

Řízení procesu čištění odpadních vod na základě měření koncentrace dusíku

Karel Hartig ^{*)}, Peter Krempa ^{)}**

^{*)}Hydroprojekt CZ a.s., Tábořská 31, 140 16 Praha, ČR, e-mail:

karel.hartigt@hydroprojekt.cz

^{**)} Hydroprojekt s.r.o., Robotnícká 6, 947 00 Banská Bystrica, Slovensko, e-mail:

hydroprojekt@hydroprojekt.sk

Úvod

Návrh technologie čištění odpadních vod na odtokové parametry „citlivých oblastí“ musí být v souladu s národní legislativou. V praxi se jedná o splnění NV č.61/2003 Sb. v České republice, resp. NV Slovenskej republiky č 491/2002 Z.z. ktorým sa ustanovujú kvalitatívne ciele povrchových vôd a limitné hodnoty ukazatel'ov znečistenia odpadových vôd a osobitných vôd. Legislativa ČR je v podstatě shodná s legislativou EU. V případě legislativy Slovenské republiky je situace poněkud složitější, protože zde zůstal zachován jak princip limitní hodnoty a to i pro parametry N_c a P_c , tak i možnost splnění požadovaného efektu čištění. Směrnice EU používá pro v parametrech celkový dusík a celkový fosfor celoroční průměrnou hodnotu, popř. minimální procento úbytku – 80 % pro celkový fosfor a 70-80 % pro celkový dusík, vše vztaženo k zatížení na vtok.

Přísné odtokové parametry v ukazatelích celkový dusík a celkový fosfor kladou vysoké nároky jak na návrh technologie čištění, tak i na řízení procesu čištění. V případě nutnosti plnění roční průměrné hodnoty nejsou požadavky na řízení procesu čištění tak přísné, jako při nutnosti nepřekročení limitních odtokových koncentrací. Dosažení průměrné roční koncentrace umožňuje určitou fluktuaci dosažených koncentrací dusíku a fosforu na odtoku z ČOV, zatímco nepřekročení limitní odtokové koncentrace vyžaduje přesné řízení čistírenského procesu. Pro přesné řízení procesu čištění musí mít technolog k dispozici jak prostředky k ovlivnění procesu biologického čištění, tj. sušiny aktivační směsi, velikosti interní recirkulace včetně recirkulace vratného kalu, množství dávkovaného externího substrátu apod., tak i informace o okamžitém stavu čištění odpadních vod a to ve vybraných profilech ČOV. Nezastupitelnou roli zde pak hraje on-line měřící technika. Pro případ odstraňování dusíku se jedná především o měření O_2 , teploty, redox potenciálu, $N-NH_4$, $N-NO_3$ a v neposlední řadě i o měření celkového dusíku. Obdobné požadavky platí i pro problematiku odstraňování fosforu. Tato přednáška se však problematikou fosforu nezabývá.

Návrh nitrifikační kapacity ČOV

Pro správný návrh technologie čištění musí být pevně stanoveny jak parametry odtoku, tak i přítoku. Návrhové parametry vstupního množství a znečištění odpadních vod jsou při projektování a návrhu rekonstrukcí čistíren odpadních vod velice důležitým parametrem, protože na jejich plnění, resp. nepřekročení jsou obvykle vázány garance projektanta i dodavatele ČOV na kvalitu odtoku.

V souvislosti se zavedením „citlivých oblastí“ nabývá na důležitosti průběh teploty splaškové vody v průběhu celého roku. V případě nutnosti plnění průměrné roční odtokové koncentrace (Směrnice 91/271 EEC a legislativa ČR) je celkový dusík a fosfor limitován jako celoroční průměrná hodnota do které se započítávají všechny hodnoty a to bez ohledu na teplotu čištěné vody. Tato skutečnost je důležitá především v případech s nižší průměrnou teplotou splaškových vod, což bývá v horských lokalitách a dále na ČOV, kde se čistí odpadní vody s vyšším podílem balastních vod. V Slovenské republice je v legislativě (NV č 491/2002 Z.z) zakotven princip limitní hodnoty s hraniční teplotou 12 °C. Z hlediska udržení nitrifikace není tento požadavek tak výrazný při poklesu teploty odpadní vody, tak jako při jejím postupném nárůstu nad tuto limitní teplotu. Zde je nezbytně nutné si uvědomit, že při vzrůstu teploty odpadní vody nad 12 °C. budou na nitrifikační kapacitu aktivovaného kalu kladeny vysoké nároky i v případech, že aktivovaný kal byl dlouhodobě kultivován při teplotě nižší. Při použití výpočtové teploty 12 °C a plném zatížení aktivace teoreticky nebude čistírna schopna po určitou dobu plnit garantované parametry odtoku. Tuto skutečnost lze eliminovat optimálním provozem technologické linky čištění, ale pouze v případech, kdy má technolog k dispozici dostatečné informace o průběhu čištění odpadních vod a technologická skladba čistírny mu umožňuje dostatečnou variabilitu provozu.

Nedílnou součástí vstupních hodnot pro návrh ČOV je i rozhodnutí o použití vhodné technologie stabilizace kalů, resp. návrh celého kalového hospodářství. Různé druhy stabilizace kalu jsou založeny na částečném rozkladu organického podílu kalu s uvolněním části vázaného dusíku a fosforu zpět do vody. Ve filtrátu / fugátu z odvodnění anaerobně stabilizovaného kalu se může vyskytovat až 25 % amoniakálního dusíku přiváděného ve splaškové vodě a tímto způsobem se zpětně zatěžuje biologický stupeň se všemi dopady, jako jsou nároky na velikost aerace (oxygenační kapacitu) apod. Tato skutečnost může být zohledněna například pomocí nestejněměrného dávkování fugátu z odvodňování anaerobně stabilizovaného kalu v průběhu dne.

Formy dusíku na odtoku z ČOV

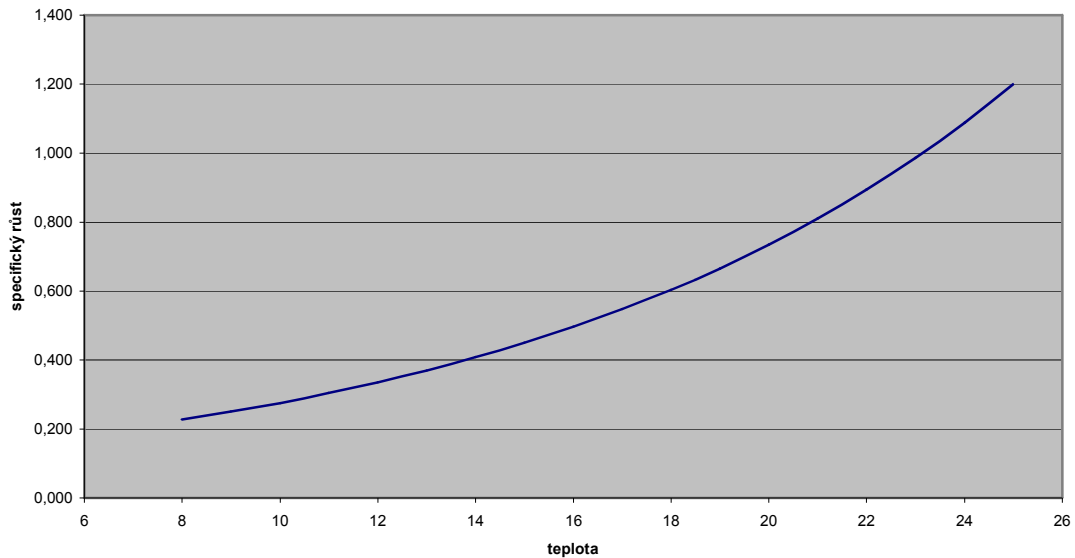
„Citlivé oblasti“ mají limitovány odtokové koncentrace celkového dusíku a celkového fosforu. Zajištění požadované zbytkové koncentrace celkového dusíku ve vyčištěné odpadní vodě lze dosáhnout pouze pomocí procesů nitrifikace a denitrifikace, zatímco u celkového fosforu lze dosáhnout snížení jeho koncentrace jak chemickým srážením, tak i procesem biologického odstraňování fosforu. Protože si procesy denitrifikace a biologického odstraňování fosforu vzájemně konkurují při spotřebě lehce rozložitelného substrátu, je v případě nedostatečné koncentrace lehce rozložitelných látek v odpadní vodě ekonomicky výhodné preferovat proces denitrifikace, protože požadovanou koncentraci fosforu získáme bez větších technologických zásahů pomocí chemického srážení. Dosažení průměrné roční koncentrace 10 mg/l celkového dusíku na odtoku není u splaškových vod s vyšší koncentrací znečištění lehce dosažitelné s běžně používanými systémy typu D - N, popř. R - D - N (AN - D - N). Zvyšování recirkulace nad 200 % již nepřináší dostatečný efekt na odstraňování dusíku, proto je vhodné používat jiný technologický proces. S používáním externího substrátu lze očekávat rozvoj v používání následné denitrifikace a kaskádových způsobů čištění odpadních vod. Při zavedení určitého podílu odpadní vody do následné denitrifikace se pak již obvykle jedná o modifikaci kaskádového systému čištění. U následné denitrifikace lze používat pro denitrifikaci jak aktivaci, tak i následné denitrifikační

filtry. V obou případech by dávkování externího substrátu mělo být vždy řízeno pomocí on-line analyzátorů dusíku.

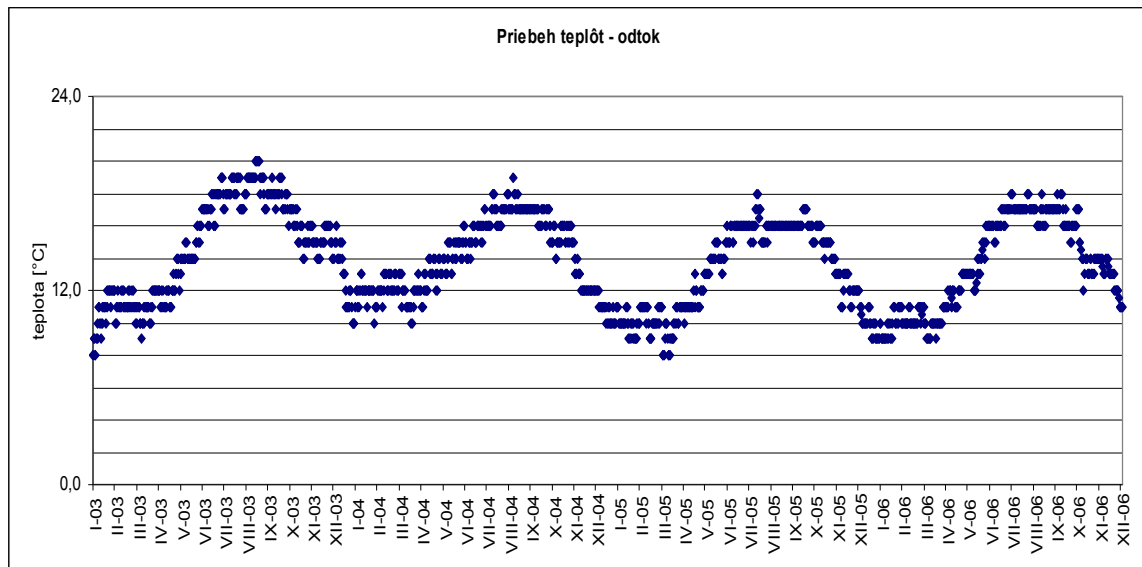
Legislativou je limitovanou hodnotou celkový dusík, který se však skládá z organického dusíku, amoniakálního dusíku, dusitanového a dusičnanového dusíku. Koncentrace dusitanového dusíku na odtoku musí být minimální a při spolehlivě fungujícím aktivačním procesu je u splaškových odpadních vod její dosažení bezproblémové. Je to především v důsledku rychlosti biologické oxidace, kdy proces oxidace dusitany \rightarrow dusičnany je rychlejší než proces oxidace amoniakálního dusíku \rightarrow dusitany. V praxi je pak celkový dusík na odtoku z ČOV složen především z amoniakálního, organického a dusičnanového dusíku. Statistickým vyhodnocením složení odtoku z 21 biologických čistíren byla zjištěna průměrná koncentrace organicky vázaného dusíku cca 2,5 mg/l. Jedná se samozřejmě o průměrnou hodnotu, která je ovlivněna případným obsahem průmyslových odpadních vod, koncentrací surové odpadní vody a v neposlední řadě i koncentrací nerozpuštěných látek v odtoku. Při obvyklém složení aktivovaného kalu se pohybuje obsah dusíku okolo 5 % z jeho sušiny, tj. při odtokové koncentraci 20 mg/l NL obsahuje odtok 1 mg/l organického dusíku v nerozpuštěných látkách. Proto je nezbytné zajistit spolehlivou funkci dosazovací nádrže s odtokovou koncentrací nerozpuštěných látek do 10 mg/l. Při spolehlivé funkci celé ČOV je koncentrace organického dusíku na odtoku ovlivněna především technologickou skladbou ČOV a složením surové odpadní vody. Při dodržení pravidel správného provozu ČOV kolísá koncentrace organického dusíku v rozmezí $\pm 0,5$ mg/l okolo průměrné koncentrace organického dusíku v dané lokalitě ČOV. Při limitní odtokové koncentraci 10 mg/l celkového dusíku zbývá po odečtení dusitanového a organicky vázaného dusíku okolo 7 mg/l pro amoniakální a dusičnanový dusík. Pro dosažení požadované odtokové koncentrace N_c je proto nezbytně nutné navrhovat prakticky úplnou nitrifikaci redukovaných forem dusíku tak, aby se odtoková koncentrace amoniakálního dusíku pohybovala okolo 1 mg/l. Tato koncentrace může být v praxi dosahována i mírně vyšší, ale možnost jejího malého zvýšení tvoří určitou rezervu pro případ krátkodobého snížení potřebné provozní nitrifikační rychlosti. Reálně dosažitelná koncentrace dusičnanového dusíku na odtoku se pohybuje okolo 4 mg/l $N-NO_3$. Nižší koncentrace se dosahuje špatně v důsledku existence zkratového hydraulického proudění a při poklesu koncentrace dusičnanového dusíku dochází obvykle i k poklesu denitrifikační rychlosti.

Z rozboru problematiky procesů nitrifikace a denitrifikace vyplývá nutnost návrhu a provozu ČOV za účelem dosažení vysokého stupně nitrifikace. Zde pak hraje významnou roli teplota odpadní vody, jak je vidět z grafu závislosti růstu nitrifikačních bakterií na teplotě.

Závislost specifického růstu nitrifikantů na teplotě



Následující graf pak ukazuje typický průběh teploty odpadní vody v průběhu roku. V závislosti na lokalitě ČOV a množství balastních vod pak dochází k posunu minim a maxim hodnot teploty splaškové vody, resp. odtoku z ČOV. Při vyšším podílu balastních vod bývá křivka teplot posunuta níže o 2 až 3 stupně celsia v porovnání s splaškovou vodou, která obsahuje malý podíl balastních vod.



Při návrhu aktivačního systému na odtokové parametry „citlivých oblastí“ je základním kritériem, zda se jedná o výstavbu nové ČOV (aktivace), resp. zda za provozu probíhá rekonstrukce stávajícího aktivačního systému. Při nové výstavbě nejsme v návrhu prakticky omezeni, při rekonstrukci musíme zohledňovat stávající nádrže a hydraulické propojení jednotlivých objektů, protože obvykle není reálná dlouhodobější odstávka ČOV. Zvláště důležité jsou tyto podmínky u velikostní kategorie ČOV nad 100 000 EO.

Požadavek na limitní odtokovou hodnotu $N_{celk.} = 10 \text{ mg/l}$ omezuje výběr technologie biologické části aktivačního procesu. Klasický kontinuální aktivační systém na bázi D-N, R-D-N je schopen dostát těmto požadavkům pokud účinnost denitrifikace Edenitr (%) = 80% a více. Hydraulika kontinuálních systémů dovolí cca 80% účinnost denitrifikace při sumě všech recirkulačních poměrů okolo 4 bez zahrnutí bezpečnostního koeficientu. V praxi to pak znamená při dodržení doby kontaktu alespoň 0,5 hodin v anoxické sekci a 2 hodiny v oxické sekci neúměrný vzrůst objemů nádrží.

Požadovaný stupeň denitrifikace mohou dosáhnout následující aktivační systémy:

- oběhová aktivace
- kaskádové systémy (ALPHA, DRDN)
- systémy s alternativní aerací
- systémy s alternativním hydraulickým nátokem (typ Bio-Denitro, Bio-Denipho)
- SBR systém
- systémy s terciární (post)denitrifikací.

Systémy s postdenitrifikací vykazují zvýšenou potřebu externího substrátu s ohledem na skutečnost, že veškerý substrát do postdenitrifikace je nutné uměle dodávat, např. ve formě metanolu.

Pro výběr vhodné technologie rekonstrukce jsou zvolena následující kritéria:

- proveditelnost tj. možnost přizpůsobení stávající technologické skladbě biologického stupně
- minimalizace investičních nákladů
- minimalizace provozních nákladů (dávka externího substrátu)
- minimální omezení stávajícího systému čištění po dobu rekonstrukce

Vyhodnocení zvolených kritérií se promítne do hodnocení rámcového hodnocení jednotlivých technologií:

- oběhové aktivace jsou velice účinné, objemově však vyžadují značný prostor, a v podmínkách rekonstrukcí ČOV bývá jejich realizace obtížná.
- systém R-D-N-D-N požaduje pro dosažení potřebné odtokové koncentrace celkového dusíku vyšší množství externího substrátu, vyžaduje větší zvětšení objemů nádrží a vyžaduje větší zásahy do stávajících nádrží = omezení provozu po dobu rekonstrukce
- systém ALPHA je vzhledem k zavedení odpadní vody do všech denitrifikačních zón náročnější na úpravy stávajících nádrží. Celkově se jedná o systém, který je výhodnější pro výstavbu nové aktivace a nikoliv rekonstrukce stávajících aktivačních systémů a to bez podstatného omezení jejich provozu.

Systémy s postdenitrifikací mají hlavní nevýhodu ve skutečnosti, že obvykle vyžadují dávkování externího substrátu. Externí substrát by měla být látka vykazující stálé vlastnosti, které umožní její bilanční dávkování jako CHSK na základě objemového množství. Současně se musí jednat o dobře biologicky odbouratelnou sloučeninu. V praxi se obvykle používá jedovatý metanol, popř. dražší etanol. Dávkování externího substrátu se negativně projeví ve výši provozních nákladů. Proto

se vždy klade důraz na minimalizaci dávky externího substrátu. Optimalizace dávkování externího substrátu pak vyžaduje instalaci on-line analyzátorů v různých technologických profilech ČOV. Pro řízení odstraňování dusíku v systému R-D-N je optimální skladba analyzátorů následující:

regenerace	Teplota, rozpuštěný O ₂ , redox potenciál
Denitrifikace I.	Teplota, redox potenciál, N-NO ₃
nitrifikace	Teplota, rozpuštěný O ₂ , N-NO ₃ , N-NH ₄
Odtok	Nc, N-NH ₄ , N-NO ₃

Obdobné schéma platí i pro složitější systém R-D-N-D-N. Měření na odtoku monitoruje nejen odtok z ČOV, ale ve vztahu s měřenými veličinami v ostatních profilech stanovuje i vliv dosazovací nádrže. Na základě naměřených veličin se řídí velikost interní recirkulace, dávka externího substrátu a v případě poklesu teploty pod 12 °C i objem nitrifikačních a denitrifikačních nádrží v případě, že technologické vybavení nádrží umožňuje jejich oxický i anoxický provoz.

ZÁVĚR

Řízení provozu čistírny odpadních vod pomocí on-line analyzátorů je z technického hlediska podmíněno jejich naprosto spolehlivou funkcí. Protože se většinou jedná o investičně náročnější zařízení lze jejich uplatnění předpokládat především u čistíren o kapacitě nad 100 000 ekvivalentních obyvatel. V případě dávkování externího substrátu lze pomocí on-line analyzátorů minimalizovat jeho dávku. Je to typický případ, kdy pomocí vyšších investičních nákladů se snižují náklady provozní.