

## Vplyv posypu ciest na biologické odstraňovanie dusíka

Eliška Horňáková<sup>1</sup> a Milan Búgel<sup>2</sup>

### *Influence of road salt on the biological removal of nitrogen*

Processes occurring in the aeration tank remove nitrogen from the organic substances in wastewater by using the bacteria. Nitrification utilize the metabolism of aerobic bacteria *Nitrosomonas*, *Nitrococcus*, *Nitrospira*, *Nitrobacter*, *Nitrocystis* a *Nitrosobolus*. *Pseudomonas*, *Chromobacterium*, *Denitrobacillus* a *Micrococcus* are denitrification anaerobic bacteria. The bacteria are lithotrophic and they are sensitive to pH of wastewater. Chlorine and heavy metals are toxic for these bacteria. For a correct grow, reproduction and metabolism, 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 bacteria.

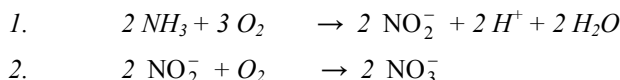
Cold road salt flow to a sewage and then to the aeration basin. Many of nitrification microorganisms dead because their cells lyse and their content flow into the tank. NaCl is toxic for bacteria. From aeration basin a high amount of  $N-NH_4$  flows out. The sludge may be a slightly flocculate and the effluent water may be turbid.

**Key word:** aeration tank, bacteria, nitrification, denitrification, temperature of wastewater, salinity, conductivity, road salt, turbidity

### Biologické odstraňovanie dusíka

V technologickej linke čistiarnie odpadových vôd (ČOV) sa v aktívnej nádrži uskutočňujú procesy biologického odstraňovania dusíka. Tieto procesy súvisia s biologickým bakteriálnym čistením [1, 3 - 4] mikroorganizmami, ktorých správna funkcia je nevyhnutná pre zachovanie kvality povrchových vôd [5]. Aktívny proces je kontinuálna kultivácia mikroorganizmov v nesterilných podmienkach [3]. V aktívnom kale sa nachádzajú rôzne druhy mikroorganizmov vo forme zoogly. Kal je definovaný ako zmes vody a tuhých látok odstránených z rôznych druhov vôd prirodzenými alebo umelo iniciovanými procesmi [1, 5, 19, 22]. Najčastejšie sa v ňom vyskytujú baktérie, huby, pliesne, kvasinky a taktiež aj prvoky, vírnici a popri nich ešte aj vláknité mikroorganizmy, ktoré zhoršujú jeho usadzovacie a zahusťovacie vlastnosti. Zloženie kalu je závislé na zložení substrátu, dobe zdržania, zaťažení a veku kalu. Medzi jeho základné vlastnosti patrí agregácia a sedimentácia vločiek kalu.

Súčasťou rozkladu organických látok mikroorganizmami v aktívnej nádrži sú nitrifikačné a denitrifikačné procesy. V nitrifikačnej – aeróbnej časti aktívnej nádrže je uskutočňovaná nitrifikácia o dvoch fázach:



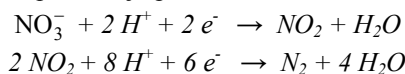
Na prvú fázu nitrifikácie sa využíva metabolizmus baktérií *Nitrosomonas*, *Nitrococcus*, *Nitrospira* a *Nitrosobolus*, na druhú fázu metabolizmus baktérií *Nitrobacter* a *Nitrocystis*.

Baktérie sú litotrofné – na svoj metabolizmus potrebujú ako zdroj uhlíka  $\text{CO}_2$ , aeróbne – potrebujú kyslík. Optimálne pH vody a kalu je 7 - 8 a rastová rýchlosť baktérií a tým aj ich metabolizmus závisí od teploty kalu v aktívnej nádrži. Pri teplote kalu pod 10 °C je nitrifikácia veľmi pomalá a dochádza k hromadeniu dusitanov. Pri teplote pod 5 °C sú nitrifikačné baktérie podchladené a odumierajú [2 - 5, 17, 20, 23, 28 - 30].

V denitrifikačnej – anoxickej časti nádrže sa kal neprevzdušňuje, ale mieša, pretože denitrifikačné baktérie sú anoxické a využívajú kyslík z dusičnanov a dusitanov. Metabolizmus organotrofných baktérií *Pseudomonas*, *Chromobacterium*, *Denitrobacillus* a *Micrococcus* [1 - 4] využíva dusík dvoma spôsobmi:

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

Procesy denitrifikácie prebiehajú podľa reakcii:



<sup>1</sup> Ing. Eliška Horňáková, externá doktorantka, redakcia časopisu AMS, F BERG TU, Park Komenského 19, 040 01 Košice, [eliska.horniakova@tuke.sk](mailto:eliska.horniakova@tuke.sk)

<sup>2</sup> doc. Ing. Milan Búgel, CSc., Ústav montánných vied a ochrany životného prostredia, F BERG TU, Park Komenského 19, 040 01 Košice  
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 12. 10. 2007)

Denitrifikačné baktérie nie sú tak citlivé na teplotu ako nitrifikačné, ale náhly pokles teploty spôsobuje zastavenie, alebo obmedzenie ich činnosti. Vhodné pH pre denitrifikačné procesy je 6 - 9. Pre nitrifikačné a denitrifikačné baktérie je toxický chlór, ktorý sa v praxi sa používa na dezinfekciu, tiomočovina, ťažké kovy a soli používané na posyp ciest.

### Posyp ciest

Cesty pre automobily a iné dopravné prostriedky sa počas zimnej údržby posypujú inertným materiálom, jeho zmesami s chemickým materiálom alebo navlhčeným inertným materiálom. Maximálna posypová dávka je  $500 \text{ g m}^{-2}$ .

Ako chemické posypové látky sú používané:

- chlorid sodný NaCl,
- chlorid vápenatý  $\text{CaCl}_2$ ,
- zmes chloridu sodného a vápenatého,
- solanin (priemyselný názov),
- tonacal (priemyselný názov),
- močovina (carbanit).

Celkové množstvo chemických posypových materiálov použitých v priebehu celého zimného obdobia nesmie pri počte zásahových dní nad 100 dní presiahnuť  $2 \text{ kg m}^{-2}$ . Orientačná posypová dávka v meste je  $100 \text{ g m}^{-2}$  [26], závisí to však od momentálnych miestnych klimatických podmienok.

Pre navlhčovanie sa používajú posýpacie mechanizmy vybavené navlhčovacím zariadením s reguláciou dávkovania posypového materiálu a navlhčovacieho roztoku, ktoré zaručujú rovnomernosť posypu a navlhčenia materiálu v celej šírke posypu. Navlhčovací roztok sa pripravuje zásadne z NaCl, v chránených vodných oblastiach sa pripravuje z  $\text{CaCl}_2$ , prípadne z iného materiálu, ktorý nezaťažuje životné prostredie [23 - 25].

V súčasnosti sa skúša používať ako chemický posyp chlorid horečnatý [26] a ako inertný EkoPosyp, čo je vlastne zimný posypový materiál z prírodného zeolitu [27], resp. Biomag je priemyselná posypová soľ na báze  $\text{MgCl}_2$  [27]. V ateste tejto posypovej priemyselnej soli je uvedené, že bola testovaná na množstvách  $\text{MgCl}_2$  iónov síranov, ťažkých kovov, alkalických kovov a kyanidov [29]. Fero cyanid draselný sa pridáva ako protispekavá prísada do posypových materiálov ciest.

Posypové látky odskakujú od kolies automobilov, čím znečisťujú okolie cestných komunikácií. Na jar je vidieť na okolitej prírode, v dosahu do 3 až 5 m vo vzdialenosti od vozovky zostatky zimného posypu ciest. Tento inertný posypový materiál je zbieraný likvidačnými čatami alebo zametacími autami a po vyčistení sa odkladá na ďalšie zimné použitie.

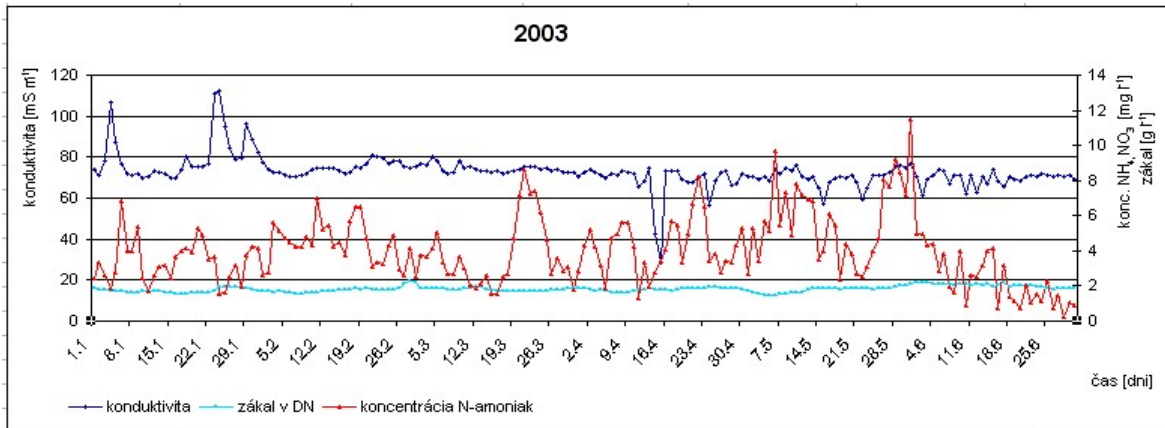
Pri jarnom topení snehu steká rozpustený posyp z ciest do kanalizácie miest a dedín, do podzemných vôd a v konečnom dôsledku aj do recipientu, čím sa mení chemické zloženie recipientov [28].

### Vplyv chloridov na biologické odstraňovanie dusíka

NaCl je známy tým, že zvyšuje vnútrobunkový tlak ľudí a ľudia s hypertenziou by mali obmedziť solenie jedla. Tento istý proces prebieha v celej živočíšnej ríši a tak v baktériách vplyvom NaCl dochádza k zvyšovaniu vnútrobunkového tlaku a následnej lýzii buniek. Studená a chemickým zložením zmenená voda vteká kanalizáciou do aktivačnej nádrže ČOV. Jej vplyvom dochádza k chemickému a teplotnému šoku mikroorganizmov [5, 11] a následnej lýzii buniek baktérií. Celý obsah bakteriálnych buniek sa vyleje do vody a kalu a určitý čas trvá, kým sa obnoví celková biocenóza mikroorganizmov v nádrži.

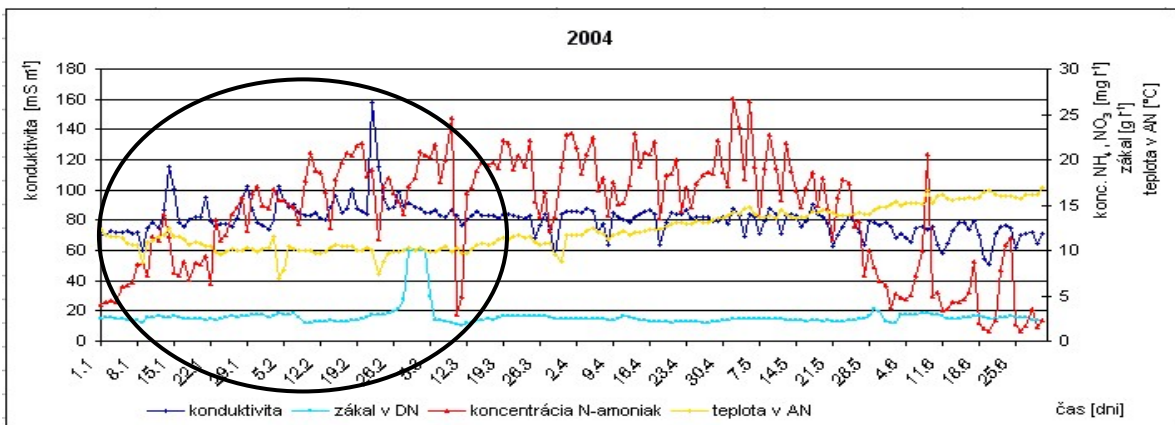
Soľ z ciest, ktorá vtekla do kanalizácie a následne do aktivačnej nádrže, sa prejavuje nárastom konduktivity v nádrži, ktorá je meraná na odtoku z ČOV a jej hodnoty sú platné pre celú ČOV. Po zvýšených hodnotách konduktivity sú zvýšené hodnoty amoniakálneho dusíka  $\text{N-NH}_4$ , a tak sa vplyvom soli a podchladenia zhoršujú podmienky pre metabolizmus nitrifikačných baktérií. Môže nastať prechodná deflokulácia, ktorú môžu spôsobiť aj nárazové zmeny v teplote vody, jej soľnatosť, nedostatok makronutrientov alebo mikronutrientov, napr. ťažkých kovov, či prítomnosťou toxických látok [2 - 4, 6, 10]. Soľnatosť do  $10 \text{ g l}^{-1}$  NaCl nemá vplyv na účinnosť biologického čistenia, kal je možné adaptovať až na  $20 \text{ g l}^{-1}$  NaCl, ale s nižšou účinnosťou čistenia a vznikom zákalu [3]. S určitým oneskorením sa zakalí voda v dosadzovacej nádrži. Povolené hodnoty vodivosti vody a kalu sú do  $50 \text{ mS m}^{-1}$ , pre dusičnany a amoniak sú povolené hodnoty  $5 \text{ mg l}^{-1}$ .

Rok 2003 (Obr. 1) bol pre košíckú čistiareň odpadových vôd trochu odlišný od iných. V decembri začali merať teplotu vody a kalu v aktivačnej nádrži, a preto jej hodnoty nie sú na grafe zobrazené. Aj keď konduktivita v nádrži sa koncom januára značne zvýšila, jej vplyv na nitrifikačné a denitrifikačné mikroorganizmy nebol až taký výrazný ako v nasledujúcich rokoch a mikroorganizmy sa s ním vedeli rýchlejšie vyrovnáť.

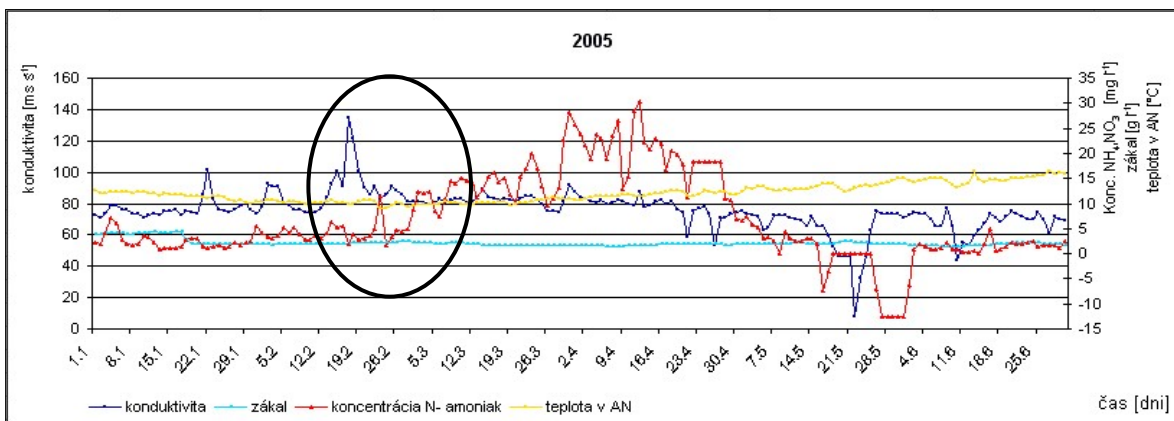


Obr. 1. Súvislosť medzi konduktivitou, následným nárastom koncentrácie dusíka a zákalom v dosadzovacej nádrži.  
Fig. 1. Connection between the conductivity, the following rise of the concentration nitrite and turbidity in settling tank.

Počas prvého polroka sa vplyvom poveternostných podmienok, vonkajšej teploty ovzdušia, stekajúcej soli z ciest počas topenia snehu ochladí voda v aktivačnej nádrži (Obr. 1, 2, 3, 4), (žltá krivka). Následne stúpajú hodnoty konduktivity (tmavomodrá krivka), čiže celkovej soľnatosti vody v nádržiach čistiarne, a tiež aj hodnoty N-NH<sub>4</sub> v nádrži (červená krivka). Potom môže dôjsť k zakaleniu vody v odtokovej časti z aktivačnej nádrže a v dosadzovacej nádrži. Hodnoty pH sú umelo udržiavané na konštantnej hodnote, a tak neovplyvňujú pochody v aktivačnej nádrži.



Obr. 2. Súvislosť medzi konduktivitou, následným nárastom koncentrácie N-NH<sub>4</sub> do prvej polovice mája, s priebežným zakalením a vyčistením odpadovej vody v dosadzovacej nádrži.  
Fig. 2. Connection between the conductivity, the following rise of the concentration N-NH<sub>4</sub> till the first half of May with a continuous turbidity and clarification wastewater in settling tank.



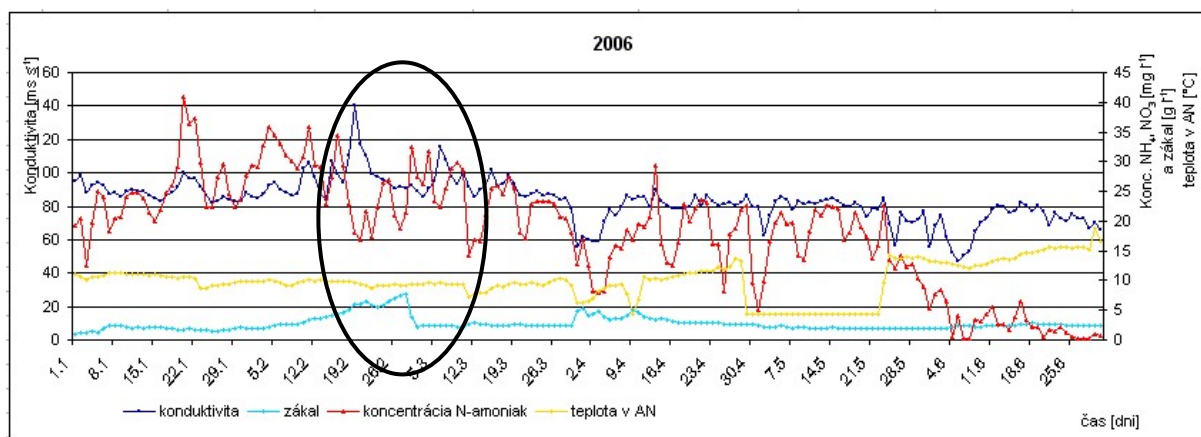
Obr. 3. Súvislosť medzi konduktivitou, následným nárastom koncentrácie N-NH<sub>4</sub> do prvej polovice apríla a priebežným zakalením a vyčistením odpadovej vody v dosadzovacej nádrži počas celého roka.

Obr. 3. Connection between the conductivity, the following rise of the concentration N-NH<sub>4</sub> till the first half of April with a continuous turbidity and clarification wastewater in settling tank.

Jedná sa o aktivačnú nádrž s vnútornou recirkuláciou kalu, pretože pre metabolizmus nitrifikačných a denitrifikačných baktérií je potrebná dlhšia doba zdržania kalu v nádrži, t. j. nad 5 - 7 dní. K celkovej obnove kalu a surovej odpadovej vody dochádza približne po 10 dňoch.

V roku 2004 definitívne začali klesať hodnoty N-NH<sub>4</sub> až koncom mája, keď sa zohriala voda s kalom. Vo vyznačenej oblasti na grafe (Obr. 2) je na dvoch miestach viditeľný pokles teploty v nádrži pod 10 °C až na 7 °C, čím došlo k podchladeniu mikroorganizmov a tak k značnému spomaleniu ich metabolizmu. V grafe (Obr. 2) je zvýraznená oblasť, v ktorej dochádza niekoľkokrát k nárastu konduktivity, následne N-NH<sub>4</sub> a aj k zvýšeným hodnotám zákalu.

V roku 2005 (Obr. 3) nedošlo k odumieraniu mikroorganizmov vplyvom teploty, ani k značnému podchladeniu. Koncom januára a vo februári došlo niekoľkokrát k nárastu konduktivity a miernejšiemu ochladeniu vody. Hodnoty N-NH<sub>4</sub> definitívne začali klesať v polovici apríla. Tak ako aj v predošlých rokoch, aj v tomto roku je viditeľná súvislosť konduktivity - N-NH<sub>4</sub> - zákal, tento raz je nárast hodnôt zákalu len mierny.



Obr. 4. Súvislosť medzi konduktivitou, následným nárastom koncentrácie N-NH<sub>4</sub> do prvej polovice apríla s priebežným zakalením a vyčistením odpadovej vody v dosadzovacej nádrži počas roka.

Obr. 4. Connection between the conductivity, the following rise of the concentration N-NH<sub>4</sub> till the first half of April with a continuous turbidity and clarification wastewater in settling tank per years.

V roku 2006 (Obr. 4) boli zvýšené hodnoty konduktivity a N-NH<sub>4</sub> ešte zo zimy predošlého roku. V grafe je zvýraznené obdobie približne jedného mesiaca, od polovice februára do polovice marca, kde je viditeľná následnosť nárastu konduktivity, N-NH<sub>4</sub> a zákalu.

Hodnoty sledovaných parametrov sú prehľadne spracované v tab. 1.

Tab. 1. Následnosť jednotlivých procesov.

Tab. 1. Consecutiveness of the individual processes.

Rok	Konduktivita [mS m <sup>-1</sup> ]	N-NH <sub>4</sub> [mg l <sup>-1</sup> ]	Posun [dni]	Zákal [g l <sup>-1</sup> ]	Posun [dni]
2003	4.1.	6.1	2	nie je	
	24.1	30.1	6		
2004	13.1	13.1	-	nie je	
	21.1	23.1	2	24.1	1
	3.2	podchladenie		7.2	4
	14.2	15.2	1	16.2	1
	22.2	23.2	1	24.2	1
	9.3	12.3	4	13.3	2
2005	22.1	31.1	10	6.2	6
	3.2	5.2	3	nie je	
	5.3	7.3	3	nie je	
2006	20.1	20.1	nie je	21.1	1
	9.2	11.2	2	11.2	nie je
	15.2	16.2	1	16.2	
	7.3	9.3	2	13.3	4
	13.4	13.4	nie je	13.4	nie je
Priemer		11.5	4	nie je	
		3 dni		2,5 dňa	

Hodnoty priemerných následností konduktivity - N-NH<sub>4</sub> sa striedajú pravdepodobne vplyvom rýchlosti topenia snehu, množstva stečenej soli z ciest, prelievania kanalizácie, zvýšením hladiny riek (Hornád) ľadovými kryhami, a tým aj následným ochladením vody a kalu v aktivačnej nádrži. Zákal môže mať rôzne príčiny, ako dispergácia častíc, deflokulácia, zvýšenie konduktivity vody a iné. Mikroorganizmy sú živé organizmy, a tak na ne pôsobia rôzne vplyvy. Po dlhobojšie zvýšených hodnotách N-NH<sub>4</sub> môže nastať zákal približne do 3 dní, ale nie je to jediný dôvod na to, aby sa zakalila voda v dosadzovacej nádrži.

### Záver

Metabolizmus nitrifikačných a denitrifikačných baktérií je citlivý na zmeny teplôt (podchladenie) a zmeny vodivosti odpadovej vody pritekajúcej kanalizáciou do ČOV. V čase jarného topenia snehu steká z ciest do kanalizácie slaná studená voda. Táto má negatívny vplyv na metabolizmus mikroorganizmov. Dôsledkom je skutočnosť, že v biologických častiach ČOV väčších miest dochádza na niekoľko týždňov až mesiacov k odumretiu značného množstva mikroorganizmov. Výsledkom uvedeného je, že počas tohoto obdobia sú z ČOV do recipientu vypúšťané vody so zvýšenými obsahmi zlúčenín dusíka. Prípadné chemické čistenie je finančne nákladné a môže to znamenať vypúšťanie iných chemikálií do riek. Bolo by veľmi vhodné zmeniť chemickú časť posypového materiálu tak, aby do kanalizácie nestekala slaná voda s vysokým obsahom NaCl a chloridov.

### Literatúra – References

1. Zákon č. 364/2004 Z.z. o vodách a o zmene zákona Slovenskej národnej rady č. 372/1990 Zb. o priestupkoch v znení neskorších predpisov (vodný zákon).
2. Smernica rady z 18. júla 1978 o kvalite sladkých povrchových vôd vyžadujúcich ochranu alebo zlepšenie kvality na účely podpory života rýb, (78/659/EHS)  
<http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31978L0659:SK:HTML>
3. Zákon NR, SR č. 126/2006 Z.z. o verejnom zdravotníctve a požiadavkách na pitnú vodu, <http://www.ruvzke.sk/aktuality/pv-veterinari.ppt>
4. Droste, R. L.: Theory and practice of water and wastewater treatment, *John Wiley & Sons, Inc., Canada 1997, ISBN 0-471-12444-3*.
5. Chudoba, J., Dohányos, M., Wanner, J.: Biologické čistenie odpadných vod, *STNL Praha, 1991, ISBN 80-03-00611-2*.
6. Tuček, F., Chudoba, J., Koniček, Z.: Základní procesy a výpočty v technologii vody, *STNL Praha, 1988*.
7. Kandráčová, V.: Posúdenie vplyvov na kal v aktivačnej nádrži čistiarne odpadových vôd, *diplomová práca, F BERG TU, Košice, 2007*.
8. Praus, P.: Problematika odstraňování dusíku z odpadných vod, *habilitačná práca HGF VŠB TU Ostrava 2002, 185*.
9. Voda, jún 2007, <http://referaty.atlas.sk/prirodne-vedy/ekologia/4297/?print=1>
10. Zekeová, Nanáčková: Vplyv solnatosti na čistenie odpadových vôd aktivovaným kalom, *Výskumný ústav vodného hospodárstva Bratislava 1976, s 76.,71-041-76*.
11. Frank, S.: Veľký obrazový atlas rýb, *Artia Praha 1976, 66-061-76*.
12. Faktory ovplyvňujúci aktivitu biomasy v biologickom stupni ČOV. [on line]. Brno: ASIO, spol. s.r.o., <http://www.tzb-info.sk/t.py?t=2&i=1578>
13. Všeobecné informácie o čistení odpadových vôd. [on line]. 9- 2-2007: <http://www.fonhit.sk/infoocov.htm>
14. Kuo, D. H. W., Robinson, K. G., Layton, A. C., Meyers, A. J., Saylor, G., S.: Real – Time PCR Qualification of ammonia – oxidizing bacteria (AOB): Solids retention time (SRT) impact during activated sludge treatment of industrial wastewater., *Environmental engineering science, Volume 23, Number 3, 2006*.
15. Terada, A., Hibiya, K., Nagai, J., Tsuneda, S., Hirata, A.: Nitrogen removal characteristics and biofilm analysis of a membrane – aerated biofilm reactor applicable to high-strength nitrogenous wastewater treatment, *Journal of bioscience and bioengineering, Vol. 95, 2/2003, p. 170 – 178*.
16. 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*.
17. 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*.
18. 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*.

19. Hovanec, T. A., DeLong, E. F.: Comparative analysis of nitrifying bacteria associated with freshwater and marine aquaria. *Applied and environmental microbiology*, aug.1996, p. 2888-2896.
20. 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.
21. Road & Sidewalk Salt FAQs, cit. 14. 6. 2007  
[http://www.mortonsalt.com/faqs/road\\_sidewalk\\_faq.html](http://www.mortonsalt.com/faqs/road_sidewalk_faq.html) .
22. Using salt and sand for winter road maintenance, *Wisconsin transportation bulletin No. 6*, august 2005, cit 20. 6. 2007, <http://tic.engr.wisc.edu> .
23. 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)
24. Zmierňovanie šmykľavosti vozovky spôsobenej poľadovicou, alebo šmykľavosti utlačenej vrstvy snehu na vozovke, cit. 16. 6. 2007,  
[http://www.ssc.sk/user/view\\_page.php?page\\_id=1557&preview=1](http://www.ssc.sk/user/view_page.php?page_id=1557&preview=1).
25. Používanie posypových materiálov s navlhčovaním, cit., 16. 6. 2007,  
[http://www.ssc.sk/user/view\\_page.php?page\\_id=1560&preview=1](http://www.ssc.sk/user/view_page.php?page_id=1560&preview=1) .
26. Predpokladané spotreby základných materiálov počas zimnej údržby ciest, Správa a údržba ciest Prešovského samosprávneho kraja. cit., 20. 6. 2007,  
[www.vucpo.sk/.../71ac7ef38aa10d4cc12571e00025c502/\\$FILE/Komplexna%20analyza%20zimnej%20udrzby%20ciest.pdf](http://www.vucpo.sk/.../71ac7ef38aa10d4cc12571e00025c502/$FILE/Komplexna%20analyza%20zimnej%20udrzby%20ciest.pdf) .
27. Atest priemyselnej posypovej soli, ŠGUS Akreditované skúšobné laboratóriá - Geologické laboratória, cit., 16. 6. 2007, <http://www.sloven.sk/atest.html> .
28. 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.
29. Vavřínek, M.: Používané posypové materiály a jejich vplyv na životní prostředí, *Dopravní fakulta, Pardubice*, 22s.