VILNIUS TECH
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

28-oji Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis" teminė konferencija
Proceedings of the 28th Conference for Junior Researchers "Science – Future of Lithuania"

DARNI APLINKA / SUSTAINABLE ENVIRONMENT

2025 m. balandžio 24 d., Vilnius, Lietuva
24 April 2025, Vilnius, Lithuania

ISSN 2029-7157 / eISSN 2029-7149
eISBN 978-609-476-390-8
https://doi.org/10.3846/da.2025.004

Aplinkos apsaugos inžinerija / Environmental Protection Engineering *https://vilniustech.lt/346238*

TRETINIO NUOTEKŲ VALYMO EFEKTYVUMO TYRIMAS

Matas LEŠČINSKAS, Regimantas DAUKNYS*

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas,
Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra, Vilnius, Lietuva

**El. paštas regimantas.dauknys@vilniustech.lt*

Gauta 2025 m. vasario 24 d.; priimta 2025 m. kovo 17 d.

Santrauka. Augant bei plečiantis miestams, didėja ir nuotekų valymo įrenginių apkrova teršalais, todėl nuotekos ne visada tinkamai išvalomos, daromas neigiamas poveikis upių ekologinei būklei. Taip pat griežtėja reikalavimai valytų nuotekų užterštumui. Dėl šių priežasčių vis aktualesnis tampa tretinio nuotekų valymo etapas. Tyrimai atlikti komunalinių nuotekų valykloje. Jų metu buvo tirtas tretinio valymo įrenginio šalinimo efektyvumas pagal skirtingus teršalus, esant skirtingoms reagento fosforui šalinti dozavimo sąlygoms, kurios išskirtos į du etapus: kai reagento fosforui šalinti dozuojama mažiau nei reikia 0,5 mg/l bendrojo fosforo koncentracijai pasiekti ir kai dozuojama tiek, kiek reikia 0,5 mg/l bendrojo fosforo koncentracijai pasiekti. Tyrimo metu nustatyta, kad 1-ajame etape vidutinis bendrojo fosforo šalinimo efektyvumas siekė 28 %, fosfatų fosforo – 20 %, BDS_7 – 66 %, N_b – 9,3 %, o SM – 83 %. 2-ojo etapo metu bendrojo fosforo ir fosfatų fosforo šalinimo efektyvumas siekė po 30 %, BDS_7 – 36 %, N_b – 4,3 %, o SM – 68 %.

Reikšminiai žodžiai: bendrasis fosforas, filtracija, fosfatų fosforas, skendinčiosios medžiagos ir tretinis nuotekų valymas.

1. Įvadas

Vis blogėjanti upių ekologinė būklė ima ryškėti dėl didėjančios vandens taršos. Didėjant miestams ir pramonės įmonėms bei augant žemės ūkiui, išleidžiama daugiau teršalų, todėl yra skiriamas didesnis dėmesys aplinkosaugai, ieškoma būdų, kaip sumažinti taršą. Pagrindiniai taršos šaltiniai yra pasklidoji tarša, kurios didžiąją dalį sudaro dėl žemės ūkio veiklos susidarančios taršos apkrovos, ir sutelktoji tarša, kurią sudaro miesto bei gyventojų nuotekos (Ding, 2024).

Per pastaruosius dešimtmečius buvo sukurta daugybė fizinių, cheminių ir biologinių technologijų, skirtų nuotekoms įvairiuose etapuose valyti prieš jas išleidžiant į vandens telkinius arba pakartotinai naudojant žmonių reikmėms (Chaubey, 2021; Crini & Lichtfouse, 2019). Tretinis nuotekų valymas yra paskutinis nuotekų valymo etapas, kuriuo siekiama pašalinti likusias teršalų daleles po pirminio ir antrinio valymo. Tretinio nuotekų valymo metodai skirstomi į cheminį, filtracijos ir biologinį (Chaubey, 2021; Pei et al., 2019; Shindhal et al., 2020).

Cheminiu metodu grįstose tretinio nuotekų valymo technologijose dažniausiai taikomas chloravimas, ultravioletinė spinduliuotė, ozonavimas, adsorbcija, jonų mainai ir koaguliacija / flokuliacija bei jų kombinacijos (Chaubey, 2021; Pei et al., 2019; Shindhal et al., 2020).

Biologiniu metodu grįstose tretinio nuotekų valymo technologijose dažniausiai taikomos dirbtinės pelkės, biofiltrai bei membraniniai bioreaktoriai (Ding, 2024; Pei et al., 2019; Reddy & Nair, 2022).

Filtracijos metodu grįstose tretinio nuotekų valymo technologijose dažniausiai taikoma filtracija per smėlį, membraninė filtracija, kuri susideda iš mikrofiltracijos, ultrafiltracijos, nanofiltracijos (Shah & Rawal, 2016).

Tyrimams atlikti pasirinktas filtracijos metodas, o tyrimo objektas yra diskiniai pūkinio audinio filtrai. Šie filtrai pasirinkti dėl jų kompaktiškumo ir efektyvumo šalinti skendinčiąsias medžiagas (SM) bei fosforo junginius. Diskiniai pūkinio audinio filtrai pasižymi dideliu efektyvumu mažinant skendinčiųjų medžiagų (> 90 %) ir fosforo junginių (≥ 50 %) kiekį. Numatyti tyrimai yra būtini siekiant įvertinti, kaip efektyviai diskiniai pūkinio audinio filtrai pašalina skendinčiąsias medžiagas bei fosforą, esant skirtingoms eksploatacijos sąlygoms, kai reagento fosforui šalinti dozuojama mažiau nei reikia ir kai dozuojama tiek, kiek reikia 0,5 mg/l bendrojo fosforo koncentracijai pasiekti.

© 2025 Autoriai. Leidėjas Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Šis straipsnis yra atvirosios prieigos straipsnis, turintis Kūrybinių bendrijų (Creative Commons) licenciją (CC BY 4.0), kuri leidžia neribotą straipsnio ar jo dalių panaudą su privaloma sąlyga nurodyti autorių ir pirminį šaltinį.

2. Tyrimo metodika

Tyrimai atlikti komunalinių nuotekų valykloje (NV). Tyrimo objektas yra nuotekos prieš tretinį valymą ir po jo. Tretinio valymo įrenginys – diskinis pūkinio audinio filtras.

Nuotekų valykloje atitekančios nuotekos valomos parengtinio, pirminio, biologinio ir galiausiai tretinio valymo etapuose. Pagrindiniai tretinio valymo įrenginio techniniai parametrai pateikti 1-oje lentelėje.

1 lentelė. NV tretinio valymo įrenginio techniniai parametrai

Parametrai	Charakteristikos
Filtrų kiekis	6 vnt.
Tipas	Visiškai panardinamas diskinis pūkinio audinio filtras
Maksimalus filtrų našumas	9600 m^3/h
Diskų skaičius (vieno įrenginio)	24 vnt.
Disko segmentų skaičius	6 vnt. kiekviename diske
Filtravimo medžiagos akučių dydis	10 µm
Bendras diskų filtravimo paviršiaus plotas	120 m^2
Debitas įkrovos paviršiaus plotui	13 $m^3/m^2/h$
Audinio tipas	Neaustinė ilgo plauko tekstilė

Reagentas fosforui šalinti dozuojamas į biologinio valymo grandį, o reikalingas jo kiekis nustatytas pagal (1) formulę (Dauknys, 2010):

$$Q_{Fe} = \frac{D_{Fe} \times M_{Fe} \times 100}{\left(\rho_{Fe} \times M_{Fe\,tirpale}\right)}, \quad (1)$$

čia Q_{Fe} – reikiamas geležies sulfato debitas šalintinam fosforo kiekiui nusodinti, m^3/d; D_{Fe} – geležies dozė fosforui nusodinti = 2,7 kg Fe/kg P_{chem}; M_{Fe} – šalintino fosforo kiekis reagento dozavimo taške, kg/d; ρ_{Fe} – geležies sulfato tankis = 1540 kg/m^3; $M_{Fe\,tirpale}$ – geležies druskos tirpale = 11,67 %.

Apskaičiuotos reikalingos reagento fosforui šalinti dozės pateiktos 2 lentelėje.

Siekiant patikrinti tretinio valymo veikimo efektyvumą, tyrimas padalintas į du etapus (2 lentelė):

- Kai reagento fosforui šalinti yra dozuojama mažiau nei reikia 0,5 mg/l bendrojo fosforo koncentracijai pasiekti.
- Kai reagento fosforui šalinti yra dozuojama tiek, kiek reikia 0,5 mg/l bendrojo fosforo koncentracijai pasiekti.

Kiekviename etape paimta po 9 mėginius – iš viso 18 mėginių.

2 lentelė. Reagento fosforui šalinti dozės

Parametrai	$Fe_2(SO_4)_3$ debitas į biologinį valymą	$Fe_2(SO_4)_3$ poreikis pasiekti P konc. 0,5 mg/l	$Fe_2(SO_4)_3$ trūkumas pasiekti P konc. 0,5 mg/l
	m^3/d	m^3/d	m^3/d
Kai reagento fosforui šalinti yra dozuojama mažiau nei reikia 0,5 mg/l bendrojo fosforo koncentracijai pasiekti			
Vidurkis	4,13	6,13	2,00
Maksimali reikšmė	5,03	8,26	4,31
Minimali reikšmė	2,04	2,91	0,77
Kai reagento fosforui šalinti yra dozuojama tiek, kiek reikia 0,5 mg/l bendrojo fosforo koncentracijai pasiekti			
Vidurkis	4,42	4,09	–0,34
Maksimali reikšmė	5,07	4,53	0,03
Minimali reikšmė	3,89	3,39	–0,67

Tyrimo metu išanalizuotas tretinio valymo įrenginio efektyvumas pagal skirtingus užterštumo rodiklius: biocheminį deguonies suvartojimą per 7 paras (BDS_7), skendinčiąsias medžiagas (SM), bendrąjį azotą (N_b), bendrąjį fosforą (P_b), fosfatų fosforą (PO_4–P). Cheminės nuotekų analizės nustatytos šiais būdais:

- BDS_7 – nustatytas pagal standartą (LST EN ISO 5815-1:2019).
- SM – nustatytas pagal standartą (LST EN 872:2005).
- N_b – bendras azotas yra suminis azoto kiekis, nustatytas atlikus Kjeldalio azoto (LST EN ISO 25663:2000), nitratų azoto (LST ISO 7890-3:1998) ir nitritų azoto (LST EN 26777:1999) tyrimus.
- P_b ir PO_4–P – nustatyti pagal standartą (LST EN ISO 6878:2004).

3. Tyrimo analizė ir rezultatai

Tyrimas pagal reagento fosforui šalinti naudojimą atliktas siekiant įvertinti tretinio valymo įrenginio veikimo efektyvumą šalinti skirtingus teršalus. Tyrimų rezultatai pateikti 3 ir 4 lentelėje, 1 ir 3 paveiksluose.

Kai reagento fosforui šalinti dozuojama mažiau nei reikia 0,5 mg/l bendrojo fosforo koncentracijai pasiekti (vidutinė dozė – 4,13 m^3/d)

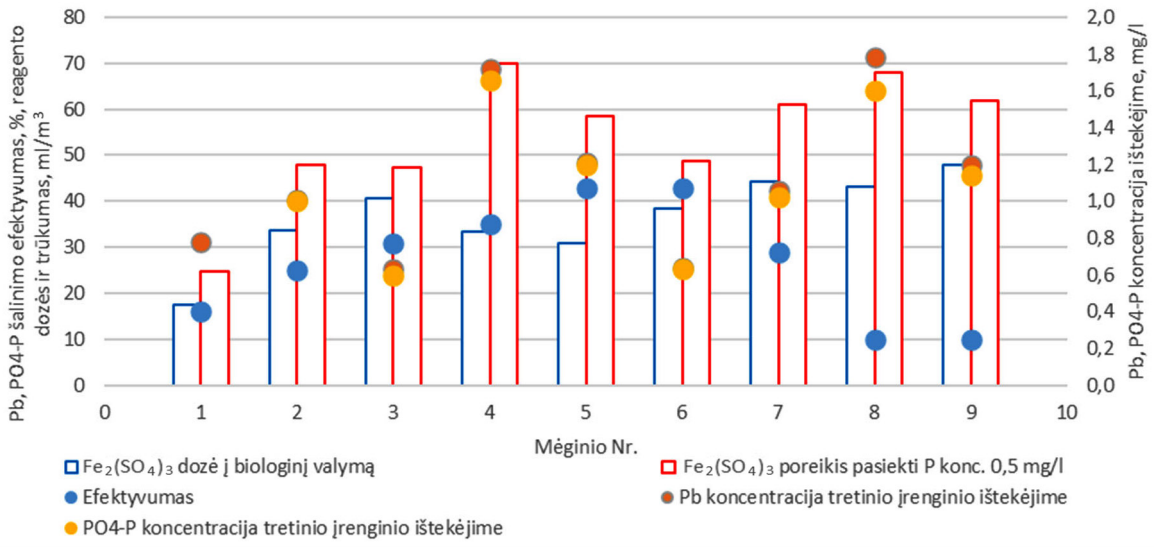
Iš 3 lentelės matyti, kad vidutinis BDS_7 šalinimo efektyvumas siekė 66 %, o bendrojo azoto šalinimo efektyvumas siekė tik 9,3 %. Tretinio valymo įrenginyje taikomas filtracijos metodas, o didžioji dalis azoto yra tirpios formos, todėl jo pašalinimo efektyvumas yra sąlygiškai žemas.

3 lentelė. Tretinio valymo įrenginio veikimo efektyvumo rezultatai

Parametrai	$Fe_2(SO_4)_3$ debitas į biologinį valymą	BDS7	Pb			SM	Nb	PO_4-P	Skirtumas tarp P_b ir PO_4-P	
		Efek-tyvumas	$Fe_2(SO_4)_3$ poreikis pasiekti P konc. 0,5 mg/l	$Fe_2(SO_4)_3$ trūkumas pasiekti P konc. 0,5 mg/l	Efekty-vumas	Efekty-vumas	Efekty-vumas	Efekty-vumas	Tretinio įrenginio įtekėjime	Tretinio įrenginio ištekėjime
	m^3/d	%	m^3/d	m^3/d	%	%	%	%	mgP/l	mgP/l
Kai reagento fosforui šalinti dozuojama mažiau nei reikia										
Vidurkis	4,13	66	6,13	2	28	83	9,3	19,7	0,24	0,05
Min	2,04	52	2,91	0,77	10	65	0	12,3	0,02	0,01
Max	5,03	79	8,26	4,31	43	93	22,4	32,6	0,61	0,18
Mediana	4,38	64	6,25	1,65	29	85	3,8	18,1	0,14	0,04
Standartinis nuokrypis	0,98	8	1,59	1,17	13	9	8,8	7,3	0,24	0,06
Kai reagento fosforui šalinti dozuojama tiek, kiek reikia										
Vidurkis	4,42	36	4,09	–0,34	30	68	4,1	30,4	0,08	0,05
Min	3,89	10	3,39	–0,67	13	52	0,6	7,7	0,04	0,02
Max	5,07	48	4,53	0,03	47	81	10,5	43,3	0,15	0,11
Mediana	4,36	40	4,36	–0,43	29	66	2,5	23,1	0,07	0,05
Standartinis nuokrypis	0,37	13	0,42	0,27	10	8	3,2	11,5	0,03	0,03

Vidutinis P_b šalinimo efektyvumas siekė 28 %. Didesnis efektyvumas nepasiektas, nes bendrąjį fosforą po tretinio valymo sudarė tirpūs fosfatai, kurių vidutinė koncentracija tyrimo metu buvo 1,4 mg/l, o bendrojo fosforo – 1,54 mg/l (4 lentelė), taip pat buvo nepakankama reagento fosforui šalinti dozė, kurios vidutinis trūkumas tyrimo metu siekė 2,0 m^3/d (1 paveikslas). Fosfatų šalinimo efektyvumas siekė 20 %. Tai rodo, kad tretinio valymo įrenginys negeba sulaikyti tirpius fosforo junginius.

Iš 1 paveikslo matyti, kad didžiausias bendrojo fosforo šalinimo efektyvumas – 43 % pasiektas mėginyje Nr. 5, nes prieš tretinį valymą bendrojo fosforo koncentracija siekė 2,11 mg/l, iš kurių tik 1,50 mg/l buvo tirpios būsenos, o likusi dalis (0,61 mg/l) – skendinčiosios būsenos (4 lentelė). Mažiausias bendrojo fosforo šalinimo efektyvumas – 10 % pasiektas mėginiuose Nr. 8 ir 9, nes



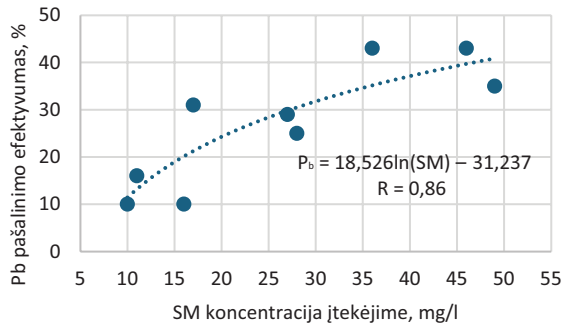
1 paveikslas. Tyrimo rezultatai, kai reagento fosforui šalinti dozuojama mažiau nei reikia 0,5 mg/l bendrojo fosforo koncentracijai pasiekti

4 lentelė. Teršalų koncentracijos prieš tretinį valymą ir po jo rezultatai

Mėginio Nr.	BDS_7		P_b		SM		N_b		PO_4-P	
	Prieš tretinį valymą	Po tretinio valymo	Prieš tretinį valymą	Po tretinio valymo	Prieš tretinį valymą	Po tretinio valymo	Prieš tretinį valymą	Po tretinio valymo	Prieš tretinį valymą	Po tretinio valymo
	mgO_2/l	mgO_2/l	mgP/l	mgP/l	mgSM/l	mgSM/l	mgN/l	mgN/l	mgP/l	mgP/l
Kai reagento fosforui šalinti dozuojama mažiau nei reikia										
1	8,0	3,0	0,93	0,78	11	2	10,3	10,3		
2	16,0	5,8	1,34	1,01	28	6,8	9,35	9,17	1,14	1,00
3	9,0	3,4	0,91	0,63	17	2,6	8,94	8,72	0,89	0,60
4	16,0	5,5	2,63	1,72	49	3,6	12	9,93	2,05	1,66
5	15,0	5,9	2,11	1,21	46	3,2	9,21	7,15	1,50	1,20
6	16,0	3,4	1,12	0,64	36	4,8	8,77	7,11	0,76	0,63
7	16,0	4,5	1,49	1,06	27	3,4	10,4	10	1,42	1,02
8	16,0	4,9	1,97	1,78	16	3,4	11,7	10	1,90	1,60
9	9,0	4,3	1,33	1,20	10	3,5	8,2	7,98	1,30	1,14
Vidurkis	13,4	4,5	1,54	1,11	26,7	3,7	9,9	8,9	1,4	1,1
Kai reagento fosforui šalinti dozuojama tiek, kiek reikia										
1	4,6	3,1	0,38	0,26	11,0	4,0	10,10	9,87	0,31	0,21
2	7,0	4,2	0,36	0,19	22,0	4,2	10,10	9,80	0,30	0,17
3	4,0	3,6	0,28	0,20	9,0	2,8	11,60	10,90	0,24	0,16
4	3,3	2,6	0,33	0,22	7,4	2,8	10,09	10,00	0,26	0,20
5	5,0	3,0	0,36	0,23	9,0	3,2	9,86	9,80	0,29	0,21
6	6,0	3,1	0,30	0,23	15,0	4,2	8,12	7,92	0,23	0,18
7	5,0	3,0	0,28	0,23	9,2	3,0	9,12	8,95	0,13	0,12
8	4,4	3,4	0,20	0,16	9,2	4,4	11,20	10,50	0,10	0,09
9	5,8	3,2	0,24	0,21	7,6	2,6	12,40	11,10	0,17	0,14
Vidurkis	5	3,2	0,3	0,21	11	3,5	10,29	9,87	0,23	0,16

didžiąją dalį bendrojo fosforo prieš tretinį valymą sudarė fosfatų fosforas – 1,90 mg/l ir 1,30 mg/l, kai bendrojo fosforo – 1,97 mg/l ir 1,33 mg/l.

Analizuojant tyrimo rezultatus nustatyta priklausomybė tarp skendinčiųjų medžiagų koncentracijos prieš tretinį valymą ir bendrojo fosforo pašalinimo efektyvumo (2 paveikslas).



2 paveikslas. P_b pašalinimo efektyvumo priklausomybė nuo SM koncentracijos įtekėjime, kai reagento fosforui šalinti dozuojama per mažai – 0,5 mg/l bendrojo fosforo koncentracijai pasiekti

Didžiausia koreliacijos koeficiento reikšmė ($R = 0,86$) nustatyta naudojant logaritminę krypties kreivę (2 paveikslas). Gauta koreliacijos koeficiento reikšmė rodo, kad egzistuoja stiprus ryšys tarp kintamųjų parametrų. Tai reiškia, kad apie 86 % efektyvumo pokyčių galima paaiškinti SM koncentracija prieš tretinį valymą, o likusi dalis priklauso nuo kitų veiksnių, tokių kaip nepakankama reagento dozė fosforui šalinti ir didelė tirpios formos fosfatų fosforo koncentracija.

Priklausomybės tarp SM koncentracijos prieš tretinį valymą ir P_b pašalinimo efektyvumo regresijos lygtis pateikta (2) formulėje.

$$P_b = 18,526 \ln(SM) - 31,237, \quad (2)$$

čia P_b – P_b pašalinimo efektyvumas, %; SM – SM koncentracija įtekėjime, mg/l.

Ši lygtis rodo, kad P_b pašalinimo efektyvumo didėjimo tendencija yra logaritminė, o tai reiškia, kad, esant mažesnėms SM koncentracijoms, efektyvumas didėja sparčiau, o, didėjant SM koncentracijoms, efektyvumo augimo tempas lėtėja. Lygtis leidžia prognozuoti P_b

pašalinimo efektyvumą pagal SM koncentraciją prieš tretinį valymą, o nustatyta koreliacijos koeficiento reikšmė (0,86) rodo patikimą ryšį tarp analizuotų parametrų.

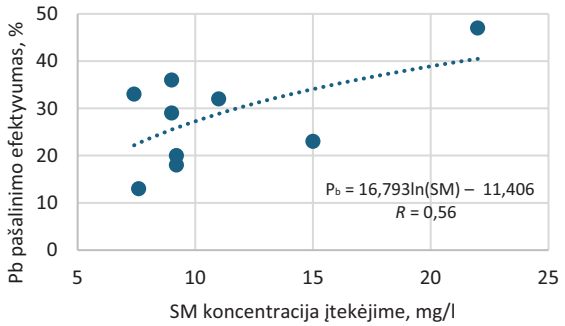
Kai reagento fosforui šalinti dozuojama tiek, kiek reikia 0,5 mg/l bendrojo fosforo koncentracijai pasiekti (vidutinė dozė – 4,42 m^3/d)

Iš 3 lentelės matyti, kad vidutinis BDS_7 šalinimo efektyvumas siekė 36 %, o bendrojo azoto šalinimo efektyvumas siekė tik 4,1 %. Palyginus su 1-ojo etapo rezultatais, mažesnį BDS_7 šalinimo efektyvumą lėmė mažesnė vidutinė BDS_7 koncentracija prieš tretinį valymą, kuri buvo 5,0 mg O_2/l, o 1-ajame etape ji buvo 13,4 mgO_2/l.

Vidutinis P_b šalinimo efektyvumas siekė 30 %. Pakankama reagento fosforui šalinti dozė neužtikrino didesnio bendrojo fosforo šalinimo efektyvumo, tačiau užtikrino ne didesnę nei 0,5 mg/l vidutinę P_b koncentraciją po tretinio valymo (0,21 mg/l) (4 lentelė). Didelę dalį bendrojo fosforo po tretinio valymo sudarė fosfatų fosforas, kurio vidutinė koncentracija tyrimo metu buvo 0,16 mg/l, o bendrojo fosforo – 0,21 mg/l (4 lentelė). Vidutinis fosfatų fosforo šalinimo efektyvumas, palyginus su 1-ojo etapo rezultatu (20 %), buvo didesnis ir siekė 30 %. Tai lėmė tinkamai parinkta reagento fosforui šalinti dozė, todėl tiek P_b šalinimo efektyvumas, tiek PO_4–P šalinimo efektyvumas siekė 30 %.

Iš 3 paveikslo matyti, kad didžiausias bendrojo fosforo šalinimo efektyvumas – 47 % pasiektas mėginyje Nr. 2, nes prieš tretinį valymą SM koncentracija siekė 22 mg/l (4 lentelė). Mažiausias bendrojo fosforo šalinimo efektyvumas – 13 % pasiektas mėginyje Nr. 9, nes prieš tretinį valymą SM koncentracija siekė tik 7,6 mg/l (4 lentelė).

Analizuojant tyrimo rezultatus nustatyta priklausomybė tarp skendinčiųjų medžiagų koncentracijos prieš tretinį valymą ir bendrojo fosforo pašalinimo efektyvumo (4 paveikslas).



4 paveikslas. P_b pašalinimo efektyvumo priklausomybė nuo SM koncentracijos įtekėjime, kai reagento fosforui šalinti dozuojama tiek, kiek reikia 0,5 mg/l bendrojo fosforo koncentracijai pasiekti

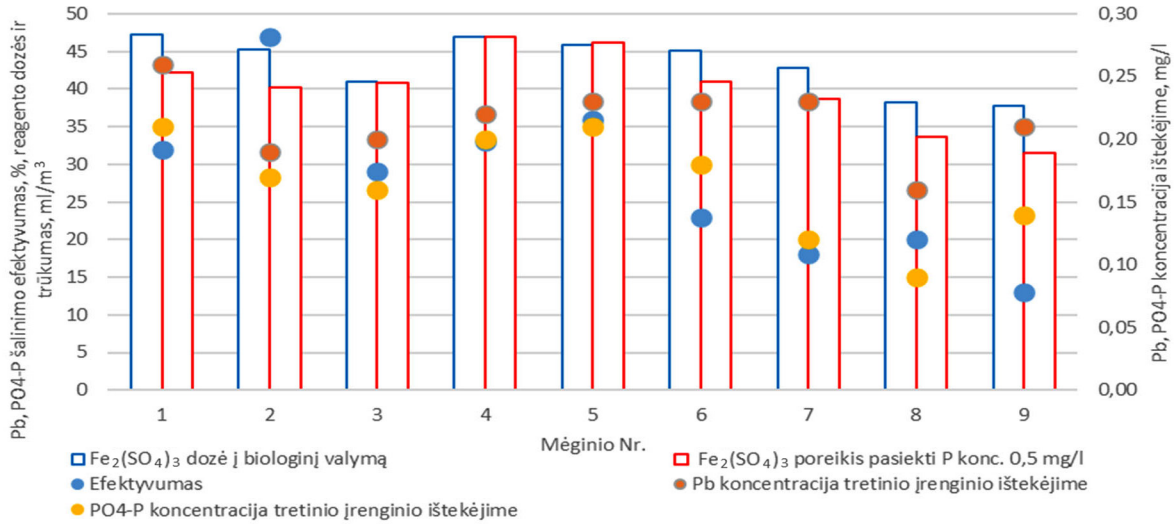
Didžiausia koreliacijos koeficiento reikšmė (R = 0,56) nustatyta naudojant logaritminę krypties kreivę (4 paveikslas). Gauta koreliacijos koeficiento reikšmė rodo, kad ryšys tarp kintamųjų yra silpnesnis, palyginus su 1-ojo etapo rezultatais. Tai reiškia, kad apie 56 % efektyvumo pokyčių galima paaiškinti SM koncentracija prieš tretinį valymą, o likusi dalis priklauso nuo kitų veiksnių, tokių kaip pakankama reagento dozė fosforui šalinti ir maža tirpios formos fosfatų fosforo koncentracija.

Priklausomybės tarp SM koncentracijos prieš tretinį valymą ir P_b pašalinimo efektyvumo regresijos lygtis pateikta (3) formulėje.

$$P_b = 16{,}793\ln(SM) - 11{,}406, \quad (3)$$

čia P_b – P_b pašalinimo efektyvumas, %; SM – SM koncentracija įtekėjime, mg/l.

Ši lygtis rodo, kad P_b pašalinimo efektyvumo didėjimo tendencija yra logaritminė, o tai reiškia, kad,



3 paveikslas. Tyrimo rezultatai, kai reagento fosforui šalinti dozuojama tiek, kiek reikia 0,5 mg/l bendrojo fosforo koncentracijai pasiekti

didėjant SM koncentracijai prieš tretinį valymą, P_b pašalinimo efektyvumas didėja vidutiniškai. Kai reagento fosforui šalinti dozuota pakankamai 0,5 P_b koncentracijai pasiekti, P_b pašalinimo efektyvumas buvo didesnis ir mažiau priklausė nuo SM koncentracijos tretinio valymo įtekėjime. Be to, mažesnis koreliacijos koeficientas rodo, kad tinkamas reagento dozavimas sumažina SM koncentracijos įtaką prieš tretinį valymą.

4. Išvados

1. Kai reagento fosforui šalinti buvo dozuojama mažiau nei reikia 0,5 mg/l P_b koncentracijai valytose nuotekose užtikrinti, vidutinis bendrojo fosforo šalinimo efektyvumas siekė 28 %, o fosfatų – 20 %. Esant tinkamai reagento dozei 0,5 mg/l P_b koncentracijai valytose nuotekose užtikrinti, vidutinis tiek bendrojo fosforo, tiek fosfatų fosforo šalinimo efektyvumas siekė po 30 %. Taigi, didesnis fosforo šalinimo efektyvumas nepasiektas, nes visi fosforo junginiai buvo tirpios būklės, tačiau šio fosforo šalinimo efektyvumo pakako 0,5 mg/l P_b koncentracijai valytose nuotekose užtikrinti.

2. Nustatyta stipri koreliacija (R = 0,86) tarp skendinčiųjų medžiagų koncentracijos prieš tretinį valymą ir bendrojo fosforo šalinimo efektyvumo. Galima daryti išvadą, kad skendinčiosios būsenos fosforo junginiai yra pašalinami efektyviai.

3. Kai reagento fosforui šalinti dozuota mažiau nei reikia 0,5 mg/l P_b koncentracijai valytose nuotekose užtikrinti, vidutinis BDS_7 šalinimo efektyvumas siekė 66 %, N_b – 9,3 %, o kai reagento fosforui šalinti dozė buvo optimali 0,5 mg/l P_b koncentracijai valytose nuotekose užtikrinti, BDS_7 vidutinis šalinimo efektyvumas sumažėjo iki 36 %, o N_b – iki 4,1 %. Tai lėmė mažesnė vidutinė BDS_7 koncentracija prieš tretinį valymą 2-ajame etape, kuri buvo 5,0 mg O_2/l, o 1-ajame etape – ji buvo 13,4 mg O_2/l.

4. Nustatyta, kad 1-ajame etape vidutinis SM pašalinimo efektyvumas buvo 83 %, o 2-ajame – 68 %. Didesnį efektyvumą 1-ajame etape lėmė didesnė SM koncentracija prieš tretinį valymą, jos vidutinė reikšmė buvo 27 mg/l, o 2-ajame – 11,0 mg/l. Tai rodo, kad tretinio valymo SM šalinimo efektyvumui įtakos turi SM koncentracija prieš tretinį valymą – kuo ji didesnė, tuo SM šalinimo efektyvumas didesnis.

Literatūra

Ding, G. K. C. (2024). Wastewater treatment, reused and recycling – a potential source of water supply. *Encyclopedia of Sustainable Technologies* (Second Edition), *2*, 676–693. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90386-8.00062-0

Crini, G., & Lichtfouse, E. (2019). Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. Environmental Chemistry Letters, *17*, 145–155. https://doi.org/10.1007/s10311-018-0785-9

Chaubey, M. (2021). *Wastewater Treatment Technologies: Design Consideration*. John Wiley & Sons Ltd. https://doi.org/10.1002/9781119765264

Lietuvos standartizacijos departamentas. (1998). *Vandens kokybė. Nitratų kiekio nustatymas. 3 dalis. Spektrometrinis metodas, vartojant sulfosalicilo rūgštį* (LST ISO 7890-3:1998).

Lietuvos standartizacijos departamentas. (1999). *Vandens kokybė. Nitrito kiekio nustatymas. Molekulinės absorbcijos spektrometrinis metodas (ISO 6777:1984)* (LST EN 26777:1999).

Lietuvos standartizacijos departamentas. (2000). *Vandens kokybė. Kjeldalio azoto nustatymas. Metodas po mineralizacijos selenu* (LST EN 25663:2000).

Lietuvos standartizacijos departamentas. (2004). *Vandens kokybė. Ištirpusio fosforo ir fosfato nustatymas. Amonio molibdato metodas* (LST EN ISO 6878:2004).

Lietuvos standartizacijos departamentas. (2005). *Vandens kokybė. Suspenduotų medžiagų nustatymas. Košimo pro stiklo pluošto koštuvą metodas* (LST EN 872:2005).

Lietuvos standartizacijos departamentas. (2019). *Vandens kokybė. Biocheminio deguonies suvartojimo per n parų (BDSn) nustatymas. 1 dalis. Skiedimo ir sėjimo, pridėjus aliltiokarbamido, metodas* (LST EN ISO 5815-1:2019).

Pei, M., Zhang, B., He, Y., Su, J., Gin, K., Lev, O., Shen, G., & Hu, S. (2019). State of the art of tertiary treatment technologies for controlling antibiotic resistance in wastewater treatment plants. *Environmental International*, *131*, Article 105026. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105026

Shindhal, T., Rakholiya, P., Varjani, S., Pandey, A., Ngo, H. H., Guo, W., Ng, Y. H., & Taherzadeh, J. M. (2020). A critical review on advances in the practices and perspectives for the treatment of dye industry wastewater. *Bioengineered 12* (1), 70–78. https://doi.org/10.1080/21655979.2020.1863034

Reddy, S., & Nair, T. A. (2022). The fate of microplastics in wastewater treatment plants: An overview of source and remediation technologies. *Environmental Technology & Innovation*, *28*, Article 102815. https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102815

Shah, T. H., & Rawal, A. (2016). Textiles in filtration. In *Handbook of technical textiles* (pp. 57–110). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-465-9.00003-3

Dauknys, R. (2010). *Nuotekų valymas. Pratybų metodikos nurodymai*. Technika.

RESEARCH OF THE EFFECTIVENESS OF TERTIARY TREATMENT OF WASTEWATER

M. LEŠČINSKAS, R. DAUKNYS

Abstract. As cities grow and expand, pollution and wastewater volumes also increase, surpassing the treatment capacity of wastewater treatment plants and directly impacting the ecological status of rivers. The primary and secondary treatment stages in wastewater treatment plants are becoming increasingly burdened. Additionally, stricter regulations on treated wastewater pollution levels are being introduced. Due to these reasons, the tertiary wastewater treatment stage is becoming more relevant. The study was conducted in a municipal wastewater treatment plant. The research examined the re-

moval efficiency of a tertiary treatment unit for different pollutants under varying reagent dosing conditions, which were divided into two stages: when the reagent dose for phosphorus removal was lower than required and when it was dosed optimally. The study determined that in the first stage, the average removal efficiency was as follows: total phosphorus – 28%, phosphate phosphorus – 20%, BOD_7 – 66%, T_n – 9.3%, and suspended solids (SS) – 83%. In the second stage, the removal efficiency of total phosphorus and phosphate phosphorus reached 30%, BOD_7 – 36%, T_n – 4.3%, and SS – 68%.

Keywords: filtration, phosphates, suspended solids, tertiary wastewater treatment, total phosphorus.