

MATHEMATICAL MODELLING OF NITRIFICATION CAPACITY OF THE WASTE WATER TREATMENT PLANT

MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ NITRIFIKAČNÍ KAPACITY ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD

Machala M.¹⁾, Vítěz T.²⁾

¹⁾ AQUA PROCON, s.r.o. Palackého tř.12, 612 00 Brno, ČR

²⁾ Ústav zemědělské potravinářské a environmentální techniky, Agronomická fakulta, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika.

E-mail: martin.machala@aquaprocon.cz, vitez@mendelu.cz

ABSTRACT

This contribution pertains to the technological solution of the biological unit in the existing Dolný Kubín Waste Water Treatment Plant. Its principal objective is to determine whether this plant is capable of degradation of nitrogen pursuant to the requirements specified in the Council Directive no. 91/271/EEC concerning urban waste water treatment or whether a technological intervention in the concept of the existing WWTP proves to be essential.

Key words: waste water treatment plant, nitrification,

ABSTRAKT

Tento příspěvek se zabývá řešením technologie biologické linky stávající ČOV Dolný Kubín. Jeho cílem je určit, zda je tato čistírna schopna celoročního odbourávání dusíku dle požadavků Směrnice Rady 91/271/EEC o čištění městských odpadních vod, nebo je-li nutný technologický zásah do koncepce stávající ČOV.

Klíčová slova: čištění odpadních vod, nitrifikace,

ÚVOD

Čistírna odpadních vod (dále jen ČOV) pro město Dolný Kubín byla uvedena do zkušebního provozu v roce 1988 a do trvalého provozu v roce 1991. Kapacita ČOV je 23 000 EO. V roce 2003 byla zrealizována intenzifikace ČOV, která spočívala v modernizaci mechanického předčištění a především ve vybudování nové biologické linky systému RDN. Realizace nové biologické linky se projevila výrazným zlepšením odtokových parametrů ČOV. Projekt intenzifikace byl však vypracován v době platnosti Nařízení vlády SR 242/1993 Z.z., která není v souladu se současnými požadavky směrnice Rady 91/271/EEC o čištění městských odpadních vod a nařízením vlády SR 491/2003 Z.z. kterým sa usatnovujú

kvalitatívne ciele povrchových vod a limitné hodnoty ukazateľov znečistenia odpadových vod a osobitých vod. Hlavní problém nespočíval v odstraňovaní uhlíkatého znečistení, ale v možnostiach ČOV odbourávat nutrienty, konkrétne dusík.

242/1993 Z.z.	Vodoprávní povolení	491/2003 Z.z.	91/271/EEC
není stanoven	38 mg/l	15 mg/l	15 mg/l

Tab.1: Porovnání emisních limitů na odtoku z ČOV kategorie 10 000 – 100 000 EO v kategorii celkový dusík.

ČOV je tvořena následujícími objekty: lapák štěrku, vstupní čerpací stanice, jemné česle strojně stírané, provzdušňovaný lapák písku, usazovací nádrž, aktivace (jemnobublinná aerace), dmychárna, dosazovací nádrže (1 ks, podélné), měrný objekt, vyhnívací nádrž a mokřý plynajem, uskladňovací nádrž kalu, kogenerační jednotka (nefunkční), sítopasový lis na kal.



Obr.1: Situace širších vztahů

V současné době je zpracovávána projektová dokumentace projektu „Zásobovanie vodou, odkanalizovanie a čistenie odpadových vôd v regióne Orava“ (ďalej len Projekt Orava).

Zájmové území Projektu Orava se rozkládá v na území tří okresů Žilinského kraje: Námestovo, Dolný Kubín a Tvrdošín. Strategické enviromentální cíle Projektu Orava v rámci působnosti Severoslovenské vodárenské společnosti, a.s. Žilina Kubín je zajištění jakosti a množství odváděných odpadních vod od znečišťovatelů a čištěných na čistírnách odpadních vod tak, aby v cílovém roce podle harmonogramu Projektu byly splněné hodnoty podle příslušných předpisů Slovenské republiky a Směrnice Rady č. 91/271/EEC o nakládání s městskými odpadními vodami. Součástí tohoto Projektu je i rekonstrukce kanalizace v Dolnom Kubíně a řešení problémů ČOV.

Protože ČOV nebyla projektována pro požadavek průměrné koncentrace celkového dusíku na odtoku 15 mg/l vznikla pochybnost, zda je tato schopna tomuto požadavku vyhovět. Předběžné výpočty naznačovaly, že splnění limitů nelze garantovat především v zimních podmínkách. Protože však již bylo investováno 60 mil Sk a další technický zásah by si vyžádal další investici ve výši 80 mil Sk. bylo nutné prokázat funkci ČOV pokročilejším způsobem než jsou jednoduché hydrotechnické výpočty. Z tohoto důvodu byl vypracován matematický model nitrifikační a denitrifikační kapacity ČOV. Jeho výsledek měl rozhodnout o dalším technickém řešení ČOV. Vlastní model byl zpracován společností AQUA PROCON, s.r.o. Brno ve spolupráci s firmou HYDROPROJEKT,a.s. pomocí simulačního softwaru od firmy HDI.

VSTUPNÍ ÚDAJE

Bytová zástavba aglomerace města Dolný Kubín, včetně průmyslové zóny je odkanalizovaná jednotnou stokovou sítí.

ČOV	Počet obyvatel	Napojeno na ČOV	Skutečný přítok na ČOV (m ³ /rok)	Skutečná koncentrace BSK ₅ (mg/l)	Zatížení BSK ₅ (t/rok)	EO
D. Kubín	19,796	19,505	747,529	502	376	17,147

Tab.2a: Stávající zatěžovací parametry ČOV Dolný Kubín

ČOV Dolný Kubín	Rok 2003		
	m ³ /d	l/s	
Q ₂₄	3,643	42	
EO	21,187		
	kg/d	mg/l	
BSK ₅	1,271	349	
CHSK _{Cr}	2,542	698	
NL	1,165	320	
N _{tot}	233	64	
P _{tot}	53	15	
Odpadní vody	Jedn.	Množství	Procenta
Domácnosti	m ³ /d	2,048	37

Průmysl	m ³ /d	0	0
Komerční subjekty a instituce	m ³ /d	1,006	18
Svoz odpadních vod	m ³ /d	10	0
Dešťové vody	m ³ /d	1,943	35
Balastní vody	m ³ /d	579	10
Celkový přítok na ČOV	m³/d	5,586	100

Tab.2b: Stávající zatěžovací parametry ČOV Dolný Kubín

METODIKA

Matematická simulace aktivačního procesu slouží k ověření kapacity navrhovaného systému a případnému dořešení objemového návrhu nádrží spolu s dalšími technologickými prvky systému (velikost recirkulací, výpočet oxygennační kapacity apod.) Matematická simulace aktivačního systému umožňuje výpočty systému při reálném dynamickém chování.

S ohledem na zadání a z hlediska správnosti postupu při výpočtech kapacity definovaného systému bylo postupováno specifickým způsobem. Kritickými ukazateli odtoku jsou amoniakální dusík (N-NH_4) a následně celkový dusík (N_{tot}). V první řadě musí mít systém dostatečnou nitrifikační kapacitu a splnit odtokový parametr N-NH_4 . Aby bylo tohoto požadavku dosaženo, musí být správně nadimenzovány aerobní reaktory v hlavním proudu. Pokud je dosažen potřebný stupeň nitrifikace, lze výpočtově přistoupit k optimalizaci denitrifikace za účelem splnění N_{tot} . Nitrifikační kapacita systému je při výpočtech ovlivněna především velikostí použité maximální specifické růstové rychlosti nitrifikačních bakterií $m_{A,\text{max}}$. Vzhledem k tomu, že nebyla k dispozici potřebná data pro kalibraci nitrifikace (aktivační systém ČOV se v roce 2004 nacházel pouze ve zkušebním provozu), byla k výpočtům použita pro ustálený stav konzervativní hodnota $m_{A,\text{max}} = 0,6 \text{ d}^{-1}$, která odpovídá empirickému vztahu pro stanovení potřebného stáří kalu pro nitrifikaci uvedeného v ČSN 75 6401. V této hodnotě je zahrnut bezpečnostní koeficient s ohledem na skutečnost, že výpočet stacionárního stavu není ekvivalentní výpočtu reálného stavu dynamického. Dalšími důležitými technologickými omezeními jsou minimální výpočtová teplota a koncentrace biomasy na vstupu do separačního stupně. Pro všechny výpočty bylo kalkulováno s minimální návrhovou teplotou 8°C . Odtah přebytečného kalu je realizován v takovém množství, aby bylo dosaženo projektované koncentrace biomasy na vstupu do dosazovacích nádrží $3,9 \text{ kg.m}^{-3}$. Minimální návrhová teplota je volena s ohledem na specifikum lokality. Byly řešeny dvě situace. Varianta 1 – stávající biologická linka bez technologického zásahu a varianta 2, která předpokládá technologický zásah do stávající biologické linky.

VARIANTA 1 – simulace stávajícího stavu

Stávající biologická linka ČOV je tvořena monoblokovou nádrží technologicky rozdělenou do několika sekcí. V podstatě se jedná o modifikaci systému s předřazenou denitrifikací a podélnou dosazovací nádrží.

UN	ANOX2	ANOX3	ANOX4	OX1	OX2	OX3
	ANOX1	Dosazovací nádrž				OX4
armaturní komora a jímka						

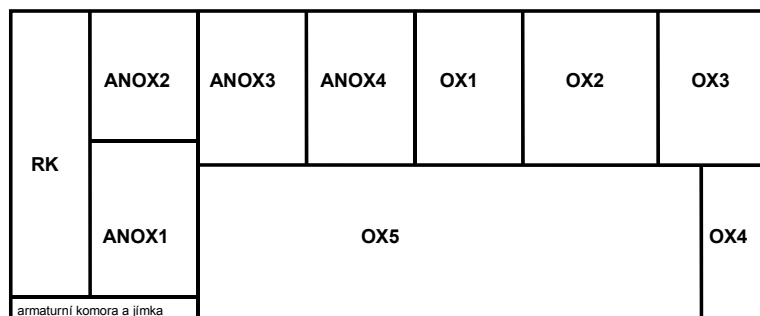
Obr.2: Schéma stávající biologické linky ČOV Dolný Kubín – Varianta 1

Návrhové parametry stávající biologické linky (ČOV DESIGN,s.r.o. Bratislava, 12/2001):

Minimální teplota	10°C
Koncentrace kalu	3,2 kg/m ³
Stáří kalu	13,2 d
Látkové zatížení kalu	0,11 kg/(kg.d)
Anoxický objem	998,5 m ³
Oxický objem	1 523,5 m ³
Celkový objem	2 522 m ³
Účinná plocha dosazovací nádrže	516 m ²
Objem dosazovací nádrže	1728 m ³

Výpočet ČOV byl proveden pro hydraulické zatížení 4 666 m³/d a ustálený stav. Při výpočtu byla uvažována vnitřní recirkulace kalu 100 % Q₂₄. Součástí simulace bylo i zahrnutí vlivu zatížení systému kalovou vodou ze strojního odvodnění kalu. Množství kalové vody je 32 m³/d, koncentrace celkového dusíku v kalové vodě představuje 1 000 mg/l z toho 90% tvoří dusík amoniakální. Z hlediska celkového látkového zatížení ČOV dusíkem představuje kalová voda 17 % !!! Řešení spočívalo v simulování systému při různých stáří kalu a minimální teplotě za účelem získání příslušného stupně nitrifikace a dosažení potřebné koncentrace kalu v aktivaci.

VARIANTA 2: V druhé variantě byla simulována funkce biologické linky v případě přestavby stávající dosazovací nádrže na další oxickou linku a zařazení regenerace kalu – vytvoří se systém RDN. Dosazovací nádrž bude vybudována nová mimo stávající monoblok. Výpočet je stejně jako u předchozí varianty proveden pro minimální teplotu 8°C a pro různé stáří kalu.

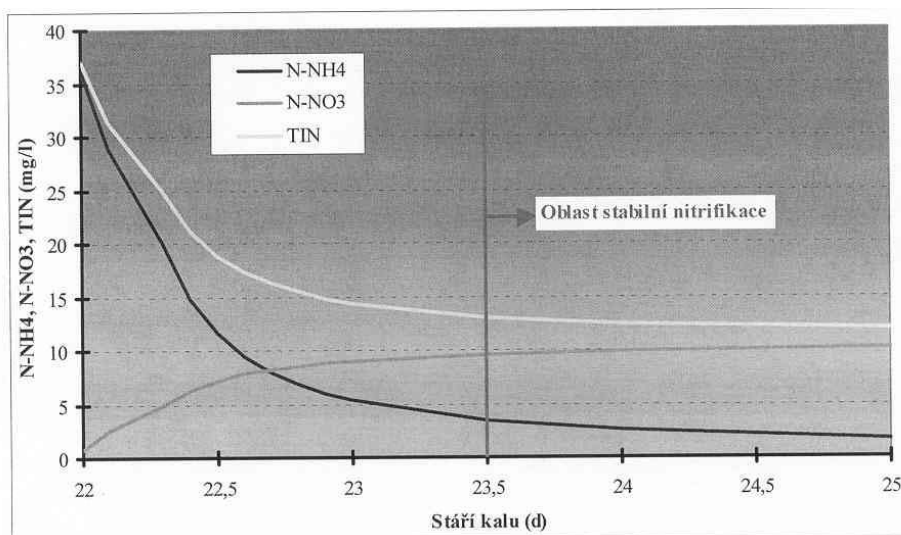


Obr. 3: Schéma modifikace stávající biologické linky ČOV Dolný Kubín dle Varianty 2

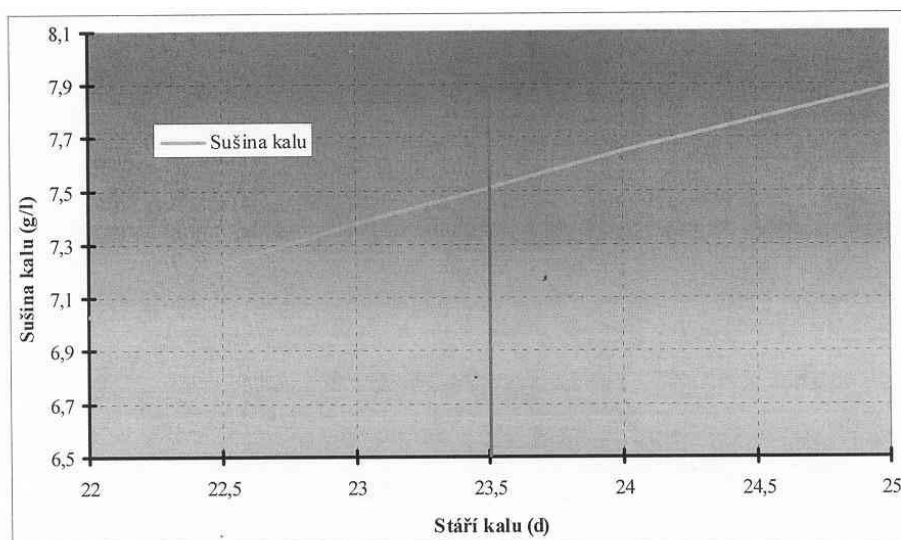
VÝSLEDKY A DISKUSE

VARIANTA 1: Výsledky simulace jsou graficky zpracovány v následujících grafech. Graf 1 znázorňuje závislost koncentrací dusíkatých forem znečištění v odtoku ze systému na stáří kalu. Z grafů je zřejmé, že systém vykazuje stabilitu nitrifikace při stáří kalu 23,5 dne. Při této hodnotě je však aktivačním systémem dosaženo koncentrace sušiny téměř 7,5 kg/m³. Koncentrace amoniakálního dusíku se pohybuje okolo 3,5 mg/l, celkový dusík je v pod hranici 15 mg/l požadovanou příslušnou legislativou. Projektové hodnoty koncentrace kalu 3,9 kg/m³ je dosaženo při stáří kalu 11 dní. Při této hodnotě však systém není schopen nitrifikace a odtokové hodnoty celkového dusíku se pohybují na nepříjemných 38 mg/l.

Zásadním problémem je však skutečnost, že při koncentraci kalu 7,5 kg/m³ není možné jeho separování v dosazovací nádrži ČOV. Kal bude volně odtékat do odtoku a tím dojde v podstatě k zhroucení procesu čištění na ČOV.

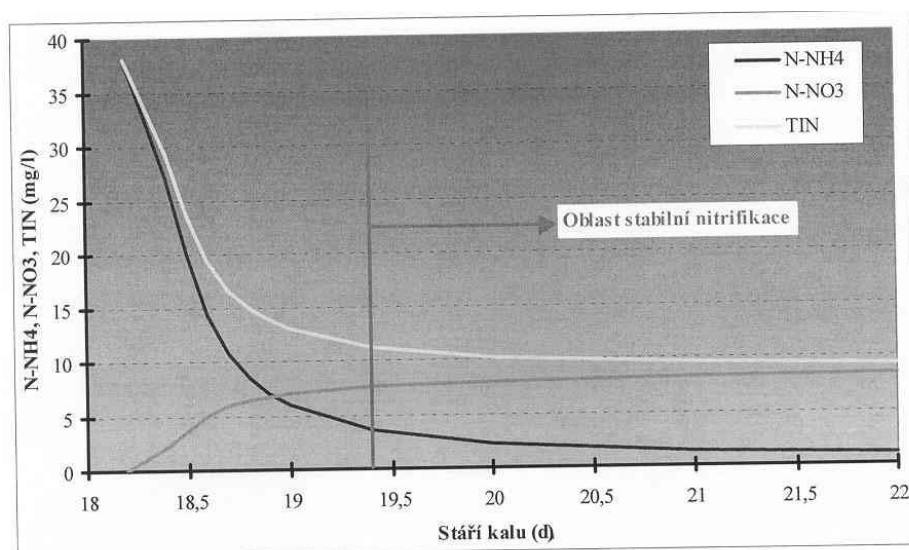


Graf 1: Závislost nitrifikační kapacity na stáří kalu – Varianta 1

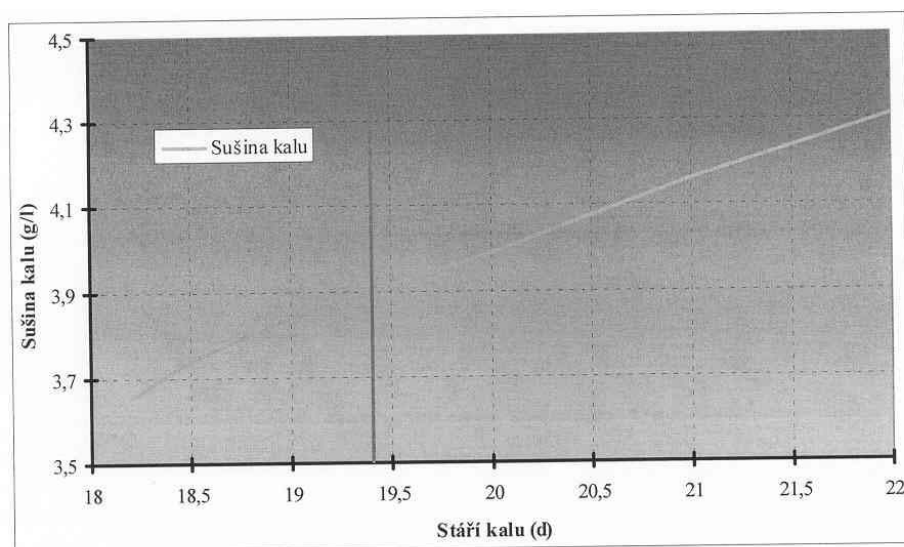


Graf 2: Závislost koncentrace kalu v reaktoru na stáří kalu – Varianta 1

VARIANTA 2: Graf 3 podobně jako ve variantě 1 znázorňuje závislost koncentrací dusíkatých forem znečištění v odtoku ze systému na stáří kalu.



Graf 3: Závislost nitrifikační kapacity na stáří kalu – Varianta 2



Graf 4: Závislost koncentrace kalu v reaktoru na stáří kalu – Varianta 2

Z grafů je zřejmé, že systém vykazuje při minimální teplotě 8°C stabilitu procesu nitrifikace při stáří kalu 19,4 dne. Při této hodnotě stáří kalu je v aktivačním systému dosaženo projektové koncentrace kalu 3,9 kg/m³. přičemž odtokové koncentrace celkového dusíku se pohybují pod 15 mg/l. Tento výsledek je možné považovat za uspokojivý.

ZÁVĚR

Na základě prezentovaných výsledků je možné konstatovat, že stávající biologická linka ČOV není schopna celoročně zabezpečit požadované odtokové parametry v kategorii celkový dusík. Je nutná modifikace biologické linky ČOV. Jedním z možných řešení je využití stávajících objemů dosazovací nádrže pro nitrifikační sekci aktivační linky a vybudování nové kruhové dosazovací nádrže. V praxi bylo po konzultaci projektanta a investora dohodnuto, že bude vybudována nová (druhá) biologická linka ČOV identická s linkou stávající, tím se zvýší objemy nádrží na 5 044 m³ a hodnota stáří kalu vzroste na 30 dní, čímž bude zabezpečena trvalá účinnost biologických procesů v aktivační lince ČOV. Výsledky matematického modelu ČOV byly následně potvrzeny výsledky zkušebního provozu ČOV:

ČOV Dolný Kubín – výsledky zkušebního provozu		
Datum odběru vzorku	kategorie	odtok – mg/l
16.2.2004	N _{tot}	23,28
24.2.2004	N _{tot}	34,48
2.3.2004	N _{tot}	25,7
9.3.2004	N _{tot}	20,4
15.3.2004	N _{tot}	9,54
23.3.2004	N _{tot}	8,3
29.3.2004	N _{tot}	9,1
5.4.2004	N _{tot}	16,72
13.4.2004	N _{tot}	14,03

Tab. 3: Výsledky zkušebního provozu ČOV Dolný Kubín

Zdroj: Severoslovenská vodárenská spoločnosť, a.s. Žilina, závod 02 Dolný Kubín

I když výsledky měření nejsou zcela průkazné, protože se jedná o zkušební provoz a na ČOV byly napojeny pouze asi 2/3 předpokládaného množství odpadních vod, ukazuje se že ČOV není schopna zajistit celoroční koncentraci celkového dusíku na odtoku pod hranicí 15 mg/l. Technologický zásah do ČOV je nutný.

Tento příspěvek vznikl v rámci řešení výzkumného záměru MSM 4321 00001.

Příspěvek vznik v rámci řešení „Projektu Orava“ s přispěním následujících firem:

SEVEROSLOVENSKÁ VODÁRENSKÁ SPOLOČNOSŤ, a.s.

AQUA PROCON,s.r.o.

HYDROPROJEKT,a.s.

MZLU v Brně

SEZNAM LITERATURY

Chudoba J., Dohányos M., Wanner J.: Biologické čištění odpadních vod, SNTL Praha 1991