

## MODELOVÁNÍ PROUDĚNÍ VODY V KOMOŘE SEPTIKU

Michal Křiška<sup>15</sup>

### Abstrakt

Septiky, používané pro čištění odpadních vod pro nejmenší producenty, jsou často velice zatracované technologie. Výrobci intenzivně fungujících čistíren velice často nechťejí přijmout septik jako alternativu, přehlížení možnost zapojení dalšího stupně čištění za septik. Současné možnosti, softwarové vybavení a celá počítačová technika umožňují prostřednictvím matematických modelů nahlédnutí do dějů, které probíhají v celém prostoru septiku. Pro účely modelování proudění vody v komoře septiku bylo využito programu Comsol Multiphysics, který umožňuje definování proudění dvou kapalin – směsí anaerobního kalu a vody. Výsledky z několika provedených příkladů umožní výrobcům a projektantům septiků provádět septiky vhodnějším způsobem tak, aby nedocházelo k nežádoucímu uvolňování nerozpuštěných látek (kalu) z odtoku na navazující zemní filtr, kde by mohlo předčasně docházet ke kolmataci filtračního prostředí.

### Úvod

Současný stav poznání v oblasti septiků je bez nadsázky nedostatečný. Z tohoto důvodu se kolektiv pracovišť (VUT v Brně, VUV TGM v.v.i a ASIO s.r.o) rozhodli přistoupit k nápravě reputace a zvýšení nejen povědomí, ale zejména čistícího účinku vícekomorových septiků se zapojením nových technologií, popsaných v jiném referátě. Zaměření tohoto referátu se soustředí na modelování proudění směsi čistírenského kalu a vody v rovinné oblasti (2D), kdy prostřednictvím programu Comsol Multiphysics, který řeší fyzikální úlohu popsanou parciálními diferenciálními rovnicemi metodou konečných prvků. Všechny níže popsané úlohy jsou řešeny v rámci jedné komory, která má rozměry 1,0 x 1,0 m, průměr přítokového i odtokového potrubí DN110. Příklad je zároveň prostřednictvím definovaných parametrů realizován tak, že je možné měnit nezávisle na sobě délku a výšku komory, průměr potrubí, výšku akumulovaného kalu a teplotu vody (která má vliv na hustotu a viskozitu obou tekutin).

Samotné zadání se soustředí popis několika úloh:

- Změna výšky akumulovaného kalu v komoře septiku
- Změna rychlosti přitékající vody
- Změna úrovně přítokového potrubí
- Realizace norné stěny na přítoku do komory

### Změna výšky akumulovaného kalu v komoře septiku

První úloha je rozdělena na tři samostatné příklady. Pro názornost jsou uvedeny tři počáteční stavy (počáteční podmínky) úrovně akumulovaného kalu, a sice  $h_{k,1} = 10$  cm,  $h_{k,2} = 30$  cm,  $h_{k,3}$

---

<sup>15</sup> Ing. Michal Křiška, 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)

= 50 cm. Všechny tři příklady jsou realizovány za stejné teploty a konstantní přítokové rychlosti, úkolem je zjistit, jestli má vliv výška kalu na odnos kalových částic (nerozpuštěných látek). Cílem příkladu je co možná nejnižší koncentrace látek odtokovým potrubím. Přítok potrubím je realizován rychlostí  $v_{in,1} = 5$  cm/s, jedná se o směs vody a kalu v poměru 1:1.

#### Změna rychlosti přitékající vody

V souvislosti s předchozím řešením příkladu je přistoupeno na změnu přítokové rychlosti. Výchozí hodnota je snížena z původních  $v_{in,1} = 5$  cm/s na poloviční hodnotu, a sice  $v_{in,2} = 2,5$  cm/s. Snížená rychlost je opět realizována na přítokovém potrubí, kterým přitéká směs kalu a vody 1:1, řešení při třech různých úrovních akumulovaného kalu stejných jako v předchozím případě. Realizovaný příklad názorně poslouží k ověření, zda má intenzita přítoku vliv na rozmělnění kalu akumulovaného na dně komory.

#### Změna úrovně přítokového potrubí

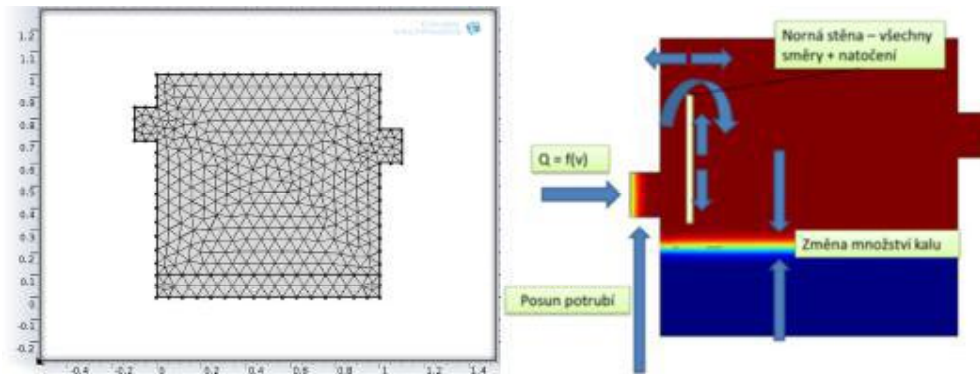
Norma ČSN EN 12566-4 (756404) Malé čistírny odpadních vod do 50 ekvivalentních obyvatel, resp. její část 1 „Prefabrikované septiky“ a část 4 „Septiky montované ze sestavy prefabrikátů na místě“ velice stručně uvádí rozmístění jednotlivých prostupů mezi komorami v rámci jednoho septiku. Řeší ale pouze minimální výšku ode dna komory, vzdálenost od stěny a minimální hloubku pod hladinou. Logické na první pohled je umístění přítokového potrubí do komory co možná nejnižší a naopak umístění odtokového potrubí nejvýše, z důvodu nutnosti překonání gravitačního zrychlení pro elementární částice kalu. Potrubí v rámci řešeného příkladu je posouváno do dvou poloh při konstantní úrovni výšky kalu  $h_{k,2} = 30$  cm a přítokové rychlosti  $v_{in,2} = 2,5$  cm/s.

#### Realizace norné stěny na přítoku do komory

Jako předposlední změna v řešení je uplatnění jednoduché rozrážecí stěny, umístěné na přítoku do komory septiku s cílem vyloučení zkratových proudů, vznikajících v předchozích příkladech. Stěna je realizována jako vertikální deska ve vzdálenosti  $l_d = 15$  cm od přítokové stěny, rozměry stěny jsou výška  $h_d = 30$  cm a šířka  $b_d = 2$  cm. Pro názornost jsou uvedeny dvě vertikální polohy (výšky) rozrážecí stěny.

#### Změna charakteristik přítomného kalu

Jako poslední řešená varianta bylo přistoupeno ke změně sedimentačních charakteristik přítomného i přitékajícího kalu. Nebyla měněna velikost jednotlivých částic, ale zvýšila se objemová hmotnost z původních konstantních  $\rho_{k,1} = 1020$  kg/m<sup>3</sup> na  $\rho_{k,2} = 1040$  kg/m<sup>3</sup>, zároveň byla zvýšena dynamická viskozita z původních  $\mu_{k,1} = 0,002$  Pa·s na  $\mu_{k,2} = 0,02$  Pa·s, pozorovány byly změny vedoucí k očekávání výrazně lepších výsledků.



Obr. 1 Schéma (sít' konečných prvků) a zobrazení modelované komory septiku s měnícími se parametry

## Matematický model

Pracovní postup při modelování úlohy v COMSOL Multiphysics® lze popsat v několika základních krocích. Tyto kroky jsou hlavními uzly modelovacího stromu, které se v procesu zadávání úlohy postupně definují.

Geometrii je popsána výše, zobrazena na obr.1 – jedná se o 2D vertikální rovinu o rozměrech 1,0 x 1,0 m, do níž přitéká z levé strany potrubí DN150 a z pravé strany odtéká potrubí taktéž DN150. Proměnný je parametr „výška vrstvy akumulovaného kalu“, který se mění dle zadání definované hodnoty  $h_k$ . V několika uvedených variantách je zobrazena rozrážecí stěna o rozměrech 2 x 30 cm.

Zadání okrajových podmínek a vlastností oblastí v modelu je nezbytnou podmínkou pro řešení úlohy. Popsány jsou oblasti geometrie a jejich charakteristiky - oblasti komory septiku, oblasti přítokového a odtokového potrubí, hrany septiku (nepropustné). Při zadávání materiálů subdomén je z knihovny předdefinovaných materiálů vybrána pitná voda (včetně předdefinovaných parametrů) a dále čistírenský kal, který vychází z pitné vody – pouze byla modifikována objemová hmotnost a dynamická viskozita.

Zadaná úloha je řešena jako proudění směsi dvou kapalin, řídicí rovnice má tvar:

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \nabla \cdot [-p \mathbf{I} + \mu(\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T)] + \mathbf{F}_g + \mathbf{F}_{st} + \mathbf{F}_{ext} + \mathbf{F} \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \phi = \gamma \nabla \cdot \left( \epsilon_1 \nabla \phi - \phi(1-\phi) \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right), \quad (3)$$

Kde je  $\mathbf{u}$  – složka rychlosti,  $t$  – čas,  $F_g$  – gravitační síla,  $F_{st}$  – povrchové napětí,  $F_{ext}$  - povrchová síla na rozhraní dvou fází kapalin

Pokud je použita metoda určena ke sledování rozhraní dvou fází, je dále přidána rovnice:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \phi = \gamma \nabla \cdot \left( \epsilon \nabla \phi - \phi(1-\phi) \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) \quad (4)$$

Hustota je funkcí úrovně hladiny podle rovnice, v níž je index 1 první kapalina, index 2 – druhá kapalina:

$$\rho = \rho_1 + (\rho_2 - \rho_1)\phi \quad (5)$$

A dále směšná dynamická viskozita je určena podle rovnice:

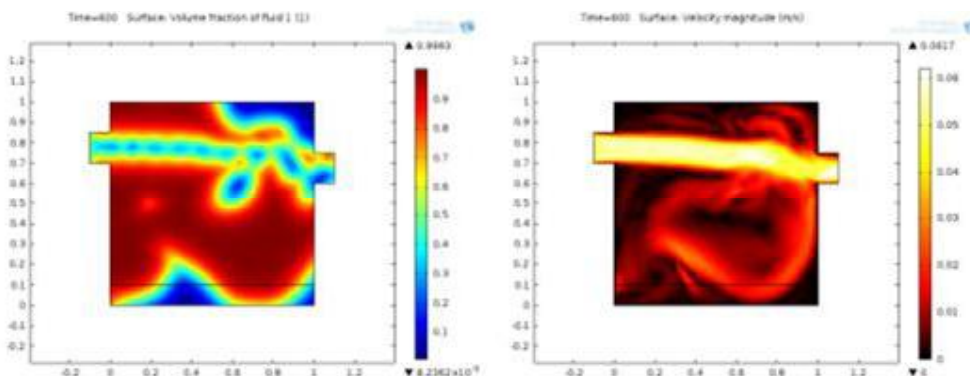
$$\mu = \mu_1 + (\mu_2 - \mu_1)\phi \quad (6)$$

Příčemž kapalina 1 odpovídá oblasti, pokud je její obsah menší jak  $\phi < 0,5$  a kapalina 2, pokud je její obsah větší jak  $\phi > 0,5$ .

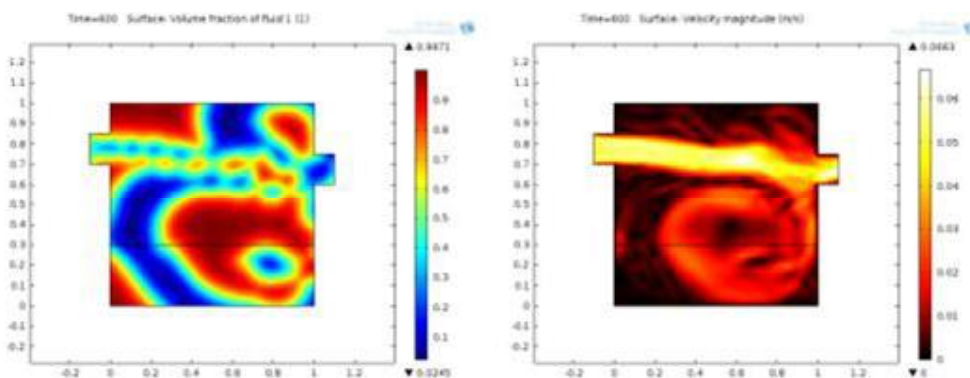
Generování výpočetní sítě, tedy sítě konečných prvků (trojúhelníková síť) v jejichž uzlových bodech budou vypočtena potřebná data. Síť je generována automaticky dle fyzikálních dimenzí geometrie, zobrazena na obr. 1.

Konečné zpracování výsledků je provedeno mnoha způsoby. Multifyzikální úloha obsahuje vypočtené koncentrace kalu a vody (v následujících obrázcích se jedná o hodnotu 1,0, kterou prezentuje čistá voda a hodnotu 0,0, prezentující čistý kal). Jako další výsledek je zobrazena unášecí rychlost v čase proudění  $t = 10$  minut od počátečního stavu (obr. 2 – obr. 14).

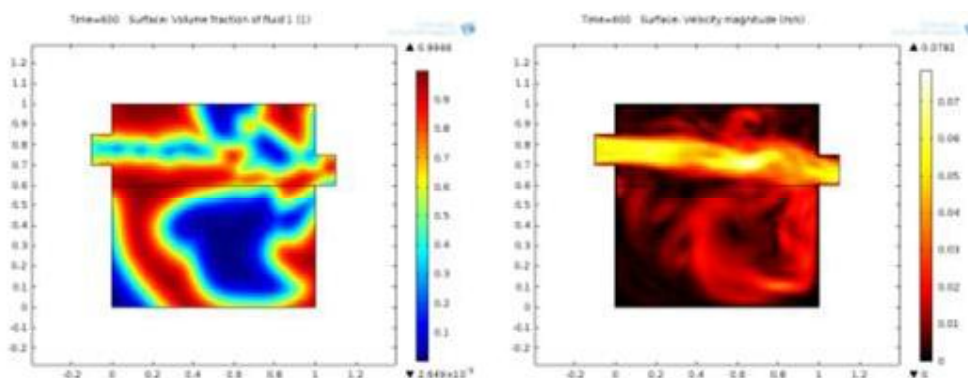
### Výsledky matematického modelování



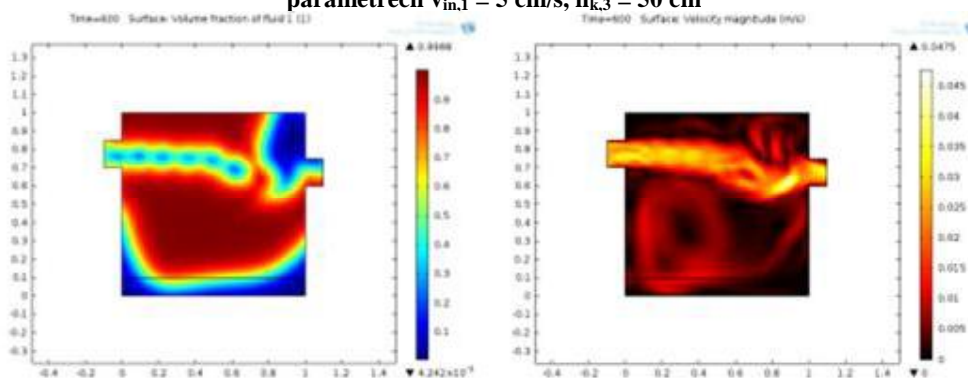
Obr. 2 Zobrazení poměru voda:kal a rychlostí proudění v komoře septiku v čase  $t = 600$  s při zadaných parametrech  $v_{in,1} = 5$  cm/s,  $h_{k,1} = 10$  cm



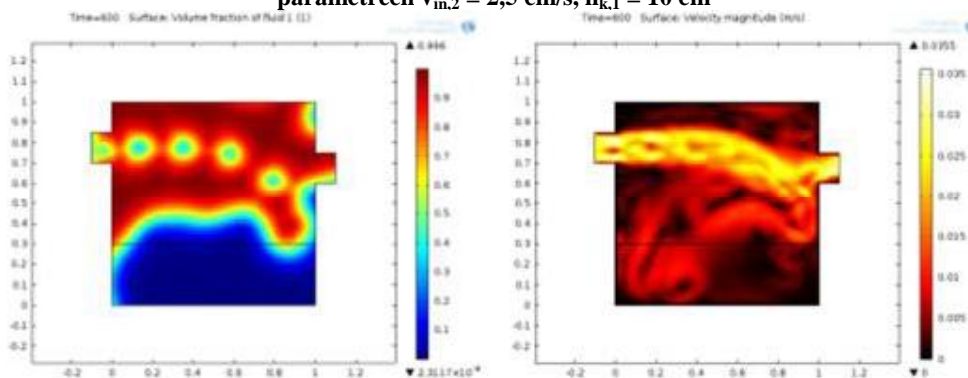
Obr. 3 Zobrazení poměru voda:kal a rychlostí proudění v komoře septiku v čase  $t = 600$  s při zadaných parametrech  $v_{in,1} = 5$  cm/s,  $h_{k,2} = 30$  cm



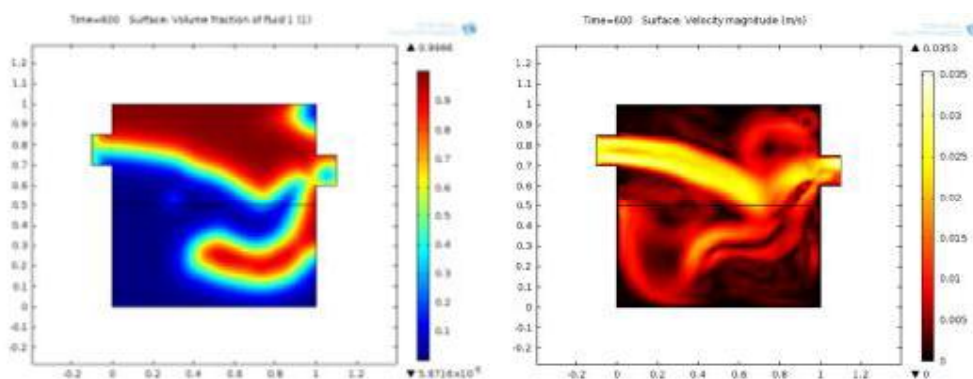
Obr. 4 Zobrazení poměru voda:kal a rychlosti proudění v komoře septiku v čase  $t = 600$  s při zadaných parametrech  $v_{in,1} = 5$  cm/s,  $h_{k,3} = 50$  cm



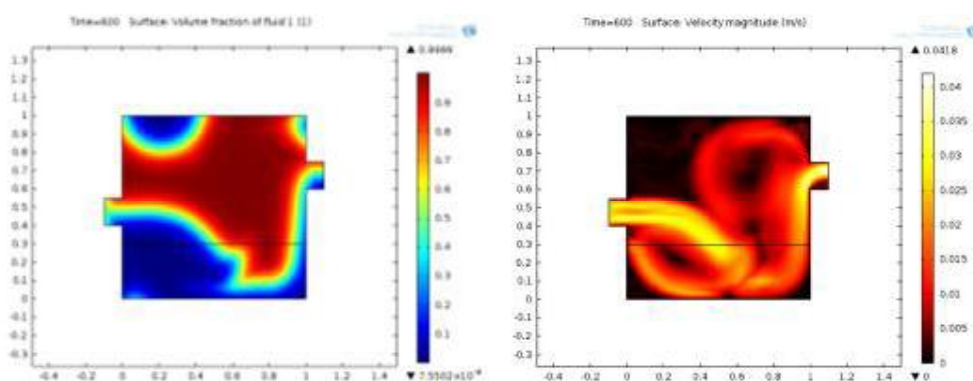
Obr. 5 Zobrazení poměru voda:kal a rychlosti proudění v komoře septiku v čase  $t = 600$  s při zadaných parametrech  $v_{in,2} = 2,5$  cm/s,  $h_{k,1} = 10$  cm



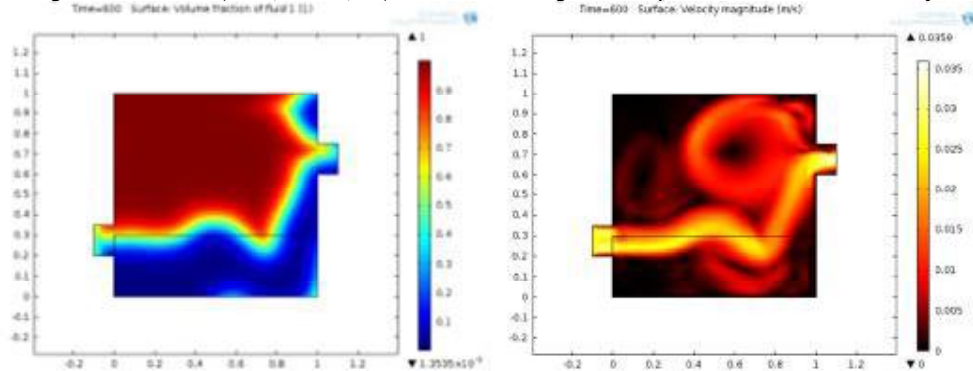
Obr. 6 Zobrazení poměru voda:kal a rychlosti proudění v komoře septiku v čase  $t = 600$  s při zadaných parametrech  $v_{in,2} = 2,5$  cm/s,  $h_{k,2} = 30$  cm



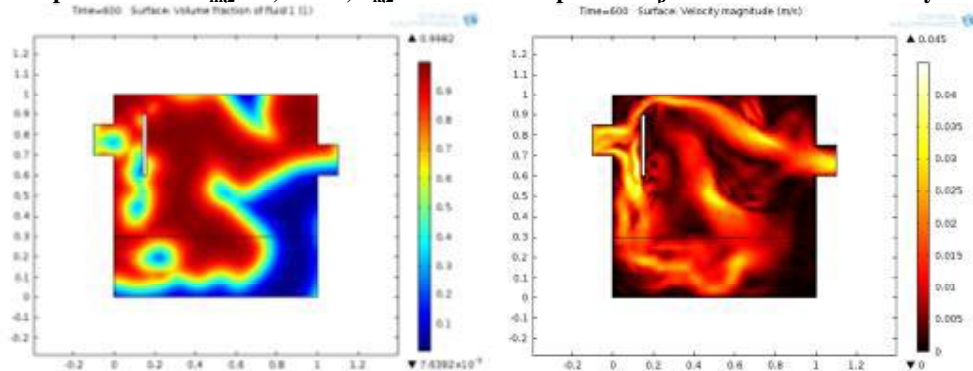
Obr. 7 Zobrazení poměru voda:kal a rychlostí proudění v komoře septiku v čase  $t = 600$  s při zadaných parametrech  $v_{in,2} = 2,5$  cm/s,  $h_{k,3} = 50$  cm



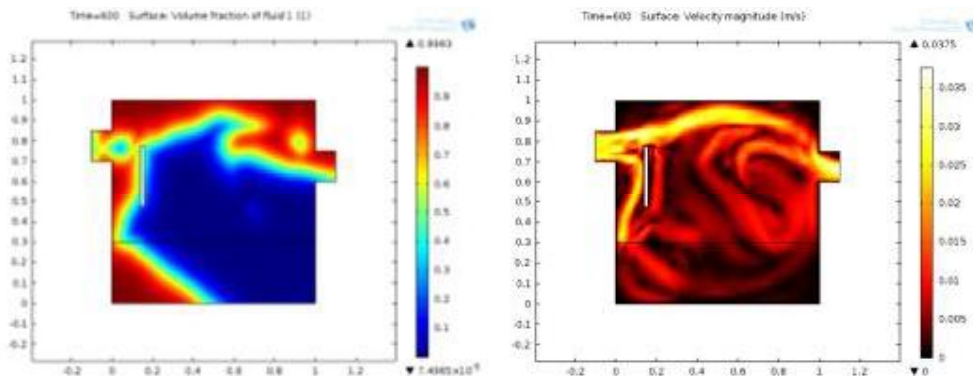
Obr. 8 Zobrazení poměru voda:kal a rychlostí proudění v komoře septiku v čase  $t = 600$  s při zadaných parametrech  $v_{in,2} = 2,5$  cm/s,  $h_{k,2} = 30$  cm a dno přítoku  $h_p = 40$  cm ode dna komory



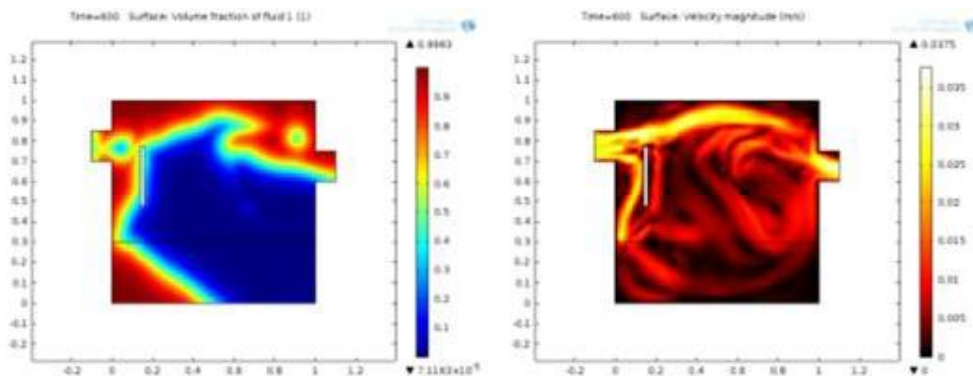
Obr. 9 Zobrazení poměru voda:kal a rychlostí proudění v komoře septiku v čase  $t = 600$  s při zadaných parametrech  $v_{in,2} = 2,5$  cm/s,  $h_{k,2} = 30$  cm a dno přítoku  $h_p = 20$  cm ode dna komory



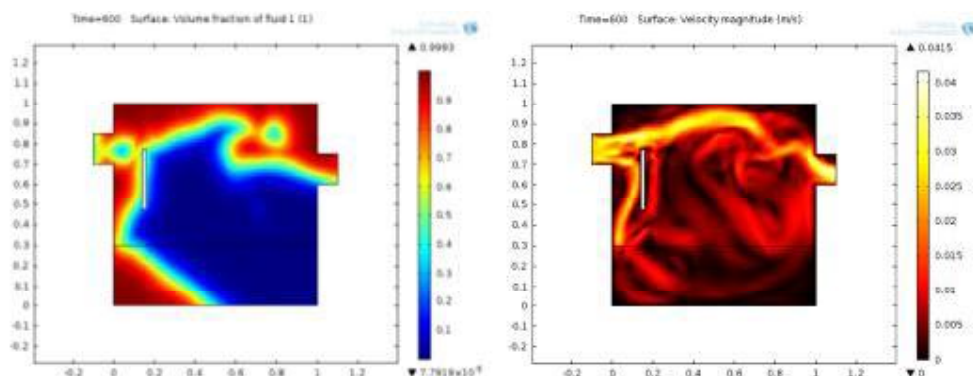
Obr. 10 Zobrazení poměru voda:kal a rychlostí proudění v komoře septiku v čase  $t = 600$  s při zadaných parametrech  $v_{in,2} = 2,5$  cm/s,  $h_{k,2} = 30$  cm a rozrážecí přepážkou 60 cm ode dna komory



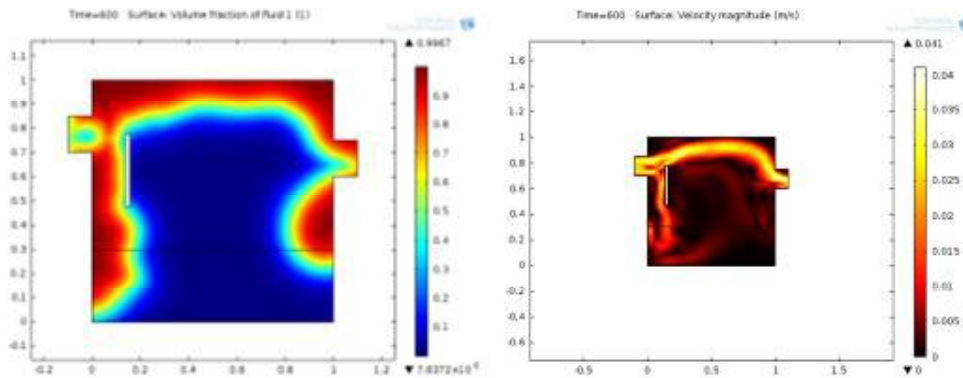
Obr. 11 Zobrazení poměru voda:kal a rychlostí proudění v komoře septiku v čase  $t = 600$  s při zadaných parametrech  $v_{in,2} = 2,5$  cm/s,  $h_{k,2} = 30$  cm a rozrážecí přepážkou 45 cm ode dna komory



Obr. 12 Zobrazení poměru voda:kal a rychlostí proudění v komoře septiku v čase  $t = 600$  s při zadaných parametrech  $v_{in,2} = 2,5$  cm/s,  $h_{k,2} = 30$  cm a změněnou objemovou hmotností kalu na  $\rho_{k,2} = 1040$  kg/m<sup>3</sup>



Obr. 13 Zobrazení poměru voda:kal a rychlostí proudění v komoře septiku v čase  $t = 600$  s při zadaných parametrech  $v_{in,2} = 2,5$  cm/s,  $h_{k,2} = 30$  cm a změněnou objemovou hmotností kalu na  $\rho_{k,2} = 1060$  kg/m<sup>3</sup>



Obr. 14 Zobrazení poměru voda:kal a rychlostí proudění v komoře septiku v čase  $t = 600$  s při zadaných parametrech  $v_{in,2} = 2,5$  cm/s,  $h_{k,2} = 30$  cm a změněnou objemovou hmotností kalu na  $\rho_{k,2} = 1060$  kg/m<sup>3</sup> a dynamickou viskozitou  $\mu_{k,2} = 0,02$  Pa·s

## Diskuze

Na obr. 2 je zobrazena situace v čase  $t = 10$  minut od spuštění přítoku. Jedná se o extrémní případ ustáleného proudění, kdy přitéká voda celým profilem (např. z předchozí zařazené komory) ustálenou rychlostí  $v_{in,1} = 5$  cm/s. Přesto, že se úroveň kalu nachází na velice nízké hladině  $h_{k,1} = 10$  cm – lze si představit situaci po odčerpání kalu kalovým čerpadlem, dochází vlivem proudění ve vyšší vrstvě k postupnému rozmělnění dna. Kal, který má objemovou hmotnost  $\rho_{k,1} = 1020$  kg/m<sup>3</sup>, je téměř z celého dna vyplaven nejen k úrovni odtokového potrubí, ale určité množství se akumuluje při hladině v odtokové části. Analogicky druhá část obr. 2 - zobrazení rychlostí v prostoru komory, přesto, že přítok dosahuje intenzity rychlosti  $v_{in,1} = 5$  cm/s, mohou se v komoře vyskytnout rychlosti vyšší, způsobené turbulencemi směsi dvou kapalin. V daném případě se jedná o rychlosti  $v_{max,1} = 6,5$  cm/s – což způsobuje unášení celého objemu kalu.

Obr. 3 zobrazuje situaci obdobnou jako v předchozím případě, rozdílem je úroveň výšky kalu, zvýšena na  $h_{k,2} = 30$  cm. V čase  $t = 10$  minut dojde při ustáleném přítoku  $v_{in,1} = 5$  cm/s k úplnému promísení a vyplavení výrazného objemu kalu ze dna komory přesto, že přítokové a odtokové potrubí jsou výškově posunuta pouze o 10 cm. Co se zobrazení rychlostí na obr. 3 týče, jedná se téměř o totožné schéma jako při výšce kalu  $h_{k,2} = 10$  cm. Tzn. úroveň akumulovaného kalu nemá výrazný vliv na rozložení rychlostí (při dané hustotě kalu). Maximální rychlost v prostoru je opět vyšší – dosahuje hodnoty  $v_{max,1} = 6,6$  cm/s.

Obr. 4 zobrazuje stav, při němž je na počátku řešení úroveň kalu  $h_{k,3} = 50$  cm, v čase  $t = 10$  minut ustáleného přítoku  $v_{in,1} = 5$  cm/s je kromě přítokového spodního rohu vyplaven veškerý kal, který byl v na počátku sedimentován na dně. Při dalším řešení v průběhu času je kal nejprve zadržován u hladiny a uprostřed řešeného prostoru, postupně je ale vyplaven téměř v celém objemu.

Uvedené příklady vedou k závěrům, že přítoková rychlost, ustálená na hodnotě  $v_{in,1} = 5$  cm/s je velice nebezpečným parametrem. Při takto intenzivní rychlosti dochází k postupnému vyplavování akumulovaného kalu, ať je jeho množství v komoře septiku jakékoliv. Proto je dále přistoupeno ke snížení přítokové rychlosti na poloviční hodnotu.

V následujícím příkladu, obr. 5, je zobrazen obdobný případ jako na obr.2. Rozdílem je uvedená poloviční přítoková rychlost. Pozorovatelné je postupné snižování úrovně přitékajícího kalu vlivem gravitační síly. Přesto i v tomto případě za ustáleného přítoku  $v_{in,2} = 2,5$  cm/s dochází k rozvření dna tak, že se uprostřed objemu komory vytvoří kruhově rotující



prostor vody. Maximální rychlost v prostoru je opět vyšší, než rychlost přítoková – jedná se téměř o dvojnásobnou hodnotu  $v_{\max,2} = 4,8$  cm/s.

## Závěr

Veškerá nová technická řešení, popsaná v referátu, mohou výraznou mírou přispět ke zlepšení jak čistícího účinku kořenových čistíren a zemních filtrů, tak prodloužit jejich maximální životnost. V současné době jsou zařízení testována na dvou vybraných kořenových čistírnách, kde se oproti laboratornímu měření setkávají s drobnými technickými problémy. Jakmile budou všechny nedostatky eliminovány, budou registrovány jako funkční vzorky a následně odborné veřejnosti prezentovány tak, aby došlo k jejich co možná nejvyššímu rozšíření jak na stávající kořenové čistírny a zemní filtry, tak na nově realizované objekty.

Nutno zmínit, že veškeré informace v uvedeném referátu jsou důvěrné, použití všech popsaných zařízení nelze bez licenční smlouvy s původcem, kterým je Vysoké učení technické v Brně.

## Poděkování

Matematický model je zpracováván v rámci projektu Technologické agentury České republiky ev. č. TA02021032 "Anaerobní separátor nerozpuštěných látek a nutrientů".

## Literatura

HLAVÍNEK, P., MIČÍN, J., PRAX, P.: Příručka stokování a čištění odpadních vod. Brno: Noel 2000, 2001, 251 s.

KRIŠKA-DUNAJSKÝ, M. Měření přestupu kyslíku do filtračního prostředí prostřednictvím mokřadních rostlin. In *Přírodní způsoby čištění vod V*. Sborník přednášek ze semináře. Brno, CERM. 2007. p. 32 - 39. ISBN 978-80-214-3479-0.

ŠÁLEK, J., KRIŠKA-DUNAJSKÝ, M., MALÝ, J. Modelový výzkum vertikálních půdních filtrů na čištění splaškových odpadních vod. In *4. Vodohospodářská konference 2004*. 1. Brno, CERM. 2004. p. 435 - 441. ISBN 80-7204-360-9.

ŠÁLEK, J., TLAPÁK, V.: *Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod*, Praha 2006, 283 s., ISBN 80-86769-74-7

Šálek, J., Kriška, M., Pírek, O., Plotěný, K., Rozkošný, M., Žáková, Z.: Voda v domě a na chatě, Využití srážkových a odpadních vod. 2012. Grada Publishing, a.s.. ISBN 978-80-247-3994-6. s.143