

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta životního prostředí**

**Katedra aplikované ekologie**



**Bakalářská práce**

**Typy umělých mokřadů pro čištění odpadních vod  
Types of constructed wetlands for wastewater  
treatment**

**Tereza Havlíčková**

**© 2015 ČZU v Praze**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra aplikované ekologie

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tereza Havlíčková

Aplikovaná ekologie

Název práce

Typy umělých mokřadů pro čištění odpadních vod

Název anglicky

Types of constructed wetlands for wastewater treatment

---

### Cíle práce

1. Popsat základní charakteristiky mokřadů
2. Charakterizovat rozdělení umělých mokřadů pro čištění odpadních vod
3. Shrnout základní návrhové parametry jednotlivých typů umělých mokřadů
4. Uvést příklady provozních systémů jednotlivých typů umělých mokřadů

### Metodika

Jedná se o rešeršní práci, z čehož vyplývá, že práce bude založena na informacích z dostupné literatury.

**Doporučený rozsah práce**

40 stran včetně obrázků, tabulek a literatury

**Klíčová slova**

umělé mokřady, odpadní voda, makrofyty, rákos obecný

---

**Doporučené zdroje informací**

- Chytil, J., Hakrová, P., Husák, Š., Jandová, J. a Pellantová, J. (eds.), 1999. Mokřady České republiky přehled vodních a mokřadních lokalit ČR. Český ramsarský výbor, Mikulov.
- Mitsch, W.J. a Gosselink, J.G., 2007. Wetlands. 4. vydání. John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey.
- Mitsch, W.J., Gosselink, J.G., Anderson, C.J. a Li Zhang, 2009. Wetland Ecosystems. John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey.
- Mlejnská, E., Rozkošný, M., Baudišová, D., Váňa, M., Wanner, F. a Kučera, J., 2009. Extenzivní způsoby čištění odpadních vod. VÚV Praha a MŽP ČR.
- Šálek, J. a Tlapák, V. Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. ČKAIT Praha, 283 p.
- Šálek, J., Žáková, Z. a Hrnčíř, P., 2008. Přírodní čištění a využívání vody v rodinných domech a rekreačních objektech. ERA group, Brno.
- Vymazal, J. a Kröpfelová, L., 2008. Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow. Springer, Dordrecht, 576 p.
- Vymazal, J. 1995. Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách. ENVI Třeboň a Ekologie a využití mokřadů, Praha.
- Vymazal, J. 2004. Kořenové čistírny odpadních vod. ENKI, Třeboň.
- Vymazal, J., 2009. Kořenové čistírny odpadních vod: 20 let zkušeností v České republice. Vodní hospodářství 59: 113-119.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2015/06 (červen)

**Vedoucí práce**

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

---

Elektronicky schváleno dne 25. 4. 2012

**prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 18. 12. 2013

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Děkan

V Praze dne 23. 03. 2015

### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Typ umělých mokřadů pro čištění odpaních vod" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 25.3. 2015

---

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Doc. Ing. Jan Vymazal, CSc.

# Typy umělých mokřadů pro čištění odpadních vod

---

## Types of constructed wetlands for wastewater treatment

### Souhrn

Tato práce se zabývá studiem procesů, které probíhají v umělých mokřadech pro čištění odpadních vod.

KČOV jsou v dnešní době velmi dobrou přírodní alternativou oproti klasickým čistírnám odpadních vod. To nejen pro malé zdroje znečištění, jako jsou rodinné domy, ale i pro zdroje větší, např. malé obce, zemědělské a průmyslové podniky. K samotnému čištění se využívá přírodních procesů. Ty probíhají v uměle vytvořeném mokřadu.

Práce sleduje vývoj z pohledu historie přírodních způsobů čištění odpadních vod. Uvádí i rozdělení vegetačních čistíren, průběh celého čištění a v neposlední řadě rostliny, které se v umělých mokřadech pro čištění odpadních vod využívají. Práce popisuje složení a množství odpadních vod. Návrhy a uspořádání vegetačních čistíren, jejich konstrukční řešení, provoz kořenové čistírny. V neposlední řadě začlenění a umístění umělých mokřadů do přírodního prostředí.

Cílem mé práce je nahlédnutí do problematiky umělých mokřadů při čištění odpadních vod, obzvláště kořenových čistíren, jejich funkcí, charakteristik a také jejich zařazení se do krajiny.

### Summary

This thesis deals with the studying of the processes taking place in wetlands for wastewater treatment.

KČOV are nowadays a very good natural alternative to conventional sewage disposal plants, not only for minor pollution sources, such as family houses, but also for more significant resources, eg. small municipalities, agricultural and industrial enterprises.

For the very act of cleaning natural processes are used. Those take place in an artificially created wetland.

The work studies the development from the historical perspective of natural ways of wastewater treatment. It even states division of vegetation plants, the process of entire cleaning and finally plants used in artificial wetlands for wastewater treatment. The thesis describes the composition and quantity of waste water, designs and layout of vegetative plants and its arrangement, operation of the plant root. Last but not least, the integration and placement of artificial wetlands into the natural environment.

The objective of my work is the insight into the issue of constructed wetlands for wastewater treatment, particularly root plants, their functions, characteristics, and their integration into the landscape as well.

**Klíčová slova:** KČOV, umělé mokřady, odpadní voda, rákos obecný, kořenové čistírny, odpadní vody, KČOV Spálené Poříčí

**Keywords:** KČOV, artificial wetlands, wastewater, Common reed, root sewage, sewage water, KCOV Spálené Poříčí town

# Obsah

1.	Úvod.....	9
2.	Cíl práce .....	11
3.	Mokřady .....	12
4.	Typy umělých mokřadů pro čištění odpadních vod.....	14
	4.1. Umělé mokřady s volně plovoucími rostlinami .....	16
	4.2. Umělé mokřady s rostlinami s volně plovoucími listy .....	19
	4.3. Umělé mokřady se submerzní vegetací.....	19
	4.4. Umělé mokřady s emerzní vegetací.....	20
	4.4.2.1. Systémy s horizontálním průtokem (kořenové čistírny).....	22
	4.4.2.2. Systémy s vertikálním průtokem.....	23
	4.5. Hybridní systémy .....	25
5.	Návrhové parametry KČOV .....	26
	5.1. Umístění a začlenění vegetační čistírny do přírodního prostředí .....	27
	5.2. Množství komunálních (splaškových) odpadních vod .....	27
	5.3. Srážkové vody a jejich množství .....	28
	5.4. Předčištění .....	29
	5.5. Filtrační lože .....	30
	5.6. Dimenzování filtračních polí .....	32
	5.7. Proudění ve filtračním prostředí .....	33
	5.8. Regulace výšky vodní hladiny ve filtračním poli .....	35
	5.9. Vegetace .....	35
	5.9.1. Charakteristika nejvíce používaných rostlin .....	36
	5.9.2. Význam vegetace v procesu čištění .....	37
	5.10. Kolmatace.....	37
	5.11. Čistící procesy v KČOV a účinnost čištění .....	38
	5.12. Provoz a údržba .....	43
	5.13. Investiční a provozní náklady .....	44
	5.14. Výhody a nevýhody použití KČOV ve srovnání s ČOV .....	45
	5.15. Nedostatky přírodních způsobů čištění odpadních vod .....	46
6.	Provozní kořenové čistírny v ČR.....	47
	6.1. KČOV Spálené Poříčí .....	48
	6.2. KČOV Čistá.....	52
	6.3. KČOV Ondřejov .....	54
7.	Závěr .....	57
8.	Seznam použité literatury.....	58



# 1. Úvod

Mokřady se vyskytují prakticky všude, nalezneme je na všech kontinentech kromě Antarktidy a ve všech klimatických pásmech od tropů až po tundru. Přibližně 6% zemského povrchu lze klasifikovat jako mokřad (Mitsch a Gosselink, 2007 Maltby, 1986). Současná rozloha mokřadů v Evropě se podstatně zmenšila ve srovnání s dobou před počátkem lidského osídlení. Rozsáhlé plochy mokřadů byly odvodněny a následně využity pro zemědělství nebo zastavěny. Přetrvávající mokřady jsou vystaveny přímým i nepřímým antropogenním vlivům, zejména fragmentaci a eutrofizaci (Čížková et al., 2011).

Šálek (1999) definuje kořenové čistírny jako zařízení, která slouží k čištění znečištěných povrchových odpadních vod. K čištění využívají přirozené, běžně v přírodě se vyskytující samočisticí procesy, které probíhají v půdním, vodním a mokřadním prostředí. Vegetace se přímo podílí na čistícím procesu, zejména tvorbou příznivých podmínek pro rozvoj mikroorganismů a současným využíváním uvolněných rostlinných živin, především dusíku, fosforu a draslíku k tvorbě biomasy.

Jednou z možností zajištění odstraňování znečištění z odpadních, ale i povrchových a drenážních znečištěných vod, představují umělé mokřady. V různých technologických úpravách jsou umělé mokřady pro bodové i difúzní zdroje používány celosvětově (Kadlec, Wallace, 2009).

O tom, že odpadní vody je třeba před jejich vypuštěním nejprve odpovídajícím způsobem „zneškodnit“, nemůže snad dnes mít nikdo pochybnosti. Problém však může nastat v okamžiku, kdy je nezbytné tento odpovídající způsob blíže specifikovat, a jinak jej bude vidět např. ochránce přírody a jiný bude pohled např. ekonoma. První může mít v zájmu ochrany životního prostředí maximální požadavky na jakost vyčištění vod a druhý může v zájmu úspory finančních prostředků potřebných na realizaci čistírny a její následný provoz prosazovat požadavky minimální. Který z názorů nakonec převládne, či zda zvítězí oboustranně přijatelný kompromis, na to má vliv celá řada faktorů obecného i lokálního charakteru, jako je např. umístění a velikost zdroje odpadních vod, kvalita a průtok vody v recipientu i celková ekologická zátěž v daném území a nelze podceňovat ani vůli zúčastněných po dohodě. Protože zásadní vliv na kvalitu povrchových vod mají velké

zdroje znečištění a především na jejich zneškodnění tedy závisí její zlepšení, lze s jistou dávkou uspokojení konstatovat, že u většiny z nich jsou dnes čistírny odpadních vod již postaveny. Tato okolnost vede k tomu, že se v dnešní době stále větší měrou obrací pozornost k problematice čištění odpadních vod z malých zdrojů znečištění, a to jak ze strany orgánů státní správy, tak i ze strany dodavatelů různých čistírenských zařízení (Šorm, 1997).

Stokové sítě a čistírny odpadních vod představují pro každého investora jednu z největších investic do infrastruktury v historii obce či města. Mnozí investoři nazývají tyto akce „stavbami století.“ Stokové sítě i čistírny odpadních vod jsou velmi nákladné investičně a následně provozně. Jedná se o stavby řešící ekologickou problematiku, proto o jejich významu nikdo nepochybuje. Přesto však v mnohých obcích nemají podporu převažující části obyvatelstva. Naše ekologické povědomí v oblasti vodního hospodářství není dosud na obdobné úrovni, jako je například povědomí o nutnosti a ekonomickém významu šetření energiemi a energetickými zdroji. Je sice pravdou, že významný nárůst cen vody vedl k poklesu její spotřeby, nevedl však k zásadním změnám chování lidí k povrchovým a podzemním vodám jako celku. Šetříme vodou, kterou musíme platit, málo pozornosti však již věnujeme jejímu znečišťování, aniž si uvědomujeme, že cena vody je ovlivňována celou řadou faktorů, z nichž její vlastní pořízení a distribuce není z hlediska celkových nákladů rozhodující položkou. Řada obcí zajistila vodofikaci, plynofikaci, telefonizaci, kabelovou televizi, přičemž opomněla, že projevem vysoké životní úrovně je též problematika likvidace vlastních odpadů. U tuhých odpadů se problematiku podařilo vyřešit poměrně rychle, neboť nekladla vysoké nároky na investice v obcích. Ke standardu moderního způsobu života však jednoznačně patří též adekvátní likvidace odpadních vod (Dušek, 1997).

## **2. Cíl práce**

Cílem mé práce je popsat základní charakteristiky mokřadů, charakterizovat rozdělení umělých mokřadů pro čištění odpadních vod. Shrnout základní návrhové parametry jednotlivých typů umělých mokřadů. A na konec uvést provozní kořenové čistírny v ČR.

### 3. Mokřady

Mokřady jsou přechodné útvary, ležící mezi suchou zemí a volnou vodou. Z ekologického hlediska můžeme říci, že tvoří přechod mezi suchozemským a vodním ekosystémem. V časovém kontextu se mokřady mohou postupně buď stávat suchou zemí v důsledku snížení vodní hladiny, sedimentace a rostlinné sukcese nebo se ponořují v důsledku zvýšení vodní hladiny spojené s relativním zvyšováním hladiny moře nebo klimatickými změnami (Orme, 1990).

Přírozené mokřady jsou využívány pro čištění odpadních vod již více než sto let. V mnoha případech spíše šlo o pouhé vypouštění než čištění odpadních vod. Hlavním důvodem byl fakt, že mokřady byly až do 60. let minulého století považovány za bezcenné biotopy. Nekontrolované vypouštění odpadních vod způsobilo v mnoha případech nevratné poničení celé řady mokřadů. V posledních desetiletích však díky intenzivnímu studiu mokřadních systémů nastal výrazný obrat v chápání významu mokřadů v přírodě a nekontrolované vypouštění odpadních vod do přírodních mokřadů se v civilizovaných zemích snížilo na minimum (Vymazal, 2004).

V minulosti byly přírozené mokřady prakticky přehlíženy a byly často využívány pro likvidaci odpadních vod, což mělo za následek nevratné zničení mnoha mokřadních oblastí po celém světě. V posledních desetiletích však díky intenzivnímu studiu mokřadních systémů nastal výrazný obrat v chápání významu role mokřadů v přírodě a nekontrolované vypouštění odpadních vod do přírodních mokřadů se ve vyspělých zemích snížilo na minimum (Šálek, Tlapák, 2006).

Umělé mokřady jsou definovány jako uměle vytvořený komplex zvodněného nebo mělce zaplaveného zemního lože, emerzní, submerzní nebo plovoucí vegetace, živočichů a vody, který napodobuje přírozené mokřady pro praktické využití (Hammer, Bastian, 1989). Vodohospodářské orgány v České republice zpočátku nedůvěřovaly účinnosti mokřadních systémů. Nedůvěra pramenila z neinformovanosti těchto pracovníků o skutečných výsledcích provozu a možnostech těchto systémů a nepochopení specifik při využití mokřadních rostlin k dočištění odpadních vod. V průběhu 90. let se situace v názorech na přírodní způsoby čištění odpadních vod zlepšila a kořenové čistírny odpadních vod byly zařazeny i do státních norem jako např. ČSN 75 6402 Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel (Kolář, 2003).

Mokřady, ať již přírodní nebo umělé, plní konkrétní úkoly, zaměřené především na zlepšení jakosti vody, úpravu mikroklimatu, hydrologických poměrů i poměrů stanovištních pro mokřadní flóru a faunu (Šálek, 2006).

Ve srovnání s dalšími ekosystémy jsou přirozené mokřady mladé a dynamické. Mnohé jsou nestálé a mění se v průběhu sezóny nebo i během kratšího období, například dešťového přivalu. Mokřady se mění se změnou vegetace, s poklesem sedimentů či země. Procesy, které formovaly některé mokřady, byly již dávno ukončeny, a tak můžeme hovořit o „fosilních“ mokřadech, zatímco jiné kategorie mokřadů byly iniciovány pouze nedávnými událostmi (Maltby, 1986).

Umělé mokřady ve speciální úpravě tvoří půdní filtry s vegetací (vegetační kořenové čistírny) a používají se k čištění odpadních vod malých producentů. Tato zařízení se dělí do skupin, uvedených v tab. 1 (Šálek, 2006).

Tab. 1. Různé způsoby využití přírodních a umělých mokřadů (Šálek, 2006)

Druh přírodního způsobu čištění	Možnosti využití
a) Půdní filtry	
Vertikální filtry bez vegetace	Čištění odpadních vod producentů do 120 EO a dočištění čištěných splaškových odpadních vod
Vertikální filtry s vegetací	Čištění odpadních vod producentů do 150 EO a dočištění čištěných splaškových odpadních vod
b) Vegetační kořenové čistírny	
Horizontální povrchové proudění	Čištění odpadních vod v příznivých klimatických podmínkách a čištění znečištěných povrchových vod
Horizontální podpovrchové proudění	Čištění odpadních vod do 1 000 EO a dočištění čištěných odpadních vod
Vertikální s prouděním dolů	Čištění producentů do 300 EO a dočištění odpadních vod (druhý stupeň biologického čištění)
Vertikální prouděním vzhůru	Čištění OV převážně ve vegetačním období
c) Přírodní mokřady	
Rízené přírodní mokřady	Dočištění OV, čištění znečištěných povrchových vod

Zařízení přírodních způsobů čištění (umělé a přírodní mokřady) jsou typická vysokou hladinou podpovrchové vody, zvláštním vodním režimem, poměry hydrobiologickými, specifickou mokřadní faunou a florou. Mokřady se dělí na přírodní a umělé. Nejdůležitější naše přírodní mokřady jsou chráněny Ramsarskou úmluvou (Šálek, Tlapák, 2006).

## 4. Typy umělých mokřadů pro čištění odpadních vod

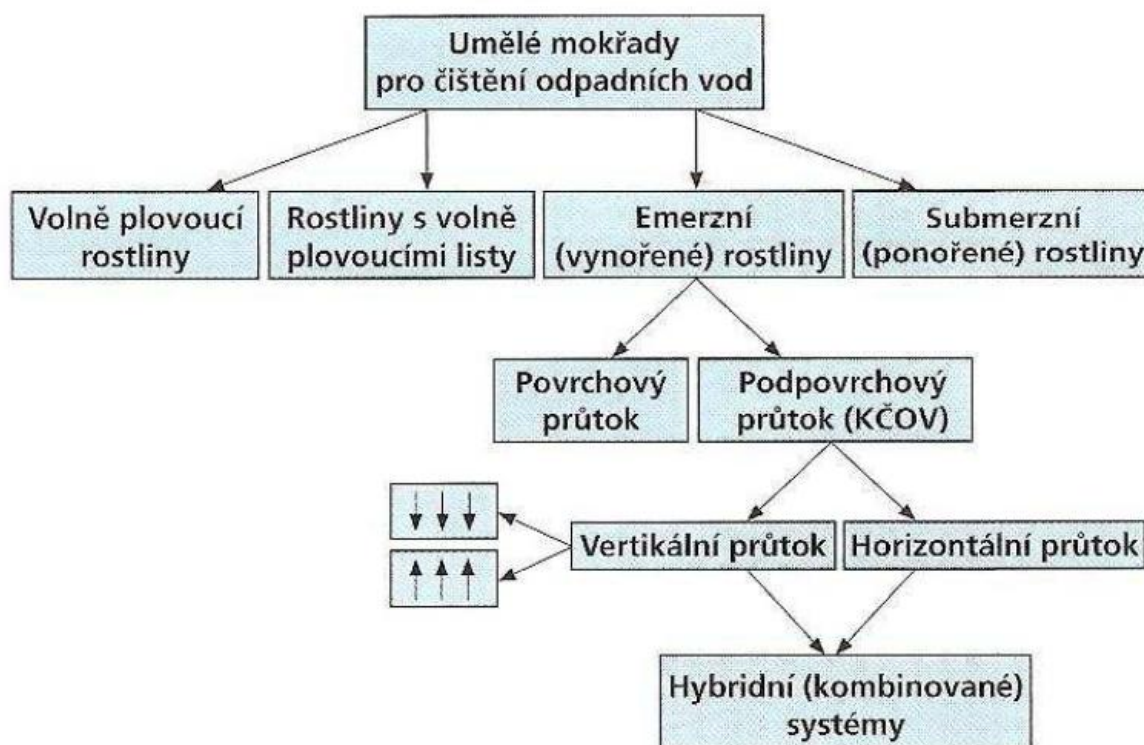
„Přírodní způsoby čištění uplatnění nacházejí zejména při čištění splaškových odpadních vod jednotlivých domácností, hotelů, rekreačních, restauračních zařízení a letních táborů, menších obcí obvykle do 1 000 obyvatel, čištění odpadních vod ze školních zařízení, škol v přírodě a stravovacích zařízení, z dílen a malých průmyslových závodů, čištění filtrů vody ze skládek komunálních odpadů, čištění organicky nízkozatížených odpadních vod, čištění znečištěných povrchových vod apod. zcela specifické je využití přírodních způsobů při čištění odpadních vod nejmenších producentů, především jednotlivých domů, skupinek domů apod. Takto se mohou upravit znečištěné dešťové vody, vody z praní a koupání a znovu je využít jako vodu užitkovou na splachování, závlahu zahrádek. Rovněž jsou uvedené způsoby vhodné pro biologické čištění splaškových odpadních vod, po předchozím čištění v biologickém septiku (Šálek, Tlapák, 2006).“

Dle Šálka a Tlapáka (2006) jsou pro přírodní způsoby čištění nevhodné, resp. nepoužitelné odpadní vody s vysokým obsahem organického znečištění a zvýšeným výskytem tuků, olejů, extrémně kyselých a zásaditých důlních a průmyslových odpadních vod, odpadních vod obsahujících toxické látky překračující mez toxicity, zejména s obsahem derivátů ropy, nadlimitním obsahem tenzidů, pesticidů, radioaktivních látek.

Umělé mokřady lze rozdělit na tři hlavní skupiny podle vegetace, která je použita:

1. Mokřady s plovoucí vegetací
2. Mokřady se submerzními (ponořenými) rostlinami
3. Mokřady s emerzními (vynořenými) rostlinami (Vymazal, 1995).

Při čištění odpadních vod s použitím umělých mokřadů lze také využít kombinace uvedených systémů. Podrobné rozdělení umělých mokřadů podle druhu použité vegetace a způsobu průtoku odpadní vody ukazuje Obr. 1.



Obr. 1. Rozdělení umělých mokřadů pro čištění odpadních vod (Vymazal, 2004)

Umělé mokřady jsou převážně využívány pro čištění městských a domovních odpadních vod, ale využití pro jiné druhy odpadních vod (Tab. 2.) je stále častější (Vymazal a Kröpfelová, 2008).

Tab. 2. Typy odpadních vod, pro které lze využít umělé mokřady (Vymazal a Kröpfelová, 2008a)

Typ odpadní vody	Příklady
Městské a domovní	Jednotná kanalizace, oddílná kanalizace, dešťové odlučovače
Průmyslové	Rafinérie, potravinářský průmysl (např. výroba sýrů, rostlinných olejů, zpracování brambor, zpracování cukru) jatka, kožedělný průmysl, textilní průmysl, důlní drenážní vody, výroba explosiv, polymerů, papíru a papíroviny
Zemědělské	Vepřiny, kraviny, drůbežárny, rybi farmy
Splachové	Dálnice, rezidenční čtvrti. Parkoviště, letiště, skleníky, zahradnictví, drenážní splachy z pastvin
Průsaky ze skládek pevného odpadu	

První pokusy s využitím umělých mokřadů prováděla K. Seidlová již začátkem 60. let v Německu (např. Seidel, 1966). Tyto čistírny byly součástí tzv. hybridních umělých mokřadů, které kombinovaly umělé mokřady s horizontálním podpovrchovým tokem a umělé mokřady s vertikálním průtokem. Umělé mokřady s horizontálním průtokem byly vždy jako druhý stupeň a byly vyplněny porézním filtračním materiálem. Ve druhé polovině 70. let 20. století navrhl R. Kickuth použití jílovitých půd, které měly velmi dobrou filtrační schopnost, ale malou hydraulickou propustnost (Kickuth, 1977, 1981).

Zároveň navrhl plochu  $2 \text{ m}^2 \text{ EO}^{-1}$  (EO – ekvivalentní obyvatel, 60g BSK<sub>5</sub> na osobu a den). Výsledkem bylo zvýšení nutné plochy na  $5 \text{ m}^2 \text{ EO}^{-1}$ , které jsou dostatečné pro odstraňování nerozpuštěných a organických látek. Další změnou bylo rozdělení celkové plochy čistírny na několik menších ploch, které měly širokou nátokovou hranu, aby nedocházelo k lokálnímu přetížení v úzkých polích. V 80. letech se rozšířily kořenové čistírny do Velké Británie, kde se začalo místo zeminy používat hrubí štěrk, aby byla zajištěna dostatečná hydraulická propustnost a nedocházelo k rychlému ucpávání filtračního pole (Kröpfelová, 2011).

## **4.1. Umělé mokřady s volně plovoucími rostlinami**

Tento druh umělých mokřadů využívá nejčastěji vodní hyacint (*Eichhornia crassipes*) nebo různé okřehky (*Lemnaceae*). Jedná se většinou o mělké, úzké a dlouhé, které nevyžadují složité technické vybavení (Vymazal, 2008a).

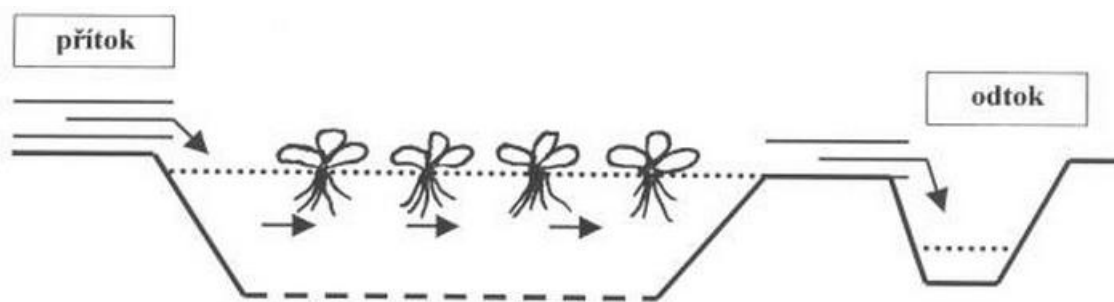
### **4.1.1. Umělé mokřady s vodním hyacintem**

Vodní hyacint (*Eichhornia crassipes*) je jedním z nejobtížnějších plevelů tropických a subtropických oblastí a patří mezi nejproduktivnější rostliny na zeměkouli (Sculthorpe, 1967).

Penfound a Earle (1948) uvádějí, že 10 rostlin může během 8 měsíců vyprodukovat až 600 000 nových rostlin a zcela zaplnit vodní plochu o rozloze  $4\,000 \text{ m}^2$ . Rychlý růst je zdrojem vážných problémů na vodních cestách v jižních oblastech. Vodní hyacint na hladině nádrže vytváří ve vodním sloupci zcela odlišné podmínky na rozdíl od nádrže bez vegetace. Souvislý pokryv hladiny (Obr. 2.) zabraňuje pronikání světla do vodního



sloupce, čímž je eliminován růst řas, a tím je následně udržována hodnota pH v oblasti neutrálních hodnot. Rostliny navíc minimalizují turbulenci a míchání vody způsobené větrem, povrchovou reaeraci a výrazně snižují kolísání teploty vody. Výsledkem těchto jevů je skutečnost, že vodní vrstva pod hladinou obsahuje málo rozpuštěného kyslíku a většina vodního sloupce je anoxická až anaerobní, a to i v mělkých nádržích (Reed et al., 1988).



Obr. 2. Schematické znázornění umělého mokřadu s volně plovoucími rostlinami (Vymazal, 2001a).

Nerozpuštěné látky jsou odstraňovány sedimentací, organické látky (BSK<sub>5</sub>, CHSK) především bakteriálním rozkladem. Účinnost odstraňování je poměrně vysoká vzhledem k tomu, že kořeny rostlin slouží jako podklad pro růst velkého množství přisedlých bakterií. Dusík je z odpadní vody odstraňován kombinací několika procesů. Kromě příjmu dusíku rostlinami se uplatňuje také mikrobiální nitrifikace (v aerobních zónách)/denitrifikace (v anoxických a anaerobních zónách) a v omezené míře i těkání amoniaku. Fosfor je z odpadní vody odstraňován téměř výhradně rostlinným příjmem. Pro maximální využití odstraňování živin z odpadní vody je nutné udržovat optimální hustotu rostlin v systému. Výsledky z 15 provozních systémů v USA a Japonsku ukazují, že množství odstraněných živin výrazně kolísá – dusík v rozmezí 76-1048 g.m<sup>-2</sup> za rok, fosfor v rozmezí 1–296 g.m<sup>-2</sup> za rok (Vymazal, 2001a).

Využití systémů s vodním hyacintem je však limitováno skutečností, že tato rostlina je subtropická až tropická, není odolná vůči mrazu a v mírném klimatickém pásu nepřežimuje. Využití tohoto způsobu čištění odpadních vod, především v jižních státech USA v 70. a 80. letech 20. století, však prokázalo nepřilíš velkou rentabilitu tohoto způsobu čištění (obtížná údržba optimálních růstových podmínek a vysoká produkce těžko

využitelné biomasy), a proto se od těchto systémů ve většině případů ustoupilo (Vymazal, 2001). V nedávné době se opět zvedla vlna zájmu o tento způsob čištění, a to především v rozvojových zemích Asie a Afriky.

V našich podmínkách byl tento způsob také ověřován, ale doba, po kterou je vodní hyacint schopen uspokojivě růst (a odčerpávat živiny), je velmi krátká a omezuje se většinou pouze na období konce června – začátek července (Žáková et al., 1994).

#### **4.1.2. Umělé mokřady s okřehky**

Okřehky (*Lemna*, *Spirodela*, *Wolffia*, *Wolffiella*) patří mezi nejrychleji rostoucí rostliny na světě – za optimálních podmínek mohou zdvojnásobit svou biomasu během 2-3 dnů (Rejmánková, 1971).

Optimální teplota pro růst okřehků je však mezi 33–40°C. Vzhledem k tomu, že okřehky se snadno posouvají po hladině nádrží vlivem větru, je nutné instalovat na hladinu zařízení, které udržuje rostliny po celé ploše hladiny. Tato zařízení však značně ztěžují sklizení rostlin, které je nutné pro optimální funkci systému. Optimální biomasa okřehků a frekvence sklizení se podle různých autorů velmi liší, a proto tyto údaje nelze zobecnit (Rejmánková et al., 1990).

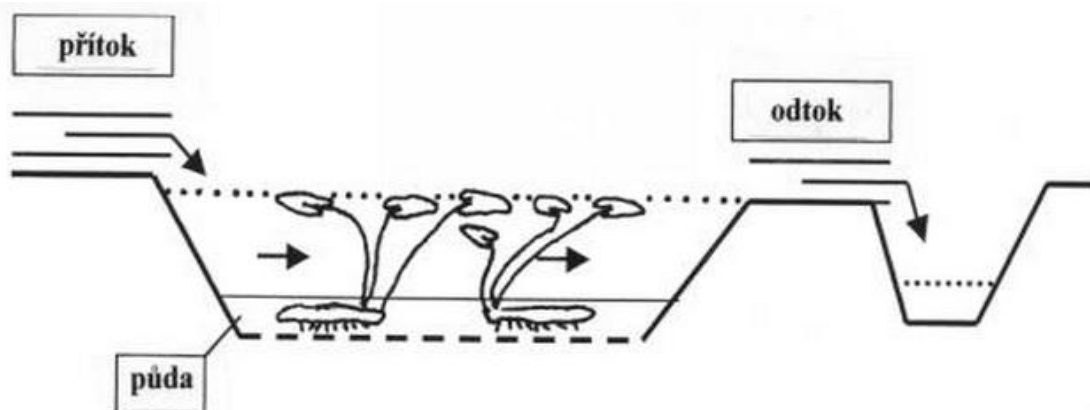
#### **4.1.3. Ostatní plovoucí rostliny využívané v umělých mokřadech**

Do této skupiny lze zařadit především rostliny *Hydrocotyle umbellata* a *Pistia stratiotes*. *Hydrocotyle* je subtropická rostlina, která se především vyskytuje jako kořenující na okrajích vodních ploch, ale je schopna růst ve formě plovoucích trsů. *Hydrocotyle* má velkou růstovou rychlost a poměrně vysokou kapacitu příjmu živin, a to i v chladnějších částech subtropického pásma (Moorhead a Reddy, 1988).

I přes tyto slibné předpoklady je provozní využití této rostliny prozatím omezené. *Pistia stratiotes* je subtropická/tropická rostlina, která nepřežívá v oblastech mírného pásma (Vymazal, 2008).

## 4.2. Umělé mokřady s rostlinami s volně plovoucími listy

Využití kořenujících rostlin s plovoucími listy pro čištění odpadních vod (Obr. 3.) je ojedinělé. Z literatury je známo pouze jedno plno provozní uplatnění, a to v jihovýchodní Číně. V tomto případě byla nádrž osázena lotusem (*Neelumbo nucifera*) společně s vodním hyacintem. Další rostliny, které připadají v úvahu pro tento druh UM jsou např. lekníny (*Nymphaea spp.*) nebo stulíky (*Nuphar spp.*) (Vymazal, 1998). Všechny tyto rostliny kumulují značná množství živin v mohutných oddencích, jejichž odstraňování by však znamenalo zničení celého systému. Velké listy plovoucí na hladině brání průniku světla do vodního sloupce, navíc řapíky těchto rostlin vylučují látky, které brání přisedání většího množství nárostových řas. Následkem toho jsou v těchto systémech do značné míry eliminovány řasy, které svou fotosyntetickou aktivitou mají pozitivní vliv na průběh odstraňování znečištění z odpadní vody. Z uvedených důvodů je využití UM v praxi velmi problematické a zdá se, že nenajde široké uplatnění (Vymazal, 2008).

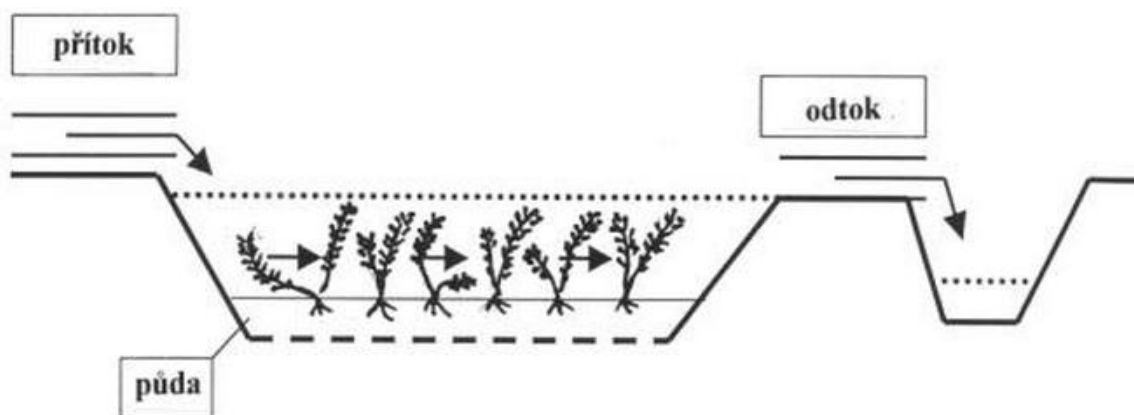


Obr. 3. Schematické znázornění umělého mokřadu s rostlinami s plovoucími listy (Vymazal, 2001a).

## 4.3. Umělé mokřady se submerzní vegetací

Submerzní (ponořené) rostliny mají fotosyntetické orgány zcela ponořeny ve vodě (Obr. 4.). Živiny mohou být přijímány jak přímo z vody listy a stonky, tak kořenovým

systemem ze sedimentů (Denny, 1980). Využití UM se submerzní vegetací je limitováno ekologickými nároky těchto rostlin, především nároky na vyšší obsah rozpuštěného kyslíku a malou turbiditou (zákal) vody, což u odpadních vod není většinou splněno. Tím je UM se submerzní vegetací omezeno na dočišťování odpadních vod.



Obr. 4. Schematické znázornění umělého mokřadu se submerzními rostlinami (Vymazal, 2001a).

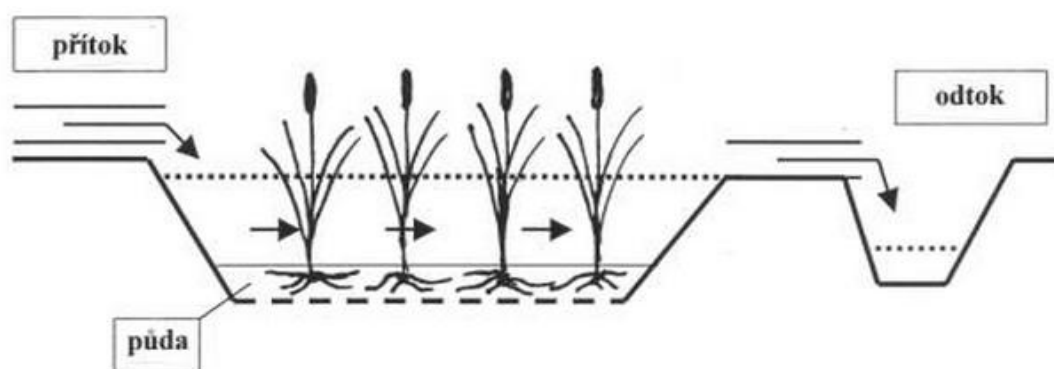
Submerzní rostliny jsou většinou porostlé velkým množstvím nárostových řas, tzv. epiphytonem. Tyto řasy odčerpávají velmi rychle značné množství živin, ale pokud nejsou rostliny s řasami sklizeny, dostávají se živiny po odumření řas zpět do vodního prostředí. Na druhou stranu nárostové řasy na listech a stoncích submerzních (ponořených) rostlin mohou výrazně omezit fotosyntézu a růst makrofyt. Mezi nejvýhodnější rostliny pro tyto systémy patří: *Cerastophyllum demesrum*, *Egeria densa*, *Elodea canadensis*, *Elodea nuttallii*, *Hydrilla verticillata*, *Myriophyllum heterophyllum* nebo různé druhy rdestů (*Potamogeton spp.*) (Lakatos, 1998).

## 4.4. Umělé mokřady s emerzní vegetací

### 4.4.1. Systémy s povrchovým tokem

Umělé mokřady s emerzní (vynořenou) vegetací a volnou vodní hladinou jsou většinou tvořeny mělkými nádržemi, kde nejsou kladeny specifické požadavky na kvalitu

půdního substrátu na dně nádrží. Hlavní funkcí této vrstvy je především vytvářet substrát pro růst rostlin (Obr. 5.). Vlastní proces čištění odpadních vod probíhá především ve vodním sloupci (obvykle 20–50cm), který je hustě prorůstán emerzní vegetací. Ponořené části živých rostlin a zetlelé části rostlin na dně nádrží slouží jako mechanický filtr pro suspendované látky a jako podklad pro bakterie, které se významnou měrou podílejí na odstraňování znečištění (Vymazal, 2008a).



Obr. 5. Schematické znázornění umělého mokřadu s emerzní vegetací a volnou vodní hladinou (Vymazal, 2001a).

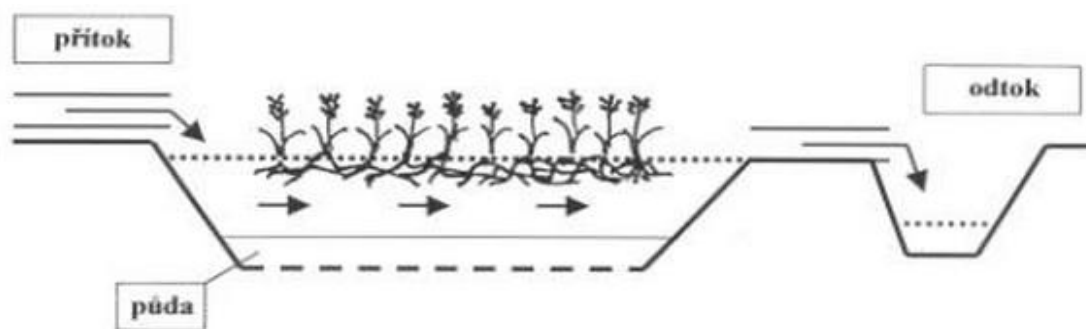
Organické látky jsou odstraňovány mikrobiálním rozkladem, částečně filtrací a sedimentací. Nerozpuštěné látky jsou odstraňovány z odpadní vody filtrací a sedimentací. Dusík je z odpadní vody odstraňován těkáním amoniaku, jelikož v těchto systémech vytvářejí planktonní i nárostové řasy vhodné podmínky pro tento proces, a především mikrobiálním komplexem nitrifikace/denitrifikace. K nitrifikaci dochází v aerobních zónách vodního sloupce, zatímco denitrifikace se uskutečňuje především ve vrstvě stařiny na dně nádrží. Fosfor je z odpadní vody odstraňován především adsorpcí na půdní částice dnových vrstev. Vzhledem k malému kontaktu odpadní vody a dnem nádrže (a tudíž půdních částic) není odstraňování fosforu příliš efektivní. Vegetace se v těchto systémech pravidelně nesklízí, a proto se živiny obsažené v biomase rostlin po jejich odumření dostávají zpět do vody. Případné sklizení biomasy je technicky náročné u velkých nádrží (Vymazal, 2008a).

UM s povrchovým tokem vykazují velmi dobrou účinnost odstraňování nerozpuštěných a organických látek a běžně dosahuje až 90% při čištění splaškových

odpadních vod. Odstraňování dusíku ze splaškových odpadních vod se většinou pohybuje v rozmezí 40 – 60%, zatímco odstranění fosforu je také nižší a většinou nepřesahuje 50% (Kadlec a Knight 1996, Vymazal, 2001).

Pravděpodobně první umělý mokřad s emerzní vegetací a povrchového průtokem byl uveden do provozu v roce 1967 v nizozemském Lelystadu (de Jong, 1976). Umělý mokřad se čtvercovým půdorysem a celkové ploše jednoho hektaru však bylo obtížné udržovat, a proto byl původní mokřad doplněn od 200m dlouhé a 3m široké umělé mokřady osázené skřípincem jezerním (*Scirpus = Schoenoplectus lacustris*) (Vymazal, 2008a).

Některé emerzní rostliny, jako například zblochan vodní (*Glyceria maxima*), papyrus (*Cyperus papyrus*) nebo různé druhy rákosu (*Phragmites australis*, *P. mauritanus*) a orobinců (např. *Typha Latifolia*, *T. domingensis*), jsou schopny růst i v trsech plovoucích na hladině (Obr. 6.). Plovoucí trsy se mohou přirozeným způsobem uvolnit ze dna, ale v poslední době se rostliny záměrně „ukotvují“ v různých rámech a sítích. Takto rostoucí rostliny lze sklízet i s kořeny a oddenky aniž by se celý systém poškodil (Vymazal, 2008a).



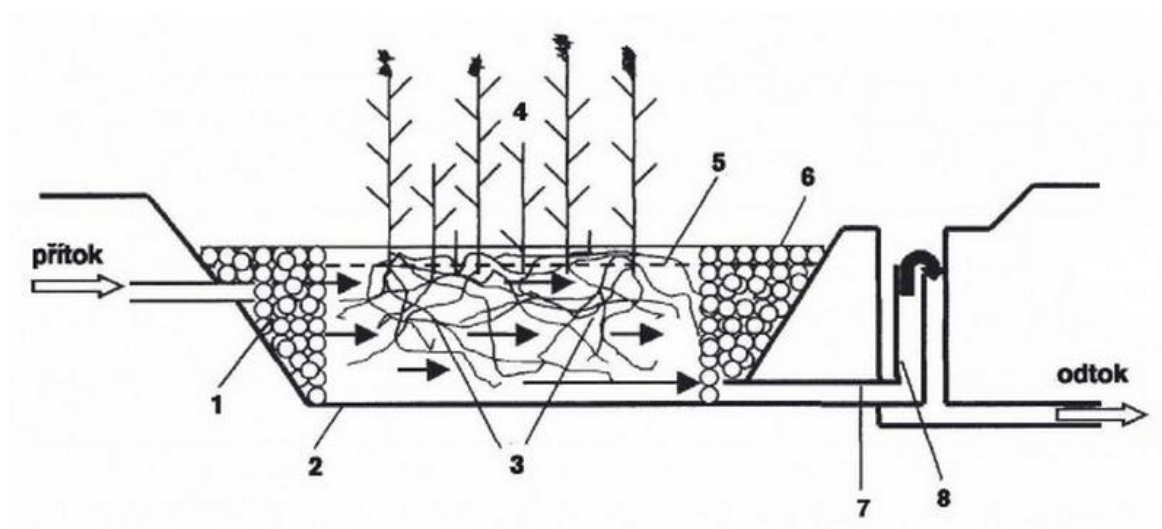
Obr. 6. Schematické znázornění UM s plovoucími trsy emerzní vegetace (Vymazal, 2001a).

#### 4.4.2. Systémy s podpvrchovým průtokem

##### 4.4.2.1. Systémy s horizontálním průtokem (kořenové čistírny)

Kořenové čistírny odpadních vod (KČOV) jsou jedním z mnoha typů umělých mokřadů, které se využívají pro čištění odpadních vod. Podle běžně používané

mezinárodní terminologie jsou KČOV klasifikovány jako umělé mokřady s horizontálním podpovrchovým průtokem. Základním principem tohoto způsobu čištění je horizontální průtok odpadní vody propustným substrátem, který je osázen mokřadní vegetací. Substrát musí být dostatečně propustný, aby nedocházelo k jeho ucpávání a následnému povrchovému odtoku. Při průchodu odpadní vody substrátem dochází k čištění, které se uskutečňuje komplexem chemických, fyzikálních a biologických procesů (Vymazal, 2008a).



Obr. 7. Typické uspořádání kořenové čistírny (Vymazal, 2004).

- 1\_distribuční zóna (kamenivo, 50-200mm),
- 2\_nepropustná bariéra (PE nebo PVC),
- 3\_filtrační materiál (kačírek, štěrk, drcené kamenivo),
- 4\_vegetace,
- 5\_výška vodní hladiny v kořenovém loži nastavitelná v odtokové šachtě,
- 6\_odtoková zóna (shodná s distribuční zónou),
- 7\_sběrná drenáž
- 8\_regulace výšky hladiny.

#### 4.4.2.2. Systémy s vertikálním průtokem

Umělé mokřady s vertikálním průtokem (Obr. 8) byly původně navrženy Seidlovou (Seidel, 1965b) jako předčištění před kořenovými čistírnami a nebyly navrženy jako

samostatný stupeň čištění. Na rozdíl od kořenových čistíren, kde odpadní voda je na filtrační pole přiváděna kontinuálně, je u vertikálních systémů voda čerpána přerušovaně na povrch filtrů. Každé další čerpání následuje až poté, co odpadní voda proteče filtrem a filtrační pole se vyprázdí. To umožňuje podstatně lepší přestup kyslíku do filtračního lože, což je nezbytná podmínka pro nitrifikaci (Cooper et al., 1996).

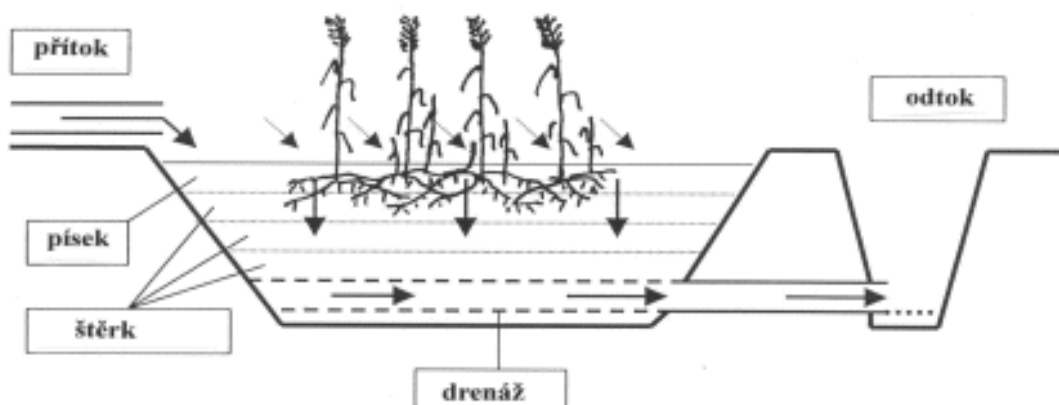
Vertikální umělé mokřady jsou většinou 1,0–1,2m hluboké a na rozdíl od KČOV se jako filtrační médium používá většinou písek, přičemž velmi často je použito několik vrstev různých frakcí (Vymazal a Kröpfelová, 2008).

První vertikální umělé mokřady byly většinou navrženy jako součást hybridních systémů v kombinaci s kořenovou čistírnou tak, že v prvním stupni byla 2–4 vertikální filtrační pole, která byla zatěžována střídavě (Burka a Lawrence, 1990). V současné době se vertikální umělé mokřady používají i jako samostatné jednotky a v literatuře jsou často označovány jako vertikální systémy „2. generace“ nebo „kompaktní vertikální systém“. Většina těchto systémů je navržena jako malé domovní čistírny, ale v některých zemích, např. ve Francii, se vertikální mokřady používají i pro podstatně větší zdroje znečištění (Vymazal, 2008).

Umělé mokřady s vertikálním průtokem používají téměř výhradně rákos obecný (*Phragmites australis*). Kromě funkcí, které jsou shodné jako u KČOV, je velmi důležitou funkcí rostlin ve vertikálních filtrech zlepšování propustnosti povrchové vrstvy filtru. To je dáno především rozrušováním povrchové vrstvy tvořené nerozpuštěnými látkami, které jsou odstraňovány z odpadní vody (Vymazal, 2008a).

Většina umělých mokřadů s vertikálním průtokem je využívána pro čištění domovních a městských splaškových vod, ale v poslední době se začínají tyto mokřady využívat i pro jiné druhy odpadních vod.





Obr. 8. Schematické znázornění umělého mokřadu s vertikálním průtokem (Vymazal, 2001a).

Účinnost čištění je vysoká pro organické ( $BSK_5$ , CHSK) a nerozpuštěné látky i přes poměrně nízkou specifickou plochu (většinou  $2 - 3\text{m}^2/\text{EO}$ ). Odstraňování amoniaku je podstatně vyšší než u kořenových čistíren, ale amoniak se prakticky pouze oxiduje na dusičnany. To je dáno skutečností, že filtrační pole vertikálních filtrů je provzdušněné, což umožňuje nitrifikaci, ale nikoliv denitrifikaci (Vymazal, 2008a).

#### 4.5. Hybridní systémy

Různé typy umělých mokřadů (popsané v předcházejícím textu) lze mezi sebou kombinovat za účelem vyššího celkového účinku při eliminaci znečištění, především pak pro zvýšení eliminace dusíku. Hybridní systémy ve většině případů zahrnují kořenové čistírny (v literatuře označovány jako HF) a vertikální filtry (VF) v sériovém zapojení. Mnohé z těchto systémů jsou odvozené od původního návrhu Seidlové (Seidel, 1965).

Koncem 70. let 20. století bylo několik hybridních systémů uvedeno do provozu ve Francii. Jednalo se o tzv. „Seidel systém“, tj. kombinaci vertikálního (VF) a horizontálního (HF, KČOV) mokřadu. Obdobný systém byl v roce 1987 uveden do provozu v Oaklands Park v Anglii. V 90. letech 20. století a na začátku tohoto století byly VF-HF umělé mokřady uvedeny do provozu v mnoha evropských zemích, např. v Slovinsku, Norsku, Francii, Japonsku nebo v Rakousku (Vymazal, 2008a).

V polovině 90. let 20. století byly odzkoušeny také HF-VF hybridní systémy. Ve velkém horizontálním filtru (KČOV) dochází k odstranění organických a nerozpuštěných látek a denitrifikaci. V následujícím malém vertikálním filtru dochází k nitrifikaci. Aby byla zajištěna denitrifikace v prvním HF filtru, je nutné vodu z odtoku z VF necirkulovat buď do předčisticího stupně nebo na přítok do HF filtru (Brix et al., 2003).

V současné době se začínají uplatňovat i kombinace umělých mokřadů s povrchovým a podpovrchovým tokem. Hybridní umělé mokřady se využívají pro různé druhy odpadních vod (Vymazal, 2008a).

## 5. Návrhové parametry KČOV

Produktem čištění odpadních vod jsou vedle vyčištěné odpadní vody, písek, shrabky a kal. Veškeré tyto látky mají nepříznivé senzoričké i hygienické vlastnosti. Ty prvé mají svůj původ v rozkladných hnilobných procesech organických látek v nich obsažených, příčinou hygienické závadnosti je především obsah patogenních organismů. Tato hlediska musí být vzata v úvahu při jejich zpracování a zneškodňování (Malý, 1997).

Dle autorů Šálka a Tlapáka (2006) patří do skupiny přírodních způsobů čištění odpadních vod půdní (zemní) filtry bez vegetace a s vegetací, vegetační čistírny (vegetační kořenové čistírny), závlaha odpadními vodami, kejdou, tekutými stabilizovanými čistírenskými kaly, stabilizační nádrže, bioeliminátory a akvadukty.

Přesto, že kořenová čistírna odpadních vod řazena mezi přírodní způsoby čištění odpadních vod, jedná se vždy o stavbu, a podle vodního zákona č. 254/2001 Sb. se jedná o vodní dílo, kterému předchází řádné zpracování projektové dokumentace a vodohospodářské projednání s příslušným rozhodnutím včetně stanovení emisních limitů pro vypouštěné odpadní vody (Kolář, 2003).

Základním principem, na kterém KČOV pracují je horizontální průtok odpadní vody propustným substrátem, který je osázen mokřadními rostlinami (Duncan, 2004).

„Při průtoku odpadní vody filtračním materiálem dochází k odstranění znečištění kombinací fyzikálních, chemických a biologických procesů (Vymazal, 2004).

## 5.1. Umístění a začlenění vegetační čistírny do přírodního prostředí

Důležitým úkolem je zodpovědné situování přírodních čistíren do přírodního prostředí a zajištění dostatečné ochrany životního prostředí před případnou kontaminací ovzduší, povrchových a podzemních vod odpadními vodami. Čistírenská zařízení musíme umístit v dostatečné vzdálenosti od obce, minimální vzdálenosti od souvislé bytové zástavby podle ČSN 75 6401 jsou uvedeny v tab. (Šálek, 2006).

Tab. 3. Orientační hodnoty nejmenších vzdáleností zařízení čistírny od okraje bytové zástavby

Způsoby čištění odpadních vod	Nejmenší vzdálenost [m]
S komplexně uzavřenou (zakrytou) technologií s čištěním odváděného vzduchu	10
Mechanické bez kalového hospodářství se zcela zakrytými stavbami	25
Mechanicko-biologické s pneumatickou aerací, s kalovým hospodářstvím	100
Mechanicko-biologické s mechanickou povrchovou aerací nebo filtry s kalovým hospodářstvím	200
Ostatní (speciální úpravy kalu, mezideponie kalu, shrabků, písku)	200

Vzdálenost vegetační kořenové čistírny se určí podle důležitosti čistírny, její velikosti, navrženého čistírenského procesu a typu okolní zástavby, především z hygienického hlediska. Vzdálenosti platí proti směru převládajících větrů. Ve směru převládajících větrů se vzdálenosti přiměřeně prodlužují, zpravidla na dvojnásobek (Šálek, 2006).

## 5.2. Množství komunálních (splaškových) odpadních vod

Aby byla kořenová čistírna odpadních vod správně navržena, je nezbytností, znalost množství odpadních vod a znečištěných povrchových vod. Množství odpadních vod se přesně stanoví pouze přímým měřením, přibližně je vypočteme podle potřeby vody na obyvatele a den. Vypočítané množství se sníží asi o 10 až 20%, což je voda na mytí komunikací, závlahu zeleně apod. (Šálek, Tlapák, 2006).

Průměrný  $Q_{24}$  a maximální denní  $Q_d$  bezdeštný přítok, podle ČSN 75 6401 se vypočte ze vztahu:

$$Q_{24} = Q_{24M} + Q_{24P} + Q_B$$
$$Q_d = Q_{24M} * k_d + Q_{24P} * k_{dp} + Q_B$$

Kde:

$Q_{24M}$  průměrný denní bezdeštný přítok odpadních vod z města

$Q_{24P}$  průměrný denní bezdeštný přítok odpadních vod ze zpracovatelských odvětví

$Q_B$  průměrný denní přítok balastních vod

$k_d$  součinitel denní nerovnoměrnosti činí u obcí do 1 000 obyvatel 1,5

### 5.3. Srážkové vody a jejich množství

Znalost množství srážkových vod je dalším důležitým podkladem pro správný návrh kořenové čistírny odpadních vod, obzvláště pokud přitékají na čistírnu jednotnou stokovou sítí (Šálek, Tlapák, 2006).

Přítok srážkových vod  $Q$  se stanoví přibližně z obecného vztahu:

$$Q = \psi * S_s * q_s [10^{-3} m^3 * s^{-1}]$$

Kde:

$\Psi$  je součinitel odtoku, (Tab. 4)

$S_s$  plocha povodí [ha]

$Q_s$  intenzita směrodatného deště uvažované periodicky  $p$  [ $l * s^{-1}$  z 1ha], pro obce do 5000 obyvatel s jednotkou stokovou sítí  $p=1$

Tab. 4. Součinitele odtoku  $\psi$  podle ČSN 75 6101 (orientační údaje) (Šálek, Tlapák, 2006).

Způsob zástavby a druh pozemku		Součinitel odtoku $\psi$ při konfiguraci území [-]		
		Rovinné (do 1%)	Svažité (1 až 5%)	Prudce svažité (nad 5%)
Bytové domy	v uzavřených blocích <sup>1/</sup>	0,7	0,8	0,9
	v uzavřených blocích <sup>2/</sup>	0,6	0,7	0,8
	v otevřených blocích	0,5	0,6	0,7
	při volné zástavbě	0,4	0,5	0,6
Rodinné domy	sdužené v zahradách	0,3	0,4	0,5
	izolované v zahradách	0,2	0,3	0,4

Výrobní objekty	starší (hustší zástavba)	0,5	0,6	-
	nový (volnější zástavba)	0,4	0,5	-
Železniční pozemky		0,25	-	-
Hřbitovy, sady, hřiště		0,10	0,15	0,20
Zelené pásy, pole, louky		0,05	0,10	0,15
Lesy		0,00	0,05	0,10

<sup>1/</sup> vydlážděné nebo zastavěné dvory, <sup>2/</sup> uvnitř bloku zahrady

Údaje o dešťových srážkách se získají vyhodnocením ombrometrických a ombrografických (srážkoměrech) pozorování z nejbližších srážkoměrů stanic, vybavených ombrografy. Tyto příslušné údaje lze získat u Českého hydrometeorologického ústavu (Šálek, Tlapák, 2006).

## 5.4. Předčištění

Před vlastní kořenovou čistírnou je vždy nutné zařadit mechanické předčištění, které je pro tento typ čištění velmi důležité. V případě nedokonalého předčištění se dostatečně neodstraní nerozpuštěná látka, které mohou následně ucpat vlastní filtrační lože. Pro domovní čistírnu postačuje jednoduchý septik nebo usazovací nádrž. Je však možné využívat i různé intenzifikované septiky (např. typ SL) nebo domovní anaerobní filtr. Pro malé obce je nejvhodnější kombinace česlí a šterbinové nádrže, v případě jednotné kanalizace (splašky společně s dešťovými splachy) je nutné oddělit dešťové přívaly a zařadit lapák písku, případně i šterku (Vymazal, 2000).

Dělení podle Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (2007) a Vymazala (2004):

Pro kořenové čistírny pod 50EO (převážně domovní KČOV)

- převládá tříkomorový septik, jež musí být nadimenzovaný:  $1,5\text{m}^2/\text{EO}$ , ale nesmí být menší než  $6\text{m}^3$ . Jak uvádí Heinrich (2004)
- jednoduché septiky nebo usazovací nádrže
- domovní anaerobní filtr
- vícekomorové usazovací jímky

Pro kořenové čistírny >50 – 1000EO (většinou malé obce)

- doporučuje se použití usazovacích nádrží (s rozlohou hladiny –  $1,5\text{m}^2/\text{EO}$ ) a kombinace česlí a šterbinové nádrže. V tomto případě je nezbytné zajistit pravidelné odčerpávání kalu ze šterbinové nádrže a shrabování česlí
- v případě jednotné kanalizace (splašky společně s dešťovými splachy) je nutné oddělit dešťové přívaly a zařadit lapáky písku, případně štěrku
- vícekomorové usazovací jímky s tlící jímkou

## 5.5. Filtrační lože

Filtrační lože je většinou 60–80cm hluboké a substrát musí být dostatečně propustný, aby nedocházelo k ucpání. Kořenové čistírny, které se stavěly v 70. a 80. letech 20. století většinou využívaly těžké, jílovité zeminy, které měly vysoký filtrační čistící účinek, ale docházelo velmi rychle k ucpání a k povrchovému odtoku (Kickuth, 1977, 1981).

Tato skutečnost nesnižovala příliš výsledný čistící efekt, ale docházelo k hygienickým problémům (např. zápach), a také k problematickému způsobu provozování v zimních měsících. Na základě doporučení britských výzkumníků se od druhé poloviny 80. let 20. století používají porézní materiály, především praný štěrk a drcené kamenivo (Cooper et al., 1996).

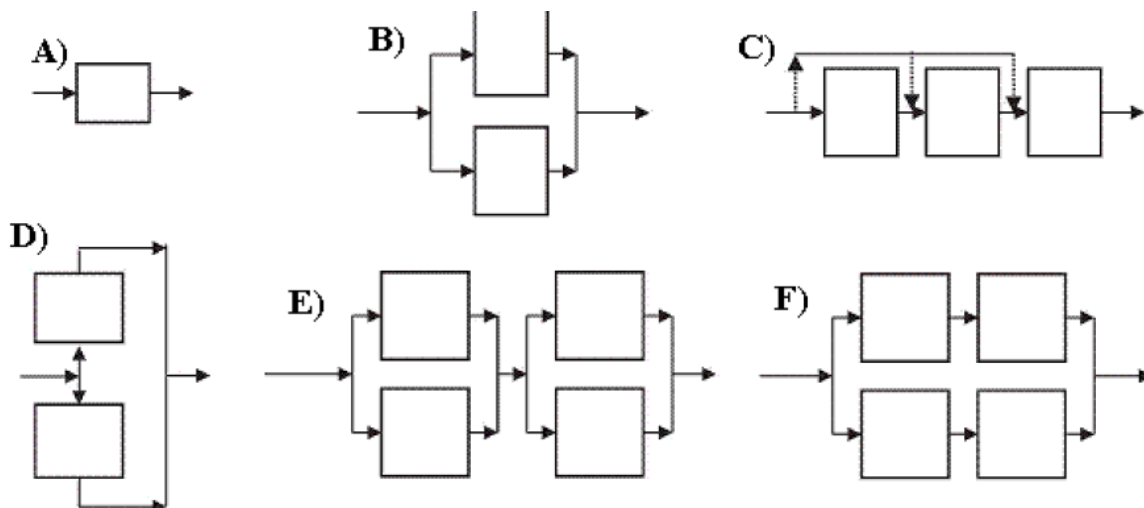
V současné době se nejvíce používají filtrační materiály o zrnitosti 4–20mm (Vymazal a Kröpfelová, 2008).

Je vhodné používat pouze jednu frakci, neboť při použití více frakcí a poté se mohou vytvářet zkratové produkty ve filtračním loži. Navíc je bezpodmínečně nutné použít

materiály zbavené prachu, případně zeminy. V případě štěrku je vhodné vždy použít praný štěrk. Rozvodné a sběrné zóny jsou vyplněny hrubým kamenivem (50–200mm), aby se odpadní voda dobře rozvedla po celém profilu nátokové hrany (Vymazal, 2008).

Filtrační lože je odděleno od podloží nepropustnou vrstvou, nejčastěji plastovou fólií (PVC, PE), aby nedocházelo k nekontrolovaným průsakům do podloží a následnému znehodnocování podzemních vod. Plastovou fólii je nutné ochránit před poškozením, např. podložit a překrýt geotextilií, aby nedošlo k protržení fólie při navážení filtračního materiálu. Pokud je podloží tvořeno málo propustným materiálem (jíly a hydraulickou vodivostí  $<10^{-8}$  m/s), není nutné používat další izolace (Vymazal, 2000).

Z počátku se nejvíce používalo pouze jedno velké pole. Tímto postupem vznikaly problémy s údržbou systémů a obzvláště s vegetací. Obtíže se také objevovaly při rovnoměrné distribuci odpadních vod. V současnosti jsou velké čistírny rozděleny do několika menších polí, s cílem poskytovat lepší přístup pro údržbu a lepší distribuci odpadních vod. Na druhou stranu, tento přístup vyžaduje větší zábor půdy. Obr. 10. nám poslouží jako příklad pro různé způsoby zapojení více filtračních polí. Poměr (délka:šířka), zaznamenal v průběhu značné změny. Zatímco počáteční systémy používaly dlouhé a úzké lože s poměrem stran (délky šířky)  $>1$ , tak v současnosti se používá obvykle poměr 1:1 (Vymazal, 2008b).



Obr..10.Základní konfigurace kořenových polí: A – jedna plocha, B, D – paralelní plochy, C – plochy zapojené v sérii, E – paralelní plochy zapojené v sérii, F – paralelně zapojené série ploch (Vymazal, 2008b).

## 5.6. Dimenzování filtračních polí

Kořenové čistírny jsou téměř vždy dimenzovány tak, aby bylo zajištěno dostatečné odstranění organických a nerozpuštěných látek. Plocha kořenových polí je navrhována podle rovnice, která vychází z reakce prvního řádu pro pístový tok při odstraňování BSK<sub>5</sub> (Vymazal, 2008a):

$$A_h = Q_d (\ln C_o - \ln C_t) / K_{BSK_5}$$

Kde:

$A_h$  plocha filtračních polí (m<sup>2</sup>)

$Q_d$  průměrný průtok odpadní vody (m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>)

$C_o$  koncentrace BSK<sub>5</sub> na přítoku na filtrační pole (mg.l<sup>-1</sup>)

$C_t$  požadovaná koncentrace BSK<sub>5</sub> na odtoku (mg.l<sup>-1</sup>)

$K_{BSK_5}$  rychlostní konstanta (m.d<sup>-1</sup>)



Tato rovnice byla navržena Kickuthem v polovině 70. let 20. století a je s úspěchem používána dodnes (Kickuth, 1978, 1981). Změnila se pouze hodnota konstanty  $K_{BSK}$ . Hodnota  $0,19 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$ , kterou původně navrhl Kickuth v Německu a jejímž výsledkem byla příliš malá plocha, byla na základě výsledků z více než jednoho sta provozních kořenových čistíren ve Velké Británii a Dánsku změněna koncem 80. let na  $0,1 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$  (Cooper, 1990), i když výsledky z KČOV po celém světě později ukázaly, že hodnota  $0,1 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$  je pravděpodobně dostatečná pro dimenzování filtračních polí čistíren, které jsou určeny pro odstraňování organických a nerozpuštěných látek (Kadlec a Knight, 1996, Vymazal et al., 1998), v současné době se používá spíše hodnota  $0,075 - 0,085 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$  pro zajištění kvalitní účinnosti čištění. Pro městské a domovní splašky vychází s použitím této rovnice plocha filtračních polí cca  $5 \text{ m}^2$  na jednoho připojeného obyvatele. Vzhledem k faktu, že v současné době je produkce znečištění na malých vesnicích menší než v minulosti, vychází plocha vegetačních polí přibližně  $8 - 10 \text{ m}^2$  na jednoho ekvivalentního obyvatele (tj.  $60 \text{ g BSK}_5$  na osobu a den). V některých zemích, jako např. ve Velké Británii, se rovnice (1) pro výpočet plochy polí nepoužívá a plocha polí je přímo dimenzována na  $5 \text{ m}^2$  na připojeného obyvatele (Cooper et al., 1996).

Zpočátku bylo vždy využíváno jen jedno filtrační pole bez omezení velikosti, což vedlo často ke špatné hydraulice systému a zkratovým proudům. Tento nedostatek byl eliminován rozdělením celkové plochy na několik menších polí, což však na druhou stranu vede ke zvětšení celkové plochy čistírny. Jako pomocná návrhová kritéria se používají dva faktory: délka nátokové hrany  $0,20 - 0,40 \text{ m}$  na jednoho připojeného obyvatele a maximální délka kořenového pole cca 30metrů. Výsledkem je, že filtrační pole mají často poměr délka:šířka menší než 1. Široká nátoková hrana zabraňuje lokálnímu přetížení a případnému ucpávání lože, krátké pole minimalizuje výskyt zkratových proudů (Vymazal, 2008).

## 5.7. Proudění ve filtračním prostředí

Výpočet proudění odpadní vody v porézním filtračním prostředí vychází ze základních parametrů jako je plocha a hloubka filtračního pole, hydraulická vodivost filtračního materiálu a jeho změny. Hloubka filtračního pole se navrhuje od  $0,7$  do  $1,1 \text{ m}$ , dno je od  $0,5$  do  $1\%$  spádu k výpusti a povrch je vodorovný. U kořenových čistíren s

horizontálním povrchovým prouděním na navrhuje povrchový sklon 0,4 až 1,0% (Šálek, Tlapák, 2006).

Pro stacionární režim proudění v kořenové čistírně platí vztah (Šálek, Tlapák, 2006):

$$q = K_f * (H^2 - h^2)/2 * L \text{ [m}^2 * \text{s}^{-1}\text{]}$$

Kde:

- L délka filtračního pole [m]
- K<sub>f</sub> hydraulická vodivost [m \* s<sup>-1</sup>]
- H hloubka vody na vstupu do VKČ [m]
- h hloubka vody na výstupu z VKČ [m]

Doba zdržení T ve filtračním poli se stanoví ze vztahu:

$$T = S * n * h_s/Q \text{ [d]}$$

Kde:

- Q přítok na filtrační pole [m<sup>3</sup> \* d<sup>-1</sup>]
- S půdorysná plocha [m<sup>2</sup>]
- n pórovitost materiálu [-]
- h<sub>s</sub> střední hloubka v půdním filtru [m]

Doba zdržení se stanoví v závislosti na složení odpadních vod, klimatických poměrech, uspořádání půdního filtru, čistícím procesu, kyslíkovém režimu, proudění v půdním filtru aj. (Šálek, Tlapák, 2006).

## 5.8. Regulace výšky vodní hladiny ve filtračním poli

Sběrné potrubí je uloženo na dně filtračního pole a je spojeno v odtokové šachtě s výpustným mechanismem, kterým se nastavuje výška vodního sloupce ve filtračním loži na principu spojených nádob. První KČOV využívaly železných otočných kolen, která však rychle podléhala korozi a manipulace s nimi se stala velmi obtížnou. Železná kolena byla postupně nahrazena plastovými, ale v poslední době se nejlépe osvědčují flexibilní hadice nebo plastové trubky zavěšené na řetízcích. Manipulace je velmi snadná a lze docílit velmi přesného nastavení výšky vodní hladiny. Při běžném provozu se hladina vody udržuje 5–10cm pod povrchem filtračního lože. V zimních měsících lze vodní hladinu snížit, ale provozní zkušenosti ukazují, že vegetace poskytuje dostatečnou izolaci před zamrzáním (Vymazal, 1994).

## 5.9. Vegetace

Mokřadní rostliny plní v kořenových čistírnách řadu důležitých funkcí, ale je nutné si uvědomit, že tyto funkce jsou především nepřímého charakteru (Vymazal a Kröpfelová, 2008).

V našich klimatických podmínkách se jeví jako nejdůležitější funkce zateplování povrchu filtračních polí v průběhu zimního období. Z tohoto důvodu se vegetace sklízí až na konci zimního období, když již nehrozí nebezpečí velkých mrazů. Další významnou funkcí rostlin je poskytování podkladu (kořeny, oddenky) pro přisedlé mikroorganismy, které se jinak nevyskytují ve volné půdě a přivádění kyslíku do kořenové zóny, která je většinou anoxická ne anaerobní (tj. bez kyslíku). Mokřadní rostliny jsou fyziologicky a morfologicky uzpůsobeny k transportu kyslíku z atmosféry do podzemních částí, aby tyto části rostlin mohly respirovat (dýchat). Část kyslíku, který není spotřebován na respiraci, difunduje do okolí kořenů a vytváří malé aerobní zóny (Vymazal et al., 1998a).

Pokud se rostliny sklízí, lze tímto postupem odstranit určité množství dusíku a fosforu, ale v případě městských splaškových vod je toto množství většinou velmi malé a nepřesahuje 5% pro fosfor a 10% pro dusík (Vymazal, 2004, 2005).

### **5.9.1. Charakteristika nejvíce používaných rostlin**

#### **Rákos obecný (*Phragmites australis*)**

Je vytrvalá tráva, která v našich klimatických podmínkách dosahuje až 4m výšky. Má schopnost mohutného růstu podzemní části (až do hloubky 1,5m) a tím dobře přenášet kyslík do substrátu. Rozmnožuje se vegetativně dlouhými výběžkatými oddenky až 5m. Toleruje salinitu až 4,5% a roste v širokém rozmezí pH 2-8. Nesnáší pravidelné kosení (Kočková et al., 1994).

#### **Chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*)**

Je univerzální tráva pro využití ve vegetačních čistírnách. Má mohutně vytvořený kořenový systém, který zasahuje do hloubky 0,2-0,3m. Na jaře rychle vytváří biomasu, která je do června vhodná jako píce pro dobytek, později má mnoho kyseliny křemičité. Lze ji kosit dvakrát až třikrát ročně a množí se oddenky nebo obilkami (Šálek et al., 2008).

#### **Orobinec úzkolistý a širokolistý (*Typha angustifolia*, *Typha latifolia*)**

Velmi odolné rostliny. Snadno se rozmnožují, jak oddenky, tak semeny. Oddenky se rozrůstají horizontálně v povrchových vrstvách substrátu, kde vytvářejí hustou spleť výhonků. Produkují ročně velké množství biomasy. Jsou vhodné zejména do odpadních vod s vysokým obsahem organických látek (Kočková et al., 1994).

#### **Zblochan vodní (*Glyceria maxima*)**

Nachází se jako význačná složka pobřežních rákosin. Dosahuje výšky 0,5-2,5m a v substrátu kotví dlouze plazivým oddenkem. Má dlouhé vegetační období a je-li příznivá zima, pak svou vegetaci téměř nepřerušuje. Po odumření a posečení se rozkládá rychleji než orobinec nebo rákos (Kočková et al., 1994).

#### **Kosatec žlutý (*Iris pseudacorus*)**

Vytrvalá, dekorativního vzhledu. Dorůstá výšky 0,5-1,5m, má mečovité listy široké až 3cm a žluté květy. Rozmnožuje se oddenky i semeny a kvete od května do července (Šálek et al., 2008).

### **5.9.2. Význam vegetace v procesu čištění**

V přírodních způsobech čištění znečištěných povrchových odpadních vod plní vegetace řadu důležitých a nezastupitelných funkcí, které je možné shrnout do těchto bodů:

- Rostliny využívají živiny a stopové prvky obsažené v čištěné vodě k tvorbě biomasy a takto se výrazně podílejí na snížení nebezpečí eutrofizace.
- Vegetace vytváří příznivé podmínky pro rozvoj mikroorganismů, nezbytných pro plnou funkci čistících procesů.
- Mokřadní rostliny dodávají do kořenové zóny chybějící kyslík a takto napomáhají k vyrovnání kyslíkové bilance.
- Transpirací převádějí značnou část vody do ovzduší, vytvářejí příznivé mikroklima v okolí přírodních způsobů čištění.
- Rostliny v zimním období vytvářejí svým opadem tepelnou izolaci filtračního lože a výrazně snižují hloubku promrzání, stařinu je třeba na jaře odstranit, aby nebyla zdrojem sekundárního znečištění.
- Většina využívaných rostlin, plní estetickou funkci v krajině a urbanizovaném prostředí Environmentální charakter přírodních způsobů čištění není myslitelný bez vegetace (Šálek, 2006).

### **5.10. Kolmatace**

Čistící proces v KČOV je ovlivněn mnoha faktory. Jednak složením odpadních vod, klimatickými podmínkami, biologickým oživením filtračního lože, konstrukčním uspořádáním a technologií provozu, ale především základními fyzikálními a hydraulickými vlastnostmi filtračního prostředí jako je rychlost filtrace, doba zdržení, struktura, textura a zrnitostní složení. Tyto vlastnosti mohou být výrazně ovlivněny zakolmováním filtračního prostředí, a tím rozhodnout o výsledném čistícím účinku a funkci filtru (Hyánková et al., 2005).

Kolmatace patří k velmi závažným provozním problémům KČOV. Jedná se o kolmataci porézního filtračního prostředí nerozpuštěnými látkami, především jemnými zemitými a organickými částicemi a vyplavovaným kalem. „Rozsah kolmatace závisí především na množství těchto látek v přitékající odpadní vodě, zrnitostním složení

porézního filtračního prostředí, jeho struktury a textury, vegetačním krytu a jeho kořenovém systému, době provozu zařízení apod. (Hyánková et al., 2005).

Určité množství kalu a organominerálních částic, které tvoří tenký film na povrchu částic filtru je nezbytné pro mikroorganismy, které zajišťují rozkladný proces. Ke komataci prostředí dochází buď nárazovým uvolněním kalů, nebo postupným pozvolným zakolmatováním. První případ nastane při přivalových deštích. Nevhodně řešené dešťové oddělovače propouštějí neúnosně vysoké průtoky odpadních vod na mechanický stupeň čištění, který je nezvládá. Druhý případ pozvolné (plíživé) kolmatace zapříčiňuje nevhodná konstrukce usazovací nádrže, nebo její chybné provozování. Nahromaděný kal v usazovací nádrži vyhnívá a dostává se tak do filtračního lože. Další příčinou může být i nevhodně zvolený materiál filtračního prostředí KČOV (Hyánková et al., 2005).

### **5.10.1. Důsledky kolmatace**

Kolmatace způsobuje velmi výrazné snížení hydraulické vodivosti filtračního materiálu. To může vést až k totálnímu ucpání pórů a následnému protékání po povrchu filtračního pole. U vertikálních filtrů může dokonce dojít ke kolapsu a vyřazení systému z funkce. Důsledkem pak jsou pachové a estetické závady, odumírání rodtlin, snížení vlastní účinné plochy filtračního pole, ale především negativní ovlivnění procesu filtrace a tím i snížení čistícího účinku KČOV (Hyánková et al., 2005).

## **5.11. Čistící procesy v KČOV a účinnost čištění**

### **5.11.1. Čistící procesy v KČOV**

Šálek et al., (2008) uvádí hlavní procesy podílející se na čištění odpadních vod v KČOV tyto:

- **Fyzikální** – sedimentace, filtrace v porézním filtračním prostředí, fyzikální adsorpce, difuze, evaporace (fyzikální výpar vody z povrchu rostlin a substrátů).
- **Chemické** – srážení, rozklad lehce odbouratelných látek, oxidace, redukce, chemisorpce (chemická vazba na povrch substrátu) aj.
- **Bakteriologické a biologické**

Bakteriologické procesy probíhají v biologicky aktivní bláně na povrchu kořenů rostlin a substrátu a hrají podstatnou roli v čistícím procesu. Na rozkladu a ostraňování látek se účastní mnoho skupin bakterií s různým enzymatickým vybavením: na přeměnách dusíkatých látek bakterie proteolytické, amonizační a nitrifikační, na rozkladu tuků lypolitické bakterie, na rozkladu cukrů a škrobů amylolytické bakterie a na rozkladu sloučenin fosforu fosfobakterie. Udává se, že v okolí kořenů mokřadních rostlin žije 10-100 bilionů mikroorganismů. Pro čistící proces je rozhodující celá výška filtračního prostředí.

Biologické procesy spočívají v odčerpávání živin, oxidu uhličitého a znečišťujících látek organického i anorganického původu rostlinami při jejich metabolismu, jako je přijímání vody, fotosyntéza a dýchání a také v transpiraci, což je fyziologický výdej vody přijaté ze substrátu vegetací (Vymazal, 2008a).

### 5.11.2. Účinnost čištění

Kořenové čistírny jsou navrhovány a dimenzovány především pro odstraňování organických a nerozpuštěných látek, tj. parametrů, které jsou limitovány pro malé zdroje znečištění (Vymazal, 2004). Přehled účinnosti KČOV v ČR uvádí tab. 5.

Tab. 5. Účinnost KČOV v ČR (Vymazal, 2004).

Parametr	Přítok (mg/l)	Odtok (mg/l)	Účinnost (%)	n	N
BSK <sub>5</sub>	150	14,4	85,8	184	65
CHSK <sub>cr</sub>	333	53	76,1	109	40
Nerozpuštěné látky	165	11,9	84,8	125	44
Celkový N	56	27,6	47	37	16
Celkový P	6,8	3,3	41,4	68	26

Poznámka: n=počet ročních průměrů, N=počet KČOV

### Organické látky

Organické látky jsou stanovené jako BSK<sub>5</sub> (biochemická spotřeba kyslíku, tj. množství kyslíku, které bakterie spotřebují za standardních podmínek na oxidaci organických látek za 5 dní, nepřímé stanovení organických látek ve vodě) (Vymazal, 2008a) nebo CHSK<sub>Cr</sub> (chemická spotřeba kyslíku dichromanem). Jsou odstraňovány velmi

efektivně, a to mikrobiální rozklad organických látek. Tento proces probíhá ve filtračním loži jednak aerobně, ale převážně anaerobně, což je bez přítomnosti rozpuštěného kyslíku. Prvomyšlenka, že kyslík difundující z kořenů a oddeků mokřadních rostlin provzdušní celé filtrační lože, se ukázala jako nesprávná a prokázalo se, že rozpuštěný kyslík se nachází pouze v těsné blízkosti podzemních orgánů rostlin. Většina filtračního lože tak zůstává anoxická nebo anaerobní (Vymazal, 2004).

Zkušenosti ukazují, že KČOV jsou schopny velmi dobře ostraňovat organické látky ze splaškových vod z oddílné i jednotné kanalizace. Hlavními faktory, které činí KČOV vhodnou alternativou pro malé obce s jednotnou kanalizací je možnost využití pro odpadní vody s velmi nízkou vstupní koncentrací BSK<sub>5</sub> a jejich schopnost vyrovnat se s kolísáním kvality přítoku (Vymazal, 2009).

### **Nerozpuštěné látky**

Nerozpuštěné látky jsou v kořenových čistírnách odstraňovány velmi efektivně především fyzikálními procesy sedimentace a filtrace (Vymazal, 2009).

Většina nerozpuštěných látek je zadržována v prvních metrech filtračních polí, což může vést, především při nedokonalém předčištění k ucpávání lože a následnému povrchovému odtoku. Tento jev má většinou vliv na celkový čistící účinek, mohou (avšak nemusí) se objevit hygienické problémy (zápach, komáři). Provozní zkušenosti ukazují, že pokud k ucpání lože dochází, jde většinou o velmi úzký pruh a jeho výměna je velmi jednoduchá a časově i finančně nenáročná (Vymazal, 2004).

### **Fosfor**

Fosfor je nedílnou součástí procesu energetického metabolismu v buňkách, te také klíčovou součástí buněčné membrány. Je to základní živina pro rostliny a mikroorganismy. Nachází se ve statkových hnojivech, trávníkových hnojivech, čistících a pracích prostředcích pro domácnosti a v lidských a zvířecích exkrementech. Chemické formy fosforu nacházející se ve vodném roztoku jsou fosforečnany, polyfosfáty a organické fosfáty (fosfolipidy a nukleotidy). Fosforečnany se mohou vyskytovat ve formě kyseliny fosforečné (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), dihydrogenfosforečnanu (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>), hydrogenfosforečnanu (HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) a fosforečnanových iontů (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). Koncentraci fosforečnanů v odpadních vodách určuje



celkové množství všech forem fosforečnanů. Podle koncentrace jsou všechny měřené veličiny vykazovány jako fosfor a ne jako fosfáty (Brown et al., 2005).

Fosfor je v kořenových čistírnách především odstraňován adsorpcí a srážením ve filtračním loži, případně absorpcí rostlinami (Vymazal, 2004) s následným sečením biomasy. Sečením se eliminuje většinou 1-3% fosforu z přítoku (Vymazal, 2009).

Materiály, které jsou běžně využívány pro filtraci v kořenových čistírnách (kačírek, drcené kamenivo, štěrk), však mají velmi malou sorpční kapacitu, a proto je odstraňování fosforu v KČOV poměrně nízké a pro splaškové vody většinou nepřesahuje 50% (Vymazal, 2004). V posledních letech se začíná v zahraničí používat materiály, které mají větší sorpční schopnost (např.: různé druhy strusky, apatit, zeolity, kalcit, termicky expandované jíly (Bellier et al., 2006), přičemž termicky expandované jíly dosahují při odstraňování fosforu až 95% účinnosti (Jensen a Krogstad, 2003).

Sorpční kapacita tohoto materiálu je však limitována a po čase je nutné celou náplň vyměnit. Navíc cena těchto filtračních materiálů je výrazně vyšší než u běžně používaných filtračních materiálů (Vymazal, 2004). V České republice však příslušné nařízení vlády limituje koncentrace fosforu na odtoku z čistíren větších než 2 000EO, a proto odstraňování fosforu z malých zdrojů znečištění není zatím primárním cílem čištění (Vymazal, 2009).

Nadměrné hromadění živin vypouštěných do povrchových vod může představovat vážné problémy, které mají vliv na život ve vodě, ale následně i na život lidí a zvířat. Je zde několik hlavních efektů spojených s vypouštěním vod obsahujících velké množství živin do recipientu. Patří mezi ně eutrofizace, amoniakální toxicita a kontaminace podzemních vod dusičnany (Brown et al., 2005).

## **Dusík**

Dusík je přirozeně se vyskytující prvek, který je nezbytný pro růst a reprodukci živých organismů. Je klíčovou součástí bílkovin a nukleových kyselin a bez nich nemůže existovat žádný život. Dusík je nejhojněji zastoupen v atmosféře ve formě plynného dusíku  $N_2$  a zaujímá celých 79% objemu vzduchu. Toto velké množství dusíku v atmosféře, ale není snadno dostupné pro většinu organismů. Určité skupiny organismů se přizpůsobily a zpřístupňují jej jiným organismům. Tento proces se nazývá fixace dusíku. Další zdroje dusíku jsou rostlinného, živočišného a antropogenního původu (rozkládající se rostlinný

materiál, exkrementy zvířat a lidí), průmyslového a zemědělského původu a zmíněného atmosférického původu (Vymazal, 2005).

Kořenové čistírny nejsou příliš efektivní při odstraňování dusíku. Hlavním důvodem je fakt, že ve filtračním loži převládají anoxické/anaerobní podmínky, tudíž je oxidace amoniaku (nitrifikace) v KČOV velmi limitována, přičemž je amoniak hlavní formou dusíku ve splaškových vodách (Pitter, 1999).

Navíc organicky vázaný dusík je efektivně přeměňován na amoniak (tzv. amonifikací) za aerobních i anaerobních podmínek, čímž se navyšuje koncentrace amoniaku v systému. Nitrifikace amoniaku je limitována na nejtěsnější okolí kořenů, ze kterých difunduje kyslík a vzniklé dusičnany jsou efektivně přeměňovány v anaerobních a anoxických částech filtračního lože na plynné formy dusíku (denitrifikace), které unikají do atmosféry. V případě potřeby eliminace amoniaku oxidovaného na dusičnany, a tudíž dostupného pro denitrifikační bakterie, lze KČOV kombinovat s předešlými umělými mokřady s vertikálním průtokem (zde dochází k dobré oxygenaci filtru a následně k velmi efektivní oxidaci amoniaku), tím dochází k vysokému stupni odstranění dusičnanů vzniklých ve vertikálním filtru oxidací amoniaku (Vymazal, 2005).

Mezi nejčastější formy dusíku v odpadních vodách patří amoniak ( $\text{NH}_3$ ), amonné ionty ( $\text{NH}_4^+$ ), molekulární dusík ( $\text{N}_2$ ), dusitany ( $\text{NO}_2^-$ ), dusičnany ( $\text{NO}_3^-$ ) a organický dusík. Městské odpadní vody v první řadě obsahují amoniak (60%) a organický dusík (40%). Organický dusík se skládá z komplexní směsi amino sloučenin, včetně aminokyselin a proteinů (Brown et al., 2005).

### **Bakteriální znečištění**

V kořenových čistírnách dochází k vysoké eliminaci mikrobiálního znečištění včetně patogenních a potencionálně patogenních bakterií kombinací fyzikálních, chemických a biologických procesů. Je složité určit podíl jednotlivých procesů, ale předpokládá se, že nejvíce se uplatňuje přirozený úhyn (vzhledem k době zdržení několika dnů), oxidace (enterické bakterie jsou většinou striktně anaerobní), působení antibakteriálních látek vylučovaných z kořenů mokřadních rostlin, predace a sedimentace (Vymazal, 2009).

Ve většině kořenových čistíren je odstraňování koliformních a termotolerantních koliformních bakterií >99% úří čištění domovních a městských splaškových vod, redukce

fekálních streptokoků (enterokoků) je většinou >95%. Výsledky z našich I zahraničních KČOV ukazují, že eliminace mikrobiálního znečištění je minimálně srovnatelná s účinností klasických čistíren (Ottová et al., 1997).

### **Těžké kovy**

Eliminace těžkých kovů, jejich kumulace v rostlinách a sedimentech filtračních polí nepředstavují výrazný problém v odpadních vodách z malých sídel a z tohoto důvodu není k dispozici větší množství dat. Z dat které máme ze zahraničí a České republiky vyplývá, že eliminace těžkých kovů je vysoká a v průměru dosahuje 80%, ale kolísá mezi jednotlivými kovy (Kröpfelová et al., 2008).

Rozbory nadzemní biomasy prokázaly, že kumulace v nadzemních orgánech rostlin je minimální. Většina zadržených stopových prvků je uložena v sedimentech (cca 90%). Dále bylo prokázáno, že koncentrace stopových prvků jsou většinou o dva řády nižší ve srovnání s limity pro lehké i ostatní půdy, a to i po 15 letech provozu (Švehla et al., 2008).

Mezi faktory, které nejvíce ovlivňují zadržování těžkých kovů v KČOV, patří především přítomnost rozpuštěného kyslíku ve filtračním loži, koncentrace organických látek, dusičnanů, železa a manganu v odpadní vodě. Důležitou roli hraje přítomnost železa, v aerobních podmínkách je železo oxidováno za vzniku sraženin oxihydroxidů železa. V této sraženině dochází k souběžnému srážení i dalších kovů. Oproti tomu anaerobní podmínky železo redukují, tím se stává více rozpustným a může reagovat se sirovodíkem. Vzniklé sirníky se ukládají ve filtračním loži. Tento proces ovlivňuje i další kovy, které se uvolňují do vody (Vymazal, 2004, 2009).

## **5.12. Provoz a údržba**

Velkou výhodou je fakt, že KČOV fungují bez elektrické energie a také neobsahují žádné mechanické součásti, které by se mohly opotřebovat. Tyto výhody často svádí k myšlence, že jsou KČOV v podstatě bezobslužné, což není v žádném případě pravda (Vymazal, 2004).

Jak uvádí Vymazal (2008a), tak KČOV vyžadují minimální, ale za to pravidelnou údržbu. Údržba je především zaměřena na mechanické předčištění (čištění česlí, kontrola a případné vyklízení lapáku písku a štěrku) a kontroly nastavení výšky vodní hladiny ve filtračním poli. Dále je nutné kontrolovat množství kalu v septiku nebo štěrbinové nádrži a

popřípadě tyto nahromaděné kaly vylévat. Špatná údržba nebo nedostatečně účinné předčištění, má téměř vždy za následek únik většího množství nerozpuštěných látek do vlastní KČOV, což obvykle vede ke kolmataci (zacpání) filtračního lože a následnému povrchovému odtoku. V žádném případě se nejedná o havárii či kolaps čistírny. Povrchový odtok se objevuje jen na krátkém úseku a nemá prakticky žádný vliv na účinnost čištění, poněvadž jsou běžně navrhovány systémy vegetačního čištění s volnou hladinou. Tyto čistírny mají srovnatelnou schopnost čistit odpadní vody. Poměrně nejasně se jeví otázka údržby vegetace, a především pak nutnost sklizení nadzemní biomasy.

V mnoha zemích se vegetace vůbec nesklízí. V České republice se k problematice přistupuje různými způsoby, přičemž je kosení nejběžnější. Kosení vegetace se provádí na konci zimního období, vzhledem k tomu, že zateplování povrchu filtračních polí je jednou z nejdůležitějších funkcí rostlin v našich klimatických podmínkách. Na některých KČOV je nadzemní biomasa kosena na podzim, a je ponechávána na povrchu filtračních polí až do jara následujícího roku, kdy je pak odstraňována. V některých případech se přistupuje k dosti pochybné metodě pálení biomasy „na stojato“ přímo ve filtračních polích. Na některých KČOV se nadzemní biomasa prakticky nesklízí. Pokusy se sklizením biomasy ukázaly, že množství živin, které lze odstranit sekáním nadzemní biomasy, je v porovnání s množstvím přiváděných živin prakticky zanedbatelné a většinou se pohybuje mezi 2-6% (Vymazal a Kröpfelová, 2008a).

Sklizení biomasy jako způsob odstraňování živin, však může hrát výraznější roli i silně naředěných vod s nízkou koncentrací živin na vstupu (Vymazal, 2009).

## **5.13. Investiční a provozní náklady**

### **Investiční náklady**

Při prvních (před 19. lety) výstavbách KČOV u nás se pohybovaly investiční náklady přibližně 2-5x níže než pro klasické čistírny. V současné době se investiční náklady přibližně ustálily na stejné úrovni, jako klasické čistírny. V číslech je to 4 000-25 000 Kč/EO. Tento velký rozptyl je zapříčiněn převážně vhodným výběrem lokality pro výstavbu (Vymazal, 2004), a také markantní rozdíl v ceně tvoří velikost. Přičemž zde platí pravidlo „Větší je levnější“ v přepočtu na jeden EO (Kočková et al., 1994).

Například v KČOV Spálené Poříčí, činily investiční náklady 6 875 Kč/EO (Pelikán, 2003).

### **Provozní náklady**

I když během let vzrostly investiční náklady a KČOV ztratily svojí ekonomickou výhodu při budování nové čistírny, tak z dlouhodobého hlediska jsou stále ekonomicky výhodnější variantou. Jejich ekonomické výhody se skrývají v provozních nákladech, které u KČOV dosahují pouze 15-30% provozních nákladů klasických ČOV (Kočková et al., 1994).

## **5.14. Výhody a nevýhody použití KČOV ve srovnání s ČOV**

Přírodní způsoby čištění odpadních vod mají své přednosti, ale i některé nedostatky, které vymezují oblast jejich využití. K hlavním přednostem využití patří:

- Poměrně jednoduché stavební provedení a malé nároky na vybavení, energii a srovnatelné stavební náklady v porovnání s umělou mechanicko-biologickou čistírnou.
- Menší potřeba pravidelné obsluhy a nižší provozní náklady spojené s provozem přírodních způsobů čištění a významná úspora energií.
- Možnost nárazového přetížení a poměrně dobrý čistící účinek od počátku provozu i při přerušení provozu (rekreační objekty) bez vlivu na další funkci zařízení.
- Poutání části dusíku a fosforu vodními, mokřadními a kulturními rostlinami, vysoký čistící účinek při odstraňování bakteriálního znečištění, tenzidů (saponátů), těžkých kovů aj.
- Možnost čištění odpadních vod s nízkým obsahem organické hmoty.
- Přírodní (ekologický) charakter čistícího zařízení a možnost příznivého začlenění do životního a přírodního prostředí.
- U závlah odpadními vodami efektivní využití vodní a hnojivé hodnoty ke zvýšení výnosů zemědělských plodin a rychlerostoucích rostlin.
- Umělé mokřady jsou zdrojem biodiverzity pro rekolonizaci prostředí, zadržují vodu v krajině, ovlivňují mikroklima výparem z vodní hladiny a transpirací rostlin.

- Snadno se začleňují do komplexního řešení vodního a odpadového hospodářství rodinných domů, rekreačních objektů a drobných účelových staveb.
- Většinu zatížení je možné budovat svépomocí, mohou se používat jako druhý stupeň biologického čištění odpadních vod.

## **5.15. Nedostatky přírodních způsobů čištění odpadních vod**

Poměrně velká potřeba plochy na 1 ekvivalentního obyvatele (1 EO), vegetačních kořenových čistíren průměrně 5 m<sup>2</sup>, u biologických nádrží 10-15 m<sup>2</sup>:

- Nízký čistící účinek při odstraňování amoniaku u vegetačních kořenových čistíren.
- Určitá závislost čistícího účinku na klimatických podmínkách, teplotě a sluneční reakci.
- Delší doba zdržení, nezbytná k odstranění amoniakálního znečištění včetně dodatečné dotace kyslíku (u vegetačních kořenových čistíren a biologických nádrží).
- Pravidelně je také nutno kontrolovat stav rozvodného systému a v případě nutnosti rozvod čistit. Dále je nutno pravidelně kontrolovat nastavení výšky vodní hladiny, rozdělení nátoky odpadní vody na vlastní kořenové pole, případně na konci zimního období posekat vegetaci (Vymazal, 1995).

Pokud je údržba prováděna pravidelně, jsou náklady na ni minimální a údržba je časově nenáročná. Použití technologie kořenových čistíren v České republice je průběžně sledováno a získané výsledky byly pravidelně publikovány (Vymazal, 1993).

Nejvíce kořenových čistíren v České republice je navrženo jako domovních, tj. pro méně než 10 EO (asi 50 systémů) a pro malé vesnice s 100–500 EO (asi 80 systémů). Čistírny pro více než 500 EO nejsou příliš často navrhovány a pouze 2 čistírny byly navrženy pro čištění domovních a městských splaškových odpadních vod. Účinnost čištění KČOV je vysoká pro organické (BSK<sub>5</sub>, CHSK) a nepropustné látky (NL), tj. pro parametry, které jsou limitovány pro čistírny do 500 EO. Jak již bylo uvedeno v předcházejícím textu, účinnost při odstraňování celkového dusíku, amoniaku a fosforu většinou nepřesahuje 50% (Vymazal, 2008).

## 6. Provozní kořenové čistírny v ČR

První zmínka o kořenových čistírnách se objevuje v roce 1987 (Končalová, 1987). V následujícím roce byl uveden do provozu malý poloprovozní model na pražské ÚČOV, na který byla po dobu 1 roku přiváděna mechanicky předčištěná odpadní voda. Čistící efekt byl velmi dobrý, především pro organické a nerozpuštěné látky (Vymazal, 1990).

První plnoprovozní kořenová čistírna byla uvedena do provozu 1989 v Petrově u Jílového (Vymazal, 1990).

Původně byla navržena pro čištění dešťových splachů s hnojeného plata. Pro nedostatek srážek začaly být vyváženy na čistírnu žumpy a septiky z obce Jílové. Čistící efekt se prokázal vysoký. Na konci roku 1991 byly v provozu pouze 4 kořenové čistírny. Poté nastal velký rozvoj výstavby těchto čistíren a podle průzkumu, provedeném v roce 2003, bylo v České republice uvedeno od roku 1989 do provozu 155 KČOV, čímž se Česká republika řadila v Evropě mezi státy s největším počtem KČOV. Počet KČOV v roce 2004 již přesahuje 160 a v roce 2009 asi 250 KČOV (Vymazal, 2009). Hlavní překážkou výraznějšího rozvoje výstavby kořenových čistíren je v současné době obtížné financování výstavby, neboť malé obce nejsou schopny financovat výstavbu kanalizace a čistírny z vlastních prostředků a jsou odkázány na finanční dotace od státu.

Nejvíce KČOV v České republice je navrženo jako domovní čistírny s kapacitou do 10 osob (75 KČOV) a pro malé obce s kapacitou 100-500 obyvatel (75 KČOV). Největší KČOV byla navržena v Osové Bítýšce (pro 1000 osob), ve Spáleném Poříčí jsou v provozu dvě KČOV (se společným odtokem) pro celkem 1200 osob (Vymazal, 2009).

Povolování výstavby kořenových čistíren odpadních vod vodohospodářskými orgány bylo v minulosti dosti složité. Na seznam doporučených způsobů čištění odpadních vod byly zařazeny teprve v roce 1992, kdy byl seznam zrušen a obce získaly větší finanční nezávislost, bylo uvedeno do provozu v letech 1992 a 1993 celkem 22 KČOV. V roce 2007 byl přijat Metodick pokyn odboru ochrany vod MŽP z Nařízení vlády č. 229/2007 Sb., kterým se mění Nařízení vlády č. 61/2003Sb. Tato metodika by měla vodoprávním úřadům pomoci při požadování nejlepších dostupných technologií u komunálních zdrojů znečištění. U technologie ČOV do 500EO jsou vyjmenovány vhodné způsoby čištění odpadních vod. Za možné řešení jsou, ovšem na základě důkladné znalosti místních podmínek, považovány i netradiční technologie jako biologické dočišťovací nádrže,

kořenové (vegetační) čistírny či zemní filtry. Důraz je ovšem nutné klást na dokonalé mechanické předčištění odpadních vod před jejich přivedením do těchto zařízení (Köpfelová, 2011).

## **6.1. KČOV Spálené Poříčí**

Město Spálené Poříčí se nachází v Plzeňském kraji. Leží v okrese Plzeň-jih, cca 25km od Plzně (Danker, 2010).

### **Popis KČOV**

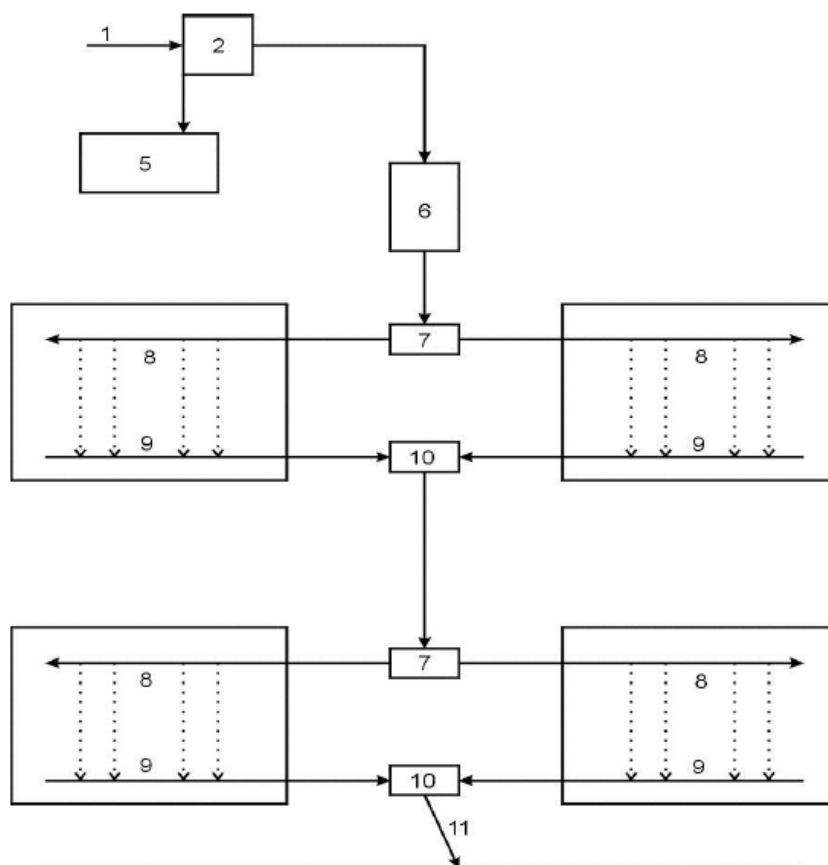
KČOV Spálené Poříčí je určena pro čištění splaškových odpadních vod vyprodukovaných obyvateli obce včetně dešťových vod. Čistírna se rozkládá na ploše 5 000m<sup>2</sup> a je navržena celkem pro 1 500EO. Recipientem je řeka Bradava. Čistírna je složena ze dvou částí, a to ze staré a nové části (Danker, 2010).

#### **Stará část**

Výstavba kořenové čistírny byla zahájena v březnu 1992 a čistírna byla uvedena do zkušebního provozu tentýž rok v listopadu. Čistírna byla původně projektována pro připojení 700EO a skládala se ze 4 polí o celkové ploše 2 500m<sup>2</sup>. Kanalizace ve městě byla jednotná. V provozu byly ponechány lokální septiky, za účelem snížení koncentrací organických a nerozpustných látek na přítoku (Pelikán, 1998).

Část údajů o provozu a zařízení kořenové čistírny mi byla poskytnuta panem Ing. Petrem Pelikánem. Předsedou Základní organizace Českého svazu ochránců přírody, Regionální centrum pro západočeskou oblast ve Spáleném Poříčí a část údajů je přejata z práce Otavy (2002). Původní znázornění KČOV obr. 11.





Obr. 11: Schématické uspořádání KČOV Spálené Poříčí, 1. etapa (700EO, 1992) (Otava, 2002). 1 – přítok odpadní vody, 2 – hrubé předčištění s odlehčením dešťové vody, 5 – poldr, 6 – štěrbinová nádrž, 7 – rozvodné šachty, 8 – rozvodná drenáž, 9 – sběrná drenáž, 10 – sběrné šachty, 11 – odtok, 12 – říčka Bradava

### Mechanické předčištění

K mechanickému předčištění odpaních vod dochází ručně stíranými česly, lapákem písku a štěrbinovou nádrží s plastovými žlaby. Na česlech dochází k hrubému předčištění nečistot, v lapáku a štěrbinové nádrži sedimentují drobné mechanické nečistoty. Nádrž je horizontální usazovací se třemi usazovacími žlaby a štěrbinami a je opatřena hladinovou regulací na odtoku (Pelikán, 1998).

## **Poldr**

Pro zachycení přívalových vod je vybudována suchá nádrž (poldr) o objemu 420m<sup>3</sup>, kde probíhá odlehčení vody z česlí. Poldr je porostlý přirozenou vegetací a voda se v něm nechává několik dní. Následně se vypouští do recipient (Nováková, 2011).

## **Rozvodné šachty, sběrné šachty**

Před vtokem vody do kořenových filtrů jsou umístěny šachty a na výtoku z filtrů jsou sběrné šachty. Jsou to monolitické, betonové objekty o rozměrech 1800x1500mm. Regulaci nátoků a výtoků je možno zařizovat pomocí řetízku a tím regulovat výšku hladiny vody. Potrubí mezi šachtami je navrženo z kameninového potrubí DN200. Propojovací potrubí do kořenových polí – nátokové a odtokové je z kameninového perforovaného potrubí DN150 (Pelikán, 1998).

## **Kořenové pole**

Kořenová pole, každé o rozměrech 25x25m, jsou osázena kolmo na směr protékající vody, rákosem obecným (*Phragmites australis*) a chřastící rákosovitou (*Phalaris arundinacea*). Náplň polí je tvořena pískem o filtraci 1-16mm. Na přítokové a odtokové straně pole je šterkový zához o frakci 80mm a není osázen rostlinami. Šířka záhozu byla zvolena 1500mm. Sklon dna je 1%. Obvod všech čtyř polí je tvořen chodníkem o šířce 500mm z polovegetačních tvárnic. Izolace proti průsaku do podloží je řešena hydroizolační folií PVC 803, chráněná z obou stran geotextilií NETEX. Folie je uložena na vrstvu z prachového material (Pelikán, 1998).

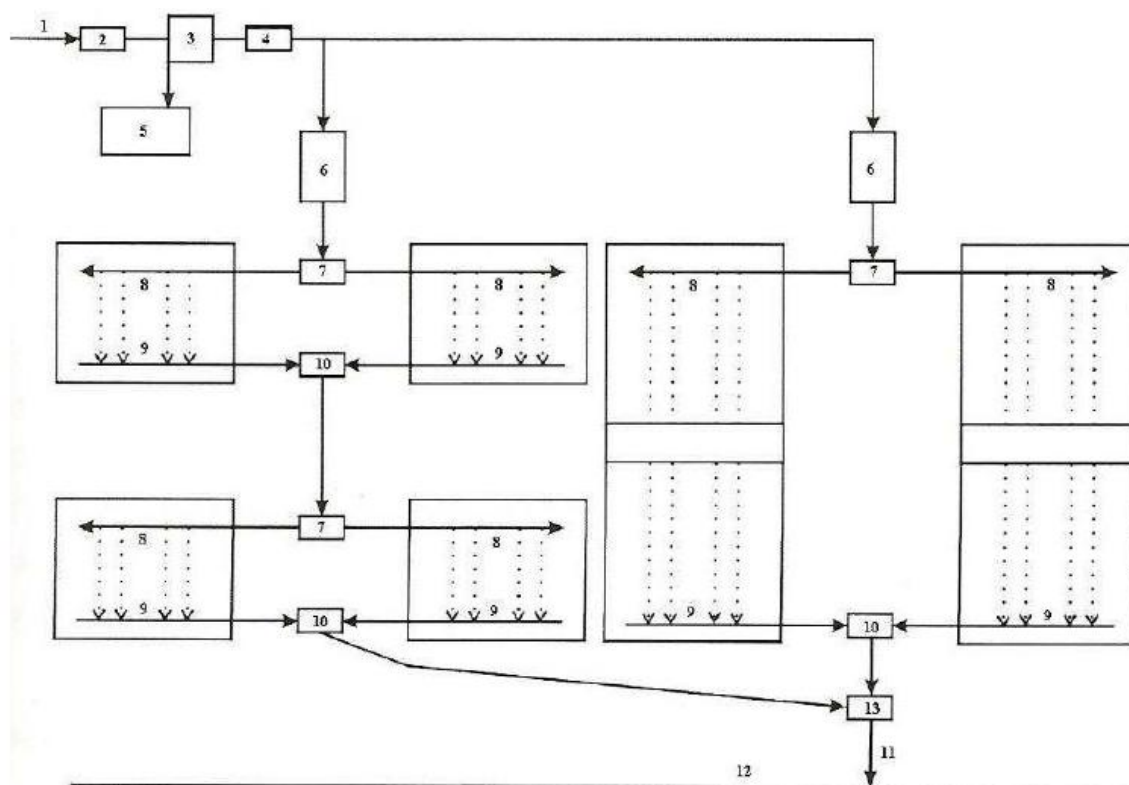
Čistírna je chráněna ochranným valem proti stoleté vodě a proti eroznímu smyvu, ochranný příkop. Podél příkopu jsou vysázeny topoly, což je ochrana proti silným větrům (Nováková, 2011).

## **Nová část**

V roce 2000 zastupitelstvo obce Spálené Poříčí rozhodlo o rozšíření stávající KČOV a v říjnu 2001 byla nová část uvedena do provozu.

Nová část, skládající se ze dvou polí o ploše 2500m<sup>2</sup> byla vybudována pro připojení dalších 800EO.

Nová část je ke staré části připojena za hrubým předčištěním. Odtok odpadní vody je spojen s odtokem ze staré části a odváděn do řeky Bradavy (Pelikán, 2003). V rámci nové části přibyly k KČOV další objekty (Obr. 12.).



Obr. 12. Schematické uspořádání KČOV Spálené Poříčí, 1. etapa (700EO, 1992)(Otava, 2002). 1 – přítok odpadní vody, 2- hrubé předčištění s odlehčením dešťové vody, 5 – poldr, 6 – šěrbinová ndrž, 7 – rozvodné šachty, 8 – rozvodná drenáž, 9 – sběrná drenáž, 11 – odtok, 12 – říčka Bradava

### Mechanické předčištění

Do předčištění bylo již zahrnuto i předčištění fosforu, které je umístěno v česlové šachtě a funguje tudíž i pro starou část. Skládá se ze 2. plastových nádrží pro míchání a dávkování síranu železnatého. Nová část má také vlastní šěrbinovou nádrž fungující na stejném principu, jako nádrž ze staré čistírny (Pelikán, 2003).

### **Rozvodné šachty, rozvodná drenáž**

Rozvod vody do a také z kořenových polí, funguje stejným způsobem, jako ve staré části (Nováková, 2011).

### **Kořenová pole**

V nově přistavěné části čistírny byla zvolena pouze 2 kořenová pole. Za filtrační materiál byl vybrán šterk, tentokrát se zrnitostí 8-16mm. Vegetace byla zvolena stejná, jako ve staré části KČOV, tedy rákos obecný (*Phragmites australis*) a chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*) (Pelikán, 2003).

### **Kontrolní šachta**

Do kontrolní šachty ústí voda ze sběrných šachet staré i nové části. Slouží pro odběr vzorků a měření průtoků (Danker, 2010).

## **6.2. KČOV Čistá**

Čistírna v Čisté byla uvedena do provozu v roce 1995. Byla vybudována 4 pole, vždy dvě zapojené za sebou. KČOV byla navržena na 800EO na ploše 3 040m<sup>2</sup>, z čehož vyplývá, že zábor půdy na 1EO činila 3,8m<sup>2</sup>. Jako výplně filtračních polí bylo použito kamenivo (filtrační materiál) o zrnitosti 8-12mm (Nováková, 2011).

Čistírna byla navržena pro čištění městských splaškových vod z jednotné kanalizace. Použitá vegetace je kombinací rákosu obecného (*Phragmites australis*) a chrastice rákosovité (*Phalaris arundinacea*) vysázené v pruzích kolmo na přítok (Nováková, 2011).

### **Lapač písku s ručně stíranými česly**

Lapač je betonový monolitický objekt, ve kterém dochází na česlech k hrubému předčištění a záchytu hrubých nečistot a ve vlastním lapači k sedimentaci drobných mechanických nečistot, jako písek. Lapač písku je opatřen odlehčovacím potrubím, které v době přívalových dešťů přepouští část vod do vodoteče. Lapač je kryt dřevěným krytem (Nováková, 2011).

### **Štěrbínová nádrž**

Štěrbínová nádrž je tvořena betonovou monolitickou jámkou s polypropylenovými žlaby, kde dochází k dalšímu mechanickému předčištění odpadních vod. Nádrž je opatřena regulací hladiny na odtoku a je zakryta dřevěným krytem. Pro možnost vybírání kalů je jámka odváděna kanalizačním potrubím k vlastním filtrům. Před vtokem do filtrů a výtoku z filtrů jsou betonové monolitické rozdělovací šachty (Nováková, 2011).

### **Rozdělovací šachta**

Rozdělovací šachta rozvádí vodu z a do kořenových filtrů. Byla navržena tak, aby umožnila regulaci hladiny ve vlastním kořenovém filtru. Šachta je také opatřena dřevěným krytem (Nováková, 2011).

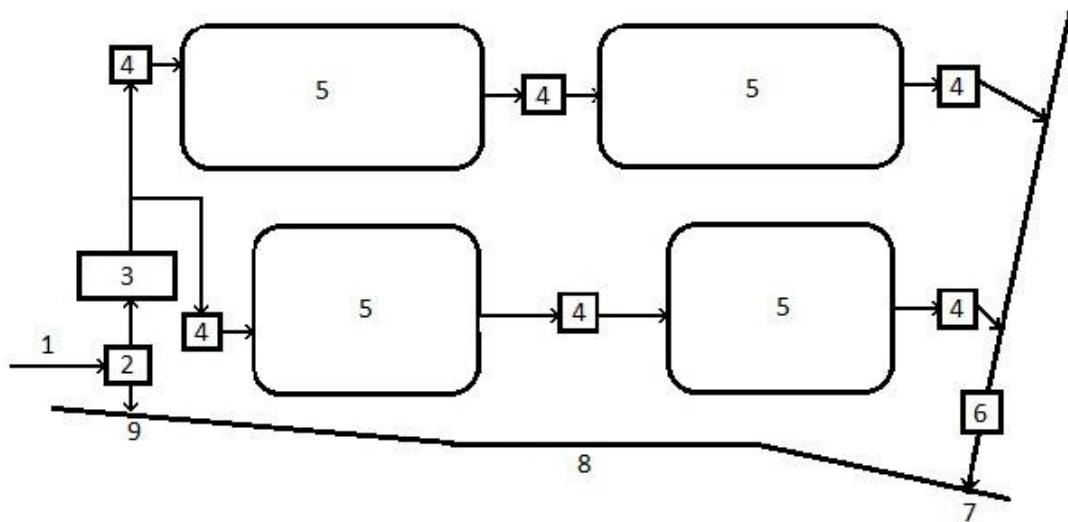
### **Kořenové filtry**

Kořenové pole jsou 4 o celkové ploše 3 038m<sup>2</sup>, jsou zapojená za sebou. Jsou to mělké nádrže vyplněné drobným kamenivem a osázené rostlinnou vegetací (Nováková, 2011).

Jako filtrační materiál byl použit kačírek o zrnitosti 8-12mm. Vegetace je kombinací rákosu obecného (*Phragmites australis*) a chřastice rákosovité (*Phalaris arundinacea*). Štěrková náplň filtrů je od podloží oddělena vodotěsnou izolací, která je oboustraně chráněna geotextílií proti protržení. Filtry jsou ohraničeny svahovými hrázemi. Hrany svahů jsou ohraničeny polyvegetačními tvárnicemi (Nováková, 2011).

### **Měrná šachta**

Měrná šachta se nachází na výtoku z čistírny a umožňuje odběr vzorků a měření průtoků (Nováková, 2011).



Obr. 13: Schematické uspořádání KČOV Čistá (autor). 1 – přítok odpadní vody, 2 – lapáč písku, česla, 3 – štěrbínová nádrž, 4 – rozdělovací šachty, 5 – kořenové filtry, 6 – měrná šachta, 7 – dno výtoku, 8 – čistecký průtok, 9 – odtok, odlehčení.

### 6.3. KČOV Ondřejov

Majitelem KČOV Ondřejov je Astronomický ústav Ondřejov. Správcem čistírny je pan Václav Kocourek. V roce 1990 bylo vydáno povolení k výstavbě kořenového filtru k původním štěrbínovým nádržím. Tehdy to bylo nejúspornější řešení problematiky čištění odpadních vod v obci Ondřejov (Krulišová, 2011).

Dne 1.8. 1991 byl povolen zkušební provoz kořenového pole, který trval do 30.5. 1993. V této době došlo k ucpaní vstupního šterkopískového pole, které bylo vyměněno za šterk hrubší zrnitosti. Po rekonstrukci zařízení došlo k jeho uvedení do trvalého provozu, a to 12.11. 1993.

#### Základní údaje o provozu

Na čistírnu je kanalizací přivedena splašková odpadní voda z areálu Astronomického ústavu České akademie věd a z části obce Ondřejov (cca 360EO).

Kanalizační soustava je jednotná. Vyčištěná odpadní voda odtéká z KČOV do terénní vodní vlasečnice, která je po cca 1500m zaústěna do potoka Vejborky (Krulišová, 2011).

### **Oddělovací šachta**

Vstupním objektem je oddělovací šachta, ve které je ukončen přívodní kanalizační řad DN 300mm. Odtok na štěrbínový lapák písku je potrubím DN 150mm.

Výška přepadu do odtoku je 150mm. Za přepadem navazuje na šachtu odtokové potrubí čistírny. Ručním stavátkem v objektu je možné úplné zastavení přítoku na ČOV a převedení vody do odtokové potrubní čistírny (Krulišová, 2011).

### **Štěrbínový lapák písku**

Objekt hrubého předčištění tvoří typový štěrbínový lapák písku – LPŠ 600. Jedná se o horizontální lapák s podélnou štěrbínou, kterou propadá zachycený písek do oddělené jámky. Plovoucí nečistoty jsou zachyceny na ručně stíraných česlích.

Regulace přítoku na tento lapač je zajištěna oddělovací šachtou (Krulišová, 2011).

### **Štěrbínové nádrže**

Mechanický stupeň předčištění se skládá ze dvou štěrbínových nádrží zapojených do systémů vedle sebe. Před nádržemi je rozdělovací šachta usměrňující proud vody do dvou směrů, z nichž každý vede do jedné nádrže (Krulišová, 2011).

### **Kořenová čistírna**

Vlastní těleso kořenové čistírny má plochu 800m<sup>2</sup> a je vyplněno vrstvami písku a drobného šterku frakce 8-15mm.

V červnu 1992 byla, po ucpání přívodního potrubí a šterkopísku na přítoku do filtru realizována rekonstrukce přítokové zóny. Na počátku kořenového filtru byla provedena v šířce 1m výměna náplně. Stávající vrstvy byly nahrazeny hrubším materiálem, šterkem, frakce 16/32mm. Dále bylo zřízeno nové rozvodné drenážní potrubí z perforovaných PVC trubek. Za rozvodným potrubím je umístěna norná stěna usměrňující přítok vody do filtračního lože. Těleso kořenové čistírny je odděleno od okolního zemního prostředí hydroizolační PE folií.

Před kořenovou čistírnou je umístěna vstupní šachta, do které přitéká voda ze štěrbínových nádrží. V této šachtě je možné manipulací stavítka převést vodu so odtoku a odstavit kořenovou čistírnu z provozu.

Vyčištěná voda na odtoku z KČOV je jímána drény zaústěnými do výstupní šachty, ve které je možné pomocí hradítek regulovat úroveň hladiny v kořenovém poli. Na dně této šachty je zabudováno stavítko, kterým je možné provést vypuštění KČOV (Krulišová, 2011).

### **Kanalizační propojení**

Jednotlivé objekty čistírny jsou ve směru toku gravitačně propojeny potrubím. Čistírna je opatřena odtokovým potrubím, do kterého jsou svedeny dešťové vody z oddělovací šachty. Dále do odtoku mohou být svedeny mechanicky předčištěné vody z šachty před kořenovou čistírnou.

Odpad z vyčištěné vody z areálu KČOV je vyústěn do terénní vodní vlásečnice, která po cca 1500m je zaústěna do potoka Vejboř (Krulišová, 2011).



## 7. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vypracovat rešerši zaměřenou na: popis základní charakteristiky mokřadů, charakterizovat rozdělení umělých mokřadů pro čištění odpadních vod. Schrnout základní návrhové parametry jednotlivých typů umělých mokřadů. A na konec uvést provozní kořenové čistírny v ČR.

Kořenové čistírny se v dnešní době stávají přirozenou součástí krajiny. Ovšem svou úlohu mohou plnit pouze tehdy, jsou-li pečlivě navrženy a začleněny do krajiny, aby mohly zvyšovat její estetickou funkci.

Hlavním principem čištění odpadní vody v KČOV je v možnosti regulování průtoku odpadní vody. Ta nejdříve prochází mechanickým předčištěním, poté umělým mokřadem. Ten je osázen rostlinami. Kořeny těchto rostlin, jež provzdušňují substrát vytvářejí podmínky pro rozvoj bakterií.

KČOV se během posledního desetiletí osvědčily, jako ekonomicky výhodné mechanicko-biologické čištění odpadních vod.

Mohu říci, že kořenové čistírny v obcích jsou velice prospěšné. Jak z hlediska nákladů a vyčištěná voda, která je vypouštěna do recipientu splňuje podmínky dané legislativou. KČOV představují zajímavou alternativu pro malé obce do 1000EO, pro čištění domovních odpadních vod, tak i rodinné domy.

Kořenová čistírna odpadních vod ve Spáleném Poříčí byla vybudována za účelem čištění splaškových a dešťových vod. Technologie čištění je založena na principu mechanického předčištění a následného vedení přes rozdělovací šachtu na samotná kořenová pole. Tam dochází k odstranění organických látek, nerozpustných látek, fosforu, dusíku a opět přes rozvodnu a kontrolní šachtu do recipientu.

KČOV Ondřejov patří k nejstarším KČOV v České republice. Začala vznikat v době, kdy poznatky o kořenových čistírnách byly v začátcích, proto její realizace byla brána spíše jako experiment s nejasným výsledkem.

## 8. Seznam použité literatury

**Brix, H., Arias, C. A., a Johansen, N. H., 2003:** *Experiments in a two-stage constructed wetland system: nitrification capacity and effects of recycling on nitrogen removal.* In: *Wetlands: Nutrients, Metals and Mass Cycling*, J. Vymazal, ed., Backhuys, Leiden, Nizozemí, pp. 237 – 258.

**Brown, J., Koch, C., Barnard, J., Benisch, M., Black, S., Bower, B., Boyle, W., Copithorn, R., Daigger, G., deBarbadillo, Ch., Dombrowski, P., Ekster, A., Erdal, U., Erdal, Z., Harrison, J., Husband, J., Jeyanayagam, S., Kiser, P., Kobylinski, E., Kunihiro, C., Larson, T., Massart, N., Pagilla, K., Rabinowitz, B., Radick, K., Shaw, A., Stinson, T., Wallis-Lage, C., Watson, R., 2005:** *Biological nutrient removal (BNR) operation in wastewater treatment plants.* McGraw-hill professional publishing, Blacklick (OH, USA), pp. 643, ISBN 9780071589215.

**Burka, U. A Lawrece, P., 1990:** *A new community approach to waste treatment with higher water plants.* In: *Constructed Wetlands in Water pollution Control*, P. F. Cooper and B. C. Findlater, eds., Pergamon Press, Oxford, U. K., pp. 359 – 371.

**Cooper, P. F., Job, G. D., Green, M. B. A Shutes, R. B. E., 1996:** *Reed Beds and Constructed Wetlands for Wasterwater Treatment.* WRc Publications, Medmenham, Marlow, Velká Británie.

**Cooper, P. F., ed., 1990:** *European Desing and Operation Buidelines for Reed Bed Treatment Systems.* Prepared for the European Community/European Water Pollution Control Association Emergent Hydrophyte Treatment Systém Expert Contact Group. WRc Report UI 17.

**Čížková, H., Pechar, L., Husák, Š., Bauer, V., Radochová, J., a Edwards, K., 2001:** *Chemical characteristics of soils and pore waters of free wetland sites dominated by *Phragmites australis*.* Relation to vegetation composition and reed performance, *Aquat. Bot.* 69, pp. 235 – 249.

**Danker, L., 2010:** *Kořenové čistírny v okolí Plzně*. ČZU Praha, 2010. Bakalářská práce. Fakulta životního prostředí, katedra ekologie.

**De Jong, J., 1976:** *The purification of wastewater with the aid of rush or reed ponds*. In: *Biological Control of Water Pollution*, J. Tourbier and R. W. Pierson, (eds.), Pennsylvania University Press, Philadelphia, pp. 133 – 139.

**Denny, P., 1980:** *Solute movement in submerged angiosperms*. *Biol. Rev.* 55: pp. 65 – 92.

**Duncan, M., 2004:** *Domestic wastewater treatment in developing countries*. Eartscan, London, pp. 310, ISBN 9781849771023.

**Dušek, O., 1997:** *Možnosti čištění odpadních vod z malých sídel a obcí*. NOEL 2000 s.r.o., Brno, pp. 25-37, ISBN 80-86020-16-9.

**Hammer, D. A., a Bastian, R. K., 1989:** *Wetland ecosystems: natural water purifiers?* In: D. A. Hammer, (ed.), *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*, Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, pp. 5 – 19.

**Heinrich A., 2004:** *Abwasserbehandlung in Pflanzenkläranlagen: 1.aufgabe*, Books of Demand GmbH. Norderstedt Germany, pp. 21.

**Hyánková, E., Hřebíčková, J., Slaběňáková, J., 2005:** *Přírodní způsoby čištění vod IV*. Vysoké učení technické v Brně, Brno, pp. 25 – 30, ISBN 80-214-3023-0.

**Jensen, P. D. a Krogstad, T., 2003:** *Design of constructed wetlands using phosphorus sorbit lightweight aggregate (LWA)*. In: *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Cold Climates*, Mander, Ü. A. Jenssen, P. D. (eds.), WIT Press, Southampton, pp. 260 – 271.

**Kadlec, R. H. a Knight, R. L., 1996:** *Treatment Wetlands*. CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.

**Kadlec, R. H., Wallace, S., 2009:** *Treatment wetlands*. 2nd edition. Boca Raton, Florida: CRC Press.

**Kickuth, R., 1977:** *Degradation and incorporation of nutrients from rural wastewaters by plant hydrosphere under limnic conditions*. In: Utilization of Manure by Land Spreading, Comm. Europ. Commun., EUR 5672e, London, pp. 335 – 343.

**Kickuth, R., 1978:** *Elimination gelöster Laststoffe durch Röhrichtbestände*. Arbeiten des Deutschen Fischereiverbandes 25: pp. 57 – 70.

**Kickuth, R., 1981:** *Abwasserreinigung in Mosaikmatritzen aus aeroben and anaeroben Teilbezirken*. In: Grundlagen der Abwasserreinigung, Moser, F. (ed.), Verlag Oldenburg, Mnichov, Vídeň, pp. 639 – 665.

**Kočková E., Kříž P., Lefát V., Šálek J. a Žáková Z., 1994:** *Vegetační kořenové čistírny odpadních vod*. MZ ČR, Brno.

**Kolář, J., 2003:** *Přírodní způsoby čištění odpadních vod III*. Vysoké učení technické v Brně, Brno, pp. 11 – 14, ISBN 80-214-2474-5.

**Končalová, H., Květ J., 1987:** *Možnosti a omezení „kořenových čistíren“ s využitím helofyt*. In: Žáková Z., Květ J., Lhotský O. & Marvan P. (eds): Sborník konf. vegetační způsoby čištění vod a možnosti jejich aplikace. ČSVTS, Praha, pp. 187-192.

**Kröpfelová, L., Vymazal, J., Švehla, J. a Němcová, J., 2008:** *Odstraňování stopových prvků v kořenových čistírnách*. In: Sborník mezinárodního semináře. Monitoring těžkých kovů a vybraných rizikových prvků při čištění odpadních vod v umělých mokřadech (GAČR 206/06/0058), Kröpfelová, L. a Vymazal, J. (Eds.), ENKI, Třeboň, pp. 43-54.

**Kröpfelová, L., 2011:** *Využití umělých mokřadů při čištění odpadních vod - eliminace živin a stopových prvků v KČOV*. Disertační práce. Praha.

**Krulišová, J., 2011:** *Studium procesů probíhajících v kořenových čistírnách odpadních vod*. ČZU Praha, 2011. Diplomová práce. Fakulta životního prostředí, katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování.

**Lakatos, G., 1998:** *Hungary*. In: *Constructed Wetlands for Wasterwater Treatment in Europe*. Edited by J. Vymazal, H. Brix, P. F. Cooper, B. Green and R. Haberl, Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, pp. 191 – 206.

**Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt 2007:** *Pflanzenkläranlagen zur kommunalen Abwasserreinigung*, fachinformation, Halle (Saale), pp 39.

**Maltby, E., 1986:** *Watterlogged Wealth*. Eartscan, Russell Press, Nottingham.

**Malý, J., 1997:** *Možnosti čištění odpadních vod z malých sídel a obcí*. NOEL 2000 s.r.o., Brno, pp. 66-74, ISBN 80-86020-16-9.

**Mitsch, W. J., a Gosselink, J. G., 2007:** *Wetlands 4<sup>th</sup> (eds.)*. John Wiley a Sons, New Jersey.

**Moorhead, K. K., a Reddy, K. R., 1988:** *Oxygen transport through selected aquatic macrophytes*. *Journal of Environmental Quality* 17: pp. 138 – 142.

**Nováková, P., 2011:** *Vyhodnocení dlouhodobého provozu dvou kořenových v České republice*. ČZU Praha, 2011. Diplomová práce. Fakulta životního prostředí, katedra ekologie krajiny.

**Orme A. R., 1990:** *Wetland morphology, hydrodynamice and sedimentation*. In: *Wetlands: A Threatened Landscape*, Willimas M. (ed.), Basil Blackwell, Oxford, pp. 42-61.

**Ottová, V., Balcarová, J. a Vymazal, J., 1997:** *Microbial characteristics of constructed wetlands*. Water Science and Technology 35: pp. 117-123.

**Penfound, W. T., a Earle, T. T., 1948:** *The biology of the water hyacinth*. Ecological Monographs 18: pp. 447 – 472.

**Pelikán P., 1998:** *kořenové čistírny odpadních vod, vhodný typ čištění pro malé zdroje znečištění*. Nika 1 – 2, pp. 46.

**Pelikán P., 2003:** *Kořenová čistírna odpadních vod Spálené Poříčí*. In: Dušek J.(eds.): *Kořenové čistírny výstavba a financování: Sborník příspěvků celorepublikového semináře konaného 9. října 2003, České Budějovice*: pp. 27 – 31.

**Pitter, P., 1999:** *Hydrochemie. 2. vydání*. Vydavatelství VŠCHT Praha.

**Reed, S. C., Middlebrooks, E. J., a Crites, R. W., 1988:** *Natural Systems for Waste Management and Treatment*. 1<sup>st</sup> ed., McGraw-Hill Book Company, New York.

**Rejmánková, E., 1971:** *Vliv teploty a osvětlení na růst a produkci okřehků (Lemna gibba, Lemna minor a Spirodela polyrhiza)*. Disertační práce, Karlova univerzita, Praha.

**Rejmánková, E., Rejmánek, M., a Květ, J., 1990:** *Minimizing duckweed (Lemnaceae) production by suitable harvest strategy*. In: *Wetland Ecology and Management: Case Studies*, D. F. Whigham, R. E. Good and J., Květ, J., eds., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Nizozemí, pp. 39 – 43.

**Sculthorpe C. D., 1967:** *The biology of aquatic vascular plants*. St. Martins Press, New York, pp. 610.

**Seidel, K., 1965:** *Neue Wege zur Grundwasseranreicherung in Krefeld*. Vol. II. Hydrobotanische Reinigungsmethode. GWF Wasser/Abwasser 30: pp. 831 – 833.

**Seidl, K., 1966:** *Reinigung von Gewässern durch höhere Pflanzen.* Naturwissenschaften 53: pp. 289 – 297.

**Šálek, J., 1999:** *Navrhování a provozování vegetačních kořenových čistíren.* Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha, pp. 54, ISBN 80-86153-037-0.

**Šálek, J., Tlapák, V., 2006:** *Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod.* ČKAIT, s.r.o., Praha, pp. 283, ISBN 80-86769-74-7.

**Šálek, J., Žáková, Z., Hrnčíř, P., 2008:** *Přírodní čištění a využívání vody v rodinných domech a rekreačních objektech.* ERA group spol. s.r.o., Brno, ISBN 978-80-7366-125-0.

**Šorm, I., 1997:** *Možnosti čištění odpadních vod z malých sídel a obcí.* NOEL 2000 s.r.o., Brno, pp. 2-15, ISBN 80-86020-16-9.

**Švehla, J., Vymazal, J., Kröpfelová, L., Němcová, J., Bastl, J., Beránková, M., Suchý, V., 2008:** *Vybrané stopové prvky v sedimentech kořenových čistíren.* In: Sborník semináře Monitoring těžkých kovů a vybraných rizikových prvků při čištění odpadních vod v umělých mokřadech (GAČR (206/06/0058), Kröpfelová, L. a Vymazal, J. (Eds.), ENKI, Třeboň, pp. 69 – 77.

**Vymazal, J., 1990:** *Poloprovozní model kořenové čistírny na ÚČOV Praha.* In: Sb. konf. Netradiční biotechnologie pro dočišťování vod a produkci organické hmoty, VÚV Brno, pp. 60-65.

**Vymazal, J., 1991:** *Čištění splaškových odpadních vod pomocí kořenových čistíren, I. část.* Vodní hospodářství 5: pp. 177 – 182.

**Vymazal, J., 1995:** *Čištění odpadních vod v kořenových čistírnách.* ENVI Třeboň a Ekologie a využití mokřadů, Praha.

**Vymazal, J., 1998:** *Současný stav ve využívání vegetačních kořenových čistíren ve světě a směry dalšího vývoje.* In: *Nové poznatky při řešení vegetačních kořenových čistíren.* Sborník přednášek ze semináře konaného 10. června 1998, Vysoké učení technické, Brno: pp. 116 – 117.

**Vymazal, J., 1998:** *Czech Republic.* In: *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe.* J. Vymazal, H. Brix, P. F. Cooper, M. B. Green and R. Haberl, eds., Backhuys Publishers, Leiden, Nizozemí, pp. 95 – 121.

**Vymazal, J., 2001a:** *Types of constructed wetlands for wastewater treatment: their potential for nutrient removal.* In: *Transformations of Nutrients in Natural and Constructed Wetlands,* J. Vymazal, ed., Backhuys, Leiden, Nizozemí, pp. 1 – 93.

**Vymazal, J., 2004:** *Kořenové čistírny odpadních vod.* ENKI o.p.s., Třeboň, pp. 14.

**Vymazal, J., 2005:** *Constructed wetlands with horizontal sub-surface flow and hybrid systems for wastewater treatment.* *Ecological Engineering* 25: pp. 478 – 490.

**Vymazal, J., 2008a:** *Čištění komunálních vod v kořenových čistírnách.* *Ekoenergie,* listopad 2008: pp. 40 – 42.

**Vymazal, J., 2008b:** *Constructed Wetlands, Subsurface Flow.* In Sven Erik Jorgensen and Brian D. Fath (Editor-in-Chief), *Ecological Engineering.* Vol. [1] of *Encyclopedia of Ecology,* 5 vols. pp. 748 – 764. Oxford: Elsevier.

**Vymazal, J., 2008c:** *Funkce mokřadů.* In: *Sborník konference Mokřadů a vody v krajině,* I., Kröpfelová, L. a Pechar, L. (eds.), ENKI, o.p.s., Třeboň, pp. 99 – 101.

**Vymazal, J., 2008d:** *Využití umělých mokřadů pro čištění odpadních vod z malých zdrojů znečištění.* In: *Sb. konf. Decentralizované nakládání s odpadními vodami,* ARDEC, s.r.o., Brno, pp. 61 – 70.



**Vymazal, J., a Kröpfelová, L., 2008:** *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*. Springer, Dordrecht, Nizozemí, pp. 576.

**Vymazal, J., a Kröpfelová, L., 2008a:** *Nitrogen and phosphorus standing stock in Phalaris arundinacea and Phragmites australis in a constructed wetland: 3year study*. Arch. Agron. Soil Sci. 54(3): pp. 297-308.

**Vymazal, J., a Kröpfelová, L., 2008b:** *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*. Springer, Dordrecht, Nizozemí, pp. 576.

**Vymazal, J., 2009:** *Kořenové čistírny odpadních vod: Dvacet let zkušeností v ČR*. ENKI, Třeboň, pp. 113 – 118.

**Žáková, Z., Palát, M., Kočková, E., a Toufar, J., 1994:** *Is it to use water hyacinth for wastewater treatment and nutrient removal in Central Europe?* Water Science a Technology 30(8): pp. 303 – 311.

Normy, zákony a předpisy:

1. Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)