

VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Fakulta chemická

RNDr. Igor Rusník

**INTENZIFIKACE ČISTÍRENSKÝCH TECHNOLOGIÍ
ZA ÚČELEM ODSTRAŇOVÁNÍ MAKRONUTRIENTŮ**

INTENSIFICATION OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS
FOR MACRONUTRIENTS ELIMINATION

ZKRÁCENÁ VERZE PH.D. THESIS

Obor: Chemie životního prostředí

Školitel: Doc. Ing. Ján Derco, CSc.

Oponenti: Prof. Ing. Jiří Matoušek, DrSc.
Doc. Ing. Petr Hlavínek, CSc.

Datum obhajoby: 30. 3. 2004

Autoreferát dizertační práce:

„Intenzifikace čistírenských technologií za účelem odstraňování makronutrientů“

KLÍČOVÁ SLOVA

BSK₅, BSK, Nitrifikace, Denitrifikace, Zvýšené biologické odstraňování fosforu, modelové zkoušky, substrát, odpadní voda

KEY WORDS

BOD, COD, nitrification, denitrification, enhance biological phosphorus removal, model trials, substrate, wastewater treatment

MÍSTO ULOŽENÍ PRÁCE

Oddělení pro vědu a výzkum FCH VUT v Brně

OBSAH

1 ÚVOD.....	5
2 ÚROVEŇ POZNÁNÍ V OBLASTI INTENZIFIKACÍ ČISTÍRENSKÉHO PROCESU ...	5
ROZBOR PŘÍČIN A NÁVRH MOŽNÝCH ZPŮSOBŮ INTENZIFIKACE	6
ODSTRAŇOVÁNÍ NUTRIENTŮ	6
SNÍŽENÍ HYDRAULICKÉHO A LÁTKOVÉHO PŘETÍŽENÍ	8
AUTOMATIZACE A ŘÍZENÍ PROVOZU ČOV	8
3 CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE.....	9
4 POUŽITÁ METODIKA.....	9
POPIS MODELOVÝCH ZKOUŠEK PRO INTENZIFIKACI ČOV ADAMOV	9
POPIS MODELOVÝCH ZKOUŠEK PRO INTENZIFIKACI ČOV TANEX VLADISLAV	10
VÝSLEDKY MODELOVÁNÍ V ČOV MIROSLAV	11
VÝSLEDKY MODELOVÁNÍ V ČOV TANEX VLADISLAV.....	15
6 PŘÍNOS PRO PRAXI A ROZVOJ VĚDNÍHO OBORU	18
7 ZÁVĚR.....	19
10 SEZNAM PUBLIKACÍ.....	22
ABSTRACT.....	24

1 ÚVOD

V posledním období se může zdát, že aktivační proces, vyvinutý počátkem 20. stol. je čím dál více komplikovanější. Počátkem století se však k praní domácího prádla používalo tzv. mýdlo s „jelenem“, které lze účinky zařadit mezi snadno biologicky odbouratelné tenzidy. Dnes, i přes snahu výrobců o změnu, jsou v domácnostech využívány takové prací prostředky, které mají výrazný negativní podíl na znečišťování životního prostředí. Nejedná se pouze o známý proces eutrofizace v povrchových vodách, neboť tento problém lze částečně řešit zvyšováním podílu tzv. „bezfosfátových“ pracích prostředků ale i o další toxikologické vlivy na živé organizmy. Stejně tak ostatní bytová chemie doznala takového rozvoje, který lze jen ztěžít „zvládat“ v mezích trvale udržitelného rozvoje. Ke všem těmto vlivům se samozřejmě přidaly i odpadní vody ze stále se rozvíjejícího průmyslu. Všechny uvedené faktory pak působily synergicky, což vedlo k zařazení Československa k zemím s nejvíce poškozeným životním prostředím.

Vedle vlivů, které může člověk svojí činností výrazně ovlivnit, se přidávají i další, za které takřkajíc nemůže. Fyziologickými procesy při metabolismu člověka se do odpadních vod dostává dusík ve formě močoviny, aminokyselin a dalších stopových látek. Podobným způsobem, i když ne v takovém množství, jako u pracích prášků, se do prostředí dostává jak fosfor a další stopové prvky, tak i steroidy, fenoly, kys. cholová, kyselina dezoxycholová a další.

S rostoucí populací, a díky výše zmíněnému synergickému působení zejména biologicky neodbouratelných polutantů v odpadních vodách, došlo k výraznému omezení samočisticí schopnosti povrchových vod. Situaci bylo nutné řešit. V pásmech ochrany povrchových zdrojů pitné vody byly u největších zdrojů budovány čistírny odpadních vod, po roce 1990 také vybavené biologickým odstraňováním dusíku a chemickým srážením fosforu.

I přesto, že aktivační proces je z hlediska odstraňování uhlíkatého znečištění poměrně dobře zvládnut, je nyní nutné volit nejvýhodnější cesty jak k odstraňování organického uhlíku, tak i tzv. makronutrientů (dusíku a fosforu), a to z hlediska provozního a ekonomického. Dizertační práce má naznačit některé možné způsoby řešení intenzifikací čistíren odpadních vod, jejichž realizace je nutná z pohledu eliminace dusíku a fosforu.

Návrhy jsou založeny na experimentální práci, která probíhala s reálnou odpadní vodou jak v čistírně komunálních odpadních vod, tak také u ČOV průmyslové. Při modelových zkouškách byly nastaveny různé modifikace čistírenského procesu, jejichž efektivita čištění byla monitorována jak vyhodnocováním fyzikálních, tak zejména chemických ukazatelů.

2 ÚROVEŇ POZNÁNÍ V OBLASTI INTENZIFIKACÍ ČISTÍRENSKÉHO PROCESU

Většina čistíren odpadních vod, které byly vybudovány pře rokem 1992, kdy začalo platit Nař. vl. č. 171/92 Sb. o přípustných ukazatelích znečištění vod, v současné době není schopna plnit stále přísnější limity pro vypouštěné odpadní vody. Jedná se zejména o ukazatele dusíku a fosforu, neboť původní čistírny byly navrhovány pouze k odstranění organického uhlíku. Další příčinou nutnosti rekonstrukce stávajících čistíren odpadních vod bývá:

- hydraulické a látkové přetížení - z důvodu nárůstu obyvatel nebo rozvoje průmyslu v dané lokalitě.
- zastaralá technologie
- téměř nulový stupeň automatizace řízení technologických procesů
- nutnost intenzifikovat kalové hospodářství

Jak lze splnění výše uvedených požadavků dosáhnout:

- modifikací aktivačního procesu, potlačující vláknité bytění zařazením anoxické kontaktní zóny
- posílením stávajících objemů tak, aby zajišťovaly jak dostatečnou nitrifikaci, tak i uspokojivý průběh denitrifikace
- zařazením takových stupňů v procesu čištění odpadní vody, aby bylo možné dosáhnout biologické odstraňování fosforu
- zvýšením stáří aktivovaného kalu v systému
- rekonstrukcí provzdušňovacího systému

Ne vždy je však možné dosáhnout realizace všech uvedených opatření, neboť stávající čistírny odpadních vod jsou mnohdy limitovány prostorově, takže nelze např. řešit průběh denitrifikace nebo posílení nitrifikace vybudováním nových nádrží. Zde existují i jiné možnosti, které budou rozebrány dále. Vždy je však potřeba dosáhnout zvýšení účinnosti ve všech nebo vybraných ukazatelích, komfortu obsluhy zařízení a zlepšení efektivity procesu, zejména ve snížení energetické náročnosti.

Rozbor příčin a návrh možných způsobů intenzifikace

Odstraňování nutrientů

Nutnost odstraňování nutrientů, tj. dusíku a fosforu z odpadních vod je nezbytným předpokladem další existence středních a velkých čistíren odpadních vod. Jak již bylo uvedeno, základními formami výskytu dusíku jsou dusík organický a dusík amoniakální. Obě tyto formy lze vyjádřit jako tzv. Kjeldahlův dusík (v zahraniční literatuře TKN). Oxidované formy dusíku jsou, z důvodu mikrobiální redukce ve stokové síti, přítomny pouze ve stopových množstvích. Vyjímkou může být pouze přítok koncentrovaných průmyslových vod.

Podobně fosfor se vyskytuje v organické i anorganické podobě. Koncentrace organického fosforu ve vodách se pohybuje kolem 3 mg.l^{-1} , anorganického je cca 5 mg.l^{-1} .

V čistírnách odpadních vod lze odstraňovat jak organické, tak anorganické formy dusíku biologickou cestou. Cílem je zoxidovat většinu redukováných forem dusíku na dusičnany a následně je ze systému odstranit. Průběh odstraňování dusíku probíhá v následujících krocích:

1. Nitrifikace

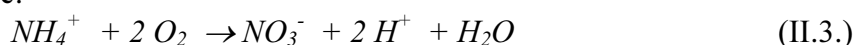
Probíhá ve dvou stupních. V prvním stupni (také nitritace) se amoniakální dusík oxiduje na dusitany převážně prostřednictvím bakterií rodu *Nitrosomonas*:



Ve druhém kroku (nitratice) jsou vzniklé dusitany oxidovány na dusičnany především mikroorganismy *Nitrobacter* a *Nitrocystis*. Obě skupiny organismů jsou chemolitotrofní a jako zdroj uhlíku využívají CO_2 :



Sumárně:

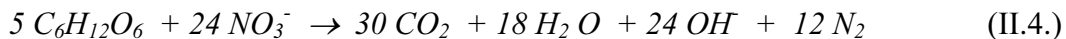


Celkem se spotřebuje na oxidaci 1 g N-NH_4^+ 4,57 g kyslíku (tj. 3,45 g při nitritaci a 1,14 g při nitrataci). Vznikající kyseliny snižují tlumivou kapacitu vody a při její nízké hodnotě a vysoké

koncentraci N-NH_4^+ je třeba přidávat neutralizační činidlo, obvykle Ca(OH)_2 , což neplatí v případě navazující denitrifikace.

2. Denitrifikace

Denitrifikace je opakem nitrifikace, probíhá v anoxickém prostředí za vzniku N_2 nebo N_2O při přítomnosti organotrofních bakterií jako např. rodů *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Achrombacter*, *Denitrobacillus* aj. Na rozdíl od nitrifikace je pro průběh denitrifikace nutný organický substrát jako zdroj energie. Proces vyjadřují rovnice:



Pro redukci 1 g N-NO_3^- je zapotřebí asi 0,7 g organického uhlíku. Kromě elementárního sodíku byl prokázán i vznik oxidů dusíku, především N_2O . Poměr mezi vznikajícím dusíkem a oxidy dusíku závisí zejména na hodnotě pH. Oxidovaných forem dusíku mohou organismy využívat asimilačně nebo disimilačně. Konečným akceptorem elektronů je N^{III} nebo N^{V} .

Nitrátová asimilace je proces redukce dusičnanů na amoniak za účelem získání dusíku pro syntézu buněčné hmoty. Tento děj není příliš významný.

Nitrátová disimilace (respirace) je proces, při kterém organismy využívají dusičnanový dusík jako konečný akceptor elektronů místo molekulárního kyslíku. Konečný produkt nitrátové disimilace je určen druhem mikroorganismu a podmínkami. Může vznikat dusitan, amoniak, oxid dusný nebo plynný dusík. Ze všech procesů je vidět, že v procesu denitrifikace se uvolňují ionty OH^- , což může v případě nízkých tlumivých kapacit vést k rychlému vzrůstu pH s následnou možnou inhibicí procesu. OH^- ionty a CO_2 reagují za vzniku HCO_3^- , případně CO_3^{2-} .

Fosfor lze z odpadních vod odstranit metodami fyzikálně chemickými a biologickými. Fyzikálně chemické metody jsou založeny na tvorbě nerozpustných fosforečnanů vápenatých, hlinitých a železitých dávkování solí M^{2+} , popř. M^{3+} . V dalším textu bude pozornost zaměřena zejména na biologické způsoby odstraňování fosforu.

Při všech procesech biologického čištění odpadních vod dochází k částečnému odstraňování fosforu jeho inkorporací do nově vznikající biomasy. V sušině této biomasy dosahuje podíl fosforu zhruba 2%. V současné době existují technologické modifikace aktivačního procesu, kdy lze dosahovat koncentraci fosforu v sušině biomasy 9-10% i více. Principem těchto technologií je střídavá expozice bakterií aktivovaného kalu do anaerobních a oxických podmínek. Za těchto kultivačních podmínek jsou určité druhy bakterií, obecně označované jako poly-P bakterie (např. rod *Acinetobacter*) schopny zvýšené akumulace fosforu do buněk. Tento jev, kdy aktivovaný kal je schopen za vhodných podmínek odstranit více fosforu, než je nutné pro jeho normální růst (nad 2% sušiny), se nazývá proces zvýšeného biologického odstraňování fosforu.

Při konvenčním aktivačním procesu je fosfor odstraňován hlavně pro syntézu adenosintrifosfátu (dále ATP). Kromě této běžné produkce ATP může dojít i k jeho nadprodukcí za následujících podmínek:

a. V buňce je uložena jako rezervní látka kyselina poly-beta-hydroxymáselná (dále PHB). Za přítomnosti kyslíku jsou buňky schopny oxidovat tuto PHB vyšší rychlostí než ostatní rezervní látky. Ovšem ATP jako přenašeč energie nemůže být akumulován. Proto k zachování potřebného poměru ATP/ADP je energie z ATP přenášena do polyfosfátů prostřednictvím polyfosfátové kinázy. Polyfosfáty jsou ukládány v polyfosfátových poolech buněk (volutinové granule) a mohou sloužit jako rezerva energie pro aktivní membránový transport specifických uhlíkatých sloučenin

do buněk. Tuto funkci mají hlavně nízkomolekulární polyfosfáty, zatímco vysokomolekulární slouží jako zdroj fosforu pro syntézní účely.

b. Buňka má k dispozici specifické uhlíkaté sloučeniny, zejména kyselinu octovou. Pokud tato není v odpadní vodě přítomna ve vyšší koncentraci, musí být aktivovaný kal, obsahující bakterie schopné akumulovat polyfosfáty, kultivován, a to tak, že aktivovaný kal musí být po smíchání s odpadní vodou ponechán po určitou dobu v anaerobních podmínkách, tj. bez přítomnosti rozpuštěného kyslíku a oxidovaných forem dusíku a se záporným redoxním potenciálem. Za anaerobních podmínek vznikají činnosti fermentativních bakterií z organických látek, přítomných v odpadní vodě mastné kyseliny, hlavně pak kyselina octová. Fermentativní bakterie (*Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Alcaligenes* aj.) jsou velice důležitou složkou směsné kultury schopné zvýšeného odstraňování fosforu. Vzniklé nižší mastné kyseliny jsou využívány těmito PP bakteriemi, přičemž energie potřebná pro aktivní membránový transport do buněk se získává hydrolýzou akumulovaných polyfosfátů. Charakteristickým jevem, využívaným ke kinetickému sledování tohoto procesu, je vylučování orthofosfátů do okolní kapaliny. Uvnitř buňky je z nižších mastných kyselin syntetizována zásobní PHB, která je dále využívána jako endogenní substrát. Obsahuje-li odpadní voda kyselinu octovou ve vyšší koncentraci, dochází k syntéze PHB a depolymeraci polyfosfátů i v anoxických a oxických podmínkách.

c. Po anaerobní fázi musí být směsná kultura kultivována po dostatečnou dobu v podmínkách oxických nebo anoxických. V těchto podmínkách slouží akumulovaná PHB jako zdroj organického uhlíku pro syntézu buněčné hmoty PP bakterií a zároveň jako zdroj energie pro syntézu polyfosfátů. Využívají se zde jak fosfáty uvolněné v anaerobních podmínkách, tak i fosfáty z odpadní vody. Fosfáty jsou ze systému odstraňovány v přebytečném aktivovaném kalu, který v provozních podmínkách obsahuje 4 až 6% fosforu v sušině.

Výše uvedený proces nazýváme tzv. *EBPR* (enhanced biological phosphorus removal) proces.

Snížení hydraulického a látkového přetížení

Snížení hydraulického a látkového není, přirozeně, možné dosažením snížení zatížení v odpadních vodách nebo jejich redukcí. Dosažení tohoto cíle je možné provedením převážně stavebních úprav na čistírně odpadních vod. Současně bývá rekonstruováno zastaralé technologické zařízení. Cílem provedených rekonstrukcí nebo intenzifikací je:

- snaha o maximální odstranění jak nutrientů z odpadních vod
- zlepšení účinnosti v odstranění organického substrátu

Automatizace a řízení provozu ČOV

Automatizace provozu čistírny odpadních vod spočívá zejména v řízení jednotlivých částí provozu bez zásahu obsluhy, popř. s maximálním komfortem pracovníků. To nejen snižuje náklady v oblasti přímých mezd a případné riziko postihů za nedostatečnou kvalitu odtoku, ale umožňuje i operativnější zásahy do provozu. Řídící a kontrolní systém signalizuje poruchy a automaticky kontroluje provoz ČOV. U čistíren odpadních vod jsou nejčastěji automatizovány následující prvky:

- Množství odpadních vod na přítoku
- Měření pH surové
- Měření průtoku vratného kalu
- Měření množství přebytečného kalu
- Měření koncentrace rozpuštěného kyslíku

- Měření zákalu
- Kontinuální měření koncentrace PO_4^{3-} na odtoku
- Kontinuální měření CHSK na odtoku
- Kontinuální měření anorganického dusíku na odtoku

Výstup z měřících jednotek je napojen na výkonné řídicí centrum, které umožňuje jak ovládání některých aparátů (čerpadla a dmyhadla), tak propojení s osobním počítačem, jehož prostřednictvím je možné ovládat čistírenský proces z místa. Propojení přes faxmodem umožňuje řídit zejména menší ČOV z dispečinku, a tak i snížit náklady na přímé mzdy.

Ve světovém čistírenství došlo k postupnému rozvoji mnoha systémů k odstranění nutrientů z odpadních vod. Jedná se např. o R-D-N proces, kdy je do technologické linky ČOV s nitrifikační nitrifikací zařazena nádrž regenerace kalu, modifikovaný An-R-D-N systém s anaerobní nádrží ke zvýšenému odstraňování fosforu. Mezi novější aplikace lze zařadit Bardenpho proces, ve kterém jsou opakovaně zařazeny anoxické a oxické zóny. Ve finální aerované nádrži je vystripován plynný dusík, což výrazně snižuje jeho koncentrace na odtoku.

Určitou modifikací procesu pro odstraňování makronutrientů jsou také SBR (sequencing batch reactor) semikontinuální systém, ve kterém probíhá odstraňování nutrientů zařazením různých fází procesu. Odstraňování dusíku probíhá účinně také v dobře zavedené oběhové aktivaci (dříve také oxidační příkop).

3 CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem dizertační práce je:

1. Na základě praktických měření v ČOV Adamov a modelových zkoušek s odpadní vodou navrhnout intenzifikaci komunální čistírny odpadních vod pro město Adamov, zejména z hlediska odstraňování dusíku a fosforu z odpadní vody
2. Navrhnout intenzifikaci čistírny odpadních vod pro průmyslový podnik Tanex Vladislav, zejména pro odstraňování dusíku z odpadní vody
3. Aplikovat výzkum odstraňování makronutrientů v modelových nádržích s postupným tokem na praktické systémy
4. Uplatnit výzkum procesu deamonifikace kalové vody ve stupni regenerace kalu v ČOV Tanex Vladislav

4 POUŽITÁ METODIKA

Jak již samo téma disertační práce napovídá, metodika práce je založena na experimentálním měření pouze částečně. Experimentální práce probíhala na principu modelování čištění reálné odpadní vody, a to komunální odpadní vody a odpadní vody, z průmyslového podniku, který se zabývá zpracováním zbytků z kožedělného průmyslu (charakterem podobný veterinárním asanačním ústavům).

Popis modelových zkoušek pro intenzifikaci ČOV Adamov

Cílem modelových zkoušek bylo posoudit odstraňování nutrientů z komunální odpadní vody při různých uspořádáních modelu, které jsou popsány v dalším textu. Modelové zkoušky probíhaly

s poloprovozním zařízením na čistírně odpadních vod Miroslav, přičemž vlastní model byl umístěn v česlovně. Modelové zkoušky probíhaly v období 01/2000-05/2000.

Výhodou lokality je vlastní laboratoř, která je umístěna přímo v areálu ČOV. Složení odpadních vod z lokality je shodné s kvalitou odpadních vod ve městě Adamov, neboť se rovněž jedná o komunální odpadní vody. Model tvoří technologická linka, která se skládá ze tří válcových nádrží, které lze uspořádat jako regenerační nebo anaerobní, denitrifikační a nitrifikační a jedné dosazovací nádrže s kónickým dnem. Systém pracoval s interním recyklem.

Doprava surové odpadní vody do modelu byla zajištěna čerpáním do 200 l sudu. Vzhledem k tomu, že čerpadlo surové odpadní vody bylo umístěno v odtokovém kanálu za strojními česlemi, byla odpadní voda již předčištěna. Odpadní voda byla dále vytlačena peristaltickým čerpadlem do nejvyššího položeného bodu a další průtok byl již zajištěn na gravitačním principu. Základní uspořádání modelu bylo následující: přítok surové odpadní vody z akumulací nádrže byl zaústěn do denitrifikační nádoby o objemu 12,4 l, kde se promíchal (bez provzdušňování) s vratným aktivovaným kalem.).

Z denitrifikační části odtékala kalová směs do nitrifikační nádoby o objemu 12,4 l, která byla provzdušňována dmyhadlem s oxygenační kapacitou 100 l/min. Z nitrifikační části odtékala voda do dosazovací nádrže, odkud přepadala přes hřebenový přepad do odtoku, zde byl prováděn odběr vzorků k chemickým analýzám. Vratný kal byl z kónického dna dosazovací nádrže s celkovým objemem 24,3 l dopravován do dmyhadlem provzdušňované regenerační nádrže (nebo do míchané anaerobní nádrže) odkud odtékal do denitrifikace. Odtah přebytečného kalu byl zajišťován ručně podle výsledku měření sušiny aktivovaného kalu. Doprava interního recyklu byla rovněž zajišťována ručně, a to s četností cca 5 x denně.

Práce s modelem byla časově rozvržena následujícím způsobem:

1. Byl zkoumán D-N systému.
2. Zkoušky probíhaly na principu RDN
3. Model pracoval jako An-D-N systém

Analýzy surové i předčištěné odpadní vody byly prováděny v laboratoři ČOV Miroslav.

Popis modelových zkoušek pro intenzifikaci ČOV Tanex Vladislav

Model pro zkoušení odstraňování nutrientů, zejména dusíku z reálné odpadní vody z podniku Tanex Vladislav, byl zapůjčen Ústavem vodního hospodářství VUT v Brně. Jedná se o kompaktní model ČOV, sestavený s desek polymethylmetakrylátových (tzv. plexisklo). Model sestává z následujících částí:

- Přítoková část – obsah 20 l
- Aerační část – obsah 30 l
- Dosazovací část – 6,9 l

Přítoková část má uspořádání šterbinové nádrže, kterou je však po drobných úpravách možné využít jako nádrž regenerace kalu. Aerační část je vybavena provzdušňovacími trubkami s otvory pro zajištění jemnobublinné aerace. Dosazovací nádrž je kónická, Dortmundského typu. K zajištění aerace bylo využito dmyhadlo s výkonem $20 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ a akvarijní dmyhadlo s regulovatelnou dodávkou vzduchu $0,8\text{-}2,8 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$. Od 28.4.2003 byl do aktivační nádrže přiveden vzduch z dmyhadlovny ČOV. K čerpání surové odpadní vody bylo použito peristaltické čerpadlo, regulovatelné trafem PIKO. Počáteční průtok byl nastaven tak, aby odpovídal poměru aktivační části modelu a čistírny Tanex k průtoku reálnou čistírnou odpadních vod, tedy na 12 l/den. Odpadní voda byla do modelu čerpána v pravidelných, cca 1 hod. intervalech po celou dobu pracovní směny. Uvedeným uspořádáním byla v co nejvyšší míře modelována reálná čistírna v ČOV Tanex Vladislav, neboť prvotní návrhy intenzifikace počítaly zejména s výměnou stávajícího středobublinného systému za jemnobublinný, tedy se zvýšením intenzity aerace.

5 EXPERIMENTÁLNÍ VÝSLEDKY

Výsledky modelování v ČOV Miroslav

Výsledky chemických analýz při provozu modelu v režimu D-N jsou uvedeny v tabulce č. 1. Doba zdržení v nitrifikační nádrži činila 20,6 hod., v denitrifikační části rovněž 20,6 hod. Z uvedených výsledků vyplývá, že s postupným zapracováním modelu docházelo k postupnému poklesu koncentrace amoniakálního dusíku v odtoku, z čehož vyplývá zřejmá závislost nitrifikační rychlosti na stáří kalu. Výhodou pro průběh nitrifikace je i poměrně vysoká hodnota pH v surové odpadní vodě. Účinnost odstranění amoniakálního dusíku činila v uvedeném období 70,1 %. Závislost průběhu nitrifikace na teplotě odpadní vody, která se v uvedeném období pohybovala pod hranicí 10 °C, nebyla pozorována.

Tab. č. 1. Chemické analýzy D-N uspořádání

Dat./ukazatel (mg/l)		2.2.	8.2.	14.2	17.2	19.2	21.2	29.2	průměr
CHSK	P	-	-	-	-	-	-	-	-
CHSK	O	-	-	-	-	-	-	-	-
N-NH ₄	P	-	12,0	21,4	18,8	-	-	-	17,4
N-NH ₄	O	-	7,1	4,4	11,6	2,5	3,4	2,1	5,2
N-NO ₃	P	-	16,4	-	-	-	10,6	16,2	14,4
N-NO ₃	O	-	18,2	6,8	9,4	10,3	10,7	-	11,1
P _{celk}	P	4,5	5,6	6,5	7,3	-	-	-	6
P _{celk}	O	3,1	3,0	2,8	2,7	-	-	-	2,9
pH	P	8,52	8,67	8,65	8,49	8,57	8,54	8,51	8,56
pH	O	8,34	8,31	8,36	8,31	8,35	8,45	8,25	8,34

Účinnost denitrifikace lze vypočítat na základě následujících rovnic:

$$E_{DN} = \frac{N - NO_3^-, vstup + N_{nitrif} - N - NO_3^-, výstup}{N - NO_3^-, vstup + N_{nitrif}} \cdot 100 \quad (5.1)$$

$$N_{nitrif.} = \Delta N - NH_4^- - N_s \quad (5.2)$$

kde:

$N_{nitrif.}$ = dusík, spotřebovaný k nitrifikaci $\Delta N - NH_4^+$.. celkový pokles amoniakálního dusíku

N_s .. dusík, spotřebovaný k syntéze kalu

Syntézou a nitrifikací bylo odstraněno cca 12,2 mg/l. Při úvaze, že k syntéze bylo spotřebováno cca 6 mg/l celkového anorganického dusíku (viz tab. č. 4.3), potom účinnost denitrifikace lze hodnotit takto:

$$E_{DN} = ((14,4 + 6) - 11,1)/(14,4 + 6) \cdot 100 = 45,6 \%$$

Účinnost denitrifikace, vypočtená z recirkulačních poměrů je vyšší, než účinnost, vypočtená podle vzorce 1. Koncentrace kyslíku byla udržována na vyšší úrovni, než by bylo potřebné pro středně zatížený systém.

Vzhledem k tomu, že v počáteční fázi nebyla prováděna analýza CHSK, je spotřeba dusíku k syntéze vypočtena podle vstupní koncentrace CHSK z tab. 4.3. na základě rovnice:

$$N_s = \frac{C_{CHSK, vstup}}{40} \quad (5.3)$$

Ze vztahu, obdobného rov. 1. lze vypočíst zvýšenou biologickou účinnost odstranění celkového fosforu:

$$E_p = \frac{(P_{c, vstup} - P_s) - P_{c, výstup}}{P_c - P_s} \cdot 100 \quad (5.4)$$

kde: P_s ... celkový fosfor spotřebovaný k syntéze

Pro průměrnou účinnost odstranění celkového fosforu platí:

$$E_c = \frac{P_{c, vstup} - P_{c, výstup}}{P_{c, vstup}} \cdot 100 \quad (5.5)$$

Množství fosforu, spotřebovaného k syntéze kalu, lze určit na základě vztahu:

$$N_s = \frac{C_{CHSK, vstup}}{200} \quad (5.6)$$

Při D-N uspořádání byla celková průměrná účinnost odstraňování P_c :

$$E_c = (6 - 2,9/6) \cdot 100 = 51,7 \%$$

Z toho průměrná účinnost zvýšeného biologického odstraňování celkového fosforu:

$$E_p = ((6 - 1,2) - 2,9)/(6 - 1,2) \cdot 100 = 39,6 \%$$

Z uvedených rovnic vyplývá, že k syntéze kalu bylo spotřebováno cca 12% celkového fosforu. V počátečním stadiu byly naměřeny vysoké koncentrace kyslíku, což souvisí jak s již zmiňovaným nízkým stářím kalu, tak také se skutečností, že proces provzdušňování a ověřování dodávky vzduchu byly ve stadiu zpracování. Vzhledem k tomu, že v uvedeném období nebyla měřena koncentrace sušiny aktivovaného kalu, není možné exaktně posoudit nitrifikační rychlosti, při předpokladu koncentrace sušiny v úrovni následujícího modelování, činila nitrifikační rychlost 0,18 mg/g/h. Nitrifikační rychlost je nižší, než dolní hranice uváděného rozmezí {11}.

Výsledky modelování na principu R-D-N proces jsou uvedeny v tab. č. 2

Tab. č. 2. Sledované chemické ukazatele při R-D-N uspořádání

Dat./ukazatel		6.3.	8.3.	11.3	15.3	18.3	22.3	26.3	29.3	31.3	4.4.	8.4.	15.4	19.4
CHSK	P	210	210	-	310	270	290	250	-	140	205	220	240	190
CHSK	O	64	82	-	65	49	47	42	-	45	45	44	62	60
N-NH ₄	P	-	>22	-	16,4	18,5	20	14,0	16,8	9,4	22,0	17,4	17,8	20,5
N-NH ₄	O	5,2	1,4	0,7	0,5	0,4	0,1	0,8	1,2	0,8	0,3	0,1	3,5	4,1
N-NO ₃	P	-	-	-	12,5	11,1	14,0	11,2	10,6	11,2	10,9	10,9	14,0	8,1
N-NO ₃	O	-	-	12,2	13,1	11,2	9,1	8,5	9,2	10,0	8,5	9,2	20,5	16,2
P _{celk}	P	8,3	-	-	-	6,5	-	9,1	-	-	6,5	8,5	-	-
P _{celk}	O	-	-	-	-	0,7	-	0,8	-	-	1,1	1,1	-	-
P-PO ₄	O	1,2	1,3	0,2	0,7	0,6	0,7	0,8	0,7	1,0	0,9	-	2,1	2,4
pH	P	8,56	8,50	-	8,53	8,56	8,50	8,46	8,63	8,54	8,47	8,52	8,48	8,44
pH	O	8,64	8,35	-	8,42	8,44	8,41	8,28	8,28	8,22	8,59	8,60	8,25	-

Doba zdržení v nitrifikační části modelu činila 20,6 hod. Z uvedených výsledků je patrná vynikající účinnost odstranění amoniakálního dusíku (91,3%), a to opět nezávisle na teplotě odpadní vody. Nitrifikaci je možné v tomto systému udržet i při teplotách pod 5 °C. Na tuto skutečnost má pravděpodobně největší vliv zařazení zóny regenerace kalu, což významně přispívá ke zvýšení zásoby kalu a tím i stáří kalu v systému, které je dostatečné pro udržení nitrifikantů. Průměrná nitrifikační rychlost činila 0,36 mg/g/h. Nitrifikační rychlost byla cca dvojnásobná, než v předchozím uspořádání, což je zásluhou především vyššího stáří kalu a zařazení zóny regenerace aktivovaného kalu. I přes uvedenou účinnost odstranění byly dosažené nitrifikační rychlosti cca o řád nižší než uváděné rozmezí [11]. Probíhající nitrifikace je dále udržena i přes průchod kalu ze zóny regenerace kalu a odpadní vody denitrifikační zónou, přičemž následně v provzdušňované fázi proběhne účinná nitrifikace.

V uvedeném uspořádání byly překvapivě pozorovány vysoké rychlosti zvýšeného biologického odstranění fosforu:

$$E_P = ((7,8 - 1,2) - 0,9) / (7,8 - 1,2) \cdot 100 = 86,4 \%$$

i přesto, že v systému nebyla začleněna anaerobní zóna. V uspořádání R-D-N vyšla celková účinnost odstranění fosforu:

$$E_C = (7,8 - 0,9) / 7,8 \cdot 100 = 88,5 \%$$

Z účinnosti odstranění fosforu vyplývá, že bylo dosaženo podstatně vyššího odstranění fosforu než pouhou inkorporací do aktivovaného kalu. Na syntézu kalu bylo spotřebováno cca 1,2 mg fosforu z cca 6,9 mg/l odstraněného P_c .

Syntézou a nitrifikací bylo odstraněno cca 15,8 mg/l dusíku. Přítokové koncentraci CHSK odpovídá, že k syntéze bylo spotřebováno cca 5,8 mg/l dusíku, potom účinnost denitrifikace lze hodnotit takto:

$$E_{DN} = ((11,5 + 10) - 11,6) / (11,5 + 10) \cdot 100 = 46 \%$$

I přesto, že byla interní recirkulace udržována na nízké úrovni, je dosažená účinnost denitrifikace poměrně vysoká. V tomto případě se hodnota účinnosti denitrifikace více blíží účinnosti, vypočtené podle recirkulačních poměrů:

$$E_{DN} = (14,4/14,4 + 1,5/14,4) / (14,4/14,4 + 1,5/14,4 + 1) \cdot 100 = 1,1/2,1 \cdot 100 = 52,4 \%$$

Příčinu spatřuje autor dizertační práce v následujících faktech:

1. V systému byl zjištěn velmi výhodný poměr CHSK : $N_c = 6,6 : 1$
2. Doba zdržení v denitrifikační zóně činila téměř 21 hod.

Naopak, účinnost denitrifikace by byla vyšší, systém však byl provozován za následujících podmínek:

- K velmi účinnému průběhu nitrifikace je nutné udržovat poměrně vysoké koncentrace rozpuštěného kyslíku v nitrifikační zóně, takže je do denitrifikační nádrže vnášena interním recyklem kalová směs s vysokým obsahem kyslíku, který snižuje denitrifikační rychlosti (kinetika denitrifikace je Monodovského typu).
- Do nádrže je přiváděn aktivovaný kal z provzdušňované zóny regenerace kalu, obohacený o kyslík a částečně o dusičnany, které jsou přítomny v kalové směsi již z dosazovací nádrže
- Vysoká koncentrace dusičnanového dusíku v přítoku, která pravděpodobně pochází z balastních vod s vysokým obsahem dusičnanů, které vnikají do kanalizace
- Konstantní a nízká hodnota interního recyklu, která činila $R_i = 0,1$

Celkově lze předpokládat, že v denitrifikační zóně nebyl udržen oxidačně-redukční potenciál pod 50 mV, což potvrzuje i účinný průběh nitrifikace i přes průchod kalové směsi denitrifikační zónou. Odtoková hodnota pH je stejně, jako v předchozím uspořádání, o desetiny jednotky nižší než v přítoku, což lze přičítat probíhající nitrifikaci, z tohoto rozdílu však nelze formulovat závěry. Hodnoty kalového indexu zařadily aktivovaný kal do kategorie normálního kalu, v dosazovací nádrži ani v nitrifikaci nebyly pozorovány problémy se vzplýváním nebo bytřením. Biocenóza kalu byla shodná s biologickým osazením dobře pracující aktivace. Průměrná hodnota stáří kalu činila 15 dnů, což je vhodná hodnota jak pro odstraňování organického uhlíku, tak i pro průběh nitrifikace. Z výsledků, uvedených v tab. č. 4.3. vyplývá, že při dvojnásobném průtoku odpadní vody došlo ke zhoršení odtokových koncentrací většiny sledovaných chemických ukazatelů. Z tab. 4.4. vyplývá, že koncentrace kyslíku v nitrifikační zóně byla udržována na poměrně vysoké úrovni, koncentrace sušiny kalu z N a DN zóny 4,9, resp. 6,5 g/l byly rovněž poměrně vysoké.

Výsledky zkoumání An-D-N procesu

Doba zdržení v nitrifikační i denitrifikační nádrži činila 20,6 hod. Z výsledků modelových zkoušek, které jsou uvedeny v tab. č. 3, je patrná vynikající účinnost odstranění amoniakálního dusíku v úrovni 96,2%. Nitrifikační rychlost není možné exaktně posoudit, protože v tomto období nebyla měřena koncentrace sušiny aktivovaného kalu.

Tab. č. 3. Sledované ukazatele při An-D-N uspořádání

Dat./ukazatel (mg/l)		26.4.	29.4.	2.5.	7.5.	10.5.	průměr
CHSK	P	140	180	210	170	210	182,0
CHSK	O	59	54	58	50	48	53,8
N-NH ₄	P	12,7	16,2	18,1	-	-	15,7
N-NH ₄	O	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	0,6
N-NO ₃	P	14,7	13,3	15,1	-	-	14,4
N-NO ₃	O	20,8	18,1	16,9	12,3	10,9	15,8
P-PO ₄	P	4,1	4,8	4,5	-	-	4,5
P-PO ₄	O	2,3	2,2	2,4	1,2	1,0	1,8
PH	P	8,51	8,50	8,52	8,43	8,48	8,5
PH	O	8,62	8,65	8,63	8,56	8,59	8,6
T (°C)	P	10,9	11,5	12,0	12,0	12,3	11,7
T (°C)	O	20,0	21,2	21,0	20,3	20,5	20,6
V ₃₀	P	350	350	350	370	390	362,0
koncentrace O ₂ – N	mg/l	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Q	l/d	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
VK recykl	l/d	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
interní recykl	l/d	1,5	1,5	3	3	3	2,4
odtah kalu	l/d	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

Při předpokladu, že by byla sušina kalu konstantní, činila by průměrná nitrifikační rychlost 0,33 mg/g/h, což je asi o 10% nižší rychlost než v předchozím uspořádání. Účinnost odstranění fosforu (ve formě fosforečnanů) byla nižší než v předchozím uspořádání. Tento fakt může být způsoben buďto nedostatkem experimentálních dat nebo pomalejší adaptací systému na zařazení anaerobní zóny, neboť ke konci experimentu činila účinnost odstranění fosforečnanů 75,6 %. Zařazení anaerobní zóny na zvýšené odstraňování fosforu se v našem uspořádání nepodařilo prokázat, a to zejména vzhledem ke krátké době provádění experimentu.

Účinnost denitrifikace byla vypočtena ze vztahu:

$$E_{DN} = ((14,4 + 10,6) - 15,8)/(14,4 + 10,6) \cdot 100 = 36,8 \%$$

Výsledná hodnota je nižší, než při předchozím uspořádání, a to i přes výhodný poměr CHSK: N_c 6:1 a vysokou dobu zdržení kalové směsi v denitrifikační zóně. Společným jmenovatelem pro všechny uspořádání a proces denitrifikace je nízká hodnota interního recyklu a vysoké koncentrace kyslíku. I přesto lze konstatovat, že zvýšením hodnoty interního recyklu po 8 dnech provozu tohoto uspořádání na hodnotu R_i = 0,2 (účinnost denitrifikace činila 56,4%, vezmeme-li průměrnou přítokovou koncentraci N-NO₃⁻ 14,4 mg/l a odtokovou koncentraci 10,9 mg/l a průměrné hodnoty znitrifikovaného dusíku), byl pozorován pokles odtokové koncentrace dusičnanového dusíku.

Podle recirkulačního poměru činila účinnost denitrifikace:

$$E_{DN} = (14,4/14,4 + 3/14,4) / (14,4/14,4 + 3/14,4 + 1) \cdot 100 = 1,1/2,1 \cdot 100 = 54,8 \%$$

Lze tedy předpokládat, že tento proces by při delší době experimentu a postupném zvyšování interního recyklu až na hodnotu R_i = 1 by byl ještě výraznější. Přítoková i odtoková hodnota pH je srovnatelná. Biocenóza kalu byla shodná s biologickým osazením dobře pracující aktivity. Průměrná hodnota stáří kalu činila 15 dnů.

U všech uspořádání docházelo k účinnému odstraňování organického uhlíku, nejlepších odtokových koncentrací bylo dosaženo při R-D-N uspořádání, což lze s největší pravděpodobností přisoudit vlivu bioaugmentace aktivovaného kalu v regenerační zóně..

Na základě výše uvedených skutečností lze shrnout výsledky modelových zkoušek pro intenzifikaci čistírny odpadních vod Adamov takto:

1. Nejvyšších nitrifikačních rychlostí bylo dosaženo při uspořádání R-D-N, kde se na této skutečnosti pravděpodobně největší měrou podílel proces „nastartování“ nitrifikačních bakterií v regenerační zóně, která byla provozována bez přítoku substrátu. Proces nitrifikace se následně podařilo udržet i průchodem kalové směsi přes denitrifikační zónu
2. V žádném z uspořádání nebylo dosaženo takových denitrifikačních rychlostí, které by odpovídaly poměru recirkulačního poměru hlavní a interní recirkulace
3. Z časových důvodů nebylo možné ověřit vliv velikosti interního recyklu na proces denitrifikace.
4. Ve všech modifikacích bylo dosaženo vyšších účinností odstranění fosforu, než jaká by odpovídala pouhé inkorporaci tohoto ukazatele do aktivovaného kalu, a to i při průtoku kalové směsi, bohaté na kyslík a dusičnany anaerobní zónou (dusičnany neinhibovaly proces zvýšeného biologického odstraňování fosforu, resp. se jeví, jako by tento proces byl energeticky výhodnější než proces denitrifikace)

Výsledky modelování v ČOV Tanex Vladislav

Výsledky chemických analýz monitoringu jsou uvedeny v tab. č. 4. (odtok do 16.4.2003) a 5. (odtok po 12.5.2003. Z tab. č. 4. vyplývá, že surové odpadní vody jsou značně zatíženy ukazatelem CHSK, N-NH₄⁺ a N_{org}. Z toho vyplývající průměrné zatížení kalu ukazatelem N_{Kj} je přibližně stejně vysoké jako zatížení kalu ukazatelem BSK₅ u běžné komunální ČOV na dolní hranici doporučeného rozmezí {11}. Průměrný poměr CHSK:N_{Kj} činí 9:1. Velmi nízké jsou přítokové koncentrace P_c, poměr CHSK : P_c činí 753:1.

Z uvedených výsledků je zřejmé, že provozováním modelu po dobu cca 2 měsíců se podařilo snížit odtokové koncentrace amoniakálního dusíku pouze nepatrně, řádově zůstávala odtoková

koncentrace vyšší než 120 mg/l. Účinnost odstranění tohoto ukazatele činila necelých 20%. V uvedeném období činila účinnost odstranění Kjeldahlova dusíku cca 30 %. Vysoký podíl CHSK:N_{Kj} odpovídá skutečnosti, že přibližně pouze cca polovina celkového dusíku byla spotřebována na syntézu aktivovaného kalu. Účinnost odstranění fosforu činila, po dobu provozu modelu za období prvních dvou měsíců provozu modelu 91%. Konstantní byly odtokové koncentrace nerozpuštěných látek. Zjištěná průměrná nitrifikační rychlost byla v uvedeném období 0,66 mg/g/hod.

Tab. č. 4. Hodnoty odtokových koncentrací (14.2-16.4.2003)

Uk./dat.	pH	NL	CHSK	N _{org.}	N-NH ₄ ⁺	P _c	RAS
14.2.2003	7,7	-	1317	-	192	0,9	
4.3.2003	7,9	32	614	-	126	0,5	-
6.3.2003	7,9	20	580	-	126	0,3	1010
11.3.2003	8	20	585	-	174	0,3	-
20.3.2003	8,3	20	480	-	158	0,2	780
26.3.2003	8,1	25	460	-	88	0,3	940
28.3.2003	8,1	22	530	-	126	0,3	980
3.4.2003	8,2	25	390	-	129	0,2	-
8.4.2003	8,3	20	370	-	129	0,2	1040
14.4.2003	8,3	40	388	-	122	0,2	-
16.4.2003	8,3	38	330	95	140	0,23	950
průměr	8,1	26	549		137,3	0,33	950
Účinnost (%)			80,82		18,08	91,2	

V období do poloviny dubna byly odtokové hodnoty pH většinou vyšší než 8, což lze přičítat průběhu amonifikace organického dusíku v systému (ve srovnání s přítokovou hodnotou 7,4). Po výměně zdroje vzduchu byla v uvedeném období v systému udržována vysoká koncentrace rozpuštěného kyslíku (cca 4,6 mg/l), která zajistila velice slušnou účinnost (v porovnání s reálnu ČOV) odstranění CHSK. S ohledem na absenci nitrifikační populace však nedostačovala k oxidaci amoniakálního dusíku. Obdobná koncentrace rozpuštěného kyslíku byla naměřena i v regenerační části modelu. S ohledem na skutečnost, že podniková laboratoř není zařízena na analýzu dusičnanů, nebyly prováděny pravidelné analýzy dusičnanového dusíku. Rozborem vzorků odpadní vody ze dne 16.4.2003 nezávislou akreditovanou laboratoří Enviro-ekoanalytika Velké Meziříčí byla zjištěna odtoková hodnota pod 2,3 mg/l. Naměřená odtoková koncentrace dusitanů činila méně než 0,06 mg/l. Teplota aktivační směsi se pohybovala od cca 12 °C v únoru do 19 °C v červenci. Průměrný kalový index aktivovaného kalu z aktivační části modelu činil v období od počátku března do poloviny dubna cca 154 ml/g. V tomto období byly naměřeny nejvyšší hodnoty sedimentu za celou dobu experimentu.

Po výměně aktivovaného kalu v aktivační části modelu a jeho náhradou za aktivovaný kal z ČOV Třebíč, která byla provedena dne 28.4.2003 byla zjištěna výrazně lepší schopnost systému odstraňovat amoniakální dusík. Průměrná odtoková koncentrace N-NH₄⁺ za období 12.5.-23.7.2003 činila 40,2 mg/l, což je cca ¼ hodnota ve srovnání s provozem modelu s kalem z aktivace ČOV Tanex. V tomto období bylo dosaženo průměrné účinnosti odstranění amoniakálního dusíku 76%, u organického dusíku 83%. Dne 17.7.2003, v období extrémně vysokých přítokových koncentrací, činila účinnost odstranění amoniakálního dusíku 93%. V uvedeném období bylo dosaženo průměrné nitrifikační rychlosti systému 1,36 mg/g/hod, což je cca dvojnásobná nitrifikační rychlost, než při předchozím uspořádání. Z uvedeného je zřejmé, že pravděpodobně přítomností nitrifikační populace v kalu z ČOV Třebíč došlo k tomuto výraznému zlepšení. Významnou roli také hrálo synergické působení zařazení

regenerační části modelu a vysoké koncentrace rozpuštěného kyslíku v aktivační části, která v uvedeném období dosáhla průměrné hodnoty téměř 4,8 mg/l. Skutečnost, že došlo ke zlepšenému průběhu deamonifikace, naznačuje i nižší odtoková hodnota pH, která byla nižší o 0,3 jednotky ve srovnání s předchozím uspořádáním.

Tab. č. 5. Hodnoty odtokových koncentrací (12.5-23.7.2003)

uk./dat.	pH	NL	CHSK	N _{org.}	N-NH ₄ ⁺	P _c	RAS
12.5.2003	7,9	25	343		36	4	910
21.5.2003	8,1	80	410	20	90	2,2	880
28.5.2003	7,9	80	285		45		660
5.6.2003	7,7	35	227		36		640
12.6.2003	7,3	20	239		31	0,8	510
19.6.2003	7,2	29	233		36	3,9	
27.6.2003	8,3	12	602		54	2,4	1080
2.7.2003	8,3		411		54	1,1	
8.7.2003	7,9	20	417	35,1	18	1,1	1240
17.7.2003	7,9	10	299		21		970
23.7.2003	7,7	13	367		21	0,8	1020
průměr	7,84	32	347	27,6	40,2	2,0	879
Účinnost(%)			88	83	76,0	45,8	

Zlepšení funkce systému je patrné i u nižší odtokové koncentrace CHSK, kdy účinnost odstranění znečištění, charakterizovaného tímto ukazatelem, se ve srovnání s předchozím obdobím zlepšila o 8 %. Dne 17.7.2003 bylo dosaženo téměř 93% účinnosti CHSK. Naopak došlo ke zhoršení účinnosti odstranění ukazatele P_c, což si autor této práce vysvětluje změnou způsobu provzdušňování, kdy bylo dmychadlo, byť lepších parametrů, než původně použitý akvarijní kompresor, nahrazeno přivedením vzduchu přímo z dmychadlové stanice ČOV. Tím došlo ke zlepšení celkového promíchání a prokysličení systému, takže již nevznikaly „mrtvé kouty“ v rozích nádrže, čímž byl eliminován kal, který se v těchto místech mohl dostávat až do anaerobního stavu a tím přispívat k účinnějšímu odstranění fosforu. Faktorů zhoršení odtokových koncentrací fosforu ve druhé části experimentu však může být celá řada. V uvedeném období byla naměřena průměrná hodnota kalového indexu 89, což mohlo být způsobeno zejména následkem výměny aktivovaného kalu s jinými vlastnostmi. Z tab. č. 4.9. je patrné i snížení hodnoty pH v aktivační části modelu, což bylo pravděpodobně způsobeno zlepšeným průběhem deamonifikace.

Ani v tomto období nebyly prováděny pravidelné analýzy dusičnanového dusíku. Rozborem vzorků odpadní vody ze dne 16.4.2003 nezávislou akreditovanou laboratoří Enviro-ekoanalytika Velké Meziříčí byla zjištěna odtoková hodnota pod 2,3 mg/l. Zajímavé zjištění přinesl výsledek stanovení dusitanového dusíku touto laboratoří, kdy byla zjištěna odtoková hodnota 5,66 mg/l, což by mohlo znamenat zastavení nitrifikace v 1.stupni, tedy na úrovni nitritace. Důvodem může být vysoká hodnota pH jak odpadní vodě, tak v kalové směsi, která působí inhibičně na proces nitratice. Vzhledem k tomu, že se autor zaměřil při experimentu spíše na samotné odstranění amoniakálního dusíku, než na další průběh nitrifikace, nebylo analýz tohoto ukazatele provedeno více.

Na základě výše uvedených skutečností lze shrnout výsledky modelových zkoušek pro intenzifikaci čistírny odpadních vod Tanex Vladislav takto:

1. V 1. etapě experimentu, kdy byl model využíván za následujících podmínek:

1. Nízké stáří kalu
2. Nedostatečné provzdušnění aktivační části
3. Aktivovaný kal z ČOV Tanex

- Nebylo dosaženo požadovaných odtokových koncentrací amoniakálního dusíku (pod 50 mg/l), účinnost odstranění činila pouze cca 20%. Účinnost odstranění fosforu činila 91%, odtokové koncentrace nerozpuštěných látek byly konstantní, v průměru nepřekročily hodnotu 26 mg/l.
 - Postupným zvyšováním kalového stáří byla optimalizována odtoková koncentrace CHSK z původních cca 600 mg/l na přibližně 480 mg/l. V této souvislosti je nutné poznamenat, že model byl zprovozněn bezprostředně po spuštění provozu v podniku, takže přítokové koncentrace byly nestandardně vysoké.
 - Postupně docházelo i k nepatrnému snižování odtokové koncentrace amoniakálního dusíku, který je částečně produktem amonifikace organického dusíku, částečně již přitéká v surové odpadní vodě. Nejlepšího výsledku bylo dosaženo dne 26.3.2003, kdy účinnost odstranění Kjeldahlova dusíku činila 70 %.
 - Nepodařilo se prokázat účinnost stupně regenerace aktivovaného kalu, pravděpodobně z důvodu nemožnosti udržení nitrifikační populace ve vysoce zatíženém systému.
2. Po změně způsobu provozování koncem dubna, kdy bylo zajištěno lepší promíchávání kalové směsi v aktivační části modelu, a po výměně aktivovaného kalu za kal z ČOV Třebíč, byly zjištěny výsledky:
- výrazné zlepšení odtokových koncentrací amoniakálního dusíku (průměrná koncentrace nepřekročila 40 mg/l), dosažená účinnost činila 76 %, a to i přes téměř dvojnásobné koncentrace $N-NH_4^+$ v surové odpadní vodě oproti průměru, které byly naměřeny ke konci experimentu. V grafické příloze je rovněž uveden graf závislosti vybraných chemických ukazatelů, které byly prováděny s četností 1-2x měsíčně
 - Bylo dosaženo účinnosti odstranění CHSK až 93%, a to v období extrémně vysokých přítokových koncentrací
 - Výrazné zlepšení odtokových koncentrací, s výjimkou P_c , přisuzuje autor této práce synergickému působení výměny aktivovaného kalu a zařazení regenerační části modelu také vysoké koncentraci rozpuštěného kyslíku v aktivační části, která v uvedeném období dosáhla průměrné hodnoty téměř 4,8 mg/l.
 - Zařazení zóny regenerace kalu do reálné ČOV Tanex Vladislav může, společně s rekonstrukcí provzdušňovacího systému, přinést výrazné zlepšení odtokových koncentrací ukazatelů organického uhlíku a Kjeldahlova dusíku.

6 PŘÍNOS PRO PRAXI A ROZVOJ VĚDNÍHO OBORU

Návrh technologie intenzifikace čistírny odpadních vod Adamov vychází jak z dosud prakticky získaných a ověřených poznatků oboru čištění odpadní vody, tak z teoreticky navržených řešení. Praktická aplikace je založena na bázi zavedeného modelu technologické linky čištění odpadních vod R-D-N s interním recyklem aktivovaného kalu. V návrhu je do technologické linky začleněna kompartmentalizovaná anaerobní nádrž, pro kterou je využita původní šterbinová nádrž. Za významné, z hlediska rozvoje vědního oboru, považuje autor návrh odstraňování makronutrientů ve 2 nitrifikačních nádržích s postupným tokem s rozdílnými kalovými parametry v obou nádržích. Dalším stupněm je následný odběr interního recyklu z finální části 2. nitrifikační nádrže a jeho zaústění do 1. kompartmentu denitrifikační nádrže.

Za významný fakt je považován návrh zaústění kalové vody ze strojního odvodnění kalu do nádrže regenerace kalu společně s částí celkového recyklu, a to pro střední velikost čistírny, kterou ČOV Adamov je. Proces deamonifikace kalové vody v nádrži regenerace kalu, který navíc aktivuje nitrifikační bakterie pro další průběh nitrifikace, byl dosud prakticky ověřen pouze na velkých čistírnách v ČR. Modelový výzkum prokázal také příznivý vliv regenerace vratného kalu na průběh biologického odstraňování fosforu.

Provedení modelových zkoušek v ČOV Tanex Vladislav považuje autor této dizertační práce za významný krok k ověření možnosti odstraňování forem dusíku prostřednictvím zóny regenerace kalu. S ohledem na absenci literatury odstraňování dusíku z kožedělného průmyslu a průmyslu zpracování organických zbytků (tzv. kafilerie) lze předpokládat, že modelové zkoušky s reálnou odpadní vodou v ČOV Tanex Vladislav byly v uvedeném rozsahu, a s cílem zlepšit účinnost nitrifikace, prováděny vůbec poprvé na území České republiky. Modelovými zkouškami byl prokázán jistý vliv zařazení regenerační zóny na účinnost odstranění Kjeldahlova dusíku z odpadní vody. Jednoznačně byl prokázán vliv zvýšené koncentrace rozpuštěného kyslíku vyšší než 2 mg/l v aktivační směsi jak na účinnost nitrifikace, tak i odstranění CHSK. Na základě výsledků modelových zkoušek přistoupí investor k zařazení nádrže regenerace kalu do technologické linky ČOV. Tím by, alespoň po přechodné období, do doby realizace rekonstrukce provzdušňovacího systému v aktivační nádrži ČOV, mohly být zmírněny poplatky za vypouštění odpadních vod do vod povrchových.

Podarilo se aplikovat výzkum odstraňování makronutrientů v modelových nádržích s postupným tokem na praktické systémy. V práci byly vypracovány návrhy na rekonstrukci a intenzifikaci dvou komunálních a jedné průmyslové čistírny odpadních vod. Realizace těchto návrhů bude mít tyto přínosy pro praxi:

1. U všech 3 čistíren odpadních vod budou splněny požadavky na kvalitu vypouštěných odpadních vod v souladu s Nař. vl. č. 61/2003 Sb a direktivou EU č. 91/271/EHS
2. U ČOV Adamov byla navržena předřazená denitrifikace čerpáním kalové směsi z finální části nitrifikační nádrže, do nádrže denitrifikační. Využitím $N-NO_3^-$ jako konečného akceptoru elektronů dojde rovněž k efektivnímu využití dusičnanového dusíku k oxidaci organického uhlíku bez dodatečného přísunu kyslíku. Tím dojde k energetickým úsporám. Zařazením nádrže anaerobní do technologické linky ČOV by měly být sníženy náklady na odstraňování fosforu solemi Fe^{3+} .
3. V případě ČOV Tanex Vladislav by mělo dojít ke snížení vypouštěného znečištění v ukazateli $N-NH_4^+$ cca o 30 t a v ukazateli CHSK cca o 50 t. To je velmi příznivý fakt nejen pro recipient Jihlava, kam jsou odpadní vody vypouštěny, tak také pro pokladnu investora, ze které by mělo být vydáno o cca 440.000,- Kč méně na poplatcích za vypouštění odpadních vod ročně.

7 ZÁVĚR

Cílem této dizertační práce nebylo zahrnout laskavého čtenáře velkým množstvím vzorců, pouček nebo diferenciálních či integrálních rovnic. Autor nepovažuje za nejdůležitější v době, kdy je možné jakékoliv atributy aktivačního procesu získat pomocí internetu několikanásobným kliknutím myši, citovat již mnohokrát publikované znalosti. Smyslem spíše bylo předat praktické zkušenosti a návrhy technického řešení intenzifikace aktivačního procesu v návaznosti na výsledky modelového zkoumání a jeho provozu. U dvou návrhů, a to rekonstrukce čistírny odpadních vod Adamov a intenzifikace ČOV Tanex Vladislav nebyly dosud uvedené návrhy úplně realizovány, a nebylo tudíž ani možné výsledky koncepcí prakticky ověřit. Naopak u ČOV Javorník byla navržena koncepce intenzifikace ověřena při praktickém provozu. Vzhledem k tomu, že autor vychází z již osvědčených systémů, které jsou mírně modifikovány, je přesvědčen, že až bude

moci výsledky ověření navržených koncepcí publikovat při další příležitosti, kterou mu snad odborná veřejnost umožní, ukáží se jím navržená řešení jako správná.

8 SUMMARY

The intensification proposal of two Wastewater Treatment Plants (WWTP) was based on the model trials with real wastewater. The model, placed in WWTP Miroslav, district Znojmo, Czech Republic, has been used for the municipal WWTP intensification in Adamov, district Blansko, Czech Republic.

The relation between wastewater temperature and nitrification rate wasn't evidence during the model tests. Highest nitrification rates had been reached in the R-D-N arrangement, nitrification process was started in the regeneration zone. The regeneration zone was operated without a substrate inflow. The required denitrification rates hadn't been obtained in non arrangements of the model. The highest efficiency of the total Phosphorus removal was monitored in all modifications of the model.

The results, obtained over the model tests in Miroslav WWTP, was applied to intensification proposal in Adamov sewage works. The design was based on the R-An-D-N process. The former slot basins will perform as an anaerobic and denitrification tanks. Contemporary nitrification tank will be intensified. The regeneration zone will set up from the contemporary sludge station. New circular secondary treatment tank with 18 m diameter will perform separation function. The Adamov WWTP intensification is implemented on the base of this doctoral thesis in present.

Second model has been operated with real industry wastewater stream, in the factory Tanex Vladislav, district Třebíč, Czech Republic. The wastewater, which originates from a tanning industry organic scraps processing contain high concentration of organic and ammonia Nitrogen (Kjeldahl Nitrogen). The sludge bio augmentation (regeneration) compartment was include in the model to more efficient ammonia Nitrogen removal. The results of model tests showed, that high dissolved oxygen and MLSS concentrations, sludge from WWTP Třebíč (rich in nitrificants) and operation with bio augmentation compartment, can eliminate Kjeldahl Nitrogen. Higher efficiency of Kjeldahl Nitrogen removal, compared wit real WWTP, had been reached by synergistic effect of the above mentioned factors. The better results was monitored in outflow COD concentrations, too. On the other hand, only deamonification was observed during model tests. The nitrification stopped in the firs step -nitritation, probably by high pH values in mixed liquor and in raw water, effect.

The results from model tests was used in sludge regeneration reactor design proposal. The operator will include a bio augmentation zone to the technological unit of WWTP Tanex Vladislav.

The 30% decrease of ammonia Nitrogen and 20 % COD outflow concentration could by reached by an intensification of the WWTP Tanex Vladislav. An intensification of the aeration system and increasing of MLSS and dissolved oxygen concentration is necessary to achievement of the better operation and Kjeldahl Nitrogen and COD outflow concentrations. The more frequent exchange of the activated sludge will be probably necessary, too.

Author of this PhD thesis suppose the practical application of the both model tests, from the point of view of the Wastewater Treatment discipline development. Especially the test from model, located in the Tanex Vladislav Wastewater Treatment Plants, approved the better efficiency of Kjeldahl Nitrogen removal. Engaging of a regeneration zone to the sewage plants, treating organic materials with a high content of Kjeldahl Nitrogen, can improve efficiency both Kjeldahl Nitrogen and COD.

9 POUŽITÁ LITERATURA

1. Theriault, E.J.: Public Health Bulletin, No. 173, U.S. Public Health Service 1927
2. Andersson, B.: Increasing capacity of an extended nutrient removal plant by using different technologies, *Water, Science and Technology*, Vol. 37, No. 9, pp. 175-183, ISBN 00-80433-85-5
3. Ardern E., Lockett, W.T.: Soc. Chem. Industry 33 523 (1914)
4. Boonen, I., Bruynooghe, H., Carrette, R., Bixio, D., Ockier, P.: Renovation of the WWTP Bruges, *Water, Science and Technology*, Vol. 41 No. 9, pp. 185-192, ISBN 1-900222-45-0
5. Buisson, H., Côte, P., Praderie M., Paillard H.: The use of immersed membranes for upgrading wastewater treatment plants, *Water, Science and Technology*, Vol. 37, No. 9, pp. 89-95, ISBN 00-80433-85-5
6. Čech, J.S.(1997): Možnosti zvyšování účinnosti odstraňování fosforu na biologických ČOV, Sborník přednášek konference Nové metody a postupy při provozování ČOV, Moravská Třebová 1991, pp. 8–15
7. ČSN 75 6101 – Stokové sítě a kanalizační přípojky, rok vydání 1995
8. ČSN 75 6401 – Čistírny odpadních vod pro více než 600 ekvivalentních obyvatel, 1996
9. Hawkes, H.A.: The ecology of waste water treatment, Pergamon Press, London, 1963
10. Hlavínek, P., Novotný, D.: Intenzifikace čistíren odpadních vod, NOELL 2000, 1996, ISBN 80-03-00611-2
11. Chudoba, J., Dohányos, M., Wanner, J.: Biologické čištění odpadních vod, SNTL Praha 1991, ISBN 80-86020-01-0
12. IAWQ: Microbial community analysis, scientific and technical report no. 5, University Press, Cambridge, 1997, ISBN 1-900222-02-7, ISSN 1025-0913
13. Keller, J., Subramaniam, K., Gösswein, J. and Greenfield, P.F.(1997): Nutrient removal from industrial wastewater using single tank sequencing batch reactors, *Water, Science and Technology*, Vol. 35, No. 6, pp. 137 – 144, ISBN 00-80431-05-4
14. Malý, J., Malá, J.: Chemie a technologie vody, NOELL 2000 s.r.o., 1996, ISBN 80-86020-13-4
15. Novák, L., Wanner, J., Kos, M., Roškota, J.: Zvýšení nitrifikační kapacity aktivačního procesu prostřednictvím obohacení biocenózy aktivovaného kalu nitrifikačními bakteriemi, sborník 4. Mezinárodní konference Odpadní vody Mladá Boleslav 15.-17.5.2001, p.p. 53-58, ISBN 80-238-6917-5
16. Nař. vl. č. 82/99 Sb.
17. Pitter, P.: Hydrochemie, Vydavatelství VŠCHT Praha, 1999, ISBN 80-7080-340-1
18. Rosén, B., Morling, S.: A systematic approach to optimal upgrading of water and wastewater treatment plants, *Water, Science and Technology*, Vol. 37, No. 9, pp. 9-16
19. Rusník, I., Remeš, B.: Biologické odstraňování nutrientů v SBR systémech, sborník přednášek z mezinárodní konference AČE ČR, Teplice 1999, pp 137-144, ISBN 80-238-3977-2
20. Rusník, I.: Problémy v provozu ČOV Javorník a způsoby jejich řešení, sborník přednášek konference AČE SR Odpadové vody 2000, Tatranské zrubky, 26.-28.4.2001, p.p. 381-385
21. Rusník, I.: Návrh intenzifikace čistírny odpadních vod u podniku, zpracujícího odpad k kožedělného průmyslu, sborník přednášek 4. Mezinárodní konference Odpadní vody Mladá Boleslav 15.-17.5.2001, p.p. 53-58, ISBN 80-238-6917-5
22. Lellák, J., Kubíček, F.: Hydrobiologie, Karolinum Praha 1992, ISBN 80-7066-530-0
23. Schreff D., Wilderer A.P.: Nitrogen removal in multi-stage wastewater treatment plants by using a modified post-denitrification system, *Water, Science and Technology*, Vol. 37, No. 9, pp. 151-158

24. Sládeček V, Sládečková A.: Atlas vodních organismů, díl 2 – konzumenti ČSVTS, SOVAK, MZe ČR, Agrospoj Praha 1997, ISBN 80-02-01101-5
25. Sládeček V., Sladká A., Ottová V.: Příručka k mikroskopickému hodnocení čistíren odpadních vod, Sborník ze semináře ČSVTS a MŽP ČR, Praha 1992
26. Wanner J., Růžičková I., Krhůtková O., Beneš O.: Biologická kontrola čištění odpadních vod, technické doporučení, AČE ČR – Vodní hospodářství, 2000, ISSN 1211-0760
27. Wanner, J.: History of Prague sewer system and wastewater treatment, sborník přednášek z Letní akademie o odpadních vodách, VŠCHT Praha, 08/1999
28. Wanner, J.(1995). Technologie odstraňování nutrientů z odpadních vod, Sborník přednášek z mezinárodní konference "Odpadní vody", 1995, Brno, pp. 5-13
29. Prax, P., Rusník, I. Hlavínek P.: Vliv dopravy odpadních vod na jejich kvalitu a množství, Vodní hospodářství 5/2002, ISSN 1211-0760
30. Walter, K.: Diplomová práce, VUT v Brně, Fakulta chemická, Ústav technologie a ochrany životního prostředí, červen 2000
31. Sliemers, A. Olav a kol.: Completely autotrophic nitrogen removal over nitrite in one single reactor, Water Research, Vol. 36, No. 10, pp. 2475-2482, ISSN 0043-1354
32. Vančo, D.: Nitrifikácia a denitrifikácia v procese čistenia odpadových vôd, zborník práce a štúdie, VÚV Bratislava, 1981, p.p. 119-183
33. Pollice, A., Tandoi, V., Lestingi, C.: Influence of aeration and sludge retention time on ammonium oxidation to nitrite and nitrate, Water Research, Vol. 36, No. 10, pp. 2541-2546, ISSN 0043-1354

10 SEZNAM PUBLIKACÍ

1. Rusník, I.: Zmírnění požadavků na hospodaření a činnosti v pásmech ochrany vodních zdrojů s ohledem na možnosti úpraven a čistíren odpadních vod, Sborník přednášek z konference ČSVTS Brno, 1996
2. Rusník, I.: Crystalactor- rozšíření obzoru v čištění odpadních vod – Ekožurnál, 1997, č. 6, pp 21-22, ISSN 1210-0781
3. Rusník, I.: Netradiční způsoby čištění odpadních vod, sborník přednášek konference Moravské společnosti průmyslových vodohospodářů, Tři studně 06/1997
4. Rusník, I.: Čištění odpadních vod v biologických stabilizačních nádržích, sborník přednášek, konference AE, Moravská Třebová, 04/1998", str. 42-45
5. Rusník, I., Sabol, J.: Operational problems in water treatment using a chlorine breakpoint technology, poster no. P-E007 – 19. biennial conference IAWQ, Vancouver 1998
6. Rusník, I.: Provozní zkušenosti z úpravny vody Sokolnice, Sovak č. 5/98, str.92-97 ISSN1210-3039
7. Rusník, I.: Anaerobní předčištění odpadních vod z provozu porážky zvířat, poster – konference ČSVTS Třeboň 1998
8. Rusník: Problémy v provozu ČOV Bílá voda – Sborník přednášek Nové metody, Moravská Třebová, 04/1999, str. 81 – 86
9. Rusník, I., Remeš, B.: Biologické odstraňování nutrientů v SBR systémech, sborník přednášek z mezinárodní konference AČE ČR, Teplice 1999, pp 137-144, ISBN 80-238-3977-2
10. Rusník, I.: Vypouštění odpadních vod do vod povrchových z hlediska možností čistíren odpadních vod a stávající legislativy, Vodní hospodářství 12/99, pp 248-249, 6319 ISSN 1211-0760
11. Hlavínek, P., Rusník, I.: New ways of wastewater treatment in the Czech Republic, Proceedings of the Conference ATV – Infotage Köln am Rhine, 16.-18.11.1999, pp 52-62

12. Rusník, I.: Normy a předpisy pro čištění odpadních vod v ČR a jejich harmonizace s normami EU, Sborník přednášek ze semináře VUT v Brně, „Intenzifikace biologického stupně ČOV“, Brno 22.3.2000, pp 30-41, ISBN-86020-26-6
13. Rusník, I.: Problémy v provozu ČOV Javorník a způsoby jejich řešení, Sborník přednášek z konference AČE SR, Tatranské Zruby 26. – 28.5.2000
14. Rusník, I., Wanner, J.: Biological nutrient removal in small waste water treatment plants, Proceedings of Second International Symposium of SBR Technology IAW, Narbonne, 10-13.7.2000, p.p. 201 – 208, Volume 2
15. Hlavínek P., Rusník I.: Wastewater treatment in the Czech Republic, Proceedings of oral presentations in Internatinal Symposium - Summer Academy Praha, 28.- 30.8.2000
16. Rusník I.: Čištění odpadních vod, sborník přednášek v rámci základního kurzu v problematice ochrany životního prostředí pro pracovníky státní správy a samosprávy, VUT Brno
17. Rusník, I.: Návrh intenzifikace čistírny odpadních vod u podniku, zpracujícího odpad z kožedělného průmyslu, sborník posterových sdělení z konference AČE ČR Mladá Boleslav 15. – 17-5.2001, ISBN 80-238-6917-5
18. Rusník, I.: The Nitrogen elimination from wastewaters of tanning industry, Proceedings of the Biennal Conference IAW, Berlin, 17-19.10, 2001
19. Hlavínek P., Prax, P., Rusník, I.: Vliv způsobu dopravy odpadních vod na jejich kvalitu, množství a dopad na ČOV, přednáška na konferenci VUT v Brně a AČE ČR Břeclav, 4.-5.10 2001, str. 27-35, ISBN80-86020-33-9
20. Rusník, I.: Wastewater treatment in biological stabilization ponds – great solution for a small municipalities - sborník posterových sdělení z Workshop „Technologies and Processes for Sustainable Development and Pollution Reduction/Prevention“, ÚCHTOŽP, FCH VUT v Brně, 14-16.1.2002
21. Prax, P., Rusník, I. Hlavínek P.: Vliv dopravy odpadních vod na jejich kvalitu a množství, Vodní hospodářství 5/2002, ISSN 1211-0760
22. Jan Mičín, Petr Hlavínek, Igor Rusník: Integrated System of Drainage and Reliability of his Elements, Proceedings of the Biennal Conference IAW Melbourne, 7.-11.4.2002
23. Rusník I., Prax P., Mičín J., Chemické procesy ve stokové síti a jejich vazba na čistírnu odpadních vod, sborník přednášek z mezinárodní konference AČE Odpadní vody 2003, Olomouc 13.-15.5.2003, ISBN 80-239-0573-2

RNDr. Igor Rusník

Brno, 26.11.2003

ABSTRACT

An activated process is most extended way of a wastewater treatment, especially from municipal sources. The wastewater treatment plants, based on activated process, could seem more and more difficult. But, the simple laundry substances only was used and very chemically loaded wastewaters from various factories haven't been discharged early of last century. The great variability of "home chemistry" and excessive loading of the environment by pollutants led to eutrofisation of surface water bodies, after Second World War. The environment has been damaged due to great expansion of industrial wastewater. Only few of 27 kinds of fishes have remained in river Elbe during 60's and 70's. Another important load of Czech rivers comes from rather extensive agriculture. So-called self-cleaning capability was dramatically limited by all of the factors that have interacted synergistically. Due to the all of the above-mentioned facts, the former Czechoslovakia was one of most polluted countries in the Central European region.

As there are no significant water streams flowing into the Czech Republic, all pollution in rivers leaving the Czech borders originates from "domestic" sources and contributes to the pollution of the rivers in neighbouring countries and finally in the receiving seas. Thus the water quality management in the Czech Republic automatically gains an international dimension (Wanner, 1991; Wanner and Kos, 1991). That is also the reason why is the Czech Republic involved in most major European projects on water pollution control.

The development of water pollution control in the post-war period was affected by limited access to hi-tech products (reliable pumps, aerators, equipment for automation) and to certain kinds of know-how. In spite of these difficulties the level of wastewater treatment approached western standards as was concluded also by independent studies (Somlyódy, 1993). In respect of research and development of biological wastewater treatment, the contribution of researchers from former Czechoslovakia was always internationally recognized.

Technical development in wastewater treatment went hand in hand with the evolution of effluent discharge legislation. The main problem, which we experienced in the past, and which still, has not been overcome completely, is how to find financial resources needed for meeting the effluent quality required by the legislation. There is only limited space in the Czech Republic for low-tech, low-cost solutions, which are often recommended to countries in central, or Eastern Europe by international experts. On the contrary, hi-tech nutrient removal systems will have to become a standard technology in this region if we want to meet the goals of the Danube and Elbe River Treaty and of the programmes for the remedy of continental seas. From those points of view we have to find the optimal ways to eliminate both organic carbon and macronutrients from the wastewaters. The process cannot be very difficult, but serviceable, comfortable and economical. One of the way, how to reach of all aims, is the intensification of contemporary wastewater treatment plants, which are not able to meet more and more stringent requirements of the legislation.