

# UMĚLÉ MOKŘADY PRO ČIŠTĚNÍ VOD Z MALÝCH A DIFÚZNÍCH ZDROJŮ

Miloš Rozkošný<sup>13</sup>

## Abstrakt

Příspěvek je zaměřen na umělé mokřady a jejich využití při čištění vod z malých bodových a z difúzních zdrojů znečištění, s uvedením zkušeností jak z České republiky, tak ze zahraničí. Uvedeny jsou i poznatky využitelné pro jejich navrhování v horských a podhorských oblastech, kde zejména v Rakousku a ve skandinávských zemích jsou k dispozici dlouhodobé výsledky, které prokázaly, že při vhodném návrhu a vhodných podmínkách (dostupné dostatečné pozemky) lze dosáhnout požadovaného odstranění dusíku (amoniakálního i celkového) a fosforu. Nezbytnou podmínkou dostatečné funkce je i údržba mokřadů a plánované využití odpadních produktů z provozu (zejména biomasa a kal z mechanického předčištění, nebo usazené sedimenty).

## Úvod

S přijetím rámcové směrnice o vodách (směrnice 2000/60/ES) po roce 2004 se v České republice objevily požadavky na postupné zajištění dobrého ekologického stavu, nebo potenciálu, a to včetně dalšího zlepšení kvality vod. Také v důsledku eutrofizace velké části vodárenských zdrojů a malých vodních nádrží, je postupně řešeno odstraňování fosforu a dusíku z bodových zdrojů znečištění a pozornost je věnována i tzv. difúzním zdrojům, mezi něž lze zařadit např. drenážní systémy na zemědělsky obhospodařovaných půdách, úniky vod z jímek a septiků jednotlivých sídel, lokální smyvy z komunikací, apod.

V případě bodových zdrojů je požadováno odstraňování amoniakálního dusíku nad 500 EO a fosforu u větších komunálních čistíren. S přijetím nařízení vlády č.416/2010 Sb., které umožňuje vsakování čištěných odpadních vod z čistíren do 50 EO, byly zavedeny i limity na odstraňování amoniakálního dusíku a celkového fosforu z těchto zdrojů. Nařízení vlády však nestanovilo limitní odtokové koncentrace pro celkový dusík a dusík v dusičnanové formě při vsakování čištěných odpadních vod.

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 a difúzní zdroje používány celosvětově (Kadlec, Wallace, 2009). Je však nutno dobře zvážit jejich limity při odstraňování znečištění a nároky, zejména na plochu a údržbu.

---

<sup>13</sup> Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Mojmírovo nám. 16, 602 00 Brno  
Kontakt: Ing. Miloš Rozkošný, Ph.D., tel. 541 126 318, e-mail: [milos\\_rozkosny@vuv.cz](mailto:milos_rozkosny@vuv.cz)

Rozdělení umělých mokřadů pro čištění vod podle typu použité vegetace a způsobu proudění vody:

- volně plovoucí rostliny
- rostliny s volně plovoucími listy
- submerzní (ponořené) rostliny
- emerzní (vynořené) rostliny – povrchový průtok
- emerzní (vynořené) rostliny – podpovrchový průtok – vertikální průtok – průtok směrem dolů
- emerzní (vynořené) rostliny – podpovrchový průtok – vertikální průtok – průtok směrem nahoru
- emerzní (vynořené) rostliny – podpovrchový průtok – horizontální průtok
- emerzní (vynořené) rostliny – podpovrchový průtok – hybridní (kombinované) systémy průtoku

Jednotlivé konfigurace umělých mokřadů jsou použitelné pro různé případy. Mokřady s povrchovým průtokem, a nebo s otevřenou vodní hladinou (s ponořenými makrofyty), jsou vhodné pro čištění vod z difúzních zdrojů, které nejsou mikrobiálně zatížené. Mokřady s trvale zaplaveným filtračním prostředím s podpovrchovým prouděním jsou využitelné pro odstranění organického znečištění, mikrobiálního znečištění, denitrifikaci a do určité míry i odstranění fosforu. Mokřady s pulsním plněním a nebo prázdňením filtračního prostředí, které není trvale nasycené, jsou využitelné pro čištění odpadních vod, včetně nitrifikace amoniakálního dusíku.

Umělé mokřady tedy nacházejí uplatnění při čištění splaškových odpadních vod z decentralizovaných domů, skupin domů, hotelů, rekreačních, restauračních zařízení a letních táborů, menších obcí, nebo jejich částí, obvykle do 2000 EO (ekvivalentních obyvatel), a to bez ohledu na nadmořskou výšku. Podle složení odpadních vod jsou tyto způsoby použitelné i pro čištění průmyslových vod z potravinářského průmyslu, živnostenských provozů (dílů) a vybraných malých průmyslových závodů, čištění průsakové vody ze skládek komunálního odpadu, organicky nízko zatížených zemědělských odpadních vod, znečištěných srážkových vod, erozními smyvy znečištěných povrchových vod a dočištění odpadních vod. Přehled využití těchto způsobů čištění vod lze nalézt v literatuře Kadlec a Wallace, 2009; Šálek a Tlapák, 2006.

V současnosti se v České republice uplatňují z umělých mokřadů pro čištění odpadních vod tzv. kořenové čistírny, složené z objektů mechanického předčištění a umělých mokřadů – kořenových filtrů buď s horizontálním podpovrchovým prouděním, nebo s vertikálním prouděním. Dále se používají stabilizační nádrže, které lze při realizaci s litorálními zónami zařadit také mezi umělé mokřady. Umělé mokřady s povrchovým prouděním se uplatňují při revitalizacích říční sítě pro zvýšení biodiverzity krajiny, nebo pro omezení znečištění z difúzních zdrojů. Na rozdíl od kořenových čistíren a stabilizačních nádrží, zatím nejsou k dispozici jednoznačné návrhové parametry s návazností na definovaný čistící účinek, nezbytné je tedy využití zahraničních zkušeností. Mezi umělé mokřady lze zařadit i různé akvakultury, které se v současnosti používají i např. pro čištění vod koupališť, apod.

Pro optimální návrh umělých mokřadů (i s ohledem na ekonomiku návrhu a provozu) je potřeba dobře zvážit návrhové parametry, zejména hydraulické zatížení vycházející z produkce vod určených k čištění, a z koncentrací znečištění. Teoretické návrhové hodnoty často vedou k výraznému předimenzování zařízení. Jednotlivé druhy odpadních (použitých) vod, které je možné čistit přírodními způsoby čištění, tvoří vody komunální, znečištěné srážkové, vybrané průmyslové, zemědělské a vody balastní. Množství a složení jednotlivých druhů odpadních vod je značně odlišné, závisí na mnoha činitelích a stanoví se individuálně a vyhodnotí z řady šetření pro danou lokalitu.

Produkce odpadních vod, podle většiny norem používaných v EU, se pohybuje od 0,1 do 0,15 m<sup>3</sup>/d na jednoho obyvatele. Přesnější údaje pro konkrétní lokalitu se stanoví přímým šetřením, méně přesně se vyhodnotí z průměrné denní spotřeby vody obyvateli, v průmyslu na jednotku vyráběného produktu. Podle BS 8525-1:2010 (2010) činí průměrná denní spotřeba vody jedním obyvatelem na pití a vaření 3 l/d, osobní hygienu 9 l/d, mytí nádobí 9 l/d, koupání a sprchování 44 l/d, mytí auta 3 l/d, závlaha zahrádky 11 l/d, praní prádla 17 l/d, splachování toalety 46 l/d, ostatní 8 l/d.

Složení odpadních vod vyžaduje průzkum a odběr vzorků na místě. Jako nejvhodnější ukazuje se stanovení složení odpadních vod zjištěné z 24-hodinových slévaných vzorků, stanovených jednak v základních ročních obdobích a za deště, a v bezdeštném (suchém) období. Velmi potřebné je stanovení složení počátečního dešťového odtoku a složení počátečních odtoků ve stokové síti.

Bodík a Riderstolpe (2007) rozdělují odpadní vody z domácností na šedé (ze sprch, koupelen, praní), žluté (moč), černé (součet moč, fekálie a voda na spláchnutí). Šedou vodou nazýváme splaškové odpadní vody neobsahující fekálie a moč. Tyto vody odtékají z umyvadel, van, sprch, dřezů apod. Šedou vodu, zejména z koupelen, je možné po úpravě využívat jako vodu provozní (tzv. bílou vodu) pro splachování toalet a pisoárů a zalévání zahrad. Skupinu šedých vod tvoří: neseparované šedé vody, šedé vody z kuchyní a myček, šedé vody z praček a šedé vody z umyvadel, van a sprch. Produkce šedé vody v domácnostech činí cca 55 % a v komerčních budovách cca 27 % z celkové produkce odpadních vod. Množství vzniklých šedých vod kolísá podle míst jejich vzniku od 57 do 111 litrů na osobu a den – pro domácnosti platí spíše nižší čísla.

## Metoda

Pro účely příspěvku byly využity poznatky z rešerše literatury a z vlastních terénních šetření. Ta byla založena na dlouhodobém monitoringu prováděném ve 14denním, nebo měsíčním, kroku. Sledovány byly údaje o fyzikálně-chemických vlastnostech vod měřením na místě, průtok vody a v laboratoři byly prováděny rozborů ukazatelů kvality vody se zaměřením na organické znečištění, nerozpuštěné látky, formy dusíku a fosforu, mikrobiální znečištění, apod. V případě výsledků z kontinuálního monitoringu obsahu kyslíku ve vodě kořenových filtrů, které jsou v příspěvku prezentovány, bylo měření prováděno pomocí osazených elektrod napojených na záznamníková zařízení.

## Výsledky a diskuse

Čistící procesy probíhající v umělých mokřadech jsou ovlivněny i vnějšími činiteli působícími na filtrační prostředí. Meteorologické činitele - teplota vody; teplota vzduchu; vlhkost vzduchu a ostatní klimatické veličiny ovlivňují vývoj vegetace a podmínky pro rozvoj a činnost mikrobiálního společenstva vázaného na filtrační substrát a mají vliv i na vodní bilanci mokřadů (Mlejnská a kol., 2009; Rozkošný, Mlejnská, 2010). Mezi další podmínky lze zařadit velikost průtoku; srážky na plochu mokřadu; transpiraci vody z povrchu filtrační náplně a evapotranspiraci vegetace; fyzikální, chemické a hydraulické vlastnosti filtrační náplně; provedení nátokové a odtokové zóny filtračního pole; způsob proudění vody. Tyto podmínky ovlivňují hydraulické a látkové zatížení a také dobu zdržení odpadní vody ve filtračním prostředí.

Dosavadní výzkumy a provozní sledování prokázaly, že kořenové čistírny mohou zajistit stabilní a dostatečnou účinnost odstranění organického znečištění a nerozpuštěných látek, a to jak během vegetačních období, tak i během nevegetačních období, kdy je vegetace makrofyt v klidovém stadiu a nepodílí se na procesu čištění. Podmínkou je však kvalitní mechanické předčištění odpadních vod. K zajištění bezproblémového a dostatečného odstranění nerozpuštěných látek (až k hodnotám okolo 90 %) je nutné věnovat pozornost správnému návrhu objektů mechanického předčištění odpadních vod, jejich provozu a údržbě. Odpadní vody musí být předčištěny účinným a funkčně spolehlivým zařízením. U malých zdrojů se osvědčují vícekomorové biologické septiky typizované, a biologické septiky na místě betonované nejlépe s více než třemi přepážkami. Další podrobnosti z průzkumů funkčnosti objektů mechanického předčištění předřazených biofiltrům a nádržím uvádí např. Mlejnská a kol. (2009) a Rozkošný a kol. (2010). Ve výsledku odstranění nerozpuštěných látek z přitékajících vod vede k zamezení vzniku kolmatace filtračního prostředí mokřadů. Přirozená biologická kolmatace je velmi pozvolný proces, při nesklizení vegetace makrofyt byla zjištěno vytvoření vrstvy charakteru kompostu na povrchu polí 2 – 3 cm během deseti let provozu.

Orientační hodnoty účinnosti čištění kořenových čistíren s horizontálním a vertikálním prouděním uvádí tabulka 1. Širší rozpětí hodnot, případně i nižší hodnoty účinnosti odstranění nerozpuštěných látek a organického znečištění často odpovídají značnému naředění odpadních vod na přítoku. V případě amoniakálního dusíku jsou způsobeny zejména návrhem zařízení, zda jsou přítomny i vhodné podmínky pro proces nitrifikace (tedy v podstatě u zemních filtrů (ZF), KF s vertikálním prouděním, KF s pulzním plněním a nebo prázdňením a i u biologických nádrží). V případě požadavku na odstranění dusíku a fosforu je vhodnější volit úpravy technologie čištění (hybridní umělé mokřady s KF s vertikálním a horizontálním prouděním vody, systémy pulsního plnění a prázdňení polí, umělé provzdušování, volba filtračních materiálů s vysokou sorpční schopností). Vymazal (2009) uvádí účinnost odstranění amoniakálního dusíku v 53 kořenových čistírnách s horizontálním podpovrchovým kontinuálním prouděním provozovaných v České republice za období 1989 – 2007 průměrně 34 %. Tyto výsledky potvrzují i naše dlouhodobá sledování řady čistíren (Mlejnská a kol., 2009). Jako důvod této nízké účinnosti uvádí především anaerobní podmínky ve filtračním prostředí. Podobné výsledky dosahují i obě detailně sledované čistírny. Prokešová (2010) prokázala, že optimální hloubka snížení hladiny při pulzním plnění,

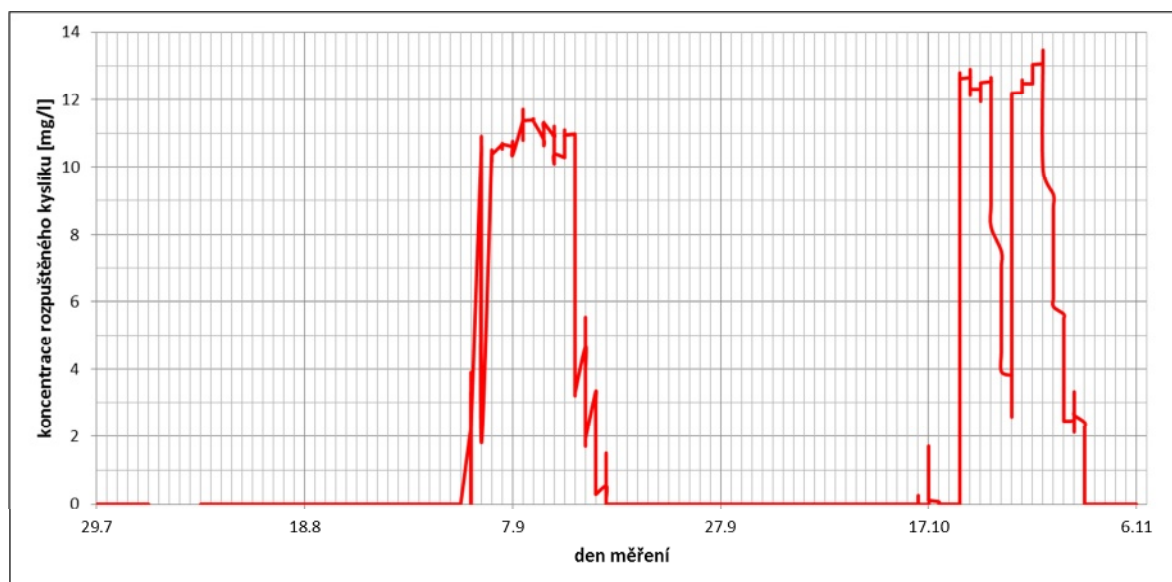
nebo prázdňení, z hledisky zvýšení koncentrace kyslíku ve vodě, je cca 0,45 m, což se projeví zvýšením koncentrace kyslíku o 3 - 5 mg/l. V trvale protékaných horizontálních filtrech se koncentrace kyslíku pohybuje pod 1 mg/l, pouze v bezprostředním okolí kořenového systému makrofyt byly měřeny oxické podmínky (Vymazal, 1995). Při provedených šetřeních byla optimální hloubka pro provedení impulsního prázdňení a plnění stanovena v rozmezí 0,4 – 0,6 m. Na obrázku 1 jsou uvedeny výsledky zavedení pulsního prázdňení umělého mokřadu – kořenového filtru u čistírny kategorie 10 – 50 EO. Experimentální výsledky prokázaly, že u podobných čistíren (nebo i menších pro zdroje do 10 EO), které nemají kontinuální nátok vod, lze úpravou odtoku a zajištěním nárazového vypouštění a napouštění, které je spojené s přísunem vzduchu do filtračního prostředí mokřadů.

Hodnocení účinnost odstranění fosforu je značně problematické, protože ČOV ve zmíněných kategoriích (dle počtu EO) nejsou navrhovány na jeho odstraňování, což by v případě KF a ZF znamenalo využití speciálních filtračních náplní.

**Tab. 1 Orientační hodnoty dlouhodobé účinnosti čištění z průzkumu extenzivních ČOV (%)**

	Počet EO	NL	BSK5	CHSK	N-NH4+	Pc
KČOV HF	< 200	70 – 98	75 – 98	60 - 85	30 – 75	20 - 55
	200 – 500	70 – 98	70 – 90	60 – 85	10 – 60	< 40
	500 - 1000	80 - 95	60 - 85	60 - 85	25 – 70	< 25
KČOV VF a ZF		≈90	≈90	≈90	39 – 98	16 – 96
BN		50 – 85	55 – 85	40 – 75	40 – 70	20 – 55

Legenda: KČOV HF – kořenová čistírna s filtry s horizontálním podpovrchovým prouděním; KČOV VF – kořenová čistírna s filtry s vertikálním prouděním; ZF – ČOV s využitím zemního filtru; BN – ČOV s využitím biologické (stabilizační) nádrže



**Obr. 1 Průběh změn koncentrace kyslíku ve filtračním prostředí horizontálního kořenového pole při pulsním prázdňení**

Zahraniční zkušenosti (Langergraber a kol., 2006) prokázaly, že kořenový filtr čistírný odpadních vod s vertikálním podpovrchovým prouděním s přerušovaným nátokem může úspěšně pracovat při organickém zatížení 20 g CHSK /m<sup>2</sup>/d (tj. 4 m<sup>2</sup> na připojenou osobu). Také bylo prokázáno, že během letních měsíců (květen - říjen) a teplot odpadní vody vyšší než 12°C může být specifický povrch dále snížen, a to až na 2 m<sup>2</sup> na připojenou osobu, což zajistí přiměřenou požadovanou míru odstranění znečištění, včetně amoniakálního dusíku. Nižší údaj lze tedy využít např. při navrhování zařízení k objektům se sezónním provozem.

V současnosti probíhají i v zahraničí výzkumy, ale také realizace čistíren s intenzifikací čistícího účinku kořenových filtrů, zejména pro odstraňování dusíku, a to pomocí pulsního plnění a nebo prázdnění, či využitím přídatné aerace (Kadlec a Wallace, 2009), případně i kompaktním návrhem kombinace části kořenového filtru s horizontálním kontinuálním prouděním a části s vertikálním prouděním s pulsním plněním (Vymazal a Kröpfelová, 2009; Garcia-Perez a kol., 2008).

V následující tabulce 2 je provedeno srovnání odtokových dlouhodobých průměrných koncentrací z kořenových filtrů s vertikálním podpovrchovým prouděním vody pulzně plněných (VF) a horizontálním podpovrchovým prouděním vody (HF) z průzkumů čistíren v Německu (Börner a kol., 1998) a v Rakousku (Haberl a kol., 1998), zemí, které jsou nám blízké klimatickými podmínkami a také používanými návrhovými parametry kořenových čistíren. Z výsledků je patrné, že pro jednodušší systémy, kde se požaduje dostatečná účinnost odstranění nerozpuštěných látek a organického znečištění, mohou vyhovovat i filtry s horizontálním podpovrchovým prouděním. Vertikální filtry mají vyšší účinnost odstranění amoniakálního dusíku, a tedy i výrazně nižší odtokové koncentrace, jak je patrné z tabulky. Horizontální filtry však lze využít v případě požadavku na snížení odtoku celkového dusíku, neboť jejich účinnost odstranění dusičnanového dusíku díky převládajícím anaerobním podmínkám a vysoké míře denitrifikace, je vyšší než u VF. Lze je tedy využít i jako dočišťovací stupně za jinými typy čistíren odpadních vod, jak je na příkladu z Rakouska uvedeno dále.

**Tab. 2 Srovnání dlouhodobých průměrných odtokových koncentrací z umělých mokřadů – kořenových filtrů s horizontálním (HF) a vertikálním (VF) prouděním**

Typ filtru	VF		HF	
	Německo	Rakousko	Německo	Rakousko
Ukazatel /				
CHSK (mg/l)	68	37	102	49
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	9	8	36	15
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	65	35	7	8
Nc (mg/l)	67	---	52	---
Pc (mg/l)	3	---	5	---

V poslední době jsou prezentována vylepšení systému umělého mokřadů pro čištění vod z malých zdrojů v Rakousku a v Polsku. Zejména rakouské zkušenosti jsou přímo použitelné v podmínkách České republiky, včetně horských a podhorských oblastí, protože se jedná o

reálně provozované čistírny, a to po dobu několika let. Místo jednoho filtru s vertikálním prouděním a plochou 4 m<sup>2</sup> na obyvatele, který je napojen na septik a napájen pomocí násosky, nebo čerpadla přerušovaně, se jedná o systém dvou vertikálních filtrů protékajících od povrchu směrem dolů do drenážní vrstvy. Povrchová plocha každého filtru je pouze 2 m<sup>2</sup> na obyvatele. Celková výška filtrů cca 80 cm. U prvního filtru je hlavní náplň tvořena materiálem zrnitosti 1 – 4 mm, u druhého filtru, do něž je v případě nevhodné konfigurace terénu nutné vodu přečerpávat je hlavní náplň představována materiálem zrnitosti 0,06 – 4 mm. Použití hrubšího materiálu v prvním filtru, než bylo původně běžné, znamená vyšší zbytkový obsah organických látek, které jsou ve druhém filtru využity při denitrifikaci dusičnanového dusíku, který je výsledkem nitrifikačních procesů probíhajících v prvním filtru. Bylo prokázáno, že zatížení prvního filtru může být až 80 g CHSK na 1 m<sup>2</sup> za den, ale stabilní odstraňování dusíku během celého roku, tedy i v zimních obdobích (měřené rozpětí teplot vody v odtoku z pokusné čistírny v rozmezí 1 až 16°C), bylo zajištěno při zatížení do 40 g CHSK na 1 m<sup>2</sup> za den. V následující tabulce 3 je přehled koncentrací (v mg/l) ukazatelů kvality vody v přítoku, za prvním filtrem a v odtoku.

**Tab. 3 Koncentrace vybraných ukazatelů z dlouhodobého sledování dvoustupňového vertikálního filtru s makrofytní vegetací a předčištění vod vícekomorovým septikem**

Ukazatel	Nátok (ze septiku)	Odtok 1.filtr	Odtok výsledný
BSK <sub>5</sub>	560	49	3
CHSK	1015	147	20
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	50,8	13,9	0,06
Nc	65,3	16,1	19,2

Vliv vegetace (makrofyty) na účinnost čištění mokřadů, včetně odběru živin, závisí na druhu a zdravotním stavu porostu, jeho hustotě a zapojení (včetně kořenové zóny KF), charakteru rozvoje biomasy, růstové fázi – aktuální části ročního období (Čížková, 1992; Květ a kol., 2003). Zpočátku realizace zejména kořenových čistíren byla tendence význam rostlin silně přeceňovat, zejména v možnostech odběru živin, které se později ukázaly jako méně významné (Just a kol., 2004). Také v případě eliminace organického znečištění a mikrobiálního znečištění je podíl mokřadní vegetace na povrchu filtračních polí druhořadý, oproti aktivitě mikrobiálního společenstva vázaného na filtrační substrát (Mlejnská a kol., 2009; Rozkošný a Mlejnská, 2010). Co se týče vegetace použité pro umělé mokřady, tedy většina autorů nepotvrdila vliv druhu vegetace na čistící účinek. Také měření VÚV TGM na domovních kořenových čistírnách neprokázala souvislost mezi druhy rostlin na čistícím účinku, nebo vliv na obsah kyslíku pro čistící procesy ve filtračním prostředí. Kyslíkový režim je možné ovlivnit pulsním prázdněním a nebo plněním filtrů (obrázek 1).

Vedle klasických druhů, jako je rákos, chrastice a orobinec, je tak možné použít jakékoliv místní druhy mokřadní vegetace (zejména v chráněných oblastech), nebo jejich kombinace. U menších systémů se tak uplatňují kosatce, vrbice a další druhy, jak je prezentováno na následující obrázku 2.



**Obr. 2 Umělý mokřad – horizontální kořenový filtr čistírny kategorie 10 – 50 EO**

Průzkumy čistíren v České republice (Vymazal, 2013) a v Rakousku (vlastní průzkum, obrázek 3) prokázaly, že ani výskyt plevelných druhů vegetace, jako je kopřiva dvoudomá, neovlivní čistící účinek. Údržba vegetace je tak otázkou omezení šíření plevelů a udržení estetického vzhledu čistírny.



**Obr. 3 Pohled na vegetaci vertikálního filtru v obci Ebergersch (Gemeinde Lichtenau, Rakousko) po několika letech provozu bez sklizení vegetace**

Sledování změn počtu hygienicky významných mikroorganismů se již postupně stává běžnou součástí hodnocení účinnosti čistírenských technologií. Bylo zjištěno, že předčištění má jen minimální vliv na redukci počtu hygienicky významných bakterií. Eliminace mikrobiálního znečištění je relativně vysoká (ve většině případů přes 99 %). Při porovnání s jinými technologiemi ČOV jsou výsledné koncentrace mikrobiálního znečištění v odtocích čistíren s umělými mokřady srovnatelné. Zadržování mikrobiálního znečištění je vysoké, pro



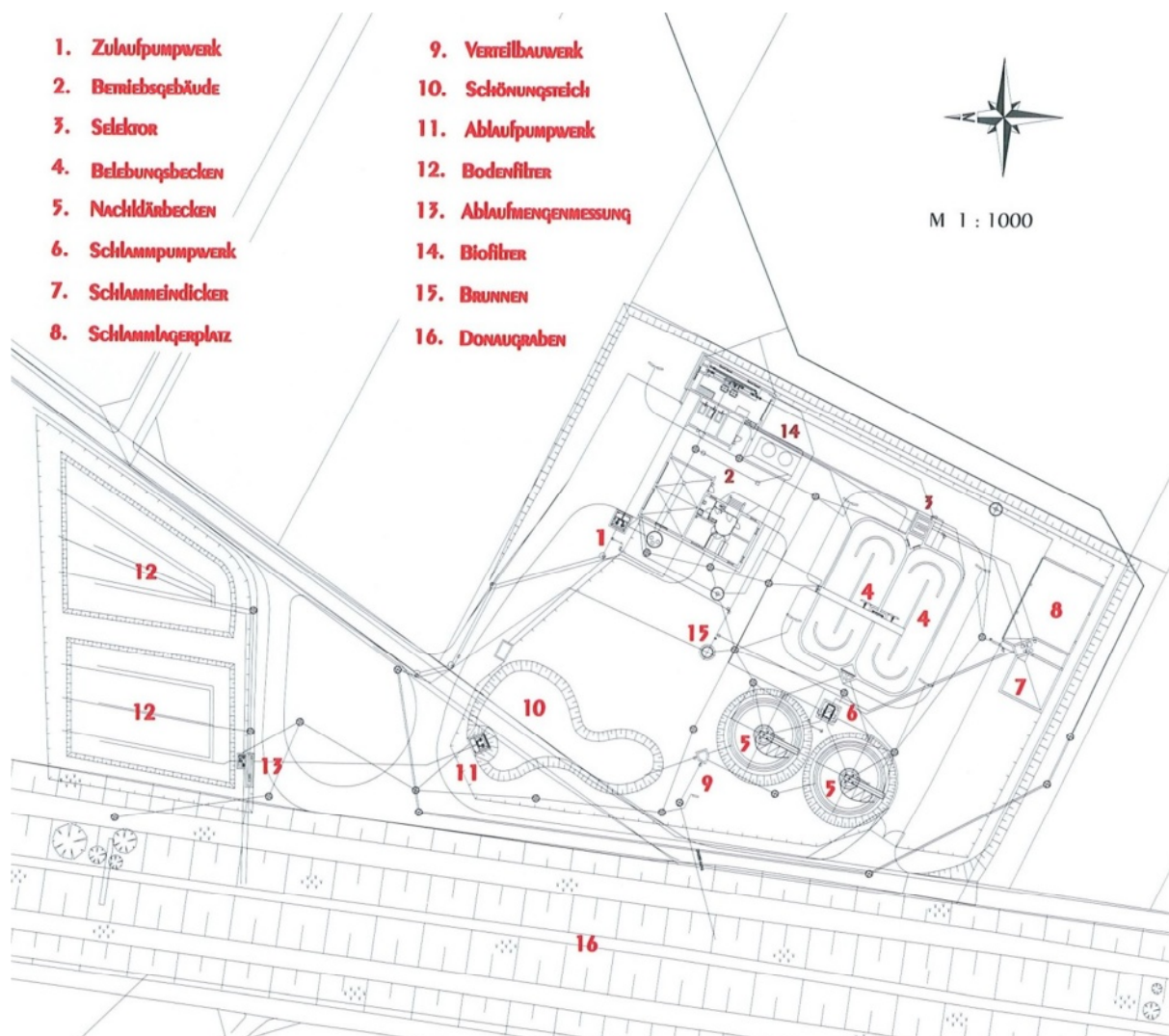
koliformní a termotolerantní koliformní bakterie se eliminace pohybuje většinou rozmezí 2-3 řádů. Podrobné sledování několika kořenových čistíren v letech 1999-2010 prokázalo průměrné snížení výskytu fekálně koliformních (termotolerantních) a koliformních bakterií o 98 % a potvrzena byla vysoká účinnost odstranění veškerého bakteriálního znečištění bez sezónních výkyvů v rozmezí 95–99 %.

Měření odstraňování mikrobiálního znečištění v kořenových čistírnách z celého světa shrnují autoři Wallace a Kadlec (2009). Souhrnné údaje jsou uvedeny v následující tabulce 4. Výsledky odpovídají i poznatkům z českých kořenových čistíren a potvrzují dlouhodobě vysokou účinnost odstranění mikrobiálního znečištění, a to i během nevegetačních období (Mlejnská a kol., 2009)

**Tab. 4 Dlouhodobé účinnosti odstranění mikrobiálního znečištění u mokřadů s horizontálními (HF) a vertikálními (VF) filtry**

Ukazatel	Fekálně koliformní bakterie
	KTJ/100 ml (log10)
HF – přítok	6,04
HF – odtok	3,72
redukce	2,3
VF – přítok	5,40
VF – odtok	3,14
redukce	2,4

Umělé mokřady mohou sloužit i k dočištění vod z komunálních aktivačních čistíren. Jako příklad je uvedena ČOV v Rakousku (obrázek 4 a 5), vybudovaná v obci Harmannsdorf s plánovaným zatížením 4 600 EO. Cílem realizace dočišťovacího stupně bylo další snížení odtokových koncentrací fosforu a celkového dusíku. Dočišťovací stupeň zahrnuje nádrž s litorální zónou a odtokovým filtrem pro zadržení biomasy fytoplanktonu a dva umělé mokřady – kořenové filtry s horizontálním podpovrchovým prouděním osázené rákosem obecným.



Obr. 1 Schéma ČOV Harmannsdorf (10-biologická nádrž, 11-odtokový filtr spolu s přečerpávacím objektem, 12-kořenové filtry, 16-recipient)



Obr. 1 Pohled na litorální zónu biologické nádrže (v pozadí kořenové filtry) a na prostor čistírny Harmannsdorf (vpravo)

## Závěr

Umělé mokřady lze považovat po dosavadních zkušenostech za řešení čištění odpadních vod malých producentů a obcí, v podmínkách České republiky do velikosti cca 500 obyvatel, a to za dodržení návrhových zásad, zajištění dostatečného předčištění vod objekty mechanického předčištění a při zohlednění místních charakteristik (stav stokové sítě, množství a kvalita odpadních vod, klimatické podmínky, dostupnost pozemků, požadavky na kvalitu vypouštěných čištěných vod, atd.).

Zkušenosti z průzkumu vybraných lokalit i poznatky z literatury ukazují, že lze použít ve vhodných podmínkách (požadavky na odstranění nerozpuštěných látek a organického znečištění), jelikož účinnost čištění pro nerozpuštěné látky a organického znečištění je vysoká a srovnatelná s účinnostmi čištění klasických mechanicko-biologických čistíren odpadních vod. Nehodí se ale tam, kde jsou kladeny vysoké požadavky na kvalitu vyčištěné vody, zejména pokud je požadováno zvýšené odstraňování nutrientů. Zejména kořenové čistírny s kořenovými filtry s horizontálním podpovrchovým prouděním s kontinuálním průtokem (v ČR prozatím z 90% využívaná technologie umělých mokřadů) vykazují nízké účinnosti čištění amoniakálního dusíku, který je v přitékající odpadní vodě převládající formou výskytu. To je dáno anaerobními podmínkami, které v kořenových filtrech převládají. V případě požadavků na odstranění nutrientů lze ale využít umělé mokřady s pulsním prázdňením a nebo plněním, případně filtry s vertikálním prouděním s nenasyceným prostředím osázené vegetací makrofyt. Filtry s horizontálním podpovrchovým kontinuálním prouděním je možné zase využít pro denitrifikaci čištěných vod (např. jako dočišťovací stupeň).

## Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory projektu TA ČR 02020128 „Výzkum možností optimalizace provozu a zvýšení účinnosti čištění odpadních vod z malých obcí pomocí extenzivních technologií“.

## Literatura

1. ČÍŽKOVÁ-KONČALOVÁ, H. Funkce kořenů rostlin v kořenové čistírně. In: Účelové kultivace vodních a mokřadních rostlin. Botanický ústav AV ČR Třeboň, 1992. 70-73 s.
2. EFFENBERGER, M., DUROŇ, R. Stabilizační nádrže pro čištění a dočišťování odpadních vod. Účelová publikace VÚV 12. Praha: VÚV. 1984. 72 s.
3. GARCIA-PEREZ, A. a kol. Recirculation of Vertical Flow Constructed Wetlands for Treating Residential Wastewater. Informační materiál. Purdue University, 2008.
4. JUST T., FUCHS P., PÍSAŘOVÁ M. Odpadní vody v malých obcích. Publikace VÚV T.G.M., vydal Ústav pro ekopolitiku, 2004. 50 s.
5. KADLEC, R.H., WALLACE, S. Treatment wetlands. 2nd edition. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2009.

6. KRIŠKA, M., ROZKOŠNÝ, M., ŠÁLEK, J. Koncepce uspořádání malých ČOV využívajících přírodní způsoby čištění. In: Plotěný, K. (ed). Sborník přednášek ze semináře „ČOV pro objekty v horách. Přírodní řešení nebo high tech?“. Brno: CzWA, 2011, s. 19-28.
7. KRŠŇÁK, J., DOUŠA, M. Projektování kořenových KČOV II.generace pro individuální objekty. In: Plotěný, K. (ed). Sborník přednášek ze semináře „ČOV pro objekty v horách. Přírodní řešení nebo high tech?“ Brno: CzWA, 2011, s. 29-36.
8. KVĚT J. a kol.: Úloha rostlin ve vegetačních čistírnách. In MALÁ, E. a ŠÁLEK, J. (eds.) Přírodní způsoby čištění odpadních vod III. Brno: VUT FAST, s. 41-44.
9. LANGERGRABER, G. A kol. Removal efficiency of subsurface vertical flow constructed wetlands for different organic loads. In Dias, Vymazal (eds.) 10th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Lisbon, s. 123-130. ISBN 989-20-0361-6.
10. MLEJNSKÁ, E., ROZKOŠNÝ, M., BAUDIŠOVÁ, D., VÁŇA, M., WANNER, F. A KUČERA, J. Extenzivní způsoby čištění odpadních vod. Praha: VÚV T.G.M., 119 pp. 2009. ISBN 978-80-85900-92-7.
11. ROZKOŠNÝ, M. Hodnocení účinnosti vegetačních kořenových čistíren a návrhy na zlepšení jejich funkce. Doktorská disertační práce. VUT FAST. BRNO, 2008, 137 s. a přílohy
12. ROZKOŠNÝ, M., KRIŠKA, M., ŠÁLEK, J. Možnosti využití přírodních způsobů čištění odpadních vod a posouzení vlivu předčištění. Vodní hospodářství, 2010, roč. 60, č. 5/2010, s. 116-121. ISSN 1211-0760.
13. ROZKOŠNÝ, M., MLEJNSKÁ, E.: Porovnání účinnosti čištění kořenových čistíren odpadních vod ve vegetačním a nevegetačním období. VTEI, 2010, roč. 52, č. 3/2010, s. 10-13. ISSN 0322-8916.
14. ŠÁLEK J. Návrh a využití biologických nádrží na čištění odpadních vod. Metodiky ÚVTIZ Praha, č. 15, 1994, 44 s.
15. ŠÁLEK, J., ROZKOŠNÝ, M., KRIŠKA, M. Poznatky z průzkumu kořenových čistíren odpadních vod v moravských krajích a částí kraje Vysočina. Výzkumná zpráva pro MŽP. VÚV T.G.M. BRNO. 2008. 40s.
16. ŠÁLEK, J., TLAPÁK, V. Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. Praha : ČKAIT, 2006, 283 s. ISBN 80-86769-74-7.
17. VYMAZAL J. A KRÖPFELOVÁ L. Removal of organics in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: A review of the field experience. Science of the total environment 407: 3911-3922, 2009.