

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PEDAGOGICKÁ FAKULTA

Katedra biologie



## **Význam rostlin v kořenových čistírnách**

Bakalářská práce

Martin Běhal

Olomouc 2014

vedoucí práce: RNDr. Olga Vránová, Ph.D.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně dle metodických pokynů RNDr. Olgy Vránové, Ph.D. a uvedl jsem v seznamu literatury všechny použité zdroje.

V Olomouci dne 21.4.2014

---

## **Poděkování**

Děkuji vedoucí mé bakalářské práce RNDr. Olze Vránové, Ph.D. za trpělivost, cenné rady a připomínky, které mi ochotně poskytovala.

Chtěl bych také poděkovat své rodině a všem blízkým, kteří mě při studiu a vytváření mé práce podporovali.

## Anotace

<b>Jméno a příjmení:</b>	Martin Běhal
<b>Pracoviště:</b>	Katedra biologie
<b>Vedoucí práce:</b>	RNDr. Olga Vránová, Ph.D.
<b>Rok obhajoby:</b>	2014

<b>Název práce:</b>	Význam rostlin v kořenových čistírnách
<b>Název v angličtině:</b>	Importance of plants for wastewater treatment
<b>Anotace práce:</b>	<p>Tato bakalářská práce se zabývá poznatky o významu a funkci rostlin typu helofytů v kořenových čistírnách odpadních vod. V práci je zhodnocen především význam mokřadních rostlin pro odbourávání organických látek, pro fixaci a růst bakterií a potenciál podzemních rostlinných orgánů k zásobování půdy kyslíkem. Pozornost je věnována také intenzitě evapotranspirace rostlin v kořenových čistírnách a ovlivňování mikroklimatu prostředí kořenové čistírny. Je vytvořen přehled druhů mokřadních rostlin používaných v kořenových čistírnách. Součástí práce je také zhodnocení nevýhod, které souvisejí s čistěním vod prostřednictvím rostlin.</p>
<b>Klíčová slova:</b>	biologické čištění odpadních vod, biologické nádrže, kořenové čistírny odpadních vod, mokřadní vegetace, evapotranspirace
<b>Anotace v angličtině:</b>	<p>This bachelor thesis deals with knowledge of importance and functions of helophytes for wastewater treatment. In the thesis, it is evaluated importance of swamp plants for elimination of organic matter, for fixation and growth of bacteria and ability of underground plant structure to supply oxygen into soil. It is paid attention to intensity of plant evapotranspiration and influencing of the microclimate in wastewater treatment. In the thesis, it is made an overview of species of swamp plants</p>

	which are used in wastewater treatment. There is also made the evaluation of disadvantages which are connected with biological wastewater treatment.
<b>Klíčová slova v angličtině:</b>	biological wastewater treatment, sewage tanks, vegetation purification plants, swamp plants, evapotranspiration
<b>Přílohy vázané v práci:</b>	–
<b>Rozsah práce:</b>	48 s.
<b>Jazyk práce:</b>	Čeština

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	8
<b>2 Cíle práce</b> .....	9
<b>3 Metodika</b> .....	10
<b>4 Adaptace mokřadní vegetace</b> .....	11
4.1 Anatomické a morfologické adaptace .....	11
4.2 Fyziologické adaptace .....	16
<b>5 Funkce vegetace</b> .....	18
5.1 Tvorba struktur .....	18
5.2 Přívod kyslíku .....	18
5.3 Zdroj organického uhlíku .....	19
5.4 Tepelná izolace .....	20
5.5 Stabilizace lože .....	20
5.6 Hydraulická propustnost .....	20
5.7 Odčerpávání živin .....	21
5.8 Evapotranspirace .....	21
5.9 Estetická funkce .....	24
<b>6 Vegetace</b> .....	25
6.1 Přehled rostlin používaných k osázení vegetačních loží .....	26
6.2 Charakteristika vybraných druhů makrofyt .....	27
6.2.1 Rákos obecný ( <i>Phragmites australis</i> (CAV.) TRIN.) .....	27
6.2.2 Chrastice rákosovitá ( <i>Phalaris arundinacea</i> L.) .....	28
6.2.3 Orobinec úzkolistý ( <i>Typha angustifolia</i> L.) a širokolistý ( <i>Typha latifolia</i> L.) .....	29
6.2.4 Zblochan vodní ( <i>Glyceria maxima</i> (HARTM.) HOLMB.) .....	31
6.2.5 Skřípinec jezerní ( <i>Schoenoplectus lacustris</i> (L.) PALLA) .....	32
6.2.6 Sítina rozkladitá ( <i>Juncus effusus</i> L.) .....	33
6.2.7 Puškvorec obecný ( <i>Acorus calamus</i> L.) .....	33
6.2.8 Kosatec žlutý ( <i>Iris pseudacorus</i> L.) .....	34
6.2.9 Kosatec sibiřský ( <i>Iris sibirica</i> L.) .....	35

<b>7 Množení a sázení rostlin vhodných pro KČOV .....</b>	<b>36</b>
7.1 Množení .....	36
7.1.1 Rákos obecný ( <i>Phragmites australis</i> (CAV.) TRIN.).....	36
7.1.2 Chrastice rákosovitá ( <i>Phalaris arundinacea</i> L.) .....	37
7.1.3 Orobinec úzkolistý ( <i>Typha angustifolia</i> L.) a širokolistý ( <i>Typha latifolia</i> L.).....	37
7.1.4 Zblochan vodní ( <i>Glyceria maxima</i> (HARTM.) HOLMB.).....	37
7.2 Výsadba .....	38
<b>8 Péče o rostlinstvo po výsadbě do kořenových polí.....</b>	<b>39</b>
8.1 Ošetřování porostu rostlin .....	39
8.2 Kosení.....	39
<b>9 Nevýhody čištění pomocí rostlin.....</b>	<b>42</b>
<b>10 Závěr.....</b>	<b>43</b>
<b>11 Seznam zkratk.....</b>	<b>44</b>
<b>12 Literatura a použité zdroje.....</b>	<b>45</b>

# 1 Úvod

Kořenové čistírny odpadních vod (KČOV) jsou jednou z nejvyužívanějších technologií, které se používají k extenzivnímu způsobu čištění odpadních vod. Jsou to umělé mokřady, které jsou navrhovány a stavěny tak, aby při čištění odpadních vod byly využívány procesy, které probíhají v mokřadech přirozených. Nezbytnou součástí KČOV je mokřadní vegetace, která je osázená na mělkých nádržích se šterkovou náplní různé zrnitosti. Tyto systémy jsou založeny na mechanických, fyzikálně-chemických a biologických procesech, které probíhají ve filtrační vrstvě za spolupůsobení rostlin. Tyto procesy svým charakterem a rychlostí odpovídají procesům, které můžeme pozorovat v přirozených mokřadních a vodních systémech. Jde tedy o speciální typ biologických filtrů s výsadbou mokřadních rostlin (MLEJNSKÁ *et al.* 2009).

Existuje celá řada druhů kořenových čistíren, nejrozšířenější jsou však umělé mokřady, které jsou osázeny emerzními (vynořenými) druhy rostlin. První pokusy s využitím emerzních mokřadních rostlin byly prováděny v Německu již na začátku 50. let minulého století (KOUŘIL 2006). Role těchto rostlin v KČOV je stále předmětem obšírné diskuze. Dvacetiletý výzkum v této oblasti však jednoznačně potvrdil, že přítomnost vegetace v kořenových čistírnách má svůj význam, i když původně předpokládané funkce se nepotvrdily (VYMAZAL 1995).



## 2 Cíle práce

Cíle této bakalářské práce jsou následující:

- charakteristika mokřadních rostlin a shrnutí jejich anatomických, morfologických a fyziologických vlastností;
- zhotovení fotografií příčných řezů kořeny, které dokumentují přítomnost speciálního pletiva v kořenech mokřadních rostlin;
- zpracování poznatků, které se týkají funkcí a významu rostlinstva, které se váže k zamokřenému a zabahněnému prostředí ve vegetačních čistírnách odpadních vod;
- vytvoření přehledu druhů bylin, které se používají k osázení vegetačních polí a charakteristika těch nejpoužívanějších;
- popsání rozmnožování, sázení a následného ošetřování rostlinstva vhodného do loží kořenových čistíren.

### 3 Metodika

Většina informací v této bakalářské práci byla získána a zpracována na základě literární rešerše. Údaje byly čerpány studiem odborné literatury, která se zabývá vegetačními čistírnami odpadních vod. V internetových zdrojích byla vyhledávána klíčová slova jako „biologické čištění odpadních vod“, „biologické nádrže“, „kořenové čistírny odpadních vod“ „mokřadní vegetace“ či „evapotranspirace“. Pro vyhledávání byl využit vyhledávač Google Scholar. Dále probíhala komunikace s vlastníky vegetačních čistíren, což byli převážně zastupitelé z malých obcí. Například z obce Chmelná v okrese Benešov, ve které je postavena kořenová čistírna využívaná 130 EO (ekvivalentními obyvateli) nebo z obce Dražovice v okrese Klatovy s KČOV pro 170 EO. V rámci školních exkurzí jsem také dne 10.4.2014 navštívil obec Hostětín v okrese Uherské Hradiště, ve které se nachází vegetační čistírna pro 250 EO. Otázky, které byly směřovány na majitele KČOV se týkaly především toho, jaké druhy mokřadních rostlin se používají v místních kořenových čistírnách.

Součástí bakalářské práce jsou vlastní fotografie, které dokumentují vnitřní stavbu kořenů čtrnácti druhů mokřadních rostlin používaných v KČOV. Odběr vzorků spočíval ve vykopání kořenových systémů na různých lokalitách CHKO Litovelské Pomoraví. Například zevar vzpřímený (*Sparganium erectum* L.) se odebíral u jezera Poděbrady u Olomouce; skřípina lesní (*Scirpus sylvaticus* L.) u jezírka v PP Bázlerova pískovna u Olomouce; rákos obecný (*Phragmites australis* (CAV.) TRIN.) a orobince (*Typha* L.) u rybníka Rozvišť u ekologického centra Sluňákov v Horce nad Moravou nebo ostřice (*Carex* L.) u Chomoutovského jezera u Olomouce. Následně se vzorky musely očistit vodou a z jejich středních částí adventivních kořenů se vyřízlo dostatečné množství dlouhých úseků, které byly přibližně 2 cm dlouhé. Poté proběhla fixace těchto úseků ve FAA (formaldehyd-aceto-etanolové) fixáži, která je vyrobena z 90 ml 70% etanolu, 5 ml 98% kyseliny octové a 5 ml 40% formaldehydu. Z těchto zafixovaných vzorků se nechaly v histologické laboratoři zhotovit trvalé preparáty. Aby došlo ke zvýraznění anatomických struktur v kořenech, barvily se genciánovou violetí a oranží G. U zhotovených trvalých preparátů se prováděla mikrofotografická dokumentace při zvětšení 150×, na laboratorním mikroskopu BX51 od firmy Olympus, na kterém byl upevněn digitální fotoaparát Camedia C-4040ZOOM také od firmy Olympus. Následně pořízeným fotografiím byla přidána ostrost a míra kontrastu v grafickém programu Adobe Photoshop CS5.

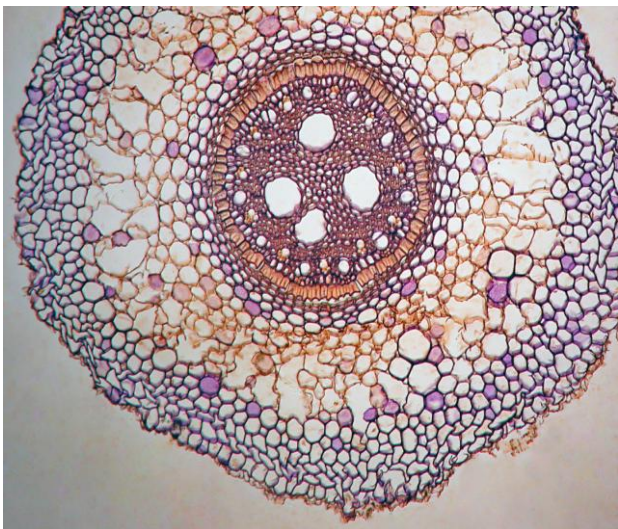
## 4 Adaptace mokřadní vegetace

Pro mokřady je charakteristické typické rostlinstvo, které se dokázalo adaptovat na neustálý přísun vody. Podle ČÍŽKOVÉ (2014) při porovnání mokřadních a suchozemských rostlin se dá rozpoznat celosvětová podobnost mokřadních makrofyt. Tato podobnost souvisí s podnebnými podmínkami a vystihuje ji dlouhodobé zaplavování substrátu, velké množství živin a přímý nedostatek kyslíku, s kterým se musí podzemní orgány rostlin vypořádávat. Důsledkem hypoxického prostředí nad povrchem, anoxického prostředí pod povrchem země a dalších činitelů jsou specifické vlastnosti prostředí, kterým jsou kořeny mokřadní vegetace vystaveny. Například je možné uvést výskyt jedovatých látek, které vznikají po redukci manganičitých a železitých sloučenin, sírany a dusičnany jsou redukovány na amoniak a sulfidy. Mění se dostupnost fosforu a jiných nutrientů a částečná anaerobní dekompozice organického materiálu vytváří nepřehledné množství dalších jedovatých látek. O těchto podmínkách se častokrát vedly diskuze v souvislosti s vegetací. Z toho jsme schopni odvodit, že přizpůsobení makrofyt je nejen přímé proti zaplavování, které souvisí s kyslíkovým zatížením, ale také nepřímé ve spojitosti s přísunem nutrientů. Trvalé zaplavování snižuje výskyt mnoha větších živočichů, které se živí rostlinnou stravou. To způsobuje obzvláště v mírném klimatickém pásu menší tlak ze strany těchto organismů než v přilehlých suchozemských porostech (VYMAZAL 1995).

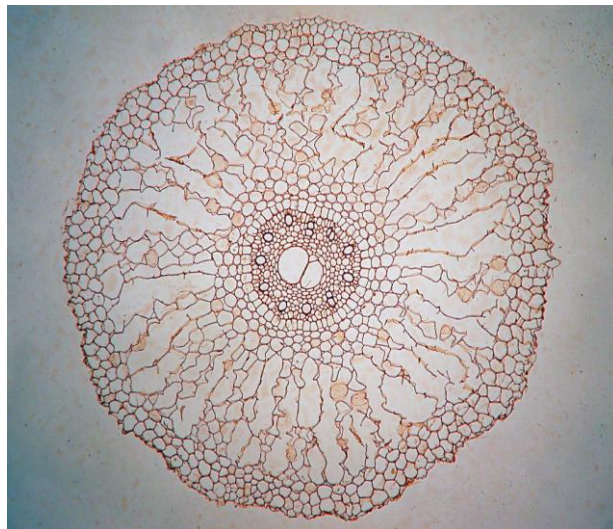
### 4.1 Anatomické a morfologické adaptace

Vypořádávat se se zaplavováním, kyslíkovým deficitem a následující chemickou redukcí substrátu mokřadními bylinami umožňují strukturální adaptace, které se u nich vyvinuly. Jednou z nejdůležitějších strategií, kterou si vytvořily v podstatě všechny mokřadní rostliny je mechanismus, kterým odstraňují anoxii v prostředí jejich podzemních orgánů. Podle VYMAZALA (1995) přítomnost kyslíku je pokládána za naprosto nepostradatelnou pro aktivní funkci kořenů. Také umožňuje bylinám potlačovat působení rozpuštěných fyto toxinů včetně sulfidů a kovů, které se mohou vyskytovat ve velkých koncentracích v anoxické zemině. Adaptaci, která umožňuje přesun kyslíku z nadzemních částí vegetace do podzemních, popisuje STODOLA a VANĚK (1987). V základním pletivu mokřadních rostlin jsou hojně vyvinuty mezibuněčné prostory (interceluláry), ve kterých se kumulují nejčastěji vzduch. Tyto prostory

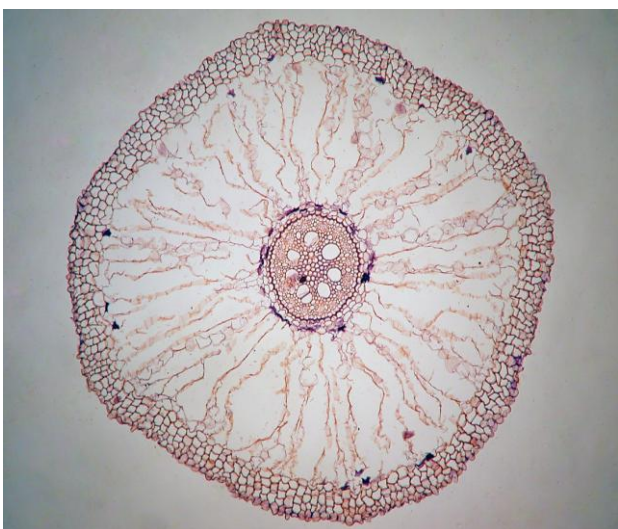
jsou vytvářeny systémem kanálků, který provzdušňuje, eventuálně nadlehčuje ve vodě celé tělo byliny. Takovým příkladem tenkostěnného a velkobuněčného pletiva s velkými, vzduchem zaplněnými prostory mezi buňkami je aerenchym, který můžeme pozorovat ve stoncích, stolonech, oddencích nebo kořenech (obr. 1–14).



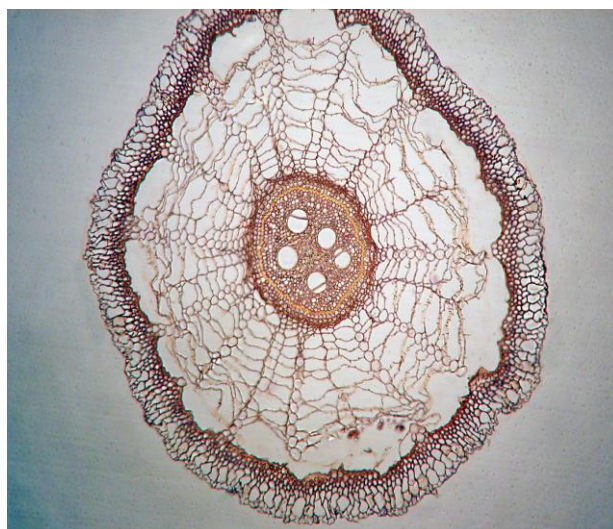
Obr. 1: Chrastice rákosovitá  
(*Phalaris arundinacea* L.)  
zvětšení: 150×



Obr. 2: Orobinec širokolistý  
(*Typha latifolia* L.)  
zvětšení: 150×

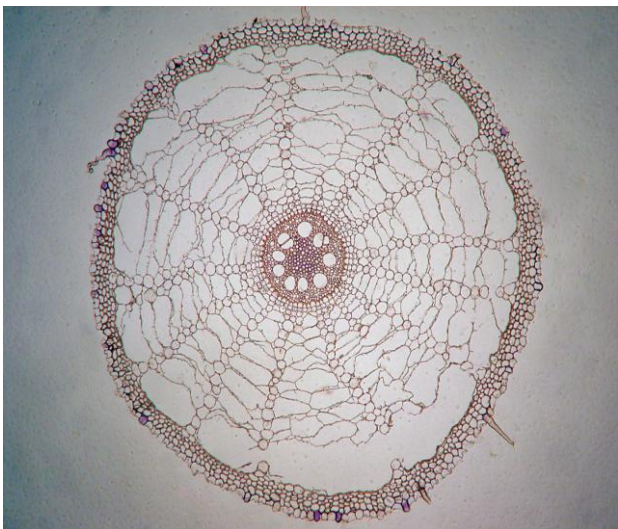


Obr. 3: Orobinec úzkolistý  
(*Typha angustifolia* L.)  
zvětšení: 150×



Obr. 4: Ostřice liščí  
(*Carex vulpina* L.)  
zvětšení: 150×

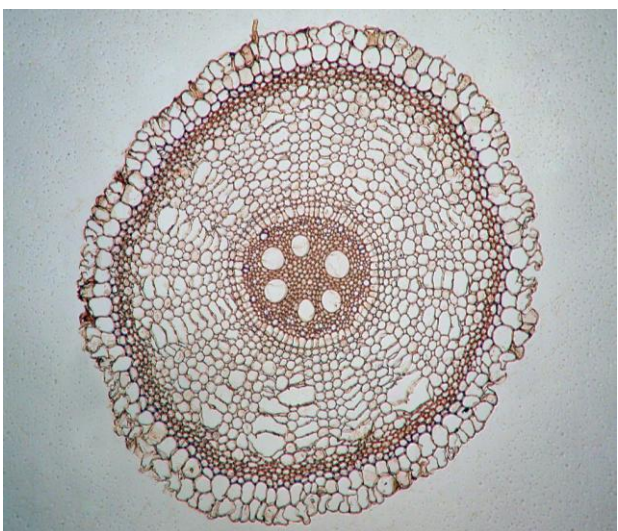




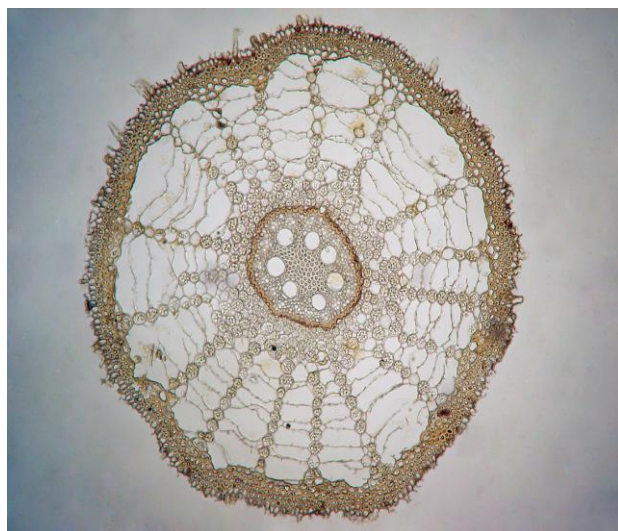
Obr. 5: Ostřice měchýřkatá  
(*Carex vesicaria* L.)  
zvětšení: 150×



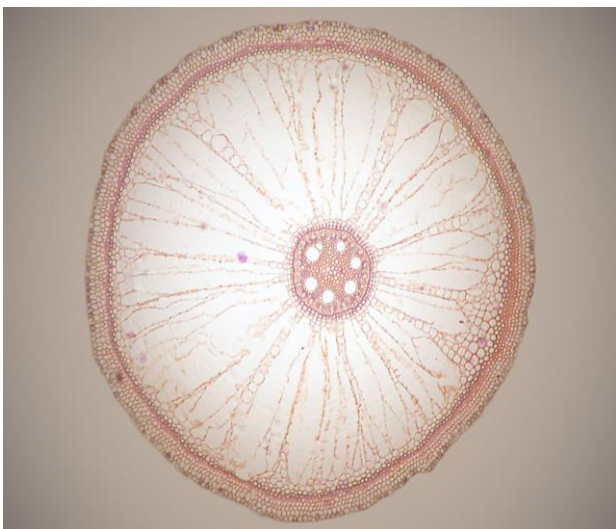
Obr. 6: Ostřice pobřežní  
(*Carex riparia* CURTIS)  
zvětšení: 150×



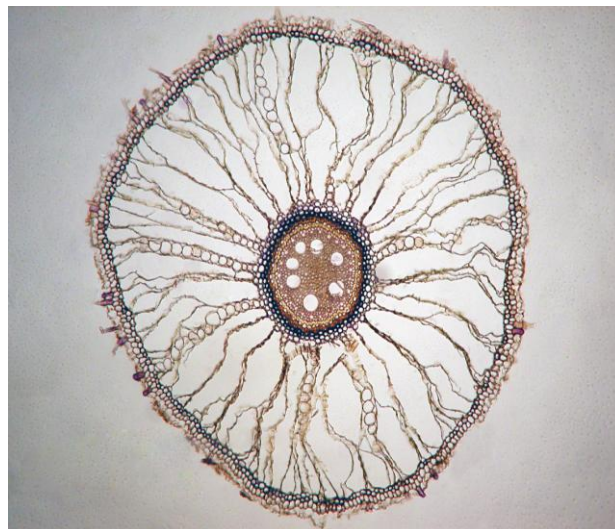
Obr. 7: Ostřice prodloužená  
(*Carex elongata* L.)  
zvětšení: 150×



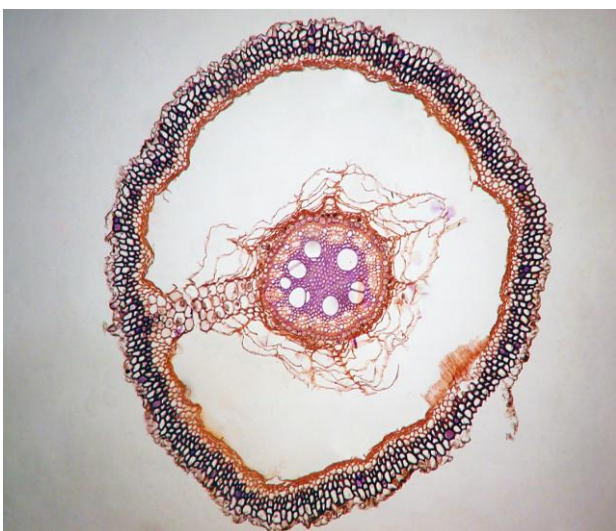
Obr. 8: Ostřice štíhlá  
(*Carex acuta* L.)  
zvětšení: 150×



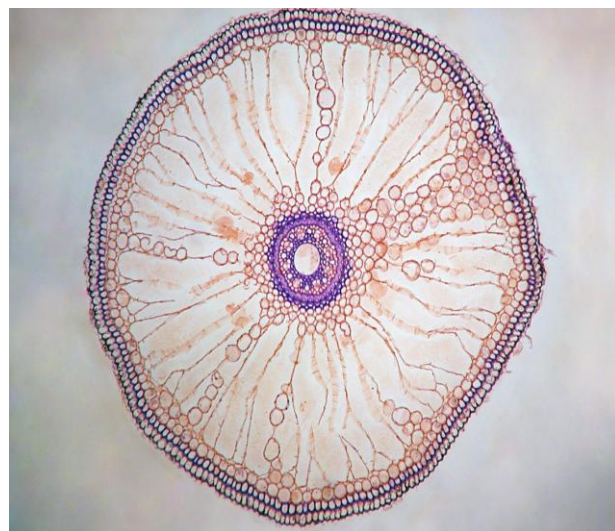
Obr. 9: Rákos obecný  
*(Phragmites australis (CAV.) TRIN.)*  
 zvětšení: 150×



Obr. 10: Sítina rozkladitá  
*(Juncus effusus L.)*  
 zvětšení: 150×

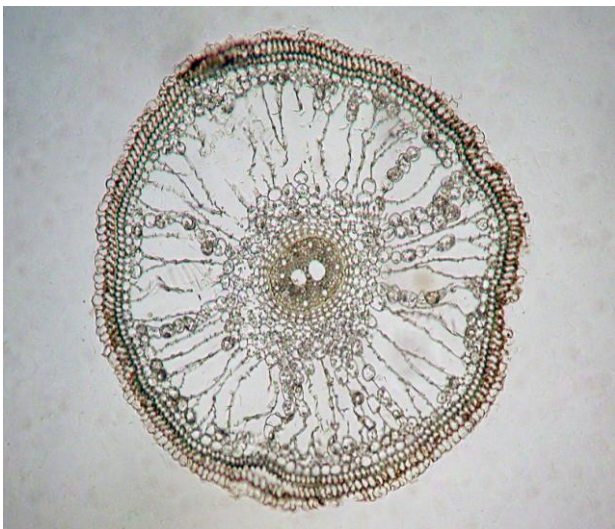


Obr. 11: Skřípina lesní  
*(Scirpus sylvaticus L.)*  
 zvětšení: 150×



Obr. 12: Zblochan vodní  
*(Glyceria maxima (HARTM.) HOLMB.)*  
 zvětšení: 150×



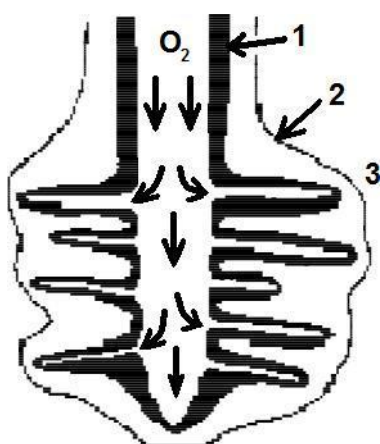


Obr. 13: Zblochan vzplývavý  
(*Glyceria fluitans* (L.) R. BR.)  
zvětšení: 150×



Obr. 14: Zevar vzpřímený  
(*Sparganium erectum* L.)  
zvětšení: 150×

VYMAZAL (1995) uvádí, že množství kyslíku, které proniká do kořenového systému je jak dostačující, aby vyhovovalo nárokům kořenů, tak se navíc kyslík dostává do okolního anoxického substrátu. Výše okysličení je podmíněna několika faktory včetně potřeby kyslíku pro biologické a chemické procesy v zemině a propustnost kořenů, která je rozdílná pro různé druhy bylin. Schematicky je tento jev znázorněn na obrázku 15.



Kyslík je aerenchymem přepravován z ovzduší do kořenů.

1. část kyslíku proniká do substrátu, a tím se vytváří aerobní zóna (+ $O_2$ )
2. anoxická zóna ( $-O_2$ ,  $+NO_3^-$ ) v okolí kořenů a oddenků
3. anaerobní půda ( $-O_2$ ,  $-NO_3^-$ )

Obr. 15: Schematické znázornění redoxních podmínek v okolí kořenů mokřadních bylin (VYMAZAL 1995).

Mezi další významná anatomická a morfologická přizpůsobení podle HEJNÉHO a HROUDOVÉ (1987) například patří:

- zvětšení oddenků, listů nebo květů – leknín (*Nymphaea* L.), stulík (*Nuphar* SM.), viktorie (*Victoria* LINDL.);
- vynoření velkých listů nad vodní hladinu – lotos (*Nelumbo* ADANS.);
- zvětšení vzdušných výhonů – šáchor papírodárný (*Cyperus papyrus* L.), skřípina (*Scirpus* L.);
- rozšíření vzdušných výhonků do velkých rozměrů – ježatka (*Echinochloa stagnina* (RETZ.) BEAUV.), orobinec (*Typha* L.), rákos (*Phragmites* ADANS.);
- zmenšení velikosti listů v hustých stanovištích – azola (*Azolla* LAMK.), drobnička (*Wolffia* HORKEL EX SCHLEID.), nepukalka (*Salvinia* SÉGUIER), okřehek (*Lemna* L.), závitka (*Spirodela* SCHLEID.);
- zesílení listů a stonků jako důsledek změn v hydrostatickém tlaku – neptunie (*Neptunia* LOUR.), prustka (*Hippuris* L.), pupečník (*Hydrocotyle* L.), rdesno (*Polygonum* L.), tokozelka (*Eichhornia* KUNTH).

Jinou biologickou modifikací je vytváření vegetativních reprodukčních orgánů. Velký počet podzemních hlíz nebo hustý oddenkový systém zabraňuje prorůstání jiných druhů rostlin do stanoviště. Vegetativní rozmnožování umožňuje rostlinným populacím přežít nepříznivá období, kdy většina nebo všechny vzdušné výhony jsou odumřelé.

## 4.2 Fyziologické adaptace

Některé fyziologické vlastnosti mokřadní vegetaci umožňují osídlit stanoviště s mělkou vodou. K nejdůležitějším přizpůsobením podle HEJNÉHO a HROUDOVÉ (1987) se například řadí:

- rychlý růst, produkce velkého množství biomasy a maximální využití dostupných živin – orobinec širokolistý (*Typha latifolia* L.), tokozelka nadmutá (*Eichhornia crassipes* (MART.) SOLMS), zblochan vodní (*Glyceria maxima* (HARTM.) HOLMB.);



- dlouhotrvající vegetační klid podzemních orgánů a semen během nepříznivého období (dlouhá doba sucha nebo zaplavení) – kamyšík přímořský (*Bolboschoenus maritimus* (L.) PALLA);
- přerušování klidu semen ve výhodných podmínkách pro vyhánění klíčků a vývoj – halucha vodní (*Oenanthe aquatica* (L.) POIR.).

Metabolické adaptace umožňují rostlinám přežít i při nedostatku kyslíku v zamokřené půdě, protože buňky jsou schopné přejít na anaerobní metabolismus – kvašení (ARMSTRONG 1975). To je však ve srovnání s aerobní respirací málo energeticky účinné. Nevýhodou kvašení je také vznik toxických produktů jako je etanol nebo kyselina mléčná. Mokřadní rostliny tolerantní k zaplavení jsou schopny vylučovat etanol ze svých pletiv, případně přeměnit kvašení na produkci relativně netoxických látek jako jsou kyselina jablečná, kyselina glutamová nebo glycerol (DREW 1983). Metabolické adaptace se uplatňují spíše při krátkodobém překonávání půdní anoxie.

## 5 Funkce vegetace

Význam mokřadního rostlinstva ve vegetačních čistírnách je pořád diskutovaným tématem pro bádání. Dosavadní výsledky prokázaly, že rostliny do jisté míry ovlivňují pochody čištění. Předmětem zkoumání jsou dva faktory: množství kyslíku v kořenové zóně a odběr nutrientů. Veškerá mokřadní vegetace přijímá a akumuluje celou řadu makro- a mikroelementů, včetně nutrientů, těžkých kovů a podobně. Také vynikají mezi všemi bylinami v tom, že mají schopnost vázat minerální živiny do organické hmoty (MLEJNSKÁ *et al.* 2009). Ačkoliv přítomnost rostlin ve filtračním loži není patrně klíčová pro výrazné zesílení samotného účinku čištění, plní vegetace celou škálu důležitých úloh.

### 5.1 Tvorba struktur

KOČKOVÁ *et al.* (1994) uvádí, že jednou z nejvýznamnějších funkcí rostlin ve vegetačních čistírnách je vytváření struktur z ponořených částí bylin. Ty slouží jako vhodné prostředí pro rozvoj nejrůznějších druhů mikrobiálních populací, které jsou na podzemní část makrofyty vázány a především jsou zodpovědné za proces čištění odpadní vody. V bezprostřední blízkosti kořenové sítě se tvoří slabá aerobní vrstva, která umožňuje existenci aerobních bakterií a jejich následnou reprodukci. ČÍŽKOVÁ (1992) uvádí, že hustota osídlení na povrchu kořenů amonifikačními, nitrifikačními a denitrifikačními populacemi bakterií je o jeden až dva řády větší než hustota osídlení minerálních částic. Tato úloha má také souvislost s metabolickými účinky, především s přívodem kyslíku a s poskytováním metabolizovatelného uhlíku. Celkové množství mikroorganismů, které se vyskytují v substrátu, je stupňováno v závislosti na ploše, kterou mají k dispozici. Z tohoto důvodu by jedním z kritérií při projektování vegetačních čistíren mělo být dosažení co největší plochy podzemních orgánů, což souvisí s co největší hloubkou a hustotou kořenové sítě.

### 5.2 Přívod kyslíku

Za další podstatnou úlohu vegetace v čistícím procesu odpadních vod je považován transport kyslíku do kořenové zóny. KOČKOVÁ *et al.* 1994 uvádí, že kořenová síť makrofyty,

kteřá prostupuje zeminou, přenáší atmosférický kyslík do mnohem větších hloubek, než by se mohl dostat samotnou difuzí. Kyslík z ovzduší do kořenů a oddenků proniká systémem vzdušných prostor, které se nacházejí uvnitř těla byliny, a část kyslíku prostupuje přes povrchová pletiva podzemních orgánů do substrátu. Tímto způsobem se v zemině tvoří mozaika aerobních a anaerobních oblastí, ve kterých nastává rozkládání organického materiálu. Dochází zde ale také k jiným dějům jako například denitrifikace, při které se dusík z anorganických sloučenin přeměňuje až na plynný dusík, který uniká do ovzduší. Nicméně podle ČÍŽKOVÉ (1992) například rákos není schopný zásobit substrát kyslíkem natolik, aby při běžném zatížení organickým znečištěním, pro které je příznačná hodnota BSK<sub>5</sub> (biologické spotřeby kyslíku pětidenní), byla v zemině bilance kyslíku přebytková nebo přinejmenším neustále vyvážená.

### 5.3 Zdroj organického uhlíku

Vegetace, jakožto fotosyntetizující organismy, funguje všeobecně jako základní zdroj organického uhlíku v ekosystémech všeho druhu. V podmínkách kořenových čistíren se projevuje dvěma způsoby. Prvním je vylučování organických sloučenin z povrchu kořenů, což je u rostlin všeobecně rozšířené a podle dosud známých údajů může tvořit 5–25 % fotosynteticky vázaného uhlíku. Tyto exudáty mohou sloužit jako významný zdroj organického uhlíku pro mikrobiální populace osídlující tyto povrchy. Druhým podstatným zdrojem uhlíku pro mikrobiální procesy je odumřelá stařina, která na loži zůstává a podléhá mikrobiálnímu rozkladu. Pozorování čistírny v Ostrolovském Újezdě ukazují, že na poli osázeném chrasticí rákosovitou se stařina přeměňuje v organický horizont, který přirůstá značnou rychlostí – okolo 1 cm za rok. V tomto horizontu dochází k akumulaci živin, která může přispívat k čistícímu účinku. Na rozdíl od štěrkové náplně lože je tento povrchový horizont hustě prokořeněn, a proto v něm pravděpodobně probíhá převládající část aerobních mikrobiálních procesů. Měření a následné úvahy pro tuto čistírnu nasvědčují tomu, že v tomto organickém horizontu probíhá převážná část transformace nitrátového dusíku, zatímco transformace amonného dusíku probíhá pravděpodobně ve spodní štěrkové části lože (ČÍŽKOVÁ *et al.* 2003).

## 5.4 Tepelná izolace

V našich podnebných podmínkách k dalším velice důležitým funkcím patří zateplování povrchu filtračních polí, které se projevuje především v chladnějších oblastech v průběhu zimy. Rostlinstvo na vegetačních čistírnách není většinou sklízeno, a tak vrstva stařiny, která je zakryta sněhem se osvědčuje jako efektivní tepelně izolační vrstva, která napomáhá k udržení vyšší teploty a chrání pole proti promrznutí. Například při teplotách pod 10 °C dochází ke snížení nitrifikace a při dalším poklesu pod 5 °C až k zastavení. Nejenže samotná stařina tepelně izoluje v průběhu chladného období roku, ale také zároveň zpomaluje ohřívání pole během jarních měsíců (ČÍŽKOVÁ *et al.* 2003).

## 5.5 Stabilizace lože

Mezi další zásadní fyzikální efekty, které mají vliv na účinek, se podle ČÍŽKOVÉ *et al.* (2003) řadí ochrana před ucpáním substrátu a stabilizace povrchu filtrační nádrže. Souvislý zárost rostlinstvem všeobecně zabraňuje erozím půdního povrchu. V podmínkách kořenových čistíren byl tento efekt sledován v Ostrolovském Újezdě v Jižních Čechách na čistírně, která je vybudována v nivě Stropnice. Po záplavách v roce 2002, kdy přívalová vlna v lokalitě čistírny vystoupila více jak 2 m nad běžnou úroveň a zaplavila lože čistírny vodní hladinou vysokou přibližně 0,5 m na dobu zhruba dvou týdnů, na struktuře loží čistírny nebyla způsobena žádná škoda.

## 5.6 Hydraulická propustnost

Podle KOČKOVÉ *et al.* 1994 se vyskytují názory, že jeden z dalších významných přínosů vegetace k čistícímu procesu bývá zvyšování hydraulické propustnosti půdního tělesa. Tyto úvahy jsou založeny na teorii, že byliny po odumření svých kořenů a oddenků, které prostupují substrátem, zanechávají systém kanálků, kterým může protékat odpadní voda. Nicméně tato domněnka nebyla úplně potvrzena. Na základě zkoumání, která byla specializována na prošetření této skutečnosti, se ukázalo, že životnost oddenků rákosy je tak dlouhá, že dokonce ani po sedmi letech nebylo možné v půdním tělesu najít síť kanálků po odumřelých kořenech a oddencích

(ČÍŽKOVÁ 1992). Z tohoto důvodu se při návrzích hydraulické vodivosti nedoporučuje s touto skutečností počítat.

## 5.7 Odčerpávání živin

Odčerpávání živin a jiných látek makrofyty ve vegetačních čistírnách se zpravidla pokládá za nepříliš významnou funkci. Z tohoto důvodu je sklizeň bylin nežádoucí a ztrácí svoje opodstatnění. KOČKOVÁ *et al.* (1994) uvádí, že v roce 1988 přítok na experimentální stanici Germerswang přiváděl cca 6000 kg dusíku a cca 1000 kg fosforu na 1 ha za rok. Potenciální odstranění živin sklizní bylo nanejvýš 200–400 kg dusíku a 50–100 kg fosforu na 1 ha za rok, což je 5–10 %.

## 5.8 Evapotranspirace

Jedna z podstatných úloh, které byliny splňují ve vegetačních čistírnách, je evapotranspirace neboli celkový výpar vody do atmosféry, který se vztahuje k nějaké dané oblasti. KOČKOVÁ *et al.* (1994) uvádí, že je to kombinace dvou procesů, při kterých dochází k výdeji vody (výparu) ve formě vodní páry z mokřadů do ovzduší jak z povrchu půdy nebo vodní hladiny (evaporace), tak z vegetace (transpirace) především z listů obsahující většinu vody, kterou byliny v průběhu vegetačního stadia spotřebují. Evapotranspiraci je možné stanovit výpočtem na základě druhu rostlinného porostu a hodnoty výdeje vody nebo experimentálně prostřednictvím lyzimetrů, ve kterých se váhově sleduje vodní bilance (anonymous 2014).

Evapotranspirace je významnou součástí vodní rovnováhy a ekologie mokřadních ekosystémů a také je důležitým činitelem, který se uplatňuje ve vegetačních čistírnách. V kulturní krajině, kde je hladina podzemní vody na většině zemědělských ploch regulována, výdej vody z vegetace silně poklesnul – především v průběhu léta. Kvůli velkoplošnému vysoušení krajiny dochází ke zmenšování chladícího efektu, který je s výdejem vody spojený. Zatímco nepřetržité zásobení vodou v kořenovém poli má za následek, že jsou byliny schopny vydávat vodu i za situace, při které výpar ostatního rostlinstva z okolí je již nedostatkem vody omezen. Při měření na čistírně ve Slavošovicích v letním období roku 2003 se došlo k závěru, že rozdíl

teplot na povrchu rákosového společenstva s jeho klimatizačním efektem se rovnal přibližně 5 °C (ČÍŽKOVÁ *et al.* 2003).

Intenzita evapotranspirace je ovlivněna celou škálou vnějších a vnitřních faktorů. Mezi vnější faktory se řadí mohutnost a skladba kořenové sítě, olistění a stavba listů, délka vegetačního stadia, typ mokřadu, geografická poloha (tab. 1), počasí, vlhkost půdy a další fyzikální činitele. Mezi vnitřní faktory patří například fyziologický stav rostliny jako obsah vody v buňkách nebo stáří a druh byliny (PŘIBÁŇ 1998).

Tab. 1: Evapotranspirace (ET) v mokřadech (VYMAZAL 1995).

Dominantní vegetace	Lokalita	ET (mm/den)
rákos obecný ( <i>Phragmites australis</i> (CAV.) TRIN.)	Česká republika	6,9–11,4
vysoké ostřice	Česká republika	6,5
sladkovodní mokřad	Florida	5,1
arktický mokřad	Kanada	4,5
tokozelka nadmutá ( <i>Eichhornia crassipes</i> (MART.) SOLMS)	Indie	3,8–10,2
orobince ( <i>Typha</i> L.)	Česká republika	3,2–5,7
rákos obecný	Česká republika	3,2
bažina s tisovcem vystoupavým ( <i>Taxodium ascendens</i> BRONGN.)	Florida	3,1–3,8
subarktický mokřad	Kanada	2,6–3,1
leknín lotosový ( <i>Nymphaea lotus</i> L.)	Indie	2,5–6,0
třasovisko	Nizozemí	2,5
vrby ( <i>Lysimachia</i> L.)	Česká republika	2,4–4,8
ostřice ( <i>Carex</i> L.)	Česká republika	2,2–4,5
nepukalka obtížná ( <i>Salvinia molesta</i> MITCHELL)	Indie	2,1–6,8
mokřadní traviny	Česká republika	2,0–10,5
rákos obecný	Česká republika	1,4–6,9
ostřice přiblá ( <i>Carex diandra</i> SCHRANK)	Nizozemí	1,1–3,9
ostřice ostrá ( <i>Carex acutiformis</i> EHRH.), rašeliník ( <i>Sphagnum</i> L.)	Nizozemí	1,0–3,7
lesnatý mokřad	Florida	0,9–5,6
orobinec širokolistý ( <i>Typha latifolia</i> L.)	Nizozemí	0,9–4,7

Existuje nepřehledné množství tabulek a dat, které srovnávají evapotranspiraci s evaporací z volné vodní hladiny. Podle KOČKOVÉ *et al.* (1994) ve většině případů výskyt mokřadní vegetace výdej vody do ovzduší zvyšuje. Díky velké ploše listů a rychlé fotosyntéze u hustého

zápoje má proces transpirace bylin mnohdy převahu nad evaporací z volné hladiny (tab. 2). Nicméně za nejpříznivějších podmínek, které nastávají během letního slunečního počasí s minimální oblačností, se může objem odpadní vody díky evapotranspiraci snížit maximálně o 17 % (PŘIBÁŇ 1992).

Tab. 2: Poměr evapotranspirace (ET) a evaporace ( $E_o$ ) v různých mokřadech (VYMAZAL 1995).

Vegetace	Lokalita	ET/ $E_o$
tokozelka nadmutá ( <i>Eichhornia crassipes</i> (MART.) SOLMS)	Texas	3,20–5,30
tokozelka nadmutá	celosvětově	2,50–9,80
orobinec širokolistý ( <i>Typha latifolia</i> L.)	Nizozemí	1,87
ostřice přiblá ( <i>Carex diandra</i> SCHRANK)	Nizozemí	1,68
ostřice ostrá ( <i>Carex acutiformis</i> EHRH.), rašeliník ( <i>Sphagnum</i> L.)	Nizozemí	1,65
tokozelka nadmutá	Florida	1,50–2,52
tokozelka nadmutá	Alabama	1,31–2,52
tokozelka nadmutá	Indie	1,30–1,96
orobinec širokolistý	Polsko	1,20–2,40
orobinec širokolistý	Alabama	1,05–2,50
nepukalka obtížná ( <i>Salvinia molesta</i> MITCHELL)	Indie	0,96–1,39
leknín lotosový ( <i>Nymphaea lotus</i> L.)	Indie	0,82–1,35
ostřicový mokřad	Kanada	0,74–0,85

PŘIBÁŇ (1998) shrnuje výsledky měření denního a sezónního chodu evapotranspirace na Mokřích loukách u Třeboně, které jsou zarostlé vysokými ostřicemi s převládající třtinou šedavou (*Calamagrostis canescens* (WEBER) ROTH). Největší hodnoty evapotranspirace společenstva vysokých ostřic byly zaznamenány v květnu až červenci. V průměru za celé vegetační období, které bývá od dubna až do října, zhruba 75 % veškeré energie, která dopadla na vegetaci, je využito na evapotranspiraci, 20 % je vydáno do atmosféry a 5 % je vstřebáno do půdy. Průměrná hodnota evapotranspirace pro celou sezónu od dubna do října byla 2,6 mm za den, nejvyšší naměřená hodnota v sezóně byla 6,5 mm za den. Průměrné hodnoty evapotranspirace pro jednotlivé měsíce vegetační sezóny jsou uvedeny v tabulce 3. Pro porovnání jsou v tabulce uvedeny také hodnoty evapotranspirace ze zapojeného rákosového porostu na Neziderském jezeře.

Tab. 3: Měsíční průměry evapotranspirace (mm za den) z porostu vysokých ostřic na Mokřých loukách u Třeboně a z rákosového porostu na Neziderském jezeře v Rakousku (PŘIBÁŇ 1998).

	Měsíc						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Mokré louky							
1977	1,7	3,6	3,7	3,9	2,4	1,7	1,2
1978	2,5	3,3	3,9	3,7	3,3	2,3	1,2
1979	2,0	5,0	4,0	3,5	3,5	2,7	1,1
Neziderské jezero							
1982	neměřeno	3,7	4,6	4,1	3,1	2,4	1,2
1983	neměřeno	4,3	4,2	5,0	3,5	2,7	1,6

Data v tabulce 3 ukazují, že průměrné hodnoty evapotranspirace pro rákosinu jsou o málo vyšší než pro porost vysokých ostřic.

Podle ČÍŽKOVÉ *et al.* (2003) velikost evapotranspirace na velkých plochách rákosového porostu v našich podnebných podmínkách bývá průměrně 5–7 mm za den. Tyto hodnoty odpovídají vyrovnané energetické hodnotě, tedy teoretickému předpokladu, že většina energie, která dopadá na rostliny, se změní na latentní teplo výdeje vody. Od tohoto předpokládaného stavu se kořenové čistírny odlišují tím, že bývají budovány v sušší okolní krajině. Evapotranspirace se také může zvyšovat konvekcí, tedy přísunem suchého vzduchu z okolí.

## 5.9 Estetická funkce

V neposlední řadě další úlohou vegetace je zesílení estetického účinku pomocí okrasných rostlin jako jsou například puškvorec obecný (*Acorus calamus* L.), kosatec žlutý (*Iris pseudacorus* L.), kosatec sibiřský (*Iris sibirica* L.) nebo šmel okoličnatý (*Butomus umbellatus* L.) a také umožnění jednoduchého a příznivého začlenění do okolní krajiny.



## 6 Vegetace

K vegetačnímu čištění vody je možno používat mnoho druhů vodních a mokřadních rostlin. V kořenových čistírnách se používají převážně emerzní helofyta, kořenící v půdě a v sedimentech mělkých vodních nádrží s velkým objemem vytrvalých podzemních orgánů.

HUSÁK (1992) shrnuje kritéria pro výběr vhodných druhů rostlin pro vegetační čistírny následovně:

- vytrvalé rostliny (trvalky, pereny);
- rostliny se širokou ekologickou amplitudou (rostliny přírodního, na živiny potenciálně bohatého prostředí se značně kolísavým vodním režimem, jako jsou vody a mokřady aluvií větších řek);
- rostliny s vysokou produkcí biomasy na jednotku plochy (roční produkce v rozmezí 0,5 až 2 kg na m<sup>2</sup>);
- rostliny s vysokou schopností akumulace živin ve svých tělech;
- rostliny s dlouhou vegetační dobou (některé trávy jsou v mírných zimách fotosynteticky aktivní po celý rok – například zblochan vodní);
- rostliny, které je možno snadno a rychle množit, ať již generativní, nebo vegetativní cestou;
- rostliny, se kterými se snadno manipuluje.

Uvedená kritéria jednoznačně preferují rákosiny. Pro malé vegetační čistírny rodinných domků nebo rekreačních objektů se výsadby rostlin doplňují rostlinami s vyšší estetickou hodnotou nebo se alespoň kombinuje několik druhů rostlin.

## 6.1 Přehled rostlin používaných k osázení vegetačních loží

- blatouch bahenní (*Caltha palustris* L.)
- chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea* L.)
- kamyšník přímořský (*Bolboschoenus maritimus* (L.) PALLA)
- kosatec sibiřský (*Iris sibirica* L.)
- kosatec žlutý (*Iris pseudacorus* L.)
- kyprej vrbice (*Lythrum salicaria* L.)
- okřehek menší (*Lemna minor* L.)
- orobinec širokolistý (*Typha latifolia* L.)
- orobinec úzkolistý (*Typha angustifolia* L.)
- ostřice (*Carex* L.)
- puškovec obecný (*Acorus calamus* L.)
- rákos obecný (*Phragmites australis* (CAV.) TRIN.)
- sítina klubkatá (*Juncus conglomeratus* L.)
- sítina rozkladitá (*Juncus effusus* L.)
- skřípina lesní (*Scirpus sylvaticus* L.)
- skřípinec jezerní (*Schoenoplectus lacustris* (L.) PALLA)
- šmel okoličnatý (*Butomus umbellatus* L.)
- tužebník jilmový (*Filipendula ulmaria* (L.) MAX.)
- zblochan vodní (*Glyceria maxima* (HARTM.) HOLMB.)
- zblochan vzplývavý (*Glyceria fluitans* (L.) R. BR.)
- zevar vzpřímený (*Sparganium erectum* L.)

Nomenklatura taxonů byla použita podle DEYLA a HÍSKA (2001).

## 6.2 Charakteristika vybraných druhů makrofyt

Rostliny, kterým se věnuje následující podkapitola, byly vybrány na základě toho, jaké druhy mokřadních bylin se nejčastěji používají v kořenových čistírnách odpadních vod v České republice. Podle důležitosti a významu těchto rostlin byl také upraven rozsah jednotlivých charakteristik.

### 6.2.1 Rákos obecný (*Phragmites australis* (CAV.) TRIN.)

Rákos je robustnější, vytrvalá rostlina, která může v našich klimatických podmínkách vyrůst až 4 m do výšky, a tím se řadí mezi nejvyšší trávy v České republice. V teplejších oblastech za optimálních klimatických podmínek a při bohatém zásobení živin je schopná dokonce dorůstat délky i přes 6 m. K substrátu je zakotvena mohutným plazivým oddenkem a kořeny, které díky schopnostem obrovského růstu v přírodě zasahují do značných hloubek (od 60 do 150 cm). V kořenových čistírnách je to 30 až 40 cm a vzhledem k tomu je rákos využívanou rostlinou obzvláště pro KČOV s velkou plochou (KOUŘIL 2006).

Vegetativní rozmnožování u rákosu je velice rychlé a intenzivní a děje se dlouhými výběžkatými oddenky, které mohou měřit kolem 5 m, eventuálně šlahouny, které se nacházejí nad povrchem a bývají dlouhé i 12 m a více. Z jedné rostliny se tak může zformovat hustě zapojený porost, který pokrývá plochu několika m<sup>2</sup>. Rozmnožování semeny je také možné, nicméně tento způsob se v přírodě skoro neuplatňuje.

Rákos je velice citlivý na povrchové zaplavení v prvním měsíci po výsadbě. Dobře toleruje teplotu, je schopen růst v rozhraní teplot od 12 do 23 °C, pro klíčení semen se uvádí 10 až 30 °C. Stejně dobře roste v širokém rozmezí pH od 2 do 8 a snáší salinitu až 4,5 % (EPA 1988). Je docela tolerantní vůči znečištění vody organickými nebo anorganickými látkami a má schopnost dobře transportovat kyslík do podloží.

Nesnází pravidelné sečení, především ne kosení v průběhu vegetačního období. Biomasa a produktivita u rákosu, která podmiňuje vázání živin ze substrátu, je nejvyšší mezi mokřadními rostlinami. Nicméně ZAJONCOVÁ (2010) uvádí, že v našich klimatických podmínkách roste relativně pomalu, maximální nadzemní biomasa je dosahována zpravidla během třetího, občas až čtvrtého vegetačního období.

Neroste ve vyšších nadmořských výškách. V největším množství se objevuje v nížině, ale je možné ji vidět také v subalpínském pásu. Jedná se o pobřežní, kosmopolitní rostlinu, která je rozšířena po celém světě s výjimkou jen pár území, například oblast Amazonu.



Obr. 16: Rákos obecný (*Phragmites australis* (CAV.) TRIN.)

### 6.2.2 Chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea* L.)

Jedná se o vytrvalou, rákosu podobnou rostlinu, která dosahuje až 3 m výšky. Má vytvořenou obrovskou kořenovou síť, která je prorostlá oddenky. Na rozdíl od rákosu prostupuje kořenovým systémem do malých hloubek, obvykle jen 20 až 30 cm. Za určitých podmínek může pronikat i hlouběji – do hloubky 50 cm. Kvůli tomu by měla být vegetační lože, která využívají chrastici ve srovnání s poli využívajícími rákos (VYMAZAL 1995).

Chrastice se velmi dobře a rychle rozmnožuje semeny, vegetativně výhonky, které poléhají, i plazivými oddenky. Vytváří souvislý porost již během prvního vegetačního stadia. Nicméně během několika následujících let ji zpravidla vytěsňují porosty rákosu, s kterými se ve vegetačních čistírnách velice dobře kombinuje.

Chrastici nevyhovují solemi bohaté půdy, zasolené vody a dlouhodobá zaplavení. Dobře toleruje nízké teploty a znečištění vody, rozhraní nejpříznivějšího pH je ovšem celkem omezené (od 6,1 do 7,5).

Při porovnání s rákosem je produktivita a biomasa u chrastice výrazně menší. Je tolerantní k opakovanému sklizení – dvakrát až třikrát ročně, a to i v průběhu vegetačního období. To je významné pro odběr fosforu a dusíku bylinami, poněvadž v průběhu vegetačního stadia se živiny

v nadzemní biomase makrofyt objevují nejvíce. Sečení nadzemní hmoty může mít podíl na odstraňování malého počtu živin (ZAJONCOVÁ 2010). Čerstvou biomasu je možné využít jako krmivo pro dobytek, později obsahuje velké množství kyseliny křemičité, jak uvádí HEJNÝ (1992).

V naší republice roste obzvláště v nížině a pahorkatině. Ve značně velkém množství ji můžeme spatřit na podmáčených loukách a březích vod, převážně v porostech v celé Evropě, Severní Americe a západní Asii.

Velice hojně roste v hrubozrnných podložích, které jsou vhodné pro KČOV (šterk a podobně). Materiál na výsadbu je možné obstarat na letněných rybnících či na rybnících s obnaženým pobřežím. Chrastice je vhodná tráva předně do vegetačních čistíren, které jsou stavěné u farmářských usedlostí (KOČKOVÁ *et al.* 1994).



Obr. 17: Chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea* L.)

### **6.2.3 Orobinec úzkolistý (*Typha angustifolia* L.) a širokolistý (*Typha latifolia* L.)**

Jsou to vytrvalé rostliny, které mohou dosahovat do výšky 1 až 4 m. Jako kterýkoliv jiný druh orobinců jsou zakořeněny pomocí poměrně mělkých, avšak mohutných výběžkatých oddenků. Ty jsou uloženy horizontálně v povrchových úrovních substrátu, kde vytvářejí neproniknutelnou spleť výhonků, které dorůstají do délky 0,6 až 1 m. Kvůli tomu se vegetační

pole, ve kterých se uplatňuje porost orobinců, navrhují mělká, přibližně 30 až 40 cm (KOČKOVÁ *et al.* (1994).

Oddenky orobinců, které jsou vysázené ve vzdálenosti 1 m od sebe, jsou schopny zformovat hustý porost v průběhu tří měsíců. Kromě velmi rychlého šíření pomocí oddenků se velice snadno rozmnožují i semeny. Orobince jsou velice rezistentní a expanzivní byliny, v konkurenčním boji velmi snadno vyhrávají.

Orobincům vyhovuje široké rozhraní teplot od 10 do 30 °C, semena vyhání klíčky při teplotách od 12 do 24 °C. Rozhraní pH mají od 2 do 10 a díky tomu se uplatňují v umělých mokřadech, ve kterých se čistí acidní drenážní vody s pH hodnotou 2. Dále snáší salinitu až 3 ‰ a široké koncentrační rozmezí znečištění.

Každým rokem vytvářejí obrovské množství biomasy.

Oba druhy orobince jsou kosmopolitní rostliny, které se vyskytují ve stojatých hlubokých vodách od nížin až po horskou úroveň v celé Evropě, Severní Americe a západní Asii (VYMAZAL 1995).

Pro jejich schopnost růst za různorodých podmínek prostředí a lehce se rozmnožovat, jsou považované za velmi vhodné byliny pro vegetační kořenové čistírny. Obzvláště vhodné jsou do odpadních vod se značným obsahem organických látek. FLEK a LUKAVSKÁ (1994) uvádí, že pro vegetační čistírny je vhodnější orobinec úzkolistý, protože mnohem lépe toleruje nižší hladinu spodní vody. Mimo zmíněné druhy se ve střední a středozápadní části Spojených států amerických uplatňuje i *Typha × glauca* GODR. a v jižní a jihovýchodní části *Typha domingensis* PERS.



Obr. 18: Orobinec úzkolistý (*Typha angustifolia* L.)



#### 6.2.4 Zblochan vodní (*Glyceria maxima* (HARTM.) HOLMB.)

Jedná se o vytrvalou a celkem statnou bylinu, jejíž výška se pohybuje v rozmezí od 0,3 do 3 m. Do země je uchycena dlouze plazivými oddenky, které zasahují jen do malých hloubek (KOUŘIL 2006).

Pokud je vysazena do substrátu, je to velmi bujná tráva. Zblochan má poměrně dlouhou vegetaci, což přispívá k jeho rozšiřování. Pokud jsou příznivé, mírné zimy, pak skoro nemusí docházet k přerušení vegetačního stadia.

Po procesu kosení jeho dekompozice mrtvé organické hmoty má mnohem rychlejší průběh než u porostů orobince.

Nejlépe roste na zamokřených půdách nebo v mělkých vodách, které jsou hluboké okolo 20 až 30 cm, ale snadno toleruje i zaplavení až do výše 50 cm. Má schopnost rychle stabilizovat břehy vodních toků.

Vyskytuje se všeobecně jako významná součást pobřežních rákosin. Je možné jej spatřit ve velkém množství na březích stojatých i mírně tekoucích vod a v močálech, obzvláště však v nížinách nebo nízkých pahorkatinách, v podstatě v celé Evropě, mírných pásech Severní Ameriky a Asie (KOČKOVÁ *et al.* 1994).



Obr. 19: Zblochan vodní (*Glyceria maxima* (HARTM.) HOLMB.)

### 6.2.5 Skřípinec jezerní (*Schoenoplectus lacustris* (L.) PALLA)

Skřípinec je vytrvalá mokřadní rostlina, která dosahuje výšky 0,8 až 3,5 m. K substrátu je silně připevněna plazivým oddenkem, z kterého vybíhají mnohočetné přídatné kořeny. Ty vytváří hustý propletenec, který lehce prostupuje až do hloubky přibližně 1 m.

Je tolerantní i k větším hloubkám vody (optimální hloubka je 20 až 80 cm). Pro růst skřípince jsou prospěšné teploty v rozmezí hodnot od 16 do 27 °C. Celkem dobře snáší změny pH (4–9,5) (MLEJNSKÁ *et al.* (2009).

Tvoří běžnou součást rákosin. Můžeme jej pozorovat při březích mírně tekoucích a stojatých vod s písčitým dnem, v příkopech a tůních, dokonce se objevuje i v brakických vodách a slaniskách (KOČKOVÁ *et al.* 1994). V České republice se nachází po celé oblasti od nížin až po střední stupně. Podobně jako rákos a orobinec tak i skřípinec se řadí mezi kosmopolitní rostliny, které se v podstatě vyskytují na celém světě.

V počátcích se skřípinec uplatňoval na umělých mokřadech v Nizozemí a Německu, ale v současnosti má v Evropě jen nepatrné využití. Byliny rodu *Scirpus* (RCHB.) PALLA se většinou využívají na území Severní Ameriky, ale obzvláště má uplatnění celé spektrum dalších druhů, například *Bolboschoenus fluviatilis* (TORR.) SOJÁK, *Schoenoplectus americanus* (PERS.) VOLKART, *Schoenoplectus tabernaemontani* (C. C. GMEL.) PALLA, *Schoenoplectus acutus* (MUHL. EX BIGELOW) Á. LÖVE & D. LÖVE a *Schoenoplectus californicus* (C. A. MEY.) PALLA (VYMAZAL 1995).



Obr. 20: Skřípinec jezerní (*Schoenoplectus lacustris* (L.) PALLA)



### 6.2.6 Sítina rozkladitá (*Juncus effusus* L.)

Je to vytrvalá, málo rozrůstavá rostlina, která dosahuje do výšky 0,5 až 1,5 m. Má jasně zelené zbarvení, krátké oddenky a roste v hustých trsech.

Reprodukce u této byliny probíhá jak vegetativně tak semeny.

Hojně se nachází od nížin až po horskou úroveň. Můžeme ji nalézt skoro po celé Evropě, kromě toho se vyskytuje také na poloostrově Malá Asie, území jižního Kavkazu, v severním Íránu, Africe i na Sibiři (MLEJNSKÁ *et al.* 2009).



Obr. 21: Sítina rozkladitá (*Juncus effusus* L.)

### 6.2.7 Puškvorec obecný (*Acorus calamus* L.)

Jedná se o okrasnou bylinu, která dorůstá 60 až 80 cm. Oddenek každý rok vytváří výhonky, které jsou zhruba 15 cm dlouhé a jen trochu se větví. Po několika letech tedy vzniká řídký zárost. Rozlehlost porostů je závislá na vhodných podmínkách, čím více mají živin, tím jsou rozsáhlejší.

Tato rostlina preferuje stanoviště, která jsou permanentně zatopena vodou, uplatňuje se ve vegetaci plovoucích ostrovů.

Vyskytuje se obzvláště na příbřežních místech slabě tekoucích a ne moc hlubokých stojatých vod (ZAJONCOVÁ 2010).

Puškvorec se také využívá pro jeho léčivé účinky, a tak se řadí mezi nejdéle známé léčivky.



Obr. 22: Puškvorec obecný (*Acorus calamus* L.)

### 6.2.8 Kosatec žlutý (*Iris pseudacorus* L.)

KOUŘIL (2006) uvádí, že je to statná a vytrvalá bylina, která dorůstá do výšky od 0,5 až do 1,5 m.

Může se rozmnožovat jak vegetativně prostřednictvím oddenku tak semeny, která jsou rozšiřována hydrochoricky nebo ornitochoricky.

Nalezneme ji na březích řek, v příkopech, rákosinách, bažinách, lužních lesích.

Společně s dalšími estetickými bylinami je uplatňovaná obzvláště u malých domovních KČOV zejména v koncových částech vegetačních loží (MLEJNSKÁ *et al.* 2009).



Obr. 23: Kosatec žlutý (*Iris pseudacorus* L.)

### 6.2.9 Kosatec sibiřský (*Iris sibirica* L.)

Jedná se o dekorativní druh rostliny, která dorůstá výšky 40 až 80 cm.

Vyskytuje se na výživných, vápenitých bahnitých půdách, na bažinatých a promáčených loukách a v příkopech.



Obr. 24: Kosatec sibiřský (*Iris sibirica* L.)

Puškvorec a kosatce jsou používány v umělých jezírkách a ve vegetačních čistírnách také k estetickým účelům. Nejsou ale vhodné pro osázení veškeré jejich plochy. Navíc kosatec sibiřský je zařazen mezi silně ohrožené druhy rostlin podle vyhlášky č. 395/1992 Sb. Pro využití je tedy nezbytné mít souhlas od orgánu ochrany přírody (KOUŘIL 2006).

## 7 Množení a sázení rostlin vhodných pro KČOV

### 7.1 Množení

#### 7.1.1 Rákos obecný (*Phragmites australis* (CAV.) TRIN.)

LUKAVSKÁ (1998) uvádí, že je možné rákos množit buď trsy, oddenkovými řízkami, stonkovými řízkami nebo semenáči. Z přirozených porostů se dají získat trsy, u kterých se co nejdříve po odebrání provádí výsadba do vegetačních loží. Při hustotě jeden trs na m<sup>2</sup> dochází k zápoji v průběhu dvou až tří let. Oddenkové řízkové s terminálním pupenem eventuálně bez něj je nejvhodnější odebírat v zimním období od začátku ledna až do konce února také z přirozených porostů. Taktéž se dají získat na podzim z materiálu, který se potom umístí do skleníku, ve kterém převládají nízké teploty. Je velice důležité, aby řízkové nebyly nijak poškozené a aby měly přinejmenším dvě kolénka. V opačném případě bude u rostlin docházet k zahánění, nebudou mít dostatečnou kvalitu eventuálně vůbec nevyrostou. V případě že má oddenkový řízek terminální pupen, je nezbytné s ním manipulovat velice opatrně, protože by mohlo dojít k tomu, že by se pupen odlomil. Jakmile řízek vytvoří kořínky, tak se ukládá na trvalé stanoviště. Stonkové řízkové se sbírají během první půlky června. Ty se umísťují na vodní hladinu v misce, která se následně ukládá do pařeniště, ve kterém by měla být teplota přibližně 20 °C. Po zakořenění se z nich udělají řízkové, které se umísťují do květináčů a z nich potom na stanoviště. Semenáče se vypěstují ze semen, které se sklízí na podzim, aby prošla fází nízkých teplot. Pro vysazování v letním období je důležité, aby se v pařeništi zahájilo pěstování rostlinstva v průběhu února až března. Sazenice přesazujeme na záhon s dostatečným množstvím závlahy ve stadiu, kdy má bylina 4 až 6 listů. Jakmile semenáč vyrostl do výšky 5 až 10 cm, přesazuje se do květináče a poté na určité stanoviště (KOČKOVÁ *et al.* 1994).

### **7.1.2 Chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea* L.)**

Proces rozmnožování chrastice bývá víceméně podobný jako u rákosu obecného. Na rozdíl od něho ale chrastice vícekrát vstupuje do vegetačního období, v jehož průběhu ji můžeme jedenkrát až dvakrát sklízet. Díky tomu máme možnost dosáhnout upravenějšího zárostu (LUKAVSKÁ 1998).

### **7.1.3 Orobinec úzkolistý (*Typha angustifolia* L.) a širokolistý (*Typha latifolia* L.)**

Oba druhy orobince se dají rozmnožovat buď trsy, oddenky nebo semeny. Trsy z volné krajiny je velice komplikované vytrhnout. V případě že se budou orobince množit pomocí oddenků, je důležité zkontrolovat, zda jejich vegetační vrcholy nejsou poškozené. Ty, které jsou v pořádku, se mohou využít pro výsadbu, zbývající části je vhodné umístit do navlhlého písku. Může se stát, že některé neaktivní pupeny se tím stimulují a z nich by mohly postupem času vyrůst nové sazenice. Semena která, jsou uložena v palicovitém květenství se sbírají v období podzimu, kdy se začíná uvolňovat chmýr. Je nezbytné, aby semena promrzla, a tak se ukládají na suché a chladné místo. Výsadba se provádí v průběhu února až března. Připraví se směs ze zahradního substrátu, perlitu a písku v poměru 3 : 1 : 1, která se pečlivě udusá a na její povrch se rozmístí semena s chmýrem, která se zasypou slabou vrstvou jemného písku. Takto připravený materiál se udržuje ve stálé vlhkosti buď rosením a nebo jeho usazením do nádoby s vodou, jejíž hladina nesmí dosahovat až k povrchu substrátu. První semena začínají vyhánět klíčky za dva týdny. Po uplynutí 5 až 6 týdnů se sazenice mohou přepichovat a za 3 až 4 týdny se provádí přesazování do truhlíků o velikosti 10 × 10 cm (LUKAVSKÁ 1998).

### **7.1.4 Zblochan vodní (*Glyceria maxima* (HARTM.) HOLMB.)**

Postup je zcela totožný jako při množení rákosu. Vypichováním můžeme získat značně kvalitní sazenice z přirozeného porostu. Pro rozmnožování je důležité, aby všechny sazenice měly zachovalý vegetační vrchol a přinejmenším malý kousek plazivého oddenku. Výsadbu sazenic provádíme do květináčů a přibližně po jednom měsíci jsou připraveny k vysazování na stanoviště, na kterém v průběhu času formují souvislý zárost (LUKAVSKÁ 1998).

V naší republice existuje celá řada specializovaných zahradnických podniků, které se orientují na množení a pěstování rostlinstva pro vegetační čistírny. U těchto firem je možnost si vybrané rostliny zakoupit v dostatečném množství, eventuálně si u nich rovnou najmout jejich proškolené zaměstnance k vysázení mokřadní vegetace do kořenových loží.

## 7.2 Výsadba

Podle LUKAVSKÉ (1998) byliny, které jsou vypěstovány některým ze zmiňovaných postupů je možné vysazovat do kořenového lože v průběhu celého vegetačního období. Za předpokladu, že nepřevládá extrémně horké počasí, je nejlepší rostliny umísťovat do vegetačního pole od konce srpna do konce září. Nesmí se ale dostavit ani rána se silnějšími mrazíky. U vegetace, která byla vypěstována v předešlém období, je nejvhodnější realizovat výsadbu v jarním období od začátku dubna až po konec května. Rostliny se do kořenového pole umísťují na základě jejich velikosti v hustotě 1 až 10 na m<sup>2</sup> (LUKAVSKÁ 1992). Doporučovaná hustota vysazování rákosu je podle Evropských směrnic 4 sazenice na 1 m<sup>2</sup>. Avšak i přes tyto doporučené instrukce se vybere nejlepší metoda pro vysázení rostlin na základě určitých okolností na daném stanovišti. Všeobecně se provádí výsadba při hladině, která je zaklesnutá přibližně 20 cm pod povrchem substrátu, který musí být jak před vysazováním tak po něm důkladně zarovnaný (KOČKOVÁ *et al.* 1994).

Po uplynutí 3 až 5 let dojde ke kompletnímu rozvinutí kořenové sítě u jmenovaných mokřadních rostlin, a proto můžeme touto dobou předpokládat dosažení nejvyšší efektivity extenzivního čištění ve vegetačních čistírnách.

## 8 Péče o rostlinstvo po výsadbě do kořenových polí

### 8.1 Ošetřování porostu rostlin

Podle LUKAVSKÉ (1998) rostliny, které jsou vysazovány přímo z květináčů, není potřeba nějak značně upravovat. Všeobecně platí, že porost vegetace v kořenové čistírně odpadních vod by neměl být ohrožen rostlinami v okolí čistírny – plevelné druhy rostlin by se neměly rozmnožit ve filtračních ložích. Ihned od počátku je tedy potřeba rostliny udržovat zaplavené vodou, abychom se ubránili zaplevelení filtračního pole jinými rostlinami a aby se rákos dobře uchytil. Doporučuje se zvyšování úrovně hladiny vody v celé KČOV na 2–3 týdny v jarním období, když začínají rostliny klíčit. Nesmí být ale zaplaveny terminální pupeny a později nové odnože rákosu. Touto metodou je možné úspěšně odstraňovat i rostliny, které v následujícím průběhu vegetačního stadia mohou mít schopnost snášet určitou úroveň zamokření, například šťovík koňský (*Rumex hydrolapathum* HUDS.) nebo kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica* L.) (MLEJNSKÁ *et al.* 2009). Není správné, aby se k hubení plevelů používaly herbicidy.

Také je nezbytné nádrž napouštět pozvolna, aby nedošlo k vyplavení vysázené vegetace rákosu. V případě že to technické a provozní podmínky umožňují, je vhodnější po zasazení do nádrže ze začátku napouštět čistou vodu a postupně přidávat znečištěnou, aby bylo rostlinám umožněno přizpůsobit se na zátěž (KOČKOVÁ *et al.* 1994).

### 8.2 Kosení

Otázka ohledně nutnosti sklizení nadzemní biomasy je poměrně nejasná a názory na kosení vegetace nejsou totožné. KOČKOVÁ *et al.* (1994) má za to, že sklizeň porostů je bezvýznamná a nežádoucí a také ji nedoporučuje z důvodu, jako je zhutňování substrátu. V mnoha zemích se rostliny nesklízají a z tohoto důvodu jsou vlastní filtrační pole umístěna pod úroveň okolního terénu, aby se tento výškový rozdíl postupem času dorovnal rozkládající se biomasou vegetace. V případě že se neseká a nechává se volně prorůstat, dochází k postupnému zvyšování úrovně povrchu zhruba o 2 cm rostlinné hmoty za rok. Z desetiletého sledování

kořenových loží několika čistíren na Vysočině a v Jihomoravském kraji se ale ukazuje, že přírůstek za rok na povrchu polí je zhruba poloviční. Jedná se tedy o orientační informaci (MLEJNSKÁ *et al.* 2009).

Na základě pokusů, které byly provedeny na různých lokalitách v Čechách a na Moravě (HUSÁK 1982), se prokázalo, že kosení v období, kdy rákos metá (přibližně v polovině června), vegetaci značně zeslabuje. V případě že kosení provedeme ještě na konci léta, zdecimujeme rostliny natolik, že v následujícím roce nevytvoří souvislý zápoj. Tato stejná situace platí i pro porost orobince. Kosení v zimě má naopak pozitivní působení na stav vegetace, která je potom hustá a její jak svislá, tak vodorovná struktura je stejnoměrná. Jestliže odstraníme všechnu sklizenou masu či stařinu, může se stát, že pozdní jarní mrazy poškodí mladé obnažené prýty (KOČKOVÁ *et al.* 1994).

V České republice existuje celá řada přístupů, z nichž nejběžnější je kosení rostlin na závěr zimního období (obr. 25) vzhledem k tomu, že zateplování povrchu filtračních loží je jednou z nejpodstatnějších úloh rostlin v našich podnebných podmínkách. Na některých KČOV je nadzemní biomasa kosena v období podzimu, je zanechána na povrchu filtračních polí a odklizená v době jara následujícího roku. V některých případech je uplatňována značně sporná metoda vypalování biomasy přímo ve filtračních ložích a na některých KČOV se nadzemní biomasa v podstatě nesklízí vůbec. V letním období je možné bez obav sklízet chrastici rákosovitou díky jejímu velice rychlému dorůstání. Pro fungování KČOV v zimě platí, že vegetace rákosu obecného by měla být kosena na podzim, po ukončení vegetačního stadia, popřípadě nemusí být několik let kosena vůbec. Na některých KČOV je porost kosen jednou za tři roky. Stařina rákosu pak slouží jako izolační vrstva proti eventuálnímu promrznutí kořenových loží. U kořenových čistíren s okrasným porostem je nepostradatelná údržba prakticky zahradním způsobem.

Na základě experimentů se sklízením biomasy se ukázalo, že počet živin, které je možné zlikvidovat sekáním nadzemní biomasy, je v porovnání s množstvím přiváděných živin v podstatě zanedbatelné a většinou se pohybuje mezi 2 a 6 %. Sklizení biomasy jako metoda odstraňování živin ovšem může hrát výraznější roli u silně naředěných vod s malou koncentrací živin na vstupu (MLEJNSKÁ *et al.* 2009).





Obr. 25: Vegetační čistírna Břehov u Českých Budějovic před posečením (horní fotografie, únor 2008) a po posečení (dolní fotografie, březen 2008). Foto Jan Vymazal

## 9 Nevýhody čištění pomocí rostlin

ŠÁLEK (1999) uvádí, že k nedostatkům vegetačních kořenových čistíren patří zejména:

- poměrně velké nároky na plochu vegetační čistírny (min. 5 m<sup>2</sup>/EO);
- využití těchto způsobů čištění je možné pouze pro menší producenty odpadních vod;
- závislost čistícího účinku na klimatických podmínkách, především na teplotě a sluneční radiaci;
- možnost ucpání filtračního prostředí při nedostatečném mechanickém čištění vody;
- při nekvalitním provedení a provozování možnost kontaminace podzemních vod;
- snížení čistícího účinku v důsledku zmenšení filtrační plochy zamrznutím povrchu;
- zvýšené nároky na údržbu vlastního zařízení a obhospodařování okolních ploch;
- nepříliš vhodné pro odstraňování amoniaku a fosforu – delší doba zdržení, nezbytná k odbourání amoniakálního znečištění;
- strojní čištění má lepší předpoklady pro řízení čistícího procesu, pro analýzu případných problémů a pro aplikaci nápravných opatření.

## 10 Závěr

Bakalářská práce pojednává o významu a funkcích mokřadních rostlin, které se používají k přírodnímu čištění odpadních vod v kořenových čistírnách.

Je zaměřena na anatomické, morfologické a fyziologické adaptace mokřadních rostlin, z nichž nejdůležitější je tvorba aerenchymatického pletiva, které slouží k provzdušňování. Přítomnost aerenchymu v pletivech kořenů je doložena na vlastních fotografiích znázorňujících vnitřní stavbu čtrnácti druhů mokřadních rostlin.

Mezi nejvýznamnější funkce vegetace v kořenových čistírnách patří fakt, že podzemní orgány rostlin poskytují prostředí pro výskyt a šíření celé řady druhů bakterií, které mají primární zásluhu na čištění odpadních vod. Další neméně podstatnou úlohou rostlin je poskytování organického uhlíku, který je nezbytný pro denitrifikační proces. Také vegetace zatepluje povrch čistírny, díky tomu nedochází k promrzání kořenového pole, a tak může proces čištění probíhat po celý rok.

K osázení vegetačních loží se používají vytrvalé rostliny, které mají širokou ekologickou valenci a produkují velké množství biomasy. K takovým bylinám se řadí především rákos obecný, chrastice rákosovitá a orobince. Pro vylepšení estetického dojmu z kořenové čistírny se dají také využít okrasné byliny jako kosatec žlutý či puškovec obecný.

Můžeme zkonstatovat, že i když mokřadní rostliny primárně nečistí odpadní vody v kořenových čistírnách, mají spoustu nezbytných úloh a funkcí, bez kterých by proces čištění ve vegetačních čistírnách nefungoval tak, jak má.

## 11 Seznam zkratk

BSK<sub>5</sub> – biologická spotřeba kyslíku pětidenní

E<sub>0</sub> – evaporace

EO – ekvivalentní obyvatel (pojem slouží pro vyjádření kapacity čistírny odpadních vod,  
1 EO odpovídá průměrné hodnotě znečištění způsobenému jedním obyvatelem za den)

ET – evapotranspirace

FAA – formaldehyd-aceto-etanol

CHKO – chráněná krajinná oblast

KČOV – kořenová čistírna odpadních vod

PP – přírodní památka

## 12 Literatura a použité zdroje

Anonymous (2014): *Evapotranspirace*. Dostupné na: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Evapotranspirace>. Verze k 6.4.2014.

ARMSTRONG W. (1975): Root adaptation to soil waterlogging. *Aquatic Botany*, 39: 57-73.

ČÍŽKOVÁ H. (1992): Funkce kořenů rostlin v kořenové čistírně. In ČÍŽKOVÁ H. & HUSÁK Š. (eds.): *Účelové kultivace vodních a mokřadních rostlin*, s. 70-71. Botanický ústav ČSAV, Třeboň.

ČÍŽKOVÁ H. (2014): *Adaptabilita rostlin na prostředí mokřadů*. Jihočeská univerzita. Dostupné na: <http://kdb2.zf.jcu.cz/ekm/index2.htm>. Verze k 8.4.2014.

ČÍŽKOVÁ H., DUŠEK J., KEITH E., KVĚT J., PICEK T., ŠANTRŮČKOVÁ H. & ZEMANOVÁ K. (2003): Úloha rostlin ve vegetačních čistírnách. In MALÁ E. & ŠÁLEK J. (eds.): *Přírodní způsoby čištění odpadních vod*, s. 41-44. Vysoké učení technické, Brno.

DEYL M. & HÍSEK K. (2001): *Naše květiny*. Academia, Praha.

DREW M. C. (1983): Plant injury and adaptation to oxygen deficiency in the root environment. *Plant and Soil*, 75: 179-199.

EPA/625/1-88/022 (1988): *Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment*. Center for Environmental Research Information, Cincinnati.

FLEK S. & LUKAVSKÁ J. (1994): *Propagační leták*. ENVI, Třeboň.

HEJNÝ S. (1992): Ke chrastici rákosovité. In ČÍŽKOVÁ H. & HUSÁK Š. (eds.): *Účelové kultivace vodních a mokřadních rostlin*, s. 81. Botanický ústav ČSAV, Třeboň.

HEJNÝ S. & HROUDOVÁ Z. (1987): *Plant adaptations to shallow water habitats*. Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.

HUSÁK Š. (1982): Regulace vodní vegetace v rybnících kosením. In HEJNÝ S. (ed.): *Význam makrofyt ve vodním hospodářství, hygieně vody a rybářství*, s. 170-175. DT ČSVTS, České Budějovice.

HUSÁK Š. (1992): Druhy rostlin vhodné pro vegetační čistírny. In ČÍŽKOVÁ H. & HUSÁK Š. (eds.): *Účelové kultivace vodních a mokřadních rostlin*, s. 75-79. Botanický ústav ČSAV, Třeboň.

KOČKOVÁ E., KRÍŽ P., LEGÁT V., ŠÁLEK J. & ŽÁKOVÁ Z. (1994): *Vegetační kořenové čistírny odpadních vod*. Česká zemědělská tiskárna, Praha.

KOUŘIL M. (2006): *Kořenové čistírny: alternativní způsob nakládání s odpadními vodami: (informační brožura pro obce, soukromníky a zemědělce)*. Attavena, České Budějovice.

LUKAVSKÁ J. (1992): Množení, výsadba a ošetřování porostu na kořenových čistírnách. In ČÍŽKOVÁ H. & HUSÁK Š. (eds.): *Účelové kultivace vodních a mokřadních rostlin*, s. 67-70. Botanický ústav ČSAV, Třeboň.

LUKAVSKÁ J. (1998): Množení rostlin vhodných pro kořenové čistírny a péče o porost. In ŠÁLEK J. (ed.): *Nové poznatky při řešení vegetačních kořenových čistíren*, s. 62-64. Kabinet životního prostředí při Ústavu vodního hospodářství krajiny, Brno.

MLEJNSKÁ E., ROZKOŠNÝ M., BAUDIŠOVÁ D., VÁŇA M., WANNER F. & KUČERA J. (2009): *Extenzivní způsoby čištění odpadních vod*. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha.

PŘIBÁŇ K. (1992): Výpar z porostu mokřadních rostlin. In ČÍŽKOVÁ H. & HUSÁK Š. (eds.): *Účelové kultivace vodních a mokřadních rostlin*, s. 67-70. Botanický ústav ČSAV, Třeboň.

PŘIBÁŇ K. (1998): Výpar z porostu mokřadních rostlin. In ŠÁLEK J. (ed.): *Nové poznatky při řešení vegetačních kořenových čistíren*, s. 80-81. Kabinet životního prostředí při Ústavu vodního hospodářství krajiny, Brno.

STODOLA J. & VANĚK V. (1987): *Vodní a vlhkomilné rostliny*. SZN, Praha.

ŠÁLEK J. (1999): *Navrhování a provozování vegetačních kořenových čistíren*. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.

VYMAZAL J. (1995): *Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách*. ENVI, Třeboň.

ZAJONCOVÁ D. (2010): *Přírodní čištění vody*. ZO ČSOP Veronica – Centrum Veronica, Hostětín.

Obr. 16: Dostupné na: <http://www.korenova-cisticka.cz/img/upload/images/R%C3%A1kos%20obecn%C3%BD.jpg>. Verze k 22.3.2014.

Obr. 17: Dostupné na: [http://www.vannatabros.com/20083rd/reedc\\_1.jpg](http://www.vannatabros.com/20083rd/reedc_1.jpg). Verze k 22.3.2014.

Obr. 18: Dostupné na: <http://www.korenova-cisticka.cz/img/upload/images/Orobinec%20%20%20BAzkolist%C3%BD.jpg>. Verze k 22.3.2014.

Obr. 19: Dostupné na: <http://www.korenova-cisticka.cz/img/upload/images/Zblochan.jpg>. Verze k 22.3.2014.

Obr. 20: Dostupné na: <http://www.korenova-cisticka.cz/img/upload/images/Sk%C5%99%C3%ADpinec%20jezern%C3%AD%20Kobe%C5%99ice.jpg>. Verze k 22.3.2014.

Obr. 21: Dostupné na: <http://www.korenova-cisticka.cz/img/upload/images/S%C3%ADtina%20rozkladit%C3%A1.jpg>. Verze k 22.3.2014.

Obr. 22: Dostupné na: <http://www.spektrumzdravi.cz/w/spektrumzdravi/files/puskvorec-obecny.jpg>. Verze k 22.3.2014.

Obr. 23: Dostupné na: <http://www.korenova-cisticka.cz/img/upload/images/Kosatec%20%C5%BElut%C3%BD.jpg>. Verze k 22.3.2014.

Obr. 24: Dostupné na: [http://nd03.jxs.cz/492/337/ee898d7bdc\\_66238611\\_o2.jpg](http://nd03.jxs.cz/492/337/ee898d7bdc_66238611_o2.jpg). Verze k 22.3.2014.

Obr. 25: Dostupné na: <http://www.vodnihospodarstvi.cz/ArchivPDF/vh2009/vh04-2009.pdf>. Verze k 17.3.2014.