

SEZÓNŇNÍ DYNAMIKA TĚŽKÝCH KOVŮ V BIOMASE CHRATICE RÁKOSOVITÉ NA KOŘENOVÉ ČISTÍRNĚ ODPADNÍCH VOD

Tereza Březinová²⁸, Jan Vymazal²⁹

Abstrakt

Na kořenové čistírně odpadních vod, která byla navržena pro čištění městského odpadu, probíhalo studium sezónní dynamiky těžkých kovů v nadzemní biomase chřastice rákosovité. Vzorky biomasy a odpadní vody byly odebírány v jedno- až dvouměsíčních intervalech v období květen 2011 - březen 2012. Pomocí metody ISP-OES byly ve vzorcích stanoveny koncentrace těžkých kovů - Cd, Cu, Cr, Ni, Pb a Zn. Ze získaných koncentrací a známého množství biomasy na m² bylo vypočítáno celkové množství kovu na m², tzv. standing stock. U čtyř prvků (Cd, Ni, Pb a Zn) byl pozorován vyšší záchyt v nadzemních částech rostlin na počátku růstové sezóny. Naproti tomu u Cu a Cr byl standing stock vyšší v druhé polovině růstové sezóny. Z uvedených výsledků vyplývá, že jednotlivé těžké kovy jsou do nadzemních částí chřastice rákosovité transportovány v různých obdobích růstové sezóny. Tyto informace mohou výrazně přispět k efektivnější eliminaci těžkých kovů z odpadní vody – cílenou sklizní biomasy kořenové čistírny v závislosti na ročním období.

Úvod

Kořenové čistírny odpadních vod jsou navrhovány jak v České republice, tak v ostatních zemích především pro odstraňování organických a nerozpuštěných látek. Díky tomu jsou tyto procesy velmi dobře popsány (Kadlec et Wallace, 2008; Vymazal, 2010; Vymazal et Kröpfelová, 2008). Rovněž eliminace dusíku a fosforu je v literatuře dobře dokumentována, přestože tento děj není hlavním cílem kořenových čistíren (Vohla et al., 2005; Vymazal, 2007; Kadlec et Wallace, 2008; Vymazal et Kröpfelová, 2008, 2009). Naproti tomu, stopové prvky včetně těžkých kovů a některých dalších rizikových prvků v kořenových čistírnách nejsou sledovány prakticky vůbec. Ve většině případů se uváděné údaje omezují pouze na účinnost odstraňování omezeného počtu těžkých kovů, jako je olovo, zinek, měď, kadmium, chrom nebo nikl (např. Gersberg et al., 1984; Obarska-Pempkowiak, 2003; Vymazal, 2003; Vymazal et Krása, 2003). Poznatky o dalších rizikových prvcích jsou velmi omezené (Kröpfelová et al., 2009). Informace popisující vliv vegetace na odstraňování rizikových prvků z odpadní vody v kořenových čistírnách v odborné literatuře rovněž prakticky chybí a k dispozici je pouze malé množství výsledků, které vyjadřují koncentrace těžkých kovů v biomase rákosu obecného (*Phragmites australis*) (např. Obarska-Pempkowiak, 2001; Lesage, 2007a,b; Vymazal, 2003, Vymazal et Krása, 2003), případně chřastice rákosovité (*Phalaris arundinacea*) (Vymazal et al., 2007). Ve většině případů je však hodnocení založeno na jednorázovém odběru v době vrcholu vegetačního období dané rostliny.

²⁸ Ing. Tereza Březinová, Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Katedra aplikované ekologie, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 - Suchbát, tel. 22438 3862, e-mail: brezinovat@knc.czu.cz

²⁹ prof. Ing. Jan Vymazal, CSc., Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Katedra aplikované ekologie, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbát, tel. 22438 6204, e-mail: vymazal@knc.czu.cz

Problematice sezónní dynamiky se věnovali Vymazal et al. (2010), kteří porovnávali množství kumulovaných stopových prvků v biomase chrastice rákosovité při jedné a opakované seči, a Bragato et al. (2006, 2009), kteří sledovali sezónní dynamiku vybraných těžkých kovů v umělých mokřadech s povrchovým tokem, které byly navrženy na zlepšení kvality vody v řekách Po a Bacchiglione v severní Itálii. Zmíněné experimenty však ani v jednom případě nezahrnovaly rozbor stařiny.

Předmětem této práce, bylo určit sezónní dynamiku těžkých kadmia (Cd), mědi (Cu), chromu (Cr), niklu (Ni), olova (Pb) a zinku (Zn) v nadzemní biomase chrastice rákosovité na kořenové čistírně odpadních vod, a to jak v průběhu vegetační sezóny, tak ve stařině, tj. v průběhu celého kalendářního roku. Tyto informace přispějí k určení doby, kdy je v nadzemní biomase akumulováno maximální množství daného prvku, tedy doby, kdy je vhodné tuto biomasu z kořenové čistírny sklízet.

Metodika

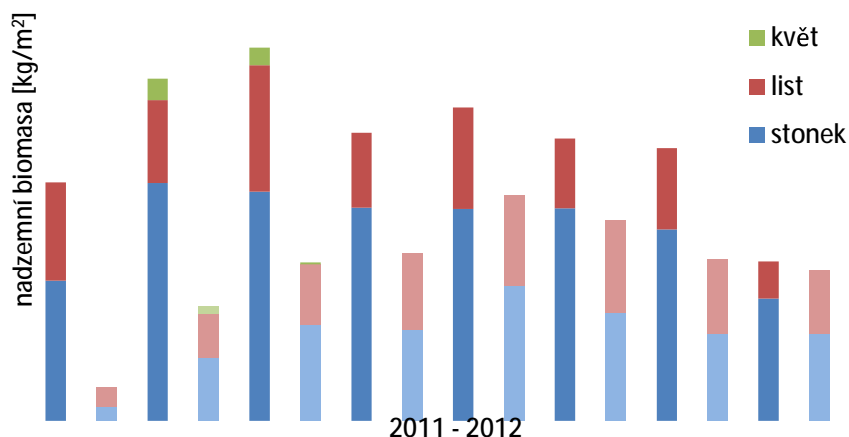
Pro studium sezónní dynamiky byla vybrána chrastice rákosovitá, která společně s rákosem obecným představuje nejčastěji využívanou rostlinu kořenových čistíren České republiky (Vymazal et al., 2007). Jako výzkumná lokalita byla zvolena kořenová čistírna odpadních vod v Čičenicích. Obec se nachází v Jižních Čechách v blízkosti města Vodňany. Čistírna je charakteristická kvalitním porostem chrastice rákosovité a je dimenzována pro 480 obyvatel. Celková plocha 2400 m² je rozdělena na čtyři stejně velká pole. Výzkum probíhal na jednom poli s vlastním přítokem i odtokem odpadní a přečištěné vody. Na této ploše byla v měsíčních až dvouměsíčních intervalech (V/2011 - III/2012) stanovována nadzemní biomasa, a to na čtyřech místech na přítoku a čtyřech místech na odtoku z čistírny. Pro odběr byla využita plocha 0,25 m² (0,5 x 0,5 m), což je plocha dostačující pro homogenní porosty (Vymazal et Kröpfelová, 2009). Odebraná biomasa byla rozdělena na listy, stonky popř. květy a vysušena do konstantní hmotnosti při 60 °C. Ve vzorcích biomasy, které byly odebírány na třech místech na přítoku a na třech místech na odtoku čistírny, byly pomocí metody ICP-OES (optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem) stanoveny těžké kovy (Cd, Cu, Cr, Zn, Pb, Ni). Na základě koncentrací jednotlivých prvků v biomase a sušiny nadzemní biomasy v době odběru byl určen, tzv. standing stock, tj. množství daného prvku na jednotkové ploše. Na kořenové čistírně byly rovněž pravidelně odebírány vzorky odpadní vody na přítoku a na odtoku studovaného pole a ve vzorcích byly sledovány shodné těžké kovy jako v biomase.

Výsledky a diskuze

Nadzemní biomasa

Množství nadzemní biomasy sklizené na kořenové čistírně vztážené na 1 m² v průběhu kalendářního roku je zachyceno na Obr. 1. Množství biomasy na přítoku vzrůstá v období květen až červenec, kdy dosahuje svého maxima (1,608 +/- 0,354) a dále pozvolně klesá. Hodnota nejvyššího nárůstu je odpovídající hodnotám z jiných kořenových čistíren (např. Vymazal et al., 2010). Množství biomasy sledované na odtoku roste do září, kdy dosahuje nejvyšších hodnot (0,972 +/- 0,244) a následně klesá. Celkově byl na odtoku sledován nižší nárůst biomasy, než na přítoku. To je pravděpodobně ovlivněno samotnou podstatou čistírny. Na přítoku vytváří odpadní voda bohatá na živiny výhodné podmínky pro

růst rostliny. Naproti tomu, po průchodu vody čistírnou dochází ke ztrátě organických látek a živin (jak je velmi dobře zdokumentováno, např. Kadlec et Wallace, 2008; Vohla et al., 2005; Vymazal, 2007) a v odtokové zóně tak vznikají podmínky méně vhodné pro růst.



Obr. 1 Množství nadzemní biomasy chřastice rákosovité sklizené na kořenové čistírně odpadních vod v období květen 2011 - březen 2012. Množství biomasy je vyjádřeno jako kg sušiny na 1 m² plochy kořenové čistírny.

Těžké kovy v odpadní vodě

Ve vzorcích odpadní vody, které byly odebrány osmkrát během roku, byly pomocí metody ICP-OES stanoveny těžké kovy. Ze získaných koncentrací byla vypočtena průměrná hodnota pro přítok a odtok z čistírny (Tab. 1). Z těchto výsledků je patrné, že koncentrace těžkých kovů v odpadní vodě přitékající na čistírnu jsou nízké, např. ve srovnání s přirozenými mokřady či průmyslovou odpadní vodou. Vymazal et al. (2007) sledovali průměrnou koncentraci shodných prvků na přítoku a odtoku u čtyř kořenových čistíren v období 2002-2004. Koncentrace stanovili v těchto rozmezích (přítok/odtok): Cd 4,2-0,15/0,9-0,2; Cr 8,9-0,5/21-2,8; Cu 31-7,4/36-2,0; Ni 52-1,7/35-4,6; Pb 41-3,5/ 41-2,0; Zn 280-73/46-6,5 µg/l. Průměrné hodnoty koncentrací těžkých kovů v odpadní vodě v Čičenicích (Tab. 1) spadají do těchto rozmezí, přičemž ve většině případů se drží při jejich spodní hranici. To splňuje naše očekávání, neboť se nepředpokládá, že by odpady z malých vesnic obsahovaly zvýšené koncentrace těžkých kovů (Vymazal et al., 2007).

Tab. 1 Průměrné hodnoty koncentrace těžkých kovů na přítoku a odtoku kořenové čistírny. AVG=průměrná hodnota (n=8), SD=směrodatná odchylka

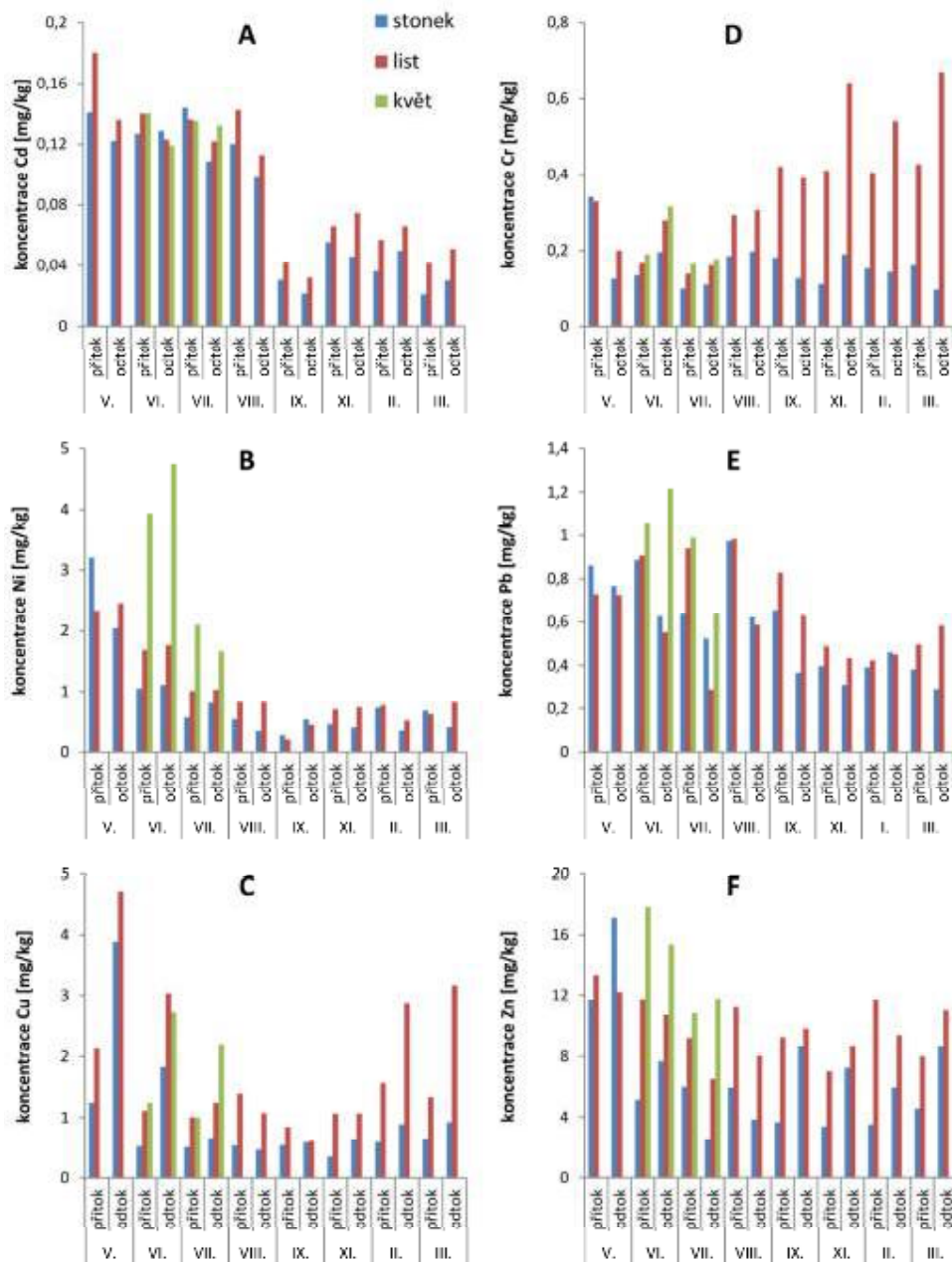
		Zn	Cu	Pb	Ni	Cr	Cd
		µg/l					
Přítok	AVG	26,402	5,737	4,490	2,825	0,911	0,807
	SD	11,785	3,152	0,939	0,382	0,336	0,366
Odtok	AVG	12,832	3,832	3,203	2,142	0,753	0,733
	SD	6,876	2,492	2,275	1,773	0,163	0,843

Akumulace těžkých kovů v nadzemní biomase

Koncentrace Cd (Obr. 2 – A) v listech, stoncích, popř. květech byly poměrně vyrovnané, přičemž nejvyšších hodnot dosahovaly v období květen až srpen 2011. Poté došlo k prudkému poklesu, který trval až do března 2012. Nejvyšší množství akumulovaného Cd

v nadzemních částech biomasy tzv. standing stock (Tab. 2) bylo pozorováno v červenci (0,227 +/- 0,043). Z výsledků je možné usoudit, že doba vhodná pro sklizeň nadzemní biomasy za účelem efektivního odstranění Cd z kořenové čistírny připadá právě na toto období - počátek až vrchol růstové sezóny.

Ke shodným závěrům dospěli i Vymazal et al. (2010). Ve své práci srovnávali množství akumulovaných stopových prvků v biomase chrastice rákosovité při jedné a opakované sklizni. Rostliny byly sečeny nejprve v polovině června a opakovaně v polovině srpna. Jednotná sklizeň byla provedena na konci července – tedy na vrcholu růstové sezóny chrastice. U 10 z celkem 23 studovaných prvků vč. Cd, a Zn byla akumulace těchto prvků vyšší při opakované sklizni. Tyto kovy jsou pravděpodobně transportovány do nadzemních částí rostliny na počátku růstové sezóny a jejich časně či opakované sklizení může vést k efektivnější eliminaci těžkých kovů z odpadní vody.



Obr. 2 Koncentrace těžkých kovů v nadzemní biomase chrastice rákosovité. Koncentrace jsou vyjádřeny jako mg kovu na kg sušiny.

Podobný průběh můžeme pozorovat i u Ni a Cu. V případě Ni (Obr. 2 - B) byly nejvyšší koncentrace v listech a stoncích pozorovány na počátku růstové sezóny a dále docházelo k jejich poklesu. Rovněž nejvyšší standing stock byl zaznamenán v květnu. Naproti tomu, koncentrace Ni v květech dosahovala maxima v druhém měsíci sledování, tedy v červnu. Vzhledem k tomu, že květy dosahují pouze nízkých hodnot sušiny na m^2 , nemá tento jev na výsledný standing stock významný vliv. Standing stock je vyjádřen jako množství biomasy násobené koncentrací kovu, přičemž množství biomasy má na jeho výslednou hodnotu významnější vliv, neboť je během růstové sezóny více variabilní (Vymazal et Kropfelová, 2008; Vymazal et al., 2010).

Tab. 2 Průměrné množství těžkých kovů v nadzemní biomase chrastice rákosovité (standing stock).
AVG=průměrná hodnota (n=3), SD=směrodatná odchylka

		V		VI		VII		VIII	
		přítok	odtok	přítok	odtok	přítok	odtok	přítok	odtok
Cd	AVG	0,161	0,019	0,176	0,061	0,227	0,078	0,157	0,075
	SD	0,041	0,001	0,023	0,003	0,043	0,001	0,03	0,005
Cr	AVG	0,346	0,024	0,215	0,117	0,185	0,007	0,266	0,178
	SD	0,084	0,002	0,064	0,01	0,003	0,089	0,104	0,031
Cu	AVG	1,644	0,624	1,045	1,163	1,122	0,609	0,939	0,532
	SD	0,204	0,032	0,115	0,315	0,22	0,03	0,152	0,071
Ni	AVG	2,919	0,326	2,04	0,792	1,27	0,614	0,764	0,406
	SD	0,164	0,028	0,237	0,199	0,166	0,165	0,186	0,033
Pb	AVG	0,828	0,106	1,333	0,315	1,216	0,297	1,211	0,436
	SD	0,304	0,004	0,192	0,053	0,368	0,175	0,188	0,116
Zn	AVG	12,704	2,029	11,127	4,629	11,77	2,822	9,093	4,143
	SD	0,594	0,122	1,812	1,456	2,465	0,227	2,041	0,345
		IX		XI		II		III	
		přítok	odtok	přítok	odtok	přítok	odtok	přítok	odtok
Cd	AVG	0,040	0,025	0,071	0,051	0,050	0,040	0,015	0,025
	SD	0,027	0,004	0,02	0,015	0,011	0,007	0,002	0,001
Cr	AVG	0,298	0,226	0,225	0,259	0,267	0,226	0,153	0,219
	SD	0,052	0,013	0,068	0,119	0,046	0,053	0,033	0,019
Cu	AVG	0,859	0,501	0,638	0,718	0,853	1,246	0,550	1,208
	SD	0,036	0,122	0,119	0,172	0,362	0,698	0,080	0,432
Ni	AVG	0,344	0,487	0,63	0,48	0,869	0,295	0,458	0,376
	SD	0,158	0,199	0,392	0,085	0,409	0,068	0,123	0,019
Pb	AVG	0,96	0,46	0,51	0,317	0,471	0,316	0,28	0,268
	SD	0,146	0,201	0,126	0,174	0,104	0,079	0,071	0,079
Zn	AVG	4,923	7,581	5,217	6,821	7,011	5,213	3,678	6,246
	SD	0,659	2,736	1,023	1,381	1,527	1,810	1,114	1,570

U Cu bylo pozorováno, že na konci růstové sezóny dochází k výraznému zvýšení koncentrace v listech (Obr. 2 - C), především v odtokové zóně čistírny. Stejný jev popisují i Bragato et al. (2009). V období červenec – prosinec 2002 sledovali akumulaci Cu, Zn, Ni a Cr v biomase rákosu obecného v umělém mokřadu, který byl navržen pro zlepšení kvality vody řeky Po v severní Itálii. Akumulace těchto prvků v listech se výrazně zvýšila v prosinci. Rostliny tedy patrně disponují mechanismem aktivním na konci růstové sezóny, který dokáže některé těžké kovy transportovat do stárnuoucích orgánů a tím kovy eliminovat. Vzhledem k vysokým hodnotám koncentrací v závěru sezóny byly i hodnoty celkového množství Cu v nadzemní biomase v průběhu roku poměrně vysoké (Tab. 2). Proto je možné doporučit sklizení biomasy i v pozdějším období.

Zmíněný jev byl ve vyšší míře pozorován u Cr (Obr. 2 - D), kde docházelo ke zvyšování koncentrace v listech již v srpnu a maximálních hodnot bylo dosaženo na konci sezóny. Sklizeň biomasy za účelem eliminace Cr z odpadní vody je tedy vhodné doporučit především v druhé polovině sledovaného období. K tomuto závěru dospěli i Vzmazal et al. (2010). V již zmiňované práci sledoval u 13 prvků vč. Cr, Cu, Ni a Pb vyšší míru akumulace v nadzemní

biomase při jednotné sklizni. To naznačuje, že tyto prvky jsou transportovány do nadzemních částí rostliny v pozdější růstové sezóně.

V našem případě však Pb, stejně jako Ni, zmíněné chování neprokazovalo. Koncentrace olova (Obr. 2 - E) byla jak v listech, tak stoncích popř. květech vyšší v první polovině sledované sezóny. Díky tomu i výsledné hodnoty standing stock (Tab. 2) byly vyšší v této době. Sklizeň biomasy tedy přichází v úvahu v měsících květen – září.

Koncentrace Zn (Obr. 2 - F) byly v průběhu roku poměrně vysoké. Mezi jednotlivými měsíci nebyl pozorován výrazný rozdíl. Ve všech případech bylo více Zn koncentrováno v listech, přičemž v druhé polovině sezóny byl tento rozdíl patrnější. Je tedy možné říci, že Zn je transportován do stárnoucích listů, tak jak tvrdí Bragato et al. (2009). Vzhledem k vysokým koncentracím v průběhu celého roku je výsledný standing stock (Tab. 2) ovlivněn především průběhem růstu nadzemní biomasy. Nejvyšší hodnoty jsou tedy dosahovány na vrcholu růstové sezóny, kdy je i vhodné biomasu sklízet. Tomu odpovídají i výsledky již zmiňované práce Vymazala et al. (2010).

Závěr

- Množství těžkých kovů, které je možné z čistírny eliminovat sklizní nadzemní biomasy je silně ovlivněno nárůstem biomasy.
- Pro kadmium, zinek, nikl a olovo byl jako vhodná doba sklizně doporučen začátek sledovaného období, tedy doba nejvyššího nárůstu biomasy.
- Chrom a měď je pravděpodobně možné sklízet v druhé polovině sledovaného období.
- Koncentrace těžkých kovů v odpadní vodě přitékající na kořenovou čistírnu určenou pro čištění městské odpadní vody jsou podle očekávání nízké.

Literatura

BRAGATO, C., BRIX, H., MALAGOLI, M. Accumulation of nutrients and heavy metals in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel and *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla in a constructed wetland of the Venice lagoon watershed. *Environmental Pollution*. 2006, č. 144, s. 967-975.

BRAGATO, C., SCHIAVON, M., POLESE, R., ERTANI, A., PITTARELLO, M., MALAGOLI, M. Seasonal variation of Cu, Zn, Ni and Cr concentration in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel in a constructed wetland of North Italy. *Desalination*. 2009, č. 246, s. 35-44.

GERSBERG, R.M., LYON, S.R., ELKINS, B.V., GOLDMAN, C.R. The removal of heavy metals by artificial wetlands. In: Proc. Conf. Future of Water Use. 1984, AWWA Research Foundation, Denver, Colorado, s. 639-648.

KADLEC, R.H., WALLACE, S.D. Treatment Wetlands. 2. vydání. 2008, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

KRÖPFLOVÁ, L., VYMAZAL, J., ŠVEHLA, J., ŠTÍCHOVÁ, J. Removal of trace elements in three horizontal sub-surface flow constructed wetlands in the Czech Republic. *Environmental Pollution*. 2009, č. 157, s. 1186-1194.

LESAGE, E., ROUSSEAU, D.P.L., MEERS, E., TACK, F.M.G., PAUW, N.D. Accumulation of metals in a horizontal subsurface flow constructed wetland treating domestic wastewater in Flanders, Belgium. *Science of the Total Environment*. 2007a, č. 380, s. 102-115.

LESAGE, E., ROUSSEAU, D.P.L., MEERS, E., VAN DE MOORTELE, A.M.K., DU LAING, G., TACK, F.M.G., PAUW, N.D., VERLOO, M.G. Accumulation of metals in the sediment and reed biomass of a combined constructed wetland treating domestic wastewater. *Water Air Soil Pollution*. 2007b, č. 183, s. 253-264.

OBARSKA-PEMKOWIAK, H. Retention of selected heavy metals: Cd, Cu, Pb in a hybrid wetland system. *Water Science and Technology*. 2001, č. 44, s. 463-8.

OBARSKA-PEMPKOWIAK, H. Removal and retention of selected heavy metals in components of a hybrid wetland system. In: Mander, Ü. a Jenssen, P. (eds.), *Constructed Wetlands for Wastewater treatment in Cold Climates*. 2003, WIT Press, Southampton, UK, s. 299-309.

VOHLA, C., POLDVERE, E., NOORVEE, A., KUUSEMETS, V., MANDER, Ü. Alternative filter media for phosphorous removal in a horizontal subsurface flow constructed wetland. *Journal of Environmental Science and Health*. 2005, č. 40, s. 1251-1264.

VYMAZAL, J. Distribution of iron, cadmium, nickel and lead in a constructed wetland receiving municipal sewage. In: Vymazal J., [ed]: *Wetlands – nutrients, metals and mass cycling*. Leiden: Backhuys Publishers. 2003, s. 341-363.

VYMAZAL, J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*. 2007, č. 380, s. 78-65.

VYMAZAL, J. Constructed wetlands in the Czech Republic: 20 years of experience. In: Vymazal, J. [ed.] *Water and nutrient management in natural and constructed wetlands*. Springer Science+ Business Media. 2010, Dordrecht, Nizozemí, s.169-178.

VYMAZAL, J., KRÁSA, P. Distribution of Mn, Al, Cu, and Zn in a constructed wetland receiving municipal sewage. *Water Science and Technology*. 2003, č. 48, s. 299-305.

VYMAZAL, J., KRÖPFELOVÁ, L. *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*. Springer. 2008, Dordrecht, Nizozemí.

VYMAZAL, J., KRÖPFELOVÁ, L. Removal of nitrogen in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: A review. *Wetlands*. 2009, č. 29, s. 1114-1124

VYMAZAL, J., KRÖPFELOVÁ, L., ŠVEHLA, J., ŠTÍCHOVÁ, J. Can multiple harvest of aboveground biomass enhance removal of trace elements in constructed wetlands receiving municipal sewage? *Ecological Engineering*. 2010, č. 36, s. 939-945.

VYMAZAL, J., ŠVEHLA, J., KRÖPFELOVÁ, L., CHRASTNÝ, V. Trace metals in *Phragmites australis* and *Phalaris arundinacea* growing in constructed and natural wetlands. *Science of the Total Environment*. 2007, č. 380, s. 154-162.