zwiększonego stanu wody (źródło: H2O SCITECH)

²¹ Informacja o sytuacji hydrologiczno-meteorologicznej w Polsce z dn. 15 września 2024 r., Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie 2024, s. 1-4.



Fot. 15. Awaryjny zbiór roślinnych wysp filtracyjnych (źródło: H2O SCITECH)

Wyniki i wnioski

W trakcie trwania projektu – poza stałym monitoringiem działania wysp filtracyjnych – wykonywano analizy fizykochemiczne wody pobranej w pobliżu miejsca cumowania, aby określić średnie poziomy wybranych zanieczyszczeń. Po zbiorze przeprowadzono również analizy chemiczne materiału roślinnego, co pozwoliło na oszacowanie wydajności proponowanego rozwiązania i opracowanie zaleceń dla przyszłych zastosowań. Efekty zadań edukacyjno-społecznych zostały ocenione za pomocą badania ankietowego, pozwalającego na określenie poziomu zaangażowania i zadowolenia uczestników warsztatów.

Analizy wody

Wodę do analiz fizykochemicznych pobrano trzykrotnie (w maju, czerwcu i lipcu) w postaci próbki chwilowej. Analizy prowadzono w laboratorium Instytutu Wody oraz w jednostkach zewnętrznych.

Woda charakteryzowała się stosunkowo wysokim odczynem (pH), przewodnością elektrolityczną (EC) i zasoleniem (S):

$$\overline{pH} = 8,44;$$

$$\overline{EC} = 1,31 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1};$$

$$\overline{S} = 1,33\text{‰}.$$

Nie obserwowano istotnego zanieczyszczenia metalami ciężkimi – stężenia chromu, ołowiu, kadmu, cynku i niklu były niższe niż dolna wartość zakresu metody analitycznej. Średnia zawartość miedzi (Cu) i arsenu (As) wynosiła odpowiednio:

$$0,0037 \text{ mg Cu} \cdot \text{L}^{-1},$$

$$2,4 \text{ mg As} \cdot \text{L}^{-1}.$$

Spośród związków biogenych w wodzie nie odnotowano wykrywalnych ilości amoniaku i azotynów. Średnie stężenie jonów azotanowych (NO_3^-) i ortofosforanowych (PO_4^{3-}) wynosiło odpowiednio:

$$8,21 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{L}^{-1},$$

$$0,54 \text{ mg PO}_4^{3-} \cdot \text{L}^{-1}.$$

Wartości graniczne dla wód rzecznych typów nizinnych wynoszą do $2,2 \text{ mg N-NO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$, co daje ok. $9,7 \text{ mg NO}_3^- \cdot \text{L}^{-1}$ i do $0,12 \text{ mg P-PO}_4 \cdot \text{L}^{-1}$, co daje ok. $0,37 \text{ mg PO}_4^{3-} \cdot \text{L}^{-1}$ i oznacza, że zawartość azotanów zbliżała się do wartości dopuszczalnej dla tej klasy jakości, a zawartość ortofosforanów znacznie ją przekraczała²².

Woda charakteryzowała się wysokim pH i przewodnością elektrolityczną. Nie stwierdzono istotnych stężeń metali ciężkich. Zawartość azotanów była bliska wartości granicznej dla wód rzecznych typów nizinnych, a zawartość ortofosforanów przekraczała normę dla tej klasy.

Ocena rozwiązań konstrukcyjnych

W czasie obecności roślinnych wysp filtracyjnych na Odrze występowały zmienne warunki meteorologiczne (m.in. burze z silnym deszczem i gradem) i hydrologiczne; dochodziło również do zdarzeń ekstremalnych jak zwiększony stan i przepływ wody przed nadejściem fali wezbraniowej. Czynniki te wystawiły tratwy jak i rośliny na liczne próby, dzięki czemu możliwa była ocena adekwatności zastosowanych rozwiązań.

Przewidywanym skutkiem głównego założenia – wykorzystania przede wszystkim materiałów biodegradowalnych – była obniżona trwałość konstrukcji w porównaniu z rozwiązaniami komercyjnymi. Do budowy tratw wykorzystano faszynę wierzbową, która cechuje się niską gęstością w stanie suchym w porównaniu do innych, rodzimych gatunków drewna. Niska gęstość drewna zapewniała dobrą początkową pływalność, jednak jego nietrwałość powodowała stopniowe namakanie, co

²² Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych, s. 41-62.

skutkowało utratą wyporności i zatonięciem wysp pod wpływem ciężaru roślin. Pozostałe właściwości faszyny czyniły ją odpowiednią do celu konstrukcji tratw: proces budowy był łatwy i szybki, a przestrzenie we wiązkach umożliwiały sprawne sadzenie roślin i ich późniejszy rozwój.



Fot. 16. Stan drewna olchowego i śrub po zbiorze wysp (źródło: H2O SCITECH)

Do łączenia kieszek faszynowych zastosowano kantówki z drewna olszy, które są tanie, dość lekkie i odporne na stałe zanurzenie w wodzie. Po zbiorze wysp, w przekroju poprzecznym kantówek zaobserwowano objawy rozkładu drewna, jednak możliwe byłoby jego ponowne wykorzystanie.

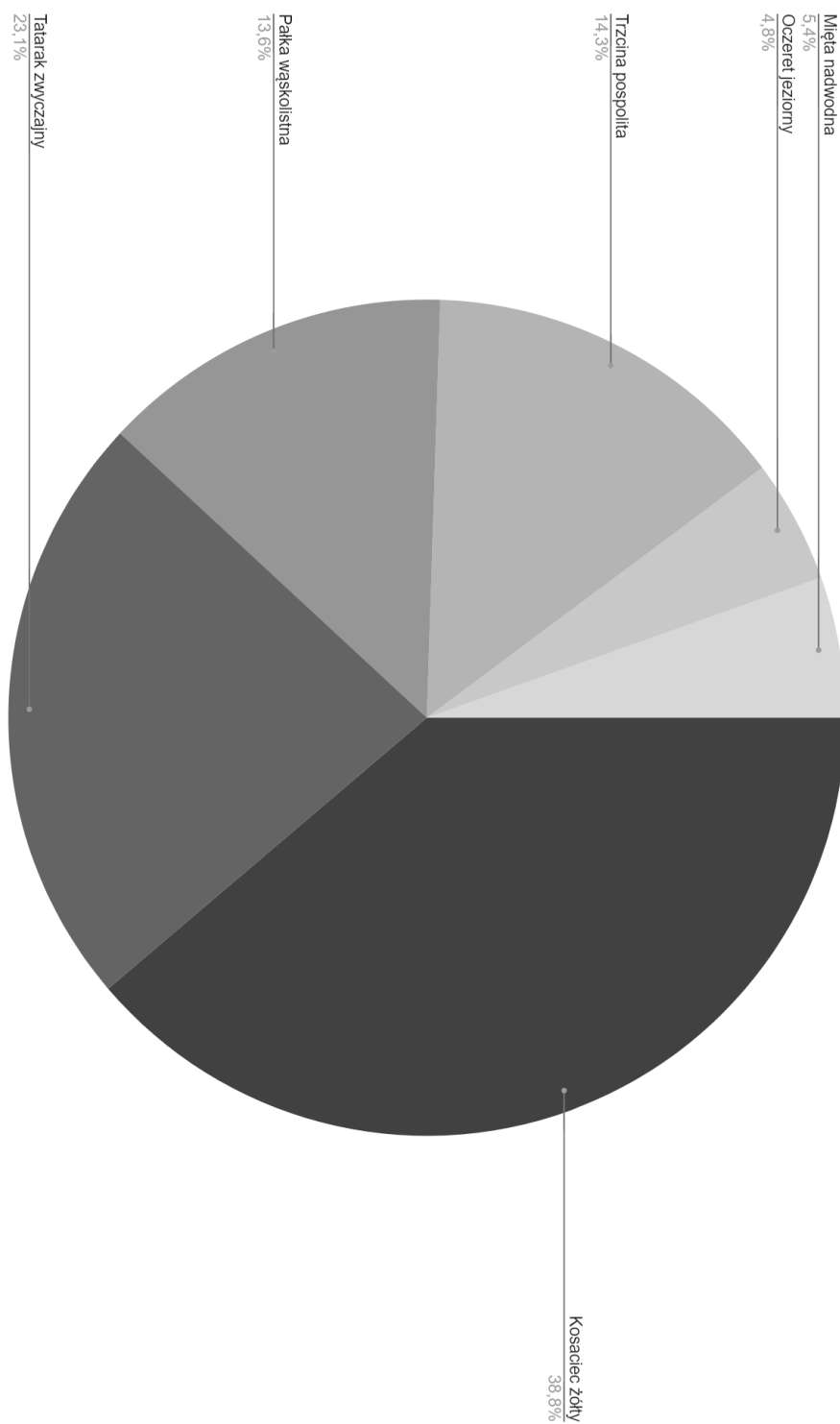
Aby zapewnić pływalność tratw z faszyny przez cały sezon wegetacyjny konieczne jest zastosowanie indywidualnych bojek. Trwałość i wytrzymałość wybranych materiałów organicznych pozwala na ich ponowne użycie do celu budowy wysp filtracyjnych.

Śruby ze stali ocynkowanej uległy znacznej korozji pod wpływem kontaktu z wodą. Utrudnia to demontaż tratw i może prowadzić do uwalniania się cynku. Ilość cynku, która potencjalnie przedostała się do Odry nie wpływa w istotnym stopniu na jakość wody, jednakże należy unikać stosowania licznych elementów metalowych zawierających ten pierwiastek, zwłaszcza w zbiornikach wodnych o niewielkiej objętości.

Biomasa i udział gatunkowy

Na zebraną masę roślin negatywnie wpłynęło zatonięcie wysp (w wyniku którego utracono dwa gatunki, a organy pozostałych roślin obumarły) oraz awaryjny zbiór. Łączna świeża masa odzyskanych roślin wyniosła jedynie 2,9 kg, z czego otrzymano nieco ponad 0,6 kg suchej masy. Znając naturalne rozmiary wykorzystanych gatunków roślin oraz porównując liczbę roślin posadzonych i zebranych oszacowano, że zebrano 10-20% biomasy możliwej do uzyskania przy braku znaczących zakłóceń wzrostu.

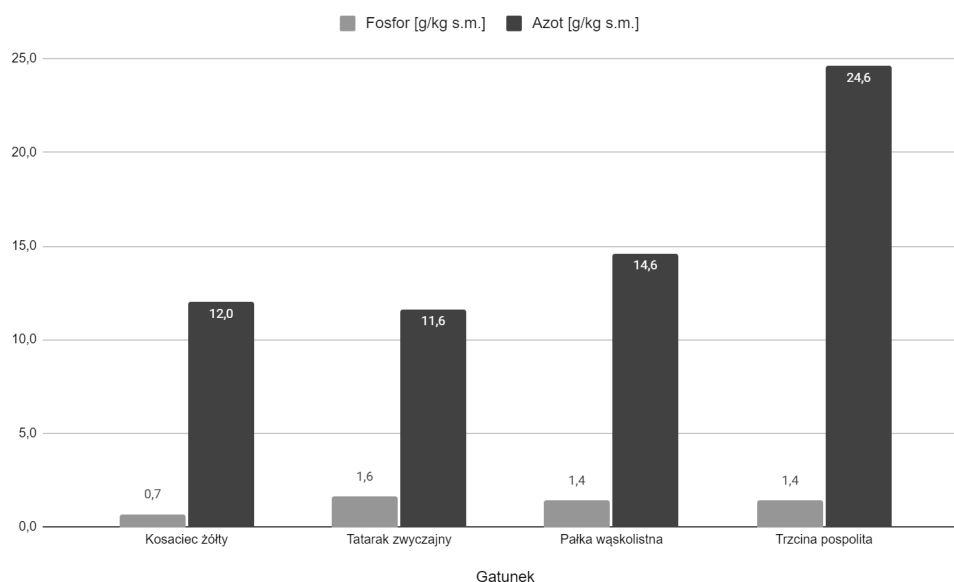
Wśród zebranych roślin oznaczono 6 gatunków, z czego za największy udział masy odpowiadały kolejno: kosaciec żółty, tatarak zwyczajny, pałka wąskolistna i trzcina pospolita. Gatunki te uznano za najlepiej przystosowane do głębokich wód płynących i stosunkowo odporne na czasowe podtopienie. Ich intensywny wzrost stanowił dodatkowy czynnik ograniczający rozwój pozostałych gatunków.



Rys. 2. Udział poszczególnych gatunków w zebranej biomase (źródło: H2O SCITECH)

Zdolność pobierania biogenów

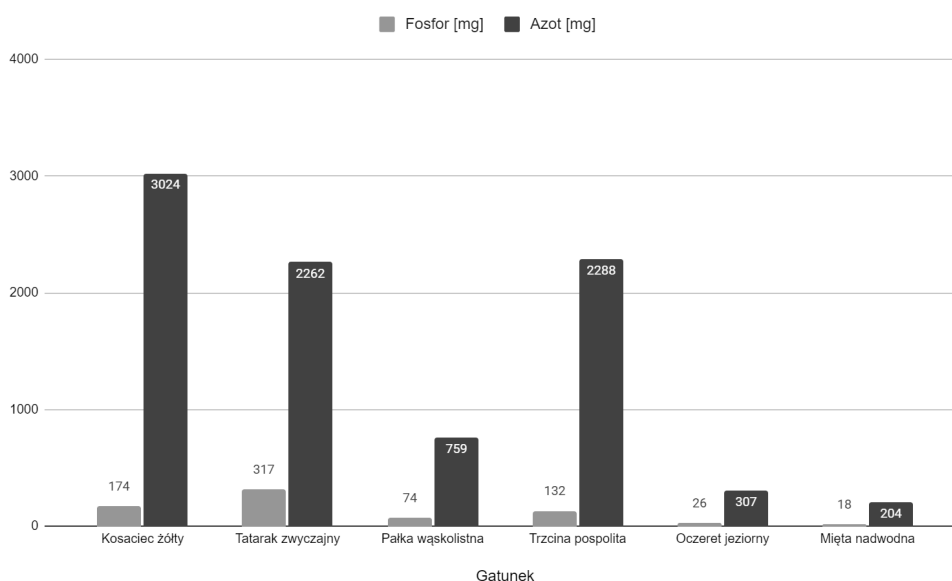
Ze względu na brak wykrywalnych ilości metali ciężkich w wodzie oraz z uwagi na ograniczoną wielkość próbek zdecydowano się na oznaczenie w materiale roślinnym wyłącznie zawartości fosforu całkowitego oraz azotu całkowitego. Przyjęto, że cały fosfor obecny w tkankach roślin pochodzi z fosforanów, a azot z azotanów – czyli dominujących form występowania tych pierwiastków w wodzie rzecznej.



Rys. 3. Zawartość fosforu i azotu w jednostce suchej masy roślin (źródło: H2O SCITECH)

Analizy chemiczne roślin wykonano z podziałem na oznaczone gatunki, aby wykazać różnice w zdolności pobierania biogenów. Najwięcej fosforu w przeliczeniu na jednostkę suchej masy występowało w próbce tataraku zwyczajnego, z kolei największą w proporcji do masy ilość związków azotu pobierała trzcina pospolita.

W ciągu całego sezonu wegetacyjnego największa łączna ilość fosforu związana została w biomacie tataraku zwyczajnego, jednak łącznie najwięcej azotu wychwycone zostało przez kosaciec żółty, który w porównaniu do trzciny pospolitej cechował się intensywniejszym wzrostem.



Rys. 4. Łączna ilość azotu i fosforu związana w biomacie poszczególnych gatunków (źródło: H2O SCITECH)

Skuteczność oczyszczania wody zależy od zdolności poszczególnych gatunków do wchłaniania biogenów oraz ilości wytwarzanej biomasy. Łącznie najwięcej azotu i fosforu wychwycone zostało odpowiednio przez kosaćca żółtego i tatarak zwyczajny.

Skuteczność wysp filtracyjnych

Cztery gatunki roślin charakteryzowały się najlepszym przystosowaniem do wzrostu na wyspach filtracyjnych oraz największą skutecznością oczyszczania. Dalsze uproszczenie

składu gatunkowego byłoby niezgodne z koncepcją wprowadzania różnorodności biologicznej do obszarów zurbanizowanych. Z tego względu przeanalizowano również złożoną efektywność wysp filtracyjnych traktowanych jako kompleksowa i mozaikowa instalacja.

Znając ilość azotu i fosforu pobraną przez poszczególne gatunki i udział tych gatunków w łącznej biomacie obliczono łączną ilość pierwiastków wychwyconą przez rośliny pochodzące z pięciu wysp filtracyjnych.

AZOTANY
łącznie pobrane **8844** mg

FOSFORANY
łącznie pobrane **742** mg

Przyjmując, że głównym źródłem azotu i fosforu były azotany i fosforany oraz znając średnią zawartość tych związków w wodzie oszacowano potencjalną ilość w pełni oczyszczonej wody.

AZOTANY
4720 L oczyszczonej wody

FOSFORANY
4241 L oczyszczonej wody

Jak wcześniej wspomniano, rośliny wytworzyły do 20% maksymalnej biomasy możliwej do uzyskania z udoskonalonej konstrukcji, przy pomyślnych warunkach. Proporcjonalnie do biomasy rośnie ilość oczyszczonej wody. Oznacza to, że przy rozwinięciu pełnego potencjału instalacja składająca się z pięciu

wysp filtracyjnych mogłaby pobrać z wody do 45 g azotanów i do 4 g fosforanów. Znajomość tych wartości pozwala na stosunkowo dokładne obliczenie powierzchni wysp koniecznej do oczyszczenia zbiorników wody stojącej oraz na przybliżone oszacowanie powierzchni wysp umieszczanych w ciekach wodnych. Strategię wartą rozwinięcia może stanowić pośrednie oczyszczanie większych rzek za pomocą wysp filtracyjnych rozlokowanych w mniejszych dopływach. Ten sposób pozwala na przybliżenie miejsca wodowania do źródła zanieczyszczeń, a płytsza woda ułatwia prace i stwarza korzystne warunki dla wzrostu roślin.

Dodatkową funkcją wysp filtracyjnych, oprócz remediacji wody, jest wspieranie bioróżnorodności w środowisku przekształconym przez człowieka. Mieszanka gatunkowa roślin nie tylko zwiększa różnorodność ekosystemu, ale także wespół z naturalnymi materiałami stwarza nowe siedliska bytowania zwierząt (np. małży rzecznych, małych ryb, skorupiaków, ptaków), czy rozwoju pożytecznej mikroflory.



Fot. 17. Tratwa faszynowa zasiedlona przez liczne małże (źródło: H2O SCITECH)

Skuteczność działań edukacyjnych

W opinii zespołu projektowego uczestnicy spotkań warsztatowych bardzo dobrze poradzi sobie z przygotowanymi zadaniami. Wszystkie prace wykonano w zaplanowanym czasie, nie popełniając przy tym istotnych błędów.

W trakcie spotkania podsumowującego przeprowadzono proste badanie ankietowe (tabela 1), którego celem było sprawdzenie, czy wiedza na temat proponowanych rozwiązań została skutecznie przekazana oraz jaki był poziom zadowolenia z udziału w warsztatach.

96% ankietowanych potrafiło nazwać co najmniej jeden gatunek użytych roślin oraz wymienić co najmniej jedną funkcję wysp. Znajomość funkcji wysp była nieco niższa wśród uczniów szkoły podstawowej; uczniowie szkół średnich wskazywali często kilka funkcji wraz ze szczegółowym opisem. Największą trudność sprawiało badanym podanie prawidłowych nazw materiałów użytych do budowy tratw.

Jedna z osób uczących się w szkole średniej przyznała, że trudność sprawiła jej praca w grupie, co oznacza, że w trakcie wydarzeń edukacyjnych należy świadomie wprowadzać elementy budujące kompetencje miękkie. Spośród uczniów szkoły podstawowej również tylko jedna osoba zgłosiła napotkaną trudność, którą było zrozumienie zagadnień z obszaru chemii, poruszanych w ramach pierwszych warsztatów.

Wszystkie ankietowane osoby deklarowały chęć angażowania się w działania społeczne na rzecz rozwiązywania lokalnych problemów. Średnia ocena zadowolenia z udziału w przedsięwzięciu wynosiła 4,7 (w skali 5-stopniowej), przy czym swoje zadowolenie najniżej oceniali uczniowie szkoły podstawowej (średnio 4,4), a najwyższej osoby dorosłe (średnio

5,0). Wraz z wiekiem spada chęć wyrażania krytycyzmu; pomimo, że ankiety miały charakter anonimowy, osoby dorosłe obawiały się urazić organizatorów działań poprzez nieprzyznanie najwyższej oceny. Uczniowie obydwu rodzajów szkół znacznie częściej przyznawali ocenę 4,0, jednakże nie korzystali z możliwości opisanie swoich uwag w towarzyszącym pytaniu otwartym. Zarówno niechęć do przyznawania niskich ocen, jak i brak uzasadnienia ograniczają możliwość udoskonalania przyszłych projektów. Należy poszukiwać metod aktywizacji, takich jak „burza mózgów”, która stwarza uczestnikom spotkań luźną przestrzeń do zgłaszania pomysłów, a przez organizatorów może być wykorzystana do poznania opinii badanych na temat proponowanych rozwiązań.



Fot. 18. Spotkanie podsumowujące rezultaty projektu (źródło: H2O SCITECH)

Tab. 1. Podsumowanie badania ankietowego wśród uczestników projektu

Osoby wykazujące znajomość co najmniej 1 materiału użytego do budowy tratw [%]	
Uczniowie szkoły podstawowej	67
Uczniowie szkoły średniej	86
Osoby dorosłe	100
Ogółem	83
Osoby wykazujące znajomość co najmniej 1 gatunku użytych roślin [%]	
Uczniowie szkoły podstawowej	100
Uczniowie szkoły średniej	93
Osoby dorosłe	100
Ogółem	96
Osoby wykazujące znajomość co najmniej 1 funkcji wysp filtracyjnych [%]	
Uczniowie szkoły podstawowej	83
Uczniowie szkoły średniej	100
Osoby dorosłe	100
Ogółem	96
Wskazywane trudności	
Uczniowie szkoły podstawowej	<i>zagadnienia chemiczne (1 odpowiedź)</i>
Uczniowie szkoły średniej	<i>konieczność pracy w grupie (1 odpowiedź)</i>
Osoby deklarujące chęć angażowania się w rozwiązywanie lokalnych problemów [%]	
Ogółem	100
Średnia ocena zadowolenia z udziału w projekcie [w skali 5°]	
Uczniowie szkoły podstawowej	4,4
Uczniowie szkoły średniej	4,6
Osoby dorosłe	5,0
Średnia ogółem	4,7

Bibliografia

- Afzal M. i in., *Floating treatment wetlands as a suitable option for large-scale wastewater treatment*, „Nature Sustainability” nr 2/2019.
- Ciszewski D., *Wpływ regulacji koryta Odry na akumulację osadów zanieczyszczonych metalami ciężkimi: zróżnicowanie, zmiany w czasie, zagrożenie środowiskowe*, „Studia Naturae” nr 52/2006.
- Dokulil M., Teubner K., *Eutrophication and climate change: present situation and future scenarios*, w: *Eutrophication: causes, consequences and control*, Springer 2011.
- Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej.
- Granstedt A. i in., *Ecological recycling agriculture to reduce nutrient pollution to the Baltic Sea*, „Biological Agriculture and Horticulture” nr 26(3)/2008.
- Informacja o sytuacji hydrologiczno-meteorologicznej w Polsce z dn. 15 września 2024 r., Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie 2024.
- Jachniak E., *Związki biogenne, a proces eutrofizacji wód Goczałkowickiego Zbiornika Wodnego*, „Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich” nr 3(3)/2013.
- Jasiewicz C., Baran A., *Rolnicze źródła zanieczyszczenia wód – biogeny*, „Journal of Elementology” nr 11(3)/2006.
- Keizer-Vlek H. i in., *The contribution of plant uptake to nutrient removal by floating treatment wetlands*, „Ecological Engineering” nr 73/2014.
- Kietla A. i in., *Pływające wyspy*, Łódź Art Center.
- Nachlik E. i in., *Zarządzanie wodą w sytuacjach kryzysowych*, Fundacja Gospodarki i Administracji Publicznej 2023.
- Raport z badania świadomości i zachowań ekologicznych mieszkańców Polski 2022, Streszczenie zarządca, Ministerstwo Klimatu i Środowiska 2022.
- Rizzo A. i in., *Nature-based solutions for nutrient pollution control in European agricultural regions: a literature review*, „Ecological Engineering” nr 186/2023.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych.
- Sharma R. i in., *Application of floating treatment wetlands for stormwater runoff: a critical review of the recent developments with emphasis on heavy metals and nutrient removal*, „Science of the Total Environment” nr 777/2021.
- Siwek M., *Biologiczne metody oczyszczania środowiska – fitoremediacja*, „Wiadomości Botaniczne” nr 52(1/2)/2008.
- Świadomość ekologiczna Polaków, „Komunikat z badań CBOS” nr 163/2020.
- The United Nations world water development report 2024: water for prosperity and peace*, UNESCO 2024.

H2O SCITECH – INSTYTUT WODY

www.h2o-scitech.eu

