



## TRETINIO NUOTEKŲ VALYMO FILTRUOJANT PER CEOLITO, KRIAUKLELIŲ IR FILTRALITE P UŽPILDUS TYRIMAS IR ANALIZĖ

Julita Starenko<sup>1</sup>, Aušra Mažeikienė<sup>2</sup>

*VGTU AIF Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra*  
*El. paštas: <sup>1</sup>julita.starenko@stud.vgtu.lt; <sup>2</sup>ausra.mazeikiene@vgtu.lt*

**Anotacija.** Šiandien itin svarbi vandens taršos fosforo ir azoto junginiais problema. Kai reikiamas nuotekų išvalymo lygis nepasiekiamas pagrindinio valymo grandyje, taikomas tretinis valymas. Straipsnyje tiriamas trijų sorbentų – gamtinio ceolito, kriauklelių ir Filtralite P – efektyvumas šalinti iš nuotekų biogenines medžiagas. Biologiniu būdu išvalytos nuotekos iš eksploatuojamų įrenginių tirtos VGTU Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedros laboratorijoje, jų tarša amonio azoto bei fosfatų fosforo junginiais mažinta filtruojant per sorbcinius filtrų užpildus eksperimentiniame stende. Matuojamos ir vertinamos valomų nuotekų teršalų koncentracijos, filtravimo greitis, sorbcinių medžiagų geba sulaikyti NH<sub>4</sub>-N ir PO<sub>4</sub>-P. Atlikus eksperimentinius tyrimus nustatyta, kad fosfatų fosforą geriausiai šalino Filtralite P užpildas (šalinimo efektyvumas iki 70 %), o amonio azotą – ceolito užpildas (šalinimo efektyvumas iki 95 %).

**Reikšminiai žodžiai:** nuotekos, tretinis valymas, amonio azotas, fosfatų fosforas, sorbentai.

### Įvadas

Augantis vandens užterštumas azoto ir fosforo junginiais bei besivystanti eutrofikacija skatina domėtis priemonėmis, galinčiomis padėti spręsti šią aplinkosauginę problemą.

Tretinis nuotekų valymas taikomas tuomet, kai reikiamas išvalymo efektyvumas nepasiekiamas pradinio ir pagrindinio valymo metu. Europos Tarybos direktyvoje dėl miesto nuotekų valymo (91/271/EEB) numatyta, kad tretinis nuotekų valymas turi būti taikomas visose aglomeracijose, kurių dydis viršija 10000 GE (gyventojų ekvivalentas) (Aplinkos apsaugos agentūra, 1991). Pagal šią direktyvą visa Lietuvos teritorija yra priskirta eutrofikacijai jautria zona, todėl ypač svarbu iš nuotekų pašalinti azoto (N) ir fosforo (P) junginius. Šie junginiai, patekę į gamtinius vandenius, yra žalingi, nes sukelia eutrofikacijos procesą, pažeidžia vandens telkinių ekologinę pusiausvyrą (Powley, Dürr, Lima, Krom ir Van Cappellen, 2016).

Maži nuotekų valymo įrenginiai (NVĮ) dažnai neužtikrina tinkamo azoto ir fosforo junginių pašalinimo iš nuotekų (Abegglen, Ospelt ir Siegrist, 2008; Kirjanova, 2015), jų indėlis į paviršinių ir požeminių vandenų užteršimą azotu ir fosforu yra svarus (Kirjanova, 2015;

Oakley, Gold ir Oczkowski, 2010): 61 % bendro azoto kiekio, išleidžiamo į aplinką su nuotekomis, sudaro azotas, išleidžiamas su nuotekomis iš decentralizuotų nuotekų valymo sistemų (Oakley ir kt., 2010). Švedijoje mažomis nuotekų tvarkymo sistemomis naudojasi tik 15 % gyventojų, tačiau šių sistemų į gamtinę aplinką išleidžiamas fosforo kiekis yra didesnis negu fosforo kiekis, išleidžiamas iš didelių NVĮ (Hedström, 2006).

Vystantis eutrofikacijai ir augant aplinkos užterštumui N ir P junginiais, LR Aplinkos ministerija parengė Nuotekų tvarkymo reglamento pataisas, kuriose numatyta padidinti reikalavimus buitinių nuotekų valymui mažuose biologinio valymo įrenginiuose (išleidžiančiuose iki 5 m<sup>3</sup>/d nuotekų). Nuotekų tvarkymo reglamento pataisose yra numatytas reikalavimas, kad mažųjų biologinio valymo įrenginių, kurių pajėgumas per parą neviršija 5 m<sup>3</sup>, momentinis didžiausių leistinių koncentracijų normatyvas fosforo junginiams – 5 mg/l, azoto junginiams – 25 mg/l (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija, 2018). Kai kuriose ES šiaurės šalyse (Suomija, Švedija) šie reikalavimai dar griežtesni, pavyzdžiui, bendrojo fosforo koncentracija išvalytose nuotekose neturi viršyti 1 mg/l.

Mokslininkai tobulina mažųjų nuotekų valymo įrenginių technologijas ir konstrukcijas (Kirjanova, 2015; Mažeikienė, 2019; Omosa, Wang, Cheng, ir Li, 2012; Bustillo-Lecompte ir Mehrvar, 2017). Pagrindinėje nuotekų valymo grandyje nepasiekiamas visiškasis N ir P junginių pašalinimas: kuo mažesni įrenginiai, tuo didesnės likutinės šių junginių koncentracijos aptinkamos jais išvalytose nuotekose. Problemos sprendimui reikalingi papildomi įrenginiai (Tran ir kt., 2012; Garcia-Ivars ir kt., 2017; Chowdhury, Moore, Weatherley ir Arora, 2017). Vieni iš tokių galėtų būti filtrai, turintys sorbcinius užpildus. Norvegijoje decentralizuotos sistemos grunto ir augalų filtro užpilde fosforo šalinimui dažniausiai yra naudojamas smėlis, turintis daug geležies, kriauklelių smėlis (Adam, Krogstad, Vrale, Sovik ir Jenssen, 2007). Didelis dėmesys skiriamas naujų medžiagų (sorbentų) savybių tyrimui (Jenssen ir kt., 2010; Biswas ir Mishra, 2016). Sorbciniai užpildai turi ne tik sumažinti N ir P junginių koncentracijas nuotekose, bet ir neužteršti jų nuodingomis medžiagomis, būti tinkami aplinkosauginiu požiūriu. Todėl reikalingi tokių užpildų tyrimai ir jų pritaikymo nuotekoms valyti rekomendacijos.

Šio darbo tikslas yra ištirti biologinio valymo grandyje išvalytų nuotekų tretinio valymo efektyvumą, filtruojant jas per sorbcinius užpildus.

## Metodika

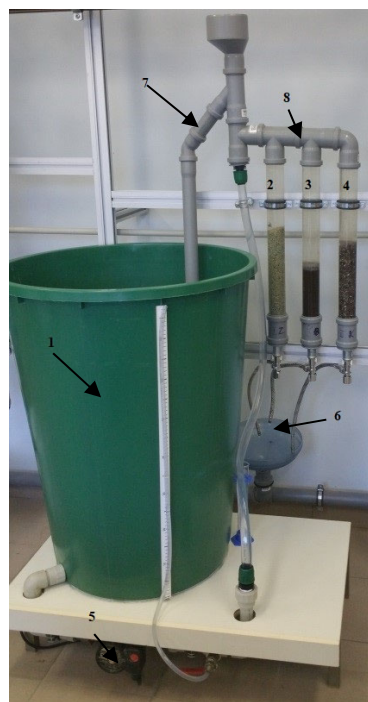
Buvo atlikti du eksperimentai: 2018-11-23 ir 2018-11-30. Išvalytų nuotekų bandiniai atitinkamai po 100 litrų ir 50 litrų buvo imami iš „X“ mažojo buitinių nuotekų valymo įrenginio ištekėjimo vamzdžio tuo pačiu paros laiku (apie 7:30 val.), jų temperatūra buvo matuojama vietoje. Mėginiai buvo vežami ištirti į VGTU Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedros laboratoriją. Laboratorijoje mėginiams buvo leidžiama sušilti iki kambario temperatūros, tuomet buvo matuojama jų pH, skendinčiųjų medžiagų koncentracija (SM), amonio azoto ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) ir orto-fosfatų fosforo ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) koncentracijos. Kiekvienas mėginys buvo tiriamas tris kartus ir pateikiamos vidutinės rezultatų reikšmės.

Ištirus nuotekų užterštumą, jis buvo mažinamas filtruojant nuotekas per pasirinktus užpildus. 100 l valytų nuotekų filtruota 8 valandas (kiekvienai kolonai teko po 33,3 l nuotekų), o 50 l – 4 valandas (kiekvienai kolonai teko po 16,67 l nuotekų), kas valandą imant nuotekų mėginius prieš filtro užpildą ir po jo. Per visus užpildus nuotekos buvo filtruojamos 2,2 m/h greičiu (4,16 l/h debitu). VGTU Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedros laboratorijoje buvo sumontuotas bandomasis

filtravimo stendas, kurio nuotrauka pateikta pirmame paveiksle. Filtravimo bandomasis stendas susideda iš valytų nuotekų talpos, 3 filtravimo kolonų su skirtingais užpildais, valytų nuotekų tiekimo į kolonas siurblio (1 paveikslas). Kad filtrų užpildai nekiltų ir nesimaišytų su nuotekomis, buvo įrengti tinkleliai, sulaikantys užpildų grūdėlius.

Tyrimo metu po biologinio valymo surinktos nuotekos supiltos į valytų nuotekų talpą, iš kurios siurbliu pro paskirstymo vamzdį buvo tiekiamos į tris filtravimo kolonas, kuriose ant palaikančiojo sluoksnio buvo supilti skirtingi filtravimo užpildai, kurie eksperimento metu buvo apsemti. Vieno filtro hidraulinė paviršiaus apkrova – 2,12  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ . Tiekiamų nuotekų perteklius šalintas persipylimo vamzdžiu atgal į valytų nuotekų talpą (1 paveikslas).

Iš atsivežtų valytų nuotekų buvo paruoštas sudėtinis mėginys, kuris siurbliu buvo vienodai paskirstytas filtravimo kolonėlėms.

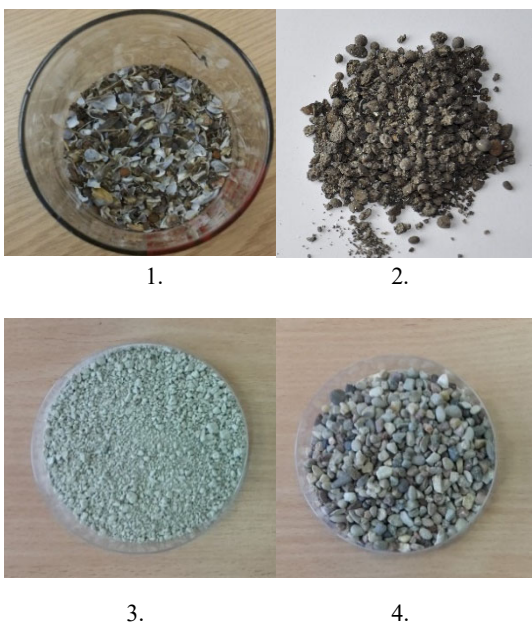


1 paveikslas. Filtravimo bandomasis stendas:  
1 – valytų nuotekų talpa, 2 – ceolito užpildas, 3 – Filtralite užpildas, 4 – kriauklelių užpildas, 5 – valytų nuotekų tiekimo siurblys, 6 – filtruotų nuotekų surinkimo vieta, 7 – persipylimo vamzdis, 8 – nuotekų paskirstymo į kolonas vamzdis

Pirmojoje kolonoje buvo supiltas kriauklelių, nuogramdytų nuo metalinių paviršių, mišinys (2 paveikslas, 1 nuotrauka). Šio užpildo tūris pirmuoju atveju buvo 0,2 l, o svoris – 0,125 kg, antruoju atveju jos buvo susmulkintos ir jų tūris buvo 0,3 l, o svoris – 0,252 kg. Kriauklės yra ekologiška medžiaga ir savotiška atlieka, kurios

panaudojimui reikalingi tyrimai. Tirtojo kriauklelių užpildo dalelės buvo >3,15 mm dydžio pirmuoju atveju, antruoju atveju jos buvo smulkintos ir buvo >2 mm dydžio.

Antrojoje kolonoje buvo supiltas specialiai fosforo šalinimui gaminamas *Filtralite P* užpildas (Maxit AS, Norvegija) (2 paveikslas, 2 nuotrauka), kurio tūris buvo 0,5 l, o svoris – 0,215 kg. *Filtralite P* užpildas yra sudarytas iš turinčių didelį savitąjį paviršiaus plotą ir poringumą molio granuliu. Jam būdingas aukštas pH bei didelis kalcio ir magnio oksidų – CaO ir MgO – kiekis. Tirtojo *Filtralite P* užpildo dalelės buvo 0,5–4 mm dydžio. *Filtralite P* užpildo piltinis tankis – 370 kg/m<sup>3</sup>, tikrasis dalelių tankis – 910 kg/m<sup>3</sup>, dalelių poringumas – ~65 %, užpildo poringumas – ~60 %, užpildo pH – 12, šarmingumas – 35 mekv/l (Filtralite, 2018).



2 paveikslas. Filtrų kolonų užpildai: 1 – smulkintos kriauklės; 2 – *Filtralite P* užpildas; 3 – ceolito užpildas; 4 – užpildų palaikantysis sluoksnis (akmenėliai)

Trečiojoje kolonoje buvo supiltas ceolito užpildas (2 paveikslas, 3 nuotrauka). Ceolitai – tai hidratuoti aliuminio silikatai, turintys kristalines struktūras. Ypač porėta ceolito struktūra suteikia didelį paviršių, ant kurio gali vykti cheminės reakcijos ir katijonų sąveikos mainai. Ceolitai pasižymi sorbcinėmis savybėmis. Ceolito (klinoptilolito – [AlSi<sub>5</sub>O<sub>12</sub>]<sub>2</sub>(K<sub>2</sub>,Na<sub>2</sub>,Ca)(H<sub>2</sub>O)<sub>8</sub>) sorbcijos principas yra jonų mainai. Ceolitas turi natūralų neigiamą krūvį, kuris jam suteikia aukštą katijonų mainų gebą, todėl adsorbuoja amoniako jonus (NH<sub>4</sub>-N) ir kitus ištirpusius vandenyje katijonus bei organinius junginius. Ceolitų veikimo efektyvumas yra toks pat kaip ir kitų jonų mainų

dervų, tačiau jis yra žymiai pigesnis. Dėl savo aukštos katijonų mainų gebos, poringos struktūros, žemos kainos ceolitas yra viena tinkamiausių priemonių vandens valymui (Mažeikienė, Valentukevičienė ir Rimeika, 2008). Šiame tyrime naudojamas ceolitas, uoliena iš Ukrainos, kurioje yra 75 % klinoptilolito. Granuliuoto ceolito dalelių dydis 0.3–1.5 mm. Natūralus granuliuotas ceolitas buvo praplautas distiliuotu vandeniu nepageidaujama drumstumui pašalinti.

Kolonėlėse filtrų užpildų sluoksnis buvo 30 cm. Visose kolonėlėse užpildai buvo supilti ant 2–3 cm storio palaikančiojo sluoksnio (2 paveikslas, 4 nuotrauka). Eksperimentų metu iš visų kolonėlių tuo pačiu metu buvo imami filtrato mėginiai. Filtrato mėginiuose buvo matuojami tie patys rodikliai ir parametrai, kaip ir pradiniame nuotekų sudėtiname mėginyje.

Teršalų šalinimo efektyvumas apskaičiuotas pagal 1 formulę:

$$E(X_i) = \frac{X_{1,i} - X_{2,i}}{X_{1,i}} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

čia:  $E(X_i)$  – atitinkamo teršalo šalinimo efektyvumas, %;  $X_{1,i}$  – atitinkamo teršalo koncentracija prieš filtravimą, mg/l;  $X_{2,i}$  – atitinkamo teršalo koncentracija po filtravimą, mg/l.

Nuotekų temperatūra įvertinta matuokliu *SevenGo pro SG6* (Mettler Toledo, Šveicarija). pH nustatytas potenciometriškai (LST EN ISO 10523:2012, 2012), matuojant WTW gamybos pH-metru pH – 330i, matavimų kokybės kontrolei naudoti *Hamilton* (Šveicarija) sertifikuoti etaloniniai buferiniai tirpalai pH 7,00±0,01 ir pH 9,21±0,02. Skendinčiųjų medžiagų koncentracija įvertinta gravimetriniu metodu, nuotekas košiant pro stiklo pluošto koštuvą (LAND 46-2007, 2007), sverta KERN (Vokietija) ABJ 220-4M tipo elektroninėmis laboratorinėmis svors-tyklėmis.

$$C = \frac{1000 \cdot (m_2 - m_1)}{V_b}, \%, \quad (2)$$

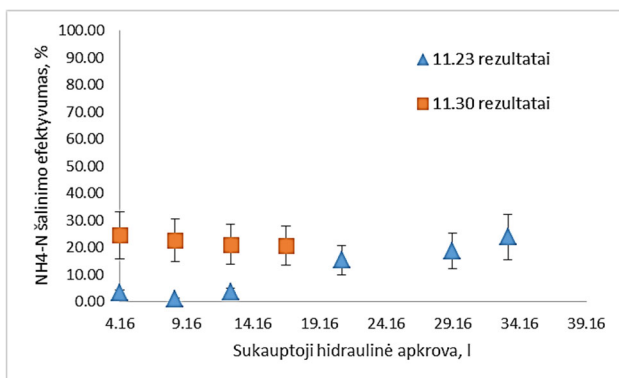
čia:  $C$  – skendinčiųjų medžiagų koncentracija, mg/l;  $m_2$  – koštuvos masė po filtravimo, mg;  $m_1$  – koštuvos masė prieš filtravimą, mg;  $V_b$  – bendras mėginio tūris, ml.

Amonio azotas nustatytas spektrofotometriškai pagal LAND 38-2000. Fosfatų (PO<sub>4</sub>-P) ir bendrasis fosforas nustatyti spektrometriniu metodu, vartojant amonio molibdatą (LAND 58-2003). Absorbcijos matavimai atlikti tiriamuosius mėginius pilant į kiuvetes (Hellma) ir esant reikiamam bangos ilgiui matuojant Genesys 10 UV-Vis spektrofotometru (Thermo Fisher Scientific, JAV).

## Rezultatai ir jų analizė

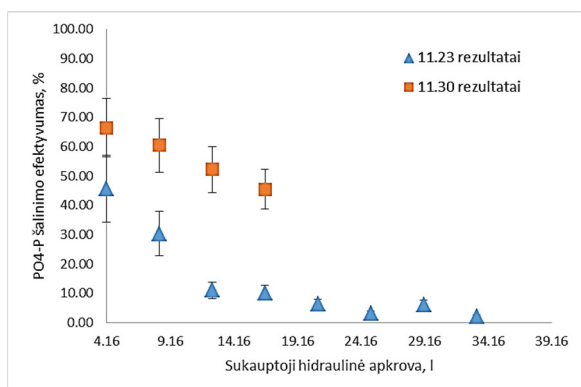
Pirmojo tyrimo metu iš mažo NVĮ ištekėjimo vamzdžio paimtų nuotekų pH buvo 7,2, temperatūra – 13 °C, SM koncentracija – 14 mg/l; pradinė amonio azoto koncentracija – 44,55 mg/l, o fosfatų fosforo – 8,60 mg/l. Antrojo tyrimo metu iš to paties įrenginio ištekėjimo vamzdžio paimtų nuotekų pH buvo 7,4, temperatūra – 12 °C, SM koncentracija – 14 mg/l, pradinė amonio azoto koncentracija – 25,18 mg/l, o fosfatų fosforo – 10,16 mg/l. Pagal Nuotekų tvarkymo reglamento projekte numatomas normas, azoto junginių koncentracija viršijo 25 mg/l reglamentuojamą norminę reikšmę ir fosforo junginių koncentracija buvo didesnė už 5 mg/l.

Pirmojo tyrimo metu *Filtralite P* užpildo amonio azoto šalinimo efektyvumas per 8 filtravimo valandas augo nuo 3,28 % iki 24 % (3 paveikslas), o fosfatų fosforo šalinimo efektyvumas per 8 filtravimo valandas mažėjo nuo 45,67 % iki 2,12 % (4 paveikslas).



3 paveikslas. *Filtralite P* užpildo amonio azoto šalinimo efektyvumas

Antrojo tyrimo metu *Filtralite P* užpildo amonio azoto šalinimo efektyvumas per 4 filtravimo valandas svyravo nuo 24,54 % iki 20,70 % (3 paveikslas), o fosfatų fosforo šalinimo efektyvumas per 4 filtravimo valandas mažėjo 66,44 % iki 45,53 % (4 paveikslas).

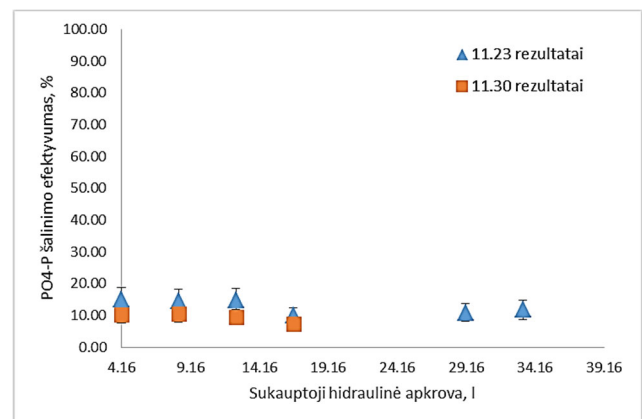


4 paveikslas. *Filtralite P* užpildo fosfatų fosforo šalinimo efektyvumas

Lyginant 2018-11-23 ir 2018-11-30 dienų tyrimų rezultatus, 2018-11-30 amonio azoto šalinimo efektyvumas buvo apie 15 % didesnis ir fosfatų fosforo šalinimo efektyvumas buvo apie 20 % didesnis. Tai galima paaiškinti tuo, kad antrojo tyrimo metu buvo imtas pusantro karto didesnis *Filtralite P* užpildo kiekis.

Amonio azoto šalinimo procesas galėjo vykti dėl nitrifikacijos. Amonio virtimas dujiniu amoniaku yra mažai tikėtinas, nes pH svyravimai bandymų metu neturėjo tendencijos. Abiem atvejais laikui bėgant fosfatų fosforo šalinimas blogėjo, t. y. *Filtralite P* užpildo PO<sub>4</sub>-P šalinimo efektyvumas mažėjo. Fosfatų fosforas reaguoja su *Filtralite P* užpilde esančiais kalcio ir magnio oksidais – CaO ir MgO ir taip yra šalinamas. K. Adamas ir jo bendraautoriai (2007) mažėjantį fosfatų fosforo šalinimo efektyvumą sieja su kalcio jonų, reikalingų fosfatams surišti, išplovimu. A. Kirjanova (2015) atliko tyrimus, kurių metu nustatė, kad apsemtas *Filtralite P* užpildas absorbuoja daugiau PO<sub>4</sub>-P negu neapsemtas, tačiau abiem atvejais *Filtralite P* užpildas absorbuoja vis mažiau PO<sub>4</sub>-P. Bandymų pradžioje PO<sub>4</sub>-P šalinimo efektyvumas siekė virš 60 %.

Pirmojo tyrimo metu ceolito užpildo amonio azoto šalinimo efektyvumas per 8 filtravimo valandas mažėjo nuo 84,35 % iki 67,88 % (5 paveikslas), o fosfatų fosforo šalinimo efektyvumas per 8 filtravimo valandas mažėjo nuo 15,15 % iki 10,99 % (6 paveikslas).

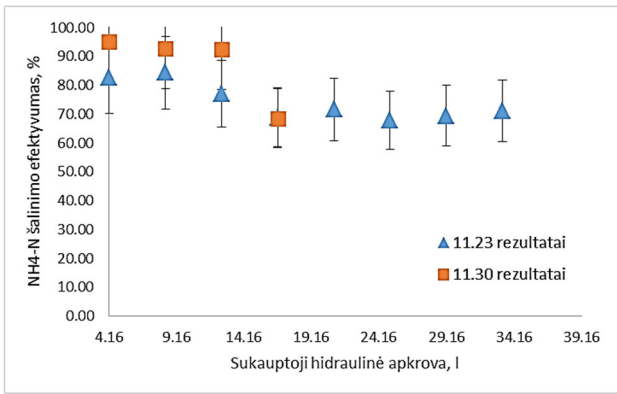


5 paveikslas. Ceolito užpildo amonio azoto šalinimo efektyvumas

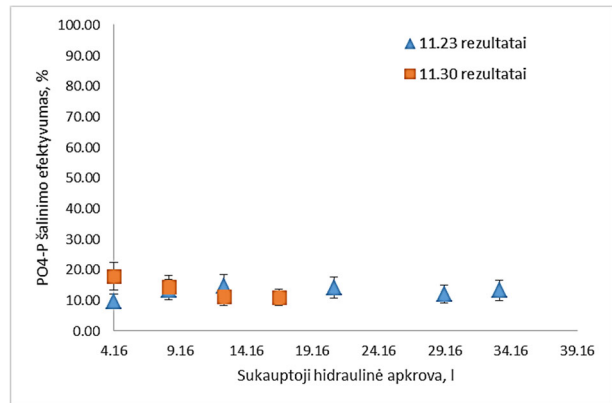
Antrojo tyrimo metu ceolito užpildo amonio azoto šalinimo efektyvumas per 4 filtravimo valandas mažėjo nuo 95 % iki 68,6 % (5 paveikslas), o fosfatų fosforo šalinimo efektyvumas per 4 filtravimo valandas mažėjo nuo 10,55 % iki 7,57 % (6 paveikslas).

Lyginant 2018-11-23 ir 2018-11-30 dienų tyrimų rezultatus, 2018-11-30 pirmųjų trijų valandų amonio azoto šalinimo efektyvumas buvo apie 10 % didesnis, o fosfatų





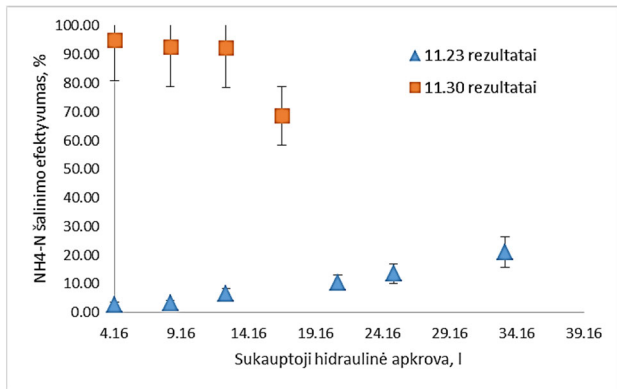
6 paveikslas. Ceolito užpildo fosfatų fosforo šalinimo efektyvumas



8 paveikslas. Kriauklelių užpildo fosfatų fosforo šalinimo efektyvumas

fosforo šalinimo efektyvumas buvo apie 5 % mažesnis. Ceolito užpildas amonio jonus adsorbuoja, todėl jų koncentracija filtrate sumažėja. Taip pat antrojo tyrimo metu amonio azoto šalinimo efektyvumas padidėjo, nes antrojo tyrimo metu buvo imtas 0,149 kg didesnis ceolito užpildo kiekis negu 2018-11-23. R. Albrektienė su kolegomis (2013) neruošto geriamojo vandens filtravimo per įvairius užpildus tyrimų metu nustatė, kad ceolito užpildo amonio jonų šalinimo efektyvumas siekė iki 98 %.

Pirmojo tyrimo metu kriauklelių užpildo amonio azoto šalinimo efektyvumas per 8 filtravimo valandas didėjo nuo 2,76 % iki 21,07 % (7 paveikslas), o fosfatų fosforo šalinimo efektyvumas per 8 filtravimo valandas svyravo nuo 9,64 % iki 14,68 % (8 paveikslas).



7 paveikslas. Kriauklelių užpildo amonio azoto šalinimo efektyvumas

Antrojo tyrimo metu kriauklelių užpildo amonio azoto šalinimo efektyvumas per 4 filtravimo valandas didėjo nuo 10,88 % iki 29,21 % (7 paveikslas), o fosfatų fosforo šalinimo efektyvumas per 4 filtravimo valandas mažėjo nuo 17,91 % iki 10,97 % (8 paveikslas).

Antrojo tyrimo metu buvo imtas dvigubai didesnis kriauklelių užpildo kiekis ir kriauklės buvo susmulkintos. Lyginant 2018-11-23 ir 2018-11-30 dienų tyrimų rezultatus, 2018-11-30 amonio azoto šalinimo efektyvumas buvo apie 8–20 % didesnis, o fosfatų fosforo šalinimo efektyvumas buvo panašus – 10–15 % ribose.

Fosfatų šalinimas kriauklelių užpilde vyko dėl jo jungimosi su trivalentės geležies oksidais, kadangi kriauklės buvo nugramdytos nuo metalinių paviršių (geležis reaguoja su nuotekose esančiu deguonimi ir sudaro geležies oksidą  $Fe_2O_3$ ).

Iš gautų rezultatų matyti, kad efektyviausiai fosfatų fosforą šalina *Filtralite P* užpildas, nors jo trūkumas, K. Adamo ir jo bendraautorių (2017) teigimu, yra didelė kaina ir didelės energijos sąnaudos jo gamybai iš veikiančio filtro. Šio filtravimo užpildo efektyvumas fosfatų fosforo junginiams siekia iki 70 %. Efektyviausiai amonio azotą šalina ceolito užpildas, kuris pasižymi aukšta katjonų mainų geba, poringa struktūra ir maža kaina. Šio filtravimo užpildo efektyvumas amonio azotui siekia iki 95 %. Išsieikvojus filtravimo užpildo sorbcinei gebai, jį reikia regeneruoti.

## Išvados

1. Tyrimų laikotarpiu mažuoju valymo įrenginiu išvalytos nuotekos neatitiko Nuotekų tvarkymo reglamento pataisose numatytų normų: azoto junginių koncentracija (44,55 mg/l) viršijo 25 mg/l reglamentuojamą norminę reikšmę ir fosforo junginių koncentracija (8,60 mg/l) buvo didesnė už 5 mg/l.
2. Papildomam tretiniam valymui naudojant filtravimo pro grūdėtusius užpildus technologiją, nuotekų užterštumo rodikliai yra sumažinami iki 95 % filtruojant pro skirtingus užpildus.

3. Atlikus eksperimentinius tyrimus nustatyta, kad fosfatų fosforą geriausiai šalino *Filtralite P* užpildas (šalinimo efektyvumas iki 70 %), o amonio azotą – ceolito užpildas (šalinimo efektyvumas iki 95 %).
4. Kriauklelių užpildas nepasižymi aukštu amonio azoto ir fosfatų fosforo šalinimo efektyvumu (iki 20 %), tačiau tai pigi medžiaga mažoms teršalų koncentracijoms šalinti. Išamesniam kriauklelių užpildo įvertinimui reikalingi papildomi tyrimai, nes su-smulkinus kriaukleles išaugo amonio azoto šalinimo efektyvumas.
5. Laikui bėgant užpildus reikia periodiškai keisti, nes sumažėja jų efektyvumas.

### Padėkos

Dėkoju VGTU Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedros laboratorijai už suteiktą galimybę atlikti eksperimentinius tyrimus.

### Literatūra

- Abegglen, C., Ospelt, M., & Siegrist, H. (2008). Biological nutrient removal in a small-scale MBR treating household wastewater. *Water Research*, 42(1-2), 338-346. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.07.020>
- Adam, K., Krogstad, T., Vrale, L., Sovik, A. K., & Jenssen, P. D. (2007). Phosphorus retention in the filter materials shellsand and Filtralite P – Batch and column experiment with synthetic P solution and secondary wastewater. *Ecological Engineering*, 29(2), 200-208. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.09.021>
- Albrektienė, R., Rimeika, M. ir Petraitytė, V. (2013). Filtravimo užpildų efektyvumo tyrimai. *Mokslas – Lietuvos ateitis: Aplinkos apsaugos inžinerija*, 5(4), 455-460. <https://doi.org/10.3846/mla.2013.71>
- Aplinkos apsaugos agentūra. (1991). Miesto nuotekų valymo direktyvos įgyvendinimas. 1991 m. gegužės 21 d. Tarybos direktyva dėl miesto nuotekų valymo (91/271/EEB).
- Aplinkos ministerija. (2018, sausio 24 d.). Šalies vandens telkinių labui – didesni reikalavimai individualiam nuotekų valymui. *Regionų naujienos*. Prieiga per internetą: <http://www.regionunaujienos.lt/salies-vandens-telkiniu-labui-didesni-reikalavimai-individualiam-nuoteku-valymui/>
- Biswas, S. & Mishra, U. (2016). Treatment of copper contaminated municipal wastewater by using UASB reactor and sand-chemically carbonized rubber wood sawdust column. *Biomed Research International*, 2016, Article ID 5762781, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2016/5762781>
- Bustillo-Lecompte, C. F., & Mehrvar, M. (2017). Treatment of actual slaughterhouse wastewater by combined anaerobic-aerobic processes for biogas generation and removal of organics and nutrients: An optimization study towards a cleaner production in the meat processing industry. *Journal of Cleaner Production*, 141, 278-289. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.060>
- Chowdhury, R. B., Moore, G. A., Weatherley, A. J., & Arora, M. (2017). Key sustainability challenges for the global phosphorus resource, their implications for global food security, and options for mitigation. *Journal of Cleaner Production*, 140(Part 2), 945-963. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.012>
- Filtralite. (2018). *Product Specification of Filtralite Nature P0-4 filter media*. Prieiga per internetą: <https://filtralite.com/en/products/filtralite-nature-p-0-4>
- Garcia-Ivars, J., Martella, L., Masella, M., Carbonel-Alcaina, C., Alcaina-Miranda, M. I., & Iborra-Clar, M. I. (2017). Nanofiltration as tertiary treatment method for removing trace pharmaceutically active compounds in wastewater from wastewater treatment plants. *Water Research*, 125, 360-373. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.08.070>
- Hedström, A. (2006). Reactive filter systems for small scale wastewater treatment. *Vatten*, 62, 253-263.
- Jenssen, P. D., Krogstad, T., Paruch, A. M., Mæhlum, T., Adam, K., Arias, C. A., Heistad, A., Jonsson, L., Hellström, D., Brix, H., Yli-Halla, M., Vråle, L., & Valve, M. (2010). Filter bed systems treating domestic wastewater in the Nordic countries – Performance and reuse of filter media. *Ecological Engineering*, 36(12), 1651-1659. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.07.004>
- Kirjanova, A. (2015). *Buitinių nuotekų individualaus valymo technologijos tyrimai ir sukūrimas: Daktaro disertacija*. Vilnius: Technika. <https://doi.org/10.20334/2307-M>
- Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2000). Vandens kokybė. Amonio kiekio nustatymas. Rankinis spektrometrinis metodas (LAND 38-2000). *Valstybės žinios*, 2000-11-24, Nr. 101-3209.
- Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2003). Vandens kokybė. Fosforo nustatymas. Spektrometrinis metodas, vartojant amonio molibdatą (LAND 58-2003). *Valstybės žinios*, 2004-01-10, Nr. 6-119.
- Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2007). Vandens kokybė. Skendinčių medžiagų nustatymas. Košimo pro stiklo pluošto koštuvą metodas (LAND 46-2007). *Valstybės žinios*, 2007-07-19, Nr. 80-3284.
- Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2018). *Įsakymas dėl Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2006 m. gegužės 17 d. įsakymo Nr. D1-236 „Dėl nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo“ pakeitimo*. Aplinkos ministro patvirtintas 2018-09-25, Nr. D1-847. *TAR*, 2018-09-28, Nr. 15266.
- Lietuvos Standartizacijos departamentas. (2012). *Vandens kokybė. pH nustatymas (tapatus ISO 10523:2008)* (LST EN ISO 10523:2012).
- Mažeikienė, A. (2019). Improving small-scale wastewater treatment plant performance by using a filtering tertiary treatment unit. *Journal of Environmental Management*, 232, 336-341. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.076>
- Mažeikienė, A., Valentukevičienė, M., & Rimeika, M. (2008). The use of a zeolite filter media for the removal of ammonium ions from wastewater by filtration. In *7<sup>th</sup> International Conference on „Environmental Engineering“*. Selected papers (vol. 2, pp. 619-624). Ed. by D. Čygas, K. D. Froehner, 22–23 May 2008, Vilnius, Lithuania.
- Mazille, F. & Spuhler, D. (2018). *Ion Exchange*. Sustainable sanitation and water management. Prieiga per internetą: <https://www.sswm.info/sswm-university-course/module-6-disaster-situations-planning-and-preparedness/further-resources-0/ion-exchange>

- Oakley, S. M., Gold, A. J., & Oczkowski, A. J. (2010). Nitrogen control through decentralized wastewater treatment: process performance and alternative management strategies. *Ecological Engineering*, 36(11), 1520-1531. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.04.030>
- Omosa, I. B., Wang, H., Cheng, S., & Li, F. (2012). Sustainable tertiary wastewater treatment is required for water resources pollution control in Africa. *Environmental Science and Technology*, 46(13), 7065-7066. <https://doi.org/10.1021/es3022254>
- Powley, H. R., Dürr, H. H., Lima, A. T., Krom, M. D., & Van Cappellen, P. (2016). Direct discharges of domestic wastewater are major source of phosphorus and nitrogen to the Mediterranean Sea. *Environmental Science and Technology*, 50(16), 8722-8730. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b01742>
- Swedish Environmental Research Institute. (2016). *Reuse of treated wastewater for non-potable use (ReUse): IVL-report B 2219*. Prieiga per internetą: <http://sjostad.ivl.se/download/18.7e136029152c7d48c2024c/1455548263429/B2219.pdf>
- Tran, N., Drogui, P., Blais, J.-Fr., & Mercier, G. (2012). Phosphorus removal from spiked municipal wastewater using either electrochemical coagulation or chemical coagulation as tertiary treatment. *Separation and Purification Technology*, 95, 16-25. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2012.04.014>

## INVESTIGATION AND ANALYSIS OF FILTER FILLINGS CEOLITE, COWRIES AND FILTRALITE P FOR TERTIARY WASTEWATER TREATMENT

J. Starenko, A. Mažeikienė

### Summary

The problem of water pollution with phosphorus and nitrogen compounds is very important today. Tertiary water cleaning is applied when the required wastewater treatment level is not reached after the main wastewater cleaning process. The efficiency of three sorbents (natural zeolite, cowries and Filtralite P) to remove biogenic substances from wastewater is investigated in this article. Biologically cleaned wastewater from operating facilities was researched in the laboratory of VGTU Department of Environmental Protection and Water Engineering. Their pollution with ammonium nitrogen and phosphate phosphorus was reduced by filtering through sorbents filter media in the designed laboratory stand. Pollutant concentrations of cleaned wastewater, filtration rate, sorbent ability to retain NH<sub>4</sub>-N and PO<sub>4</sub>-P are measured and evaluated. Experimental studies show that phosphate phosphorus was best eliminated by Filtralite P filler (removal efficiency up to 70%), and ammonium nitrogen – by zeolite filler (removal efficiency up to 95%).

**Keywords:** wastewater, tertiary treatment, ammonium nitrogen, phosphate phosphorus, sorbents.