

# PATENTOVÝ SPIS

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2009-292**  
(22) Přihlášeno: **11.05.2009**  
(40) Zveřejněno: **04.08.2010**  
(Věstník č. 31/2010)  
(47) Uděleno: **25.06.2010**  
(24) Oznámení o udělení ve Věstníku: **04.08.2010**  
(Věstník č. 31/2010)

(11) Číslo dokumentu:

**301 935**

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:  
**C02F 3/02** (2006.01)  
**C02F 3/12** (2006.01)

(56) Relevantní dokumenty:

JP 11253990 A; JP 62279890 A; JP 5031488 A; JP 60064698 A; JP 7116684 A; JP 7136683 A; JP 2002136990 A.

(73) Majitel patentu:

HACH LANGE GmbH, 40549 Düsseldorf, DE  
Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 6,  
CZ

(72) Původce:

Srb Martin Ing. Bc., Plzeň, CZ  
Wanner Jiří prof. Ing. DrSc., Praha 5, CZ  
Kollár Miroslav Ing. Ph.D., Dunajská Streda 92901, SK

(74) Zástupce:

Ing. Květoslava Kubíčková, Doubravčická 2201, Praha  
10, 10000

(54) Název vynálezu:

**Způsob automatického řízení přerušované  
aerace v aktivačním procesu čistění odpadních  
vod**

(57) Anotace:

Způsob automatického řízení spočívá v tom, že se doba trvání jednotlivé fáze oxidace a redukce určuje na základě experimentálních zjištění doby efektivní rychlosti oxidace a redukce pro určitý aktivační proces, z nichž se stanoví pracovní oblast, v níž se během řízení aktivačního procesu reálné hodnoty koncentrace oxidované a/nebo redukované formy dusíku udržují a podle nich se řídí automatické přesměrování procesu na fázi oxidace nebo redukce podle grafu, kde osa x je koncentrace redukovaných forem dusíku a osa y je koncentrace oxidovaných forem dusíku, a v němž je tato pracovní oblast ohraničena funkcemi  $f_0$  a  $f_1$ , které vyjadřují závislosti koncentrace oxidované formy dusíku ( $N_{ox}$ ) na koncentraci redukované formy dusíku ( $N_{red}$ ), přičemž  $f_0$  vymezuje hranici efektivního procesu nitrifikace, respektive oxidace a  $f_1$  vymezuje hranici efektivního procesu denitrifikace, respektive redukce, a dále je doba trvání jednotlivé fáze oxidace a redukce omezena pojistnou maximální a minimální dobou oxidace  $T_{oMAX}$  a  $T_{oMIN}$  a maximální a minimální dobou redukce  $T_{rMAX}$  a  $T_{rMIN}$ .

CZ 301935 B6

## Způsob automatického řízení přerušované aerace v aktivačním procesu čistíren odpadních vod

### 5 Oblast techniky

Vynález se týká automatického řízení přerušované aerace v aktivačním procesu čistíren odpadních vod.

10

### Současný stav techniky

Přerušovaná aerace je obvykle využívána na menších a středních biologických čistírnách odpadních vod (dále jen ČOV) s odstraňováním dusíku. Doby, po kterou bude aktivační nádrž na biologické ČOV provzdušňována a kdy bude provzdušňování vypnuto jsou obvykle pevně nastavené časy, trvání časů je určeno zkušeností technologa a je přizpůsobeno především typu odstraňovaného organického substrátu. Takovéto nastavení neumožňuje pružně adaptovat časy trvání jednotlivých fází podle kolísání denního zatížení ČOV, zvláště při proměnlivém zatížení amoniakálním dusíkem. Tuto nevýhodu odstraňují systémy s adaptabilním časováním fází.

20

Tyto systémy jsou založeny na měření parametrů v reálném čase. Možností je systém založit na sledování vedlejších veličin aktivačního systému jako je koncentrace rozpuštěného kyslíku, pH a oxidačně redukční potenciál (JP1001557, JP11253990). Dále je možno vycházet ze systému, který je určen především pro řízení fázování a směřování toků procesu BIODENITRO. Systém je založen na vymezení pracovní oblasti kritériálními funkcemi koncentrací forem dusíku a byl testován na matematickém modelu procesu (Isaacs, S. & D. Thornberg (1998) Rule based control of a periodic activated sludge process. *Water Science and Technology*. 38(3), 281–289.). Svázání řízení se systémem BIODENITRO systém zásadně omezuje. Systém BIODENITRO se provádí v soustavě dvou nádrží propojených proudy aktivační směsí. Přepnutí do jiné fáze je v navrženém systému proto podmiňováno nejen splněním podmínek vyplývajících z koncentrací forem dusíku v dané nádrži, ale také v nádrži paralelní. Tak se vytváří určité doby čekání, které snižují výkon systému. V těchto dobách se uplatňuje dále řízení koncentrace rozpuštěného kyslíku ve snaze uplatnit simultánní nitrifikaci a denitrifikaci. Nejednoznačným vymezením kultivačních podmínek v dané fázi tak dochází ke zpomalení procesů biologického odstraňování dusíku. Systém není dle článku schopný správně reagovat na nerovnoměrné zatížení dvou nádrží, přestože monitorovací technika musí být umístěna v obou. Dále není popsáno jak správně nastavit pracovní oblast procesu. Autoři diskutují pouze vliv posouvání jedné z kritériálních funkcí, možnost měnit obě funkce zároveň, nebyla zkoumána. Dále není diskutován vliv časové limitace procesů, limity jsou pro účely matematického modelu nastaveny pouze jednorázově.

40

### Podstata vynálezu

Uvedené nevýhody odstraňuje způsob automatického řízení přerušované aerace v aktivačním procesu čistíren odpadních vod v závislosti na jeho zatížení, který podle vynálezu spočívá v tom, že na základě experimentálních zjištění doby efektivní rychlosti oxidace a redukce pro určitý aktivační proces se stanoví pracovní oblast, v níž se reálné hodnoty koncentrace oxidovaného a/nebo redukovaného formy dusíku kontinuálně měřené během automatického řízení aktivačního procesu udržují a podle nich se řídí automatické přesměrování procesu na fázi oxidace nebo redukce systému, pracovní oblast je tvořena množinou dvojic hodnot ( $N_{OX}$ ) a ( $N_{RED}$ ) naměřených za bezporuchového chodu systému a znázorňuje se v grafu, kde osa x je koncentrace redukovaných forem dusíku a osa y je koncentrace oxidovaných forem dusíku, a tato pracovní oblast je shora ohraničena křivkou  $f_0$ , která je polynomem n-tého stupně ve tvaru:

50

$$\rho(N_{OX}) = k_{on} \cdot (\rho(N_{RED}))^n + k_{on-1} \cdot (\rho(N_{RED}))^{n-1} \dots k_{o1} \cdot (\rho(N_{RED})) + k_{o0}$$

a zdola je ohraničena křivkou  $f_r$ , která je polynomem  $n$ -tého stupně ve tvaru:

$$\rho(N_{OX}) = k_{rn} \cdot (\rho(N_{RED}))^n + k_{rn-1} \cdot (\rho(N_{RED}))^{n-1} \dots k_{r1} \cdot (\rho(N_{RED})) + k_{r0},$$

kde konstanty  $(k_{o0} \dots k_{on})$  a  $(k_{r0} \dots k_{rn})$  se stanovují matematickou nelineární regresí hraničních křivek  $f_o$  a  $f_r$ , které vyjadřují závislosti koncentrace oxidované formy dusíku ( $N_{OX}$ ) na koncentraci redukované formy dusíku ( $N_{RED}$ ), přičemž  $f_o$  vymezuje hranici efektivního procesu nitrifikace, respektive oxidace a  $f_r$  vymezuje hranici efektivního procesu denitrifikace, respektive redukce, a dále je doba trvání jednotlivé fáze oxidace a redukce omezena pojistnou minimální dobou oxidace a redukce  $T_{omin}$  a  $T_{rmin}$ , které jsou určeny minimální dobou mezi dvěma zapnutími aeračního systému, která nezpůsobuje zvýšené opotřebení zařízení čistírny a maximální dobou oxidace a redukce  $T_{omax}$  a  $T_{rmax}$ , kde doba  $T_{omax}$  se nastaví jako 1,5 až 3 násobek doby  $T_{rmax}$  a doba  $T_{rmax}$  se pohybuje v rozmezí 30 až 120 min.

Vynález umožňuje na základě experimentálních výsledků vymezit optimální pracovní oblast procesů nitrifikace (oxidace) a denitrifikace (redukce) v aktivačních nádržích na biologických čistírnách odpadních vod. Udržování systému v pracovní oblasti vysokých rychlostí biochemické přeměny umožňuje zvýšit efektivitu odstraňování dusíku bez drahého navyšování objemů nádrží. Stanovení stavu systému definovaného koncentracemi oxidované a redukované formy dusíku se provádí v reálném čase pomocí automatického měření. Automatický výpočet v reálném čase umožňuje automatizaci řízení přerušované aerace.

Vynález umožňuje určení doby, po kterou bude aktivační nádrž na biologické čistírně odpadních vod provzdušňována a doby, po kterou bude provzdušňování vypnuto při zachování optimální efektivní rychlosti oxidace a redukce. Zjištění efektivní rychlosti oxidace a redukce se experimentálně zjišťuje na základě koncentrace oxidovaných a redukovaných forem dusíku definovaný obecně jako  $\rho(N_{OX}) = f(\rho(N_{RED}))$ , kde  $N_{OX}$  a  $N_{RED}$  jsou koncentrace oxidovaných, respektive redukovaných forem dusíku, naměřených za bezporuchového chodu systému a dále ze stanovení maximální a minimální doby fáze oxidace a redukce.

Systém bere na zřetel koncentrace oxidovaných forem dusíku (součet koncentrace dusitanů a dusičnanů), případně také koncentraci amoniakálního dusíku nebo dusíku ve formě amonného iontu jako redukované formy dusíku. Uvedené koncentrace forem dusíku jsou kontinuálně měřeny v reálném čase automatickými měřicími zařízeními, která analyzují aktivační směs v řízeném procesu. Doba trvání fáze oxidace a redukce je dále omezena maximální a minimální dobou oxidace  $T_o$  a maximální a minimální dobou redukce  $T_r$ .

Základním kritériem pro rozhodnutí, zda má pokračovat aeraovaná nebo neaeraovaná fáze nebo zda má dojít ke změně provzdušňování, je vztah koncentrace oxidovaných a redukovaných forem dusíku definovaný obecně jako  $\rho(N_{OX}) = f(\rho(N_{RED}))$ , kde  $N_{OX}$  a  $N_{RED}$  jsou koncentrace oxidovaných, respektive redukovaných forem dusíku. Koncentrací oxidované formy dusíku se rozumí součet koncentrací dusitanů ( $N-NO_2^-$ ) a dusičnanů ( $N-NO_3^-$ ) vyjádřených jako miligramy dusíku na litr. Koncentrací redukované formy dusíku se rozumí koncentrace amoniakálního dusíku ( $N-amon$ ) jako součet koncentrace dusíku v amonném iontu ( $N-NH_4^+$ ) a rozpuštěného amoniaku ( $N-NH_3$ ) nebo jen dusíku v amonném iontu ( $N-NH_4^+$ ), jde-li o městské odpadní vody s běžnými hodnotami pH = 6 až 8. V systému jsou definovány tvary funkcí  $f_r$  a  $f_o$ , které určují, za jakých koncentrací  $N_{OX}$  a  $N_{RED}$  začíná a končí efektivní provzdušňování řízené nádrže.

Funkce  $f_o$  má tvar polynomu  $n$ -tého stupně ve tvaru  $\rho(N_{OX}) = k_{on} (\rho(N_{RED}))^n + k_{on-1} (\rho(N_{RED}))^{n-1} \dots k_{o1} (\rho(N_{RED})) + k_{o0}$ . Dosáhne-li koncentrace  $N_{OX}$  hodnoty definované touto funkcí nebo vyšší, dojde k vypnutí provzdušňování aeračního systému. Funkce  $f_r$  má tvar polynomu  $n$ -tého stupně ve

tvaru  $\rho(N_{OX}) = k_m (\rho(N_{RED}))^n + k_{m-1} (\rho(N_{RED}))^{n-1} + \dots + k_{r1} (\rho(N_{RED})) + k_{r0}$ . Dosáhne-li koncentrace  $N_{OX}$  hodnoty definované touto funkcí nebo nižší, dojde k zapnutí provzdušňování aeračního systému. Grafické zobrazení těchto funkcí je na obrázku 1 (obrázek bude dále diskutován v příkladu využití vynálezu).

5

Určení tvaru funkcí  $f_o$  a  $f_r$  je potřeba provádět pro každou ČOV individuálně. Základním požadavkem na stanovení tvaru obou funkcí  $f_o$  a  $f_r$  je udržování systému akivační nádrže mimo ustálený stav, což umožňuje dosahování maximálních rychlostí biochemických dějů v systému.

10

Při nastavení systému je nejprve nutno zvolit stupeň polynomu funkcí  $f_o$  a  $f_r$ . Pokud není v řízené nádrži k dispozici jedno z měření koncentrace  $N_{RED}$  nebo  $N_{OX}$ , je možno využít pouze polynom nultého stupně. V případě, že obě měření jsou k dispozici, můžeme využít polynomy obvykle prvního, druhého nebo třetího stupně. Ve specifických podmínkách je vhodné využití polynomů vyšších stupňů.

15

20

Pro zjištění konstant  $k_{r0}$ ,  $k_{o0}$ ,  $k_{o1}$ ,  $k_{r1}$ ,  $k_{r2}$ , a  $k_{o2}$  eventuálně dalších pro funkce  $f_o$  a  $f_r$  je třeba vyhodnotit experimentálně naměřené hodnoty koncentrací  $N_{OX}$  a  $N_{RED}$  ležící na hraničních křivkách vymezujících oblast efektivního provzdušňování řízené nádrže pomocí matematické regrese. Do řízené nádrže se umístí sondy pro automatické stanovení koncentrace oxidované a redukované formy dusíku v reálném čase. Sondy měří tyto koncentrace kontinuálně anebo v krátkém časovém intervalu, přičemž pro vyhodnocení postačuje využít údaje získané periodou 5 minut. Je vhodné sledovat systém delší dobu, postačující je asi jeden měsíc. Získá se tak množina bodů, která reprezentuje koncentrace oxidovaných a redukovaných forem dusíku definovaných obecně jako  $\rho(N_{OX}) = f(\rho(N_{RED}))$  kde  $N_{OX}$  a  $N_{RED}$  jsou koncentrace oxidovaných, respektive redukovaných forem dusíku, respektive stav systému v době oxidace i redukce za různých provozních podmínek. z této množiny, se vyloučí chyby měření a hodnoty odpovídající nestandardním stavům provozu (poruchy aeračního zařízení, neobvyklé nátoky apod.). Ze zbylých hodnot množiny vybereme ty, které reprezentují optimální provoz systému, tedy dobu, kdy akivační proces plnil také stanovená kritéria pro koncentrace forem dusíku na odtoku. Tyto hodnoty se vynesou do grafu, kde na ose x je koncentrace redukovaných forem dusíku a na ose y koncentrace oxidovaných forem dusíku, vytvoří se tak pracovní oblast, kterou můžeme ohraničit shora grafickým vyjádřením funkce  $f_o$  a zdola grafickým vyjádřením funkce  $f_r$ . Matematickou nelineární regresí pak získáme parametry – konstanty obou funkcí.

30

35

Dále se provede zjištění efektivních dob oxidace a redukce experimentem, kdy se vyhodnocuje rychlost nitrifikace a denitrifikace v závislosti na době trvání fáze oxidace nebo redukce. Průběh takového experimentu na vybrané ČOV je možno vidět na obrázku 2. Tvary funkcí  $f_o$  a  $f_r$  se upraví tak, aby respektovali výsledky tohoto experimentu, a pracovní oblast se omezí pouze na vzájemně vztažené hodnoty koncentrace  $N_{OX}$  a  $N_{RED}$ , kdy je rychlost nitrifikace a denitrifikace nejvyšší.

40

Posledním hlediskem při nastavení konstant  $k_{r0}$ ,  $k_{o0}$ ,  $k_{o1}$ ,  $k_{r1}$ ,  $k_{r2}$  a  $k_{o2}$  eventuálně dalších pro funkce  $f_o$  a  $f_r$  je, aby požadovaná koncentrace celkového dusíku na odtoku a očekávaný poměr koncentrací oxidované a redukované formy dusíku na odtoku splňovaly kritéria stanovená normou nebo provozovatelem čistírny odpadních vod.

45

Posunování funkce  $f_r$  směrem k ose koncentrací  $N_{OX}$  zvyšuje poměr koncentrace oxidované formy dusíku vůči redukované formě dusíku na konci provzdušňování akivační nádrže a tak podporuje proces nitrifikace. Toto přiblížení je však limitováno snižováním rychlosti nitrifikace při snížené koncentraci redukovaných forem dusíku, která způsobuje prodlužování provzdušňovací fáze a tak snižuje ekonomickou efektivitu procesu. Posunování funkce  $f_r$  směrem k ose koncentrací  $N_{RED}$  snižuje poměr koncentrace oxidované a redukované formy dusíku na konci fáze vypnutí provzdušňování akivační nádrže a tak podporuje proces denitrifikace. Toto přiblížení je však limitováno snižováním rychlosti denitrifikace se spotřebou snadno rozložitelného organického substrátu. Křivku je tedy třeba přizpůsobit dosahovaným rychlostem denitrifikace v čase,

55

dle experimentu popsaného na obrázku 2, tak aby nedocházelo ke zbytečně dlouhým periodám bez provzdušňování. Vzdálenost obou funkcí od sebe se upravuje na základě uvedeného experimentu a to tak, aby se koncentrace  $N_{OX}$  během provzdušňovací fáze a  $N_{RED}$ , během vypnuté aerace pohybovaly v oblasti, kdy je dosahováno vysokých rychlostí biochemických procesů.

Z praktických důvodů (jednoduchost a snadná použitelnost způsobu pro automatizované systémy řízení) je vhodné omezit stupeň polynomu a tedy i počet zjišťovaných konstant. V případě, že nelze jednu z forem dusíku měřit například kvůli absenci příslušné techniky, omezíme polynom na stupeň nula a konstanty se nastaví v následujícím rozmezí  $k_{r0} = 2$  až  $6$  a  $k_{o0} = 5$  až  $10$ . Při možnosti měření koncentrací obou forem je možno využít polynomy prvního až třetího stupně. V takovém případě se konstanty nastaví v následujících rozmezích:  $k_{r0}, k_{o0} = 0$ ,  $k_{r1} = 0$  až  $2$  a  $k_{o1} = 1$  až  $6$  za podmínky  $k_{o1} \geq k_{r1}$ ,  $k_{r2} = -0,1$  až  $1$  a  $k_{o2} = -1$  až  $1$ ,  $k_{r3} = -0,03$  až  $0,1$  a  $k_{o3} = 0,1$  až  $1$ ,  $k_{r4-n}$  a  $k_{o4-n} = 0$ . Stanovení přesných hodnot konstant  $k_{r4-n}$  a  $k_{o4-n}$  připadá v úvahu jen za zcela speciálních podmínek a postupuje se dle postupu uvedeného výše. Po nastavení konstant je třeba ověřit, že funkce jsou v očekávaném provozním rozsahu koncentrací  $N_{OX}$  a  $N_{RED}$  rostoucí, čili každá další funkční hodnota je vyšší než předchozí nebo klesající, čili každá další funkční hodnota je nižší než předcházející.

V systému jsou dále nastaveny tzv. pojistné časy  $T_{rMAX}$ ,  $T_{rMIN}$ ,  $T_{oMAX}$  a  $T_{oMIN}$ .

$T_{rMAX}$  je maximální doba, po kterou může být aktivační směs ponechána bez dodávky vzduchu, aniž by došlo k poškození aktivovaného kalu. Určuje také dobu bez provzdušňování v případě výpadku měření. Závisí na vlastnostech aktivovaného kalu a množství snadno rozložitelného organického substrátu v aktivační směsi. Nastavuje se v rozmezí 30 až 120 minut, kdy při časech kratších než 30 minut nedojde k vytvoření enzymů nutných pro denitrifikaci a při časech nad 120 minut hrozí poškození aktivovaného kalu. Při dostatku snadno rozložitelného organického substrátu se nastavuje spíše k horní hranici rozmezí časů.

$T_{rMIN}$  je minimální doba, po kterou může být aktivační směs ponechána bez dodávky vzduchu. Je určena konstrukcí aeračního zařízení, kdy u některých typů hrozí poškození tohoto zařízení opětovným rychlým zapnutím. Pro běžné jemnobublinné aerační systémy s dmychadly se nastavuje tato doba na hodnotu 10 minut, při použití jiných systémů se vychází z údajů výrobce čistírny.

$T_{oMAX}$  je maximální doba po kterou je možno aktivační směs provzdušňovat. Tato maximální doba se určí tak, aby byl dostatečný čas pro splnění podmínek koncentrace forem dusíku, ale zároveň byl zajištěn ekonomický provoz v případě výpadku měření. Dále je třeba vzít v úvahu nižší rychlost nitrifikace oproti rychlosti denitrifikace a také vyšší prioritu nitrifikace. Čas se nastaví jako 1,5 až 3 násobek času  $T_{rMAX}$  a měl by být v rozmezí 90 až 300 minut.

$T_{oMIN}$  je minimální doba, po kterou je třeba aktivační směs provzdušňovat. Je dána konstrukcí aeračního systému a aktivační nádrže a vlastnostmi aktivační směsi. Musí zajistit dostatečnou dodávku vzduchu pro růst populace nitrifikantů. Pro běžný aktivační systém s jemnobublinnou aerací a dmychadly postačuje 10 minut a je možné ji prodloužit dle požadavků výrobce aeračního systému nebo v případě nízké nitrifikační rychlosti.

Tyto časy jsou nadřazeným rozhodovacím kritériem vůči podmínkám definovaným funkcemi  $f_{o,r}$ . Tedy žádná fáze nemůže být ukončena do uplynutí minimální doby trvání a nemůže trvat déle, než je maximální doba trvání. V případě, že biologický stupeň ČOV je tvořen více paralelními linkami, je možno instalovat měření do jedné linky a ostatní linky řídit dle výsledků tohoto měření. Tato možnost předpokládá co nejlepší rozdělení hydraulického látkového zatížení linek. Výhodnější ovšem je instalovat měření do každé linky a řídit tak každou linku samostatně.

### Přehled obrázků na výkresech

5 Obr. 1 znázorňuje pracovní oblast zjištěnou na základě naměřených hodnot koncentrace  $N_{OX}$  v závislosti na  $N_{RED}$ .

Obr. 2 znázorňuje koncentrace  $N_{OX}$  a  $N_{RED}$  v závislosti na vypnuté a zapnuté aeraci a na čase.

### 10 Příklad provedení vynálezu

Příklad sestrojení křivek funkcí  $f_0$  a  $f_r$  a jejich využití při automatizaci procesu řízení přerušované aerace v aktivačním procesu čistíren odpadních vod v závislosti na jeho zatížení.

15 Vynález byl odzkoušen na čistírně odpadních vod o výpočtové kapacitě 42 000 ekvivalentní obyvatel a průměrném denním průtoku 12 600 m<sup>3</sup>/d., která je řešena jako mechanickobiologická čistírna, která byla původně provozována se simultánní nitrifikací a denitrifikací realizovanými v oběhové aktivaci. Biologický stupeň ČOV byl provozován jako dvě paralelní linky oběhové aktivace. Protože stupeň odstraňování dusíkatého znečištění nebyl dostatečný, testoval provozovatel provoz s přerušovanou aerací, kde však nebyl schopen nastavit vyhovující časy trvání aero-

20 vané a neaerované fáze.

Pro měření v reálném čase byly na ČOV osazeny sondy pro měření koncentrace rozpuštěného kyslíku, koncentrace dusitanů a dusičnanů a amoniakálního iontu. Všechny měřicí sondy byly

25 umístěny na stejném místě v jedné oběhové aktivační nádrži. Instalovány byly na lávku přes nádrž v oblasti oběhové aktivační nádrže, kde nejsou umístěny aerační elementy.

Na ČOV byly odzkoušeny následující varianty systému:

1. využití polynomu nultého stupně
- 30 2. využití polynomu prvního stupně.

Obě varianty byly programovány za využití matematických a logických funkcí jako vstupní hodnoty v prostředí digitálního kontroléru SC1000, s tím že výstupní signál, zda má v aktuálním čase probíhat aerované nebo neaerovaná fáze byl napojen na stávající řídicí systém.

35 Varianta jedna, čili využití polynomu nultého stupně, bylo využito, aby byla prokázána možnost využití způsobu pro řízení jen na základě měření koncentrace  $N_{OX}$ . Přehled nastavení konstant je uveden v tabulce 1. První nastavení systému bylo provedeno 23.4. a používáno do 28.4. V průběhu tohoto zkušebního provozu byly opakovaně vyhodnoceny záznamy závislosti koncentrace

40  $N_{OX}$  na  $N_{RED}$  a ze získané množiny bodů (pracovní oblasti v daném období) byly stanoveny konstanty pro funkce  $f_0$  a  $f_r$ . Další měření bylo provedeno pro období 28.4. až 9.6. a 9.6 až 30.6. Vzhledem k tomu, že tyto pracovní oblasti si vzájemně zcela neodpovídaly bylo přistoupeno ke snížení hodnot konstant  $k_{r0}$  a  $k_{o0}$  na hodnoty uvedené v tabulce 1. V obrázku 1 je pak vidět poslední využití nastavení křivek funkcí  $f_0$  a  $f_r$ . Je vidět, že by bylo možno konstanty ještě mírně

45 snížit, ale protože na ČOV byla zjištěna oslabená nitrifikace (viz. Obrázek 2), není to již vhodné. Dále je omezena maximální doba redukce  $T_{rMAX}$ , protože po jejím uplynutí už dle obrázku 2 nelze očekávat vysokou rychlost denitrifikace. Maximální doba oxidace  $T_{oMAX}$  je naopak nastavena delší, aby byla podpořena nitrifikace.

Tabulka 1 – Přehled nastavení konstant pro funkce  $t_o$  a  $f_r$  pro řízení přerušované aerace na základě nastavených limitů koncentrace dusičnanů (varianta I)

| datum      | 23.4 až 28.4. | 28.4. až 9.6. | 9.6 až 30.6. |
|------------|---------------|---------------|--------------|
| $k_{r0}$   | 5             | 4,5           | 3,5          |
| $k_{o0}$   | 7,5           | 7,0           | 6,0          |
| $T_{oMAX}$ | 90            |               |              |
| $T_{rMAX}$ | 70            |               |              |
| $T_{oMIN}$ | 15            |               |              |
| $T_{rMIN}$ | 15            |               |              |

- 5 Variantou dvě je využití polynomu druhého stupně podle vynálezu při současném měření koncentrací  $N_{OX}$  a  $N_{RED}$ . V tabulce 2 můžeme vidět přehled nastavení konstant. Původní nastavení systému bylo využíváno v období 30.6. až 2.7.. V průběhu tohoto zkušebního provozu byly opakovaně vyhodnoceny záznamy závislosti koncentrace  $N_{OX}$  na  $N_{RED}$  a získané množiny bodů (pracovní oblasti v daném období) byly porovnány s pracovní oblastí vymezenou funkcemi  $f_o$  a  $f_r$  v dalších obdobích. Vzhledem k tomu, že tyto pracovní oblasti si vzájemně zcela neodpovídaly byla konstanta  $k_{r1}$  zvýšena na hodnotu 1 a konstanta  $k_{ol}$  na hodnotu 1,49. Nový tvar funkce  $f_r$  již většinu naměřených dat odpovídá (viz. obrázek 1). Na obrázku 1 je také vidět, že část naměřených dat se stále nachází mimo vymezenou pracovní oblast. Tento problém by byl vyřešen použitím funkce  $f_o$ , ve tvaru polynomu třetího stupně s konstantami  $k_{o0} = 0$ ,  $k_{o1} = 3,7$ ,  $k_{o2} = -0,4$ ,  $k_{o3} = 0,015$ . Takovéto vymezení pracovní oblasti by pak naměřená data postihovalo lépe než funkce ve tvaru polynomu prvního stupně (viz. Obrázek 1). Tuto možnost nebylo možno prakticky vyzkoušet z technických důvodů. Dále byly v průběhu testování vynálezu provedeny změny maximálních a minimálních časů oxidace a redukce. Původní nastavení těchto časů používané v období 30.6. až 2.7. a 2.7. až 8.7. neposkytovalo dostatečný čas pro plné využití definované pracovní oblasti. Jak lze vidět z obrázku 2, na čistírně odpadních vod byl oslaben proces nitrifikace, proto byl pro období 8.7. až 9.7. a 9.7. až 15.8. maximální čas oxidace prodloužen na  $T_{oMAX} = 150$  minut. Z obrázku 2 je také vidět, že při dlouhé době redukce dochází k jejímu zpomalování, proto byl maximální čas redukce nastaven nižší na  $T_{rMAX} = 120$  minut.

Tabulka 2 – Přehled nastavení konstant pro funkce  $f_o$  a  $f_r$  pro řízení přerušované aerace na základě nastavených limitů koncentrací oxidovaných a redukováných forem dusíku (varianta A)

| datum      | 30.6. až 2.7. | 2.7. až 8.7. | 8.7. až 9.7. | 9.7. až 15.8. |
|------------|---------------|--------------|--------------|---------------|
| $k_{r1}$   | 0,5           | 1            | 1            | 1             |
| $k_{ol}$   | 1             | 1,49         | 1,49         | 1,49          |
| $k_{r0}$   | 0             | 0            | 0            | 0             |
| $k_{o0}$   | 0             | 0            | 0            | 0             |
| $T_{oMAX}$ | 90            | 90           | 150          | 150           |
| $T_{rMAX}$ | 90            | 90           | 90           | 120           |
| $T_{oMIN}$ | 30            | 30           | 30           | 30            |
| $T_{rMIN}$ | 30            | 30           | 20           | 20            |

- 30 V tabulce 3 jsou vidět výsledky aplikace vynálezu.

- 35 V tabulce 3 jsou uvedeny výsledky čištění odpadních vod ve formě průměrných koncentrací dané složky v daném období v mg/l. Kromě již vysvětlených složek  $N_{OX}$  a  $N_{RED}$  byly vyhodnoceny také koncentrace anorganického dusíku N-anorg, který je součtem koncentrací všech anorganických forem dusíku a celkového dusíku N-celk, který je součtem koncentrací N-anorg a koncentrací organických forem dusíku. Uvedené koncentrace byly získány akreditovanou analýzou vzorku získaného slitím vzorků odebíraných po dobu 24 hodin. V tabulce 3 jsou tyto hodnoty uvedeny pro období po aplikaci vynálezu květen až červenec 2008 (průměr 05 až 7/2008) a pro

období stejných tří měsíců jeden rok před aplikací vynálezu květen až červenec 2007 (průměr 05 až 07/2007) Nejdůležitějším hodnoceným parametrem je celkový dusík, jako základní limitovaná složka odtoku. Zde byl dosažen mezi roční pokles průměrné koncentrace z 12,3 mg/l na 9,1 mg/l. Průměrná koncentrace celkového dusíku na odtoku z čistírný odpadních vod po aplikaci vynálezu 9,1 mg/l pak plně odpovídá emisnímu limitu 12 mg/l N-celk pro nejlepší dostupné technické čištění odpadních vod definované v Metodickém pokynu odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ČR k nařízení vlády č. 229/2007 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. Ještě větších změn bylo dosaženo v parametru koncentrace redukované formy dusíku, který zásadně ovlivňuje ekologickou stabilitu toku, kam je vyčištěná odpadní voda vypouštěna. Zde byla snížena průměrná koncentrace v odtoku o 80 % z 3,9 na 1,5 mg/l. K mírnému zhoršení došlo v koncentracích oxidované formy dusíku, jejich vypouštění však nemá okamžitý zásadní vliv na tok. Toto zhoršení je zanedbatelné (o 11,7 %) a neovlivnilo výsledky v parametru celkový dusík.

Tabulka 3 – Výsledky aplikace řízení přerušované aerace v aktivačním procesu čistíren odpadních vod v závislosti na jeho zatížení podle vynálezu

| měsíc                       | $p(N_{RED})$ | $p(N_{OX})$ | $p(N-anorg)$ | $p(N-celk)$ |
|-----------------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| Průměr 05 až 07/2007 (mg/l) | 3,9          | 4,4         | 9,0          | 12,3        |
| průměr 05 až 07/2008 (mg/l) | 1,5          | 5,0         | 6,6          | 9,1         |
| zlepšení (%)                | 60,2         | -11,7       | 27,2         | 26,4        |

#### Automatizace navrhovaného způsobu

Vpředu popsaným způsobem získané křivky funkcí  $f_o$  a  $f_r$  lze využít k automatizaci procesu. Je možno jej programovat do libovolného stávajícího řídicího systému, který je schopný využívat měřené hodnoty v reálném čase. Popsaný algoritmus se může použít pro libovolný počítačový systém užívaný pro řízení provozu čistíren odpadních vod (např. SCADA) nebo je možné systém programovat do přídavného průmyslového počítače a jeho výstup udávající žádaný stav zapnutí nebo vypnutí provzdušňování zařadit do nadřazeného systému řízení. Na řídicí počítač systému musí být napojeny signály ze sond kontinuálního měření koncentrací  $N_{OX}$  a  $N_{RED}$  a musí obsahovat také měření času. Do počítače jsou dále uloženy tvary funkcí vymezujících pracovní oblast  $f_o$  a  $f_r$  a minimální a maximální doby trvání fáze oxidace a redukce  $T_{rMAX}$ ,  $T_{rMIN}$ ,  $T_{oMAX}$  a  $T_{oMIN}$ .

V průběhu běžného provozu aktivačního systému s přerušovanou aerací sleduje řídicí počítač měřené hodnoty ze sond koncentrace  $N_{OX}$  a  $N_{RED}$ , čas  $T$ , který uplynul od začátku probíhající reakční fáze oxidace nebo redukce a dále zda je provzdušňování řízené nádrže zapnuto nebo vypnuto. Pokud je tento čas průběhu reakční fáze nižší než minimální doba určená v řídicím systému pro dobu trvání této reakční fáze, tedy  $T_{oMIN}$  pro oxidaci a  $T_{rMIN}$  pro redukci, počítač neprovádí žádnou změnu a aerace zůstává ve stejném stavu, tedy zapnuto pro fázi oxidace a vypnuto pro fázi redukce. Pokud počítač zjistí, že doba trvání současné fáze již překročila minimální definovanou dobu trvání této fáze, tedy  $T_{oMIN}$  pro oxidaci a  $T_{rMIN}$  pro redukci, provede zjištění, zda se systém nachází v definované pracovní oblasti, která zaručuje vysokou rychlost biochemických dějů. To počítač provede tak, že porovná aktuálně naměřenou hodnotu koncentrace  $N_{OX}$  s hodnotou  $N_{OX}$ , kterou vypočte dosazením aktuálně naměřené koncentrace hodnoty  $N_{RED}$  do rovnice funkce vymezující pracovní oblast odpovídající právě probíhajícímu ději, tedy  $f_o$  pro oxidaci a  $f_r$  pro redukci.

Pokud je aktivační nádrž ve fázi oxidace a počítač zjistí, že naměřená hodnota koncentrace  $N_{OX}$  je vyšší než hodnota koncentrace  $N_{OX}$  vypočtená podle rovnice funkce  $f_o$  pro aktuální koncentraci  $N_{RED}$ , provede ukončení fáze oxidace tak, že dá povel k zastavení provzdušňování. Pokud počítač ve fázi oxidace zjistí, že naměřená koncentrace  $N_{OX}$  je nižší nebo rovna hodnotě koncentrace  $N_{OX}$  vypočtená podle rovnice funkce  $f_o$  pro aktuální koncentraci  $N_{RED}$ , provede počítač porovnání



doby trvání aktuální fáze oxidace  $T$  s maximální dobou trvání fáze oxidace  $T_{oMAX}$ . Pokud zatím neuplynul čas fáze oxidace  $T$  delší než doba  $T_{oMAX}$ , není provedena žádná akce a počítač se vrací k počátku rozhodování, tedy nové načtení dat a nový začátek rozhodovacího procesu. Pokud již tato doba uplynula, provede počítač ukončení fáze oxidace tak, že dá povel k zastavení provzdušňování.

Pokud je aktivační nádrž ve fázi redukce a počítač zjistí, že naměřená hodnota koncentrace  $N_{OX}$  je nižší než hodnota koncentrace  $N_{OX}$  vypočtená podle rovnice funkce  $f_r$  pro aktuální koncentraci  $N_{RED}$ , provede ukončení fáze redukce tak, že dá povel k zapnutí provzdušňování. Pokud počítač ve fázi redukce zjistí, že naměřená koncentrace  $N_{OX}$  je vyšší nebo rovna hodnotě koncentrace  $N_{OX}$  vypočtená podle rovnice funkce  $f_r$  pro aktuální koncentraci  $N_{RED}$ , provede počítač porovnání doby trvání aktuální fáze oxidace  $T$  s maximální dobou trvání fáze redukce  $T_{rMAX}$ . Pokud zatím neuplynul čas fáze redukce  $T$  delší než doba  $T_{rMAX}$ , není provedena žádná akce a systém se vrací k počátku rozhodování. Pokud již tato doba uplynula, provede počítač ukončení fáze redukce tak, že dá povel k zahájení provzdušňování.

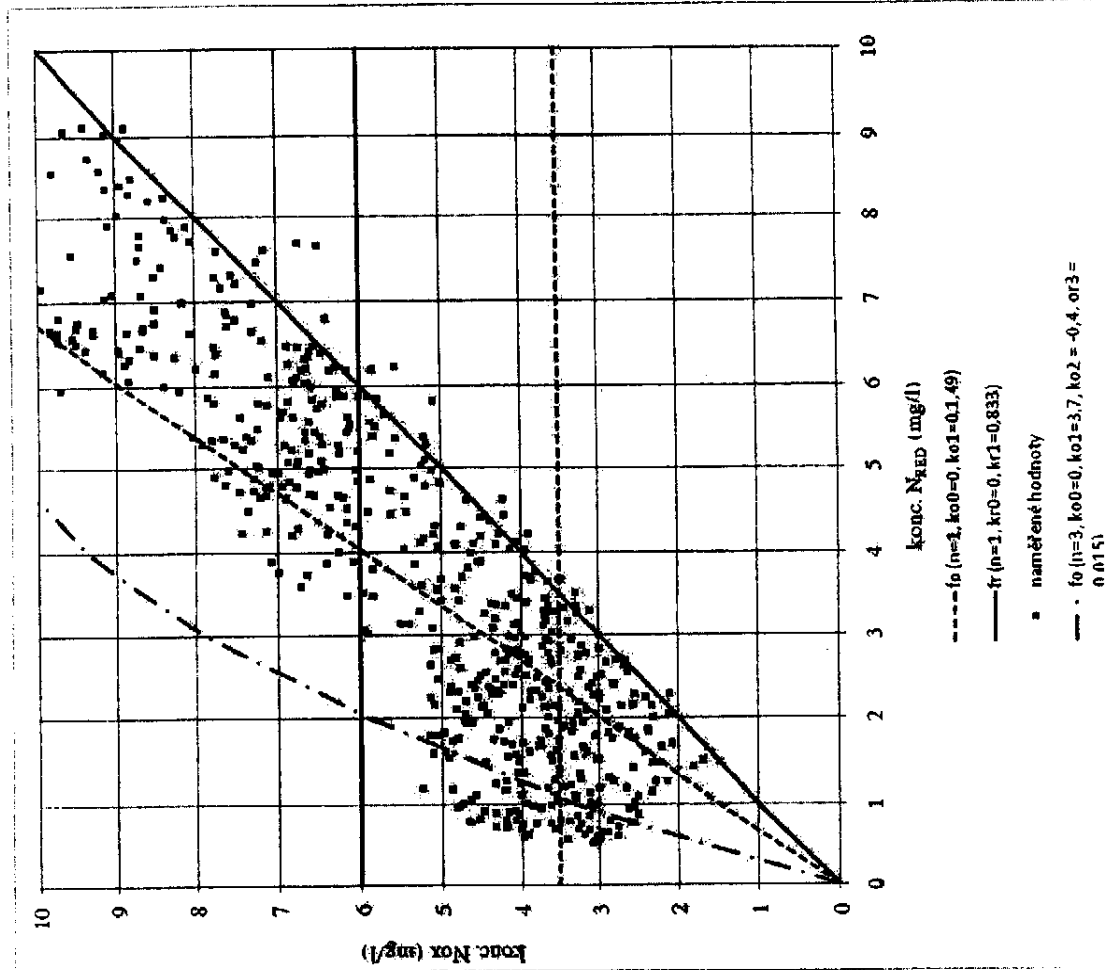
### Průmyslová využitelnost

Způsob řízení přerušované aerace v aktivačním procesu čistíren odpadních vod v závislosti na jeho zatížení lze využít na všech čistírnách odpadních vod s regulovatelnou aerací. Metoda byla testována na ČOV s oběhovou aktivací a přerušovanou aerací. Způsob je zvláště vhodný pro řízení ČOV s oběhovou aktivací nebo „sequencing batch reactor“ (SBR).

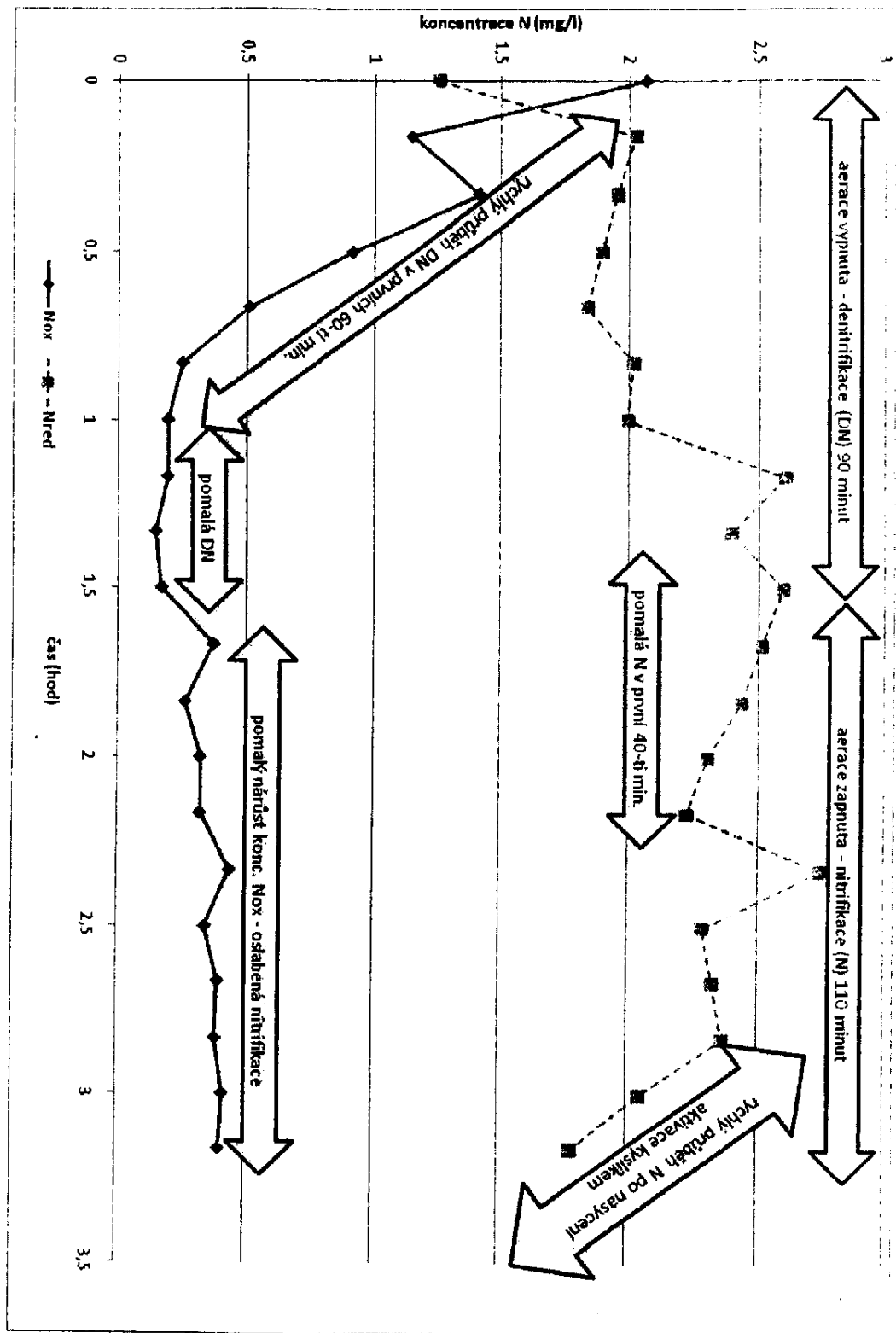
## PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob automatického řízení přerušované aerace v aktivačním procesu čistíren odpadních vod v závislosti na jeho zatížení, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že na základě experimentálních zjištění doby efektivní rychlosti oxidace a redukce pro určitý aktivační proces se stanoví pracovní oblast, v níž se reálné hodnoty koncentrace oxidované a/nebo redukované formy dusíku kontinuálně měřené během automatického řízení aktivačního procesu udržují a podle nich se řídí automatické přeměňování procesu na fázi oxidace nebo redukce systému, pracovní oblast je tvořena množinou dvojic hodnot ( $N_{ox}$ ) a ( $N_{red}$ ) naměřených za bezporuchového chodu systému znázorňuje se v grafu, kde osa  $x$  je koncentrace redukovaných forem dusíku a osa  $y$  je koncentrace oxidovaných forem dusíku, a tato pracovní oblast je shora ohraničena křivkou  $f_o$ , která je polynomem  $n$ -tého stupně ve tvaru:

$\rho(N_{OX}) = k_{on} (\rho(N_{RED}))^n + k_{on-1} (\rho(N_{RED}))^{n-1} + \dots + k_{o1} (\rho(N_{RED})) + k_{o0}$ , a zdola je ohraničena křivkou  $f_r$ , která je polynomem  $n$ -tého stupně ve tvaru  $\rho(N_{OX}) = k_{rn} (\rho(N_{RED}))^n + k_{rn-1} (\rho(N_{RED}))^{n-1} + \dots + k_{r1} (\rho(N_{RED})) + k_{r0}$ , kde konstanty ( $k_{o0} \dots k_{on}$ ) a ( $k_{r0} \dots k_{rn}$ ) se stanovují matematickou nelineární regresí hraničních křivek, které vyjadřují závislosti koncentrace oxidované formy dusíku ( $N_{ox}$ ) na koncentraci redukované formy dusíku ( $N_{red}$ ), přičemž  $f_o$  vymezuje hranici efektivního procesu nitrifikace, respektive oxidace a  $f_r$  vymezuje hranici efektivního procesu denitrifikace, respektive redukce, a dále je doba trvání jednotlivé fáze oxidace a redukce omezena pojistnou minimální dobou oxidace a redukce  $T_{oMIN}$  a  $T_{rMIN}$ , které jsou určeny minimální dobou mezi dvěma zapnutími aeračního systému, která nezpůsobuje zvýšené opotřebení zařízení čistírny a maximální dobou oxidace a redukce  $T_{oMAX}$  a  $T_{rMAX}$ , kde doba  $T_{oMAX}$  se nastaví jako 1,5 až 3 násobek doby  $T_{rMAX}$  a doba  $T_{rMAX}$  se pohybuje v rozmezí 30 až 120 min.



Obr. 1



Obr. 2

Konec dokumentu