

## **BIOFILTRO SU NAUDOTŲ PADANGŲ GUMOS GRANULIŲ ĮKROVA EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI ŠALINANT ACETONĄ IŠ ORO**

Vilius Vasiliauskas<sup>1</sup>, Rasa Vaiškūnaitė<sup>2</sup>

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

El. p.: [vilius.vasiliauskas@stud.vilniustech.lt](mailto:vilius.vasiliauskas@stud.vilniustech.lt); [rasa.vaiskunaite@vilniustech.lt](mailto:rasa.vaiskunaite@vilniustech.lt)

**Anotacija.** Efektyvumui nustatyti, šalinant acetoną iš oro, naudojamas biofiltras, užpildytas dirbtinės kilmės įkrova, sudaryta iš didelį paviršiaus plotą ir didelį poringumą turinčių naudotų padangų gumos granuliu. Biofiltrą, kurio aukštis – 1,0 m, skersmuo – 0,14 m, sudaro penki įkrovos sluoksniai, cirkuliacinis siurblys, teršalų tiekimo kamera, mėginių ėmimo angos. Naudojant įkrovą, nustatytas biofilto efektyvumas. Eksperimentinių tyrimų metu biofilto efektyvumas buvo nustatomas, esant trimis skirtingoms acetono koncentracijoms:  $400 \pm 5$  mg/m<sup>3</sup>,  $250 \pm 5$  mg/m<sup>3</sup> ir  $180 \pm 5$  mg/m<sup>3</sup>. Didžiausias išvalomo oro efektyvumas biofiltre pasiektas esant mažiausiai –  $180 \pm 5$  mg/m<sup>3</sup> – kiekvieno į biofiltrą tiekiamo teršalo koncentracijai. Valant orą, užterštą acetonu, pasiektas 87,3 % efektyvumas. Tiriant biofilto efektyvumą, oro srauto greitis, tiekiamas į biofiltrą, buvo keičiamas nuo 0,08 m/s iki 0,04 m/s. Greičiams svyravus nuo 0,08 m/s iki 0,04 m/s, filtracijos laikas atitinkamai svyravo 13–25 s. Didžiausias biofilto su panaudotų padangų gumos granuliu įkrova efektyvumas gautas užterštą orą per įkrovą tiekiant 0,04 m/s greičiu, t. y. filtracijos laikui esant 25 s.

**Reikšminiai žodžiai:** acetonas, biofiltras, efektyvumas, įkrova, padangos.

### **Įvadas**

Viena didžiausių problemų, su kuria pastaruoju metu pasaulyje susiduria išsivysčiusių ir besivystančių šalių pramonė, yra aplinkos oro tarša. Daugelyje pasaulio pramonės sričių (šakų ir medžio apdirbimo, dažų, lakų, plastiko, popieriaus ir celiuliozės, maisto) naudojama ir į aplinkos orą išsiskiria nemažai lakiųjų organinės prigimties junginių, tokių kaip acetonas. Pagrindiniai teršalai, sukeltantys kvapą, be kita ko, yra vandenilio sulfidas, amoniakas ir lakieji organiniai junginiai (LOJ) (Lewkowska et al., 2016).

Dažniausiai šių cheminių medžiagų pavojingumą lemia jų cheminė prigimtis ir didžiausias leistinos koncentracijos (DLK) viršijimas gyvenamosios ir darbo aplinkos ore. Lakiųjų organinių junginių (LOJ) kenksmingumui pašalinti gali būti taikomi įvairūs oro valymo metodai: absorbcija, adsorbcija, terminė ir katalizinė oksidacija ir kt. Kiekvienas jų turi privalumų ir trūkumų.

Lakiesiems organiniams junginiams valyti gali būti taikomas ir oksidacinis oro valymo metodas, kurio metu organiniai teršalai virsta mažiau ar visiškai nekenksmingais junginiais. Tačiau taikyti šį metodą yra neekonomiška, nes jo metu katalizatoriais naudojami brangieji

metalai, be to, organiniai teršalai oksiduojasi tik labai aukštoje (500 °C) temperatūroje, išmetamosiose dujose susidaro antrinių teršalų (t. y. skilimo produktų), kurie inhibuoja tolesnę valomų teršalų oksidaciją ir pan. (Vaiškūnaitė, 2004).

Dėl šių priežasčių aptartų metodų taikymas LOJ šalinti iš oro yra neperspektyvus.

Pasauliniu mastu kasmet pagaminama apie 3 mlrd. padangų ir jų poreikis nuolat auga. Padangų atliekos sudaro didelę viso atliekų srauto dalį. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos 2019 m. duomenimis, Lietuvoje kasmet susidaro apie 28,3 tūkst. naudoti netinkamų padangų. Daugėjant žmonių ir automobilių, daugėja nusidėvėjusių padangų. Remiantis ES direktyva nuo 2003 m. uždrausta į sąvartynus išmesti naudoti netinkamas padangas, po trejų metų – 2006 m. – uždrausta laidoti smulkintas netinkamas naudoti padangas. Visuotinis susirūpinimas saugiu atliekų tvarkymu ir mąstymu, grindžiamu žiedine ekonomika, priverčia žmones rūšiuoti, šias atliekas naudoti pakartotinai.

Tyrimais siekiama nustatyti biofilto su naudotų padangų gumos granuliu įkrova efektyvumo priklausomybę nuo įrenginį tiekiamo oro srauto greičio ir teršalo (LOJ) pradinės koncentracijos.

Tyrimo tikslas – ištirti ir įvertinti biofilto su naudotų padangų gumos granulių įkrova efektyvumą, šalinant iš oro acetoną.

## Metodika

Eksperimentinių tyrimų metu nustatant biofilto efektyvumą, buvo naudotas teršalas – acetonas –  $C_3H_6O$  (99,8 %).

Šalinant iš oro teršalus, biologinių įrenginių įkrovoje gali būti kultivuojamos tiek grynos, tiek savaiminės mikroorganizmų kultūros. Introdukuoti į įkrovą tam tikras chemines medžiagas oksiduojančias, grynas mikroorganizmų kultūras yra brangu (Vaiškūnaitė, 2004).

Tuo remiantis VILNIUS TECH Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedroje sukurto filtro su panaudotų padangų gumos įkrova pasirinkta kultivuoti ant netinkamų naudoti padangų esantiems mikroorganizmams, kuriems padangos yra tinkama terpė daugintis ir gyventi. Mikroorganizmams egzistuoti filtro įkrovoje palaikant palankias aplinkos sąlygas (28–30 °C temperatūrą, 60 % drėgnumą, artimą neutraliai pH 7,2 vandenilio jonų koncentraciją ir kt.), pasiekiamas efektyvus valomų teršalų oksidavimas (Vaiškūnaitė, 2004).

Eksperimentinį standą (biofiltrą) sudaro korpusas, kurio:

- skersmuo – 14 cm,
- aukštis – 1,0 m,
- įkrova, sudaryta iš naudotų devulkanizuotų padangų gumos granulių.

Prie eksperimentinio biofilto yra prijungtas cirkuliacinis siurblys, kuris užtikrina nuolatinę optimalią drėgmę įkrovoje, taip pat guminėmis žarnelėmis yra prijungta teršalų tiekimo kamera, traukiamam oro srautui reguliuoti ir išvalytam orui pašalinti prijungta traukos spinta.



1 paveikslas. Eksperimentiniams tyrimams atlikti naudojamas biofiltras (standas) (V. Vasiliausko nuotrauka)

Biofilto korpusas padalytas į penkias 13–15 cm aukščio sekcijas (1 pav.), naudojant 14 cm skersmens metalinius sietelius, siekiant išlaikyti tolygų drėgmės ir oro srauto pasiskirstymą per visą įkrovos sluoksnį bei sumažinti įkrovos aerodinaminį pasipriešinimą.

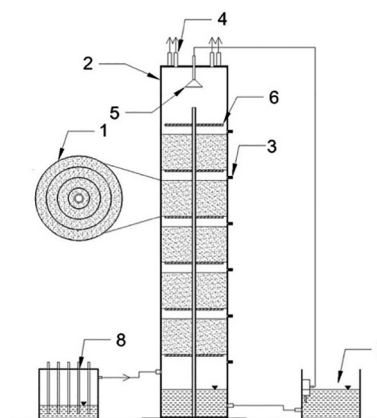
Kiekviena biofilto sekcija užpildyta 10–11 cm storio įkrovos, sudarytos iš panaudotų padangų gumos granulių, sluoksniu.

Nustatant granulimetrinę granulių sudėtį, paimta 100 g granulių ir naudojami skirtingi sietai (1,0 mm, 0,6 mm, 0,3 mm bei <0,3 mm). Granulių frakcijų dydžių pasiskirstymas:

- >1,0 mm – 4 g (4 %);
- <1,0–0,8 mm – 15 g (15%);
- <0,8–0,6 mm – 21 g (21 %);
- <0,6–0,3 mm – 28 g (28 %);
- <0,3 mm – 32 g (32 %).

Naudotų padangų gumos granulių tankis –  $1,25 \text{ g/m}^3$ , poringumas – 80 %. Po kiekvienos sekcijos įrengtos 1,3 cm skersmens teršalų koncentracijų, greičio ir kitų tyrimams reikalingų parametru matavimo angos, užsandarintos guminiiais kamščiais.

Cirkuliacinio vandens rezervuarą užpildžius KCl,  $NaNO_3$  druskų tirpalu (2 pav.), jis cirkuliaciniu siurbliu pumpuojamas į biofilto su panaudotų padangų gumos granulių įkrova viršutinę dalį, kur purkštuku yra išpurškiamas ir paskirstomas po visą filtro skersmenį. Tirpalas keliauja į žemiau esančius sluoksnius, 3 litrai druskų tirpalo per dieną į biofiltrą tiekama nepertraukiamai, užtikrinant nuolatinę drėgmę įkrovoje. Mikroorganizmai, esantys vandenyje, adsorbuojasi ant granulių paviršiaus, sudarydami biologinę plėvelę.



2 paveikslas. Eksperimentinio biofilto sistemos schema:  
1 – įkrova; 2 – biofilto korpusas; 3 – mėginių ėmimo anga;  
4 – išvalyto oro srautas; 5 – laistytuvas; 6 – metalinis tinklelis;  
7 – tirpalas; 8 – teršalų tiekimo kamera

Acetono garais užterštas oras per biofiltrą buvo traukiamas prie biofilto prijungus traukos spintą, kuri buvo reguliuojama, taip išgaunant reikiamą per įkrovą traukiamo oro srauto greitį.

Nustatant biologinio oro valymo filtro efektyvumą, buvo naudoti trys dujų srauto greičiai: 0,08 m/s, 0,06 m/s ir 0,04 m/s. Esant tokiems greičiams, filtracijos laikas buvo atitinkamai lygus 13 s, 17 s ir 25 s.

Be to, biofilto efektyvumas šalinant iš oro acetono garus buvo nustatomas esant trimis skirtingoms pradinėms kiekvieno teršalo koncentracijoms:  $400 \pm 5 \text{ mg/m}^3$ ,  $250 \pm 5 \text{ mg/m}^3$ ,  $180 \pm 5 \text{ mg/m}^3$ . Šios koncentracijos gautos, parinkus acetono ir vandens santykį atitinkamai – 1:300, 1:325, 1:350.

Užtikrinant optimalius rezultatus, matavimai buvo atliekami po tris kartus ir iš gautų rezultatų buvo išvedamas vidurkis.

Eksperimentiniuose tyrimuose acetono garų koncentracijoms valomame ore matuoti naudotas lakiųjų organinių junginių koncentracijų nustatymo prietaisas „MiniRAE-2000“. Oro srauto greičiui ir slėgiui matuoti naudojamas oro srauto matuoklis „Testo 452“. Cheminių medžiagų koncentracijoms, perskaičiuotoms iš ppm į  $\text{mg/m}^3$ , taikoma formulė pateikta higienos normoje „Cheminių medžiagų profesinio poveikio ribiniai dydžiai. Matavimo ir poveikio vertinimo bendrieji reikalavimai“ (HN 23:2011) (1 formulė).

$$C_{(\text{mg/m}^3)} = \frac{C_{(\text{ppm})} \cdot M}{24,04}, \quad (1)$$

čia  $C$  – cheminės medžiagos koncentracija;  $M$  – molekulinė cheminės medžiagos masė, g/mol; 24,04 – molinis tūris, l/mol, kai temperatūra 20 °C ir atmosferos slėgis yra lygus 101,3 kPa (760 mmHg).

Eksperimentinių tyrimų metu iš gautų reikšmių, analizės metodu nustačius tiriamų organinių medžiagų koncentracijas, apskaičiuotas biofilto efektyvumas:

$$E = \frac{C_0 - C}{C} \cdot 100, \% \quad (2)$$

čia  $E$  – biofilto efektyvumas;  $C_0$  – teršalo koncentracija prieš valymą,  $\text{mg/m}^3$ ;  $C$  – teršalo koncentracija po valymo,  $\text{mg/m}^3$ .

Mikroorganizmai, bakterijos, mielės, grybai ir kt. vykdo organinių junginių biodegradaciją (Lopez de Leon et al., 2020). Skaidant organinius junginius, auga mikroorganizmų masė. Teršalai oksiduojasi iki anglies dioksido ir vandens. Biodegradacija – kai kurių organinių junginių skilimas iki  $\text{CO}_2$  ir  $\text{H}_2\text{O}$ .

Mikroorganizmams palankiai augti įkrovoje būtini biogeniniai elementai: azotas (N), fosforas (P), magnis (Mg), siera (S) ir kt. Prieš paleidžiant įrenginį ir jį eksploatuojant, kelias dienas mikroorganizmai buvo „maitinami“ druskų tirpalu (KCl,  $\text{NaNO}_3$ ). Kai jų terpėje yra pakankamai, mikroorganizmai auga ir gauna energijos. Įkrovoje gyvenantys mikroorganizmai mikroelementus

pasivaina kartu su vandeniu. Pagamintas mikroelementų tirpalas buvo purškiamas cirkuliaciniu siurbliu per viršuje esančią biofilto angą.

Bioterpės sluoksniai atskirti metaliniais tinkleliais, kad būtų užtikrintas ir išlaikomas tolygus oro srautas ir perteklinis vanduo nutekėtų į apatinėje stendo dalyje įrengtą perteklinio vandens rezervuarą.

## Rezultatai ir jų analizė

Nustatytas filtro efektyvumas nuo oro srauto, traukiamo per įrenginį, greičio bei įkrovos sluoksnių skaičiaus, esant skirtingoms teršalo pradinėms koncentracijoms valomame ore sraute.

Pradinės acetono teršalo koncentracijos valomame ore:  $400 \pm 5 \text{ mg/m}^3$ ,  $250 \pm 5 \text{ mg/m}^3$  ir  $180 \pm 5 \text{ mg/m}^3$ . Į biofiltrą tiekiamo oro srauto greičiai kiekvienu atveju yra šie: 0,04 m/s, 0,06 m/s, 0,08 m/s, o filtracijos laikas atitinkamai lygus 25 s, 17 s, 13 s. Užtikrinamas optimalus išmetamųjų dujų ir bioplėvelės sąlyčio laikas, kad teršalus būtų įmanoma valyti mikroorganizmais (Galera et al., 2008).

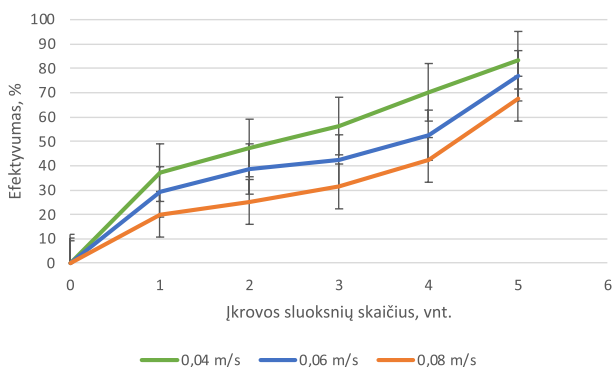
Nustatyta biofilto oro valymo efektyvumo priklausomybė nuo įkrovos sluoksnių skaičiaus ir tiekiamo oro srauto greičio.

Matavimai atlikti esant trimis skirtingoms acetono pradinėms koncentracijoms, norint išsiaiškinti, ar oro valymo efektyvumas priklauso nuo pradinės teršalo koncentracijos. Kiekvienu pradinės koncentracijos atveju per biofiltrą traukiamas oro srauto greitis buvo parinktas nuo 0,04 m/s iki 0,08 m/s.

### Kai pradinė acetono garų koncentracija valomame ore – $400 \pm 5 \text{ mg/m}^3$

Acetono garų koncentracija prietaisu „MiniRAE 2000“ matuota ties kiekvienu įkrovos sluoksniu.

Kai pradinė acetono garų koncentracija valomame ore yra  $400 \pm 5 \text{ mg/m}^3$ , biofilto efektyvumas, priklausomai nuo per įrenginį traukiamo oro srauto greičio, pasiskirsto 20,0–83,2 % intervale (3 pav.).



3 paveikslas. Biofilto oro valymo efektyvumo priklausomybė nuo įkrovos sluoksnių skaičiaus, kai pradinė garų koncentracija yra  $400 \pm 5 \text{ mg/m}^3$

Matuojant teršalo koncentraciją esant skirtingiems oro srauto greičiams, geriausias rezultatas gautas tuo atveju, kai oro srautas per biofiltrą traukiamas mažiausiu greičiu – 0,04 m/s.

Efektyvumas labiausiai padidėja po pirmojo įkrovos sluoksnio – panaudotų padangų gumos granulių įkrova yra poringos struktūros, jos valomojo paviršiaus plotas didelis, todėl dalis teršalo adsorbuojasi ant įkrovos paviršiaus. Šiame sluoksnyje suskaidoma iki 37,2 % teršalų. Toliau ties kiekvienu sluoksniu oro išvalymo efektyvumas didėja palaipsniui.

Oro srauto greičiui esant 0,08 m/s, po pirmojo įkrovos sluoksnio filtro efektyvumas siekė 20,0 %, po trečiojo sluoksnio – 31,5 %, po penktojo – 67,5 %.

Mažinant oro srauto greitį nuo 0,08 m/s iki 0,06 m/s, biofiltra efektyvumas kardinaliai padidėjo. Po pirmojo įkrovos sluoksnio jis siekė 29,2 %, po trečiojo įkrovos sluoksnio – 42,3 %, o po penktojo įkrovos sluoksnio biofiltra užteršto oro išvalymo efektyvumas siekė – 76,8 %.

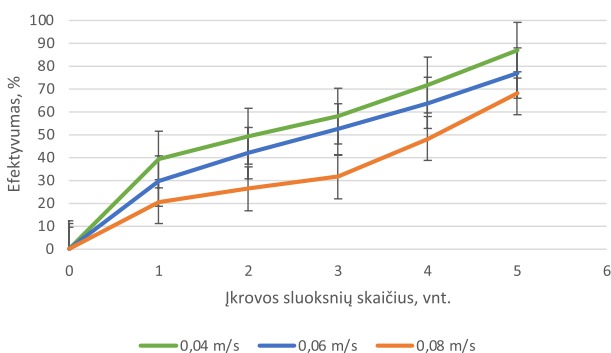
Mažinant oro srauto greitį nuo 0,06 m/s iki 0,04 m/s, biofiltre valomo užteršto oro efektyvumas po pirmojo įkrovos sluoksnio buvo 37,2 %, po trečiojo įkrovos sluoksnio – 56,3 %, po paskutinio penktojo įkrovos sluoksnio pasiektas efektyvumas siekė 83,2 %.

Kaip žinoma, užteršto oro valymo efektyvumas priklauso nuo oro srauto, tiekiamo į įkrovą, greičio ir sąlyčio su įkrova laiko. Biofiltracijos laikas yra tiesiogiai proporcingas biofiltra valymo efektyvumui – kuo ilgesnis valomo teršalo sąlyčio su įkrova laikas, tuo didesnis pasiekiamas biofiltra teršalų valymo efektyvumas.

Iš 3 pav. matyti, kad didžiausias biofiltra efektyvumas pasiekiamas tada, kai per jį traukiamo oro srauto greitis yra mažiausias – 0,04 m/s.

### Kai pradinė acetono garų koncentracija valomame ore – $250 \pm 5 \text{ mg/m}^3$

Esant pradinei  $250 \pm 5 \text{ mg/m}^3$  acetono garų koncentracijai valomame ore, biofiltra efektyvumas, priklausomai



4 paveikslas. Biofiltra oro valymo efektyvumo priklausomybė nuo įkrovos sluoksnių skaičiaus, kai pradinė garų koncentracija yra  $250 \pm 5 \text{ mg/m}^3$

nuo per oro srauto, traukiamo įrenginį, greičio, pasiskirsio 20,6–87,0 % intervale (4 pav.).

Oro srauto greičiui esant 0,08 m/s, po pirmojo įkrovos sluoksnio filtro efektyvumas siekė 20,6 %, po trečiojo sluoksnio – 31,6 %, po penktojo – 68,0 %.

Mažinant oro srauto greitį nuo 0,08 m/s iki 0,06 m/s, biofiltra efektyvumas laipsniškai padidėjo. Po pirmojo įkrovos sluoksnio jis siekė 29,6 %, po trečiojo įkrovos sluoksnio – 52,3 %, o po penktojo įkrovos sluoksnio biofiltra užteršto oro išvalymo efektyvumas pasiekė 76,9 %.

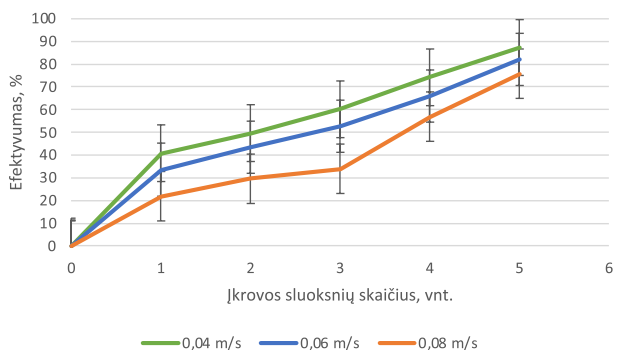
Mažinant oro srauto greitį nuo 0,06 m/s iki 0,04 m/s, biofiltre valomo užteršto oro efektyvumas po pirmojo įkrovos sluoksnio buvo 39,1 %, po trečiojo įkrovos sluoksnio – 58,0 %, po penktojo įkrovos sluoksnio pasiektas efektyvumas siekė 87,0 %.

Iš 4 pav. matyti, kad didžiausias biofiltra efektyvumas pasiekiamas tada, kai per jį traukiamo oro srauto greitis yra mažiausias – 0,04 m/s.

Lyginant su į biofiltrą tiekiamų acetono garų koncentracija, kuri buvo  $400 \pm 5 \text{ mg/m}^3$ , stebimas kryptingas išvalymo efektyvumo didėjimas.

### Kai pradinė acetono garų koncentracija valomame ore – $180 \pm 5 \text{ mg/m}^3$

Kai pradinė acetono garų koncentracija valomame ore yra  $180 \pm 5 \text{ mg/m}^3$ , biofiltra efektyvumas, priklausomai nuo oro srauto, traukiamo per įrenginį, greičio, pasiskirsio 21,8–87,3 % intervale (5 pav.).



5 paveikslas. Biofiltra oro valymo efektyvumo priklausomybė nuo įkrovos sluoksnių skaičiaus, kai pradinė garų koncentracija yra  $180 \pm 5 \text{ mg/m}^3$

Matuojant teršalo koncentraciją esant skirtingiems oro srauto greičiams, optimalus (geriausias) rezultatas gautas, kai oro srautas per biofiltrą traukiamas 0,04 m/s greičiu, nes tokiu atveju išgaunama ilgiausia įkrovos ir teršalo sąlyčio trukmė.

Oro srauto greičiui esant 0,08 m/s, po pirmojo įkrovos sluoksnio filtro efektyvumas siekė 21,8 %, po trečiojo sluoksnio – 33,9 %, po penktojo – 75,8 %.

Mažinant oro srauto greitį nuo 0,08 m/s iki 0,06 m/s, biofiltra efektyvumas gerėjo. Po pirmojo įkrovos sluoksnio jis siekė 33,45 %, po trečiojo įkrovos



sluoksniu – 52,8 %, po penktojo įkrovos sluoksniu biofiltro užteršto oro išvalymo efektyvumas siekė 82,0 %.

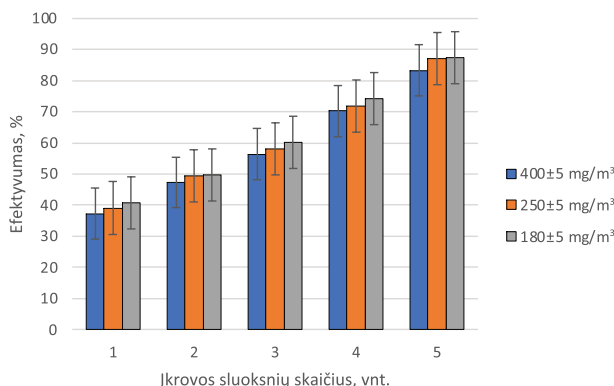
Mažinant oro srauto greitį nuo 0,06 m/s iki 0,04 m/s, biofiltre valomo užteršto oro efektyvumas po pirmojo įkrovos sluoksniu buvo gautas 40,6 %, po trečiojo įkrovos sluoksniu – 60,1 %, po penktojo įkrovos sluoksniu pasiektas efektyvumas – 87,3 %.

Iš gautų rezultatų matyti, kad, norint užtikrinti gerą biofiltro valymo efektyvumą ir jo veikimą, reikia mažinti į jį tiekiamo teršalo koncentraciją ir oro srauto greitį.

Lyginant duomenis, gautus atlikus eksperimentinius tyrimus, su kitų mokslininkų rezultatais, kai valymo efektyvumas gautas 90 % (Malakar et al., 2017), naudojant biofiltrą su polimerine įkrova užterštam orui valyti acetonu, pasiektas 94 % efektyvumas; naudojant segmentinės konstrukcijos biofiltrą su polipropileno įkrova užterštam orui valyti gautas efektyvumas siekė 93 % (Bacevičius ir Zagorskis, 2015); biofiltro su panaudotų padangų gumos granulių įkrova efektyvumas yra šiek tiek mažesnis – 87,3 %.

### Biofiltro efektyvumo priklausomybė nuo teršalų pradinės koncentracijos

Galima konstatuoti, kad biofiltro efektyvumas priklauso nuo to, kokia yra pradinė teršalo koncentracija valomame ore. Rezultatai pateikti 6 pav. Matyti, kad didžiausias efektyvumas, šalinant acetoną, biofiltre buvo pasiektas, kai acetonas buvo skaidomas, esant mažiausiai pradinei  $180 \pm 5 \text{ mg/m}^3$  koncentracijai. Galima konstatuoti, kad efektyvesniam biofiltro veikimui turi būti parenkama optimali pradinė teršalo koncentracija ir optimalus oro srauto, patenkančio į biofiltrą, greitis, taip užtikrinant ilgesnę bioterpės ir teršalo sąlyčio trukmę. Orui valyti gamybinėmis sąlygomis turi būti užtikrinta optimali teršalo koncentracija, t. y. didinamas į biofiltrą tiekiamo oro srauto debitas, praskiedžiant teršalo koncentraciją, ir parenkamas optimalus biofiltro našumas.



6 paveikslas. Acetonu užteršto oro išvalymo priklausomybė nuo pradinės teršalo koncentracijos, kai oro srauto greitis 0,04 m/s

Kai pradinė acetono garų koncentracija valomame ore buvo lygi  $180 \pm 5 \text{ mg/m}^3$  ir oro srauto greitis 0,04 m/s, įrenginio efektyvumas po penkių įkrovos sluoksnių siekė 87,3 %. Toliau didinant acetono garų koncentraciją, didžiausia eksperimentinių tyrimų metu tiekiamo teršalo koncentracija buvo  $400 \pm 5 \text{ mg/m}^3$ , filtro efektyvumas sumažėjo 83,2 %.

Biofiltro valymo efektyvumui gerinti turi būti parenkamas optimalus:

- 1) įkrovų sluoksnių skaičius;
- 2) tiekiamo oro srauto greitis;
- 3) pradinė teršalo koncentracija.

### Išvados

1. Didžiausias išvalomo oro efektyvumas biofiltre pasiektas, esant mažiausiai  $180 \pm 5 \text{ mg/m}^3$  į biofiltrą tiekiamo teršalo koncentracijai. Valant orą, užterštą acetonu, pasiektas 87,3 % efektyvumas, konstatuojama, kad, esant mažesnei teršalo koncentracijai, užteršto oro valymo efektyvumas didėja.
2. Esant greičiams, kurie svyravo nuo 0,08 m/s iki 0,04 m/s, filtracijos laikas atitinkamai svyravo 13–25 s. Didžiausias biofiltro su panaudotų padangų gumos granulių įkrova efektyvumas gautas, užterštą orą per įkrovą tiekiant 0,04 m/s greičiu, t. y. filtracijos laikui esant 25 s. Konstatuojama, kad esant mažesniai tiekiamo oro srauto greičiui, atitinkamai esant ilgesnei filtracijos ir teršalo su įkrova sąlyčio trukmei, valomo užteršto oro išvalymo efektyvumas didesnis.
3. Aukštą acetono išvalymo efektyvumą, gautą eksperimentinių tyrimų metu, lemia geras šio teršalo tirpumas vandenyje, nes įkrova nuolat drėkinama vandeniū (druskų tirpalu) cirkuliaciniu siurbliu. Lyginant su normaliomis sąlygomis, pasiekiamas LOJ išvalymo efektyvumas – 90 %, o šiame tyrime – 87,3 %.

### Literatūra

- Bacevičius, D. ir Zagorskis A. (2015). Acetono valymo iš oro efektyvumo tyrimai, taikant segmentinės konstrukcijos biofiltrą. *Mokslas – Lietuvos ateitis / Science – Future of Lithuania*, 7(4), 380–384.  
<http://dx.doi.org/10.3846/mla.2015.813>
- Galera M. M., Cho E., Tuuguu E., Park S. J., Lee C., & Chung W. J. (2008). Effects of pollutant concentration ratio on the simultaneous removal of NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S and toluene gases using rock wool-compost biofilter. *Journal of Hazardous Materials*, 152(2), 624–631.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.07.025>
- Lewkowska, P., Ciešlik, B., Dymerski, T., Konieczka, P., & Namieśnik, J. (2016). Characteristics of Odors Emitted From Municipal Wastewater Treatment Plant and Methods for Their Identification and Deodorization Techniques. *Environmental Research*, 151, 573–586.  
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.08.030>

- Lopez de Leon, L. R., Deaton, K. E., Junkin J., & Deshusses, M. A. (2020). Capillary microbioreactors for VOC vapor treatment: Impacts of operating conditions. *Chemosphere*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127286>
- Malakar, S., Saha, P., Das, Baskaran, D., & Rajamanickam, R. (2017). Comparative study of biofiltration process for treatment of VOCs emission from petroleum refinery wastewater – a review. *Environmental Technology & Innovation*, 8, 441–461. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eti.2017.09.007>
- Vaiškūnaitė, R. (2004). *Biofiltro su suaktyvinta pušų žievių įkrova tyrimai ir taikymas orui valyti*. Technika.

## EXPERIMENTAL RESEARCH AND EVALUATION OF AIR CLEANING BIOFILTER WITH USED TIRE RUBBER GRANULES LOAD

V. Vasiliauskas, R. Vaiškūnaitė

### Summary

Filter with artificial load consisting of high porosity used tire rubber granules. The biofilter, which is 1,0 m high and 0,14 m in diameter, consists of five charge layers, a circulating pump, a pollutant supply chamber, and sampling ports. The biofilter efficiency was determined by the use of charge. In experimental studies, the efficiency of the biofilter is determined at 3 concentrations of acetone:  $400\pm 5$  mg/m<sup>3</sup>,  $250\pm 5$  mg/m<sup>3</sup> and  $180\pm 5$  mg/m<sup>3</sup>. The maximum efficiency of the purified air in the biofilter is achieved with a minimum concentration of  $180\pm 5$  mg/m<sup>3</sup> pollutant supplied to the biofilter. A purification of 87.3 % was achieved by purification or contamination with acetone. To study the efficiency of the biofilter, the air flow velocity supplied to the biofilter was varied from 0.08 to 0.04 m/s. At speeds ranging from 0.08 m/s to 0.04 m/s, the filtration time ranged from 13 s to 25 s, respectively. The highest efficiency of the biofilter with a load of used tire rubber granules was obtained by supplying polluted air at a speed of 0.04 m/s, a filtration time of 25 s.

**Keywords:** acetone, biofilter, efficiency, load, tires.