

BEREAGENTINIS AZOTO IR FOSFORO ŠALINIMAS IŠ NUOTEKŲ

Edvard KAZAKEVIČ, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: edvard.kazakevic@vdu.lt

Santrauka

Straipsnyje pateikti UAB „August ir ko“ gaminamų AT serijos nuotekų valymo įrenginių azoto ir fosforo junginių šalinimo efektyvumo tyrimai. Griežti reikalavimai azoto ir fosforo junginių šalinimui buvo taikomi nuotekų valymo įrenginiams, kurių našumas didesnis nei 5,0 m³/d. Nuo 2019 m. lapkričio 1 d. azoto ir fosforo junginių šalinimo iš nuotekų reikalavimai įsigaliojo ir mažesniems nei 5,0 m³/d. nuotekų valymo įrenginiams ir leistinos momentinės bendrojo azoto ir bendrojo fosforo koncentracijos išvalytose nuotekose neturi viršyti: N_B <25 mg/l, P_B <5 mg/l. Nuotekų tvarkymo reglamento pakeitimai privertė mažų (iki 5,0 m³/d) nuotekų valymo įrenginių gamintojus tobulinti gaminamų įrenginių technologijas, kad būtų pasiekti azoto ir fosforo junginių šalinimo reikalavimai.

Pagrindinis tyrimo tikslas – nustatyti VFL technologijos biologinio azoto ir fosforo šalinimo efektyvumą. Nagrinėjamam tikslui pasiekti buvo tiriami 3 skirtingo našumo nuotekų valymo įrenginiai. Iš kiekvieno tiriamo įrenginio buvo imami nuotekų mėginiai prieš valymą ir po valymo. Mėginiai buvo ištirti laboratorijose ir nustatytos teršalų koncentracijos. Gauti rezultatai parodė, kad nuotekų valymo įrenginiuose taikoma bereagentinė VFL nuotekų valymo technologija veikia efektyviai ir užtikrina aukštą azoto ir fosforo junginių valymo efektyvumą.

Reikšminiai žodžiai: nuotekų valymo įrenginiai, azotas, fosforas, VFL technologija, bereagentinis nuotekų valymas.

Įvadas

Dėl taršos azoto ir fosforo junginiais prastėja tiek vidaus vandenų, tiek Baltijos jūros būklė, sparčiai progresuoja eutrofikacija. Pagrindiniais azoto ir fosforo junginių šaltiniais yra žemės ūkis ir komunalinės nuotekos. Tinkamai šalinant iš nuotekų azotą ir fosforą galima žymiai sumažinti vandens telkinių eutrofikaciją. Šioms biogeninėms medžiagoms iš nuotekų šalinti pasaulyje naudojami cheminiai nuotekų valymo metodai, panaudojant cheminius reagentus, arba biologiniai (bereagentiniai). Pastarųjų metodų taikymas ženkliai sumažina nuotekų išvalymo savikainą.

Nuotekų valymo metu vyksta nemažai nuolat kintančių veiksnių, darančių įtaką biocheminiams procesams bei mikroorganizmų veiklai. Tai nuotekų užterštumo ir debitų svyravimai, veikliojo dumblo maišymo, aeravimo režimų kaita, veikliojo dumblo koncentracijos ir kitų parametų palaikymas. Nuotekų tvarkymo reglamente nurodyta, kad nuotekos turi būti valomos taikant geriausias prieinamas technologijas, o šalinamos taip, kad aplinkai būtų daroma mažiausia įtaka (Nuotekų, 2006).

Griežti reikalavimai azoto ir fosforo junginiams šalinti buvo taikomi nuotekų valymo įrenginiams, kurių našumas didesnis nei 5,0 m³/d. Nuo 2019 m. lapkričio 1 d. azoto ir fosforo junginių šalinimo iš nuotekų reikalavimai įsigaliojo ir mažesniems nei 5,0 m³/d. nuotekų valymo įrenginiams ir leistinos momentinės bendrojo azoto (N_B) bei bendrojo fosforo (P_B) koncentracijos išvalytose nuotekose turi būti: N_B <25 mg/l, P_B <5 mg/l.

Norint pasiekti įsigaliojusius naujus azoto ir fosforo junginių šalinimo iš nuotekų reikalavimus, nuotekų tvarkymo reglamento pakeitimai privertė mažų (iki 5,0 m³/d) nuotekų valymo įrenginių gamintojus tobulinti gaminamų įrenginių technologijas.

Azoto ir fosforo junginių šalinimo tyrimams buvo pasirinkti maži (0,9m³/d), vidutiniai (45m³/d) ir dideli (225m³/d) UAB „August ir ko“ nuotekų valymo įrenginiai, kuriuose įdiegta vertikalaus srauto labirinto (VFL) technologija.

Tyrimo tikslas – nustatyti VFL technologijos tinkamumą bereagentiniam azoto ir fosforo šalinimui.

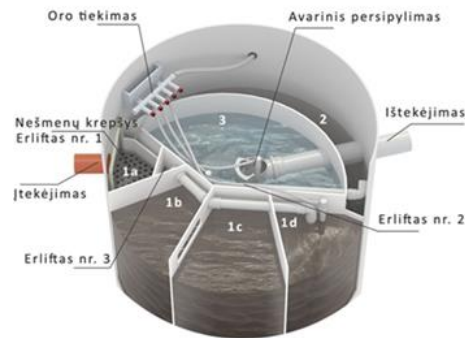
Tikslui pasiekti buvo sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Atlikti mažo našumo AT8 serijos nuotekų valymo įrenginio tyrimus siekiant nustatyti, ar jis užtikrina išvalytose nuotekose leistinas bendrojo azoto ir bendrojo fosforo koncentracijas (N_B <25 mg/l, P_B <5 mg/l);
2. Atlikti įvairių VFL nuotekų valymo technologija paremtų nuotekų valymo įrenginių veikimo efektyvumą azoto ir fosforo junginiams šalinti.

Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimo objektais buvo pasirinkti trys skirtingo našumo nuotekų valymo įrenginiai:

- 1) mažasis nuotekų valymo įrenginys AT8, projektinis našumas – 0,9m³/d;
- 2) netipinis gamyklinis nuotekų valymo įrenginys 2xAT150, projektinis našumas – 45m³/d;
- 3) netipinis vietoje surenkamas nuotekų valymo įrenginys Juknaičių miestelyje. Jo projektinis našumas – 225m³/d.



1 pav. Biologinio valymo įrenginio AT8-AT50 schema

Šaltinis: UAB „August ir ko“

Fig. 1. Scheme of biological treatment plants AT8-AT50

Source: UAB „August ir ko“

Nuotekų valymo įrenginys (NVĮ) AT8 buvo sumontuotas 2017 m. Vilniaus rajone, Didžiųjų Gulbinų gyvenvietėje, vienbučio gyvenamojo namo nuotekoms valyti. Šis įrenginys priklauso tipinių AT6-AT50 įrenginių serijai, kurių konstrukcija yra vienoda, skiriasi tik matmenys (1 pav.). UAB „August ir ko“ tipiniai nuotekų valymo įrenginiai AT6-AT50 per parą išvalo nuo 0,6 iki 7,5 m³ nuotekų. Šie įrenginiai yra skirti plačiam spektrui objektų – nuo vasarnamio iki gyvenamųjų namų kvartalo. Atitekančių nuotekų koncentracija gali kisti plačiose ribose.

Įrenginys AT8 įrengtas vienoje talpoje, kurioje yra: anaerobinė-anoksinė (1) ir aeracinė (2) zonos bei antrinis nusodintuvas (3). Anaerobinė-anoksinė zona pertvaromis suskirstyta į besileidžiančio ir kylančio srautų skyrius (1a, 1b, 1c ir 1d), sukurdamą taip vadinamą „vertikalaus srauto labirintą“. Antriniame nusodintuve (3) yra sumontuotas srauto reguliatorius, kuris apsaugo įrenginį nuo neigiamos pikinių srautų įtakos.

Valomos nuotekos pradžioje įteka į anaerobinės-anoksinės kameros 1a skyrių, kuriame sumontuotas nešmenų sulaikymo krepšys. Dumblo mišinys erliftu nr. 3 pakeliamas iš (1d) sekcijos į (1a) sekciją, taip užtikrinant vidinę cirkuliaciją neaeruojamoje zonoje.

Dumblo ir valomų nuotekų mišinys iš neaeruojamo (1a) skyriaus teka į anaerobinės zonos (1b) skyrių per pertvaros apatinę dalį. Po to iš (1b) skyriaus per pertvaros viršų mišinys patenka į (1c) skyrių, kuriame susimaišo su veikliuoju dumblo, grąžintu iš antrinio nusodintuvo (3). Aktyviojo dumblo ir nuotekų mišinys per pertvaros apatinę dalį išteka į (1d) skyrių.

Nuotekos iš paskutinio anoksinės zonos (1d) skyriaus išteka į aeracinę zoną (2) per pertvaros viršų. Aeruojamoje kameroje yra sumontuoti dugniniai aeratoriai, skirti ištirpusio deguonies koncentracijos ir kameros turinio homogeniškumui užtikrinti. Veikliojo dumblo mišinys iš aeracinės zonos (2) išteka į antrinį nusodintuvą (3) per angą juos jungiančioje pertvaroje. Erlifto Nr. 2 vamzdelio vienas galas, išvestas antrinio nusodintuvo (3) dugne, užtikrina aktyviojo dumblo recirkuliaciją: dalis veikliojo dumblo patenka į vertikalaus srauto labirinto 1c skyrių, o kita dalis – į aeruojamąją kamerą (2). Oro tiekimas į erliftus Nr.1, Nr.2, Nr.3, srauto reguliatorių ir aeratorius reguliuojami sklendėmis, įrengtomis oro paskirstymo kolektoriuje.

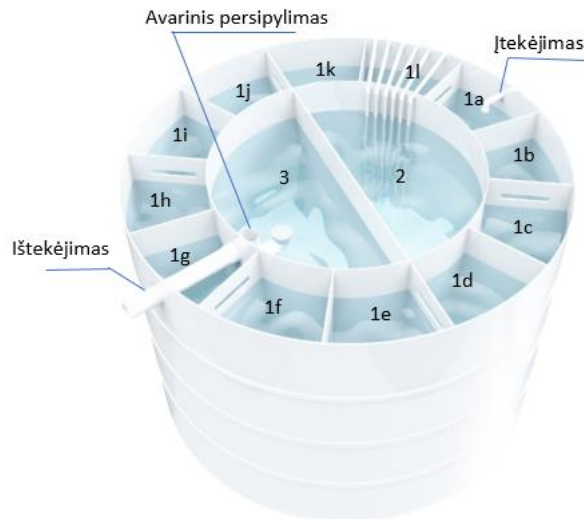
Kiti du tyrimams pasirinkti įrenginiai – netipiniai, gamykloje ir vietoje surenkami. Šie įrenginiai gali būti naudojami gyvenviečių, gyvenamųjų namų kvartalų restoranų, rekreacinės paskirties objektų, viešbučių nuotekoms valyti.

Pirmasis NVĮ (2 pav.) 2xAT150 buvo sumontuotas 2016 m., Vilniaus rajono pakavimo medžiagų gamyklos buitinėms nuotekoms valyti. Įrenginio našumas – 45 m³/d. NVĮ sudarytas iš šių funkcinų zonų: 1a -1d – anaerobinės zonos, 1e -1l – anoksinės zonos, 2 – aeracinė zona, 3 – antrinis nusodintuvas.

Antrasis NVĮ (3 pav.) įrengtas Juknaičių miestelio nuotekoms valyti. Kompaktiškas 225 m³/d našumo nuotekų valymo įrenginys sudarytas iš dviejų linijų, susidedančių iš biologinių reaktorių ir papildomų statybinių konstrukcijų bei mechanizmų, skirtų pirminiam mechaniniam ir tretiniam valymui, taip pat siurblinės, dumblo apdorojimo sistemos ir valdymo įrangos. Juknaičių NVĮ sudarytas iš atskirų funkcinų zonų: 1a – anaerobinė zona, 1b – anoksinė zona, 2 – aeracinė zona, 3– antrinis nusodintuvas.

Bioreaktorių veikimo principas. Biologinio valymo grandies reaktorių sudaro: anaerobinė, anoksinė, aeracinė zonos ir antrinis nusodintuvas. Visos zonos įrengtos viename cilindrinės (2 pav.) arba stačiakampės (3 pav.) formos korpuse, pagamintame iš polipropileno, bioreaktoriai – uždaro tipo.

Mechaniškai apvalytos nuotekos pirmiausia patenka į anaerobinę, vėliau – anoksinę (denitrifikacijos) zoną, kuriose vykdomas azoto ir fosforo šalinimas. Šios zonos vertikaliomis pertvaromis suskirstytos į atskiras susisiekančias sekcijas, kad nuotekoms, besileidžiant ir kylant labirinte bei kontaktuojant su dumblo srautais, dėl sukeliama hidrodinaminio režimo jose nenusėstų veiklusis dumblas.



2 pav. Netipinio gamyklinio įrenginio (AT75-AT300) schema
Šaltinis: UAB „August ir ko“

Fig. 2. Schematic of an atypical prefabricated units (AT75-AT300)

Source: UAB „August ir ko“



3 pav. Netipinio vietoje surenkamo įrenginio schema
Šaltinis: „August ir ko“

Fig. 3. Schematic of an atypical on-site assembled unit

Source: UAB „August ir ko“

Dumblo mišinys iš anoksinės zonos išteka į aeracinę (nitrifikacijos) zoną, kurioje suoksidinami organiniai teršalai ir amonio azotas. Šioje zonoje tirpinamas deguonis, būtinas organiniams teršalams ir amonio azotui oksidinti. Šiuo tikslu tiekiamas oras į smulkiaburbulinius pneumatinius dugninius aeratorius. Keičiant aeravimo, maišymo ir neveikos režimus vyksta amonio azoto oksidimas iki nitritų ir nitratų, o denitrifikacijos proceso metu – iki dujinio azoto.

Dumblo mišinys iš aeracinės zonos tiekiamas į antrinio nusodintuvo apatinę dalį, kurioje dumblo mišinys filtruojamas per skendinčio dumblo sluoksnį, dėl ko iki minimumo sumažėja skendinčių medžiagų koncentracija valytose nuotekose. Proceso pabaigoje išvalytos nuotekos iš įrenginio išteka pro specialų srovės reguliatorių, kuris užtikrina tolygų srautą bei apsaugo nuo veikliojo dumblo išnešimo iš biologinio reaktoriaus pikinių debitų metu.

Tyrimai buvo atliekami šaltuoju ir šiltuoju periodu. Atitekančių ir išvalytų nuotekų mėginiai buvo imami iš mėginių paėmimo šulinėlių, paėmimo metu buvo matuojama nuotekų temperatūra. UAB „Ekometrija“ ir UAB „Šilutės vandenys“ vandens tyrimų laboratorijose buvo nustatomi šie nuotekų kokybiniai parametrai:

- septynių parų biocheminis deguonies suvartojimas (BDS7) mgO₂/l;
- skendinčių medžiagų koncentracija (SM) mg/l;
- bendrojo azoto koncentracija (NB) mgN/l;
- bendrojo fosforo koncentracija (PB) mgP/l.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

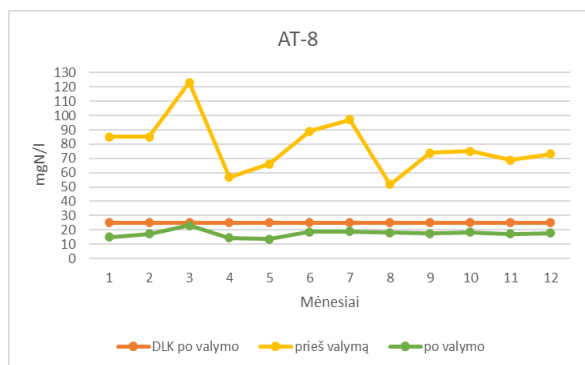
Gauti laboratorinių tyrimų rezultatai buvo lyginami su Reglamente pateiktomis į gamtinę aplinką išleidžiamų nuotekų užterštumo normomis (didžiausiomis leistinomis koncentracijomis).

Labiausiai džiugino AT8 serijos įrenginio išvalytų nuotekų kokybės rodikliai, kurie pateikti 4 ir 5 paveiksluose.

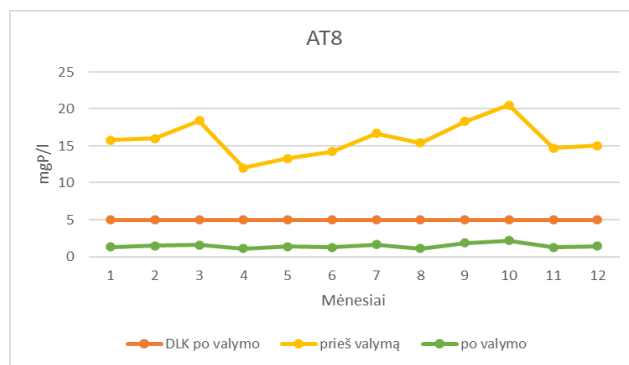
Pagal Reglamentą, į gamtinę aplinką išleidžiant iki 5 m³/d nuotekų, bendrojo azoto koncentracija valytose nuotekose negali viršyti 25 mgN/l, bendrojo fosforo – 5 mgP/l. Iš pateiktų grafikų (4, 5 pav.) matyti, kad per tiriamąjį laikotarpį valytos nuotekos nė karto neviršijo nustatytų normų.

Tai rodo, kad daugiau kaip 15 metų UAB „August ir ko“ gaminamas nuotekų valymo įrenginys AT8 užtikrina aukštus azoto ir fosforo išvalymo rodiklius, tenkinančius sugriežtintas į gamtinę aplinką išleidžiamų nuotekų užterštumo normas. Šių serijinės gamybos įrenginių (gaminamų ir pastatytų) dėl įsigaliojusių griežtesnių kokybės reikalavimų tobulinti nereikės. Gi valymo įrenginiams, kurie buvo įrengti iki 2019 m. lapkričio 1 d. ir netenkinantiems sugriežtintų Reglamento reikalavimų reikės prisitaikyti prie naujų reikalavimų. Tam yra numatytas pereinamasis laikotarpis (iki 2030 m. sausio 1 d.), per kurį juos reikės modernizuoti.

Nuotekų valymo įrenginio 2xAT150 išvalytų nuotekų kokybės rodikliai pateikti 6 ir 7 paveiksluose. Nuotekų valyklai išduotame taršos leidime nurodytos tokios ribinės biogeninių teršalų koncentracijos valytose nuotekose: P_B<4mgP/l, N_B<30mgN/l. Iš 6 pav. matyti, kad bendrojo fosforo koncentracija atitekančiose nuotekose svyruoja 12–16 mgP/l ribose. Išvalytose nuotekose bendrojo fosforo koncentracija neviršija 2,0 mgP/l. Tai geras rezultatas, nes išvalytose nuotekose fosforo koncentracija beveik du kartus mažesnė nei nurodyta taršos leidime.

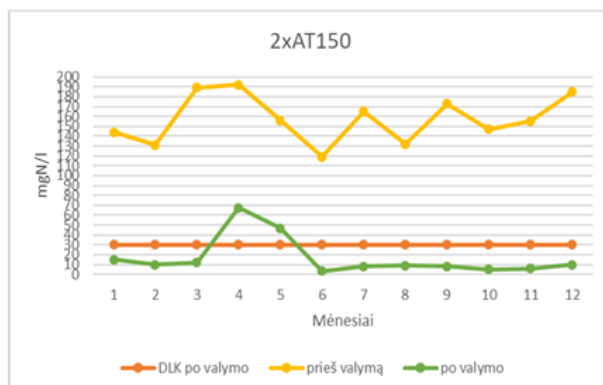


4 pav. NVĮ AT8, Azoto šalinimo efektyvumas
Fig. 4. WWTP AT8, Efficiency of nitrogen removal

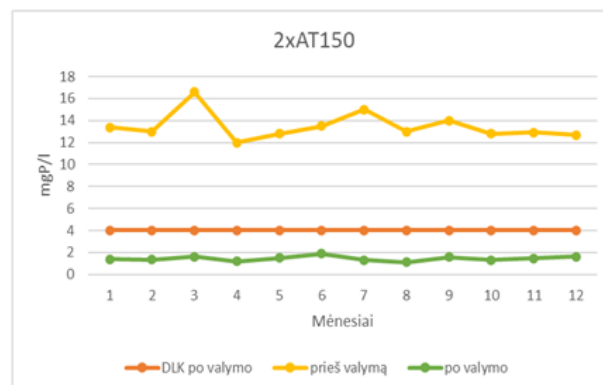


5 pav. NVĮ AT8, Fosforo šalinimo efektyvumas
Fig. 5. WWTP AT8, Efficiency of phosphorus removal

Kalbant apie azoto šalinimą, iš 5 pav. matyti, kad bendrojo azoto koncentracija 4–5 mėn. žymiai viršijo leistiną normą. To priežastis – aeracijos sistemos sutrikimas (plyšusi difuzoriaus membrana). Dėl sutrikusios aeracijos nebuvo išlaikoma pakankama ištirpusio deguonies koncentracija aeracijos kameroje, todėl sutriko nitrifikacijos procesas, bendrojo azoto koncentracijos padidėjimą lėmė nepašalintas amonio azotas. Pašalinus gedimą, valytų nuotekų koncentracijos vėl atitiko normas.



6 pav. NVĮ 2xAT150, Azoto šalinimo efektyvumas
Fig. 6. WWTP 2xAT150, Efficiency of nitrogen removal

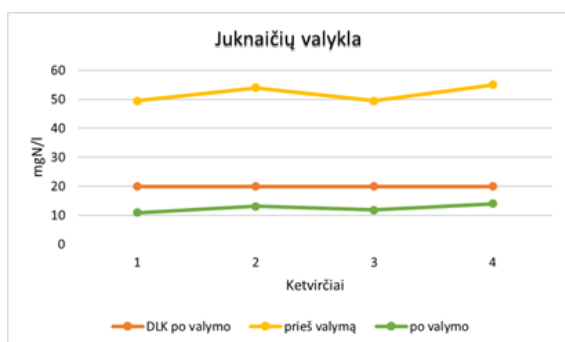


7 pav. NVĮ 2xAT150, Fosforo šalinimo efektyvumas
Fig. 7. WWTP 2xAT150, Efficiency of phosphorus removal

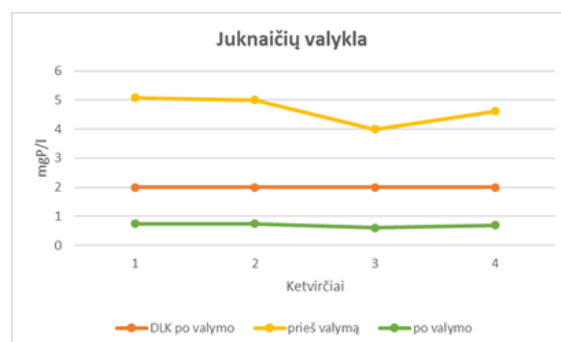
Labai stabiliai tyrimo metu dirbo Juknaičių miestelio nuotekų valymo įrenginiai. Bendrojo azoto koncentracija išvalytose nuotekose svyravo nedaug – 10–14 mgN/l, kai didžiausia leistina koncentracija – 20 mgN/l.

Bendrojo fosforo išvalymo rodikliai dar geresni – neviršijo 1,0 mgP/l, kai didžiausia leistina koncentracija – 2,0 mgP/l (8 ir 9 pav.)

Apibendrinant galima teigti, kad visi tirti nuotekų valymo įrenginiai užtikrina bereagentinį azoto ir fosforo junginių šalinimą iš nuotekų, kas rodo aukštą VFL technologijos patikimumą.



8 pav. Azoto šalinimo efektyvumas Juknaičių NVĮ
Fig. 8. WWTP Juknaičių, Efficiency of nitrogen removal



9 pav. Fosforo šalinimo efektyvumas Juknaičių NVĮ
Fig. 9. WWTP Juknaičių, Efficiency of phosphorus removal

Išvados

1. Atlikti tyrimai parodė, kad VFL nuotekų valymo technologija dėl sukurtų funkcinų zonų / kamerų (anaerobinės, anoksinės ir aeracijos) sudaro palankias sąlygas nitrifikuojančioms ir denitrifikuojančioms bakterijoms dominuoti ir intensyviai vykdyti gyvybinę veiklą, dėl to pasiekiamas aukštas azoto junginių išvalymo efektyvumas.

2. Atlikti tyrimai parodė aukštą fosforo junginių šalinimo efektyvumą. Visuose tirtuose įrenginiuose išvalytose nuotekose fosforo koncentracija nė karto neviršijo didžiausios leistinos koncentracijos.

3. Mažo našumo AT8 serijos nuotekų valymo įrenginys be konstrukcinių ir technologinių pakeitimų užtikrina išvalytose nuotekose leistinas bendrojo azoto ir bendrojo fosforo koncentracijas ($N_B < 25 \text{ mg/l}$, $P_B < 5 \text{ mg/l}$), įsigaliojusias nuo 2019-11-01 po Reglamento pakeitimo.

Literatūra

1. „August ir ko“ produktai. Prieiga per internetą: <https://www.august.lt/produktai/> (žiūrėta 2022-01-15)
2. Nuotekų tvarkymo reglamentas, patvirtintas Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2006 m. gegužės 17 d. įsakymu Nr. D1-236 „Dėl Nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo“.
3. Budreckas, A. 2014. Aplenkusios laiką lietuviškos „August ir Ko“ biologinių nuotekų valymo įrenginių technologijos. Vandentvarka. Lietuvos vandens asociacijos informacinis leidinys. Nr. 45. 16 p.
4. Didžiapetrienė P. 1999. Nedidelių gyvenviečių nuotekų šalinimo sistemos: MTD ataskaita. Kaunas.
5. Phosphorous removal from wastewater. Prieiga per internetą: <http://www.lenntech.com/phosphorous-removal.htm> (žiūrėta 2022-01-15)
6. Levitas E., Radzevičius A., Žibienė G. 2008. Nuotekų surinkimas ir valymas: Vadovėlis. – Kaunas: UAB „Ardiva“, 2008. 352 p.
7. Matuzevičius, A. B. 1999. Rekomendacijos biologinio valymo įrenginiams projektuoti. Vilnius: Technika. 28 p.
8. Povilaitis A., Šileika A., Deelstra J., Gaigalis K., Baigys G. 2014. Nitrogen losses from small agricultural catchments in Lithuania. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 198, p. 54–64.
9. Okunuki, S.; Kawaharasaki, M.; Tanaka, H.; Kanagawa, T. 2004. Changes in phosphorus removing performance and bacterial community structure in an enhanced biological phosphorus removal reactor. *Water Research*, Vol. 38, p. 2433–2439.
10. Šilutės vandenys. Prieiga per internetą: <http://www.silutes-vandenys.lt/> (žiūrėta 2022-01-16).
11. Vabolienė, G. 2006. Azoto ir fosforo šalinimas iš nuotekų Lietuvoje. Straipsnis. Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas..
12. Vabolienė, G. 2007. Temperatūros poveikis biologiniam fosforo šalinimui iš nuotekų. Vandentvarka. Lietuvos vandens tiekėjų asociacijos informacinis leidinys. Nr. 31. 12 p.

REMOVAL OF NITROGEN AND PHOSPHORUS FROM WASTEWATER WITHOUT REAGENTS

Summary

The article presents research on the efficiency of nitrogen and phosphorus compounds removal using AT series wastewater treatment plants manufactured by UAB August ir ko. Strict requirements for the removal of nitrogen and phosphorus compounds have been applied to wastewater treatment plants with a capacity of more than 5.0 m³/d. From 2019 November 1 the requirements for the removal of nitrogen and phosphorus compounds from wastewater also came into force for WWTP with capacity of less than 5.0 m³/d. For waste water treatment plants and the permissible instantaneous concentrations of total nitrogen and total phosphorus in the treated waste water shall not exceed: $N_{TOT} < 25 \text{ mg / l}$, $P_{TOT} < 5 \text{ mg / l}$. Amendments to the Wastewater Treatment Regulation have forced manufacturers of small (up to 5.0 m³/d) wastewater treatment plants to improve the technology of their plants in order to meet the requirements for nitrogen and phosphorus removal.

The main goal of the study is to determine the efficiency of biological nitrogen and phosphorus removal in VFL technology. To achieve this goal, 3 wastewater treatment plants of different capacities were investigated. Wastewater samples were taken from each test facility before and after treatment. Samples were tested in laboratories and contaminant concentrations were determined. The obtained results showed that the VFL wastewater treatment technology applied in wastewater treatment plants works efficiently and ensures high efficiency of nitrogen and phosphorus compounds treatment.

Keywords: wastewater treatment plants, nitrogen, phosphorus, VFL technology, wastewater treatment without reagents