

Aproximácia kritických teplotných období v aktivačnej nádrži polynómom 10. rádu

Eliška Horniaková¹ a Milan Búgel²

A fitting of critical temperature periods in the aeration tank by the polynomial of 10th order

The article deals with processes occurring in the aeration tank to remove nitrogen from organic substances in wastewater by using bacteria. For an effective grow, the reproduction and metabolism, the temperature above 10 °C is needed but the ideal temperature is from 20 to 30 °C. An intensive cold reduces or even stops the activity of the bacteria but heating of the aeration tank prevents undercooling.

The fitting of temperature of the slurry in activated tank may predicate on set of heating of suspension in the tank in a critical time.

Key word: aeration tank, bacterium, nitrification, denitrification, temperature of atmosphere, temperature of wastewater

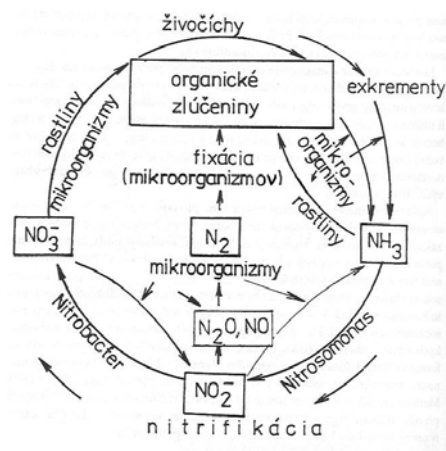
Úvod

Zimy na Slovensku bývajú stále teplejšie, ale napriek tomu mávajú Čistiarne komunálnych odpadových vôd prevádzkované vo väčších mestách, problémy s biologickým stupňom čistenia. Jedna z týchto čistiarní je aj pri Košiciach, odkiaľ sú získavané merané údaje.

Biologický stupeň čistenia

V aktivačnej nádrži v biologickom stupni čistenia sú mikroorganizmami hlavne baktériami, z odpadovej vody odstraňované organické a anorganické rozložiteľné látky. Biologický stupeň je tvorený:

- aktivačnou nádržou rozdelenou na časť:
 - o nitrifikačnú,
 - o denitrifikačnú,
- regeneračnou nádržou.



Obr. 1. Dusíkový cyklus prebiehajúci v prírodnom prostredí a v aktivačnej nádrži.

Fig. 1. Nitrogen cycle in the natural environment and in the activation tank.

V aktivačnej nádrži dochádza k odstraňovaniu organických a anorganických rozložiteľných látok pomocou metabolizmu mikroorganizmov. V regeneračnej nádrži sa tieto mikroorganizmy regenerujú, čiže hladujú, aby boli schopné svojím metabolizmom naďalej rozkladať aktivovaný kal v nádrži.

Nitrifikačné baktérie sú litotrofné, aeróbne a ich rastová rýchlosť a tým aj ich metabolizmus závisí od teploty kalu v aktivačnej nádrži. Optimálna teplota je 28-32 °C. Ak teplota kalu klesne pod 10 °C je nitrifikácia veľmi pomalá a pod 5 °C sa takmer zastaví a môže dôjsť k hromadeniu dusitanov.

Denitrifikačné baktérie sú organotrofné, anoxické a na svoj metabolizmus využívajú kyslík z dusičnanov a dusitanov. V tejto časti nádrže sa kal neprevzdušňuje, ale sa mieša. Metabolizmus organotrofných baktérií [1, 2, 3, 7] využíva dusík dvoma spôsobmi:

- asimiláciou - syntézou bunkovej hmoty,
- disimiláciou - dusíkovou respiráciou, keď miesto kyslíka využívajú dusík na „dýchanie“, ako akceptor elektrónov.

¹ Ing. Eliška Horniaková, externá doktorandka F BERG TU v Košiciach, eliska.horniakova@tuke.sk

² doc. Ing. Milan Búgel, CSc., Ústav montážnych vied a ochrany životného prostredia, F BERG TU v Košiciach.

(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 5. 6. 2008)

Chemické zloženie suspenzie v aktivačnej nádrži sa mení nielen v dôsledku metabolizmu mikroorganizmov, ale aj s meniacim sa chemickým zložením pritekajúcej odpadovej vody. Toto chemické zloženie sa mení jednak počas dňa, podľa denného režimu obyvateľov mesta ktorému patrí čistiareň, ale aj sezónne. Podľa toho aké je ročné obdobie, aké sú momentálne poveternostné podmienky. Niekedy je v kanalizácii viac tukov – nielen z domácností a jedální, ale aj viac saponátov [15]. V období topenia snehu steká do kanalizácie aj soľ, ktorou sa robí zimná údržba ciest. Košice ležia pri rieke Hornád a v čase jarných a letných záplav sa do kanalizácie môže dostať aj voda z rieky. Mikroorganizmy sú adaptované na podmienky denného kolísania chemického zloženia. Nezvládajú však záplavy a obdobie topenia snehu. V našich podmienkach sa zimná údržba ciest robí prevažne solením [4, 6, 16-18] zmesou inertného materiálu s NaCl. Do kanalizácie a následne aj do aktivačnej nádrže steká studená a chemickým zložením zmenená odpadová voda, dochádza k chemickému a teplotnému šoku mikroorganizmov [6, 11-14], ktorému je možné zabrániť.

Ohrev

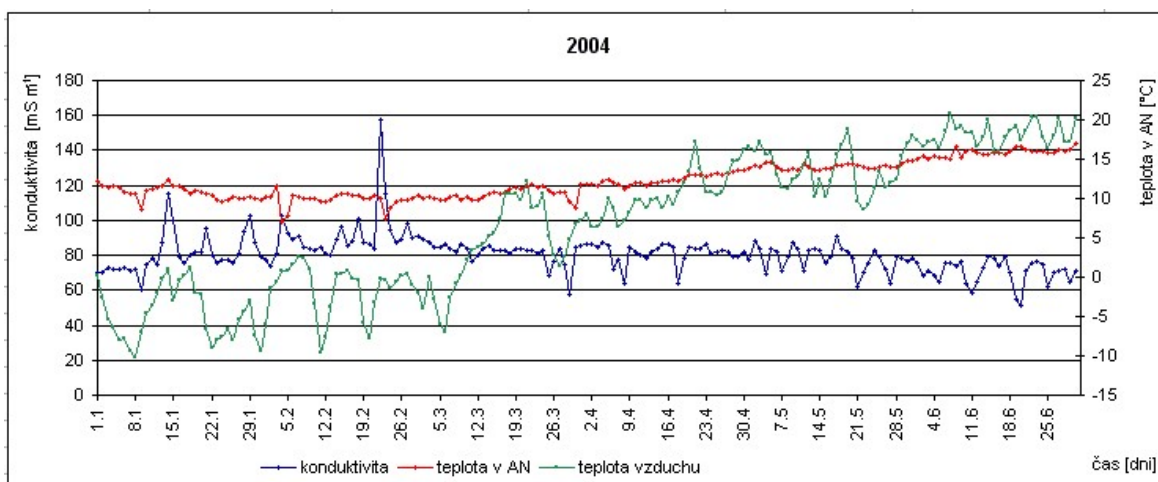
Jedným z možných riešení, aby sa zabránilo podchladeniu a aj odumieraniu nitrifikačných mikroorganizmov je ohrev. Bolo by vhodné ohrievať aktivačnú a regeneračnú nádrž, ktoré musia byť prepojené vnútornou recirkuláciou kalu tak, aby bol dodržaný režim feast/famine najvhodnejší pre maximálnu účinnosť čistenia odpadových vôd mikroorganizmami. V čistiarni je meraná teplota ovzdušia, a niekoľkokrát na rôznych miestach je meraná aj teplota pritekajúcej vody a kalu. Kedy začať s ohrevom, aby sa zvýšila teplota suspenzie v biologickom stupni čistenia je možné zistiť predikciou teploty v aktivačnej nádrži. O koľko hodín je nutná predikcia vyplýva z účinnosti zariadenia použitého na ohrev a zo spôsobu ohrevu.

Výber a spracovanie údajov

Údaje boli merané v aktivačnej nádrži pomocou kyslíkovej sondy TriOxmatic 700, ktorá slúži na meranie BSK (biologickej spotreby kyslíka) a má zabudované aj čidlo na nepretržité meranie teploty suspenzie v nádrži.

Interval merania bol tretina sekundy. Namerané údaje boli následne prefiltrované tak, aby bol interval merania raz za hodinu. S týmto intervalom merania boli spracované údaje za rok 2004 a 2006. Zaznam teploty v roku 2005 bol len raz denne a tento interval merania údajov je pre modelovanie teploty a jej následnú predikciu nepostačujúci.

Teploty zaznamenané raz za deň počas celého roka 2004 boli vykreslené do grafu (Obr. 2) a z nich boli vybraté kritické obdobia pre nitrifikačnú časť aktivačnej nádrže.



Obr. 2. Namerané údaje teploty, konduktivity v aktivačnej nádrži a teploty vzduchu za prvý polrok 2004.

Fig. 2. Measured temperature data, conductivity in the activation tank and the temperature of air during the first half-year 2004.

Po vykreslení nameraných teplôt v kritických obdobiach 19-21. a 23-25. februára, 31-1. apríla 2004 a 22-26. januára 2006 (obr. 3, 4, 5, 6.) bola na modelovanie zvolená nelineárna regresná krivka [20-24], ktorú najlepšie vystihoval polynóm

$$y_i = a_0 + a_1 \cdot x_i + a_2 \cdot x_i^2 + a_3 \cdot x_i^3 + a_4 \cdot x_i^4 + a_5 \cdot x_i^5 + a_6 \cdot x_i^6 + a_7 \cdot x_i^7 + a_8 \cdot x_i^8 + a_9 \cdot x_i^9 + a_{10} \cdot x_i^{10} \quad (1)$$

kde x_i - čas [h],

y_i - nameraná teplota [$^{\circ}$ C]

$i \in \langle 1; n \rangle$, pričom n je počet hodín za kritické obdobie počítaný od polnoci do polnoci.

Interpoláciou polynómu boli získané rovnice o n neznámych, ktoré je možné vyjadriť formou matice

$$y_i = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & & \ddots & & & \\ \vdots & & & & & \\ a_{i1} & & & a_{ij} & & \vdots \\ \vdots & & & & \ddots & \\ a_{n1} & \dots & & & & a_{nm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_i \\ \vdots \\ x_{n-1} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Parametre matice a_{ij} sú korene jednotlivých rovníc, ktoré boli získané numericky iteračnou metódou delenia intervalu [23, 24].

Pre každý polynóm bol vypočítaný index korelácie pre nelineárne korelačné závislosti podľa vzorca

$$I_{xy} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

pričom \bar{y} - aritmetický priemer,

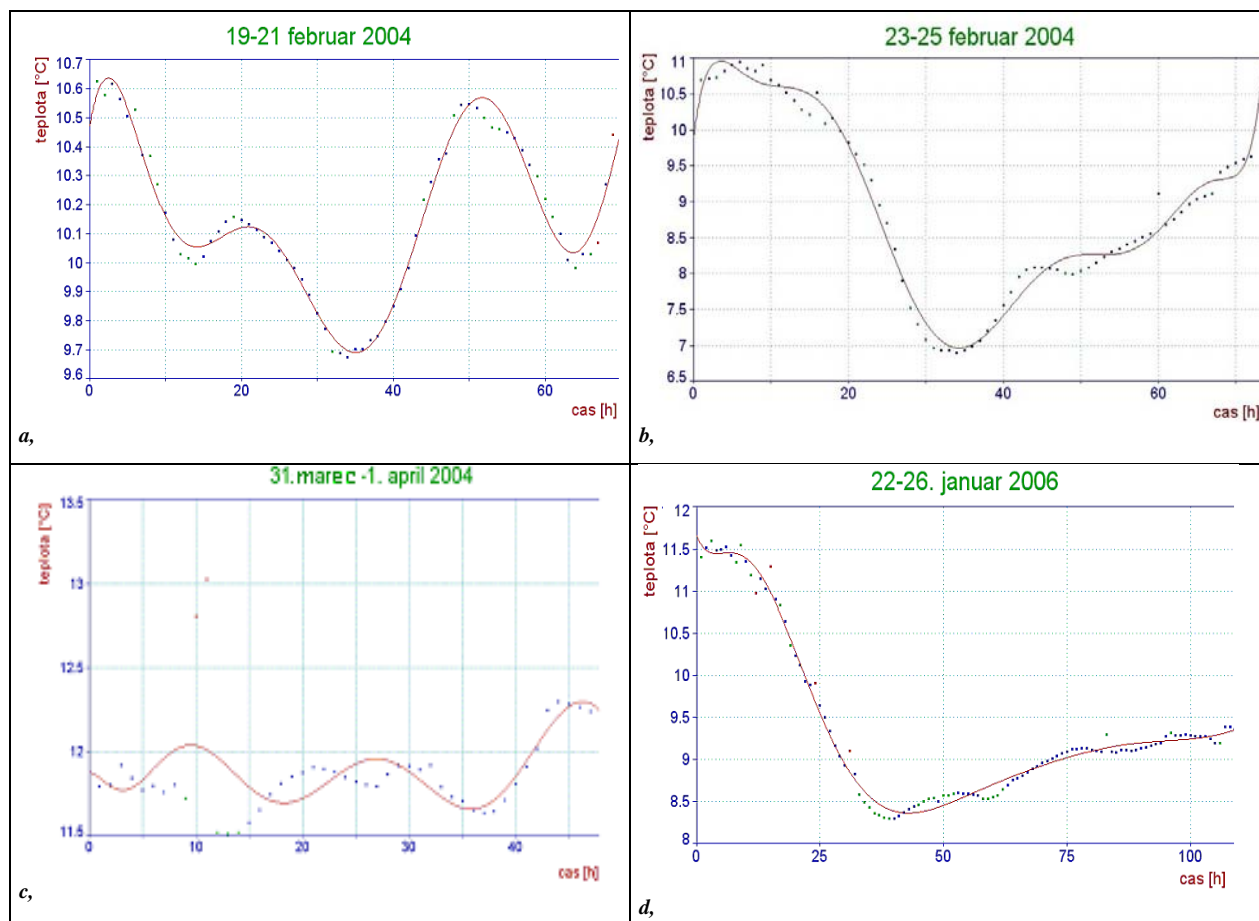
Y_i - vypočítané hodnoty.

Index korelácie $I_{xy} \in \langle 0;1 \rangle$, čím viac sa jeho hodnoty približujú k 1 potom vybratá regresná krivka lepšie aproximuje namerané údaje.

Vypočítané parametre matice sú korene rovníc jednotlivých polynómov ktoré sú uvedené v nasledujúcej tabuľke (Tab. 1).

Tab. 1. Parametre vypočítaných rovníc.
Tab. 1. Parameters of the computed equations.

Parameter	19-21 februar 2004	23-25 februar 2004	31-1 april 2004	22-26 január 2006
a_0	10.47062441	9.894592821	11.87423053	11.66202787
a_1	0.140071913	0.803649107	0.006832990	-0.14816729
a_2	-0.03261937	-0.2141807	-0.05580760	0.035879554
a_3	0.000782236	0.0252728	0.022050229	-0.00370312
a_4	0.000213358	-0.00152378	-0.00335216	0.000169334
a_5	-2.013e-05	4.72277e-05	0.000262875	-4.2863e-06
a_6	8.02722e-07	-6.5432e-07	-1.1899e-05	6.59751e-08
a_7	-1.7348e-08	-7.5021e-10	3.23526e-07	-6.3483e-10
a_8	2.11424e-10	1.40343e-10	-5.2218e-09	3.73696e-12
a_9	-1.3672e-12	-1.6236e-12	4.61634e-11	-1.2316e-14
a_{10}	3.65174e-15	6.12646e-15	-1.724e-13	1.74094e-17
Index korelácie				
	0.9771179911	0.9832750658	0.3555721182	0.9902209152



Obr. 3. Kritické obdobia, bodky sú namerané údaje a červená krivka je vypočítaná pomocou polynómu.
Obr. 3. Critical periods, points are measured data and the red curve is calculated by using a polynomial.

Záver

Pre aproximáciu polynómom 10. stupňa je možné konštatovať, že pre zimné teplotné podmienky v aktivačnej nádrži v roku 2004 a 2006 je tento polynóm vyhovujúci - index korelácie = 0,9. Pre jarné obdobie 31. marca až 1. apríla už tento polynóm dostatočne nepopisuje namerané údaje (Tab. 1). Počas jarných mesiacov sa zvýšila teplota suspenzie v aktivačnej nádrži nad 10 °C, mikroorganizmy v aktivačnej nádrži nie sú podchladené a tak nie je potrebný ohrev vody v aktivačnej a regeneračnej nádrži.

Je možné prijať hypotézu, že aproximácia teploty suspenzie v aktivačnej nádrži pomocou polynómu je jedným z možných vyhovujúcich riešení.

Literatúra – References

- [1] Droste, R. L.: Theory and practice of water and wastewater treatment, *John Wiley & Sons, Inc., Canada 1997, ISBN 0-471-12444-3.*
- [2] Chudoba, J., Dohányos, M., Wanner, J.: Biologické čistení odpadných vod, *STNL Praha, 1991, ISBN 80-03-00611-2.*
- [3] Tuček, F., Chudoba, J., Koníček, Z.: Základní procesy a výpočty v technologii vody, *STNL Praha, 1988.*
- [4] Zekeová, Nanáčková: Vplyv solnatosti na čistenie odpadových vôd aktivovaným kalom, *Výskumný ústav vodného hospodárstva Bratislava 1976, s 76.,71-041-76.*
- [5] Pietriková, A., Búgel, M., Neubauer, M.: Environmentálny spôsob zimnej údržby komunikácií na báze MgCl₂, *Silniční obzor, roč. 66, 10/2005, str. 263-269.*
- [6] Buday, J.: Intenzifikácia procesov odstraňovania dusíka z odpadových vôd – substrátová a produktová inhibícia nitrifikácie, *Výskumný ústav vodného hospodárstva Bratislava 2002, ISBN 80-89062-06-7.*

- [7] Všeobecné informácie o čistení odpadových vôd. [on line]. 9- 2-2007: <http://www.fonhit.sk/infoocov.htm>
- [8] Bak, S. N., la Cour Jansen, J.: Temperature effect on biological nitrogen removal, *Baltic sea environment proceedings, No. 36, Seminar on nutrients removal from municipal wastewater, 4-6. 9. 1989, Tampere Finland.*
- [9] la Cour Jansen, J.: Nutrient removal at low temperatures Danish experience, *Baltic sea environment proceedings, No. 30, 2nd. Seminar on wastewater treatment in urban areas Tampere Finland.*
- [10] Wilderer, P. A.: Effects of low temperature on nitrogen removal processes, *Baltic sea environment proceedings, No. 30, 2nd. Seminar on wastewater treatment in urban areas Tampere Finland.*
- [11] Strom, P.F., Matulewich, V. A., Finstein, M. S.: Concentration of nitrifying bacteria in sewages, effluents, and a receiving stream and resistance of these organism to chlorination, *Applied and environmental microbiology, may.1976, p. 731-737.*
- [12] Boltzanskaya, Yu. V., Antipov, A. N., Kolganova, T. V., Lysenko, A. M., Kostrikina, N. A., Zhilina, T. N.: Halosomonas campisalis, an obligatory alkaliphilic, nitrous oxide-reducing denitrifier with a molybdenum cofactor – lacking nitrate reductase, *Microbiology vol. 73, 3/2004, p. 271-278, Springer Science+Business Media LLC., ISSN 1608-3237.*
- [13] Kargi, F., Dincer, A. R.: Effect of sludge recycle on performance of a biodisc contactor treating saline wastewater, *Bioprocess and biosystems engineering, springer Berlin Heidelberg vol. 18 3/1998, ISSN 1615 – 7605, p. 235-239.*
- [14] Kargi, F., Uygur, A.: Improved nutrient removal from saline wastewater in an SBR by Halobacter supplemented activated sludge, *Environmental engineering science vol 22, 2/2005, cit. 13. 6. 2007, <http://www.liebertonline.com/na101/home/literatum/publisher/mal/journals/productions...>*
- [15] Plotený, K.: Vliv desinfekčních a čistících prostředků na funkci biologické čistírny odpadních vod, *Komunální vody – část 4.*
- [16] Road & Sidewalk Salt FAQs, *cit. 14. 6. 2007, http://www.mortonsalt.com/faqs/road_sidewalk_faq.html*
- [17] Using salt and sand for winter road maintenance, *Wisconsin transportation bulletin No. 6, august 2005, cit 20. 6. 2007, <http://tic.egr.wisc.edu>*
- [18] Technológie zimnej údržby na diaľniciach a rýchlostných cestách vo vlastníctve NDS, *16. 6. 2007, [www.ssc.sk/user/view_page.php?page_id=448 - 20k](http://www.ssc.sk/user/view_page.php?page_id=448-20k)*
- [19] Bouldin, D., R.: Chloride in Fall Creek as influenced by road salt, *Crop and soil science, CALS 23. 5.2005, Cornell University in Ithaca New York.*
- [20] Vítek, V.: Modelovanie a simulácia systémov, *Edičné stredisko VŠT v Košiciach, 1985, ISBN 85-604-85.*
- [21] Leško, M.: Maticové modely technologických systémov, *vyd. Štrofek, 1998, ISBN 80-88896-18-5.*
- [22] Jungblut, J., Sievers, M., Vogelpohl, A., Bracio, B.R., Miiller, D.P.F.: Dynamic simulation of wastewater treatment: the process of nitrification, *Elsevier, Simulation Practice and Theory 5 (1997), pp. 689-700.*
- [23] Hrubina, K., Majerčák, J., Boržiková, J.: Riešené úlohy algoritmami numerických metód s podporou počítača, *Informatech, s.r.o, 2005, ISBN 80-88941-16-4.*
- [24] Rektorys a spol: Přehled užití matematiky, *SNTL Praha 1963.*