

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODAŘSTVÍ OBCÍ

Doc. Ing. Petr Hlavínek, Csc.

**ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD S DLOUHODOBOU AKTIVACÍ**

Teze přednášky ke jmenování profesorem

Brno, duben 2001

© 2001 P. Hlavínek

ISBN 80-214-1879-6

## Obsah:

Představení autora.....	4
Čistírny odpadních vod s dlouhodobou aktivací .....	5
1. Úvod .....	5
2. Volba typu reaktoru .....	5
3. Zatěžovací parametry .....	6
4. Zabezpečení dodávky kyslíku .....	7
5. Míchání aktivovaného kalu .....	8
6. Problematika nutrientů .....	8
7. Separace aktivovaného kalu .....	10
8. Řízení provozu aktivačních ČOV s nitrifikací a denitrifikací.....	11
9. Závěr.....	13
10. Řešení problematiky ČOV s dlouhodobou aktivací na FAST VUT .....	13
11. Pedagogické působení autora .....	16
12. Vývojové tendence a perspektivy čištění odpadních vod.....	17
13. Přehled nejvýznamnějších prací.....	17
14. Úspěšně oponované výzkumné a pedagogické úkoly .....	18

## **PŘEDSTAVENÍ AUTORA**

Petr Hlavínek (narozen 15.3 1959 v Brně) absolvoval Vysoké učení technické v Brně, fakultu stavební, obor vodní stavby a vodní hospodářství v roce 1984. V rámci vojenské služby pracoval jako stavbyvedoucí. Od roku 1985 začal pracovat ve středisku kanalizací Hydroprojektu Praha, OZ Brno (dále HDP) na řadě projektů kanalizací a čistíren odpadních vod na území celé republiky. K nejvýznamnějším akcím patří generel kanalizační sítě historické části města Brna, který získal 1. místo v soutěži projektu MLVHZ. V roce 1987 zahájil studium externí vědecké aspirantury na VUT FAST na téma "Automatizace projektování kanalizačních sítí a čistíren odpadních vod". V roce 1989 obhájil kandidátské minimum s prací na téma "Současný stav a perspektivy automatizace projektových postupu z hlediska oboru kanalizací a ČOV". Začátkem roku 1989 byl v HDP pověřen koordinací využití výpočetní techniky v projektování pro všechny pobočky podniku. Uvedl do praxe celou řadu programů, které byly ihned prověřovány při práci na projektech.

V roce 1990 byl přijat k ročnímu postgraduálnímu studiu na IHE ( International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering - Delft, Nizozemí) na mezinárodní kurs zdravotního inženýrství se specializací na odvádění a čištění odpadních vod. V roce 1991 začal pracovat na částečný úvazek na Ústavu vodního hospodářství obcí FAST VUT jako odborný asistent. V září 1992 ukončil pracovní poměr v AQUATISu Brno (dříve HDP) a přešel na plný úvazek na ÚVHO. V tomto roce obhájil disertační práci "Automatizace projektování kanalizačních sítí a čistíren odpadních vod " a získal vědeckou hodnost kandidáta technických věd. V roce 1993 vyhrál konkurs ke studiu na Central European University Budapest, Maďarsko, kde studoval Environmental Science and Politics v anglickém jazyce. V lednu až březnu 1994 působil na pozvání v National Water Research Institute v Kanadě, kde se zabýval problematikou čistoty vod a čištění odpadních vod. Část pobytu strávil ve Waste Technology Center. V říjnu až prosinci 1994 působil na University of California Los Angeles jako "visiting professor" na Department of Civil Engineering. Během svého pobytu se zabýval problematikou čištění odpadních vod, spolupracoval na grantu "A Decision Support Systems for Wastewater Treatment Plant Operation" a vyučoval problematiku čištění odpadních vod. V dubnu 1998 obhájil habilitační práci "Metodologie navrhování intenzifikací čistíren odpadních vod" a byl jmenován docentem pro obor "Vodní hospodářství a vodní stavby".

V rámci vedlejší hospodářské činnosti provádí expertní činnost v problematice čištění odpadních vod. Spolupracuje s řadou firem pracujících v oboru. V letech 1990 - 2000 zpracoval desítky posudků technologií čištění odpadních vod.

Petr Hlavínek je členem řady odborných organizací, člen svazu stavebních inženýrů, člen komory autorizovaných inženýrů, členem národního komitétu IAWQ, místopředsedou Asociace čistírenských expertů ČR a členem Asociace čistírenských expertů SR.

Celková doba pedagogické praxe je 10 let. Přednáší čištění odpadních vod, čistotu vod a vodní stavitelství. Od roku 1996 je školitelem 10 interních a 2 externích doktorandů, z nichž 1 získal v roce 1999 PhD., 4 mají složenou rigorózní zkoušku a plánují obhajobu doktorské práce v letošním roce. Od roku 2000 přednáší na recipročně na Slovenské technické universitě v Bratislavě Čistotu vod.

Od roku 1991 je autorizovaným inženýrem oboru vodohospodářské stavby.

Publikoval více než 20 příspěvků v odborných časopisech a ve sbornících mezinárodních vědeckých konferencí v anglickém jazyce, 12 článků v domácích vědeckých a odborných časopisech, 40 článků ve sbornících vědeckých nebo odborných konferencí. Je spoluautorem čtyř knižních publikací a další dvě publikace jsou rozpracovány. Zpracoval více než 200 vědeckých nebo odborných zpráv a posudků o řešení technických problémů vyžádaných praxí, z nichž více než 10 bylo zpracováno v rámci mezinárodní spolupráce.

Je členem redakční rady čistírenských listů (součást časopisu Vodní hospodářství).

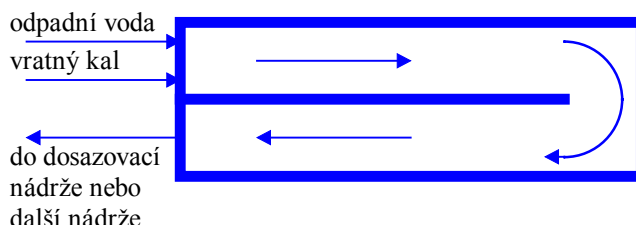
# ČISTÍRNÝ ODPADNÍCH VOD S DLOUHODOBOU AKTIVACÍ

## 1. ÚVOD

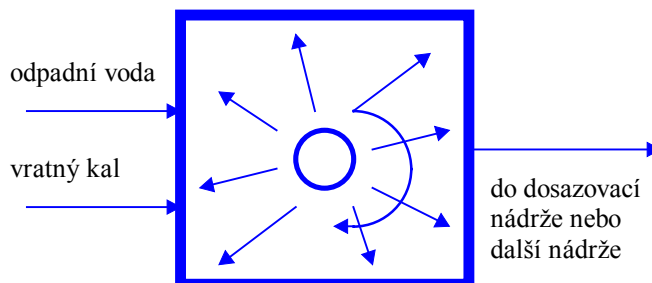
Aktivační proces je v současnosti převládající technologií biologického čištění odpadních vod. Existuje v celé řadě modifikací. V poslední době převládají modifikace aktivačního procesu se zvýšeným odstraňováním nutrientů. Návrh aktivačního procesu vychází z celé řady předpokladů a kritérií, které vymezují možnosti návrhu. Návrh čistírny odpadních vod musí vycházet z podkladů o současném a výhledovém stavu v dané lokalitě. Pro návrh skladby objektů čistírny a technologického vybavení jednotlivých objektů jsou důležité požadavky na jakost vyčištěných odpadních vod, množství, složení a znečištění odpadních vod s uvedením průměrných, maximálních a minimálních hodnot přítoků, koncentrace znečištění a minimální a maximální teploty odpadních vod, druh, stav a hydraulické poměry stokové sítě, možnosti konečného zneškodnění nebo využití odpadních produktů čištění odpadních vod, požadavky na způsob čištění odpadních vod, polohopisné, výškopisné, komunikační, inženýrsko-geologické, hydrologické a klimatické poměry v místě stavby čistírny. Z těchto podkladů se vychází při výběru vhodné technologie, který je spojen s problematikou výběru vhodného technologického uspořádání aktivačního procesu, volby zatěžovacích parametrů, stanovení potřeby kyslíku, stanovení produkce kalu, bilance nutrientů, stanovení kvality vyčištěné vody a návrhu separace kalu v dosazovacích nádržích. Protože primárním požadavkem je dosažení požadované kvality vyčištěné vody, je prioritní volbou stanovení vhodné technologie čištění.

## 2. VOLBA TYPU REAKTORU

Při volbě vhodného typu reaktoru pro aktivační nádrž nebo některou sekci technologické linky aktivace je rozhodující reakční kinetika probíhajícího procesu v příslušné nádrži. Prakticky rozeznáváme dva typy reaktorů: směšovací reaktor a reaktor s postupným tokem.



Obr. 1 Princip aktivační nádrže s postupným tokem



Obr. 2 Princip aktivační směšovací nádrže

Jedním z důležitých faktorů ovlivňující výběr typu reaktoru pro aktivační proces je spotřeba kyslíku. U reaktoru s postupným tokem je spotřeba kyslíku nejvyšší na začátku reaktoru a klesá směrem ke konci reaktoru. Tato skutečnost vedla k vývoji celé řady modifikací aktivace, jako např. postupně zatěžované aktivace, odstupňované aerace nebo kaskádě

směšovací reaktorů. U směšovací aktivace je spotřeba kyslíku stejná v celém objemu aktivační nádrže. Druh reaktoru rovněž ovlivňuje volba míchacího zařízení. Progresivní metody biologického čištění vyžadují celou řadu pouze mechanicky míchaných reaktorů. S ohledem na hydraulické odpory a typ procesu se buď volí směšovací nádrže (anoxické a anaerobní sekce) nebo nádrže s postupným tokem (oběhová aktivace). Složení odpadních vod a způsob jejich přívodu rovněž ovlivňuje volbu reaktoru. U koncentrovaných vod se dává přednost reaktorům s postupným tokem vzhledem k možnosti vlivu na vláknité bytění kalu. Naopak u směšovacího reaktoru jsou vhodnější podmínky při nárazovém zatěžování reaktoru, neboť nárazově přivedené znečištění nebo i toxické látky jsou ihned rozptýleny do celého objemu aktivace. Volbu typu reaktoru pro aktivační proces nebo jeho některou část rovněž ovlivňují investiční a provozní náklady, která mohou být u různých typů reaktorů významně odlišné.

### 3. ZATĚŽOVACÍ PARAMETRY

Pro návrh a řízení aktivačního procesu bylo navrženo mnoho parametrů. V současnosti jsou k návrhu používány především parametry zatížení kalu  $B_x$  (poměr hmotnostní množství substrátu na 1 kg celkové nebo organické sušiny za den) a stáří kalu  $\Theta_x$  (podíl hmotnostní sušiny aktivovaného kalu v aktivační nádrži a hmotnostní sušiny kalu odebrané jako přebytečný kal včetně suspendovaných látek unikajících odtokem).

Zatížení kalu  $B_x$  je definováno

$$B_x = \frac{S_o}{\Theta \cdot X} = \frac{Q_o \cdot S_o}{V \cdot X} \quad (1)$$

kde  $\Theta$  je hydraulická doba zdržení rovná  $\frac{V}{Q}$   
 $S_o$  - přítoková koncentrace BSK<sub>5</sub> v g/m<sup>3</sup>  
 $V$  - objem aktivační nádrže v m<sup>3</sup>  
 $Q$  - průměrný denní přítok odpadních vod v m<sup>3</sup>/d  
 $X$  - koncentrace sušiny aktivovaného kalu nebo organického podílu sušiny kalu v aktivační nádrži v g/m<sup>3</sup>

Stáří kalu  $\Theta_x$  může být definováno pro aktivační nádrž

$$\Theta_x = \frac{M_{AN}}{M_e + M_w} = \frac{V \cdot X}{Q_e X_e + Q_w X_w} \quad (2)$$

kde  $M_{AN}$ ,  $M_e$ ,  $M_w$  - sušina kalu v aktivační nádrži, v odtoku za den a odtažená za den jako přebytečný kal v kg, resp. v kg/d  
 $V$  - objem aktivační nádrže v m<sup>3</sup>  
 $Q_e$  - průměrný denní odtok vyčištěných odpadních vod v m<sup>3</sup>/d  
 $Q_w$  - průměrný průtok přebytečného kalu v m<sup>3</sup>/d  
 $X$  - koncentrace sušiny aktivovaného kalu nebo organického podílu sušiny kalu v aktivační nádrži v g/m<sup>3</sup>  
 $X_e$  - koncentrace sušiny nerozpuštěných látek nebo organického podílu nerozpuštěných látek v odtoku z čistírny v g/m<sup>3</sup>  
 $X_w$  - koncentrace sušiny přebytečného aktivovaného kalu nebo organického podílu v přebytečném kalu v g/m<sup>3</sup>

Tento vztah se pro vyjádření stáří kalu používá nejčastěji přesto, že nezahrnuje aktivovaný kal v dosazovacích nádržích a dalších objemech čistírny. Vztah je doporučen pro navrhování aktivačních systémů podle stáří kalu.

Celkové stáří kalu může být definováno pro celkový objem aktivačního systému

$$\Theta_{X, \text{celk}} = \frac{M_{\text{celk}}}{Q_e X_e + Q_w X_w} \quad (3)$$

kde  $M_{\text{celk}}$  je celková sušina kalu v aktivačním systému, zahrnující kal v aktivační nádrži, v dosazovací nádrži a v okruhu vratného kalu v kg.

Mezi stářím kalu  $\Theta_x$  a zatížením kalu  $B_x$  platí vztah

$$\frac{1}{\Theta_x} = Y \cdot B_x \cdot \frac{E}{100} - k_d \quad (4)$$

kde  $Y$  je součinitel produkce kalu v kg vyprodukované sušiny/kg odstraněných organických látek

$E$  - účinnost odstranění organických látek v %

$k_d$  - rychlostní konstanta endogenního rozkladu v 1/d

Typické hodnoty zatížení kalu pro aktivační proces jsou v rozmezí 0,05 až 1,0 kg/kg.d. Podle výsledků měření na celé řadě čistíren odpadních vod je pro dosažení kvalitního odtoku z hlediska odstranění organických látek dostačující stáří kalu od 3 do 15 d.

#### 4. ZABEZPEČENÍ DODÁVKY KYSLÍKU

Aktivační proces je aerobní proces, při němž jsou organické látky odstraňovány z odpadní vody pomocí aktivovaného kalu za kontinuálního (výjimečně i diskontinuálního) přínosu kyslíku. Pro vzdušňování udržuje aerobní podmínky v aktivační nádrži (oxygenační faktor aerace) a umožňuje udržení aktivovaného kalu ve vzhledu (hydrodynamický faktor aerace). Organismy aktivovaného kalu spotřebovávají kyslík pro syntézu buněčného materiálu, autooxidaci nebo endogenní respiraci a nitrifikaci. Složení odpadních vod je proměnlivé a výsledek čištění odpadních vod je rovněž proměnlivý, proto i spotřeba kyslíku je proměnlivá v závislosti na tom, jaký biochemický proces probíhá. Ve speciálně řešených reaktorech dochází také k dotaci spotřeby kyslíku při jeho uvolňování během denitrifikace. Výjimečně se kyslík spotřebovává na přímou oxidaci některých sloučenin. Spotřeba kyslíku se stanoví ze zatěžovacích parametrů aktivačního procesu a nezávisí na typu aeračního zařízení. Spotřebu kyslíku lze orientačně stanovit pro jednotlivé procesy spotřebovávající kyslík ze spotřeby na syntézu, spotřeby pro endogenní respiraci a spotřeby na nitrifikaci

Celková spotřeba kyslíku (provozní oxygenační kapacita) je dána rovnicí

$$OC^P = 0,5 \cdot \Delta BSK_5 + 0,1 \cdot M_X + 4,57 \cdot B_N \quad (5)$$

Stanovení spotřeby kyslíku lze provést na základě empirických vztahů s souladu s ČSN 75 6401. Tyto vztahy jsou přesnější než teoreticky odvozené vztahy, neboť zahrnují vliv stáří kalu na endogenní respiraci a vliv teploty. Protože jsou používány pro systémy s nitrifikací a denitrifikací, tj. pro nízkozatížené systémy, vztahuje se specifická spotřeba kyslíku na přivedenou  $BSK_5$ . Množství kyslíku spotřebovaného přímou chemickou oxidací je obvykle rovno 0. Takto stanovené spotřeby kyslíku (provozní oxygenační kapacita) musí být před návrhem aeračního zařízení přepočteny na standardní podmínky. Je doporučena provozní koncentrace rozpuštěného kyslíku 2 mg/l pro oxické nádrže, pro nádrže s průběhem simultánní nitrifikace a denitrifikace je doporučena koncentrace rozpuštěného kyslíku 0,5 mg/l. Vliv odpadní vody se vyjadřuje především pomocí součinitele přestupu kyslíku  $\alpha$ .

Aerační zařízení má umožňovat automatickou regulaci dodávky kyslíku do aktivační nádrže a musí být dimenzováno tak, aby zajistilo udržení aktivovaného kalu ve vznosu.

## 5. MÍCHÁNÍ AKTIVOVANÉHO KALU

Míchání v procesu aktivovaného kalu je jeden z nejdůležitějších faktorů při návrhu a jeho význam je často podceňován. Pro dobrou funkci anoxických a anaerobních nádrží je základní podmínkou. Míchání je nutno považovat za jeden z návrhových parametrů procesu v aktivačních čistírnách odpadních vod. Příčinou problémů s nedokonalým mícháním může být celá řada. Nejčastějším důvodem je podcenění potřebné rychlosti pro udržení kalu ve vznosu, nebo podcenění ztráty rychlosti v systému. Jakákoli překážka v aktivační nádrži působí nepříznivě na proces míchání. Z hlediska zajištění dostatečných rychlostí je proto problematické použití systémů, které mají v aktivační nádrži instalovány dosazovací nádrže. Zajištění dokonalého míchání v těchto systémech je obtížné a tyto systémy je nutno z pohledu progresivních metod pro biologické odstraňování nutrientů považovat za překonané.

Návrh aktivační nádrže ovlivňuje požadované rychlosti vlivem tvaru a distribucí v objemu nádrže a povolené množství kalu k usazení. Všechny nádrže mají slabá místa, kde jsou rychlosti a turbulence pod hranicí podmínek pro udržení ve vznosu (ohyby, rohy, za rozdělovacími zdmi). Důležitým faktorem je umístění odtoku. Odtok u hladiny způsobí, že těžké částice, které se jen stěží udržují ve vznosu, se budou akumulovat v systému. Koncentrace těchto částic bude vzrůstat a tím bude vzrůstat množství neaktivního kalu v systému a sedimenty na dně nádrže.

Míchání je navrhováno za účelem maximalizace aktivního objemu, aktivní kontakt a aktivní čas zdržení. U zabezpečení aktivního objemu je minimální požadavek, že se kal nebude usazovat. Míchací systém však musí být navržen pro uvedení kalu do vznosu po případném výpadku míchání. Jako návrhový parametr je užívána minimální rychlost. Většinou se užívá 0.3 m/s. Je nutno také uvažovat z konfigurací, která ovlivňuje turbulenci. Turbulence, která je vytvářena míchadly, ohyby a dalšími překážkami, způsobuje udržení kalu ve vznosu i za menších rychlostí. Míchací systém je praktické navrhovat na průměrnou rychlost. Distribuce rychlostí je řízena geometrií bazénu a míchadla mohou být charakterizována jako bodové zdroje. To znamená, že vždy budou v nádrži oblasti, kde rychlost bude nižší nebo dokonce záporná. Volba návrhových kritérií míchacího systému je velmi komplikovaná. Zejména efekt aerátorů, míchadel, jejich umístění vzhledem k překážkám a ohybům může způsobit neočekávané ztráty v systému. Při stanovení minimální rychlosti je nutno vzít v úvahu charakteristiky odpadní vody a aktivovaného kalu. Přesný návrh může ušetřit až 50% investičních a provozních nákladů nebo na druhé straně investice nutné pro napravení špatné funkce ČOV.

## 6. PROBLEMATIKA NUTRIENTŮ

Pod pojmem nutrienty v odpadních vodách rozumíme hlavně sloučeniny dusíku a fosforu, na jejichž odstraňování se musíme v poslední době stále více zaměřovat. Ačkoli klasický aktivační systém nejčastěji používaný v čištění komunálních odpadních vod nachází uplatnění již na počátku našeho století, první čistírny pro odstraňování nutrientů se objevily přibližně před 20 lety a jejich plné využívání není stále plně rozšířeno.

Požadavky na odstraňování nutrientů z čištěných městských odpadních vod byly do vodoprávních předpisů zahrnovány již od 70. let. Z evropských zemí mají dnes nejpřísnější standardy pro nutrienty Švýcarsko, Skandinávské země a Německo. Velká Británie se touto problematikou ve svých předpisech donedávna vůbec nezabývala. Evropská unie sjednotila



požadavky v závazné směrnici č. 91/271/EEC z 21.5.1991. Ta uložila členským zemím do 31.12. 1993 identifikovat tzv. citlivé oblasti, ve kterých odtoky z ČOV o kapacitě nad 10 000 EO (EO = 60 g BSK<sub>5</sub>) musí po 1.1.1999 splňovat přísnější kritéria obsahující i parametry N a P. Pokud stát prohlásí celé své území za citlivou oblast, musí být v celém státě dosaženo požadované účinnosti snížení zatížení recipientů. K tomuto cíli mají nejbližše Dánsko a Německo.

V případě našeho vstupu do Unie lze očekávat sjednocení limitů a postupů ochrany, proto je také z tohoto hlediska zajímavé porovnání jednotlivých limitních hodnot. V České republice platilo od r. 1975 vládní nařízení č.25/75 Sb., které bylo založeno na tzv. imisních standardech, tj. nepřekročitelných koncentracích znečištění v toku po smísení s vypouštěnou odpadní vodou. Tyto limity byly velmi progresivní, i když v mnoha případech bylo jejich dosažení nad našimi ekonomickými možnostmi. Proto byly přejety do nové právní úpravy (nařízení vlády č. 171/92 Sb.) jako ukazatele III charakterizující cílový stav, kterého má být postupně dosahováno. Vodoprávní orgán má k hodnotám imisních standardů přihlédnout při vydávání rozhodnutí o povoleném vypouštění znečištění, které je jinak v právní normě založeno na emisních principech. Nařízení vlády č. 171/92 Sb. bylo novelizováno na základě rozboru zpracovaného Asociací čistírenských expertů ČR Nařízením vlády 82/99 Sb. Vodoprávní orgány, jak ukazuje současná praxe, ve většině případů využívají svého práva a předepisují povolené koncentrace vypouštěného znečištění často mnohem přísnější než zmíněné emisní hodnoty, přičemž odstraňování sloučenin N a P je často vyžadováno i u menších zdrojů znečištění. V každém případě je třeba si uvědomit, že jednotlivé technologie mají své meze, které nelze libovolně překračovat.

Cílem biologického odstraňování sloučenin dusíku je zoxidovat většinu redukováného dusíku na dusičnany a poté snížit jejich koncentraci na hodnoty přijatelné jak z hlediska odtokových standardů, tak technologické i ekonomické náročnosti procesu. Těchto požadavků dosáhneme následujícími postupy:

### ***Nitrifikace***

Biologická oxidace dusíku se nazývá nitrifikace a probíhá ve dvou stupních:

- oxidace amoniakálního dusíku na dusík dusitanový (nitritace)
- oxidace dusitanového dusíku na dusík dusičnanový (nitratice).

Oba procesy jsou prováděny chemolithotrofními nitrifikačními baktériemi (např. rody *Nitrosomonas* a *Nitrobacter*). Při této oxidaci se jako akceptor elektronů využívá rozpuštěný molekulární kyslík, tj. nitrifikace probíhá v oxických podmínkách. Nitrifikační bakterie využívají oxidaci dusíkatých sloučenin jako zdroje energie; nová biomasa je syntetizována z anorganických forem uhlíku. Tento metabolismus je poměrně komplikovaný s nízkým energetickým výtěžkem. Proto nitrifikační bakterie jsou pomalu rostoucí a podléhající celé řadě inhibičních vlivů. Při biologickém čištění odpadních vod, kdy je nutno provádět nitrifikaci souběžně s odstraňováním organického znečištění, vstupuje do hry i jev kompetice s rychle rostoucími organotrofními baktériemi, které tvoří základ vložek aktivovaného kalu či biofilmů. Ve srovnání s konvenčními aktivačními systémy je nutno provozovat aktivační systémy s nitrifikací při vyšších dobách zdržení biomasy ("stáří aktivovaného kalu"); tato nutnost je výrazná zejména při nižších provozních teplotách. Vzhledem k vysoké specifické spotřebě kyslíku na oxidaci amoniakálního dusíku je nutno zajistit potřebnou dodávku vzdušného kyslíku, aby nedocházelo k limitaci nitrifikačních bakterií nedostatkem rozpuštěného kyslíku (jeho koncentrace by neměla poklesnout pod 1-2 mg/l).

## **Denitrifikace**

Na proces nitrifikace musí navazovat denitrifikace, neboť jinak by sloučeniny dusíku zůstávaly ve finálním odtoku přítomny, pouze jejich forma by se změnila z redukované na oxidovanou. Při denitrifikaci je dusičnanový (a dusitanový) dusík využíván jako konečný akceptor elektronů místo kyslíku. Podmínky, při kterých k denitrifikaci dochází se nazývají anoxické. Z biochemického hlediska se jedná o proces podobný respiraci s molekulárním kyslíkem, kterého je proto schopna většina běžných organotrofních bakterií. Kombinací nitrifikace s denitrifikací tak lze využít téměř 67% kyslíku vynaloženého na nitrifikaci i na oxidaci organického znečištění za anoxických podmínek. Kromě ekonomických důvodů vedou ke kombinaci nitrifikace s denitrifikací i důvody technologické, neboť při samotné nitrifikaci působí nezredukované dusičnany problémy v dosazovací nádrži. V zahuštěné vrstvě aktivovaného kalu na dně dosazovací nádrže se podmínky rychle mění z oxických na anoxické, dochází ke spontánní denitrifikaci a uvolňovaný plynný dusík vynáší zahuštěný aktivovaný kal ke hladině.

## **Biologické odstraňování FOSFORU**

Při biologickém čištění odpadních vod dochází vždy k částečnému odstraňování fosforu z odpadních vod, neboť tento nutrient je inkorporován do nově syntetizované biomasy, odstraňované jako přebytečný kal. V aktivovaném kalu z konvenčních čistíren je obsah fosforu v sušině okolo 2%. V biocenóze aktivovaného kalu se však nalézají i bakterie schopné zvýšené akumulace fosforu do buněk. Tyto bakterie jsou souhrnně označovány jako poly-P (polyfosfát akumulující) bakterie, převážně z rodu *Acinetobacter*. Mechanismus zvýšené akumulace fosforu představuje pro tyto mikroorganismy selektivní výhodu při opakovaném střídání anaerobních a oxických kultivačních podmínkách, které je základní podmínkou jeho navození. U malých a středních čistíren odpadních vod je obvyklejší technologií srážení sloučenin fosforu solemi železa.

## **7. SEPARACE AKTIVOVANÉHO KALU**

Dosazovací nádrže jsou nezbytnou součástí kontinuálně provozovaných systémů s aktivovaným kalem, jejich hlavní funkcí je separovat aktivovaný kal od vyčištěné vody. Dosazovací nádrže plní tyto základní funkce: separaci aktivovaného kalu od vyčištěné odpadní vody, zahušťování separovaného kalu tak, aby bylo možné recirkulovat a akumulaci aktivovaného kalu při nárazovém hydraulickém zatížení biologického stupně, kdy aktivovaný kal je z aktivačních nádrží vyplavován. Separace aktivovaného kalu je finálním krokem biologického čištění k dosažení dobře vyčištěného a stabilně kvalitního odtoku z ČOV, tj. s nízkou koncentrací organického znečištění a suspendovaných látek. Návrh dosazovacích nádrží ovlivňuje hydraulické zatížení a tvary nádrže, vnitřní vybavení nádrže, místní podmínky a vlastnosti aktivovaného kalu .

Doba zdržení  $\Theta$ : Je definována jako podíl objemu dosazovací nádrže  $V$  v  $m^3$  a průtoku (průměrného, maximálního) odpadní vody  $Q$  v  $m^3/h$

$$\Theta = V / Q \quad (6)$$

Povrchové hydraulické zatížení  $v$ : Je definováno jako množství odpadní vody v  $m^3$  přiváděné na  $1 m^2$  plochy dosazovací nádrže za hodinu

$$v = Q / A_{DN} \quad (7)$$

kde  $A_{DN}$  je plocha dosazovací nádrže. Povrchové hydraulické zatížení je v podstatě vzestupnou rychlostí vody.

Zatížení plochy nerozpuštěnými látkami  $N_A$ : Je definováno jako hmotnostní množství sušiny aktivovaného kalu v kg přiváděné na 1 m<sup>2</sup> plochy dosazovací nádrže za hodinu

$$N_A = Q_s \cdot X / A_D \quad (8)$$

kde  $Q_s$  je průtok aktivační směsi v m<sup>3</sup>/h,  $X$  - koncentrace sušiny aktivovaného kalu v kg/m<sup>3</sup>. Zatížení nerozpuštěnými látkami se při čištění městských odpadních vod navrhuje od 2 do 5 kg/m<sup>2</sup>.h s tím, že větší látkové zatížení je nutné ověřit experimentálně. ČSN 75 6401 uvádí, že při maximálním průtoku by  $N_A$  nemělo přesáhnout podle kvality aktivovaného kalu a jeho sušiny hodnotu od 5 do 6 kg/m<sup>2</sup>.h. Přitom se do účinné plochy dosazovací nádrže nezapočítává plocha vtokové části.

Dimenzování, vybavení a stavebně-hydraulické řešení dosazovacích nádrží musí zajistit, aby ani při dešťových (maximálních) průtocích nevystoupila hladina kalu v dosazovací nádrži tak vysoko, že by docházelo k enormnímu úniku kalu do odtoku z čistírny. Velikost dosazovací nádrže je dána především koncentrací kalové sušiny kalu, kalovým indexem a hloubkou dosazovací nádrže.

Odtah kalu z dosazovací nádrže je možný několika způsoby: odtah a čerpání kalu z kalové prohlubně, odtah kalu z dna odsáváním (čerpádem, násoskou) z pojezdového mostu a hydrodynamické stahování kalu z celého dna nádrže a čerpání kalu. Průtok vraceného kalu může být konstantní nebo s možností regulace podle nátoky do dosazovací nádrže. Koncentrace kalové sušiny v aktivaci by měla být pokud možno konstantní, resp. odpovídající konstantnímu zatížení kalu. Toho lze docílit zvýšením recirkulovaného množství kalu za deště. V praxi je možné akceptovat pokles koncentrace kalové sušiny až o 30 % s ohledem na to, že dešťový přítok zpravidla nemá dlouhou dobu trvání.

Pro návrh dosazovacích nádrží se udávají obvykle hodnoty maximálního hydraulického zatížení, doba zdržení, látkové zatížení plochy nerozpuštěnými látkami a zatížení přepadové hrany. Proto rozhodující pro provoz dosazovací nádrže je stav při maximálním průtoku, uvádějí se v dočasnosti pouze hodnoty charakteristické pro tento zatěžovací stav. V minulosti byla nalezena celá řada faktorů ovlivňující odtokovou koncentraci nerozpuštěných látek na odtoku z dosazovací nádrže. Obecně byl pozorován vliv hydraulického zatížení, doby zdržení, zatížení plochy dosazovací nádrže nerozpuštěnými látkami, hloubkou nádrže, a koncentrací aktivovaného kalu. Nerozpuštěné látky v odtoku obecně přispívají ke zvýšení koncentrace organických látek (CHSK, BSK<sub>5</sub>), dusíku (organický dusík) a celkového fosforu.

Účinnost dosazovacích nádrží je představována schopností zachytit hmotu aktivovaného kalu vstupujícího do dosazovací nádrže. Obecně je převážně více než 98 % biomasy vstupující do dosazovací nádrže zachyceno, zahuštěno a vráceno jako vratný kal do biologického reaktoru. Zbylé množství obvykle menší než 2 % ,reprezentované pomalu sedimentujícími částicemi a má velmi značný vliv na kvalitu vyčištěné vody. Účinnost aktivačního procesu tak pak není závislá pouze na vstupním znečištění, ale na účinnosti dosazovacích nádrží.

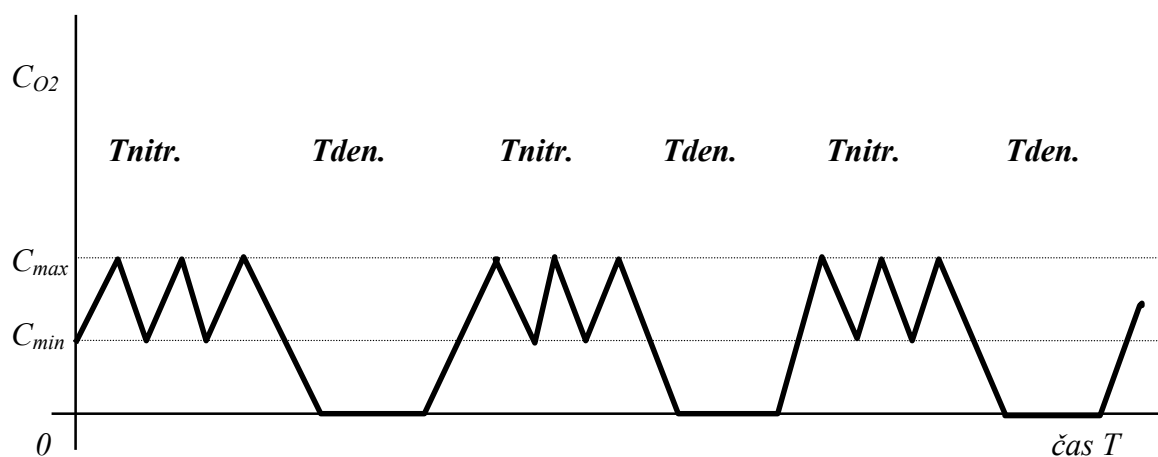
## 8. ŘÍZENÍ PROVOZU AKTIVAČNÍCH ČOV S NITRIFIKACÍ A DENITRIFIKACÍ

Dobře dimenzované čistírny odpadních vod bez problémů odstraňují uhlíkaté znečištění a celoročně nitrifikují. Jako nejobtížnější se jeví vyladění na vysoký stupeň denitrifikace. Dobře dimenzovaná čistírna odpadních vod docílí na odtoku BSK<sub>5</sub> pod 10 mg/l a N-NH<sub>4</sub> pod 2 mg/l. Základním předpokladem je celkově vyvážený návrh. Proces denitrifikace vyžaduje hlubší znalost obsluhy a možnost zásahu do provozních parametrů. Na sledovaných čistírnách odpadních vod bylo pomocí instalovaných systémů řízení odzkoušeno více provozních variant odbourávání dusíku. Problémová se jevila klasická simultánní nitrifikace a

denitrifikace. Simultánní proces byl několikrát docílen při vyřazení části čistírny odpadních vod z provozu, kdy zbývající část pracovala na pokraji svých možností z hlediska kyslíkové bilance. Výsledky simultánního procesu potom byly z hlediska zbytkových koncentrací velmi příznivé s celkovým dusíkem pod 10 mg/l. Problémem je dlouhodobé udržení tohoto stavu při variabilitě zatížení a při omezené možnosti regulace oxygenační kapacity. Zcela uspokojivé nebyly ani výsledky oběhových systémů s předpokladem vytvoření zón nitrifikačních (oxických) a denitrifikačních (anoxických), víceméně z obdobných důvodů.

Pro běžné provozní podmínky se jeví jako relativně nejjednodušší a přitom nejvýkonnější systémy přerušované nitrifikace a denitrifikace. Neosvědčily se prvotní jednoduché systémy s častým střídáním nitrifikačních a denitrifikačních fází. Ukázalo se, že každému procesu je nutno vytvořit vhodné podmínky po delší reakční dobu.

Zatím na žádné sledované ČOV není monitorován konec denitrifikační fáze (sondy ORP, pH, přímé měření), a pokud je, tak uspokojivě nefunguje. Denitrifikace je proto stanovena jako časový interval. Systémy pracují úspěšně dle následujícího schématu (kyslíkový režim):



$C_{min}$  ..... Minimální koncentrace kyslíku v nitrifikační fázi.

$C_{max}$  ..... Maximální koncentrace kyslíku v nitrifikační fázi.

$T_{nitr.}$  ..... Doba trvání nitrifikační fáze (po kterou se koncentrace kyslíku pohybuje v rozmezí  $C_{min}$  až  $C_{max}$ ).

$T_{denitr.}$  ..... Volená doba denitrifikace, to jest intervalu mezi dosažením hodnoty koncentrace kyslíku  $C_{min}$  ( a posléze 0) a následným zapnutím aeračního zařízení.

Stanovením minimální doby nitrifikace  $T_{nitr.}$  je zamezeno situaci, že fáze nitrifikace a denitrifikace budou mít tendenci střídát se příliš často.

Každý řídicí systém by měl mít možnost nastavení trvání nitrifikace (chodu aeračního zařízení) a trvání denitrifikace (doba trvání vypnutí aeračního zařízení) časově bez vazby na údaje kyslíkové či jiných sond a postupného zapínání aeračních zařízení, pokud je instalováno více strojů s menší kapacitou, či možnost postupného zvyšování výkonu při regulovatelném zařízení na dodávku kyslíku (dvourychlostní dmychadla apod.). Řídicí program by měl umožňovat volbu mezi více způsoby řízení a regulace, neboť nikdy nelze jednoznačně předem určit, který bude pro danou čistírnu odpadních vod nejvýhodnější.

## 9. ZÁVĚR

Předmětem hlavního zájmu vodárenských společností je v současné době nejfrekventovanější a nejčastěji stavěná velikost kategorie čistíren odpadních vod a to zařízení o velikosti mezi 2000 až 10000 ekvivalentních obyvatel. Tato velikostní kategorie je zajímavá hlavně tím, že od okamžiku nabytí platnosti NV č. 58/1998 o zpoplatnění vypouštěného znečištění hraje u spodní hranice této velikostní kategorie významnou roli odstraňování CHSK a u horní hranice účinnost odstraňování celkového dusíku. Problémy zpoplatnění jsou umocněny napojenou jednotnou stokovou soustavou. Je-li v takových případech řešena biologická linka jako nízko zatížená aktivace s hloubkou nad 4 m nebývá čištění odpadních vod významným problémem ani v zimě, kdy teplota těchto vod nepřekračuje 5,5 °C. Účinnost odstraňování dusíku je trvale nad 65 % a kvantitativně vyjádřeno, jsou zbytkové koncentrace celkového anorganického dusíku ve vodě na odtoku z ČOV po celý rok pod 10 mg/l. Tato koncepce, která byla autorem zaváděna do praxe od začátku devadesátých let, byla pozitivně hodnocena i na exkluzivním setkání odborníků z oboru čištění odpadních vod, pořádaném na podzim 2000 pod záštitou Asociace čistírenských expertů ČR firmou HYDROPROJEKT a.s.

## 10. ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY ČOV S DLOUHODOBOU AKTIVACÍ NA FAST VUT

Historie Ústavu vodního hospodářství obcí, známého dříve pod názvem Katedra zdravotního inženýrství, se odvíjí prakticky od založení školy. Základní náplní ústavu byla po celou dobu existence problematika úpravy a dopravy pitné a užitkové vody, odvádění a čištění komunálních a průmyslových odpadních vod. Zdravotní inženýrství se začalo rozvíjet od roku 1908, kdy byl na škole založen odbor kulturního inženýrství. Nejprve na I. Ústavu meliorací pod vedením Prof. Vincence Hlavinky a od roku 1934 pod vedením Prof. Jana Zavadila na II. Ústavu meliorací, který byl v roce 1947 přejmenován na Ústav zdravotního inženýrství. V roce 1950 byla zřízena Katedra zdravotního inženýrství vedená v letech 1950-1952 Prof. Karlem Jůvou. V letech 1952-1955 řídil činnost ústavu Prof. Jan Zavadil a poté do roku 1971 Prof. Augustin Sukovitý. V roce 1971 byl jmenován vedoucím katedry doc. Břetislav Sommer a po jeho odchodu do důchodu Prof. Igor Tesařík, který působil ve funkci vedoucího katedry až do konce roku 1989, kdy katedru přejmenovanou na Ústav vodního hospodářství obcí převzal Prof. Milan Šerek.

Záměry ústavu v oblasti vědeckovýzkumné souvisely vždy do určité míry s osobou vedoucího ústavu. Prof. Hlavinka kladl vědecké cíle především v oblasti meliorací, vodárenství a kanalizace měst. Prof. Zavadil působil především v oblastech vodárenství, stokování a čištění odpadních vod. V období působení Prof. Sukovitého byla věnována pozornost v oblasti vědeckovýzkumné zejména problematice technologie a dopravy vody, lázeňství, domovních instalací, provádění staveb a hygieně sídlišť. Od roku 1964 ovlivňuje vědeckovýzkumnou práci ústavu Doc. M. Šerek, který se věnuje problematice matematického modelování sítí pro dopravu vody a dalších médií. Po nástupu Prof. Tesaříka se vědecko-výzkumné zaměření ústavu orientuje na problematiku úpravy vody, zejména problematiku čiřičů.

V posledním období od roku 1989 ústav spolupracuje na řešení řady grantových projektů a na řešení vědeckovýzkumných zakázek hospodářské činnosti. Autor se v letech 1994 až 2000 podílel na řešení následujících výzkumných a inženýrských prací souvisejících s problematikou čistíren odpadních vod s nízkozatěžovanou aktivací.

- [1] Sojka J., Hlavínek P.: Posouzení oxygenační kapacity a rychlostí v oběhové aktivaci na ČOV Hustopeče, 09/1994

- [2] Sojka J., Hlavínek P.: Posouzení oxygenační kapacity a rychlostí v oběhové aktivaci na ČOV Nové Město na Moravě, 10/1994
- [3] Sojka J., Hlavínek P.: Posouzení oxygenační kapacity a rychlostí v oběhové aktivaci na ČOV Kyjov, 10/1995
- [4] Hlavínek P. : Problematika řízení provozu ČOV, SOVAK 10/1995
- [5] Hlavínek P. : Míchání v procesu aktivovaného kalu, SOVAK 10/1995
- [6] Hlavínek P. : Zkušenosti s návrhem malých ČOV v USA a Kanadě, Mezinárodní seminář „ Životní prostředí pro XXI. století“, Brno 7.-11.11 1995
- [7] Hlavínek P., Čechová P. : Čistírny odpadních vod s přerušovaným provozem, SOVAK 1/1996
- [8] Hlavínek P., Novotný D.: Navrhování prefermentačních procesů, SOVAK 3/1996
- [9] Hlavínek P. : Úvod do problematiky čištění odpadních vod z malých zdrojů znečištění, seminář VUT FAST ÚVHO 03/1996
- [10] Hlavínek P, Novotný D. : Zvýšení účinnosti primární sedimentace, seminář VTS odborná skupina KALY A ODPADY, 10.-11. dubna 1996
- [11] Hlavínek P, Hlaváček J. : Vliv vypouštění septických vod na mechanické čištění, seminář VTS odborná skupina KALY A ODPADY, 10.-11. dubna 1996
- [12] Hlavínek P, Čechová P. : Regulace a prevence tvorby zápachu na ČOV, seminář VTS odborná skupina KALY A ODPADY, 10.-11. dubna 1996
- [13] Hlavínek P.: Návrh technologie čištění pro ČOV Uherčice, 04/1996
- [14] Hlavínek P.: Návrh technologie čištění pro ČOV Telč, 05/1996
- [15] Hlavínek P.: Návrh kalové koncovky pro ČOV Veselí nad Moravou, 06/1996
- [16] Hlavínek P.: Návrh technologie čištění pro ČOV Milovice u Mikulova, 07/1996
- [17] Hlavínek P.: Studie intenzifikace ČOV Strážnice, 12/1996
- [18] Hlavínek P, Mičín J. : Moderní způsoby navrhování, provozu a rekonstrukcí stokových sítí a čistíren odpadních vod, Technický týdeník 39/1996
- [19] Hlavínek P.: Návrh technologie čištění pro ČOV Mrsklesy, 01/1997
- [20] Hlavínek P.: Koncepce odkanalizování obcí Svárov a Makotřasy, 01/1997
- [21] Hlavínek P.: Návrh technologie čištění pro ČOV Polná, 02/1997
- [22] Hlavínek P.: Návrh technologie čištění pro ČOV Okříšky, 03/1997
- [23] Hlavínek P.: Návrh technologie čištění ČOV Týnec, 04/1997
- [24] Hlavínek P.: Návrh technologie čištění pro ČOV Mutěnice, 06/1997
- [25] Hlavínek P. : Testování malých ČOV a zásady údržby malých ČOV, Seminář AČE ČR a ÚVHO VUT FAST "Možnosti čištění odpadních vod z malých sídel a obcí" Luhačovice, 11/1997
- [26] Drda M., Hlavínek P.: Návrh technologie čištění pro ČOV Deštná, 1/1998
- [27] Hlavínek P. : Zkušenosti z komplexních zkoušek aktivačních nádrží, Seminář VHOS a.s. Moravská Třebová a AČE ČR "Nové metody a postupy při provozování čistíren odpadních vod III. ", Moravská Třebová, duben 1998

- [28] Hlavínek P., Remeš B: Mechanické způsoby čištění odpadních vod, Seminář ÚVHK VUT FAST, ČSSI a ICID "Nové poznatky při řešení vegetačních kořenových čistíren" , Brno, 06/1998
- [29] Hlavínek P.: Studie rekonstrukce ČOV Velké Opatovice, 08/1998
- [30] Hlavínek P.: Objekty mechanického čištění na malých čistírnách odpadních vod, Regionální konference o čištění odpadních vod z malých sídel, Třešť, 13.-14.10 1998
- [31] Hlavínek P. : Optimální čerpací jímka pro odpadní vody, SOVAK 03/1999
- [32] Hlavínek P. : Desinfekce kalu - přehled metod a účinností, Problematika zpracování a využití kalů z ČOV, VŠB Ostrava a SMVAK a.s., Ostrava, 04/1999
- [33] Hlavínek P. : Návrh provoz a údržba zařízení pro zpracování septických vod, konference VHOS a.s. Moravská Třebová a Asociace čistírenských expertů ČR "Nové metody a postupy při provozování čistíren odpadních vod" , Moravská Třebová, 04/1999
- [34] Hlavínek P.: Problematika komunálního znečištění, Seminář "Návrh obecné metodiky pro sestavování matematických modelů kvality vody v síti vodních toků", Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, 11/1999
- [35] Hlavínek P. : Systém povolování a kontrola kusových vodohospodářských výrobků, Seminář " Schvalování, povolování a kontrola kusových vodohospodářských výrobků" AČE ČR, VUV PRAHA 02/2000
- [36] Hlavínek P. : Vybrané problémy čištění odpadních vod a zpracování kalů, Sympóziu s mezinárodní účastí "Intenzifikace biologického stupně ČOV", Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, ÚVHO a MESSER Technogas s.r.o., 03/2000
- [37] Hlavínek P.: Vliv návrhu a provozu stokové sítě na návrh, provoz a funkci ČOV, Mezinárodní workshop "Optimalizace inženýrských úloh ve stokování", Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, ÚVHO, 04/2000
- [38] Hlavínek P.: Třetí stupeň čištění odpadních vod, konference VHOS a.s. Moravská Třebová a Asociace čistírenských expertů ČR "Nové metody a postupy při provozování čistíren odpadních vod" , Moravská Třebová, 04/2000
- [39] Sojka J., Novotná V., Hlavínek P., Wágner I. : Testování oxygenační kapacity za provozu aerační nádrže, Konference Asociace čistírenských expertů SR s mezinárodní účastí "Odpadové vody 2000" , Tatranské Zruby, Slovensko, 05/2000
- [40] Hlavínek P.: Aerační systémy pro čistírny odpadních vod po roce 2000, Čistírenské listy 3/2000, Vodní hospodářství 5/2000
- [41] Řeháková B., Hlavínek P. : ORP- řízení odstraňování nutrientů z odpadních vod, mezinárodní seminář „Aktuální problémy vodního hospodářství obcí“ pořádaný ve spolupráci ústavů VUT FAST ÚVHO Brno, ČVUT, FAST, KZI Praha, STU, FAST, KZI Bratislava, Pavlov, 19.-20.10.2000
- [42] Hlavínek P.: Investiční a provozní náklady ČOV ve vazbě na jejich účinnost, Seminář 2000 "Návrh obecné metodiky pro sestavování matematických modelů kvality vody v síti vodních toků", Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, 06.12.2000
- [43] Alfoldi C., Hlavínek P., Řeháková B.: Využití fluidního oscilátoru v čištění odpadních vod, ODPADNÍ VODY - WASTEWATER 2001, 4. mezinárodní konference Asociace čistírenských expertů ČR, Mladá Boleslav, 15-17.5.2001

[44] Hlavínek P. Hodáň V. :Míchání v čistírnách odpadních vod, ODPADNÍ VODY - WASTEWATER 2001, 4. mezinárodní konference Asociace čistírenských expertů ČR, Mladá Boleslav, 15-17.5.2001

Mimo výše uvedené práce autor zpracoval více než 100 návrhů technologií čištění vyžádaných odbornou praxí a více než 150 odborných posudků projektů čistíren odpadních vod pro potřeby státní správy a Státního fondu životního prostředí.

## 11. PEDAGOGICKÉ PŮSOBENÍ AUTORA

Cílem pedagogického působení autora na Fakultě stavební je nejen výuka studentů v magisterském studiu, ale také výchova vědeckého dorostu ve studiu doktorandském. Od roku 1996 je školitelem 10 interních a 2 externích doktorandů, z nichž 1 získal v roce 1999 PhD., 4 mají složenou rigorózní zkoušku a plánují obhajobu doktorské práce v letošním roce. V rámci řádné výuky a výuky v doktorském studiu je autor garantem následujících předmětů:

### *Řádné studium*

- Čištění odpadních vod, přednášky a cvičení
- Čistota vod, přednášky a cvičení
- Čištění odpadních vod z potravinářského průmyslu, seminář

### *Výuka PGDS*

- Čištění odpadních vod
- Čistota vod

Dle názoru autora je výrazným handicapem pro dnešní způsob výuky charakteristický pasivní přístup části posluchačů, vycházející pravděpodobně z nedostatku nebo finanční nedostupnosti kvalitních studijních materiálů obsahujících základní informace v daném oboru, dále nedostatku času a stereotypní přístup navazující na středoškolský způsob výuky. Náročným cílem by mělo být naučit posluchače myslet – využívat všech dosavadních znalostí a jejich kompletní analýzy a syntézy. Studenti by měli být vedeni k řešení případových studií s vysokým procentem úspěšnosti. Je třeba je naučit analyzovat a syntetizovat jevy a procesy do soustavy znalostí, které se dokáží vybavovat a mobilizovat k řešení nových úkolů, aplikovat teoretické znalosti na řešení nových konkrétních úloh a vyvozovat z empirických poznatků obecné zákonitosti a umět se dopracovat k tomu nejčistějšímu- originálnímu řešení.

Předpokladem toho je dostatek kvalitních výukových materiálů. Je třeba se zaměřit na využívání všech informačních zdrojů, zejména Internetu a multimediálních CD. Je vhodné aktualizovat a zatraktivnit obsah přednášek novými poznatky zapojením lektorů z řad našich i zahraničních předních odborníků z vysokých škol, výzkumných ústavů, projekčních a výrobních organizací. Završením pedagogického procesu na vysoké škole je zkouška. Zde je třeba, v návaznosti na výše uvedené trendy výuky, prověřit základní znalosti a dále ověřit schopnost posluchačů řešit praktické problémy, a to i s využitím potřebných studijních materiálů.

Autor se zaměřuje také na postgraduální vzdělávání, které je realizováno pro praxi formou vedlejší hospodářské činnosti. V posledních 8 letech uspořádal autor 10 dlouhodobých a řadu jednodenních kurzů zejména pro pracovníky podniků vodovodů a kanalizací. Celkem bylo vzděláváno více než 500 pracovníků tohoto oboru. Vzhledem k tomu, že zahraniční university věnují podstatně větší podíl své činnosti postgraduálnímu vzdělávání a toto vzdělávání je také značným zdrojem příjmů těchto universit, je připravován program celoživotního vzdělávání pracovníků ve vodním hospodářství ve spolupráci se Svazem zaměstnavatelů ve vodním



hospodářství. Cílem je vytvořit systém postgraduálních kurzů, které by měli pracovníci doporučeny v rámci svého osobního rozvoje.

## 12. VÝVOJOVÉ TENDENCE A PERSPEKTIVY ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

Čištění odpadních vod zaznamenalo v posledních deseti letech obrovský rozmach. Současný vývoj v oblasti čištění odpadních vod lze charakterizovat snahou o zvýšení účinnosti a dosažení stabilních výkonů intenzifikací čistírenských procesů, snahou o automatizaci provozu čistíren odpadních vod a systémový přístup k celkovému řešení.

Problematika čištění odpadních vod se přenesla od řešení oddělených ČOV k řešení kvality vody pro větší územní celky. Takovým příkladem je např. program povodí Dyje. Cílem projektu je zabezpečit, aby kvalita a množství vod odvedených od znečišťovatelů a čištěných v čistírnách odpadních vod v roce 2005 a v oblasti spravované Svazem vodovodů a kanalizací měst a obcí odpovídala hodnotám daným direktivou č. 91/271/EEC a zajistit, aby byla odváděna veškerá odpadní voda vypouštěná do stok, každá oblast odkud jsou odváděny odpadní vody byla zajištěna čistírnou odpadních vod, veškerá odpadní voda byla odváděna do čistírny odpadních vod a čištěna v souladu s hodnotami danými direktivou č. 91/271/EEC a aby byla zajištěna ochrana národních parků a chráněných krajinných oblastí v regionu, pokud jde o kvalitu povrchové a podzemní vody. Jako podpora investičních akcí v povodí byl pod vedením autora zpracován matematický model vlivu plánovaných investic na kvalitu vody v povodí. Autor řídil práce na projektu a koordinoval práci specialistů Vodárenské akciové společnosti, Povodí Moravy a Českého hydrometeorologického institutu. Modelování bylo provedeno pro 1100 km vodního toku a týkalo se pěti obvykle používaných ukazatelů kvality. Zaslouhou spolupráce autora na projektu bylo dosaženo dotace na přípravu investičních akcí z Rakouského fondu životního prostředí a projekt byl doporučen jako nejlepší k financování z fondů ISPA Evropské unie.

## 13. PŘEHLED NEJVÝZNAMNĚJŠÍCH PRACÍ

- [45] Hlavínek P, Hlaváček J.: Čištění odpadních vod-praktické příklady výpočtů, ISBN 80-86020-00-2, NOEL 2000 s.r.o. Brno, 1996
- [46] Hlavínek P, Novotný D. : Intenzifikace čistíren odpadních vod, ISBN 80-86020-01-0, NOEL 2000 s.r.o. Brno, 1996
- [47] Jandora J. , Hlavínek P: Hydraulika čistíren odpadních vod, ISBN 80-86020-04-5, NOEL 2000 s.r.o. Brno, 1996
- [48] Malý J., Hlavínek P: Čištění průmyslových odpadních vod, ISBN 80-86020-05-3, NOEL 2000 s.r.o. Brno ,1996
- [49] Hlavínek P., Hlaváček J. : Biological Treatment of Wastewater from an Epichlorhydrine Production, 2nd Specialized IAWQ Conference on Pretreatment of Industrial Wastewater, Athens, Greece, 10/1996
- [50] Hlavínek P., Palcik J., Novák P., Sojka J., Fialová J.: Impact of Iron Salts Dosing on Anaerobic Fermentation, 8nd IAWQ International Conference on Anaerobic Digestion, Sendai, Japan, 05/1997
- [51] Hlavínek P., Dušek D., Bedřich M.: Příspěvek České Republiky k znečištění v povodí Dunaje, 1. Mezinárodní konference KVALITA VOD '98, Luhačovice, 19.-20.11 1998

- [52] Hlavínek P, Franěk M, Auermuler K.: Progresivní metody čištění odpadních vod a stabilizace kalu s využitím čistého kyslíku, ODPADNÍ VODY - WASTEWATER 1999, 3. mezinárodní konference Asociace čistírenských expertů ČR, Teplice, 18.-20.5.1999
- [53] Hlavínek P.: Aerační systémy pro čistírny odpadních vod v 3. tisíciletí, Konference Asociace čistírenských expertů SR s mezinárodní účastí "Odpadové vody 2000" , Tatranské Zruby, Slovensko, 05/2000
- [54] Hlavínek P., Kosmáková J., Bandík A.: Application and Experience With Expert System for the Operation of Wastewater Treatment Plants, IWA workshop "Decision Support Systems in Water Services, Cambridge, United Kingdom, 09/2000
- [55] Hlavínek P., Říha J.: Stream Water Quality Model as a Tool for the Assessment of Impact of Improvement of Pollution Sources in the River Dyje Basin, International Riverbank Filtration Conference, Düseldorf, Germany, 2.-4.11.2000
- [56] Hlavínek P., Říha J.: Assessment of the Impact of Pollution Sources using Stream Water Quality Model, Specialised IWA International Conference on Interactions Between Sewers, Treatment Plants and Receiving Waters in Urban Areas - INTERURBA II, Lisbon, Portugal, 19-22 .02.2001
- [57] Hlavínek P.: Aerobní termofilní stabilizace čistírenských kalů, konference s mezinárodní účastí "Kaly a odpady 2001", Tatranské Zruby, Slovensko, 26.-27.4.2001
- [58] Hlavínek P. Říha J. :Matematické modelování kvality vody v povodí Dyje, ODPADNÍ VODY - WASTEWATER 2001, 4. mezinárodní konference Asociace čistírenských expertů ČR, Mladá Boleslav, 15.-17.5.2001
- [59] Hlavínek P., Kosmáková J., Bandík A.: Expert System for Wastewater Treatment Plants Operation, First IWA International Conference on Instrumentation, Control and Automation and Sensors, Malmö, Sweden, 3.-7.6.2001
- [60] Hlavínek P., Říha J.: Stream Water Quality Model as a Tool for the Assessment of Impact of Pollution, 5th International Conference on Diffuse/Non-point Source Pollution and Watershed Management Conference on Diffuse Pollution, IWA, Milwaukee, USA, 10.-15.6.2001
- [61] Mičín J., Hlavínek P: Příručka stokování a čištění odpadních vod, ISBN 80-86020-30-4, NOEL 2000 s.r.o. Brno 2001

## **14. ÚSPĚŠNĚ OPONOVANÉ VÝZKUMNÉ A PEDAGOGICKÉ ÚKOLY**

### **a) zodpovědný řešitel**

- [62] Automatizace projektového procesu v oboru stokových sítí a ČOV, I a II etapa, výzkumný úkol technického rozvoje v rámci projektu 2000 automatizovaných pracovišť HDP, 1988
- [63] Biological Treatment of Wastewater from Small Sources of Pollution, Environmental research Support Scheme-grant, Central European University, Department of Environmental Science and Policy, Budapest, 04/1995-03/1997
- [64] Biologické čištění odpadních vod z výroby Epichlorhydrinu, zpracováno pro C2MHILL ČR, 1996

- [65] Vliv dávkování solí železa na anaerobní fermentaci, zpracováno pro KEMIFLOC Přerov, 1997
- [66] Úprava skládkových vod Chabařovice, Návrh a posouzení technologie úpravy skládkových vod ze skládky Chabařovice, zpracováno pro C2MHILL ČR, 1999
- [67] Odborné posouzení dopadů projektu "Ochrana vod povodí Dyje" na kvalitu vody v toku pro potřeby EU a Ekofondu Rakouska, 03/2000

#### **b) spoluřešitel**

- [68] Virový separátor suspenzí, Pazdera O., Hlavínek P., Procházka Z., Nykodým L., podnikový úkol technického rozvoje, HDP Praha, 1986
- [69] A Decision Support Systems for Wastewater Treatment Plant Operation, University of California Los Angeles USA, 1994
- [70] ČOV Praha, Řešení kalového hospodářství ČOV Praha, Projekt No. PHARE/90/062/030/001/EC/WAT/12, Spolupráce na grantu s: SULCER ESCHER WYS, GmbH, Germany, NETHCONSULT, The Netherlands, DUIS s.r.o., ČR, 1995
- [71] Perspektivní technologie a způsoby ochrany a zdravotní nezávadnosti povrchových vod, Spolupráce na řešení grantu Grantové agentury ČR, vedeného Ing. Svatoplukem Korsuněm, CSc., Kooperující organizace: BVAK, Povodí Moravy, Masarykova Universita, 1995/1996
- [72] Nutrient balances For Danube Countries and Options for Surface and Ground Water Protection, Spolupráce na grantu sponzorovaného Commission of The European Community (VÚV Brno, Technical University Vienna, Budapest University of Technology), řešitel části problematiky vyhodnocení úrovně zásobování vodou a čištění odpadních vod v povodí Moravy, 1995/1996
- [73] Continuing Education Centre for Water Industry (CECWI), Spolupráce na grantu TEMPUS JEP 09109-95 (ČVUT Praha, VUT Brno, Zemědělská universita, Svaz zaměstnavatelů ve vodním hospodářství, Polytechnická universita Valencie, Universita Porto, Heriot-Watt University), 09/1996-12/1998
- [74] Výzkumný záměr CEZ č. J22/98/261100006, Návrh obecné metodiky pro sestavování matematických modelů v síti vodních toků, řešitel části zabývající se problematikou komunálního znečištění, 2000/2001

## Abstract

A special attention has recently been paid to the treatment of wastewater originating from small and medium sources of pollution because efficient and appropriate treatment have to be applied there. As a main wastewater treatment technology a low loaded activated sludge process has penetrated to the sphere of small and medium size wastewater treatment plants and in the last years almost suppressed other treatment technologies abroad.

The effluent quality standards are one of the most decisive factors that have influenced the wastewater treatment scheme. The Czech effluent quality standards are specified in the Governmental degree No. 82/99. More strict effluent limits are more often demanded by the water authorities in cases of higher protection of water streams. The high effluent quality demand together with the effort to protect environment from pollution have initiated the use of modern technological processes. Nitrification and denitrification with the possibility of phosphorus removal has become a matter of course.

For the highly efficient wastewater treatment plants, following parameters are applied: age of activated sludge 20-25 days; sludge loading 0,05-0,13 kg/kg.d (in the separated denitrification the sludge loading of cca 0,1 kg/kg.d is preferred); sludge concentration in the process 4-5 kg/m<sup>3</sup>; proportion of the standard oxidation capacity to the volume of organic loading according to BOD<sub>5</sub> cca 2,5-3,0 kg/kg; hydraulic loading of the settling tank surface max. 1.5 m/h.

For aeration the membrane fine bubble aeration systems are preferred. Blowers with an automatically interrupted operation are utilized commonly. The output is regulated with double speed motors that are controlled with a signal of the oxygen indicator. Mixing is one of the most important factor influencing design of activated sludge system. Precise design can save 50 % of investment and operational costs.

For the separation of the activated sludge only proven types of settlement tanks (vertical and horizontal) are used. Experiments with other types (various pockets, built-in tanks) have been stopped because the development and especially the operation have proved a low stability or necessity of extreme over-dimensioning of the separation rooms. In small and medium wastewater treatment plants vertical settling tanks have not yet been overcome, but they have been innovated. The feed well outlet is deeper in the tank, column inlet is either tangential or with a mouth against the water level so as to de-gasify the activated mixture.

The concept of low loaded activated sludge with depth of aeration tank greater than 4 m proved very high efficiency of treatment even in winter when temperature of wastewater is often lower than 5,5 °C. Efficiency on nitrogen removal is above 65 % and concentration of residual inorganic nitrogen is below 10 mg/l.