

Gelþbakteriø veiklos intensyvinimas eksperimentiniuose smëlio koðtuvuose ruoðiant geriamàjà vandenà

Auðra Mapeikienë

*Vandentvarkos katedra, Vilniaus
Gedimino technikos universitetas,
Saulëtekio al. 11, LT-10223 Vilnius,
el. paðtas Ausra.Salteniene@ap.vtu.lt*

Tirta gelþbakteriø veikla, ðalinant ið poþeminio vandens geleþà bei mangànà eksperimentiniais smëlio koðtuvais. Tyrimais siekta nustatyti gelþbakteriø skaièiaus bei jo pasiskirstymo koðtuvø uþpilduose priklausomybes nuo technologiniø parametrø ruoðiant poþeminà vandenà gërimui.

Á Kirtimø vandentiekio mazge sumontuotà eksperimentiná stendà 2004.03.03–17 buvo tiekiamas natūralus Pagirio vandenvietës poþeminis vanduo, kuriame Fe bei Mn priemaiðø koncentracijos buvo didesnës, palyginti su HN 24:2003 reikalavimais. Nustatyta, kad, visiems trims eksperimentiniams koðtuvams dirbant 15 m/h greièiu ir juos vienodai plaunant þaliu vandeniu 9 l/s/m² intensyvumu, iðkoðtame vandenyje liko tokie Fe bei Mn kiekiai, kurie atitiko HN 24:2003 reikalavimus geriamajam vandeniui. Visø koðtuvø uþpildø apnaðose aptikta gyvø gelþbakteriø, kuriø gausiausia buvo virðutiniuose uþpildø sluoksniuose (150 mm gylyje).

Atliekant tyrimus su dirbtiniu vandeniu (kuriame Fe bei Mn priemaiðø koncentracijos buvo padidintos pridedant FeSO₄ · 7H₂O bei MnSO₄ · H₂O) 2004.04.27–2004.05.11 1-asis koðtuvas dirbo 15 m/h, 2-asis – 10 m/h ir 3-iasis – 20 m/h greièiu. Abu pastarieji, kitaip nei 1-asis, prieš plaunant vandeniu buvo prapueiami oru 30 l/s/m² intensyvumu. Geleþies, amonio jonø bei mangano priemaiðas geriausiai ðalino 2-asis koðtuvas (v = 10 m/h), jo uþpildo visuose tirtuose sluoksniuose aptikta daugiausiai gelþbakteriø. Geleþies koncentracijai koðiamajame vandenyje padidëjus nuo 1,2 iki 2,0 mg/l, o mangano – nuo 0,1 iki 0,2 mg/l, gelþbakteriø skaièius ðio koðtuvo uþpildo 150 mm gylyje iðaugo 10 kartø, todël iðkoðtame vandenyje nei Fe, nei Mn priemaiðø nebeliko. Nors 2-asis koðtuvas buvo plaunamas intensyviau, nei 1-asis, jame gelþbakteriø aptikta daugiau. Tam átakos turëjo lëtesnis koðimo greitis. Maþiausiai gelþbakteriø aptikta 3-iojo koðtuvo, dirbusio didþiausiu (v = 20 m/h) greièiu, uþpilde.

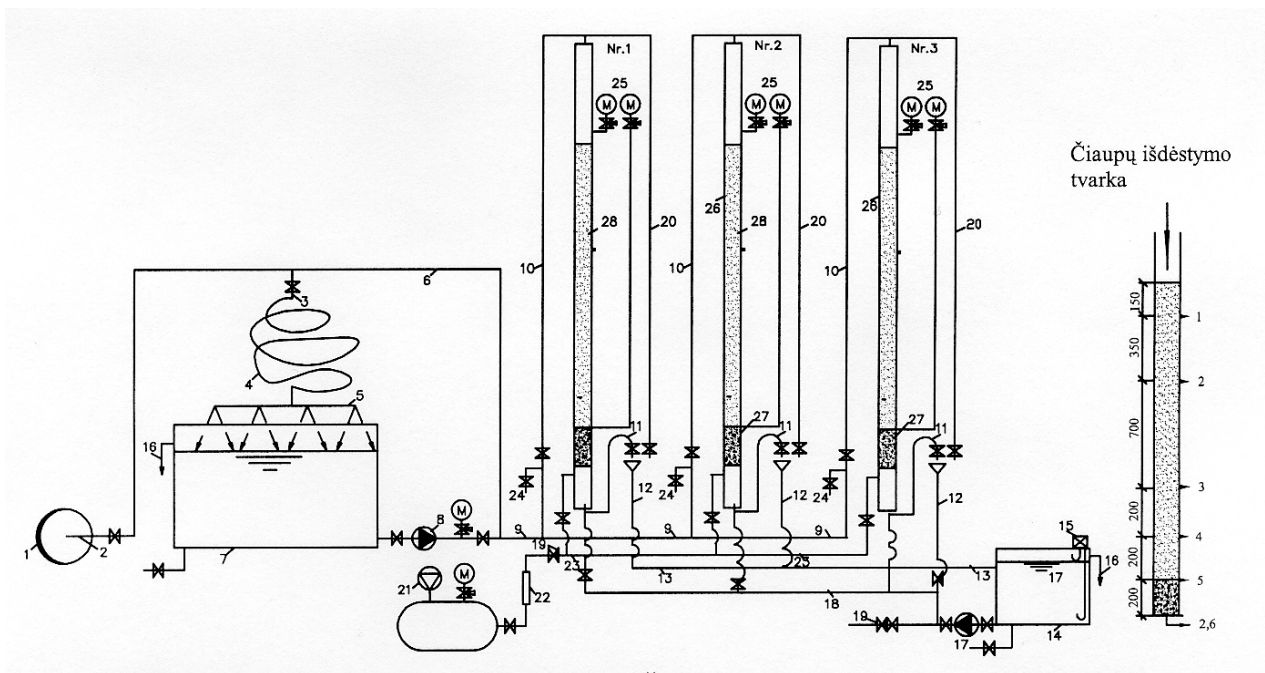
Raktaþodþiai: gelþbakterës, geriamasis vanduo, smëlio koðtuvai, geleþis, manganas

ÁVADAS

Gelþbakterës – tai vandens mikroorganizmai, kuriuos sieja bendra savybë: jie kaupia divalentà geleþà ir mangànà lãsteliø pavirðiuje, kapsulëse ar apvalkalëliuose, sudarydami neorganinius ðiø metalø junginius (Áàèàøîàà, 1989; Bergey's, 1994). Geleþà ir mangànà oksiduojanëios bakterijos nesudaro specializuotos fiziologinës grupës, pats Fe²⁺ bei Mn²⁺ oksidavimo procesas apima nespecificines (nors ir fiziologiðkai reikðmingas) reakcijas, kuriose sàveikauja nepastovaus valentingumo metalø jonai su toksiniais metabolizmo produktais. Taigi oksidavimo reakcijø vyksmà lemia ekologiniø sàlygø specifika (Ëóçí àõî à, 1989).

Gelþbakteriø ypatybës panaudojamos kuriant biologiná geleþies ir mangano ðalinimo ið vandens metodà ir juo paremtas technologijas (Mouchet, 1992;

Bohm, 1995; Boudou et al., 1995; Hem, 1997). Ruoðiant poþeminà vandenà gërimui, smëlio koðtuvuose sukuriama gelþbakteriø veiklai tinkamos sàlygos. Drauge su ruoðiamu vandeniu á koðtuvus patekusios gelþbakterës dël savo gleiviniø apvalkalëliø prikimba prie uþpildo daleliø ir oksiduoja vandenyje esanëius Fe²⁺ bei Mn²⁺ jonus, pervesdamos juos á Fe³⁺ bei Mn⁴⁺ junginiø netirpias formas. Pastarosios sulaiKOMOS koðtuvø smëlio uþpilduose. Lyginant su áprastomis fizininiais ir cheminiais metodais pagrãstomis technologijomis geriamajam vandeniui ruoðti, biologiniais procesais pagrãsta geleþies ir mangano ðalinimo ið poþeminio vandens technologija pasiþymi ðiais pranaðumais: a) maþesnës árengimø statybos bei aptarnavimo iðlaidos; b) nereikia naudoti cheminiø reagentø; c) ilgesnis koðtuvø eksploataavimo laikas; d) didelë paruoðto vandens iðeiga, nes koðtuvams plau-



1 pav. Principinė eksperimentinio stendo schema. Ėia 1 – poþeminio þalio vandens magistralė; 2 – áþjova á magistralė; 3 – þalio vandens tiekimas; 4 – lanksti þarna; 5 – èiurkðlinimo árenginys; 6 – apylankinė linija; 7 – aeruoto vandens bakas; 8 – aeruoto vandens tiekimo siurblys; 9 – aeruoto vandens paskirstymo linija; 10 – slėginės linijos; 11 – iðkoðto vandens tiekimas; 12 – iðkoðto vandens surinkimo linijos; 13 – iðkoðto vandens nuleidimo kolektorius; 14 – iðkoðto vandens bakas; 15 – lygio relė; 16 – persilieþimo atvamzdþiai; 17 – iðkoðto vandens persiurbimo siurblys; 18 – plovimo vandens linija; 19 – atbuliniai voþtuvai; 20 – paplavø nuleidimo linija; 21 – kompresorius; 22 – rotametas; 23 – suslėgto oro linija; 24 – vandens bandiniø paėmimo atvamzdþiai; 25 – manometrai; 26 – vandens ir smėlio bandiniø paėmimo atvamzdþiai; 27 – koðiantįjã sluoksnã palaikantieji sluoksniai; 28 – kvarcinio smėlio uþpildas

Fig. 1. Principle scheme of experimental pilot plant: 1 – underground raw water main; 2 – incision into water-main; 3 – raw water supply; 4 – flexible pipe; 5 – streaming equipment; 6 – roundabout line; 7 – aerated water tank; 8 – aerated water feeding pump for filter models; 9 – aerated water distribution line; 10 – water feeding pipeline for filters; 11 – filtrate pressure pipeline; 12 – filtrate pipeline; 13 – backwash discharge pipeline; 14 – filtrate tank; 15 – water level relay; 16 – overflow pipes; 17 – filtrate pump; 18 – backwash supply pipeline; 19 – backwash valves; 20 – backwash discharge; 21 – air blower; 22 – rotameter; 23 – pressed air pipeline; 24 – water sampling taps; 25 – pressure gauges; 26 – water and sand sampling taps; 27 – gravel layers; 28 – quartz sand bed

ti reikia maþiau iðkoðto vandens arba plauti galima ruoðiamu vandeniui; e) koðtuvø plovimo vanduo ekologiškai nekenksmingas ir tinka gelþbakterėms augti; f) gaunamas tirðtesnis plovimo vandens dumblas, kurã lengviau nusausinti (Mouchet, 1992; Bourguine et al., 1994). Taigi biologinis geleþis ir mangano ðalinimo ið poþeminio vandens metodas yra geriausias, jei ruoðiamo vandens savybės tam tinkamos. Bakterijø augimas priklauso nuo tinkamo pH ir elektrocheminio potencialo balanso, t. y. nuo terpės, sugabanėios palaikyti optimaliã Fe^{2+} bei Mn^{2+} koncentracijã (Bohm, 1995).

Geleþis ir manganas Lietuvos poþeminiame vandenyje – svarbiausi komponentai, paþeidþiantys geriamojo vandens kokybės normatyvinius reikalavimus (Diliūnas, Sakalauskas, 1996; Diliūnas, 1999). Geriamojo vandens normatyvai riboja geleþis bei mangano koncentracijø dydã ne dël toksikologiniø sumetimø, o todël, kad ðie metalai gali sumaþinti vandens vartojimo galimybes. Geleþis ir mangano kie-

kis geriamajame vandenyje ribojamas dël organoleptiniø savybiø, didesni ðiø priemaiðø kiekiai daþo skalbinius, indus, vanduo bûna nemalonus skonio bei kvapo. Vamzdynuose bei vandens õildytuvuose atsiradusios geleþis ir mangano sankaupos apsunkina vandens tiekimã ir jau tampa ekonomine problema. Apie 90% visø ðalyje iðtirtø vandens iðteklis kokybė pagal geleþis koncentracijã juose neatitinka HN 24:2003 reikalavimø (Sakalauskas, 1999; Diliūnas ir kt., 2002). Lietuvos higienos normoje (HN 24:2003) nurodyta specifikuota didþiausia geleþis koncentracija yra 0,2 mg/l, o mangano – 0,05 mg/l. Dabar tokius reikalavimus atitinka tik apie 40% Lietuvos miestams tiekiamo geriamojo vandens pagal geleþis koncentracijã ir apie 57% – pagal mangano koncentracijã jame (Diliūnas, Jurevičius, 1998; Sakalauskas, 1999).

Siekiant aprûpinti Lietuvos gyventojus kokybiøku geriamuoju vandeniu, perspektyviø, biologiniu oksidavimu ir adsorbcija pagrãstø Fe^{2+} ir Mn^{2+} ðalinimo

1 lentelë. Higienos normos HN 24:2003 leidþiamos ir Pagiriø vandenvietës indikatoriø analiø vertës
 Table1. Indicator analytes specified by the Hygiene Norm HN 24:2003 and their values in the underground water of Pagiriai watering place

Analitë	Didþiausiai leidþiama analitës vertë pagal HN 24:2003	Pagiriø vandenvietës analiø vertës Kirtimø vandentiekio mazge			
		1997–2000 (SP UAB „Vilniaus vandenys“ duomenimis)	2000 03 01	2000 05 12	2004 03 15
Kalcis mg/l	–	52,1–70,1	–	59,6	–
HCO ₃ mg/l	–	–	314	312	–
Sausa liekana mg/l	–	218–380	307,8	–	–
Elektrinis laidis ms/cm (20°C temperatûroje)	2500	–	540	–	–
Permanganatinë oksidacija (indeksas) mgO ₂ /l	5,0	iki 2,7	0,33	0,52	–
Šarmingumas mg- ekv/l	–	4,0–5,2	5,15	5,1	–
H ₂ S, mg/l	–	–	–	0,095	–
Laisvas CO ₂ mg/l	–	–	20	–	–
Drumstumas mg/l	priimtinas vartojimas	iki 7,9	12,5	0,97	–
Spalvingumas laipsniais	30	5	14	–	–
Amonio jonai mg/l	0,5	iki 0,15	0,03	–	0,6 – 0,8
Manganas mg/l	0,05	iki 0,15	0,085	0,12	0,08–0,12
Trivalentë geleþis mg/l	–	–	0,08	0,16	–
Divalentë geleþis mg/l	–	–	1,95	1,98	–
Bendroji geleþis mg/l	0,2	iki 1,80	2,03	2,14	1,4–1,6
Deguois mg/l	–	–	0,12	0,1	–
Eh mV	–	–	35	25	–
pH	6,5–9,5	7,15–7,53	7,62	7,54	7,53
Temperatûra °C	–	7–10,2	8	9,6	8,8

ið poþeminio vandens technologijø ádiegimas yra svarbi problema. Ðiame straipsnyje apraðomø tyrimø tikslas yra ávertinti eksperimentiniuose geriamojo vandens ruoðimo koðtuvuose esanø gelpbakteriø skaiø bei jo augimà priklausomai nuo technologinio reþimo ir vandens savybiø, ðalinant ið poþeminio vandens geleþà bei manganà.

Eksperimentiniø tyrimø uþdaviniai

Eksperimentø metu spræsti ðie uþdaviniai:

1. Koðiant modeliais natûralø Pagiriø vandenvietës vandenà iðtirti: a) kaip ðalinami geleþis, amonio jonai bei manganas ið vandens, jam patenkant á vis gilesnius koðtuvø uþpildø sluoksnius dėl fiziniø ir biologiniø procesø; b) koks gelpbakteriø skaiëiaus pasiskirstymas koðtuvø uþpilduose.

2. Koðiant dirbtinà vandenà (didesniø Fe²⁺ ir Mn²⁺ koncentracijø) iðtirti: a) ar geleþis, manganas bei amonio jonai paðalinami iki higienos normos HN 24:2003 reikalavimø; b) kaip keiëiasi gelpbakteriø skaiëius, jo

2 lentelė. Vidutiniai eksperimentiniai duomenys, koðiant natūralø aeruotà poþeminà vandenà
Table 2. Average experimental data when natural aerated underground water was filtered

Koþtuvo uþpildo gylis m (ėiaupo Nr.)	Vidutiniai analiėø rodikliai (03.03–03.17)											
	1 koþtuvas				2 koþtuvas				3 koþtuvas			
	Fe mg/l	Mn mg/l	NH ₄ mg/l	Gelþbakteriø sk./ml	Fe mg/l	Mn mg/l	NH ₄ mg/l	Gelþbakteriø sk./ml	Fe mg/l	Mn mg/l	NH ₄ mg/l	Gelþbakteriø sk./ml
0,00 (þalias aeruotas vanduo)	1,20	0,10	0,50	0,2 · 10 ²	1,20	0,10	0,50	0,2 · 10 ²	1,20	0,10	0,50	0,2 · 10 ²
0,15 (1 ėiaupas)	1,00	0,08	0,40	2,5 × 10 ⁴	1,00	0,06	0,30	2,2 · 10 ⁴	0,80	0,09	0,30	2,9 · 10 ⁴
0,50 (2 ėiaupas)	0,80	0,06	0,30	1,2 · 10 ⁴	0,70	0,06	0,30	7,8 · 10 ³	0,70	0,06	0,15	9,0 · 10 ³
1,20 (3 ėiaupas)	0,50	0,04	0,15	7,5 · 10 ³	0,60	0,05	0,20	9,0 · 10 ³	0,30	0,05	0,08	5,6 · 10 ³
1,40 (4 ėiaupas)	0,45	0,03	0,04	4,7 · 10 ³	0,30	0,03	0,04	7,4 · 10 ³	0,10	0,01	0,06	6,0 · 10 ³
1,60 (5 ėiaupas)	0,20	0,02	0,02	4,2 · 10 ³	0,10	0,03	0,04	7,4 · 10 ³	0,00	0,01	0,05	6,2 · 10 ³
1,90 (iþkoþtas vanduo)	0,00	0,02	0,02	–	0,10	0,00	0,02	–	0,00	0,01	0,02	–

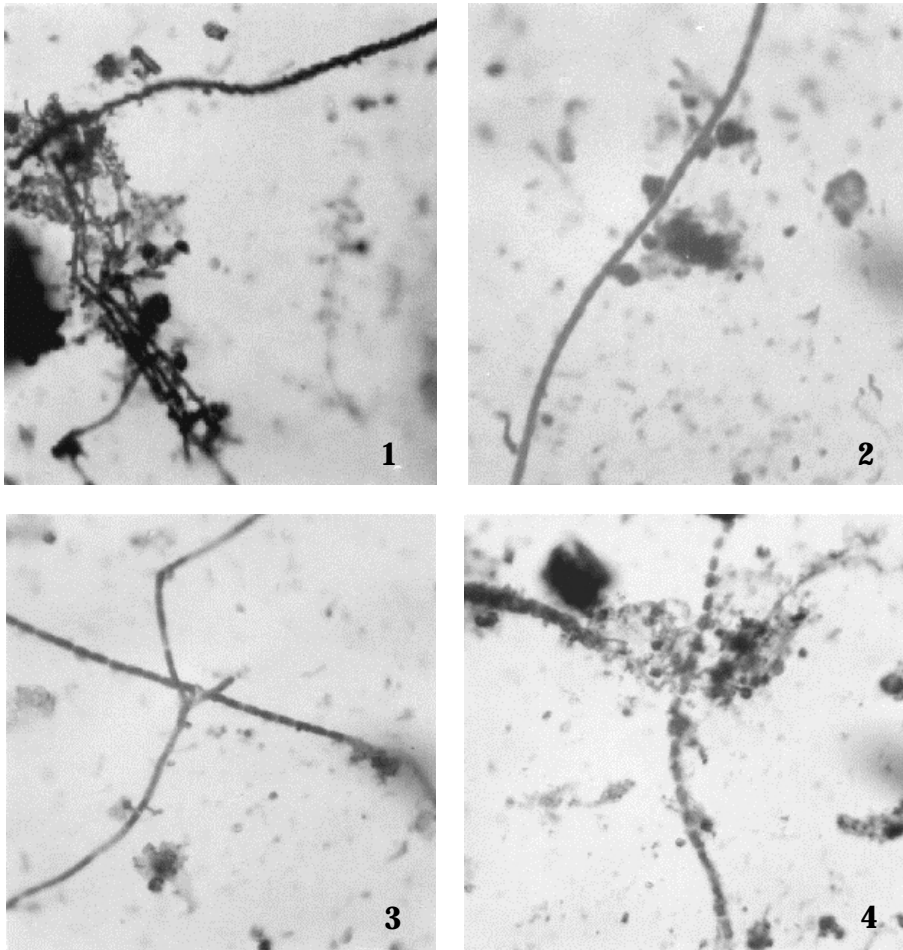
pasiskirstymas uþpilduose, didėjant Fe²⁺ ir Mn²⁺ koncentracijai vandenyje; c) kokiems koðimo greiėiams esant gaunamas geriausias geleþies bei mangano ðalinimo rezultatas; d) kaip (ar) keiėiasi gelþbakteriø skaiėius uþpilduose, intensyviau plaunant koþtuvus.

TYRIMØ METODIKA

Gelþbakteriø veiklai tirti panaudotas Vilniaus m. Kirtimø vandentiekio mazge sumontuotas eksperimentinis stendas (1 pav.). Eksperimentinà stendà sudarė trys 150 mm skersmens ir 2700 mm aukðio koðtuvai, uþpildyti 0,71–2,00 mm skersmens kvarcinio smėlio grūdeliø uþpildu (uþpildo aukðtis su 200 mm aukðio granitinės skaldos palaikanėiuoju sluoksniu – 1850 mm). Á kiekvieno modelio koðtuvà poþeminis vanduo pateko ið þalio vandens magistralės (ið Pagiriø vandenvietės) per ėiurkðlinimo ėrenginà kuriame buvo aeruojamas. Pagiriø vandenvietės poþeminio vandens analiėø vertės pateiktos 1 lentelėje. Kaip matyti ið lentelės duomenø, paprastai Pagiriø vandenvietės þaliame vandenyje geleþies koncentracija 10 kartø, o mangano – 2–3 kartus didesnė uþ higienos normoje HN 24:2003 nurodytas ðiø priemaiðø koncentracijas. Pagiriø vandenvietės poþeminio vandens analiėø vertės artimos daugeliui Lietuvos vandenvieėiø (Diliūnas, 1999). Iðskyrus geleþies

bei mangano priemaiðas, kitos þalio vandens analitės atitinka higienos normà.

Eksperimentiniai tyrimai vyko dviem etapais: 2004 m. kovo 3–17 d. bei balandþio 27 – geguþės 11 d. Pirmajame tyrimø etape á eksperimentinio stendo koðtuvus buvo tiekiamas natūralus Pagiriø vandenvietės vanduo, antrajame – didesnė Fe²⁺ ir Mn²⁺ koncentracijø dirbtinis vanduo. Kovo mėnesà siekiant patikimesniø rezultatø, visi trys koðtuvai dirbo vienu (15 m/h) greiėiu. Per dvi savaites geleþies, mangano ir amonio jonø koncentracijos aeruoto vandens bake, vandenyje ið 1–5 koðtuvø ėiaupø (1 pav.) bei iðkoðtame vandenyje buvo matuojamos du kartus per parà Aqua quant kolorimetriniais testais. Amonio jonø koncentracija vandenyje matuota todėl, kad manoma, jog Mn²⁺ neoksiduojamas, kol amonio azotas neoksiduotas (Hatva et al., 1987; Mouchet, 1992; Bohm, 1995). Kas dvi paras ið to paėiø 1–5 ėiaupø per atvamzdþius (150, 500, 1200, 1400, 1600 mm gilyje) buvo paimami koðianėiojo uþpildo apnað mėginiai mikrobiologiniams gelþbakteriø tyrimams. Mėginiai tirti mikroskopu MOTIC B1 223A, fotografuoti prie mikroskopo pritvirtintu fotoaparatu PENTAX (mikroskopas didino 1000 kartø), gelþbakterės identifikuotos pagal morfologinius poþymius. Siekiant nustatyti gelþbakteriø skaiėiø koðtuvø uþpildø 1–5 ėiaupø gilyje, 2 g mėginiai buvo



2 pav. Koðtuvø uppildø apnaðose aptiktos gelþbakterës: 1 – *Gallionella ferruginea* 150 mm uppildo gylje; 2, 3 – jaunos, neturinëios Fe bei Mn oksidø apvalkalø *Leptothrix* bakterijos 500 bei 1200 mm gylje; 4 – *Crenothrix* siulinës bakterijos. Lâstelio dydis – 1,2–2,0 µm

Fig 2. Iron bacteria found in the filter bed thin coating: 1 – *Gallionella ferruginea* at a 150 mm bed depth; 2, 3 – young *Leptothrix* bacteria without Fe and Mn oxides integuments at 500 and 1200 mm bed depth; 4 – threadlike *Crenothrix* bacteria. Size of cells 1.2–2.0 µm

uppilti 2 ml sterilaus distiliuoto vandens ir 20s plakti VORTEX purtyklëje, gautos praskiestos nuoplovos pasëtos á selektyvià terpæ (Ëóçí àõî à, Áóáëî èî à, 1989). Terpës sudëtis: peptonas – 2 g, Difko mieliø ekstraktas – 0,5 g; $MnSO_4 \cdot H_2O$ – 0,2 g; $FeSO_4 \times 7H_2O$ – 0,001 g, distiliuotas vanduo – 1000 ml. Ðioje terpëje iðaugusios gelþbakteriø kolonijos, paveikus benzidino tirpalu, pasidarë mëlynos ir buvo suskaiëiuotos.

Koðimo ciklas buvo upþbaigiamas, slëgio nuostoliams koðianëiuose uppilduose pasiekus ribinius dydþius arba neleistinai pablogëjus iðkoðto vandens kokybei. Koðtuvø koðiantieji uppildai buvo praplaujami atgaline iðkoðto vandens srove.

Siekiant intensyvinti geleþà bei manganà oksiduojanëio (ar absorbuojanëio) mikroorganizmø veiklà ant rajame tyrimø etape (2004 m. balandþio 27 – geguþës 11 d.) á tris koðtuvus tiekta dirbtinis (geleþies bei mangano sulfatø koncentracijos didesnës) vanduo. Dirbtinis vanduo eksperimentiniams tyrimams buvo ruoðia-

mas ið Pagirio vandenvietës þalio vandens, á jà ámaiðant geleþies bei mangano sulfato tirpalø. Á aeruoto vandens bakà buvo dozuojami $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ bei $MnSO_4 \cdot H_2O$ druskø, iðtirpintø distiliuotame vandenyje, 0,5 ir 0,05 mg/ml koncentracijos tirpalai. Eksperimentuojant su dirbtiniu vandeniu, reagentø tirpalø dozavimas buvo sureguliuotas taip, kad dirbtiniame vandenyje bûtø 2,0–3,0 mg/l geleþies ir 0,2 mg/l mangano, nes tokios ðios priemaiðø koncentracijos daþnai aptinkamos Lietuvos vandenvieëio poþeminiame vandenyje ir yra ðalintinos.

REZULTATAI

Kovà á eksperimentinio stendo koðtuvus tiektaime þaliaime Pagirio vandenvietës vandenyje prieš aeruojant buvo 1,4–1,6 mg/l bendrosios geleþies, 0,08–0,12 mg/l mangano ir 0,6–0,8 mg/l amonio jonø (1 lentelë). Po aeravimo ðios priemaiðø koncentracijos sumaðëjo: geleþies – iki 1,2 mg/l, mangano – iki 0,1 mg/l ir amonio jonø – iki 0,5 mg/l (2 lentelë). Á lentelæ suraðyti geleþies, mangano, amonio jonø

koncentracijø bei gelþbakteriø skaiëiaus vidurkiai, apskaiëiuoti tam tikruose taðkuose (aeruoto vandens bake, nurodytame koðtuvø uppildo gylje (1 pav.) bei iðkoðtame vandenyje). Analieio vidurkiai tam tikruose taðkuose apskaiëiuoti pagal formulæ:

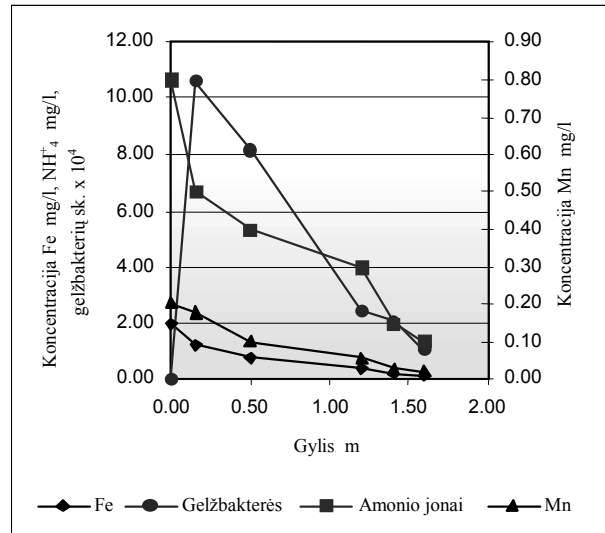
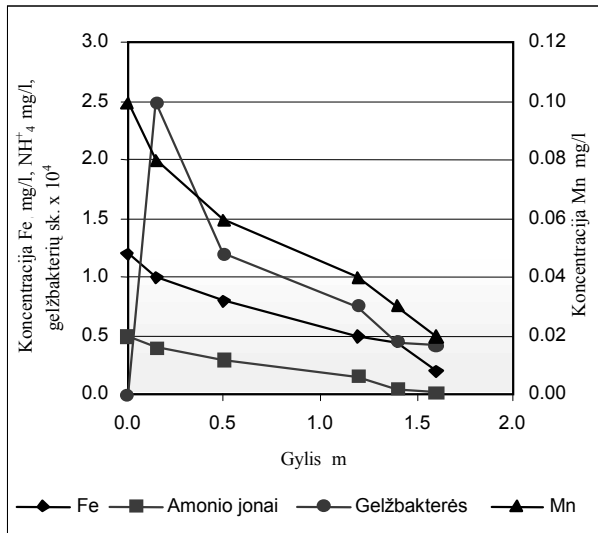
$$c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k c_i m_i ; \quad (1)$$

ëia c_i – analitës rodiklis nurodytuose taðkuose, m_i – analitës rodiklio pasikartojimo daþnis, n – matavimo kartø skaiëius, k – analitës rodiklio skirtingø reikðmiø skaiëius.

Ið lentelës duomenø matyti, kad visuose trijuose koðtuvuose bendrosios geleþies, amonio jonø bei mangano koncentracijos maþëjo, vandeniui patenkant á vis gilesnius koðianëiojo uppildo sluoksnius. Be to, aeruotas vanduo bake jau turëjo maþesnes ðios priemaiðø koncentracijas, nei þalias vanduo. Gelþbakteriø rasta visuose tirtuose mëginiuose (2 lentelë). Jø fotografijos pateiktos 2 paveiksle. Pagal morfologi-

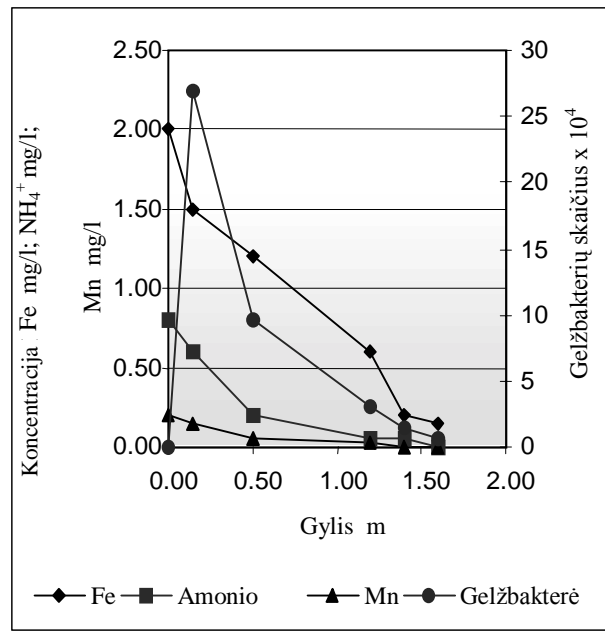
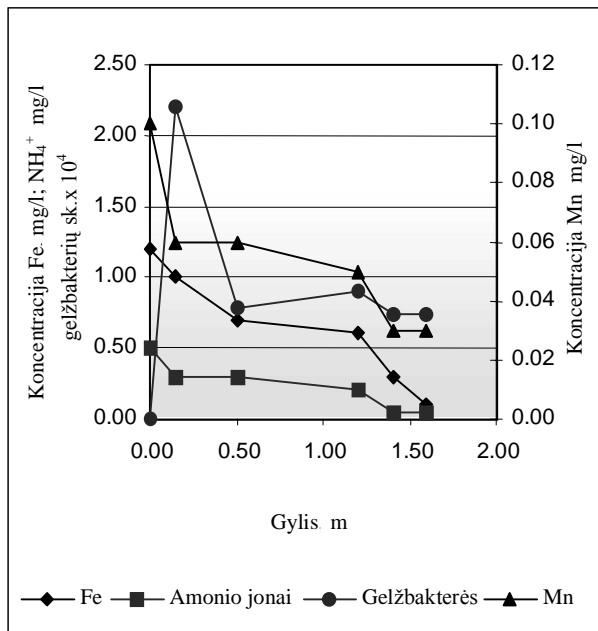
3 lentelė. Vidutiniai eksperimentiniai duomenys, kođiant dirbtiną vandeną
 Table 3. Average experimental data when artificial water was filtered

Koštuvo uþpildo gylis m (ėiaupo Nr.)	Vidutiniai analiėro rodikliai (04.27–05.11)																	
	1 kođtuvas (plautas neprapuėiant oru)						2 kođtuvas						3 kođtuvas					
	Košimo greitis 15 m/h						Košimo greitis 10 m/h						Košimo greitis 20 m/h					
	Fe mg/l	Mn mg/l	NH ₄ mg/l	Eh mV (H ₂)	O ₂ mg/l	Gelþbakteriø sk./ml	Fe mg/l	Mn mg/l	NH ₄ mg/l	Eh mV (H ₂)	O ₂ mg/l	Gelþbakteriø sk./ml	Fe mg/l	Mn mg/l	NH ₄ mg/l	Eh mV (H ₂)	O ₂ mg/l	Gelþbakteriø sk./ml
0,00 (palias aeruotas vanduo)	2,00	0,20	0,80	362	5,2	0,67 · 10 ²	2,00	0,20	0,80	362	5,2	0,67 · 10 ²	2,00	0,20	0,80	362	5,2	0,67 · 10 ²
0,15 (1 ėiaupas)	1,20	0,18	0,50	406	5,1	1,06 · 10 ⁵	1,50	0,15	0,60	384	4,6	2,7 · 10 ⁵	1,20	0,15	0,50	412	5,1	5,02 · 10 ⁴
0,50 (2 ėiaupas)	0,80	0,10	0,40	422	5,0	8,15 · 10 ⁴	1,20	0,06	0,20	398	4,2	9,7 · 10 ⁴	0,60	0,10	0,40	417	4,7	1,57 · 10 ⁴
1,20 (3 ėiaupas)	0,40	0,06	0,30	224	3,4	2,46 · 10 ⁴	0,60	0,03	0,05	413	3,8	3,04 · 10 ⁴	0,50	0,06	0,20	429	4,6	1,24 · 10 ⁴
1,40 (4 ėiaupas)	0,20	0,03	0,15	448	3,3	2,04 · 10 ⁴	0,20	0,00	0,05	466	3,7	1,38 × 10 ⁴	0,20	0,06	0,10	467	4,1	2,5 · 10 ⁴
1,60 (5 ėiaupas)	0,10	0,02	0,10	452	3,25	1,00 · 10 ⁴	0,15	0,00	0,00	490	3,6	5,9 × 10 ³	0,10	0,03	0,05	482	4,0	2,1 · 10 ³
1,90 (iškoštas vanduo)	0,10	0,02	0,10	467	3,20	–	0,00	0,00	0,00	494	3,5	–	0,00	0,03	0,05	490	3,9	–



3 pav. Analiziø rodikliø kitimo priklausomybë nuo ðpildo gylio 1-me koðtuve: kairëje – koðiant natûralø aeruotà poþeminà vandenà (03.03–03.17), deðinëje – koðiant dirbtinà vandenà (04.27–05.11)

Fig. 3. Dependence of changes of analysis indices on the filter No. 1 bed depth: on the left – when natural aerated underground water was filtered (March 3–17), on the right – when artificial water was filtered (April 27 – May 11)

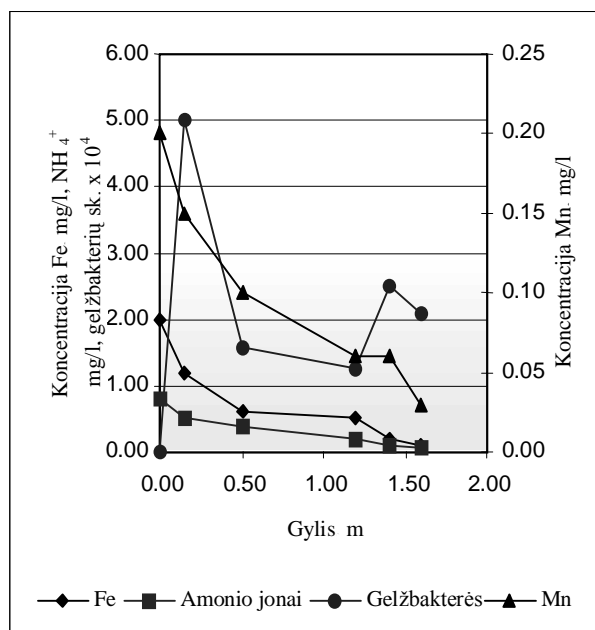
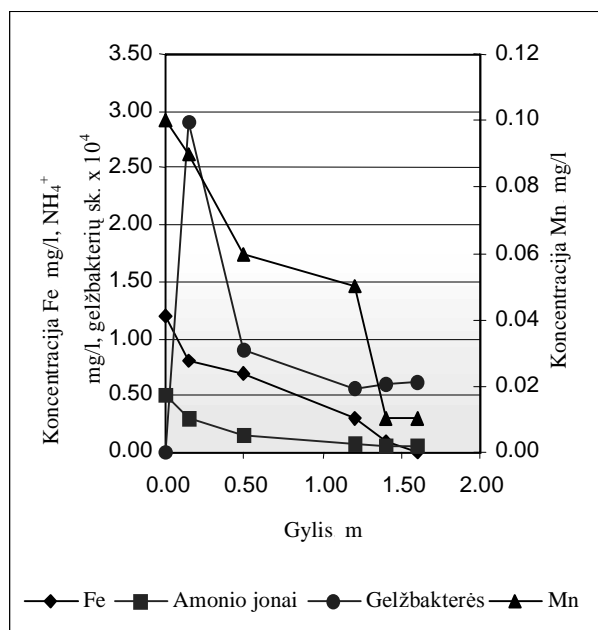


4 pav. Analiziø rodikliø kitimo priklausomybë nuo ðpildo gylio 2-me koðtuve: kairëje – koðiant natûralø aeruotà poþeminà vandenà (03.03–03.17), deðinëje – koðiant dirbtinà vandenà (04.27–05.11)

Fig. 4. Dependence of changes of analysis indices on the filter No. 2 bed depth: on the left – when natural aerated underground water was filtered (March 3–17), on the right – when artificial water was filtered (April 27 – May 11)

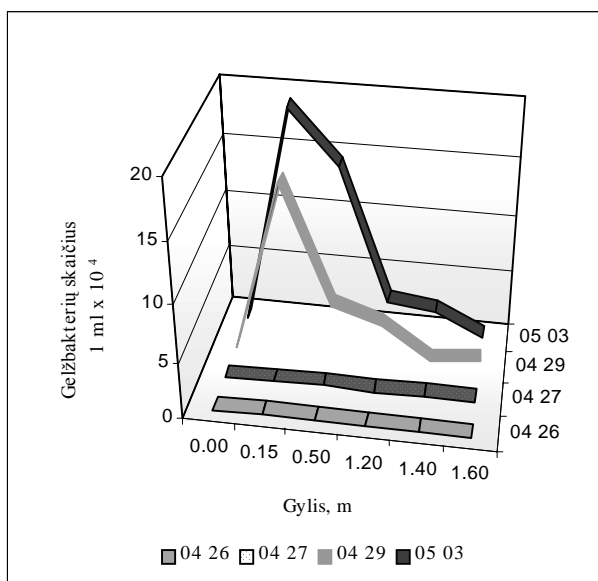
nius poþymius bei augimà gelbakterëms skirtoje selektyvioje terpëje galima spràsti, kad tai *Leptothrix*, *Crenothrix* bei *Gallionella* ðeimø siùlinës bakterijos. Atskirø lãstelio dydis apvaskale nuo 0,4 iki 0,6 µm ploëio ir nuo 0,8 iki 1,1 µm ilgio. Selektvyvioje terpëje iðaugusios gelbakteriø kolonijos buvo suskaiëiuotos ir 2 lentelëje pateikti jø skaiëiaus 1 ml vidurkiai. Matyti, kad gelbakteriø skaiëius didþiausias koðianëiøjø ðpildø pavirðiuje ir palaipsniui maþëja gilesniuose sluoksniuose. Kadangi pirmajame tyrimø etape (2004 03 03–17) visi trys koðtuvai dirbo vienodu (15 m/h) greiëiu, tai ið 2 lentelëje pateiktø

rodikliø matyti, kad visø koðtuvø darbo rezultatai beveik vienodi, iðkoðtas vanduo iðvalytas nuo geleþies bei mangano priemaidø ir atitinka higienos normos HN 24:2003 reikalavimus. Geleþies, mangano ir amonio jonams ðalinti jokie reagentai nenaudoti, taigi jø oksidavimas ir ðalinimas vyko tik fiziniø ir biologiniø procesø eigoje. Gelbakterës á koðtuvus pateko su poþeminiu vandeniu, aeruotame vandenyje ið bako jø buvo 0,67 · 10² ml, aplinkos sàlygos koðianëiuose ðpilduose tiko gelbakteriø gyvybinei veiklai. Visø trijø koðtuvø koðiantieji ðpildai ciklo (4–5 paros) pabaigoje buvo plaunami þaliu vande-



5 pav. Analizė rodiklių kitimo priklausomybė nuo uþpildo gylio 3-o koðtuvo: kairėje – koðiant natūralø aeruotà poþeminà vandenà (03.03–03.17), deðinėje – koðiant dirbtinà vandenà (04.27–05.11)

Fig. 5. Dependence of changes of analysis indices on the filter No. 3 bed depth: on the left – when natural aerated underground water was filtered (March 3–17), on the right – when artificial water was filtered (April 27 – May 11)



6 pav. Gelþbakteriø skaičiaus pasiskirstymas 2-ojo koðtuvo uþpildo gylje

Fig. 6. Distribution of iron bacteria in the filter No. 2 bed depth

niu 9 l/s/m² intensyvumu, nepasiekiant visiðko paplavø skaidrumo (kad gelþbakterės per daug neiðsiplautø).

Atlikus tyrimus su dirbtiniu vandeniu, matavimø bei skaiėiavimø rezultatai pateikti 3 lentelėje. Kaip matyti iš lentelės duomenø, visø trijø modeliø koðtuvø iðkoðtame vandenyje geleþies, mangano ir amonio jonø koncentracijos atitinka higienos normos HN 24:2003 reikalavimus. Gelþbakteriø skaiėius, palyginti

su 2 lentelėje pateiktis duomenimis, 1-ojo koðtuvo àvairiuose uþpildo sluoksniuose (3 lentelė) 3–4 kartus didesnis, 2-ojo koðtuvo – 5–10 kartø didesnis, 3-ojo koðtuvo – 2 kartus didesnis. Gelþbakteriø skaiėiaus priklausomybė nuo koðiamajame vandenyje iðtirpusio bendrosios geleþies, mangano bei amonio jonø koncentracijø àvairiame koðtuvø uþpildo gylje pavaizduota 3–5 paveiksluose. Tyrimø laikotarpiu (04.27–05.11) didþiausias gelþbakteriø skaiėius aptiktas lėėiausiai dirbanėio koðtuvo (Nr. 2) virðutiniame sluoksnyje ($2,7 \cdot 10^5$ /ml gelþbakteriø). Gilesniuose koðtuvo uþpildo sluoksniuose, maþejant geleþies, mangano bei amonio jonø koncentracijai ir didėjant elektrocheminiam vandens potencialui, gelþbakteriø skaiėius maþėja. Antrasis koðtuvas dirba geriausiai iš visø trijø, juo iðkoðtame vandenyje nebelieka ðalinamø priemaiðø. Nors antrasis ir treėiasis koðtuvai buvo plaunami intensyviau uþ pirmàjà (pirmasis – tik vandeniu, o kiti du – vandeniu, prieš tai prapūtus oru), gelþbakterės iš koðianėiojo uþpildo per daug neiðsiplovė. Antrojo koðtuvo uþpilde gelþbakteriø netgi daugiau, nei pirmojo. Treėiojo koðtuvo uþpildo gelþbakteriø rasta maþiausiai, tai galima paaiðkinti didesniu jo darbo greičiu.

Gelþbakteriø skaiėiaus iðaugimas koðiamajame vandenyje, padidinus geleþies koncentracijà nuo 1,2 iki 2,0 mg/l, o mangano – nuo 0,1 iki 0,2 mg/l, parodytas 6 paveiksle. Ðiame paveiksle pateikti 2-ojo koðtuvo uþpildo apnaðose egzistuojanėiø gelþbakteriø tyrimai. Nors per tyrimø laikotarpà (04.26–05.03) koðtuvo uþpildas plautas prapūtus oru du kartus (04.28 bei 04.30), gelþbakteriø skaiėius þenkliai iðaugo. Balandþio 26 d. à koðtuvà buvo tiekiamas

natūralus aeruotas poþeminis vanduo. Geleþies jame buvo 1,2 mg/l, o mangano – 0,1 mg/l. Daugiausia gelbakteriø buvo koðtuvo uþpildo 150 mm gilyje ($1,2 \cdot 10^3$ ml). Balandþio 27 d. á aeruoto vandens bakà pradëjus laðinti $MnSO_4 \cdot H_2O$ bei $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ tirpalus, per 12 valandø geleþies koncentracija iðaugo iki 2,0 mg/l, o mangano – iki 0,2 mg/l. Gelbakteriø skaiëius visuose tirtuose koðianëiojo uþpildo sluoksniuose þenkliai iðaugo po dviejø dienø (04.29), po to dar padidëjo (iki $1,9 \cdot 10^5$ ml 150 mm gilyje) per keturias dienas. Toliau gelbakteriø skaiëius nebedidëjo. Visà tyrimø laikotarpà (04.27–05.11) geleþies, amonio jonø bei mangano priemaiðos ið aeruoto vandens visais trimis koðtuvais ðalintos taip gerai, kad iðkoðtame vandenyje jø koncentracijos buvo maþesnës, nei reikalaujama geriamojo vandens higienos normoje HN 24:2003.

DISKUSIJA

Tyrimø metu visø trijø eksperimentiniø koðtuvø kvarcinio smëlio uþpildø apnaðose aptikta gyvø gelbakteriø, daugiausia virðutiniuose (150 mm gilyje) uþpildø sluoksniuose. Ði aplinkybë árodo, kad technologiniai geleþies, mangano ir amonio jonø ðalinimo ið vandens parametrai (koðimo greitis, plovimo intensyvumas, aeravimas, koðimo ciklo trukmë, uþpildo medþiaga) bei aplinka (iðtirpusio deguonies kiekis vandenyje, E_h , pH, kintamo valentingumo metalø jonø kiekis ir kt.) yra tokie, kad sudarytos geros sàlygos gelbakterëms augti. Bandymais nustatyta, kad gelbakteriø skaiëius maþëjo, didëjant koðtuvø uþpildø gyliui, taip pat maþëjo ir geleþies, amonio jonø bei mangano koncentracijos. Tai patvirtina mokslinës literatūros (Mouchet, 1992; Bourguine et al., 1994) teiginis, kad gelbakteriø augimà skatina didëjanëios Fe^{2+} ir Mn^{2+} koncentracijos vandenyje. Dël gelbakteriø skaiëiaus augimo geriau ðalinama ið vandens geleþis bei manganas. Á natūralø poþeminà aeruotà Pagiriø vandenvietës vandenà pridëjus $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ bei $MnSO_4 \cdot H_2O$ tirpalø ir taip padidinus koðiamajame vandenyje divalentës geleþies bei divalenëio mangano koncentracijà, gelbakteriø skaiëius eksperimentiniø koðtuvø uþpilduose þenkliai iðaugo (3–4 kartus 1-e koðtuve, 10 kartø – 2-e bei 2 kartus – 3-e). Todël tyrimø metu tiek natūralus poþeminis Pagiriø vandenvietës vanduo, tiek dirbtinis vanduo buvo iðvalyti nuo geleþies, amonio jonø bei mangano priemaiðø iki geriamojo vandens higienos normos HN 24:2003 reikalavimø, koðiant vandenà 10, 15 ir 20 m/h greiëiais. Treëiajam koðtuvui dirbant didþiausiu greiëiu (20 m/h), jo uþpildo apnaðose aptikta maþiausiai gelbakteriø ir jo darbo rezultatai blogiausi (iðkoðtame vandenyje liko 0,03 mg/l mangano bei 0,05 mg/l amonio jonø). Anglijos mokslininkø (Bourguine et al., 1994) nuomone, amonio jonams ir manganui ðalinti tinkamiausias van-

dens koðimo greitis yra 14 m/h, tuo tarpu geleþiai – 26 m/h. Literatūroje (Bohm, 1995; Mouchet, 1992) teigiama, kad pirmiausia smëlio koðtuvuose oksiduojama geleþis, po to amonio azotas ir, galiausiai, manganas. Koðiant vandenà 20 m/h greiëiu, nors aplinkoje yra tinkamos gelbakterëms egzistuoti sàlygos (iðmatuotos Eh rodiklio reikðmës, iðtirpusio vandenyje deguonies, geleþies bei mangano koncentracijos atitinka mokslinëje literatūroje (Mouchet, 1992; Bohm, 1995) minëtas sàlygas), mikroorganizmai nespëja oksiduoti ir paðalinti ið vandens visø minëtø priemaiðø. Todël treëiuoju koðtuvu iðkoðtame vandenyje dar lieka 0,03 mg/l mangano ir 0,05 mg/l amonio jonø. Ið to seka, kad labiau didinti (>20 m/h) vandens koðimo greiëiø nereikëtø.

Siekiant iðsiaiðkinti, ar nesumaþës gelbakteriø skaiëius, koðtuvø uþpildus plaunant intensyviau, 2-asis ir 3-iasis koðtuvai prieš plovimà buvo prapûsti oru 30 l/s/m² intensyvumu. Paaiðkëjo, kad ðitaip plaunant per daug gelbakteriø skaiëius nesumaþëjo (koðtuvø uþpildø apnaðose liko pakankamai bakterijø, kad efektyviai vyktø geleþies bei mangano ðalinimo procesai), o 2-ojo koðtuvo uþpilde gelbakteriø greitai pagausëjo. Tokà rezultatà galima paaiðkinti maþiausiu 2-ojo koðtuvo darbo greiëiu. Ðie rezultatai atitinka kai kuriø autoriø (Bergey's ..., 1994) teiginis, kad didþiausias gelbakteriø oksiduojamas Fe^{2+} ir Mn^{2+} kiekis paprastai esti stovinëiame vandenyje.

Eksperimentiniams tyrimams naudotø koðtuvø uþpildai jau buvo brandūs manganui ðalinti, nes koðtuvai buvo uþpildyti ne nauju kvarcinio smëlio uþpildu, bet jau naudotu (ðiais koðtuvais tyrimai atliekami jau keletà metø ir su panaðiu (Ðaltenienë, Karosas, 2003) vandeniu. Ði aplinkybë paaiðkina gerus mangano ðalinimo rezultatus. Be to, geram mangano ðalinimui átakos galëjo turëti dirbtinio vandens savybës. Dirbtinis vanduo koðimui buvo ruoðiamas ið natūralaus poþeminio vandens, pridedant $MnSO_4 \cdot H_2O$ bei $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ druskø. Ið mokslinës literatūros analizës (Ëóçí áöî à, Áóáëí éí à, 1989) þinoma, kad sulfatai skatina biologinæ geleþies bei mangano oksidacijà. Natūraliame poþeminiame vandenyje, kai jame bûna daugiau iðtirpusiø divalentës geleþies bei divalenëio mangano priemaiðø, ðiø priemaiðø aptinkama kitokiuose cheminiuose junginiuose, kuriuos sunkiau paðalinti.

IÐVADOS

Apibendrinant rezultatus galima teigti, kad tinkamiausias sàlygos gelbakterëms augti ir ðalinti ið vandens Fe^{2+} ir Mn^{2+} buvo sudarytos 2-e koðtuve. Jos yra ðitokios: kai atitekanëiame á koðtuvà aeruotame poþeminiame vandenyje Fe^{2+} koncentracija yra 2,0–3,0 mg/l, Mn^{2+} koncentracija – 0,2 mg/l, koðimo greitis – 10 m/h, koðtuvas turëtø bûti plaunamas 9 l/s/m² intensyvumu, prapûtus oru 30 l/s/m² intensyvumu. Vandens pH turëtø bûti >7,5; E_h – 362–494 mV, iðtirpusio

deguonies kiekis vandenyje prieš koštuvà – 5,2 mg O₂/l. Ðios sàlygos tikto biologiniam Fe²⁺ ir Mn²⁺ oksidavimui ir Ðalinimui ið vandens, kurio analizės panaðios á Pagirio vandenvietės poþeminio vandens analitės.

Gauta 2004 09 02

Literatūra

1. APHA, AWWA, WPCF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, New York, 1995. 1194 p.
2. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. Ninth Edition. Baltimore: Williams and Wilkins, 1994. P. 448–453.
3. Bohm L. Verfahrenstechnik der Entmanganung und Auslegung von Anlagen. *DVGW*. No. 6. 1995. P. 1–16.
4. Boudou J. P., Kaiser P., Philpot J. M. Removal of iron and manganese by biological processes. *Water Supply*. 1995. Vol. 3. N 1. P. 151 – 155.
5. Bourguine F. P., Genery M., Chapman J. I., Kerai H., Green J. G., Rap R. J., Ellis S., Gaumard C. Biological Processes at Saints Hill Water – treatment Plant, Kent. *J. IWEM*. 1994. No. 8. P. 379–391.
6. Diliūnas J. *Hidrogeologiniai tyrimai. Manganas Lietuvos gėlame poþeminiame vandenyje*. Vilnius, 1999. 94 p.
7. Diliūnas J., Jurevičius A., Kaminskas M. *Manganas Lietuvos gėlame poþeminiame vandenyje*. Vilnius: Geologijos ir geografijos institutas. 2002. 74 p.
8. Diliūnas J., Jurevičius A. *Geleþis Lietuvos gėlame poþeminiame vandenyje*. Vilnius, 1998. 76 p.
9. Diliūnas J., Sakalauskas A. Geleþis ir mangano Ðalinimo ið poþeminio vandens technologijø pagrindimo ypatumai Lietuvos hidrocheminemis sàlygomis. *Aplinkos inþinerija*. 1996. Nr. 8. P. 25–39.
10. Hatva T. et al. Removal of iron and manganese from groundwater by rein filtration. *Aqua Fenn*. 1987. P. 2–17.
11. Hem J. D. Surface Chemical Processes in Groundwater systems. *Proceedings of the second international symposium on water – rock interaction*. Strasbourg, 1997. P. 76–85.
12. *Lietuvos higienos norma HN 24:2003 „Geriamojo vandens saugos ir kokybės reikalavimai“*. Patvirtinta LR sveikatos apsaugos ministro 2003 m. liepos 23 d. Ásakymu Nr. V – 455. 15 p.
13. Mouchet P. From Conventional to Biological Removal of Iron and Manganese in France. *AWWA*. 1992. Vol. 4. P. 158–167.
14. Richard Y. et al. La Demanganisation Biologique. *Un Exemple D'Installation Industrielle: L'Usine de sorques. TSM – L'Eau*, 84:4:207. Apr. 1989. P. 17–28.
15. Sakalauskas A. Eksperimentiniai mangano šalinimo košimu iš aeruoto poþeminio vandens tyrimai. *Aplinkos inþinerija*. 1999. T. VII. Nr. 2. P. 76–84.
16. Sakalauskas A., Ðulga V. Eksperimentiniai bereagenio geleþis bei mangano Ðalinimo ið poþeminio vandens tyrimai. *Aplinkos inþinerija*. 1998. T. VI. Nr. 4. P. 154–164.
17. Seyfried C. F., Olthoff R. Underground removal of iron and manganese. *Water Supply*. 1985. Vol. 3. P. 117–142.
18. Ðaltenienė A., Karosas T. Eksperimentiniai biologinio geleþis ir mangano šalinimo vienalaipsniu košimu iš aeruoto poþeminio vandens tyrimai. *Ekologija*. 2003. Nr. 2. P. 3–10.
19. Балашова В. В., Дубинина Г. А. Микроорганизмы, окисляющие железо и марганец. *Хемосинтез. К 100-летию открытия С. Н. Виноградским*. Москва, 1989. С. 101–122.
20. Горленко В. М., Дубинина Г. А., Кузнецов С. И. *Экология водных микроорганизмов*. Москва: Наука, 1997. 261 с.
21. Кузнецов С. И., Дубинина Г. А. *Методы изучения водных микроорганизмов*. Москва: Наука, 1989. 288 с.

Auðra Mapeikienė

ACTION INTENSITY OF IRON BACTERIA IN SAND FILTERS USED FOR DRINKING WATER PRODUCTION

Summary

Activity of iron bacteria was studied, when iron and manganese were removed from underground water with experimental sand filters. Experiments were carried out with the aim to establish the quantity of iron bacteria, the distribution of this quantity in the filters' media depending on the technological parameters when underground water is prepared for drinking.

The natural underground water of the Pagiriai watering place was supplied to the experimental stand (in Kirtimai watering place junctions) in March 3–17, 2004. Water from this watering place does not meet the requirements of the hygiene norm HN 24:2003 due to high concentrations of iron and manganese. After a two-week filtration of aerated groundwater with three experimental filters at a 15 m/h rate the desired result, *i. e.* 0.2 mg/l Fe and 0.05 mg/l Mn in the outlet, was obtained. The filters were flushed with raw water at a 9 l/s/m² intensity. Iron bacteria were found in all the three filters' sand thin coatings; the quantity of iron bacteria was highest at a filter bed depth 150 mm. In 27 April – 11 May 2004, for experimental purposes artificial water (in which Fe and Mn concentrations were increased by FeSO₄ · 7H₂O and MnSO₄ · H₂O was chosen. Filter No. 1 worked at a rate of filtration 15 m/h, filter No. 2 – 10 m/h, and filter No. 3 – 20 m/h. Filter No. 1 and filter No. 2 backwash were inflated by the air with a 30 l/s/m² intensity. Filter No. 2 worked better than filters No. 1 and No. 3. In the water filtered by this filter the concentrations of Fe, NH₄⁺ and Mn were lowest and the quantity of iron bacteria was highest in the studied points of the filter medium. After increasing the concentration of iron in the filtering water from 1.2 mg/l to 2.0 mg/l and of manganese from 0.1 mg/l to 0.2 mg/l, the quantity of iron bacteria at a filter bed depth 150 mm grew 10 times, therefore there were no Fe and Mn in the outlet. Although filter No. 2 was washed more intensively than filter No. 1, there were more iron bacteria in filter No. 2. The low rate of filtration ($v = 10$ m/h) probably has an influence on their quantity. The quantity of iron bacteria was the lowest in the bed of filter No. 3, because this filter worked more quickly ($v = 20$ m/h).

Key words: iron bacteria, drinking water, sand filters, iron, manganese