



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
VANDENTVARKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Adelė Sakalauskaitė

**BIOFILTRACIJOS TAIKymo TRE TINIO NUOTEKŲ VALYMO
GRANDYJE TYRIMAI**
**RESEARCH OF BIOFILTRATION APPLICATION FOR TERTIARY
WASTEWATER TREATMENT PROCESS**

Baigiamasis magistro darbas

Vandens ūkio inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H23001

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2016

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
VANDENTVARKOS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Mindaugas Rimeika

(Vardas, pavardė)

(Data)

Adelė Sakalauskaitė

**BIOFILTRACIJOS TAIKymo TRETINIO NUOTEKŲ VALYMO
GRANDYJE TYRIMAI**
**RESEARCH OF BIOFILTRATION APPLICATION FOR TERTIARY
WASTEWATER TREATMENT PROCESS**

Baigiamasis magistro darbas

Vandens ūkio inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H23001

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

Doc. dr. Regimantas Dauknys

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

Lekt. Regina Žukienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2016

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Vandentvarkos inžinerijos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Vandens ūkio inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas 4

Pavadinimas **Biofiltracijos taikymo tretinio nuotekų valymo grandyje tyrimai**
Autorius **Adelė Sakalauskaitė**
Vadovas **Regimantas Daukys**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Lietuvoje geros būklės reikalavimų iš 117 upių neatitinka 32 upės, kurios yra veikiamos sutelktosios taršos. Tokiu atveju tretinio nuotekų valymo grandyje šiai problemai spręsti siūloma taikyti biologinę filtraciją. Tyrimui atlikti Nemenčinės nuotekų valyklos techninėje patalpoje buvo sumontuoti trys laistomieji filtrai, kuriuose naudotos trys skirtingos įkrovos: akmens vata Growcube, akmens vata Paroc WAS 35 ir porolonas. Į filtrus nepertraukiamai tiekta nuotekos po biologinio valymo bei visiems filtrams palaikyta vienoda paviršiaus apkrova - 0,07 m³/m²/min. Tyrimo metu nustatyta, kad visus teršalus efektyviausiai šalino filtras F1 su akmens vatos Growcube užpildu. Jo efektyvumas pagal ChDS ir BDS7 rodiklius atitinkamai siekė 15,0 % ir 21,8 %, o SM - 43,4 %. NO₃--N ir NH₄+--N rodiklių šalinimo efektyvumas taip pat didžiausias filtre F1 su akmens vatos Growcube užpildu, kuris atitinkamai siekė 13,2 % ir 19,7 %. Kaip ir azoto junginiai, PO₄3--P geriausiai šalinosi filtre F1 - vidutinė efektyvumo reikšmė siekė 21,9 %. Darbą sudaro šios dalys: įvadas, literatūros apžvalga, bandymo metodika, bandymo rezultatai, išvados, rekomendacijos ir literatūros sąrašas. Darbo apimtis - 67 p., 32 pav., 14 lent., 66 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: tretinis nuotekų valymas, sutelktoji tarša, biologinė filtracija, akmens vata, laistomasis filtras, porolonas.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Department of Water Engineering

ISBN ISSN
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Water Engineering** study programme Master Graduation Thesis 4

Title **Research of Biofiltration Application for Tertiary Wastewater Treatment Process**
Author **Adelė Sakalauskaitė**
Academic supervisor **Regimantas Daukys**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

There are 32 of 117 rivers that are affected by a point source pollution and do not comply with good water quality requirements in Lithuania. In order to solve this problem, the application of biological filtration for a tertiary wastewater treatment is proposed. During the study, three trickling filters were installed in a technical room of Nemenčinė WWTP. The filters were filled with three different media: stone wool Growcube, stone wool Paroc WAS 35 and foam rubber. The biologically treated wastewater was continuously supplied to the filters maintaining the same surface load – 0.07 m³/m²/min. According to the results, the highest removal efficiency of COD, BOD₇ and SS (15.0 %, 21.8 % and 43.4 % respectively) was reached in filter 1 that contained the stone wool Growcube media. The highest removal efficiency of NO₃–N and NH₄–N (13.2 % and 19.7 % respectively) was also reached in the filter F1 containing the stone wool Growcube media. As well as nitrogen compounds, the best removal of PO₄₃–P was observed in the filter F1 with an average removal efficiency of 21.9 %. Thesis consists of: 67 pages of text, 32 pictures, 14 tables, 66 bibliographical entries.

Keywords: tertiary wastewater treatment, point source pollution, biological filtration, stone wool, trickling filter, foam rubber.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	7
LENTELIŲ SĄRAŠAS	8
SANTRUMPOS	9
ĮVADAS	10
1. LITERATŪROS APŽVALGA	12
1.1 Normatyvinių dokumentų, apibrėžiančių išleidžiamų į paviršinio vandens telkinius valytų nuotekų kokybę Lietuvoje ir Europos Sąjungoje, apžvalga	12
1.2 Paviršinių vandens telkinių valdymas ir būklė Lietuvoje.....	15
1.2.1 Paviršinių vandens telkinių kokybė	17
1.2.2 Veiksniai, lemiantys paviršinių vandens telkinių kokybę	18
1.3. Tretinis nuotekų valymas.....	19
1.3.1. Tretinio nuotekų valymo metodai.....	21
1.3.2. Tretinio nuotekų valymo įrenginiai	28
1.3.3. Technologiniai parametrai, turintys įtakos tretiniam nuotekų valymui.....	32
1.3.4. Tretinio nuotekų valymo metodų taikymo sritys.....	34
1.3.5. Tretinio nuotekų valymo situacija Lietuvoje.....	35
1.4. Literatūros apžvalgos apibendrinimas	37
2. BANDYMO METODIKA	38
2.1. Poveikio priimtuvui vertinimas pagal skirtingą miestų/gyvenviečių dydį	38
2.1.1. Tyrimo eiga	38
2.1.2. Poveikio priimtuvui vertinimo skaičiavimai	39
2.2. Tretinio nuotekų valymo bandymo metodika.....	40
2.2.1. Bandymo eiga	40
2.2.2. Tirti užpildai	43
2.3.3. Cheminės nuotekų analizės	44
3. BANDYMO REZULTATAI.....	46
3.1. Poveikio priimtuvui vertinimo pagal skirtingą miestų/gyvenviečių dydį rezultatai.....	46
3.2. Tretinio nuotekų valymo tyrimų rezultatai	49

3.2.1. Tūrinės laistomųjų filtrų apkrovos rezultatai	51
3.2.2. Laistomųjų filtrų efektyvumo rezultatai	55
IŠVADOS	60
NAUDOTA LITERATŪRA	61

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Lietuvos upių baseinų rajonai.....	18
1.2 pav. Upių valstybinio monitoringo vietos ir jų ekologinė būklė / ekologinis potencialas 2012 m.....	19
1.3 pav. Nuotekų valymo proceso stadijų schema.....	22
1.4 pav. Granuliuota (a) ir miltelių pavidalo (b) aktyvintoji anglis (GAA ir MAA).....	25
1.5 pav. Membraninio filtravimo procesai, priklausantys nuo valomų dalelių dydžio.....	26
1.6 pav. Mikrofiltracijos veikimo principas.....	27
1.7 pav. Ultrafiltracijos veikimo principas.....	27
1.8 pav. Nanofiltracijos veikimo principas.....	28
1.9 pav. Jonų mainų reakcija.....	29
1.10 pav. Laistomojo filtro schema.....	30
1.11 pav. Laistomųjų filtrų užpildai: a) akmenys; b) plastiko modulis; c) akmens vata.....	31
1.12 pav. Greitojo (a) ir lėtojo (b) smėlio filtrų veikimo principinės schemos.....	32
1.13 pav. Adsorbcijos aktyvintąja anglimi veikimo principas.....	32
1.14 pav. Diskinis (a) ir būgninis (b) mikrofiltrai.....	33
1.15 pav. Ultrafiltracijai naudojamų keramikinių membranų vaizdas.....	34
1.16 pav. Spiralinės membranos vaizdas.....	35
2.1 pav. Tretinio nuotekų valymo bandomasis stendas.....	42
2.2 pav. Principinė tretinio nuotekų valymo filtrų schema.....	43
2.3 pav. Nuotekų paskirstymo ant įkrovos paviršiaus sistema.....	43
2.4 pav. Užpildą palaikančiojo sluoksnio konstrukcija.....	44
2.5 pav. Tiriamosios įkrovos: a) akmens vata <i>Growcube</i> ; b) akmens vata <i>Paroc WAS 35</i> ; c) porolonas.....	45
3.1 pav. Sutelktosios taršos komunalinių išleistuvų (didesnių negu 2 000 EGS aglomeracijų) veikiamos upės.....	49
3.2 pav. Tiekimų į filtrus nuotekų temperatūra bandymo metu.....	52
3.3 pav. Įtekančių į filtrus ir ištekančių iš kiekvieno filtrų nuotekų pH bandymo laikotarpiu.....	52
3.4 pav. Filtrų F1, F2, F3 tūrinė apkrova BDS ₇ bandymo laikotarpiu.....	53
3.5 pav. Filtrų F1, F2, F3 tūrinė apkrova SM bandymo laikotarpiu.....	54
3.6 pav. Filtrų F1, F2, F3 tūrinė apkrova NO ₃ ⁻ -N bandymo laikotarpiu.....	55
3.7 pav. Filtrų F1, F2, F3 tūrinė apkrova NH ₄ ⁺ -N bandymo laikotarpiu.....	56
3.8 pav. Filtrų F1, F2, F3 tūrinė apkrova PO ₄ ³⁻ -P bandymo laikotarpiu.....	57
3.9 pav. Užterštumo rodiklių pagal ChDS, BDS ₇ , SM šalinimo efektyvumas iš nuotekų laistomuosiuose filtruose.....	58

3.10 pav. BDS ₇ ir SM koncentracijų tiekiose į filtrus nuotekose priklausomybės grafikas.....	59
3.11 pav. Užterštumo rodiklių NO ₃ ⁻ -N, NH ₄ ⁺ -N, PO ₄ ³⁻ -P šalinimo efektyvumas iš nuotekų laistomuosiuose filtruose.....	60

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Į gamtinę aplinką išleidžiamų nuotekų užterštumo normos.....	16
1.2 lentelė. Upių ekologinės būklės klasės pagal fizikinių–cheminių kokybės elementų rodiklius..	20
1.3 lentelė. Smėlio filtracijos metodo privalumai ir trūkumai.....	24
1.4 lentelė. Filtracijos aktyvinta anglimi privalumai ir trūkumai.....	25
1.5 lentelė. Membraninės filtracijos rūšių privalumai ir trūkumai.....	28
1.6 lentelė. Jonų mainų metodo privalumai ir trūkumai.....	29
1.7 lentelė. Laistomųjų filtrų privalumai ir trūkumai.....	31
1.8 lentelė. Tretinio nuotekų valymo metodų taikymo sritys.....	36
2.1 lentelė. Į filtrus tiekiamo debito ir apkrovos reikšmės.....	44
2.2 lentelė. Įkrovų techninės charakteristikos.....	45
2.3 lentelė. Nustatytų nuotekų teršalų cheminių analizių metodai.....	46
3.1 lentelė. Atrinktų Lietuvos nuotekų valymo įrenginių poveikio priimtuvui skaičiavimo rezultatai	48
3.2 lentelė. Filtrų įkrovų aukštis prieš nuotekų tiekimą ir tyrimo metu.....	51
3.3 lentelė. Užterštumo rodiklių prieš filtraciją ir po jos reikšmių statistinio apdorojimo rezultatai.....	53

SANTRUMPOS

ES – Europos Sąjunga
LR – Lietuvos Respublika
EB – Europos Bendrija
EK – Europos Komisija
BDS – Biocheminis deguonies suvartojimas
CHDS – Cheminis deguonies suvartojimas
N_b – Bendrasis azotas
P_b – Bendrasis fosforas
SM – Skendinčiosios medžiagos
BVDP – Bendroji vandens politikos direktyva
LK – Leistina Koncentracija
DLK – Didžiausia leidžiama koncentracija
LT – Leistina tarša
NV – Nuotekų valykla
NVĮ – Nuotekų valymo įrenginiai
FĮ – Filtravimo įrenginiai
UBR – Upių baseinų rajonai
EGS – Ekvivalentinis gyventojų skaičius

IVADAS

Nagrinėjama problema

Vandens taršos problemos paskutiniaisiais dešimtmečiais ėmė vis labiau ryškėti tiek regioniniu, tiek tarptautiniu mastu, todėl pasaulio vandenų apsaugai skiriama vis daugiau dėmesio. Pagrindinis vandenų politikos tikslas yra užtikrinti gerą vandens telkinių būklę. Pagrindiniai upių vandens taršos šaltiniai yra žemės ūkio sukeliama pasklidoji tarša ir sutelktoji tarša – miestų nuotekos. Paprastai tai didžiosios nuotekų valyklos, kurių taršos apkrova viršija 2 000 EGS. Pastarosios tiesiogiai daro įtaką upių ekologinei būklei, todėl svarbu įvertinti sutelktosios taršos mastą.

Darbo aktualumas

Pastaraisiais metais sparčiai renovuojant senąsias bei statant naujas nuotekų valyklas pastebėta, kad, griežtėjant išleidžiamų nuotekų į paviršinius vandens telkinius reikalavimams, vien pirminio ir antrinio nuotekų valymo etapų nepakanka. Tokiu atveju problemai spręsti po biologinio valymo paprastai taikoma tretinio nuotekų valymo grandis. Papildomas nuotekų valymas iki šiol yra mažai tirtas, tačiau dėl griežtėjančių reikalavimų valytoms nuotekoms šie tyrimai tampa vis aktualesni. Lietuvoje ne visos upės, kurios, veikiamos sutelktosios taršos, atitinka geros būklės reikalavimus. Šios upės parodo, kuriose Lietuvos nuotekų valyklose reikalingas tretinio nuotekų valymo grandies taikymas bei koks jis aktualus Lietuvos mastu. Taip pabrėžiama tretinio nuotekų valymo taikymo svarba upių ekologinės būklės gerinimui.

Darbo tikslas

Įvertinti, kurioms konkrečioms Lietuvos nuotekų valykloms rekomenduotinas tretinis nuotekų valymas ir ištirti tretinio nuotekų valymo grandyje taikomos biologinės filtracijos efektyvumą naudojant tris skirtingus užpildus ir palaikant nepertraukiamą biologiniu būdu valytų nuotekų tiekimo režimą.

Darbo uždaviniai

1. Apžvelgti pagrindinius normatyvinius Lietuvos ir Europos Sąjungos dokumentus, apibrėžiančius valytų nuotekų, išleidžiamų į paviršinio vandens telkinius, kokybę.
2. Apibūdinti veiksnius, lemiančius paviršinio vandens telkinių kokybę bei įvertinti sutelktosios taršos mastą Lietuvoje.
3. Apžvelgti plačiausiai taikomas tretinio nuotekų valymo technologijas pasaulio mastu ir Lietuvoje bei tyrimams parinkti didelių investicijų ir eksploatavimo kaštų nereikalaujantį metodą, taikytiną mažo ir vidutinio dydžio nuotekų valyklose (iki 10 000 EGS).
4. Atrinkti išleistuvus, darančius poveikį Lietuvos upėms, atlikti jų poveikio priimtuvui vertinimą pagal skirtingą miestų/gyvenviečių dydį ir nustatyti, kurioms konkrečioms nuotekų valykloms Lietuvoje rekomenduotinas tretinis nuotekų valymas.

5. Ištirti filtrų tūrinę apkrovą teršalais bei nustatyti didžiausią galimą filtrų apkrovą teršalais.
6. Ištirti akmens vatos *Growcube*, akmens vatos *Paroc WAS 35* ir porolono užpildų laistomuosiuose filtruose valymo efektyvumą, nuotekas į filtrus tiekiant nuolatos.

Temos naujumas

Tretinio nuotekų valymo technologija iki šiol mažai tirta sritis. Plečiant pažangių nuotekų valymo technologijų diegimą būtini moksliniai tyrimai. Darbe tirtos tretinio valymo grandyje dar netaikytos įkrovos. Akmens vatos taikymo tretinio nuotekų valymo grandyje tyrimai parodė teigiamus rezultatus, kai nuotekos tiekios periodiškai (Kirjanova 2014). Siekiant išsiaiškinti biologinės filtracijos pritaikomumą tretinio valymo grandyje vidutinio dydžio nuotekų valyklose, atlikti tyrimai, kuriuose siekta užtikrinti nuolatinį nuotekų tiekimą į tretinio valymo įrenginius.

Praktinė darbo reikšmė

Analizuotas trijų filtruojamų užpildų valymo efektyvumas pagal organines, skendinčiąsias ir biogenines medžiagas. Įvertintas analizuojamų filtrų darbas pusiau gamybinėmis sąlygomis. Tai leidžia tiksliau įvertinti tirtų biofiltracijoje užpildų pritaikomumą praktikoje.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1 Normatyvinių dokumentų, apibrėžiančių išleidžiamų į paviršinio vandens telkinius valytų nuotekų kokybę Lietuvoje ir Europos Sąjungoje, apžvalga

Lietuva po Nepriklausomybės atkūrimo visuose šalies sektoriuose ėmėsi spartaus pertvarkymo ir modernizacijos didelį dėmesį skiriant vandens apsaugai. Sukurta aplinkos apsaugos teisės aktų sistema, užtikrinanti vandens naudojimą ir apsaugą. Lietuva, 2004 m. įstojusi į Europos Sąjungą (ES), įsipareigojo pritaikyti savo teisinę sistemą prie ES teisės aktų. Vanduo ES yra viena iš labiausiai reguliuojamų aplinkos apsaugos aktais sričių. Lietuvos Respublikos (LR) nacionaliniai teisės aktai atitinka Europos Tarybos direktyvas vandens apsaugos srityje. Šiuo metu ES galioja daugiau nei 25 direktyvos ir reglamentai, reglamentuojantys vandens apsaugos sektorių (Europos Parlamento...2000; Vrubliauskas 2008). Toliau pateikta pagrindinių ES direktyvų, taikomų nuotekų išleidimui į paviršinius vandens telkinius, apžvalga.

Tarybos direktyva 91/271/EEB dėl miesto nuotekų valymo, priimta 1991 m. gegužės 21 d. (paskutiniai pakeitimai ir papildymai padaryti 2008 m. spalio 22 d. Europos Parlamento ir Tarybos reglamento (EB) Nr. 1137/2008).

Direktyva taikoma miesto nuotekoms surinkti, valyti bei išleisti ir nuotekoms iš tam tikrų pramonės sektorių valyti bei išleisti. Jos tikslas yra apsaugoti aplinką nuo išleidžiamų nuotekų žalingo poveikio. Direktyvoje nustatytos koncentracijos vertės arba minimalus išvalymas (procentais) taikomi šiems parametrams: biocheminiam deguonies suvartojimui (BDS), cheminiam deguonies suvartojimui (ChDS), bendrosioms skendinčiosioms medžiagoms, bendrajam fosforui (P_b) ir bendrajam azotui (N_b). Normos direktyvoje nustatytos pagal aglomeracijų dydį (Tarybos direktyva...1991).

Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2000/60/EB dėl bendrosios vandens politikos (BVPD), priimta 2000 m. spalio 23 d. (paskutiniai pakeitimai ir papildymai padaryti 2013 m. rugpjūčio 12 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2013/39/ES).

Direktyva nustato Bendrijos veiksmų vandens politikos srityje pagrindus. BVPD turi didžiausią poveikį vandens valdymo sistemai Lietuvoje, kadangi ji sujungia visų ankstesnių vandens apsaugą reglamentuojančių ES teisės aktų reikalavimus į bendrą vandens apsaugos sistemą. Šiuo metu vienas svarbiausių iššūkių vandens išteklių srityje yra užsibrėžto tikslo, kad vandens telkiniuose būtų pasiekta „Gera būklė“¹, įgyvendinimas. Lietuva bei kitos ES valstybės iki 2015 metų turėjo užtikrinti gerą vandens kokybę (Europos Parlamento...2000; Vrubliauskas 2008; Šileika 2012).

¹ „Gera būklė“ – paviršinio vandens telkinio būklė, kai jo ekologinė ir cheminė būklės įvertinamos, kaip bent „geros“, o požeminio vandens – įvertinant jo cheminę ir kiekybinę būklę, bent kaip „geros“.

Toliau pateikta pagrindinių Lietuvoje galiojančių ir taikomų nacionalinių įstatymų, suderintų su pastarosiomis ES direktyvomis, apžvalga.

Lietuvos Respublikos aplinkos apsaugos įstatymas, paskelbtas: Žin., 1992, Nr. 5-75.

Įstatymas reguliuoja visuomeninius santykius aplinkosaugos srityje. Juo užtikrinama sveika ir švari aplinka, racionalus gamtos išteklių naudojimas LR, jos teritoriniuose vandenyse, kontinentiniame šelfe ir ekonominėje zonoje. Jo pagrindu priimti kiti gamtos išteklių naudojimą bei aplinkos apsaugą reglamentuojantys įstatymai bei teisės aktai. Šis įstatymas skirtas užtikrinti anksčiau apžvelgtų ES direktyvų įgyvendinimą. LR aplinkos apsaugos įstatymo pagrindu parengtas Nuotekų tvarkymo reglamentas (NTR) (Lietuvos Respublikos...1992).

Lietuvos Respublikos vandens įstatymas, paskelbtas: Žin., 1997, Nr. 104-2615.

Įstatymas reglamentuoja santykius, atsirandančius naudojant, valdant ir saugant gamtinėje aplinkoje esantį vandenį. Juo siekiama neleisti prastėti vandens ekosistemų ir ekosistemų, tiesiogiai priklausomų nuo vandens, būklei. Įstatymu vandens apsaugos valdymas suderintas su direktyvos dėl bendrosios vandens politikos nuostatomis. LR vandens įstatymo pagrindu paremtas NTR, kuris nurodo, kad nuotekos turi būti renkamos ir valomos naudojant geriausias prieinamas technologijas, o šalinamos taip, kad aplinkai būtų daroma mažiausia įtaka. Taip pat įstatyme nurodyta, kad išleidžiamose į paviršinius vandens telkinius nuotekose negali būti viršytos aplinkos ministro patvirtinta tvarka nustatytos teršalų ribinės vertės (Lietuvos Respublikos...1997).

Pagal anksčiau apžvelgtus LR įstatymus parengti tokie pagrindiniai teisės aktai, reglamentuojantys nuotekų išleidimą:

Nuotekų tvarkymo reglamentas, patvirtintas 2006 m. gegužės 17 d. aplinkos ministro įsakymu Nr. D1-236.

Tai yra pagrindinis Lietuvos teisės aktas, nustatantis pagrindinius aplinkosaugos reikalavimus nuotekoms surinkti, valyti ir išleisti į paviršinio vandens telkinius, siekiant apsaugoti aplinką nuo taršos. Jame taip pat nurodyta, kad LR aplinkos ministerija rengia ir tvirtina aplinkos apsaugos ir gamtos išteklių naudojimo normas, normatyvus, standartus ir taisykles bei nustato ir kontroliuoja išleidžiamų į aplinką teršalų normas (Lietuvos Respublikos...2006).

NTR nurodyta, kad poveikis paviršiniam vandens telkiniui vertinamas pagal BDS₇, bendrąjį azotą, bendrąjį fosforą ir jų junginius. Pagal šį Reglamentą ir kitus teisės aktus konkrečiam nuotekų šaltiniui/išleistuvui nustatyta *leistina koncentracija* (LK), t. y. leidžiama tam tikro teršalo ar teršalų grupės koncentracija išleidžiamose nuotekose. Ji gali būti lygi arba mažesnė už *didžiausią leidžiamą koncentraciją* (DLK). Taip pat NTR konkrečiam nuotekų šaltiniui/išleistuvui nustatytas tam tikro teršalo kiekis, kurį per apibrėžtą laikotarpį leidžiama išleisti su nuotekomis į konkretų nuotekų priimtuvą – *leistina tarša* (LT) (Lietuvos Respublikos...2006). NTR nuotekų valymas normuotas trimis atžvilgiais:

- Į gamtinę aplinką išleidžiamų nuotekų užterštumo normomis (1.1 lentelė);
- Poveikio priimtuvui vertinimu;
- NTR 2 priedas.

1.1 lentelėje pateikti minimalūs nuotekų, išleidžiamų į paviršinius vandens telkinius, išvalymo reikalavimai. Išleidžiamų nuotekų leistina tarša negali viršyti apskaičiuotos priimtinos priimtuvui apkrovos, išskyrus atvejus, kai nuotekų išleidimui nustatyta LK lygi 1.1 lentelėje nustatytam didžiausiam išvalymo laipsniui. Dabartinės DLK normos yra nustatytos remiantis Tarybos direktyva 91/271/EEB dėl miesto nuotekų valymo (Lietuvos Respublikos...2006).

1.1 lentelė. Į gamtinę aplinką išleidžiamų nuotekų užterštumo normos (Lietuvos Respublikos...2006)

Parametrai	Agglomeracijos (išleidžiamų nuotekų kiekis/taršos šaltinio) dydis		Matavimo vienetas	Vidutinio paros mėginio DLK (didžiausias išvalymo laipsnis)	Momentinė DLK (didžiausias išvalymo laipsnis)	Vidutinė metinė DLK (didžiausias išvalymo laipsnis)	Minimalus išvalymo efektyvumas, procentais
Biocheminis deguonies suvartojimas BDS ₅ /BDS ₇	< 5 m ³ /d		mg/l O ₂	–	35/40	25/29	–
	>5 m ³ /d	< 2000 GE	mg/l O ₂	–	30/34(15/17)	20/23 (10/12)	–
		2000 – 10000 GE	mg/l O ₂	25/29 (10/12)	–	nustatoma individualiai	70 – 90
		> 10000 GE	mg/l O ₂	15/17 (8/10)	–	nustatoma individualiai	70 – 90
ChDS	daugiau kaip 2000 GE		mg/l O ₂	125	–	–	75
Bendras fosforas	>5 m ³ /d	< 10000 GE	mgP/l	–	–	2	80
		10000–100000 GE	mgP/l	–	–	2 (1)	
		> 100000 GE	mgP/l	–	–	1 (0,5)	
Bendras azotas	> 5 m ³ /d	< 10000 GE	mgN/l	–	–	20	70 – 80
		10000–100000 GE	mgN/l	–	–	15 (10)	
		> 100000 GE	mgN/l	–	–	10 (10)	

Po 2009 07 03 (įsakymo Nr. D1-386) ir 2014 04 10 (įsakymo Nr. D1-335) pakeitimų NTR 2 lentelė (1.1 lentelė) papildyta pastaba, kad mažiausia galima LK vertė, buitinių/komunalinių ir gamybinių nuotekų išleidimui negali būti griežtesnė už skliausteliuose nurodytą vertę. Pasak Aplinkos ministerijos Vandenių departamento Vandenių politikos skyriaus vyr. specialisto I. Valūno didžiausias išvalymo laipsnis, griežčiau kurio valyti nereikia, nustatytas siekiant subalansuoti investicijas (į nuotekų valymo įrenginius (NVI)) ir aplinkosauginį efektą tais atvejais, kai vertinant poveikį priimtuvui apskaičiuotas reikalingas išvalymo efektyvumas siekia mažas koncentracijas, pvz. labai mažos bendrojo fosforo vertės. Tokioms vertėms valytose nuotekos užtikrinti reikalingi papildomi, modernesni nuotekų valymo būdai. Dėl jų atsiranda papildomos investicijos ir eksploatacijos kaštai, kurie nėra adekvatūs gaunamam aplinkosauginiam efektui. Atsižvelgus į šiuolaikinių įrenginių galimybes bei įvertinus HELCOM rekomendacijas, Reglamente nustatytos didžiausios reikalaujamo išvalymo vertės.

Aplinkosauginės buitinių nuotekų filtravimo įrenginių įrengimo gamtinėmis sąlygomis taisyklės (LAND 21-01), patvirtintos LR aplinkos ministro 2001 m. gegužės 9 d. įsakymu Nr. 252.

Normatyviniu dokumentu nustatyti privalomieji aplinkosauginiai reikalavimai nuotekų valymo natūralios (gamtinės) sanklodos gruntuose filtravimo įrenginiams (FI) projektuoti, įrengti ir eksploatuoti. Reikalavimai taikomi buitines nuotekas valant FI, jas paskleidus žemės paviršiuje arba podirviniame sluoksnyje. Taisyklėmis siekiama sumažinti išleidžiamų į gruntą buitinių nuotekų poveikį paviršinio ir požeminio vandens kokybei (Lietuvos Respublikos...2001).

Paviršinių nuotekų tvarkymo reglamentas, patvirtintas 2007 m. balandžio 2 d. aplinkos ministro įsakymu Nr. D1-193.

Reglamentas nustato aplinkosaugos reikalavimus paviršinėms nuotekoms surinkti, valyti ir išleisti, siekiant apsaugoti aplinką nuo taršos. Jo nuostatos atitinka ES Tarybos direktyvos Nr. 91/271/EEB „Dėl miestų nuotekų valymo“ reikalavimus ir HELCOM rekomendaciją 23/5 „Dėl teršalų išmetimų iš urbanizuotų teritorijų mažinimo, tinkamai tvarkant paviršines nuotekas“ (Lietuvos Respublikos...2007).

Apžvelgus vandens telkinių įstatyminę bazę galima daryti išvadą, kad Lietuvos vandens apsaugos sektoriuje situacija sparčiai gerėja, tačiau teisinė sistema ir toliau turi būti tobulinama, kad Lietuvos teisės aktai pilnai atitiktų ES direktyvų reikalavimus. Šiam tikslui įgyvendinti tuo pačiu turi būti tiriami ir analizuojami papildomi ar modernesni nuotekų valymo būdai.

1.2 Paviršinių vandens telkinių valdymas ir būklė Lietuvoje

Vandens įstatyme pagrindiniai vandens apsaugos tikslai yra mažinti miestų ir gyvenviečių taršą nuotekomis, mažinti vandens telkinių taršą iš žemės ūkio naudmenų plotų, taip pat mažinti teršimą lietaus nuotekomis. Taigi nuo 1997 m. didžiausias dėmesys skirtas centralizuotų

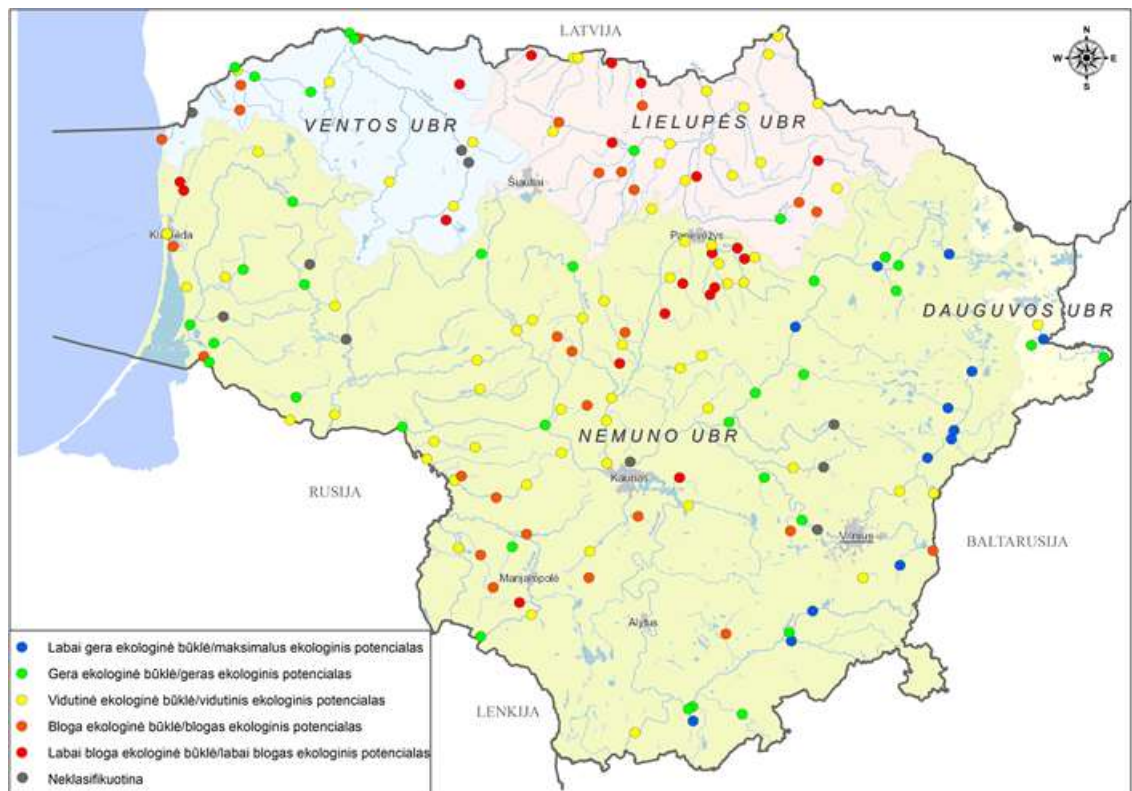
vandentiekio ir nuotekų tinklų, miestų nuotekų valymo įrenginių statybai bei kitoms inžinerinėms priemonėms (Lietuvos Respublikos...1997; Bukantis ir kt. 2008).



1.1 pav. Lietuvos upių baseinų rajonai (Aplinkos apsaugos...2015)

Svarbiausiu vandens telkinių būklės valdymo objektu laikomi upių baseinai. Baseinai yra natūralios hidrologinės–geografinės sistemos, kurių valdymas grindžiamas kompleksiniu požiūriu. Lietuvoje yra išskirti 4 upių baseinų rajonai (toliau – UBR) – Nemuno, Lielupės, Ventos ir Dauguvos (1.1 pav.). Vandens telkinius pradėta saugoti ir tvarkyti pagal hidrologiškai apibrėžtas natūralias upių baseinų ribas, kadangi upėse ir ežeruose surenkamas vanduo teka nepaisydamas žmogaus nustatytų ribų. Ši politika įtvirtinta 2003 m. Vandens įstatymo pakeitimu, suderintu su BVPD (2000/60/EB) (Bukantis ir kt. 2008; Nemuno upių...2010).

Paviršinių vandens telkinių stebėjimas Lietuvoje apima tiek antropogenines, tiek žmogaus veiklos nepaveiktas vandens telkinių vietas. Jis vykdomas pagal Valstybinę aplinkos monitoringo 2011–2017 m. programą. Pagal upių baseinų rajonų valdymo planų įgyvendinimo rezultatus matyti, kad geriausia upių ekologinė būklė yra mažiausiai žmogaus veiklos paveiktuose rytų–pietryčių ir vakarų Lietuvos rajonuose (1.2 pav.).



1.2 pav. Upių valstybinio monitoringo vietos ir jų ekologinė būklė / ekologinis potencialas 2012 m. (2012 m. upių...2013)

Labai geros bei geros ekologinės būklės reikalavimus atitinka Minijos, Jūros, Šventosios, Žeimenos, Merkio pabaseiniai, kurie sudaro daugiau kaip pusę (apie 53–65 %) visų vandens telkinių. Prasčiausia paviršinių vandens telkinių ekologinė būklė nustatyta šiaurės, vidurio ir pietvakarių Lietuvos intensyvaus žemės ūkio rajonuose: Nevėžio, Šešupės, Mūšos, Lielupės mažųjų intakų pabaseiniuose bei Lietuvos pajūrio upių pabaseinyje (1.2 pav.) (Lietuvos vandenų...2015).

1.2.1 Paviršinių vandens telkinių kokybė

Paviršinių vandenų kokybę nusako hidrocheminis režimas, biotos gausa bei žmogaus ūkinė veikla. Pastarosios ūkinės veiklos poveikis vadinamas reikšmingu tuomet, kai netenkinami geros ekologinės būklės ir/arba cheminės būklės vandens telkinio reikalavimai. Reikšmingą poveikį sukelti gali tiek vieno ar kelių taršos šaltinių tarša, tiek hidromorfologiniai vandens telkinių pokyčiai, atsirandantys dėl upių vagų ištiesinimo bei hidroelektrinių (Bagdžiūnaitė – Litvinaitienė 2005; Nemuno upių...2013).

Vandens telkinių ekologinė būklė yra vertinama pagal fizinius-cheminius, hidromorfologinius ir biologinius kokybės elementus. Fizikiniai-cheminiai kokybės elementai nustatomi pagal tokius rodiklius: nitrato azotą (NO_3^--N), amonio azotą (NH_4^+-N), bendrąjį azotą (N_b), fosfato fosforą ($\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$), bendrąjį fosforą (P_b), biocheminį deguonies suvartojimą per 7 dienas (BDS_7) ir ištirpusio deguonies koncentraciją vandenyje (O_2).

1.2 lentelė. Upių ekologinės būklės klasės pagal fizikinių–cheminių kokybės elementų rodiklius (Lietuvos Respublikos...2007)

Rodiklis	Upių ekologinės būklės klasių kriterijai pagal fizikinių-cheminių kokybės elementų rodiklių vertes				
	Labai gera	Gera	Vidutinė	Bloga	Labai bloga
NO ₃ ⁻ -N, mg/l	<1,30	1,30–2,30	2,31–4,50	4,51–10,00	>10,00
NH ₄ ⁺ -N, mg/l	<0,10	0,10–0,20	0,21–0,60	0,61–1,50	>1,50
N _b , mg/l	<2,00	2,00–3,00	3,01–6,00	6,01–12,00	>12,00
PO ₄ ³⁻ -P, mg/l	<0,050	0,050–0,090	0,091–0,180	0,181–0,400	>0,400
P _b , mg/l	<0,100	0,100–0,140	0,141–0,230	0,231–0,470	>0,470
BDS ₇ , mg/l	<2,30	2,30–3,30	3,31–5,00	5,01–7,00	>7,00

Vandens telkinys priskiriamas vienai iš penkių ekologinės būklės klasių, atsižvelgiant į kiekvieno rodiklio vidutinę metinę vertę (1.2 lentelė) (Lietuvos Respublikos...2007).

1.2.2 Veiksniai, lemiantys paviršinių vandens telkinių kokybę

Poveikis vandens telkiniams priklauso nuo teršimo intensyvumo ir trukmės, tačiau jis vyksta nuolatos ir negali būti pilnai sustabdytas ar panaikintas. Upių vandens kokybei įtaką daro daugelis veiksnių. Jie yra skirstomi į tiesioginius (uolienos, dirvožemis, gyvieji organizmai, žmogaus ūkinė veikla) ir netiesioginius (klimatas, reljefas, augalija, hidrologinės sąlygos ir kt.) (Bagdžiūnaitė–Litvinaitienė 2005).

Paviršinių vandens telkinių būklei įtaką darantys pagrindiniai veiksniai yra *pasklidoji tarša* biogeninėmis ir *sutelktoji tarša* organinėmis medžiagomis bei azoto ir fosforo junginiais. Pasklidoji tarša išleidžiama ne iš konkrečių taršos šaltinių, todėl didžiąją jos dalį sudaro apkrovos iš žemės ūkio veiklos. Upėse pasklidoji tarša pasireiškia aukštomis nitratų koncentracijomis. Su didesnėmis pasklidusios taršos problemomis susiduriama ežeruose ir tvenkiniuose susidarius aukštomis bendrojo fosforo koncentracijoms, kadangi pertekliniai biogeninių medžiagų kiekiai skatina vandens telkinių eutrofikaciją, t. y. intensyvus vandens telkinių žydėjimas šiltuoju metų laiku, pasireiškiantis deguonies stygiumi žuvims, vandens telkinių uždumblėjimu ir užaugimu. Taip pat prie paviršinius vandenį veikiančių veiksnių priskiriama *tarptautinė tarša*, kurią sudaro iš kaimyninių šalių patenkančios taršos apkrovos bei *antrinė* arba *istorinė tarša*, atsirandanti dėl ilgalaikės praeities taršos (Nemuno upių...2013; Taršos šaltiniai...2010; Lietuvos vandenų...2015).

Esminis skirtumas tarp pasklidusios ir sutelktosios taršos yra tas, kad pasklidusios taršos šaltiniai apima didelę teritoriją, kuri yra užteršiama sąlygiškai vienodai, o esant sutelktajai taršai tolstant nuo lokalaus taršos šaltinio pastebimas akivaizdus aplinkos užterštumo mažėjimas. Pastaroji tarša daro tiesioginę įtaką upių ekologiškai būklei, todėl svarbu įvertinti sutelktosios taršos mastą.

Sutelktoji tarša Lietuvos upėse

Sutelktąją taršą vadinama tarša, į paviršinius vandens telkinius patenkanti iš konkrečių taršos šaltinių. Ją sudaro išleistuvų išleidžiamos miestų ir gyvenviečių nuotekos, taip pat lietaus nuotekos, fermų, pramonės ir gamybinės nuotekos, žuvininkystės tvenkinių vanduo. Iš visų

skirtingos paskirties išleistuvų didžiausiais teršėjais laikomos miestų nuotekų valyklos (NV). Įprastai didžiausi nuotekų kiekiai į vandens telkinius patenka iš didžiųjų aglomeracijų NV. Paprastai tai aglomeracijos, kurių taršos apkrova viršija 2 000 EGS. Lietuvoje 2012 m. buvo identifiukuoti 1738 išleistuvai, kuriais į paviršinius vandens telkinius buvo išleidžiamos buitinės, gamybinės bei paviršinės nuotekos (Nemuno upių...2013; Taršos šaltiniai...2010).

Sutelktosios taršos poveikis gali būti vertinamas pagal teršalų kiekį, patekusį į vandens telkinius, ir nuotekų valymo kokybės pokyčius. Sutelktoji tarša pasireiškia dideliais išleidžiamų organinių medžiagų, kurių kiekį vandenyje netiesiogiai galima spręsti pagal biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras, rodiklį, t. y. ištirpusio deguonies kiekį, reikalingą vandenyje esančioms organinėms medžiagoms biocheminiu būdu oksiduoti, bendrojo azoto ir bendrojo fosforo kiekiais. Sutelktajai taršai taip pat būdingas pavojingų cheminių medžiagų išmetimas. Pagal 2012 m. rezultatus stebėtas reikšmingas upių apkrovos teršalais sumažėjimas, kuris pagal BDS₇ siekė 41 %, pagal N_b – 24 % ir pagal P_b – 37 %. Lietuvos upių baseinų rajonų apžvalgoje teigiama, kad tokia teršalų kiekio mažėjimo tendencija yra susijusi su ženkliai pagerėjusiu miestų nuotekų valymu: 2012 m. iki normatyviniuose dokumentuose nustatytų išleidžiamų nuotekų normų išvalytų nuotekų kiekis siekė 97 %, kai tuo tarpu prieš dešimtmetį šis kiekis tesiekė 21 %. Problemiškiausios sutelktosios taršos veikiamos upių vietos, kuriose nustatytos didžiausios bendrojo azoto, bendrojo fosforo ir organinių medžiagų (pagal BDS₇ rodiklį) yra vietos, esančios žemiau miestų bei nedidelio vandeningumo upės, į kurias išleidžiamos nepakankamai išvalytos miestų nuotekos (Bukantis ir kt. 2008; Nemuno upių...2013).

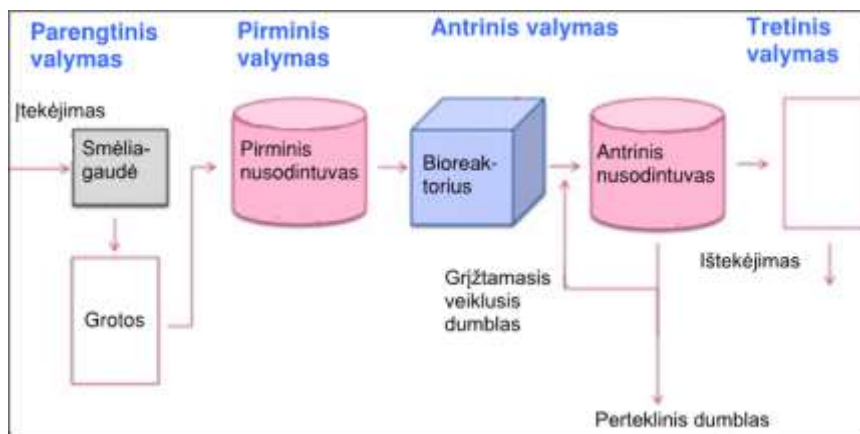
Per pastarąjį dešimtmetį Lietuvoje pastebima paviršinio vandens užterštumo mažėjimo tendencija, o upių atkarpos, kuriose teršalų koncentracija neatitinka geros ekologinės būklės verčių, nėra didelės. Tai paaiškinama didėjančiu NVĮ išvalymo efektyvumu, kuomet dauguma valyklų buvo rekonstruota, įdiegiant pažangesnes technologijas. Lietuvoje daugiau negu pusė paviršinių vandens telkinių atitinka labai geros arba geros ekologinės būklės reikalavimus. Remiantis surinktų iš Aplinkos apsaugos agentūros duomenų analizės rezultatais, iš analizuotų 117 Lietuvos upių geros būklės reikalavimų neatitinka 32 upės, kurios veikiamos sutelktosios taršos. Taigi, ne visose nuotekų valyklose pakanka taikyti tik biologinį nuotekų valymo būdą, kad būtų užtikrinta tinkama upės ekologinė būklė. Tokiu atveju po biologinio valymo paprastai taikoma tretinio nuotekų valymo grandis.

1.3. Tretinis nuotekų valymas

Nuotekų valymas yra neatsiejamas nuo standartų, nustatytų nuotekų išvalymo kokybės gerinimui. Apie 99,9 % į nuotekų valymo įrenginius atitekančių nuotekų sudaro vanduo, o likusius 0,1 % sudaro teršalai. NVĮ tikslas – išvalyti atitekančias į valymo įrenginius nuotekas taip, kad jos neužterštų priimančių vandens telkinių (priimtuvų) ir nepažeistų jų ekologinės būklės. Didėjančios

hidraulinės apkrovos teršalais, nepakankami talpų tūriai ir netinkamos veikliojo dumblo savybės yra pagrindinės priežastys, dėl kurių NVĮ tampa nepatikimais ir nepakankamai pajėgiais patenkinti minimalius teršalų išvalymo reikalavimus (Nuotekų ir dumblo...2010).

Nuotekų valymo procesas susideda iš parengtinio, pirminio, antrinio ir tretinio nuotekų valymo grandžių (1.3 pav.).



1.3 pav. Nuotekų valymo proceso stadijų schema (Ghazali *et al.* 2013)

Parengtinis nuotekų valymas. Parengtinio nuotekų valymo paskirtis – pašalinti iš nuotekų sėdančiąsias medžiagas ir plūdrenas (smėlį, riebalus ir tepalus). Jis taikomas kaip parengiamoji nuotekų valymo stadija, kai nuotekos paruošiamos tolimesniam valymui. Pagrindiniai komunalinių nuotekų parengtinio valymo įrenginiai:

grotos – pirmasis nuotekų valyklos technologinės grandies įrenginys, kuriame šalinami stambūs nešmenys. Jos skirtos užtikrinti sėkmingą už jų įrengtų kitų NVĮ veikimą bei išvengti nuotekų vamzdžių užsikimšimo. Grotose sulaikomi skudurai, popierius, plastikas, akmenys, medžių lapai, kietosios virtuvės atliekos ir kiti stambūs nešmenys. Grotų protarpių dydžio parinkimas priklauso nuo numatomo dumblo apdorojimo būdo arba išleidžiamų valytų nuotekų reikalavimų (Rimeika ir Kirjanova 2011; Tchobanoglous *et al.* 2014).

smėliagaudės – nuotekų valymo įrenginys, įrengiamas už grotų. Jos skirtos smulkiųjų mineralinių dalelių (daugiausia smėlio ir žvyro) atskyrimui iš nuotekų. Skendinčiosios medžiagos sėda lėčiau, todėl jos kartu su nuotekomis teka į kitus NVĮ. Siekiant išvengti biologiškai neskaidomų organinių medžiagų nusodinimo smėliagaudėse, jos yra aeruojamos, įrengiama smėlio plovimo įranga. Smėliagaudės apsaugo mechaninės įrangos ir siurblių dėvėjimąsi bei sumažina teršalų kaupimąsi latakuose, bioreaktoriuose ir kituose valymo įrenginiuose (Rimeika ir Kirjanova 2011).

Pirminis nuotekų valymas. Ši nuotekų valymo proceso grandis dar vadinama pirminiu nusodinimu, kurio tikslas yra atskirti iš nuotekų sėdančiąsias priemaišas (nuosėdas). **Pirminiai nusodintuvai** – nusodinimo rezervuarai, kuriuose iš parengtinai valytų nuotekų atskiriama dauguma

sėdančiųjų medžiagų, kurios iš jų šalinamos nepertraukiamai arba periodiškai. Pirminis nuotekų valymas sumažina įtekančių nuotekų biocheminį deguonies suvartojimą 20–30 %, o SM kiekį – 50–70 % (Smith ir Scott 2005; Introduction to Wastewater...2014).

Antrinis nuotekų valymas, dar vadinamas biologiniu valymu. Biologinio valymo paskirtis yra iš valomų nuotekų pašalinti tirpias organines priemaišas. Biologiniai NVĮ yra skiriami į dvi grupes: veikiančius pusiau gamtinėmis sąlygomis (gruntinės filtracijos įrenginiai ir biologiniai tvenkiniai) ir veikiančius dirbtinėmis sąlygomis. Pastarieji skiriami į veikliojo dumblo reaktorių, bioplėvelinius reaktorių arba biofiltrus ir hibridinius reaktorių. Pastarąjį šimtmetį praktikuojamas aerobinis nuotekų valymo procesas vyksta panaudojant veiklųjį dumblą *bioreaktoriuose* su azoto ir fosforo šalinimu bei antriniuose nusodintuvuose. *Antriniai nusodintuvai* naudojami biomasei atskirti iš nuotekų po biologinio valymo. Tokius nuotekų valymo procesus NV pradėta diegti po sugriežtintų išleidžiamoms į paviršinius vandenį nuotekoms užterštumo rodiklių (Mittal 2011; Smith ir Scott 2005; Nuotekų ir dumblo...2010; Tchobanoglous *et al.* 2003; Kirjanova 2014).

Tretinis nuotekų valymas. Tai viena iš pažangaus nuotekų valymo kategorijų, taikoma po biologinio nuotekų valymo grandies. Tretinis nuotekų valymas yra galutinis nuotekų valymo proceso etapas, taikomas nepasiekus pirminio ir antrinio valymo metu norimo išvalymo laipsnio arba kai išleidžiamų nuotekų teršalų koncentracijos viršija reikšmes, leistinas priimtuvui. Po pažangaus valymo nuotekos gali būti pakartotinai naudojamos pramonės tikslams – įrangai aušinti, pakartotiniam vandens panaudojimui, praplovimui ar skalavimui, taip pat rekreacijos reikmėms, urbanistinės, kraštovaizdžio ir žemės ūkio teritorijoms drėkinti (Smith ir Scott 2005; Zhou *et al.* 2002).

1.3.1. Tretinio nuotekų valymo metodai

Kiekvienas tretinio nuotekų valymo metodas turi savų privalumų ir savų trūkumų. Po antrinio valymo likusių teršalų šalinimui dažnai taikoma nuotekų filtracija per įvairius užpildus bei membranas, adsorbcijos, jonų mainų, koaguliacijos–flokuliacijos bei jų kombinacijos. Pastaruoju metu didelis dėmesys skiriamas elektrocheminėms technologijoms, pasižyminčiomis universalumu, saugumu, automatizavimo galimybe, draugiškumu aplinkai ir nereikalaujančiomis didelių investicijų (Chaudhary *et al.* 2003; Remy *et al.* 2014; Heinonen-Tanski *et al.* 2003; Chen *et al.* 2004; Hansen *et al.* 2007).

Filtracija. Nuotekų filtracija klasifikuojama į tris procesus: vidinę (gylio) filtraciją, paviršinę filtraciją ir membraninę filtraciją. Mechaninė filtracija naudojama pagrinde skendinčioms medžiagoms iš nuotekų pašalinti, o organinių ir (ar) biogeninių medžiagų šalinimui dažniau naudojami biologinės filtracijos įrenginiai. Biologinės filtracijos metu mikroorganizmai, esantys reaktoriuje, suskaido ir kaip maistines medžiagas suvartoja nuotekose esančius teršalus (organines medžiagas, N, P ir kt.), taip išvalydami nuotekas. Kaip tretinio nuotekų valymo bioplėveliniai

įrenginiai dažnai naudojami laistomieji filtrai, kurių teršalų šalinimo efektyvumas priklauso nuo filtro užpildo. Mokslinėje literatūroje analizuoti plastiko, antracito, smėlio, ceolito, akmenų vatos užpildai bei jų kombinacijos. Atlikti biologinės filtracijos per akmenų vatą tretinio valymo grandyje tyrimai parodė teigiamus rezultatus, kai nuotekos tiekios periodiškai (Kirjanova 2014; Tchobanoglous *et al.* 2014).

Smėlio filtracija. Leidžiant nuotekas tiesiogiai pro smėlio filtruojamąjį sluoksnį, pašalinamos skendinčiosios medžiagos. Skiriamos dvi pagrindinės smėlio filtracijos: greitoji (gravitacinė) ir lėtoji smėlio filtracijos (GSF ir LSF). Pagrindinis šių filtracijų skirtumas yra tas, kad GSF būdinga fizinė filtracija, tuo tarpu LSF valymo procesas vyksta pasitelkiant biologinę filtraciją (WHO Seminar...2009). Proceso efektyvumui padidinti, smėlio filtracija dažnai sujungiama su *koaguliacija–flokuliacija*. Kaip tretinio nuotekų valymo technologija smėlio filtracijos ir koaguliacijos–flokuliacijos kombinacija naudojama fosforo šalinimui (Treatment and...2015). Smėlio filtracijos privalumai ir trūkumai pateikti 1.3 lentelėje.

1.3 lentelė. Smėlio filtracijos metodo privalumai ir trūkumai (Brikke ir Bredero 2003)

<i>Privalumai</i>	<i>Trūkumai</i>
Patikimi bei pasižymi galimybe atlaikyti vandens kokybės svyravimus.	Reikalingas nuolatinis nuotekų tiekimas.
Chemikalų naudojimas nėra būtinas.	Prarandamas jos produktyvumas dėl palyginti ilgo filtracijos laiko ir brandos periodų.
Paprastas dizainas, lengva įrengti kaimiškiose, priemiesčių bei nutolusiose teritorijose.	Esant žemai oro temperatūrai sumažėja biologinis aktyvumas, todėl mažėja ir filtracijos proceso efektyvumas.
Nesudėtinga įrenginio eksploatacija.	Nepašalinami natūralūs organiniai junginiai.
Filtro konstrukcijai gali būti naudojamos vietinės statybinės medžiagos.	Procesas gali reikalauti elektros energijos.
Nereikalingi elektriniai siurbiai, jeigu filtro konstrukcijos pritaikytos tik gravitacinei nuotekų tėkmei.	Būtina reguliari priežiūra.
Ilga įrenginio eksploatacijos trukmė (daugiau nei 10 metų).	Filtrai reikalauja didelio žemės ploto, didelio kiekio filtravimo įkrovos ir fizinio darbo filtro tvarkymui.

Komunalinių nuotekų GSF panaudojus koaguliantus daug efektyvesnė ir siekia 88–98 % mikrobu grupėms bei 80 % – bendrojo fosforo koncentracijoms. Dažniausiai procese naudojami reagentai: mineraliniai arba organiniai koaguliantai (paprastai geležies ir aliuminio druskos, organiniai polimerai), flokuliantų papildymas (aktyvintas kvarcas, talko milteliai, aktyvintoji

anglis), anijonų ir katijonų flokulantai, pH reguliuojančios rūgštys ir šarmai. Tai palyginti pigus valymo metodas, tačiau reikalaujantis profesionalios priežiūros bei nuolatinio reagentų papildymo (SNF Floerger 2003).

Filtracija aktyvintąja anglimi. Aktyvintoji anglis yra vienas efektyviausių adsorbentų, naudojamų daugeliui teršalų iš nuotekų šalinti: ChDS, adsorbuojantiems organiniams halogenams, toksiškumui, spalvotiems junginiams ir dažams, aromatiniais junginiais, pesticidams ir kitiems teršalams (Activated Carbon...1999). Adsorbcija – tai procesas, kai kieto kūno paviršius panaudojamas ištirpusioms medžiagoms iš skysčių pašalinti. Aktyvintoji anglis būna granuliuota ir miltelinio pavidalo (1.4 pav.).



a)

b)

1.4 pav. Granuliuota (a) ir miltelių pavidalo (b) aktyvintoji anglis (GAA ir MAA) (Aktyvuotos anglies...2016)

Nuotekų valymui dažniau naudojama granuliuota aktyvintoji anglis, kadangi ji geba sugerti tirpias medžiagas. Nuotekų valymo, pasitelkiant adsorbcijos aktyvintąja anglimi metodą, privalumai ir trūkumai pateikti 1.4 lentelėje.

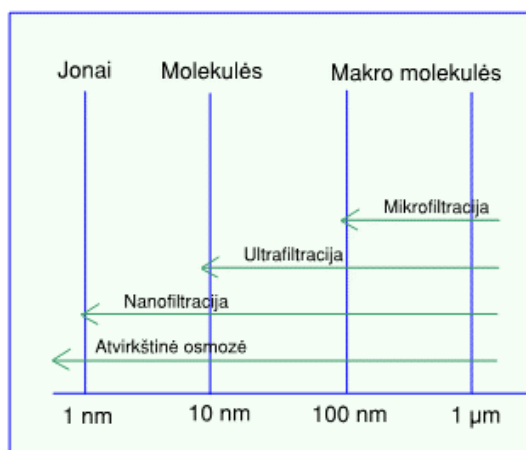
1.4 lentelė. Filtracijos aktyvinta anglimi privalumai ir trūkumai (Activated Carbon...1999)

<i>Privalumai</i>	<i>Trūkumai</i>
Pasiekiamas aukštas nuotekų išvalymo efektyvumas šalinant nepoliarinius organinius teršalus.	Anglis nepajėgi pašalinti labai tirpių organinių junginių arba mažos molekulinės masės junginių.
Pritaikomas didelei organinių junginių daliai šalinti bei efektyvus metodas šalinant nedidelius neorganinių teršalų kiekius.	Sistemos dėl tikėtino užsikimšimo netoleruoja SM.
Terminė anglies regeneracija sunaikina atliekų adsorbuotą tirpinį.	Ribojami žemos organinės koncentracijos teršalai (< 5 proc.) bei žemos neorganinės koncentracijos teršalai (< 1 proc.).
Lanksti sistema, leidžianti staigų sistemos įjungimą arba išjungimą.	Aukštos eksploatacinės sąnaudos dėl brangių anglies sistemų.
Lengvas įdiegimas ir priežiūra.	Jeigu užteršta anglis nėra regeneruojama, jos utilizavimas gali būti probleminis.

Filtracijos aktyvintą anglimi metodas efektyvus šalinant pesticidus, ruošiant geriamąjį vandenį, tačiau jis mažai taikomas komunalinėms nuotekoms valyti, kadangi sistema linkusi kimštis nuo skendinčiųjų medžiagų (Hendricks 2006).

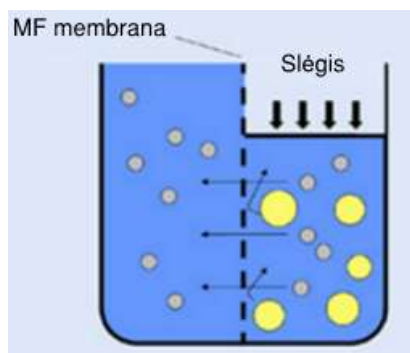
Membraninė filtracija – vienas sudėtingiausių ir brangiausių nuotekų valymo metodų, kurio metu pasiekiami itin aukšti išvalymo rodikliai. Membraninės filtracijos metu nuotekos leidžiamos per pusiau laidžią membraną, gebančią atskirti teršalus priklausomai nuo jų fizinių/cheminių charakteristikų. Membranos paprastai kombinuojamos su kitomis nuotekų valymo grandimis, jas numatant kaip paskutinę valymo stadiją. Taip pat vienoje sistemoje gali būti naudojami keli skirtingi membranų tipai, taip siekiant pašalinti pirmiausia didesnes molekules, o kitoje valymo stadijoje – mažesnes. Toks būdas leidžia pailginti membranų eksploatacijos trukmę ir ženkliai atpiginti technologinę įrangą (Ecoranga. Membranos...2016).

Skiriamos 4 membraninės filtracijos rūšys: *mikrofiltracija*, *ultrafiltracija*, *nanofiltracija* ir *atvirkštinė osmozė* (žr. 1.5 pav.). Pastaroji detaliau nėra nagrinėjama, nes ji plačiau taikoma geriamojo vandens ruošimui, o nuotekoms valyti taikomi mažiau investicijų reikalaujantys metodai.



1.5 pav. Membraninio filtravimo procesai, priklausantys nuo valomų dalelių dydžio

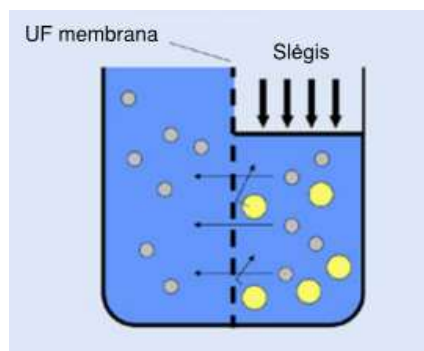
Mikrofiltracija. Filtracijos „varomoji jėga“ yra valymo proceso metu sukuriamas hidrostatinis slėgis, kurio pagalba membrana panaudojama tirpiniui atskirti nuo tirpiklio (1.6 pav.). Mikrofiltracijos metu iš nuotekų atskiriami mikroorganizmai ir dalelės, kurių diametras kinta nuo 0,02 iki 10 μm . Daugiausia tai *E. coli*, mielių bakterijų, emulsinių aliejų ir riebalų, kietų dalelių ir smulkių dulkių atskyrimas iš gamybiniuose procesuose susidariusių nuotekų (Fumatech: Microfiltration...2015). Mikrofiltracija skiriama į kryžminio srauto (*angl.* cross-flow) ir aklinąjį (*angl.* dead-end) režimus. Kryžminio srauto filtracija labiau taikoma nuotekoms su aukštomis SM koncentracijomis.



1.6 pav. Mikrofiltracijos veikimo principas (Fumatech: Microfiltration...2015)

Membranos praplaunamos reguliariais intervalais atbuline srove arba panaudojant cheminius ar mechaninius plovimo metodus (Fumatech: Microfiltration...2014). Chimiškai patobulintas valymas (*angl.* chemically enhanced backwash) naudojamas tiek mikrofiltracijos, tiek ultrafiltracijos membranų praplovimui (Smith ir Scott 2005).

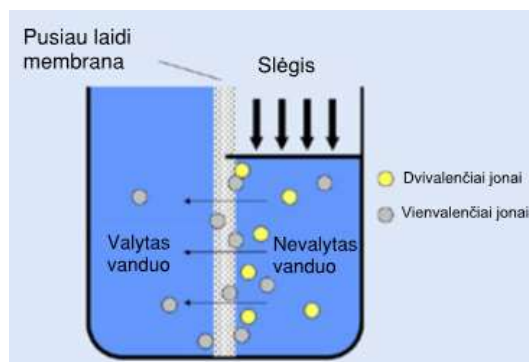
Ultrafiltracija. Kaip ir mikrofiltracija, dėl sukurtos slėgio jėgos veikia filtravimo principu bei priklauso nuo valomų dalelių dydžio (1.7 pav.). Procesas naudojamas biomolekulių, bakterijų, virusų, polimerų, koloidinių dalelių ir cukraus molekulių sulaikymui (Fumatech: Ultrafiltration...2015).



1.7 pav. Ultrafiltracijos veikimo principas (Fumatech: Ultrafiltration...2015)

Ultrafiltracija daugiausiai taikoma nuotekų valymo membraniniuose bioreaktoriuose (MBR). Veikliojo dumblo ir membraninio valymo kombinacija MBR sumažina užimamą įrenginių plotą ir pagerina išleidžiamų nuotekų kokybę (Fumatech: Ultrafiltration...2015).

Nanofiltracija. Nanofiltracija susijusi su atvirkštinės osmozės ir ultrafiltracijos procesais. Jai būdingas vidutinis arba aukštas slėgis. Nanofiltracijos metu naudojamos membranos, skirtos divalenčiams ir didesnio valentingumo jonams šalinti, kai pro membraną prasiskverbia mažos organinės molekulės, o didesnės molekulinės masės organiniai junginiai užsilaiko membranoje (žr. 1.8 pav.) (Schrader 2006).



1.8 pav. Nanofiltracijos veikimo principas (Fumatech: Nanofiltration...2015)

Membranos su geru cheminiu atsparumu yra plačiau naudojamos geriamajam vandeniui ruošti, farmacijoje, rečiau – nuotekų valyklose (Fumatech: Nanofiltration...2015). Skirtingų membranų filtracijos veikia tuo pačiu principu ir iš esmės yra panašios, tačiau kiekvienos jų taikymas turi savų privalumų ir trūkumų (1.5 lentelė).

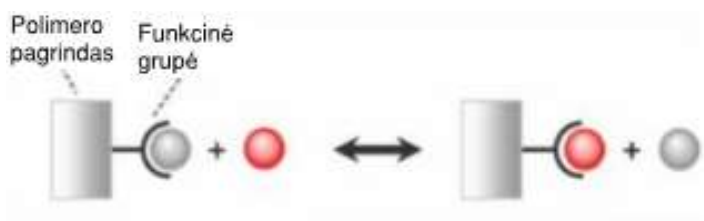
1.5 lentelė. Membraninės filtracijos rūšių privalumai ir trūkumai (Huber Technology...2015; Micro-screening in...2011; Tangent fluid...2014)

Membraninės filtracijos rūšis	Privalumai	Trūkumai
Mikrofiltracija	Greitas ir efektyvus didelių nuotekų kiekių valymas dėl didelės hidraulinės nuotekų pralaidumo talpos. Mikrofiltrai yra nuolatinio veikimo ir turi integruotą atbulinės srovės praplovimo sistemą. Reikalauja nedaug elektros energijos. Nereikalingas nuotekų kėlimas dėl mikrofiltruose esančios gravitacinės sistemos. Taip pat susidaro maži slėgio nuostoliai. Mikrofiltrai kompaktiški, uždaros konstrukcijos.	Sistema turi būti pritaikyta filtrų valymui, o tai sunku suderinti su mažais įrenginio gabaritais. Atbulinės srovės plovimas reikalauja mechaniškai stiprios filtravimo medžiagos. Ne visos filtracijos medžiagos atitinka šioms sistemoms keliamus reikalavimus, ypač labai smulkiose filtracijose, kai mikrosieto dydis <50 μm.
Ultrafiltracija	Geras teršalų atskyrimas dėl siaurų porų dydžių pasiskirstymo. Pasižymi mechaniniu ir abrazyviniu atsparumu. Ilgamžiškas dėl membranos tvirtumo. Kompaktiška, nesudėtinga konstrukcija. Didelis cheminis ir šiluminis atsparumas. Veiksminga šalinant bakterijas ir virusus nenaudojant cheminių reagentų – atidirbęs vanduo pilnai dezinfekuotas. Nedidelės energijos sąnaudos.	Šalina tik SM ir bakterijas. Jautri azoto rūgščiai, sieros rūgščiai, peroksidui ir persulfatui, esantiems aukštoje temperatūroje. Gali atsirasti pažeidimai, kai bandoma sulaikyti šiurkščias ir smailias daleles, didesnes negu 0,1 mm. Membranos pažeidžiamos esant didesniam negu 3 barai slėgiui.

Membraninės filtracijos rūšis	<i>Privalumai</i>	<i>Trūkumai</i>
		Nemaža užsikimšimo tikimybė.
Nanofiltracija	Proceso metu pašalinamos visos cistos, bakterijos, virusai ir humuso medžiagos. Pasižymi didele apsauga nuo dezinfekcijos šalutinių produktų formavimosi., jeigu po membraninio filtravimo pridedama dezinfektantų.	Praplovimui reikalingi cheminiai reagentai. Filtracija reikalauja didesnio darbinio slėgio negu mikrofiltracija. ar ultrafiltracija.

Mikrofiltracija yra greitas, efektyvus ir ekonomiškąs sprendimas, kai norima pasiekti iš esmės visiškai švartų komunalinių nuotekų kokybę bei pašalinti deguonį vartojančias medžiagas. Nanofiltracija ir ultrafiltracija šalina daug smulkesnius organizmus, todėl plačiau taikomos pramoninėms nuotekoms valyti.

Jonų mainai. Jonų mainų metodas naudojamas NVĮ kaip tretinis nuotekų valymas, kuris pagrįstas jonų mainais (žr. 1.9 pav.). Tai procesas, kuriame nuotekos leidžiamos per kietą adosbentą, iš kurio vieno krūvio jonai mainosi su nuotekose esančiais tokio pat krūvio jonais, taip palikdami teršalus adsorbuojančioje medžiagoje (Neumann and Fatula 2009).



1.9 pav. Jonų mainų reakcija (Neumann and Fatula 2009)

Pagrindinis jonų mainų įrangos komponentas yra mikroporų mainų derva, kuri yra prisotinta lengvai išsilaikančiu tirpalu. Kai valomos nuotekos pereina sorbentą, jonai prisijungia prie dervos rutuliukų taip išlaisvindami tirpale esančias medžiagas. Po kurio laiko įkrova persisotina ir turi būti regeneruojama arba perkraunama (Skipton 2008). Pažymėtina tai, kad prieš nuotekoms patenkant į jonų mainų technologijos įrenginius, pirminėje ir antrinėje nuotekų valymo stadijose turi būti pašalinta didžioji dalis SM ir, jeigu yra galimybė, tirpios organinės medžiagos. Šios sąlygos išpildymas sumažina jonų mainų įrenginio apkrovą įtekėjime (Wastewater System...2011). Jonų mainų metodo taikymo privalumai ir trūkumai pateikti 1.6 lentelėje.

1.6 lentelė. Jonų mainų metodo privalumai ir trūkumai (Neumann and Fatula 2009)

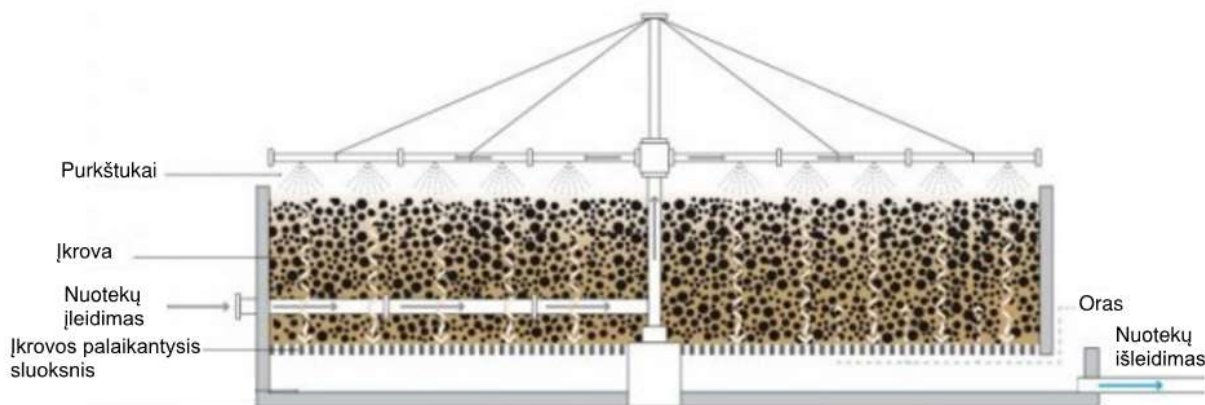
<i>Privalumai</i>	<i>Trūkumai</i>
Viena iš labiausiai tinkamų technologijų netirpių neorganinių jonų efektyviam šalinimui.	Neefektyvus bakterijų šalinimas. Didelės eksploatacijos išlaidos per ilgą laikotarpį.

<i>Privalumai</i>	<i>Trūkumai</i>
Galimybė regeneruoti procesą. Santykinai nedidelės pradinio kapitalo investicijos.	Regeneracijos metu druskingos nuotekos yra išleidžiamas į aplinką.

Jonų mainai labiau paplitę tarp geriamojo vandens ruošimo technologijų, o nuotekoms valyti jie taikomi specifiniams teršalams iš pramonės nuotekų pašalinti: fosfatams, sunkiems metalams, arsenui ir kitiems. Buitinėms nuotekoms valyti ši technologija retai taikoma, nors šiuo metu ypač tobulinama nitratų šalinimo jonų mainais procedūra.

1.3.2. Tretinio nuotekų valymo įrenginiai

Laistomieji filtrai. Laistomieji filtrai gali būti naudojami tik teršalams iš nuotekų po pirminio valymo šalinti, kadangi didelis SM kiekis sukelia jų užsikimšimą. Dėl šios priežasties laistomieji filtrai tinkami taikyti nuotekų tretinio valymo grandyje. Laistomąjį filtrą sudaro cilindrinė talpa, kurioje nuotekos purškiamos ant didelį savitąjį paviršiaus plotą turinčios įkrovos (akmenys, žvyras, susmulkinti plastiko buteliai ar kt.) (1.10 pav.). Didelis savitasis paviršiaus plotas sudaro geresnes sąlygas biomasės augimui. Ant įkrovos paviršiaus susidariusioje bioplėvelėje augantys mikroorganizmai oksiduoja nuotekose esančius organinius teršalus į anglies dioksidą ir vandenį ir tokiu būdu formuoja naują biomasę. Tai vyksta tik išoriniame 0,1–0,2 mm storio sluoksnyje (Tilley *et al.* 2014).



1.10 pav. Laistomojo filtro schema (Tilley *et al.* 2014)

Seniausiai naudojamas laistomųjų filtrų užpildas yra akmenys (1.11 pav. a), tačiau dėl mažo jų poringumo nevyksta oro cirkuliacija bei padidėja užsikimšimo tikimybė. Dabartiniuose filtruose dažnai naudojamas modulinis plastikinis užpildas (1.11 pav. b), kuris pasižymi dideliu savituoju paviršiaus plotu ir didesniu poringumu (>90 %).



a)

b)

c)

1.11 pav. Laistomųjų filtrų užpildai: a) akmenys; b) plastiko modulis (Cross flow...2015); c) akmens vata (Rockwool Hydroponics...2015)

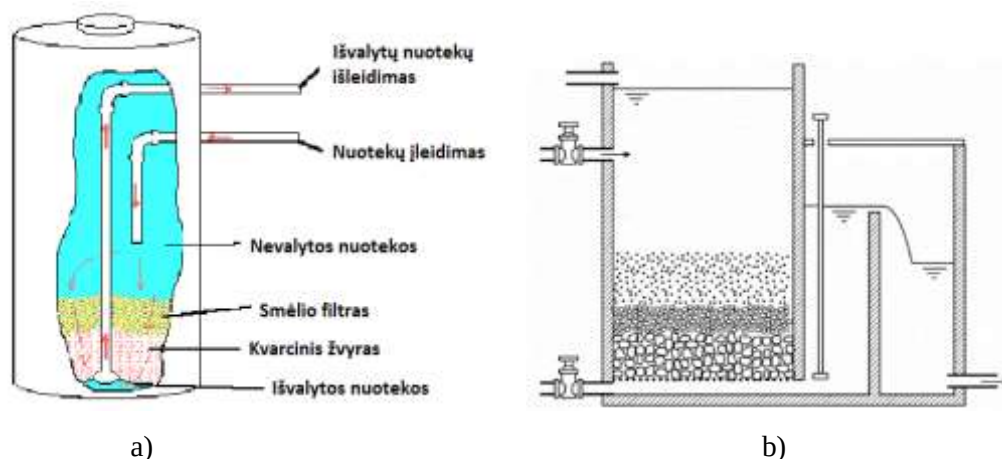
Laistomuosiuose filtruose, skirtuose tretiniam nuotekų valymui, taip pat tirtas akmens vatos užpildas (1.11 pav. c). Tyrimais įrodyta, kad dėl palankių akmens vatos savybių, įkrova tinkama biologinei filtracijai (Kirjanova 2014). Ant įkrovos susidariusi bioplėvelė esant aerobinėms sąlygoms šalina organinius junginius. BDS šalinimo efektyvumas įrenginyje siekia 65–90 %, azoto junginių – 0 iki 35 %, fosforo junginių – 10 iki 15 % (Tilley *et al.* 2014).

1.7 lentelė. Laistomųjų filtrų privalumai ir trūkumai (Tilley *et al.* 2014)

<i>Privalumai</i>	<i>Trūkumai</i>
Dėl nuolatinės valomų nuotekų cirkuliacijos pritekėjimo ir užterštumų netolygumai didelės įtakos valymo procesams neturi. Lengvai montuojamas, kompaktiškas. Sandarus, todėl neskleidžia nemalonių kvapų. Esant poreikiui įrenginio našumas gali būti padidintas pridėjus papildomai įkrovos. Įrenginys automatizuotas, todėl paprasta eksploatacija.	Reikalinga elektros energija. Reikalauja didesnių kapitalinių įdėjimų, lyginant su natūralaus valymo įrenginiais. Galimybė įrenginio darbo sutrikimui dėl automatikos ar siurblių gedimo. Negalima į įrenginį leisti didelių kiekių plovimo vandens ar dezinfekavimo priemonių, kad nesustotų ar nesulėtėtų biologiniai procesai.

Laistomųjų filtrų sistema dažniausiai taikoma apgyvendintose teritorijose buitinėms nuotekoms tvarkyti. Ji gali būti pritaikoma tiek didesnėms, tiek mažesnėms bendruomenėms.

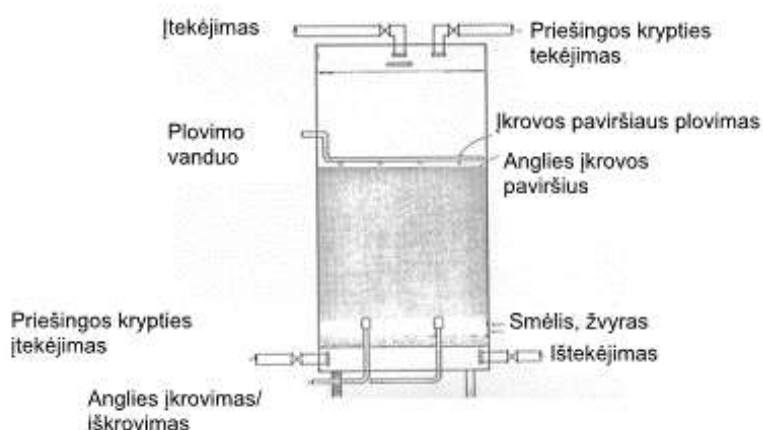
Smėlio filtrai. Smėlio filtrai paprastai naudojami kaip paskutinė nuotekų valymo proceso stadija. Nuotekų valymo GSF įrengimai nuo LSF skiriasi daug greitesniu filtravimo greičiu bei galimybe valymo procesą atlikti atbuline srove (WHO Seminar...2009). Plačiau pasaulyje naudojami greitieji smėlio filtrai, kurių aukštam valymo efektyvumui pasiekti naudojami flokulantų chemikalai (Tchobanoglous *et al.* 2014; The Water Treatment...2014). Greitojo ir lėtojo smėlio filtrų schemas pateiktos 1.12 pav.



1.12 pav. Greitojo (a) ir lėtojo (b) smėlio filtrų veikimo principinės schemos (The Water Treatment...2014; WHO Seminar...2009)

LSF dažniausiai sudaro betoninė ar plastiko dėžė, kurioje virš perforuotų vamzdžių ir žvyro supilamas smėlio sluoksnis. Apačioje patiesti vamzdžiai surenka išvalytas nuotekas (Bruni 2015). Po kurio laiko smėlio filtras užsikemša nuo valymo proceso metu susiformavusių dribsnių (flokulų). Tuomet ima blogėti valomų nuotekų kokybė ir didėja slėgio nuostoliai. Jų šalinimui naudojama atbulinė vandens srovė arba slėginis išplovimas (Tchobanoglous *et al.* 2003; Slow Sand...2005).

Adsorberiai. Pagrindiniai adsorbcijos aktyvintąja anglimi nuotekų valymo filtrai skiriami į paprastuosius anglies filtrus, granuliuotos aktyvintosios anglies filtrus, skystosios anglies filtrus ir miltelinės aktyvintosios anglies filtrus (Evoqua Water...2015). Aktyvintosios anglies adsorberio schema pateikta 1.13 pav.



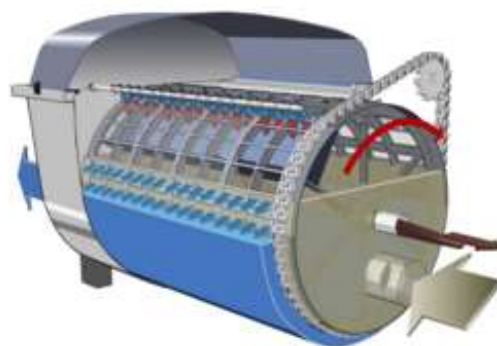
1.13 pav. Adsorbcijos aktyvintąja anglimi veikimo principas (Activated Carbon...1999)

Aktyvintosios anglies nuotekų filtravimo sistemos projektuojamos kuo efektyvesnės tiek valymo kokybės, tiek pagaminimo ir eksploatavimo kainų atžvilgiais. Sistemą sudaro atbulinės srovės vožtuvai su automatiniu arba rankiniu valdymu. Tokiu būdu prailginamas anglies gyvavimo laikas (Activated Carbon...1999).

Mikrofiltrai. Gamintojų siūlomos mikrofiltracijos įrengimų konstrukcijos betoniniame kanale arba plieniniame latakė. Skiriami du mikrofiltrų tipai: diskiniai ir būgniniai (1.14 pav.). Pagrindė jie naudojami tada, kai norima išvalyti didelį nuotekų kiekį panaudojant kuo mažiau vietos įrenginiams (Nordic Water...2015). *Diskinius filtrus* (1.14 pav., a) sudaro besisukantys (rotaciniai) diskai, kurių pagalba sudaromas didelis filtravimo paviršiaus plotas, užimantis nedidelį žemės plotą. Būtent tokie filtrai yra populiariausi valant didelius nuotekų kiekius. Nuotekų išvalymo efektyvumas, esant nuotekų tiekiamam debitui 1500 m³/val., pasiekiamas su 20 filtravimo diskų esant 10 µm sieto dydžiui. Diskiniai filtrai mechaniniu būdu pašalina iki 30 % ChDS/BDS, iki 60 % skendinčiąsias medžiagas. Papildomų chemikalų ir flokulantų įdėjimas į nuotekų valymo procesą 95 % sumažina SM kiekį, 65 % ChDS/BDS ir 60 % fosforo koncentracijas (Nordic Water...2015; Huber Technology...2015).



a)

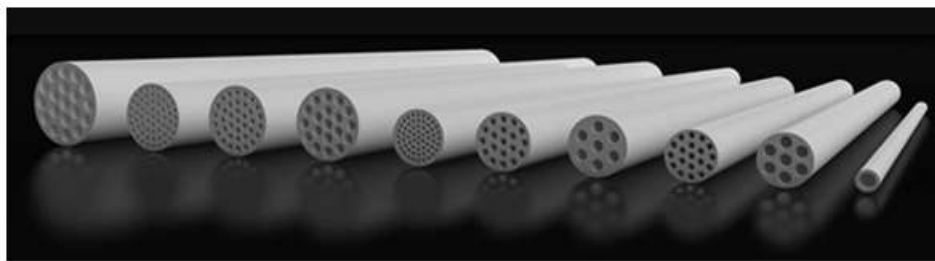


b)

1.14 pav. Diskinis (a) ir būgninis (b) mikrofiltrai (Nordic water...2015)

Būgniniai mikrofiltrai (1.14 pav. b) yra skirti suspenduotų dalelių šalinimui. Juos sudaro filtravimo audinys (mikrosietas), užvilktas ant besisukančio būgno. Mikrosieto dydis kinta nuo 10 iki kelių tūkstančių mikronų. Filtruojančioji medžiaga sudaryta iš poliesterio arba nerūdijančio plieno. Būgniniai filtrai gaminami su automatine praplovimo sistema – kai vandens lygis filtravimo rotoriuje padidėja iki nustatyto lygio, filtro rotorius pradeda sukis ir prasideda atbulinės srovės filtruojančiosios medžiagos plovimas. Didelio slėgio atbulinė srovė pašalina susikaupusias suspenduotas daleles išmetamuoju latakė, įrengtu filtro konstrukcijoje. Būgniniuose filtruose 50 – 60 proc. sumažinamos SM, ChDS, BDS ir fosforo koncentracijos (Nordic Water...2015).

Ultrafiltracijos membranos. Ultrafiltracijos proceso metu naudojamos keraminės membranos. Tai porėti keraminiai filtrai, išlieti iš aliuminio ir cirkonio esant itin aukštai temperatūrai (1.15 pav.).



1.15 pav. Ultrafiltracijai naudojamų keramikinių membranų vaizdas (Tangent fluid...2014)

Keramikinės membranos paprastai yra asimetrinės struktūros su porėtu aktyviu membranos sluoksniu (Tangent fluid...2014). Ultrafiltracijos membranos yra apibūdinamos jų nominalia molekuline mase, kuri nusako mažiausią membranos molekulinę masę, kurios molekulių sulaikymo vertė siekia daugiau negu 90 %. Membranos pasižymi ilgaamžiškumu, lengvai plaunamos atbulinės srovės būdu, nereikalauja cheminės regeneracijos. Pasaulyje paplitusios ultrafiltracijos membranų formos yra *vamzdžio formos membranos*: kapiliarinės, tuščiavidurio pluošto, vamzdinės, ir *lėkštės formos membranos*: plokščios arba spiralinės (Bonnélye 2008; Tangent fluid...2014).

Nanofiltracijos membraniniai moduliai. Nanofiltracijos membranos yra pasirenkamos pagal du skirtingus parametrus. Pirmasis, tai teršalų sulaikymas membranoje, kuris priklauso nuo dalelių dydžio, pavyzdžiui, molekulinės masės. Membranų sulaikymo savybės bei antrasis parametras – pralaidumas – yra susiję su elektros krūvių bei druskų ir kitų tirpalo medžiagų valentingumu. Kuo didesnis dalelės valentingumas, tuo labiau ją sulaiko membrana (Fumatech: Nanofiltration...2014).



1.16 pav. Spiralinės membranos vaizdas (Spiral membranes...2016)

Membranos yra montuojamos į modulius, kurių yra nemažas konfigūracijų pasirinkimas: plokšti lakštai (lėkšteliniai), spiraliniai, vamzdiniai/kapiliariniai ir tuščiavidurio pluošto. Nuotekų valyme taikomi spiraliniai ir vamzdiniai membranų moduliai (1.16 pav.) (Schafer *et al.* 2003).

1.3.3. Technologiniai parametrai, turintys įtakos tretiniam nuotekų valymui

Tretinio nuotekų valymo metodų valymo efektyvumui įtakos turi įrenginių technologiniai parametrai.

Smėlio filtrai. Smėlio filtrų efektyvumą lemia smėlio granulių dydis, specifinė gravitacija, tirpumas, stiprumas ir gylis. Tipinė smėlio specifinė gravitacija būna 2,55–2,65, o porėtumas 0,4–0,46. Rekomenduojamas smėlio įkrovos filtre gylis svyruoja nuo 900 mm iki 1800 mm, o tipišku laikomas 1200 mm gylio filtro užpildas. Efektyviausiai filtras valo esant 2–4 mm dydžio smėlio granulėms. Smėlio įkrovos vienodumo koeficientas svyruoja 1,2–1,6, o tipišku laikomas tada, kai jis nėra didesnis už 1,5. Greitiesiems smėlio filtrams būdinga 0,08–0,4 m³/m²·min filtravimo apkrova, o lėtojo smėlio filtravimo apkrova siekia 0,03–0,06 m³/m²·min (Tchobanoglous *et al.* 2014).

Aktyvintosios anglies filtrai. Aktyvintosios anglies adsorbavimo efektyvumas priklauso nuo jos granulių formos, struktūros ir paviršiaus (Antracitas – apibūdinimas...2016). Svarbiausias parametras, lemiantis proceso efektyvumą, yra anglies įkrovos sluoksnio storis. Jis kinta labai įvairiai – nuo 900 iki 2100 mm. Rekomenduojamas aktyvintosios anglies įkrovos svoris palaikomas 70–2600 g/m². Aktyvintos anglies filtrai projektuojami 100–600 m³/m²·d paviršiaus apkrovai (Smith ir Scott 2005). Aktyvintajai angliai būdingas 500–1500 m²/g paviršiaus plotas. Kuo jis didesnis, tuo sudaromos geresnės sąlygos teršalų adsorbcijai vykti (Adsorption / Active...2015). (Tchobanoglous *et al.* 2014; Activated carbon...2000).

Mikrofiltrai. Mikrofiltrų veikimo efektyvumui įtaką daro sieto tankumas: kuo mažesnės sieto poros, tuo daugiau teršalų sulaikoma. Mikrosieto skylių dydis būna 10–100 μm. Mikrofiltrai parenkami atsižvelgiant į tiekiamą nuotekų srautą, kuris kanalinio modulio kryžminio srauto filtruose siekia 6 m/s. Įprastas mikrofiltracijos slėgis yra palyginti mažas ir dažniausiai būna 0,02 MPa – 0,5 MPa. Nuo parinkto mikrofiltracijos įrenginio parametru priklauso teršalų šalinimo efektyvumas. Efektyviausiai valo diskiniai filtrai, kurie talpina iki 35 filtrų diskų, o jų maksimalus pralaidumas siekia 2000 m³/val. (Huber Technology...2015).

Ultrafiltracinės membranos. Ultrafiltracijai būdingas membranų porų dydis nuo 1 nm iki 100 nm. Taip sulaikomi junginiai, kurių molekulinė masė siekia nuo 300 iki 500000 g/mol. Darbinis ultrafiltracijos slėgis dažnai kinta nuo 0,1 iki 1 MPa. Svarbi membranos modulio žaliava ir išorinis diametras, dažniausiai kintantis nuo 25–40 mm. Membranos modulyje talpinami membraniniai kanalai, kurių skaičius kinta nuo 7 iki 61, o vieno kanalo diametras – nuo 2,2 mm iki 6 mm. Svarbūs parametrai yra visas modulio ilgis, paviršiaus plotas, svoris. Svarbi valomų nuotekų skverbimosi kryptis: vidinė ar išorinė. Proceso metu temperatūra neturi viršyti 150 laipsnių (Fumatech: Ultrafiltration...2016).

Nanofiltracijos membranos. Pagrindiniai technologiniai parametrai yra prasiskverbimo norma. Valomų teršalų prasiskverbimas priklauso nuo membranos nominalaus porų dydžio, kuris nanofiltracijos nuotekų valymo metode yra apytiksliai 1 nm, o būdinga junginių molekulinė masė kinta 1 000 iki 100 000 g/mol. Nanofiltracijai vykti reikalingas didesnis slėgis negu mikrofiltracijai

ar ultrafiltracijai. Nanofiltracijai būdingas 0,3–4,0 Mpa slėgis, o kartais net gali siekti iki 1 MPa (Membrane filtration...2005; Fumatech: Nanofiltration...2016).

1.3.4. Tretinio nuotekų valymo metodų taikymo sritys

Tretinio nuotekų valymo metodai gali būti taikomi daugelyje sričių. Sritys, kuriose taikomos analizuotos tretinio valymo technologijos, pateiktos 1.8 lentelėje.

1.8 lentelė. Tretinio nuotekų valymo metodų taikymo sritys (Slow Sand...2005; Keller 2005; Huber Technology...2015; Lubello 2003; Fumatech: Microfiltration...2015)

Tretinio valymo technologija	Taikymo sritys
Laistomoji filtracija	➤ Priemiesčių ar didesnių kaimo gyvenviečių nuotekoms tvarkyti. ➤ Buitinėms pilkosioms ir rudosioms nuotekoms tvarkyti.
Smėlio filtracija	➤ Pažangiam buitinių ir gamybinių nuotekų tvarkymui. ➤ Aušinančiam ir cirkuliaciniam gamybiniam vandeniui tvarkyti. ➤ Paviršiniams vandenims tvarkyti ir dumbliams pašalinti. ➤ Drumzlėtumui ir maistinėms medžiagoms (azotui ir fosforui) pašalinti. ➤ Geriamajam vandeniui ruošti.
Filtracija aktyvintąja anglimi	➤ Komunalinėms nuotekoms tvarkyti. ➤ Dažniausiai naudojama namų ūkyje geriamajam vandeniui ruošti (šalinti organines medžiagas, chlorą ar radoną). ➤ Naudojama kaip pradinis valymo taškas (pusiau centralizuotose geriamojo vandens valyklose, nuotekų tvarkymo valyklose) arba naudojamas kaip nuotekų valymo filtras namų ūkyje. ➤ Pesticidams šalinti.
Koaguliacija–flokuliacija	➤ SM šalinimui buitinių ir pramoninių nuotekų valyklose. ➤ Naudojama atskiriant kietąsias ir ištirpusias daleles (drumzlėtumą) iš vandens, tiekiamo į (pusiau) centralizuotas geriamojo vandens valyklas. ➤ Fosforo junginiams iš nuotekų pašalinti.
Mikrofiltracija	➤ Apsaugoti arba padidinti tolimesnių nuotekų valymo sistemų efektyvumą (pavyzdžiui UV dezinfekciją). ➤ Mikroteršalams po nuotekų valymo aktyvintais anglies milteliais pašalinti. ➤ Lietaus nuotekoms nuo SM valyti. ➤ Vandens pakartotiniam panaudojimui. ➤ Gamybinio, aušinančio vandens filtracijai. ➤ Išankstinei filtracijai prieš smėlio filtrus. ➤ Medienos ir popieriaus pramonėje. ➤ Tirpiems junginiams šalinti iš geriamojo vandens. ➤ Biotechnologijose, biomasei sulaikyti fermentacijos talpose.

Tretinio valymo technologija	Taikymo sritys
	➤ Metalų pramonėje naftai/vandeniui atskirti.
Ultrafiltracija	➤ Organinėms medžiagoms (mikroteršalams) ir virusams atskirti. ➤ Pieno produktų, maisto, metalų, tekstilės, farmacijos ir chemikalų pramonėje. ➤ Antriniam panaudojimui pramonėje, iš nuotekų pašalinant drumzlėtumą (94,5 %) ir bendrą suspenduotų dalelių kiekį (98,7 %). ➤ Steriliai filtracijai ruošiant geriamąjį vandenį. ➤ Paviršiniams vandenims valyti. ➤ Naftos/vandens emulsijoms atskirti. ➤ Metalų hidroksidams šalinti. ➤ Biomasei atskirti. ➤ Šilumos energetikoje: kaip pirminis vandens valymas prieš minkštinimo ir visiško druskos pašalinimo įrenginius. ➤ Maisto pramonėje: bakterijoms ir virusams šalinti – pirminis valymas prieš atvirkštinės osmozės įrenginius. ➤ Komunaliniam vandeniui tiekti: SM, bakterijoms (Legionella, Cryptosporidium), virusams šalinti.
Nanofiltracija	➤ Organinėms medžiagoms (mikroteršalams) ir virusams atskirti. ➤ Pieno ir maisto produktų nupeleninimui, hidrolizuotų proteinų atkūrimui. ➤ Rūgščių, bazių ir oksidacinėms medžiagoms valyti.
Jonų mainai	➤ Metalų jonams šalinti arba atkūrimui chemijos pramonėje. ➤ Nitrato, sulfato ir kitų neigiamą krūvį turinčių jonų šalinimui. ➤ Labiausiai teigiamai įkrautų jonų šalinimui: geležies, švino, radžio, bario, aliuminio ir vario. ➤ Vandeniui minkštinti (pašalinti kalcio ir magnio jonams), vandens demineralizacijai (visų jonų šalinimas) ir nušarminimui (bikarbonatų pašalinimas).

Membraninė filtracija yra viena sparčiausiai plintančių nuotekų valymo technologijų. Vis dėlto tai yra brangus nuotekų valymo būdas, tinkantis didesniems valomų nuotekų kiekiams. Biologinė filtracija per įvairius užpildus yra mažesnių investicijų ir eksploataavimo kaštų reikalaujantis metodas.

1.3.5. Tretinio nuotekų valymo situacija Lietuvoje

Lietuvoje pastaraisiais metais nuolat gerinant nuotekų valymo technologijas, labai sumažėjo vandens telkinių būklės problemų dėl sutelktosios taršos. 1991 metais Europos Tarybos priimtoje miestų nuotekų valymo direktyvoje numatyta, kad zonose, kuriose vandens telkiniai jautrūs azoto

fosforo junginių taršai ir kuriems reikalinga didesnė apsauga, reikalaujama paisyti dar griežtesnių valymo reikalavimų – taikyti tretinį nuotekų valymą. Lietuvos teritorija paskelbta eutrofikacijai jautria zona, kurioje nuotekoms išleisti taikomi griežtesni reikalavimai (Tarybos direktyva...1991):

aglomeracijose, kurių dydis nuo 2 000 EGS, nuotekos turi būti valomos antriniu (biologiniu) arba jam prilygstančiu valymu;

aglomeracijose, kurių dydis nuo 10 000 EGS, nuotekos turi būti valomos tretiniu valymu (t. y. biologiniu su papildomu azoto ir fosforo šalinimu).

Toks reikalavimas 2012 metais buvo taikomas 38, o 2014 metais – jau 50 Lietuvos miestų nuotekų valymo įrenginių. Pasak aplinkos apsaugos agentūros vandenų būklės vertinimo skyriaus vyresniojo specialisto Mindaugo Šimanskio, per gan trumpą periodą su sanglaudos fondų pagalba buvo pastatyta/rekonstruota daug įrenginių, tretinio valymo įrenginius diegiant gan dažnai. Iki 2013 m. pabaigos pastatyti nauji arba rekonstruoti 46 aglomeracijų nuotekų valymo įrenginiai, o tai lėmė nuotekų išvalymo kokybės Lietuvoje išaugimą. 2012 m. išvalytų iki nustatytų normų komunalinių nuotekų kiekis siekė 97,2 %, o 2004 m. – tik 62 % (Aplinkos apsaugos agentūra 2014).

2012 metais atliktoje Europos Komisijos ataskaitoje pažymima, kad tretinis nuotekų valymas taikomas vis dažniau, 2009 metais pasiekta, kad apie 70 %, o 2013 metais – 77 % šalies populiacijos prisijungę prie NVĮ, kuriuose taikomas tretinis nuotekų valymas (Urban waste...2013). EK parengtoje ataskaitoje, kurioje įvertintas ES šalių miestų nuotekų tvarkymo direktyvos 91/271/EEC įgyvendinimas didžiausiuose miestuose, teigiama, kad Lietuvos nuotekų surinkimo sistema 100 proc. atitinka ES reikalavimus. Antrinis nuotekų valymas direktyvos reikalavimus išpildo 98 %, o dar griežtesnius už antrinio valymo reikalavimus pildantis nuotekų valymas – 85 procentais (European Commission 2013). Tokie rezultatai liudija, kad Lietuvoje pasiektas vienas geriausių nuotekų tvarkymo rezultatų ES.

Lietuvoje tretinis nuotekų valymas taikomas ne tik NVĮ, tačiau ir pramonės industrijoje, kurioje susidaro itin užterštos nuotekos. Pavyzdžiui, tekstilės įmonių pramonėje nuotekų valymui itin plačiai taikoma mikrofiltracija, kadangi esamos technologijos neužtikrina leistinų taršos normų. Geriausiai prieinamuose gamybos būduose (GPGB) alyvos ir angliavandenilių šalinimui siūloma taikyti mikrofiltraciją, terpę filtruojant grūdėtosiomis priemonėmis. Taip pat mikrofiltracija, kaip vienas iš valymo būdų, pateikiamas skendinčiosioms medžiagoms valyti, kai nuotekų srautas turi būti visiškai išvalomas nuo SM siekiant užsikimšimo kituose valymo įrenginiuose, pavyzdžiui, nanofiltravimo ar atvirkštinio osmoso. GPGB sunkiųjų metalų mažinimui rekomenduojama naudoti technologijas, leidžiančias regeneruoti kuo didesnę sunkiųjų metalų kiekį: mikrofiltravimas, jonų mainai, nanofiltravimas arba atvirkštinis osmosas (ES geriausi...2015).

1.4. Literatūros apžvalgos apibendrinimas

Dėl spartėjančio populiacijos augimo pasaulyje didėja suvartojamo vandens kiekis tiek buitiniams reikmėms, tiek besiplečiančioje pramonėje. Užterštas įvairiomis organinėmis ir neorganinėmis, pavojingomis ir nepavojingomis medžiagomis vanduo išleidžiamas atgal į aplinką. Pagrindinis vandenų politikos tikslas yra užtikrinti gerą vandens telkinių būklę (Direktyva 2000/60/EB). Pagrindiniai upių vandens taršos šaltiniai yra žemės ūkio sukeliama pasklidoji tarša ir sutelktoji tarša – miestų nuotekos. Padidėję BDS, ChDS, azoto bei fosforo kiekiai išleidžiamose nuotekose lemia ne tik išaugusius mokesčius už vandens taršą, tačiau ir tiesiogiai pažeidžia jų ekologinę būklę, dėl ko tampa svarbu įvertinti sutelktosios taršos mastą. Dėl ryškėjančių vandens taršos problemų normatyviniais dokumentais griežtinami reikalavimai nuotekoms, išleidžiamoms į paviršinio vandens telkinius.

Per pastarąjį dešimtmetį Lietuvoje pastebima paviršinio vandens užterštumo mažėjimo tendencija, kai dauguma NVĮ buvo rekonstruota, įdiegiant pažangesnes technologijas. Vis dėl to, teisinė sistema ir toliau turi būti tobulinama, kad Lietuvos teisės aktai pilnai atitiktų ES direktyvų reikalavimus. Lietuvoje geros būklės reikalavimų neatitinka 32 upės, kurios veikiamos sutelktosios taršos. Tai įrodo, kad NV nepakanka taikyti tik biologinį nuotekų valymo būdą, kad būtų užtikrinta tinkama upės ekologinė būklė. Šiam tikslui įgyvendinti turi būti tiriami ir analizuojami papildomi nuotekų valymo būdai. Pirminį ir antrinį nuotekų valymus taikančios nuotekų valyklos, siekdamos patenkinti griežtėjančius reikalavimus, turi taikyti papildomą – tretinį nuotekų valymą.

Lietuvoje papildomas nuotekų valymas iki šiol yra mažai tirtas, tačiau tampa vis aktualesnis. Tretinio nuotekų valymo technologijos turi būti diegiamos tose nuotekų valyklose, kurios išleidžia į priimtuvus nepakankamai išvalytas nuotekas, neišlaikydamos paviršiniams vandens telkiniams reikalaujamos kokybės. Pasaulyje taikomos įvairios tretinio nuotekų valymo technologijos: filtracijos per įvairius užpildus bei membranas, adsorbcijos, jonų mainų, koaguliacijos–flokuliacijos bei jų kombinacijos. Plačiausiai Lietuvoje taikomas metodas yra mikrofiltracija. Tai yra greitas, efektyvus ir ekonomišką sprendimas. Apžvelgus pasaulyje plačiausiai taikomų tretinio nuotekų valymo metodus ir jų įrenginius, kaip alternatyva brangioms technologijoms, tyrimams pasirinkta biologinė filtracija, kuri paprastai taikytina mažo ir vidutinio dydžio nuotekų valyklose (iki 10 000 EGS).

2. BANDYMO METODIKA

Bandymo metodika skirta į dvi dalis. Pirmojoje dalyje siekiama atrinkti konkrečias Lietuvos nuotekų valyklas, kurios kaip sutelktoji tarša labiausiai veikia užterštas upes, bei apskaičiuoti jų poveikį priimtuvui. Antrojoje dalyje pateikta tretinio valymo grandyje sumontuotų pusiau gamybinėmis sąlygomis veikiančių filtrų veikimo tyrimų metodika.

2.1. Poveikio priimtuvui vertinimas pagal skirtingą miestų/gyvenviečių dydį

Sutelktoji upių tarša darbe naudota kaip tyrimo objekto atrankos kriterijus. Sutelktosios taršos veikiamos upės parodo, kuriose Lietuvos nuotekų valyklose reikalingas tretinis nuotekų valymas. Taip pabrėžiamas tretinio nuotekų valymo taikymo aktualumas Lietuvos mastu bei jo svarba upių ekologinės būklės gerinimui. Poveikio priimtuvui vertinimas pagal bendrąjį azotą ir bendrąjį fosforą atliekamas nuotekų valykloms, kurių aglomeracijos dydis viršija 2 000 EGS. Tretinio nuotekų valymo taikymo NVĮ tikslas yra sumažinti komunalinių nuotekų išleistuvų poveikį sutelktosios taršos veikiamoms upėms, kurių vandens kokybė nesiekia labai geros arba geros ekologinės būklės kriterijų.

Tyrimo tikslas – atrinkti pagal sutelktosios taršos paveiktas upes konkrečius išleistuvus, galimai darančius didžiausią neigiamą poveikį jų ekologinei būklei, atlikti šių upių poveikio priimtuvui vertinimą pagal skirtingą miestų/gyvenviečių dydį bei nustatyti, kurioms konkrečioms Lietuvos nuotekų valykloms, kurių EGS didesnis negu 2 000, rekomenduojamas tretinis nuotekų valymas.

2.1.1. Tyrimo eiga

Remiantis literatūros analizės rezultatais, iš analizuotų 117 Lietuvos upių geros būklės reikalavimų neatitinka 32 upės, kurios yra veikiamos sutelktosios taršos. Naudojantis nuotekų tvarkymo apskaitos išleistuvų sąvadu, pateiktu vadovaujantis Vandens naudojimo ir nuotekų tvarkymo apskaitos tvarkos aprašu (Lietuvos Respublikos...2012), atrinkti komunalinių nuotekų išleistuvai į visas 32 sutelktosios taršos paveiktas Lietuvos upes, o pagal juos atrinktos konkrečios nuotekų valyklos.

Atsižvelgiant į tai, kad poveikio priimtuvui vertinimas atliekamas ne visoms nuotekų valykloms, atrinkti išleistuvai, kurie nuotekas šalina iš aglomeracijų, didesnių negu 2 000 EGS. Atrinktų NVĮ išleistuvai suskirstyti pagal Nuotekų tvarkymo reglamento 2 lentelėje pateiktus aglomeracijų dydžius – ekvivalentinį gyventojų skaičių:

- 2 000–10 000 EGS,
- 1 0000–100 000 EGS,
- >100 000 EGS.

Remiantis NTR, kiekvienam į upes nuotekas išleidžiančiam išleistuvui, kurio vidutinis paros kiekis viršija 100 m³/d arba nuotekų šaltinio dydis viršija 1 000 EGS, turi būti atliktas poveikio

priimtuvui vertinimas. Poveikis paviršiniam vandens telkiniui vertinamas pagal BDS₇, bendrą azotą ir bendrą fosforą. NTR 2 lentelėje nurodytos didžiausios leistinos į paviršinius vandens telkinius išleisti teršalų koncentracijų vertės (1.1 skyrius, 1.1 lentelė).

2.1.2. Poveikio priimtuvui vertinimo skaičiavimai

Poveikio priimtuvui vertinimas skaičiuotas vadovaujantis NTR pateiktomis 2.1 ir 2.2 formulėmis. Kai nuotekos išleidžiamos į upę, BDS koncentracija vidutiniame paros arba momentiniame mėginyje, kuriai esant nebus viršytas leistinas poveikis priimtuvui, apskaičiuojama pagal formulę:

$$C_{nuot} = \frac{1,1 \cdot C_{upes(DLK)} \cdot Q_{nuotekų} + 360 \cdot C_{upes(DLK)} \cdot Q_{upes}}{Q_{nuotekų}}, \text{ mg/l} \quad (2.1)$$

Šioje formulėje:

$C_{nuotekų}$ – didžiausia BDS₇ koncentracija vidutiniame paros arba momentiniame nuotekų mėginyje, kuriai esant dar nebus viršijamas leistinas poveikis priimtuvui, mg/l;

$C_{upes(DLK)}$ – DLK pagal BDS₇ priimtuve (reikalavimai gerai priimtovo būklei, pateikti Literatūros apžvalgos 1.2.1 skyriaus 1.2 lentelėje), kuri lygi 3,30 mg/l;

$Q_{nuotekų}$ – išleidžiamų nuotekų didžiausias skaičiuotinas valandinis debitas (sausu metu), m³/h;

Q_{upes} – minimalus vasaros – rudens nuosėkio 80 % tikimybės 30 sausiausių parų iš eilės vidutinis vandens debitas nuotekų išleidimo vietoje, m³/s (apskaičiuojama vadovaujantis Gamtosauginio vandens debito apskaičiavimo tvarkos aprašu, patvirtintu aplinkos ministro 2005 m. liepos 29 d. įsakymu Nr. D1-382 (Žin., 2005, Nr. 94-3508)). Minimalų vasaros – rudens nuosėkio 80 % tikimybės 30 sausiausių parų iš eilės vidutinį vandens debitą gali nustatyti asmenys, turintys teisę projektuoti hidrotechnikos statinius ir/arba vykdyti hidrologinius matavimus / skaičiavimus.

Metinė apkrova pagal N ir P, kuriai esant nebus viršytas leistinas poveikis priimtuvui:

$$T_{n.Nb} = \frac{1,1 \cdot C_{upes(DLK)} \cdot Q_{nuotekų,metus} + 0,1 \cdot C_{upes(DLK)} \cdot Q_{upes}}{1000}, \text{ t/metus} \quad (2.2)$$

Šioje formulėje:

T_n – metinė apkrova N arba P, kuriai esant nebus viršytas leistinas poveikis priimančiam vandens telkiniui, t/metus;

$C_{upes(DLK)}$ – N arba P DLK priimtuve (reikalavimai gerai priimtovo būklei, pateikti Literatūros apžvalgos 1.2.1 skyriaus 1.2 lentelėje), kuri lygi 3,0 mg/l N ir 0,14 mg/l P;

$Q_{nuotekų}$ – per metus išleidžiamų nuotekų kiekis, tūkst. m³/metus;

Q_{upes} – vidutinis daugiamečių priimtovo nuotėkis nuotekų išleidimo vietoje, tūkst. m³/metus. Vidutinį daugiamečių priimtovo nuotėkį gali nustatyti asmenys, turintys teisę vykdyti hidrologinius matavimus/skaičiavimus.

Nustatyta leistina apkrova (T_n), kuriai esant nedaromas neigiamas poveikis priimtuvui, padalyta iš planuojamo per metus išleisti nuotekų kiekio ir gauta priimtuvui priimtina vidutinė metinė teršalo koncentracija nuotekose (Lietuvos Respublikos...2006).

2.2. Tretinio nuotekų valymo bandymo metodika

Pirmojoje bandymo metodikos dalyje atrinktos nuotekų valykloms, kuriose privalu diegti tretinį valymą tam, kad būtų pagerinta sutelktosios taršos veikiamų upių ekologinė būklė, siūlomas biologinės filtracijos taikymas. Bandymo stendas sumontuotas Nemenčinės nuotekų valyklos techninėje patalpoje, siekiant užtikrinti nepertraukiamą nuotekų tiekimą. Patalpoje bandymo metu palaikyta ne žemesnė kaip 5 °C temperatūra.

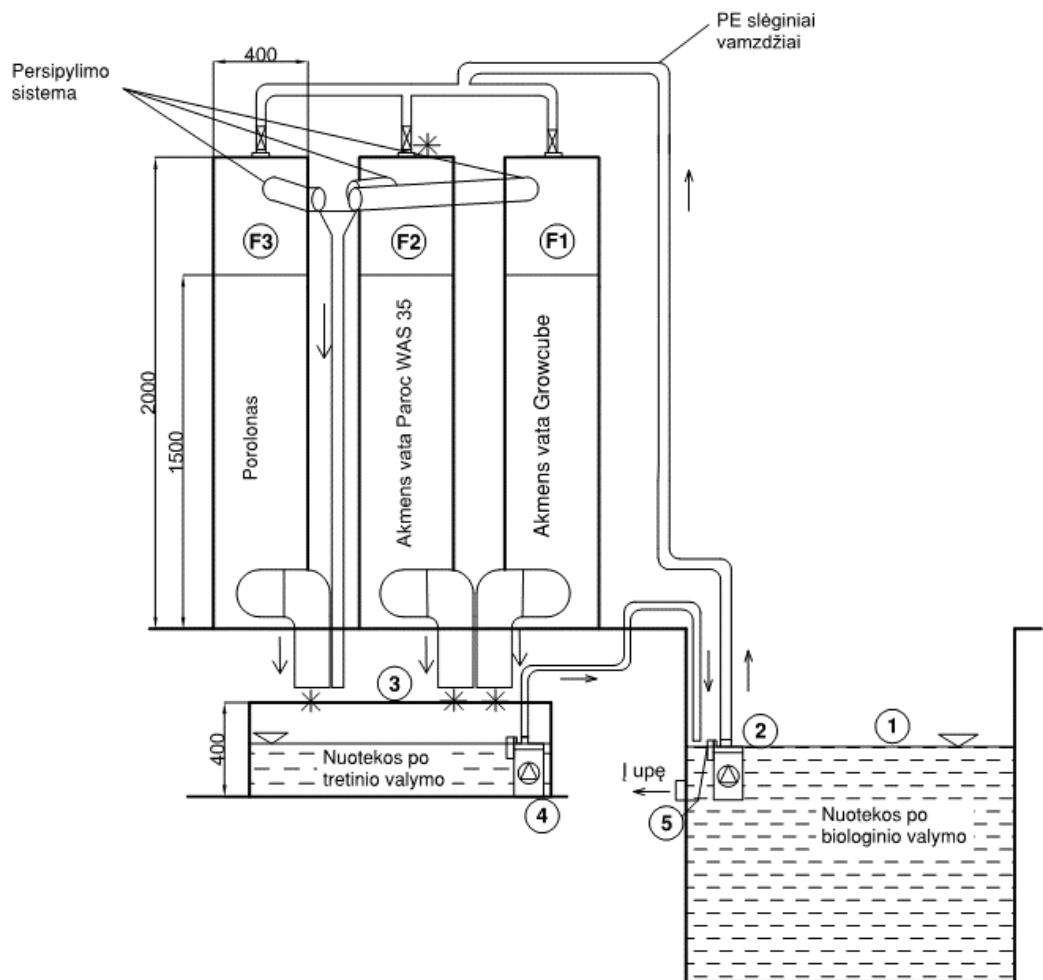
Bandymo tikslas – ištirti tretinio nuotekų valymo grandyje taikomos biologinės filtracijos efektyvumą naudojant tris skirtingus užpildus ir palaikant nepertraukiamą biologiniu būdu valytų nuotekų tiekimo režimą.

2.2.1. Bandymo eiga

Tretinio nuotekų valymo bandymui skirtas bandomasis stendas susideda iš trijų laistomųjų filtrų (F1–F3), nuotekų tiekimo į filtrus siurblio (2), filtruotų nuotekų surinkimo talpos (3) ir filtruotų nuotekų grąžinimo į rezervuarą siurblio (4) (2.1 pav. ir 2.2 pav.).



2.1 pav. Tretinio nuotekų valymo bandomasis stendas



2.2 pav. Principinė tretinio nuotekų valymo filtrų schema: F1, F2, F3 – bandomieji filtrai, 1 – nuotekų po biologinio valymo rezervuaras, 2 – nuotekų tiekimo siurblys, 3 – nuotekų surinkimo talpa, 4 – nuotekų grąžinimo į rezervuarą siurblys, 5 – nuotekų išteklėjimo latakas, * mėginių ėmimo vieta

Bandymo metu nuotekos po biologinio valymo iš rezervuaro (1), siurbliu (2) tiekios PE slėginiais vamzdžiais ir paskirstytos į tretinio valymo filtrus. Nuotekos ant įkrovos paskirstomos ištaškymo principu vandens išleidimo iš slėginio vamzdžio vietoje įrengus srauto paskirstymo plokštelę (2.3 pav.). Filtruotos nuotekos savitaka išbėga į surinkimo talpą (3), iš kurios siurbliu (4) tiekiamos į valytą nuotekų rezervuare (1) esantį nuotekų išteklėjimo lataką (5) (2.2 pav.)



2.3 pav. Nuotekų paskirstymo ant įkrovos paviršiaus sistema

Bandymo metu filtruose tirti užpildai plačiau aprašyti 2.2.2 skyriuje. Kiekvieno filtro skersmuo – 380 mm, o aukštis – 2000 mm. Bandymo metu filtrai nebuvo apsemti. Visuose filtruose įrengtas palaikantysis sluoksnis užpildui (2.4 pav.). Jo paskirtis – išvengti filtrų užsikimšimo bei nuotekų užsilaikymo filtrų dugne.



2.4 pav. Užpildą palaikančiojo sluoksnio konstrukcija

Kiekviename filtre palaikyta vienoda paviršiaus apkrova. Pasirinkta minimali literatūroje rekomenduojama jos reikšmė – $0,07 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{min}$ (Tchobanoglous *et al.* 2014). Šiuo tikslu ventiliais sureguliuotas nuotekų tiekimo į kiekvieną filtrą debitas, kuris matuotas tūriniu metodu. Į filtrus tiekto ir palaikyto debito bei apkrovos reikšmės pateiktos 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Į filtrus tiekiamo debito ir apkrovos reikšmės

Parametras	Į tris filtrus	Į vieną filtrą
Apkrova, $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{min}$	0,21	0,07
Debitas, m^3/h	1,4	0,47

Filtrų veikimo efektyvumui įtakos turi tūrinė filtrų užpildo apkrova teršalais. Pastebėjus jos padidėjimą, filtrai stabdyti tam, kad būtų išvengtas jų užsinešimas dumbly. Filtrų darbas tęstas stabilizavusis įtekančių nuotekų teršalų koncentracijoms. Dėl padidintos filtrų apkrovos teršalai yra išnešami iš filtrų, todėl norint palaikyti efektyvų filtrų darbą, būtina palaikyti nustatyti didžiausią galimą filtrų apkrovą teršalais. Filtrų užpildų tūrinė apkrova teršalais apskaičiuota pagal formulę:

$$A_i = \frac{C_i \cdot Q_{d.vid}}{V}, \text{ kg teršalo} / \text{m}^3 / \text{d}; \quad (2.3)$$

čia: C_i – valomų nuotekų užterštumas pagal vieną iš rodiklių, mg/l ;

$Q_{d.vid}$ – vidutinis paros nuotekų debitas, m^3/d ;

V – filtro užpildo tūris, m^3 .

Bandymo metu buvo vertintas filtrų teršalų šalinimo efektyvumas. Jis apskaičiuotas taikant formulę:

$$E = \frac{(c_{it} - c_{išt}) \cdot 100}{c_{it}}, \%; \quad (2.4)$$

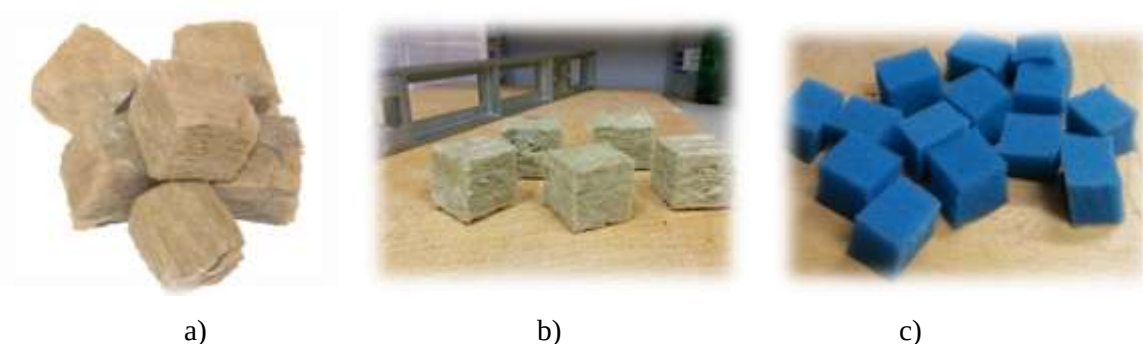
čia: c_{it} – teršalo koncentracija įtekančiose nuotekose, mg/l ;

$c_{išt}$ – teršalo koncentracija ištekančiose nuotekose, mg/l.

Gauti bandymų rezultatai apibendrinti ir pateikti lentelėse ir grafiniu būdu 3.2 skyriuje.

2.2.2. Tirti užpildai

Bandymo metu filtro F1 užpildui naudoti $10 \times 10 \times 10$ mm dydžio akmens vatos *Growcube* kubeliai (2.5 pav., a). Taikomų kubelių matmenys galėtų būti ir didesni (iki $30 \times 30 \times 30$ mm), tačiau nurodytą medžiagą pavyko įsigyti tik tokių matmenų. Įkrova pasižymi dideliu vandens įmirkiu, geru oro pralaidumu ir gebėjimu ilgainiui išlaikyti savo struktūrą bei formą (2.2 lentelė). Dėl šių savybių ji tinkama ne tik mechaninei filtracijai skendinčiosioms medžiagoms šalinti, tačiau ir biologinei filtracijai – organiniams ir azoto teršalams šalinti. *Growcube* užpildas pasirinktas norint ištirti, ar įkrova gali būti taip pat sėkmingai taikoma biologinei filtracijai tretinio valymo grandyje, kai nuotekos tiekiamos ne periodiškai (Kirjanova 2014), bet nuolatos.



2.5 pav. Tiriamosios įkrovos: a) akmens vata *Growcube*; b) akmens vata *Paroc WAS 35*; c) porolonas

Antrajame filtre F2 užpildui naudota akmens vata *Paroc WAS 35*, supjaustyta $30 \times 30 \times 30$ mm dydžio kubeliais (2.5 pav., b). Ši įkrova, priešingai nei pirmoji, pasižymi atsparumu vandeniui bei nedideliu įmirkiu, tačiau taip pat geba ilgainiui išlaikyti savo struktūrą bei formą (2.2 lentelė).

Trečiajame filtre F3 užpildu pasirinktas porolonas. Jis pasirinktas todėl, kad norėta palyginti skirtingo tankio ir įmirkio medžiagas. Porolonas supjaustytas $30 \times 30 \times 30$ mm dydžio kubeliais (2.5 pav., c). Ši įkrova, palyginti su minėtosiomis anksčiau, pasižymi tiek nedideliu vandens įmirkiu, tiek mažesniu tankiu, tiek polinkiu keisti formą jai sušlapus. Be to, ji nėra brangi, lengviau įsigijama (2.2 lentelė).

2.2 lentelė. Įkrovų techninės charakteristikos

Filtrai	Filtrai F1	Filtrai F2	Filtrai F3
Įkrova	Akmens vata <i>Growcube</i>	Akmens vata <i>Paroc WAS 35</i>	Porolonas
Dydis (mm)	10 x 10 x 10	30 x 30 x 30	30 x 30 x 30
Sausos įkrovos tūris (m ³)	0,170	0,170	0,170

Filtras	Filtras F1	Filtras F2	Filtras F3
Sausos įkrovos svoris (kg)	7,89	7,9	2,275
Sausos įkrovos aukštis (mm)	1500	1500	1500
Tankis (sausos) (kg/m ³)	46,41	46,47	13,38
Ilgalaikis įmirkis, %	92,4*	60,4*	26,0*

* Nustatyta VGTU Vandentvarkos inžinerijos katedros laboratorijoje (LST EN 12087:2013)

Atsižvelgiant į literatūroje rekomenduojamus laistomųjų filtrų užpildų aukščius, pasirinktas sausos įkrovos aukštis – 1500 mm (Tchobanoglous *et al.* 2014).

2.3.3. Cheminės nuotekų analizės

Bandomajame stende numatytos 4 vietos nuotekų mėginiams imti (2.2 pav.). Į filtrus tiekiamų ir iš jų šalinamų nuotekų mėginiai imti įvertinus nuotekų filtravimo juose trukmę. Iš viso paimta po 17 mėginių: vienas prieš filtrus ir po vieną po kiekvieno filtro. Nuotekų mėginiuose nustatytos SM, BDS₇, ChDS, NO₃⁻-N, NH₄⁺-N ir PO₄³⁻-P koncentracijos, nuotekų temperatūra ir pH. Padidintos koncentracijų reikšmės statistinio apdorojimo metu buvo atmestos ir teršalų šalinimo efektyvumo analizėje nenaudotos. Cheminių nuotekų analizių metodai pateikti 2.3 lentelėje.

2.4 lentelė. Nustatytų nuotekų teršalų cheminių analizių metodai

Teršalo pavadinimas arba nuotekų parametras	Nuotekų analizės metodas
Skendinčiosios medžiagos	Košimo pro stiklo pluošto koštuvą metodas (LAND 46-2007)
Biocheminis deguonies suvartojimas (BDS ₇)	Skiedimo ir sėjimo, pridėjus aliltiokarbamido, metodas (LAND 47-1:2007)
Cheminis deguonies suvartojimas	Titrimetriniu metodu (LAND 83-2006)
Amonio azotas	Spektrofotometriniu metodu, naudojant nitrato azoto nustatymo „Spectroquant“ testą
Nitrato azotas	Spektrofotometriniu metodu, naudojant amonio nitrato nustatymo „Spectroquant“ testą
Ortofosfatų fosforas	Spektrofotometriniu metodu, naudojant fosfatų fosforo nustatymo „Spectroquant“ testą
Nuotekų pH	Daugiafunkciniu elektrocheminiu matuokliu ar pH-metru

Teršalo pavadinimas arba nuotekų parametras	Nuotekų analizės metodas
Nuotekų temperatūra	Termometru

Mėginiai imti kartą per savaitę ir tirti VGTU Vandentvarkos inžinerijos katedros mokomojoje laboratorijoje ir UAB „Grinda“ laboratorijoje.

3. BANDYMO REZULTATAI

3.1. Poveikio priimtuvui vertinimo pagal skirtingą miestų/gyvenviečių dydį rezultatai

Viso atrinkti 69 komunalinių nuotekų išleistuvai, išleidžiantys nuotekas į 32 geros ekologinės būklės neatitinkančias upes. Pagal juos atrinkti konkretūs nuotekų valymo įrenginiai, kurie galimai tiesiogiai teršia upę išleisdami nepakankamai išvalytas nuotekas.

Atrankos metu atmestos dvi nuotekų valyklos (Kretingos NVĮ ir Elektrėnų – Vievio NVĮ), kuriose jau taikoma tretinio nuotekų valymo grandis. Be pastarųjų, atrinkta 15 išleistuvų, šalinančių nuotekas iš aglomeracijų, didesnių negu 2 000 EGS. Atliktų poveikio priimtuvui pagal BDS₇, bendrojo azoto ir bendrojo fosforo koncentracijas skaičiavimų rezultatai pateikti 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. Atrinktų Lietuvos nuotekų valymo įrenginių (didesnių negu 2 000 EGS) poveikio priimtuvui skaičiavimo rezultatai

NVĮ dydis GE	NVĮ pavadinimas	Priimtovo pavadinimas (upė)	C _{nuotekų} BDS ₇ , mg/l *	Vidutinio paros mėginio BDS ₇ DLK, mg/l	C _{nuotekų} N _b , mg/l *	Vidutinė metinė N _b DLK, mg/l	C _{nuotekų} P _b , mg/l *	Vidutinė metinė P _b DLK, mg/l
2 000 < GE < 10 000	Kazlų Rūdos NVĮ	Jūrė	8,23	29 (12)	53,53	20	2,50	2
	Kybartų NVĮ	Liepona	5,17		19,26		0,90	
	Švenčionių NVĮ	Mera – Kūna	5,80		30,61		1,43	
	Skaidiškių NVĮ	Nemėža	10,58		393,77		18,38	
	Akmenės NVĮ	Dabikinė	10,52		607,11		28,33	
	Nemėžio NVĮ	Nemėža	11,41		460,24		21,48	
	Krekenavos NVĮ	Nevėžis	11,83		1740,60		81,23	
	Juodupės NVĮ	Juodupė	10,17		330,79		15,44	
10 000 < GE < 100 000	Varėnos NVĮ	Derėžnyčia	4,37	17 (10)	11,14	15 (10)	0,52	2 (1)
	Joniškio NVĮ	Sidabra	4,25		9,37		0,44	
	Kėdainių NVĮ	Nevėžis	9,62		76,95		3,59	
	Rokiškio NVĮ	Laukupė	8,43		47,03		2,19	
	Radviliškio NVĮ	Obelė	3,87		5,74		0,27	
	Kaišiadorių NVĮ	Lomena	4,75		13,50		0,63	
> 100 000 GE	Panevėžio NVĮ	Nevėžis	4,26		7,46	10 (10)	0,35	1 (0,5)

* C_{nuotekų} – didžiausia BDS₇, N_b arba P_b koncentracija vidutiniame paros arba momentiniame nuotekų mėginyje, kuriai esant dar nebus viršijamas leistinas poveikis priimtuvui.

Atrinkti 8 išleistuvai, priklausantys aglomeracijoms, kurių EGS viršija 2 000, tačiau nesiekia 10 000, 6 išleistuvai – aglomeracijoms, kurių EGS viršija 10 000, tačiau ne didesnis kaip 100 000, ir 1 išleistas – aglomeracijai, kurios EGS viršija 100 000. Tuo tarpu likę 52 išleistuvai

priklauso aglomeracijoms, mažesnėms negu 2 000 EGS. Remiantis gautais rezultatais galima daryti prielaidą, kad didžiąją sutelktosios taršos dalį sudaro išleistuvai iš mažųjų NVĮ. Mažųjų NVĮ, kurių EGS virš 1 000 (tačiau nesiekia 2 000) poveikio priimtuvui vertinimas nebuvo atliktas, kadangi skaičiavimams atlikti reikalingi duomenys gali būti apskaičiuojami tik asmenų, turinčių teisę vykdyti hidrologinius matavimus/skaičiavimus, kurių paslaugos yra mokamos.

Viso sutelktoji tarša iš Lietuvos didžiųjų nuotekų valymo įrenginių neigiamą poveikį sukelia dvylikos Lietuvos upių ekologinei būklei (3.1 pav.). Iš to galima daryti prielaidą, kad likusios 20 upių teršiamos mažųjų nuotekų valymo įrenginių (mažesni negu 2 000 EGS).



3.1 pav. Sutelktosios taršos komunalinių išleistuvų (didesnių negu 2 000 EGS aglomeracijų) veikiamos upės (Maps.lt)

Poveikio priimtuvui skaičiavimams naudotos upių vidutinių debitų reikšmės, iš kurių preliminariai išskaičiuotos reikiamos reikšmės, kadangi dėl anksčiau minėtų priežasčių jų gauti nepavyko.

Atsižvelgiant į tai, kad nuotekų tvarkymo reglamento 2 lentelėje (1.1 skyrius 1.1 lentelė) nuotekų valykloms, kurių aglomeracijos dydis patenka į intervalą nuo 2 000 EGS iki 10 000 EGS, nurodyta didžiausia leistina išleisti į priimtuvą BDS₇ koncentracijos vertė 29 mg O₂/l, o nuotekų valykloms, kurių aglomeracijos dydis viršija 10 000 EGS – 17 mg O₂/l, matoma, kad visoms atrinktosioms upėms turi būti taikomos griežtesnės, apskaičiuotos (konkrečiam priimtuvui priimtinos) koncentracijos.

Tuo tarpu bendrojo azoto didžiausios leistinos koncentracijos vertė nuotekų valykloms, kurių aglomeracijos EGS mažesnis negu 10 000, nustatyta 20 mg N/l (1.1 skyrius 1.1 lentelė). Kai apskaičiuota poveikio priimtuvui koncentracija yra mažesnė arba lygi 20 mg/l, leistina koncentracija nustatoma lygiai 20 mg/l (Lietuvos Respublikos...2006). Tokia koncentracija taikoma tik vienai iš atrinktųjų nuotekų valyklų – Švenčionių NVĮ. Nuotekų valykloms, kurių aglomeracijos EGS viršija 10 000, tačiau nesiekia 100 000, nurodyta 15 mg N/l bendrojo azoto DLK vertė (1.1 skyrius 1.1 lentelė). Šiuo atveju, apskaičiuotos koncentracijos reikšmės dėl poveikio priimtuvui yra griežtesnės 4 iš 6 NVĮ – Varėnos, Joniškio, Radviliškio ir Kaišiadorių. Didesnių nei 100 000 EGS aglomeracijų bendrojo azoto DLK vertė nustatyta 10 mg N/l (1.1 skyrius 1.1 lentelė). Atrinktajam Panevėžio NVĮ išleistuvui apskaičiuota poveikio priimtuvui koncentracija griežtesnė negu 10 mg/l. Taigi, siekiant pagerinti priimtovo vandens kokybę pagal bendrąjį azotą, iš 15 vertintų nuotekų valymo įrenginių – 6-iose jų turėtų būti mažinamos bendrojo azoto koncentracijos išleidžiamose nuotekose.

Bendrojo fosforo didžiausios leistinos koncentracijos vertė nuotekų valykloms, kurių aglomeracijos EGS mažesnė negu 10 000, nustatyta 2 mg P/l (1.1 skyrius 1.1 lentelė). Kai apskaičiuota poveikio priimtuvui koncentracija yra mažesnė arba lygi 2 mg/l, leistina koncentracija nustatoma lygiai 2 mg/l (Lietuvos Respublikos...2006). Tokia koncentracija taikoma dviem atrinktosioms nuotekų valykloms – Kybartų NVĮ ir Švenčionių NVĮ. Nuotekų valykloms, kurių aglomeracijos EGS viršija 10 000, tačiau nesiekia 100 000, nurodyta 2 mg P/l bendrojo fosforo DLK vertė (1.1 skyrius 1.1 lentelė). Apskaičiuotos poveikio priimtuvui koncentracijos griežtesnės tiems patiems, kaip ir bendrajam azotui, nuotekų valymo įrenginiams – Varėnos, Joniškio, Radviliškio ir Kaišiadorių. Didesnių nei 100 000 EGS aglomeracijų bendrojo fosforo DLK vertė nustatyta 1 mg N/l (1.1 skyrius 1.1 lentelė). Atrinktajam Panevėžio NVĮ išleistuvui apskaičiuota poveikio priimtuvui koncentracija griežtesnė negu 1 mg/l. Taigi, siekiant pagerinti priimtovo vandens kokybę pagal bendrąjį fosforą, iš 15 vertintų nuotekų valymo įrenginių – 7-iose jų turėtų būti mažinamos bendrojo fosforo koncentracijos išleidžiamose nuotekose.

Svarbu atkreipti dėmesį į didžiausiam išvalymo laipsniui nustatytas mažiausias galimas leistinos koncentracijos vertes. Nuolat griežtėjant išleidžiamų nuotekų išvalymo rodikliams, turėtų būti naikinamas mažiausios leistinos koncentracijos ribojimas ir išleidžiamoms nuotekoms taikomos apskaičiuotos poveikio priimtuvui koncentracijų reikšmės. Tai padėtų užtikrinti paviršinių vandenų gerą ar netgi labai gerą ekologinę būklę.

Taigi, remiantis atlikta NVĮ atranka ir poveikio priimtuvui skaičiavimais nustatyta, kad 15 – oje didžiųjų Lietuvos nuotekų valyklų reikia diegti tretinį valymą kaip vieną iš priemonių, gerinančių išleidžiamų į paviršinius vandenis nuotekų kokybę bei tokiu būdu apsaugant upės ekologinę būklę. Atsižvelgiant į apskaičiuotų leistinų koncentracijų vertes bei poreikį konkrečioms

nuotekų valykloms papildomai valyti nuotekas tik nuo organinių medžiagų, nuo organinių ir fosforo ir nuo organinių ir biogeninių medžiagų, gali būti tinkamai parinkta tretinio nuotekų valymo grandies technologija.

3.2. Tretinio nuotekų valymo tyrimų rezultatai

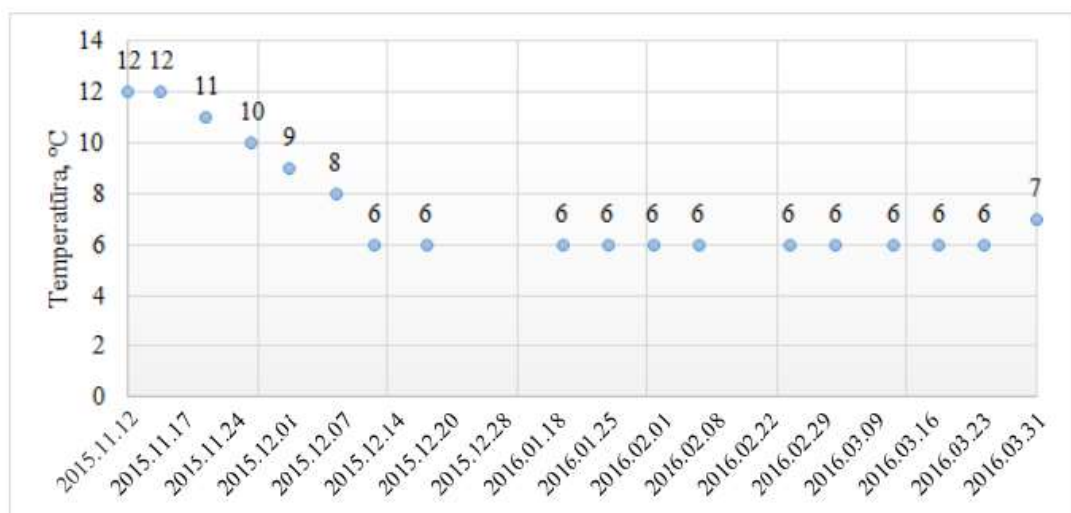
Pradėjus į filtrus tiekti nuotekas, stebėtas įkrovų *Growcube* ir porolono aukščių sumažėjimas. *Growcube* įkrovos sumažėjimas pagrįstas dideliu jos įmirkiu. Tuo tarpu porolono įkrova, pasižyminti mažiausiu tirtų įkrovų įmirkiu, sumažėti galėjo dėl medžiagos savybės keisti formą jai sušlapus (2.2.2 skyrius, 2.3 lentelė). Įkrovos *Paroc WAS 35* aukštis dėl mažo jo įmirkio nepakito (3.2 lentelė).

3.2 lentelė. Filtrų įkrovų aukštis prieš nuotekų tiekimą ir tyrimo metu

Parametras	<i>Growcube</i>	<i>Paroc WAS 35</i>	Porolonas
Įkrovos aukštis prieš nuotekų tiekimą, mm	1500	1500	1500
Įkrovos aukštis tyrimo metu, mm	1050	1500	950
Įkrovos aukščio sumažėjimas, %	30	0	36,7

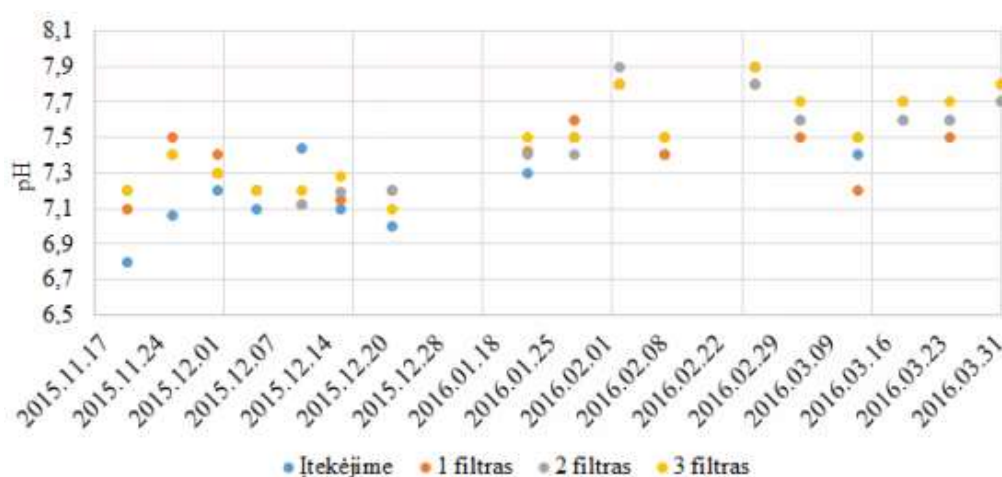
Nemenčinės nuotekų valykloje bandymo metu buvo rekonstruojama trečioji biologinio valymo sekcija, todėl nuotekų valymas vyko tik dvejose sekcijose. Padidėjus valomų nuotekų kiekiui lietaus ar polaidžio metu, padidinta tiek hidraulinė apkrova, tiek apkrova teršalais trikdė filtrų veikimą. Tyrimo metu nuotekų tiekimas į filtrus nutrauktas 5 kartus: tris kartus po parą dėl nuo 2,4 iki 2,8 karto padidėjusios SM koncentracijos į filtrus tiekiamose nuotekose, vieną kartą 15 parų dėl žemos aplinkos temperatūros, kuri nakties metu siekė $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, ir su ja susijusių filtrų eksploatavimo galimybių, esant didelei neapšildinto nuotekų tiekimo vamzdyno užšalimo galimybei, bei vieną kartą parai dėl nuotekas į filtrus tiekiančio siurblio gedimo.

Į bandomąjį stendą atitekančių nuotekų temperatūra kito nuo $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Iš 3.2 paveikslo matyti, kad nuotekų temperatūra nuo lapkričio 12 d. krito ir po 5 savaičių, gruodžio 17-ąją dieną stabilizavosi ties $6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tokia nuotekų temperatūra išsilaikė per visą bandymo laikotarpį, o paskutinę bandymo dieną (2016 m. kovo 31 d.) išmatuotas jos pakilimas iki $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ dėl šiltėjančių orų. Temperatūra bandymo metu 11 savaičių iš eilės buvo pastovi ir nekito, todėl poveikio tyrimų rezultatams neturėjo.



3.2 pav. Tiekų į filtrus nuotekų temperatūra bandymo metu

Bandymo metu taip pat matuotas įtekančių ir ištekančių nuotekų pH (3.3 pav.).



3.3 pav. Įtekančių į filtrus ir ištekančių iš kiekvieno filtro nuotekų pH bandymo laikotarpiu

Įtekančių nuotekų pH vidurkis bandymų metu siekė 7,38, o ištekančių nuotekų iš pirmojo filtro su akmens vatos *Growcube* įkrova pH siekė 7,43, antrojo filtro su *Paroc WAS 35* įkrova – 7,45 ir trečiojo filtro su porolono įkrova – 7,49. Atsižvelgiant į tai, kad įtekančių ir ištekančių nuotekų pH vidurkliai viso bandymo metu buvo panašūs, galima teigti, kad pH įtakos teršalų šalinimui iš nuotekų neturėjo.

Nuotekų mėginių ėmimas. Bandymas truko 149 dienas (2015 m. lapkričio 3 d. – 2016 m. kovo 31 d.). Visu šiuo laikotarpiu imti momentiniai mėginiai. Pirmasis analizei paimtas mėginys praėjus 14 parų nuo nuotekų tiekimo pradžios (lapkričio 17 d.), nes po tokio laikotarpio rezultatai tapo stabilūs ir filtruose prasidėjo ne tik mechaninis, bet ir biologinis teršalų šalinimas. Užterštumo rodiklių prieš filtraciją ir po jos reikšmių statistinio apdorojimo rezultatai pateikti 3.3 lentelėje.

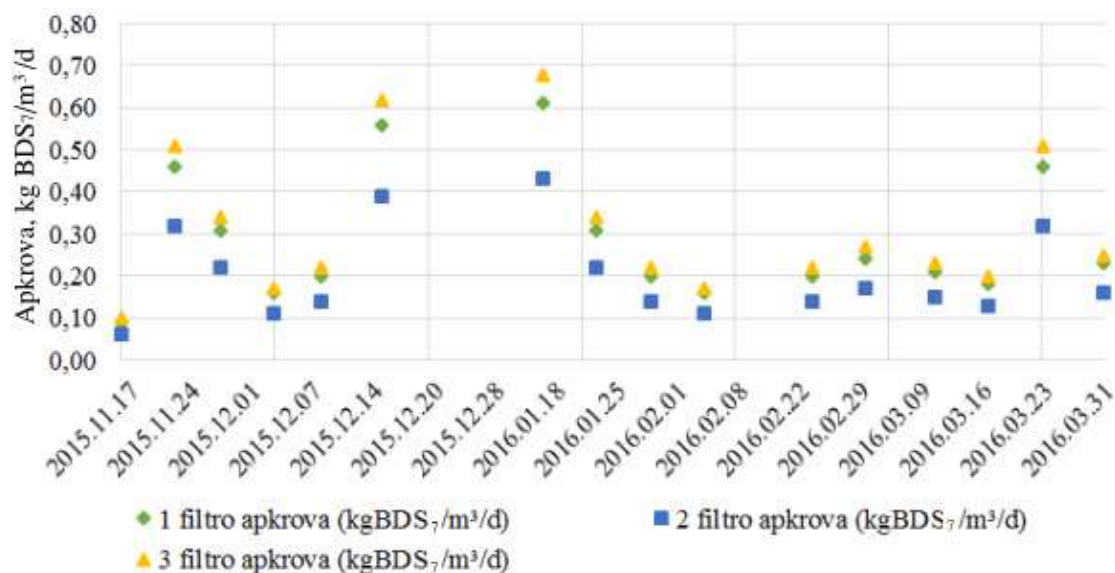
3.3 lentelė. Užterštumo rodiklių prieš filtraciją ir po jos reikšmių statistinio apdorojimo rezultatai

Parametras	ChDS, mg/l	BDS ₇ , mg/l	SM, mg/l	NO ₃ ⁻ -N, mg/l	NH ₄ ⁺ -N, mg/l	PO ₄ ³⁻ -N, mg/l
Prieš filtraciją						
Vidutinė reikšmė	75,8	8,7	16,1	10,2	20,2	8,9
Maksimali reikšmė	115,0	13,0	25	24,6	38,0	12,0
Minimali reikšmė	58,0	3,8	6,5	1,6	6,7	4,9
Standartinis nuokrypis	19,9	2,6	5,5	7,4	9,8	2,1
Imties reikšmių skaičius	17	16	17	17	17	17
Po filtracijos (F1, įkrova <i>Growcube</i>)						
Vidutinė reikšmė	63,8	6,8	9,2	8,8	15,9	6,9
Maksimali reikšmė	97,0	10,2	14,1	21,2	30,0	9,2
Minimali reikšmė	42,0	2,9	3,5	1,4	5,2	3,9
Standartinis nuokrypis	17,1	2,1	3,2	6,4	9,3	1,6
Imties reikšmių skaičius	17	16	17	17	17	17
Po filtracijos (F2, įkrova <i>Paroc WAS 35</i>)						
Vidutinė reikšmė	64,9	7,0	10,9	8,8	16,7	6,9
Maksimali reikšmė	97,3	18,0	18,5	21,1	31,5	9,2
Minimali reikšmė	42,5	5,7	3,5	1,4	5,5	4,0
Standartinis nuokrypis	16,5	5,0	5,4	6,4	8,1	1,6
Imties reikšmių skaičius	17	16	17	17	17	17
Po filtracijos (F3, porolonas)						
Vidutinė reikšmė	65,3	7,2	11,0	9,4	17,3	7,5
Maksimali reikšmė	97,8	11	20,0	22,5	32,3	10,1
Minimali reikšmė	42,0	3,2	4,2	1,5	5,9	4,2
Standartinis nuokrypis	16,8	2,2	6,3	6,8	8,4	1,8
Imties reikšmių skaičius	17	16	17	17	17	17

Iš viso atlikta 10 ChDS koncentracijos analizių. Jos nutrauktos, kadangi neliko galimybės šioms analizėms atlikti. Toliau apskaičiuotos preliminarios reikšmės pagal iki tol gautų BDS₇ ir ChDS analizių reikšmių santykį.

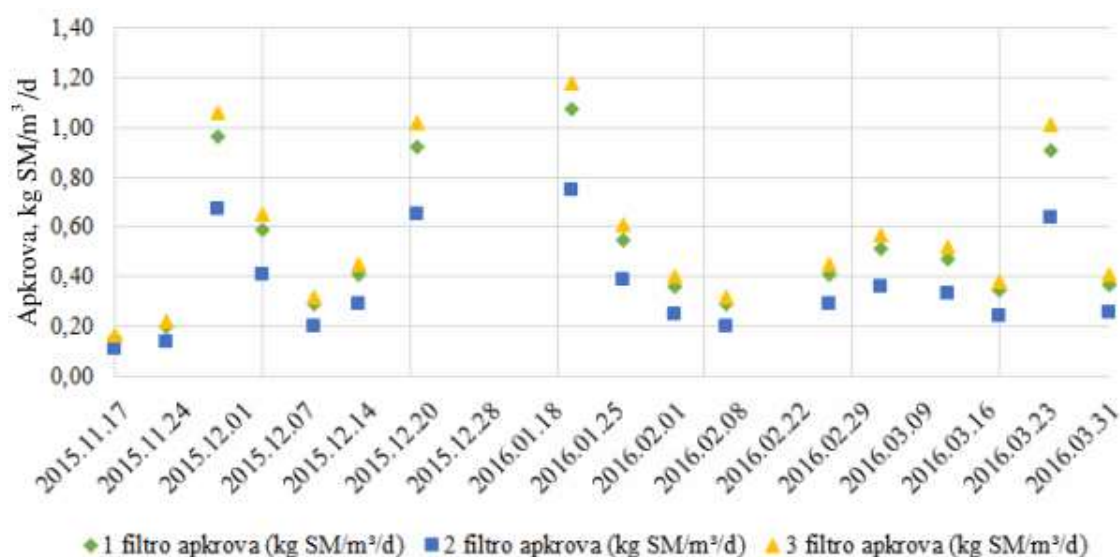
3.2.1. Tūrinės laistomųjų filtrų apkrovos rezultatai

Analizuotas BDS₇ apkrovos kitimas tyrimo metu (3.4 pav.).



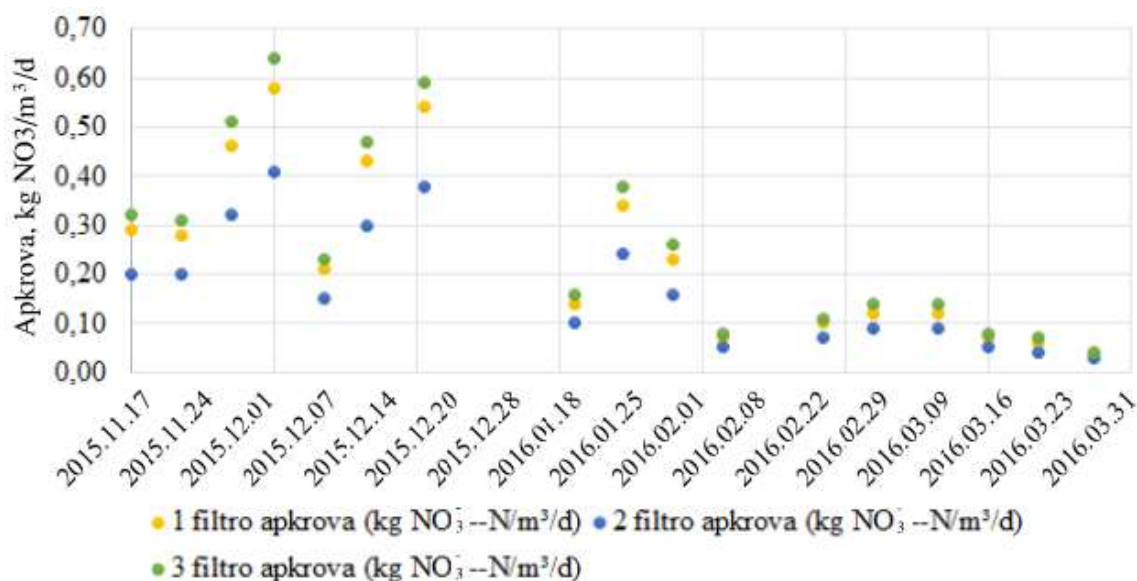
3.4 pav. Filtrų F1, F2, F3 tūrinė apkrova BDS₇ bandymo laikotarpiu

Iš 3.4 paveikslo matyti, kad bandymo laikotarpiu vyko trys apkrovos pagal BDS₇ padidėjimai. Apkrova filtruose kito nepriklausomai nuo to, koks užpildo tūris. Palyginus visų trijų filtrų užpildų apkrovas teršalais, didžiausias 0,32 kg BDS₇/m³/d apkrovos vidurkis buvo 3-ajame filtre F3 su porolono užpildu dėl sumažėjusio įkrovos tūrio, o mažiausios 0,2 kg BDS₇/m³/d apkrovos vidurkis – 2-ajame filtre F2 su akmens vatos *Paroc WAS 35* užpildu. Filtre F1 pirmąją bandinio ėmimo dieną apkrova siekė 0,09 kg BDS₇/m³/d, o paskutiniąją bandinio ėmimo dieną – 0,23 kg BDS₇/m³/d. Tuo tarpu maksimali tūrinė apkrova BDS₇ viso bandymo metu siekė 0,61 kg BDS₇/m³/d. Filtre F2 pirmąją bandinio ėmimo dieną tūrinė apkrova siekė 0,06 kg BDS₇/m³/d, o paskutiniąją bandinio ėmimo dieną – 0,16 kg BDS₇/m³/d. Maksimali tūrinė apkrova BDS₇ viso bandymo metu siekė 0,43 kg BDS₇/m³/d. Filtre F3 pirmąją bandinio ėmimo dieną tūrinė apkrova siekė 0,1 kg BDS₇/m³/d, o paskutiniąją bandinio ėmimo dieną – 0,25 kg BDS₇/m³/d. Maksimali tūrinė apkrova BDS₇ bandymo metu siekė 0,68 kg BDS₇/m³/d. Taigi, maksimali tūrinės apkrovos BDS₇ reikšmė buvo 6,8–7,2 kartus didesnė už minimalią skirtinguose filtruose.



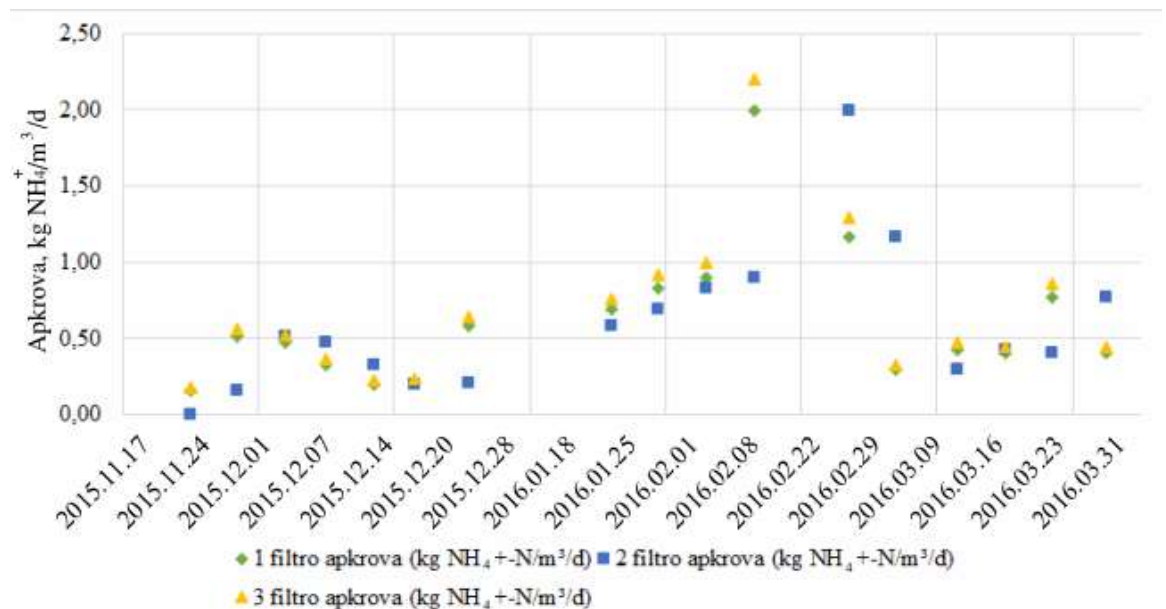
3.5 pav. Filtrų F1, F2, F3 tūrinė apkrova SM bandymo laikotarpiu

Iš 3.5 paveikslo matyti, kad didžiausias $0,60 \text{ kg SM/m}^3/\text{d}$ tūrinės apkrovos vidurkis buvo 3-ajame filtre F3 su porolono užpildu, o mažiausios $0,38 \text{ kg SM/m}^3/\text{d}$ tūrinės apkrovos vidurkis – 2-ajame filtre F2 su akmens vatos *Paroc WAS 35* užpildu. Filtre F1 pirmąją bandinio ėmimo dieną tūrinė apkrova siekė $0,15 \text{ kg SM/m}^3/\text{d}$, o paskutiniąją mėginio ėmimo dieną – $0,37 \text{ kg SM/m}^3/\text{d}$. Tuo tarpu maksimali tūrinė apkrova SM viso bandymo metu siekė $1,07 \text{ kg SM/m}^3/\text{d}$. Filtre F2 pirmąją bandinio ėmimo dieną tūrinė apkrova siekė $0,11 \text{ kg SM/m}^3/\text{d}$, o paskutiniąją bandinio ėmimo dieną – $0,26 \text{ kg SM/m}^3/\text{d}$. Maksimali tūrinė apkrova SM bandymo metu siekė $0,75 \text{ kg SM/m}^3/\text{d}$. Filtre F3 pirmąją bandinio ėmimo dieną tūrinė apkrova siekė $0,17 \text{ kg SM/m}^3/\text{d}$, o paskutiniąją bandinio ėmimo dieną – $0,41 \text{ kg SM/m}^3/\text{d}$. Maksimali tūrinė apkrova SM bandymo metu siekė $1,18 \text{ kg SM/m}^3/\text{d}$. Taigi, maksimali tūrinės apkrovos SM reikšmė buvo 6,8–7,1 kartus didesnė už minimalią skirtinguose filtruose.



3.6 pav. Filtrų F1, F2, F3 tūrinė apkrova $\text{NO}_3\text{--N}$ bandymo laikotarpiu

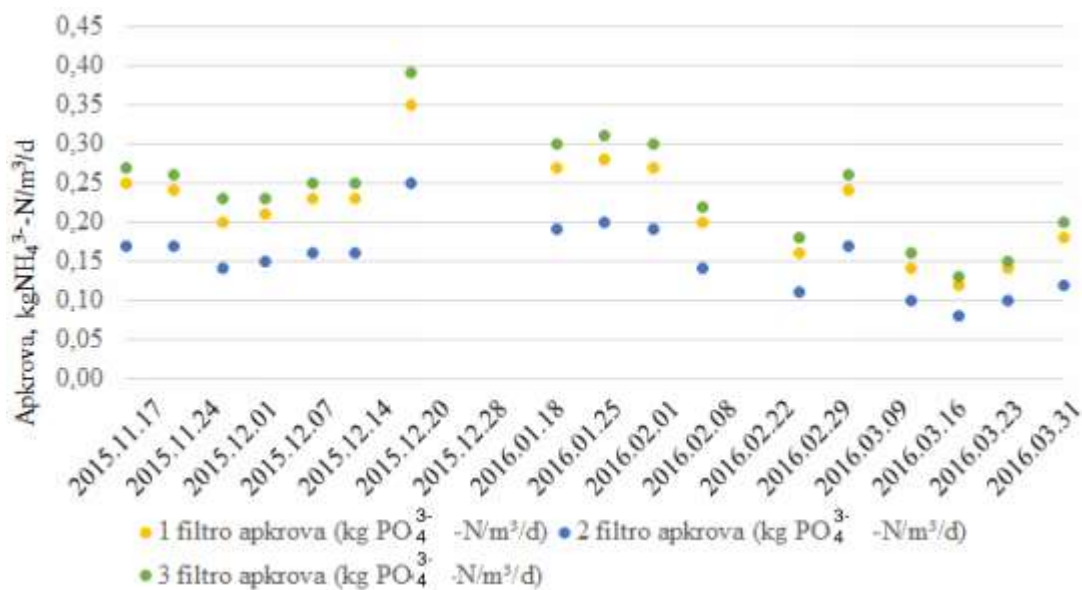
Iš 3.6 pav. ir 3.7 pav. matyti, kad filtrų tūrinė apkrova azoto junginių teršalais, išreikštais $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ir $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, kito skirtingai. Tai galėjo lemti skirtingų procesų biologinio nuotekų valymo metu įvykę pokyčiai. Nitratų azoto didžiausias $0,27 \text{ kg NO}_3^- - \text{N/m}^3/\text{d}$ tūrinės apkrovos vidurkis buvo 3-ajame filtre F3 su porolono užpildu, o mažiausios $0,17 \text{ kg NO}_3^- - \text{N/m}^3/\text{d}$ tūrinės apkrovos vidurkis – 2-ajame filtre F2 su akmens vatos *Paroc WAS 35* užpildu. Filtre F1 pirmąją bandinio ėmimo dieną tūrinė apkrova siekė $0,29 \text{ kg NO}_3^- - \text{N/m}^3/\text{d}$, o paskutiniąją bandinio ėmimo dieną – $0,04 \text{ kg NO}_3^- - \text{N/m}^3/\text{d}$. Maksimali tūrinė apkrova $\text{NO}_3^- - \text{N}$ bandymo metu siekė $0,58 \text{ kg NO}_3^- - \text{N/m}^3/\text{d}$. Filtre F2 pirmąją bandinio ėmimo dieną tūrinė apkrova siekė $0,2 \text{ kg NO}_3^- - \text{N/m}^3/\text{d}$, o paskutiniąją bandinio ėmimo dieną – $0,03 \text{ kg NO}_3^- - \text{N/m}^3/\text{d}$. Maksimali tūrinė apkrova $\text{NO}_3^- - \text{N}$ siekė $0,41 \text{ kg NO}_3^- - \text{N/m}^3/\text{d}$. Filtre F3 pirmąją bandinio ėmimo dieną tūrinė apkrova siekė $0,32 \text{ kg NO}_3^- - \text{N/m}^3/\text{d}$, o paskutiniąją bandinio ėmimo dieną – $0,04 \text{ kg NO}_3^- - \text{N/m}^3/\text{d}$. Maksimali tūrinė apkrova $\text{NO}_3^- - \text{N}$ bandymo metu siekė $0,64 \text{ kg NO}_3^- - \text{N/m}^3/\text{d}$.



3.7 pav. Filtrų F1, F2, F3 tūrinė apkrova $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ bandymo laikotarpiu

Amonio azoto didžiausias $0,67 \text{ kg NH}_4^+ - \text{N/m}^3/\text{d}$ tūrinės apkrovos vidurkis buvo 3-ajame filtre F3 su porolono užpildu, o mažiausios $0,43 \text{ kg NH}_4^+ - \text{N/m}^3/\text{d}$ apkrovos vidurkis – 2-ajame filtre F2 su akmens vatos *Paroc WAS 35* užpildu. Filtre F1 pirmąją bandinio ėmimo dieną apkrova siekė $0,16 \text{ kg NH}_4^+ - \text{N/m}^3/\text{d}$, o paskutiniąją bandinio ėmimo dieną – $0,4 \text{ kg NH}_4^+ - \text{N/m}^3/\text{d}$. Didžiausio fiksuoto piko metu apkrova $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ siekė $1,99 \text{ kg NH}_4^+ - \text{N/m}^3/\text{d}$. Filtre F2 pirmąją bandinio ėmimo dieną apkrova siekė $0,11 \text{ kg NH}_4^+ - \text{N/m}^3/\text{d}$, o paskutiniąją bandinio ėmimo dieną – $0,28 \text{ kg NH}_4^+ - \text{N/m}^3/\text{d}$. Didžiausio fiksuoto piko metu apkrova $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ siekė $1,39 \text{ kg NH}_4^+ - \text{N/m}^3/\text{d}$. Filtre F3 pirmąją bandinio ėmimo dieną apkrova siekė $0,18 \text{ kg NH}_4^+ - \text{N/m}^3/\text{d}$, o paskutiniąją bandinio ėmimo

dieną – 0,44 kg $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{m}^3/\text{d}$. Didžiausio fiksuoto piko metu apkrova NH_4^+-N siekė 1,0 kg $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{m}^3/\text{d}$.

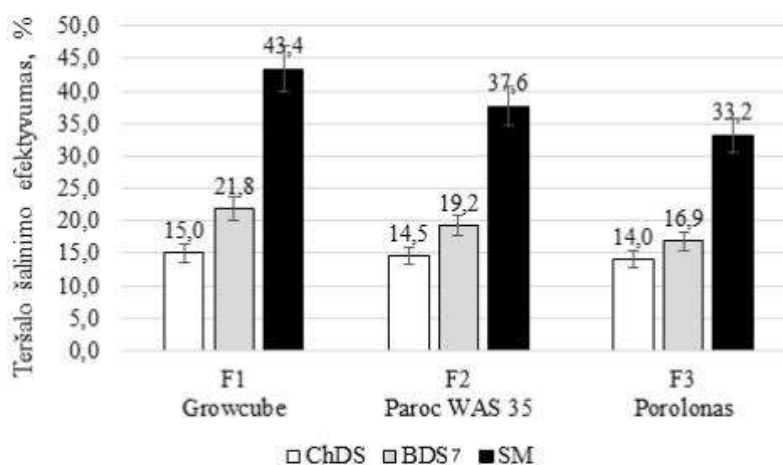


3.8 pav. Filtrų F1, F2, F3 tūrinė apkrova $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ bandymo laikotarpiu

Iš 3.8 paveikslo matyti, kad fosfatų fosforo didžiausias 0,24 kg $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}/\text{m}^3/\text{d}$ apkrovos vidurkis buvo 3-ajame filtre F3 su porolono užpildu, o mažiausios 0,15 kg $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}/\text{m}^3/\text{d}$ apkrovos vidurkis – 2-ajame filtre F2 su akmens vatos *Paroc WAS 35* užpildu. Filtre F1 pirmąją bandinio ėmimo dieną apkrova siekė 0,52 kg $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}/\text{m}^3/\text{d}$, o paskutiniąją bandinio ėmimo dieną – 0,18 kg $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{m}^3/\text{d}$. Maksimali tūrinė apkrova $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ siekė 0,35 kg $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}/\text{m}^3/\text{d}$. Filtre F2 pirmąją bandinio ėmimo dieną apkrova siekė 0,17 kg $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}/\text{m}^3/\text{d}$, o paskutiniąją bandinio ėmimo dieną – 0,12 kg $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}/\text{m}^3/\text{d}$. Maksimali tūrinė apkrova $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ siekė 0,25 kg $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}/\text{m}^3/\text{d}$. Filtre F3 pirmąją bandinio ėmimo dieną apkrova siekė 0,27 kg $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{m}^3/\text{d}$, o paskutiniąją bandinio ėmimo dieną – 0,2 kg $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}/\text{m}^3/\text{d}$. Maksimali tūrinė apkrova $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ siekė 0,39 kg $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}/\text{m}^3/\text{d}$.

3.2.2. Laistomųjų filtrų efektyvumo rezultatai

Organinių teršalų ir SM šalinimas. Organiniai teršalai filtrų efektyvumo skaičiavimuose išreikšti ChDS ir BDS₇ rodikliais. Iš 3.9 pav. matyti, kad jų šalinimo efektyvumas didžiausias filtre F1 su akmens vatos *Growcube* užpildu, kuris atitinkamai siekė 15,0 % ir 21,8 % esant 0,2 kg BDS₇/m³/d vidutinei tūrinei apkrovai. ChDS šalinimo efektyvumas filtruose F2 su akmens vatos *Paroc WAS 35* užpildu ir F3 su porolono užpildu buvo mažesnis negu filtre F1 – atitinkamai 3,3 % ir 6,7 %. BDS₇ šalinimo efektyvumas filtruose F2 ir F3 skyrėsi 12,0 %. Tuo tarpu lyginant su F1 filtru, jis buvo mažesnis 11,9 % F2 filtre ir 22,5 % F3 filtre.

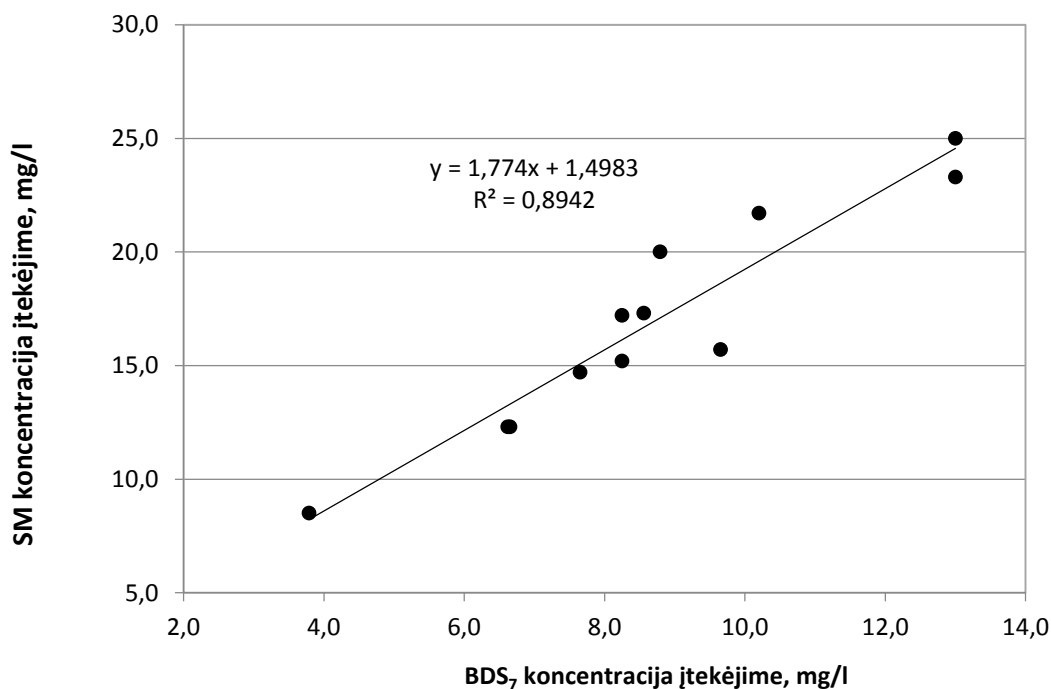


3.9 pav. Užterštumo rodiklių pagal ChDS, BDS₇, SM šalinimo efektyvumas iš nuotekų laistomuosiuose filtruose

Reikiamam BDS₇ šalinimo efektyvumui nustatyti, pirma parenkama vidutinė į filtrus tiekty valytų nuotekų po biologinio valymo BDS₇ koncentracija, kuri viso bandymo laikotarpiu siekė 8,7 mg/l. Iš analizuotoms nuotekų valykloms apskaičiuotų leistinų nuotekoms išleisti pagal BDS₇ koncentracijų, kurioms esant nebus viršytas leistinas poveikis paviršiniam vandens telkiniui, priimta griežčiausia reikšmė, kuri lygi 3,9 mg/l. Pagal tai nustatytas minimalus reikiamas 55,2 % nuotekų išvalymo efektyvumas pagal BDS₇. Iš gautų rezultatų matyti, kad tretinio nuotekų valymo grandyje nuotekas tiekiant nuolatos jų išvalymo efektyvumas pagal BDS₇, lyginant su reikiamu išvalymo efektyvumu, yra 2,5 karto mažesnis filtre F1 su akmens vatos *Growcube* įkrova, 2,9 karto mažesnis filtre F2 su akmens vatos *Paroc WAS 35* įkrova bei 3,3 karto mažesnis filtre F3 su porolono įkrova. Galima teigti, kad analizuotų filtrų veikimas esant 0,2 kg BDS₇/m³/d vidutinei tūrinei apkrovai neužtikrina reikalaujamo 55,2 % efektyvumo.

SM šalinimas buvo efektyvesnis nei organinių teršalų. Šiuo atveju SM geriausiai šalinosi taip pat filtre F1 su akmens vatos *Growcube* užpildu – vidutinė efektyvumo reikšmė siekė 43,4 % (3.9 pav.). Vidutiniškai SM šalino filtras F2 – vidutinė efektyvumo reikšmė siekė 37,6 %. Mažiausias šalinimo efektyvumas filtre F3 – 33,2 %. Lyginant su F1 filtru, filtre F2 su akmens vatos *Paroc WAS 35* užpildu SM šalinimo efektyvumas buvo 13,4 % mažesnis, o filtre F3 su porolono užpildu – 25,8 % mažesnis. Filtrų efektyvumas nustatytas esant 0,36 kg SM/m³/d vidutinei filtrų tūrinei apkrovai.

Skendinčiųjų medžiagų koncentracija išleidžiamose į paviršinius vandens telkinius nuotekose nėra reglamentuota. Vidutinė į filtrus tiekty valytų nuotekų po biologinio valymo SM koncentracija siekė 16,1 mg/l. Siekiant nustatyti reikiamą SM šalinimo efektyvumą, gauta SM ir BDS₇ parametrų tiektyose į filtrus nuotekose tarpusavio priklausomybė (3.10 pav.).



3.10 pav. BDS₇ ir SM koncentracijų tiekiose į filtrus nuotekose priklausomybės grafikas

Iš 3.10 pav. pateiktos priklausomybės kreivės nustatyta reikiama SM koncentracija. Atsižvelgiant į tai, kad didžiausia galima išleisti į paviršinius vandens telkinius BDS₇ koncentracijos reikšmė yra 3,9 mg/l, apskaičiuota didžiausia galima išleisti į paviršinius vandens telkinius SM koncentracija lygi 8,4 mg/l. Pagal tai nustatytas minimalus reikiamas 47,8 % nuotekų išvalymo efektyvumas pagal SM. Iš gautų rezultatų matyti, kad tretinio nuotekų valymo grandyje nuotekas tiekiant nuolatos jų išvalymo efektyvumas pagal SM, lyginant su reikiamu išvalymo efektyvumu, yra 1,1 karto mažesnis filtre F1 su akmens vatos *Growcube* įkrova, 1,3 karto mažesnis filtre F2 su akmens vatos *Paroc WAS 35* įkrova bei 1,4 karto mažesnis filtre F3 su porolono įkrova. Galima teigti, kad analizuotų filtrų veikimas esant 0,36 kg SM/m³/d vidutinei tūrinei apkrovai neužtikrina reikalaujamo efektyvumo.

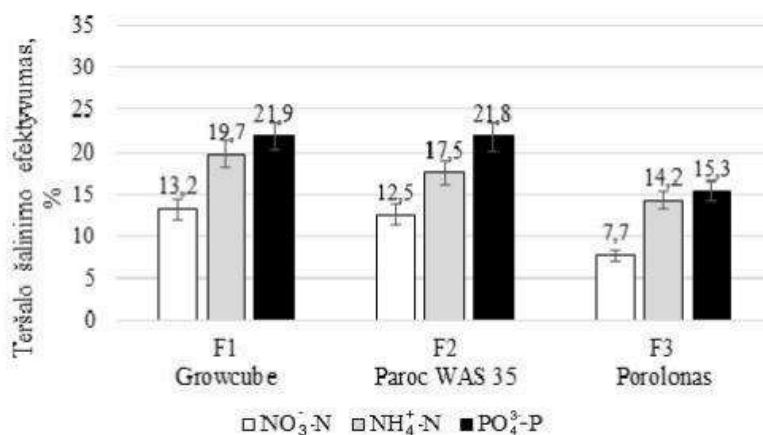
Atsižvelgiant į tai, kad organinių medžiagų šalinimo efektyvumas po biologinio valymo susijęs su SM šalinimu, nes didžiąją dalį SM sudaro veiklusis dumblas, iš gautų rezultatų matyti, kad geriausiai organinius teršalus ir SM šalino filtras F1 su akmens vatos *Growcube* užpildu. Nustatyta, kad teršalus geriausiai šalino filtras F1 su akmens vata *Growcube*, kurios įmirkis 92,6 %, o žemiausias teršalų šalinimo efektyvumas pasiektas filtre F3 su porolono įkrova, kurios įmirkis nustatytas 26,0 % (2.2 skyrius, 2.2 lentelė).

Palyginus su atliktais akmens vatos *Growcube* tyrimais, kai nuotekos į filtrus tiekios periodiškai (Kirjanova 2014), tyrimo metu nustatytas BDS₇ teršalų šalinimo efektyvumas siekė 61–

84 % ir buvo 2,7–3,9 karto didesnis, ChDS teršalų šalinimo efektyvumas siekė 40–60 % ir buvo 2,7–4,0 karto didesnis, o SM – siekė 50–69 % ir buvo 1,2–1,6 karto didesnis.

Biogeninių medžiagų šalinimas. Filtruose vyko ir biogeninių medžiagų šalinimas. Iš 3.11 paveikslo matyti, kad azoto junginių, išreikštų NO_3^- -N ir NH_4^+ -N, šalinimo efektyvumas didžiausias filtre F1 su akmens vatos *Growcube* užpildu, kuris atitinkamai siekė 13,2 % ir 19,7 %. Nitratų azoto šalinimo efektyvumas filtre F2 su akmens vatos *Paroc WAS 35* užpildu ir filtre F3 su porolono užpildu buvo mažesnis negu filtre F1 atitinkamai 5,3 % ir 41,7 %. Amonio azoto šalinimo efektyvumas filtruose F2 ir F3 skyrėsi 18,9 %. Tuo tarpu lyginant su F1 filtru jis buvo mažesnis 11,2 % F2 filtre ir 27,9 % F3 filtre. Efektyvumo reikšmės nustatytos esant vidutinei 0,15 kg NO_3^- -N/m³/d ir 0,39 kg NH_4^+ -N/m³/d filtrų tūrinei apkrovai.

Palyginus su atliktais akmens vatos *Growcube* tyrimais, kai nuotekos į filtrus tiekios periodiškai (Kirjanova 2014), tyrimo metu nustatytas NH_4^+ -N teršalų šalinimo efektyvumas siekė 99 % ir buvo net 5 kartus didesnis.



3.11 pav. Užterštumo rodiklių NO_3^- -N, NH_4^+ -N, PO_4^{3-} -P šalinimo efektyvumas iš nuotekų laistomuosiuose filtruose

Fosfatų fosforo šalinimas buvo efektyvesnis nei azoto junginių. Šiuo atveju geriausiai PO_4^{3-} -P šalinosi filtre F1 su akmens vatos *Growcube* užpildu – vidutinė efektyvumo reikšmė siekė 21,9 % (3.10 pav.). Filtras F2 PO_4^{3-} -P šalino panašiai – vidutinė efektyvumo reikšmė siekė apie 21,8 %. Lyginant su F1 filtru, filtre F2 su akmens vatos *Paroc WAS 35* užpildu PO_4^{3-} -P šalinimo efektyvumas buvo vos 0,5 % mažesnis, o filtre F3 su porolono užpildu – 30,1 % mažesnis. Efektyvumo reikšmės nustatytos esant vidutinei 0,2 kg PO_4^{3-} -P/m³/d filtrų tūrinei apkrovai.

Iš efektyvesnio azoto ir fosforo junginių šalinimo filtruose su akmens vatos užpildais nei su porolono užpildu galima teigti, kad pastaruosiuose filtruose susiformavusi didesnė biomasės dalis nei filtre su porolono užpildu, todėl junginių šalinimas biologiniu būdu yra efektyvesnis. Taigi, azoto ir fosforo junginių šalinimo atžvilgiu išsiskiria filtrai su akmens vatos užpildu.

Poveikis priimtuvui nustatomas pagal bendrojo fosforo ir bendrojo azoto reikšmes. Minėtųjų teršalų mėginių analizės darbe nebuvo nustatomos, todėl reikiamas biogeninių medžiagų efektyvumas neanalizuotas.

Apžvelgus teršalų šalinimo efektyvumo rezultatus galima daryti išvadą, kad geriausiai visus teršalus šalino filtras F1 su akmens vatos *Growcube* užpildu. Nustatyta, kad akmens vatos *Growcube* užpildo didžiausias 92,4 % ilgalaikis įmirkis iš visų tirtųjų užpildų. Tuo tarpu mažiausias efektyvumas pasiektas filtre F3 su porolono užpildu, kurio nustatytas mažiausias 26,0 % ilgalaikis įmirkis.

Analizuotų filtrų veikimas pagal BDS_7 ir SM esant atitinkamai 0,2 kg $BDS_7/m^3/d$ ir 0,36 kg $SM/m^3/d$ vidutinei tūrinei apkrovai neužtikrina reikalaujamo 55,2 % ir 47,8 % efektyvumo.

Palyginus su atliktais akmens vatos tyrimais, kai nuotekos į filtrus tiekios periodiškai (Kirjanova 2014), gauti nuo 1,2 iki 5 kartų mažesni BDS_7 , SM ir NH_4^+-N teršalų šalinimo efektyvumo rezultatai nuotekas tiekiant nuolatos. Tam įtaką darė nepastovios apkrovos teršalais dėl biologinio proceso veikimo sutrikimų nuotekų valykloje. Kita vertus, padidėjusi SM koncentracija tiektose į filtrus nuotekose didina filtrų kimšimosi galimybę. Iš to galima daryti išvadą, kad biologinės filtracijos taikymas nuotekas į filtrus tiekiant nuolatos nėra patikimas.

IŠVADOS

1. Remiantis surinktų iš Aplinkos apsaugos agentūros duomenų analizės rezultatais, Lietuvoje iš analizuotų 117 upių geros būklės reikalavimų neatitinka 32 upės, kurios veikiamos sutelktosios taršos. Taigi, ne visose nuotekų valyklose pakanka taikyti tik biologinį nuotekų valymo būdą, kad būtų užtikrinta tinkama upės ekologinė būklė.
2. Iš viso atrinkta 15 didžiųjų Lietuvos nuotekų valyklų ($EGS > 2\,000$), kuriose reikia diegti tretinį valymą, kad būtų pagerinta sutelktosios taršos veikiamų upių vandens kokybė. Sutelktoji tarša iš Lietuvos didžiųjų nuotekų valymo įrenginių neigiamą poveikį sukelia 12 Lietuvos upių ekologinei būklei.
3. Didžiausios tūrinės apkrovos reikšmės visuose filtruose buvo nuo 6,8 iki 7,1 karto didesnės už mažiausias ir kito $0,09\text{--}0,61\text{ SM/m}^3/\text{d}$ ribose filtre F1 su akmens vatos *Growcube* įkrova, $0,06\text{--}0,43\text{ SM/m}^3/\text{d}$ ribose filtre F2 su akmens vatos *Paroc WAS 35* įkrova ir $0,1\text{--}0,68\text{ SM/m}^3/\text{d}$ ribose filtre F3 su porolono įkrova.
4. Pusiau gamybinėmis sąlygomis atlikti tyrimai, kai nuotekas į filtrus tiekta pastoviai, rodo, kad didžiausias ChDS , BDS_7 ir SM šalinimo efektyvumas (atitinkamai 15,0 %, 21,8 % ir 43,4 %) pasiektas filtre F1 su akmens vatos *Growcube* užpildu, pasižyminčiu didžiausiu ilgalaikiu įmirkiu (92,4 %). Tuo tarpu mažiausias visų minėtų teršalų efektyvumas (atitinkamai 14,0 %, 16,9 % ir 33,2 %) pasiektas filtre F3 su porolono užpildu, pasižyminčiu mažiausiu ilgalaikiu įmirkiu (26,0 %).
5. Tyrimais nustatyta, kad, norint užtikrinti 16,9 % BDS_7 pašalinimo efektyvumą, kai BDS_7 koncentracija įtekančiose nuotekose neviršija 8,7 mg/l, filtruose būtina palaikyti ne didesnę kaip $0,2\text{ kg BDS}_7/\text{m}^3/\text{d}$ tūrinę apkrovą.
6. Tyrimais nustatyta, kad, norint užtikrinti 33,2 % SM pašalinimo efektyvumą, kai SM koncentracija įtekančiose nuotekose neviršija 16,1 mg/l, filtruose būtina palaikyti ne didesnę kaip $0,4\text{ kg SM/m}^3/\text{d}$ tūrinę apkrovą.
7. Azoto junginių ($\text{NO}_3^- \text{--N}$ ir $\text{NH}_4^+ \text{--N}$) didžiausias šalinimo efektyvumas nustatytas filtre F1 su akmens vatos *Growcube* užpildu, jis atitinkamai siekė 13,2 % ir 19,7 %, kai $\text{NO}_3^- \text{--N}$ vidutinė koncentracija įtekančiose nuotekose neviršijo 10,2 mg/l, $\text{NH}_4^+ \text{--N}$ – 20,2 mg/l ir filtruose palaikyta ne didesnė kaip $0,15\text{ kg NO}_3^- \text{--N/m}^3/\text{d}$ ir $0,39\text{ kg NH}_4^+ \text{--N/m}^3/\text{d}$ vidutinė tūrinė apkrova.
8. Fosfatų fosforo didžiausias šalinimo efektyvumas nustatytas filtre F1 su akmens vatos *Growcube* užpildu, jis siekė 21,9 %, kai $\text{PO}_4^{3-} \text{--P}$ vidutinė koncentracija įtekančiose nuotekose neviršijo 8,9 mg/l ir filtruose palaikyta ne didesnė kaip $0,19\text{ kg PO}_4^{3-} \text{--P/m}^3/\text{d}$ vidutinė tūrinė apkrova.

NAUDOTA LITERATŪRA

- 2012 m. upių būklės apžvalga [interaktyvus], 2013. Aplinkos apsaugos agentūra, Vilnius. [Žiūrėta: 2016 m. kovo 30 d.] Prieiga per internetą: <<http://vanduo.gamta.lt/files/2012%20m.%20upi%C5%B3%20b%C5%ABkl%C4%97s%20ap%C5%BEvalga.doc>>.
- Activated Carbon and Some Applications for the Remediation of Soil and Groundwater Pollution [interaktyvus], 1999. [Žiūrėta 2015 m. sausio 13 d.] Prieiga per internetą: <http://www.webapps.cce.vt.edu/ewr/environmental/teach/gwprimer/group23/ac_benefits.html>.
- Activated Carbon Filters [interaktyvus], 2014. [Žiūrėta: 2015 m. sausio 14 d.] Prieiga per internetą: <http://everfilt.com/activated_carbon_systems/>.
- Activated carbon filtration [interaktyvus], 2000. [Žiūrėta 2016 m. balandžio 10 d.] Prieiga per internetą: <http://www.watertreatmentguide.com/activated_carbon_filtration.htm>.
- Adsorption / Active Carbon [interaktyvus], 2015. [Žiūrėta 2015 vasario 2 d.] Prieiga per internetą: <<http://www.lenntech.com/library/adsorption/adsorption.htm>>.
- Aktyvuotos anglies rūšys ir panaudojimas [interaktyvus], 2016. Activated Carbon Aces Environmental Solutions. [Žiūrėta 2016 m. balandžio 7 d.] Prieiga per internetą: <http://www.aces.pl/lt/56,aktyvuotos_anglies_r%C5%AB%C5%A1ys_ir_panaudojimas>.
- Antracitas – apibūdinimas [interaktyvus], 2016. Activated Carbon Aces Environmental Solutions. [Žiūrėta 2016 balandžio 12 d.] Prieiga per internetą: <http://www.aces.pl/lt/42,antracitas_apib%C5%ABdinimas>.
- Aplinkos apsaugos agentūra. 2014. *Ataskaita: Visuomenės informavimo apie nuotekų ir dumblo tvarkymą pagal 1991 m. gegužės 21 d. Tarybos direktyvos Nr. 91/271/EEB dėl miesto nuotekų valymo 16 straipsnį*. Vilnius.
- Aplinkos apsaugos agentūra [interaktyvus], 2015. [Žiūrėta 2016 m. kovo 30 d.] Prieiga per internetą: <<http://gamta.lt/cms/index?rubricId=781fcf56-807a-4155-977d-b3b1a00f6642>>.
- Bagdžiūnaitė – Litvinaitienė L. 2005. *Biogeninių medžiagų kaitos upių vandenyje tyrimai ir įvertinimas*: daktaro disertacijos rankraštis. Vilnius: Technika. 133 p.
- Bonnélye V.; Guey L.; Del Castillo J. 2008. *Desalination*. Volume 222, Issues 1-3, 59-65 p.
- Brikke, F.; Bredero, M. 2003. *Technology Choice with Operation and Maintenance in the context of community water supply and sanitation*. A reference Document for Planners and Project Staff. Geneva: World Health Organization and IRC Water and Sanitation Centre.
- Bruni M.A. 2015. *Slow Sand Filtration*. Sustainable sanitation and water management.
- Bukantis, A.; Gedžiūnas, P.; Giedraitienė J., ir kt. 2008. *Lietuvos gamtinė aplinka, būklė, procesai ir raida*. Vilnius: Aplinkos apsaugos agentūra. 238 p.

Chaudhary, D. S., et al. 2003. *Granular activated carbon (GAC) adsorption in tertiary wastewater treatment: experiments and models*. Water Science & Technology 47(1): 113–120.

Chen S.Z.; Zhang P.Y.; Zhu W.P.; Chen L.; Sheng-Ming Xu. 2006. *Deactivation of TiO₂ photocatalytic films loaded on aluminium: XPS and AFM analyses*, Appl. Surf. Sci. 252 (20), 7532-7538.

Ecoranga: *Membranų Veikimo Principas* [interaktyvus], 2015. [Žiūrėta 2015 m. sausio 14 d.] Prieiga per internetą: <<http://www.ecoranga.com/membraninis-valymo-procesas/>>.

ES geriausi prieinami gamybos būdai (GPGB), santraukos, anotacijos [interaktyvus], 2015. Aplinkos apsaugos agentūra. [Žiūrėta 2016 balandžio 20 d.] Prieiga per internetą: <<http://gamta.lt/cms/index?rubricId=70160852-bcfc-4e18-881e-01868bf61adb>>.

European Commission 2013. *Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Seventh Report on the Implementation of the Urban Waste Water Treatment Directive (91/271/EEC)*. Brussels, 7.8.2013 SWD (2013) 298 final.

Europos Parlamento ir Tarybos Direktyva 2000/60/EB 2000 m. spalio 23 d., nustatanti Bendrijos veiksmų vandens politikos srityje pagrindus. Briuselis, 2000. 72 p.

Evoqua Water Technologies: *Tertiary Water treatment* [interaktyvus], 2015. [Žiūrėta 2015 sausio 15 d.] Prieiga per internetą: http://www.evoqua.com/en/applications/wastewater_treatment/tertiary_treatment/Pages/default.aspx.

Fumatech: *Microfiltration* [interaktyvus], 2015. [Žiūrėta 2015 m. sausio 14 d.] Prieiga per internetą: <<http://www.fumatech.com/EN/Membrane-technology/Membrane-processes/Microfiltration/>>.

Ghazali S. N. B.; Ghani S. F. B. C.; Mohammad N. B. 2013. *Suspended Growth Bio-Treatment: Activated Sludge Process for BOD Removal and Nitrification*. Slideshare: Published in: Education, Technology.

Hansen H. K.; Nunez P.; Raboz D.; Schippacasse I.; Grandon R. 2007. *Electrocoagulation in wastewater containing arsenic: Comparing different process designs*, ScienceDirect, Electrochimica Acta 52, 3464-3470.

Heinonen-Tanski, H. et al. 2003. *Costs of tertiary treatment of municipal wastewater by rapid sand filter with coagulants and UV*. Water Supply 3 (4): 145–152.

Hendricks D. 2006. *Water Treatment Unit Processes: Physical and Chemical*. Printed in USA: CRC Press.

Huber Technology. *Wastewater solutions: Microscreens* [interaktyvus], 2015. [Žiūrėta 2015 m. sausio 12 d.] Prieiga per internetą: <<http://www.huber.de/products/micro-screening-filtration/microscreens.html>>.

Introduction to Wastewater Treatment Processes [interaktyvus], 2014. World Bank Group. [Žiūrėta 2014 Gruodžio 29 d.] Prieiga per internetą: <<http://water.worldbank.org/shw-resource-guide/infrastructure/menu-technical-options/wastewater-treatment>>.

Keller M.C. 2005. *Basic Ion Exchange for Residential Water Treatment*. Part 1: Water Conditioning and Purification.

Kirjanova, A. 2014. *Buitinių nuotekų individualaus valymo technologijos tyrimai ir sukūrimas*: daktaro disertacija. Vilnius: VGTU leidykla „Technika“. 165 p.

Lietuvos Respublikos aplinkos apsaugos įstatymas, 1992. Paskelbtas Žin., 1992, Nr. 5-75; 1996, Nr. 57-1335, Vilnius.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas dėl Aplinkosauginės buitinių nuotekų filtravimo įrenginių įrengimo gamtinėmis sąlygomis taisyklės (LAND 21-01), patvirtintos 2001 m. gegužės 9 d. įsakymu Nr. 252, Vilnius.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas dėl Nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo 2006 m. gegužės 17 d. Nr. D1-236, Vilnius.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas dėl Paviršinių nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo, 2007 m. balandžio 2 d. Nr. D1-193, Vilnius.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas dėl Paviršinių vandens telkinių būklės nustatymo metodikos patvirtinimo, 2007 m. balandžio 12 d. Nr. D1-210, Vilnius.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas dėl Vandens naudojimo ir nuotekų tvarkymo apskaitos tvarkos aprašo patvirtinimo, 2012 m. gruodžio 28 d. Nr. D1-1120, Vilnius.

Lietuvos Respublikos vandens įstatymas, 1997. paskelbtas Žin., 1997, Nr. 104-2615, Vilnius.

Lietuvos vandenių tarša: yra ir tokių, į kuriuos kojos geriau nekišti [interaktyvus]. 2015. Karolis Astauskas, www.GRYNAS.lt [žiūrėta 2015 m. birželio 13 d.]. Prieiga per internetą: <<http://grynas.delfi.lt/gyvenimas/lietuvos-vandenu-tarsa-yra-ir-tokiu-i-kuriuos-kojos-geriau-nekisti.d?id=68223672>>.

Membrane filtration [interaktyvus], 2015. [Žiūrėta 2015 m. sausio 11 d.] Prieiga per internetą: <http://water.me.vccs.edu/exam_prep/mfiltration.html>.

Micro-screening in wastewater treatment. Optimised filter media for ultrafine filtration [interaktyvus], 2011. Parengė: Schlebusch H. [Žiūrėta 2015 m. sausio 17 d.] Prieiga per internetą: <<http://www.gkd.de/en/gkd/press/press-article/d/micro-screening-in-waste-water-treatment/>>.

Mital A. 2011. *Biological Wastewater Treatment*. Water Today 1 August – 2011, Fulltide.

Nemuno upių baseinų rajono valdymo planas [interaktyvus] 2010: Aplinkos apsaugos agentūra. Vilnius. [Žiūrėta 2015 m. sausio 19 d.] Prieiga per internetą: <<http://vanduo.gamta.lt/files/Galutinis%20Nemuno%20UBR%20valdymo%20planas.pdf>>.

Nemuno upių baseinų rajono paviršinių vandens telkinių apsaugos problemų apžvalga [interaktyvus]. 2013. Aplinkos apsaugos agentūra, Vilnius [žiūrėta 2016 m. balandžio 3 d.]. Prieiga per internetą: <<http://vanduo.gamta.lt/files/Nemuno%20UBR%20ap%C5%BEvalga.pdf>>.

Neumann S.; Fatula P. 2009. *Principles of Ion Exchange in Wastewater Treatment*. Asian Water. *Nordic Water: Tertiary treatment* [interaktyvus], 2015. [Žiūrėta 2015 m. sausio 15 d.] Prieiga per internetą: <<http://www.nordicwater.com/en/index.cfm/application-areas/tertiary-treatment/>>.

Nuotekų ir dumblo tvarkymas Lietuvos mažuosiuose miestuose ir gyvenvietėse, 2010. Parengė: Norvegijos finansinio mechanizmo subsidijų schemos "Patirties perdavimo ir bendradarbiavimo ryšių tarp vietinio, regioninio ir euroregioninio lygio partnerių Lietuvoje ir Norvegijoje stiprinimas" Klaipėda.

Remy, C., et al. 2014. *Comparing environmental impacts of tertiary wastewater treatment technologies for advanced phosphorus removal and disinfection with Life Cycle Assessment*. Water Science & Technology 69 (8): 1742–1750.

Rimeika, M.; Kirjanova, A. 2011. *Mažų nuotekų valymo įrenginių projektavimas*. Mokomoji knyga. „Technika“, Vilnius.

Rockwool Hydroponics [interaktyvus]. 2015. [Žiūrėta 2016 m. gegužės 1 d.] Prieiga per internetą: <<http://hydroponicplants.net/rockwool-hydroponics-growing-media/>>.

Schafer I.; Fane A. G.; Waite T. D. 2003. *Nanofiltration: Principles and Applications*. 1st edition. Elsevier Advanced Technology: Oxford.

Schrader G. A. 2006. *Direct Nanofiltration of Waste Water Treatment Plant Effluent*. Ph.D. Thesis, University of Twente, The Netherlands.

Skipton S.O.; Dvorak B.I.; Niemeyer M.N. 2008: *Drinking Water Treatment: Water Softening (Ion Exchange)*. University of Nebraska Lincoln.

Slow Sand Filters [interaktyvus], 2005. Thames Water; Univeristy of Surrey. [Žiūrėta 2015 sausio 13 d.] Prieiga per internetą: <<http://www.sswm.info/print/2851?tid=582>>.

Smith, P. G.; Scott, J. G. 2005. *Dictionary of Water and Waste Management*. 2d edition. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann. 486 p.

Šileika A. S. 2012. *Bendrojo azoto ir bendrojo fosforo kaitos tendencijos Nevėžio upėje*. Vandens ūkio inžinerija. ISSN 1392-2335. Kaunas, Nr. 40 (60), p. 14–21.

Tangent Fluid: CRM Membranes [interaktyvus], 2014. [Žiūrėta 2015 m. sausio 17 d.] Prieiga per internetą: <<http://www.tgtfluid.com/CRM403736.HTML>>.

Tarybos direktyva 1991 m. gegužės 21 d. dėl miesto nuotekų valymo (91/271/EEB). Briuselis, 1991. 18 p.

Taršos šaltiniai ir apkrovos. Pagrindinių priemonių poveikio vertinimas. Rizikos vandens telkiniai [interaktyvus]. 2010. Aplinkos apsaugos agentūra, Vilnius [žiūrėta 2015 m. sausio 19 d.]. Prieiga

per internetą: <

https://www.google.lt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiV6oyhqfMAhViMJoKHf1qCFcQFggaMAA&url=http%3A%2F%2Fvanduo.gamta.lt%2Ffiles%2FTarsos%2520saltiniai%2520ir%2520apkrovos.pdf&usg=AFQjCNEykUcdVlwSZ4sgQ1a7j5-10-2JSQ&sig2=Dxp0OrDLiaIypmFQ_I-Kxw&bvm=bv.119745492,d.bGs>.

Tchobanoglous, G., *et al.* 2014. *Wastewater Engineering. Treatment and Resource Recovery*. 5th edition. Boston: McGraw-Hill. 2048 p.

Tchobanoglous G.; Burton L. F; Stensel D. *Wastewater Engineering. Treatment and Reuse* (Fourth Edition), 2003. Boston: Metacalf & Eddy, Inc. 1818 p.

The Water Treatment: Rapid Sand Filters [interaktyvus], 2014. [Žiūrėta 2015 m. sausio 13 d.]

Prieiga per internetą: <<http://www.thewatertreatments.com/water-treatment-filtration/rapid-sand-filters/#sthash.ogQSZxm1.dpuf>>.

Urban waste water treatment assessment [interaktyvus], 2013. European Environment Agency.

[Žiūrėta 2016 balandžio 20 d.] Prieiga per internetą: < <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/urban-waste-water-treatment/urban-waste-water-treatment-assessment-3>>.

Vrubliauskas V. 2008. *Europos Sąjungos finansinės paramos panaudojimas įgyvendinant bendrąją vandens politikos direktyvą*. Magistro baigiamasis darbas. Vilnius. 116 p.

WasteWater System. Industrial Wastewater Treatment System (Design and Process on Latest Effluent Plant Technology): Ion Exchange Application in Wastewater Treatment [interaktyvus], 2011. [Žiūrėta 2015 m. sausio 11 d.] Prieiga per internetą:

<<http://www.wastewatersystem.net/2011/08/ion-exchange-application-in-wastewater.html>>.

WHO Seminar Pack for Drinking Water Quality [interaktyvus], 2009. WHO: Chapter 12: Water Treatment. [Žiūrėta 2014 vasario 7 d.] Prieiga per internetą:

<http://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/WHO%20ny%20Seminar%20Pack%20for%20Drinkingwater%20Quality%20Chapter%2012%20Water%20Treatment.pdf> .