

# Vliv polohy usměrňovačů proudu v dosazovací nádrži na její účinnost

---

**Petr Chmátal<sup>1</sup>**

## **Anotace:**

Tato práce posuzuje současný stav dosazovací nádrže na Ústřední čistírně odpadních vod v Praze a hledá optimální tvar vtokového objektu pro zlepšení funkce nádrže. Posouzení i optimalizace jsou prováděny pomocí 2D a 3D matematického modelování (CFD). Účinnost nádrže, a tím i její vliv na životní prostředí, je stanovena přepadem nerozpuštěných látek. Funkčnost optimalizace je ověřena terénním měřením.

## **Klíčová slova:**

Čistírna odpadních vod (ČOV), dosazovací nádrž, matematické modelování proudění kapalin (CFD), nerozpuštěné látky

## **Abstract:**

This paper evaluates the present state of secondary clarifier on the Central WWTP in Prague. Aim of the work is optimization of inflow in the clarifier. Evaluation and optimization is done by 2D and 3D mathematic modeling (CFD). Separation efficiency and environmental impact are determinate according to the amount of suspended solids in overflowed water. Functionality of new inlet structure is verified by field measurement.

## **Keywords:**

Waste water treatment plant (WWTP), secondary clarifier, Computational Fluid Dynamics (CFD), suspended solids

## **Abstrakt:**

Dosazovací nádrž je jeden z posledních objektů na ČOV a tak se její účinnost přímo projevuje na vnosu znečištění do životního prostředí. Návrh podle normy ČSN udává celkovou velikost nádrže pro správnou funkčnost, ale nedává návod pro zvýšení účinnosti pomocí vhodného vnitřního uspořádání. Takovýto návrh správného usměrnění proudu je velice náročný a individuální pro jednotlivé nádrže na různých ČOV a zpravidla vyžaduje výzkum. V současné době počítačů je vhodné tento výzkum provést pomocí matematického modelování.

<sup>1</sup> Ing. Petr Chmátal, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6 Dejvice, e-mail: [petr.chmatal@fsv.cvut.cz](mailto:petr.chmatal@fsv.cvut.cz)

Pražská Ústřední čistírna odpadních vod (ÚČOV) je v provozu od roku 1966. I přes řadu modernizací a rozšíření, se čistírna v současnosti pohybuje na své kapacitní hranici, což se projevuje na zhoršení odtokových koncentrací při zvýšeném průtoku nebo při výpadku technologie. Pro zlepšení byla navržena úprava vtokového objektu na dosazovací nádrži, která byla zpracována pomocí matematického modelu. Rekonstrukce byla provedena na jedné nádrži na počátku roku 2015.

Základem věrohodnosti matematického modelování je také ověření výsledků pomocí měření. To probíhalo dva měsíce na dvou nádržích – na nerekonstruované a na nádrži osazené novým vtokovým objektem. Měřen byl průtok, nerozpuštěné látky a výška kalového mraku v nádrži.

Z výsledků měření vyplývá jasný vliv na zlepšení funkce dosazovací nádrže úpravou vtokového objektu. Při zvýšeném průtoku (dešťové události) je zlepšení nejvýraznější – na rekonstruované nádrži se kalový mrak drží ve svém prostoru, kdežto na nerekonstruované nádrži dochází k jeho rozvíření a kal je vyplachován z nádrže ven.

## Úvod

Voda je jednou ze základních podmínek života na Zemi, proto by lidstvo mělo řádně pečovat o její čistotu a celkově dobrý stav.

Jedním z hlavních znečišťovatelů vodních útvarů je činnost člověka v urbanizovaném území se svou vybaveností. Z urbanizovaného území jsou odváděny odpadní vody splaškové, průmyslové a dešťové odvodňovacím systémem. Ten se skládá ze stokové sítě včetně objektů na ní, čistírny odpadních vod (ČOV) a recipientu. Stoková síť je jednotná pro odvádění všech vod dohromady nebo oddílná pro odvádění dešťových vod odděleně od vod splaškových a průmyslových. Oddělená srážková voda je čištěna mechanicky většinou mimo čistírnu a vypouštěna do recipientu. Splaškové, průmyslové a neoddělené dešťové vody jsou čištěny mechanicky a biologicky na ČOV.

Čistírny odpadních vod se ve světě staví od konce 19. stol., v Čechách byla první postavena v Praze roku 1905 a postupně přibývaly další u významných měst. Tyto čistírny řešily akutní problém velice znečištěných řek, které způsobovali vážné zdravotní i hospodářské škody. Dnes se staví čistírny i u menších sídel pro větší uvědomělost společnosti o péči o životní prostředí. Velký impuls pro stavbu čistíren bylo i připojení České republiky do Evropské unie, označení ČR jako citlivé oblasti pro nakládání s vodami v rámci EU a implementování Rámcové směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/EC, jejímiž hlavními rysy jsou zabránění dalšího zhoršování, ochránění a zlepšení stavu vodních ekosystémů.

První čistírny byly mechanické, které se pro jejich nízkou účinnost dále vylepšovali. Přidávali se chemické reakce např. desinfekce vody, nejdůležitější ovšem byl vynález biologického čištění aktivovaným kalem, který byl prvně odzkoušen roku 1914 v Anglii. Biologický stupeň dnes obsahuje bioreaktor, dosazovací nádrž, kalové hospodářství a regeneraci kalu.

Dosazovací nádrž je jeden z posledních objektů na ČOV a tak se její účinnost přímo projevuje na vnosu znečištění do životního prostředí. Návrh podle normy ČSN udává celkovou velikost nádrže pro správnou funkčnost, ale nedává návod pro zvýšení účinnosti pomocí vhodného vnitřního uspořádání. Tento návrh správného usměrnění proudu je velice náročný a individuální pro jednotlivé nádrže na různých ČOV a proto zpravidla vyžaduje výzkum. V současné době počítačů je vhodné tento

výzkum provést pomocí matematického modelování, které je časově méně náročné a bez starostí s modelovým měřítkem kalu při oproti fyzikálnímu modelování a značně méně finančně náročné oproti výzkumu na místě.

Základem věrohodnosti matematického modelování je také ověření výsledků a to nejlépe pomocí měření na skutečném dílu [1] [2] [10] [11].

## Dosazovací nádrže

Dosazovací nádrž je usazovací nádrž sloužící ke gravitační separaci suspendovaných látek z odpadní vody na ČOV. Konkrétně k separaci usaditelných vloček biologického kalu, vzniklého z biologického čištění. Pokud se na čistírně nachází i terciální čištění, mohou tyto nádrže sloužit i na zachycení produktů odstraňování fosforu a dusíku. V rámci zařazení objektů na ČOV se dosazovací nádrže nachází na konci celého procesu, viz Obr. 2.1 technologické schéma ÚČOV.

Funkce dosazovací nádrže:

- Separace nerozpuštěných látek
- Shromáždění akumulovaného kalu pro jeho odstranění a recirkulaci
- Zajištění krátkodobé akumulace aktivovaného kalu vyplaveného při dešti z aktivační nádrže

Z funkčního a hydraulického hlediska se prostor nádrže dělí na vtokovou, usazovací, kalovou a odtokovou. Řešení vtokové a odtokové části má zajistit rovnoměrné rozdělení a laminární proudění vody v celém usazovacím prostoru. Kalový prostor musí být dostatečně velký pro akumulaci kalu před jeho odtahem. Dosazovací nádrž není vhodná pro zahušťování kalu, protože by bylo obtížné dosáhnout větší koncentrace než 1,5 % pevné části objemu, pro zahušťování kalu se využívá dalších objektů např. centrifug nebo zahušťovacích nádrží.

Správná funkce dosazovací nádrže je pouze při správné funkci celého systému ČOV. Nejdůležitější pro ni je kvalita kalu, která je dána podmínkami v aktivační nádrži. Při správném stupni aerace a správném poměru nutrietů na mikroorganismy je produkován kal, který dobře sedimentuje, flokuje a je kompaktní. Když kal hůře sedimentuje, musí být větší průtok s vratným kalem pro vrácení stejného množství kalu a tím se i zvyšuje šance na rozbití vloček kalu a dalšího zhoršení funkce biologického čištění. Únik 1 mg/l nerozpuštěných látek odpovídá z hlediska znečištění 0,3-1,0 mg/l BSK<sub>5</sub>, 0,8-1,6 CHSK, 0,08-0,1 mg/l N<sub>celkový</sub> a 0,02-0,04 mg/l P<sub>celkový</sub> [3] [5].

Dosazovací nádrže mohou být pravoúhlé nebo kruhové s horizontálním nebo vertikálním protékáním. Vertikální průtok se navrhuje na malých ČOV. Na velkých ČOV se navrhuje zpravidla kruhové horizontálně protékané. Výhody a nevýhody uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1 Výhody a nevýhody pravoúhlých a kruhových dosazovacích nádrží

|                 | Pravoúhlé                                                                                   | Kruhové                                                                                  |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Výhody</b>   | Menší zastavěná plocha<br>Delší dráha od vtoku do odtoku<br>Rovnoměrnější rozdělení průtoku | Kratší doba zdržení kalu<br>Jednodušší a spolehlivější sběr kalu<br>Potřeba menší údržby |
| <b>Nevýhody</b> | Delší doba zdržení kalu<br>Potřeba častější údržby                                          | Možnost zkratkového proudění<br>Citlivé na tvorbu větrných vln                           |

Dimenzování nádrže se provádí pro maximální hodinový průtok  $Q_h$ , max. Hlavní návrhové parametry jsou:

- Maximální hydraulické zatížení
- Doba zdržení
- Látkové zatížení plochy nerozpuštěnými látkami

Zatížení nerozpuštěnými látkami se navrhuje od 3,5 do 5 kg/m<sup>2</sup>/h, hydraulické zatížení přepadové hrany nemá být větší než 10 m<sup>3</sup>/m/h

Doporučené hodnoty podle normy ČSN pro střední doby zdržení a hydraulického zatížení plochy závisí na velikosti ČOV a umístění a jsou uvedeny v Tab. 2.

[3] [4] [6]

## Dosazovací nádrže na ÚČOV Praha

K separaci aktivovaného kalu od vyčištěné odpadní vody slouží na ÚČOV Praha osm starých a čtyři nové dosazovací nádrže. Jedná se o kruhové nádrže, radiálně protékané.

Staré dosazovací nádrže mají průměr 43 m a hloubku u vnější stěny 2,5 m. Aktivační směs natéká středovým vtokovým objektem ve tvaru osmihranu. Usazený kal je stírán ke středu nádrže shrabováký zavěšenými na otočném jednoramenném pojezdovém mostě do kalové jímky, odkud gravitačně odtéká do čerpací stanice vratného a přebytečného kalu. Vyčištěná voda natéká do mezikruhového ocelového odtokového žlabu, neseného na betonových sloupech, který je propojen s obvodovým sběrným odtokovým žlabem, odkud odtéká do podzemního betonového žlabu. V r. 2009 byly zahájeny úpravy jednotlivých starých dosazovacích nádrží pro stírání a odtah plovoucích nečistot spočívající v instalaci norných stěn na odtokové žlaby, stíracích lišt, dvou jímek s čerpadly pro odtah plovoucích nečistot v obou mezikružích a zařízení pro automatické čištění norných stěn. Ty byly v r. 2009 nainstalovány na všech DN (akce ukončena v prosinci) [7].

## Výzkum vtokového objektu

Výzkum vtokového objektu bude proveden pomocí matematického modelování v programu ANSYS Fluent. Testování variant bude nejdříve ve 2D a poté se výsledná varianta odzkouší ve 3D s čistou vodou a nakonec s kalem. Simulace ve 2D není přesná pro rychlost a kal, protože se jedná o radiální nádrž. Proto simulace proběhne pouze s čistou vodou, pro najití nevhodnější geometrie „kšiltu“. Poté bude odzkoušena ve 3D s čistou vodou pro prověření hydrauliky celé nádrže, hlavně jestli v ní nevznikají mrtvé prostory nebo zkratkové proudění. Nakonec proběhne simulace ve 3D s kalem. Pomocí tohoto postupu se sníží výpočetní čas na minimum, neboť 2D výpočty jsou cca 100 - 500x rychlejší než 3D a výpočet proudění s čistou vodou je přibližně 5 - 10x rychlejší než s kalem.

Pro určení vhodné varianty sledujeme několik podstatných prvků proudění:

- **Maximální rychlosti** – vypovídají o plynulosti proudu, snaha je tedy o co nejnížší hodnotu. Proudění v usazovací a kalové části by mělo být laminární. Maximální rychlost v nádrži se doporučuje do 0,6 m/s, při větších rychlostech je možnost deflokulace biologických vloček [13]

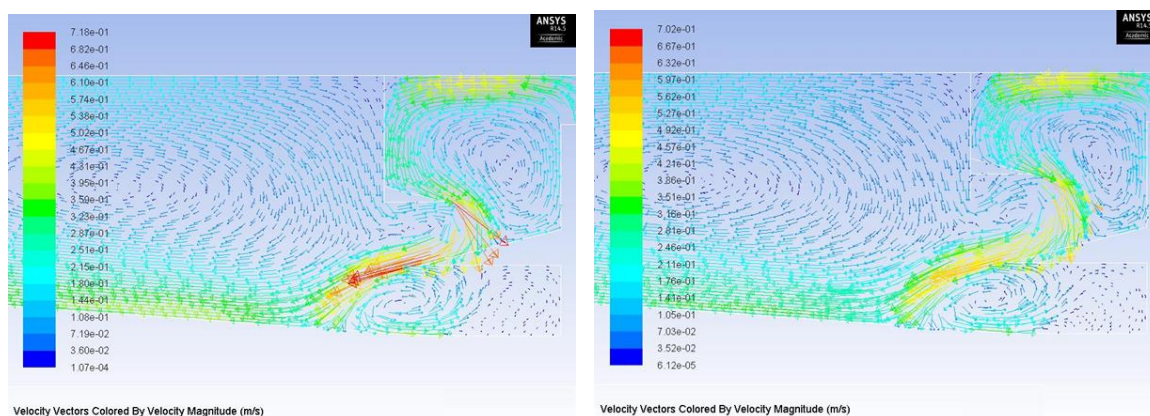
- **Minimalizace vratných proudů** – při pohledu na vtokovou část je nutné, aby proud plynule navazoval v zatáčkách na sebe a nevytvářel zbytečné vratné proudy, čímž vytváří mrtvé prostory a zvyšuje maximální rychlost [8]
- **Rovnoměrné výtokové pole** – snahou je, aby proud při opouštění vtokové části vytékal rovnoměrně (po výšce) a co nejvíce vodorovně. Hlavním účelem vtokového objektu je nasměrování proudu do nádrže, aby nátok neovlivňoval kalovou část a nezvířil již usazený kal

Výsledná varianta poté bude prověřena na:

- **Minimalizaci mrtvých prostorů v nádrži** – snahou je využít celý prostor nádrže, tak aby nevznikalo zkratkové proudění v jedné části a prostory, kde voda neproudí v druhé části
- **Minimalizaci přepadu kalu do odtoku**

Simulace pro optimalizaci „kšiltu“ budou provedeny pro maximální průtok nádrží, jelikož při tomto stavu nádrž vykazuje výrazně zhoršenou účinnost. Simulace s kalem poté proběhne pro maximální i pro průměrný průtok a bude porovnávána se stávajícím stavem a dalšími možnými variantami, které byly navrženy doc. Pollertem ve Studii proveditelnosti ÚČOV Rekonstrukce starých dosazovacích nádrží [9] [12].

## 2D model



Obr. 6 Výběr z výsledků 2D simulací - vlevo Varianta 1, vpravo Varianta 6

Varianty výzkumu jsou řazeny podle pořadí, v jakém byly simulovány. Nejsou seřazeny podle pozice „kšiltu“, ale podle vývoje, jakým se výzkum ubíral.

Z výsledků je bohužel patrné, že žádná z variant není ideální. Pro ideální proudění by byla vhodnější hlubší nádrž, aby proudnice plynule přešla v esovitém tvaru ven z vtokové části do usazovací části. To ovšem není možné, neboť zvýšit hloubku nádrže by bylo finančně velice náročné.

Poslední simulace, tedy varianta 6, byla vybrána jako nejlepší. Poloha „kšiltu“ zajišťuje vhodné proudění s minimem mrtvých prostorů a vírů. Rychlosti v této variantě nejsou sice nejmenší, ovšem nejsou ani výrazně vyšší než u ostatních variant. Směr proudu na výstupu z vtokové části se jeví podle vizuálního hodnocení jako nejpříjemnější.

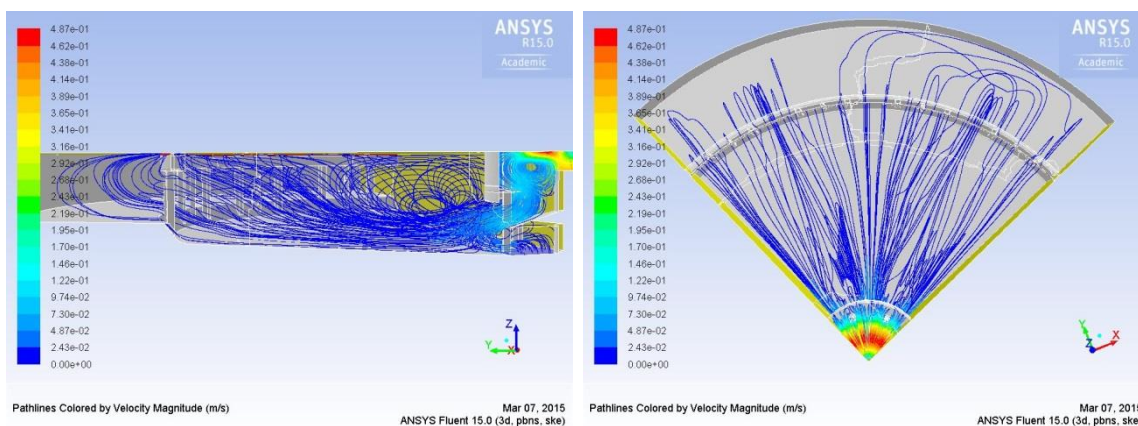


Tab. 2 Výhody a nevýhody pravoúhlých a kruhových dosazovacích nádrží

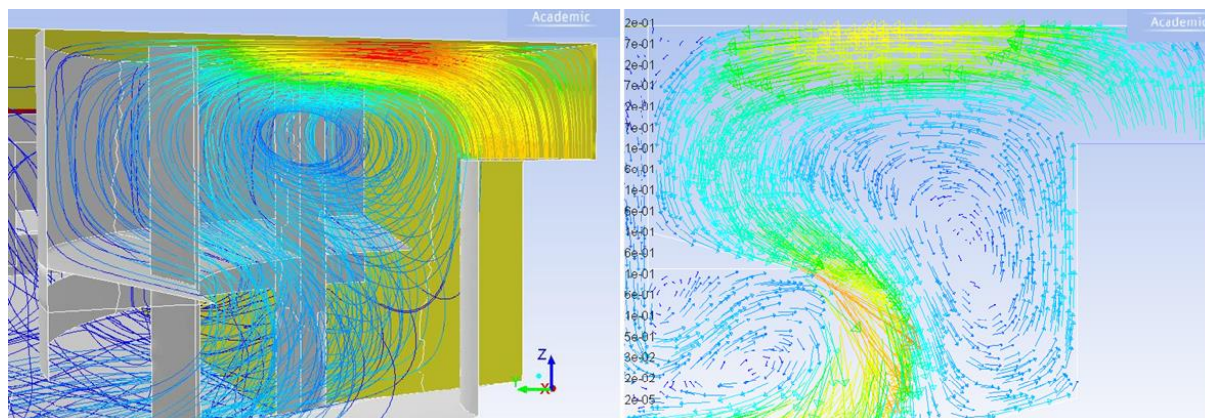
| Varianta                   | poloha "kšiltu" od spodní hrany [mm] | max rychlosti [m/s] |
|----------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| Varianta 1 – původní verze | 0                                    | 0,718               |
| Varianta 2                 | 500                                  | 0,700               |
| Varianta 3                 | 300                                  | 0,707               |
| Varianta 4                 | 200                                  | 0,703               |
| Varianta 5                 | 700                                  | 0,699               |
| Varianta 6                 | 400                                  | 0,702               |

### 3D model s čistou vodou

Model byl sestaven pouze pro  $\frac{1}{4}$  dosazovací nádrže z důvodu úspory výpočetního času. Nádrž je perfektně symetrická podle dvou os a v nádrži není žádný element, který by proudění v nádrži stáčel.



Obr. 7 proudění vody v nádrži ukazující rovnoměrné využití celého objemu



Obr. 8 porovnání 2D modelu s 3D modelem

Porovnání 3D modelu s 2D modelem ukázalo výbornou shodu v proudnicích a tím oprávněnost použití jednoduššího 2D modelu pro optimalizaci.

Model ukazuje využití celého objemu nádrže. Rychlosti jsou nejvyšší ve vtokové části, maximální rychlost je zde 0,49 m/s, to je menší, než kritických 0,6 m/s pro deflokulaci. Na konci vtokové části jsou rychlosti již pod 0,2 m/s a neměly by tak rušit sedimentující kal.

### 3D model s kalem



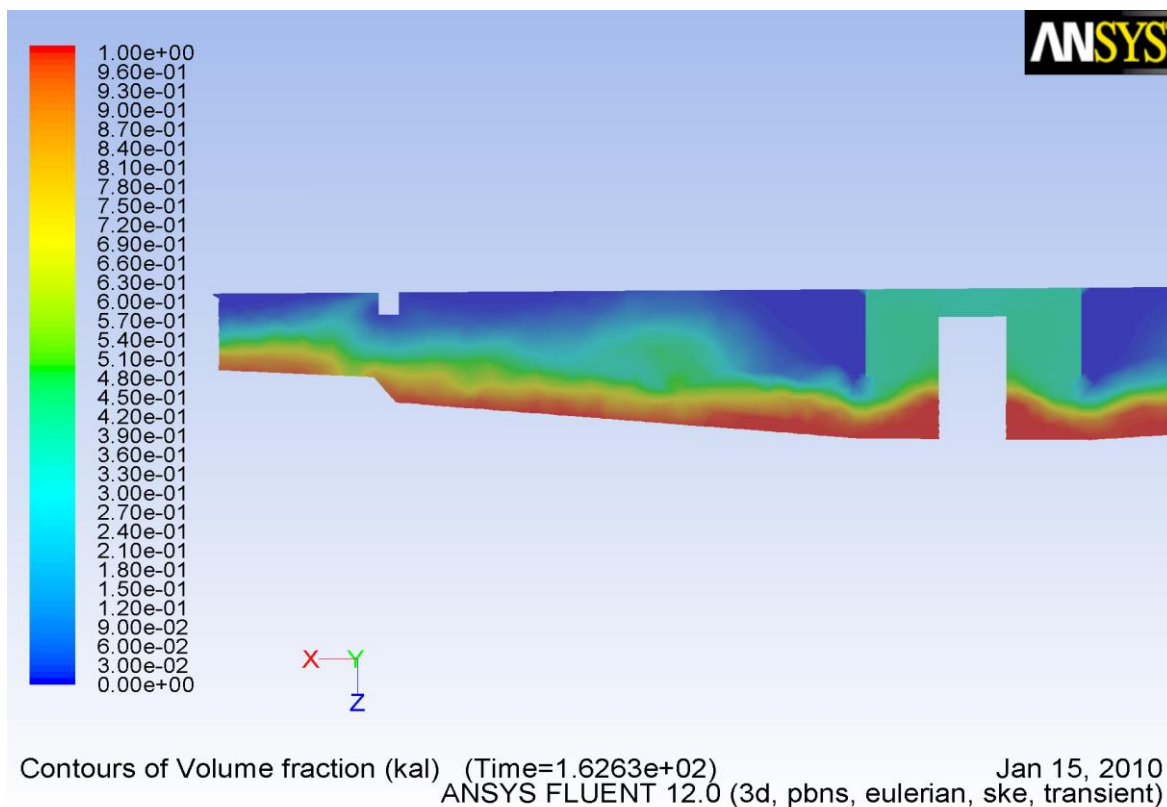
Obr. 9 Porovnání 3D geometrie s realitou

Dosazovací nádrž s výtakovým kuželem a „kšiletem“ vykazuje menší hodnoty přepadu kalu než nádrž bez této úpravy nátoku. Vizualně je také poznat, že u nádrže bez úpravy dochází k zvržení usazeného kalu u nátoku, kdežto u nádrže s úpravou k tomu nedochází.

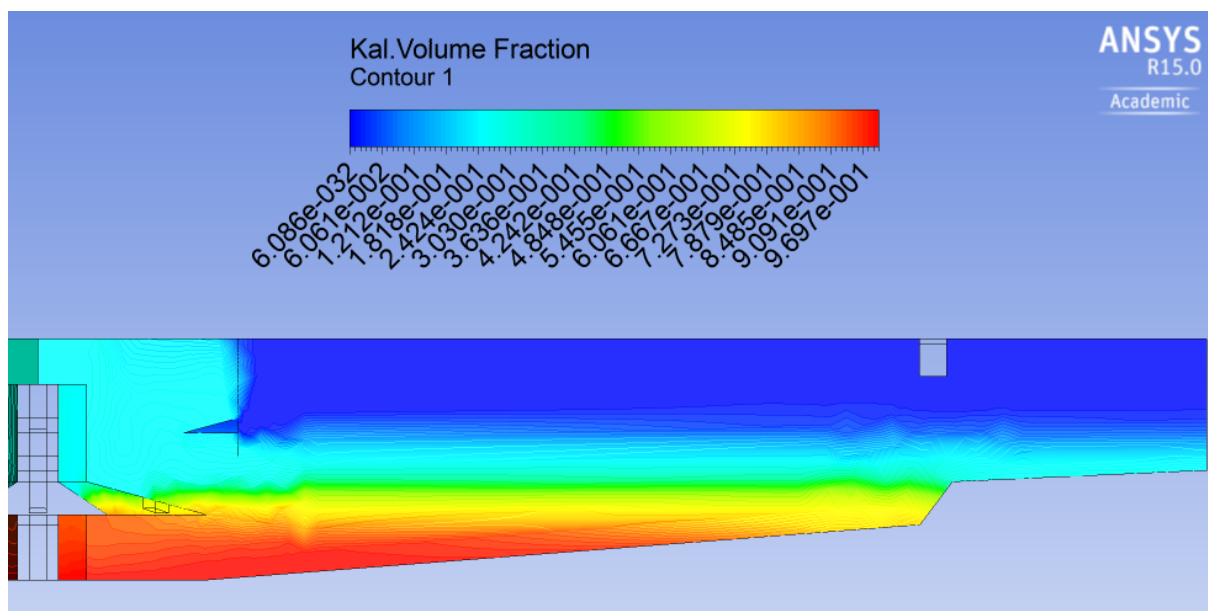
Výsledky byly porovnány s výsledky simulací nádrže bez úpravy ze studie doc. Pollerta a doc. Koníčka [3].

Tab. 3 Koncentrace kalu v mg/l na přepadu z nádrží

|                         | Nádrž bez úpravy | Nádrž s výtakovým kuželem<br>a „kšiletem“ |
|-------------------------|------------------|-------------------------------------------|
| <b>Průměrný průtok</b>  | 20,1             | 16,8                                      |
| <b>Maximální průtok</b> | 90,6             | 72,7                                      |



Obr. 10 Řez nádrží bez úpravy s kalem pro maximální průtok, převzato ze Studie proveditelnosti ÚČOV Rekonstrukce starých dosazovacích nádrží, Koníček, Pollert, Kříž [3]



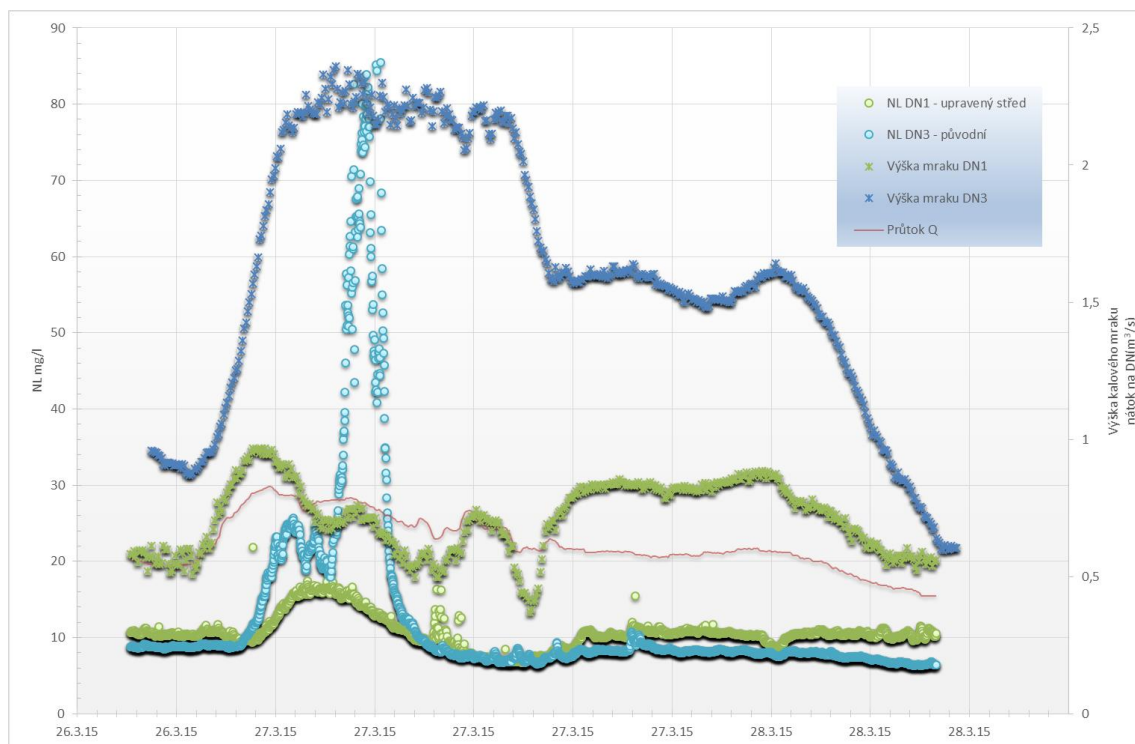
Obr. 11 Řez nádrží s upraveným vtokovým objektem a kalem pro maximální průtok



## Měřicí kampaň

Kampaň probíhala 2 měsíce od února do března 2015 na dvou nádržích, a to na DN 1, na které byl osazen nový vtok, a na DN 3, nerekonstruované nádrži. Měřily se nerozpuštěné látky v odtoku z dosazovací nádrže a průtok do nádrže i z nádrže. Měření průtoků provedlo PVK. Průtoky byly měřeny diskrétně každých 5 minut. Měření nerozpuštěných látek zajišťovalo ČVUT.

Nerozpuštěné látky byly měřeny kontinuálně pomocí sond Solitax a Hach-Lange pracujících na principu měření zákalu a jeho přepočtu na nerozpuštěné látky. Přepočet probíhal podle továrního nastavení. Zpřesnění dat proběhlo po ukončení měřicí kampaně a to přepočtem pomocí kalibrační křivky sestavené z odběrů zpracovaných v laboratoři. Celkem bylo uskutečněno 67 odběrů, které byly provedeny v různých dnech a časech pro postihnout co nejvíce možných průtoků. Stanovení nerozpuštěných látek probíhalo v laboratoři ČVUT podle normy ČSN na stanovení těchto látek a to filtrací a následným sušením vzorku.



Graf 1 Průběh výšky kalového mraku a nerozpuštěných látek při zvýšeném průtoku dne 27. 3. 2015

Měření ukázalo, že v bezdeštném období je přepad nerozpuštěných látek porovnatelný. Na rekonstruované nádrži s novým vtokem DN 1 byla v tomto období koncentrace nerozpuštěných látek na přepadu vyrovnaná. Na DN 3 byla koncentrace s nižším průtokem menší než na DN 1, s rostoucím průtokem stoupala přibližně na stejnou hodnotu jako DN 1.

Při dešťovém průtoku se ukázala výhoda rekonstrukce DN 1, kdy byl na konci kampaně zaznamenán výplach kalu z nádrže DN 3. Událost je znázorněna na Grafu 2. Při stejném nátoku na obě nádrže je vidět rozdílné chování kalového

mraku, který jde na DN 3 výrazně rychleji nahoru než u DN 1, kde je mrak velice stabilní.

## Porovnání modelu s realitou

Tab. 4 Porovnání modelu s měřením

| Přepad kalu (mg/l)                    | Průměr DN1 | Max DN 1 | Průměr DN3 | Max DN 3 |
|---------------------------------------|------------|----------|------------|----------|
| Matematický model<br>průměrný průtok  | 16,8       |          | 20,1       |          |
| Matematický model<br>maximální průtok | 72,7       |          | 90,6       |          |
| Měření průměrný průtok                | 7,6        | 12,4     | 6,7        | 11,2     |
| Dešťová událost 26.3.                 | 12,3       | 21,8     | 21,7       | 85,4     |
| Dešťová událost 29.3.                 | 10,2       | 13,2     | 42,5       | 103,1    |
| Dešťová událost 30.3.                 |            | 133      |            | 300      |

Hodnoty přepadu kalu vypočtené 3D modelem a změřené se neshodují. Model byl totiž kalibrován na shodu vlastností kalu, aby jeho sedimentace probíhala v modelu shodně s realitou. Matematický model je statický, simulace je provedena v ustáleném stavu, proto nemůže nikdy postihnout skutečné dynamické chování dosazovací nádrže při dešti. Matematický model také nezahrnuje vliv shrabováku, který je ve skutečnosti poměrně podstatný pro celkovou účinnost nádrže. Výsledný přepad kalu v matematickém modelu je poměřen s výsledky předchozího výzkumu a je porovnán s výsledky měřicí kampaně.

Z měření vyplynulo, že zlepšení rekonstruované nádrže je za zvýšeného průtoku lepší než ukazoval model. Kalový mrak se drží v přijatelné výšce a přepad znečištění se přes předepsaný limit vypouštění 20 mg/l dostává pouze výjimečně, kdežto na nerekonstruované nádrži dochází k překračování této meze výrazně více [14].

Naopak při nízkém průtoku došlo k mírnému zvýšení přepadu nerozpuštěných látek na rekonstruované nádrži. Měřené hodnoty nízkého průtoku jsou ovšem bezpečně pod stanoveným limitem vypouštění od vodoprávního úřadu a jsou na hranici měřitelnosti, proto se tento fakt nedá označit za zhoršení funkčnosti dosazovací nádrže. Toto zvýšení je nejspíše způsobeno usměrněním proudu, kdy nový vtokový objekt proud nasměruje do nádrže a využije její celý objem, kdežto nerekonstruovaný objekt proud nenasměruje do celého objemu nádrže a významné proudění a sedimentace probíhá pouze u vtoku a odtahu kalu. U nízkého průtoku je tím dosažena lepší účinnost, protože rychlosti jsou sedimentaci vhodné, ovšem za zvýšeného průtoku se rychlosti zvýší tak, že kal špatně sedimentuje, tím začne kalový mrak rychle stoupat a hrozí jeho vyplavení.

## **Závěr**

V této práci byl na úvod proveden literární rozbor čistíren odpadních vod zaměřený na dosazovací nádrže a její vtokovou část a na matematické modelování. Byly zjištěny různé postupy a technické možnosti řešení tohoto objektu.

Po rozboru byla následně provedena simulace dosazovací nádrže na Ústřední čistírně odpadních vod v Praze. Zkoumáno bylo několika variant pro nalezení nejvhodnější pozice usměrňovacího plechu (takzvaného „kšiltu“) celkově upraveného vtokového objektu. Simulace probíhala v programu ANSYS Fluent ve 2D s čistou vodou, hledala se varianta s minimálními rychlostmi a vírovitostí a především správným směrem proudu, aby nedocházelo k zvržení již usazeného kalu. Po nalezení nejvhodnější pozice s čistou vodou ve 2D byla tato varianta odzkoušena ve 3D s čistou vodou i ve 3D se simulací kalu a byla porovnána s dalšími variantami rekonstrukce z výzkumu doc. Pollerta.

Matematický model předpovídal výrazné zlepšení funkce dosazovací nádrže, proto bylo na ÚČOV v Praze přistoupeno k rekonstrukci jedné nádrže a následnému měření, které probíhalo na rekonstruované nádrži i na jedné nerekonstruované. Měření byly nerozpuštěné látky na odtoku, průtok a výška kalového mraku. Z měření vyplynulo, že rekonstrukce přinesla jasné zlepšení funkce nádrže hlavně při zvýšených průtocích, kdy při měřicí kampani nedošlo k výplachu kalu z rekonstruované nádrže, kdežto na nerekonstruované k němu došlo. Zlepšení v případě nerozpuštěných látek bylo i v případě zvýšeného průtoku, kdy k výplachu nedošlo.

Nový vtokový objekt má podle měření kladný vliv na kvalitu životního prostředí a to tím, že při dešťových událostech výrazně zvyšuje kapacitu čištění odpadních vod tím, že zamezuje přepadu kalu z dosazovací nádrže do recipientu a díky tomu nehrozí akutní problémy pod ČOV se znečištěním jako je například akutní deficit kyslíku spojený s úhynem vodních živočichů.

Na tento výzkum a měření naváže další výzkum a to celkové bilance přepadu znečištění rekonstruované a nerekonstruované nádrže a identifikace rizikových rychlostí pro sedimentaci kalu.

## **Poděkování**

Publikované výsledky byly dosaženy s podporou Studentské grantové soutěže SGS13/173/OHK1/3T/11.

Access to computing and storage facilities owned by parties and projects contributing to the National Grid Infrastructure MetaCentrum, provided under the programme "Projects of Large Infrastructure for Research, Development, and Innovations" (LM2010005), is greatly appreciated.

## Literatura

- [1] Punmia B. C., Jain K. A., Waste water engineering, Laxmi publications, 2005
- [2] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/EC
- [3] Koníček Z., Pollert J., Kříž K., Studie proveditelnosti ÚČOV Rekonstrukce starých dosazovacích nádrží, ČVUT Praha, 2009
- [4] Slavíček M., Slavíčková K., Vodní hospodářství obcí 1, nakladatelství ČVUT, 2013
- [5] Water environment federation, Clarifier design, McGraw-Hill, 2005
- [6] ČSN 75 6401 - Čistírny odpadních vod pro ekvivalentní počet obyvatel (EO) větší než 500
- [7] Mucha A., Centrální čištění odpadních vod hlavního města Prahy, časopis stavebnictví, 2009
- [8] Kainz H., Design and construction of the WWTP of Vienna, Conference of Vodni Dnevi Slovenia, 2008
- [9] Gazda M., Posouzení vtokového objektu dosazovací nádrže Beveren, ČVUT Praha, 2006
- [10] Vesilind P. A., Waste water treatment plant design, IWA Publisinhg, 2003
- [11] K. W. Morton, D. F. Mayers, Numerical Solution of Partial Differential Equations, Cambridge, 2005
- [12] Pollert J., Chmátal P., Studie proveditelnosti ÚČOV Rekonstrukce starých dosazovacích nádrží - doplnění studie, ČVUT Praha, 2012
- [13] Das D., Keinath T., Parker D., Wahlberg E., Floc breakup in activated sludge plants, Water Environment Research, 1993
- [14] Kvalita vyčištěné vody z ÚČOV Praha, Dostupné online: <[www.pvk.cz](http://www.pvk.cz)>