

Optimalizácia ČOV s atypickými vodami na prítoku

Bibiána Kožárová

Anotácia

Odpadová voda pochádzajúca z priemyselných parkov je deklarovaná ako splašková odpadová voda bez prítomnosti priemyselných odpadových vôd, a preto sa jej čistenie javí ako jednoduché. Avšak, nie všetky splaškové odpadové vody sú tzv. splašky. Predkladaný príspevok predstavuje výsledky z monitoringu reálnej ČOV a laboratórnych experimentov. Možnosti biologického čistenia spojené s terciárnym dočistením (koagulácia, filtrácia, adsorpcia) boli realizované s cieľom dosiahnuť čo najlepšiu kvalitu vyčistenej vody.

Kľúčové slová

Adsorpcia; filtrácia; koagulácia; monitoring kvality vyčistenej odpadovej vody; priemyselné parky

Annotation

Wastewater from the industrial parks is declared to be a sewage wastewater (separated from industrial wastewater) and so the treatment looks to be easy. However, „sewage is not always a sewage“. This paper introduces results from monitoring of such WWTP and from laboratory experiments. Possibilities of biological treatment connected with post treatment (coagulation, filtration, adsorption) were realized with the aim to increase the treatment efficiency.

Keywords

Adsorption; coagulation; filtration; industrial parks; monitoring of treated wastewater quality

1 Úvod

V súčasnej dobe sú v mnohých regiónoch Slovenska vybudované priemyselné parky s väčším počtom výrobných hál. Zvyčajne sa nachádzajú mimo obcí a disponujú vlastnou čistiarňou odpadových vôd (ČOV). Odpadová voda z týchto priemyselných parkov je deklarovaná ako splašková odpadová voda bez prítomnosti priemyselných odpadových vôd, a preto sa jej čistenie javí ako jednoduché (väčšinou biologickou cestou v aktivácii s aeróbnou stabilizáciou kalu). Avšak, nie všetky splaškové odpadové vody sú tzv. splašky. V prípade, že park zahŕňa iba výrobné haly, hlavným podielom odpadovej vody je „žltá“ odpadová voda obsahujúca väčšinou moč. Výsledkom je tak čistenie odpadovej vody s veľmi vysokou koncentráciou amoniaku, resp. TKN (TKN je súčet amoniakálneho a organického dusíka) a pomerom CHSK : TKN výrazne nižším než sa uvádza pre typickú splaškovú vodu (CHSK : TKN cca 8 – 12) (Drtil, 2013; Chudoba a kol., 1991; Henze, 2008). Inak povedané, ak je v priemyselnom parku výroba postavená napr. na 3 zmenách po 8 hodín, bez kuchyne, navyše s víkendovou odstávkou, potom sú odpadové vody produkované nárazovo a obsahujú vysoké koncentrácie dusíka. Ďalší rizikový faktor je, že priemyselné parky zvyknú byť napojené v extraviláne na nie vždy dostatočne vodnaté recipienty. V zmysle kombinovaného prístupu môžu byť potom požiadavky na vyčistenú odpadovú vodu veľmi prísne. Vzhľadom na možnú premenlivosť kvality i kvantity týchto odpadových vôd sú častokrát na týchto ČOV konštatované vážne technologické problémy.

Primárnym cieľom tohto príspevku je predstaviť výsledky z monitoringu reálnej ČOV, z návrhu prevádzkových opatrení a z laboratórneho prieskumu čistiteľnosti „splaškových“ odpadových vôd. K hlavným problémom monitorovanej ČOV možno zaradiť extrémne prísne požiadavky vyplývajúce z emisno-imisného princípu spolu s atypickým zložením surovej odpadovej vody. Cieľom realizácie laboratórneho modelu (s dávkovaním reálnej odpadovej vody z priemyselného parku) bolo zistiť možnosti čistenia a čo najlepšiu dosiahnuteľnú kvalitu vyčistenej vody (overiť maximálnu účinnosť odstránenia CHSK a amoniaku). Laboratórne modelovanie zahŕňalo možnosti biologického čistenia v aktivácii, možnosti zaradenej terciárnej koagulácie a možnosti adsorpcie s aktívnym uhlím.

2 Experimentálna časť

Popis ČOV v priemyselnom parku

ČOV v danom priemyselnom parku je tvorená dvomi aktivačnými nádržami s objemom 50 m³. Pri nádržiaciach je osadená prevádzková budova, miestnosť obsluhy a strojovňa prístupné po schodoch vo svahu násypu. ČOV bola zrealizovaná s technológiou semikontinuálnej aktivácie (SBR). Na vstupe je zariadenie na prijímanie surových splaškových vôd dodávaných vstupnou čerpacou stanicou cez drvič umiestnený v strojovni. Predčistenie pozostáva z automaticky stieraných jemných hrablic. Biologický stupeň sa skladá z 2 paralelných aktivačných nádrží SBR (A a B), ktoré v sebe integrujú aktivačnú a dosadzovaciu nádrž. Dávkovanie prítoku do SBR reaktorov prebieha 4 x denne (v aktivácii je prerušované prevzdušňovanie; 2 h prevzdušňovanie + 1 h miešanie). Priemerná hydraulická zdržná doba v aktivácii vychádzala počas monitorovania ČOV na úrovni 2 dní. Prebytočný kal sa odčerpáva do kalojemu. Biologicky vyčistená voda je prečerpávaná do 1. vyrovnávacej („bufferovej“) nádrže terciárneho dočistenia. Terciárny stupeň pozostáva z filtrácie na pieskových filtroch (ktoré boli avšak dlhodobo počas monitorovania ČOV odstavené z dôvodu porúch). Voda po filtrácii je vypúšťaná do 2. bufferovej nádrže, ktorá slúži na akumuláciu vyčistenej vody vypúšťanej následne rovnomerne do recipientu a zároveň aj ako zásobáreň vody na preplach pieskových filtrov. Technológia ČOV bola navrhnutá s maximálnou automatikou v snahe minimalizovať manuálne zásahy obsluhy (čo ale pri týchto problémových odpadových vodách nie je vždy možné).

Súčasnú požiadavku na kvalitu vyčistenej odpadovej vody na výstupe z ČOV sú vzhľadom na minimálne vodnatý recipient mimoriadne prísne: CHSK = 35 mg/l, BSK₅ = 7 mg/l, NL = 30 mg/l. Priemerný prítok bol 53 m³/d (39 – 64 m³/d).

Popis laboratórneho modelu SBR aktivácie

V laboratórnom modeli SBR aktivácie (Obr. 1) bol testovaný aktivovaný kal odobraný z ČOV v danom priemyselnom parku. Aby kal pokračoval v čistení ako na ČOV, boli mu vytvorené stabilné a podľa možnosti čo najoptimálnejšie podmienky. V 2 l reaktore bol aktivovaný kal striedavo aerovaný a miešaný (2 h prevzdušňovanie a 1 h miešanie). Do reaktora sa semikontinuálne dával 1 liter reálnej odpadovej vody z priemyselného parku za deň, aby bola udržiavaná zdržná doba odpadovej vody na úrovni cca 2 dni (po odčítaní 1-hodinovej sedimentácie 1,9 d). Doba sedimentácie v laboratórnom modeli 1 hodina bola na rovnakej úrovni ako sedimentácia kalu na ČOV. Laboratórny model bol prevádzkovaný pri laboratórnej teplote cca 20 °C a odoberalo sa 40 ml prebytočného kalu za deň tak, aby bol dodržaný „nastavený“ vek kalu 50 dní ako na ČOV. Na rozdiel od ČOV sa na udržanie optimálneho pH do aktivačnej zmesi dával podľa potreby NaOH. Taktiež sa na rozdiel od ČOV do odpadovej vody pridávalo aj 10 mg/l PO₄-P vo forme KH₂PO₄, aby bol v aktivačnej zmesi dostatok fosforu a nebola ovplyvnená účinnosť čistenia jeho prípadným nedostatkom.



Obrázok 1: Laboratórny model SBR aktivácie

Popis laboratórneho experimentu zaradenej (terciárnej) koagulácie

Odtok biologicky vyčistenej vody z laboratórneho modelu sa použil na testy zaradenej koagulácie s prídavkom 40 % roztoku FeCl_3 . Testované dávky koagulantu boli na bežnej odporúčanej úrovni pre odpadové vody 0,3 ml/l, t.j. 0,3 l/m³ až 0,6 l/m³ (Bodík a kol., 2016). Najprv sa pridal koagulant do vyčistenej vody a pokračovalo sa 5 minútovým rýchlym miešaním. Následne sa nechal roztok pomaly miešať po dobu 30 minút, v rámci ktorých sa upravovalo pH na 6,5 resp. 8,5 dávkovaním 1 M NaOH (po prídavku koagulantu pH kleslo na cca 3,4 – 3,6). Ďalším krokom bola sedimentácia (10 minút) a následná filtrácia cez papierový filter (nie membránový, pretože papierový filter sa najviac približuje pieskovej filtrácii). Vzorka roztoku bola nakoniec podrobená analýze CHSK, NL a pH vo filtrovanej vzorke.

Popis laboratórneho experimentu zaradenej (terciárnej) adsorpcie

Pre porovnanie sa urobili aj adsorpčné laboratórne testy s biologicky vyčistenou vodou. Dávky aktivovaného uhlia (AC) určeného pre adsorpciu v odpadových vodách boli 100 ml (so sypnou hmotnosťou 500 g/l), ku 100 resp. 160 ml odpadovej vody. Test bol realizovaný ako „batch“ test, t.j. voda sa zmiešala s AC (nie prietok vody cez filter s AC náplňou). V tomto usporiadaní je adsorpcia účinnejšia, v podstate maximálna možná (vo filtri s náplňou AC je vždy aspoň čiastočné riziko obmedzeného kontaktu AC s organickými zlúčeninami v odpadovej vode). Namerala sa tak maximálna možná účinnosť odstránenia CHSK adsorpciou, čo bolo aj účelom testu. Prvým krokom postupu bol prídavok adsorbentu AC. Doba adsorpcie bola 30 min, resp. 60 min (30 – 60 min pomalé miešanie na trepačke, aby sa granuly AC nerozbili). Pokračovalo sa sedimentáciou po dobu 10 minút a následnou filtráciou cez papierový filter (nie membránový). Vzorka roztoku bola nakoniec podrobená analýze CHSK, NL a pH vo filtrovanej vzorke.

V rámci celej experimentálnej časti sa jednotlivé ukazovatele stanovovali štandardnými metódami (Horáková a kol., 2015). Použitý bol sepktrofotometer UV/VIS značky Hach Lange DR 5000 a hodnoty pH sa stanovovali potenciometricky prostredníctvom pH metra Hanna Instruments HI2002-02 EDGE. Miešanie/trepanie vzoriek (experiment s AC) sa uskutočňovalo na orbitálnej trepačke riadenej RPM RSLAB-7PRO.

3 Výsledky a diskusia

Monitoring ČOV

ČOV sa monitorovala v dvoch etapách: I. etapa (I – VIII/2018; bez kontinuálneho dávkovania Fe^{3+}) a II. etapa (IX – XII/2018; s kontinuálnym dávkovaním Fe^{3+} do biologického stupňa). Výsledky monitoringu sú zhrnuté v Tab.1.

Tabuľka 1: Výsledky monitoringu ČOV

Prítok	Projekt	Etapa I. (priemer + rozsah)	Etapa II. (priemer + rozsah)
CHSK mg/l	1000	1161 (296 – 4780)	1207 (894 – 2567)
NL mg/l	500	456 (65 – 2190)	404 (277 – 600)
TKN mg/l	120	247 (133 – 420)	289 (201 – 331)
P_{celk} mg/l	-	-	17 (4 – 27)
pH		7,6	6,5 (5,2 – 8,1)
Odtok	Súčasný limit	Etapa I. (priemer + rozsah)	Etapa II. (priemer + rozsah)
CHSK mg/l	35	129 (41 – 326)	132 (42 – 180)
NL mg/l	30	57 (8 – 199)	100 (13 – 340)
pH	6 – 9	6,3 (4,3 – 7,4)	5,8 (4,3 – 7)
$\text{NH}_4\text{-N}$ mg/l	-	34 (7 – 62)	60 (40 – 89)
$\text{NO}_3\text{-N}$ mg/l	-	67 (44 – 94)	77 (47 – 108)
$\text{NO}_2\text{-N}$ mg/l	-	0,2 (0,1 – 30)	0,5 (0,1 – 1)
$\text{PO}_4\text{-P}$ mg/l	-	-	0,4 (0,2 – 0,6)

Hlavné závery z monitoringu a odporúčania pre ďalšie overenie

Kvalita vyčistenej vody (Tab. 1) nedosahovala požadovanú kvalitu ani v jednom z ukazovateľov (CHSK = 35 mg/l, NL = 30 mg/l). Zároveň ale treba upozorniť, že účinnosti boli relatívne vysoké (na úrovni 90 % účinnosť odstránenia CHSK v priemere). Z toho vyplýva, že ČOV funguje, akurát nedosahuje mimoriadne prísne limity, ktoré sú na úrovni požiadaviek na kvalitu samotných povrchových vôd na Slovensku. Ak ide o kvalitu surovej odpadovej vody (Tab. 1), možno konštatovať, že ani zďaleka nie je typická pre splašky, pričom najmä koncentrácie dusíka TKN ($N_{\text{amon}} + N_{\text{org}}$) sú mimoriadne vysoké (247 a 289 vers. 120 mg/l). Organické ukazovatele CHSK, NL sú na úrovni projektovaného znečistenia a aj P_{celk} je na úrovni hodnôt pre koncentrované splašky, ale TKN je 2 až 2,3 krát vyššie ako projektovaná hodnota. Tento parameter bol v procese projektovania podhodnotený (čo ale s odstupom času evidujeme aj na iných týchto ČOV, kde sa projektanti nedostali k reálnym hodnotám tohto ukazovateľa, lebo sa mu nevenovala náležitá pozornosť). Odpadové vody z priemyselného parku mali pomer CHSK : TKN = 4,2 – 4,7 resp. CHSK : P = 71. Pomer CHSK : TKN pri typických splaškoch by mal byť cca 8 – 12 a CHSK : P by mal byť cca 70. Pomer TKN : P bol 17 a pre splašky by mal byť cca 5 – 6. Všetky tieto čísla potvrdzujú výrazný nadbytok dusíka, resp. žltých vôd s dominantným znečistením vo forme amoniaku v spojení s absenciou šedých vôd. Nitrifikácia tak vysokých koncentrácií N_{amon} môže byť nielen inhibovaná „substrátom“, ale aj spojená s významným poklesom pH (pH v odtoku bolo napriek neúplnej nitrifikácii na úrovni 6,3 resp. 5,8), čo môže mať za následok ďalšiu inhibíciu procesov a z dlhodobého hľadiska aj riziko korózie.

Keďže k požadovanej extrémnej odtokovej hodnote CHSK = 35 mg/l sa nebolo možné ani priblížiť (Tab. 1: 129 – 132 vers. 35 mg/l), navrhlo sa v etape II. dávkovanie Fe^{3+} do SBR reaktora s aktivovaným kalom za účelom zlepšenia odstraňovania CHSK simultánnou koaguláciou. Dávka Fe^{3+} bola nastavená na bežnú hodnotu 70 mg/l (0,5 l koagulantu na m^3 odpadovej vody) (Boďík a kol., 2016). Účinok koagulácie bol však minimálny. K tomuto výsledku jednak prispievala opakovaná absencia terciárnej filtrácie (problémy s vyplavovaním pieskovej náplne), ale problém bol najmä

v tom, že dávkovanie Fe^{3+} do aktivácie vyzrážalo takmer všetky $\text{PO}_4\text{-P}$ a táto živina nebola k dispozícii na asimiláciu biomasy. Navyše sa ešte viac znížilo aj pH (5,8; rozsah 4,3 – 7).

Vysoké dávky, resp. ešte ďalšie zvýšenie dávok koagulačného činidla priamo do aktivácie už môžu byť kontraproduktívne, a preto sa navrhlo zaradené dávkovanie Fe^{3+} koagulantu až do vyrovnávacej nádrže za aktiváciu (pred terciárne pieskové filtre). Zároveň sa odporúčala konštantná prevádzka pieskových filtrov a na neutralizáciu kyslého pH spôsobeneho nitrifikáciou v aktivácii aj dávkovanie NaOH. Tieto opatrenia sa laboratórne overili s cieľom zistiť, či jednak zvýšené pH a $\text{PO}_4\text{-P}$ v aktivácii nezvýšia účinnosť samotného biologického odstraňovania CHSK a ako zaradená koagulácia dokáže zredukovať odtokovú CHSK.

Takisto bolo prevádzkovateľovi ČOV odporúčané požiadať o zmenu odtokových limitov podľa požiadaviek slovenskej legislatívy na tzv. „dosiahnuteľné hodnoty koncentrácií ukazovateľov znečistenia pri použití dostupných technológií bez nadmerných finančných nákladov“ (podľa Metodického usmernenia MŽP SR k NV SR 269/2010 z roku 2012). Podľa tohto predpisu je možné čistiť odpadovú vodu na kvalitu CHSK = 90 mg/l, NL = 25 mg/l, $\text{NH}_4\text{-N}$ = 15 mg/l. Je zrejmé, že na splnenie týchto limitov bude potrebné nielen odstraňovať CHSK, ale zintenzívniť aj proces nitrifikácie. Pre efektívnejšiu nitrifikáciu bude ale potrebné dávkovať NaOH, resp. vápno priamo do aktivácie.

Výsledky laboratórneho overenia uvedených opatrení sú v Tab. 2 a 3. Zároveň sa okrem zaradenej koagulácie overila aj zaradená adsorpcia s AC ako síce drahší, ale maximálne účinný spôsob terciárneho dočistenia.

Odpadová voda na laboratórne testy bola reálna voda z prítoku do ČOV v priemyselnom parku. Testovalo sa čistenie koncentrovanej odpadovej vody s priemernou CHSK = 1860 mg/l (Tab. 2), resp. menej koncentrovanej odpadovej vody s priemernou CHSK = 1200 mg/l (Tab. 3).

Tabuľka 2: Odpadová voda s vysokou koncentráciou znečistenia v prítoku (voda produkovaná hlavne v pondelky) – uvedené sú priemerné hodnoty, v prípade odtoku aj rozsahy. Kvalita odtoku sa neporovnáva s aktuálnymi limitmi, ale s limitmi podľa Metodického usmernenia MŽP SR k NV SR 269/2010 z roku 2012

	Prítok	Požadovaný limit	Odtok _{BS}	Odtok _{BS_{pH}}	Odtok _{BS_{pH}+TKF}
CHSK mg/l	1860	90	292 (281 – 309)	274 (243 – 306)	113 – 136
NL mg/l	585	25	115 (76 – 150)	117 (83 – 160)	12 – 19
pH	8,0		4,4 (4,3 – 4,5)	7,5 (7,4 – 7,7)	6,5
TKN mg/l	245				
$\text{NH}_4\text{-N}$ mg/l	172	15	25 (18 – 31)	3,3 (1,4 – 5)	3,0
$\text{NO}_3\text{-N}$ mg/l	-		128 (102 – 153)	129 (102 – 140)	125
$\text{PO}_4\text{-P}$ mg/l	-		5 (4,6 – 5,2)	4,8 (4,5 – 5,2)	0,1 – 0,3

BS – biologický stupeň bez regulácie pH (dlhodobý experiment v laboratórnom SBR modeli); BS_{pH} – biologický stupeň s regulovaným pH (prídavky NaOH na ca. 7,5); TKF – terciárna koagulácia + filtrácia (40 % FeCl_3 , dávky 0,3 – 0,6 ml/l; najlepšie výsledky dosiahnuté pri koagulácii s pH = 6,5); koncentrácia kalu v BS na úrovni 5,0 – 6,0 g/l

Tabuľka 3: Odpadová voda s priemernou koncentráciou znečistenia v prítoku (voda produkovaná hlavne v utorky až piatky) – uvedené sú priemerné hodnoty, v prípade odtoku aj rozsahy. Kvalita odtoku sa neporovnáva s aktuálnymi limitmi, ale s limitmi podľa Metodického usmernenia MŽP SR k NV SR 269/2010 z roku 2012

	Prítok	Požadovaný limit	Odtok _{BSpH}	Odtok _{BSpH+TKF}	Odtok _{BSpH+ACF}
CHSK mg/l	1200	90	157 (131 – 183)	75 – 83	41 – 67
NL mg/l	335	25	62 (50 – 72)	10 – 15	10 – 14
pH	7,8		7,5 (7,4 – 7,7)	6,5	8
TKN mg/l	155				
NH ₄ -N mg/l	106	15	1,2 (1,1 – 1,3)	1,2	
NO ₃ -N mg/l	-		83	80	
PO ₄ -P mg/l	-		4,8 (4,5 – 5,2)	4,8	

BS_{pH} – biologický stupeň (dlhodobý experiment v laboratórnom SBR modeli) s regulovaným pH (prídavky NaOH na cca 7,5); TKF – terciárna koagulácia + filtrácia (40 % FeCl₃, dávky 0,3 – 0,6 ml/l; najlepšie výsledky dosiahnuté pri koagulácii pH 6,5; ACF – terciárna adsorpcia s aktivovaným kalom + filtrácia; koncentrácia kalu v BS na úrovni 5,7 – 6,5 g/l

Z výsledkov pre koncentrovanejšiu odpadovú vodu (CHSK prítok 1860 mg/l; Tab. 2) vyplýva, že CHSK pod 90 mg/l sa nedá dosiahnuť ani samotnou aktiváciou (pozri hodnoty 292 mg/l pre Odtok_{BS} a 274 mg/l pre Odtok_{BSpH}), ani aktiváciou spojenou s terciárnou koaguláciou a filtráciou (pozri hodnoty 113 – 136 mg/l pre Odtok_{BSpH+TKF}). Nitrifikácia v aktivácii pod hodnotu NH₄-N = 15 mg/l sa dá dosiahnuť, ale potrebné je dávkovanie hydroxidu na pH = 7,5 (pozri 25 mg/l pre Odtok_{BS} a 3,3 mg/l pre Odtok_{BSpH}). Bez dávkovania NaOH pH klesalo vplyvom nitrifikácie až na 4,4 a to je problém nielen kvôli obmedzenej nitrifikácii, ale aj kvôli riziku korózie (pozri Odtok_{BS}). Denitrifikácia v aktivácii prebiehala, čo potvrdzuje pokles dusíka z prítoku TKN = 245 mg/l na 153 mg/l (25 NH₄-N + 128 NO₃-N) vo vzorke Odtok_{BSpH}, resp. na koncentráciu 132,3 mg/l (3,3 NH₄-N + 129 NO₃-N) vo vzorke Odtok_{BSpH}. Čiastočné zvýšenie účinnosti denitrifikácie a zároveň aj pH by sa mohlo dosiahnuť predĺžením doby miešania na úkor aerácie, ale je tu riziko, že nitrifikácia pod 15 mg/l bude ohrozená.

Koagulačné testy potvrdili, že najúčinnější koagulácia bola pri pH upravenom na 6,5 (koagulácia účinnejšia ako pri pH upravenom na 8,5 alebo pri neupravenom pH 3,4 – 3,6). Parameter pH počas koagulácie je nutné upravovať, pretože po nadávkovaní 0,3 – 0,6 l/m³ koagulantu pH klesne až na 3,4 – 3,6, čo je korozívne pre technológiu ČOV a neakceptovateľné pre vypustenie do recipientu. Najúčinnější koagulácia sa dosiahla pri dávke 0,6 l/m³.

Hlavný poznatok z tejto časti experimentu (Tab. 2) je, že CHSK pod 90 mg/l sa pri koncentrovanejšom prítoku nedosiahne a nitrifikácia pod 15 mg/l sa dosiahne, ale nutná je regulácia pH v aktivácii. Neutrálne pH zároveň eliminuje riziko korózie v aktivácii a v bufferi.

Z výsledkov pre menej koncentrovanú vodu s CHSK na úrovni projektu (CHSK prítok 1200 mg/l; Tab. 3) vyplýva, že CHSK pod 90 mg/l sa nedá dosiahnuť samotnou aktiváciou (pozri hodnotu 157 mg/l pre Odtok_{BSpH}), ale terciárna koagulácia s filtráciou to už dokáže (pozri hodnotu 75 – 83 mg/l pre Odtok_{BSpH+TKF}). Nitrifikácia v aktivácii pod NH₄-N = 15 mg/l nie je problém pri dávkovaní hydroxidu na pH = 7,5 (pozri 1,2 mg/l pre Odtok_{BSpH}). Denitrifikácia v aktivácii takisto prebiehala (pokles dusíka z prítoku v prípade TKN = 155 mg/l na 84,2 mg/l; 1,2 NH₄-N + 83 NO₃-N). Takisto platí, že čiastočné zvýšenie účinnosti denitrifikácie a pH by sa mohlo dosiahnuť predĺžením doby miešania, ale s rizikom, že nitrifikácia pod 15 mg/l bude ohrozená.

Koagulačné testy takisto ako v Tab. 2 potvrdili, že najúčinnější koagulácia bola pri pH upravenom na 6,5. V prípade menej koncentrovanej vody boli dávky koagulantu nižšie (rovnaká účinnosť koagulácie sa dosiahla pri dávke 0,3 aj 0,6 l/m³).

Hlavný poznatok z tejto časti experimentu (Tab. 3) je, že CHSK pod 90 mg/l sa pri menej koncentrovanej prítoku dosiahne. Rovnako sa dosiahne aj nitrifikácia pod 15 mg/l, ale nutná je regulácia pH v aktivácii. Neutrálne pH zároveň eliminuje riziko korózie v aktivácii a v terciárnom stupni.

Zaujímavým doplnením poznania sú výsledky adsorpčných testov, ktoré už boli realizované len s menej koncentrovanou a častejšie sa vyskytujúcou odpadovou vodou (pozri $Odtok_{K_{BSPH+ACF}}$ v Tab. 3). Tento spôsob terciárneho dočistenia je účinnejší ako koagulácia, ale zároveň je drahší. Dosiahnuté CHSK 41 až 67 mg/l sú síce bezpečne pod navrhovaný limit 90 mg/l, ale ani tento spôsob dočistenia neznižuje CHSK pod súčasný limit 35 mg/l (35 mg/l je neopodstatnený extrém!). Zároveň z bilancie kapacity AC a množstva odstránenej CHSK vyšlo, že AC by bolo potrebné regenerovať každé 3 týždne.

4 Záver

Monitoring reálnej ČOV nachádzajúcej sa v priemyselnom parku a laboratórne modelovanie biologického čistenia, zaradenej koagulácie s Fe^{3+} a zaradenej adsorpcie s AC prinieslo nasledovné závery:

- kvalita vyčistenej vody sa ani trochu nepribližuje ku kvalite, ktorá je v súčasnosti požadovaná rozhodnutím (CHSK = 35 mg/l, NL = 30 mg/l), aj keď účinnosti čistenia v aktivácii sú relatívne vysoké (89 % odstránenie CHSK),
- kvalita odpadovej vody nie je typická pre splašky, pričom najmä koncentrácie dusíka TKN ($NH_4-N + N_{org}$) sú mimoriadne vysoké (nadbytok tzv. žltých vôd),
- problémom je aj nízke pH v aktivácii ako dôsledok nitrifikácie a s tým súvisiaca inhibícia procesov a potenciálna korózia (dávkovanie hydroxidu bude potrebné),
- v laboratórnom modeli semikontinuálnej aktivácie sa zistilo, že dostať sa s CHSK pod 90 mg/l v samostatnom biologickom stupni je nemožné a na ďalšiu redukciu CHSK je nutné chemické dočistenie (adsorpcia s AC je účinnejšia, ale koagulácia s Fe^{3+} a filtrácia postačujú). Pod súčasný limit 35 mg/l sa nedostane ani koagulácia, ani adsorpcia.

Pre ďalšiu optimalizáciu prevádzky ČOV bolo navrhnuté:

- zmeniť Rozhodnutie a CHSK = 35 mg/l upraviť na CHSK = 90 mg/l a $NH_4-N = 15$ mg/l
- v technológii urobiť také úpravy, aby sa v aktivácii regulovalo nízke pH spôsobené intenzívnou nitrifikáciou a sprevádzkovala sa kontinuálna terciárna koagulácia s Fe^{3+} a piesková filtrácia.

5 Pod'akovanie

Príspevok vznikol s podporou projektu VEGA 1/0772/16 Vedeckej grantovej agentúry SR a projektu Mladý výskumník: „Možnosti odstraňovania a opätovného získavania fosforu z odpadových vôd“.

6 Zoznam literatúry

Bodík I. a kol. (2016). *Laboratórium odboru II – environmentálne technológie*. FCHPT STU, Bratislava.

Drtil M., Hutňan M. (2007). *Technologický projekt*. FCHPT STU, Bratislava.

Henze M., Comeau Y. (2008). *Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design*. Wastewater characterization. IWA Publishing, London.

Horáková M. a kol. (2015). *Analytika vody*. VŠCHT Praha.

Chudoba J. a kol. (1991). *Biologické čištění odpadních vod*. SNTL, Praha.

Metodické usmernenie k Nariadeniu vlády 269/2010 – dodatok č.1; November 2012.

Nariadenie vlády SR č. 269/2010 Z.z, ktorým sa ustanovujú požiadavky na dosiahnutie dobrého stavu vôd.

Abstract

On the present industrial parks with manufacturing halls are built in many regions of Slovakia. Mostly they are situated out of municipalities and their own wastewater treatment (often with strict demands on water quality) is necessary. Wastewater from the parks is declared to be a sewage wastewater (separated from industrial wastewater) and so the treatment looks to be simple and easy (mostly biological treatment in activated sludge system with aerobic digestion). However, „sewage is not always a sewage“. In a case that the park involves only manufacturing halls, the main content of the wastewater is urine and wastewater contains very high concentration of ammonium and low ratio COD:ammonium. This paper introduces results from monitoring of such WWTP and from laboratory experiments realized with the aim to increase the treatment efficiency.

WWTP in industrial park contains: pumping station + screens + grit chamber + 2 parallel activated sludge reactors (2x50 m³; SBR reactors feeded 4 times a day, with intermittent aeration 2 h aeration + 1 h mixing) + buffer tank for treated wastewater. Current demands on effluent are extremely strict: COD = 35 mg/l, BOD₅ = 7 mg/l, SS = 30 mg/l. Average inflow is 53 m³/d (39 – 64 m³/d).

Possibilities of biological treatment connected with post treatment (coagulation, filtration, adsorption) were tested in laboratory models feeded with real wastewater from industrial park.

Monitoring of WWTP

WWTP was monitored in 2 stages: stage I. (I - VIII/2018; treatment without continuous dosing of Fe) and stage II. (IX - XII/2018; treatment with continuous dosing of Fe into biological stage):

Table 1: Results from monitoring of WWTP

Influent	Design value	Stage I (average+range)	Stage II (average+range)
COD mg/l	1000	1161 (296 – 4780)	1207 (894 – 2567)
SS mg/l	500	456 (65 – 2190)	404 (277 – 600)
TKN mg/l	120	247 (133 – 420)	289 (201 – 331)
P _{total} mg/l	-	-	17 (4 – 27)
pH		7,6	6,5 (5,2 – 8,1)
Effluent	Limit	Stage I (average+range)	Stage II (average+range)
COD mg/l	35	129 (41 – 326)	132 (42 – 180)
SS mg/l	30	57 (8 – 199)	100 (13 – 340)
pH	6 – 9	6,3 (4,3 – 7,4)	5,8 (4,3 – 7)
NH ₄ -N mg/l	-	34 (7 – 62)	60 (40 – 89)
NO ₃ -N mg/l	-	67 (44 – 94)	77 (47 – 108)
NO ₂ -N mg/l	-	0,2 (0,1 – 30)	0,5 (0,1 – 1)
PO ₄ -P mg/l	-	-	0,4 (0,2 – 0,6)

Conclusion of monitoring and proposals of WWTP upgrade:

- TKN in influent is very high (more than 2x higher compared to the design value)
- This parameter was in design process underestimated (ratio BOD₅:TKN = 1,5 – 1,7)
- organic pollution in influent corresponds with the design values, but concentration range is high
- nitrification with denitrification is running; however, as a result pH drops to 5,8 – 6,3 (or lower)
- Dosing of lime was not designed (because the TKN was assumed to be much lower)
- in existing WWTP it is not possible to reach effluent limit for COD (35 mg/l is extremely low)

- in stage II. Fe^{3+} (42 – 70 mg/l) was dosed into activated sludge reactor to improve COD removal by coagulation. Effect was negligible. Possible explanation is that Fe precipitated almost all $\text{PO}_4\text{-P}$ and this nutrient was not available for biomass assimilation. In addition pH was further decreased.

Following measures for WWTP upgrade were proposed:

- re-evaluation of effluent limits; according to "BAT principle" in current slovak legislation COD = 90 mg/l, SS = 25 mg/l, $\text{NH}_4\text{-N}$ = 15 mg/l is available
- to fulfil the limits improvement of COD removal and nitrification will be still necessary
- for more efficient COD removal tertiary (after biological treatment) coagulation with Fe + sand filtration, resp. adsorption with activated carbon + filtration were proposed. For more efficient nitrification dosing of lime directly into biological stage was proposed. Effect of the measures was verified in laboratory models with following results:

Table 2: Wastewater with peak concentration (produced mainly on Mondays) - average values:

	Influent	Limit	Effluent _{BS}	Effluent _{BSpH}	Effluent _{BSpH+TCF}
COD mg/l	1860	90	292 (281 – 309)	274 (243 – 306)	113 – 136
SS mg/l	585	25	115 (76 – 150)	117 (83 – 160)	12 – 19
pH	8,0		4,4 (4,3 – 4,5)	7,5 (7,4 – 7,7)	6,5
TKN mg/l	245				
$\text{NH}_4\text{-N}$ mg/l	172	15	25 (18 – 31)	3,3 (1,4 – 5)	3,0
$\text{NO}_3\text{-N}$ mg/l	-		128 (102 – 153)	129 (102 – 140)	125
$\text{PO}_4\text{-P}$ mg/l	-		5 (4,6 – 5,2)	4,8 (4,5 – 5,2)	0,1 – 0,3

Table 3: Wastewater with average conc. (produced mainly on Tuesday - Friday) - average values:

	Influent	Limit	Effluent _{BSpH}	Effluent _{BSpH+TCF}	Effluent _{BSpH+ACF}
COD mg/l	1200	90	157 (131 – 183)	75 – 83	41 – 67
SS mg/l	335	25	62 (50 – 72)	10 – 15	10 – 14
pH	7,8		7,5 (7,4 – 7,7)	6,5	8
TKN mg/l	155				
$\text{NH}_4\text{-N}$ mg/l	106	15	1,2 (1,1 – 1,3)	1,2	
$\text{NO}_3\text{-N}$ mg/l	-		83	80	
$\text{PO}_4\text{-P}$ mg/l	-		4,8 (4,5 – 5,2)	4,8	

BS - biological stage (continuous experiment in lab SBR); BSpH - biological stage with regulated pH; TCF - tertiary coagulation + filtration (40 % FeCl_3 doses 0,3 – 0,6 ml/l; the best results reached at coagulation pH 6,5, ACF - tertiary adsorption with activated sludge + filtration (AC doses 166 g/l); TCF and ACF realized as batch tests;

Conclusion

- upgrade of technology is necessary to reach effluent COD = 90 mg/l and $\text{NH}_4\text{-N}$ = 15 mg/l
- tertiary coagulation with Fe^{3+} and sand filtration and dosing alkaline agent are proposed