



NITRIFIKACIJOS IR DENITRIFIKACIJOS GREIČIŲ VERTINIMAS, AZOTĄ IŠ NUOTEKŲ ŠALINANT BIOLOGINIŲ BŪDU

Giedrė Vabolienė¹, Algirdas Bronislovas Matuzevičius²

Vandentvarkos katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al.11, LT-10223 Vilnius, Lietuva

El. paštas ¹giedre.v@freemail.lt; ²algirdas.matuzevicius@ap.vtu.lt

Įteikta 2006 05 30; priimta 2007 10 27

Santrauka. Biologinis azoto šalinimas iš nuotekų pagrįstas nitrifikacijos ir denitrifikacijos procesais, vykstančiais biologinio valymo įrenginiuose su veikliuoju dumbliu. Lėtas nitrifikuojančių bakterijų augimas yra viena iš svarbiausių problemų, šalinant azotą iš nuotekų nitrifikacijos būdu. Todėl labai svarbu nustatyti nitrifikacijos ir denitrifikacijos greičius, vertinant minėtus procesus. Veikiančiuose nuotekų valymo įrenginiuose buvo atlikti tyrimai, nustatytos azoto koncentracijos veikliajame dumble aerotanke, įvertintas azoto sunaudojimas veikliuoju dumbliu biocheminiuose procesuose. Buvo vertinami nitrifikacijos ir denitrifikacijos procesai aerotankuose, keičiant aeravimo ir prislopintos aeracijos trukmes nuo 120 iki 180 min. Buvo nustatyti nitrifikacijos ir denitrifikacijos greičiai, aerotankams dirbant skirtingais aeravimo režimais, įvertinta aeravimo režimo įtaka biologiniam azoto šalinimo efektyvumui.

Reikšminiai žodžiai: nitrifikacijos greitis (q_N), denitrifikacijos greitis (q_{DN}), nitratai, amoniakinis azotas, biologinis aktyvūs potencialas (BPA).

1. Įvadas

Biologinis azoto šalinimas iš nuotekų pagrįstas nitrifikacijos ir denitrifikacijos procesais, vykstančiais biologinio valymo įrenginiuose su veikliuoju dumbliu [1]. Tam gali būti naudojamos įvairios technologinės schemos [2].

Viena iš naujausių azoto ir fosforo šalinimo technologijų – „BioBalance“ technologija, įdiegta Utenos miesto nuotekų valymo įrenginiuose. Šio darbo tikslas buvo įvertinti nitrifikacijos bei denitrifikacijos greičius ir aeravimo režimo įtaką biologiniam azoto šalinimui, taikant „BioBalance“ technologiją biologiniam azoto šalinimui.

2. Biologinio azoto šalinimo iš nuotekų principai

Nitrifikaciją atlieka nitrifikuojančios bakterijos. Jos skirstomos į dvi grupes. Pirmosios grupės bakterijos (*Nitrosomonas*, *Nitrospira*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus* genčių) oksiduoja amonio azotą iki nitritų. Antrosios grupės bakterijos (*Nitrobacter*, *Nitrospira*, *Nitrococcus* genčių) nitritus oksiduoja į nitratų [3].

Abiejų nitrifikacijos stadijų metu išsiskiria energija, kurią nitrifikatoriai sunaudoja CO_2 asimiliuoti. Taigi nitrifikuojančios bakterijos anglies atžvilgiu yra autotrofai [1]. Šios bakterijos turi perdirbti didelius azoto junginių kiekius (1 molekuli CO_2 fiksuoti pirmojoje stadijoje dalyvaujančios bakterijos turi oksiduoti apie 35 molekules amonio azoto, antrosios stadijos bakterijos – apie 100 molekulių nitritų). Taigi, kad bakterijų populiacija galėtų augti, turi būti perdirbti dideli azoto junginių kiekiai. Todėl, net ir vykstant intensyviai nitrifikacijos procesui,

nitrifikuojančios bakterijos auga daug lėčiau nei kitos bakterijos [3, 4].

Azoto apytakos ratas gamtoje baigiasi jo gražinimu į atmosferą – denitrifikacija. Tai vienas iš anaerobinio kvėpavimo variantų (nitratinis kvėpavimas), kai organinių medžiagų oksidacijai kaip galutinis elektronų akceptorius naudojami NO_3 jonai.

Denitrifikacija yra deguonies sunaudojimas iš nitratų, o po to iš nitritų denitrifikuojančiomis bakterijomis. Denitrifikaciją atlieka heterotrofinės bakterijos: *pseudomonas*, *spirillum*, *tiobacillus*, *alkaligenes*, *bacillus* [1]. Jos naudoja organinius teršalus, esančius nuotekose, kaip anglies šaltinį.

Denitrifikacija vyksta dviem etapais [4]. Pirmasis – nitratų redukavimas iki nitritų, o antrasis – nitritų redukavimas iki dujinio azoto. Nė vienas iš etapų neįvyks, kol sistemoje bus pakankamai ištirpusio deguonies.

3. Biologinio azoto šalinimo technologijos

Šiems procesams vykdyti gali būti naudojamos technologinės schemos, kurias galima suskirstyti pagal anglies, oksiduojamos denitrifikacijos procesuose, šaltinį [5, 6]. 1-oji schema – anglies šaltinis – valomų nuotekų organiniai teršalai. Šią schemą sudaro: denitrifikatorius, nitrifikatorius, antriniai nusodintuvai. 2-oji schema – anglies šaltinis – papildomai tiekiamos lengvai biologiškai skaidomos organinės medžiagos (metanolis, etanolis ir kt.). Šią schemą sudaro: nitrifikatorius, denitrifikatorius, papildoma aeravimo talpykla, antriniai nusodintuvai. 3-ioji schema – anglies šaltinis – valomų nuotekų organi-

niai teršalai. Pagal šią schemą aeracinė ir anoksinė talpykla sujungiamos. Nitrifikacija ir denitrifikacija vyksta kaitaliojant aeravimo intensyvumą [7]. Paprastai azoto šalinimo schemas derinamos su fosforo šalinimo schemomis. Viena iš jų yra „BioBalance“ technologija [8], kurią taikant azotas šalinamas pagal 3-iają azoto šalinimo schemą (aerotanke nitrifikacijos ir denitrifikacijos zonos nėra specialiai atskirtos, o fosforui biologiškai šalinti prieš nitrifikatorių ir (ar) denitrifikatorių yra įrengta anaerobinė zona. Technologija remiasi tuo, kad nauja kontroliavimo technika leidžia biologinį procesą kontroliuoti tiesiogiai. Kontrolės tikslas yra tiekti minimalų oro kiekį, kad būtų užtikrintas nenutrūkstamas aprūpinimas tokiu deguonies kiekiu, kurio reikia biologiniams procesams.

Dažniausiai pasitaikantys kofermentai, funkcionuojantys kaip vandenilio ir elektronų nešikliai, yra nikotinamidadenindinukleotidas NAD^+ ir jo fosforizuotas junginio darinys $NADP^+$. Medžiagų apykaitos procesuose visuose mikroorganizmuose gaminami kofermentai $NADH$ ir $NADPH$. Mikroorganizmuose pagaminamų $NAD(P)H$ kiekis priklauso nuo jų aktyvumo. Šis aktyvumas savo ruožtu priklauso nuo esamų dumblo apkrovų, patenkančių maistinių medžiagų forma. Tai reiškia, kad, pavyzdžiui, į veikliojo dumblo sistemą nuolat patenkant maistinėms medžiagoms esant nuolatinei apkrovai bei dumblo aktyvumui ir pagaminamo $NAD(P)H$ kiekis liks pastovus. Didėjant dumblo apkrovai intensyviau patenkant maistinėms medžiagoms, tolygiai didėja dumblo aktyvumas ir kartu $NAD(P)H$ produkcija. Ir atvirkščiai – $NAD(P)H$ produkcija mažėja mažiau patenkant maistinių medžiagų. Tyrimais nustatyta, kad šios priklausomybės yra tiesinės [10, 11].

Tuo ir remiasi „BioBalance“ matavimo prietaisais – $NADH$ fluorescensorius. Veikliajame dumble $NADH$ nuolat virsta iš oksidatoriaus NAD į reduktorių $NADH$. Fluorescensorius fiksuoja tik $NADH$, kuris teikia informacijos apie tai, kiek energijos turi mikroorganizmai. Informacija apie energiją apibūdinama kaip biologinis aktyvusis potencialas (BPA). Stebint BPA galima kontroliuoti biologinius procesus [8–11].

Taikant „BioBalance“ technologiją, aeravimo intensyvumas kinta nustatytais dviem cikliškai pasikartojančiais periodais, t. y. sudarant sąlygas visiškai nitrifikacijai vykti didinamas aeravimo intensyvumas 0,5–1 mgO_2/l deguonies koncentracijai palaikyti. Tuomet mažinamas aeravimo intensyvumas ir, palaikant 0,1–0,5 $mg O_2/l$ deguonies koncentraciją, sudaromos sąlygos visiškai denitrifikacijai įvykti [12].

4. Tyrimų metodika

Tyrimai buvo atliekami Utenos miesto nuotekų valymo įrenginiuose 2005 m. birželio–lapkričio bei 2006 m. kovo mėnesiais. Utenos miesto nuotekų valymo įrenginiuose biologiniam nuotekų valymui buvo naudojami du aerotankai, kurie dirba lygiagrečiai, t. y. nuotekos po mechaninio valymo paskirstomos į du aerotankus. Tačiau kiekviename aerotanke per parą skiriasi aeravimo režimas. Viename aerotanke gali vykti aeracija, o kitame – tuo pačiu metu sumažinta aeracijos fazė. Todėl nagrinėjami abiejų aerotankų tyrimų duomenys. Sąlygos nitrifi-

kacijai vykti buvo palaikomos nuo 120 iki 180 min, vėliau – nuo 120 iki 180 min – denitrifikacijai vykti. Nitrifikacijos ir denitrifikacijos trukmė, keičiant aeravimo intensyvumą eksperimento metu, buvo palaikoma 5 min skirtingais režimais (1 lentelė).

1 lentelė. Nitrifikacijos ir denitrifikacijos trukmė eksperimentų metu

Table 1. Duration of nitrification and denitrification during experiments

Eksperimento eil. nr.	Aeravimo trukmė, min	Sumažintos aeracijos trukmė, min	Tyrimų skaičius eksperimento metu
1	150	150	9
2	180	150	8
3	180	120	5
	120	120	2
4	120	180	7
5	150	180	7

Esant skirtingam aeravimo režimui buvo atliekami tyrimai nuo 2 iki 9 kartų kiekviename aerotanke. Buvo nustatoma: bendrojo azoto koncentracija nuotekose po mechaninio valymo, amoniakinio azoto bei nitratų koncentracija dviejuose aerotankuose aeracijos pradžioje ir aeracijos pabaigoje, bendrojo azoto koncentracija išleidžiamose nuotekose po biologinio valymo, nuotekų išvalymo laipsnis pagal bendrąjį azotą. Tai pat buvo nustatoma veikliojo dumblo koncentracija bei peleningumas aerotanke, skaičiuojama veikliojo dumblo apkrova aerotanke, fiksuojamas vidutinis nuotekų debitas per valandą. Bendrasis azotas buvo apskaičiuojamas prie Kjeldalio azoto sumuojant nitritų ir nitratų azotą [13]. Visos analizės buvo nustatomos standartiniais metodais [14–17].

Naudojant gautas tyrimų analizių reikšmes, buvo apskaičiuotas nitrifikacijos greitis pagal formulę:

$$\rho_N = \frac{N_P \cdot Q_{hvid.}}{a(1-S) \cdot V_{ND} \cdot k_N} \quad (1)$$

ir denitrifikacijos greitis pagal formulę:

$$\rho_{DN} = \frac{N_P \cdot Q_{hvid.}}{a(1-S) \cdot V_{ND} \cdot k_{DN}} \quad (2)$$

ρ_N – nitrifikacijos greitis, $mgN/gVDSM \cdot h$; ρ_{DN} – denitrifikacijos greitis, $mgN/gVDSM \cdot h$; N_P – pašalinamo azoto kiekis, mg/l .

$$N_P = N_m - N_s - N_l, \quad mg/l; \quad (3)$$

N_m – bendrojo azoto koncentracija nuotekose po mechaninio valymo, mg/l ; N_s – azoto sunaudojimas biocheminiams procesams, mg/l , N_l – bendrojo azoto liekamoji koncentracija, mg/l . $Q_{hvid.}$ – vidutinis nuotekų debitas per valandą, m^3/h ; a – veikliojo dumblo koncentracija aerotanke, g/l ; S – veikliojo dumblo peleningumas nitrifikatoriuje (ar denitrifikatoriuje); V_{ND} – nitrifikatoriaus (ar denitrifikatoriaus) tūris, m^3 ; k_N , k_{DN} – koefi-

cientai, įvertinantys nitrifikacijos ir denitrifikacijos trukmes:

$$k_N = t_N/24, \tag{4}$$

$$k_{DN} = t_{DN}/24; \tag{5}$$

t_N – suminės nitrifikacijos trukmės per parą; h ; t_{DN} – suminės denitrifikacijos trukmės per parą, h .

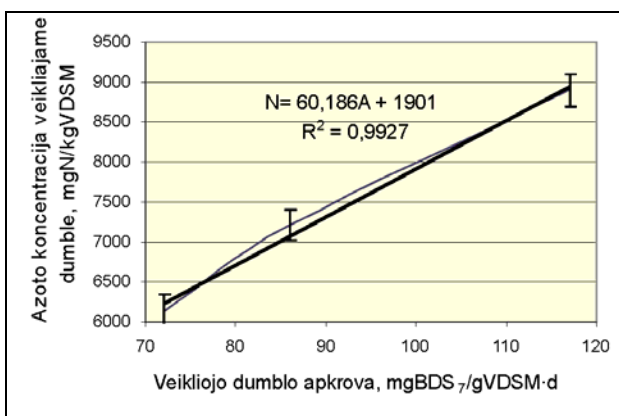
Siekiant nustatyti azoto sunaudojimą veikliuoju dumblyu biocheminiuose procesuose aerotanke, 2006 m. kovo mėnesį buvo atlikti tyrimai, aerotankams dirbant 3 skirtingomis veikliojo dumblo apkrovomis.

Pirmiausia veikliojo dumblo mėginiai buvo pasemti aerotankų gale ir atliekami tyrimai bendrajam azotui dumble nustatyti. Bendrasis azotas nustatomas Kjeldalio metodu [18].

Gauti rezultatai buvo apdoroti statistiškai. Statistiškai patikimais laikomi duomenys, kurių tikimybės intervalas nuo 92,5 % iki 97,5 %.

Statistiniam duomenų patikimumui patikrinti buvo apskaičiuoti: aritmetiniai duomenų vidurkiai X_v , Stjudento pasiskirstymo parametras t_{95} , standartinis nuokrypis δ . Tikrinta statistinio patikimumo sąlyga: $[X_l - X_v] < 1,96 \delta$. Dydžiai, kurie neatitiko sąlygos, atmesti ir skaičiavimai buvo atliekami iš naujo [19].

Vertinant statistiškai patikimus rezultatus, išryškėjo, kad azoto koncentracija dumble priklauso nuo veikliojo dumblo apkrovos (A) aerotanke (1 pav.).



1 pav. Azoto koncentracijos veikliajame dumble priklausomybė nuo veikliojo dumblo apkrovos

Fig 1. Dependency of nitrogen concentration in active sludge on active sludge load

Taigi azoto sunaudojimas biocheminiams procesams buvo apskaičiuotas pagal formulę (6), įvertinant azoto koncentracijos priklausomybę nuo veikliojo dumblo apkrovos:

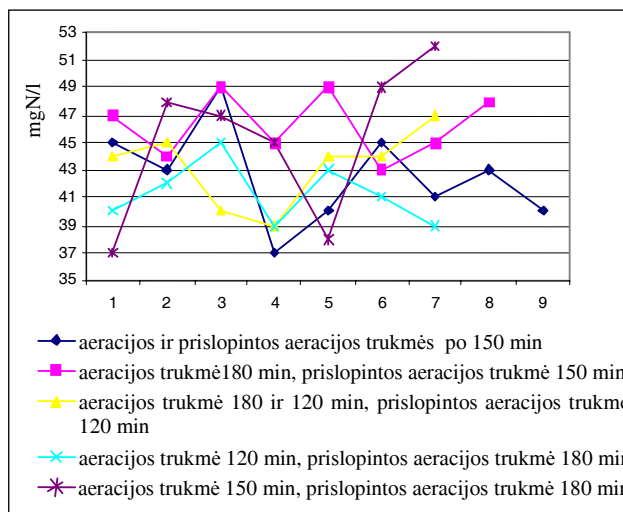
$$N_s = \frac{N_{dumble} \cdot a}{1000}; \tag{6}$$

$$N_{dumble} = 60,19 \cdot A + 1901; \tag{7}$$

čia A – veikliojo dumblo apkrova, mgBDS₇/gVDSM · d.

5. Tyrimų rezultatai

Atliekant visus penkis eksperimentus bendrojo azoto koncentracija nuotekose po mechaninio valymo svyravo nuo 37 iki 52 mg/l, vidutiniškai apie 44 mg/l (2 pav.).



2 pav. Bendrojo azoto koncentracija nuotekose po mechaninio valymo atliekant penkis eksperimentus

Fig 2. Total nitrogen concentration in wastewater after mechanical treatment during five experiments

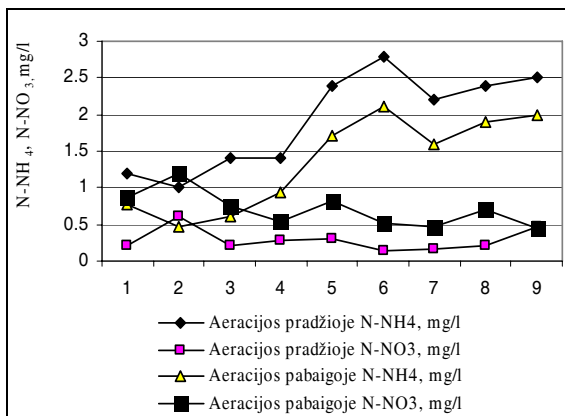
Atliekant pirmąjį eksperimentą, kuris truko 21 dieną (liepos 19 d.–rugpjūčio 8 d.), sąlygos vykti nitrifikacijai buvo palaikomos 150 min, po to 150 min – denitrifikacijai vykti. Aerotankams dirbant tokiu režimu, buvo atlikti 9 tyrimai dviejuose aerotankuose, kurie dirba lygiagrečiai. Iš tyrimų rezultatų paaiškėjo, kad, dirbant šiuo aeravimo režimu, azoto šalinimo efektyvumas svyravo 87–91 %, vidutiniškai – 88 %, nitrifikacijos greitis kito nuo 0,56 iki 0,94 mgN/gVDBSM · h, o denitrifikacijos greitis – nuo 0,66 iki 1,11 mgN/gVDBSM · h.

Eksperimento pradžioje amoniakinio azoto koncentracija aeracijos proceso pradžioje svyravo nuo 0,84 iki 1,4 mg/l, o aeracijos pabaigoje nuo 0,47 iki 0,91 mg/l (3, 4 pav.).

Tačiau jau septintąjį eksperimento dieną viename aerotanke aeracijos pabaigoje buvo nustatyta amoniakinio azoto koncentracija 1 mg/l.

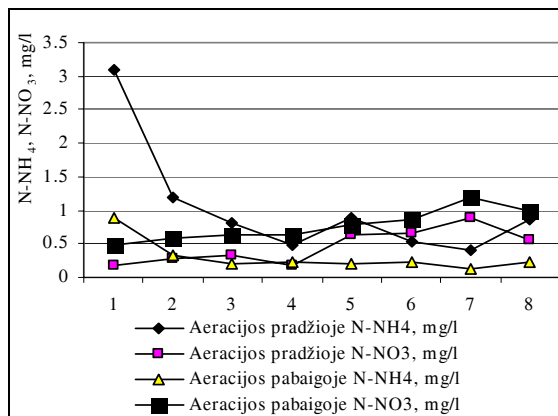
Dar savaitę aerotankams dirbant tokiu aeravimo režimu, buvo nustatyta, kad nitrifikacija aeracijos proceso pabaigoje abiejuose aerotankuose neviseškai įvyko. Iki eksperimento pabaigos amoniakinio azoto koncentracija aeracijos pabaigoje tik didėja nuo 1,4 iki 2 mg/l. Tai patvirtino, kad aeracijos trukmė nepakankama. Azoto šalinimo efektyvumas sumažėjo nuo 91 % eksperimento pradžioje iki 87 % tolesnėje eksperimento stadijoje.

Nitratų kiekis viso eksperimento metu mažai keitėsi: aeracijos pradžioje – 0,1–0,6 mg/l, aeracijos pabaigoje – 0,45–1,2 mg/l. Mažas nitratų kiekis aeracijos pradžioje parodė, kad visiškai denitrifikacijai įvykti 150 min prislopintos aeracijos laikotarpio pakako.



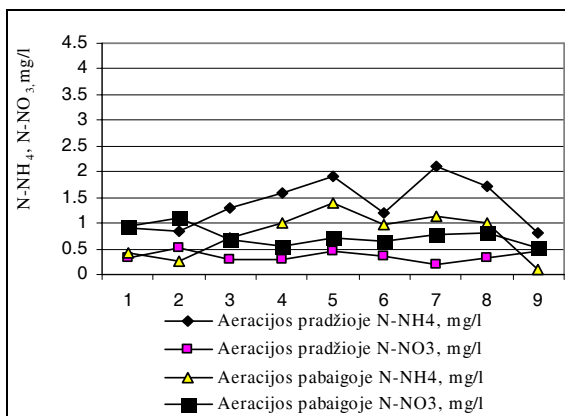
3 pav. Amoniakinio azoto ir nitratų kitimas aeracijos pradžioje ir pabaigoje pirmajame aerotanke, kai aeracijos ir prislopintos aeracijos trukmės po 150 min

Fig 3. Concentration change of ammonium nitrogen and nitrates in the first aeration tank in the beginning and at the end of aeration at aeration and reduced aeration rate of 150 min



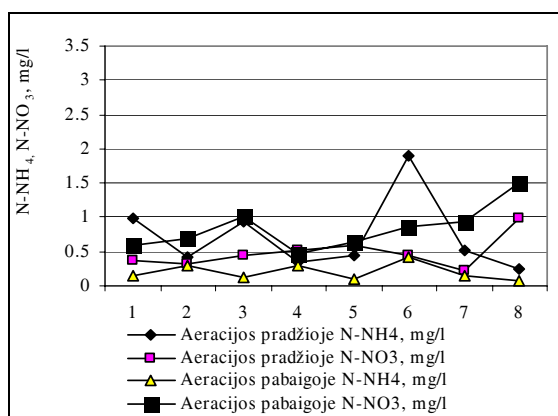
5 pav. Amoniakinio azoto ir nitratų kitimas aeracijos pradžioje ir pabaigoje pirmajame aerotanke, kai aeracijos trukmė 180 min, o prislopintos aeracijos – 150 min

Fig 5. Concentration change of ammonium nitrogen and nitrates in the first aeration tank in the beginning and at the end of aeration at aeration rate of 180 min, and reduced aeration rate of 150 min



4 pav. Amoniakinio azoto ir nitratų kitimas aeracijos pradžioje ir pabaigoje antrajame aerotanke, kai aeracijos ir prislopintos aeracijos trukmės po 150 min

Fig 4. Concentration change of ammonium nitrogen and nitrates in the second aeration tank in the beginning and at the end of aeration at aeration and reduced aeration rate of 150 min



6 pav. Amoniakinio azoto ir nitratų kitimas aeracijos pradžioje ir pabaigoje antrajame aerotanke, kai aeracijos trukmė 180 min, o prislopintos aeracijos – 150 min

Fig 6. Concentration change of ammonium nitrogen and nitrates in the second aeration tank in the beginning and at the end of aeration at aeration rate of 180 min, and reduced aeration rate of 150 min

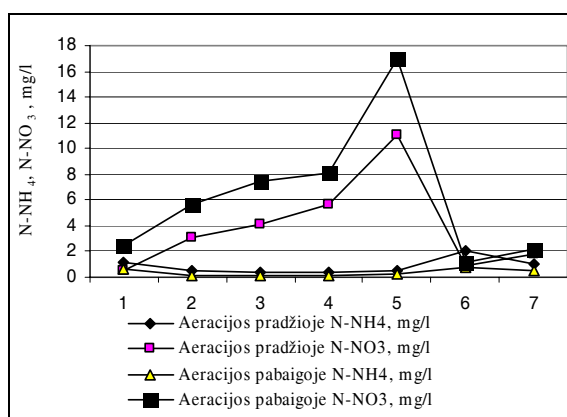
Taigi pirmojo eksperimento rezultatai padiktavo sąlygas antrajam eksperimentui, kurio metu 11 dienų (rugpjūčio 9 d.–rugpjūčio 19 d.) sąlygos vykti nitrifikacijai buvo palaikomos 180 min, po to 150 min – denitrifikacijai vykti, t. y. buvo prailgintas aeracijos laikotarpis, kad įvyktų visiška nitrifikacija.

Aerotankams dirbant tokiu režimu, buvo atlikti 8 tyrimai dviejuose aerotankuose. Iš tyrimų rezultatų paaiškėjo, kad dirbant šiuo aeravimo režimu azoto šalinimo efektyvumas svyravo nuo 83–89 %, vidutiniškai – 85 %, nitrifikacijos greitis kito nuo 0,50 iki 0,89 mgN/g VDBSM · h, o denitrifikacijos greitis – nuo 0,77 iki 1,25 mgN/g VDBSM · h.

Per dvi antrojo eksperimento dienas amoniakinio azoto koncentracija aeracijos pradžioje sumažėjo nuo 3,1 iki 0,8 mg/l (5, 6 pav.).

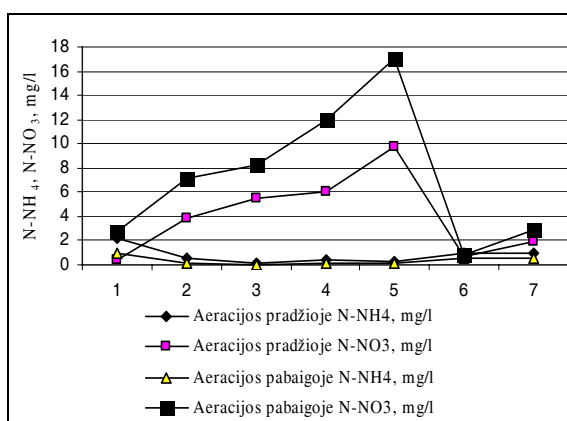
Aeracijos pabaigoje amoniakinio azoto koncentracija nuo 2 iki 0,88 mg/l sumažėjo jau pirmąją dieną, pratęsus aeracijos laikotarpį nuo 150 iki 180 min. Nitrifikacijos procesas įvyko visiškai. Aeracijos trukmė pakankama išliko iki eksperimento pabaigos. Nagrinėjant nitratų kiekį antrojo eksperimento metu aeracijos pradžioje ir pabaigoje, pastebėti didesni svyravimai nei pirmojo eksperimento metu. Nitratų kiekis aeracijos pabaigoje keletą kartų viršijo 1 mg/l. Azoto šalinimo efektyvumas antrojo eksperimento metu sumažėjo nuo 89 % eksperimento pradžioje iki 83 % eksperimento pabaigoje. Trečiasis eksperimentas buvo atliekamas 7 dienas (rugpjūčio 22 d.–rugpjūčio 28 d.). Pirmąsias 5 dienas aerotankai dirbo 180 min aeravimo ir 120 min prislopinto aeravimo režimu, vėliau režimas buvo pakeistas į 120 min aeravimo ir 120 min prislopinto aeravimo režimą. Aerotankams

dirbant pirmuoju režimu, buvo atlikti 5 tyrimai, o dirbant antruoju – dar du abiejuose aerotankuose. Iš tyrimų rezultatų paaiškėjo, kad trečiojo eksperimento metu azoto šalinimo efektyvumas svyravo nuo 73–86 %, vidutiniškai 79 %, nitrifikacijos greitis kito nuo 0,56 iki 0,89 mgN/gVDBSM · h, o denitrifikacijos greitis – nuo 0,94 iki 1,49 mgN/gVDBSM · h. Nors amonio azoto koncentracija aeracijos proceso pradžioje svyravo nuo 0,13 iki 2,2 mg/l, jau aeracijos pabaigoje ji sumažėjo ir svyravo nuo 0,01 iki 0,96 mg/l (7, 8 pav.). Tačiau nitratų kiekis padidėjo ir ypač aeracijos pabaigoje. Buvo nustatyta nuo 0,47 iki 11 mg/l nitratų aeracijos pradžioje, nuo 1,2 iki 17 mg/l nitratų aeracijos pabaigoje. Nepakankama prislopintos aeracijos trukmė visiškai denitrifikacijai įvykti lėmė tai, kad azoto šalinimo efektyvumas sumažėjo net iki 73 %. Tuomet ir buvo pakeistas aeravimo režimas ir



7 pav. Amoniakinio azoto ir nitratų kitimas aeracijos pradžioje ir pabaigoje pirmajame aerotanke, kai aeracijos trukmė 180 ir 120 min, o prislopintos aeracijos –120 min

Fig 7. Concentration change of ammonium nitrogen and nitrates in the first aeration tank in the beginning and at the end of aeration at aeration rate of 180, 120 min, and reduced aeration rate of 120 min

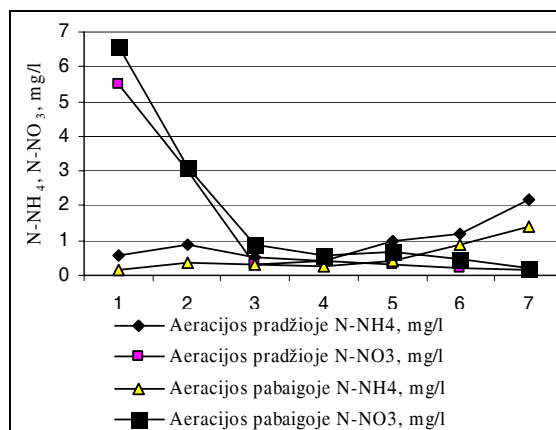


8 pav. Amoniakinio azoto ir nitratų kitimas aeracijos pradžioje ir pabaigoje antrajame aerotanke, kai aeracijos trukmė 180 ir 120 min, o prislopintos aeracijos –120 min

Fig 8. Concentration change of ammonium nitrogen and nitrates in the second aeration tank in the beginning and at the end of aeration at aeration rate of 180, 120 min, and reduced aeration rate of 120 min

paskutines dvi eksperimento dienas aerotankai dirbo kitu režimu, siekiant sumažinti nitratų kiekį. Sumažinus aeravimo trukmę nuo 180 min iki 120 min, nitratų kiekis per dvi eksperimento dienas sumažėjo iki 0,75 mg/l aeracijos pradžioje ir iki 0,75 mg/l aeracijos pabaigoje. Azoto šalinimo efektyvumas padidėjo iki 86 %.

Kitas eksperimentas buvo atliekamas kardinaliai keičiant aeravimo režimą, t. y. aeracijos laikotarpis sutrumpinamas nuo 180 min iki 120 min, o prislopintos aeracijos laikotarpis nuo 120 min prailginamas iki 180 min, siekiant sumažinti nitratų kiekį, sudarant sąlygas visiškai denitrifikacijai. Ketvirtasis eksperimentas vyko 7 dienas (rugpjūčio 29 d.–rugsėjo 4 d.). Aerotankams dirbant tokiu režimu, buvo atlikti 7 tyrimai dviejuose aerotankuose. Iš tyrimų rezultatų paaiškėjo, kad, dirbant tokiu aeravimo režimu, azoto šalinimo efektyvumas svyravo nuo 73–88 %, vidutiniškai – 83 %, nitrifikacijos greitis kito nuo 0,76 iki 1,29 mgN/ gVDBSM · h, o denitrifikacijos greitis – nuo 0,49 iki 0,71 mgN/gVDBSM · h. Nitrifikacija vyko iki galo pirmąsias 5 dienas. Amoniakinio azoto koncentracija aeracijos proceso pradžioje svyravo nuo 0,31 iki 1,4 mg/l, o aeracijos pabaigoje sumažėjo ir svyravo nuo 0,02 iki 0,7 mg/l (9, 10 pav.).

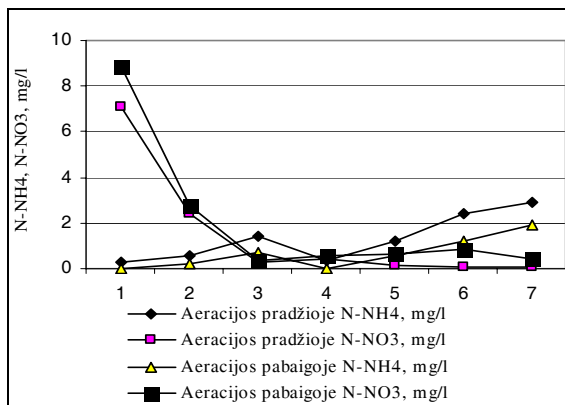


9 pav. Amoniakinio azoto ir nitratų kitimas aeracijos pradžioje ir pabaigoje pirmajame aerotanke, kai aeracijos trukmė 120 min, o prislopintos aeracijos –180 min

Fig 9. Concentration change of ammonium nitrogen and nitrates in the first aeration tank in the beginning and at the end of aeration at aeration rate of 120 min, and reduced aeration rate of 180 min

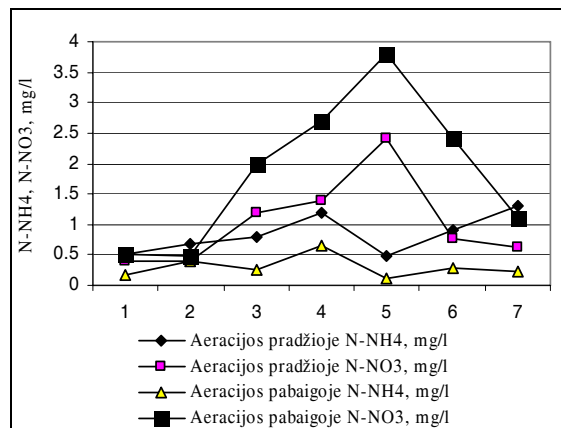
Tačiau dvi paskutines eksperimento dienas amoniakinio azoto koncentracija tiek aeracijos pradžioje tiek pabaigoje padidėjo, vyko tik dalinė nitrifikacija. Nitratų kiekis mažėjo laipsniškai ir trečiąją eksperimento dieną sumažėjo iki 0,5 ir 0,31 mg/l atitinkamai kiekviename aerotanke aeracijos pradžioje ir iki 0,89 ir 0,33 mg/l aeracijos pabaigoje. Pakankama prislopintos aeracijos trukmė galutinei denitrifikacijai įvykti lėmė azoto šalinimo efektyvumo padidėjimą iki 88 %, vėliau efektyvumas sumažėjo iki 82 %.

Penktojo eksperimento metu 74 dienas (rugsėjo 5 d.–lapkričio 18 d.) sąlygos vykti nitrifikacijai buvo palaikomos 150 min, po to 180 min – denitrifikacijai vykti. Aerotankams dirbant tokiu režimu, buvo atlikti 7 tyrimai dviejuose aerotankuose (11, 12 pav.).



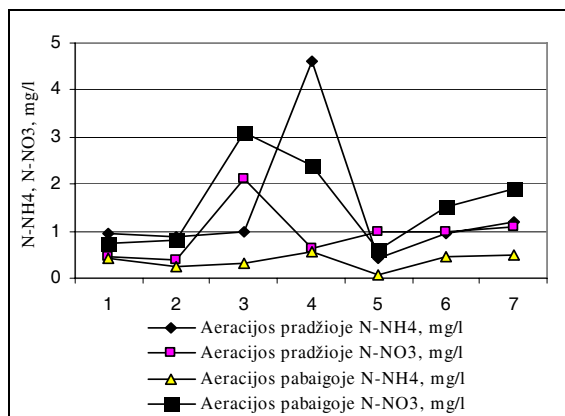
10 pav. Amoniakinio azoto ir nitratų kitimas aeracijos pradzioje ir pabaigoje antrajame aerotanke, kai aeracijos trukmė 120 min, o prislopintos aeracijos –180 min

Fig 10. Concentration change of ammonium nitrogen and nitrates in the second aeration tank in the beginning and at the end of aeration at aeration rate of 120 min, and reduced aeration rate of 180 min



12 pav. Amoniakinio azoto ir nitratų kitimas aeracijos pradzioje ir pabaigoje antrajame aerotanke, kai aeracijos trukmė 150 min, o prislopintos aeracijos – 180 min

Fig 12. Concentration change of ammonium nitrogen and nitrates in the second aeration tank in the beginning and at the end of aeration at aeration rate of 150 min, and reduced aeration rate of 180 min

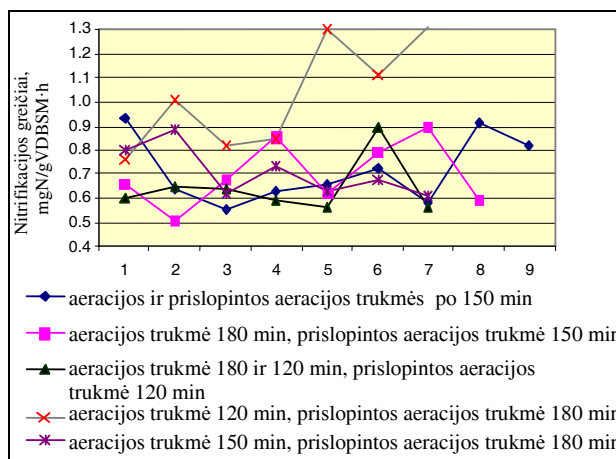


11 pav. Amoniakinio azoto ir nitratų kitimas aeracijos pradzioje ir pabaigoje pirmajame aerotanke, kai aeracijos trukmė 150 min, o prislopintos aeracijos –180 min

Fig 11. Concentration change of ammonium nitrogen and nitrates in the first aeration tank in the beginning and at the end of aeration at aeration rate of 150 min, and reduced aeration rate of 180 min

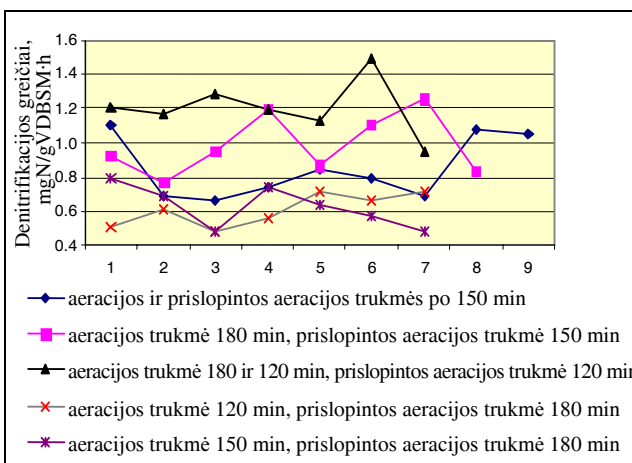
Iš tyrimų rezultatų paaiškėjo, kad, dirbant tokiu aeravimo režimu, azoto šalinimo efektyvumas svyravo 80–89 %, vidutiniškai – 85 %, nitrifikacijos greitis kito nuo 0,62 iki 0,89 mgN/gVDBSM · h, o denitrifikacijos greitis – nuo 0,48 iki 0,79 mgN/gVDBSM · h. Sprendžiant pagal amoniakinio azoto koncentraciją, aeracijos proceso pradzioje (0,44–4,6 mg/l) ir aeracijos pabaigoje (0,06–0,65 mg/l) nitrifikacijos procesas vyko iki galo. Tačiau nitratų kiekis (iki 3,8 mg/l aeracijos pabaigoje) rodė, kad denitrifikacijos procesas įvyko ne iki galo. Tai patvirtino, kad prislopintos aeracijos trukmė nepakankama denitrifikacijai iki galo įvykti. Azoto šalinimo efektyvumas sumažėjo nuo 89 % eksperimento pradzioje iki 80 % tolesnėje eksperimento stadijoje.

Nitrifikacijos ir denitrifikacijos greičiai atliekant visus penkis eksperimentus skyrėsi (13, 14 pav.).



13 pav. Nitrifikacijos greičio kitimas atliekant penkis eksperimentus

Fig 13. Nitrification rate change during five experiments



14 pav. Denitrifikacijos greičio kitimas atliekant penkis eksperimentus

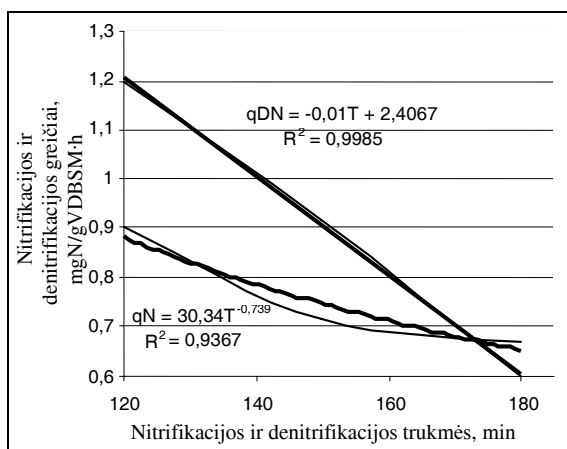
Fig 14. Denitrification rate change during five experiments

Didžiausias nitrifikacijos greitis nustatytas atliekant ketvirtąjį eksperimentą, kai nitrifikacijos trukmė buvo 120 min, mažiausias – atliekant trečiąjį eksperimentą, kai nitrifikacijos trukmė buvo 180 min.

Didžiausias denitrifikacijos greitis buvo nustatytas atliekant trečiąjį eksperimentą, kai prislopinto aeravimo trukmė – denitrifikacijos laikas – sąlygiškai trumpas – 120 min. Mažiausias denitrifikacijos greitis nustatytas atliekant ketvirtąjį bei penktąjį eksperimentą, kai prislopintos aeracijos trukmė 180 min.

Nagrinėjant nitrifikacijos ir denitrifikacijos greičius, buvo iškelta hipotezė: nitrifikacijos ir denitrifikacijos greičius galima prognozuoti pagal aeravimo režimą, tiksliau, pagal aeracijos ir prislopintos aeracijos trukmes.

Atlikus koreliacinę regresinę duomenų analizę, nustatyta nitrifikacijos ir denitrifikacijos greičių priklausomybė nuo dumblo mišinio aeravimo režimo (15 pav.).



15 pav. Nitrifikacijos ir denitrifikacijos greičių priklausomybė nuo aeravimo režimo

Fig 15. Dependency of nitrification and denitrification rate on aeration regime

Iš gautų rezultatų matome, kad nitrifikacijos greičių priklausomybei nuo aeravimo trukmės išreikšti tinkamas eksponentinės regresijos modelis. Modelio tinkamumo rodiklis aukštas $R^2 = 0,94$.

Gautas eksponentinės regresijos modelis:

$$q_N = 30,34 \cdot T^{-0,739}; \quad (8)$$

q_N – nitrifikacijos greitis, mgN/gVDBSM · h, T – aeracijos trukmė, min.

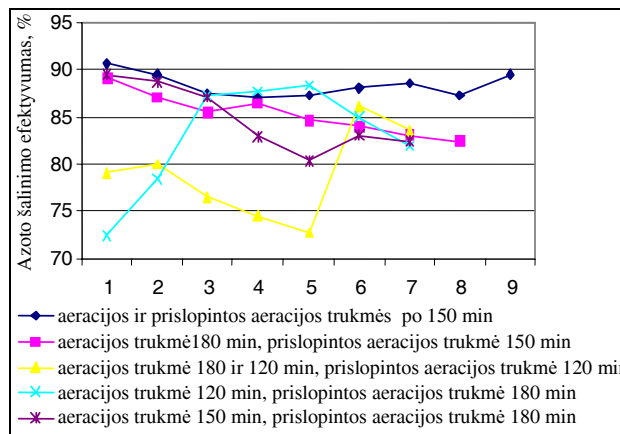
Denitrifikacijos greičių priklausomybei nuo prislopinto aeravimo trukmės išreikšti tinkamas tiesinės regresijos modelis. Modelio tinkamumo rodiklis taip pat aukštas $R^2 = 0,99$.

Gautas tiesinės regresijos modelis:

$$q_{DN} = -0,01 \cdot T + 2,41; \quad (9)$$

q_{DN} – denitrifikacijos greitis, mgN/gVDBSM · h; T – prislopintos aeracijos trukmė, min.

Azoto šalinimo efektyvumas, aerotankams dirbant skirtingais aeravimo režimais, atliekant penkis eksperimentus, svyravo nuo 73 iki 91 % (16 pav.). Viso tyrimo metu bendrojo azoto koncentracija nuotekose po biologinio valymo svyravo nuo 3,9 iki 12 mgN/l.



16 pav. Azoto šalinimo efektyvumas aerotankams dirbant skirtingais aeravimo režimais

Fig 16. Nitrogen removal efficiency at different aeration regime of aeration tanks

6. Išvados

1. Biologiniam azoto šalinimui taikant technologijas, kai nitrifikacija ir denitrifikacija vyksta kaitaliojant aeravimo intensyvumą, labai svarbu teisingai nustatyti aeravimo ir prislopinto aeravimo trukmes.

2. Kai bendrojo azoto koncentracija valomose nuotekose svyruoja nuo 37 iki 52 mgN/l, geriausia būtų taikyti du aeravimo režimus: 150 min aeravimo ir 150 min prislopintos aeracijos laikotarpius bei 180 min aeravimo ir 150 min prislopintos aeracijos laikotarpius.

3. Esant sąlygiškai trumpai aeravimo trukmei (120 min) ir ilgesniam prislopintos aeracijos laikotarpiui (180 min), netrukus pastebimas amoniakinio azoto padidėjimas, t. y. dalinės nitrifikacijos pasekmė. Tačiau šį režimą galima taikyti, kai užfiksuojamas nitratų koncentracijos padidėjimas, t. y. dalinės denitrifikacijos pasekmė. Dirbant tokiu režimu, galima vėl gauti visišką nitrifikaciją.

4. Kai aeracinio ir prislopinto aeravimo trukmės vienodos arba skiriasi nežymiai (apie 30 min), azoto šalinimo efektyvumas yra didžiausias.

5. Nitrifikacijos ir denitrifikacijos greičius galima prognozuoti pagal aeravimo režimą, tiksliau, pagal aeracijos ir prislopintos aeracijos trukmes.

Literatūra

1. BERŽINSKIENĖ, J. *Vandens mikrobiologija*: mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 1999. 144 p.
2. HENZE, M.; HARREMOES, P; JANSEN, J. la C.; ARVIN, E. *Wastewater Treatment. Biological and Chemical Processes*. Springer-Verlag, 1995. 383 p.
3. BITTON, G. *Wastewater Microbiology*. Wiley-Liss, New York, 1994. 456 p.
4. DROSTE, R. L. *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*. J. Wiley & Sons, 1997. 800 p.
5. HATZICONSTANTINOU, G. J., ANDREADAKIS, A. Differences in nitrification potential between fully aerobic and nitrogen removal activated sludge systems. *IWA Publishing, Water Science & Technology*, 2002, Vol 46, No 1/2, p 297–189.

6. JENICEK, P.; SVEHLA, P.; ZABRANSKA, J., and DOHANYOS, M. Factors affecting nitrogen removal by nitrification/ denitrification. *IWA Publishing House, Water Science & Technology*, 2004, Vol 49, No 5/6, p 73–79.
7. MATUZEVIČIUS, A.; PAULASKIENĖ, Z. Ekperimentiniai fosforo ir azoto sunaudojimo bei azoto šalinimo nuotekų biologinio valymo įrenginiuose tyrimai. Iš 3-oji tarptautinė konferencija „Miestų inžinerija ir aplinka“, VGTU, 1998. Vilnius: Technika, 1998. 137 p.
8. *Biobalance. SymBio technology*. 1996. 51 p.
9. *Verlag für Architektur und technische Wissenschaften. Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik. Vereinigung, e.V., Berlin*, 1995. 144 p.
10. *BioBalance. On-line contact with biological processes. Wastewater purification*. 1995. 14 p.
11. NORGARD, P.; HELMO, K.; and SORENSER, E. Purification process for nitrogen removal controlled by NADH. *Vand og Jord, Danish*, 1996, Vol 3, p 126–129.
12. TSAI, M.-W.; WENZEL, M. C.; EKAMA, G. A. The effect of residual ammonia concentration under aerobic conditions on the growth of *Microthrix parvicella* in biological nutrient removal plants. *Water Research*, 2003, 37, p 3009–3015.
13. Unifikuoti nuotekų ir paviršinių vandenų kokybės tyrimų metodai. Cheminės analizės metodai. I dalis. LR aplinkos ministerija, 1994. 224 p.
14. LAND 47-1:2002 (ISO 5815:1989). LR aplinkos ministerija. 2002. 17 p.
15. LAND 32-2000. LR aplinkos ministerija. 2000. 10 p.
16. LAND 66-2005. LR aplinkos ministerija. 2005. 7 p.
17. LAND 58:2003. LR aplinkos ministerija. 2005. 24 p.
18. Lietuvos standartas LST EN 13342. Dumblo apibūdinimas. Azoto nustatymas Kjeldalio metodu.
19. MARTINĖNAS, B. *Eksperimento duomenų statistinė analizė*. Vilnius: Technika, 2004. 101 p.

ASSESSMENT OF NITRIFICATION AND DENITRIFICATION RATE IN BIOLOGICAL NITROGEN REMOVAL FROM WASTEWATER

G. Vabolienė, A. B. Matuzevičius

Abstract

Biological nitrogen removal from wastewater is based on nitrification and denitrification processes in biological treatment plants with activated sludge. Slowed growth of nitrification bacteria is one of basic problems in biological nitrogen removal from wastewater. Using biological nitrogen removal technologies at changing nitrification and denitrification rate, it is very important to evaluate properly aeration and reduced aeration duration and to estimate nitrification and denitrification rate. To this purpose an investigation was carried out at Utena Wastewater Treatment Plant. Nitrification and denitrification rate was estimated during five experiments in aeration tanks when the duration of aeration and reduced aeration was from 120 to 180 min. Nitrification and denitrification rate at a different aeration regime and impact of aeration regime on biological nitrogen removal was estimated in the work.

Keywords: nitrification rate (q_N), denitrification rate (q_{DN}), nitrates, ammonium nitrogen, biological active potential (BPA).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ НИТРИФИКАЦИИ И ДЕНИТРИФИКАЦИИ ПРИ БИОЛОГИЧЕСКОМ УДАЛЕНИИ АЗОТА ИЗ СТОЧНЫХ ВОД

Т. Ваболене, А. Б. Матузевиčius

Резюме

Биологическое удаление азота из сточных вод обосновано процессами нитрификации и денитрификации, происходящими в очистных сооружениях с активным илом. Медленный рост нитрифицирующих бактерий – главная проблема при удалении азота из сточных вод с помощью процесса нитрификации. Важно установить скорости нитрификации и денитрификации при оценке этих процессов. С этой целью на очистной станции были произведены исследования – установлена концентрация азота в активном иле в аэротенке, оценено употребление азота в биохимических процессах с активным илом. Во время исследований были оценены процессы нитрификации и денитрификации в аэротенке, меняя время аэрации и уменьшенной аэрации от 120 до 180 мин. Установлены скорости нитрификации и денитрификации в работе аэротенка с разными режимами аэрации, а также оценено влияние режима аэрации на биологическую эффективность удаления азота.

Ключевые слова: скорость нитрификации, скорость денитрификации, нитраты, аммиачный азот, биологически активный потенциал.

Giedrė VABOLIENĖ. Master, doctoral student, Dept of Water Supply and Management, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU).

Master of Science (water supply and management), VGTU, 1999, doctoral student (environmental engineering and landscape management), VGTU, 2004. Publications: author of 6 research papers. Research interests: wastewater treatment, phosphorus and nitrogen removal from wastewater.

Algirdas Bronislovas MATUZEVIČIUS. Dr, Assoc Prof and head of Dept of Water Supply and Management, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU).

Doctor of Science (hydraulic engineering), Kaunas Polytechnic Institute (KPI), 1970. Employment: Associate Professor and head of Dept of Water Supply and Management, VGTU, since 1988. Associate Professor, Department of Water Supply and Sewage, KPI, 1974–1988. Publications: author of 42 research papers. Research interests: biological wastewater treatment, phosphorus and nitrogen removal from wastewater, sludge treatment.