

Katarzyna Izydorczyk
Dorota Michalska-Hejduk
Wojciech Frątczak
Agnieszka Bednarek
Małgorzata Łapińska
Paweł Jarosiewicz
Anna Kosińska
Maciej Zalewski

**STREFY BUFOROWE
i BIOTECHNOLOGIE
EKOHYDROLOGICZNE**
w ograniczaniu zanieczyszczeń obszarowych



Praca została zrealizowana w ramach projektu LIFE08 ENV/PL/000519 EKOROB „Ekotony dla redukcji zanieczyszczeń obszarowych” www.ekorob.pl, finansowanego przez Wspólnotę Europejską w ramach instrumentu finansowego LIFE+ komponent „Polityka i Zarządzanie w Zakresie Środowiska”, Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej oraz ze środków finansowych na naukę w latach 2012-2014 przyznanych na realizację projektu międzynarodowego współfinansowanego Nr 2539/LIFE+2007-2013/2012/2



Strefy buforowe i biotechnologie ekohydrologiczne w ograniczaniu zanieczyszczeń obszarowych

Autorzy:

Katarzyna Izydorczyk,

Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii Polskiej Akademii Nauk

Dorota Michalska-Hejduk,

Katedra Geobotaniki i Ekologii Roślin Wydziału Biologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Łódzkiego

Wojciech Frątczak,

Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Warszawie

Agnieszka Bednarek,

Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii Polskiej Akademii Nauk

Małgorzata Łapińska,

Katedra Ekologii Stosowanej Wydziału Biologii i Ochrony Środowiska

Uniwersytetu Łódzkiego

Paweł Jarosiewicz,

Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii Polskiej Akademii Nauk

Anna Kosińska,

Katedra Geobotaniki i Ekologii Roślin Wydziału Biologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Łódzkiego

Maciej Zalewski,

Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii Polskiej Akademii Nauk

Recenzja: Dr hab. inż. Agnieszka Ławniczak,

Katedra Ekologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu

Projekt graficzny: Anna Wojtunik

Zdjęcia: Wojciech Frątczak (s.16 lewe, 20 lewe, 21, 223, 234, 242, 243, 252, 253)

Maciej Gąbka (część katalogowa)

Matthias Harnisch (część katalogowa)

Katarzyna Izydorczyk (s.20 prawe, 27, 30, 31, 81, 201, 205, 210, 222, 224, 225, 231, 232, 233, 239, 240, 241)

Michał Izydorczyk (s.16 prawe)

Dominik Kopeć (s. 65, 71, część katalogowa)

Dorota Michalska-Hejduk (s. 64, 67, 68, część katalogowa)

Ewa Szcześniak (część katalogowa)

Marek Ubraniak (s. 266, 270, 271, 272)

Cezary Werpachowski (część katalogowa)

Rysunki: Michał Fic, Jarosław Kręgiel (AQUAGEO): 202, 206

Barbara Krajewska (AQUAPROJEKT): 219, 220, 230, 248, 254

Małgorzata Łapińska: 34, 39, 41, 45, 84, 85, 268

Anna Wojtunik

ISBN 978-83-928245-1-0

Wydawca: Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii Polskiej Akademii Nauk

Druk: poligraf.net.pl

Łódź, wrzesień 2015

Strefy buforowe i biotechnologie ekohydrologiczne w ograniczaniu zanieczyszczeń obszarowych

Katarzyna Izydorczyk
Dorota Michalska-Hejduk
Wojciech Frątczak
Agnieszka Bednarek
Małgorzata Łapińska
Paweł Jarosiewicz
Anna Kosińska
Maciej Zalewski

Europejskie Regionalne Centrum Ekohydrologii
Polskiej Akademii Nauk

Łódź 2015



Spis treści

10	Wstęp
	I. Co wiemy o przyczynach i charakterze zanieczyszczeń oraz o tym jak je ograniczać
14	1. Zanieczyszczenia pochodzenia rolniczego: przyczyny i konsekwencje
25	2. Ekohydrologia – systemowe podejście do redukcji zanieczyszczeń obszarowych
36	3. Drogi transportu związków biogenicznych w krajobrazie
46	4. Procesy biogeochemiczne zachodzące w strefach ekotonowych przyczyniające się do redukcji azotu i fosforu
55	5. Efektywność stref buforowych w ograniczaniu zanieczyszczeń obszarowych
62	6. Przyroda najlepszym doradcą – naturalne strefy ekotonowe występujące w krajobrazie Polski

II. Jak i z czego konstruować efektywne strefy buforowe i biotechnologie ekohydrologiczne – wytyczne i doświadczenia

74	7. Wytyczne do kształtowania i utrzymywania ekotonów oraz biotechnologii ekohydrologicznych
86	8. Pożądani współpracownicy i nieproszeni goście – katalog roślin zalecanych do konstruowania stref oraz niepożądanych gatunków inwazyjnych
197	9. Doświadczenia w wykorzystaniu istniejących i konstruowaniu nowych stref ekotonowych i biotechnologii ekohydrologicznych (studia przypadków)
198	9.1. Łąki występujące w zlewni Pilicy jako efektywne strefy buforowe w ograniczaniu zanieczyszczeń azotanami
213	9.2. Zastosowanie wysokoefektywnych stref ekotonowych w celu ograniczenia transferu zanieczyszczeń obszarowych do wód podziemnych i powierzchniowych
245	9.3. Zastosowanie sekwencyjnych systemów sedymentacyjno-biofiltracyjnych w celu podczyszczenia wód powierzchniowych i opadowych w obszarach wiejskich
257	9.4. Zastosowanie barier denitryfikacyjnych w celu ograniczenia zanieczyszczeń azotanowych
275	Literatura

Dynamiczny przyrost liczby ludności na świecie powoduje wzrost zapotrzebowania na produkcję żywności w skali przemysłowej, co wymusza wprowadzenie mechanizmów intensyfikacji produkcji w rolnictwie. Polegają one z jednej strony na wzroście wykorzystania nawozów i środków ochrony roślin, a z drugiej na wprowadzaniu monokulturowych upraw, co w konsekwencji wpływa na zmianę metabolizmu substancji organicznych i mineralnych w glebie powodując wzrost odpływu szkodliwych substancji z obszarów rolniczych do wód.

Wody, zarówno stojące jak i płynące występujące w krajobrazie rolniczym, coraz częściej pozbawiane są ochrony w postaci naturalnych i półnaturalnych ekosystemów na pograniczu lądu i wody stanowiących efektywną barierę redukującą zanieczyszczenia obszarowe, jak również będących ostoją różnorodności biologicznej. Należy mieć na uwadze, że niektóre ze zbiorowisk roślinnych występujących naturalnie wzdłuż cieków stanowią siedliska przyrodnicze ujęte w załączniku I Dyrektywy Rady 92/43/EWG, a zatem posiadają rangę zbiorowisk wartych ochrony w skali Europy. Należą do nich na przykład

tak zwane zbiorowiska welonowe, rozwijające się najczęściej pomiędzy zbiorowiskami nieleśnymi (polami, łąkami) a nadrzecznymi lasami – łąkami. Dlatego tak ważne jest podejmowanie działań mających na celu ochronę istniejących jeszcze fragmentów zbiorowisk roślinnych, stanowiących naturalnie wykształcone strefy buforowe.

Jednocześnie ze względu na nasilającą się antropopresję, a w jej konsekwencji zanieczyszczenie wód powierzchniowych i podziemnych, konieczne staje się wdrażanie rozwiązań, które w naturalny sposób, bez nadmiernej ingerencji w środowisko, pozwoliłyby efektywnie chronić ekosystemy wodne. Przykładem takich rozwiązań są biotechnologie ekohydrologiczne wykorzystujące naturalne procesy biogeochemiczne zachodzące w zlewni na pograniczu lądu i wody.

Oddajemy zatem do rąk czytelników podręcznik, który stawia sobie dwa cele. Pierwszym z nich jest przedstawienie mechanizmów powstawania zanieczyszczeń obszarowych wraz z możliwością ich ograniczania przez strefy buforowe. Drugim – ważniejszym celem – jest zachęcenie do tworzenia takich stref i stosowania biotechnologii ekohydrologicznych na gruntach prywatnych. Mamy nadzieję, że publikacją zainspirujemy nie tylko rolników, ale również inżynierów projektujących urządzenia wodne, pracowników instytucji odpowiedzialnych za prace utrzymaniowe wód oraz zarządzających wodami do stosowania dobrych praktyk w celu ochrony wód.

W podręczniku przedstawiamy podstawowe zasady konstruowania stref buforowych, doradzamy jakie rośliny zastosować, a także prezentujemy przykłady naturalnie wykształconych roślinnych stref buforowych oraz wdrożonych w ostatnim czasie biotechnologii ekohydrologicznych.

część I.

**Co wiemy o przyczynach
i charakterze zanieczyszczeń
oraz o tym jak je ograniczać**



1.

Zanieczyszczenia pochodzenia rolniczego: przyczyny i konsekwencje

W Polsce tereny użytkowane rolniczo w stosunku do powierzchni kraju stanowią 60,3%, zaś ich powierzchnia wynosząca 18 870 tys. ha umieszcza kraj na trzecim miejscu pod względem wielkości terenów rolnych w Unii Europejskiej, po Francji i Hiszpanii. Jednocześnie polskie rolnictwo, w porównaniu z innymi krajami członkowskimi Unii Europejskiej, posiada naturalne ograniczenia dla jego produktywności, co spowodowane jest słabą jakością gleb, niską roczną sumą opadów, niską temperaturą oraz krótkim okresem wegetacyjnym. Ograniczające czynniki środowiska naturalnego przyczyniają się do wzmożonego nakładu pracy i kosztów w tej strategicznej dla kraju gałęzi gospodarki, co czyni je wysokonakładową i energochłonną. Dodatkowy problem stanowi niekorzystny wpływ rolnictwa na środowisko, m.in. w postaci emisji substancji biogenicznych do gleby przedostających się następnie do wód podziemnych i powierzchniowych.

Warto podkreślić, że struktura gospodarstw rolnych w Polsce nadal jest bardzo zróżnicowana, a dominującym, chociaż wykazującym tendencję malejącą, jest rolnictwo tradycyjne (ekstensywne). Rolnictwo tradycyjne, sięgając do jego genezy, wyewoluowało z rolnictwa naturalnego i podobnie jak ono nie stwarza dużych zagrożeń dla środowiska naturalnego i krajobrazu rolniczego. Istotną cechą takiego rolnictwa jest zachowanie na użytkowanych obszarach bioróżnorodności rolniczej, która dostosowuje się w naturalny sposób do zmian zachodzących w środowisku. Takie użytkowanie gruntów nie wykazuje ujemnych efektów zewnętrznych, ponieważ poziom odpadów

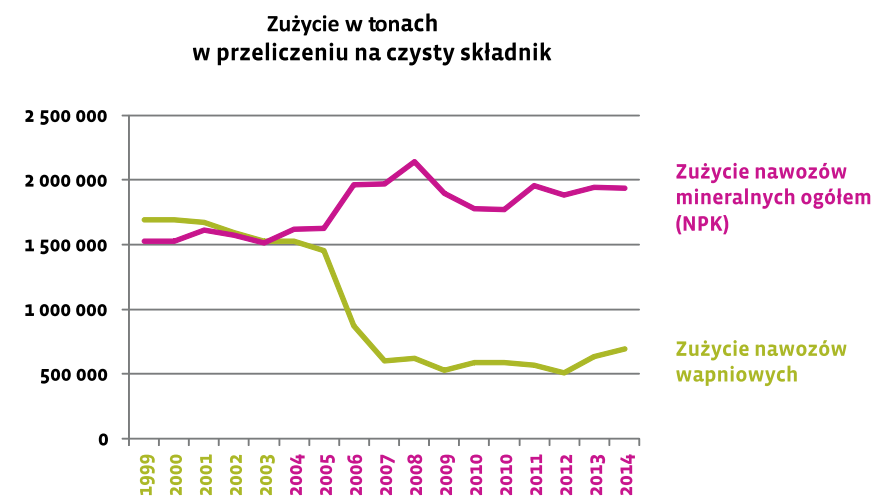


emitowanych do środowiska jest niewielki, a redukcja zasobów naturalnych znikoma. Przeciwnym typem ekstensywnego użytkowania gruntów jest rolnictwo intensywne, nazywane również wysokotowarowym, które nastawione jest na intensywną eksploatację profilu glebowego przy wzroście nawożenia i udziale intensywnej chemizacji. Ten typ rolnictwa związany jest najczęściej z uprawą monokulturową selekcionowanego materiału roślinnego, a takie uprawy wielkoobszarowe (gospodarstwa powyżej 100 ha) zmieniają w sposób trwały krajobraz. Likwidacja miedz i zadrzewień śródpolnych czy oczek wodnych skutkuje zmniejszeniem powierzchni naturalnych form krajobrazu i negatywnie wpływa na zachowanie bioróżnorodności tych obszarów. W konsekwencji praktyki te powodują szereg negatywnych zjawisk, w tym trwałe naruszenia struktury korytarzy ekologicznych czy intensyfikację erozji gleb. Dodatkowym zagrożeniem może stać się wprowadzenie rolnictwa intensywnego na gleby o niskiej klasie bonitacyjnej, co przyczynia się do zwiększenia ilości stosowanych nawozów mineralnych i środków ochrony roślin (Jaros 2013).



Żniwa w rolnictwie ekstensywnym oraz na obszarze monokultury

Jedną z form intensyfikacji produkcji rolnej jest wzrost wykorzystania nawozów azotowych i fosforowych. Istotne jest, że zużycie tych nawozów w Polsce wykazuje tendencję zwyżkową zwłaszcza od 2004 roku, kiedy to Polska przystąpiła do Unii Europejskiej, dając możliwość korzystania przez rolników z płatności bezpośrednich w ramach Wspólnej Polityki Rolnej. Niestety w połączeniu ze spadkiem zużycia nawozów wapniowych przyczynia się to do ograniczenia aktywności biologicznej gleby między innymi w procesach rozkładu substancji organicznej w glebie, co z kolei powoduje obniżenie zawartości próchnicy w glebie.



Zużycie nawozów mineralnych i wapniowych w Polsce w latach 1999-2014 wg danych GUS

Dodatkowo odnotowano tendencję spadku wysokości nawożenia fosforem i potasem, co wiąże się z wysokimi cenami nawozów fosforowo-potasowych (Grzebisz i in. 2012). Konsekwencją niewłaściwej proporcji składników nawozowych (N:P:K) jest ograniczone przyswajanie azotu przez rośliny, przy jednoczesnym jego wymywaniu do wód gruntowych.



Średnie nawożenie w kraju na poziomie 133 kg NPK/ha nie jest tak zintensyfikowane, jak w krajach wysokorozwiniętych, gdzie dochodzi nawet do 310 kg NPK /ha w Holandii czy do 199 kg NPK /h w Niemczech (<http://data.worldbank.org/>). Jednak w wyniku wzrostu wykorzystania nawozów mineralnych i naturalnych oraz braku powszechnego stosowania dobrych praktyk rolniczych substancje biogeniczne (azot i fosfor) w zwiększonej ilości przedostają się do środowiska wodnego. Dodatkowo konieczność dbania o swoją konkurencyjność na rynku oraz ukierunkowanie produkcji dla uzyskiwania plonów o cechach pożądanych przez konsumentów, a także zwiększenie produkcji żywności spowodowały znaczny wzrost użycia środków ochrony roślin, głównie pestycydów i hormonów roślinnych. Substancje te, tak jak niewykorzystane przez rośliny składniki nawozowe, ulegają wymywaniu z pól i poprzez spływ powierzchniowy i infiltrację w głąb profilu glebowego przedostają się do pierwszego poziomu wód gruntowych, systemów drenarskich, cieków i zbiorników wodnych.

Chemiczny charakter wielu grup pestycydów oraz niektóre frakcje fosforu chętnie wiążą się z cząsteczkami gleby i przemieszczają wraz ze spływem powierzchniowym do wód. Z obszaru Polski straty fosforu na drodze wymywania z gleby można oszacować na ok. 5,5 tys. ton, a straty na skutek zmywów powierzchniowych na ok. 18 tys. ton (Sapek 1998). Daje to łącznie 23,5 tys. ton fosforu, co przyjmując, że jego dopływ w nawozach i paszach dla zwierząt dla obszaru Polski wynosi 163 tys. ton (Igras i Fotyma 2009), stanowi około 14,4% dopływu.

Natomiast zagrożeniem dla warstw wodonośnych są głównie rozpuszczone formy azotu, które z wodami infiltrują w glebie. Należy podkreślić, że emisja związków azotu z obszarów rolnych odbywa się także w wyniku spływu powierzchniowego, jak również poprzez emisję amoniaku z gleby i obornika

do atmosfery. Na podstawie badań monitoringowych prowadzonych przez stacje chemiczno-rolnicze w latach 1997–2005 w 5 tysiącach punktów pomiarowych szacuje się, że przeciętnie ważone straty azotanów w wyniku wymywania w Polsce wynosiły ok. 12 kg N-NO₃/ha użytków rolnych (Fotyma i Fotyma 2006). Dla powierzchni użytków rolnych w Polsce straty azotu na drodze wymywania do wód glebowo-gruntowych wynoszą ok. 190 tys. ton azotu, natomiast do tej ilości należy doliczyć straty azotanów wymywanych z terenów zagród wiejskich (przemy obornika i kiszonki) oszacowane przez Sosulskiego i Łabętowicz (2008) na ok. 30 tys. ton azotu. Daje to łącznie straty ok. 220 tys. ton azotu, co przyjmując, że jego dopływ na powierzchnię pola „gospodarstwa rolnego Polska” wynosi 1 830 tys. ton (Fotyma i in. 2009), stanowi ok. 12% dopływu.

Rolnicze źródła zanieczyszczeń

Zanieczyszczenia punktowe

Powstają w gospodarstwie na niewielkiej powierzchni. Powodowane są nieszczelnością szamb oraz zbiorników na nawozy naturalne, niewłaściwym przechowywaniem kiszonki czy składowaniem obornika bezpośrednio na gruncie, co powoduje, że powstałe z nich odcieki przedostają się do wód.

Zanieczyszczenia obszarowe

Pochodzą z użytków rolnych. Powstają, gdy wody opadowe wypłukują składniki nawozowe z pól do cieków wodnych i wód podziemnych, szczególnie przy niewłaściwym dawkowaniu nawozów i nieodpowiednim terminie ich stosowania.



Najpoważniejszym zauważalnym problemem wynikającym z faktu odpływu związków azotu i fosforu z obszarów rolniczych jest eutrofizacja wód śródlądowych i morskich. Eutrofizacja, czyli użyźnienie, polega na stopniowym zwiększaniu ilości substancji biogenicznych w wodach płynących i zbiornikach wodnych w wyniku wzrostu dopływu wód bogatych w związki azotu i fosforu. Pomimo tego, że proces ten naturalnie występuje w środowisku, to wskutek działalności człowieka gwałtownie przyspieszył. Bezpośrednią konsekwencją wzmożonej eutrofizacji zbiorników wodnych są toksyczne zakwity sinicowe, które skutecznie ograniczają rozwój ekonomiczny obszarów turystycznych, jak również mogą prowadzić do poważnych alergii i schorzeń za sprawą uwalnianych do wody toksyn. Mikrocytyny – toksyny produkowane przez sinice z rodzaju *Microcystis*, jak i innych rodzajów (np. *Planktothrix*, *Anabaena*), należą do najczęściej występujących toksyn sinicowych w wodach słodkich. Są to substancje potencjalnie rakotwórcze, związane z pierwotnym rakiem wątroby (Carmichael 1992, Fujiki i in. 1996). Zatem występowanie zakwitów sinicowych nie tylko uniemożliwia użytkowanie rekreacyjne wód, ale przede wszystkim może spowodować ograniczenia w dostępności do wody pitnej i podnosić koszty jej uzdatniania (Jurczak i in. 2005, Merel i in. 2010, Zamyadi i in. 2012, Delgado i in. 2012).



Występowanie toksycznych zakwitów sinic w okresie letnim ogranicza turystyczne wykorzystanie Zbiornika Sulejowskiego



Zagrożenia wynikające z nadwyżek fosforu i azotu w środowisku wodnym

Fosfor jest głównym pierwiastkiem przyczyniającym się do użyźnienia zbiorników wodnych, czyli ich eutrofizacji. Najczęstszym skutkiem wzrostu trofii (żywności) zbiorników wodnych jest intensywny rozwój glonów i sinic, co może prowadzić do powstawania „zakwitów wody”, objawiających się zmianą barwy i zapachu wód.

Azot, podobnie jak fosfor, przyczynia się do eutrofizacji zbiorników wodnych, a ponadto stanowi zagrożenie dla zdrowia ludzi. Spożywanie większych ilości azotanów może być przyczyną methemoglobinemii, choroby objawiającej się utratą zdolności hemoglobiny do transportu tlenu, groźną szczególnie u dzieci i niemowląt. Powszechne jest także przekonanie, że azotany mają związek z występowaniem chorób nowotworowych przewodu pokarmowego. Dlatego należy pamiętać, że wody przeznaczone do celów spożywczych nie powinny zawierać azotanów więcej niż 10 mg/l.



Zbiorniki zaporowe wybudowane na rzekach są szczególnie narażone na eutrofizację, ponieważ przechwytyją zanieczyszczenia z dużej powierzchni zlewni. Niestety, często w wyniku akumulacji ładunku biogenów i pestycydów docierających ze zlewni, zbiorniki te nie mogą pełnić założonych funkcji. Przykładem może być Zbiornik Sulejowski i zlokalizowane na nim ujęcie powierzchniowe wody dla miasta Łodzi, które z powodu występowania toksycznych zakwitów i pogarszającej się jakości wód zbiornika, zostało przeprojektowane na ujęcie głębinowe, a woda wydobywana jest z pokładów pochodzących z epoki górnej kredy w oparciu o siedem studni głębinowych. Jednakże emisja substancji biogenicznych do gleby, a następnie do wód podziemnych i powierzchniowych to nie tylko problem lokalny czy regionalny. Dane HELCOM PLC-6 dotyczące ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego z Polski do Bałtyku wskazują, że ze źródeł obszarowych trafia łącznie w ciągu roku 176 tys. ton azotu i 11,7 tys. ton fosforu. Udział rolnictwa w emisji całkowitego ładunku szacuje się na 42% w przypadku azotu i 32% dla fosforu.

Polska od wielu lat uczestniczy w realizacji Konwencji Helsińskiej, podejmując liczne działania dla ograniczenia wielkości ładunków zanieczyszczeń przemieszczanych z obszaru Polski do Bałtyku, a zwłaszcza ograniczenia ładunków fosforu i azotu. Ograniczenie eutrofizacji wód, a w konsekwencji osiągnięcie dobrego stanu ekologicznego i chemicznego wszystkich wód wspólnotowych to również cel Unii Europejskiej określony w strategicznym dokumencie, jakim jest Ramowa Dyrektywa Wodna (Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r.). Natomiast Dyrektywa Rady 91/676/EWG z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego, potocznie zwana dyrektywą azotanową, zobowiązuje Polskę

do zapobiegania powstawania i rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń azotanowych oraz do usuwania już istniejących zanieczyszczeń. Dyrektywa azotanowa między innymi obliguje Państwa Członkowskie Unii Europejskiej do wyznaczenia obszarów szczególnie narażonych (OSN) na azotany pochodzenia rolniczego, tzn. takich obszarów, gdzie mają miejsce spływy do wód powierzchniowych i/lub podziemnych, które zawierają lub mogą zawierać ponad 50 mg/l azotanów. Dla takich obszarów w celu ograniczenia odpływu azotu opracowane zostały programy działań, a zadania określone w tych programach adresowane są w szczególności do rolników.

Skoncentrowanie działań przez Komisję Europejską na zanieczyszczeniach azotanowych migrujących z obszarów rolniczych do wód podziemnych i powierzchniowych podyktowane jest przede wszystkim bezpośrednim zagrożeniem zdrowia ludzi korzystających z zanieczyszczonych azotanami wód oraz pokarmów. Należy pamiętać, że wody przeznaczone do celów spożywczych według Światowej Organizacji Zdrowia nie powinny zawierać więcej azotanów niż 10 mg/l. Prowadzone badania naukowe dowodzą, że azotany mają związek z występowaniem chorób nowotworowych. Łatwo migrujące azotany po przekształceniu w azoty są dla organizmu trzysta sześćdziesiąt razy bardziej toksyczne od azotanów (Bouchard 1991, Almeida i in. 1997). Azoty wiążąc się z hemoglobina upośledzają jej funkcję przenoszenia tlenu do komórek, powodując zagrożenie zachorowania na methemoglobinemię (Nolan i in. 1998). Azotany skumulowane w zielonych tkankach warzyw podczas gotowania mogą być przekształcane do mutagennych azotynów, a nawet do rakotwórczych nitrozoamin (Richard 1980). Niektóre badania na zwierzętach dowodzą również, że ciągła ekspozycja na azotany o wysokim stężeniu może zmniejszyć jodochwytność tarczycy, powodując jej niedoczynność, co wśród bydła prowadzi m.in. do poronień (Trivedi i in. 1984).



Wdrażanie dyrektywy azotanowej w Polsce przebiega niezadowolająco, czego wynikiem był pozew Komisji Europejskiej skierowany do Trybunału Sprawiedliwości Unii Europejskiej przeciwko Rzeczypospolitej Polskiej za brak skutecznego rozwiązania problemu zanieczyszczenia wody azotanami w okresie sprawozdawczym 2004–2008 (Sprawa C-356/13). Trybunał Sprawiedliwości UE w listopadzie 2014 roku orzekł, że Polska nie wywiązała się ze zobowiązań wynikających z unijnych przepisów dotyczących ochrony wód przed zanieczyszczeniem azotanami, między innymi dlatego, że w sposób niewystarczający wyznaczone zostały strefy zagrożenia.

Eutrofizacja wód śródlądowych i morskich jest jednym z głównych problemów ekologicznych na świecie, a dyrektywy wodne Komisji Europejskiej stawiają Polskę przed wyzwaniem wypełnienia podpisanych zobowiązań. Mając powyższe na uwadze, podejmowanie działań dla poprawy stanu wód poprzez ograniczenie emisji zanieczyszczeń ze źródeł rolniczych stanowi nie tylko obowiązek wobec przyszłych pokoleń, ale jest też podyktowane uniknięciem w przyszłości kar finansowych nakładanych przez Unię Europejską zgodnie z zasadą „zanieczyszczający płaci”.

2.

Ekohydrologia

– systemowe podejście
do redukcji zanieczyszczeń
obszarowych



Ze względu na szybko postępujący rozwój rolnictwa zanika dotychczasowa mozaikowa struktura terenów rolniczych. Na znaczeniu zaczynają zyskiwać wielkopowierzchniowe agrocenozy, co połączone z likwidacją zadrzewień śródpolnych, oraz faktem, że rolnicy nie stosują poplonów – powoduje znaczne zwiększenie prędkości wiatru na odkrytym terenie. W konsekwencji prowadzi to do zjawiska erozji wietrznej gleby powodując utratę materii organicznej z pól, a zubożenie gleby skutkuje wzrostem wykorzystania nawozów oraz negatywnie wpływa na strukturę mikroorganizmów bytujących w glebie. Obszarami szczególnie narażonymi na antropopresję są żyzne obszary w dolinach rzek. Wielkobszarowe melioracje, regulacje rzek oraz budowa biernych systemów ochrony przeciwpowodziowej są czynnikami, które silnie oddziałują na procesy hydrologiczne naturalnie funkcjonujących terenów zalewowych. Na przestrzeni drugiej połowy XX wieku spowodowały one daleko posunięte zmiany w ekosystemach zlokalizowanych w dolinach, wśród których znaczną część stanowiły naturalnie wykształcone strefy ekotonowe, w tym podmokłe siedliska łągowe i olsowe.



Brak strefy ekotonowej pomiędzy gruntami ornymi a ciekami przyczynia się do zwiększenia transportu zawiesiny oraz substancji nawozowych do wód powierzchniowych

Zmiany zachodzące zarówno w dolinach rzecznych, jak i w obrębie samych cieków wodnych spowodowały wzrost ilości zanieczyszczeń transportowanych z ekosystemów lądowych do ekosystemów wodnych, ale także spowolnienie procesów samooczyszczania wód płynących. Konsekwencją tych zmian jest pogarszający się stan wód powierzchniowych i podziemnych oraz proces zaniku bioróżnorodności w krajobrazie.

Wieloletnie międzynarodowe programy badawcze UNESCO, takie jak program Człowiek i Biosfera (ang. *Man and Biosphere*, MAB) czy Międzynarodowy Program Hydrologiczny (ang. *International Hydrological Programme*, IHP) wskazują, że dla osiągnięcia zrównoważonego rozwoju konieczne jest odwrócenie zjawisk degradacji biosfery. W obszarach silnej antropopresji niezbędne staje się przywrócenie podstawowym procesom krążenia wody i biogenów ich ewolucyjnie ukształtowanego charakteru. Zgodnie z koncepcją ekohydrologii (Zalewski i in. 1997, Zalewski 2011) restytucja cykli biogeochemicznych powinna opierać się na regulacji procesów zachodzących naturalnie w środowisku. Wykorzystywany powinien być potencjał ekosystemów wynikający z wykształconych na drodze ewolucji mechanizmów odpornościowych na stres. Jednocześnie podejmowane działania mające na celu podniesienie potencjału ekosystemów powinny być zharmonizowane z potrzebami społecznymi (Zalewski 2014).

Koncepcja regulacji procesów ekologicznych w ekosystemach, kluczowa teza ekohydrologii, zakłada, że regulując dynamikę hydrologiczną można kształtować procesy w biocenozach i *vice versa*: kształtując biocenozy można regulować jakość wody w ekosystemach wodnych. Dzięki istnieniu dwukierunkowej regulacji (ang. *dual regulation*) pomiędzy procesami hydrologicznymi i biologicznymi w zlewni oraz świadomemu wykorzystaniu tych zależności możliwe

jest zwiększenie pojemności, odporności oraz zdolności elastycznego reagowania ekosystemów wodnych na postępującą antropopresję oraz zmiany klimatu.

W przypadku ograniczania emisji zanieczyszczeń obszarowych z krajobrazu rolniczego istotą jest zrozumienie zależności zachodzących w układzie woda-roślina-gleba, między innymi wpływu szaty roślinnej w danym siedlisku na dynamikę zmian bilansu wodnego i transport zanieczyszczeń do ekosystemów wodnych. Rośliny stanowią bowiem pierwszy poziom w strukturze troficznej ekosystemu i dlatego kontrolują przepływ energii oraz krążenie pierwiastków biogenicznych w krajobrazie i ich dostępność dla wyższych poziomów (Baird i Wilby 1999, Rodriguez-Iturbe 2000, Zalewski i in. 2003). Wzmocnienie zjawisk biologicznych poprzez regulację biomasy roślinności w dorzeczu, pozwoliłoby na stabilizację cyklu hydrologicznego i obiegów biogeochemicznych, co z kolei przyczyniłoby się do spowolnienia transferu wody z ekosystemów lądowych do ekosystemów wodnych i ograniczenia dopływu rozpuszczonych w niej biogenów i innych zanieczyszczeń. Zoptymalizowana wielkość biomasy roślin jest w stanie utrzymywać na równym poziomie bilans cieplny w okresie lata, wzmacniać ewapotranspirację, wspomagać procesy glebotwórcze i poprawiać retencyjność krajobrazową. W efekcie działania takie przyczyniają się do ograniczenia występowania zjawisk ekstremalnych i podnoszenia pojemności, odporności na stres i jakości środowisk wodnych. Jednocześnie sprzyjają spowolnieniu erozji gleby, powodującej utratę materii organicznej, obniżenie potencjału produkcyjnego agroekosystemów i zanieczyszczenie wód.

Konieczne jest zatem kształtowanie struktury przestrzennej pól uprawnych, użytków rolnych oraz płątów roślinności pod kątem ograniczenia transferu biogenów ze zlewni użytkowanych rolniczo do ekosystemów wodnych.



Przez właściwe zabiegi agrotechniczne, kształtowanie mozaikowego charakteru zlewni oraz roślinnych stref buforowych można ograniczyć transfer biogenów do wód kilka a nawet kilkunastokrotnie (Ryszkowski 1992, Ryszkowski i Kędziora 2007, Ryszkowski i Kędziora 2008).

Szczególnie istotnym elementem krajobrazu są ekotonowe strefy roślinności brzegowej (ekotony, strefy buforowe, ang. *riparian zones*), na które zwrócono uwagę już w 1986 roku w Tuluzie na spotkaniu pt. „Rola ekotonów woda/łąd w zarządzaniu i renaturyzacji krajobrazu” podsumowującym pierwsze 15 lat działania programu UNESCO MAB (Naiman i in. 1989, Zalewski i in. 1991, Zalewski 1994). Ekotonowe strefy roślinności brzegowej to strefy przejściowe pomiędzy ekosystemami lądowymi a wodnymi, które wyróżnia gradient warunków biofizycznych, procesów ekologicznych oraz skład i różnorodność organizmów (US NRC, 2002). Są to pasy stałej roślinności w formie np. ziołorośli, szuwarów, wierzbowisk bądź zadrzewień, jak również ekstensywnie użytkowanych łąk. Zwłaszcza ekotony zlokalizowane pomiędzy gruntami ornymi a ciekami ochraniają ekosystemy wodne przed bezpośrednim wpływem działań rolniczych, między innymi poprzez ograniczenie przemieszczania się składników nawozowych w środowisku.



Strefy buforowe pomiędzy gruntami ornymi a rzeką w formie wierzbowiska (na poprzedniej stronie) oraz łąki świeżej (powyżej) występujące w zlewni Pilicy

Najważniejszą funkcją stref ekotonowych jest buforowanie i filtrowanie zanieczyszczeń pomiędzy ekosystemami. Strefy buforowe przyczyniają się do redukcji zanieczyszczeń transportowanych zarówno za pomocą spływu powierzchniowego, jak i szkodliwych substancji występujących w płytkich wodach gruntowych. Są ostatnią barierą w rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń obszarowych z terenów rolniczych do wód warunkującą ich ograniczenie. Właśnie z tego względu odpowiednie zarządzanie roślinnością w dolinach rzecznych jest jedną z najefektywniejszych strategii podejmowanych w celu osiągnięcia dobrej jakości wód gruntowych i powierzchniowych.

Należy tutaj podkreślić złożoność procesów zachodzących w strefach ekotonowych, ponieważ oprócz asymilacji związków azotu i fosforu przez



rośliny oraz ich transformacji w biomasę należy wymienić równocześnie inne procesy istotne z punktu widzenia redukcji związków biogenicznych. Do nich należą procesy biogeochemiczne zachodzące dzięki aktywności drobnoustrojów, takie jak denitryfikacja przyczyniająca się do usuwania azotu czy mineralizacja. To również procesy fizyczne, między innymi wiązania (sorpcji) i uwalniania rozpuszczalnych form fosforu przez glebę, czy sedymentacji zawiesiny transportowanej w postaci spływu powierzchniowego, przyczyniające się do ograniczenia transportu nierozpuszczalnych form fosforu.

Rola strefy buforowej w krajobrazie rolniczym

zatrzymują erodowany materiał glebowy spływający z pól, w tym składniki nawozowe oraz inne zanieczyszczenia (np. środki ochrony roślin) transportowane ze spływem powierzchniowym, uniemożliwiając im przedostanie się do wód;

podczyszczają płytkie wody podziemne z substancji biogenicznych (azotu i fosforu) w wyniku poboru przez rośliny oraz wbudowywaniu ich w tkanki (procesy biofiltracji i asymilacji);

stwarzają optymalne warunki dla mikroorganizmów glebowych odpowiedzialnych za proces denitryfikacji;

spajają glebę poprzez system korzeniowy, przeciwdziałając jej erozji i wypłukiwaniu;

tworzą korytarze ekologiczne oraz siedliska dla wielu gatunków, przez co wzmacniają bioróżnorodność ekosystemu;

wywierają pozytywny wpływ na plonowanie upraw poprzez tworzenie korzystnych warunków mikroklimatycznych w sąsiedztwie stref (zwiększanie wilgotności, osłonięcie od wiatru, przeciwdziałanie przymrozkom, stabilizowanie pokrywy śnieżnej);

chronią uprawy przed szkodnikami: nawet wąskie strefy buforowe stanowią ostoję dla owadów drapieżnych i pasożytniczych, będących naturalnymi wrogami szkodników.

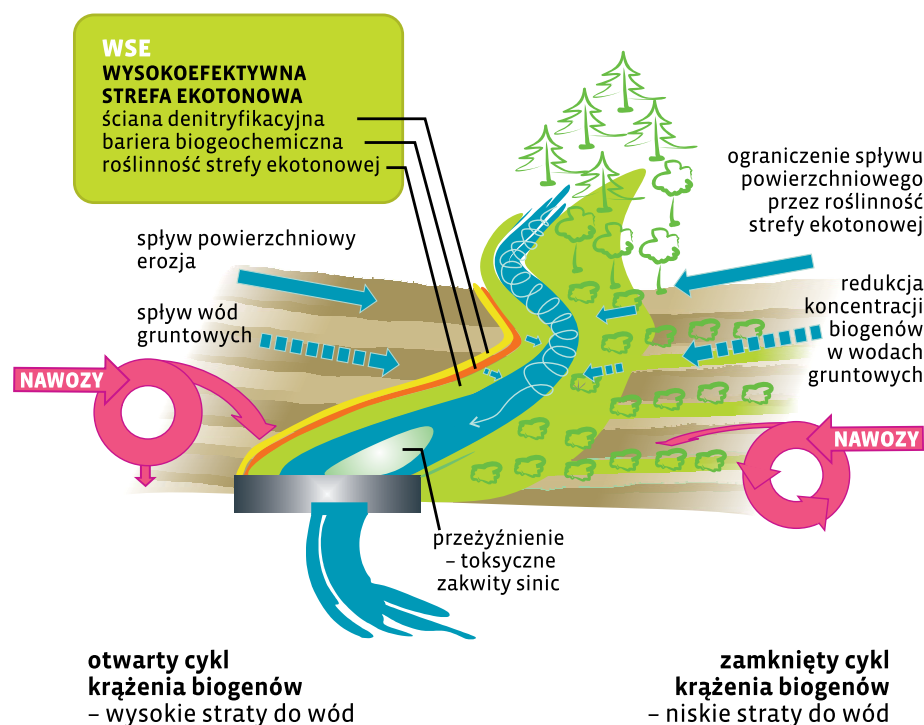
Zrozumienie związków przyczynowo-skutkowych regulujących funkcjonowanie roślinnych stref ekotonowych stanowi podstawę dla właściwego ich kształtowania oraz optymalnego zarządzania. Wiedza z zakresu regulacji procesów zachodzących w strefach buforowych jest również podstawą do opracowania wysokoefektywnych i energooszczędnych biotechnologii ekohydrologicznych.

Wysokoefektywne strefy ekotonowe jako przykład biotechnologii ekohydrologicznych, zostały opracowane w ramach projektu EKOROB „Ekotony dla redukcji zanieczyszczeń obszarowych” (LIFE08 ENV/PL/000519, www.ekorob.pl). Są one oparte na wykorzystaniu procesów biogeochemicznych zachodzących w naturalnie wykształconych zbiorowiskach roślinnych występujących na obszarze naturalnych dolin rzecznych czy tworzących strefy buforowe. W celu intensyfikacji zachodzących procesów pasy roślinności wzmocniono poprzez wykonanie dodatkowych konstrukcji takich, jak ściana denitryfikacyjna, czy bariera biogeochemiczna na bazie wapienia (Izydorczyk i in. 2013, Frątczak i in. 2014).



MONOKULTURA ROLNICZA

ZRÓŻNICOWANY KRAJOBRAZ ROLNICZY



Kolejnym przykładem biotechnologii ekohydrologicznych są sekwencyjne systemy sedymentacyjno-biofiltracyjne z wyodrębnionymi trzema strefami: (1) strefą zintensyfikowanej sedymentacji, w której gromadzą się zanieczyszczenia stałe dopływające z wodą, (2) strefą procesów biogeochemicznych

z wykorzystaniem struktur na bazie wapienia i geowłóknin oraz (3) strefą biofiltracji wykorzystującą zdolności biofiltracyjne roślin wodnych w stosunku do biogenów i innych zanieczyszczeń. Prototypowy system został opracowany i skonstruowany w ramach projektu europejskiego SWITCH na rzece Sokołowce w Łodzi w celu doczyszczania wód burzowych i zabezpieczenia kaskady zbiorników zlokalizowanych na rzece przed dopływem zanieczyszczeń. W pierwszym roku funkcjonowania systemu, jeszcze w trakcie wykształcania się strefy biofiltracyjnej, odnotowano 50% redukcję stężenia azotu całkowitego i zawiesiny ogólnej (Zalewski i in. 2012). System różnych wariantów sekwencyjnych systemów doczyszczających został zastosowany także w ramach projektu EH-REK, co przyczyni się do poprawy parametrów fizykochemicznych wód górnej Bzury na obszarze Łodzi (Jurczak i in. 2015). Natomiast wykorzystanie sekwencyjnych systemów sedymentacyjno-biofiltracyjnych do ograniczenia zanieczyszczeń w obszarach rolniczych zostało przetestowane w ramach projektu LIFE+ EKOROB.

Kompleksowe i synergiczne zastosowanie biotechnologii ekohydrologicznych w skali zlewni może przyczynić się do ograniczenia zasilania ekosystemów wodnych w związki biogeniczne i inne zanieczyszczenia poprzez zwiększenie ich retencji w zlewni lub w puli niedostępnej wewnątrz ekosystemów wodnych.



3.

Drogi transportu związków biogenicznych w krajobrazie

Woda jest dobrym rozpuszczalnikiem dla dużej ilości substancji mineralnych i organicznych, dlatego w trakcie obiegu w krajobrazie narażona jest na zanieczyszczenie.

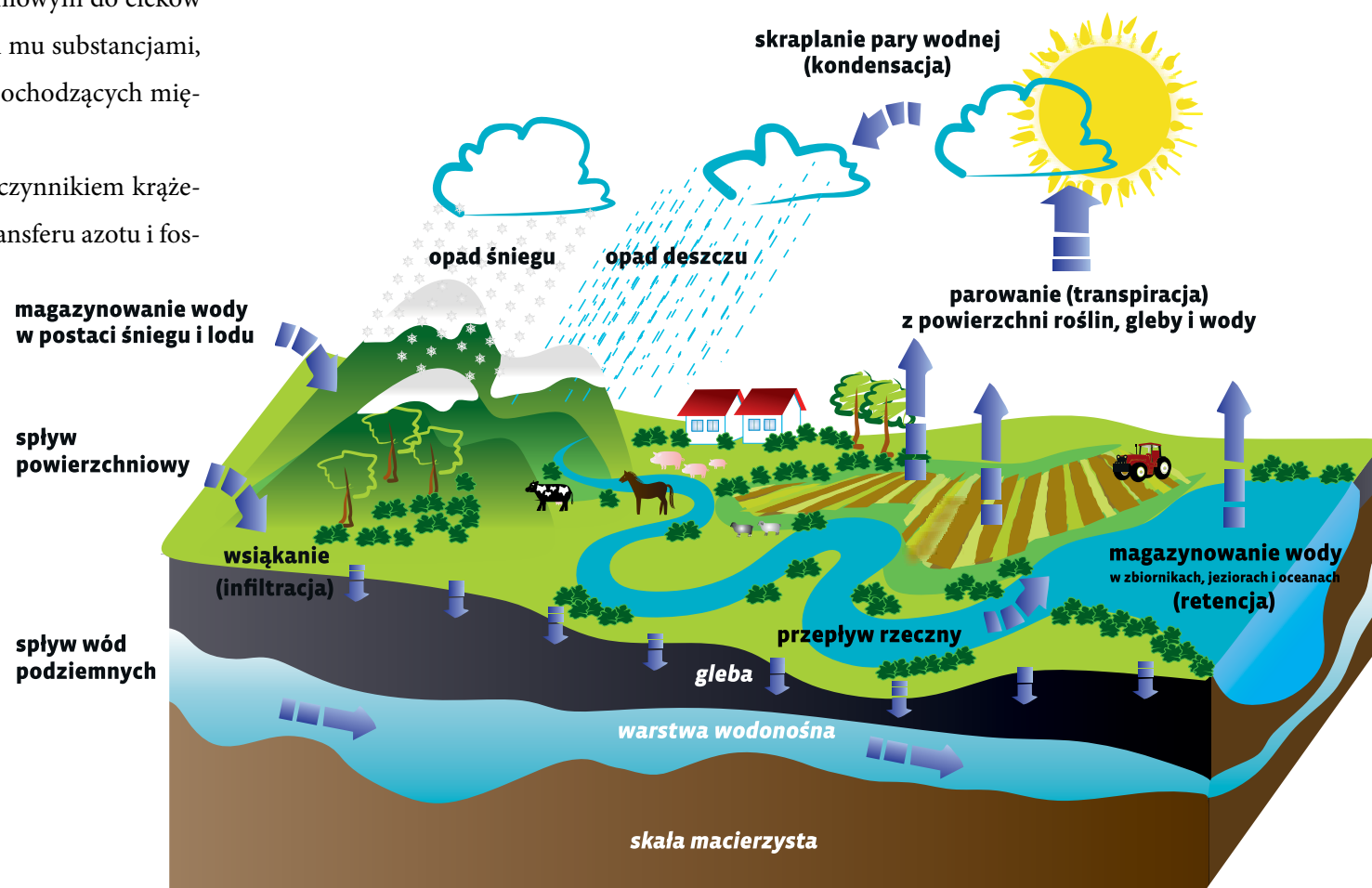
Woda trafiająca do gleby wraz z opadami ulega przemieszczeniu, zaś jego sposób zależy od intensywności opadu oraz szybkości z jaką woda wsiąka w grunt, co z kolei jest zależne od uwarunkowań geologicznych, rzeźby terenu i właściwości gleby, jak również od rodzaju szaty roślinnej występującej na danym terenie. Obecność roślin o rozbudowanym systemie korzeniowym poprawia przepuszczalność gleby, ale z drugiej strony roślinność może stanowić barierę fizyczną dla wody spływającej w dół stoku ograniczając jej dostęp do gleby. Ilość wody wsiąkającej w grunt jest zależna od współczynnika tempa infiltracji. Część, która infiltrowała (wsiąknęła) w grunt i osiągnęła poziom saturacji, czyli strefę wysycenia wodą przestworów międzyglebowych, zostaje przemieszczona wraz z wodami gruntowymi pierwszej warstwy wodonośnej (spływ podpowierzchniowy). Ta część, która nie zdołała infiltrować na tyle głęboko, aby osiągnąć poziom lustra wody podziemnej, stanowi roztwór glebowy, czyli wodę znajdującą się w przestrzeni pomiędzy grudkami gleby razem z powietrzem. To właśnie roztwór glebowy stanowi źródło wody oraz substancji odżywczych dla roślin.



Jeżeli intensywność opadu jest większa niż tempo infiltracji do gruntu, zostaje sformowany spływ powierzchniowy. Woda, która nie może wsiąknąć w głąb z powodu zbyt dużego jej nasycenia lub zbyt niskiego współczynnika infiltracji, formuje stróżki i zaczyna spływać w dół stoku. Stróżki łączą się w większe strugi, aż w końcu woda dostaje się do cieków i zbiorników wód powierzchniowych. Przemierzając się w ten sposób, wypłukuje najdrobniejsze cząsteczki wierzchniej warstwy gleby oraz wszystkie substancje, które są na nich zaadsorbowane. W ten sposób spływem powierzchniowym do cieków wodnych dostaje się materiał skalny wraz z towarzyszącymi mu substancjami, które mogą mieć charakter zanieczyszczeń biogenicznych pochodzących między innymi z nawozów (Sodol 2011).

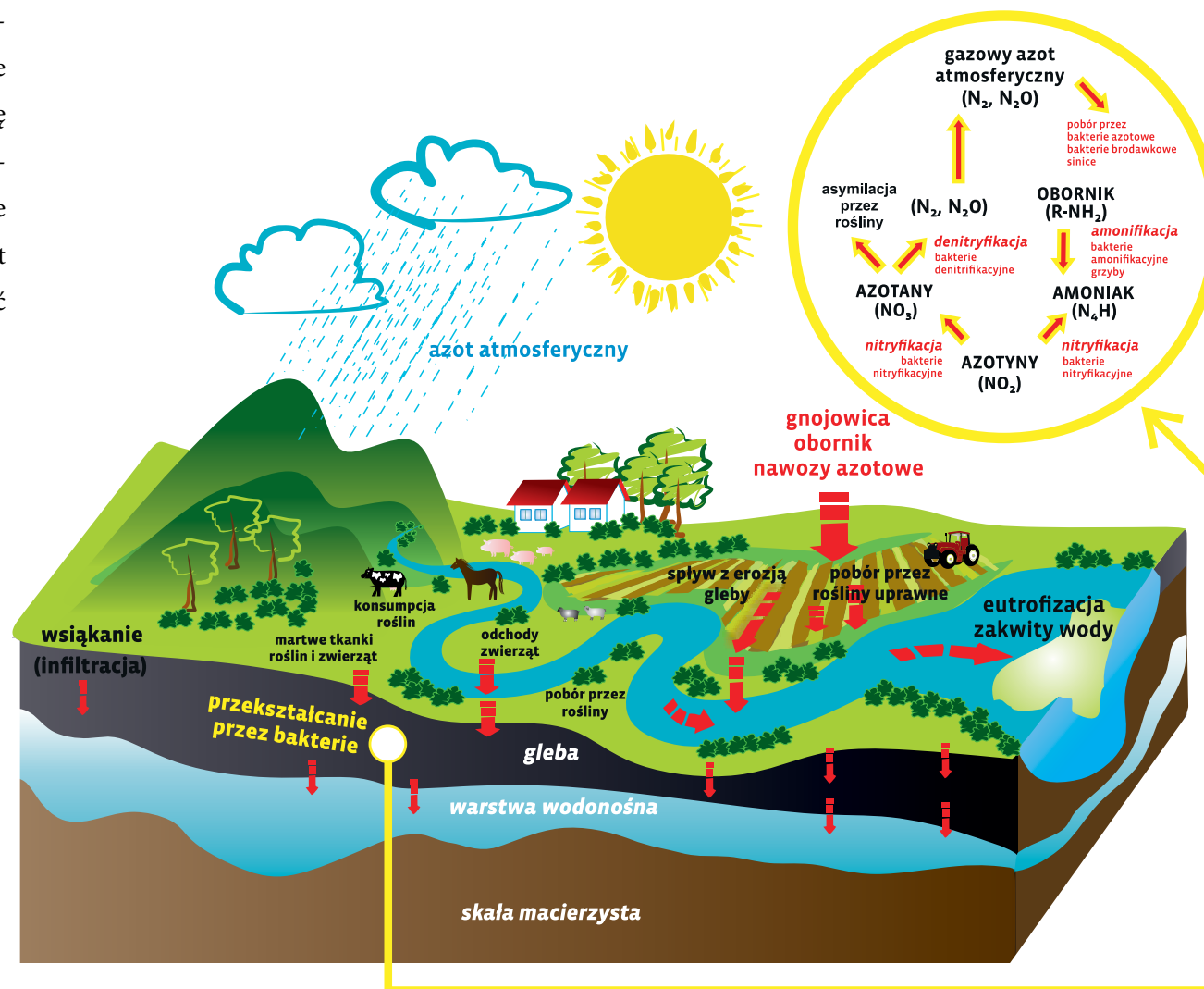
Stąd krążenie wody w zlewni jest również głównym czynnikiem krążenia i przepływu substancji biogenicznych, między innymi transferu azotu i fosforu z ekosystemów lądowych do ekosystemów wodnych.

obieg wody w przyrodzie



Azot jest pierwiastkiem niezwykle mobilnym, występuje w przyrodzie zarówno w postaci jonowej, jak i gazowej. Charakteryzuje się bardzo dobrą rozpuszczalnością. W 78% stanowi składnik atmosfery oraz wchodzi w skład wielu związków nieorganicznych (amoniak, kwas azotowy) oraz organicznych (aminokwasy, kwasy nukleinowe, alkaloidy, białka). Do gleby azot przedostaje się z atmosfery w procesie asymilacji, której dokonują bakterie azotowe, najczęściej żyjące w symbiozie z roślinami motylkowatymi. Źródłem azotu w glebie jest również stosowanie nawozów mineralnych i naturalnych. Pozostałą pulę azotu w glebie, początkowo mniej dostępnego dla roślin, stanowi rozkładająca się oraz ulegająca mineralizacji materia organiczna. Część azotu zostaje zakumulowana w biomasy roślin i mikroorganizmów glebowych. Natomiast pozostała niezagospodarowana pula może ulegać przemieszczaniu i stanowić zagrożenie dla ekosystemów wodnych.

obieg azotu w przyrodzie



Głównymi sprawcami obiegu azotu w przyrodzie są mikroorganizmy zasiedlające glebę oraz wodę. Jak już wspomniano, niektóre z nich potrafią wiązać azot atmosferyczny i przekształcać go do amoniaku, który z kolei jest szybko przekształcany w formę jonów amonowych (NH_4^+). Jony te powstają również w procesie dekompozycji martwej materii organicznej w procesie amonifikacji, również zależnej od mikroorganizmów. W tej formie azot jest już dostępny dla większości roślin, jednak nie jest dla nich tak korzystny energetycznie jak jony azotanowe (NO_3^-). Forma przyswajalnego przez rośliny azotu zależy również od wielu czynników zewnętrznych, takich jak odczyn gleby czy napowietrzenie.

Kolejnym etapem obiegu azotu jest proces nitryfikacji. Przebiega dwuczęściowo i jest przeprowadzany w warunkach tlenowych przez bakterie z grup *Nitrosomonas* (utleniają jony amonowe do formy NO_2^-) i *Nitrosospira* (utleniają formę NO_2^- do jonów azotanowych NO_3^-). Dlatego na dobrze natlenionych glebach główną formą azotu pobieraną przez rośliny są jony azotanowe.

W kolejnym etapie azotany mogą ulec procesowi denitryfikacji, w którym jony azotanowe ulegają redukcji, a końcowym produktem procesu jest azot gazowy (N_2), który wraca do atmosfery. Innym procesem, w którym powstaje azot atmosferyczny jest annamox. Zachodzi on głównie w oceanach, a jego substratem są jony azotynowe (NO_2^-) oraz jony amonowe. W ten sposób naturalny cykl azotu w przyrodzie wraca do punktu wyjścia.

Fosfor jest pierwiastkiem ograniczającym wzrost wielu mikroorganizmów i roślin, a wysokie stężenie fosforanów w zbiornikach wodnych jest czynnikiem determinującym występowanie zakwitów glonów i sinic. Wskutek wykazywania powinowactwa większości frakcji fosforu do cząsteczek gleby główną formą przemieszczania w środowisku jest spływ powierzchniowy.

Na całkowity fosfor występujący w przyrodzie składają się jego dwie formy: rozpuszczona i cząsteczkowa. Wyróżnić można również dwa rodzaje rozpuszczalnych form fosforu – reaktywną i niereaktywną. Rozpuszczone formy fosforu uważa się za ogólnodostępne dla organizmów, a ich udział w odpływie powierzchniowym z obszarów rolniczych szacuje się na 17–45%. Z kolei pozostały fosfor cząsteczkowy aż w ok. 90% nie jest dostępny dla mikroorganizmów glebowych i roślin. Wszystkie dostępne dla organizmów formy fosforu, zarówno rozpuszczalne, jak i nierozpuszczalne w wodzie określa się mianem fosforu biologicznie aktywnego. Z chemicznego punktu widzenia są to ortofosforany, czyli sole wapnia, żelaza i glinu zawierające jon fosforanowy, które mogą powstawać jako produkt aktywności enzymów bakteryjnych, takich jak fosfodilipaza, fosfodiesteraza lub alkaliczna fosfomonoesteraza.

Pozostałe formy tego pierwiastka to związki organiczne fosforu, takie jak fityny, fosfolipidy czy kwasy nukleinowe, które nie mogą być przyswajane i asymilowane przez mikroorganizmy i rośliny wyższe. Nie oznacza to jednak, że nie mogą być one przekształcone w formy biologicznie aktywne, a do transformacji może dojść zarówno na terenie zlewni, jak i w cieku czy zbiorniku wodnym.

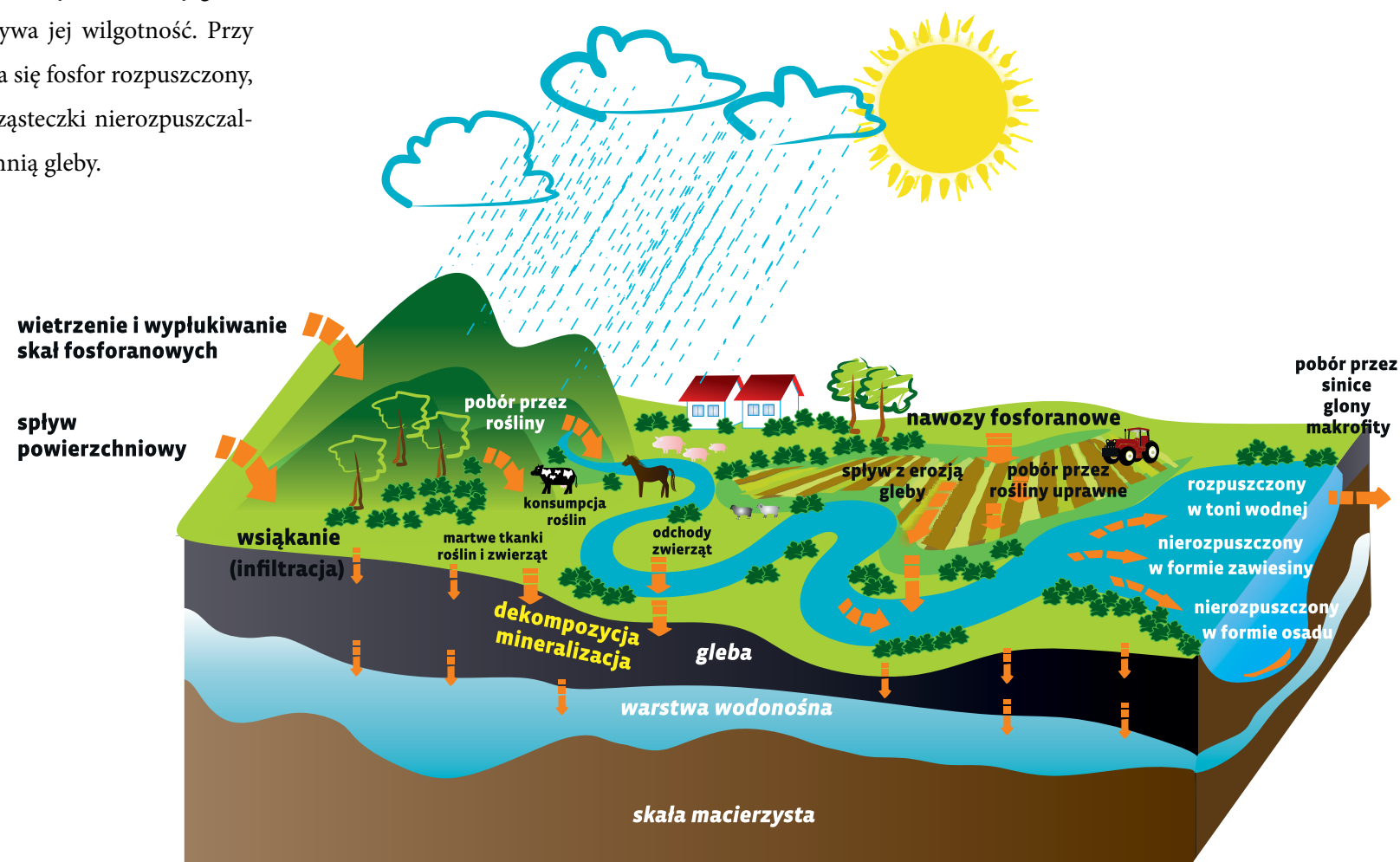
Obieg fosforu w środowisku naturalnym przebiega w odmienny sposób niż obieg azotu. Wprawdzie tak samo jak azot jest pobierany przez rośliny, jednak w przeciwieństwie do niego nie ulega przemianom do formy lotnej, tak jak azotany w procesie denitryfikacji. Dlatego jego cykl można określić mianem sedymentacyjnego, a procesami, którym ulega fosfor są: sorpcja, strącanie i akumulacja.

Charakter obiegu fosforu w glebie jest podyktowany kilkoma czynnikami. Po pierwsze jest to stosunek fosforu w roztworze wodnym do fosforu



zakumulowanego w glebie. Im wyższy, tym więcej fosforu ulega akumulacji. Fosforany wykazują powinowactwo do jonów wapnia, żelaza i glinu, a o ich mobilności decyduje także odczyn gleby. Fosfor jest najbardziej mobilny i dostępny w zakresie pH 6–7. Większość fosforu związanego z cząsteczkami przemieszcza się wraz ze spływem powierzchniowym, w szczególności podczas silnych opadów deszczu lub topnienia pokrywy śnieżnej. Formy rozpuszczalne z kolei transportowane są głównie wraz z górną warstwą wodonośną, gdzie na tempo przemieszczania się fosforu w glebie wpływa jej wilgotność. Przy czym przy wysokiej wilgotności szybciej przemieszcza się fosfor rozpuszczony, zaś przy przesuszonej glebie, w wyniku opadów – cząsteczki nierozpuszczalnych kompleksów fosforu słabo związane z powierzchnią gleby.

obieg fosforu w przyrodzie



4.

Procesy biogeochemiczne zachodzące w strefach ekotonowych przyczyniające się do redukcji azotu i fosforu

Retencja azotu i fosforu w tkankach roślin

Redukcja stężenia biogenów w płytkich wodach gruntowych w trakcie przepływu przez strefę buforową zachodzi między innymi dzięki biofiltracji, czyli w wyniku procesu poboru pierwiastków biogenicznych z wodą przez korzenie roślin i ich wbudowywaniu w tkanki. Efektywność roślin, czyli ilość azotu i fosforu jaka może zostać zakumulowana przez daną roślinę, zależy od kilku czynników. Przede wszystkim uwarunkowana jest tempem wzrostu rośliny, czyli wielkości uzyskiwanej biomasy. Drugim czynnikiem decydującym o efektywności jest zdolność rośliny do magazynowania pierwiastków, a wyrażona przez procentową zawartość azotu i fosforu w jej tkankach. W głównej mierze czynniki te zależą od właściwości gatunkowych roślin. Natomiast czynnikami, które mogą ograniczać efektywność są: dostępność składników pokarmowych w glebie, poziom wód gruntowych, a także światło i temperatura zarówno powietrza, jak i gleby.

Dane pochodzące z literatury wskazują, że retencja biogenów w tkankach, zwłaszcza liści i korzeni roślin jest jednym z istotniejszych procesów zachodzących w strefie buforowej, choć intensywność pobierania związków azotu i fosforu wykazuje dużą zmienność i waha się w przypadku fosforu od 0,2 to 50 kg/ha/rok, a azotu od 10 do 350 kg/ha/rok (Mander i in. 1997, Tufekcioglu i in. 2003, Hefting i in. 2005, Kiedrzyńska i in. 2008, Raty i in. 2010).

Według danych własnych oraz literaturowych skutecznym narzędziem blokującym recyrkulację biogenów w strefie mogą być nasadzenia roślin charakterystycznych dla strefy przybrzeżnej zbiorników wodnych i rzek. Trzcina, poprzez wbudowywanie związków biogenicznych w swoje tkanki, usuwa



z ekosystemu w ciągu sezonu wegetacyjnego do 40 kg P/ha i do 225 kg N/ha. W przypadku pałki wartości zakumulowanych w biomase nutrietów wahają się od 75 do 403 kg P/ha/rok i od 600 do 2 630 kg N/ha/rok (Zalewski i Wagner 2004). Tę wysoką efektywność wspomniane gatunki zawdzięczają obecności w kłęczach miękiszu przewietrzającego (aerenchymy), który stanowi wewnętrzny magazyn tlenu i dwutlenku węgla. Dzięki temu, że tlen niezbędny do przeprowadzania utleniania (oddychania) wewnątrzkomórkowego zgromadzony jest w kłęczach, procesy spalania cukrów mogą zachodzić niezależnie od zanurzenia dolnej części roślin w wodzie, również zimą. Tak zwana „pseudoaerenchyma” może być też wytwarzana z tkanki twórczej (fellogenu) u roślin lądowych, których organy ulegną zalaniu. Dotyczy to wielu roślin tworzących ziołorośla nad brzegami cieków i zbiorników (np. krwawnicy pospolitej *Lytrum salicaria*, wierzbownicy kosmatej *Epilobium hirsutum*) stąd ten typ roślinności również zwiększa efektywność wychwytywania biogenów (Podbielkowski, Tomaszewski 1979).

Szczególnym rodzajem stref buforowych w krajobrazie dolin rzek i cieków są łąki, które dobrze absorbują związki fosforu i azotu aplikowane w postaci nawozów zarówno naturalnych, jak i mineralnych. Ich efektywność w pobieraniu związków azotu może wynosić nawet od 85 do 93% w ciągu roku (Dosskey i in. 2010). Tak wysoka efektywność wynika zapewne z dobrze rozwiniętego wiązkowego systemu korzeniowego traw, a co za tym idzie z dużej możliwości sorpcyjnych roślin (Uusi-Kämpä 2005). Dodatkowym czynnikiem wpływającym na wysoką efektywność łąk jest zadarnienie powierzchni przez cały rok oraz długi okres wegetacji traw, podczas którego pobierają substancje biogeniczne do tworzenia biomasy (Wasilewski 2012). Ponadto ekosystem łąkowy ogranicza dostęp powietrza w głąb profilu

glebowego, co przekłada się na redukcję procesów mineralizacji materii organicznej, a co za tym idzie zmniejsza transfer biogenów do wód (Kiryluk i Wiater 2004).

Nadbrzeżne łąki utworzone z traw i dwuliściennych bylin mogą magazynować w swojej biomase od 20 do 70 kg N/ha/rok oraz od 4 do 8 kg P/ha/rok (Pärn i in. 2012). Dla porównania lasy łąkowe mogą zakumulować od 30 do nawet 170 kg/ha azotu oraz od 4,5 do 13 kg/ha fosforu na rok. Wyższa efektywność związana jest głównie z większą i głębiej sięgającą strefą korzeniową drzew (Ranalli i in. 2010). Często w drzewostanie łągowych występuje wierzba, która ma zdolność do zatrzymywania nawet do 60-98% fosforu dostępnego w środowisku wodnym. Dane z terasy zalewowej Pilicy wskazują, że 3-letnie wierzbowiska mogą akumulować do 14,5 kg/ha fosforu (Skłodowski i in. 2014).

Kolejną przyczyną wysokiej efektywności naturalnych stref ekotono- wych w wychwytywaniu biogenów jest wykształcanie się związków symbiotycznych między korzeniami wielu gatunków roślin a grzybami, czyli mikoryzy. W ekosystemach naturalnych symbiotyczne grzyby mikoryzowe kolonizują korzenie 90% gatunków roślin naczyniowych (Read 1991). Grzyby te stają się w ten sposób ważnym komponentem ryzosfery (strefy korzeniowej) – grzybnia przerasta podłoże, wiąże ziarna piasku w agregaty wydzielając substancje skle- jające cząsteczki gleby. Dzięki grzybni zwiększa się wielokrotnie powierzchnia chłonna korzenia rośliny i wydajniej dostarczane są do komórek roślin sub- stancje biogeniczne, głównie fosfor i azot (Sumorok i in. 2008). Jednocześnie aktywność mikroorganizmów ryzosfery jest czynnikiem warunkującym wzrost roślin i ich odporność na patogeny (Azcon-Angular, Barea 1992).

Z uwagi na fakt, że po zakończeniu okresu wegetacji, gdy naziemne części roślin obumierają, znaczna część fosforu i azotu zostaje z powrotem przetrans-



portowana do korzeni. Zawartość substancji biogenicznych w liściach roślin w okresie późnej jesieni (wrzesień - październik) zmniejsza się w przedziale od 39 do 77 % (Obarska – Pempkowiak 2010). Część substancji biogenicznych zostaje zmagazynowana w kłęczach jako materiał zapasowy, z którego na początku wegetacji rośliny pobierają biogeny i utleniając je uzyskują energię niezbędną m.in. do wzrostu. Pozostała część biogenów transportowanych z części nadziemnych roślin do korzeni jest uwalniana za pomocą ryzosfery i dostaje się do wód powierzchniowych i podziemnych. Konieczne jest zatem prowadzenie prac utrzymaniowych, polegających na wykaszaniu roślinności stref buforowych oraz usuwanie wykoszonej biomasy poza strefę (Kuusemets i Lohmus 2005, Uusi-Kamppa 2005). Działanie to ma na celu usunięcie zakumulowanych w tkankach związków azotu i fosforu, co ogranicza ryzyko uwolnienia biogenów w trakcie zimy wskutek rozkładu roślin i ich transportu do wody w wyniku spływu powierzchniowego, bądź ich akumulacji na powierzchni gleby (Raty i in. 2010). Należy podkreślić, że zakres wykaszania, jak i terminy, powinny być dostosowane do potrzeb siedliskowych fauny zamieszkującej ten obszar.

Sedymentacja i sorpcja fosforu w strefach ekotonowych

Na redukcję związków fosforu w strefach ekotonowych, oprócz procesu wbudowywania w tkanki roślinne, mają wpływ także procesy zatrzymujące fosfor w glebie. Należą do nich sorpcja rozpuszczalnych form fosforu w glebie (Bruland i Richardson 2006) oraz sedymentacja nierozpuszczalnych form fosforu (Braskerud 2002, Coveney i in. 2002).

Na procesy sorpcji składają się trzy zjawiska: adsorpcja, desorpcja oraz wymiana jonowa. Adsorpcja jest procesem, podczas którego na powierzchni minerałów (absorbentów) gromadzą się cząsteczki rozpuszczone w wodzie,

zaś desorpcja jest zjawiskiem przeciwnym. Wymiana jonowa ma istotne znaczenie dla składu chemicznego wód gruntowych i polega na przyłączaniu z wody niektórych jonów oraz przejściu do wody innych – odłączanych od adsorbentów (Macioszczyk i Dobrzyński 2007). W przypadku gdy gleba w strefie ekotonowej zawiera dużą ilość jonów żelaza i glinu dochodzi do sorpcji fosforu na powierzchni cząsteczek gleby. Odbywa się to na drodze chemicznego wiązania jonów fosforanowych z hydroksytlenkami żelaza i glinu. Sorpcja może zostać zatrzymana, gdy stężenie jonów żelaza i glinu w glebie spadnie, natomiast podczas kontaktu z wodami powierzchniowymi, które zawierają duże ilości tych jonów, może dojść do uwalniania fosforu z kompleksów glebowych (Uusi-Kamppa 2005).

W odpływie z obszarów rolniczych dominują formy nierozpuszczalne fosforu, przy czym ich udział wzrasta wraz ze wzrostem przepływu (Johannesson i in. 2011). Z tego względu sedymentacja ma większe znaczenie dla redukcji ładunku fosforu w odpływie ze zlewni niż sorpcja form rozpuszczalnych. Na proces sedymentacji wpływa korzystnie pokrycie terenu roślinnością, która powoduje zaburzenia w spływie powierzchniowym, wymuszając jego spowolnienie. Zwarta struktura roślinności (szczególnie wysokie i sztywne trawy i turzyce) zwiększają współczynnik szorstkości hydraulicznej, przyczyniając się do zmniejszenia prędkości przepływu i transportu zawiesiny. Według danych literaturowych już ekoton o szerokości 0,6 metra w postaci pasa trawy bermudzkiej o wysokości 20–30 cm powoduje ograniczenie o 63% ilość zawiesiny transportowanej ze spływem powierzchniowym w porównaniu do obszaru pozbawionego strefy ekotonowej (Raffaella i in. 1997). Również wyniki badań przeprowadzonych na 44 polach z uprawą redlinową usytuowanych na stokach o nachyle-



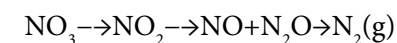
niu 1–14% pokazały, że 10-metrowe strefy buforowe ograniczały dopływ do cieku zawiesiny o 64% (Dunn i in. 2011). Natomiast badania prowadzone w Norwegii na wąskich 5–10 metrowych strefach wskazały ich efektywność w redukcji spływu powierzchniowego, która wahała się od 81 do 91% dla zawiesiny, od 60 do 89% dla fosforu całkowitego oraz od 37 do 81% dla azotu całkowitego (Syversen 2005).

Podczas spływu powierzchniowego z pól cząstki gleby wraz z fosforem cząsteczkowym są deponowane i zatrzymywane w strefie buforowej, gdzie sedymentacja może wynosić nawet do 128 kg P/ ha w ciągu roku (Hoffmann i in. 2009). W obrębie ekotonu, w wyniku infiltracji wody ze spływu powierzchniowego, fosfor jest usuwany z wody i przechodzi do profilu glebowego. Ponadto roślinność w strefie buforowej poprzez system korzeniowy zmienia strukturę gleby i zwiększa zdolności do infiltracji, co z kolei zmniejsza wielkość spływu powierzchniowego oraz transport cząstek gleby i fosforu. Potwierdzają to wyniki badań prowadzonych w klimacie umiarkowanym charakteryzującym się krótkim okresem wegetacji wskazując, że średnie roczne straty fosforu rozpuszczonego do wód z gruntów ornych po przejściu przez strefę buforową o szerokości 10 metrów były o 70% niższe niż w przypadku braku ekotonu (Uusi-Kamppa 2005).

Denitryfikacja – kluczowy proces w usuwaniu zanieczyszczeń azotanowych

Wśród procesów biorących udział w krążeniu azotu w środowisku największe znaczenie dla ograniczania zanieczyszczeń wód ma proces denitryfikacji. W jego wyniku zachodzi przekształcenie jonów azotanowych do gazowych tlenków, a następnie powstałe półprodukty mogą być redukowane do azotu cząsteczkowego, który przy odpowiedniej temperaturze

i ciśnieniu występuje w formie gazowej i jest uwalniany do atmosfery. Przy braku odpowiednich warunków denitryfikacja może zachodzić połowicznie i w takim przypadku, pomimo pozytywnej roli w usuwaniu nadmiaru azotanów ze środowiska wodno-glebowego, tlenki azotu jako silne gazy cieplarniane mogą przyczynić się do ocieplania klimatu.



W wodzie za proces redukcji azotanów odpowiedzialne są głównie bakterie denitryfikacyjne, podczas gdy w glebie proces ten mogą prowadzić zarówno bakterie, jak i grzyby. Najpowszechniej występujące gatunki bakterii denitryfikacyjnych należą do trzech rodzajów: *Pseudomonas*, *Bacillus* oraz *Alcaligenes* (Błaszczuk 1999).

Bakterie przeprowadzające proces denitryfikacji to względnie beztlenowce, co oznacza, że są w stanie rozwijać się zarówno w obecności tlenu, jak i w warunkach beztlenowych. Obecność tlenu w roztworze glebowym jest niezwykle istotna dla procesu denitryfikacji, gdyż przy jego niskim poziomie lub braku bakterie denitryfikacyjne są w stanie uruchomić produkcję enzymów denitryfikacyjnych, które pozwalają na wykorzystanie jonów azotanowych jako akceptora elektronów. Aby proces denitryfikacji mógł zajść, zawartość rozpuszczonego tlenu w roztworze glebowym powinna wynosić poniżej 2 mg/l, jednak jego prawdziwa intensyfikacja zachodzi przy stężeniu poniżej 0,5 mg O₂/l. W warunkach tlenowych bakterie również są w stanie usuwać azotany, jednak wtedy akumulują je w swojej biomacie.

Bakterie denitryfikacyjne w przeważającej większości są chemoorganotrofami; to znaczy, że zarówno w warunkach tlenowych, jak i beztlenowych do wzrostu wymagają substratu organicznego jako źródła węgla i energii. Bakterie, redukując azotany, utleniają węgiel organiczny i uzyskują w ten sposób



energię. Dlatego dostępność węgla organicznego stanowi często czynnik ograniczający denitryfikację. Na terenach łąkowych proces ten gwałtownie spada na głębokości poniżej 0,6 m, a na gruntach ornych już poniżej 0,4 m. Natomiast w strefach buforowych, często bogatych w materię organiczną pochodzącą z obumarłych roślin, proces ten zachodzi intensywnie. Badania przeprowadzone w Kanadzie pokazały, że proces denitryfikacji usuwa z gleby od 12 do 291 kg N/ha w ciągu roku (Dosskey i in. 2010).

Warunki wysokiego uwilgocenia panujące w strefach buforowych również korzystnie wpływają na przebieg denitryfikacji. W przypadku, gdy przestwory międzyglebowe są stale wypełnione wodą, denitryfikacja może odpowiadać za usuwanie od 50 do nawet 90% azotanów (Haycock i Burta 1993).

Istotne jest również, że proces ten przebiega nawet w temperaturze w zakresie od 1 do 5°C (Robertson i Merkle 2009, Elgood i in. 2010), pomimo że optymalny zakres mieści się w przedziale 20–30°C (Szewczyk 2005). Zachodzenie denitryfikacji w okresach niskich temperatur gleby wydłuża okres efektywnej pracy strefy buforowej również poza sezon wegetacyjny.

Czynnikiem, który powinien być kontrolowany w trakcie przebiegu denitryfikacji jest odczyn pH. Wartość tego parametru w szczególności ma wpływ na to, co jest produktem końcowym - i tak powyżej pH wynoszącego 7,3 powstaje cząsteczka azotu N_2 , poniżej tlenek i podtlenek azotu (Tomaszek 1991). Najkorzystniejszy dla zachodzenia procesu jest zakres pH od 7 do 8 (Tomaszek 1991), jednak bakterie są w stanie przeprowadzać denitryfikację w nieco szerszym zakresie: od 5,5 do 9,5 (Rust i in. 2000, Herrman i in. 2008).

5.

Efektywność stref buforowych w ograniczaniu zanieczyszczeń obszarowych



Strefy buforowe zostały wskazane w Kodeksie Dobrej Praktyki Rolniczej (2004) jako efektywne narzędzie do ochrony wód powierzchniowych i podziemnych przed zanieczyszczeniami związkami azotu i fosforu, ale także pestycydami odpływającymi z pól uprawnych.

Efektywność ekotonów, czyli zdolność do redukcji zanieczyszczeń, zależy od wielu czynników, w tym od: szerokości strefy, składu gatunkowego roślin, warunków hydrologicznych panujących w strefie, jak również kąta nachylenia stoku czy ekspozycji terenu na nasłonecznienie, wiatr czy falowanie. Co istotne, wielkość redukcji w strefie zależy również od charakteru, ilości oraz chemicznej formy zanieczyszczeń (Borina i in. 2010).

Skład gatunkowy zbiorowisk roślinnych występujących w strefie buforowej determinowany jest między innymi warunkami wodno-glebowymi, które są wypadkową czynników takich jak: budowa geologiczna, rodzaj gleby, jej saturacja i biogeochemia, jak również głębokość występowania wód gruntowych oraz kierunek ich przepływu (Mayer i in. 2007, Angier i McCarty 2008).

Strefa korzeniowa nie sięga głęboko poniżej zwierciadła wody ze względu na brak tlenu. Wyjątek stanowią hydrofity takie jak tatarak lub trzcina, które wykształciły szereg przystosowań pozwalających na rozwijanie swoich korzeni głęboko w strefę saturacji. Innym przypadkiem są miejsca, gdzie występują znaczne wahania poziomu wód gruntowych, gdyż w takim przypadku korzenie mogą sięgać znacznie poniżej zwierciadła wód podziemnych, jako efekt ich wzrostu w okresie niskich stanów wód. Z punktu widzenia efektywności strefy

ekotonowej najkorzystniejsze jest występowanie wysokiego stanu wód gruntowych. Jeżeli warstwa wodonośna zalega płytko pod powierzchnią gruntu systemy korzeniowe mają łatwy dostęp do tych wód i obecnych w nich związków azotu i fosforu. Natomiast jeśli dodatkowo warstwa wodonośna ma małą miąższość, czyli jest położona na płytko występujących pokładach nieprzepuszczalnych lub słabo przepuszczalnych, to system korzeniowy może obejmować całą warstwę, co wpływa na wzrost pobieranych substancji biogenicznych i zwiększa stopień oczyszczenia wód.

Stopień wilgotności gleby decyduje w znacznym stopniu o składzie mikroflory, a co za tym idzie, intensywności procesów biochemicznych. Przykładem mogą być bakterie denitryfikacyjne, które najchętniej namnażają się w warunkach wysokiej wilgotności i przy braku tlenu.

Efektywność stref w usuwaniu związków biogenicznych

Wzrastająca intensywność produkcji rolniczej i zwiększająca się ilość nawozów stosowanych na polach oraz mobilny charakter większości frakcji azotu skutkują jego niekontrolowanym przemieszczaniem do wód zarówno powierzchniowych, jak i podziemnych.

Strefy buforowe mogą w znacznym stopniu zredukować ilość azotu przedostającego się do cieków i zbiorników poprzez dwie główne drogi działania: pobieranie azotu przez rośliny i mikroorganizmy, a następnie wbudowywanie go w swoje tkanki oraz poprzez proces denitryfikacji przeprowadzany przez mikroorganizmy glebowe (Parn i in. 2012), przy czym denitryfikacja jest procesem najbardziej wydajnym (Garcia i in. 2010). W przypadku zanieczyszczeń jonami amonowymi pierwszorzędną rolę odgrywa proces nityfikacji przeprowadzany w warunkach tlenowych przez bakterie z grup *Nitrosomonas*



i *Nitrosospira*. Otrzymane w jego wyniku azotany mogą następnie w warunkach beztlenowych ulec procesowi denitryfikacji.

Według danych literaturowych redukcja azotu w płytkich wodach podziemnych w wyniku przejścia przez strefę buforową może dochodzić nawet do 90%, a efektywność stref buforowych w usuwaniu tego pierwiastka jest tematem stosunkowo dobrze przebadanym. Mayer i współautorzy (2007) przeanalizowali wyniki 65 prac dotyczących stref ekotonowych, określając średnią wartość usuwania azotu w wodach podziemnych w wyniku przejścia przez strefę ekotonową na poziomie 76%.

Należy zwrócić uwagę, że efektywność stref buforowych nie jest podyktowana, jak początkowo zakładano, jedynie ich szerokością. Badania porównawcze dwóch 60- i 45-metrowych stref pokazały, że to węższa strefa osiągnęła wyższą, na poziomie 89%, redukcję azotu. Strefa ta otrzymywała wyższą dawkę azotu z pól i miała charakter terenu podmokłego. Takie warunki wpływają na szybszy rozwój mikroflory glebowej zdolnej do przeprowadzania procesu denitryfikacji (Messer i in. 2012).

Porównano również efektywność stref w zależności od składu gatunkowego roślin. Łąka o szerokości 21 metrów usuwała od 58% do 68% azotu (Hoffmana i in. 2009), natomiast 5-metrowa strefa trawiasta połączona z 1-metrowym rzędem drzew osiągała efektywność od 69 do 96%. (Borin i in. 2002). Prawdopodobną przyczyną tej różnicy były wyższe ładunki dochodzące do drugiej strefy lub bardziej zróżnicowana struktura roślinności. Balestrini i in. (2011) oceniali usuwanie azotu przez mieszane strefy buforowe, w skład których wchodził 5–8-metrowy pas drzew oraz 3-metrowy pas roślinności trawiastej. Ładunek przedostający się z pól do strefy sięgał nawet 90 mg N-NO₃/l, a jej efektywność w redukcji azotu wyniosła ponad 90%.

Strefy buforowe w znacznym stopniu mogą ograniczać utratę fosforu z gleby poprzez przeciwdziałanie erozji oraz ograniczenie wpływu powierzchniowego. Strefa buforowa może zmniejszyć objętość zawiesiny w spływie o 64% przy 10-metrowej strefie ekotonowej i 82% przy 30 metrach (Dunn i in. 2011). Efektywność ekotonów w usuwaniu związków fosforu z płytkich wód podziemnych jest mniej rozpoznana w stosunku do azotu. Prawdopodobną przyczyną tego zjawiska jest fakt, że większość frakcji fosforu przemieszcza się wraz ze spływem powierzchniowym. Pojawiają się również stwierdzenia, że strefy mogą ulegać zjawisku nasycenia (saturacji) związkami fosforu. Wówczas w przypadku kontaktu wody o niskim stężeniu fosforu z kompleksem sorpcyjnym gleby w strefie może dochodzić do uwalniania fosforu do wody (Carlyle and Hill 2001).

Efektywność stref w ograniczaniu transportu pestycydów

Wraz z postępującym rozwojem rolnictwa rośnie zapotrzebowanie na środki ochrony roślin. Znane są z historii przypadki stosowania wysoce toksycznych preparatów pestycydowych o długiej trwałości w środowisku, które doprowadzały do jego skażenia na szeroką skalę. Pomimo coraz bardziej restrykcyjnego prawa dotyczącego stosowania środków ochrony roślin, ekosystemy wciąż narażone są na niekontrolowane przemieszczanie się tych substancji z pól uprawnych do cieków wodnych. Konsekwencją obecności ksenobiotyków (substancji obcych) w środowisku wodnym mogą być działania polegające na modyfikacji procesów hormonalnych aż po bezpośrednią toksyczność na organizmy bytujące w toni wodnej.

W przypadku pestycydów najczęściej stosowanych w formie oprysków, można wyróżnić trzy ścieżki ich przedostawania się do środowiska wodnego.

Pierwszą jest przemieszczanie się w formie drobnych kropli wraz z wiatrem, drugą – spływ powierzchniowy wraz z zawiesiną, na której absorbują pestycydy, zaś trzecią – przemieszczanie się wraz z płytkimi wodami podziemnymi w formie rozpuszczonej.

W celu oceny efektywności stref buforowych w redukcji pestycydów związanych z glebą, Syversen i Bechmann (2004) analizowali strefy buforowe położone w południowo-wschodniej części Norwegii, gdzie spadek terenu wynosił 14%, zaś profil glebowy składał się w 45% z gliny, 52% z mądów, 3% z piasku, a 1,5% stanowiła materia organiczna. Strefy były porośnięte przede wszystkim przez trawy, a szerokość strefy wynosiła 5 metrów. Analizowano różne warianty spływu powierzchniowego z dodatkiem odpowiednich środków pestycydowych, w których głównymi substancjami aktywnymi były: glifosat, fenpropimorf oraz propikonazol. Dodatkowo analizowano redukcję cząsteczek gleby zawieszonych w spływie powierzchniowym. W efekcie badań stwierdzono, że średnia redukcja w strefie buforowej wyniosła dla glifosatu 39%, fenpropimorfu 71%, propikonazolu 32%, a dla zawiesiny 62%. Eksperyment wykazał wzrost efektywności działania strefy dla wyższej zawartości zawiesiny w spływie powierzchniowym, co mogło być skutkiem lepszego zatrzymywania przez strefy buforowe osadów, na których zabsorbowane są pestycydy (Syversen i Bechmann 2004).

W zupełnie innych warunkach klimatycznych przebiegała praca Aguiar i współautorów (2015), przeprowadzona w południowej części Brazylii w zlewni rzeki Cara-Cara, gdzie nachylenie terenu sięgało 8–9%, a podstawę profilu glebowego stanowią występujące w tym regionie gleby ferralitowe o zawartości glin do 30%. Badano następujące pestycydy: atrazynę, chlorpyrifos, fluazifop-p-butyl, lambda-cyhalotrin oraz lactofen. Według otrzymanych wyników

najwyższą efektywnością w usuwaniu pestycydów charakteryzowały się strefy z dużą ilością zadrzewień, następnie te z dominacją zakrzewień, a najmniejszą trawiaste. Pestycydem najbardziej odpornym na usuwanie okazała się atrazyna, a za jeden z czynników sprzyjających usuwaniu pestycydów uznano zawartość materii organicznej w glebie. I tak w pasie drzew wynosiła ona 215 g/kg gleby, zaś w strefach porośniętych krzewami i trawą odpowiednio 150 i 50 g/kg. Drugim istotnym czynnikiem są systemy korzeniowe mogące bezpośrednio pobierać pestycydy z warstwy wodonośnej. Należy przy tym podkreślić fakt, że strefa buforowa złożona z drzew o szerokości 60 m cechowała się 100% redukcją wszystkich pestycydów za wyjątkiem wyżej wymienionej atrazyny.

Biorąc pod uwagę powyższe publikacje można stwierdzić, że najwyższą efektywnością będą charakteryzowały się strefy mieszane, gdzie gęsta roślinność trawiasta sukcesywnie zapobiega spływowi powierzchniowemu pestycydów wraz z osadami, zaś drzewa buforują płytkie wody podziemne.



6.

Przyroda
 najlepszym doradcą
 – naturalne strefy ekotonowe
 występujące w krajobrazie
 Polski

W krajobrazie Polski, wzdłuż cieków i wód stojących, spontanicznie wykształcają się pasy roślinności stanowiące naturalne ekotony. Patrząc na roślinność przybrzeżną, możemy bez trudu zaobserwować przechodzące jedna w drugą strefy roślinności. Ich charakter, a przede wszystkim skład gatunkowy roślin będzie zależał od wielu czynników, takich jak charakter zbiornika lub cieku, jego geneza (naturalny czy sztuczny), właściwości fizyczno-chemiczne wody, a przede wszystkim jej przepływ. Jednak niezależnie od warunków możemy zaobserwować pewne powtarzalne schematy w wykształconych spontanicznie strefach ekotonowych. Zarówno nad wodami stojącymi, jak i płynącymi – procesy ekologiczne powiązane z gradientem wilgotności prowadzą do wykształcenia się roślinności o coraz bardziej złożonej strukturze. Na powierzchni wody występują proste jednowarstwowe zbiorowiska, które ku brzegowi ustępują coraz bardziej złożonym florystycznie i skomplikowanym przestrzennie szuwarom, ziołoroślom i łąkom, a z czasem również zbiorowiskom zaroślowym i leśnym.

Wody stojące

Zazwyczaj toń wodną blisko brzegu pokrywają drobne rośliny pływające i niezakorzenione (np. różne gatunki rzęs – rodzaj *Lemna*) zwane pleustonem oraz rośliny o większych pływających liściach, zakorzenione w dnie. Należą do nich m.in. rośliny powszechnie nazywane liliami wodnymi – a więc grzybie nie białe *Nymphaea alba* i grążel żółty *Nuphar luteum* (fot. s. 64). Bliżej brzegu pojawiają się rośliny wynurzone o korzeniach stale podtopionych. Tę grupę



roślin określa się nieraz terminem „helofity” albo rośliny bagienne lub po prostu szuwały. Pas szuwaru w zbiorniku tworzą często takie gatunki, jak pałka szerokolistna *Typha latifolia* i wąskolistna *Typha angustifolia*, manna mielec *Glyceria maxima*, tatarak zwyczajny *Acorus calamus*, czy kosaciec żółty *Iris pseudacorus*. Dalej od brzegu – tam gdzie poziom wody w podłożu jest zmienny i systemy korzeniowe w ciągu roku okresowo cierpią na niedobór wody, wykształca się pas roślin znoszących zarówno okresowe podtopienie jak i przesuszenie. Tę strefę budują przede wszystkim trawy, takie jak trzcina pospolita *Phragmites australis* i mozga trzcinowata *Phalaris arundinacea*, wiele gatunków turzyc (*Carex* sp.), byliny dwuliścienne tworzące ziołorośla (np. wiązówka błotna *Filipendula ulmaria*, krwawnica zwyczajna *Lythrum salicaria*), a także gatunki wilgotnych łąk.



Powierzchnia starorzeczna pokryta licznymi gatunkami pleustonowymi i makrofitami zakorzenionymi o liściach pływających.

Wraz z procesem lądowacenia zbiornika bądź po prostu wraz z odległością od lustra wody, tam gdzie nadal istnieją wysoko położone warstwy wód gruntowych (na terenach okresowo zabagnionych) wykształcają się zarośla wierzb szerokolistnych, takich jak wierzba szara *Salix cinerea* i pięciopręcikowa *Salix pentandra*. W toku sukcesji takie zarośla mogą przekształcać się w olsy. Olsy, zwane nieraz „lasem na kępach”, buduje olsza czarna *Alnus glutinosa*, a stagnująca okresowo woda powoduje, że dno lasu ma charakterystyczną kępkową strukturę. Między kępami, gdzie stagnuje woda, pojawiają się gatunki wodne i bagienne, natomiast na kępach koncentrują się gatunki preferujące mniej podmokłe siedliska (fot. poniżej). Ponieważ olsy związane są z wodą stagnującą, nie zasila ich siedliska zbyt duża dawka biogenów, zatem są to zbiorowiska uboższe troficznie niż lasy łęgowe.



Ols



Wody płynące

Brzegi wód płynących różnią się w pewnym stopniu od zbiorników wód stojących składem gatunkowym, a przede wszystkim wykształceniem wyraźniejszych stref. Nawet w wolno płynących niewielkich rzekach czy rowach melioracyjnych przepływająca woda powoduje, że gatunki niezakorzenione są znoszone przez nurt wody i ich występowanie ogranicza się co najwyżej do zagłębień w linii brzegowej. Zatem w sztucznych rowach czy kanałach mogą występować tylko wówczas, gdy przepływ wody jest prawie niezauważalny. Również gatunki o dużych liściach pływających po powierzchni nie występują przy silniejszym nurcie, gdyż prąd wody mechanicznie uszkadza blaszki liściowe. Miejsce lilii wodnych w ciekach zajmuje więc najczęściej strzałka wodna *Sagittaria sagitifolia*, która kształt liści może dostosować do sytuacji środowiskowej. W wartkim nurcie wykształca liście równowąskie (podobne kształtem do traw), w wodzie o spokojniejszym nurcie może tworzyć liście pływające o jajowatym kształcie, a w strefie przybrzeżnej liście całkowicie wynurzone o strzałkowatej nasadzie (fot. s. 67). Podobną jajowatą blaszkę liściową ma również rdestnica pływająca *Potamogeton natans*, a także rdest ziemnowodny w formie pływającej *Polygonum amphibium* f. *natans*.

Brzegi wód wolno płynących, w części gdzie woda jest dość płytka a korzenie są stale zanurzone, porastają najczęściej takie gatunki, jak jeżogłówki *Sparganium* sp., łączeń baldaszkowaty *Butomus umbellatus*, a dalej od wody kształtuje się, podobnie jak nad wodami stojącymi, pas szuwarów.



Zarastający kanał. Na pierwszym planie widoczne zakorzenione w wodzie pędy strzałki wodnej, na dalszym planie kanał zarasta jeżogłówka.

Wodom płynącym również mogą towarzyszyć zbiorowiska zaroślowe i leśne, jednak ich skład gatunkowy zależy w dużej mierze od wielkości cieku. I tak nad średnimi i dużymi rzekami, w strefie zalewanej przy średnim stanie wód, wykształcają się tak zwane wikliny nadrzeczne budowane przede wszystkim przez wąskolistne wierzby, takie jak wierzba wiciowa *Salix viminalis* i trójpręcikowa *Salix triandra*. W strefie zalewanej raz do roku przy wysokich stanach wód rozwijają się łęgi wierzbowe tworzone przez wierzbę białą *Salix alba* i kruchą *Salix fragilis*. Natomiast na terenach położonych wyżej, wykształcają się łęgi topolowe (z udziałem topoli białej *Populus alba* i czarnej



Populus nigra), które zalewane są przy bardzo wysokich stanach wód, najczęściej co kilka lat. Doliny mniejszych cieków porastają łągi jesionowo-olszowe. Ponieważ zbiorowiska łągowe związane są z wodami płynącymi, które mogą nanosić znaczną ilość tak zwanej materii allochtonicznej (spoza ekosystemu), są one żyzne i bogate w gatunki nitrofilne (znoszące duże ilości azotu). Wikliny nadrzeczne i lasy łągowe są zresztą nie tylko zbiorowiskami oczyszczającymi wodę z biogenów, ale również działają jako filtry mechaniczne. Na pędach wierzb przy każdym wyższym poziomie wody pozostają zawieszane olbrzymie ilości śmieci niesionych przez rzeki (fot. poniżej).



Fragment łągi jesionowo-olszowej nad jednym z cieków południowej Polski.

Ochrona zbiorowisk związanych ze strefami buforowymi

Doceniając rolę ekologiczną zbiorowisk roślinnych tworzących strefy buforowe, ale też ich olbrzymie znaczenie w świadczeniu usług ekosystemowych, wiele z nich objęto ochroną jako siedliska przyrodnicze Natura 2000 (Dyrektywa 1992). Należą do nich m.in. układy roślinności występujące dość często w Polsce niżowej, również – choć nie zawsze – w dobrym stanie zachowania, w krajobrazie rolniczym. Kształtując strefy buforowe należy więc pamiętać, by działaniami nie zaburzyć funkcjonowania naturalnych ekosystemów, w szczególności tych objętych ochroną. Do wspomnianych siedlisk objętych ochroną należą:

3150 – Starorzecza i naturalne eutroficzne zbiorniki wodne ze zbiorowiskami z *Nymphaeion* i *Potamion*.

Zbiorowiska roślinne takich siedlisk tworzą pływające w toni wodnej makrofity (ze związku *Potamion* i częściowo *Nymphaeion*), makrofity zakorzenione w dnie oraz o liściach pływających (część *Nymphaeion*), a także prymitywne skupienia drobnych roślin pływających po powierzchni wody (*Lemnetea*) (Klimaszczyk 2004, Wilk-Woźniak i in. 2012).

3270 – Zalewane muliste brzegi rzek.

Zbiorowiska roślin jednorocznych (terofitów) na mulistych, wysychających latem brzegach wód to wybitnie pionierska roślinność strefy przykorytowej rzek płynących dolinami o dużych wahaniami poziomu wody. Optimum jej terytorialnego zasięgu jest powiązane z dolnymi i środkowymi biegami dużych i średnich cieków. Fitocenozy, rozwijające się na omawianym typie siedliska, są krótkotrwałe – utrzymują się przez jeden lub dwa sezony. Nad polskimi

rzekami nadbrzeżną roślinność eutroficznych siedlisk tworzą naturalne ugrupowania takich między innymi gatunków, jak: jaskier jadowity *Ranunculus sceleratus*, szczaw nadmorski *Rumex maritimus*. Z wysoką stałością występują: uczepek trójlistkowy *Bidens tripartita*, rzepicha błotna *Rorippa palustris*, a częstymi komponentami są też sit dwudzielny *Juncus bufonius*, babka wielonasienna *Plantago intermedia*, a także mietlica rozłogowa *Agrostis stolonifera* i rzepicha ziemnowodna *Rorippa amphibia* (Borysiak 2004).

6430 (w tym podtyp 6430-3) – Ziołorośla nadrzeczne (*Convolvuletalia sepium*).

Są to ziołorośla niżowe, tworzące charakterystyczne tak zwane zbiorowiska welonowe (fot. obok) stanowiące wąski okrajek roślin czepnych (pnączy) pomiędzy nadrzecznymi szuwarami a zbiorowiskami zaroślowymi lub łągami wierzbowymi (Mróz i in. 2010). W skład tych fitocenoz, jako gatunki reprezentatywne, wchodzi przede wszystkim takie gatunki pnączy, jak: kielisznik zaroślowy *Calystegia sepium*, przytulia czepna *Galium aparine*, kanianka pospolita *Cuscuta europaea*, przytulia lepczyca *Galium rivale* oraz rdestówka zaroślowa *Fallopia dumetorum* (Matuszkiewicz 2008). Ponadto Mróz (2004) wymienia również takie pnącza, jak chmiel zwyczajny *Humulus lupulus* i psianka słodkogórz *Solanum dulcamara*. Jako gatunki reprezentatywne obecne są także rośliny nitrofilne, np. pokrzywa zwyczajna *Urtica dioica* (Brzeg 1989). Omawiane zbiorowiska są niestałe florystycznie, charakteryzują się dominacją różnych gatunków w poszczególnych płatach, stąd wyróżnia się różne zbiorowiska i facje (Mróz 2004).



Zbiorowisko welonowe z udziałem chmielu zwyczajnego *Humulus lupulus* tworzące charakterystyczną zasłonę między zbiorowiskiem szuwarowym a zaroślowym.

91E0 – Łęgi wierzbowe, topolowe, olszowe i jesionowe.

Zbiorowiska łąkowe są związane z dolinami rzek i potoków, źródłiskami i miejscami o wysokim poziomie wód gruntowych oraz miejscami, gdzie ukształtowanie terenu powoduje powstawanie zastoisk wód opadowych. Występują w postaci wąskich pasów ciągnących się wzdłuż rzek, a także niewielkich płątów otoczonych innymi zbiorowiskami roślinnymi. Ten typ siedliska przyrodniczego obejmuje nadrzeczne zbiorowiska leśne, budowane przez takie gatunki, jak: olsze, jesiony, wierzby i topole. Zwarcie koron drzew jest najczęściej niewielkie, co skutkuje bujnym rozwojem podszytu oraz runa z gatunkami higrofilnymi i ziołoroślowymi. Wiele gatunków to gatunki łąk i szuwarów, z którymi lasy łąkowe często sąsiadują.

część II.

**Jak i z czego konstruować
efektywne strefy buforowe
i biotechnologie ekohydrologiczne
– wytyczne i doświadczenia**



7.

Wytyczne do kształtowania i utrzymywania ekotonów oraz biotechnologii ekohydrologicznych

Roślinne strefy buforowe w krajobrazie rolniczym

Podstawowym celem, jaki stawiamy konstruując strefy ekotonowe, jest doprowadzenie do maksymalnej redukcji zanieczyszczeń przedostających się do wód. Aby ten cel osiągnąć wytyczając i projektując takie strefy należy wziąć pod uwagę szereg czynników i uwarunkowań zarówno środowiskowych, jak i ekonomicznych. Należy również pamiętać, że raz skonstruowana strefa ekotonowa powinna służyć stawianym jej celom środowiskowym przez wiele lat, dlatego bardzo ważną kwestią jest jej odpowiednie utrzymanie (konserwacja i wykaszanie). Poniżej zostały przedstawione najważniejsze zasady jakie należy stosować projektując, kształtując i utrzymując strefy buforowe.



Co należy wziąć pod uwagę zanim utworzymy strefę buforową?

1. Lokalizacja:

- Należy wybierać obszary wzdłuż małych cieków narażonych na silną presję rolniczą ze względu na wysokie stężenia zanieczyszczeń w wodach gruntowych i powierzchniowych w stosunku do przepływu w cieku. Tworzenie stref w takich miejscach jest najbardziej efektywne w redukcji zanieczyszczeń obszarowych.
- Odtworzenie stref buforowych wokół zbiorników wodnych zarówno naturalnych jak i sztucznych należy uznać za podstawowy zabieg chroniący wody przed zanieczyszczeniami z rolniczo zagospodarowanej zlewni.

2. Rozmiar i kształt strefy:

- **Szerokość.** Optymalne strefy ekotonowe powinny mieć minimum 10 metrów szerokości. Przyjmuje się, że pierwsze 5 metrów szerokości ekotonu ma największą efektywność. 10-metrowa strefa zapewnia nie tylko wysoki stopień usuwania biogenów, ale jednocześnie wystarczająco szeroki pas roślinności stanowiącej korytarz migracyjny dla zwierząt. Pas taki jest najczęściej na tyle wąski w stosunku do przyległego pola, że nie wyłącza zbyt dużego obszaru z produkcji rolniczej.
- **Ciągłość.** O skuteczności stref buforowych decyduje ich ciągłość wzdłuż linii brzegowej. Efektywniejsze są strefy ciągłe i wąskie w porównaniu ze strefami szerokimi, ale występującymi tylko na pewnych odcinkach linii brzegowej cieku lub zbiornika wodnego. Szczególną uwagę należy zwracać na wszelkiego rodzaju stałe bądź czasowe przerwy (np. bruzdy, obniżenie terenu), które stanowią uprzywilejowane drogi spływu

dla wody i w znacznym stopniu niwelują efekt działania strefy.

- **Nachylenie skarp.** W przypadku możliwości kształtowania skarp zaleca się stosowanie nachylenia wynoszącego maksymalnie 1:3.

Z czego kształtować strefę buforową?

Dobrze ukształtowane strefy buforowe powinny spełniać przede wszystkim funkcje ekologiczne, ale mogą i powinny posiadać również walory estetyczne. Dobierając gatunki do kształtowania strefy buforowej, należy więc wziąć pod uwagę przede wszystkim wydajność w redukcji zanieczyszczeń oraz zgodność z siedliskiem, ale dobrze jest uwzględnić również wartości krajobrazowe. Propozycje gatunków polecanych do nasadzeń przedstawiono w części „Katalog roślin”.

- Przy planowaniu nasadzeń istotnym elementem jest wybór gatunków pod kątem ilości pierwiastków biogenych jaką rośliny mogą pobrać i zakumulować w tkankach
- Strefy buforowe powinny być różnorodne gatunkowo, gdyż monokultury są mniej efektywne. Najefektywniejsza w usuwaniu biogenów strefa buforowa to strefa zbudowana z pasa traw lub bylin dwuliściennych połączona z głęboko korzeniącymi się krzewami i drzewami.
- W trakcie projektowania nasadzeń należy uwzględniać potrzeby siedliskowe poszczególnych roślin i dobierać gatunki roślin do panujących warunków glebowych i hydrologicznych, m.in. uwzględnić tolerancję roślin na zmiany poziomu wód gruntowych, czy wahań poziomu zwierciadła wody w cieku lub jeziorze.
- Do nasadzeń w strefach ekotonowych wskazane jest stosowanie

gatunków rodzimych. Nie należy stosować gatunków rodzimych w odmianach ozdobnych, aby strefa odpowiednio wkomponowywała się w naturalny krajobraz otoczenia (nawet jeśli otoczeniem są tereny użytkowane rolniczo warto dostosować wygląd strefy do płatów roślinności występujących w okolicy).

- Nie wolno stosować, ale także nie powinno się doprowadzać do spontanicznego wnikania gatunków obcych, w szczególności inwazyjnych (najczęściej pojawiające się wzdłuż cieków gatunki inwazyjne przedstawiono w części „Katalog roślin – nieproszeni goście”).
- Należy uwzględnić cykle rozwojowe roślin. W obszarze nadbrzeżnej strefy buforowej wyróżnić można gatunki o wczesnym okresie wzrostu, takie jak tatarak zwyczajny czy kosaciec żółty, których intensywny wzrost następuje tuż po zejściu pokrywy śnieżnej. Natomiast trzcina pospolita charakteryzuje się wysokim przyrostem biomasy, który jednak rozpoczyna się stosunkowo późno (czerwiec/lipiec). Optymalny i różnorodny dobór gatunków do nasadzeń powoduje, że wielogatunkowa strefa buforowa pozwala na wydłużenie okresu jej najefektywniejszego funkcjonowania podczas okresu wegetacyjnego.
- Nasadzenia drzew w sposób ciągły wzdłuż cieku mogą spowodować zbytne zacienienie koryta, co przyczyni się do ograniczenia m.in. rozwoju makrofitów, a co za tym idzie zmiany struktury gatunkowej innych grup organizmów. Zaleca się nasłonecznienie części cieku w celu stymulacji wzrostu bioróżnorodności.
- W celu stabilizacji nowo utworzonych skarp i nasadzeń roślinnych zalecane jest stosowanie geowłóknin, które zapobiegają rozmyciu brzegów w trakcie intensywnych deszczy i wysokich przepływów, szczególnie

w okresie wzrostu wysianych lub nasadzonych roślin.

- W przypadku nasadzeń drzew i krzewów, świeżo uprawiona gleba może być obsiana nieinwazyjnymi roślinami dwuliściennymi i trawami, które będą spajać glebę w obszarze strefy do momentu pełnego ukształtowania ekotonu (tj. do momentu kiedy drzewa i krzewy ukorzenia się i porosną strefę).
- Do nasadzeń stref należy stosować materiał pochodzący z certyfikowanych szkółek roślin.
- Jednym ze sposobów zmniejszenia kosztów założenia strefy buforowej jest wykorzystanie istniejącej roślinności i pozostawienie obszaru naturalnym procesom ekologicznym, np. sukcesji.

Jak optymalnie utrzymywać strefy ekotonowe, by zachować wysoką efektywność przy niewielkich nakładach finansowych?

- Strefy ekotonowe powinny być wyłączone z nawożenia oraz używania środków ochrony roślin.
- W obrębie stref należy stosować przepisy zawarte w Rozporządzeniu Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 16 kwietnia 2008 r. w sprawie szczegółowego sposobu stosowania nawozów oraz prowadzenia szkoleń z zakresu ich stosowania (Dz. U. z 2008 r. Nr 80, poz. 479 ze zm.):
 - a) Nawozy, z wyłączeniem gnojowicy, stosuje się na gruntach rolnych w odległości co najmniej 5 m od brzegu: 1) jezior i zbiorników wodnych o powierzchni do 50 ha; 2) cieków wodnych; 3) rowów, z wyłączeniem rowów o szerokości do 5 m liczonej na wysokości górnej krawędzi brzegu rowu; 4) kanałów w rozumieniu przepisów ustawy z dnia 18 lipca 2001 r. – Prawo wodne.

b) Nawozy stosuje się na gruntach rolnych w odległości co najmniej 20 m od: 1) brzegu jezior i zbiorników wodnych o powierzchni powyżej 50 ha; 2) ujęć wody, jeżeli nie ustanowiono strefy ochronnej na podstawie przepisów ustawy z dnia 18 lipca 2001 r. – Prawo wodne; 3) obszarów morskiego pasa nadbrzeżnego.

c) Gnojowicę stosuje się na gruntach rolnych w odległości co najmniej 10 m od brzegu: 1) jezior i zbiorników wodnych o powierzchni do 50 ha; 2) cieków wodnych; 3) rowów, z wyłączeniem rowów o szerokości do 5 m liczonej na wysokości górnej krawędzi brzegu rowu; 4) kanałów w rozumieniu przepisów ustawy z dnia 18 lipca 2001 r. – Prawo wodne.

- Łąki pełniące funkcję stref buforowych mogą być okresowo wypasane oraz sporadycznie nawożone obornikiem w celu podniesienia ich produktywności jedynie w większej odległości od wody niż jest to wskazane w wyżej wymienionym rozporządzeniu.

- W strefach buforowych należy wykaszac roślinność oraz usuwać wykoszoną biomasę, by nie doprowadzać do eutrofizacji siedliska.

- Zalecane jest koszenie i przycinanie pędów oraz gałęzi w okresie późnego lata oraz ich usuwanie ze zlewni, zanim jeszcze azot i fosfor dostaną się do gleby i wód.

- Wykaszanie stref buforowych jest również istotne dla ich utrzymania we wczesnych stadiach sukcesji, gdyż wówczas wykazują one najwyższą zdolność retencjonowania materii organicznej. Zdolność ta po pewnym czasie zanika i wykształca się stan równowagi pomiędzy kumulowaniem a uwalnianiem. W przypadku, gdy nastąpi wysycenie się strefy materią organiczną, może dochodzić do uwalniania fosforu i azotu z ekotonu do wody.

- W przypadku wierzby wycinanie powinno się odbywać cyklicznie co 3 lata, gdyż młode, kilkuletnie pędy poprzez swój intensywny wzrost wykazują największą zdolność do akumulacji fosforu i wbudowywania go w swoje tkanki.



Wykaszanie strefy ekotonowej nad Zbiornikiem Sulejowskim na poligonie Barkowice w celu zwiększenia jej efektywności. Z powierzchni ok. 0,5 ha wraz ze skoszoną biomasą usunięto ok. 50 kg azotu, równowartość ok. 150 kg Saletry amonowej i ok. 5 kg fosforu, równowartość ok. 25 kg Polifoski.

Ilość pierwiastków biogenicznych jaką mogą pobrać i zakumulować w tkankach rośliny występujące w strefach ekotonowych. Dane pochodzą z badań prowadzonych nad Zbiornikiem Sulejowskim oraz w dolinach rzecznych w zlewni Pilicy w ramach projektu LIFE+ EKOROB

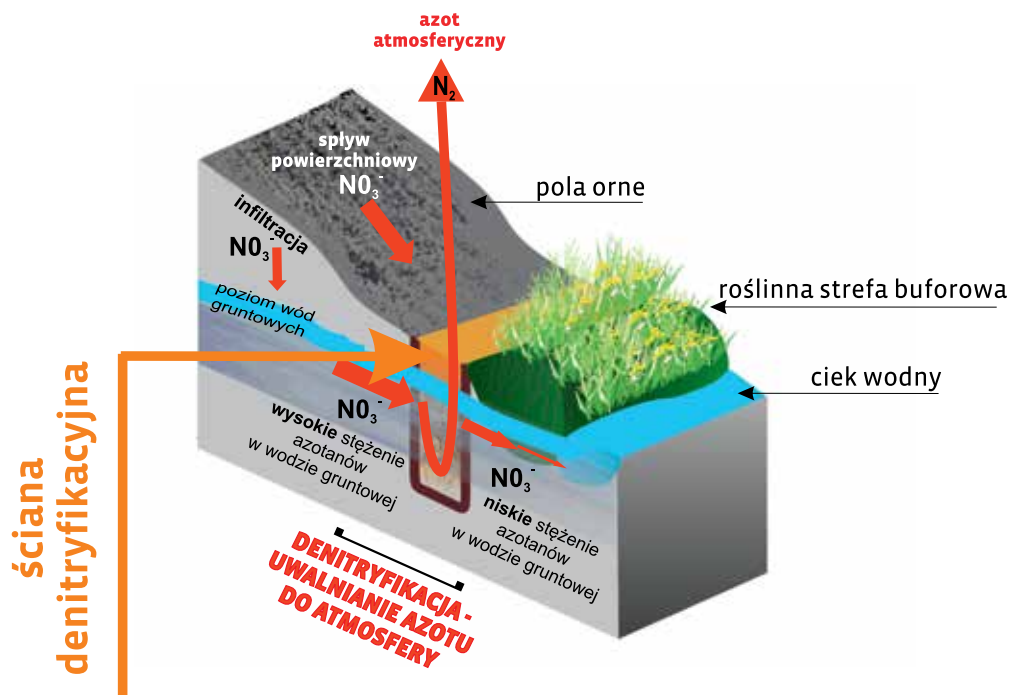
Lp.	Dominujący gatunek roślin w zbiorowisku	Akumulacja azotu w biomase roślin w 100 mb strefy ekotonowej o wymiarach 100mx10m [kg N/ 100 mb 10-metrowej strefy]	Akumulacja fosforu w biomase roślin w 100 mb strefy ekotonowej o wymiarach 100mx10m [kg P/ 100 mb 10-metrowej strefy]
zbiorowiska szuwarowe (siedliska zabagnione - systemy korzeniowe roślin stale zanurzone w wodzie)			
1.	Kosaciec żółty	38,1	4,01
2.	Manna mielec	22,2	2,39
3.	Oczeret jeziorny	39,4	6,35
4.	Pałka szerokolistna	45,7	3,56
5.	Tatarak zwyczajny	32,1	2,27
6.	Trzcina pospolita	30,3	2,09
zbiorowiska szuwarowe i łąkowe (siedliska wilgotne lub świeże co najwyżej z okresowym zabagnieniem)			
1.	Turzyce (różne gatunki)	10,5	0,89
2.	Mozga trzcinowata z dużym udziałem pokrzywy zwyczajnej	14,1	1,67
3.	Mozga trzcinowata z dużym udziałem kielisznika zaroślowego i pokrzywy zwyczajnej	16,7	2,13

4.	Sitowie leśne z turzycą zaostrzoną	16,4	1,50
5.	Łąka świeża z kostrzewą czerwoną i śmialkiem darniowym	14,1	2,17
6.	Łąka świeża podsiewana życią trwałą i koniczyną łąkową	19,6	3,78
7.	Łąka świeża z rajgrasem wyniosłym, życią trwałą i mozgą trzcinowatą	28,9	4,31
8.	Łąka świeża ze szczawiem polnym, krwawnikiem pospolitym i babką lancetowatą	20,5	3,72

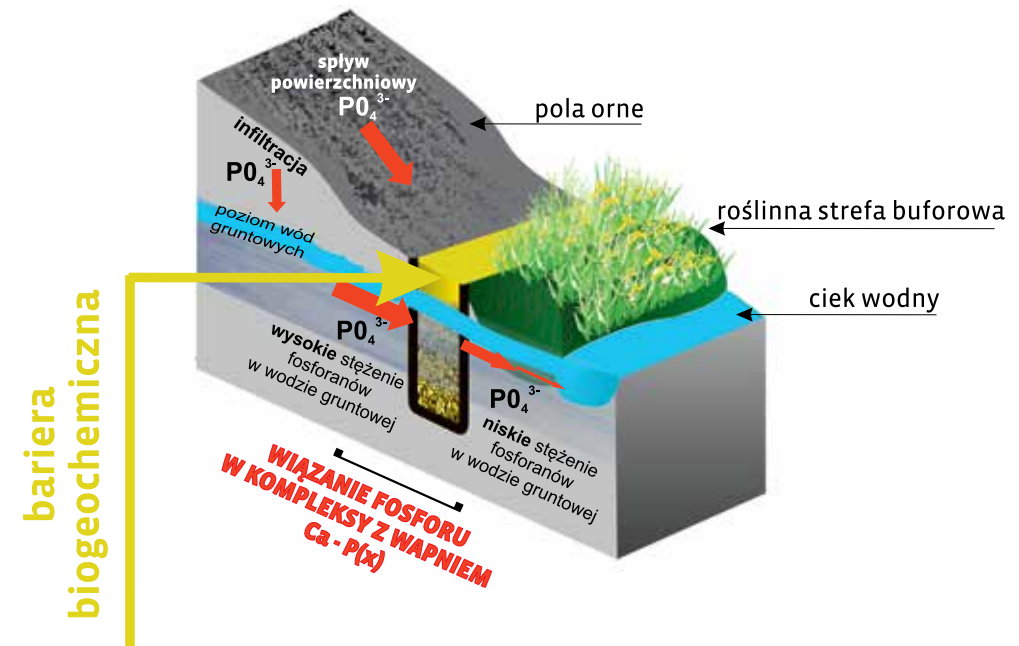
Biotechnologie ekohydrologiczne w zlewni rolniczej

1. Wysokoefektywne strefy ekotonowe, stanowiąc istotne narzędzie w redukcji transferu substancji biogenicznych z gruntów ornych do cieków i zbiorników wodnych, mogą być stosowane w rejonach intensywnej gospodarki rolniczej:

- w obszarach o wysokim stopniu zanieczyszczenia wód gruntowych,
- przy niewystarczającej powierzchni dla zastosowania szerokiej roślinnej strefy buforowej,
- w obszarach występowania płytkiego zwierciadła wód gruntowych,
- w rejonie skarp cieków, z których obserwujemy wysięki wód do cieków.



Wykorzystanie wysokoefektywnych stref ekotonowych jako narzędzia dla ograniczenia transferu substancji biogenicznych z gruntów ornych do cieków i zbiorników wodnych

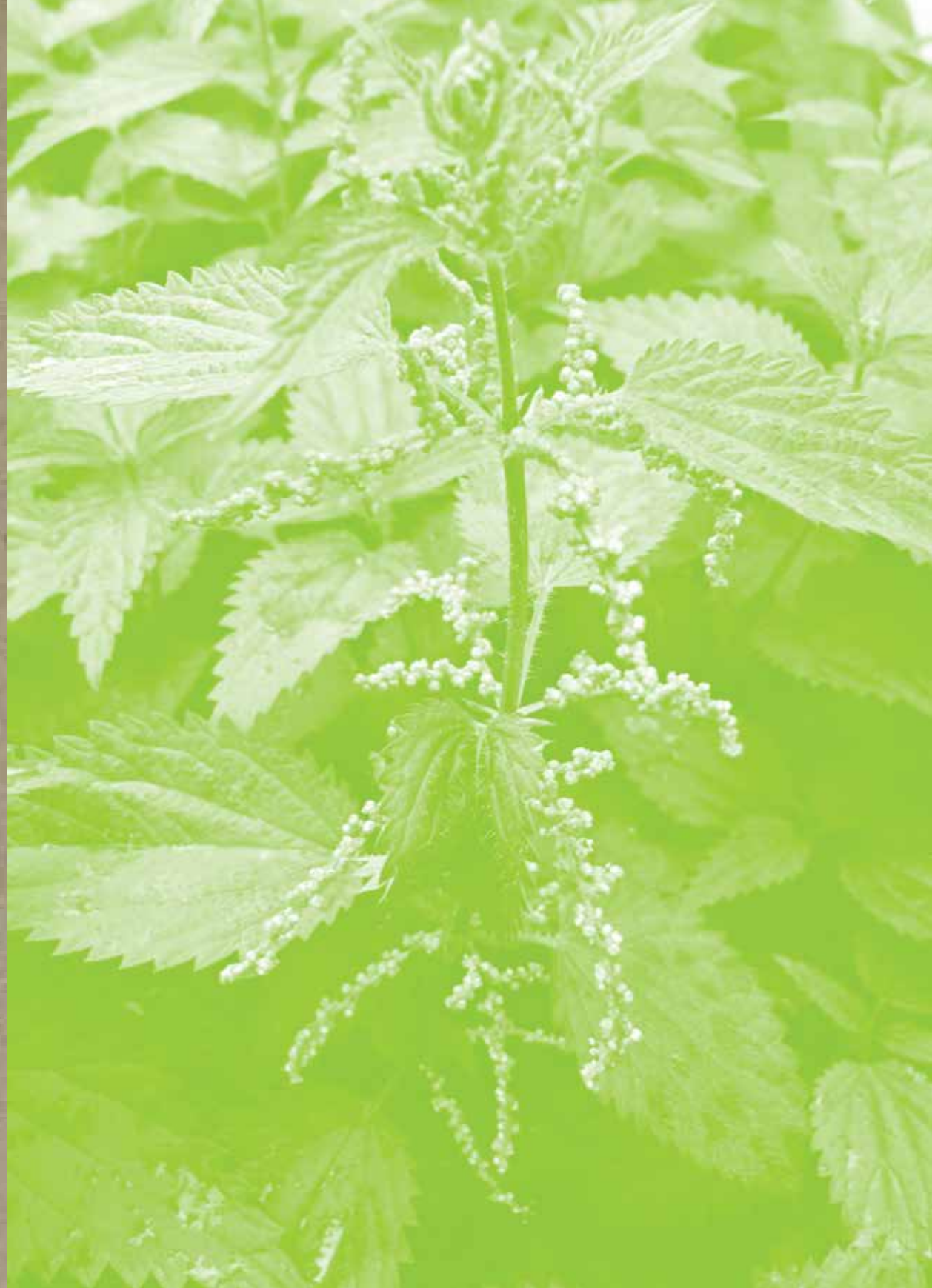


2. Sekwencyjne systemy sedymentacyjno-biofitracyjne mogą być stosowane w zlewni rolniczej w celu:

- podczyszczenia wód odpływających z systemów melioracyjnych i obszarów zmeliorowanych,
- podczyszczenia wód cieków w rejonach intensywnej gospodarki rolniczej,
- podczyszczenia wód cieków w obszarach narażonych na presję komunalną (nielegalne zrzuty),
- podczyszczenia wód opadowych w obrębie domostw (podwórek), jak i z obszaru sołectw przed odprowadzeniem do cieków i zbiorników wodnych.

8.

Pożądani współpracownicy
i nieproszeni goście
– katalog roślin zalecanych
do konstruowania stref
oraz niepożądanych
gatunków inwazyjnych



8.1

Pożądaní współpracownicy – rośliny zalecane do konstruowania stref

Gatunki zaprezentowano
w kolejności alfabetycznej
według nazw polskich.

Są to:

- chmiel zwyczajny
- grażel żółty
- grzybienie białe
- jeżogłówka gałęzista
- jeżogłówka pojedyncza
- kalina koralowa
- kielisznik zaroślowy
- kosaciec żółty
- krwawnica pospolita
- łączek baldaszkowaty
- manna mielec
- mozga trzcinowata
- olsza czarna
- osoka aloesowata
- pałka wąskolistna
- pałka szerokolistna
- pokrzywa zwyczajna
- psianka słodkogórz
- rdest ziemnowodny
- rdestnica pływająca
- sadziec konopiasty
- strzałka wodna
- tatarak zwyczajny
- tojeść zwyczajna
- trzcina pospolita
- turzyca błotna
- turzyca zaostrowana
- uczepek trójlistkowy
- wiązówka błotna
- wierzba biała
- wierzba krucha
- wierzba pięciopęcikowa
- wierzba purpurowa (wiklina)
- wierzba szara (łozą)
- wierzba trójęcikowa
- wierzba wiciowa (witwa)
- wierzbownica kosmata
- włosienicznik (jaskier) krążkolistny
- żabieniec babka wodna
- żabiściek pływający



W opisie zwracano uwagę na cechy morfologiczne pozwalające rozpoznać gatunek, a przede wszystkim unikać pomyłek w odróżnieniu rośliny od gatunku podobnego.

Podawano również informacje dotyczące skuteczności w wychwytywaniu biogenów, ale także inne, przydatne w kształtowaniu stref buforowych cechy gatunku, np. możliwość umacniania brzegów czy wartości estetyczne.

Opisując poszczególne gatunki posługiwano się fachowymi określeniami dotyczącymi rozsiewania nasion:

- **anemochoria** – rozsiewanie przez wiatr
- **antropochoria** – rozsiewanie przy udziale człowieka
- **hydrochoria** – rozsiewanie przez wodę
- **zoochoria** – rozsiewanie przez zwierzęta (w tym:
 - **endozoochoria** – w wyniku zjadania przez zwierzęta,
 - **epizoochoria** – w wyniku przyczepiania się do sierści bądź piór).

Przy opisie poszczególnych gatunków korzystano z następujących opracowań (szczegóły podano w rozdziale Literatura):

Atlas ziół. Grzędzicka E. 2008.

Dendrologia. Seneta W. 1983.

Flora ojczysta. Moraczewski I. i in. 2004.

<http://www.atlas-roslin.pl/>

Klucz do oznaczania makrofitów dla potrzeb oceny stanu ekologicznego wód powierzchniowych w Polsce. Szoszkiewicz K. i in. 2008.

Klucz do oznaczania roślin naczyniowych Polski Niżowej. Rutkowski L. 1998.

Pokrzywa zwyczajna nielubiany uzdrowiciel. Środa K. 2006/2007.

Pospolite rośliny naczyniowe Polski. Mowszowicz J. 1970.

Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. Matuszkiewicz W. 2001.

Rośliny polskie. Szafer W., Kulczyński S., Pawłowski B. 1976.

Rośliny wodne krajowe. Mowszowicz J. 1973.

Staw w ogrodzie. Hagen P., Haberer M. 2007.

Wierzybiała i krucha. Paciorek J. 2006/2007.

Zarys hydrobotaniki. Podbielkowski Z., Tomaszewicz H. 1979.

Zioła i ich stosowanie. Kuźnicka B., Dziak M. 1984.

Nazwa polska: **Chmiel zwyczajny**
Nazwa łacińska: *Humulus lupulus* L.
Rodzina: Konopiovate *Cannabaceae*



Biologia i fenologia

Kwitnie od czerwca do września.

Rozsiewa się przez anemochorię.

Zimują pączki znajdujące się tuż przy powierzchni ziemi lub tuż pod nią.

Pokrój rośliny: Bylina o długich, kanciastych, wijących się **łodygach** dorastających do 6–10 m. Pokryte są one szorstkimi włoskami. Z kłacza wyrastają co roku nowe łodygi, które dążąc do światła owijają się wokół podpory zawsze w jednym kierunku. **Liście** naprzeciwległe, u nasady sercowato wycięte, grubo ząbkowane, pokryte na wierzchu szorstkimi, gruczołowatymi włoskami. Są one mocno powcinane i składają się z 3–5, rzadko 7 kłap. Przy dojrzywaniu podsadki wyrastają ponad przylistki i na nich mieszczą się gruczołki wytwarzające mączkę chmielową – lupulinę. Jest to roślina dwupienna. **Kwiaty** żeńskie skupione są w łuskowatych „szyszkach”, natomiast męskie, o długości 3 mm, znajdują się w luźnych kwiatostanach umieszczonych w kątach liści. **Owocostanem** są wspomniane już jasnozielone szyszki, które brunatnieją w miarę dojrzywania. Na powierzchni łusek szyszek widoczne są żółtoczerwone, niewielkie gruczoły. Owocem są orzeszki tworzące się w szyszkach.

foto: Dorota Michalska-Hejduk



foto: Mathias Harmisch

Podobieństwo do innych roślin: Roślina o bardzo charakterystycznym pokroju. Brak możliwości pomylenia z innymi gatunkami.

Ekologia: Preferuje stanowiska półcieniste, przeciętnie ciepłe. Gleba wilgotna lub mokra; średnio zwięzła o obojętnym lub zasadowym odczynie. Roślina uprawna, spotykana najczęściej na głębokich i żyznych glebach. W naturze występuje na wilgotnych terenach takich jak wilgotne zarośla, olszyny czy też wikliny, tworząc główny składnik zbiorowisk ekotonowych zwanych welonowymi.

Rozprzestrzenienie: Gatunek pospolity w całej Polsce.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Brak danych.

Nazwa polska: **Grąźel żółty**
Nazwa łacińska: *Nuphar lutea* (L.) Sibth. & Sm.
Rodzina: Grzybieniowate *Nymphaeaceae*

Biologia i fenologia

Kwitnie od czerwca do września.

Rozsiewa się przez hydrochorię.

Zimuje i rozmnaża się wegetatywnie za pomocą kłączy.

Pokrój rośliny: Bylina zakorzeniona w podłożu, o dużych liściach pływających i grubym (do 8 cm średnicy) płożącym się kłączu, osiągającym długość do 1 m. Z wierzchołka kłącza wyrastają liście i kwiaty. **Liście** w optymalnych warunkach mają zróżnicowany kształt – te podwodne są sercowate lub okrągławe, cienkie, delikatne, sałatowate, o brzegu falistym, natomiast pływające są owalne, o długości do ok. 30 cm, u nasady sercowate i skórzaste. Nerwy boczne blaszki liściowej kilkakrotnie widlasto rozgałęzione, nie łączą się ze sobą na brzegu. Liście pływające występują na trójkątnych ogonkach o długości 0,5–3 (rzadko do 4) m. **Kwiaty** obupłciowe, wielkie, o średnicy 4–6 cm, wynurzone, na długich szypułkach długości 0,5–2,5 m, przynajmniej u góry trójkanciaste. Wytwarzają liczne żółte płatki korony i 5 działek kielicha. Kwiaty te są silnie pachnące. **Owoce** jest torebka o butelkowatym kształcie, wyprostowana, o długości 3,5–6 cm i szerokości 2,5–4,5 cm.



foto: Matthias Harnisch

Podobieństwo do innych roślin: W stanie bez kwiatów często mylony z grzybieniami białymi *Nymphaea alba*, od których odróżnia go wytwarzanie delikatnych liści zanurzonych (obok pływających), trójkątne ogonki liściowe i pierzaste unerwienie, kilkakrotnie widlasto rozgałęzione na zakończeniach.

Ekologia: Zasadza strefę przybrzeżną zbiorników i wolnopłynących cieków. Posiada szeroką amplitudę ekologiczną względem trofii: od eutrofii (najczęściej), poprzez mezotrofię, do dystrofii. Porasta różnorodne podłoża: od mineralnego (rzadziej) do organicznego i gytii wapiennej (częściej). Występuje często w wodach głębszych niż grzybienie białe *Nymphaea alba*.

Rozprzestrzenienie: Występuje pospolicie niemal w całej Polsce niżowej. Bardzo pospolicie w całej Europie i Azji.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Produkuje dużą ilość fitomasy, której znaczna część (liście i kwiaty) ulegają szybkiemu rozkładowi.

Nazwa polska: **Grzybienie białe**
Nazwa łacińska: *Nymphaea alba* L.
Rodzina: Grzybieniowate Nymphaeaceae



Biologia i fenologia

Kwitnie od czerwca do września.

Rozsiewa się przez hydrochorię.

Zimuje w postaci kłączy.

Pokrój rośliny: Bylina zakorzeniona w podłożu, o dużych liściach pływających. Wytwarza grube, płożące się kłącze długości do 1 m, z którego wyrastają liście i kwiaty. **Liście** pływające koliste lub okrągławo-owalne, długości ok. 15–30 cm i szerokości 12–25 cm, całobrzegie. Ogonki liściowe długie (do 2,5 m), cylindryczne. Nasada liścia prawie do połowy wycięta. Blaszki liściowe z wierzchu zielone, skórzaste i pokryte woskiem, a od dołu ubarwione fioletowo. Nerwy boczne blaszki liściowej łączą się ze sobą przy brzegu, co widoczne jest najlepiej od spodu. **Kwiaty** obupłciowe, wielkie – o średnicy 8–15 cm. Wyrastają na szypułkach długości od kilkudziesięciu centymetrów do 3 m, są wynurzone i białe. **Owoc** jest wielonasienny, jagodopodobny, zielony, jego nasada jest kolista i zaokrąglona. Na powierzchni owocu widoczne są blizny po płatkach.

foto: Dorota Michalska-Hejduk



Podobieństwo do innych roślin: Rośliny kwitnące są podobne do grzybieni północnych *Nymphaea candida*. W stanie bezkwiatowym grzybienie białe mogą mylić się także z grązelem żółtym *Nuphar lutea*, choć wyróżnia się on wytwarzaniem delikatnych liści zanurzonych (obok pływających). Ogonki liściowe u grążela żółtego są trójkątne, a blaszki charakteryzują się pierzastym unerwieniem, podczas gdy grzybienie białe mają ogonki cylindryczne, a ich blaszki liściowe mają unerwienie dłoniaste o połączonych na brzegu nerwach bocznych.

Ekologia: Zasadla głównie wody stojące i wolno płynące, od mezo- do eutroficznych. Optimum rozwoju osiąga w zacisznych wypływających się zatokach jezior na grubej warstwie osadów organicznych lub organiczno-mineralnych. Dobrze znosi wynurzenie. Zwykle tworzy jednogatunkowe fitocenozy, ale często występuje w zbiorowisku z grązelem żółtym.

Rozprzestrzenienie: Dość pospolity niemal w całej Polsce niżowej.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Produkuje dużą ilość fitomasy, której znaczna część (liście i kwiaty) ulegają szybkiemu rozkładowi.

Nazwa polska: **Jeżogłówka gałęzista**
Nazwa łacińska: *Sparganium erectum* L. em. Rchb. s. s.
Rodzina: Jeżogłówkowate *Sparganiaceae*



Biologia i fenologia

Kwitnie od czerwca do sierpnia.

Rozsiewa się przez hydrochorię, rzadziej przez zoochorię.

Zimuje w postaci rozłogów w podłożu.

Pokrój rośliny: Bylina o prosto wzniesionym pędzie. Roślina posiada pełzające kłącza wytwarzające grube rozłogi. **Lodyga** jest sztywno ustawiona, w górę rozgałęziona, wysokości 0,3–1,5 m. **Liście** sztywne, prosto wzniesione, dołem trójkanciaste, długości zwykle do 1,5 m i szerokości 1–2 cm. Nerw główny w formie listwy środkowej (kilu), wyraźnie wyczuwalny do samego szczytu blaszki. Roślina rozdzielнопłciowa, jednopienna. **Kwiatostanami** są jednopłciowe kuliste główki, które rozwijają się na kilkakrotnie rozgałęzionym i wyprostowanym pędzie kwiatostanowym. U góry rośliny znajduje się kilkanaście główek męskich, o średnicy 10–12 mm. Poniżej: 1–2 główki żeńskie, o średnicy 12–20 mm. **Owoce** to wrzecionowate suche pestkowce, długości 5–7 mm i szerokości 4–6 mm. Skupione są w kolczaste główki.



foto: Matthias Harnisch

Podobieństwo do innych roślin: Roślina jest podobna przede wszystkim do jeżogłówki pojedynczej *Sparganium emersum*, u której jednak pęd jest nierozgałęziony. Te dwa gatunki można także odróżnić w oparciu o stopień wykształcenia linii grzbietowej liści, która u jeżogłówki gałęzistej jest wyraźna, z wyczuwalną listwą środkową dochodzącą do samego szczytu blaszki. U jeżogłówki pojedynczej nerw główny jest natomiast słabiej wykształcony, a przy samym szczycie (końcowe 2–3 cm) jest niewyczuwalny.

Ekologia: Wody stojące i wolno płynące, głównie eutroficzne: jeziora, starorzecza, stawy, glinianki, rzeki, kanały, rowy. Rośnie najczęściej do głębokości ok. 1 m. W wodach płynących może tworzyć formy podwodne o długich wiotkich liściach. Występuje najczęściej w mniejszych lub większych skupieniach, a czasem pojedynczo.

Rozprzestrzenienie: Często spotykany na niżu i w niższych położeniach górskich.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Duża ze względu na wysoką produkcję biomasy.

Nazwa polska: **Jeżogłówka pojedyncza**
Nazwa łacińska: *Sparganium emersum* L.
Rodzina: Jeżogłówkowate *Sparganiaceae*



Biologia i fenologia

Kwitnie od lipca do września.

Rozsiewa się przez hydrochorię,
rzadziej przez zoochorię.

Zimuje w postaci rozłogów w podłożu.

Pokrój rośliny: Bylina. **Lodyga** wiotko wzniesiona lub pływająca. Roślina posiada też czołgające się kłącza wytwarzające grube rozłogi. **Liście** szerokości 0,3–1 cm, w przekroju poprzecznym trójkanciaste u nasady, wyżej spłaszczone, z wyraźną listwą środkową (kilem). Końcówki liści są płaskie, tępo zaokrąglone, z niewyczuwalnym kilem. Roślina rozdzielnopłciowa, jednopienna. **Kwiatostanami** są jednopłciowe kuliste główki rozwijające się na pojedynczym nierozgałęzionym pędzie kwiatostanowym, wzniesionym ponad powierzchnię wody. U góry pędu wykształca się 3–8 główek męskich, poniżej zaś 3–6 główek żeńskich. **Owoce** tej rośliny to wrzecionowate suche pestkowce, skupione są w kolczaste główki.



fol. Matthias Harnisch

Podobieństwo do innych roślin: Roślina podobna do jeżogłówki gałęzistej *Sparganium erectum*, której pęd kwiatostanowy jest jednak kilkukrotnie rozgałęziony. Gatunki te można także odróżnić na podstawie stopnia wykształcenia linii grzbietowej liści, która u jeżogłówki gałęzistej jest wyraźna, w formie nerwu dochodzącego do samego szczytu blaszki liściowej. U jeżogłówki pojedynczej nerw jest natomiast słabiej wykształcony, a przy samym szczycie (końcowe 2–3 cm) w ogóle niezauważalny.

Ekologia: Najczęściej wody płynące, mezo- i eutroficzne. Rośnie zwykle na głębokości do ok. 1 m. Rozwijają się często w formie jednogatunkowych skupień, które mogą wpływać hamująco na przepływ wody. Często tworzy zbiorowiska wspólnie ze strzałką wodną *Sagittaria sagittifolia*.

Rozprzestrzenienie: Gatunek pospolity na nizinach i w niższych położeniach górskich.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Brak danych.

Nazwa polska: **Kalina koralowa**
Nazwa łacińska: *Viburnum opulus* L.
Rodzina: Przewiartniowate *Caprifoliaceae*



Biologia i fenologia

Kwitnie od maja do czerwca.

Rozsiewa się przez zoochorię.

Zimują pąki znajdujące się co najmniej 0,5 m nad ziemią.

Pokrój rośliny: Krzew dorastający do 5 m wysokości, o jasnoszarej korze. Młode gałązki są kanciaste, białawoszare z czerwonym odcieniem i nagie. Duże, nagie pąki są okrywane przez 2 jajowate, czerwobrunatne i zastrzone łuski. **Liście** duże, 3- lub 5-klapowe, od góry nagie i jasnozielone, natomiast od spodu omszone i szarzielone. Posiadają drobne, szczeciniaste przylistki. Brzegi kłap ostre, grubo i nierówno piłkowane. Ogonki liściowe długie i nagie. Pod blaszką liściową na ogonku znajdują się pozakwiatowe miodniki w postaci zielonych brodawek. Jesienią liście przebarwiają się na czerwono. **Kwiaty** barwy białej zebrane są w płaskie baldachogrono osadzone na nagich lub krótko ogruczołonych gałązkach. Podzielone są one na dwa rodzaje: wewnętrzne, które są obupłciowe i posiadają krótko dzwonkową koronę (4–5 mm długości) z bardzo krótką rurką i zewnętrzne, które z kolei są płaskie, płonne, bezpłciowe i znacznie większe od wewnętrznych (do 2 cm średnicy). W obu rodzajach kielich jest 5-dzielnny, a korona 5-łatkowa. W kwiatach wewnętrznych znajduje się 5 pręcików i 1 dolny słupek o krótkiej szyjce i 3 znamionach. **Owoce** jest 1-nasienny, jajowaty pestczak barwy czerwonej.



fol. Matthias Harnisch

fol. Dorota Michalska-Hejduk

Podobieństwo do innych roślin: Brak podobieństwa do innych gatunków.

Ekologia: Kalina koralowa rośnie na glebach średnio zwięzłych, świeżych i wilgotnych o obojętnym odczynie. Jest tolerancyjna jeśli chodzi o nasłonecznienie, jeśli jednak rośnie na glebie suchej i w nasłonecznionym miejscu często jest atakowana przez mszyce. Występuje w wilgotnych lasach i zaroślach oraz nad brzegami rzek i strumieni.

Rozprzestrzenienie: Występuje pospolicie w całej Polsce.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Wchodzi w związki mikoryzowe, można więc sądzić, że dzięki temu efektywniej wychwytuje biogeny.

Nazwa polska: **Kielisznik zaroślowy**
Nazwa łacińska: *Calystegia sepium* (L.) R. Br.
Rodzina: Powojowate Convolvulaceae



Biologia i fenologia

Kwitnie od czerwca do września.

Rozsiewa się przez hydrochorię oraz barochorię.

Zimują pączki znajdujące się tuż przy powierzchni ziemi lub tuż pod nią.

Pokrój rośliny: Bylina o nagiej, wijącej się **lodydze** dorastającej do 3 m długości. Posiada pełzające, gałęziste kłącza. Roślina ulistniona skrętolegle. **Liście** ogonkowe, jajowate, zaostrome na końcu, natomiast u nasady sercowato-strzałkowe. **Kwiaty** bezwonne, 5-krotne wyrastają pojedynczo na długich szypułkach. Dorastają one do długości 4–5 cm. Podkwiatki sercowatojajowate, duże i ostro zakończone, wyrastają tuż u nasady kielicha, okrywając go jak kieliszek. Działki kielicha są jajowate i zaostrome. Korona kwiatowa śnieżnobiała, dzwonkowata i lejkowata. Posiada 5 pręcików i 1 słupek górny. Znamię słupka ma krótkie, jajowate łatki. **Owoce** jest torebka zawierająca czarne nasiona.

fol. Mathias Harnisch



Podobieństwo do innych roślin: Kielisznik zaroślowy podobny jest do powoju polnego *Convolvulus arvensis*, który jednak jest mniejszy od kielisznika, dorasta do 60 cm i w przeciwieństwie do niego posiada liście u nasady oszczepowate. Liście podobne są również do rdestówki zaroślowej *Fallopia dumetorum* i rdestówki powojowatej *Fallopia convolvulus*, jednak u gatunków tych są mniejsze i u nasady mają bardziej łagodny, zaokrąglony kształt. Podczas kwitnienia gatunki te są niemożliwe do pomylenia, gdyż kwiaty rdestówki zebrane są w pozorne grona, natomiast kielisznik posiada pojedyncze, duże, lejkowate kwiaty.

Ekologia: Występuje w szuwarach, nadrzecznych zaroślach i lasach (łęgach).

Rozprzestrzenienie: Gatunek częsty w wielu regionach, zajmujący nowe stanowiska.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Wchodzi w związki mikoryzowe, można więc sądzić, że dzięki temu efektywniej wychwytuje biogeny.

Nazwa polska: **Kosaciec żółty**
Nazwa łacińska: *Iris pseudacorus* L.
Rodzina: Kosaćcowate Iridaceae



Biologia i fenologia

Kwitnie od maja do lipca.

Rozsiewa się przez hydrochorię.

Zimuje w postaci kłączy.

Pokrój rośliny: Roślina posiadająca grube, rozgałęzione kłącza, z których wyrastają rozetki liści i pędy kwiatonośne. **Lodygi** nadziemne tylko kwiatowe, walcowate, długości 60–100 cm. **Liście** mieczowate, lancetowate, równowąskie, szarzielone, szerokości 1–3 cm i długości do 1 m. **Kwiaty** obupłciowe, żółte, długoszypułkowe, 6-członowe. Trzy zewnętrzne człony okwiatu z pomarańczową plamą pośrodku i siateczką czarnych lub purpurowych nerwów, są odgięte i nagle zwężone poniżej połowy w szeroki paznokiec. Trzy wewnętrzne listki okwiatu są równowąskie, wyprostowane, krótsze i węższe od znamion. **Owoce** w formie walcowatej, tępo trójgraniastej torebki długości 4–6 cm i szerokości 1–2 cm zawierają liczne dyskowane pomarańczowe nasiona.

fol. Mathias Harnisch



Podobieństwo do innych roślin: Kosaciec żółty w okresie wegetatywnym może być mylony z tatarakiem ze względu na bardzo podobny kształt liści. Tatarak ma jednak liście żywozielone (kosaciec – szarzielone) i cechuje się bardzo intensywnym, charakterystycznym zapachem.

Ekologia: Kosaciec żółty zasiedla brzegi wód płynących i stojących do 30 cm głębokości. Związany jest z wodami mezotroficznymi i eutroficznymi. Występuje też na lądowych terenach podmokłych, bagnistych łąkach i torfowiskach niskich. Rośnie zwykle pojedynczo lub w niewielkich skupieniach, ale zdarza się że tworzy szuwar kosaćcowy.

Rozprzestrzenienie: Gatunek pospolity na niżu.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Ze względu na zdolność wiązania dużych ilości pierwiastków biogenych (azotu i fosforu) jest zalecany do kształtowania stref ekotonowych.

Nazwa polska: **Krwawnica pospolita**
Nazwa łacińska: *Lythrum salicaria* L.
Rodzina: Krwawnicowate *Lythraceae*



Biologia i fenologia

Kwitnie od lipca do września.

Rozsiewa się przez wiatr.

Zimuje w postaci części podziemnych oraz pączków znajdujących się tuż nad powierzchnią ziemi i ukrytych w czasie mrozów pod zeschniętymi częściami roślin.

Pokrój rośliny: Bylina dorastająca do 50–100 cm wysokości, wzniesiona. **Lodyga** czterokanciasta, zazwyczaj pojedyncza lub z nielicznymi krótkimi odgałęzieniami, wyprostowana, owłosiona. Na każdym odgałęzieniu wyrasta wysoki smukły kwiatostan. **Liście** na krzyż naprzeciwległe lub niekiedy po trzy w okółku, siedzące, lancetowate o sercowatej lub zaokrąglonej nasadzie; zwykle owłosione. **Kwiaty** różowofioletowe, w okółkach, zebrane są w szczytowe kłosy. Płatki korony podługowate, długości 5–15 mm. Działki zewnętrzne dwa razy dłuższe od wewnętrznych. **Owoce** jest dwukomorowa, nierówno pękająca torebka zawierająca liczne drobne nasiona.

fol. Mathias Harnisch



Podobieństwo do innych roślin: Ze względu na czterokanciastą lodygę, występujące owłosienie oraz na krzyż naprzeciwległe ułożone liście krwawnica pospolita może być pomyłona z czyścцем błotnym *Stachys palustris* lub tarczycą pospolitą *Scutellaria galericulata*.

Ekologia: Rośnie nad brzegami wód płynących i stojących. Gatunek ten często spotykany jest w strefie szuwarowej. Występuje również na mokrych łąkach oraz współtworzy zbiorowiska ziołoroślowe.

Rozprzestrzenienie: Gatunek pospolity na obszarze całego kraju z wyjątkiem wyższych położeń górskich. W Ameryce Północnej uznany za inwazyjny.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Brak danych o efektywności wychwytywania biogenów, jednak ze względu na efektowne kwiaty, a także fakt, że znosi długo-trwałe zalanie wytwarzając specjalny miękisz powietrzny (pseudoaerenchymę) polecany jest do nasadzeń w strefach ekotonowych w celu podniesienia ich walorów estetycznych oraz ze względu na zwiększenie różnorodności biologicznej – również owadów (zapylaczy).

Nazwa polska: **Łączęń baldaszkowaty**
Nazwa łacińska: *Butomus umbellatus* L.
Rodzina: Łączniowate *Butomaceae*



Biologia i fenologia

Kwitnie od czerwca do sierpnia.

Rozsiewa się przez hydrochorię, jednak krótko może pływać po powierzchni wody.

Zimuje w postaci kłączy.

Pokrój rośliny: Roślina o grubym (do 3 cm szerokości) kłączu, z którego wyrasta rozeta liści i **lodyga** kwiatowa – bezlistna, walcowata, wysokości 50–150 cm. **Liście** liczne, równowąskie, długości do 1 m, szerokości 1–2 cm, sztywne, trójgraniaste u nasady, a na szczycie spłaszczone i zaostrome. Przy rozciąganiu liścia i rozerwaniu miękiszu unerwienie nie ulega przerwaniu. W ten sposób można rozciągnąć dwa kawałki liścia na kilka cm, a mocne włókna wiązek przewodzących pozostaną nierozzerwane. **Kwiaty** biało-różowe, pośrodku fioletowo nabiegle. Kwiatostanem jest pozorny baldach składający się z 15–50 kwiatów objętych okółkową, trójlistkową, błoniastą pochwą. **Owocem** jest mieszek z drobnymi, lekkimi nasionami.



fol. Dorota Michalska-Hejduk
fol. Mathias Harnisch

Podobieństwo do innych roślin: W fazie kwitnienia charakterystyczny wygląd pozwala na pewną identyfikację tego gatunku. We wczesnym stadium rozwoju wegetatywnego pokrój rośliny jest niepozorny; identyfikację można oprzeć na liściach, które u nasady, w przekroju, tworzą trójkąt zbliżony do równobocznego.

Ekologia: Zasadza brzegi rzek i zbiorników najczęściej do głębokości 0,5 m. Związany jest z wodami bogatymi w składniki pokarmowe, o podłożu o znacznej zawartości związków wapnia. Najczęściej tworzy luźne skupienia o mniejszym lub większym areale, a rzadziej większe powierzchniowo łany. Rzadko występuje pojedynczo.

Rozprzestrzenienie: Dość pospolity na niżu w całej Polsce.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Brak danych o efektywności wychwytywania biogenów, jednak ze względu na efektowne okazałe kwiatostany, polecany do nasadzeń w strefach ekotonowych w celu podniesienia ich walorów estetycznych oraz ze względu na podnoszenie różnorodności biologicznej owadów (zapylaczy).

Nazwa polska: **Manna mielec**
Nazwa łacińska: *Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb.
Rodzina: Wiechlinowate (trawy) *Poaceae*



Biologia i fenologia

Kwitnie od czerwca do sierpnia.

Rozsiewa się przez wiatr i, rzadziej, dzięki ptakom wodnym.

Zimuje w postaci kłaczy.

Pokrój rośliny: Pędy nadziemne są okazałe, wyprostowane, sztywne, dobrze ulistnione, dorastające do wysokości 1–2,4 m. Roślina wytwarza silne, żółtobrunatne rozłogi pływające (lub podziemne w miejscach wynurzonych) o sznurowatym pokroju, puste w środku. **Lodyga** w formie źdźbła, prosta i gruba, o średnicy 0,5–1,0 cm, rynienkowato prążkowana. **Liście** w pęczku są złożone. Blaszki liściowe mają szerokość 10–25 mm, są żółtozielone, połyskujące, sztywne, po stronie górnej niewyraźnie bruzdkowane, łódeczkowato zakończone, na brzegach szorstkie. U nasady liścia języczek, średniej długości (ok. 3 mm), z małym szpicem na szczycie. Pochwy liściowe są za młodu zamknięte, gładkie, nagie, u dołu czerwonawo nabiegłe, z widocznymi komorami powietrznymi. **Kwiatostanem** jest okazała, wszechstronnie rozpięchła wiecha, długości 20–40 cm, z licznymi kłoskami. **Owoc** to oplewiony ziarniak długości ok. 3,5 mm.



fot. Dorota Michalska-Hejduk

Podobieństwo do innych roślin: Roślina jest podobna do innych traw wodnych, w szczególności do manny jadalnej *Glyceria fluitans*, od której jest jednak bardziej masywna, wyższa i sztywno wyprostowana. Odróżniając mannę mielec od innych traw wodnych należy zwrócić na spłaszczenie źdźbła i złożone w pęczku liście.

Ekologia: Występuje najczęściej nad brzegami wód – zarówno stojących, jak i płynących. Rozwija się też w rowach, dołach potorfowych, na torfowiskach niskich i mokrych łąkach. Na stanowiskach silnie kwaśnych i źle natlenionych rozwija się słabo, łatwo ustępując innym gatunkom. Często tworzy duże jednogatunkowe skupienia. Źle znosi falowanie. Może występować w wodach lekko zasolonych (do 2‰).

Rozprzestrzenienie: Gatunek bardzo pospolity na niżu, rzadszy na pogórzu i w niższych położeniach górskich.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Dobrze znosi zanieczyszczenie ściekami komunalnymi. Efektywnie wychwytuje azot i fosfor. Swoją efektywność zawdzięcza między innymi mikoryzie. Jest stosowana w hydrobotanicznych oczyszczalniach ścieków.

Nazwa polska: **Mozga trzcinowata**
Nazwa łacińska: *Phalaris arundinacea* L.
Rodzina: Wiechlinowate (trawy) Poaceae



Biologia i fenologia

Kwitnie od czerwca do lipca.

Rozsiewa się przez wiatr (anemochoria), wodę (hydrochoria) i zwierzęta (zoochoria) – przede wszystkim ptactwo wodne.

Zimuje w postaci kłączy.

Pokrój rośliny: Bylina posiadająca okazałe pędy nadziemne, sztywne, dobrze ulistnione, dorastające do wysokości 1–3 m. Wytwarza silne i mocno rozgałęzione rozłogi podziemne koloru czerwonego, dorastające do kilku metrów. **Lodyga** sztywna, wyprostowana lub nieco łukowato wygięta w dole. **Liście** w pęczku są zwinięte. U nasady blaszki liściowej wyraźny jęczyzek o długości 4–8 mm. Pochwy liściowe otwarte, gładkie, nagie, u dołu czerwonawo nabiegłe, z widocznymi komorami powietrznymi. Blaszki liściowe długości 8–35 cm i szerokości 5–20 mm są sinozielone i matowe z błyszczącym kilem, zwykle w kierunku podstawy szorstkie, a od nasady stopniowo zwężające się. **Kwiatostanem** jest okazała jasnozielona lub czerwonawa wiecha długości 10–20 cm, zakończona licznymi drobnymi kłoskami, zwykle skupionymi w charakterystyczne pęczki (rozpierzchła tylko w szczycie kwitnienia). **Owoce** jest drobny oplewiony ziarniak (długości 2–4 mm), o szeroko-jajowatym kształcie, z boku spłaszczony.



foto: Dominik Kopeć

Podobieństwo do innych roślin: Dość podobna do innych traw występujących nad brzegami wód, szczególnie do trzciny pospolitej *Phragmites australis*. Cecha, która pozwala na niezawodne rozróżnienie tych dwóch gatunków to jęczyzek, który u mozgi jest wydatnie wykształcony. Trzcina u nasady blaszki liściowej nie posiada jęczyzka, a w tym miejscu wykształcony jest wieniec srebrzystych włosków.

Ekologia: Występuje w płytkich partiach wód (do kilkudziesięciu centymetrów głębokości) zarówno płynących, jak i stojących. Na wynurzonych częściach brzegu często tworzy jednogatunkowe łany. Jest gatunkiem tolerancyjnym w stosunku do trofii, toteż spotyka się go zarówno w siedliskach eutroficznym, jak i na stanowiskach mniej zasobnych w biogeny. Znosi nawet długie przesuszenie.

Rozprzestrzenienie: Gatunek należy do najpospolitszych traw, zarówno na niżu, jak i w niższych położeniach górskich.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Jeden z najbardziej efektywnie wychwytyjących biogeny gatunków. Swoją wysoką efektywność zawdzięcza m.in. mikoryzie (symbiozie z grzybami, których grzybnia jest w stanie pobierać wodę ze znacznie większego obszaru niż zasięg korzeni rośliny z którą współżyją). Bardzo dobrze utrwala brzegi i chroni je przed erozją.

Nazwa polska: **Olsza czarna**
Nazwa łacińska: *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.
Rodzina: Brzozowate *Betulaceae*



Biologia i fenologia

Kwitnie od marca do kwietnia.

Rozsiewa się przez hydrochorię i anemochorię.

Zimują pąki znajdujące się co najmniej 0,5 m nad ziemią.

Pokrój rośliny: Drzewo dorastające do 30 m. Charakterystyczną cechą jest wyraźnie wykształcony pień, strzelisty, widoczny do samego wierzchołka. Korona luźna, wydłużona, o poziomo odstających gałęziach. Kora zmienia się z wiekiem, na początku ciemnoszara i gładka, z czasem czernieje i pęka. Młode pączki, liście i gałązki pokryte są lepka substancją. Pąki okryte 2–3 łuskami i osadzone na trzonkach. **Liście** owalne o charakterystycznym wcięciu na czubku, u nasady klinowate. Z wierzchu są błyszczące, od spodu zaś matowe z kępkami jasnożółtych włosków w kątach nerwów. Błyszcząca blaszka liściowa podwójnie ząbkowana. Ogonki liściowe zwykle nagie. Olsza czarna należy do drzew jednopiennych, ale posiada rozdzielнопłciowe **kwiaty**, które są bardzo drobne, zebrane w kotki i rozwijają się przed liśćmi. Kwiatostan żeński jest owalny lub kulisty, umieszczony na długich szypułkach (po 3–5 na jednej) i dorasta do 2 cm długości. Kwiatostan męski jest długi i walcowaty. Męskie kwiaty po przekwitnięciu odpadają, natomiast żeńskie przekształcają się w szyszkopodobne, zdrewniałe owocostany o długości od 1 do 1,5 cm. **Owocem** są mikroskopijne, płaskie orzeszki barwy brunatnej, częściowo posiadające przezroczyste skrzydełka. Dojrzewają we wrześniu i październiku, natomiast rozsiewają się zimą, w styczniu i lutym.



fol. Cezary Werpachowski

Podobieństwo do innych roślin: Olsza czarna podobna jest do olszy szarej *Alnus incana*, której liście posiadają jednak zaostrome czubki.

Ekologia: Preferuje stanowiska półcieniste, przeciętnie ciepłe, na ciężkim, gliniastym podłożu. Gatunek silnie związany z wodą i mokrymi siedliskami, preferujący żyzne gleby o obojętnym odczynie, jednakże mogący rosnąć na glebach słabych. Porasta brzozy strumieni, rzek oraz jezior; występuje w podmokłych obniżeniach terenu i torfowiskach niskich. Młode osobniki znoszą cień, z wiekiem stają się światłolubne. Tworzy łągi jesionowo-olszowe.

Rozprzestrzenienie: Roślina pospolita na całym niżu, natomiast rzadka w reglu dolnym Karpat i Sudetów.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Wchodzi w związki mikoryzowe, dzięki czemu efektywniej wychwytuje biogeny.

Nazwa polska: **Osoka aloesowata**
Nazwa łacińska: *Stratiotes aloides* L.
Rodzina: Żabiściekowate *Hydrocharitaceae*

Biologia i fenologia

Kwitnie od maja do sierpnia.

Roślina dwupienna. Czasem na dużych obszarach występują rośliny jednej płci, zatem roślina rozmnaża się najczęściej wegetatywnie.

Rozsiewa się przez hydrochorię.

Zimuje w postaci szczytu pędu pozbawionego korzeni, który opada na dno. W kątach liści zimują też pączki zimowe.

Pokrój rośliny: Okazała bylina wytwarzająca krótkie, bulwiaste kłącze i wyrastające z niego rozetki kolczastych liści. Od dołu wyrastają długie korzenie, które mogą zakotwiczać roślinę w podłożu. Z kątów liści wyrastają długie rozłogi z tworzącymi się na końcach nowymi roślinami. Rozety liści występują na różnej głębokości, część może rosnąć na dnie, część pływać pod wodą, ale na ogół wynurzają się w mniejszym lub większym stopniu. **Liście** są sztywne, ciemnozielone, siedzące, równowąsko trójkanciaste, o brzegach z haczykowatymi kolcami i ostrymi kolczastymi zakończeniach. **Liście** podwodne są półprzezroczyste i delikatniejsze od wynurzonych. Mają długość 15–50 cm i szerokość 0,5–4 cm. Wewnątrz liści występują kanały powietrzne, dzięki czemu roślina może pływać. **Kwiaty** rozdzielnopłciowe (roślina dwupienna), wynurzone. Mają one 3 zielone działki kielicha (do 1,5 cm długości i 1 cm szerokości) oraz 3 duże płatki (średnicy 2–3 cm), kolistoodwrotnie jajowate, białe. Kwiatostany osadzone są na szypułkach długości do 30 cm. Owocem jest zielona, jajowata, sześcioboczna torebka o długości 3–4 cm i grubości 2 cm.



foto: Dorota Michalska-Hejduk

Podobieństwo do innych roślin: Ma charakterystyczny wygląd przypominający aloes. Nie wykazuje podobieństwa do rodzimych roślin.

Ekologia: Osoka aloesowata jest związana głównie z żyznymi wodami stojącymi o głębokości do 1 m i odczynie pH 6–8,5. Optimum rozwoju osiąga w zbiornikach o zaawansowanych procesach zarastania, silnie wypłyconych, o dnie pokrytym grubą warstwą rozwodnionych osadów organicznych. Bierze znaczny udział w wypłyconiu zbiorników wodnych.

Rozprzestrzenienie: Pospolicie w całej Polsce z wyjątkiem wyższych partii gór. Na dużych obszarach tworzy większe skupiska, ale w niektórych regionach jest rzadka.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Brak danych.

Nazwa polska: **Pałka szerokolistna**
Nazwa łacińska: *Typha latifolia* L.
Rodzina: Pałkowate Typhaceae



Biologia i fenologia

Kwitnie od czerwca do sierpnia.

Rozsiewa się za pomocą wiatru, rzadziej przez wodę.

Zimuje w postaci kłączy.

Pokrój rośliny: Wysoka bylina osiągająca ponad 2 m wysokości, o grubym, pełzającym kłączu. **Lodyga** prosta i obła. **Liście** szerokie (1–2 cm) barwy sinozielonej, w przekroju półksiężycowate (zwłaszcza u nasady), równowąskie i bardzo długie. Roślina rozdzielnotłciowa, jednopienna. **Kwiaty** męskie i żeńskie zebrane są w rozdzielnotłciowe kolby. Cienkie i luźne kolby męskie rozwijają się na szczycie łodygi, natomiast żeńskie osadzone są niżej i mają formę zbitego walca, grubości 2,5 cm i długości 30 cm. Kolba żeńska przylega do męskiej. **Owocami** są orzeszki z pęczkiem włosków służących do rozsiewania za pomocą wiatru.



foto: Dorota Michalska-Hejduk

Podobieństwo do innych roślin: Roślina podobna do pałki wąskolistnej *Typha angustifolia*, od której różni się wyglądem kwiatostanu. U pałki szerokolistnej kolba żeńska przylega do męskiej, podczas gdy u pałki wąskolistnej pomiędzy męską i żeńską kolbą znajduje się przerwa szerokości 3–5 cm. Gatunki te różnią się także szerokością liści – u pałki wąskolistnej nie przekracza ona 1 cm, podczas gdy u pałki szerokolistnej wynosi do 2 cm.

Ekologia: Pałka szerokolistna rośnie najczęściej przy brzegach zbiorników wodnych do głębokości 2 m. Rozwija się także nad wolno płynącymi rzekami, torfowiskami i w innych silnie podmokłych miejscach. Rozwija się w wodach eutroficznych, na podłożu mulistym pochodzenia organogenicznego. Czasami występuje obficie tworząc zwarte jednogatunkowe szuwary.

Rozprzestrzenienie: Gatunek pospolity na całym niżu. Rzadki w niższych położeniach górskich.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Bardzo efektywnie wychwytuje związki azotowe, nieco słabiej fosfor. Swoją efektywność zawdzięcza między innymi mikoryzie. Jest stosowana w hydrobotanicznych oczyszczalniach ścieków.

Nazwa polska: **Pałka wąskolistna**
Nazwa łacińska: *Typha angustifolia* L.
Rodzina: Pałkowate Typhaceae



Biologia i fenologia

Kwitnie od czerwca do sierpnia.

Rozsiewa się za pomocą wiatru.

Zimuje w postaci kłączy.

Pokrój rośliny: Wysoka bylina, osiągająca do 2,5 m wysokości, o czołgającym kłączu. **Łodyga** prosta i obła. **Liście** równowąskie, szerokości 3–10 mm, bardzo długie (przerastają kwiatostan), barwy sinozielonej. W przekroju są półksiężycowate, zwłaszcza u nasady. Roślina rozdzielnopłciowa, jednopienna. **Kwiaty** męskie i żeńskie zebrane są w rozdzielnopłciowe kolby. Cienkie i luźne kolby męskie rozwijają się na szczycie łodygi, podczas gdy żeńskie osadzone są niżej i mają formę brązowego, zbitego walca, grubości 1,5 cm i długości 10–35 cm. Kolba żeńska oddalona jest od męskiej o 3–5 cm. **Owocami** są orzeszki z pęczkiem włosków służących do rozsiewania za pomocą wiatru.



foto: Dominik Kopeć

Podobieństwo do innych roślin: Podobna do pałki szerokolistnej *Typha latifolia*, od której różni się wyglądem kwiatostanu. U pałki szerokolistnej kolba kwiatostanowa żeńska przylega do męskiej, podczas gdy u pałki wąskolistnej pomiędzy męską i żeńską kolbą znajduje się przerwa szerokości 3–5 cm. Gatunki te różnią się także szerokością liści – u pałki wąskolistnej nie przekracza ona 1 cm, podczas gdy u pałki szerokolistnej wynosi do 2 cm.

Ekologia: Pałka wąskolistna rośnie nad wodami z podłożem gliniastym lub piaszczystym, przede wszystkim stojącymi. W ciekach występuje rzadko, jedynie wzdłuż bardzo wolno płynących rowów i rzek. Znosi znaczne wahania wód. Rozwija się w wodach mezo- i eutroficznych. Czasami występuje obficie tworząc zwarte jednogatunkowe szuwary.

Rozprzestrzenienie: Pospolita w całym kraju, na niżu i w niższych położeniach górskich.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Efektywnie wychwytuje związki azotowe, nieco słabiej fosfor. Swoją efektywność zawdzięcza między innymi mikoryzie.

Nazwa polska: **Pokrzywa zwyczajna**
Nazwa łacińska: *Urtica dioica* L.
Rodzina: Pokrzywowate *Urticaceae*



Biologia i fenologia

Kwitnie od czerwca do sierpnia.

Rozsiewa się przez anemochorię lub zoochorię.

Zimują pączki znajdujące się tuż przy powierzchni ziemi lub tuż pod nią.

Pokrój rośliny: Bylina dorastająca nawet do 2 m. Posiada podziemne rozłogi dorastające do 35–45 cm długości. **Lodyga** czterokanciasta, zwykle sztywna, wzniesiona i nierozgałęziona. **Liście** naprzeciwległe, sercowate, zastrzone na końcu. Ogonki liściowe długie, jednakże krótsze od blaszki liściowej, która jest grubo piłkowana. Zarówno liście, jak i lodyga pokryte są parzącymi włoskami. **Kwiaty** zielone, rozdzielnopłciowe, zebrane w kwiatostany wyrastające u nasady górnych liści. Kwiaty słupkowe mają czterodzielny, zrosły okwiat i górny słupek. Kwiaty pręcikowe również posiadają 4-dzielny okwiat oraz 4 pręciki. Kłosa kwiatostanowe są dłuższe od ogonków liściowych. Kwiatostany żeńskie po zapyleniu zwisają, natomiast kwiatostany męskie są wzniesione. **Owoce** jest jajowaty orzeszek.



foto: Dominik Kopeć

Podobieństwo do innych roślin: Pokrzywa zwyczajna podobna jest do drugiego gatunku pokrzywy – żegawki *Urtica urens*, która jednak jest niższa, posiada najczęściej rozgałęzioną lodygę i mniejsze liście. Zauważa się również podobieństwo do roślin z rodziny wargowych (jasnotowatych) *Lamiaceae*, na przykład jasnoty białej *Lamium album*, którą nazywa się czasem zwyczajowo „głuchą pokrzywą”. Od pokrzyw gatunki z rodzaju jasnota różnią się brakiem włosków parzących oraz wargowymi białymi lub purpurowymi kwiatami.

Ekologia: Pokrzywa zajmuje siedliska o dużej zawartości azotu i fosforu w glebie, oraz bogate w próchnicę. Rośnie zarówno na terenach mniej przekształconych przez człowieka, takich jak lasy (głównie ich obrzeża i śródleśne polany) czy zarośla, jak i na terenach antropogenicznych, ruderalnych, takich jak pobocza dróg, nieużytki, przy płotach, pod ścianami budynków czy na wysypiskach śmieci.

Rozprzestrzenienie: roślina pospolita w całej Polsce, znaleźć ją można zarówno na nizinach, jak i w górach.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Spośród roślin lądowych jest jednym z gatunków efektywniej kumulujących azot i fosfor. Wchodzi w związki mikoryzowe, co przyczynia się do zwiększenia obszaru, z którego pobiera wodę.

Nazwa polska: **Psianka słodkogórz**
Nazwa łacińska: *Solanum dulcamara* L.
Rodzina: Psiankowate *Solanaceae*



Biologia i fenologia

Kwitnie od czerwca do sierpnia.

Rozsiewa się przez endozoochorię (dla niektórych ptaków nie jest trująca).

Zimuje w postaci części podziemnych oraz pączków znajdujących się tuż nad powierzchnią ziemi i ukrytych w czasie mrozów pod zeschniętymi częściami roślin.

Pokrój rośliny: Półkrzew rozestany bądź pnący się, dorastający do długości 30–180 cm. Kłace płozące się, rozgałęzione. **Lodyga** u nasady drewniejąca, pokładająca się lub wzniesiona, pnąca, naga lub przylegającoowłosiona, kanciasta. **Liście** zaopatrzone w ogonek, jajowate do podługowatojajowatych, nagie; często u nasady występuje 1 bądź 2 dodatkowe łatki (wtedy liście 3-klapowe). **Kwiaty** umieszczone są na szypułkach i zebrane w zwieszające się, co najmniej 10-kwiatowe wierzchołki. Korona fioletowa, zaopatrzona w 5 płatków odchylonych do tyłu. Pylniki intensywnie żółte, zrosnięte w stożkową rurkę. **Owocem** jest owalna czerwona jagoda o błyszczącej powierzchni, wielkości około 1 cm. Roślina silnie trująca.

fol. Dorota Michalska-Hejduk

fol. Cezary Werpachowski



Podobieństwo do innych roślin: Z powodu charakterystycznego wyglądu nie wykazuje podobieństwa do innych roślin.

Ekologia: Występuje na podmokłych łąkach, bagnach, brzegach wód, w cienistych nadwodnych zaroślach i lasach (olsach i łęgach). Jest gatunkiem współtworzącym tak zwane zbiorowiska welonowe, chronione Dyrektywą Siedliskową.

Rozprzestrzenienie: Gatunek pospolity na całym obszarze kraju.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Brak danych o efektywności wychwytywania biogenów, jednak ze względu na jej obecność w naturalnych zbiorowiskach ekotopowych (tak zwanych welonowych) zalecana do nasadzeń w strefach buforowych.

Nazwa polska: **Rdest ziemnowodny**
Nazwa łacińska: *Polygonum amphibium* L.
Rodzina: Rdestowate *Polygonaceae*



Biologia i fenologia

Kwitnie od czerwca do sierpnia
(forma lądowa od lipca do września).

Rozsiewa się przez hydrochorię, a u formy lądowej również przez zoochorię.

Zimuje w postaci kłączy.

Pokrój rośliny: Bylina wodna lub lądowa. W wodzie unosi się za pomocą pływających po powierzchni liści, jest zakorzeniona w podłożu. Wytwarza długie, płozące się kłącze. **Lodyga** dęta, naga, często rozgałęziona, wiotka, osiągająca 2–3 m długości, podzielona na kilka członów o długości ok. 20 cm. **Liście** ułożone skrętolegle, podługowato-jajowate, długości ok. 15 cm, są 3–5 razy dłuższe niż na ogonkach długości 2–6 cm. Nasada liścia zaokrąglona lub sercowata. Powierzchnia skórzasta, na górnej stronie z tarczowatymi gruczołami, krótko orzęsiona na brzegach. Wszystkie liście posiadają gatkę (zrosnięte przylistki) obejmującą lodygę. **Kwiaty** jedno- lub obupłciowe, wynurzone, różowe lub białoróżowe, zebrane w gęsty kłos, długości 2–4 cm. **Owoce** to drobne (2–3,5 mm), brunatnoczarne orzeszki o soczewkowatym kształcie i obustronną wypukłością.



foto: Matthias Hamisch

Podobieństwo do innych roślin: Gatunek podobny do rdestnicy pływającej *Potamogeton natans* i rdestnicy nawodnej *Potamogeton nodosus* – wytwarza dość podobne liście pływające, ale unerwienie tych roślin jest równoległe. Liście rdestu ziemnowodnego mają natomiast unerwienie pierzaste.

Ekologia: Cechuje się dużą plastycznością ekologiczną – występuje w bardzo różnych siedliskach, od wodnych do lądowych. Zasadza głównie eutroficzne akweny wód stojących i wolno płynących, o podłożu piaszczystym, piaszczysto-mulistym oraz gliniastym. Spotykany do głębokości 3 m. Zwykle tworzy jednogatunkowe fitocenozy, ale często występuje w zbiorowisku z grzybieniem białymi. W wodzie tworzy długie wiotkie pędy (forma natans), natomiast na lądzie sztywne wzniesione pędy (forma terrestris). Dzięki swojej plastyczności współtworzy zarówno zbiorowiska roślinności wodnej, jak i szuwarowej. Może wchodzić nawet w skład zbiorowisk towarzyszących uprawom na wilgotnych glebach, gdzie czasem stanowi uciążliwy chwast.

Rozprzestrzenienie: W całej Polsce gatunek pospolity.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Formy pływające jako makrofity rosnące w płytkich wodach należą do roślin o wysokiej produktywności i szybkości wzrostu. Rdest ziemnowodny jest uprawiany jako roślina ozdobna nadająca się na obsadzania oczek wodnych oraz ich brzegów. Ze względu na ekspansywność formy lądowej roślina zalecana jest do utrzymywania w uprawie w postaci wodnej (zakorzenionej w dnie).

Nazwa polska: **Rdestnica pływająca**
Nazwa łacińska: *Potamogeton natans* L.
Rodzina: Rdestnicowate *Potamogetonaceae*



Biologia i fenologia

Kwitnie od czerwca do sierpnia.

Rozsiewa się przez hydrochorię, owoce mogą pływać nawet ponad miesiąc.

Zimuje w postaci kłaczy wraz z pędami pokrytymi liśćmi.

Pokrój rośliny: Roślina zielna, zanurzona w wodzie. Tworzy długie pędy dorastające do 5 m. **Lodygi** – zarówno podziemne (kłacza) jak i pływające – są obłe. Liście w optymalnych warunkach są wytwarzane w 2 rodzajach: pływających i całkowicie zanurzonych. Najniższe liście podwodne to równowąskie, bezblaszkowe liściaki, płaskie z jednej strony i wypukłe z drugiej, na szczycie tępe lub zaokrąglone. Całobrzegie, ciemnozielone, nieprzezroczyste, siedzące. Ich rozmiary wynoszą do 45, rzadko do 61 cm długości i do 3,5 mm szerokości. W wodach stojących liściaki zanikają wczesnie, natomiast w rzekach o szybszym nurcie utrzymują się przez cały sezon wegetacyjny. **Liście** najwyższe są pływające, skórzaste, z 8–12 (rzadko 16) równoległymi nerwami po każdej stronie nerwu środkowego. Ich kształt jest różny – od podługowatych do szeroko jajowatych (w wodzie płynącej bardziej wydłużone). U nasady są klinowate, zaokrąglone lub nieznacznie sercowate, mają do 10, rzadziej 14 cm długości i do 4,5–8 cm szerokości. Młode liście są barwy różowobrazowej, a dojrzałe – od żółtozielonej do brunatnooliwkowej. Ogonki liściowe mają do 15, rzadziej do 30 cm długości. Ich górna część (2–3 cm od nasady blaszki) jest wiotka, co umożliwia odpowiednie ustawienie liści podczas falowania. **Kwiaty** są zielonkawe, obupciowe, z 4 słupkami, zebrane w wystające ponad wodę walcowate kłosa długości do 6 cm. **Owoce** to spłaszczone orzeszki długości do 4,8 mm i szerokości do 3,5 mm, opatrzone tępym skrzydełkiem i krótkim dzióbkiem. Posiadają silnie rozwiniętą tkankę powietrzną, dzięki której mogą pływać.



fol. Cezary Werpachowski

Podobieństwo do innych roślin: Podobna do rdestnicy nadwodnej *Potamogeton nodosus* i do rdestu ziemnowodnego w formie pływającej *Polygonum amphibium f. natans*. Od rdestu różni się barwą kwiatów (u rdestu różowe) i unerwieniem liści (u rdestu ziemnowodnego nerwacja liści pływających jest pierzasta).

Ekologia: Rdestnica pływająca występuje w wodach stojących i wolno płynących, jednak zwykle kolonizuje miejsca spokojne, oddalone od głównego nurtu. Jest to jedna z najbardziej tolerancyjnych rdestnic. Posiada szeroką amplitudę ekologiczną w stosunku do żyzności wody. Spotykana jest do głębokości 3 m. Dobrze znosi wahania poziomu wody, a nawet dość długie wynurzenie. Porasta zarówno podłoża mineralne jak i organiczne, choć te pierwsze rzadziej.

Rozprzestrzenienie: Występuje pospolicie w całej Polsce z wyjątkiem wyższych partii gór.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Brak danych.

Nazwa polska: **Sadziec konopiasty**
Nazwa łacińska: *Eupatorium cannabinum* L.
Rodzina: Złożone Asteraceae



Biologia i fenologia

Kwitnie od lipca do września.

Rozsiewa się przez anemochorię.

Zimują pączki znajdujące się tuż przy powierzchni ziemi lub tuż pod nią.

Pokrój rośliny: Bylina dorastająca do 1,5 m wysokości, krótko owłosiona, posiadająca kłaczce. **Lodyga** nadziemna pojedyncza lub rozgałęziona, prosta. **Liście** naprzeciwległe, krótkoogonkowe, 3-dzielne z ostrymi i lancetowatymi odcinkami. Błaszka liściowa grubo piłkowana, z licznymi gruczołami od spodu. **Kwiatostanem** jest baldachogrono składające się z licznych, drobnych, szypułkowych i walcowatych koszyczków. Na koszyczkach znajduje się niewielka liczba dachówkowatych listków okrywy ułożonych w 2 rzędach, przy czym zewnętrzne są krótsze od wewnętrznych. Kwiaty nieliczne, wyłącznie rurkowate, promieniste. Korona rurkowolejkowata, 5-ząbkowa barwy brudnoróżowej, rzadko białej. Wewnątrz korony 5 pręcików i 1 dolny słupek. Włoski puchu kielichowego ustawione w 1 szeregu, ząbkowane. Są one dłuższe od **owocu**, którym jest niełupka, mniej lub bardziej klinowata, bez wyraźnego dzióbka.



foto: Dominik Kopeć

Podobieństwo do innych roślin: Liście podobne do konopi siewnej *Cannabis sativa*, jednakże u sadzca są one 3-dzielne, natomiast u konopi od 3- do 7-dzielne.

Ekologia: Preferuje stanowiska półcieniste lub znajdujące się w umiarkowanym słońcu; umiarkowanie chłodne lub przeciętnie ciepłe. Rośnie na glebie wilgotnej, średnio żyznej, żyznej lub bardzo żyznej o odczynie obojętnym lub zasadowym. Porasta skraje wilgotnych lasów i zarośli, mokre łąki, zrzęby i rowy oraz brzegi wód.

Rozprzestrzenienie: Pospolity na niżu, a w górach sięga po regiel dolny.

Ektywność w wychwytywaniu biogenów: Brak danych.

Nazwa polska: **Strzałka wodna**
Nazwa łacińska: *Sagittaria sagittifolia* L.
Rodzina: Żabieńcowate *Alismataceae*

Biologia i fenologia

Kwitnie od czerwca do sierpnia.

Rozsiewa się przez hydrochorię lub epizoochorię (na piórach ptactwa wodnego), a obecność skrzydełkowatego wyrostka powoduje, że może również rozsiewać się anemochorycznie (przez wiatr).

Zimuje w postaci kłączy.

Pokrój rośliny: Bylina wysokości od 30 do 100 cm, zakorzeniona w podłożu i częściowo zanurzona w wodzie. Wytwarza krótkie kłącze, z którego wyrastają rozłogi mające na końcu bulwkowate zgrubienia. **Lodyga** kwiatostanowa trójkanciasta, gładka. **Liście** w różyczce o silnie zaznaczonej heterofilii. Posiada trzy rodzaje blaszek liściowych. Liście podwodne tworzą długie (do 2 m), wiotkie wstęgi szerokości 0,4–2 cm. Liście pływające po powierzchni wody usadowione są na ogonkach, a ich blaszki są znacznie sztywniejsze od podwodnych wstęg i mają kształt jajowaty lub nieco strzałkowaty. Trzeci rodzaj liści wyrasta na długich ogonkach nad powierzchnię wody i charakteryzuje się sztywnymi, połyskującymi blaszkami liściowymi o kształcie trójkątnie strzałkowatym. Roślina rozdzielnopłciowa, jednopienna. **Kwiaty** białe, u nasady ciemnofioletowe, umieszczone po 3 w okółkach, ułożonych piętrowo nad sobą. Płatki korony długości 10–15 mm i szerokości 15–20 mm. Dolne okółki (jeden lub dwa) to kwiaty żeńskie. Pozostałe to kwiaty męskie. **Owocem** są orzeszki zebrane w owoc zbiorowy w formie kolczastej kuli o średnicy często przekraczającej 2 cm.



foto: Matthias Harnisch

Podobieństwo do innych roślin: W pełni rozwoju nie wykazuje podobieństwa do innych roślin. W młodym stadium jest podobna do żabieńca babki wodnej *Alisma plantago-aquatica*, jednak pojawiające się liście pływające i wynurzone, których blaszki liściowe mają strzałkowaty kształt, wykluczają możliwość pomyłki.

Ekologia: Najczęściej zasiedla eutroficzne cieką, niekiedy o szybkim przepływie; także brzegi wód stojących. Optymalna dla jej rozwoju jest głębokość 15–30 cm, ale plastycznie może się dostosować do zmiany poziomu wody. Rozwija się często pojedynczo lub w luźnych łanach. Dość powszechnie tworzy zbiorowiska wspólnie z jeżogłówką pojedynczą *Sparganium emersum*.

Rozprzestrzenienie: Gatunek pospolity w całej Polsce niżowej.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Brak danych o efektywności wychwytywania biogenów, jednak ze względu na ciekawe w pokroju liście i efektowne kwiaty, a także fakt, że zasiedla wody eutroficzne, polecany jest do nasadzeń w strefach ekotonowych w celu podniesienia ich walorów estetycznych oraz ze względu na zwiększenie różnorodności biologicznej – również owadów (zapylaczy).

Nazwa polska: **Tatarak zwyczajny**
Nazwa łacińska: *Acorus calamus* L.
Rodzina: Obrazkowate Araceae
(obecnie wyodrębniona rodzina
Tatarakowate Acoraceae)



Biologia i fenologia

Kwitnie od czerwca do lipca.

Nie rozsiewa się w naszej strefie klimatycznej gdyż nie tworzy owoców – rozmnaża się tylko wegetatywnie.

Zimuje w postaci kłączy.

Pokrój rośliny: Bylina wysokości 60–150 cm, żywozielona o charakterystycznym zapachu. Posiada grube (do 3 cm szerokości), walcowate czołgające się kłącze. **Lodyga** trójkanciasta. **Liście** mieczowate, równowąskie, zastrzone, w przekroju romboidalne, jasnozielone, długości 0,6–1,2 m i szerokości 1–2 cm, w górnej części bardzo często pofałdowane, osadzone są w dwóch szeregach. **Kwiaty** zebrane w walcowate kolby długości do 8 cm, barwy zielonej, po przekwitnięciu zmieniającej się na żółtawą. Kolba ustawiona jest na szczycie, lecz z powodu długiej liściastej pochwy, umiejscowiona pozornie bocznie. Kwiaty niepozorne, obupłciowe. Okwiat sześciolistkowy, listki odwrotnie jajowate, tępe, długości około 1 mm, na szczycie zagięte. **Owoce** są czerwone jagody, które powstają tylko u form diploidalnych, występujących w Azji. Rośliny rosnące w Europie owoców nie tworzą.



foto: Maciej Gąbka

Podobieństwo do innych roślin: W czasie gdy nie tworzy kwiatów łatwo można go pomylić z kosaćcem żółtym, ze względu na bardzo podobne liście. Jednak tatarak jest żywozielony w przeciwieństwie do kosaćca (którego liście są szarzielone) i ma bardzo charakterystyczny zapach.

Ekologia: Rośnie w wodach stojących i wolno płynących, eutroficznych, płytkich (do głębokości kilkudziesięciu centymetrów), na podłożach piaszczystych i piaszczysto-mulistych. Zasadza brzegi jezior, starorzeczy, stawów, glinianek, rzek, kanałów i rowów. Tworzy szuwar tatarakowy, który często wypiera rodzime szuwały mozgowe.

Rozprzestrzenienie: Gatunek pospolity na obszarze całego kraju z wyjątkiem wyższych położań górskich. Przybył do Europy w XVII wieku (choć niektóre źródła podają, że wcześniej) z Indii i Chin. Jest gatunkiem obcym, ekspansywnym, choć ze względu na brak możliwości rozmnażania generatywnego nie jest uznawany za inwazyjny.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Ze względu na zdolność wiązania dużych ilości pierwiastków biogenych (azotu i fosforu) tatarak jest zalecany do stosowania w biologicznych oczyszczalniach ścieków. Bywa sadzony w celu umacniania linii brzegowej wód. **Należy jednak pamiętać, że jako gatunek obcy nie powinien być wprowadzany w sąsiedztwie lub na obszarach chronionych, a jego skupienia powinny być kontrolowane, tak by nie dopuszczać do jego rozprzestrzeniania się (np. przez koszenie).**

Nazwa polska: **Tojeść zwyczajna**
Nazwa łacińska: *Lysimachia vulgaris* L.
Rodzina: Pierwiosnkowate *Primulaceae*

Biologia i fenologia

Kwitnie od czerwca do sierpnia.

Rozsiewa się przez anemochorię, jednak u osobników rosnących nad wodami może występować również rozsiewanie przy udziale wody (hydrochoria).

Zimuje w postaci części podziemnych oraz pączków znajdujących się tuż nad powierzchnią ziemi i ukrytych w czasie mrozów pod zeschniętymi częściami roślin.

Pokrój rośliny: Bylina dorastająca do 60–120 cm wysokości, o pełzającym kłęczu. **Łodyga** wzniesiona, obła lub tępokanciasta, często górą rozgałęziona i omszona. **Liście** w kształcie podługowatojajowate, mogą być delikatnie omszone, niekiedy czerwonekropkowane, na końcach zaostrome, wyrastają z reguły po 3–4 w okółku. **Kwiaty** żółte, wyrastają na szypułkach o długości do 10 mm z kątów górnych liści łodygowych. Zebrane są w wielokwiatowe wiechy. Działki kielicha czerwono obrzeżone. Korona duża, do 10 mm średnicy, złożona z pięciu płatków korony o złocistym zabarwieniu. **Owoce** jest kulista torebka o średnicy dochodzącej do 5 mm.



fol. Cezary Werpachowski

Podobieństwo do innych roślin: Z powodu charakterystycznego wyglądu nie wykazuje podobieństwa do innych dziko rosnących roślin.

Ekologia: Rośnie nad brzegami wód płynących i stojących, na łąkach, pastwiskach, przydrożach. Współtworzy zbiorowiska ziołoroślowe. Obecność tego gatunku związana jest z wodami o przeciętnym stopniu eutrofizacji, aczkolwiek charakteryzuje się on szeroką amplitudą ekologiczną w odniesieniu do trofii.

Rozprzestrzenienie: Gatunek pospolity na całym niżu, również w górach.

Ektywność w wychwytywaniu biogenów: Brak danych o efektywności wychwytywania biogenów, jednak ze względu na efektowne kwiaty, polecany jest do nasadzeń w strefach ekotonowych w celu podniesienia ich walorów estetycznych oraz ze względu na zwiększenie różnorodności biologicznej – również owadów (zapylaczy).

Nazwa polska: **Trzcina pospolita**
Nazwa łacińska: *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.
Rodzina: Wiechlinowate (trawy) *Poaceae*



Biologia i fenologia

Kwitnie od lipca do września.

Rozsiewa się przede wszystkim anemochorycznie, rzadziej przez hydrochorię.

Zimuje w postaci kłaczy.

Pokrój rośliny: Roślina posiada wysokie nadziemne pędy, prosto wzniesione, osiągające wysokość 2,5 m (czasem nawet do 4 m). Wytwarza podziemne, podwodne lub pływające rozłogi dorastające do 3–4 m długości. **Lodyga** stanowi sztywne, wyprostowane źdźbło, które jest grube (do 2 cm) i całe ulistnione. **Liście** w pęczku są zwinięte. Pochwy liściowe otwarte, gładkie, nagie, z widocznymi komorami powietrznymi. Na granicy pochwy i blaszki liściowej zamiast języczka występują włoski. Blaszki liściowe są barwy siniozielonej. Są sztywne, lecz w połowie zwykle przewieszane, dorastają do 60 cm długości i 10–40 mm szerokości, mają kształt lancetowaty i są spiczasto zakończone. Ich powierzchnia jest płaska, twarda, ze słabo zaznaczonym bruzdkowaniem i ostrymi brzegami. **Kwiatostanem** jest duża wiecha (do 50 cm), która w czasie kwitnienia jest prosto wzniesiona i rozpięchła. Przed i po przekwitnięciu wiecha jest ściągnięta, chorygiewkowata i przechylona w bok, brunatna lub fioletowa. Kłoski lancetowate, brunatne z fioletowym odcieniem, mają długość ok. 10 mm. **Owocem** jest oplewiony ziarniak, o długości około 6 mm. Na osadkach kwiatowych występują pęczki długich, białych włosków, stąd wiecha po kwitnieniu jest wełnista.



foto: Dominik Kopceć

Podobieństwo do innych roślin: Podobna do innych traw rosnących nad brzegami wód. W pełni rozwoju wyraźnie przewyższa inne gatunki wielkością i masywnością. Najbardziej podobna jest do mozgi trzcinowatej *Phalaris arundinacea*, jednak różni się od niej (tak jak i od innych traw) brakiem języczka u nasady blaszki liściowej, który zastąpiony jest wieńcem srebrzystych włosków.

Ekologia: Występuje najczęściej nad brzegami wód stojących lub wolno płynących. Może być zanurzona do głębokości ok. 1 m, a także występować na wynurzonych brzegach wód. Często tworzy duże jednogatunkowe skupienia. Dobrze znosi przesuszenie. Nie rozwija się w warunkach oligotrofii i silnego zakwaszenia.

Rozprzestrzenienie: Gatunek bardzo pospolity w całym kraju, zarówno na niżu, jak i w niższych piętrach górskich. Jest kosmopolityczny – bardzo rozpowszechniony na całej kuli ziemskiej, brak go tylko w basenie Amazonki.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Podobnie jak mozga bardzo efektywnie wychwytuje biogeny, między innymi dzięki możliwości wchodzenia w symbiozę z grzybami (mikoryzę). Ogromna fitomasa wolno ulega rozkładowi. Dzięki tym właściwościom jest stosowana w biologicznych oczyszczalniach ścieków (oczyszczalnie trzcinowe). Bardzo dobrze utrwała brzegi zbiorników wodnych chroniąc je przed erozją.

Nazwa polska: **Turzyca błotna**
Nazwa łacińska: *Carex acutiformis* Ehrh.
Rodzina: Turzycowate Cyperaceae



Biologia i fenologia

Kwitnie od maja do czerwca.

Rozsiewa się przez anemochorię lub hydrochorię, nieraz też przez ptactwo wodne.

Zimują pączki zanurzone w błocie lub pączki odnawiające, które spędzają niekorzystny dla wegetacji okres roku w organach podziemnych (kłączkach).

Kwiatostan żeński

Pokrój rośliny: Bylina dorastająca do 80 cm wysokości, barwy siniozielonej. **Lodyga** prosta, ostro 3-kanciasta, pod kwiatostanem szorstka, równa lub krótsza od liści. **Liście** są siniozielone, wąskie, rynienkowate, często zwinięte i szorstkie na brzegach. Dolne pochwy liściowe purpurowe, sieciowato unerwione, od spodu sinoniebieskie. **Kwiaty** zebrane są w kłosowate kwiatostany. Kłoski szczytowe, pręcikowe w ilości 1–3, rzadziej 4, trochę zbliżone do siebie. Przysadki kwiatów w tym kwiatostanie są rdzawe lub ciemnobrunatne z białą obwódką, podłużnielancetowate. Dolne są tępe, natomiast górne posiadają cienki kolec. Dolne kłoski słupkowe (2–3 walcowate) mają grubość 0,6–0,8 cm. Są one krótkoszypułkowe lub siedzące i oddalone od siebie, a ich końce zwisają. Dolne podsadki liściowe bardzo ostre. Najniższa podsadka jest dłuższa od kwiatostanu, czasem posiada krótką pochwę. Górne podsadki są natomiast szydlasto-równowąskie. Przysadki kwiatowe podłużne, brunatne, z jasną środkową smugą i białą obwódką u góry, krótsze od pęcherzyków. Górny słupek posiada 3 znamiona. Pęcherzyki punktowane, kuliste, żółtozielone, dorastają do 0,5 cm długości i odstają niemal poziomo. Dolne pęcherzyki, czasem odgięte w dół, posiadają 7 żyłek. Zwężają się w dość długi, spłaszczony dziobek z dwoma rozchylonymi zębami. **Owoce** jest orzeszek.



foto: Dominik Kopceć

Podobieństwo do innych roślin: Turzyca błotna jest podobna do turzycy zaostrzonej *Carex gracilis*. Różni się ona od turzycy błotnej głównie wysokością, barwą i szerokością liści. Turzyca błotna dorasta do 80 cm wysokości, jest rośliną barwy siniozielonej i ma wąskie liście, natomiast turzyca zaostrzona dorasta do 1,2–1,5 m wysokości, jest jasnozielona i posiada dość szerokie liście (do 1 cm). Pochwy liściowe turzycy zaostrzonej nie rozrywają się sieciowato.

Ekologia: Rośnie na siedliskach eutroficznych, często zawierających związki wapnia, ale także na siedliskach mulistych i gliniastych. Występuje zarówno w płytkich wodach, nad brzegami wód, jak i na siedliskach lądowych, nawet na okresowo przesycających. Niekiedy tworzy rozległe łany, kształtując zbiorowiska szuwarowe.

Rozprzestrzenienie: Roślina pospolita w całym kraju.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Wchodzi w związki mikoryzowe, można więc sądzić, że dzięki temu efektywniej wychwytuje biogeny. Tworzy dużą ilość trudno rozkładającej się fitomasy, zatem związane przez nią związki przez długi czas nie wracają do obiegu. Dobrze utrwała brzegi kanałów, stąd często stosowana w tym celu.

Nazwa polska: **Turzyca zaostzona**
Nazwa łacińska: *Carex gracilis* Curtis (syn. *Carex acuta* L.)
Rodzina: Turzycowate Cyperaceae



Biologia i fenologia

Kwitnie od maja do czerwca.

Rozsiewa się przez anemochorię lub hydrochorię, nieraz też przez ptactwo wodne.

Zimują pączki zanurzone w błocie lub pączki odnawiające, które spędzają niekorzystny dla wegetacji okres roku w organach podziemnych (kłączach).

Pokrój rośliny: Jasnozielona bylina z pełzającymi kłączami dorastająca do 1,2–1,5 m wysokości. Tęga i ostrokanciasta **lodyga** jest szorstka w górnej części. **Liście** dość szerokie (do 1 cm), z wierzchu lśniące i zielone, od spodu matowe i szarozielone. Gdy schną wywijają się na zewnątrz. Pochwy liściowe szorstkie, nieporozrywane, dolne są jasnobrunatne i często purpurowo nabiegłe. Kwiaty zebrane w kłosowate kwiatostany. Szczytowych kłoseków pręcikowych zwykle jest od 2 do 4, rzadko 1. Przysadki tych kwiatów są zaostzone, podługne, brunatne. Dolne, długowalcowate kłoski słupkowe wystają w ilości od 3 do 5. Osadzone na szypułkach początkowo odstają, jednak z biegiem czasu zaczynają zwisać. Podsadka tych kłoseków jest jasnozielona o szerokiej blaszce, która jest dłuższa od kwiatostanu. Przysadka jajowatolancetowata, zaostzona, czarna z zieloną smugą pośrodku, rzadziej brunatna lub zielona, dłuższa od pęcherzyków. **Kwiaty** zawierają górny słupek o 2 znamionach. Brunatne lub zielone pęcherzyki są koliste lub jajowate, wypukłe z dwóch stron, brodawkowate. Posiadają niewyraźne żyłki i bardzo krótki dzióbek lub nie posiadają go w ogóle. **Owoce** jest orzeszek.



fot. Cezary Werpachowski

Podobieństwo do innych roślin: Turzyca zaostzona może być łatwo mylona z turzycą błotną *Carex acutiformis*. Różni się ona od turzycy zaostzonej głównie wielkością, barwą i liśćmi. Turzyca zaostzona dorasta do 1,2–1,5 m wysokości, jest jasnozielona i posiada dość szerokie liście (do 1 cm), natomiast turzyca błotna dorasta do 80 cm wysokości, jest rośliną barwy sinozielonej i ma wąskie liście. Pochwy liściowe u turzycy błotnej rozrywają się sieciowato.

Ekologia: Rośnie na siedliskach eutroficznych, często zawierających związki wapnia, zarówno na podłożu mineralnym jak i torfowym. Występuje zarówno w płytkich wodach, nad brzegami wód, jak i na siedliskach lądowych, nawet na okresowo przesycających. Niekiedy tworzy rozległe łany, kształtując zbiorowiska szuwarowe.

Rozprzestrzenienie: Roślina pospolita na niżu.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Wchodzi w związki mikoryzowe, można więc sądzić, że dzięki temu efektywniej wychwytuje biogeny. Tworzy dużą ilość trudno rozkładającej się fitomasy, zatem związane przez nią związki przez długi czas nie wracają do obiegu.

Nazwa polska: **Uczep trójlistkowy**
Nazwa łacińska: *Bidens tripartita* L.
Rodzina: Zložone (Astrowate) Compositae (Asteraceae)



Pokrój rośliny: Roślina roczna o wysokości 15–110 cm, koloru ciemnozielonego. **Lodyga** często czerwono-fioletowa. **Liście** są 3–5-sieczne, ząbkowane lub grubo piłkowane o prostych ząbkach, a listki w liściu złożonym lancetowate i ostro zakończone. **Kwiaty** w żółto-brązowych koszyczkach, z koroną koloru żółtego, są równie szerokie jak wysokie. Liście okrywy kwiatowej występują w liczbie od 4 do 9. **Owoce** jest niełupka z ościstymi wyrostkami oraz licznymi, drobnymi zadziorkami przyczepiającymi się do sierści i piór zwierząt i odzieży ludzi.

Biologia i fenologia

Kwitnie od lipca do października.

Rozsiewa się przez epizoochrię.

Zimuje w postaci nasion.



fol: Dorota Michalska-Hejduk

Podobieństwo do innych roślin: Uczep trójlistkowy wykazuje duże podobieństwo do uczepu amerykańskiego *Bidens frondosa*. Drugi z wymienionych gatunków nie posiada jednak oskrzydłonych ogonków liściowych, a jego liść zbudowany jest z listków osadzonych na wyraźnych ogonkach, tworzących liść nieparzystopierzasty. Różnice dotyczą również budowy owoców.

Ekologia: Uczep występuje w miejscach wilgotnych i bagnistych. Tworzy zbiorowiska terofitów letnich na wysychających latem brzegach wód.

Rozprzestrzenienie: Pospolity na niżu i niższych położeniach górskich.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Brak danych o efektywności wychwytywania biogenów. Jako gatunek jednoroczny nie ma większego znaczenia w tworzeniu stref ekotonowych, jednak może się pojawiać spontanicznie na wysychających brzegach wolno płynących cieków i zbiorników wód stojących. W przeciwieństwie do gatunku inwazyjnego – uczepu amerykańskiego – nie powinien być z takich miejsc usuwany.

Nazwa polska: **Wiązówka błotna**
Nazwa łacińska: *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.
Rodzina: Różowate Rosaceae



Biologia i fenologia

Kwitnie od czerwca do lipca.

Rozsiewa się przez hydrochorię
bądź anemochorię.

Zimują pączki znajdujące się tuż
przy powierzchni ziemi lub tuż pod nią.

Pokrój rośliny: Bylina dorastająca nawet do 2 metrów wysokości. Posiada zgrubiałe kłącze. **Lodyga** nadziemna jest ulistniona skrętolegle i gałęzista w górnej części. **Liście** nieparzystopierzaste, ogonkowe, listki boczne (po 2 do 5 par) duże, szerokojajowate, nierówno podwójnie ząbkowane, z obu stron zielone bądź od spodu pokryte białym filcem. Końcowy listek większy, dłoniastowcinany. Liście posiadają niezrośnięte przylistki. Kwiatostanem są duże podbaldachy. **Kwiaty** 5-krotne, wonne, białe lub białozółte o drobnych płatkach. Pręciki prawie dwa razy dłuższe od płatków. Słupek górny, nagi, spiralnie skręcony. **Owoce** są suche, śrubowato skręcone i nagie lub niemal całkiem nagie orzeszki.



fol. Cezary Werpachowski

Podobieństwo do innych roślin: Ze względu na bardzo charakterystyczne kwiatostany i liście roślinę trudno pomylić z innymi gatunkami.

Ekologia: Preferuje miejsca umiarkowanie słoneczne, umiarkowanie chłodne do przeciętnie ciepłych. Rośnie na glebie mokrej, średnio zwięzłej lub ciężkiej, gliniastej, żyznej, o zasadowym odczynie. Często porasta brzegi wód, bagien, rowów, a także rośnie w wilgotnych zaroślach.

Rozprzestrzenienie: Występuje na całym niżu oraz w niższych partiach gór.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Wchodzi w związki mikoryzowe, dzięki którym może pobierać wodę z większego obszaru niż pozwalałby jej na to własny system korzeniowy. Prawdopodobnie pozwala jej to efektywniej wychwytywać biogeny.

Nazwa polska: **Wierzba biała**
Nazwa łacińska: *Salix alba* L.
Rodzina: Wierzbowate *Salicaceae*



Biologia i fenologia

Kwitnie od kwietnia do maja.

Rozsiewa się przez anemochorię.

Zimują pąki znajdujące się co najmniej 0,5 m nad ziemią.

Pokrój rośliny: Duże drzewo o szeroko rozgałęzionej koronie dorastające do 30 m. Posiada żółtą lub jasnobrunatną, grubą i głęboko spękaną korę. Gałązki są żółtawe lub oliwkowobrązowe, giętkie, początkowo jedwabiście owłosione, później łysiejące. Ich końcowe części zwisają do dołu. Drobne, spłaszczone i czerwonożółte pąki są jedwabisto, szaro owłosione i przylegają do gałązek. **Liście** duże, dorastające do 10 cm, lancetowate, zaokrąglone na końcu, o piłkowanej blaszce liściowej. Początkowo prawie białe, srebrzysto owłosione z obu stron, w późniejszym okresie wegetacji tylko od spodu jedwabisto, połyskująco owłosione, a z wierzchu zielone i matowe. Ogonki liściowe mają 1–2 gruczoły. Drobne, lancetowate przylistki wcześniej odpadają. Wierzba biała jest rośliną dwupienną. **Kwiaty** zebrane są w długie, grube i walcowate kotki. Kwiatostan męski ma 5 cm długości i 1 cm grubości oraz zawiera kwiaty składające się z 2 pręcików, natomiast kwiatostany żeńskie mają 4,5 cm długości i do 9,8 cm grubości oraz zawierają kwiaty z 1 słupkiem o krótkiej szyjce. Słupki górny, siedzący lub na bardzo krótkiej szypułce. Łuski kotkowe barwy żółtej lub czerwonej są podłużnie lancetowate, orzęsione na brzegu i owłosione u nasady. Wierzba biała kwitnie równocześnie z rozwojem liści. **Owoce** są dojrzewające w maju i czerwcu niewielkie torebki zawierające liczne, małe nasiona, zaopatrzone w kępki puchu.



fot. Cezary Werpachowski

Podobieństwo do innych roślin: Wierzba biała podobna jest do wierzby kruchej *Salix fragilis*, od której odróżniają ją pędy i liście. Młode pędy wierzby białej są jedwabiście owłosione. Starsze pędy są żółtawe lub oliwkowobrązowe, końcowe części zwisają, natomiast wierzby kruchej są zielonkawożółte, odstające, sztywne i łamliwe, nagie i błyszczące. Liście wierzby białej są mniejsze i węższe niż wierzby kruchej, początkowo owłosione po obu stronach, potem od spodu, natomiast u wierzby kruchej są bardzo słabo owłosione i tylko od spodu.

Ekologia: Preferuje tereny z dobrym dostępem do światła. Rośnie na glebach świeżych, wilgotnych lub mokrych. Porasta tereny zalewowe w dolinach rzecznych, gdzie wraz z wierzbą kruchą tworzy łągi wierzbowe. Może też występować pojedynczo wzdłuż dróg i cieków. Dawniej była często ogławiana. Jej odmiana o zwieszających się gałązkach (płacząca) jest często sadzona jako drzewo ozdobne.

Rozprzestrzenienie: Pospolita w całej Polsce.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Ze względu na szybki wzrost i silnie rozbudowany system korzeniowy wierzby są bardzo efektywne w wychwytywaniu szkodliwych związków spływających z pól. Przyczynia się do tego również fakt, że najczęściej wchodzi w związki mikoryzowe.

Nazwa polska: **Wierzba krucha**
Nazwa łacińska: *Salix fragilis* L.
Rodzina: Wierzbowate *Salicaceae*



Gałązka z kwiatostanem żeńskim

Pokrój rośliny: Duże drzewo o kopulastych, szerokich koronach dorastające do 30 m wysokości i osiągające 1,5 m pierśnicy. Czasem krzew. Ma grubą, szarobrązową i głęboko spękaną korę. Gałązki barwy zielonkawożółtej lub brązowej są sztywne, odstające, nagie i połyskujące u podstawy rozgałęzień. Bardzo łatwo się odłamują. Jednołuskowe pąki koloru czerwonobrunatnego są ostre, odstające i jajowate. **Liście** duże, dorastające do 15 cm, lancetowate, o długim, skośnym i zaokrąglonym wierzchołku, klinowate u nasady, piłkowane, z wierzchu ciemnozielone i błyszczące, natomiast na spodniej stronie sinozielone, żyłkowane i słabo owłosione. Młode liście są pokryte kleistą substancją. Ogonki liściowe pokryte są brodawkowatymi gruczołkami. Przylistki nerkowate lub półsercowate, piłkowane, wcześniej odpadające. Wierzba krucha jest rośliną dwupienną. Drobne **kwiaty** zebrane są w grube, żółte, walcowate kotki. Kwiatostan męski dorasta do 6 cm długości i 1 cm grubości. Kwiat męski zbudowany jest z 2 pręcików, natomiast żeński dorasta do 7 cm długości i 0,8 cm grubości. Kwiaty żeńskie rozwijają się wcześniej niż męskie. Łuski kotkowe są żółte, tępe, języczkowate i owłosione. Odpadają przed dojrzewaniem owoców. Wierzba krucha kwitnie równocześnie z rozwojem liści. **Owoce** są dojrzewające w maju i czerwcu niewielkie torebki zawierające liczne, małe nasiona, zaopatrzone w kępki puchu.

Biologia i fenologia

Kwitnie od kwietnia do maja.

Rozsiewa się przez anemochorię.

Zimują pąki znajdujące się co najmniej 0,5 m nad ziemią.



fot. Cezary Wierpachowski

Podobieństwo do innych roślin: Wierzba krucha jest podobna do wierzby białej *Salix alba*, od której odróżniają ją pędy i liście. Pędy u wierzby kruchej są zielonkawożółte, odstające, sztywne i łamliwe, nagie i błyszczące, natomiast u wierzby białej – żółtawe lub oliwkowobrązowe, a ich końcowe części zwisają. Młode są jedwabście owłosione. Liście wierzby kruchej są większe i szersze niż wierzby białej, słabo od spodu owłosione, natomiast u wierzby białej młode liście owłosione są po obu stronach, a u starszych osobników tylko od spodu.

Ekologia: Preferuje tereny z dobrym dostępem do światła. Rośnie na glebach świeżych, wilgotnych lub mokrych. Często porasta tereny zalewowe w dolinach rzecznych gdzie tworzy łągi wierzbowe. Może też występować pojedynczo wzdłuż dróg i cieków. Dawniej była często ogławiana.

Rozprzestrzenienie: Pospolita na obszarze całej Polski.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Ze względu na szybki wzrost i silnie rozbudowany system korzeniowy wierzby są bardzo efektywne w wychwytywaniu szkodliwych związków spływających z pól. Przyczynia się do tego również fakt, że najczęściej wchodzi w związki mikoryzowe.

Nazwa polska: **Wierzba pięciopęcikowa** (laurowa, wawrzynowa)
Nazwa łacińska: *Salix pentandra* L.
Rodzina: Wierzbowate Salicaceae

Biologia i fenologia

Kwitnie od maja do czerwca.

Rozsiewa się przez anemochorię.

Zimują pąki znajdujące się co najmniej 0,5 m nad ziemią.

Pokrój rośliny: Wysoki krzew lub drzewo dorastające do 13, rzadko 20 m. Kora szara. Gałązki barwy brunatnozielonej, oliwkowożółtej lub czerwonej są nieco kruche, połyskujące i nagie. Stożkowate, żółtobrunatne pączki są lepkie, nagie i błyszczące. **Liście** dość szerokie jak na wierzbę, lancetowate lub jajowo eliptyczne, zaokrąglone u nasady, a na końcu zastrzone dorastają do 12–15 cm długości i 2–3 cm szerokości. Nagie, obustronnie zielone, na wierzchu ciemne i błyszczące, jakby lakierowane, od spodu jaśniejsze z wyraźną środkową żyłką. Młode liście są kleiste i aromatyczne, później skórkowate. Blaszka liściowa ostro, drobno, gęsto i gruczołowato piłkowana. Przylistki również gruczołowato piłkowane, jajowate. Ogonki liściowe na górnej stronie z drobnymi gruczołkami. Kwitnienie odbywa się jednocześnie z rozwojem liści. **Kwiaty** zebrane w grube i walcowate kotki. Kwiatostan żeński osiąga do 6 cm długości i 0,8 cm grubości, natomiast męski dorasta do 7 cm długości i 1,5 cm grubości. W kwiecie męskim znajduje się 5–10 pręcików. Słupek kwiatowy górny, nagły, krótkoszypułkowy z rozdwojonymi, krótkimi szyjkami. Również znamiona słupka są rozdzielone. Łuski kotkowe żółtozielone, odwrotnie jajowate lub wydłużone, krótko owłosione u nasady. **Owoce** jest torebka zawierająca owłosione nasiona.



Gałązka z kwiatostanem żeńskim

fol. Cezary Werpachowski

Podobieństwo do innych roślin: Ze względu na charakterystyczne lakierowanie liści trudna do pomylenia z innymi gatunkami.

Ekologia: Porasta wilgotne łąki, miejsca zalewane, brzegi rzek i stawów, rośnie również na przydrożach i przychaciach, w olszynach i łożyskach.

Rozprzestrzenienie: Występuje na całym niżu i na niższych położeniach górskich, jednakże nie wszędzie pospolita.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Tak jak wszystkie wierzby, bardzo łatwo wchodzi w mikoryzę z grzybami, co wpływa dodatnio na efektywność pobierania wody i wychwytywania biogenów.

Nazwa polska: **Wierzba purpurowa (wiklina)**
Nazwa łacińska: *Salix purpurea* L.
Rodzina: Wierzbowate *Salicaceae*

Biologia i fenologia

Kwitnie od kwietnia do maja.

Rozsiewa się przez anemochorię.

Zimują pąki znajdujące się co najmniej 0,5 m nad ziemią.

Pokrój rośliny: Krzew dorastający do 3–6 m, a nawet 10 m wysokości. Posiada nagie, cienkie, błyszczące i lekko zaczerwienione lub żółtawe pędy. Połyskujące pąki barwy czerwonej lub brunatnej ustawione są naprzeciwlegle i przylegają do pędu. Mają kształt spłaszczonego, wąskiego stożka. **Liście** są nagie, matowe, ustawione zwykle nakrzyżlegle, dorastają do 10 cm długości. Z wierzchu są ciemnozielone, od spodu natomiast sinozielone, czerniejące podczas suszenia. Błyszcząca blaszka liściowa ma kształt wąskolancetowaty. W dolnej części całobrzega, w górnej części często najszersza i drobno piłkowana lub ząbkowana. **Kwiaty** pojawiają się przed rozwojem liści. Zebrane są one w siedzące, często naprzeciwległe kotki. Kwiatostan męski dorasta do 4,5 cm długości i zawiera pręciki o purpurowych pylnikach, które początkowo u nasady są żółte, a z czasem czernieją. Kwiatostan żeński dorasta do 2,5 cm długości i zawiera owłosiony słupek górny o grubych i krótkich znamionach. Łuski kotkowe odwrotniejącowate, żółte lub jasnopurpurowe, ciemne na szczycie. **Owoce** jest owłosiona torebka pękająca dwoma kłapami.



Gałązka z kwiatostanem żeńskim

fot. Cezary Wierpachowski

Podobieństwo do innych roślin: Wierzba purpurowa bywa podobna z pokroju do wierzby wiciowej *Salix viminalis*, jednak jej liście są szersze w górnej części blaszki.

Ekologia: Ma dużą tolerancję w stosunku do żyzności i wilgotności gleby, jednakże woli stanowiska wilgotne i żyzne o obojętnym lub zasadowym odczynie. Może rosnąć na glebie kamienistej, żwirowej, lekkiej, piaszczystej lub średnio zwięzłej. Preferuje miejsca umiarkowanie nasłonecznione, umiarkowanie chłodne lub przeciętnie ciepłe. Często uprawiana jako gatunek wikliniarski. Naturalnie rośnie na mokrych łąkach, w zaroślach nadwodnych, nad rzekami, źródłami i potokami.

Rozprzestrzenienie: Pospolita w całej Polsce z wyjątkiem wyższych partii górskich.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Tak jak wszystkie wierzby, bardzo łatwo wchodzi w mikoryzę z grzybami, co wpływa dodatnio na efektywność pobierania wody i wychwytywania biogenów.

Nazwa polska: **Wierzba szara (łoz)**
Nazwa łacińska: *Salix cinerea* L.
Rodzina: Wierzbowate *Salicaceae*



Kwiatostany żeńskie i męskie

Biologia i fenologia

Kwitnie od marca do kwietnia.

Rozsiewa się przez anemochorię.

Zimują pąki znajdujące się co najmniej 0,5 m nad ziemią.

Pokrój rośliny: Krzew (rzadziej drzewo) dorastający do 2 m, rzadko do 6 m, o szarej kory z charakterystycznymi bruzdowanymi wklęsłościami. Młode, brunatnoszare lub szaropopielate gałązki, są grube i filcowate. Pąki są duże, wypukłe, koliste i również pokryte szarym filcem. **Liście** barwy szarzielonej lub sinozielonej od 2 do 3 razy dłuższe niż szerokie. Podłużnie-eliptycznie lub podłużnie-odwrotnie jajowate, najszersze powyżej połowy. Są także krótko zaokrąglone, karbowano piłkowane, u nasady klinowato zwężone. Młode liście są filcowate, później matowe, pomarszczone, nagie, jedynie na nerwach od spodniej strony lekko owłosione. Ogonki liściowe mają długość 1–1,5 cm. Przylistki nerkowate lub półksiężycowate, trwałe, całobrzegie bądź płytko ząbkowane. Kotki duże, grube, podłużne, niemal siedzące, opatrzone od dołu 4–7 podsadkami. **Kwiatostan** żeński jest walcowaty, natomiast męski – jajowaty. Słupki górne, osadzone na szypułkach, filcowato owłosione. Kwiat męski zawiera 2 wolne pręciki. Łuski kotkowe jedwabiście owłosione, łopatkowate, rude, na szczycie czarnobrunatne lub czerwone. Kwiaty pojawiają się przed rozwojem liści. **Owoce** jest mała, sucha, wielosienna torebka pękająca kilkoma kłapkami.



fot. Cezary Werpachowski

Podobieństwo do innych roślin: Wierzba szara jest bardzo podobna do wierzby uszatej *Salix aurita*, od której jest trochę większa. Liście wierzby uszatej mają 2–7 cm długości i 1–3 cm szerokości, a ogonek liściowy ma 0,5 cm długości, natomiast liście wierzby szarej: 5–10 cm długości i do 4,5 cm szerokości oraz ogonki o długości 1,5 cm. Gałązki i pąki wierzby szarej są pokryte szarym filcem, gdy u wierzby uszatej są zwykle nagie.

Ekologia: Preferuje miejsca umiarkowanie słoneczne, umiarkowanie chłodne do przeciętnie ciepłych. Rośnie na glebie mokrej, średnio zwężłej lub ciężkiej, gliniastej, żyznej, o zasadowym odczynie. Często porasta brzegi wód, bagien, rowów, a także rośnie w wilgotnych zaroślach.

Rozprzestrzenienie: Występuje na całym niżu, rzadka w reglu dolnym Karpat i Sudetów.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Tak jak wszystkie wierzby, bardzo łatwo wchodzi w mikoryzę z grzybami, co wpływa dodatnio na efektywność pobierania wody i wychwytywania biogenów.

Nazwa polska: **Wierzba trójpręcikowa**
Nazwa łacińska: *Salix triandra* L.
Rodzina: Wierzbowate *Salicaceae*



Biologia i fenologia

Kwitnie od kwietnia do maja.

Rozsiewa się przez anemochorię.

Zimują pąki znajdujące się co najmniej 0,5 m nad ziemią.

Pokrój rośliny: Krzew dorastający do 7–10 m. Kora zielonkawa, na starszych pędach bardzo charakterystycznie się łuszczy. Gałązki brązowe lub żółtozielone, kanciaste, nie posiadają siniego nalotu. **Liście** wąskolancetowate, do eliptycznych, krótko zaostrome, od spodu jasnozielone. Błazka liściowa gruczołowato piłkowana. Nagie pąki i zazwyczaj nagie ogonki liściowe. Przylistki są półsercowate lub nerkowate. Roślina rozdzielnopłciowa. Kwiatostany w postaci kotków. **Kwiaty** męskie z trzema pręcikami, zebrane w długie (do 8 cm) kotki. Przysadki odwrotniejąkowate, białowłose, a na brzegach długo orzęsione. Kwiaty żeńskie w kotkach krótszych (do 6 cm) na dość długich ogonkach. Przysadki podobne jak w kwiatkach męskich. **Owocami** są nagie torebki z dwoma klapami.



fol: Cezary Werpachowski

Podobieństwo do innych roślin: Wierzba trójpręcikowa podobna jest do wierzby wiciowej *Salix viminalis*, u której jednak kora nie łuszczy się.

Ekologia: Roślina często sadzona przez człowieka. W naturze występuje wzdłuż rzek wraz z innymi gatunkami wierzb tworząc tak zwane wikliny nadrzeczne. Porasta piaszczyste aluwia i brzegi rzek w zasięgu przeciętnych stanów wody.

Rozprzestrzenienie: Występuje w Azji, Europie i Afryce Północnej. W Polsce w stanie naturalnym występuje na całym obszarze, bardziej pospolita jest na południu kraju.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Tak jak wszystkie wierzby, bardzo łatwo wchodzi w mikoryzę z grzybami, co wpływa dodatnio na efektywność pobierania wody i wychwytywania biogenów.

Nazwa polska: **Wierzba wiciowa (witwa)**
Nazwa łacińska: *Salix viminalis* L.
Rodzina: Wierzbowate Salicaceae

Biologia i fenologia

Kwitnie od kwietnia do maja.

Rozsiewa się przez anemochorię.

Zimują pąki znajdujące się co najmniej 0,5 m nad ziemią.

Pokrój rośliny: Wysoki i szeroki krzew dorastający do 4 m wysokości. Posiada długie i elastyczne pędy pokryte gęstymi, ciemnoszarymi i miękkimi włoskami. Roczne gałązki brunatne lub zielonkawe. Owłosione, bladożółte pąki przylegają do gałęzi. **Liście** są matowozielone, wąskie i bardzo długie (do 25 cm), ale o krótkich ogonkach. Od spodu połyskujące i jedwabiście przylegająco owłosione z wyraźną środkową żyłką. Błazka liściowa jest gładka, fałdowana i lekko wywinięta. Posiada wąskolancetowate przylistki. **Kwiaty** zebrane są w grube, podłużnie walcowate, prawie siedzące kotki. Łuska kotkowa jest owłosiona i dwukolorowa: na szczycie brunatna, pod spodem jaśniejsza. Kwiatostan męski dorasta do 3,5 cm długości i 1 cm grubości, natomiast kwiatostan żeński osiąga rozmiar odpowiednio 2,5 cm i 0,6 cm. Kwiat męski zawiera 2 pręciki. Kwiat żeński zawiera 1 górny, owłosiony, siedzący lub krótkoszypułkowy słupek o nitkowatych znamionach oraz gruczołach miodnikowych dłuższych od szypułek słupka. **Owocem** jest owłosiona torebka pękająca dwoma klapami.



fol: Cezary Werpachowski

Podobieństwo do innych roślin: Wierzba wiciowa jest podobna do wierzby siwej *Salix elaeagnos*, której liście są krótsze (dorastają do 15 cm), a ich spód jest owłosiony wełniście. Od podobnej wierzby trójpręcikowej *Salix triandra* różni się natomiast brakiem łuszczenia kory.

Ekologia: Często sadzona przez człowieka. Naturalnie rośnie na piaszczystych brzegach potoków i rzek, dobrze znosi zalewy.

Rozprzestrzenienie: Pospolita na niżu.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Tak jak wszystkie wierzby, bardzo łatwo wchodzi w mikoryzę z grzybami, co wpływa dodatnio na efektywność pobierania wody i wychwytywania biogenów. Jest stosowana w oczyszczalniach hydrobotanicznych.

Nazwa polska: **Wierzbownica kosmata**
Nazwa łacińska: *Epilobium hirsutum* L.
Rodzina: **Wiesiołkowate Onagraceae**



Biologia i fenologia

Kwitnie od czerwca do lipca.

Rozsiewa się przez anemochorię.

Zimują pączki znajdujące się tuż przy powierzchni ziemi lub tuż pod nią.

Pokrój rośliny: Bylina dorastająca do 1,5–2 m. Jesienią wydaje podziemne mięsiste i wydłużone rozłogi. Posiada silnie rozgałęziający się obły pęd, na którego powierzchni znajdują się długie włosy bezgruczołowe oraz krótkie gruczołowe. **Lodyga** pod liśćmi jest nieco kanciasta. **Liście** siedzące, naprzeciwległe, obejmujące łodygę. W dolnej części łodygi liście są najdłuższe, a ich długość jest 4 razy większa niż szerokość. Pojedyncze, całobrzegie, eliptyczne, lancetowate, na końcu zastrzone. Brzegi blaszki liściowej ząbkowane, ząbki sierpowato zagięte. **Kwiaty** rośliny są duże, promieniste, 4-krotne, dorastające do 2,5 cm średnicy. Płatki długie na 8–20 mm, purpuroworóżowe, szerokie, sercowato wycięte. Działki kielicha purpurowe, lancetowate i zastrzone. Posiada 8 pręcików i słupek dolny. **Owoce** jest torebka o grubości 2–3 mm, pękająca kłapami. Nasiona brodawkowate, zaopatrzone w puch.



foto: Dominik Kopeć

foto: Dorota Michalska-Hejduk

Podobieństwo do innych roślin: Podobna do innych wierzbownic, ale ma znacznie większe kwiaty.

Ekologia: Preferuje miejsca półcieniste, umiarkowanie zimne, aż do przeciętnie ciepłych. Porasta gleby wilgotne lub mokre, średnio zwięzłe lub ciężkie, gliniaste, żyzne o odczynie obojętnym. Występuje na mokrych łąkach, brzegach wód, olszynach.

Rozprzestrzenienie: Roślina pospolita w całym kraju.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Wchodzi w związki mikoryzowe, dzięki którym może pobierać wodę z większego obszaru niż pozwalałby jej na to własny system korzeniowy. W sytuacji podtopienia może wytwarzać tak zwaną „pseudoaerenchymę” umożliwiającą prowadzenie utleniania w części podziemnej mimo odciętego przez wodę dostępu tlenu. Prawdopodobnie pozwala jej to efektywniej wychwytywać biogeny.

Nazwa polska:
Nazwa łacińska:
Rodzina:

Włosienicznik (Jaskier) krążkolistny
Batrachium circinatum (Sibth.) Fr. (*Ranunculus circinatus* Sibth.)
Jaskrowate *Ranunculaceae*

Biologia i fenologia

Kwitnie od czerwca do sierpnia.

Rozsiewa się przez hydrochorię.

Zimuje w postaci szczytów pędów – leżą one na dnie zbiornika tracąc połączenie z rośliną macierzystą, która na zimę ginie.

Pokrój rośliny: Roślina zielna, zanurzona w wodzie, o jasnozielonych pędach długości do ok. 1 m (wyjątkowo do 3 m). **Lodyga** jest w przekroju okrągła, gładka i rozgałęziona, a w jej węzłach rozwijają się liczne korzenie przybyszowe. **Liście** tej rośliny są tylko zanurzone (liści pływających brak), siedzące, podzielone 4-krotnie (lub więcej) na nitkowate łatki, w zarysie mniej więcej okrągłe, sztywne. Są też bardzo krótkie, osiągają zaledwie 15–25 mm długości – znacznie mniej od międzywęźli. **Kwiaty** – pojedyncze, długoszypułkowe, posiadające 8–15 mm średnicy, znajduje się w nich 15–20 pręcików. Płatki białe, u nasady żółte, długości do 10 mm. Dno kwiatowe jest cylindryczne, wyraźnie pokryte długimi włoskami. **Owoce** jest elipsoidalny orzeszek.



foto: Dorota Michalska-Hejduk

Podobieństwo do innych roślin: Gatunek jest podobny do innych jaskrów wodnych posiadających wszystkie liście o blaszce podzielonej na nitkowate łatki, czyli włosienicznika (jaskra) rzeczno *Batrachium (Ranunculus) fluitans* i włosienicznika (jaskra) skąpopręcikowego *Batrachium (Ranunculus) trichophyllus*.

Ekologia: Włosienicznik (jaskier) krążkolistny jest związany głównie z wodami stojącymi (stawy, sadzawki, starorzecza), ale pojawia się też w wolno płynących ciekach (rowach, kanałach) rzadko w większych ciekach wodnych. Występuje na podłożu mulistym lub piaszczysto-mulistym. Dobrze rozwija się w wodach żyznych (silnie zeutrofizowanych), znosi zasolenie (6–15,5‰). W przypadku okresowego wyschnięcia zbiornika tworzy niskie formy lądowe.

Rozprzestrzenienie: Występuje pospolicie w całej Polsce z wyjątkiem wyższych partii gór.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Produkuje stosunkowo dużo fitomasy.

Nazwa polska: **Żabieniec babka wodna**
Nazwa łacińska: *Alisma plantago-aquatica* L.
Rodzina: Żabieńcowate Alismataceae



Biologia i fenologia

Kwitnie od czerwca do sierpnia.

Rozsiewa się przez hydrochorię lub epizoochorię (na piórach ptactwa wodnego).

Zimuje w postaci kłączy.

Pokrój rośliny: Bylina częściowo wynurzona, jasnozielona o wysokich kwiatostanach wyrastających z zakorzenionej w podłożu rozety liściowej. Ma bulwiasto zgrubiałe kłącza. **Lodyga** gładka, tępo trójkanciasta, wzniesiona, długości 20–100 cm. **Liście** zebrane w rozetę. Wyraźna heterofilia – dwa rodzaje liści. Liście wynurzone posiadają blaszki eliptyczne lub jajowate, zastrzone, długości do 25 cm, szerokości do 10 cm. Nasady tych liści są płatkosercowate lub zaokrąglone. Podwodne liście są węższe, równowąskie, taśmowate. Wszystkie liście są gładkie i wyraźnie unerwione. **Kwiaty** obupłciowe, drobne, białe lub czerwonawe, u podstawy żółte. Osadzone na szypułkach długości ok. 2 cm. Kielich 3-działkowy, korona 3-płatkowa. Płatki po przekwitnięciu szybko opadające. Kwiaty zebrane są w wielopiętrowe mocno rozgałęzione wiechy. **Owoce** to lekkie pływające po powierzchni wody orzeszki, tworzące kulisty owoc zbiorowy, składający się z drobnych orzeszków.



fot. Cezary Wierpachowski

Podobieństwo do innych roślin: Wykazuje podobieństwo do innych żabieńców, które jednak są znacznie rzadsze. Zarówno żabieniec lancetowaty *Alisma lanceolatum*, jak i żabieniec trawolistny *Alisma gramineum* ma liście nadwodne węższe, a ich nasady są wyraźnie klinowato zwężone w ogonki. Nasada liści żabieńca babki wodnej jest zwykle zaokrąglona lub często płatkosercowata.

Ekologia: Rośnie w wodach stojących lub wolno płynących. Związany jest z wodami eutroficznymi lub rzadziej mezotroficznymi. Preferuje podłoże piaszczysto-muliste. Często wchodzi w skład zbiorowisk szuwarowych.

Rozprzestrzenienie: Pospolity na niżu i w niższych położeniach górskich. Gatunek w ekspansji – wzrost liczby stanowisk w ostatnich latach.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Brak danych.

Nazwa polska: **Żabiściek pływający**
Nazwa łacińska: *Hydrocharis morsus-ranae* L.
Rodzina: Żabiściekowate Hydrocharitaceae



Biologia i fenologia

Kwitnie od maja do sierpnia.

Rozsiewa się przez hydrochorię.

Zimuje na dnie zbiorników w postaci turionów.

Pokrój rośliny: Roślina swobodnie unosząca się w toni wodnej, z liśćmi pływającymi po powierzchni oraz pęczkiem korzeni zwisających w toni wodnej (rośnie jako składnik pleuston) – choć czasem w płytkich zbiornikach, mogących wrosnąć w dno. Wytwarza krótkie (do 1 cm) i grube kłącza, z wydłużonymi (5–20 cm) rozłogami zakończonymi rozetkami liściowymi. **Lodyga** bardzo krótka. **Liście** zebrane w gęstą rozetkę, długoogonkowe (8–10 cm), o kolistej (nieco nerkowatej) blaszce, posiadającej sercowate wcięcie. U nasady 2 duże przylistki. **Kwiaty** rozdzielnopłciowe. Męskie, z 12 pręcikami, są nieco większe od żeńskich, które posiadają słupek o 6 rozdwojonych znamionach. Listki okwiatu białe, po 3 w kwiecie, mają 10–20 mm długości. **Owoce** jest okrągława zielona torebka.



foto: Matthias Hamisch

Podobieństwo do innych roślin: Ze względu na kształt liści i barwę kwiatów żabiściek bywa mylony z grzybieniami białymi. Jest od nich jednak znacznie mniejszy, niezakorzeniony w dnie, a kwiaty mają tylko po 3 listki okwiatu.

Ekologia: Występuje w największym nasileniu w drobnych eutroficznych zbiornikach oraz w strefie szuwarowej wód płynących. Preferuje siedliska mezo- i eutroficzne, nie znosi natomiast silnego zanieczyszczenia związkami biogennymi. Rośnie pojedynczo lub w małych skupieniach, tylko niekiedy tworząc zwarte skupienia pokrywające znaczną powierzchnię. Wytwarza turiony.

Rozprzestrzenienie: Bardzo pospolity w niżowej części Polski.

Efektywność w wychwytywaniu biogenów: Wrażliwy na zanieczyszczenia i z tego powodu nie zawsze nadający się do kształtowania sztucznych stref ekotonowych.

8.2

Nieproszeni goście – katalog niepożądanych gatunków inwazyjnych

Gatunki zaprezentowano
w kolejności alfabetycznej
według nazw polskich.

Są to:

- azolla paprotkowata
- klon jesionolistny
- kolczurka klapowana
- moczarka kanadyjska
- nawłóć kanadyjska i późna
- niecierpek gruczołowaty
- rdestowiec ostrokończysty i sachaliński
- rudbekia naga i słonecznik bulwiasty
- uczep amerykański
- winobluszcz zaroślowy



Przy opisie poszczególnych gatunków korzystano z następujących opracowań:

Inwazyjne gatunki roślin ekosystemów mokradłowych Polski. Dajdok Z., Pawlaczyk P. (red.) 2009.

Inwazyjne gatunki roślin w Kampinoskim Parku Narodowym i jego sąsiedztwie.

Otręba A., Michalska-Hejduk D. (red.) 2014.

One Hundred of the Most Invasive Alien Species in Europe. Vilà M. i in. 2009.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2011 r. w sprawie listy roślin i zwierząt gatunków obcych, które w przypadku uwolnienia do środowiska przyrodniczego mogą zagrozić gatunkom rodzimym lub siedliskom przyrodniczym. Dz. U. Nr 210, poz. 1260.

Rośliny obcego pochodzenia w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem gatunków inwazyjnych. Tokarska-Guzik B. i in. 2012.

Jednym ze skutków działalności człowieka jest zawlekanie lub nieświadome rozsiewanie gatunków obcego pochodzenia. Niektóre z nich w szybkim tempie kolonizują nowe tereny i siedliska, powodując przy tym negatywne zmiany w ekosystemach. To właśnie inwazje gatunków obcych, zachodzące pod wpływem działalności człowieka, uważane są obecnie za jedno z najpoważniejszych zagrożeń różnorodności biologicznej.

W tej części katalogu prezentujemy 13 gatunków roślin, których nie tylko nie należy stosować przy zakładaniu stref buforowych, a wręcz zaleca się ich usuwanie. Pięć z nich znajduje się w Rozporządzeniu Ministra Środowiska dotyczącym gatunków zagrażających rodzimej biocie. Ich opis zamieszczono na pomarańczowych kartkach.



Nazwa polska: **Azolla paprotkowata**
Nazwa łacińska: *Azolla filiculoides* Lam.
Rodzina: Salwiniowate *Salviniaceae*



fol. Ewa Szczęśniak

Azolla
z rzęsą drobną
(w lewym dolnym rogu)

Biologia i fenologia

Rozprzestrzenia się dzięki fragmentacji łodygi i przenosi wraz z wodami powodziowymi i na piórach ptaków wodnych.

W Polsce nie zaobserwowano dotąd wytwarzania przez azollę zarodników.

Zimują pączki zanurzone w wodzie.

Pokrój rośliny: Jednoroczna paproć pływająca po powierzchni wody, niezakorzeniona, należąca do tak zwanego pleustononu. Często tworzy gęsty kożuch na całej powierzchni wody. **Liście** małe, dachówkowate, ustawione w dwóch rzędach, połączone są z pływającym kłęczem. Każdy liść składa się z 2 różnych części: część dolna jest cienka, przezroczysta i unosi się na powierzchni wody, część górna jest zielona i posiada komórki powietrzne. Górne płyty leżą mniej więcej równolegle do powierzchni wody za wyjątkiem miejsc o słabym nasłonecznieniu, kiedy to ustawiają się prostopadle do lustra wody. Posiadają one jamy, wypełnione śluzowatą substancją zawierającą niebiesko-zielone sinice-symbionty, które pomagają paprociom pobierać azot.

Podobieństwo do innych roślin: Ze względu na niewielkie rozmiary i strategię ekologiczną (wykorzystanie napięcia powierzchniowego wody) może być z daleka mylona z rodzimymi gatunkami pleustonowymi, np. rzęsą. Jednak budowa pędów i liści umożliwia łatwe jej rozpoznanie.

Ekologia: Rośnie w niezbyt głębokich zbiornikach wody stojącej oraz w wolno płynących rzekach i strumieniach. Preferuje siedliska zeutrofizowane. Gatunek pochodzący z subtropikalnej części Ameryki wnikający zarówno do zbiorników pochodzenia antropogenicznego jak i naturalnych (starorzecza, naturalnie zeutrofizowane zbiorniki wodne).

Rozprzestrzenienie: Obecnie występuje przede wszystkim na Dolnym Śląsku i w Wielkopolsce, jednak okazjonalnie pojawia się również w innych regionach Polski. Może być łatwo zawleczona wraz z materiałem pochodzącym z centrów ogrodniczych, a przeznaczonym do oczek wodnych. Dlatego pozyskując materiał do tworzenia stref ekotonowych należy zwracać szczególną uwagę na ten gatunek.

Zagrożenia dla naturalnych i półnaturalnych ekosystemów: Dzięki bardzo dużej żywotności i tempu rozmnażania azolla tworzy jednogatunkowe zwarte agregacje w formie „dywanu” osiągającego do 10 cm grubości. Powoduje to odcinanie światła i dostępu tlenu do zbiornika, co w konsekwencji może doprowadzić do wymierania wielu gatunków rodzimych.

Nazwa polska: **Klon jesionolistny**
Nazwa łacińska: *Acer negundo* L.
Rodzina: Klonowate Aceraceae

Biologia i fenologia

Kwitnie wczesną wiosną przed rozwojem liści.

Rozsiewa się przez anemochorię lub hydrochorię.

Zimuje tak jak inne rośliny drzewiaste – w postaci części nadziemnej zdrewniałej i zimotrwałych pączków.

Pokrój rośliny: Drzewo o wysokości do 20–30 m. W gęstych lasach rośnie jako wysokie jednopniowe drzewo, w luźnych drzewostanach lub na otwartej przestrzeni – ma niżej położoną i rozłożystą koronę. **Liście** są pierzastodzielne o nieparzystej liczbie listków (3–7). Pędy nagie, owoskowane lub owłosione. **Kwiaty** na ogół rozdzielno płciowe, dwupienne. **Owocami** są podwójne, wydłużone skrzydlaki.



fot. Cezary Werpachowski

Podobieństwo do innych roślin: Brak podobieństwa do innych roślin.

Ekologia: Klon jesionolistny występuje w sąsiedztwie nasadzeń, w tym na brzegach lasów, zwłaszcza drzewostanów sosnowych na żyznych siedliskach. W największym stopniu zasiedla łęgi wierzbowo-topolowe nad mniejszymi i większymi rzekami.

Rozprzestrzenienie: Gatunek pochodzący z Ameryki Północnej, występuje obecnie w całej Polsce.

Zagrożenia dla naturalnych i półnaturalnych ekosystemów: Najbardziej zagrożone obecnością klona jesionolistnego są łęgi nadrzeczne, gdzie klon zmienia strukturę przestrzenną fitocenozy, modyfikuje parametry przepływu wód, a także zacienia runo faworyzując gatunki cienioznośne. Powinien być bezwzględnie usuwany z kształtowanych ekotonów.

Nazwa polska: **Kolczurka klapowana**
Nazwa łacińska: *Echinocystis lobata* (F. Michx.) Torrey & A. Gray
Rodzina: Dyniowate *Cucurbitaceae*



Pokrój rośliny: Jednoroczna roślina o pnącej, wijącej się łodydze, dorastającej do 5–6 metrów, a rzadziej nawet 12 m długości. **Łodyga** słaboowłosiona, zaopatrzona w liczne rozgałęzione wąsy czepne pochodzenia liściowego. **Liście** kolczurki są jasnozielone, dłoniastoklapowane, obustronnie-krótko-owłosione. **Kwiaty** są rozdzielnopłciowe, koloru białozielonawego: męskie zebrane w wielokwiatowe wiechy, o koronie do około 5 mm długości i żeńskie, nieco większe od męskich, występujące po 1–2 w kątach liści. **Owoce** jest zielonawożółta jajowata mięsista torebka o długości 2,5–5 cm, pokryta długimi miękkimi kolczastymi włoskami. Wewnątrz torebki znajdują się 2 spłaszczone, długie nasiona. Owoce mogą długo utrzymywać się na uschniętej roślinie, co ułatwia rozpoznanie jej nawet zimą.

Biologia i fenologia

Kwitnie od lipca do września

Rozsiewa się przez hydrochorię.

Zimuje w postaci nasion.



foto: Dominik Kopceń

Podobieństwo do innych roślin: W pierwszym okresie wzrostu, przed wytworzeniem kwiatów i owoców kolczurka jest podobna do ogórka czy cukinii. Ze względu na klapowane liście i fakt, że jest pnączem, bywa mylona z chmielem, który występuje często w tych samych zbiorowiskach roślinnych.

Ekologia: Kolczurka klapowana zwykle występuje na siedliskach antropogenicznych w pobliżu upraw, ogródków działkowych, niekiedy także na ugorach i miedzach, skąd przedostaje się na siedliska półnaturalne i zbliżone do naturalnych – przede wszystkim na brzegi rowów melioracyjnych, rzek i jezior, a także na skraje łągów czy zarastające wilgotne łąki. Lokalnie jest częsta w ziołoroślach nadrzecznych i szuwarach.

Rozprzestrzenienie: Gatunek pochodzący z Ameryki Północnej, występuje powszechnie niemal w całej Polsce.

Zagrożenia dla naturalnych i półnaturalnych ekosystemów: Kolczurka klapowana figuruje na liście stu najbardziej inwazyjnych gatunków roślin, zwierząt i grzybów w Europie. Największe zagrożenie dla rodzimej różnorodności biologicznej wywołuje w zbiorowiskach ziołorośli nadrzecznych, gdzie tworząc gęstą sieć długich pędów ogranicza dostępność światła dla innych światłożądnych gatunków. Wnika do siedlisk Natura 2000, takich jak: 6430 Ziołorośla górskie i ziołorośla nadrzeczne, 3270 Zalewane muliste brzegi rzek i 91E0 Łęgi wierzbowe, topolowe, olszowe i jesionowe. W razie spontanicznego pojawienia się powinna być usuwana z kształtowanych ekotonów.

Nazwa polska: **Moczarka kanadyjska**
Nazwa łacińska: *Elodea canadensis* Rich.
Rodzina: Żabiściekowate *Hydrocharitaceae*



Biologia i fenologia

Kwitnie od maja do sierpnia – rzadko; w Europie Środkowej występują tylko osobniki żeńskie. Z tego powodu w Polsce moczarka rozmnaża się tylko wegetatywnie.

Rozsiewa się – w warunkach polskich nie wytwarza owoców.

Zimuje w postaci tak zwanych turionów, czyli skróconych pędów zimowych na dnie zbiorników.

Pokrój rośliny: Roślina długości ok. 30–60 cm, ale może dorastać do 3 m. Jej pęd jest zanurzony w wodzie, zwykle zakotwiczony w podłożu. **Lodyga** okrągła, obficie rozgałęziona. Międzywęźla prawie jednakowej długości, mające 2–4 cm. **Liście** siedzące, wydłużone, o 6–16 mm długości i do 4 mm szerokości, na szczycie zwężone (tępe lub zastrzone). Brzegi bardzo drobno ząbkowane. Liście występują najczęściej po 3 w okółkach (od 2 do 4). **Kwiaty** rozdzielnopłciowe, roślina jest dwupienna. W Europie wytwarza tylko kwiaty żeńskie, długoszypułkowe, z dwoma rodzajami listków okwiatu: zewnętrznymi, które są owalne, zielonawe lub czerwonawe na zewnątrz oraz wewnętrznymi – okrągławymi, białawymi.



foto: Dominik Kopeć

Podobieństwo do innych roślin: Gatunek ten jest łatwo odróżnić od innych roślin. Wykazuje pewne podobieństwo do rzęśli *Callitriche* sp., ale łodyga przedstawicieli tego rodzaju jest znacznie drobniejsza i wiotka, a liście wyrastają parami naprzeciwle. U moczarki w węzłach wyrastają trzy liście w okółku.

Ekologia: Roślina jest bardzo ekspansywna. Rozwija się w różnego rodzaju ekosystemach wodnych: jeziorach, stawach, głębszych rowach oraz płytkich, wolno płynących rzekach. Występuje najczęściej w średnio żyznych wodach, które można określić jako mezotroficzne lub czasem eutroficzne. Odgrywa dużą rolę w zarastaniu zbiorników wodnych.

Rozprzestrzenienie: Pospolity gatunek w całej Polsce. Roślina pochodzi z Ameryki Płn., zawleczona i zadomowiona w większej części Europy i na innych kontynentach. W Polsce uznana za gatunek inwazyjny.

Zagrożenia dla naturalnych i półnaturalnych ekosystemów: Osobniki występują najczęściej masowo tworząc jednogatunkowe skupienia. Jej obecność powoduje ubożenie lub zmianę charakteru rodzimych zbiorowisk wodnych. Oddziałuje negatywnie na siedlisko przyrodnicze 3150 Naturalne starorzeczka i naturalne eutroficzne zbiorniki wodne ze zbiorowiskami ze związku *Nymphaeion* i *Potamion*.

Nazwa polska: **Nawłóć kanadyjska i Nawłóć późna**
Nazwa łacińska: *Solidago canadensis* L. i *Solidago gigantea* Aiton
Rodzina: *Złożone (Astrowate) Compositae (Asteraceae)*



Biologia i fenologia

Kwitnie od lipca (sierpnia) do października.

Rozsiewa się przez wiatr (anemochoria).

Zimuje w postaci kłącza podziemnego lub nadziemnego.

Nawłóć kanadyjska

Pokrój rośliny: Oba gatunki to byliny osiągające od 50 do 150 cm, maksymalnie do 200 cm wysokości. **Lodyga** u nawłóci kanadyjskiej w górnej połowie jest gęsto odstającoowłosiona lub szorstka, dołem zwykle naga, natomiast u nawłóci późnej – czerwona-wonabiegła, poza obrębem kwiatostanu naga. **Liście** lancetowate, ułożone skrętolegle. Kwiaty zebrane w szczytowe piramidalne wiechy. Wiecha złożona jest z drobnych koszyczków o żółtozielonych podługowatolancetowatych listkach, ustawionych w 2–3 szeregach. **Kwiaty** środkowe obupłciowe, o rurkowatej 5-płatkowej żółtej koronie. Skrajne kwiaty nibyjęczkowie żęńskie płodne, także są żółte. **Owoce** jest owłosiona niełupka z puchem kielichowym (pappusem).



foto: Dominik Kopeć

Podobieństwo do innych roślin: Łatwo pomylić oba gatunki między sobą. Podstawowa różnica obejmuje owłosienie łodygi oraz wielkości płatków brzeżnych w koszyczkach (u nawłóci kanadyjskiej są one krótsze od okrywy koszyczka, zaś u późnej dłuższe).

Ekologia: Nawłócie późna i kanadyjska zasiedlają różne typy siedlisk i wchodzą w skład różnych zbiorowisk roślinnych zarówno antropogenicznych jak i naturalnych. Zasiedlają przede wszystkim siedliska wilgotne (głównie wilgotne lasy i zarośla, łąki i brzegi rzek). Występują także na przydrożach, ugorach, nasypach i groblach stawów.

Rozprzestrzenienie: Gatunek pochodzący z Azji. Obecnie jego stanowiska rozproszone są na obszarze całej Polski, choć najliczniej zasiedla regiony południowe i zachodnie.

Zagrożenia dla naturalnych i półnaturalnych ekosystemów: Nawłócie późna i kanadyjska należą do najbardziej ekspansywnych roślin spotykanych w Polsce. Zajmują większość naturalnych i półnaturalnych ekosystemów. Siedliska chronione, w których gatunki te stanowią szczególny problem to: 6410 Zmiennowilgotne łąki trzęślicowe, 6430 Ziołorośla górskie i ziołorośla nadrzeczne, 6510 Niżowe łąki świeże użytkowane ekstensywnie oraz 91E0 Łęgi wierzbowe, topolowe, olszowe i jesionowe. Powinny być bezwzględnie usuwane z kształtowanych ekotonów.

Nazwa polska: **Niecierpek gruczołowaty**
Nazwa łacińska: *Impatiens grandulifera* Royle
Rodzina: Niecierpkowate *Balsaminaceae*



foto: Matthias Harnisch

Biologia i fenologia

Kwitnie od czerwca do października.

Rozsiewa się samoistnie wyrzucając nasiona na odległość nawet 6 m, nasiona mogą być przenoszone również przez wodę (hydrochoria).

Zimuje w postaci nasion.

Pokrój rośliny: Okazała roślina roczna, wysokości od 1 do 3 m. **Lodyga** gruba, mięsista, czerwono-brązowej barwy. **Liście** lancetowate, brzegiem piłkowane, z gruczołkami u nasady, ustawione są naprzeciwlegle lub w okółkach po trzy. **Kwiaty** okazałe, 3–4 cm wysokości, różowe lub purpurowe, zakończone krótką ostrogą, zebrane w kwiatostany wyrastające z kątów górnych liści w liczbie od 2 do 14. **Owocem** jest odwrotniejąwata, zaostzona na szczycie i naga torebka, pękająca pięcioma klapami.

Podobieństwo do innych roślin: Brak podobieństwa do innych roślin.

Ekologia: Preferuje podłoża wilgotne i zasobne w składniki odżywcze, często zasiedla brzegi cieków i zbiorników wodnych, nadrzeczne kamieńce, szuwały i zbiorowiska wilonowe oraz lasy i zarośla łąkowe. Ze względu na okazałe efektowne kwiaty często uprawiany jest jako roślina ozdobna, ma tendencje do dziczenia na przydrożach i wokół ogródków.

Rozprzestrzenienie: Gatunek pochodzący z Azji. Obecnie jego stanowiska rozproszone są na obszarze całej Polski, choć najliczniej zasiedla regiony południowe i zachodnie.

Zagrożenia dla naturalnych i półnaturalnych ekosystemów: Ze względu na dużą produkcję nektaru, niecierpek gruczołowaty może zmniejszać częstość odwiedzin zapylaczy na rosnących w pobliżu rodzimych roślinach. Przyspiesza również erozję brzegów cieków, zwłaszcza przy wysokich stanach wody zimą i wczesną wiosną. W razie spontanicznego pojawienia się powinien być usuwany z kształtowanych ekotonów.

Nazwa polska: **Rdestowiec ostrokończysty**
Nazwa łacińska: *Reynoutria japonica* Houtt.
Rodzina: Rdestowate *Polygonaceae*



Biologia i fenologia

Kwitną od sierpnia do września lub października.

Rozsiewają się przede wszystkim przez hydrochorię.

Bardzo duże znaczenie odgrywa rozmnażanie wegetatywne.

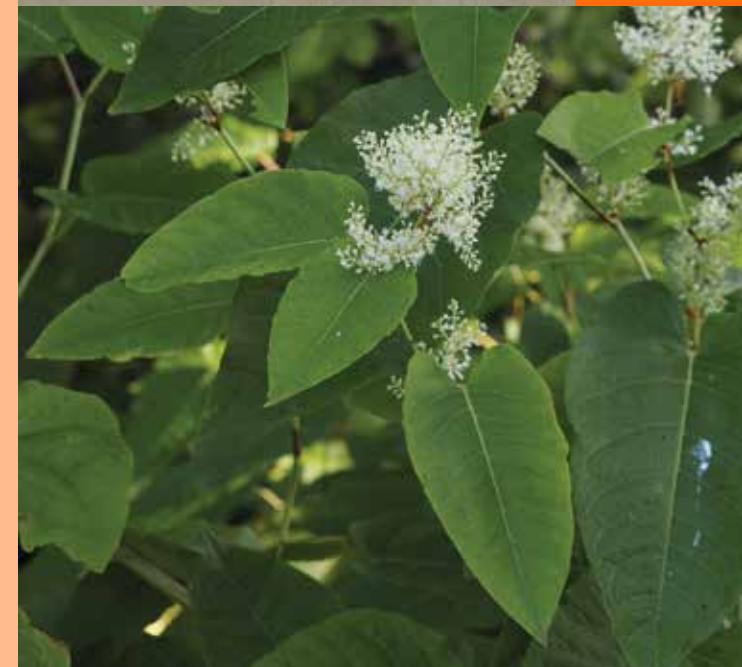
Zimują w postaci kłaczy.

Pokrój rośliny: Obydwa gatunki rdestowców to duże byliny. **Lodygi** osiągają wysokość ponad 3 metrów (nawet 4–5 m), są łukowato wygięte i puste w środku. Poszczególne gatunki najłatwiej można odróżnić po kształcie liści. **Liście** rdestowca sachalińskiego są bardzo duże, do 30–40 cm długości i 15 cm szerokości, krótkozastrzone. Dolne liście mają charakterystyczną sercowatą nasadę. Liście rdestowca japońskiego są mniejsze, szerokojajowate, krótkozastrzone, do około 15 cm długości i 10 cm szerokości, wszystkie w nasadzie są ucięte lub zwężone. **Kwiaty** drobne, kremowobiałe, zebrane w wiechowate kwiatostany. **Owoce** jest trójgraniasty błyszczący orzeszek.

fot. Cezary Werpachowski
fot. Dominik Kopeć

Rdestowiec sachaliński
Reynoutria sachalinensis (F. Schmidt) Nakai
Rdestowate *Polygonaceae*

Nazwa polska:
Nazwa łacińska:
Rodzina:



Podobieństwo do innych roślin: Brak podobieństwa do rodzimych gatunków. Rdestowce wykazują znaczne podobieństwo do siebie nawzajem. Podstawową cechą różniącą jest wielkość i kształt liści.

Ekologia: Rdestowce dość często spotyka się jako uprawiane rośliny ozdobne w ogródkach. Spontanicznie opanowują siedliska ruderalne, wilgotne rowy, doliny rzeczne, lasy łęgowe. Są notowane na różnego rodzaju mokradłach: dolinach rzecznych, otoczeniu zbiorników wodnych, rozlewiskach popowodziowych. Tworzą ubogie florystycznie zbiorowiska.

Rozprzestrzenienie: Gatunki azjatyckie, rozpowszechnione w całym kraju. Pospolitszy jest rdestowiec ostrokończysty.

Zagrożenia dla naturalnych i półnaturalnych ekosystemów: Rdestowce są uznane za jedno z najbardziej inwazyjnych gatunków w Polsce. Mają negatywny wpływ przede wszystkim na skład i bogactwo gatunkowe zbiorowisk roślinnych, szczególnie takich siedlisk naturalnych, jak doliny rzeczne. Rdestowce szybko tworzą gęste monokultury, zubożając lokalną roślinność, co ma ogromny wpływ na bioróżnorodność ekosystemów naturalnych. Powodują też trwałe zmiany siedliskowe. Powinny być bezwzględnie usuwane z kształtowanych ekotonów.

Nazwa polska: **Rudbekia naga**
Nazwa łacińska: *Rudbeckia laciniata* L.
Rodzina: Złożone (Astrowate) Asteraceae



Biologia i fenologia

Kwitnie od lipca do września.

Rozsiewa się przez anemochorię lub antropochorię.

Zimują pączki znajdujące się tuż przy powierzchni ziemi lub tuż pod nią.

Pokrój rośliny: Bylina dorastająca do 2 m wysokości. Jej łodyga jest naga, wzniesiona i rozgałęziona. Szorstkie **liście** podzielone są na dwa rodzaje: górne, 3–5-sieczne, całobrzegie, a najwyższe z nich jajowate, i dolne – pierzastosieczne z 5–7-jajowatymi lub lancetowatymi, wcinanymi listkami. **Kwiaty** złożone są w kwiatostan typu koszyczek i również dzielą się na dwa typy. Żółte, języczkowate kwiaty są dwa razy dłuższe od okrywy. Rurkowate kwiaty znajdujące się w środku koszyczka są koloru zielonobrunatnego. Kielich kwiatu przekształca się w puch kielichowy. Łuskowate przysadki kwiatowe są tępe i owłosione z przodu. **Owoce** jest naga, kanciasta niełupka nieposiadająca wyraźnego dzióbka.



Topinambur

Podobieństwo do innych roślin: Rudbekia podobna jest do innego częstego w dolinach rzek gatunku pochodzenia amerykańskiego – słonecznika bulwiastego, zwanego też topinamburem *Helianthus tuberosus*. Słonecznik posiada owalne, jajowate lub lancetowate liście, natomiast liście rudbekii są 3–5-sieczne (górne liście) lub 5–7-pierzastosieczne (dolne liście).

Ekologia: Rośnie na glebach suchych lub przeciętnie wilgotnych; lekkich, piaszczystych bądź średnio zwięzłych; żyznych o obojętnym odczynie; na stanowiskach umiarkowanie słonecznych lub w pełnym słońcu. Roślina często uprawiana przez człowieka ze względu na jej duże dekoracyjne kwiatostany. Często dziczeje wnikać do naturalnych ekosystemów takich jak zarośla nadrzeczne.

Rozprzestrzenienie: Rudbekia naga jest gatunkiem pochodzącym z Ameryki Północnej szybko kolonizującym tereny nadrzeczne w Europie. W Polsce występuje już na terenie całego kraju z przewagą Polski południowej. Topinambur natomiast występuje na całym niżu.

Zagrożenia dla naturalnych i półnaturalnych ekosystemów: Zbiorowiska z rudbekią, a także z topinamburem, są wysokie i mają charakter zwartych agregacji. Wpływa to negatywnie na bogactwo gatunkowe roślin zarośli nadrzecznych, a tym samym na całą ich różnorodność biologiczną. Topinambur oddziałuje dodatkowo na rodzime gatunki poprzez allelopatię (wydzielanie do gleby związków fenolowych i terpenów), co hamuje wzrost innych roślin. Odporne na to oddziaływanie są niektóre gatunki rodzime typowe dla naturalnych nadwodnych stref buforowych, takie jak: mozga trzciniowata *Phalaris arundinacea*, pokrzywa zwyczajna *Urtica dioica* i kielisznik zaroślowy *Calystegia sepium*.

foto: Dorota Michalska-Hejduk

Nazwa polska: **Uczep amerykański**
Nazwa łacińska: *Bidens frondosa* L.
Rodzina: Złozone (Astrowate) Compositae (Asteraceae)



Biologia i fenologia

Kwitnie od sierpnia do września.

Rozsiewa się przez epizoochrię.

Ekspansję gatunku wzdłuż rzek umożliwia również hydrochoria.

Zimuje w postaci nasion.

Pokrój rośliny: Roślina roczna o rozgałęzionej wzniesionej łodydze, sięgającej do 1 m wysokości. **Łodyga** zwykle jest naga, barwy zielonej bądź purpurowej. **Liście** naprzeciwległe, 3-5-pierzastosieczne, osadzone są na dość długich, cienkich i nieoskrzydłonych ogonkach. Listki są jajowatolancetowate, ostro i nierównopiłkowane, szczytowy znacznie większy od pozostałych. Liście z wierzchu są nagie, od spodu na nerwie i brzegu posiadają drobne szczecinki. **Kwiaty** zebrane w koszyczkowate kwiatostany o średnicy 9-20 mm, osadzone są na długich cienkich szypułkach. Kwiaty w koszyczku tylko rurkowe, drobne i żółtobrązowe. **Owoce** jest spłaszczone, brodawkowata niełupka, do 4-7 mm długości, opatrzone na szczycie zwykle 2 ościstymi wyrostkami i licznymi guzkami na powierzchni.



fol. Cezary Werpachowski

Podobieństwo do innych roślin: Uczep amerykański jest bardzo zbliżony wyglądem do rodzimego gatunku - uczeptu trójlistkowego *Bidens tripartita*. Różni się od niego wąskimi nieoskrzydłonymi ogonkami liściowymi oraz guzkowatą powierzchnią owoców. Ważną cechą różniącą są również pierzaste liście dolne o ogonkowych listkach.

Ekologia: Uczep amerykański zasiedla wilgotne miejsca ruderalne (przydrożne rowy, szlaki kolejowe) oraz brzegi cieków i zbiorników wodnych. Występuje również w zbiorowiskach szuwarowych, zaroślowych i leśnych (olsach, łęgach), rzadziej pojawia się na łąkach i pastwiskach.

Rozprzestrzenienie: Gatunek pochodzący z Ameryki Północnej, obecnie coraz bardziej pospolity w całej Polsce. Uznawany za gatunek inwazyjny.

Zagrożenia dla naturalnych i półnaturalnych ekosystemów: Uczep amerykański w dużym stopniu zagraża rodzimym gatunkom siedlisk nadwodnych. Często spotykany w populacjach mieszanych z rodzimymi gatunkami uczeptów wykazuje silną konkurencyjność (skuteczne rozsiewanie oraz kiełkowanie w niższych temperaturach). Jest bardziej plastyczny ekologicznie, dzięki czemu szybciej kolonizuje nowe terytoria. Dlatego też zaleca się usuwanie tego gatunku (ręcznie, przed dojrzewaniem owoców). Należy jednak uważać, by nie pomylić go z rodzimym uczeptem trójlistkowym.

Nazwa polska:
Nazwa łacińska:
Rodzina:

Winobluszcz zaroślowy (amerykański)

Parthenocissus inserta (A. Kern.) Fritsch

Winoroślowate Vitaceae



Biologia i fenologia

Kwitnie od lipca do sierpnia.

Rozsiewa się przez zoochorię.

Zimują pąki znajdujące się
co najmniej 0,5 m nad ziemią.

Pokrój rośliny: Liana z węsami czepnymi posiadającymi długie, wijące rozgałęzienia (3–5). Zazwyczaj nie posiadają przylg. Młode pąki i pędy są zielone. **Liście** pięciolistkowe. Listki są ostro piłkowane, połyskujące z obu stron, siedzące, z wierzchu ciemnozielone, spodem szarozielone lub jasnozielone. **Kwiaty** są obupłciowe, drobne, skupione w podwójnych wierzchołkach wyrastających z kątów liści lub w wiechach wyrastających na końcach pędów. **Owoce** jest okrągła, granatowa jagoda.



foto: Dorota Michalska-Hejduk

Podobieństwo do innych roślin: Winobluszcz zaroślowy jest bardzo często mylony z winobluszczem pięciolistkowym *Parthenocissus quinquefolia*. Gatunek ten posiada wąsy z 3–12 rozgałęzieniami zakończonymi przylgami, natomiast winobluszcz zaroślowy posiada wąsy z 3–5 rozgałęzieniami bez przylg. Dodatkowo u winobluszczu pięciolistkowego liście są grubo karbowano-piłkowane i od spodu matowe, w przeciwieństwie do winobluszczu zaroślowego, którego liście są ostro piłkowane i połyskują z obu stron.

Ekologia: Roślina niezbyt wymagająca. Może rosnąć na glebach lekkich, piaszczystych, średnio zwięzłych lub na glebach ciężkich, gliniastych, umiarkowanie żyznych lub żyznych o obojętnym odczynie. Jest odporna na suszę i mrozy. Preferuje stanowiska wilgotne – słoneczne lub półcieniste.

Rozprzestrzenienie: Gatunek często uprawiany i dziczejący.

Zagrożenia dla naturalnych i półnaturalnych ekosystemów: Winobluszcz łatwo wspina się na drzewa i rozrasta w runie, więc zagraża przede wszystkim rodzimym zbiorowiskom welonowym, objętym ochroną w ramach dyrektywy siedliskowej.

9.

**Doświadczenia
w wykorzystaniu
w istniejących
i konstruowaniu nowych
stref ekotonowych i biotech-
nologii ekohydrologicznych
(studia przypadków)**

9.1

Łąki

występujące w zlewni Pilicy

jako efektywne

strefy buforowe

w ograniczaniu

zanieczyszczeń azotanami

Wpływ budowy geologicznej na efektywność strefy

Poligon monitoringowy LIFE+ EKOROB Radonia położony jest wśród gruntów ornych w dolinie rzeki Radońki płynącej ze wschodu na zachód i uchodzącej do Zbiornika Sulejowskiego na wysokości miejscowości Podklasztorze.

Budowa geologiczna poligonu Radonia wykazuje duże zróżnicowanie w przekroju północ–południe. Północna część poligonu charakteryzuje się występowaniem utworów słabo przepuszczalnych (głina piaszczysta szara) pomiędzy wierzchnią warstwą gleby a utworami przepuszczalnymi (piasków drobnych). Południowa część charakteryzuje się występowaniem utworów przepuszczalnych położonych bezpośrednio pod warstwą gleby.

Północna (lewobrzeżna) strefa buforowa poligonu o szerokości 20 metrów porośnięta jest głównie mrozgą trzcinową *Phalaris arundinacea* z dużym udziałem pokrzywy zwyczajnej *Urtica dioica* – gatunku nitrofilnego. Zaobserwowana obecność czyścica błotnego *Stachys palustris* świadczy o gliniastym podłożu, na którym okresowo stagnuje woda. Natomiast południowa (prawo-



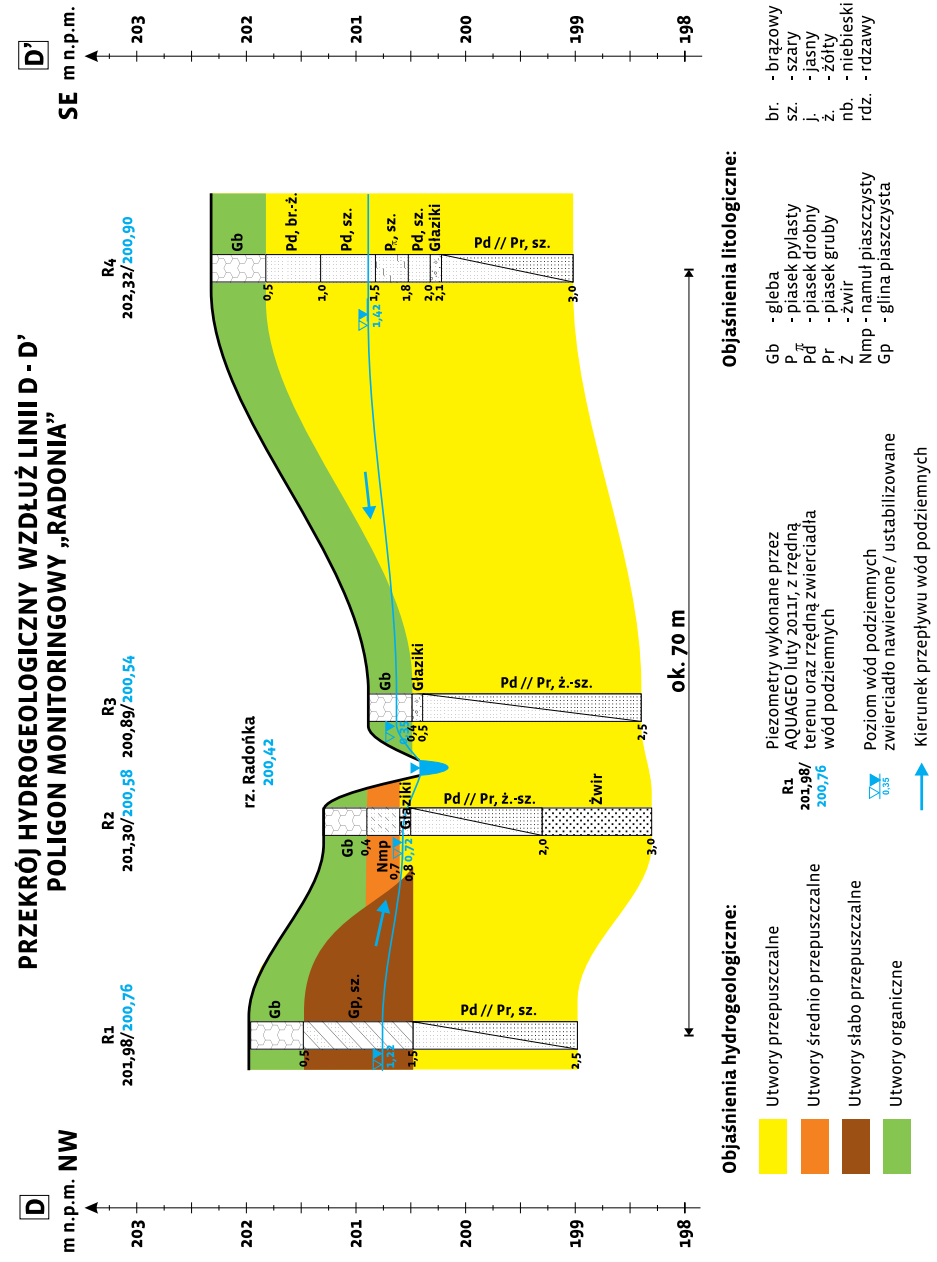
brzeżna), 45-metrowa strefa ekotonowa prezentuje typowy ekosystem ubogiej gatunkowo łąki świeżej z kostrzewą czerwoną *Festuca rubra* i śmiałkiem darniowym *Deschampsia caespitosa*.

W ramach prowadzonego w projekcie monitoringu efektywności stref ektonowych w oparciu o sieć piezometrów do poboru wód gruntowych - otrzymane wyniki potwierdzają istotny wpływ budowy geologicznej na efektywność występującej na niej strefy buforowej. Po stronie południowej strefy dobrze przepuszczalne utwory ułatwiają migrację zanieczyszczeń, zwłaszcza związków azotu. Średnioroczne stężenie azotanów w wodach pierwszej warstwy wodonośnej strefy w piezometrze zlokalizowanym tuż przy krawędzi pola uprawnego wynosiło ok. 100 mg/l. Natomiast po przeciwnej stronie rzeki, pomimo takiego samego nawożenia, zanieczyszczenie wód na polu było niższe i wynosiło tylko 43 mg/l. Powodem była warstwa gliny zalegająca pod warstwą próchniczną, która ograniczała infiltrację zanieczyszczeń w głąb profilu glebowego.

Jednocześnie warstwa trudno przepuszczalnej gliny ogranicza efektywność strefy buforowej, co potwierdziły dane z porównania stężeń mierzonych w wodzie podziemnej pobranej z piezometru usytuowanego na skraju strefy buforowej ze stężeniem odnotowanym w piezometrze na polu. W przypadku strefy o podłożu gliniastym odnotowano przyrost stężenia azotanów o 7%. Natomiast 45-metrowa łąka leżąca na podłożu piaszczystym, w tym samym okresie monitoringowym, wykazała efektywność w usuwaniu azotanów na poziomie 97%.

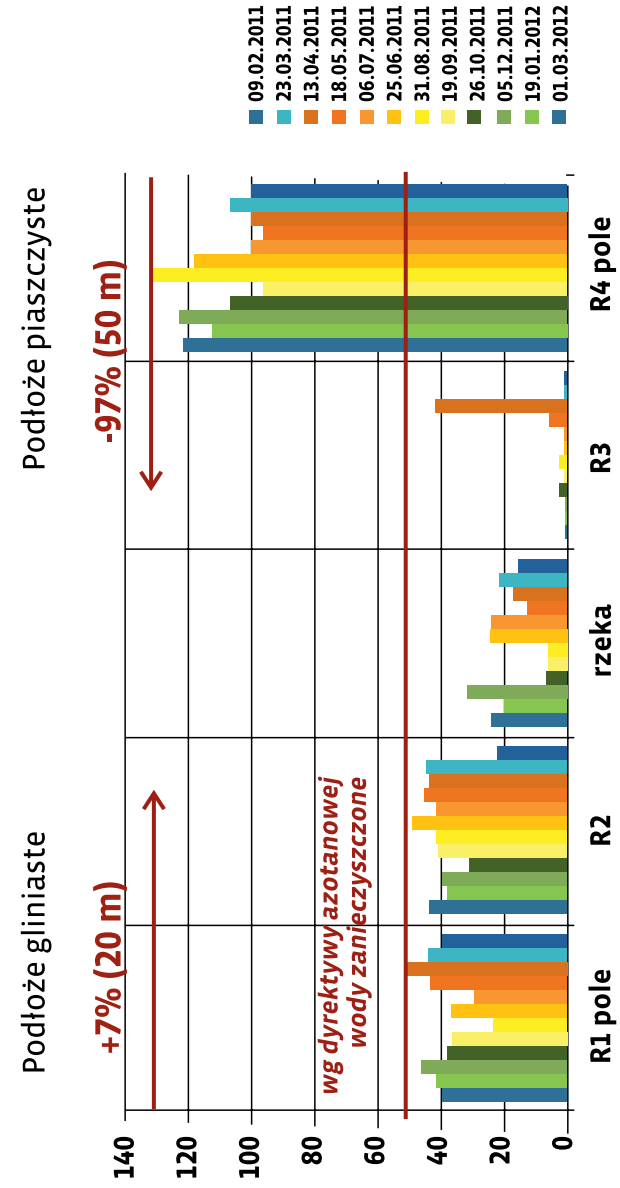


Południowa strefa buforowa (szeroka łąka z pasem ziołorośli) oraz północna strefa buforowa (pas ziołorośli), poligon Radońka



Przekrój hydrogeologiczny na poligonie Radonia, Źródło: Aquageo 2011

Stężenie azotanów w wodzie gruntowej [mg NO₃/l]



Zależność efektywności strefy buforowej w usuwaniu azotanów z płytkich wód podziemnych od budowy geologicznej

Efektywność strefy w zależności od jej szerokości

Strefę ekotonową na poligonie monitoringowym LIFE+ EKOROB Tresta stanowi pas łąki o szerokości 47 metrów oddzielający pole uprawne od rzeki Strugi, która uchodzi bezpośrednio do Zbiornika Sulejowskiego.

Poligon Tresta położony jest na dobrze przepuszczalnych utworach, w skład których wchodzi głównie holocenijskie piaski i żwiry rzeczne. Jedynie w bezpośrednim sąsiedztwie rzeki jako następstwo procesów sedymentacyjno-erozyjnych rzeki, pod warstwą wierzchnią zalegają soczewki utworów organicznych – torfów.

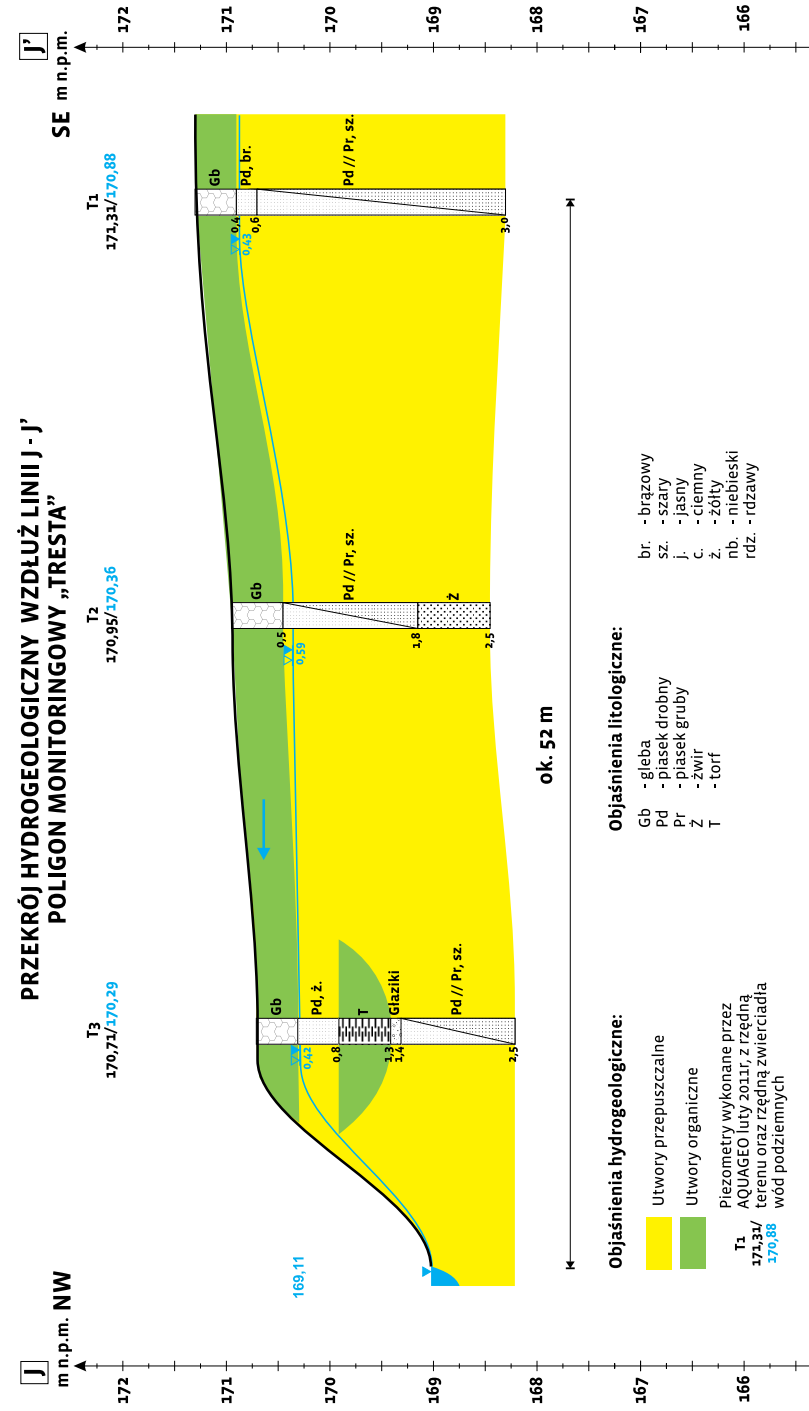
Strefę buforową w tym przypadku stanowi łąka świeża z dużym udziałem traw, przede wszystkim kostrzewy łąkowej *Festuca pratensis* i życicy trwałej *Lolium perennei*.

Przeprowadzone badania monitoringowe wykazały wysoką efektywność strefy dochodzącą do 98% redukcji stężenia azotanów w wodzie podziemnej po przejściu przez strefę, przy średnim stężeniu dopływającym z pola na poziomie 14 mg/l. Istotne jest, że już na pierwszych 20 metrach szerokości strefy uzyskano 79% redukcję.



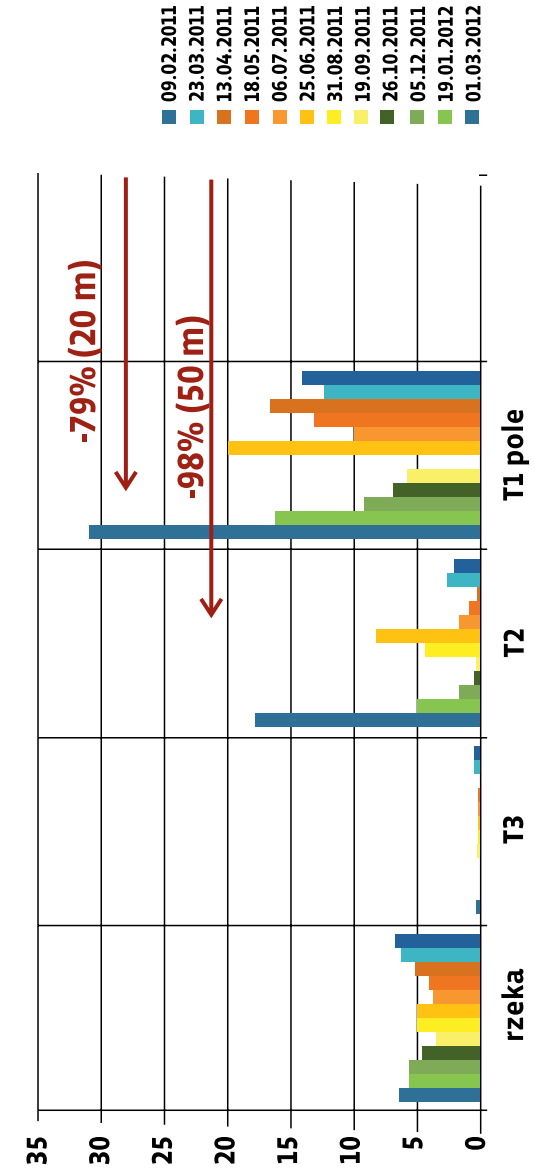
Strefa buforowa na poligonie Tresta

PRZEKRÓJ HYDROGEOLOGICZNY WZDŁUŻ LINII J - J'
POLIGON MONITORINGOWY „TRESTA”



Przekrój hydrogeologiczny na poligonie Tresta. Źródło: Aquageo 2011

Stężenie azotanów w wodzie gruntowej [mg NO₃/l]



Efektywność strefy buforowej w usuwaniu azotanów z płytkich wód podziemnych

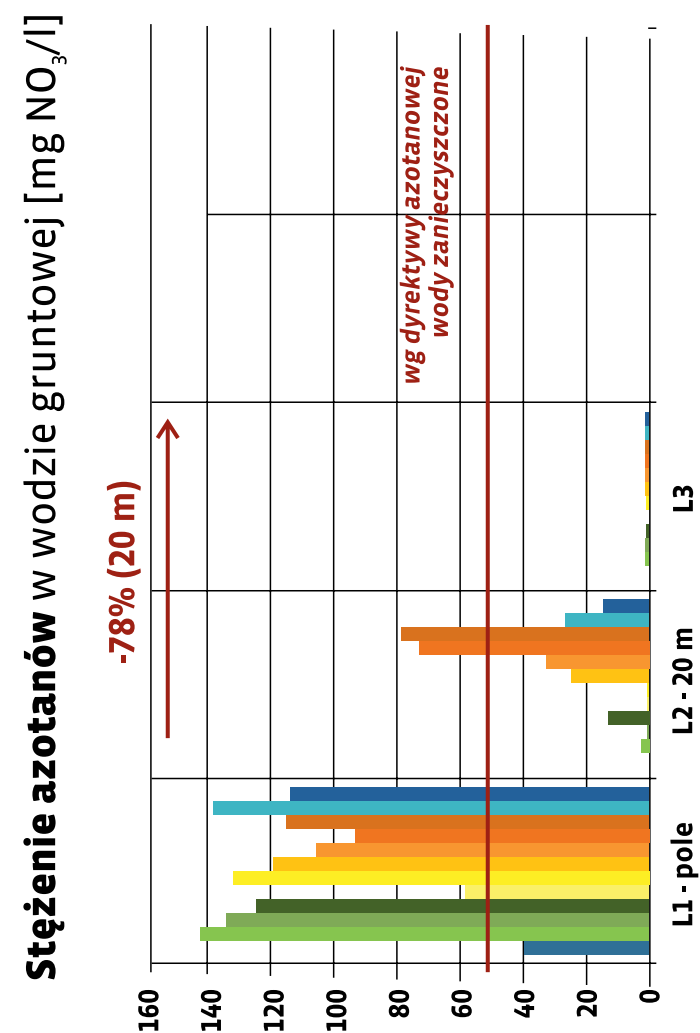
Przykład 25-metrowej łąki jako efektywnej strefy buforowej w redukcji wysokich stężeń azotanów w wodzie podziemnej

W obszarze poligonu monitoringowego LIFE+ EKOROB Kłudzice zlokalizowanego na terasie rzecznej Luciąży badano strefę buforową o szerokości 25 metrów, ograniczoną od północy polem uprawnym, a od południa rowem melioracyjnym

Podłoże geologiczne poligonu Kłudzice zbudowane jest w przeważającej części z holocenijskich i plejstocenijskich piasków różnej granulacji oraz głębiej zalegających żwirów.

Skład gatunkowy strefy buforowej stanowi uboga gatunkowo łąka świeża z pojedynczymi gatunkami siedlisk wilgotniejszych (np. turzycy zaostrojonej *Carex gracilis*), które mogą świadczyć o okresowym, krótkotrwałym podtopieniu płątów.

Monitorowana strefa buforowa wykazała wysoką efektywność w usuwaniu azotanów dochodzącą do 78% przy wysokich stężeniach azotanów wchodzących do strefy z pola (ok. 100 mg/l).



Efektywność strefy buforowej w usuwaniu azotanów z płytkich wód podziemnych



Strefa buforowa pomiędzy polem uprawnym a rowem melioracyjnym, poligon Kłudzice

9.2

Zastosowanie
wysokoefektywnych
stref ekotonowych
w celu
ograniczenia transferu
zanieczyszczeń obszarowych

Wysokoefektywne strefy ekotonowe zostały opracowane i wdrożone w ramach projektu LIFE+ EKOROB (www.ekorob.pl). W pierwszej fazie realizacji zidentyfikowano zagrożenia i wytypowano obszary w linii brzegowej Zbiornika Sulejowskiego o różnym charakterze dopływu zanieczyszczeń obszarowych, dla których następnie zaprojektowano strefy. Prace projektowe poprzedzone były wielowariantową analizą projektowanych rozwiązań uwzględniającą między innymi warunki hydrogeologiczne danego obszaru, jak również stopień zanieczyszczenia wód gruntowych i powierzchniowych w oparciu o ich roczny monitoring. Tak przeprowadzona analiza była konieczna, aby w efekcie prac zaprojektować rozwiązania w postaci wysokoefektywnych stref ekotonowych, w których roślinne strefy ekotonowe zostały dodatkowo wzmocnione poprzez skonstruowanie:

1) soczewek żwirowo-piaskowych oraz progów sedymentacyjnych w cieku transportującym znaczne ilości zawiesiny (poligon demonstracyjny Swolszewice),

2) ściany denitryfikacyjnej w obszarze, gdzie przeważającym zanieczyszczeniem był dopływ azotanów wodami podziemnymi wynikający z presji rolniczej (poligon demonstracyjny Barkowice Zatoka),

3) bariery biogeochemicznej w obszarze, gdzie dominujące zanieczyszczenie stanowił dopływ fosforanów w wodach wsięgowych i podziemnych wynikający z presji komunalnej (poligon demonstracyjny Zarzęcin).

Ważnym czynnikiem w trakcie opracowywania koncepcji wysokoefektywnych stref buforowych było uwzględnienie postulatu harmonizacji funkcjonowania ekosystemu z potrzebami społeczeństwa (Zalewski 2011).

Skonstruowane demonstracyjne strefy buforowe są przykładem multifunkcyjnej strefy, w której harmonizuje się działania podjęte na rzecz ochrony środowiska z potrzebami lokalnej społeczności, maksymalizując w ten sposób szanse rozwoju sołectwa. W strefy wkomponowano, między innymi, pomosty wędkarskie czy widokowy pomost pływający, które z jednej strony podnoszą potencjał turystyczny obszaru, z drugiej zaś zapobiegają wydeptywaniu i niszczeniu roślin w strefie buforowej przez wędkarzy, turystów czy cumujące łodzie. Wychodząc naprzeciw potrzebom społecznym, w Barkowicach wyznaczono i skonstruowano obszar do plażowania wyposażony w małą infrastrukturę turystyczną, która stała się atrakcyjnym miejscem o najwyższym potencjale do rozwoju turystyki weekendowej w cofce zbiornika. Jednocześnie podjęte działania pozwoliły na zogniskowanie ruchu turystycznego przy jednoczesnym zachowaniu mozaikowych stref buforowych, które w tym obszarze wykształciły się naturalnie.

Prace inwestycyjne przy budowie wysokoefektywnych stref na poligonach demonstracyjnych projektu prowadzone były w okresie 2012 – 2015. Przyjęte w projektach rozwiązania techniczne realizowane były zgodnie z koncepcją adaptacyjnego zarządzania (*Adaptive Assessment Management*), polegającą na etapowaniu wprowadzania proponowanych rozwiązań, obejmującą: wdrażanie, monitorowanie każdego etapu i ocenę jego efektywności, a w razie konieczności – wykonanie potrzebnych modyfikacji strefy podczas włączania inwestycji w system zarządzania wodą w zlewni (Holling 1994).

**Kształtowanie strefy ekotonowej ujściowego odcinka
Dopływu z Goleszy Dużych w celu ograniczenia
transportowanej zawiesiny do Zbiornika Sulejowskiego
Poligon demonstracyjny LIFE+ EKOROB Swolszewice**

Poligon demonstracyjny Swolszewice położony jest w zlewni Dopływu z Goleszy Dużych, który bezpośrednio zasila Zbiornik Sulejowski. Zbiornik charakteryzuje się zmiennym poziomem piętrzenia, wynikającym zarówno z zachodzących zjawisk hydrologicznych (powódzie i susze) w zlewni, jak i jego bieżącej eksploatacji. Powoduje to gwałtowne zmiany poziomu piętrzenia wody dochodzące nawet do 70 cm w zakresie rzędnych od 166,60 m n.p.m. do 165,90 m n.p.m.

Zmiany rzędnej piętrzenia obserwowane na zbiorniku silnie oddziałują na odcinek ujściowy Dopływu z Goleszy Dużych, co powoduje ciągle zmiany w charakter funkcjonowania tego obszaru. Przy rzędnej 166,60 m n.p.m. i wyższej obszar ujściowy stanowi cofkę, co powoduje, że w początkowej strefie odcinka ujściowego obserwowane są intensywne procesy sedymentacji. Natomiast gdy rzędna piętrzenia na zbiorniku jest poniżej 166,00 m n.p.m. strumień płynie zwartym nurtem aż do ujścia do zbiornika. Tak dynamiczne zmiany charakteru przepływu spowodowały wyeliminowanie roślinności w strefie brzegowej odcinka ujściowego, co doprowadziło do zamulenia skarp osadami, a w konsekwencji okresowego wzrostu ciśnienia spływowego – osuwanie się skarp.

Monitoring prowadzony na poligonie w Swolszewicach wykazał, że chociaż wody podziemne spełniają kryterium I klasy czystości, to jakość wód płynących w zakresie wskaźników charakteryzujących warunki biogeniczne nie spełnia kryterium dobrego stanu wód. Przede wszystkim okresowo

występowały wysokie stężenia fosforanów, które stymulują rozwój sinic. Istotnym elementem monitoringu były pomiary tempa sedymentacji w Dopływie z Goleszy, które wykazały, że średnie tempo sedymentacji materii w cieku jest na poziomie 0,89 kg s.m. osadu/m²/24h, a przy nawalnych opadach tempo sedymentacji wzrasta nawet do 14,9 kg s.m. osadu/m²/24h (Skłodowski 2015). Tak dynamicznie zachodzący proces wskazuje na konieczność podjęcia działań w celu ograniczenia transportu zawiesiny do części ujściowej strumienia.

Dlatego też głównym zadaniem zaprojektowanej strefy ekotonowej poligonu demonstracyjnego w miejscowości Swolszewice Duże była redukcja zanieczyszczeń dopływających do zatoki z wodami Dopływu spod Goleszy Dużych.

W celu ograniczenia ilości sedymentującej materii mineralnej i organicznej w obszarze ujściowym cieku zaprojektowano rozwiązania w postaci progów sedymentacyjnych z bystrotokiem zlokalizowane na odcinku cieku powyżej występowania cofki. Skoncentrowanie sedymentacji zawiesiny na progach ograniczyło w znacznym stopniu dalszy transport, a także ułatwiło jej usuwanie z cieku w trakcie prac utrzymaniowych.

Natomiast w dalszej części obszaru w obrębie doliny cieku na odcinku ujściowym występowania cofki przy rzędnej 166,60 m n.p.m. wykonano następujące prace ziemne:

1. Odmulono dno cieku, zaś wydobyty urobek rozplantowano na obszarach rolnych.
2. Odtworzono skarpy na obu brzegach cieku poprzez ich przeformowanie od krawędzi skarpy do nachylenia 1:3 oraz umocniono matami kokosowymi i faszyną. Zwiększyła się przez to o 70% efektywna powierzchnia strefy ekotonowej wzdłuż cieku. Wykonane umocnienie przeciwdziała również obrywaniu się

skarp podczas dynamicznych zmian piętrzenia wody na zbiorniku.

Ukształtowano soczewki żwirowo-piaskowe w celu zwiększenia efektywności procesu sedymentacji drobnej frakcji organicznej i jej mineralizacji.

3. W celu ograniczenia wypłukiwania osadów oraz rozmywania skarp odtworzono kinetę cieką na odcinku wahań lustra wody dla przepływów wód niskich przy wykorzystaniu kieszki faszynowej i iglastej. Takie uformowanie odcinka ujściowego ułatwia usuwanie materii organicznej podczas prac utrzymaniowych.

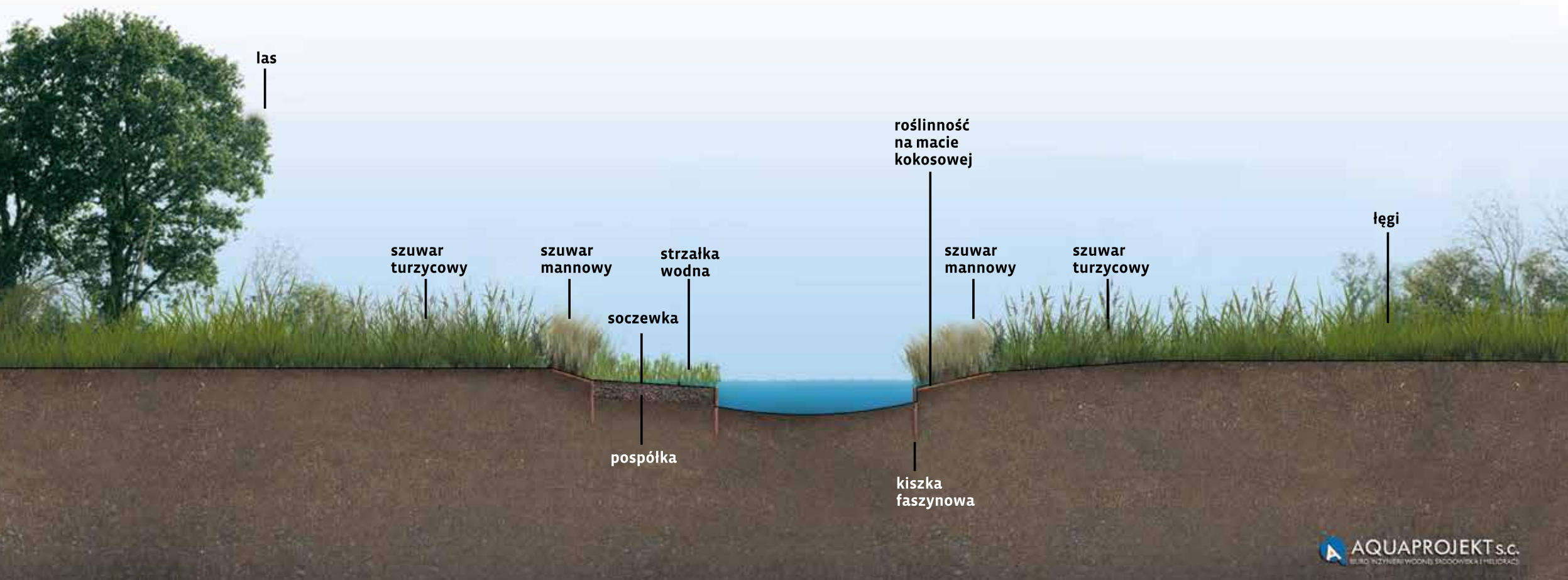
4. Na uformowanych skarpach od podstawy, tj. kinety cieką – wykonano nasadzenia:

- a) strzałki wodnej *Sagittaria sagittifolia* w obszarach intensywnej sedymentacji i mineralizacji,
- b) manny mielec *Glyceria maxima*, strzałki wodnej *Sagittaria sagittifolia* oraz żabiścieku pływającego *Hydrocharis morsus-ranae* na skarpie pomiędzy rzędą 166,1 m n.p.m. a rzędą 166,4 m n.p.m,
- c) gatunków związanych z szuwarem mannowym, przede wszystkim manny mielec *Glyceria maxima*, kosaćca żółtego *Iris pseudacorus* i mięty wodnej *Mentha aquatica* na skarpie pomiędzy rzędą 166,4 m n.p.m. a rzędą 166,6 m n.p.m.

Rozszerzenie obszaru nasadzeń roślinności na nowo uformowanych skarpach w odcinku ujściowym strumienia zwiększyło sedymentację oraz redukcję stężenia substancji pokarmowych w wodzie odpływającej ze strefy. Ponadto dodatkowa powierzchnia biofiltracji stabilizuje osad i ogranicza uwalnianie się ładunku wewnętrznego z odcinka ujściowego cieką do zbiornika.



Koncepcja ukształtowana strefy ekotonowej na obszarze ujścia Dopływu z Goleszy Dużych do Zbiornika Sulejów



Profil poprzeczny przez strefę ekotonową na odcinku ujściowym Dopływu z Goleszy Dużych





Namuły w dnie cieków widoczne przy niskiej rzędnej piętrzenia zbiornika, stan przed rozpoczęciem prac



Prace ziemne w trakcie odtwarzania skarp oraz kinety cieków



Ukształtowane soczewki żwirowo-piaskowe w celu zwiększenia procesu mineralizacji (fot. górna). Dodatkowo w celu usprawnienia komunikacji rekreacyjnej wzdłuż zbiornika zainstalowano nad ciekami kładkę dla pieszych (fot. dolna) (jesień 2012)



Nasadzenia w obszarze strefy intensywnej sedymentacji i mineralizacji (wiosna 2013)



Skonstruowane progi sedymentacyjne na Dopływie z Goleszy Dużych powyżej cofki



Nasadzenia w obszarze skarp umocnionych matą kokosową (wiosna 2013)



Widok na odcinek ujściowy Dopływu z Goleszy Dużych do zbiornika (czerwiec 2014)

Roślinna strefa buforowa wzmocniona ścianą denitryfikacyjną w celu ograniczenia zanieczyszczeń azotanowych

Poligon demonstracyjny LIFE+ EKOROB Barkowice Zatoka

Poligon demonstracyjny LIFE+ EKOROB Barkowice Zatoka zlokalizowany jest w linii brzegowej cofki Zbiornika Sulejowskiego na wysokości miejscowości Barkowice. Obszar ten chętnie odwiedzany przez turystów i wędkarzy, w chwili rozpoczęcia realizacji projektu nie miał charakteru naturalnego, a pokrywa roślinna była zniszczona przez biwakujących i przechodzących turystów oraz w wyniku ruchu kołowego wzdłuż brzegu zbiornika.

Budowa geologiczna obszaru poligonu Barkowice Zatoka to przede wszystkim piaski różnej granulacji, a ukształtowanie terenu w formie skarpy w połączeniu z dobrymi parametrami filtracyjnymi pierwszej warstwy wodonośnej sprzyja migracji zanieczyszczeń z obszarów użytkowanych rolniczo w kierunku zbiornika. Zgodnie z kryteriami zawartymi w Dyrektywie Rady 91/676/EWG z dnia 12 grudnia 1991 roku dotyczącej ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego – wody podziemne na poligonie Barkowice Zatoka zakwalifikowano jako wody zanieczyszczone, ponieważ stężenia azotanów przekraczają wartość $50 \text{ mg NO}_3/\text{l}$, a najwyższe jakie odnotowano w sieci piezometrów zamontowanych na tym obszarze osiągnęło wartość $362 \text{ mg NO}_3/\text{l}$. Przyczyną złej jakości wód podziemnych na poligonie Barkowice Zatoka jest dopływ zanieczyszczeń systemami drenarskimi z pól uprawnych położonych na północ i północny zachód od sołectwa, których odpływ skierowany jest przez studzienki rewizyjne do zatoki zbiornika. Dodatkowo brak kanalizacji oraz nieuporządkowana gospodarka wodno-ściekowa w miejscowości Barkowice również wpływa niekorzystnie na stan jakości wód podziemnych.

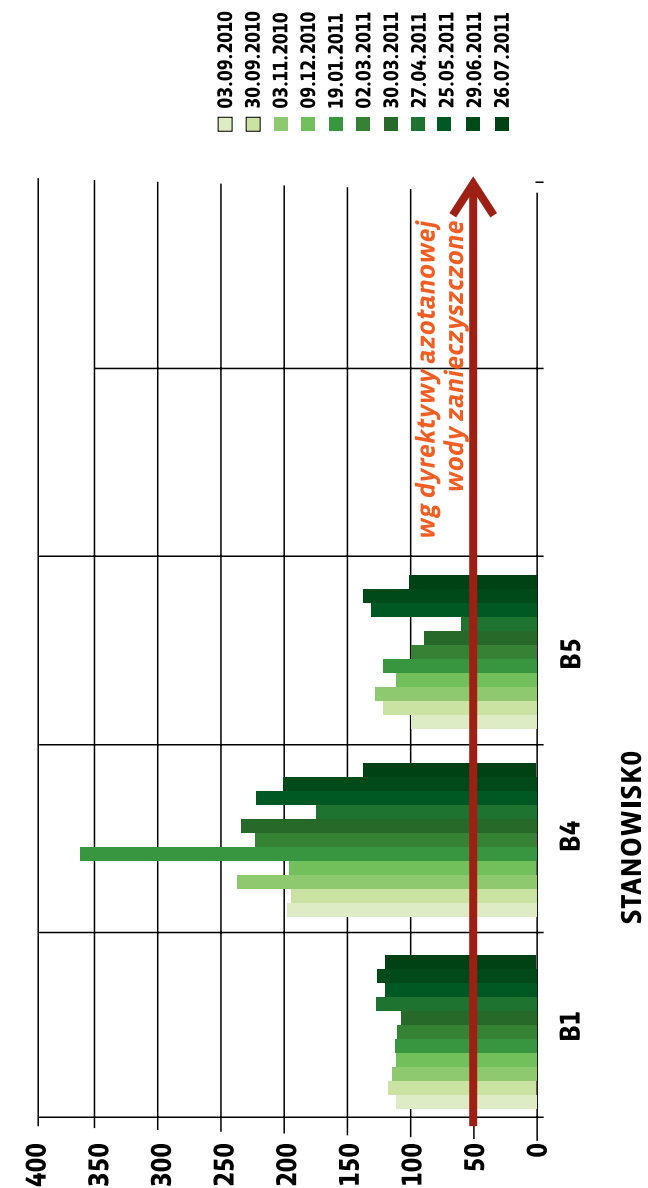
W celu ograniczenia wysokich stężeń azotanów w wodach podziemnych zaprojektowano rozwiązania oparte na wzmocnieniu zdegradowanej roślinnej strefy ekotonowej ścianą denitryfikacyjną. Takie systemowe rozwiązanie w postaci wysokoefektywnej strefy ekotonowej ma na celu redukcję stężenia azotanów rozpuszczonych w wodzie dopływającej do strefy, które podczas przepływu przez ścianę ulegają denitryfikacji do form gazowych. Ściana denitryfikacyjna została skonstruowana poprzez wykopanie rowu w ziemi o szerokości ok. 1 m i zmiennej, w zależności od warunków geologicznych, głębokości 1,5-1,7 m, na długości ok. 100 m prostopadle do kierunku przepływu wód gruntowych. Ziemię z rowu przed powtórным zasypaniem wymieszano z trocinami sosnowymi w proporcji 70:30. Lokalizacja ściany została wytyczona w osi istniejącego ciągu komunikacyjnego wzdłuż linii brzegowej zatoki i po zakończeniu prac ziemnych obszar ten stanowi nadal pieszo-rowerowy ciąg komunikacyjny dla turystów i mieszkańców.

W trakcie projektowania nasadzeń uwzględniono potrzeby siedliskowe poszczególnych roślin, a przede wszystkim ich odporność na zmienne warunki hydrologiczne w wyniku zalewania. Dobór gatunków oparto na składzie gatunkowym zbiorowisk występujących w strefie brzegowej Zbiornika Sulejowskiego, tak aby podtrzymać ciągłość szaty roślinnej ukształtowanej przez naturalne procesy. Nasadzenia roślinne obejmowały gatunki szuwaru: mozgowego, mannowego i trzcinowego. Dodatkowo strefę roślinną zabezpieczono przed niszczeniem poprzez zainstalowanie barier ochronnych, a w celu ograniczenia bezpośredniej presji przez turystów i wędkarzy, skonstruowano trzy pomosty wędkarsko-widokowe.

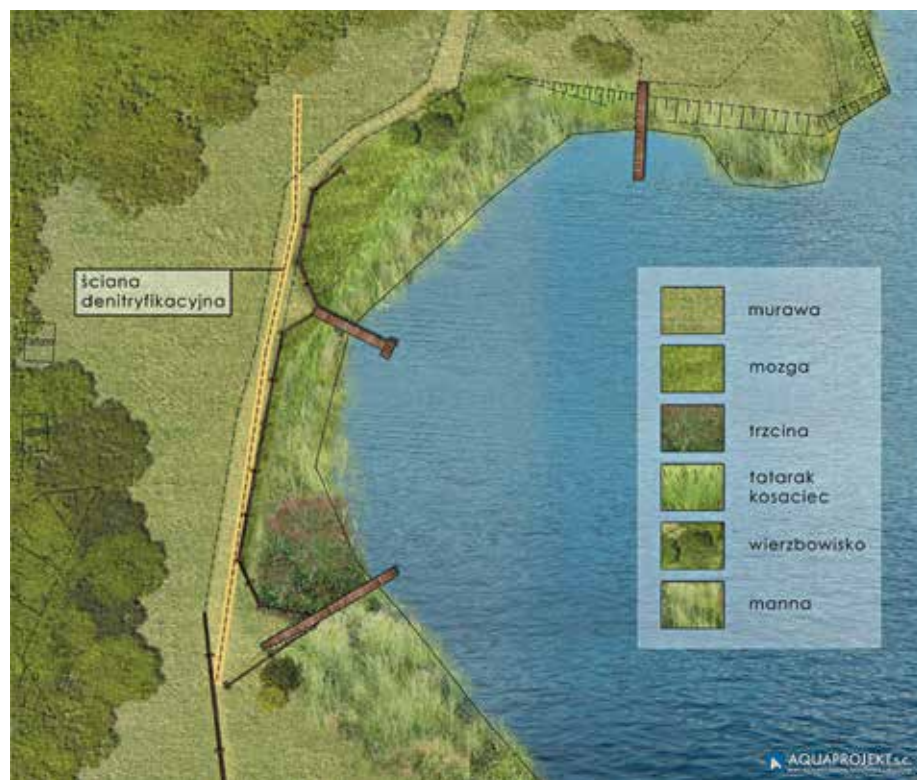


Widok na sołectwo Barkowice i obszar przyległy do poligonu Barkowice (M. Szelest, udostępnione przez Gminę Sulejów)

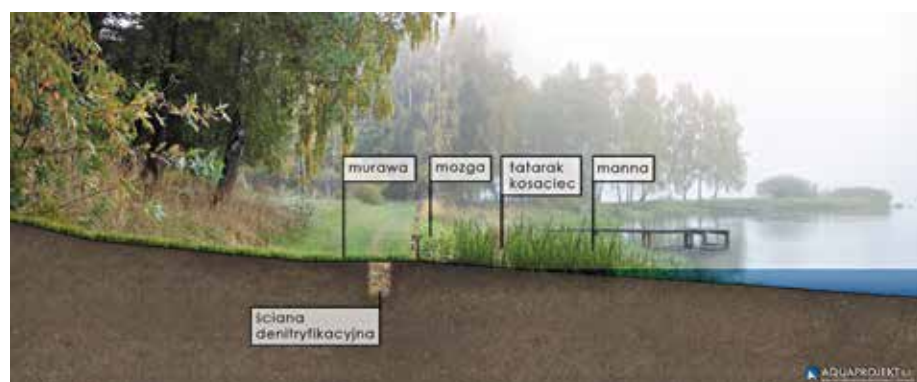
Stężenie azotanów w wodzie gruntowej [mg NO₃/l]



Stężenie azotanów w wodach gruntowych odnotowane w trakcie monitoringu stanu wód jako punkt wyjścia do opracowania koncepcji wysokoefektywnej strefy ekotonowej dla obszaru Barkowice Zatoka



Koncepcja wysokoefektywnej strefy ekotonowej: wzmocnienie roślinnej strefy buforowej przez wykonanie ściany denitryfikacyjnej na poligonie demonstracyjnym Barkowice Zatoka



Przekrój przez wysokoefektywną strefę ekotonową na poligonie demonstracyjnym Barkowice Zatoka



Prace ziemne w trakcie konstruowania ściany denitryfikacyjnej



Nasadzenia: na pierwszym planie mozga trzciniowata, głębiej manna mielec (fot. wyżej), nowo nasadzone gatunki tworzące szuwar mannowy: manna mielec, kosaciec żółty, tatarak zwyczajny (fot. niżej).



Widok na poligon demonstracyjny Barkowice Zatoka: po skonstruowaniu ściany denitryfikacyjnej wiosną 2012 oraz w okresie letnim 2015



Pomosty rekreacyjne na poligonie Barkowice Zatoka



Roślinna strefa buforowa wzmocniona barierą na bazie wapienia w celu ograniczenia zanieczyszczeń fosforanowych

Poligon demonstracyjny LIFE+ EKOROB Zarzęcin

Poligon demonstracyjny LIFE+ EKOROB Zarzęcin zlokalizowany jest w zlewni bezpośredniej Zbiornika Sulejowskiego w miejscowości Zarzęcin, zaś w jego bezpośrednim sąsiedztwie znajduje się zwarta zabudowa letniskowa. Poligon znajduje się w bardzo wyraźnej formie erozyjnej – suchej dolinie V-kształtnej prowadzącej wodę okresowo, po większych opadach oraz w trakcie roztopów.

Budowa hydrogeologiczna poligonu wskazuje na warstwowe ułożenie utworów przepuszczalnych na utworach średnio i słabo przepuszczalnych, co powoduje koncentrację zanieczyszczeń w pierwszej warstwie wodonośnej i ogranicza migrację do warstw niżej położonych. Według wartości granicznych

zawartych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych (Dz. U. Nr 143, poz. 896), średnie stężenie fosforanów wynoszące 5,5 mg PO₄/l klasyfikuje wody podziemne na poligonie demonstracyjnym Zarzęcin do IV klasy czystości.

Wysokie zanieczyszczenie wód podziemnych jest dodatkowo niebezpieczne ze względu na odnotowane wysięki wód podziemnych w dolinie okresowo pojawiającego się ciek, mającego ujście bezpośrednio do zbiornika. Dodatkowo proces ten zaobserwowano wzdłuż linii brzegowej zatoki przy niskiej rzędnej piętrzenia zbiornika poniżej 165,90 m n.p.m. Zawartość fosforanów w wodach wysiękowych dwunastokrotnie przekraczała wartość krytyczną dla występowania toksycznych zakwitów sinicowych. Analizowany chemizm wód na tym obszarze pozwala przypuszczać, że główną przyczyną złej jakości wód są ścieki komunalne odprowadzane z zabudowy rekreacyjnej i jednorodzinnej przedostające się do gruntu w wyniku nieszczelnych szamb lub wylewania na grunty orne.

Głównym zadaniem zaprojektowanej i wykonanej w ramach projektu EKOROB strefy ekotonowej poligonu demonstracyjnego w miejscowości Zarzęcin była redukcja zanieczyszczeń dopływających do zatoki z wodami okresowo występującego ciek, tj. wodami burzowymi z terenów przyległych do zatoki, a także z wodami wysiękowymi pojawiającymi się w dolinie ciek, oraz wzdłuż linii brzegowej.

Podczas prac ziemnych ukształtowano dolinę ciek, poprzez jej odmulenie, a następnie odtworzono i umocniono skarpy przez wykonanie podbicia z kieszki faszynowej. Pogłębienie doliny odsłoniło wychodnie warstwy wodonośnej, co umożliwiło swobodny wypływ zanieczyszczonych wód podziemnych ze skarpy, które następnie zostają przechwycone i podczyszczone w strefie biofiltracji odcinka ujściowego. Strefa biofiltracji powstała poprzez nasadzenia

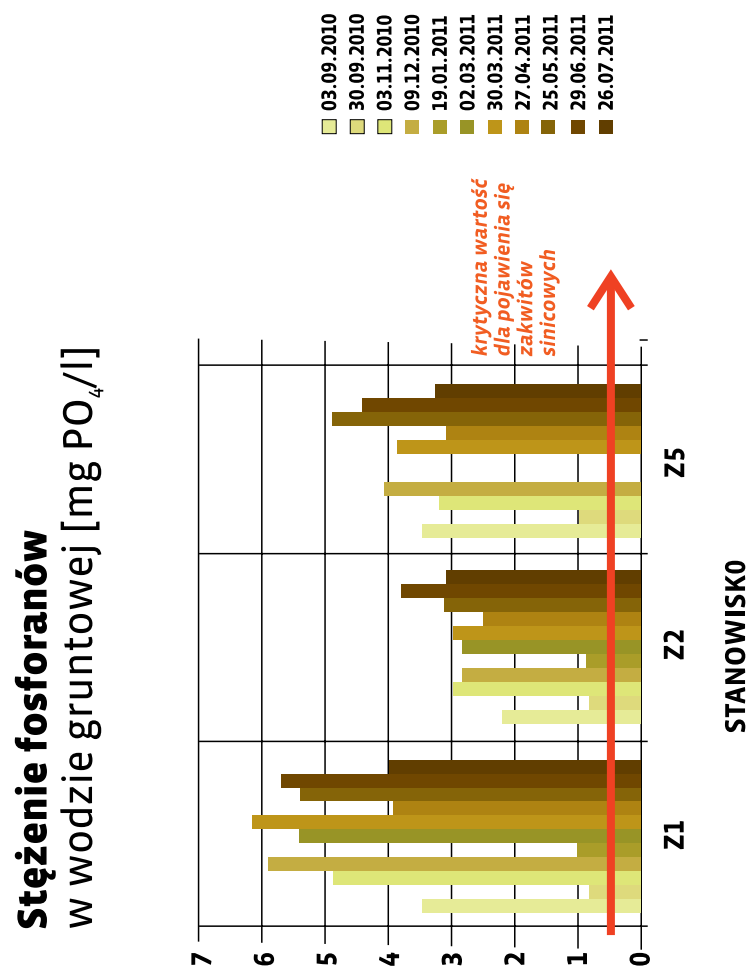
roślin w dnie doliny oraz na jej skarpach. W trakcie sezonu wegetacyjnego rośliny pobierają azot i fosfor, a poprzez wbudowywanie ich w swoje tkanki przyczyniają się do oczyszczenia wód podziemnych i powierzchniowych.

W celu redukcji związków fosforu na ujściu do zbiornika, na wysokości „dzikiej ścieżki”, została wykonana bariera biogeochemiczna poprzez wykopanie rowu w dnie doliny o szerokości 1,5 m oraz wypełnieniu go kamieniem wapiennym w otulinie z geowłókniny. Na wykonanej barierze, na powierzchni terenu, umieszczono gabiony wypełnione mieszaniną wapienia i dolomitu, na których uformowano przejście dla pieszych. W trakcie przepływania wód przez barierę zostaje wzmocniony naturalnie zachodzący w środowisku proces, jakim jest wytrącanie rozpuszczonych jonów fosforanowych z jonami wapnia i tworzenie nierozpuszczalnych fosforanów wapnia. Jednocześnie bariera podpiętrza wodę w strefie biofiltracji, przez co proces zachodzi intensywniej oraz przyczynia się do wydłużenia czasu przepływu wód przez strefę.

Natomiast w ramach prac ziemnych w obrębie zatoki odtworzono linię brzegową przez uformowanie skarpy zabezpieczonej płótkami faszynowymi, a na odtworzonej skarpie wykonano nasadzenia roślin, w tym: kosaćca żółtego *Iris paeudacorus*, mozgi trzcinowatej *Phalaris arundinacea*, trzciny pospolitej *Phragmites australis*, a także oczeretu jeziornego *Scirpus lacustris* oraz manny mielec *Glyceria maxima*. Średnia gęstość nasadzenia wynosiła 25 szt./m².

Ze względu na wysokie stężenia fosforanów w wodach wysiękowych i podziemnych strefę roślinną wzmocniono wzdłuż linii brzegowej na długości 55 m narzutem kamienia wapienno-dolomitowego na geowłókninie stabilizowanego kieszką faszyną, który będzie z jednej strony adsorbował związki fosforu, a z drugiej strony chronił przed rozmyciem skarpy.

Dla zachowania funkcji turystycznej obszaru zatoki w strefę wkomponowano pomost, który składa się z modułów pływających o wymiarach 12 m x 2,4 m oraz 3 trapów umożliwiającą komunikację z brzegiem. Pomost, poza funkcją rekreacyjną, pełni również rolę falochronu dla roślinności nadbrzeżnej.



Stężenie fosforanów w wodach gruntowych odnotowane w trakcie monitoringu stanu wód jako punkt wyjścia do opracowania koncepcji wysokoefektywnej strefy ekotonowej dla poligonu Zarzęcin



Kształtowanie doliny okresowego cieku (fot. wyżej), dolina po odmuleniu i wzmocnieniu fasznaną; na pierwszym planie nasyp wapienny zabezpieczający ścianę denitryfikacyjną (fot.niżej)



Konstruowanie bariery biogeochemicznej na odcinku ujściowym cieku (fot. lewa górna)
Ścieżka dla pieszych na barierze biogeochemicznej oraz nasadzenia w dolinie cieku - widok po zakończeniu prac czerwiec 2012 (fot.prawa) oraz późnym latem sierpień 2012 (fot. dolna)



Odtworzenie skarpy brzegu i umocnienie jej przez płotki faszynowe wypełnione kamieniem wapienno-dolomitowym przy różnym poziomie piętrzenia zbiornika



Strefa ekotonowa wzdłuż linii brzegowej, lato 2014



Pomost pływający na poligonie Zarzęcin

9.3

Zastosowanie
sekwencyjnych
systemów sedymentacyjno
-biofiltracyjnych
w celu podczyszczenia
wód płynących
i wód opadowych
w obszarach wiejskich

Sekwencyjny System Sedymentacyjno-Biofiltracyjny na Dopływie z Goleszy Dużych dla podczyszczenia wód i ochrony Zbiornika Sulejowskiego Poligon demonstracyjny LIFE+ EKOROB Swolszewice

Zlewnia Dopływu z Goleszy Dużych, czyli całość obszaru, z którego wody spływają do jednego punktu danej rzeki, ma charakter rolniczo-leśny z nasilającym się procesem zabudowy jednorodzinnej. System rzeczny zlewni tworzą Dopływ z Goleszy Dużych o długości 4,72 km oraz jego prawobrzeżny dopływ – Ciek z Leonowa o długości 3,11 km. Powierzchnia całkowita zlewni wynosi 7,10 km², w tym zlewnia Cieku z Leonowa zajmuje 2,66 km². Ważnym elementem sieci rzecznej zlewni w aspekcie jakości odpływających wód jest system rowów melioracyjnych.

Ze względu na zachodzące zmiany zagospodarowania przestrzennego na obszarze zlewni w postaci intensywnie rozwijającej się zabudowy jednorodzinnej i postępującym z nią uszczelnieniem powierzchni będzie intensyfikowało się zjawisko erozji. Wzrost spływu powierzchniowego będzie skutkował zwiększeniem ilości materii zawieszanej transportowanej ciekami. Ponadto prowadzone w ramach projektu LIFE+ EKOROB badania nad jakością wód cieków wskazały okresowe występowanie wysokich stężeń fosforanów w wodach płynących, które zasilają zatokę Zbiornika Sulejowskiego. Jednocześnie monitoring przepływu wód wykazał istotny wzrost amplitudy stanów wysokich, co negatywnie wpływa na procesy samooczyszczania cieków.

W celu redukcji zanieczyszczeń dopływających do zatoki Zbiornika Sulejowskiego z wodami Dopływu z Goleszy Dużych, głównie zawiesiny oraz fosforanów, skonstruowano sekwencyjny system sedymentacyjno-biofiltracyjny. System składa się z trzech stref. Są to:

1. Strefa sedymentacji zbudowana w celu ograniczenia transportu zawiesiny mineralnej i organicznej ze zlewni cieków z Goleszy Dużych do Zbiornika Sulejowskiego. Dla prawidłowego funkcjonowania systemu konieczne jest usunięcie zgromadzonego materiału poprzez odmulanie części sedymentacyjnej co najmniej 2 razy do roku: wiosną po zejściu pokrywy śnieżnej oraz jesienią.

2. Strefa geochemiczna, której głównym celem będzie redukcja stężenia fosforanów w wodzie. W trakcie przepływu wód przez barierę skonstruowaną z gabionów wypełnionych mieszanką kamienia wapienno-dolomitowego wzmocniony zostanie naturalnie zachodzący w środowisku proces, jakim jest adsorpcja oraz strącanie fosforu z jonami wapnia i tworzenie nierozpuszczalnych fosforanów wapnia.

3. Strefa biofiltracji, w której zostanie wykorzystany proces retencji fosforu i azotu w tkankach roślin. W celu wykorzystania zdolności biofiltracyjnych roślin przygotowano podłoże żwirowo-piaskowe ze zmiennym gradientem głębokości, a następnie na tak uformowanej powierzchni wykonano nasadzenia roślin wodnych: manny mielec *Glyceria maxima*, tataraku zwyczajnego *Acorus calamus*, kosaćca żółtego *Iris pseudacorus* oraz trzciny pospolitej *Phragmites australis*. W celu usunięcia zakumulowanych w tkankach związków biogenicznych konieczne jest wykaszanie roślin oraz usuwanie wykoszonej biomasy z systemu po sezonie wegetacyjnym. Działanie to ma na celu ograniczenie uwalniania związków azotu i fosforu w trakcie zimy wskutek rozkładu roślin.

Zastosowanie sekwencyjnego systemu sedymentacyjno-biofiltracyjnego do ujęcia wód opadowych, ich podczyszczenia oraz odprowadzania do Zbiornika Sulejowskiego

Poligon demonstracyjny LIFE+ EKOROB Barkowice Łąka

Zmieniający się klimat, a wraz z nim ekstremalne zjawiska pogodowe, w tym intensywne opady deszczu, oraz powodowane przez nie zagrożenia stają się coraz powszechniejsze w otaczającym nas krajobrazie. Rozwijający się obszar sołectwa Barkowice w zakresie zabudowy zagrodowej powoduje przyrost powierzchni uszczelnionej w obszarze gospodarstw w postaci połąci dachowej czy uszczelnionej powierzchni podwórek, jak też w obszarze infrastruktury drogowej - nowe drogi i chodniki. Zastępowanie powierzchni ogrodów, trawników i dróg szutrowych kostką brukową lub asfaltem powoduje drastyczny wzrost współczynnika spływu powierzchniowego nawet o 100% i spowodowany tym zwiększony odpływ wód w kierunku Zbiornika Sulejowskiego.

Wartości współczynników spływu wg PN-92/B-01707

Charakter zlewni	Współczynnik spływu
Tereny niezabudowane	0,10 - 0,25
Zabudowa zwarta	0,50 - 0,70
Dachy o nachyleniu powyżej 15°	1,00
Dachy o nachyleniu poniżej 15°	0,80
Nawierzchnia asfaltowa	0,80 - 0,90
Kostka brukowa	0,80 - 0,85
Chodniki pokryte płytami	0,60
Chodniki niepokryte płytami, podwórza i aleje	0,50
Nawierzchnie tłuczniowe	0,25 - 0,60
Nawierzchnie żwirowe	0,15 - 0,30
Zieleń, ogrody	0,10 - 0,15
Parki	0,05

Sekwencyjny System Sedymentacyjno-Biofiltracyjny zlokalizowany na Dopływie z Goleszy Dużych (wizualizacja)

Wody opadowe z odcinka drogi i chodnika o długości około 850 m w Barkowicach oraz fragmentu drogi o długości około 200 m z Barkowic Mokrych do Murowańca spływały dotychczas powierzchniowo do Zalewu Sulejowskiego. Zwarta zabudowa jednorodzinna, uszczelnione powierzchnie posesji oraz duży spadek terenu wynoszący na tym odcinku drogi średnio około 15 ‰, powoduje szybki spływ wód opadowych, związaną z tym silną erozję i przemieszczanie znacznych ilości zawiesiny mineralnej (głównie piasku) do Zbiornika Sulejowskiego powodując pogorszenie jakości wód w strefie przybrzeżnej zbiornika.

Dlatego też w ramach projektu EKOROB opracowano metodę ujęcia i podczyszczenia wód opadowych w sekwencyjnym systemie sedymentacyjno-biofiltrującym, który składa się z następujących elementów technologicznych:

- 1) kratki odpływowej i studzienki sedymentacyjnej,
- 2) rurociągu podziemnego ze studzienką sedymentacyjno-filtracyjną,
- 3) wylotu i otwartego rowu infiltracyjnego wyłożonego kamieniem dolomitowym,
- 4) strefy geochemicznej zbudowanej z niecki oraz gabionów wypełnionych kamieniem łamanym dolomitowym,
- 5) strefy biofiltracji.

Ujęcie wód opadowych spływających z utwardzonej nawierzchni drogi odbywa się usytuowanym w jezdni korytkiem odwodnienia liniowego AS300, zbudowanym z elementów o wymiarach 393 × 525 mm. Pod kratką odpływową zlokalizowana jest prostokątna studzienka AS-ST300 o wymiarach 675 mm x 393 mm, w której woda zostaje wstępnie podczyszczona w wyniku sedymentacji zawiesiny mineralnej. Następnie podziemnym rurociągiem PVC o średnicy 315 mm woda przepływa do studzienki sedymentacyjno-filtracyjnej. Studzienka

o przekroju \varnothing 1000 mm jest studzienką przepływową z funkcją sedymentacji zawiesiny organicznej oraz dodatkowo ma możliwość instalacji złożów w celu inaktywacji fosforu. Ze studzienki po wysedymentowaniu zawiesiny i przejściu przez złożo woda odpływa rurociągiem podziemnym w kierunku wylotu.

Na 80 metrze podziemnego rurociągu zlokalizowany jest wylot, którym woda przedostaje się do rowu infiltracyjnego wyłożonego tłuczniem dolomitowym. Na odcinku 45 metrów woda płynąc swobodnie ulega oczyszczaniu, a także częściowej infiltracji do gruntu. Dzięki dolomitowi zawierającemu duże ilości węgla wapnia, w trakcie przepływu przez rów odpływowy, nieckę i przegrodę gabionową następuje wychwytywanie i blokowanie fosforu.

Tak podczyszczona woda odprowadzana jest poprzez strefę biofiltracji do Zbiornika Sulejowskiego. Strefa biofiltracji została zaprojektowana tak, aby wykorzystać naturalnie wykształcone zbiorowisko roślinne występujące w pasie przybrzeżnym, w skład którego wchodzi szuwały turzycy zaostrej *Carex gracilis*, manny mielec *Glyceria maxima* oraz pałki szerokolistnej *Typha latifolia*. Po zakończeniu sezonu wegetacyjnego zakumulowany w tkankach roślin azot i fosfor będzie usuwany ze strefy poprzez wykaszanie roślin oraz usuwanie wykoszonej biomasy.



Obszar zlewni, z którego wody opadowe spływają do SSSB



Efekt niekontrolowanego spływu powierzchniowych wód opadowych



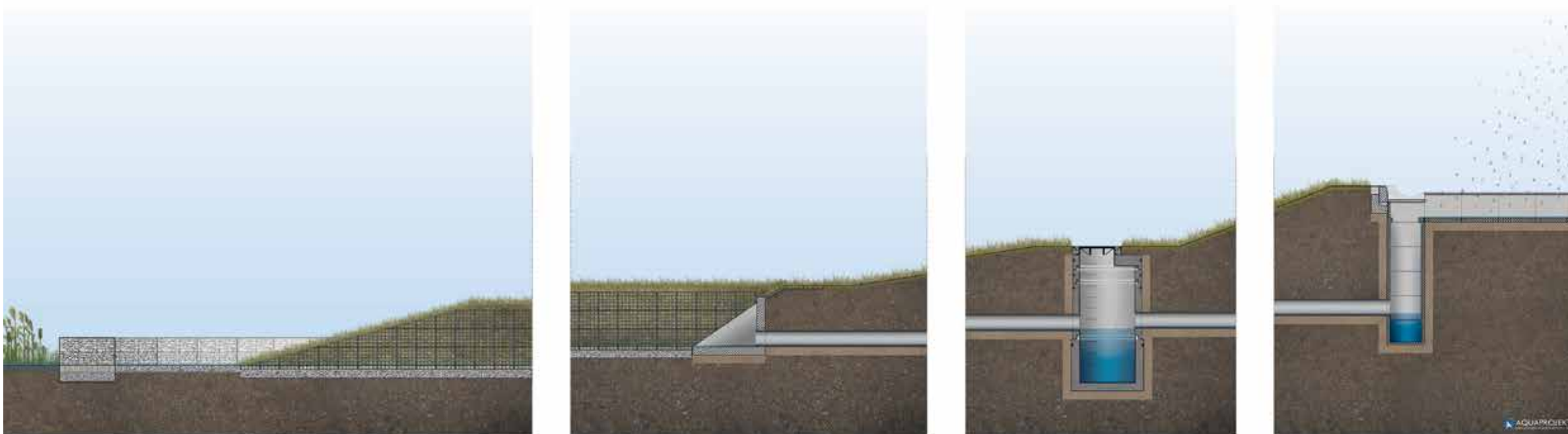
Kratka odpływowa wraz z zainstalowaną w dnie studzienką sedymentacyjną



Kratka odpływowa wraz z zainstalowaną w dnie studzienką sedymentacyjną (fot. lewa), odcinek podziemny systemu ze studzienką sedymentacyjno-filtracyjną (fot. prawa)



Wylot oraz rów infiltracyjny (fotografie z lewej strony) oraz niecka i przegroda gabionowa wyłożone kamieniem wapienno-dolomitowym, w tle strefa biofiltracyjna (fot. prawa)



Ujęcie i podczyszczenia wód opadowych odprowadzanych z miejscowości Barkowice do Zbiornika Sulejowskiego przy zastosowaniu sekwencyjnego systemu sedymentacyjno-biofiltracyjnego

9.4

**Zastosowanie
barier denitryfikacyjnych
w celu ograniczenia
zanieczyszczeń azotanowych**

Wzrost zanieczyszczenia wód podziemnych i powierzchniowych związkami azotu wynikający z intensyfikacji upraw w rolnictwie spowodował konieczność poszukiwania efektywnych narzędzi biotechnologicznych przyjaznych środowisku mających na celu zwiększenie skuteczności usuwania azotanów z wód gruntowych. Jedną z najskuteczniejszych i najprostszych metod jest zastosowanie barier denitryfikacyjnych, których działanie polega na wzmocnieniu procesu denitryfikacji.

Proces ten z ekologicznego punktu widzenia polega na biochemicznej redukcji azotanów lub azotynów do azotu gazowego z jednoczesnym utlenieniem związków organicznych będących źródłem węgla i energii dla bakterii denitryfikacyjnych (Szetela 1997). Aktywacja procesu denitryfikacji w celu obniżenia ryzyka rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń azotanowych polega

głównie na budowaniu barier denitryfikacyjnych z łatwo biodegradowalnego węgla organicznego, np. trocin drzewnych, słomy, rozdrobnionych odpadów ogrodowych (gałęzie, liście), kompostu z liści, trocin drzewnych z palet dębowych, kory drzew, resztek poźniwnych, kolb kukurydzy, paździerzy lnianych, węgla brunatnego itp.

Istotą samej konstrukcji barier denitryfikacyjnych jest wykorzystanie dostępnych w danym regionie materiałów zawierających węgiel organiczny i przemieszanie ich z warstwą ziemi, przez którą będą przepływały wody gruntowe zanieczyszczone azotanami. Dla zapewnienia wysokiej efektywności pracy konstrukcji wymagane jest również zachowanie odpowiedniego odczynu wód gruntowych (pH powyżej 7,3) w jej obrębie w celu optymalizacji środowiska dla bakterii denitryfikacyjnych prowadzących denitryfikację azotanów do azotu N_2 (Degens i in. 2000, Niżyńska 2003).

W zależności od instalacji bariery denitryfikacyjne w stosunku do kierunku przepływu wód należy wymienić za Schipper i in. (2010) trzy główne rodzaje:

- 1) warstwy denitryfikacyjne (ang. *denitrification layer*) (Robertson i Cherry 1995, Robertson i in. 2000, Schipper and McGill 2008),
- 2) ściany denitryfikacyjne (ang. *denitrification walls*) (Robertson i in. 2000, Schipper and Vojvodic-Vukovic 2000, Fahrner 2002, Schipper i in. 2005, Jaynes i in. 2008),
- 3) złoża denitryfikacyjne (ang. *denitrification beds*) (Robertson i in. 2000, Robertson i in. 2005) w tym:
 - złoża denitryfikacyjne z odpływem dennym (ang. upflow bioreactor) (van Driel i in. 2006),
 - złoża denitryfikacyjne w dnie strumienia (ang. stream bed bioreactor) (Robertson and Merkley 2009).

Warstwa denitryfikacyjna jest poziomą warstwą materiału organicznego, która przejmując zanieczyszczenie azotanami z kierunku górnego. Ma na celu redukcję azotanów wypłukiwanych grawitacyjnie (pionowo) do wód gruntowych, stąd zaleca się jej wykorzystanie jako ochrony wód gruntowych pod składowiskami obornika oraz poniżej jeszcze zanieczyszczonych odcieków rozprowadzanych systemem drenażu z przydomowych oczyszczalni ścieków (poniżej filtra piaskowo-żwirowego). Efektywność usuwania azotanów przez warstwy denitryfikacyjne – utworzone z warstwy samych trocin drzewnych, czy też warstwy materiału będącego mieszaniną trocin drzewnych, kompostu z liści i nieprzetworzonych ziaren zbóż – pozwoliły na redukcję azotanów w zakresie od 74 do 80% przy średnim obciążeniu ok. 40 mg NO₃/l, a maksymalnym nawet do 400 mg NO₃/l (Robertson i in. 2000). Natomiast utworzenie warstwy denitryfikacyjnej pod składowiskiem obornika bydłowego we wsi Jerwonice pozwoliło na wyeliminowanie zanieczyszczenia wód gruntowych azotanami, których stężenie przed instalacją warstwy denitryfikacyjnej na 2 m głębokości pod przyzmą maksymalnie wynosiło 181 mg NO₃/l (Wójcik 2013).

Ściana denitryfikacyjna to wykop o głębokości 1–1,5 m wypełniony mieszanką ziemi i materiału organicznego, usytuowany prostopadle do odpływu zanieczyszczonych azotanami płytkich wód gruntowych czy podpowierzchniowych wód drenarskich, głównie w obszarach intensywnie użytkowanych rolniczo. Taką ścianą mogą być również „obudowane” kanały melioracyjne niosące często podwyższone ładunki zanieczyszczeń azotanowych wymywanych ze zlewni rolniczych. Ściany denitryfikacyjne, jak donoszą dane literaturowe, najczęściej budowane były z trocin sosnowych (*Pinus silvestris*, *Pinus radiata*). Rozwiązania te sprawdziły się przy doczyszczaniu ścieków z następujących źródeł: nawodnienia ze ścieków z fabryki nabiału, fermy bydła, odcieków

ze składowiska obornika (tuczarnia świń) i odpływów z pól. Obserwowana redukcja zanieczyszczeń azotanowych mieściła się w przedziale od 65 do 96% (Robertson i in. 2000, Schipper i Vojvodic-Vukovic 2000, Fahrner 2002, Bednarek i in. 2010, Bednarek i in. 2014, Schmidt i Clark 2012). W większości przypadków ściany denitryfikacyjne były stosowane do rekultywacji zanieczyszczeń obszarowych, gdzie obciążenie azotanami wynosiło do 100 mg/l. Zastosowanie ścian do redukcji azotanów z odcieków obornika potwierdziło wysoką skuteczność tego typu rozwiązań również dla zanieczyszczeń punktowych. Przykładem jest rekultywacja składowiska obornika przy tuczarni trzody chlewnej w miejscowości Uniejów za pomocą ściany zbudowanej z trocin sosnowych, gdzie średnie dopływające obciążenie azotanami wynosiło ponad 200 mg/l, a średnia ich redukcja wynosiła 95% (Bednarek i in. 2010).

Złoże denitryfikacyjne jest to rodzaj „kontenera” różnej długości, o głębokości zwykle 1–2 m, wypełnionych substratem organicznym. Wody do oczyszczenia doprowadzane są punktowo (rurą) i po oczyszczeniu też punktowo odprowadzane. Docelowa lokalizacja to miejsca skoncentrowanego odpływu wód zawierających azotany np. przy szklarniach, przydomowych oczyszczalniach ścieków itp. Złóża denitryfikacyjne, według danych literaturowych, najczęściej budowane były z grubych kawałków drewna, zrębków drzewnych, kory drzew i kompostu z liści. Najczęściej wykorzystywane były do rekultywacji odcieków z pól (np. upraw kukurydzy), ścieków z ferm, czy odcieków z pól golfowych. Efektywność usuwania na drodze denitryfikacji azotanów w odciekach z w/w obszarów wahała się od 47 do około 100% przy obciążeniu azotanami do kilkunastu miligramów na litr (Blowes i in. 1994, Robertson i in. 2000, Robertson i in. 2005, Van Driel i in. 2006).

Złoże denitryfikacyjne z odpływem dolnym jest to wypełniony węglem kontener, do którego ścieki doprowadzane są punktowo (rurą), ale umożliwiony jest odpływ grawitacyjnie od dołu. Zastosowanie takiego złoża pozwala na redukcję azotanów z płytkich wód gruntowych zanim zasilą one wody powierzchniowe, stąd optymalnym umiejscowieniem w terenie jest strefa kontaktu wód powierzchniowych i gruntowych.

Złoże denitryfikacyjne w dnie strumienia – jest to różnej długości i szerokości „kontener”, zwykle jednak 1–2 m głębokości, wbudowywany w dno strumienia. Ma na celu redukcję azotanów w strumieniach i ciekach drenarskich.

Przykładem takiego złoża testowanego w ramach projektu rozwojowego NR 14006106/2009 GEOWŁÓKNA pt. „Opracowanie modelowych geowłókninowych, biodegradowalnych złóż biologicznych do rekultywacji zanieczyszczeń azotowych i fosforowych w zagrożonych obszarach krajobrazu rolniczego”, było złoże utworzone w dnie rowu melioracyjnego poniżej stawu hodowlanego z karpem w celu doczyszczenia ścieków z akwakultury. Obszar złoża o wymiarach 6 m długości, 0,5 m głębokości i około 1,2 m szerokości podzielono wzdłuż cieku na dwie części o różnym wypełnieniu. Złoże lewe wypełnione zostało węglem brunatnym, natomiast prawe słomą jęczmienną w ilości około 3,6 m³ każde. Dopływające do obu złóż stężenie azotanów nie przekraczało poziomu 10 mg/l, natomiast po przepłynięciu i doczyszczeniu w złożu denitryfikacyjnym wypełnionym słomą notowano blisko 60% redukcję, a na odpływie ze złoża z węglem brunatnym ok. 40% redukcję azotanów.

Trwałość barier denitryfikacyjnych w środowisku

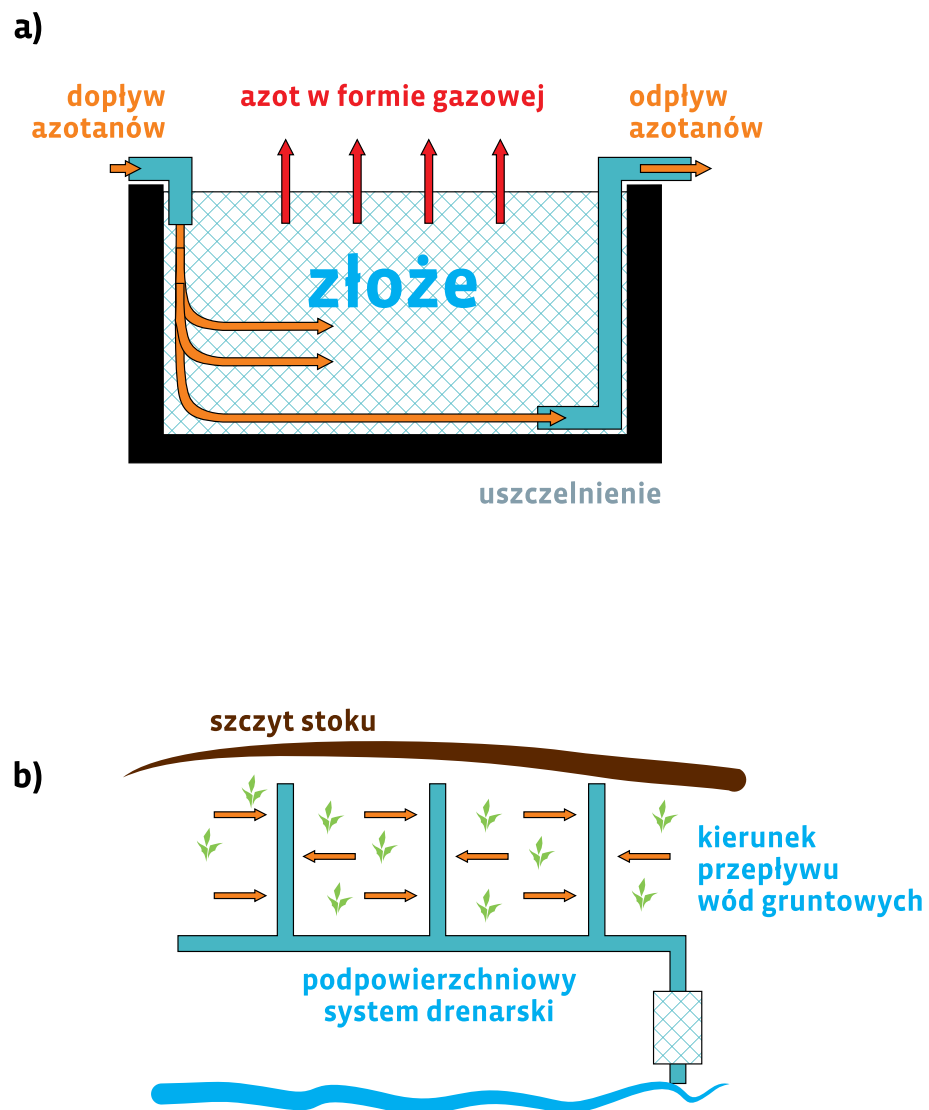
Według Schipper i Vojvodic-Vukovic (2001) złoże denitryfikacyjne z trocinami sosnowymi po 5 latach działania nadal usuwa ponad 90% zanieczyszczeń. Autorzy szacują, że objętość węgla użyta w ilości 30% w stosunku do wykopanego rowu powinna być wystarczająca nawet na 15 lat ciągłej pracy złoża. Natomiast badania Long i in. (2011) dowodzą, że ściana denitryfikacyjna wybudowana w 1998 r. nadal funkcjonuje w zakresie usuwania azotanów po 14 latach. Gleba była analizowana pod względem zawartości całkowitego węgla oraz aktywności enzymów denitryfikacyjnych, natomiast w wodach podziemnych analizowano stężenie azotanów. Udowodniono, iż stężenie azotanów w wodach podziemnych za złożem było o 92% niższe niż przed barierą, zaś aktywności enzymów były prawie tak wysokie jak w pierwszym roku badań. Dzięki zastosowaniu krzywej rozkładu węgla, oszacowano, iż węgiel organiczny wykorzystany do budowy tej ściany wystarczy do aktywacji procesu denitryfikacji przez 66 lat (Long i in. 2011).

Zalety barier denitryfikacyjnych:

- wysoka efektywność redukcji azotanów (również w okresie zimowym),
- długi czas „pracy” w terenie – ponad 15 lat,
- brak ingerencji w krajobraz (pełna możliwość korzystania z terenu).

Możliwe zastosowanie :

- wspomaganie stref ekotonowych w ochronie wód przed zanieczyszczeniami obszarowymi,
- alternatywa dla płyt obornikowych w małych gospodarstwach.



Różne rodzaje złożeń denitryfikacyjnych: a) złożo denitryfikacyjne do redukcji skoncentrowanych stężeń azotu; b) złożo denitryfikacyjne do redukcji azotanów w ściekach zbieranych przez system drenarski; c) złożo denitryfikacyjne instalowane w dnie strumienia



Zastosowanie barier denitryfikacyjnych dla zabezpieczenia składowiska obornika

Zanieczyszczenia gleby związkami azotu mogą również powstawać w miejscach wytwarzania bądź niewłaściwego składowania nawozów naturalnych (fot. s. 267). Jak wykazały badania, wieloletnie składowanie obornika w jednym miejscu może doprowadzić do trwałego skażenia wód, natomiast w przypadku jednorocznego bądź półrocznego przymowania nie zauważono długotrwałych zmian chemizmu wód gruntowych (Pietrzak i Nawalny 2008), aczkolwiek okresowo notowane są wielokrotne przekroczenia dopuszczalne przez dyrektywę azotanową. W świetle zapisów ustawy o nawozach i nawoże-

niu (Dz. U. z 2007 r. Nr 147, poz. 1033 ze zm., art. 25) nawozy naturalne, inne niż gnojówka i gnojowica, powinny być przechowywane na nieprzepuszczalnych płytach, zabezpieczonych w taki sposób, aby wycieki nie przedostawały się do gruntu. Jednak warunek ten dotyczy jedynie gospodarstw, w których prowadzi się hodowlę drobiu powyżej 40 000 stanowisk lub hodowlę świń powyżej 2000 stanowisk o wadze ponad 30 kg (lub 750 stanowisk dla macior) (Ustawa o nawozach i nawożeniu, Dz. U. z 2007 r. Nr 147, poz. 1033 ze zm., art. 18). W przypadku gospodarstw leżących na wyznaczonych w ramach dyrektywy azotanowej obszarach narażonych odpływem azotu ze źródeł rolniczych (tzw. OSN-ach), obornik należy przechowywać w sposób zabezpieczający przed przenikaniem odcieków do wód lub do gruntu, co określają rozporządzenia dyrektorów regionalnych zarządów gospodarki wodnej w sprawie wprowadzenia programu działań mających na celu ograniczenie odpływu azotu ze źródeł rolniczych.

Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej (2004) zaleca, aby produkowany w gospodarstwach hodowlanych obornik przechowywany był na zadaszonych, szczelnych płytach obornikowych ze ścianami bocznymi i z bocznymi kanałami odprowadzającymi odcieki do specjalnego zbiornika. Pojemność takiej płyty w danym gospodarstwie, w zależności od wielkości inwentarza, powinna zapewnić bezpieczne środowiskowo przechowywanie obornika produkowanego w gospodarstwie przez okres, kiedy nie jest on wykorzystywany rolniczo (co najmniej 5 miesięcy).

Nieprawidłowe praktyki rolnicze przyczyniają się do rozprzestrzeniania się azotanów i zanieczyszczania wód powierzchniowych i w konsekwencji eutrofizacji Morza Bałtyckiego (Miatkowski i in. 2003; Niżyńska 2005; Fotyma,

Igras 2009; Sapek 2010). Dlatego w przypadkach wieloletniego składowania przyzmoowego obornika w gospodarstwie rolnym należy zrehabilitować zdegradowany teren, który w dalszym ciągu stanowi źródło emisji azotu. W tym celu na zanieczyszczonym obszarze zaleca się wykonanie złóż denitryfikacyjnych, których rozmieszczenie powinno być oparte o analizę warunków hydrogeologicznych i parametrów fizykochemicznych wód gruntowych.



Przykłady nieprawidłowego składowania obornika, brak płyty obornikowej. Gospodarstwo w Uniejowie (fot. M. Ubraniak)

Zalecenia przy budowie barier denitryfikacyjnych do rekultywacji składowisk obornika

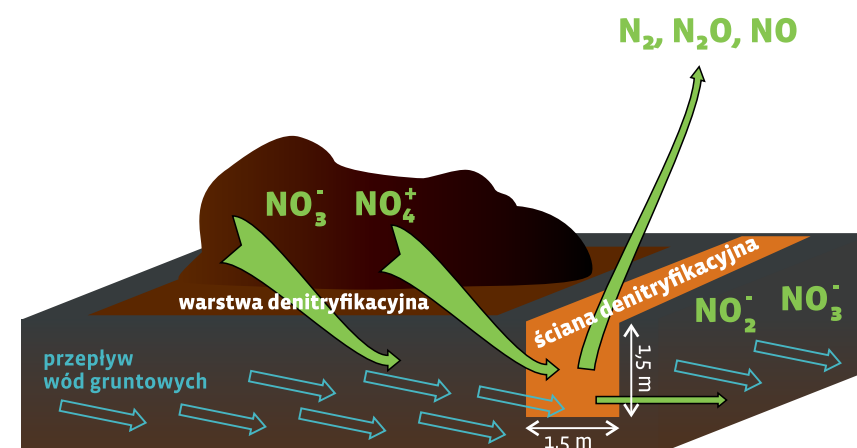
1. W przypadku składowania obornika na przymie bezpośrednio na gruncie zaleca się składowanie przym na wcześniej przygotowanym podłożu w postaci warstwy denitryfikacyjnej. Przymy powinny być lokalizowane poza zagłębieniami bezodpływowymi oraz na terenach o spadku poniżej 3%.
2. W przypadku gospodarstw nieposiadających płyt obornikowych w okresie dostosowawczym zaleca się wykonanie warstwy i ściany denitryfikacyjnej wokół składowiska.
3. Przy budowie ścian denitryfikacyjnych należy brać pod uwagę takie czynniki, jak odpowiednia przepuszczalność ściany, a także uwzględnienie faktu, że konstrukcje te działają najefektywniej w obszarach, gdzie występuje wysoki poziom wód gruntowych. Dlatego przed budową ściany niezbędne jest wykonanie odpowiednich pomiarów mających na celu ustalenie poziomu wód gruntowych, przepuszczalności gleby, kierunku spływu gruntowego oraz stężenia azotanów.
4. Po wstępnym monitoringu składu chemicznego i poziomu wód gruntowych w otoczeniu punktowych źródeł zanieczyszczeń – np. składowisk obornika bezpośrednio na powierzchni ziemi – przystępujemy do budowy bariery denitryfikacyjnej. Bariere taką przygotowuje się okopując punktowe źródło zanieczyszczeń wykopem z substratem o głębokości 1–1,5 m i szerokości również 1–1,5 m, przez który prostopadłe przepływają wody gruntowe zanieczyszczone azotanami odciekającymi z takiego miejsca.
5. W przypadku, gdy składowisko obornika jest oddzielone od głębszych

wód gruntowych warstwą trudno przepuszczalną (gliną) oraz kierunek przepływu wód podziemnych jest łatwy do ustalenia, barierę taką można wybudować z jednej strony, na drodze odpływu takich zanieczyszczonych wód.

6. W pozostałych przypadkach, znacznie częściej spotykanych w zlewniach, konieczna jest konstrukcja bariery denitryfikacyjnej, która uniemożliwi odpływ zanieczyszczonych wód do głębszych warstw wodonośnych przez utwory łatwo przepuszczalne zarówno dookoła, jak i pod składowiskiem obornika.

7. Teren wokół składowiska obornika po zakończonych pracach związanych z instalacją bariery jest w pełni dostępny pod względem np. komunikacyjnym, czy w celu innego gospodarczego wykorzystania tego obszaru.

Składowisko obornika – źródło azotanów



Bariera denitryfikacyjna składająca się z warstwy i ściany denitryfikacyjnej w celu zabezpieczenia składowiska obornika

Rekultywacja składowiska obornika w miejscowości Uniejów (tuczarnia trzody chlewnej) – prototypowa bariera w Polsce

Źródłem zanieczyszczeń azotowych było miejsce wieloletniego składowania obornika bezpośrednio na powierzchni ziemi w gospodarstwie hodowlanym trzody chlewnej znajdującym się w Uniejowie – na terenie obszaru Natura 2000. Obsada tuczarni to około 200 tuczników rocznie, utrzymywanych w systemie intensywnym, karmionych wysokobiałkowymi paszami (średnia zawartość białka wynosi 14%). Roczny teoretyczny ładunek azotu całkowitego z tego źródła może wynosić 3240 kg. Ze składowiska obornik usuwany był dwa razy w roku. Stężenie poszczególnych form azotu w wodzie gruntowej w pobliżu tego źródła zanieczyszczeń wynosiło odpowiednio dla azotu całkowitego powyżej 300 mg/l, azotanów powyżej 200 mg/l, jonów amonowych powyżej 150 mg/l. Wody gruntowe zalegały na głębokości nieprzekraczającej 1 m, co jest istotne przy zastosowaniu ściany denitryfikacyjnej jako techniki bioremediacji.

Ściana denitryfikacyjna została zbudowana poprzez przekopanie rowu w ziemi do głębokości 1–1,5 m i o szerokości ok. 1m prostopadle do spływu wód gruntowych. Wykop prowadzony był za pomocą koparki kołowej CAT. Ze względów technicznych wykop został podzielony na cztery odcinki o długości 4 m każdy. Objętość ściany wyniosła 34 m³, a jako źródło węgla organicznego wykorzystano trociny sosnowe (*Pinus sylvestris*) w ilości 10 m³, co stanowiło ok. 30% objętości ściany. Trociny za pomocą koparki zostały dokładnie wymieszane z glebą wykopaną przy budowie ściany.

Wyniki badań wykazują ok. 95% redukcję azotanów w wodzie gruntowej przepływającej przez ścianę (Bednarek i in. 2010).





Etapy budowy bariery denitryfikacyjnego do rekultywacji zanieczyszczeń punktowych (obornik z tuczarni trzody chlewnej w Uniejowie)

Rekultywacja składowiska obornika we wsi Jerwonice (bydło mleczne)

W tym przypadku obornik składowany był przez 12 lat w tym samym miejscu i pochodził od 15 krów. Średnie stężenia azotanów w wodach gruntowych w otoczeniu składowiska obornika przekraczały 300 mg/l, maksymalne natomiast zanotowano na poziomie 2000 mg/l.

Barierę denitryfikacyjną utworzono w odległości 1–2 m od miejsca składowania obornika, zgodnie z nachyleniem terenu i kierunkiem odpływu wód do kanału melioracyjnego. Ściana denitryfikacyjna została przygotowywana poprzez przekopanie rowu i wymieszanie ziemi z substratem do głębokości 1–1,5 m i o szerokości ok. 1 m i ok. 8 m długości. Dodano do niej ok. 30% objętości ściany mieszanki węgla brunatnego i węgla wapiennego, który to materiał za pomocą koparki dokładnie wymieszano z glebą wykopaną przy budowie ściany. Dodatkowo, po pierwszym roku pracy ściany wykonano pod składowiskiem, również z mieszanki węgla brunatnego i węgla wapiennego, warstwę denitryfikacyjną, w celu wyeliminowania odcieków pionowych i odpływania części nieoczyszczonych wód pod ścianą.

Wyniki badań wykazują redukcję azotanów w wodzie gruntowej przepływającej przez tę ścianę o około 65% (Bednarek i in. 2010).



Etapy budowy ściany denitryfikacyjnej do rekultywacji zanieczyszczeń punktowych pochodzących z przyzmy obornika we wsi Jerwonice



Etapy budowy poziomej warstwy denitryfikacyjnej pod składowiskiem obornika we wsi Jerwonice, na czerwono zaznaczono powierzchnię warstwy

Literatura

Aguiar Jr. T., Bortolozzo F., Hansel F., Rasera K., Ferreira M. 2015. Riparian buffer zones as pesticide filters of no-till crops. *Environmental Science and Pollution Research* 22: 10618–10626

Almeida J., Reis M., Carrondo M. 1997. Unifying Kinetic Model of Denitrification. *Journal of Theoretical Biology* 186: 241-249

Angier J., McCarty G. 2008. Variations in base-flow nitrate flux in a first-order stream and riparian zone. *Journal of the American Water Resources Association* 44: 367-380

Azcón-Aguilar C., Barea J. 1992. Interactions between mycorrhizal fungi and other rhizosphere microorganisms [in:] Allen M. (ed.) *Mycorrhizal functioning. An integrative plant-fungal process*. Routledge, Chapman & Hall Inc., New York, 163-198

Baird A., Wilby R. (eds.) 1999. *Eco-hydrology. Plants and water in terrestrial and aquatic environments*. Routledge, London, New York: 402

Balestrini R., Arese C., Delconte C. A., Lotti A., Salerno F. 2011. Nitrogen removal in subsurface water by narrow buffer strips in the intensive farming landscape of the Po River watershed, Italy. *Ecological Engineering* 37: 148-157

Bednarek A., Stolarska M., Urbaniak M., Zalewski M. 2010. Application of permeable reactive barrier for reduction of nitrogen load in the agricultural areas – preliminary results. *Ecohydrology and Hydrobiology* 10: 355–362

Bednarek A., Zalewski M., Mankiewicz-Boczek J. 2014. Denitrification ditches as a bioremediation tool for the removal of the nitrogen pollution and protection of groundwater in rural area [in:] Skowronek J. (ed.) *Innovative solutions for revitalisation of degraded areas*. CBiDGP, Katowice, 223-231

Błaszczyk M. 1999. Problemy związane z oczyszczaniem ścieków metodą denitryfikacji. *Postępy Mikrobiologii* 38: 31-60

Blowes D., Robertson W., Ptacek C., Merkley C. 1994. Removal of agricultural nitrate from tile-drainage effluent water using in-line bioreactors. *Journal of Contaminant Hydrology* 15: 207–221

Borina M., Vianello M., Moraria F., Zaninb G. 2005. Effectiveness of buffer strips in removing pollutants in runoff from a cultivated field in North-East Italy, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 105: 101–114

Borysiak J. 2004. 3270 Zalewane muliste brzegi rzek: [w:] Herbich J. (red.) *Wody słodkie i torfowiska. Poradniki ochrony siedlisk i gatunków Natura 2000 - podręcznik metodyczny*. Ministerstwo Środowiska, Warszawa t. 2.: 109-114

Bouchard D. 1991. Nitrate contamination and potential human health. *Proceedings of the conference Hazardous Waste Research*. Kansas State University USA

Braskerud M. 2002. Factors affecting phosphorus retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution. *Ecological Engineering* 18: 351-370

Bruland G. i Richardson C. 2006. An assessment of the phosphorus retention capacity of wetlands in the Painter Creek watershed, Minnesota, USA. *Water, Air and Soil Pollution* 171(1-4): 169–184

Brzeg A. 1989. Przegląd systematyczny zbiorowisk okajkowych dotąd stwierdzonych i mogących występować w Polsce. *Fragmenta Floristica et Geobotanica* 34(3-4): 385-427

Carlyle G.C., Hill A.R. 2001. Groundwater phosphate dynamics in a river riparian zone: Effects of hydrologic flowpaths, lithology and redox chemistry. *Journal of Hydrology* 247: 151–168.

Carmichael W. 1992. Cyanobacteria secondary metabolites - the cyanotoxins. *Journal of Applied Bacteriology* 72: 445-459

Coveney M., Stites D., Lowe E., Battoe L., Conrow R. 2002. Nutrient removal from eutrophic lake water by wetland filtration. *Ecological Engineering* 19(2): 141–159

Dajdok Z., Pawlaczyk P. (red.) 2009. *Inwazyjne gatunki roślin ekosystemów mokradłowych* Polski. Wydawnictwo Klubu Przyrodników, Świebodzin

Degens B., Schipper L., Sparling G., Vojvodic-Vukovic M. 2000. Decreases in organic C reserves in soils can reduce the catabolic diversity of soil microbial communities. *Soil Biology & Biochemistry* 32: 189-196

Delgado L., Charles P., Glucina K., Morlay C. 2012. The removal of endocrine disrupting compounds, pharmaceutically activated compounds and cyanobacterial toxins during drinking water preparation using activated carbon - A review. *Science of the Total Environment* 435-436: 509-525

Doskkey M., Vidon P., Gurwick N., Allan C., Duval T., Lowrance R. 2010. The role of riparian vegetation in protecting and improving chemical water quality in streams. *Journal of the American Water Resources Association* 46: 261-277

Duer I., Fotyma M., Madej A. 2004. *Kodeks Dobrej Praktyki Rolniczej*. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Ministerstwo Środowiska, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa

Dunn A., Julien G., Ernst W., Cook A., Doe K., Jackman P. 2011. Evaluation of buffer zone effectiveness in mitigating the risks associated with agricultural runoff in Prince Edward Island. *Science of the Total Environment* 409: 868–882

Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r.

Dyrektywa Rady 91/676/EWG z dnia 12 grudnia 1991 r.

Dyrektywa Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r. w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory. Załącznik I

Elgood R., Robertson W., Schiff S. 2010. Nitrate removal and greenhouse gas production in a stream-bed denitrifying bioreactor. *Ecological Engineering* 36: 1575–1580

Fahrner S. 2002. Groundwater nitrate removal using a bioremediation trench. (Honours thesis) University of Western Australia, Perth

Fotyma A., Fotyma M. 2006. Normatywy zawartości azotu mineralnego w glebie i stężeń azotanów w roztworze glebowym gleb gruntów ornych w Polsce. *Nawozy i Nawożenie* 1: 44-56

Fotyma M., Igras J., Kopiński J. 2009. Wykorzystanie i starty obszarowe azotu z polowej produkcji roślinnej [w:] Igras J., Pastuszak M. (red.) *Udział polskiego rolnictwa w emisji związków azotu i fosforu do Bałtyku*. IUNG-PIB, Puławy, 109-162

Frątczak W., Izydorczyk K., Zalewski M. 2013. Wysokoefektywne strefy buforowe dla zwiększenia potencjału ekologicznego i turystycznego zbiornika sulejowskiego. *Gospodarka Wodna* 12: 479-483

Fujiki H., Sueoka E., Suganuma M. 1996. Carcinogenesis of microcystins [in:] Watanabe, M., Harada, K., Carmichael, W., Fujiki, H. (ed.) *Toxic Microcystis*. CRS Press, 203-233

Garcia J., Rousseau D., Morato J., Lesage E., Matamoros V., Bayona J. 2010. Contaminant removal processes in subsurface-flow constructed wetland: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 40: 561-661

Grzebisz W., Diatta J. 2012. Constrains and solutions to maintain soil productivity: A case study from Central Europe. [in:] Whalen JK. (ed.) *Soil Fertility Improvement and Integrated Nutrient Management - A Global Perspective*. Rijeka: InTech, 159-182.

Grzędzicka E. 2008. *Atlas ziół*. Buchmann, Warszawa

Hagen P., Haberer M. 2007. *Staw w ogrodzie*. Warszawa, Klub dla Ciebie, 330

Haycock N. i Burt T. 1993. Role of floodplain sediments in reducing the nitrate concentration of subsurface run-off: a case study in the Cotswolds, UK. *Hydrological Processes* 7(3): 287-295

Hefting M., Clement J., Bienkowski P., Dowrick D., Guenat C., Butturini A., Topa S., Pinay G., Verhoeven JTA. 2005. The role of vegetation and litter in the nitrogen dynamics of riparian buffer zones in Europe. *Ecological Engineering* 24: 465-482

Herrman K., Bouchard V. 2008. An assessment of nitrogen removal from headwater streams in agricultural watershed, northeast Ohio, U.S.A. *American Society of Limnology and Oceanography* 53(6): 2573-2582

Hoffmann C., Kjaegaard C., Uusi-Kamppa J., Hansen H., Kronovang B. 2009. Phosphorus retention in riparian buffers: review of their efficiency. *Journal of Environmental Quality* 38: 1942-1955

Holling C., Gunderson L., Walters C. 1994. The structure and dynamics of the Everglades system: Guidelines for ecosystem restoration [in:] *The Everglades: the Ecosystem and Its Restoration*. S. Davis, J. Ogden (red.)

Igras J., Fotyma M. 2009. Wykorzystanie i starty obszarowe fosforu z polowej produkcji roślinnej [w:] Igras J., Pastuszak M. (red.) *Udział polskiego rolnictwa w emisji związków azotu i fosforu do Bałtyku*. IUNG-PIB, Puławy, 163-198

Izydorczyk K., Frątczak W., Drobniewska A., Cichowicz E., Michalska-Hejduk D., Gross R., Zalewski M. 2013. A biogeochemical barrier to enhance a buffer zone for reducing diffuse phosphorus pollution – preliminary results. *Ecology & Hydrobiology* 13: 104-112

Jaros M. 2013. Ocena efektywności różnych typologicznie stref buforowych w redukcji zanieczyszczeń obszarowych z terenów rolniczych. Praca magisterska wykonana na Wydziale Biologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Łódzkiego

Jaynes D., Kaspar T., Moorman T., Parkin T. 2008. In situ bioreactors and deep drain-pipe installation to reduce nitrate losses in artificially drained fields. *Journal of Environmental Quality* 37: 429–436

Johannesson K., Andersson J., Tonderski K. 2011. Efficiency of a constructed wetland for retention of sediment-associated phosphorus. *Hydrobiologia* 674: 179–190

Jurczak T., Tarczyńska M., Izydorczyk K., Mankiewicz J., Zalewski M., Meriluoto J. 2005. Elimination of microcystins by water treatment process – examples from Sulejow Reservoir, Poland. *Water Research* 39: 2394-2406

Jurczak T., Wagner I., Mirosław-Świątek D., Jaglewicz M., Kaczkowski Z., Oleksińska Z., Łapińska M. 2015. System wspierania decyzji w rekultywacji małych zbiorników wodnych. 2015. Agent PR. Uniwersytet Łódzki.

Kiedrzyńska E., Wagner I., Zalewski M. 2008. Quantification of phosphorus retention efficiency by floodplain vegetation and a management strategy for a eutrophic reservoir restoration. *Ecological Engineering* 33: 15-25

Kiryłuk A., Wiater J. 2004. Stężenie składników pokarmowych w wodach odpływających z ekstensywnych ekosystemów łąkowych. Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach

Klimaszczyk P. 2004. Starorzecza i naturalne eutroficzne zbiorniki wodne ze zbiorowiskami Nympheion, Potamion [w:] Herbich J. (red.) Wody słodkie i torfowiska. Poradniki ochrony siedlisk i gatunków Natura 2000 - podręcznik metodyczny. T. 2 Ministerstwo Środowiska, Warszawa

Kuusemets V. i K. Lohmus. 2005. Nitrogen and Phosphorus Accumulation and Biomass Production by *Scirpus sylvaticus* and *Phragmites australis* in a Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland. *Journal of Environmental Science and Health* 40(6): 1167-1175

Kuźnicka B., Dziak M. 1984. Zioła i ich stosowanie. Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa

Long L., Schipper L., Bruesewitz D. 2011. Long-term nitrate removal in a denitrification wall. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 140: 514-520

Macioszczyk A., Dobrzyński D. 2007. Hydrogeochemia: Strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa

Mander Ü., Kuusemets V., Lohmus K., Muring T. 1997. Efficiency and dimensioning of riparian buffer zones in agricultural catchments. *Ecological Engineering* 8: 299-324

Matuszkiewicz W. 2001. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. PWN, Warszawa

Matuszkiewicz W. 2008. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. PWN, Warszawa

Mayer P., Reynolds S.K., McCutchen M., Canfield T. 2007. Meta-analysis of nitrogen removal in riparian buffers. *Journal of Environmental Quality* 36: 1172-1180

Merel S., Clément M., Thomas O. 2010. State of the art on cyanotoxins in water and their behaviour towards chlorine (Review). *Toxicon* 55: 677-691

Messer T., Burchell II M., Grabow G., Osmond D. 2012. Groundwater nitrate reduction within upstream and downstream sections of a riparian buffer. *Ecological Engineering* 47: 297-307

Miatkowski Z., Turbiak J., Sołtysik A. 2003. Wpływ wieloletniego składowania obornika na zawartość mineralnych form azotu w glebie. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie Special Issue* 3(9): 127-138

Moraczewski I., Sudnik-Wójcikowska B., Dubielecka B., Rutkowski R., Nowak K., Borkowski W., Galera H. 2004. Flora ojczysta. System identyfikacji roślin i atlas [CD-ROM]. Wyd. Cortex Nova, Bydgoszcz.

Mowszowicz J. 1970. Pospolite rośliny naczyniowe Polski. Nakładem Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź

Mowszowicz J. 1973. Rośliny wodne krajowe. PWN, Łódź

Mróz W. (red.) 2010-2012. Monitoring siedlisk przyrodniczych. Przewodnik metodyczny. Cz I., II, III, GIOŚ, Warszawa

Mróz W. 2004. Ziołorośla górskie (*Adenostylon alliariae*) i ziołorośla nadrzeczne (*Convolvuleta sepium*). [w:] Herbich J. (red.) Murawy, łąki, ziołorośla, wrzosowiska, zarośla. Poradniki ochrony siedlisk i gatunków Natura 2000 - podręcznik metodyczny. Ministerstwo Środowiska, Warszawa T.3.: 182-184

Mróz W., Świerkosz K., Kozak M. 2010. 6430 Ziołorośla górskie (*Adenostylon alliariae*) i ziołorośla nadrzeczne (*Convolvuleta sepium*). Monitoring siedlisk przyrodniczych. Przewodnik metodyczny. Cz I., GIOŚ, Warszawa

Naiman R.J., Decamps H., Fournier F. (eds) 1989. The role of land/inland water ecotones in landscape management and restoration: a proposal for collaborative research. *MAB Digest* 4, UNESCO, Paryż

Niżyńska A. 2003. Badania przebiegu procesu denitryfikacji na węglu aktywnym. *Ochrona Środowiska Vol.25* 4: 75-78

Niżyńska A. 2005. Denitryfikacja azotanów w wodach podziemnych. Praca doktorska, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Wrocław

Nolan B., Ruddy B., Hitt K., Dennis R., Helsel D. 1998. A national look at nitrate contamination of ground water. *Water Conditioning Purification* 39: 76-79

Obarska-Pempkowiak H., Gajewska M., Wojciechowska E. 2010. Hydrofitowe oczyszczanie wód i ścieków. PWN, Warszawa

Otręba A., Michalska-Hejduk D. (red.) 2014. Inwazyjne gatunki roślin w Kampinoskim Parku Narodowym i jego sąsiedztwie. Kampinoski Park Narodowy, Izabelin

Paciorek J. 2006/2007. Wierzby biała i krucha. Tajemnice Polskiej Przyrody. Literatura

Parn J., Pinay G., Mander U. 2012. Indicators of nutrients transport from agricultural catchments under temperate climate: a review. *Ecological Indicators* 22: 4-15

Pietrzak S., Nawalny P. 2008. Wpływ długo i krótkotrwałego składowania obornika na gruncie na zanieczyszczenie gleby i wody związkami azotu. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie* t. 8 z. 2b (24): 117-126

Podbielkowski Z., Tomaszewicz H. 1979. *Zarys hydrobotaniki*. PWN, Warszawa

Raffaella J., McGregor J., Fostre G., Cullum R. 1997. Effect of narrow grass strips on conservation reserve land converted to cropland. *Transactions, American Society of Agricultural Engineers* 40: 1581-1587

Ranalli A., Macalady D. 2010. The importance of the riparian zone and in-stream processes in nitrate attenuation in undisturbed and agricultural watersheds – A review of the scientific literature. *Journal of Hydrology*

Raty M., Uusi-Kamppa J., Yli-Halla M., Rasa K., Pietola L. 2010. Phosphorus and nitrogen cycles in the vegetation of differently manager buffer zones. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 86: 121-132

Read D. 1991. Mycorrhizas in ecosystems. *Experimentia* 47: 376-391

Richard Y. 1980. Denitrification of water for human consumption. *Prog. Water Technol.* 12, 173

Robertson W., Blowes D., Ptacek C., Cherry J. 2000. Long-Term performance of in situ reactive barriers for nitrate remediation. *Ground Water* 38 (5): 689-695

Robertson W., Cherry J. 1995. In situ denitrification of septic-system nitrate using reactive porous media barriers: field trials. *Ground Water* 33 (1): 99-111

Robertson W., Merkley L. 2009. In-stream bioreactor for agricultural nitrate treatment. *Journal of Environmental Quality* 38: 230-237

Robertson W., Yeung N., van Driel P., Lombardo P. 2005. Highpermeability layers for remediation of ground water; go wide, not deep. *Ground Water* 43: 574-581

Rodriguez-Iturbe I. 2000. Ecohydrology: a hydrological perspective of climate-soil –vegetation dynamic. *Water Resource Research* 36: 3-9

Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 16 kwietnia 2008 r. w sprawie szczegółowego sposobu stosowania nawozów oraz prowadzenia szkoleń z zakresu ich stosowania Dz. U. z 2008 r. Nr 80, poz. 479 ze zm.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych Dz. U. Nr 143, poz. 896

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2011 r. w sprawie listy roślin i zwierząt gatunków obcych, które w przypadku uwolnienia do środowiska przyrodniczego mogą zagrozić gatunkom rodzimym lub siedliskom przyrodniczym. Dz. U. Nr 210, poz. 1260

Rozporządzenie nr 5/2012 dyrektora Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej we Wrocławiu z dnia 13 września 2012 r. w sprawie wprowadzenia programu działań mających na celu ograniczenie odpływu azotu ze źródeł rolniczych

Rust M., Aelion C., Flora J. 2000. Control of pH during denitrification in subsurface sediment microcosms using encapsulated phosphate buffer. *Water Research*. Vol.34. 5: 1447-1454

Rutkowski L. 1998. *Klucz do oznaczania roślin naczyniowych Polski Niżowej*. PWN, Warszawa

Ryszkowski L. 1992. Ekologiczne zasady kształtowania obszarów rolniczych dla zapewnienia trwałego i zrównoważonego rozwoju rolnictwa. [w:] *Ochrona i racjonalne wykorzystanie zasobów wodnych na terenach rolniczych w regionie Wielkopolski*. Komisja Ochrony Środowiska Oddziału poznańskiego PAN: 85-106

Ryszkowski L., Kedziora A. 2007. Modification of water flows and nitrogen fluxes by shelterbelts. *Ecological Engineering* 29: 388-400

Ryszkowski L., Kedziora A. 2008. The influence of plant cover structures on water fluxes in agricultural landscapes. [in:] *Bossio D., Geheb K. (Eds.) Conserving Land, Protecting Water. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series*, vol. 6. CABI, Wallingford, UK, 163-177

Sapek A. 1998. Phosphorus cycle in Polish agriculture [w:] *Phosphorus in agriculture and water quality protection*. Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, 8-18

Sapek A. 2010 *Rolnictwo polskie i ochrona jakości wody, zwłaszcza wody Bałtyku*. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie* t. 10 z. 1 (29): 175-200

Schipper L., Barkle G., Vojvodic- Vukovic M. 2005. Maximum Rates of Nitrate Removal in a Denitrification Wall. *J. Environ. Qual.* 34: 1270-1276

Schipper L., McGill A. 2008. Nitrogen transformation in denitrification layer irrigated with dairy factor effluent. *Water Research* 42: 2457-2464

Schipper L., Vojvodić-Vuković M. 2000. Nitrate removal from groundwater and denitrification rates in a porous treatment wall amended with sawdust. *Ecological Engineering* 14: 269-278

Schipper L., Vojvodic-Vukovic M. 2001. Five years of nitrate removal, denitrification and carbon dynamics in a denitrification wall. *Water Research* 35: 3473-3477

Schmidt C., Clark M. 2012. Evaluation of a denitrification wall to reduce surface water nitrogen loads. *Journal of Environmental Quality* 41: 724-731

Seneta W. 1983. *Dendrologia*. PWN, Warszawa

Składowski M., Kiedrzyńska E., Kiedrzyński M., Urbaniak M., Zielińska K., Kurowski J., Zalewski M. 2014. The role of riparian willows In phosphorus accumulation and PCB control for lotic water quality improvement. *Ecological Engineering* 70: 1-10

Sodol A. 2011. Ocena jakości wód podziemnych w zlewni bezpośredniej Zbiornika Sulejowskiego oraz możliwości ich poprawy poprzez wykorzystanie stref ekotonowych. Praca magisterska wykonana na Wydziale Biologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Łódzkiego

Sosulski T., Łabętowicz J. 2008. Oszacowanie rozpraszania azotu z rolnictwa polskiego do atmosfery oraz wód. *Postępy Nauk Rolniczych* 3: 3-19

Środa K. 2006/2007. Pokrzywa zwyczajna nie lubiany uzdrowiciel. *Tajemnice Polskiej Przyrody*

Sumorok B., Kosiński K., Michalska-Hejduk D., Kiedrzyńska E. 2008. Distribution of ectomycorrhizal fungi in periodically inundated plant communities on the Pilica River floodplain. *Ecology and Hydrobiology* 8: (2-4): 401-410

Syversen N. 2005. Effect and design of Buffer zones In the Nordic climate: The influence of width, amount of surface runoff, seasonal variation and vegetation type on retention efficiency for nutrient and particle runoff. *Ecological Engineering*

Syversen N., Bechmann M. 2004. Vegetative Buffer zones as pesticide filters for simulated surface runoff. *Ecological Engineering*

Szafer W., Kulczyński S., Pawłowski B. 1976. *Rośliny polskie*. PWN, Warszawa

Szetela R. 1997. Usuwanie fosforu i azotu w procesach biologicznych [w:] Kowal A. (red.) *Odnawa wody. Podstawy teoretyczne procesów*, 161-238

Szewczyk K. 2005. *Biologiczne metody usuwania związków azotu ze ścieków*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa

Szoszkiewicz K., Jusik S., Zgoła T. 2008. *Klucz do oznaczania makrofitów dla potrzeb oceny stanu ekologicznego wód powierzchniowych w Polsce*. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa

Tokarska-Guzik B., Dajok Z., Zając M., Zając A., Urbisz A., Danielewicz W., Hołdyński C. 2012. *Rośliny obcego pochodzenia w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem gatunków inwazyjnych*. Wydawnictwo Generalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska

Tomaszek J. 1991. Biochemical transformation of nitrogen compounds in the bottom sediments of the superficial waters. *Rzeszów, Technical University Journal* 13: 1-155

Trivedi R., Goel P. 1984. *Chemical and Biological Methods for Water Pollution Studies*. Environmental Publications, Karad

Tufekcioglu A., Raich J., Isenhardt T., Schultz R. 2003. Biomass, carbon and nitrogen dynamics of multi-species riparian buffers within an agricultural watershed in Iowa, USA. *Agroforestry Systems* 57: 187-198

Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu. *Dz. U. z 2007 r., nr 147, poz. 1033 z późn. zm.*

Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. – Prawo wodne. *Dz. U. z 2001, nr 115, poz. 1229 z późn. zm.*

Uusi-Kamppa J. 2005. Phosphorus purification in buffer zones in cold climates. *Ecological Engineering* 24: 491-502

van Driel P., Robertson W., Merkle L. 2006. Denitrification of agricultural drainage using wood-based reactors. *Transactions of the ASAE American Society of Agricultural Engineers* 48: 121-128

Vilà M., Bañnou C., Gollasch S., Josefsson M., Pergl J., Scalera R. 2009. One Hundred of the Most Invasive Alien Species in Europe. [w:] P.E., Hulme, Nentwig, W., Pyšek, P., Vilà, M., (eds.), *DAISIE, Handbook of alien species in Europe, Invading Nature – Springer Series in Invasion Ecology* 3, Springer, Dordrecht: 265-268

Wasilewski Z. 2012. Dobór gatunków traw i roślin bobowatych na strefy buforowe oraz zasady ich zakładania i pielęgnowania. Instytut Technologiczno – Przyrodniczy w Falentach

Wilk-Woźniak E. i in. 2012. 3150 Starorzeczka i naturalne eutroficzne zbiorniki wodne ze zbiorniskami z Nympheion, Potamion. [w:] W. Mróz (red.) Monitoring siedlisk przyrodniczych. Przewodnik metodyczny. Część II., GIOŚ, Warszawa: 79-98

Wójcik J. 2013. Ocena efektywności złóż denitryfikacyjnych zastosowanych do rekultywacji punktowych źródeł zanieczyszczeń azotanami w obszarach rolnych. Uniwersytet Łódzki Katedra Ekologii Stosowanej, Łódź

Zalewski M. 1994. Rola ekotonowych stref buforowych w redukcji zanieczyszczeń obszarowych i przyspieszenia tempa samooczyszczania rzek. [w:] M. Zalewski (red.) Zintegrowana strategia ochrony i zagospodarowania ekosystemów wodnych. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Łódź

Zalewski M. 2000. Ecohydrology – the scientific background to use ecosystem properties as management tools towards sustainability of water resources. *Ecological Engineering* 16: 1-8

Zalewski M. 2011. Ecohydrology for implementation of the EU water framework directive. *Proceedings of the Institution of Civil Engineering Water Management* 164 (WM8): 375-385

Zalewski M. 2014. Ecohydrology and hydrologic engineering: regulation of hydrology-biota interactions for sustainability *Journal of Hydrologic Engineering* DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000999

Zalewski M., Janauer G., Jolankai G. 1997. Conceptual background [in:] Zalewski M., Janauer G., Jolankai G., (eds). *Ecohydrology: A new paradigm for the sustainable use of aquatic resources*. International Hydrobiological Programme UNESCO, Paris, Technical Document in Hydrology 7

Zalewski M., Santiago-Fandino V, Neate J. 2003. Energy, water, plant interactions: "Green Feedback" as a mechanism for environmental management and control through the application of phytotechnology and ecohydrology. *Hydrological Processes* 17: 2753-2767

Zalewski M., Thorze J.E., Gaudin P. (eds.) 1991. Fish and land/Island water ecotones. Role of land/water ecotones in landscape management and restoration. Univ. Lodz, Stirling, Lyon I, UNESCO MAB, 102pp

Zalewski M., Wagner I., Frątczak W., Mankiewicz-Boczek J., Parniewki P. 2012. Blue-Green City for Compensating Global Climate Change. *The Parliament Magazine*, issue 350

Zalewski M., Wagner-Łotkowska I. 2004. *Integrated Watershed Management - Ecohydrology & Phytotechnology – Manual*. United Nations Publication

Zamyadi A., MacLeod S., Fan Y., McQuaid N., Dorner S., Sauvé S., Prévost M. 2012. Toxic cyanobacterial breakthrough and accumulation in a drinking water plant: A monitoring and treatment challenge. *Water Research* 46: 1511-1523



Projekt LIFE08 ENV/PL/000519 EKOROB

„Ekotony dla redukcji zanieczyszczeń obszarowych”

jest przykładem spójnego, kompleksowego projektu, który łącząc w sobie aspekty innowacji, demonstracji i edukacji, stawia sobie za cel poprawę jakości wód w zlewni Pilicy, w tym Zbiornika Sulejowskiego, przy jednoczesnym utrzymaniu stałego zrównoważonego rozwoju społeczno-gospodarczego oraz uwzględniając potrzeby i opinie społeczności lokalnych.

www.ekorob.pl



Projekt finansowany przez Wspólnotę Europejską w ramach instrumentu finansowego LIFE+ komponent „Polityka i Zarządzanie w Zakresie Środowiska”, Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej oraz ze środków finansowych na naukę w latach 2012-2014 przyznanych na realizację projektu międzynarodowego współfinansowanego Nr 2539/LIFE+2007-2013/2012/2

ISBN 978-83-928245-1-0

Egzemplarz bezpłatny