

MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA ROŚLINNOŚCI W ODBIORNIKACH WÓD POŚCIEKOWYCH I W PODMOKŁYCH EKOTONOWYCH STREFACH OCHRONNYCH - BADANIA MODELowe^{*)}

PLANTS APPLICATION POSSIBILITY IN SEWAGE EFFLUENTS RESERVOIR AND IN WET ECOTON PROTECTION ZONE- MODEL INVESTIGATION

Kinga Pachuta, Irmina Wojarska, Ewa Rutkowska

Katedra Przyrodniczych Podstaw Inżynierii Środowiska, SGGW

Wstęp

Stosowanie roślinności w filtrach wegetacyjnych oczyszczających ścieki i w ekotonowych barierach ekologicznych, które zapobiegają rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń, stwarza potrzebę określenia zakresu wykorzystania różnych gatunków roślin. Podjęte badania miały za zadanie określenie możliwości wykorzystania wybranych gatunków hydromakrofitów w kolejnych etapach procesu oczyszczania wody.

Metodyka badań

W celu określenia wytrzymałości roślin na wysokie stężenia biogenów w środowisku wodnym oraz ich predyspozycji do usuwania z zanieczyszczonej wody makro i mikroelementów posłużono się metodą, w której wykorzystano naturalne przywiązanie gatunków do siedlisk o określonej troficznosci. Wybrane gatunki hydromakrofitów implantowano do modelowych zbiorników wodnych o zróżnicowanej, stale kontrolowanej trofii. Zakres prac przeprowadzonych na Polu Ekologicznym Katedry w latach 1995 - 1997 obejmował:

- Opracowanie projektu i budowę badawczego stanowiska modelowego [Pachuta 1997];

^{*)} Badania przeprowadzono w ramach realizacji zadań GRANT KBN 501 05 08 0022

- Implantowanie wybranych gatunków hydromakrofitów w różne siedliska zbiorników, w strefy o różnej głębokości (podtopione, wypłycone, toni wodnej);
- Obserwacje adaptacji gatunków: zajmowanej przez nie powierzchni, rejestracja przyrostów biomasy i innych cech biometrycznych oraz zdolności namnażania;
- Określanie składu chemicznego roślin i wody ze zbiorników, utrzymanie troficznego charakteru siedliska oraz korzystanie z monitoringu niektórych parametrów meteorologicznych w okresie wegetacyjnym i pozawegetacyjnym;
- Wytypowanie dominantów poprzez określenie udziału gatunków w pokryciu powierzchni zbiornika, przyrostu biomasy oraz kumulacji makro- i mikroelementów.

W układzie trzech zbiorników wodnych jeden odzwierciedlał warunki naturalne akwenu oligotroficznego, drugi zasilany był połową dawki ścieku modelowego i odwzorowywał warunki mezotroficzne, w trzecim zastosowano pełną dawkę ścieku i stanowił on odniesienie do akwenu eutroficznego. Skład chemiczny ścieku modelowego był odniesieniem, w formie mineralnej, do składu ścieków bytowo - gospodarczych [Wojarska 1995]. Sporządzono go według zmodyfikowanej receptury Weinbergera [Kalisz, Saubut 1993], stosując następujące składniki: NH_4NO_3 , KH_2PO_4 , KCl , CaCl_2 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, NaCl , $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, CuSO_4 .

Do zasiedlenia zbiorników zastosowano 38 gatunków hydrofitów i helofitów charakteryzujących się: pospolitym występowaniem, możliwością pozyskania ich z naturalnych zbiorowisk, szybką adaptacją i znacznymi przyrostami biomasy oraz wysoką kumulacją biogenów. Układ gatunków powtarzających się w każdym ze zbiorników, przewidywał ilość i rodzaj diaspor oraz ich rozmieszczenie.

Wyniki badań

Uśrednione wartości makro- i mikroelementów środowiska wodnego zbiorników przedstawione w tabeli 1, potwierdziły przyjęte w metodyce założenia:

- w zbiorniku oligotroficznym w odniesieniu do biogenów (formy azotu i fosforu) oraz pozostałych składników zawartość ich była niższa lub równa wskaźnikom podanym dla I klasy czystości wód [Rozporządzenie MOŚZNiL 1991];
- w zbiorniku mezotroficznym zawartość biogenów utrzymywała się między II, a III klasą czystości;
- w zbiorniku eutroficznym zawartość biogenów charakteryzowała wody silnie eutroficzne i była od 1,3 do 3 razy wyższa niż dopuszczalne wartości przyjęte dla ścieków wypuszczanych do ziemi lub wody.

Pod koniec wegetacji w 1996 r wycięto i zważono całą nadwodną biomasę zbiorników, dzieląc ją na gatunki. Na podstawie obserwacji biometrycznych roślin, powierzchni zajmowanej przez poszczególne gatunki oraz ilości wytwarzanej biomasy, wytypowano gatunki dominujące w każdym ze zbiorników. Zaobserwo-

wano, że wraz ze wzrostem troficzności siedliska zmniejszała się liczba gatunków, a wzrastała biomasa dominantów, które wyodrębniły się już po roku kształtowania się biocenoz. W stosunku do zbiornika oligotroficznego (2310g) w zbiorniku mezotroficznym uzyskano około 6-cio krotnie większą biomasa nadwodną (14403g), a w zbiorniku eutroficznym około 18-krotnie (40452g). Spośród 38 nasadzonych hydromakrofitów tendencję dominującą wykazało 12 gatunków. Możliwości kumulacji makro- i mikroelementów w 12 gatunkach hydromakrofitów określono na podstawie analiz chemicznych materiału roślinnego (tab.2). Ma to szczególne znaczenie przy pobieraniu przez rośliny i kumulowaniu zanieczyszczeń oraz dla koncepcji usuwania ich wraz z częścią biomasy poza ekosystemem.

Tabela 1.

Średni skład fizyczno-chemiczny środowiska wodnego w zbiornikach w latach 1995-1997: o - oligotroficzny, m - mezo-, e - eutroficzny.

The average physical nad chemical contents of waters in reservoir in the years 1995-97: o - oligotrophic, m - mezotrophic, e - eutrophic.

L p.	Wskaźnik Indicator	Jednostki Units	Zbiornik - trofia Reservoir - trophy		
			o	m	e
1	pH		8,15	7,2	6,0
2	Konduktywność conductivity	Ms cm ⁻¹	0,59	1,58	2,78
3	N _{og}	mg N dm ⁻³	5,12	11,43	49,55
4	NO ₃	mg NO ₃ dm ⁻³	0,45	19,9	46,96
5	NH ₄	mg NH ₄ dm ⁻³	0,19	2,96	22,26
6	P	mg P/dm ³	0,04	6,88	14,10
7	Na	mg Na/dm ³	16,37	151,02	290,38
8	K	mg K/dm ³	3,14	41,39	145,42
9	Ca	mg Ca/dm ³	78,61	271,34	471,07
10	Mg	mg Mg/dm ³	19,26	67,35	115,21
11	Fe	mg Fe/dm ³	≤0,10-0,20	≤0,10-0,36	≤0,10-1,77
12	Zn	mg Zn/dm ³	0,26	0,53	5,79
13	Cu	mg Cu/dm ³	≤0,02	≤0,02	≤0,02-0,06
14	Mn	mg Mn/dm ³	≤0,02-0,14	≤0,02-1,67	3,85

Największą ilość składników w zbiorniku oligotroficznym pobierał marek szerokolistny, a najmniejszą pałka szerokolistna z wyjątkiem manganu, którego pałka pobrała średnio dwukrotnie więcej od innych gatunków.

W zbiorniku mezotroficznym ilości makro i mikroelementów pobierane przez dominanty były nieznacznie zróżnicowane, przy czym najwięcej pierwiastków

kumulowały turzycę brzegową oraz pałki wąsko- i szerokolistną.

Duża zasobność środowiska w zbiorniku eutroficznym indukowała rozwój jedynie trzech dominantów: miany mielec oraz obu pałek.

Na przykładzie pałki wąskolistnej, która występowała w każdym ze zbiorników jako dominant, przeanalizowano rozwój biometryczny po implantacji kłaczy od 1.IV.1995, przez dwa sezony wegetacyjne oraz zawartości makro- i mikroelementów w biomacie nadziemnej i podziemnej na tle troficzności siedliska (tab. 3). Zróżnicowanie biometryczne pałki wąskolistnej związane było z troficznością zbiorników. Przejawiało się to w szybszych przyrostach wysokości, większym zagęszczeniu i zajmowanej powierzchni oraz intensywniejszym zabarwieniu w miarę rosnącej trofii.

Najwyższą kumulację form azotu w pałce wąskolistnej stwierdzono w środowisku eutroficznym, zarówno w biomacie nadziemnej jak i podziemnej. Początek wegetacji charakteryzował się zwiększonym zapotrzebowaniem na azot (w suchej masie części nadziemnych 0,83 ppm N_{og} w zbiorniku mezotroficznym i 1,03 ppm N_{og} w s.m. w zbiorniku eutroficznym) w porównaniu do końca wegetacji 9.IX.1997 (0,30 ppm w zbiorniku mezotroficznym i 0,59 ppm w s.m. w zbiorniku eutroficznym).

Tab 3. Średnie wartości makro i mikroelementów w środowisku wodnym ($mg\ dm^{-3}$) oraz w biomacie ($mg\ kg\ sm^{-1}$) pałki wąskolistnej *Typha angustifolia* na tle troficzności zbiorników: n - część nadziemna, p - część podziemna.

The average values of micro- and macroelements water environment and biomass of *Typha angustifolia* in the reservoir of different trophy: n – overground part, p – underground part.

Składniki jednostki Elements units	Termin poboru próbki Date of sampling	Zbiorniki Reservoirs					
		oligotroficzny oligotrophic		mezotroficzny mesotrophic		eutroficzny eutrophic	
		woda water	biomasa biomass	woda water	biomasa biomass	woda water	biomasa biomass
N_{og}	6.VI	3,12	n	11,43	n 0,83	49,55	n 1,03
			p		p 0,74		p -
$mg\ N\ dm^{-3}$	9.IX		n 0,25		n 0,30		n 0,59
			p 0,37		p 0,39		p 1,14
NO_3	średni average	0,45		9,00		26,96	
NH_4	średni average	0,19		2,96		22,26	
P_{og}	6.VI	0,04	n -	6,88	n 0,29	14,10	n 0,29
			p -		p 0,34		p 0,34
Mg	9.IX		n 0,51		n 0,39		n 0,42

P dm ⁻¹			p 0,57		p 0,25		p 0,43
Na	6.VI	19,56	n -	230,28	n 2,15	441,73	n 3,48
mg Na dm ⁻¹	9.IX		p -		n 1,08		p -
							n 1,64
			p -				p -
K	6.VI	5,90	n -	58,52	N	147,83	n 13,53
mg K dm ⁻³	9.IX		p -		n 8,6		10,73
							n 5,32
			p -		p -		p -
Ca	6.VI	111,4	n -	449,53	n 3,49	799,14	n 6,88
mg Ca dm ⁻³	9.IX		p -		n 5,06		p -
							n 4,02
			p -		p -		p -
Mg	6.VI	23,49	n -	97,34	n 0,52	165,91	n 0,8
mg Mg dm ⁻³	9.IX		p -		n 0,26		p -
							n 0,41
			p -		p -		p -
Fe	6.VI	≤0,10	n -	≤0,1-	n 4,74	≤0,1-	n 2,67
mg Fe dm ⁻³	9.IX	0,20	p -	0,36	p -	1,77	p 39,9
			n 2,23		n 2,47		n 3,16
			p -		p -		p -
Zn	6.VI	0,26	n -	0,53	n 1,79	5,79	n 1,85
mg Zn dm ⁻³	9.IX		p -		n 1,54		p -
							n 2,15
			p -		p -		p -
Cu	6.VI	≤0,02	n -	≤0,02	n 0,15	≤0,02-	n 0,23
mg Cu dm ⁻³	9.IX		p -		p -	0,06	p 0,32
			n 0,28		n 0,25		n 0,27
			p -		p -		p -
Mangan	6.VI	≤0,02	n -	≤0,02-	n 6,41	3,85	n 7,63
mg Mn dm ⁻³	9.IX	0,14	p -	1,67	p -		p 9,00
			n 6,30		n 6,19		n 12,8
			p -		p -		p -

Zawartości fosforu (P_{og}) w biomacie roślin zbiornika mezotroficznego zmieniała się w niewielkich granicach i wynosiła dla s. m. części nadziemnych od

0,29 do 0,42 ppm, a dla części podziemnych od 0,25 do 0,43 ppm. W zbiorniku oligotroficznym (bez odniesienia do próby wiosennej) zawartość fosforu była wyrównana w biomacie podziemnej i nadziemnej i wynosiła od 0,51 do 0,57 ppm.

Zawartość makroelementów (Na, K, Ca, Mg) wzrastała wraz z troficznością zbiorników, charakteryzując się wyższymi wartościami na początku okresu wegetacji. Jedynie w przypadku wapnia, w nadziemnych częściach pałki, w zbiorniku mezotroficznym większa kumulacja Ca miała miejsce w pełni wegetacji osiągając wartość maksymalną 8,15 ppm.

W odniesieniu do mikroelementów (Fe, Zn, Cu, Mn) ich zawartość relatywnie wzrastała w zależności od troficzności środowiska wodnego. Ogólnie wyższa kumulacja pierwiastków występowała w podziemnych częściach roślin.

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie trzyletnich obserwacji roślin stwierdzono: w zbiorniku oligotroficznym - utrzymanie się dużej liczby gatunków, przy ich niewielkiej biomacie, liczebności oraz małym pokryciu powierzchni; w zbiorniku eutroficznym - zmniejszenie się liczby gatunków i ograniczenie ich do kilku, reprezentowanych przez liczne populacje, całkowicie pokrywające powierzchnię zbiornika.

Spośród testowanych gatunków roślin najbardziej odporne na silną eutrofizację, pochłaniające największą ilość biogenów i przydatne do nasadzeń w odbiornikach wód pościekowych, po mechanicznym i biologicznym etapie oczyszczania okazały się: pałka wąskolistna i szerokolistna *Typha angustifolia* i *T. latifolia*, uczepek trójlistkowy *Bidens tripartitus*, manna mielec *Glyceria aquatica*, sitowie leśne *Scirpus silvaticus*, psianka słodkogórz *Solanum dulcamara*, turzyca brzegowa *Carex riparia* i tatarak zwyczajny *Acorus calamus*. Inne gatunki, chociaż odporne na eutrofizację, okazały się mniej konkurencyjne i uległy wymienionym dominantom, utrzymując się w mniej lub bardziej licznych reprezentacjach. Pozostałe gatunki wycofały się i reprezentowane były przez pojedyncze osobniki lub wypadły.

Na podstawie uzyskanych wyników można wnioskować, że:

1. Większość badanych gatunków hydromakrofitów nadaje się do wykorzystania przy oczyszczaniu ścieków i doczyszczaniu wód w strefach ekotonowych. Ze względu na właściwości biologiczne i predyspozycje ekologiczne, m.in. tendencję do dominacji, ich zastosowanie wymaga zaplanowania odpowiedniego składu gatunkowego biocenozy, uwzględnienia liczby i rodzaju diaspor przypadających na jednostkę powierzchni oraz zapewnienia odpowiednich warunków siedliskowych.
2. Do gatunków dominujących zaliczono w zbiorniku oligotroficznym: ponikło błotne *Eleocharis palustris*, pałkę wąskolistną *Typha angustifolia*, szalejadowity *Cicuta virosa*, marek szerokolistny *Sium latifolium*, grzybień biały *Nymphaea alba*, łączeń baldaszkowy *Butomus umbellatus*; w zbiorniku mezotroficznym: pałkę

wąskolistną i szerokolistną, sitowie leśne, turzyce, tatarak, uczepek trójlistkowy; w zbiorniku eutroficznym: obie pałki, tatarak, mannę mielec i uczepek trójlistkowy.

3. Spośród badanych roślin największe przyrosty masy wykazały następujące gatunki: pałka wąskolistna, pałka szerokolistna, manna mielec, tatarak zwyczajny, turzyca brzegowa, ponikło błotne, szalej jadowity, marek szerokolistny, grzybień biały, łączeń baldaszkowy.

4. Do najliczniej reprezentowanych gatunków towarzyszących należą: kosaciec żółty *Iris pseudoacorus*, tatarak zwyczajny, grązel żółty *Nuphar luteum*, szalej jadowity, sitowie leśne. Gatunki te powinny być uzupełnieniem dominantów w biocenozach oczyszczających wodę.

5. Największą ilość biomasy wytworzyły w zbiorniku eutroficznym obie pałki i manna mielec. Gatunki te powinny być stosowane przede wszystkim w pobliżu miejsc odprowadzania ścieków do odbiorników.

Literatura

- [1] Pachuta K. 1997. Sprawozdanie końcowe grant KBN 501 05 08 0022. *Implantowanie roślin naczyniowych dla celów oczyszczalni ścieków*
- [2] Wojarska I. 1995. *Badania i nowe technologie oczyszczania ścieków z wykorzystaniem hydromakrofitów, na tle charakterystyki ilościowej i jakościowej ścieków bytowo - gospodarczych*. Oprac. w ramach grant KBN 501 05 08 0022.
- [3] Kalisz L., Sałbut J. 1993. *Wykorzystanie makrofitów do oczyszczania ścieków*. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 5: 37-48.
- [4] Rozporządzenie MOŚZNiL z dn. 5.XI.1991 w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub ziemi z dn. 16.XII.1991, Dz. U. nr 116, poz. 503.

Summary

Plants application possibility in sewage effluents reservoir and in wet ecoton protection zone- model investigation. The model field investigations carried out during three years allowed for the selection of hydrophytes and helophytes species useful in the different steps of water purification. In water treatment plants and ecotonic zones of water ecosystems can be used species: *Typha angustifolia* i *T.latifolia*, *Acorus calamus*, *Glyceria aquatica*, *Bidens tripartitus*, *Scirpus silvaticus*, *Carex sp.*, *Cicuta virosa*, *Sium latifolium*, *Nymphaea alba*, *Butomus umbellatus*, *Eleocharis palustris*.

Dr Kinga Pachuta

Katedra Przyrodniczych Podstaw Inżynierii Środowiska SGGW

ul. Nowoursynowska 166

02-786 Warszawa

Tab. 2. Biomasa i skład chemiczny (ppm lub mg/kg s.m.) dominantów zbiorników troficznych: ś.m. - świeża masa, gat. tow. - gatunki towarzyszące. Biomass and chemical contents of the dominants in reservoirs: f.m. - fresh mass, accomp. sp. - accompanied species.

L.p.	Gatunek Species	Udział w świeżej masie The quantity in the fresh mass (%)		Biogeny Biogens		Makroelementy Macroelements			Mikroelementy Microelements				
		ś.m. f.m. (g)	%	N%	P%	Na	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn
Zbiornik oligotroficzny (oligotrophic reservoir)													
1	<i>Eleocharis palustris</i>	754	32,6	0,72	0,84	1,77	11,5	12,3	1,08	3,18	3,48	0,28	5,33
2	<i>Typha latifolia</i>	275	11,9	0,38	0,33	2,34	3,57	5,49	0,48	2,72	1,19	0,24	11,1
3	<i>Cicuta virosa</i>	264	11,4	0,69	0,88	3,68	10,6	3,55	1,14	4,27	2,89	0,32	4,12
4	<i>Sum latifolium</i>	242	10,5	0,66	1,32	5,32	17,4	19,00	2,54	8,24	3,80	0,36	5,98
5	<i>Nymphaea alba</i>	164	7,1	0,60	0,62	6,36	10,5	5,89	0,69	5,31	1,86	0,22	8,10
6	<i>Butomus umbellatus</i>	154	6,7	0,61	0,88	1,81	15,4	6,99	1,06	7,01	5,06	0,31	7,85
7	<i>Typha angustifolia</i>	113	5,0	0,25	0,52	1,58	8,77	5,31	0,78	2,23	1,54	0,28	6,30
	Razem Sum	1966	85,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	gat. tow. accomp. sp.	344	14,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Razem Sum	2310	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zbiornik mezotroficzny (mesotrophic reservoir)													
1	<i>Carex</i>	4050	28,1	0,80	0,66	0,98	8,28	4,23	0,66	2,86	1,93	0,01	5,03
2	<i>Bidens tripartitus</i>	3665	25,5	0,35	0,57	0,95	9,47	4,06	0,83	6,22	2,29	0,28	2,20
3	<i>Typha angustifolia</i>	2594	18,0	0,30	0,39	2,71	5,13	8,40	0,41	2,47	1,25	0,25	6,19
4	<i>Scirpus sylvaticus</i>	1874	13,0	0,74	0,66	1,25	8,26	2,40	0,70	2,46	4,63	0,32	2,91
5	<i>Acorus calamus</i>	558	3,9	0,52	0,53	2,03	12,5	3,39	0,58	3,10	2,03	0,31	2,84
6	<i>Typha latifolia</i>	360	2,5	0,58	0,48	2,43	8,66	7,30	0,86	2,90	1,06	0,26	9,66
	Razem Sum	13103	91,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	gat. tow. accomp. sp.	1300	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Razem Sum	14403	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zbiornik eutroficzny (eutrophic reservoir)													
1	<i>Glyceria maxima</i>	3486	85,8	1,31	1,1	1,13	12,2	4,10	1,12	3,92	4,57	0,35	4,63
2	<i>Typha angustifolia</i>	3895	9,6	0,59	0,43	2,74	5,49	4,27	0,43	3,16	2,15	0,27	12,8
3	<i>Typha latifolia</i>	1571	3,9	0,78	0,44	2,34	8,41	3,47	0,45	2,93	2,77	0,30	5,44
	Razem Sum	40152	99,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	gat. tow. accomp. sp.	300	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Razem Sum	40452	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-