

## ODSTRAŇOVÁNÍ AMONIAKU FILTRAČNÍMI SYSTÉMY

Michal Kriška<sup>4</sup>, Pavel Menšík<sup>5</sup>, Miroslava Němcová<sup>6</sup>, Tereza Fialová<sup>7</sup>

### Abstrakt

Technologie filtračních systémů pro účely čištění odpadních vod je jedním z nejstarších popsaných přístupů. Filtrační systémy, jak je známe dnes, lze rozdělit na umělé nebo přírodní, jejímž principem je využití co možná nejvíce přirozených pochodů v přírodě probíhajících, co nejméně vložené elektřiny a složitějších technologických zařízení. Referát se soustředí na zkušenosti z testování několika filtračních kolon, popisuje simulování filtračních procesů v prostředí matematického předpovědního modelu, v poslední části je představen vyvinutý software, sloužící projektantům a provozovatelům filtračních systémů pro náhled do vnitřního prostoru filtračního prostředí. Jako velice podstatné pro výsledné odtokové parametry se ukazuje uspořádání filtrů, kdy je potřeba citlivě volit vodou nasycené filtrační prostředí nebo vlhký (nenasycený) skrápěný filtr. Výsledky už jen na základě změny typu prostředí jsou diametrálně odlišné.

### Úvod

V současné době je přístupováno k přirozeným filtračním technologiím, mezi které patří zejména kořenové čistírny a zemní filtry, dvěma v zásadě odlišnými přístupy. Vždy je třeba ale respektovat a pochopit princip filtračních zařízení. Není možné očekávat dlouhodobě provozně spolehlivý filtr, který je extrémně zatěžován vysokými koncentracemi nerozpuštěných látek. U takto provozovaného filtru se může bezprostředně po zahájení provozu projevit proces kolmatace filtračního materiálu, tedy postupného ucpávání pórů v materiálu, neboli vyplňování pórů jemnými a usaditelnými látkami. V případě uplatnění filtru jako čistící jednotky pro splaškové vody představují nerozpuštěné látky převážně organické znečištění. Největší rizika, spojená s ucpáváním filtračních náplní, jsou spojená s mechanickým předčištěním, které musí být předřazeno samotnému filtru. Mezi nejpoužívanější typy mechanického předčištění se řadí septiky (většinou do 50 EO, teoreticky možné neomezeně – je to otázka investičních prostředků) nebo štěrbínové usazovací nádrže (v České republice pro většinu kořenových čistíren v rozmezí 50 – 2000 EO). V praxi mohou nastat dva případy, kdy s jistotou dojde k ucpání filtrů:

- Mechanické předčištění je poddimenzované – vícekomorový septik je zvolen menší, proudění v septiku dosahuje vyšších rychlostí, dochází k vyplavování usazených kalových částic. V případě poddimenzované usazovací nádrže nedochází k dostatečnému zdržení

---

<sup>4</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: [kriška.m@fce.vutbr.cz](mailto:kriška.m@fce.vutbr.cz)

<sup>5</sup> Ing. Pavel Menšík, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny, Veveří 95, 602 00 Brno, tel. 541147773, e-mail: [mensik.p@fce.vutbr.cz](mailto:mensik.p@fce.vutbr.cz)

<sup>6</sup> Bc. Miroslava Němcová, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny, Veveří 95, 602 00 Brno, tel. 541147778, e-mail: [NemcovaM1@study.fce.vutbr.cz](mailto:NemcovaM1@study.fce.vutbr.cz)

<sup>7</sup> Ing. Tereza Fialová, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny, Veveří 95, 602 00 Brno, tel. 541147778, e-mail: [Fialova.T@email.cz](mailto:Fialova.T@email.cz)

vody v sedimentačním prostoru, čímž se dostávají nerozpuštěné látky do odtokového prostoru.

- Mechanické předčištění je špatně provozované – situace, kdy při jakémkoliv druhu mechanického předčištění není toto zařízení včas odkalováno. Jedná se o pravidelné vyvážení septiků a odkalování usazovacích nádrží.

Pakliže dochází k postupnému usazování nerozpuštěných látek organického původu ve filtrační náplni, kde je uplatněno podpovrchové proudění vody (vodou nasycené filtrační prostředí), způsobuje tato vyplavená hmota nejen ucpaní pórů, ale zároveň zabraňuje přestupu kyslíku do vodního prostředí. Kyslík, který je k dispozici difuzí ze vzduchu, je okamžitě spotřebován na rozklad vyplaveného organického materiálu a do vodního prostředí se již nedostává. Dalším vedlejším jevem kolmatace je tedy přítomnost anaerobního prostředí, které v důsledku způsobuje rozklad organické hmoty za současného vzniku bioplynu – směsi sirovodíku, metanu, amoniaku a dalších plynů.

Jelikož se v současné době nachází větší část kořenových čistíren v České republice ve špatném stavu, kdy je kolmatace jednou z hlavních příčin takového konstatování, je velice častým a průvodním jevem, že čistírna, založena na filtračních procesech, dosahuje na odtoku vyšších koncentrací amoniaku, než na přítoku. Filtry jsou schopny i při rozvinutých kolmatačních procesech zadržovat stále dostatečně nerozpuštěné látky, ale je potřeba si uvědomit, že tento stav je potřeba co možná nejdříve řešit, protože rozvoj anaerobního prostředí zároveň způsobuje produkci sirovodíku toxicitu nitrifikačních bakterií, tzn., odstranění amoniakálního znečištění dosahuje záporných hodnot, resp. jedná se o produkci amoniakálního znečištění v zakolmatované čistírně.

## **Druhy filtračních polí podle uspořádání**

Obecně známé rozdělení filtrů (zemní filtr nebo filtr kořenové čistírny odpadních vod) vychází jednak z uspořádání filtrů, umístění hladiny, směru proudění a sběru proudění. Nejdůležitější ovšem je typ filtračního prostředí z pohledu množství vody ve filtrační náplni (ovlivňuje přítomnost daného druhu bakterií, které mají na čistící účinnost největší vliv).. Tento hydraulický pohled rozděluje filtrační prostředí na nasycené, nenasycené a střídavě zatopené.

### **Nasycené filtrační prostředí**

Téměř všechny větší kořenové čistírny v České republice jsou realizovány s uplatněním horizontálního proudění s hladinou těsně pod povrchem filtrační náplně, případně se hladina odpadní vody nachází nad povrchem filtrační náplně. Podle toho se rozlišuje proudění podpovrchové nebo povrchové. Povrchové proudění je podle našich zkušeností náchylnější k ucívání svrchní vrstvy filtrační náplně, jelikož pomalu proudící voda nad filtrační náplní vede k velice intenzivnímu nárůstu jednobuněčných i vláknitých řas, které po odumření způsobují obdobné projevy kolmatace jako nerozpuštěné látky na přítoku. Rozklad přítomných řas opět vede ke spotřebě potřebného kyslíku a dále zhoršuje koncentrace amoniaku v odtokové části filtru. Ve výsledku není rozhodující, jestli odpadní voda protéká ve směru horizontálním nebo vertikálním – pokud se v obou případech nachází hladina nad povrchem filtrační náplně, může vznikat sekundární kolmatace. Z pohledu dotace kyslíku je obdobně nerozhodující, jestli voda protéká směrem vzhůru nebo dolů – vždy je v kontaktu se

stejnou vrstvou kořenové zóny a s filtračním prostorem bez kořenů rostlin. Vertikální vodou nasycené filtry redukovat amoniakální znečištění srovnatelně jako horizontálně protékané filtry – velice špatně.



Obr. 1 Nárůstové společenstva řas, způsobující sekundární kolmataci

#### Nenasycené filtrační prostředí

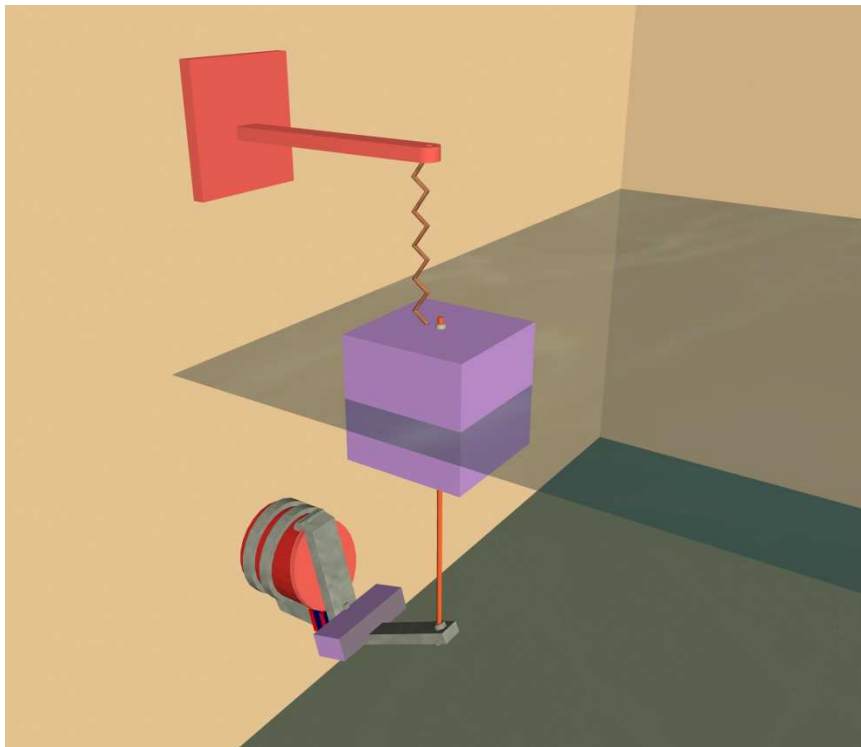
Pro návrh a realizaci je vodou nenasycené filtrační prostředí složitější, uplatňuje se pouze u vertikálních skrápěných filtrů. Ve filtračním prostředí se nenachází ustálená hladina odpadní vody, ale póry jsou vyplněny vzduchem. Vhodné je volit uspořádání takové výšky, které zajistí pronikání vzduchu do hloubky, tzn., není dobré volit hluboké filtry s hlavní filtrační vrstvou větší jak 50 cm. Filtrační materiál ve skrápěném prostředí vytváří nosič pro nárůstové společenstva nitrifikačních bakterií, což je předpokladem pro intenzivní eliminaci amoniakálního znečištění. Na odtoku z vertikálního skrápěného filtru jsou při správném návrhu a provozu filtru měřené vysoké koncentrace dusičnanového dusíku, není tedy vhodné vyčištěnou vodu přímo vypouštět do podloží. Eliminace celkového dusíku vyžaduje další stupeň čištění, který je reprezentován denitrifikační nádrží, šachtou, horizontálním filtračním stupněm aj.



## Obr. 2 Uspořádání vertikálního filtru s vodou nenasyčeným prostředím a pulzním napouštěním

### Nepravidelně vypouštěné filtrační prostředí

Třetím typem, doplňujícím podle nejnovějších poznatků předchozí dvě uspořádání, je nepravidelně provozované (vypouštěné) filtrační prostředí. Jedná se technologicky o obdobné řešení jako v případě horizontálně protékaných vodou nasycených filtrů s tím rozdílem, že je na odtokovém potrubí v revizní šachtici osazeno zařízení, které automaticky vypouští čištěnou vodu při dosažení maximální hladiny. V rámci výzkumu TA02021032 „Anaerobní separátor nerozpuštěných látek a nutrientů“ jsme vyvinuli takové zařízení, které nevyžaduje přívod elektrické energie, ani pravidelnou obsluhu, která bude zařízení ovládat. Zařízení je v současné době autorsky chráněno jako užitný vzor s číslem 25544 a názvem „Zařízení k automatickému vypouštění vody z nádrže po dosažení definované maximální hladiny“. Detaily provedení jsou zobrazené na následujícím obrázku nebo v databázi užitných vzorů na [www.upv.cz](http://www.upv.cz). Funkční vzorek zařízení je testován v provozních podmínkách na kořenové čistírně v obci Dražovice (750 EO), výsledky z měření dokazují nejen efektivnější odstranění amoniakálního dusíku, ale i dostatečné potlačení odtokové koncentrace CHSK a sirovořádku, způsobujících senzorkové problémy, korozi betonu, aj. provozní problémy.



Obr. 3 Zařízení pro rychlé vypouštění vody z horizontálně protékaného filtračního pole

### Měření a výsledky účinnosti filtrů

Abychom ověřili teoretické předpoklady ohledně schopnosti filtračních systémů odstraňovat amoniak z přítomné odpadní vody, realizovali jsme v rámci výzkumných prací několik filtračních kolon, naplněných pokaždé jiným filtračním materiálem. Výsledky z odtokových koncentrací jsme použili pro kalibraci matematického modelu, ve kterém probíhala simulace proudění odpadní vody se stejnými parametry znečištění. Kalibrovaný a otestovaný

matematický model slouží v současné době k realizaci software, prostřednictvím něhož bude možné navrhnout uspořádání filtru podle vstupních koncentrací, případně bude umožněno odhadnout koncentrace znečištění amoniakálního dusíku, fosforu a CHSK na odtoku z filtračního zařízení.

### Testovací filtry na odpadní vodu

Pro účely pozorování čistící účinnosti jsme nainstalovali na čistírně odpadních vod v obci Dražovice (700 EO) filtrační kolony o průměru 280 mm a výšce 800 mm. Celkem je nainstalováno 9 filtračních kolon, zatěžování bylo realizováno prostřednictvím odpadní vody odebrané po mechanickém předčištění, resp. odtok ze šterbinové usazovací nádrže. Všechny filtrační kolony jsou sestaveny jako skrápěné filtry bez vytvořené hladiny odpadní vody – jedná se o vlhké prostředí shora zatěžované odpadní vodou. Ze spousty výsledků jsou pro účely tohoto příspěvku vybrány jen rozborů z amoniakálního znečištění na pěti filtračních materiálech. Jedná se o dva druhy šterku, dvě frakce strusky a zeolit.

Samotné měření in situ se zaměřuje na oxidačně-redoxní potenciál (ORP) a pH. Filtrační kolony jsou hydraulicky zatíženy tak, že nejprve jsou přetíženy oproti běžně uváděné denní náпустné výšce 0,15 m hodnotou  $H_d = 1,2$  m, po měsíci je tato hodnota snížena na 0,2 m (závislost průtoku na čistící účinnosti CHSK, BSK<sub>5</sub>, N, P a NL je sledována, ale není předmětem tohoto referátu).

Tab.1. Koncentrace N-NH<sub>4</sub> (mg/l) na odtoku z filtrů

Datum	Přítok	Hrubá struska	Hrubý šterk	Jemná struska	Jemný šterk	Zeolit
6.6.2013	8.00	3.84	5.90	0.03	0.10	7.92
12.6.2013	16.40	-	9.78	0.08	-	8.08
25.6.2013	5.33	2.43	0.19	15.70	0.15	6.58
17.7.2013	13.70	10.90	19.30	25.50	4.62	9.47
13.8.2013	39.10	2.46	20.60	28.60	3.04	4.67
23.9.2013	43.42	24.04	7.08	21.00	0.91	1.16
21.10.2013	38.40	0.99	9.16	21.60	0.03	0.20
6.11.2013	25.00	5.10	22.40	29.40	5.24	10.70
27.11.2013	48.10	11.40	34.90	-	8.23	11.60

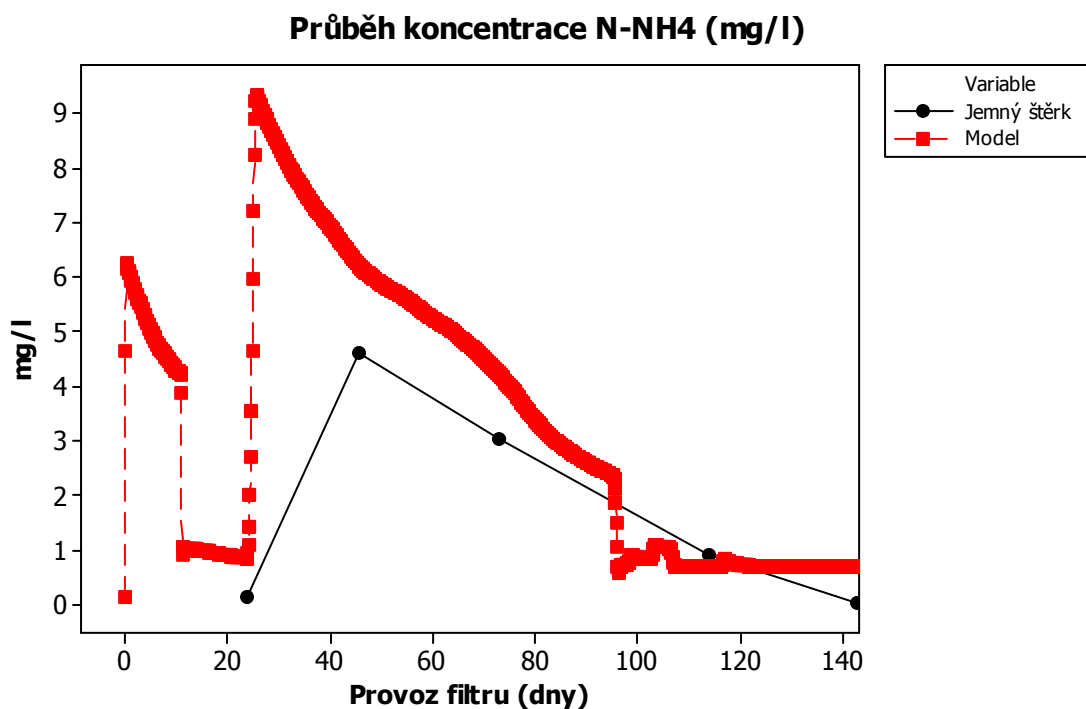
### Matematický model pro simulaci transformace amoniaku

Pro získání přesnější představy o průběhu chemických reakcí ve skrápěném prostředí filtračních náplní jsme zpracovali v modelovém software Hydrus 2D matematický model. Rozměry odpovídají filtrační koloně v poměru 1:1. Časový rozsah modelování je 159 dní, vycházející z reálného pozorování, které v dalším kroku slouží pro kalibraci matematického modelu. Počátečními podmínkami, ve kterých se model nachází na začátku řešeného problému, je definování vlastností a vlhkostních poměrů ve filtračním materiálu. Proudění vody modelovaným materiálem je na začátku řešení nulové.

Okrajové podmínky definují přitékající vodu – přítok horním okrajem je stanovován podle naměřeného hydraulického zatížení ( $H_d$ , mm/d), kromě množství vody je definovaná přitékající koncentrace rozpuštěného kyslíku ( $O_2$ , mg/l), snadno rozložitelné organické hmoty, nnesnadno rozložitelné organické hmoty, zachytitelné organické hmoty (tyto tři složky v součtu představují koncentraci (CHSK, mg/l). Dále je definována koncentrace

heterotrofních mikroorganismů, bakterií Nitrosomonas, Nitrobacter, které ovlivňují rozklad přitékajícího amoniakálního dusíku ( $N-NH_4$ , mg/l), dusičnanového dusíku ( $N-NO_2$ , mg/l), dusitanového dusíku ( $N-NO_3$ , mg/l) a plynného dusíku ( $N_2$ , mg/l) a v neposlední řadě je definována koncentrace fosforu (P, mg/l). Do výpočtu vstupují reakční koeficienty pro aktivitu jednotlivých mikroorganismů, vliv teploty prostředí a přitékající vody, difuzní koeficienty pro přestup kyslíku do prostředí. Výpočet probíhá prostřednictvím postupného iterování metodou konečných prvků po malém časovém kroku.

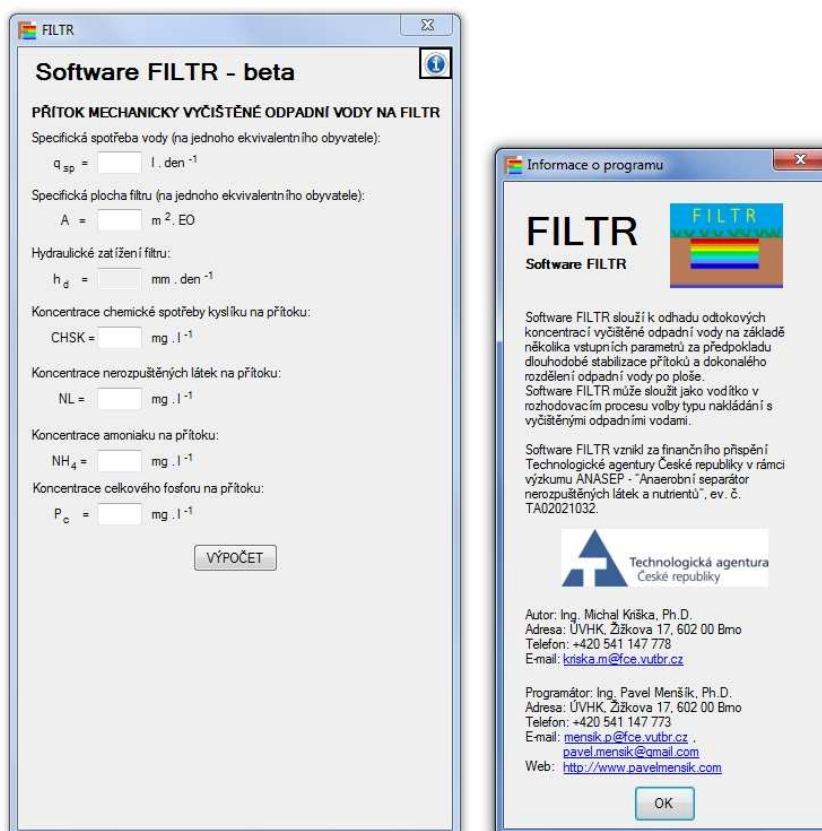
Jak ukazují výsledky ze simulace na obr. 4, liší se modelované koncentrace oproti reálným hodnotám s maximálním rozdílem hodnot 2,1 mg/l. Vyšší rozdíly v kontinuálním záznamu není možné srovnat s reálným měřením, neboť bylo odebíráno pouze několik vzorků z filtrační kolony naplněné jemným štěrkem.



Obr. 4 Průběh koncentrace amoniaku na odtoku – srovnání modelu a skutečných hodnot

#### Software pro stanovení koncentrace účinnosti filtru

Na základě zpracovaného a na amoniak nakalibrovaného matematického modelu jsme provedli adekvátních 28 dalších příkladů, jejichž výsledky posloužily v dalším kroku pro realizaci výpočtového programu. Nový vyvíjený program jsme nazvali FILTR – v současné době se nachází v beta-verzi, jelikož kalibrace všech výstupních parametrů je složitou a časově náročnou operací. Současná verze FILTR-beta umožňuje poměrně přesné (spolehlivost 87,9 %) odhad odtékajících koncentrací amoniakálního dusíku z filtru o výšce 80 cm. V dalších krocích bude realizováno upravení a ověření výsledků verifikací v reálných podmínkách, přidána bude hloubka filtrační náplně a teplota protékající vody.



Obr. 5 Zobrazení jednoduché beta verze programu FILTR

Výsledky matematického modelu ukazují, že využití speciálních materiálů, které zvyšují čistící účinnost filtračního prostředí, nemá vliv na výslednou čistící účinnost při dlouhodobějším provozu. Nárůst biofilmu (směsi heterotrofních a autotrofních mikroorganismů) neumožňuje v provozních podmínkách ionto-výměnnou reakci. Z tohoto důvodu je pro zajištění dlouhodobě nízké koncentrace znečištění nutná častá regenerace filtračního materiálu se zvýšenou sorpční kapacitou.

## Závěr

V současné době mají v České republice kořenové čistírny odpadních vod problém s odstraňováním amoniakálního znečištění. Situace je obdobná u velkých i domovních odpadních vod. Výjimku tvoří skupina čistíren, která je níže zatížená koncentracemi znečištění, případně má předdimenzované mechanické předčištění (septik) nebo velikost kořenového pole je větší, než často udávaných 5 metrů čtverečních. Problémy s odstraněním amoniaku mají naše čistírny proto, že se na čistících procesech podílí vodou nasycené filtrační prostředí, které samo o sobě není schopno dodat do odpadní vody dostatek kyslíku na odstranění (nitrifikaci) amoniaku.

Bezprostředně za hranicemi České republiky je situace jiná. Např. v Rakousku se uplatňují čistírny vertikální, které místo nasyceného prostředí využívají vlhkého kameniva, které je několikrát denně v dávkách skrápěno. Dávkovací zařízení je potřeba na vertikální čistírně mít zapojeno, jinak není možné odpadní vodu rovnoměrně distribuovat po celé ploše. Takto řešená vertikální kořenová čistírna s dávkovým průtokem shora je schopna poradit si bez problémů s odstraňováním amoniaku během celého ročního období.

Jelikož zejména zásluhou Dr. Žákové víme, že v Rakousku používají vertikální systémy s kvalitními odtokovými parametry již několik let, není důvod se právě v Rakousku neinspirovat. Zároveň se dozvídáme dostupné literatury, že kořenové čistírny se v Rakousku používají až do nadmořské výšky 1800 m.n.m. Lze tedy předpokládat, že i v České republice by měly tyto systémy v obdobné nadmořské výšce spolehlivě fungovat. Vyvrací se tím zároveň často uváděná nadmořská výška 600 m.n.m., do které lze kořenové čistírny navrhovat.

Podle všeho lze navrhovat kořenové čistírny odpadních vod i pro citlivé oblasti, chráněná krajinná území a přírodní rezervace (je-li objekt s produkcí odpadní vody v dané lokalitě). Lze navrhnout takovou kořenovou čistírnu, která bude spolehlivě likvidovat všechny požadované parametry- CHSK, BSK<sub>5</sub>, NL, N-NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, P. Pro to, aby vertikální čistírna dobře fungovala, je potřeba vyřešit pulzování přítoku. V současné době je k dispozici zařízení, které zajistí zadržetí pomalu přitékající vody do té doby, než hladina dosáhne úrovně, při níž se uzavře otevře. Toto zařízení bude v dohledné době zahrnuto ve výrobním programu vybrané firmy a bude dostupné pro budoucí realizace vertikálních systémů.

## Literatura

Jelikož se v převážné většině výše uvedeného textu jedná o vlastní poznatky, které nejsou konfrontovány s jinými autory, vlastní měření a modelování, vlastní vývoj programu Filtr, uvádíme dostupnou literaturu, která je k dispozici pro širokou veřejnost.

Jedná se o sborníky **Čištění odpadních vod v horských oblastech**, které jsou k dispozici ke stažení na webových stránkách odborné skupiny Malé domovní čistírny a odlučovače. Sborníky ze všech předchozích ročníků od roku 2011 jsou uloženy v PDF.

9. Kriška, M., Fialová, T., Pobořil, J., Hudcová, T., Rozkošný, M.: Bilance přestupu kyslíku ve skrápěném filtračním prostředí zemních filtrů, *In Voda 2013*, Sborník přednášek a posterových sdělení. 1. Brno, Vysoké učení technické v Brně. 2013.
10. Kriška, M., Rozkošný, M., Šálek, J.: Koncepte uspořádání malých ČOV využívající přírodní způsoby čištění. *In: ČOV pro objekty v horách*. Pec pod Sněžkou: CzWA, 2011, s.19-28
11. Rozkošný, M., Kriška, M., Šálek, J.: Možnosti využití přírodních způsobů čištění odpadních vod a posouzení vlivu předčištění. *Vodní hospodářství*, 2010, č.5, s.116 až 121
12. Šálek, J., Kriška, M.: Rizika vypouštění (infiltrace) čištěných odpadních vod podzemních vod.. 62. *Vodní hospodářství*. 2012, č.5. s.159-164

## Poděkování

Měření, vývoj zařízení a celý tento příspěvek vznikl za finanční podpory projektu Technologické agentury České republiky ev. č. TA02021032 "Anaerobní separátor nerozpuštěných látek a nutrientů".