

## REKONSTRUKCE KOŘENOVÉ ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD PO 18 LETECH PROVOZU

Tereza Hudcová<sup>1</sup>, Jan Vymazal<sup>2</sup>, Michal Kriška Dunajský<sup>3</sup>

### Abstrakt

Príspevek popisuje základní principy rekonstrukce kořenové čistírny odpadních vod (KČOV) v obci Kotenčice, ve Středních Čechách, dimenzované dle původního návrhu pro 326 EO.

KČOV Kotenčice byla uvedena do provozu v roce 1994. I přes poměrně vysokou účinnost čistícího procesu KČOV, došlo k postupné kolmataci první čtvrtiny filtračního pole a bylo tudíž v roce 2011 přistoupeno k její rekonstrukci.

Nové technické řešení je napojeno na veřejnou oddílnou splaškovou kanalizaci. Nové technické řešení čistírny odpadních vod je dimenzováno na min. 250 EO. Součástí technologie je terciární stupeň čištění zahrnující solární skleník s fotoreaktory pro kultivaci řas a hydroponickými systémy (využití zbytkových živin z odpadní vody) a kalová a kompostovací pole.

Odpadní voda je svedena do šěrbinové nádrže a dále do původního septiku, který je upraven na objekt akumulární a čerpací jímky vystrojené ponornými kalovými čerpadly se solárním zdrojem elektrické energie. Součástí systému čištění odpadních vod je bezpečnostní přepad pro povodňové stavy.

Z čerpací jímky jsou napájeny systémy v solárním skleníku a kořenové filtry. Odpadní voda je čerpána do rozvodného potrubí kořenových filtrů, které jsou uspořádány do čtyřech paralelních polí, ve kterých jsou sériově zapojeny různé modulární soustavy horizontálních (911m<sup>2</sup>; hloubka 0,7 – 0,9 m) a vertikálních pulzně plněných (300m<sup>2</sup>; hloubka 1,3m) kořenových filtrů.

Filtry jsou osázeny rákosem obecným, chrasticí rákosovitou, kostatcem žlutým a sibiřským, zblochanem vodním a kyprejem vrbicí.

Systém disponuje možností vzájemného přepouštění odpadních vod mezi jednotlivými moduly tak, aby bylo možno testovat co největší množství variantních řešení uspořádání.

Struskový objekt, který je umístěn za kořenovými filtry, odstraňuje zbytkové množství fosforu a případně vzniklé sulfidy adsorpcí na železité složky v sobě obsažené.

V případě výpadku elektrické energie je odpadní voda zaústěna do ponechané funkční části původního kořenového filtru, kde je anaerobně dočišťována.

Terciární stupeň je součástí výzkumného projektu. Na jeho provozu není účinnost ČOV závislá, ale může jím být výrazně navýšena.

Z části původního filtru je vytvořen rybník, který slouží pro výzkumný chov ryb. Přечиštěná voda ústí do Kotenčického potoka.

---

<sup>1</sup>Dekonta,a.s., Dřetovice 109 273 42, Stehelčevy, Česká republika; e-mail: [hudcova@dekonta.cz](mailto:hudcova@dekonta.cz)

<sup>2</sup>Česká zemědělská univerzita, Fakulta Životního prostředí, Katedra Aplikované ekologie. Kamýcká 129, 165 21 Praha 6, Česká republika;

<sup>3</sup>Ing. Michal Kriška, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny, Veveří 95, 602 00 Brno, tel. 541147778, e-mail: [kriska.m@fce.vutbr.cz](mailto:kriska.m@fce.vutbr.cz)

## Úvod

Kořenové čistírny odpadních vod (KČOV) uvedené do provozu v České republice zahrnují ve většině případů pouze jedno horizontální filtrační pole. Společnost Dekonta, a.s. v rámci výzkumného projektu Biostream - Projekt Ministerstva průmyslu a obchodu VaV ev. č. FR-TI3/778 (program TIP) testuje novou technologii KČOV II. generace. Výsledkem projektu bude zpřesnění návrhových parametrů pro optimální dimenzování kombinovaných KČOV II. generace s horizontálním a vertikálním tokem, včetně struskových objektů, kompostového a kalového hospodářství (Obr. 1). Stejně jako lze navrhnout novou KČOV II. generace, která bude splňovat i přísné požadavky na účinnost čištění odpadních vod, lze intenzifikovat libovolnou starší KČOV na nové legislativní požadavky. Nově provedené konstrukční úpravy v současných čistírnách II. generace mají za následek komplexnější čistící účinky. Tato intenzifikace bude vždy levnější v pořizovacích i provozních nákladech, než při vybudování nové ČOV:

- provozní náklady KČOV 3 – 6 Kč/m<sup>3</sup>;
- pořizovací náklady novostavby KČOV 20 - 30 tis.Kč/EO v rozpočtových cenách.

Kořenové filtry (KF) jsou dimenzovány podle rovnice navržené Kickuthem, která vychází z rovnice prvního řádu při odstraňování BSK<sub>5</sub> za předpokladu pístového toku bez omezení velikosti (Kadlec, 2000; Kadlec, 2007; Mitchell a McNevin, 2001). Toto uspořádání vede často ke špatné hydraulice systému a zkratovým proudům. Tento nedostatek lze eliminovat rozdělením celkové plochy na několik menších polí, nevýhodu pak představuje zvětšení nároků na celkovou plochu čistírny. Jako pomocná návrhová kritéria slouží délka nátokové hrany 0,20 až 0,40 cm na 1 EO a maximální délka kořenového pole přibližně 25 metrů. Široká nátoková hrana zabraňuje lokálnímu přetížení a případnému ucpávání lože, krátké pole minimalizuje výskyt zkratových proudů.

Hydrauliku systému, a do jisté míry i jeho eliminační kapacitu, lze rovněž ovlivnit typem náplňového materiálu KF a volbou velikosti jeho frakce. Složení filtrační náplně může významně ovlivnit dobu její kolmatace, účinnost čištění, obnovení přirozené průtočnosti při částečné kolmataci vtokové části nebo při vzniku zkratových proudů. Pro zpomalení procesu kolmatace nátokové části KF je vhodné za rozdělovací zónu umístit zónu přechodovou, která zvýší akumulaci kalový prostor v nejméně zatížené části KF. Pro obnovení průtoku v celém objemu KF je možné zbudování infiltračních pásů či rozdělení rozdělovací zóny do nátokové části KF a do poloviny KF. Úprava pak umožňuje dodržení délky nátokové hrany pro úzké stavební parcely a současně obnovuje požadovanou průtočnost v případě vzniku zkratových proudů (Bavor et al., 1987; Vymazal, 2003; Fonder a Xanthoulis, 2007).

Kořenové čistírny s pouze horizontálními KF nevykazují vysokou účinnost při odstraňování dusíku. Hlavním důvodem je nedostatek kyslíku ve filtračním loži, což je přirozený jev v mokřadních systémech obecně. Kyslíkový režim odpadní vody lze upravit jejím nátokem na kořenový filtr ve vertikálním směru. Jedná se o vertikální kořenový filtr s impulsním plněním speciálně upravenou násoskou s hladinovou regulací, kde se při impulsním plnění nasaje do pískového lože kyslík a při pozvolném prázdňení dochází k nitrifikaci na filtrační náplni. Následnou denitrifikaci zajistí průtokem sériově napojený horizontální kořenový filtr s dobou zdržení min. 3 dny.

Fosfor je v kořenových čistírnách odstraňován především adsorpcí a srážením ve filtračním loži, případně absorpcí rostlinami. Materiály, které jsou běžně využívány pro filtraci v kořenových čistírnách (kačírek, šterk, drcené kamenivo) mají velmi malou sorpční kapacitu a

odstraňování fosforu v KČOV je tedy málo účinné (pro splaškové vody většinou nepřesahuje 50 %). Odstraňování fosforu lze zvýšit použitím materiálů, které vykazují vysokou sorpční schopnost, např. struskou. Využití struskových náplní v KČOV je možné po provedení fyzikálně-chemických analýz vybrané náplně, včetně výluhových testů, a je vhodné, aby použitou strusku bylo možno po naplnění sorpční kapacity nebo při revitalizaci KF ekonomicky nenáročně zpracovat – např. uložením do zásypu. Po vyčerpání sorpční kapacity může dále plnit funkci pevného nosiče jako šterková náplň. Strusku je optimální umístit pod nejnižší provozní hladinu v KF, minimalizuje se tak negativní vliv mrazu v zimním období. Pro kontinuální odstraňování fosforu je možné strusku umístit například do sběrné zóny KF nebo vytvořit samostatný objekt za KF. Doporučovaný cyklus výměny strusky po naplnění sorpční kapacity je pak v řádu několika let (Vymazal, 2004; Kršňák, 2010).

## Kořenová čistírna odpadních vod Kotenčice

### Stav kořenové čistírny před rekonstrukcí

Kořenová čistírna odpadních vod v obci Kotenčice (obr. 1) byla postavena v roce 1994 pro účely čištění komunálních odpadních vod z oddílné kanalizace. Systém čištění odpadních vod se sestával z manuálně sbíraných česlí, septiku a jednoho horizontálního filtru o celkové ploše 1800 m<sup>2</sup> (délka 60 m x šířka 30 m). Jako filtrační materiál byl použit praný šterk (4-8 mm) a filtrační pole bylo osázeno rákosem obecným (*Phragmites australis*). Systém byl navržen pro 300 EO, ovšem s tím, že v roce 2009 k čistírně napojeno pouze 202 obyvatel. Kořenová čistírna Kotenčice dosahovala velmi dobré účinnosti čištění (Tab. 1) a limitní hodnoty sledovaných parametrů na výstupu (130 mg.L<sup>-1</sup> CHSK, 50 mg.L<sup>-1</sup> BSK<sub>5</sub> a 50 mg.L<sup>-1</sup> NL) byly splněny v celém období 1995-2011. Hydraulické zatížení bylo velmi nízké a pohybovalo se mezi 1,8 a 2,2 cm/d, zejména z důvodu nižšího počtu připojených obyvatel (za celé období průměrně 210), ve srovnání s návrhem.

Nicméně, po 18 letech provozu nebylo mechanické předčištění schopno nadále plnit funkci v dostatečném rozsahu a kvůli zvýšeným koncentracím suspendovaných pevných látek vstupujících do filtračního lože došlo k významné kolmataci první čtvrtiny filtračního lože. K tomuto jevu přispěl i povrchový odtok srážkových vod z přilehlých pozemků (pole, louky). Teoreticky by tento rozsah kolmatace odpovídal, při předpokládané správné funkci mechanického předčištění, 30 letům provozu. V roce 2010, bylo rozhodnuto o rekonstrukci stávající kořenové čistírny, aby splňovala přísnější požadavky vodoprávních úřadů.

Projekt je realizován společností Dekonta, a.s. v rámci výzkumného projektu Biostream. Za účelem vyhodnocení optimálních hybridních upořádání horizontálních a vertikálních kořenových filtrů zahrnuje nové technické řešení jejich kombinace. Nový návrh rovněž testuje různé filtrační materiály pro odstraňování fosforu a odvodnění kalů. Očekávaným výsledkem tohoto projektu je zpracování podkladů a pokynů pro rekonstrukce kořenových čistíren, zejména na území České republiky.



Obr. 1. Kořenová čistírna odpadních vod Kotečnice, rok výstavby 1994, jeden horizontální kořenový filtr osazený rákosem obecným. Na obrázku situace v květnu 2005.

Tab. 1. Účinnost kořenové čistírny odpadních vod Kotečnice v průběhu let 1995 – 2011.

Rok	BSK5 (mg.L <sup>-1</sup> )		CHSK (mg.L <sup>-1</sup> )		NL (mg.L <sup>-1</sup> )	
	Nátok	Odtok	Nátok	Odtok	Nátok	Odtok
1995	488	18	1301	114	408	6
1996	620	19		106	676	20.4
1997		46		86		13.8
1998		23.3		125		20.1
1999		72		48		22.1
2000		20.6		30.2		74
2001	89	8.3	206	87		20.1
2002	677	21.4	98	35	19	10
2003	192	2.4	349	103	22	2.5
2004	155	20.3	293	81	121	11.6
2005	120	17	309	71	84	7
2006	331	23.3	670	72	71	6
2007	265	30	608	90	390	3
2008	300	34	494	97	231	4.7
2009	485	36.8	896	63	195	3.5
2010	285	18.5	808	57	865	7.7
2011	108	28	304	59	177	7

#### Projekt přestavby kořenové čistírny

Přestavba kořenové čistírny zahrnovala jak doplnění nových prvků systému čištění odpadních vod tak úpravu stávajících. Odpadní voda je z oddílné kanalizace vedena přes nové mechanické předčištění - štěrbínovou nádrž a původní septik (Obr. 2, 3). Kaly z mechanického předčištění budou odvodňovány v kalových polích (Obr. 4). Nová úprava

kořenové čistírny odpadních vod Kotenčice zahrnuje čtyři nezávislé toky, které se liší v kombinaci horizontálních (HF) a vertikálních (VF) kořenových filtrů (Obr. 2, 5, 6., Tab. 2-4):

- Tok A – HF-VF-HF (Tab. 2)
- Tok B – HF-HF-VF-HF (Tab. 3)
- Tok C – HF (pulzní)-HF (Tab. 4)
- Tok D – HF-HF-VF-VF (Tab. 5)

Jednotlivá opatření testovaná v rámci výzkumného projektu představují:

- a) úpravu a změnu, vybavení a technologií v kořenových čistírnách;
- b) novou koncepci uspořádání vegetační kořenové čistírny - třístupňové uspořádání;
- c) v kombinaci vegetačních kořenových čistíren s jinými přírodními způsoby čištění.

#### Ad a) Úpravy objektů a změna vybavení a technologií

Jednotlivá opatření realizovaná v rámci výzkumného projektu spočívají především:

- v intenzifikaci mechanického předčištění (zařazení nových prvků – šterbinová nádrž);
- ve využití nových filtračních materiálů a modifikací s úzkým zaměřením na materiály schopné poutat fosfor, amoniak a těžké kovy v porézním filtračním prostředí - jedná se především o různé druhy strusek;
- v nových konstrukčních uspořádáních jednotlivých stavebních částí kořenových filtrů (polí) umožňující rovnoměrné rozdělování vody, citlivou regulaci výšek hladiny apod.;
- ve změnách v rozvodu a rozdělování vody, zejména se zaměřením na postupné plnění nebo vyprázdňení části filtračního pole - tímto uspořádáním se omezí nebezpečí zakolmatování filtračního lože a snižuje se počáteční zatížení porézního filtračního prostředí;
- optimalizaci kyslíkového režimu, která spočívá v různých možnostech aerace buď přímo ve filtračním poli nebo na výtoku z KČOV.

#### Ad b) Nová koncepce uspořádání vegetačních kořenových čistíren

Nové koncepční uspořádání vegetační kořenové čistírny zahrnuje:

- 1) Kaskádovité uspořádání kořenových filtrů (KF) s vertikálním průtokem směrem dolů a impulzním prázdňením a KF s horizontálním průtokem a podpovrchovým průtokem. Uspořádání povede ke zvýšení příjmu kyslíku, snížení nebezpečí zakolmatování a zvýšení čistícího účinku.
- 2) Kombinace horizontálně podpovrchově protékaného KF s vertikálně protékaným KF; v prvních nádržích probíhá anaerobní režim, ve vertikálních nádržích s impulzním plněním je režim aerobní s nitrifikací amoniaku.
- 3) Střídání anaerobních procesů čištění s řízeným průběhem procesu nitrifikace a denitrifikace.

Ad c) Kombinace vegetačních kořenových čistíren s jinými přírodními způsoby čištění

Kombinace KČOV s jinými přírodními způsoby čištění odpadních vod v rámci projektu představuje kombinaci KČOV s dočišťovacím rybníkem a terciárním stupněm, který zahrnuje kultivaci řas ve fotoreaktorech a rostlin v hydroponických systémech.

Tab. 2. Základní návrhové parametry – tok A (detaily viz. Tab. 5).

Stupeň	Plocha (m <sup>2</sup> )	Hloubka (m)		Filtreační materiál*	Rostliny**	HLR (cm.d <sup>-1</sup> )
		min.	max.			
HFa1	73	0,80	1,03	(c)	Nátoková zóna (2-3 m) (2); následuje (1)	8,6
VFa1	69	1,55	1,70	(a); (b); (c); (d)	Primárně (2) v kombinaci s (5) a (6)	22,2
HFa2	84	0,90	1,10	(c); (e)	(1)	8,6

Tab. 3. Základní návrhové parametry – tok B (detaily viz. Tab. 5).

Stupeň	Plocha (m <sup>2</sup> )	Hloubka (m)		Filtreační materiál*	Rostliny**	HLR (cm.d <sup>-1</sup> )
		min.	max.			
HFb1	71	1,05	1,20	(c)	(1)	22,9
HFb2	73	1,05	1,20	(c)	(1)	23,9
VFb1	69	1,30	1,38	(a); (b); (c); (d)	Primárně (2) v kombinaci s (5) a (6)	22,3
HFb3	84	0,90	1,10	(c) (První 2/3); (d) (Poslední 1/3)	(1)	16,4

Tab. 4. Základní návrhové parametry – tok C (detaily viz. Tab. 5).

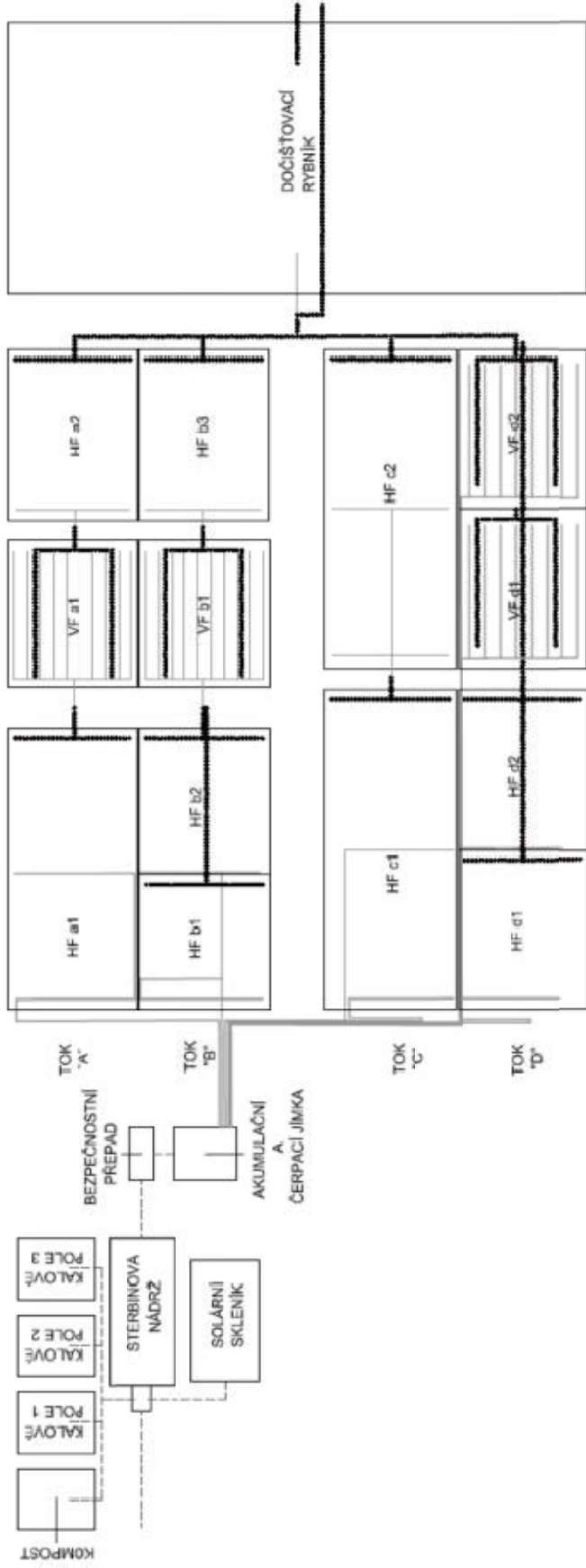
Stupeň	Plocha (m <sup>2</sup> )	Hloubka (m)		Filtreační materiál*	Rostliny**	HLR (cm.d <sup>-1</sup> )
		min.	max.			
HFc1a	78	0,85	1,20	(c)	Nátoková zóna (2-3 m) (2); následuje (1)	8,2
HFc2a	73	0,90	1,20	(c) (První 2/3); (d) (Poslední 1/3)	Nátoková zóna (2-3 m) (2); následuje (1)	9,2

Tab. 5. Základní návrhové parametry – tok D.

Stupeň	Plocha (m <sup>2</sup> )	Hloubka (m)		Filtreační materiál*	Rostliny**	HLR (cm.d <sup>-1</sup> )
		min.	max.			
HFd1	75	0,85	1,05	(c)	Směs (1-6)	19,9
HFd2	78	1,10	1,25	(c)	Směs (1-6)	19,8
VFd1	76	1,30	1,50	(a); (b); (c); (d)	(4)	23,3
VFd2	86	1,30	1,50	(a); (b); (c); (d)	(2)	19,1

\* (a) Praný štěrk 2/4mm (ochranný materiál); (b) Praný štěrk 4/8mm, porozita: 0,45; (c) Praný štěrk 8/16mm, porozita: 0,44; (d) Praný štěrk 32/63mm, porozita: 0,46; (e) Struska 8/16mm, porozita: 0,51

\*\* (1) rákos obecný (*Phragmites australis*), (2) chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*), (3) kosatec sibiřský (*Iris sibirica*), (4) zblochan vodní (*Glyceria maxima*), (5) kosatec žlutý (*Iris pseudacorus*), (6) kyprej vrbice (*Lythrum salicaria*)



Obr. 2. Kořenová čistírna odpadních vod Kotenčice (není uvedeno v měřítku); --- rozvodné potrubí; - - - drenážní potrubí; \_ \_ \_ rozdělovací potrubí, kalová pole – odvodnění kalu



Návrh uspořádání KČOV Kotečnice vychází z požadavků výzkumného projektu Biostream, jehož cílem je nalézt optimální uspořádání a dimenzování kořenových čistíren, a tak systém poskytuje široké možnosti porovnání čistící účinnosti jednotlivých stupňů systému a stanovení jejich optimální kombinace. Na základě výsledků dlouhodobého monitoringu budou sumarizovány pokyny a doporučení pro Českou republiku. Vedle obvykle navrhovaných HF a VF kořenových filtrů, návrh rovněž zahrnuje pulzně plněná a prázdňená filtrační pole.



**Obr. 3. Štěrbinová nádrž – KČOV Kotečnice.**



**Obr. 4. Kalová pole - KČOV Kotečnice.**



Obr. 5. Horizontální kořenový filtr Tok A - KČOV Kotenčice (září 2012).



Obr. 6. Vertikální kořenový filtr Tok D - KČOV Kotenčice (září 2012).

## Závěr

Kořenová čistírna odpadních vod Kotenčice byla uvedena do provozu v roce 1994. Byla navržena dle v té době dostupných poznatků jako jeden horizontální filtr. I přes stále vyhovující čistící účinnost zejména pro organické znečištění a nerozpuštěné látky docházelo v poslední době v první třetině filtračního pole ke vzniku povrchového toku vlivem kolmatace nátokové zóny. Tento jev v kombinaci s blížící se změnou legislativy zpřísňující limity pro koncentrace fosforu na odtoku ze zařízení, přispěl k rozhodnutí čistírnu zrekonstruovat.

Rekonstrukce byla provedena v rámci výzkumného projektu, a tudíž systém poskytuje i prostor pro výzkumnou činnost v poloprovozním až provozním měřítku.

Návrh nového systému zahrnuje čtyři samostatné nezávislé toky s různými kombinacemi horizontálních a vertikálních kořenových filtrů. Mezi očekávané výsledky projektu patří získání podkladů pro návrh a dimenzování nových kořenových čistíren odpadních vod v České republice.

## Literatura

Bavor, H.J., Roser, D.J., and McKersie, S., 1987 Nutrient removal using shallow lagoon-solid matrix macrophyte systems. *Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery*, K.R. Reddy and W.H. Smith, (eds.), Magnolia Publishing, Orlando, Florida, pp. 227-235.

Fonder, N., and Xanthoulis, D., 2007 Removal processes and their distribution inside a subsurface horizontal flow constructed wetland. *Proc. Internat. Conf. Multi Functions of Wetland Systems*, M. Borin and S. Bacelle, eds., P.A.N. s.r.l., Padova, Italy, pp. 60-61.

Kadlec, R.H. 2007 Comparison of Free Water and Horizontal Subsurface Wetlands to Treat Nutrients and Pollutants. In: Mander, Ü., Koiv, M., and Vohla, Ch. Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis 104. *2nd Intern. Symposium WETPOL 2007*. Tartu, Estonia: Inst. of Geography, Univ. Of Tartu, 9–11.

Kadlec, R.H., Knight, R.L., Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P., and Haberl, R. 2000 *Constructed Wetlands for Pollution Control*. Scientific and Technical Report No. 8. London: IWA Publishing.

Mitchell, C. and McNevin, D. 2001 Alternative analysis of BOD removal in subsurface flow constructed wetlands employing Monod kinetics. *Water Research*, 35(5), 1295–1303.

Vymazal, J. 2003 Distribution of iron, cadmium, nickel and lead in a constructed wetland receiving municipal sewage. In: *Wetlands – Nutrients, Metals and Mass Cycling*, J. Vymazal, ed., Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, 341-363.

Vymazal, J., 2010. Constructed wetlands in the Czech Republic: 20 years of experience. In: *Water and Nutrient Management in Natural and Constructed Wetlands*, Vymazal, J. (ed.), Springer Science and Business Media B.V., Dordrecht, The Netherlands, 169-178.