

NUMERICKÁ SIMULACE SEDIMENTAČNÍ NÁDRŽE V ČISTÍRNĚ ODPADNÍCH VOD

Čistírna odpadních vod v Holandsku měla problém s funkčností nově přestavěné sedimentační nádrže pro odvod aktivovaného kalu (Obr. 1). Ve zrekonstruované nádrži docházelo k přílišnému mísení kalu s vodou – na jedné straně byla část kalu vypouštěna do povodí společně s čistou vodou, na straně druhé byl v odčerpávaném kalu vysoký podíl vody. Inženýři díky simulacím provedeným pomocí programu COMSOL Multiphysics® zjistili, že pro vyřešení problému není nutné nádrž opět přestavovat, ale stačí do přitékající směsi vody a aktivovaného kalu přidat chemickou sloučeninu, která změní charakter kalových částic. Tato úprava čistírně ušetřila velkou část prostředků, které by musely být vynaloženy na opětovnou přestavbu.

Termínem odpadní voda označujeme veškerou vodu znečištěnou jejím využitím v domácnostech, zemědělství a průmyslu. Tato voda se odvádí do čistíren odpadních vod, kde probíhá čištění v několika fázích. Jedná se o mechanické, chemické a biologické čisticí postupy. Čistírna funguje jako předčištění odpadní vody, dočištění probíhá následně v přirozeném vodním toku.

Obr. 1 – Sedimentační nádrž



Prvním krokem je mechanické čištění. Zde se nejprve voda zbaví nejhrubších nerozpuštěných látek, jako je štěrka, kusy dřeva apod. Dále se odstraní hrubé plovoucí nečistoty a následuje lapák písku a tuků. Separace se děje na základě rozdílných hustot materiálů a využívá se buď gravitační nebo odstředivá síla. Konečným zařízením ve fázi mechanického čištění je sedimentační nádrž, kde probíhá usazování jemných nerozpuštěných látek. Tímto procesem vzniká primární kal, který je zpracováván v kalovém hospodářství.

Následuje chemické čištění. Zde se využívají různé postupy podle chemických vlastností látek, které je nutné odstranit – jmenujme například srážecí reakce, neutralizace kyselin a zásad nebo absorpční procesy.

Posledním stupněm je biologické čištění. Do sedimentačních nádrží se vhná odpadní

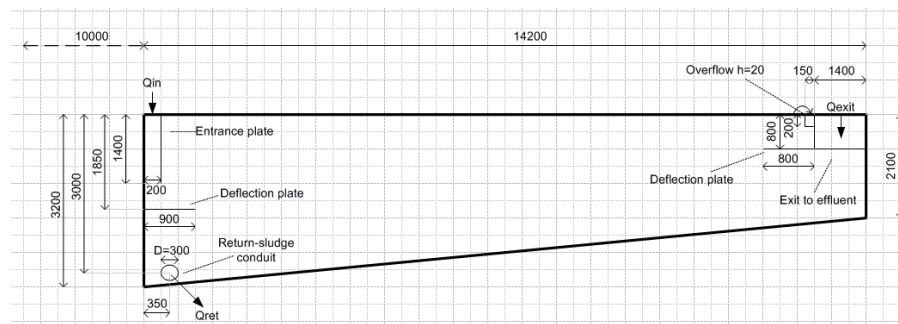
voda spolu s aktivovaným kalem, což je směs biologických mikrokultur, které odstraňují z vody dusík a fosfor (vtok je na Obr. 2, vlevo nahoře). Nakonec musí být aktivovaný kal oddělený od čisté vody, která se vypouští do okolního prostředí. Částice kalu, které jsou těžší než voda, se usazují na dně sedimentační nádrže, odkud je kal určený k opakovanému využití odčerpáván pomocí odvodního potrubí (Obr. 2, dole vlevo, „Return-sludge conduit“). Čistá voda se vyplavuje z nádrže u vnějšího okraje (Obr. 2, vpravo nahoře, „Exit to effluent“). Soustava vodicích desek (Obr. 2, „Deflection plate“) podporuje správnou cirkulaci směsi tak, aby kal měl možnost usadit se na dně nádrže a mohl být odčerpán pomocí odvodního potrubí.

Holandská čistírna odpadních vod se rozhodla zrekonstruovat sedimentační nádrž pro usazování aktivovaného kalu a rozdělila ji na vnitřní a vnější část, kde pouze vnější část byla určena k usazování (Obr. 1). Po rekonstrukci se zjistilo, že příliš mnoho aktivovaného kalu se vypouští spolu s čistou vodou do povodí, a naopak odčerpávaný kal obsahuje vysoký podíl vody. K vyřešení tohoto problému si čistírna najala skupinu konzultačních inženýrů, kteří se rozhodli problém simulovat na počítači, a tímto způsobem najít řešení, které by se dalo později převést do praxe.

Prvním krokem bylo vytvoření modelu proudění v nádrži. K tomu inženýři využili program COMSOL Multiphysics® s nadstavbovým modulem „Chemical Reaction Engineering Module“.

COMSOL Multiphysics® je simulační nástroj, který řeší fyzikální úlohy popsané parciálními diferenciálními rovnicemi pomocí metody konečných prvků. Specializované nadstavbové moduly jsou určeny k modelování úloh z různých profesních oborů a oblastí. V současné době existuje 11 specializovaných modulů, které umožňují řešit úlohy z oblastí elektromagnetismu, strukturální mechaniky, akustiky, proudění tekutin, přestupu tepla apod.

Obr. 2 – Průřez sedimentační nádrží



Již zmiňovaný chemický modul slouží k řešení kinetiky a dynamiky chemických reakcí v čase i prostoru. Pro modelování směsi odpadní vody a aktivovaného kalu byl využit aplikační mód „Mixture Model“. Tento mód slouží k simulaci dvofázového proudění směsi dvou tekutin, nebo tekutiny a pevné látky.

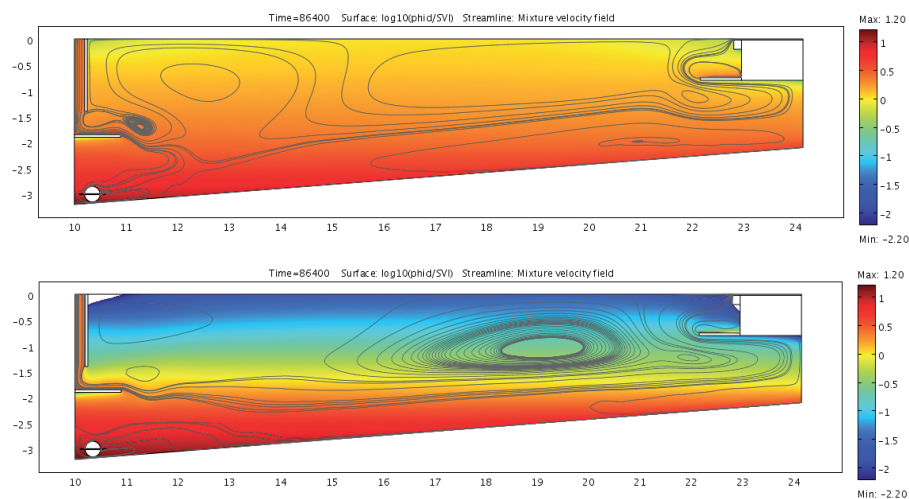
Simulace proudění ve zrekonstruované nádrži ukázala, že po dosažení rovnovážného stavu se v charakteru proudění objeví malý vír (Obr. 3 nahoře). To má za následek, že kal se nestihne usadit na dně nádrže. Důsledkem je stav, kdy se část vstupního toku dostane přímo do potrubí, které odvádí kal mimo nádrž (Obr. 2, dole vlevo, „Return-sludge conduit“), a s ním tudíž unikne i vysoký podíl vody. V druhém případě, kdy se vypouští čistá voda zpět do povodí (Obr. 2, vpravo nahoře, „Exit to effluent“), zase unikne nadměrné množství kalu. Bylo jasné, že nevhodný charakter proudění je dán novým tvarem nádrže. Opětovná přestavba by byla velice finančně náročná, a proto se inženýři zaměřili na nalezení levnějších řešení.

První myšlenkou bylo upravit pozici vodicích desek (Obr. 2, „Deflection plate“). Díky COMSOLU bylo jednoduché studovat vliv horizontálního i vertikálního umístění, stejně jako změny jejich délky a úhlu sklonu. Ze simulací nicméně vyplynulo, že tyto změny nemají na poměr mezi odváděnou vodou a kalem v problematických místech žádný významný vliv.

Dalšími experimenty se zjistilo, že dvě jiné vlastnosti naopak velký efekt na výsledné proudění mají – zvýšení hustoty kalu a zvětšení průměru kalových částic. Následným testováním inženýři zjistili, že největší efekt má právě zvětšení průměru částic. A co je nejdůležitější, že jsou dostupné prostředky, které tyto vlastnosti kalu mění – struktura kalových částic se dá ovlivnit přidáním určitých chemikálií do směsi před tím, než je vpuštěna do sedimentační nádrže.

Na obrázku 3 dole je vidět výsledek simulace pro nové hodnoty hustoty kalu

Obr. 3 – Proudění směsi kalu a vody v původní konfiguraci (nahore) a se změněnými vlastnostmi kalu (dole)



a průměru kalových částic, kterých bylo dosaženo pomocí chemického působení na kal. Můžeme si všimnout, že nyní je proudění stabilnější a malý vír zmizel. Jednotlivé částičky mají dostatek času na to, aby se usadily na dně nádrže, a tento proces zlepšil situaci jak v místě odvodu kalu, tak při vypouštění vody ven z nádrže.

Na doporučení inženýrů čistírna odpadních vod následně zavedla nové postupy, které byly odvozeny na základě simulací, a potvrdilo se, že tato opatření vyřešila problém a sedimentační nádrž pracuje mnohem lépe než dříve. Zároveň bylo ušetřeno 90 % nákladů, které by bylo nutné vynaložit na opětovnou přestavbu nádrže.

Zuzana ZÁHOROVÁ, HUMUSOFT s.r.o.,
zuzanaz@humusoft.cz