



BIOLOGINIŲ BŪDŲ VALYTŲ NUOTEKŲ DEZINFEKAVIMO TYRIMAS

Paul August¹, Regimantas Dauknys²

*VGTU AIF Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra
El. p. ¹paul.august@stud.vgtu.lt; ²regimantas.dauknys@vgtu.lt*

Anotacija. Šiame straipsnyje vertinamas mažų nuotekų kiekių dezinfekavimas taikant du skirtingo poveikio ultravioletinę spinduliuotę būdus: kai UV lempa kontaktuoja su nuotekomis ir kai ji nekontaktuoja. Nustatyta, kad abu būdai yra veiksmingi, tačiau tyrimų rezultatai rodo, jog po penkių savaičių eksploatacijos kontaktinio dezinfekavimo būdo atveju išvalymo rezultatai mažėja: įranga apsineša nuosėdomis ir rezultatai prastėja. Bekontaktinio dezinfekavimo įrangos rezultatai stabilūs. *E. coli* bakterijų skaičius po dezinfekavimo nuolat didėjo – nuo 20 vnt./100 ml iki 95 vnt./100 ml, o bekontaktinio dezinfekavimo atveju jis išliko pastovus ir svyravo nuo 10 vnt./100 ml iki 23 vnt./100 ml.

Reikšminiai žodžiai: ultravioletinė spinduliuotė, dezinfekavimas, nuotekos.

Įvadas

Lietuvoje nuo 2019 metų lapkričio 1 dienos privaloma valyti azotą ir fosforą visuose nuotekų valymo įrenginiuose, įskaitant ir tuos, kurie valo vieno namo gyventojų nuotekas (LR aplinkos ministerija, 2019). Azoto ir fosforo valymas yra antras žingsnis po taršos organinėmis medžiagomis valymo, tačiau kai kurios šalys jau įgyvendina trečiąjį uždavinį – užtikrina tretinį valymą, kuris apima ir nuotekų dezinfekaciją. Kelios Europos šalys (Norvegija, Švedija, Čekija) tam tikruose regionuose jau įvedė privalomą nuotekų dezinfekavimą iš privačių, mažų nuotekų valyklų (André ir kt., 2016; Crittenden ir kt., 2012). Jungtinės Amerikos valstijos turi standartus, reglamentuojančius nuotekų dezinfekavimą (NSF, 2017, 2019, 2020). Tačiau kyla klausimas, kaip dezinfekuoti nuotekas mažo našumo valyklose ne tik siekiant gerų išvalymo rodiklių, bet ir ekonomišką sprendimą.

Patogeninės bakterijos, patekusios į atvirus vandens telkinius, vėliau gali patekti į žmogaus organizmą. Šios bakterijos sukelia įvairius susirgimus, kurie kelia didelę grėsmę sveikatai, todėl būtina šalinti patogenines bakterijas iš nuotekų. Svarbu įvertinti, kad vartotojas, eksploatuojantis individualią nuotekų valyklą, yra ne specialistas, todėl nuotekų dezinfekavimo sistemos turi būti paprastos ir suprantamos. Tik tada dezinfekavimo įrangos veikimas bus užtikrinamas. Šiuo metu nuotekų dezinfekavimas yra labai aktuali tema daugumoje pasaulio regionų, susiduriančių su geriamojo vandens stygiu. Švedijos pakran-

tės regionuose bei saugomose teritorijose, Norvegijoje valytų nuotekų dezinfekavimas yra privalomas. Čekijoje visi valstybės finansuojami projektai, susiję su nuotekų valymo įrenginiais, taip pat reikalauja nuotekų dezinfekavimo sistemų įdiegimo.

Ultravioletinės (UV) spinduliuotės poveikis priklauso nuo jos pralaidumo. Jei spinduliuotės šaltinis yra nešvarus, pasidengęs apnašomis, kurios mažina ar visiškai nepraleidžia spindulių, dezinfekavimo procesas nevyks arba vyks nepakankamai efektyviai (Darby ir kt., 1999; Salveson ir kt., 2011; Black ir Veatch Corporation, 2010). Nuotekų skaidrumas taip pat riboja efektyvumą (Martin ir Gehr, 2005). Ultravioletinių spindulių dozė priklauso nuo UV apšvietos intensyvumo ir apšvietos trukmės (Mofidi ir kt., 2002; Tchobanoglous ir kt., 2014; U.S. EPA, 2012). Tipiniai reikalavimai po dezinfekavimo yra 100 arba 200 vnt. *E. coli* bakterijų/100 ml nuotekų, priklausomai nuo šalies ir/ar regiono (Švedija, Čekija, Norvegija, JAV).

Metodika

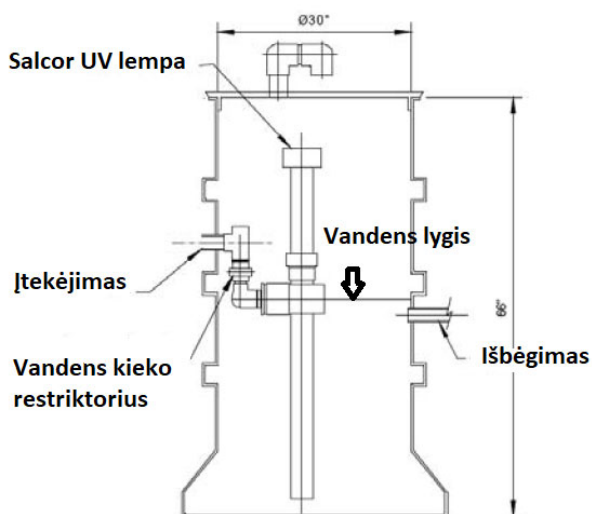
Tyrimui pasirinktos nuotekos išvalytos nuotekų valymo įrenginio „AT-30“, pagaminto įmonės UAB „August ir ko“ ir įrengto prie „August ir ko“ įmonės gamyklos, esančios Širvintų rajone, adresu Meiliakalnio kaimas 1 (1 paveikslas). Įrenginio našumas yra 3,75 m³/d. Nuo

2020 metų sausio mėnesio įrenginys eksploatuojamas visu našumu. Prie įrenginio sumontuota talpa su nuotekų dezinfekavimo kokybei tirti skirta įranga. Natūrinėmis sąlygomis tirtas dviejų dezinfekavimo įrenginių gebėjimas šalinti *E. coli* bakterijas. Vienas iš jų turi į valytas nuotekas panardinamą UV spinduliuotės lempą, kitas – tiesioginio kontakto su nuotekomis neturinčias UV spinduliuotės lempas.



1 paveikslas. Nuotekų valymo įrenginys AT-30

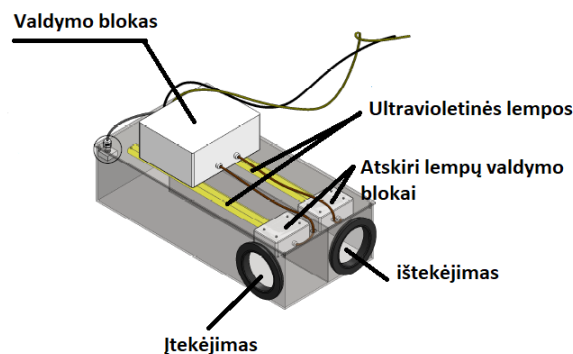
Valytos nuotekos iš nuotekų valymo įrenginio pasirstomos trišakiu tolygiai į abi dezinfekavimo sistemas. Sistemos 1 paveiksle matomos sumontuotos už valymo įrenginio. Pirmoji sistema – amerikiečių gamintojo „Salcor“ 3G modelio ultravioletinė panardinama į nuotekas lempa (2 paveikslas). Leistina sistemos maksimali apkrova nuotekomis – 4,8 m³/d. Nuotekos atiteka vamzdžiu ir patenka į uždara sistemą. Sistema sudaryta iš pusiau pertveto vamzdžio – nuotekos savitaka apibėga lempą iš viršaus į apačią ir atgal į viršų. Taip užtikrinama reikiama



2 paveikslas. „Secor“ 3G modelio ultravioletinės šviesos dezinfekavimo įrenginys

nuotekų apšvietos UV spinduliuote trukmė, kuri yra apie 1 min. Apšvieta vyksta visą parą, nes nuotekų atitekėjimas nėra reguliuojamas. UV lempos galingumas – 100 W. Dezinfekuotos nuotekos išteka per vamzdį į mėginių ėmimo vietą.

Antroji sistema yra prototipas, kurtas straipsnio autorius ir užsienio specialisto – Ladislav Penzes. Ultravioletinės lempos yra pakabinamos virš nuotekų, kurios teka labirintu. Nuotekos atiteka į labirintą vamzdžiu ir teka savitaka dviem latako tipo koridoriais, kiekviename iš jų yra pakabinta į nuotekas napanardinta ultravioletinė lempa. Taip siekiama išvengi apnašų formavimosi ant UV elementų ir dezinfekavimo efektyvumo mažėjimo. Pasirinkta nuotekų apšvietos UV spinduliuote trukmė yra apie 1 min. Kiekvienos UV lempos galingumas – 50 W.



3 paveikslas. Ultravioletinės šviesos dezinfekavimo prototipas

Mėginiai tyrimams imti vadovaujantis Lietuvos standartais (LST, 2011, 2004). Mėginiai imti kartą per savaitę tuo pačiu paros metu.

Dezinfekavimo kokybei turi įtakos valytų nuotekų sudėtis. Dėl šios priežasties nuotekose prieš dezinfekavimą ir po jo įvertinti šie rodikliai: biocheminis deguonies suvartojimas per 7 paras (BDS₇) ir skendinčiosios medžiagos (SM).

BDS₇ rodiklis nustatytas pagal LST EN 1899-2:2000 (LST, 2000a), o SM – pagal LST EN 872:2005 (LST, 2005). *Escherichia coli* bakterijų aptikimo tyrimas atliktas pagal LST EN ISO 9308-3 (LST, 2000b).

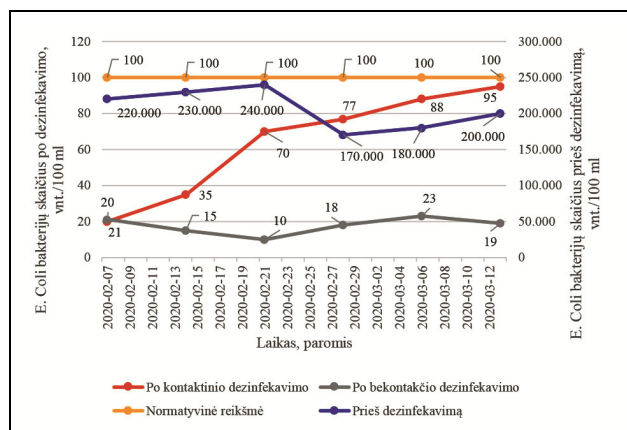
Tyrimo metu dezinfekavimo sistemos neatidaromos ir neprižiūrimos, siekiant išsiaiškinti jų veikimo be priežiūros efektyvumą.

Rezultatai ir jų analizė

Kontaktinio dezinfekavimo atveju apšvietos UV spinduliuote trukmė įrenginyje svyravo nuo 1,10 iki 1,21 min., o bekontakčio dezinfekavimo atveju – nuo 1,08 iki 1,15 min. Galima teigti, kad tiek pagal apšvietos trukmę,

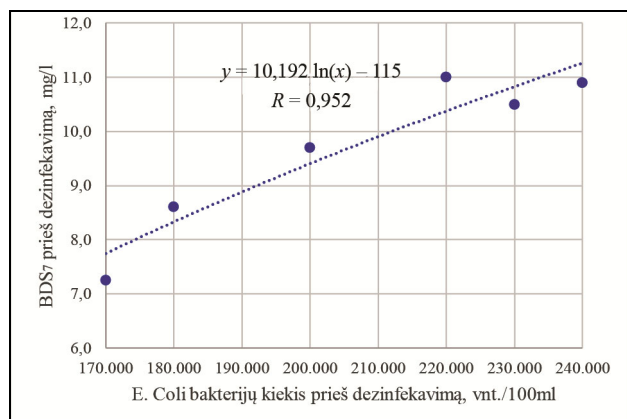
ties pagal apšvietos intensyvumą dezinfekavimo sistemos buvo identiškios.

Iš gautų duomenų analizės matyti, kad *E. coli* bakterijų kiekis nuotekose prieš dezinfekavimą svyravo nuo 170 000 vienetų/100 ml iki 240 000 vienetų/100 ml (4 paveikslas). Abu dezinfekavimo metodai veikė ne mažesniu nei 99,99 % efektyvumu. Veikimo analizei atlikti pasirinkta normatyvinė reikšmė – 100 *E. coli* bakterijų vnt./100 ml nuotekų.



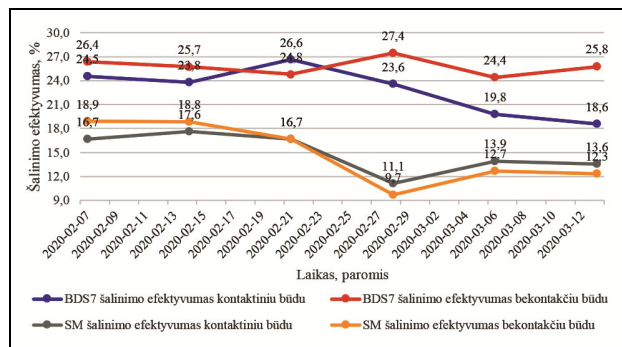
4 paveikslas. *E. coli* bakterijų kiekis nuotekose prieš ir po dezinfekavimo UV spinduliuote

Per penkias tyrimo savaites abi dezinfekavimo sistemos užtikrino, kad *E. coli* bakterijų kiekis po dezinfekavimo neviršytų normatyvinės reikšmės. Kontaktnio dezinfekavimo atveju *E. coli* bakterijų skaičius po dezinfekavimo nuolat didėjo – nuo 20 vnt./100 ml iki 95 vnt./100 ml, o bekontakčio dezinfekavimo atveju jis išliko pastovus ir svyravo nuo 10 vnt./100 ml iki 23 vnt./100 ml (4 paveikslas). Tuo atveju, kai ultravioletinė lempa turi tiesioginį kontaktą su nuotekomis, tikėtina, kad ji pasidengia apnašomis, todėl jos dezinfekavimo efektyvumas nuolat mažėjo.



5 paveikslas. Priklausomybės tarp BDS₇ nuotekose prieš dezinfekavimą ir *E. coli* bakterijų kiekio grafikas

Atliekant gautų rezultatų analizę nustatyta priklausomybė tarp rodiklio BDS₇ ir *E. coli* bakterijų skaičiaus/100 ml nuotekų (5 paveikslas). Taigi, *E. coli* bakterijų kiekį galima prognozuoti pagal rodiklio BDS₇ reikšmę, kai ji svyruoja 7,3–11 mg/l ribose. Priklausomybė tarp *E. coli* bakterijų kiekio ir SM nenustatyta.



6 paveikslas. BDS₇ ir SM šalinimo efektyvumas dezinfekavimo įrenginiuose

Skendinčiųjų medžiagų šalinimo efektyvumas iš nuotekų po dezinfekavimo abiem būdais tyrimo laikotarpiu išliko pastovus ir siekė 9,7–18,8 % (6 paveikslas). Pastebėta, jog SM šalinimo efektyvumas kinta tik dėl atitekančių nuotekų užterštumo koncentracijos kitimo. Dezinfekuojant nuotekas tiek vienu, tiek kitu būdu, BDS₇ šalinimo efektyvumas buvo panašus pirmas tris savaites ir siekė 24–27 % (6 paveikslas). Kontaktnio būdo taikymo atveju BDS₇ šalinimo efektyvumas pradėjo mažėti nuo trečios tyrimo savaitės ir tyrimo pabaigoje siekė 19 %. Bekontakčio dezinfekavimo atveju BDS₇ šalinimo efektyvumas išliko pastovus viso tyrimo laikotarpiu ir vidutiniškai siekė 26 %. Daroma prielaida, kad kontaktnio būdo atveju BDS₇ šalinimo efektyvumas mažėjo dėl galimo UV lempos pasidengimo apnašomis.

Išvados

1. Taikant kontaktnį nuotekų dezinfekavimo būdą *E. coli* bakterijų skaičius po dezinfekavimo 5 savaičių tyrimo laikotarpiu nuolat didėjo – nuo 20 vnt./100 ml iki 95 vnt./100 ml, o bekontakčio dezinfekavimo atveju jis išliko pastovus ir svyravo nuo 10 vnt./100 ml iki 23 vnt./100 ml.
2. Kontaktnio būdo taikymo atveju BDS₇ šalinimo efektyvumas pradėjo mažėti nuo trečios tyrimo savaitės ir tyrimo pabaigoje siekė 19 %, o bekontakčio dezinfekavimo atveju BDS₇ šalinimo efektyvumas išliko pastovus viso tyrimo laikotarpiu ir vidutiniškai siekė 26 %.

3. Nustatyta priklausomybė tarp BDS₇ nuotekose prieš dezinfekavimą ir *E. coli* bakterijų skaičiaus/ 100 ml nuotekų, pagal kurią galima prognozuoti *E. coli* bakterijų kiekį, kai rodiklio BDS₇ reikšmės svyruoja 7,3–11 mg/l ribose.

Literatūra

- André, A., Sundin, A. M., Linderholm, L., Borbas, I., Svinhufvud, K., Eklund, K., & Unger, M. L. (2016). *Wastewater treatment in Sweden*. Swedish Environmental Protection Agency.
- Black & Veatch Corporation. (2010). *White's handbook of chlorination and alternative disinfectants* (5th ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470561331>
- Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (2012). *Water treatment: Principles and design*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118131473>
- Darby, J. L., Emerick, R. W., Loge, F. J., & Tchobanoglous, G. (1999). *The effect of upstream treatment processes on UV disinfection performance*. Water Environment Federation.
- LR aplinkos ministerija. (2019). *Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas dėl aplinkos ministro 2006 m. gegužės 17 d. įsakymo Nr. D1-236 „Dėl nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo“ pakeitimo 2007 m. spalio 8 d. Nr. D1-515*. Vilnius. *Valstybės žinios*, 2007-10-25, Nr. 110-4522.
- LST. (2000a). *Vandens kokybė. Biocheminio deguonies suvartojimo per n parų (BDSn) nustatymas. 2 dalis. Neskiestų mėginių metodas* (LST EN 1899-2:2000). Lietuvos standartizacijos departamentas.
- LST. (2000b). *Vandens kokybė. Escherichia coli ir koliforminių bakterijų aptikimas paviršiniuose vandenyse ir nuotekose bei jų skaičiavimas. 3 dalis* (LST EN ISO 9308-3). Lietuvos standartizacijos departamentas.
- LST. (2004). *Vandens kokybė. Mėginių ėmimas. 3 dalis. Nurodymai, kaip konservuoti ir gabenti mėginius* (LST EN ISO 9308-3). Lietuvos standartizacijos departamentas.
- LST. (2005). *Vandens kokybė. Suspenduotų medžiagų nustatymas. Košimo pro stiklo pluošto koštuvą metoda*. (LST EN 872:2005). Lietuvos standartizacijos departamentas.
- LST. (2011). *Vandens kokybė. Mėginių ėmimas. 10 dalis. Nurodymai, kaip imti nuotekų mėginius* (LST EN ISO 5667-10:2011). Lietuvos standartizacijos departamentas.
- Martin, N., & Gehr, R. (2005). *Photoreactivation following combined peracetic Acid-UV disinfection of physicochemical effluent*. McGill university.
- Mofidi, A. A., Meyer, E. A., Wallis, P. M., Chou, C. I., Meyer, B. P., Ramalingam, S., & Coffey, B. M. (2002). *Effect of ultraviolet light on Giardia lamblia and Giardia muris cysts as determined by animal infectivity assay*. *Water Research*, 36(8), 2098–2108. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00412-2](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00412-2)
- NSF. (2017). *International Standard/American National Standard. Onsite residential and commercial graywater treatment systems for subsurface discharge* (NSF/ANSI Standard 350-1). NSF International.
- NSF. (2019). *International Standard/American National Standard. Residential Wastewater Treatment System* (NSF/ANSI Standard 40). NSF International.
- NSF. (2020). *International Standard/American National Standard. Onsite Residential and Commercial Water Reuse Treatment Systems* (NSF/ANSI Standard 350). NSF International.
- Salveson, A., Goel, N., & Ryan, G. (2011). Not just for milk anymore. pasteurization for disinfection of wastewater and reclaimed water. *Water Environment & Technology*, 3, 42–45. <https://doi.org/10.2175/193864711802765507>
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2014). *Wastewater engineering: treatment and resource recovery*. McGraw-Hill.
- U.S. EPA. (2012). *Ultraviolet disinfection guidance manual. Ultraviolet disinfection guidelines for drinking water and water reuse*. (2012). Fountain Valley (US): National Water Research Institute (NWRI) and Water Research Foundation (WRF).

BIOLOGICALY TREATED WASTEWATER DISINFECTION STUDY

P. August, R. Dauknyš

Summary

In this article we assess small wastewater treatment plants, effluent disinfection using two different methods using ultraviolet light. One when the lamp is submersed in the effluent, another when it has to direct contact with effluent. The results are: both methods are working properly, but the results show that after five weeks of exploitation, submerged disinfection had decreasing results. Results went from 20 units of bacteria per 100 milliliters of wastewater to 95 units per 100 milliliters of wastewater. Contactless method achieved similar results throughout the testing, ranging from 10 units per 100 ml. To 23 units per 100 ml. The results of treatment with submerged unit are decreasing because of debris on the unit. Results of contactless unit are stable throughout.

Keywords: ultraviolet light, disinfection, effluent.