



SKENDINČIŲJŲ MEDŽIAGŲ IR AMONIO JONŲ ŠALINIMO IŠ DUMBLO VANDENS EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

Kasparas GRAŽINSKAS¹, Aušra MAŽEIKIENĖ², Marina VALENTUKEVIČIENĖ³

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹grazinskas.kasparas@gmail.com; ²ausra.mazeikiene@vgtu.lt;

³marina.valentukeviciene@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjami skendinčiųjų medžiagų ir amonio jonų šalinimo iš dumblo skysčio procesai. Eksperimentiniai tyrimai buvo rengiami VGTU Vandentvarkos katedros laboratorijoje įrengtame eksperimentiniame stende, sudarytame iš filtrų, užpildytų skirtingos frakcijos ceolitų ir kitos įrangos. Laboratorinio tyrimo metu buvo nagrinėjama, kaip gamtinis sorbentas ceolitas naudojamas amonio jonams iš dumblo vandens šalinti, skystį maišant su ceolito milteliais ir filtruojant per ceolito užpildus. Tyrimai vykdyti naudojant 1,0–1,5 mm, 2,0–2,5 mm, 2,5–3,15 mm ceolito frakcijas. Šalinant amonio jonus iš dumblo skysčio, didžiausias efektyvumas, naudojant 2,0–2,5 mm frakcijos ceolitą, siekia 76 %.

Reikšminiai žodžiai: dumblo vanduo (fugatas), amonio jonai, ceolitas, skendinčiosios medžiagos.

Įvadas

Miestų buitinių nuotekų valymas yra prioritetinė aplinkosaugos sritis, labai svarbus uždavinys – sumažinti vandens telkinių taršą azotu ir fosforu (Lietuvos Respublikos aplinkos... 2001). Šių teršalų šalinimas nuotekų valyklose priklauso nuo atitekančių nuotekų sudėties, t. y. kuo didesnės azoto ir fosforo junginių koncentracijos yra valymo grandies pradžioje, tuo sunkiau jas sumažinti iki reglamentuojamų rodiklių (Lietuvos Respublikos aplinkos... 2001). Nuotekų valymo įrenginių (NVĮ) apkrovą bendruoju azotu gali padidinti amonio jonų turtingas dumblo vanduo, kuris susidaro sausinant nuotekų dumblą centrifugomis ir grąžinamas į NVĮ grandies pradžią (Constantine 2006; Thornton *et al.* 2007; Gustavsson 2010). Dumblo vandenyje (fugate) esantys amonio jonai gali padidinti valomų nuotekų bendro azoto koncentraciją daugiau nei 25 % (Thornton *et al.* 2007). Į nuotekų valyklą atitekančio srauto užterštumas amonio jonais apsunkina azoto ir fosforo biologinio šalinimo iš nuotekų procesus, nes didesnei NH_4^+ koncentracijai mažinti reikalingas ilgesnis veikliojo dumblo amžius (~20 parų), kuris nepalankus fosforo šalinimui. Didelės NH_4^+ koncentracijos bioreaktoriuose ir pūdytuvuose slopina metanogeninių bakterijų veiklą, pailgėja pūdyimo trukmė (Calli *et al.* 2005; Wang *et al.* 2010).

Mokslinėje literatūroje rekomenduojama atskirai valyti dumblo skystį, susidarantį nusausinus pūdytą dumblą, prieš grąžinant jį į nuotekų valymo grandį (Gustavsson 2010;

Girdvainis 2013). Šis būdas būtų taikomas kaip papildomos nuotekų taršos amonio azotu prevencijos būdas. Dumblo skystį būtų galima valyti sorbciniais ar biologiniais (ANAMOX) metodais. Pagal šiuos metodus vykstantys biologiniai procesai valdomi sudėtingai, jie priklauso nuo ilgo adaptavimosi periodo ir temperatūros kaitos, todėl manoma, kad sorbcijos procesai yra priimtinesni dumblo skysčiui valyti.

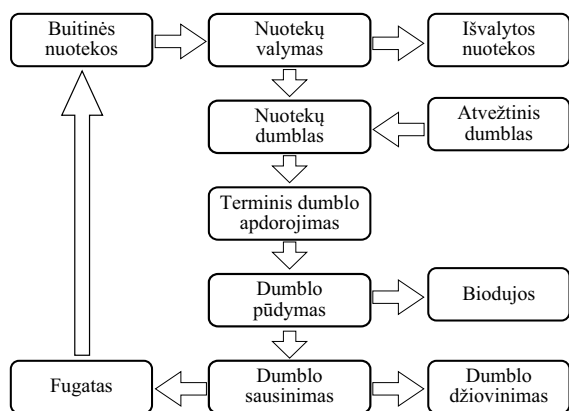
Straipsnyje aprašomo eksperimentinio tyrimo tikslas – iširti Vilniaus miesto nuotekų valykloje susidarancio vandens, sausinant dumblą, užterštumą amonio jonais ir jį sumažinti maišant ar filtruojant per įvairaus stambumo gamtinio ceolito grūdelių užpildus. Sorbcinis procesas buvo tirtas, nes amonio jonus sugėres ceolitas (klinoptilolitas) vėliau gali būti panaudotas kaip trąša žemės ūkyje (Mašauskas *et al.* 2008).

Tyrimo objektas

Nuo 2012 m. birželio Vilniaus miesto nuotekų valykloje veikia dumblo apdoravimo įrenginiai. Pagrindiniai nuotekų valyklos procesai parodyti 1 pav.

Įdiegti tokie buvusios technologinės schemos papildymai:

1. Pirminis dumblo tirštinimas ir maišymas su atvežtu iš kitų regiono valyklų dumblu.



1 pav. Nuotekų valymo ir dumblo apdorojimo procesai
Fig. 1. Wastewater and sludge treatment processes

2. Parengtinis terminis dumblo apdorojimas padidintu slėgiu prieš pūdymą.
3. Mezofilinis dumblo pūdymas.
4. Pūdyto dumblo sausinimas centrifugomis.
5. Sausinto dumblo džiovinimas.

Šiuo metu dirba trys dumblo sausinimo centrifugos (debitas – 13 m³/h). Jose išsiskiriantis skystasis dumblo komponentas (fugatas) grąžinamas į nuotekų valyklos pradžią (skirstymo kamerą prieš grotas) ir nėra įtraukiamas į apskaitą matuojant atitekančių nuotekų debitą. Svarbu iširti sausinant pūdytą dumblą susidarancio skystčio užterštumą amonio jonais ir galimybes šiam užterštumui mažinti.

Tyrimų metodika

Eksperimentinis tyrimas vykdytas 2013 m. rugsėjo–gruodžio mėn. Sausinamo nuotekų dumblo vandens ėminiai (sudėtiniai 25 l ėminiai, sudaryti imant po 1 l fugato) iš Vilniaus miesto nuotekų valyklos buvo vežami į VGTU Vandentvarkos katedros laboratoriją. Joje buvo matuojama atvežto skystčio mėginių temperatūra, pH, amonio jonų ir skendinčiųjų medžiagų (SM) koncentracija. Tam buvo taikomas košimo metodas, aprašytas Aplinkos apsaugos normatyviniame dokumente LAND 46-2007 „Vandens kokybė. Skendinčiųjų medžiagų nustatymas. Košimo pro stiklo pluošto koštuvą metodas“. Naudota košimo įranga vakuume; stiklo pluošto filtrai, kurių porų dydis – 1,0 μm; džiovinimo spinta (palaikant apie 105 °C temperatūrą); analizinės svarstyklės (kurios sveria 0,1 mg tikslumu). Amonio jonų koncentracijai nustatyti mėginiuose buvo naudojamas testas „MerckSpectroquant, 1.00683.0001 Ammoniumtest“, kurio ribos – 5,0–150 mg/l NH₄⁺ ir spektrofotometras „Genesys 10 Vis“ (nuskaitymas – nuo 190–1100 nm). Mėginiai, turintys didesnes NH₄⁺ koncentracijas (5 ml), buvo

skiedžiami distiliuotu vandeniu (1:10, 1:100 ir 1:1000) ir nustatoma amonio jonų koncentracija. NH₄⁺-N koncentracijos ėminiuose mažinimo tyrimai atlikti naudojant gamtinį ceolitą. Ceolito (atvežto iš Ukrainos, Sokirnickio radavietės) frakcijos (0,8–2,0, 2,0–2,5, 2,5–3,2 mm skersmens grūdėliai) buvo atrinktos naudojant kalibruotus sietus. Šių frakcijų 100 ir 200 g masės bandiniai buvo maišomi su 1 l dumblo skystčio automatinėje maišyklėje 30 min. 100 aps./min., paliekama nusistovėti dar 30 min. ir matuojama amonio jonų koncentracija nufiltruotuose mėginiuose. Filtruota per stiklo pluošto filtrus, kurių porų dydis – 1,0 μm.

Eksperimento metu buvo tiriamas skendinčiųjų medžiagų šalinimo efektyvumas filtruojant dumblo vandenį (fugatą) pro penkias kolonas, užpildytas skirtingais filtravimo užpildais. Šiam tyrimui buvo sumontuotas stendas, sudarytas iš penkių 46 mm skersmens, 0,5 m aukščio filtravimo kolonų. Filtru užpildo aukštis – 0,2 m. Tyrimo stendas parodytas 2 pav.



2 pav. SM šalinimo efektyvumui tirti naudotas stendas
Fig. 2. A test bench for research on the efficiency of removing suspended solids

Paveiksle kolonos sužymėtos numeriais pagal atitinkamus užpildus: 1 – smėliagaudėse (iš Vilniaus miesto NVĮ) sulaikytas smėlis (2,0–2,5 mm); 2 – smulkios frakcijos (1,0–1,5 mm) ceolito užpildas; 3 – vidutinės frakcijos (2,0–2,5 mm) ceolito užpildas; 4 – stambios frakcijos (2,5–3,15 mm) ceolito užpildas; 5 – trupintos keramikos (palyginimui) užpildas (2,0–8,0 mm). Nustačius pradinę skendinčiųjų medžiagų koncentraciją, fugatas buvo filtruojamas, buvo matuojama SM koncentracija filtrate. Perfiltravus 1 l fugato, buvo imami 10 ml filtrato mėginiai, šie filtruojami pro stiklo pluošto filtrus ir džiovinant buvo nustatoma SM medžiagų koncentracija.

Toliau buvo atliktas amonio jonų koncentracijos fugate mažinimo filtruojant per ceolito užpildą tyrimas. Fugatas buvo filtruojamas per sumontuotą koloną. Kolonos skersmuo – 46 mm, aukštis – 2,0 m. Filtravimo kolona buvo užpildyta 2,0–2,5 mm frakcijos ceolito užpildu. Ceolito užpildo aukštis – 1,0 m. Fugatas buvo pilamas į koloną ir filtruojamas 1,8 m/h greičiu. Išfiltravus po 1 l fugato, buvo imami filtrato mėginiai. Juose buvo matuojama amonio jonų koncentracija. Bandiniai buvo filtruojami per 47 mm skersmens stiklo pluošto filtrus, kurių porų dydis – 1,2 μm. Į filtravimo aparatą buvo įdedamas membraninis filtras, nufiltruotas bandinys skiedžiamas 10 kartų. Skiesti buvo naudojamas distiliuotas vanduo. Atskiedus distiliuotu vandeniu, mėgintuvėlis buvo gerai suplakamas, kad tirpalas visiškai susimaišytų. Siekiant išvengti atsitiktinių paklaidų ir gauti tikslesnį tyrimų rezultatą, skendinčiųjų medžiagų ir amonio jonų koncentracijos buvo nustatomos po tris kartus.

Rezultatai ir analizė

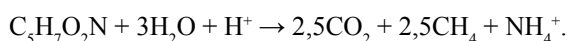
Tyrimų laikotarpiu Vilniaus NVĮ išpūdytą dumblą sausinant centrifugomis, susidarydavo dumblo vanduo – fugatas, kurio ėminius (18 ėminių tyrimo laikotarpiu) ištyrus laboratorijoje, buvo gauti rodikliai (1 lentelė).

1 lentelė. Dumblo vandens rodikliai
Table 1. Characteristics of sludge liquor

Rodikliai	Ėminio tūris, l	pH	*NH ₄ ⁺ konc., mg/l	SM, mg/l	T, °C
Min.	15	7,2	1025	2050	20
Maks.	35	7,6	1750	16570	24
Vid.	25	7,4	1388	9310	22

* Pateikta vidutinė koncentracija išmatavus tris kartus, mėginį gerai išmaišius.

Nustatyta, kad Vilniaus miesto nuotekų valykloje sausinant pūdytą dumblą išsiskiria skystoji frakcija – fugatas, kuriame tyrimų laikotarpiu amonio koncentracija svyravo nuo 1025 iki 1750 mg/l. Tokia koncentracija atitinka ar yra šiek tiek didesnė, kaip kad minima mokslinėje literatūroje (Thornton *et al.* 2007; Gustavsson 2010; Girdvainis 2013). Pūdytuvuose, vykstant anaerobiniam organinių medžiagų skaidymui, procesas išreiškiamas šia lygtimi:



Iš lygties matyti, kad, skylant organinėms medžiagoms, aplinkoje daugėja amonio jonų. Iš 2 lentelės duomenų matyti, kad fugato pH < 9. Taigi amonio jonai nevirsta amoniaku NH₃, kaip teigiama mokslinėje literatūroje (Arslan, Veli 2012). Atlikus NH₄⁺-N koncentracijos ėminiuose mažinimo, juos maišant su ceolito frakcijomis, tyrimus, gauti rezultatai pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Amonio jonų šalinimo efektyvumas, kai naudojama automatinė maišyklė

Table 2. The efficiency of removing ammonium ions using an automatic mixer

Bandymo Nr.	Ceolito masė, g	Frakcijos dydis, mm	*NH ₄ ⁺ koncentracija, mg/l		Efekt., %
			Pradinė	Po maišymo	
1	100	2,5–3,2	1460	1420	3
2	200	2,5–3,2		1395	4
3	100	2,0–2,5		1145	22
4	200	2,0–2,5		720	51
5	100	0,8–2,0		485	67
6	200	0,8–2,0		120	92

* Pateikta vidutinė koncentracija išmatavus tris kartus, mėginį gerai išmaišius.

Kaip matyti iš rezultatų, geriausiai (92 %) amonio jonus iš dumblo skysčio šalino smulkiausiaji ceolito frakcija, kai jos buvo naudojama daugiau (200 g). 2,5–3,2 mm dydžio ceolito grūdelių frakcija pasirodė neefektyvi (amonio jonų šalinimo iš ėminių efektyvumas – tik 3–4 %), todėl toliau tyrimuose nenaudota. Atsižvelgiant į gautus rezultatus, toliau tirti (filtravimo bandymams) paliktos dvi ceolito frakcijos: 0,8–2,0 ir 2,0–2,5 mm. Pabandžius filtruoti atsivežtą fugatą per 0,8–2,0 mm dydžio ceolito užpildą (kolonos aukštis – 1 m), bandymas nepavyko dėl ceolito užpildo kimšimosi. Kaip matyti iš 1 lentelės, atsivežtame dumblo vandenyje buvo didelė (vidutiniškai 9310 mg/l) skendinčiųjų medžiagų koncentracija, kuri turėjo įtakos tiek sorbcinėms ceolito savybėms, tiek hidrauliniams filtro pralaidumui.

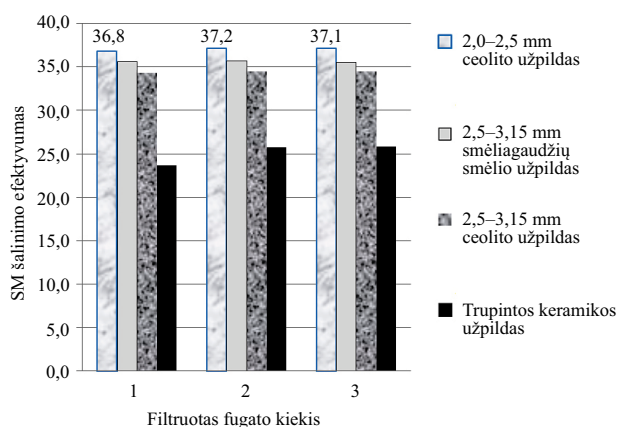
Atlikus SM koncentracijos fugate mažinimo filtruojant (stende, parodytame 1 pav.) tyrimus, rezultatai pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė. Skendinčiųjų medžiagų koncentracija fugate po filtravimo

Table 3. The concentration of suspended solids in sludge liquor after filtration

Fugato tūris, l	SM koncentracija filtrate, mg/l				
	Filtravimo kolonų užpildai				
	Smėliagaudžių smėlio	ceolito			Keramikos
0,5–1,0 mm		2,0–2,5 mm	2,5–3,15 mm		
1	9819	–	9643	10 015	11 643
2	9805	–	9584	9995	11 325
3	9837	–	9592	9986	11 311

Pastaba. Pradinė SM koncentracija fugate – 1440 mg/l.



3 pav. Skendinčiųjų medžiagų šalinimo efektyvumas (%)

Fig. 3. The efficiency (%) of removing suspended solids

Pagal išmatuotą skendinčiųjų medžiagų koncentraciją prieš filtravimą ir po jo buvo apskaičiuotas užpildų efektyvumas, šalinant SM iš fugato. Skendinčiųjų medžiagų šalinimo efektyvumas po kiekvieno filtravimo parodytas 3 pav.

3 pav. nėra parodytų antrosios kolonos su smulkios frakcijos (1,0–1,5 mm) ceolito užpildu rezultatų, nes toks filtras iškart užsikimšo ir filtravimas nepavyko. Atlikto eksperimento rezultatai rodo, kad efektyviausiai iš pasirinktų užpildų skendinčiąsias medžiagas šalino 2,0–2,5 mm frakcijos ceolito užpildas. Šio užpildo SM pašalinimo efektyvumas siekė 37 %. Mažiausias SM pašalinimo efektyvumas buvo pasiektas naudojant trupintos keramikos filtrą (24–25 %). Trupintos keramikos dalelių dydis buvo didžiausias (nuo 2 iki 8 mm), taigi šiame užpilde buvo sulaukyta mažiausiai skendinčiųjų medžiagų dėl mažesnio paviršiaus ploto. Skendinčiosios medžiagos fugate yra ypač smulkios dėl terminio dumblo skaidymo, kuris vykdomas Vilniaus nuotekų valykloje (1 pav.). Todėl sausinant dumblą po pūdymo centrifugomis SM nepavyksta veiksmingai sulaukyti sausojoje dumblo frakcijoje ir didelė dalis patenka į fugatą. Filtruojant fugatą per skirtingų užpildų kolonas (2 pav.), ištekantis skendinčiųjų medžiagų kiekis yra taip pat palyginti didelis (3 lentelė), todėl SM gali aplipti ceolito grūdelius ir trukdyti jų vykdomai amonio jonų sorbcijai. Kad ceolito filtrai neužsikimštų greičiau, nei išsenka jų sorbcinė geba, reikėtų ieškoti kitų, efektyvesnių būdų skendinčiųjų medžiagų koncentracijoms fugate mažinti.

Amonio jonų šalinimo efektyvumo iš dumblo fugato, naudojant ceolito filtras, tyrimo rezultatai pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė. Amonio jonų šalinimo iš dumblo vandens tyrimas
Table 3. Research on removing ammonium ions from sludge liquor

Mėginio Nr.	*NH ₄ ⁺ konc. mėginiuose, mg/l	**Pradinė NH ₄ ⁺ konc. fugate, mg/l	Amonio jonų šalinimo efekt., %
1	325	1328	75,5
2	397		70,1
3	498		62,4
4	572		56,9
5	635		52,1
6	721		45,6
7	812		38,8
8	891		32,8
9	997		24,8
10	1121		15,5

* Pateikta vidutinė koncentracija išmatavus tris kartus, mėginį gerai išmaišius.

** Pateikta vidutinė koncentracija išmatavus penkis kartus, mėginį gerai išmaišius.

Gauti rezultatai rodo, kad ceolito užpildai gali būti naudojami amonio jonams iš dumblo fugato šalinti, o šalinimo efektyvumas, naudojant 2,0–2,5 mm frakcijos ceolitą, siekia 76 %. Iš 3 lentelės rezultatų matyti, kad likutinė amonio jonų koncentracija kiekviename filtrato litre didėja (filtravimo efektyvumas mažėja), nes mažėja ceolito užpildo sorbcinės savybės. Kaip matyti iš ankstesnių tyrimų, fugatas yra gausiai užterštas skendinčiosiomis medžiagomis (apie 16500 mg/l). Tekėdamos pro filtrą, skendinčiosios medžiagos prilimpa prie ceolito dalelių ir trukdo vyksti jonų mainams tarp amonio jonų terpėje ir natrio, kalcio jonų ceolito gardelėje. Taip pat fugate yra ne tik amonio jonų, bet ir kitų teršalų (fosfatų, sunkiųjų metalų, organinių medžiagų ir t. t.), kurie reaguoja su ceolito grūdeliais, taip trukdydami šalinti amonį.

Išvados

Tyrimo metu iš Vilniaus NVĮ paimtuose pūdyto dumblo vandens ėminiuose buvo gana didelė amonio jonų koncentracija (iki 1750 mg/l). Šis rezultatas patvirtino hipotezę, kad sausinant dumblą centrifugose susidaro turtingas amonio jonų fugatas, kaip buvo prognozuojama mokslinėje literatūroje. Atlikus NH₄⁺-N koncentracijos ėminiuose mažinimo, juos maišant su ceolito frakcijomis, tyrimus, pasiektas 92 % efektyvumas. Tinkamiausia pasirodė smulkiausia iš tirtųjų frakcijų (0,8–2,0 mm), tačiau vienam litrui fugato apdoroti prireikė 200 g ceolito. Gamybinėmis sąlygomis taip apdorojant fugatą susidarytų didelė ceolito išėiga, kas būtų neracionalu. Vilniaus nuotekų valykloje susidarančiame fugate yra itin didelė skendinčiųjų medžiagų koncentracija,

kuri siekia iki 16500 mg/l. Filtruojant fugatą per ceolito, smėlio ir keramikos užpildus, SM koncentracija mažėja neefektyviai. Efektyviausiai iš pasirinktų užpildų skendinčiasias medžiagas šalino 2,0–2,5 mm frakcijos ceolito užpildas. Šio užpildo SM pašalinimo efektyvumas siekė 37 %. Pūdyto dumblo vandenyje esančias $\text{NH}_4^+\text{-N}$ koncentracijas galima sumažinti ~76 %, kai jis filtruojamas per 1 m aukščio ceolito užpildą (frakcija 2,0–2,5 mm) 1,8 m/h greičiu. Amonio jonų šalinimo efektyvumas filtruojant greitai mažėja dėl didelių pradinių SM ir amonio jonų koncentracijų.

Literatūra

- Arslan, A.; Veli, S. 2012. Zeolite 13X for adsorption of ammonium ions from aqueous solutions and hen slaughterhouse wastewaters, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 43(3): 393–398.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jtice.2011.11.003>
- Calli, B.; Mertoglu, B.; Inanc, B.; Yenigun, O. 2005. Effects of high free ammonia concentrations on the performances of anaerobic bioreactors, *Process Biochemistry* 40(3–4): 1285–1292. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2004.05.008>
- Constantine, T. 2006. North American experience with centrate treatment technologies for ammonia and nitrogen removal, in *Proceedings of the Water Environment Federation 79th Annual Conference & Exposition*, October 2006, Dallas, TX.
- Girdvainis, V. 2013. Biologinio nuotekų valymo nitrifikacijos proceso skatinimas biopreparatu Poliflock-NMC, *Vandentvarka* 42: 6–7.
- Gustavsson, D. 2010. Biological sludge liquor treatment at municipal wastewater treatment plants – a review, *Vatten, Journal of Water Management and Research published by the Swedish Association for Water* 66: 179–192.
- LAND 46-2007. Vandens kokybė. Skendinčių medžiagų nustatymas. Košimo pro stiklo pluošto koštuvų metodas. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas Nr. D1-412, 2007 m. liepos 13 d., Vilnius, *Valstybės žinios* 80.3284.
- Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. 2001. Aplinkosaugos reikalavimai nuotekoms tvarkyti, 495 įsakymas, *Valstybės žinios* 87-3054.20.
- Mašauskas, V.; Mašauskienė, A.; Bernotas, S.; Kepšienė, R. 2008. Azoto trąšų su klinoptilolitu poveikis azoto ir dirvožemio plovimo mažinimui, iš *Nitratinių trąšų tobulinimas, naujų sukūrimas ir jų efektyvumo įvertinimas*: mokslinių straipsnių rinkinys. AB „Achema“, LŽI, LŽŪU, LSDI–Jonava, 18–29.
- Thornton, A.; Pearce, P.; Parsons, S. A. 2007. Ammonium removal from digested sludge liquors using ion exchange, *Water Research* 41: 433–439.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2006.10.021>
- Wang, F.; Ding, Y.; Ge, L.; Ren, H.; Ding, L. 2010. Effect of high-strength ammonia nitrogen acclimation on sludge activity in sequencing batch reactor, *Journal of Environmental Sciences* 22(11): 1683–1688.
[http://dx.doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60306-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60306-5)

EKSPERIMENTAL RESEARCH ON REMOVING SUSPENDED SOLIDS AND AMMONIUM IONS FROM SLUDGE LIQUOR

K. Gražinskas, A. Mažeikienė, M. Valentukevičienė

Abstract

The article investigates the processes of removing suspended solids and ammonium ions from sludge liquor. Experimental research was carried out at the Water Management Department laboratory of Vilnius Gediminas Technical University applying an experimental bench made of filters equipped with the zeolites of a different fraction and other appliances. Laboratory testing looked at the use of natural sorbent zeolite for removing ammonium ions from sludge liquor mixing liquid with powdered zeolite and filtering through zeolite filter media. Research was carried out employing the particles of zeolite 1.0–1.5 mm; 2.0–2.5 mm; 2.5–3.15 mm in diameter. The highest efficiency of removing ammonium ions reached 76% and was obtained using zeolite particles 2.0–2.5 mm in diameter.

Keywords: sludge liquor, ammonium ions, zeolite, suspended solids.