



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

APLINKOS APSAUGOS KATEDRA

Lygita Makaravičiūtė

**PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ FILTRO EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI
EXPERIMENTAL RESEARCH OF STORMWATER CLEANING
FILTER**

Baigiamasis magistro darbas

Aplinkos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H17004

Aplinkos apsaugos inžinerijos specializacija

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2015

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
APLINKOS APSAUGOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

Lygita Makaravičiūtė

PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ FILTRO EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI
EXPERIMENTAL RESEARCH OF STORMWATER CLEANING
FILTER

Baigiamasis magistro darbas

Aplinkos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H17004

Aplinkos apsaugos inžinerijos specializacija

Bendrosios inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

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

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

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

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

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

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

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

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2015

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Aplinkos inžinerijos fakultetas

Aplinkos apsaugos katedra

ISBN ISSN

Egz. sk.

Data-....-....

Aplinkos inžinerijos studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas **Paviršinių nuotekų filtro eksperimentiniai tyrimai**

Autorius **Lygita Makaravičiūtė**

Vadovas dr. **Eglė Marčiulaitė**

Kalba

lietuvių

Anotacija

Baigiamajame darbe yra nagrinėjami paviršinių nuotekų valymo filtrai su skirtingais užpildo sluoksniais.

Pirmajame skyriuje aprašomos paviršinių nuotekų fizinės, cheminės ir biologinės savybės, poveikis aplinkai, paviršinių nuotekų valymo būdai ir technologijos, paviršinių nuotekų valymo filtrų tipai, jų valymo efektyvumas, panaudojimo galimybės, apžvelgiamos paviršinių nuotekų filtracijos procesų matematinio modeliavimo programos.

Antrajame skyriuje pateikiama paviršinių nuotekų mėginių ėmimo metodika, paviršinių nuotekų mėginių analizės metodika, paviršinių nuotekų užterštumo ir filtrų valymo efektyvumo metodika, taip pat pateikiama matematinio modeliavimo programos Hydrus-1D metodika.

Trečiajame skyriuje pateikiami paviršinių nuotekų tyrimų rezultatų analizė, paviršinių nuotekų valymo filtrų tyrimų rezultatų analizė, paviršinių nuotekų Hydrus-1D modeliavimo rezultatų analizė. Darbo pabaigoje pateikiamos išvados ir rekomendacijos.

Darbą sudaro: įvadas; paviršinių nuotekų susidarymas, valymas ir poveikis aplinkai; paviršinių nuotekų užterštumo ir filtro valymo efektyvumo tyrimų metodika; paviršinių nuotekų ir filtro valymo efektyvumo tyrimų rezultatai; išvados, rekomendacijos, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 85 p. teksto be priedų, 36 iliustracijos, 12 lentelių, 86 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: nuotekos, filtras, azotas

Vilnius Gediminas Technical University

Environmental engineering faculty

Environmental protection department

ISBN

ISSN

Copies No.

Date-....-....

Environmental Engineering study programme bachelor (master) thesis.

Title: Experimental research of stormwater cleaning filter

Author **Lygita Makaravičiūtė** Academic supervisor **dr. Eglė Marčiulaitienė**

Thesis language

2

Lithuanian

Annotation

In the master thesis is analyse of surface water treatment filters with different filling layers.

The first section provides the stormwater physical, chemical and biological properties, the impact on the environment, stormwater treatment techniques and technologies, stormwater treatment filter types, the treatment efficiency, usability, and overview stormwater mathematical modeling of programs to describe filtration processes.

The second section provides stormwater sampling method, stormwater sampling analysis method, stormwater contamination and filter cleaning efficiency method, as well as the mathematical modeling program Hydrus-1D method.

The third section provides the stormwater tests results analysis, stormwater treatment filters survey results analysis, stormwater Hydrus-1D simulation results analysis. The paper ends with conclusions and recommendations. At the end of the final master thesis contains conclusions and recommendations.

Scope of work – 85 p. text, 36 figures, 12 tables, 86 references.

Keywords: Stormwater, filter, nitrogen

Turinys

LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	7
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	8
ĮVADAS.....	9
1. PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ SUSIDARYMAS, VALYMAS IR POVEIKIS APLINKAI.....	11
1.1. PAVIRŠINĖS NUOTEKOS, JŲ FIZINĖS, CHEMINĖS IR BIOLOGINĖS SAVYBĖS	11
1.2. PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ POVEIKIS APLINKAI	19
1.3. PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ VALYMO BŪDAI IR TECHNOLOGIJOS	20
1.3.1. FILTRŲ TIPAI IR VEIKIMO PRINCIPAS	25
1.10 pav. Augalinio filtro, paviršinėms nuotekoms valyti, nuotrauka (Bioretention 2011).....	27
1.3.2.FILTRŲ VALYMO EFEKTYVUMAS IR PANAUDOJIMO GALIMYBĖS.....	30
1.4. PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ MĖGINIŲ ĖMIMO IR TERŠALŲ ANALIZĖS METODAI	32
1.5. PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ FILTRACIJOS PROCESŲ MATEMATINIS MODELIAVIMAS.....	35
2. PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ UŽTERŠTUMO IR FILTRO VALYMO EFEKTYVUMO TYRIMŲ METODIKA	37
2.1. PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ MĖGINIŲ ĖMIMO METODIKA.....	37
2.2. PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ MĖGINIŲ ANALIZĖS METODIKA	39
2.3. PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ UŽTERŠTUMO IR FILTRO VALYMO EFEKTYVUMO TYRIMŲ METODIKA	42
2.4. PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ <i>HYDRUS-1D</i> MATEMATINIO MODELIAVIMO METODIKA.....	49
2.5. STATISTINIS DUOMENŲ APDOROJIMAS	52
3. PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ IR FILTRO VALYMO EFEKTYVUMO TYRIMŲ REZULTATAI IR ANALIZĖ	53
3.1. PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ TYRIMAI IR ANALIZĖ.....	53
3.2. FILTRŲ EFEKTYVUMO TYRIMAI IR ANALIZĖ	58
3.3. PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ <i>HYDRUS-1D</i> MATEMATINIO MODELIAVIMO REZULTATAI IR ANALIZĖ	69
IŠVADOS.....	75
REKOMENDACIJOS	75
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI	76
AUTORIAUS PUBLIKACIJOS	90

PRIEDAI	91
---------------	----

Lentelių sąrašas

- 1.1 LENTELĖ.** Paviršinių nuotekų teršalų šaltiniai ir jų įtaka vandens ekosistemoms **ERROR! Bookmark not defined.**
- 1.2 lentelė.** Paviršinių nuotekų poveikis aplinkai ir jį sukeliančios priežastys **Error! Bookmark not defined.**
- 1.3 lentelė.** Filtruose naudojami augalai **Error! Bookmark not defined.**
- 1.4 lentelė.** Viršutinio filtro sluoksnio gerinimo medžiagos **Error! Bookmark not defined.**
- 2.1 lentelė.** Mėginio tūrio parinkimas pagal ištirpusio deguonies koncentraciją **Error! Bookmark not defined.**
- 3.1 lentelė.** Bendrosios anglies koncentracija paviršinėse nuotekose, šiaurinėje Vilniaus miesto dalyje..... **Error! Bookmark not defined.**
- 3.2 lentelė.** Bendrojo azoto koncentracija paviršinėse nuotekose, šiaurinėje Vilniaus miesto dalyje..... **Error! Bookmark not defined.**
- 3.3 lentelė.** Skendinčiųjų medžiagų koncentracijos tiriamuose bandiniuose **Error! Bookmark not defined.**
- 3.4 lentelė.** Skendinčiųjų medžiagų koncentracija užterštose paviršinėse nuotekose ir skendinčiųjų medžiagų šalinimo efektyvumo koreliacija **Error! Bookmark not defined.**
- 3.5 lentelė.** pH vertės tirtuose paviršinių nuotekų mėginiuose **Error! Bookmark not defined.**
- 3.6 lentelė.** Bendrojo azoto šalinimo efektyvumas tiriamuose filtruose **Error! Bookmark not defined.**
- 3.7 lentelė.** Natūrinėmis sąlygomis nustatytas filtrų hidraulinis laidumas **Error! Bookmark not defined.**

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. Paviršinių nuotekų valymo kokybės pokyčiai Lietuvoje 2003–2012 m.....	13
1.2 pav. Pagrindiniai veiksniai, lemiantys lietaus nuotekų užterštumą.....	16
1.3 pav. Pagrindiniai parametrai, įtakojantys paviršinių nuotekų savybes	17
1.4 pav. Išplėstinio sulaikymo baseino, paviršinėms nuotekoms valyti, schema	22
1.5 pav. Drėgnojo tvenkinio, paviršinėms nuotekoms valyti, schema.....	22
1.6 pav. Filtro, paviršinėms nuotekoms valyti, schema	23
1.7 pav. Stovėjimo aikštelės schema, paviršinėms nuotekoms valyti taikant infiltravimo tranšėją.....	23
1.8 pav. Pelkėtų žemumų, paviršinėms nuotekoms valyti, schema	24
1.9 pav. Žolių terasos, paviršinėms nuotekoms valyti, principinė schema	25
1.10 pav. Augalinio filtro, paviršinėms nuotekoms valyti, nuotrauka.....	27
1.11 pav. Paviršinių nuotekų valymo filtro principinė schema.....	30
1.12 pav. Filtro nuotrauka ir schema.....	34
2.1 pav. Vilniaus miesto paviršinių nuotekų išleistuvų žemėlapis.....	38
2.2 pav. pH-metras WTW/538	39
2.3 pav. Oxi 3205 ištirpusio deguonies matuoklis (oksimetras)	40
2.4 pav. SHIMADZU firmos TOC-VCPH bendrosios anglies ir azoto analizatorius su skysto mėginio moduliu.....	40
2.5 pav. Košimo prietaiso sistema	41
2.6 pav. VELP Scientifica BDS jutiklių sistema: a) BDS jutikliai; b) magnetinė maišyklė; c) VEL inkubatorius	42
2.7 pav. Paviršinių nuotekų valymo filtrai	44
2.8 pav. Tyrimams naudojamų paviršinių nuotekų valymo filtrų schema.....	46
2.9 pav. Besisukančio būgno kratytuvas „Labos Shake-Gerhardt“	48
3.1 pav. Skendinčiųjų medžiagų koncentracija, šiaurinės Vilniaus miesto dalies, paviršinėse nuotekose.....	54
3.2 pav. pH dydis paviršinėse nuotekose šiaurinėje Vilniaus miesto dalyje.....	55
3.3 pav. Skendinčiųjų medžiagų koncentracija tiriamuose mėginiuose	59
3.4 pav. Skendinčiųjų medžiagų šalinimo efektyvumas paviršinių nuotekų valymo įrenginiuose	60
3.5 pav. 1 filtro skendinčiųjų medžiagų koncentracijos užterštose paviršinėse nuotekose ir skendinčiųjų medžiagų šalinimo efektyvumo priklausomybė.....	61
3.6 pav. Vidutinis azoto šalinimo efektyvumas filtruose.....	64

3.7 pav. Paviršinių nuotekų valymo efektyvumo tyrimas pagal bendrosios anglies kiekį	66
3.8 pav. Filtrų hidraulinis laidumas, nustatytas natūrinėmis sąlygomis	67
3.9 pav. Vidutinis filtrų efektyvumas valant paviršines uotekas	69
3.10 pav. Debito priklausomybė nuo filtro užpildų gylio smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre	70
3.11 pav. Debito priklausomybė nuo filtro užpildų gylio smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre su žolinės augalijos danga.....	70
3.12 pav. Debito priklausomybė nuo filtro užpildų gylio kvarcinio smėlio filtre su žolinės augalijos sluoksniu	71
3.13 pav. Debito priklausomybė nuo filtro užpildų gylio kvarcinio smėlio filtre.....	71
3.14 pav. Hidraulinio laidumo koeficiento priklausomybė nuo užpildo sluoksnio gylio autoklavinio akytojo betono skaldos filtre	72
3.15 pav. Hidraulinio laidumo koeficiento priklausomybė nuo užpildo sluoksnio gylio smulkinto autoklavinio akytojo betono filtras su žolinės augalijos sluoksniu	72
3.16 pav. Hidraulinio laidumo koeficiento priklausomybė nuo užpildo sluoksnio gylio kvarcinio smėlio filtras su žolinės augalijos sluoksniu	73
3.17 pav. Hidraulinio laidumo koeficiento priklausomybė nuo užpildo sluoksnio gylio kvarcinio smėlio filtre.....	73

IVADAS

Problema

Plečiantis pramonei, urbanizuotai teritorijai, didėjant automobilių srauto intensyvumui ir formuojant nelaidžius vandeniui paviršius, susidaro vis didesni paviršinių nuotekų kiekiai. Šios, patekdamos į paviršinius vandens telkinius ar požeminio vandens sluoksnius, juos užteršia, tekėdamos sukelia dirvožemio eroziją ar net transporto srauto sutrikimus. Norint išvengti neigiamo poveikio, vis didesnis dėmesys turėtų būti skiriamas paviršinių nuotekų tvarkymui ir surinkimo tinklų modernizavimui, naujų įrenginių diegimui.

Kartu su paviršinėmis nuotekomis nuo urbanizuotos teritorijos paviršiaus į vandens telkinius patenka naftos produktai, skendinčiosios medžiagos, sunkieji metalai, biogeninės medžiagos ir kt. Paviršinių nuotekų užterštumas priklauso nuo teritorijos, kurioje susidaro nuotekos, teršalų ir kritulių kiekio ir jų intensyvumo. Lietuvoje tik daugiau nei 10 % paviršinių nuotekų yra išvalomos iki leistinų normų, likusi didžioji dalis yra nevalomos arba valomos nepakankamai efektyviai. Netvarkant arba netinkamai tvarkant paviršines nuotekas galima sukelti itin neigiamą poveikį aplinkai.

Darbo aktualumas

Daugelyje pasaulio šalių susidarančios paviršinės nuotekos į gamtinę aplinką yra išleidžiamos nevalytos. Australijoje, Kinijoje, Indijoje, Okeanijoje, Europos valstybėse ir Jungtinėse Amerikos Valstijose taikomos priemonės, išleidžiamų į gamtinę aplinką paviršinių nuotekų užterštumui mažinti. Tačiau šiose valstybėse sukurtos sistemos paviršinių nuotekų išvalymo efektyvumui užtikrinti nėra išvystytos ir ne visada veikia efektyviai. Tai lemia valymo įrenginių susidėvėjimas, neįvertintas galimas maksimalus paviršinių nuotekų debitas, patenkantis į valymo įrenginius.

Pasaulyje, kiekvienais metais susidaro apie 500 milijardus litrų paviršinių nuotekų, kurios patenka į vandenynus.

Siekiant apsaugoti aplinką susidarančioms paviršinėms nuotekoms valyti, turi būti įrengti paviršinių nuotekų valymo įrenginiai. Vieni iš tokių pasaulyje taikomų priemonių yra paviršinių nuotekų valymo filtrai. Paviršinių nuotekų valymo filtrų taikymas leidžia efektyviai išnaudoti urbanizuotą teritoriją. Vizualiai estetiškai atrodantys paviršinių nuotekų valymo įrenginiai nedaro kraštovaizdžio, taip pat filtruose, kaip užpildą galima naudoti natūralias medžiagas ir tam tikras atliekas (statybines, stiklo), prieš tai ištyrus jų pritaikymo galimybes ir valymo efektyvumą.

Darbo tikslas – parinkti ir įvertinti paviršinių nuotekų valymo filtrų užpildus ir jų valymo efektyvumą.

Darbo uždaviniai:

1. Išanalizuoti filtrų veikimo principą ir jų taikymo galimybes Lietuvos klimatinėmis sąlygomis;
2. Ištirti šiaurinės Vilniaus miesto dalies paviršinių nuotekų užterštumą ir parinkti tolesniems tyrimams tinkamą objektą;
3. Atlikti paviršinių nuotekų valymo eksperimentinius tyrimus su skirtingais filtro užpildais ir įvertinti užpildų efektyvumą;

4. Naudojantis matematinio modeliavimo programa *Hydrus-1D*, įvertinti paviršinių nuotekų hidraulinį laidumą.

Darbo naujumas

Moksliniais tyrimais nėra ištirtas autoklavinio akytojo betono skaldos su žolinės augalijos danga filtro efektyvumas. Taip pat nėra mokslinių tyrimų, susijusių su pievinės miglės (*Poa pratensis*) panaudojimu paviršinių nuotekų valymo filtre Lietuvos klimatinėms sąlygoms.

Darbo praktinė reikšmė

Remiantis atliktų tyrimų rezultatais buvo įvertinta teršalų valymo efektyvumo priklausomybė nuo pasirinktų filtro užpildo sluoksnių. Šiame darbe tyrimais įrodyta, kad paviršinių nuotekų valymui filtruose kaip užpildą naudojant kvarcinį smėlį ir smulkintą autoklavinį akytąjį betoną galima pasiekti aukštą skendinčiųjų medžiagų išvalymo efektyvumą. Todėl atlikti tyrimai yra naudingi kuriant, tobulinant ir praktikoje taikant filtrus paviršinių nuotekų valymui.

1. PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ SUSIDARYMAS, VALYMAS IR POVEIKIS APLINKAI

1.1. Paviršinės nuotekos, jų fizinės, cheminės ir biologinės savybės

Vanduo būtinas mūsų visuomenei ir sveikatai (Falkenbergas 2010). Buityje naudojamas vanduo patenka į buitinių nuotekų valymo tinklus. Nuotekos valomos iki nustatytų išleidžiamoms nuotekoms kriterijų. Išvalytos buitinės nuotekos išleidžiamos į paviršinius vandens telkinius telkinius. Dėl didėjančios paviršinių vandens telkinių taršos ir susidarancio eutrofikacijos proceso reikia atidžiau vertinti nuotekų, išleidžiamų į vandens telkinius, kokybę.

Lietuvoje pagrindinis dokumentas, reglamentuojantis paviršinių nuotekų tvarkymą yra Paviršinių nuotekų tvarkymo reglamentas. Šiame dokumente paviršinės nuotekos apibrėžiamos kaip ant urbanizuotos teritorijos paviršiaus (išskyrus žemės ūkio naudmenas ir žaliuosius plotus) patenkantis kritulių ir kitoks (nuo teritorijų dangos ar transporto plovimo, laistymo) vanduo, kurį teritorijos valdytojas nori arba privalo organizuoti (naudojant nuotekų tvarkymo sistemas) surinkti ir pašalinti į aplinką arba išleisti į kitiems asmenims

priklausančias nuotekų sistemas (perduoti nuotekų tvarkytojui) (Lietuvos Respublikos... 2007). Sąvoka „paviršinės nuotekos“ apima lietaus ir sniego tirpsmo metu susidarančias nuotekas bei gatvių plovimo vandenį (Sauliutė ir Tričys 2011). Paviršinės nuotekos negali būti tvarkomos kartu su buitinėmis, komunalinėmis ir gamybinėmis nuotekomis. Į paviršinių nuotekų valymo sistemas draudžiama šalinti vandens aplinkai kenksmingas medžiagas ir bet kokias atliekas (Lietuvos Respublikos... 2007). Galimas neigiamas paviršinių nuotekų poveikis paviršinio vandens telkiniams:

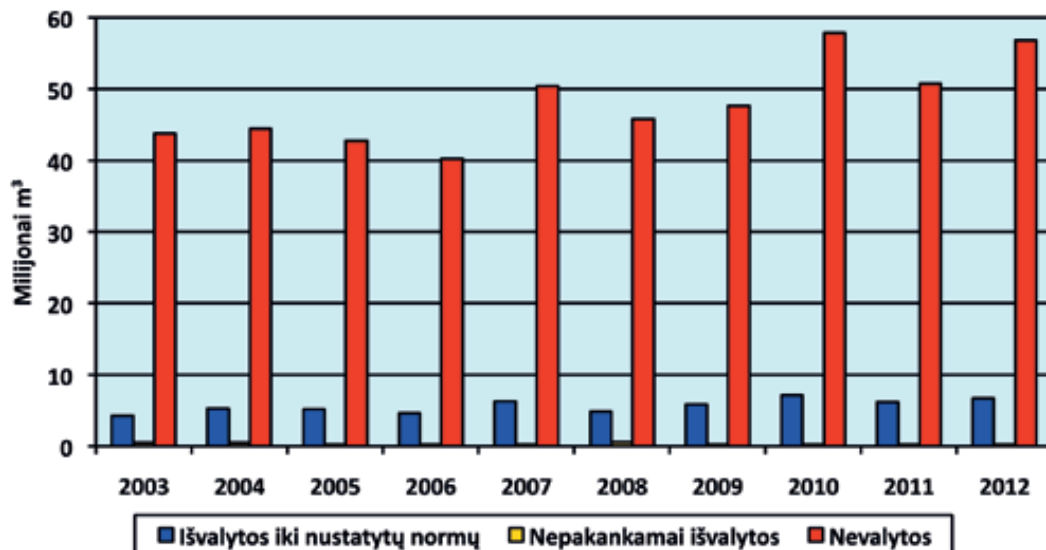
- padidėjęs žuvų mirtingumas;
- dumblių išplitimas dėl pernelyg gausaus tręšimo žemės ūkyje;
- galimas pavojus paviršinių vandens telkinių ekosistemoms (Falkenbergas 2010).

Šiuo metu Lietuvoje paviršinės nuotekos į vandens telkinius išleidžiamos nesant apskaitos ir dažniausiai nevalytos (Janeliauskienė ir kt. 2011).

Lietuvoje tiriamos paviršinės nuotekos, patekusios ant urbanizuotos teritorijos paviršiaus iškritų pavidalu (lietus, sniegas). Vilniaus mieste didžiausias susidaręs paviršinių nuotekų kiekis 2012 metais sudarė 63,7 mln. m³. Susidariusios paviršinės nuotekos ant urbanizuotos teritorijos turi būti surinktos ir pašalintos į aplinką arba išleistos į nuotekų tvarkymo sistemas. Iki nustatytų normų išvalyta tik 10,6 % visų paviršinių nuotekų susidariusių visoje Lietuvoje 2012 metais (1.1 pav.) (Aplinkos būklė... 2013).

Tvarkant paviršines nuotekas daugiausiai dėmesio skiriama nuotekų debito sureguliuavimui, kad būtų galima išvengti susidarančių potvynių ir poplūdžių (Genc-Fuhrman *et al.* 2007).

Didžiausias nevalytų paviršinių nuotekų kiekis Lietuvoje susidarė 2010 metais ir siekė ~ 58 mln. m³ (1.1 pav.). 2012 metais nevalytos paviršinės nuotekos sudarė 89,1 %, likusi paviršinių nuotekų dalis, kuri buvo nepakankamai išvalyta, sudarė 0,3 % visų paviršinių nuotekų, susidariusių 2012 metais (1.1 pav.) ([Aplinkos būklė... 2013](#)).



1.1 pav. Paviršinių nuotekų valymo kokybės pokyčiai Lietuvoje 2003–2012 m. (Aplinkos būklė... 2013)

Rytų Europoje, skandinavinių medžiagų koncentracija lietaus nuotekose kinta nuo 50 mg/l iki 16 000 mg/l, sniego tirpimo vandenyje – 570–6580 mg/l, gatvių plovimo metu skandinavinių medžiagų gali susidaryti nuo 30 mg/l iki 8300 mg/l. Naftos produktų koncentracija Rytų Europoje kinta nuo 2 mg/l iki 72 mg/l (Collection And Reuse... 2014).

Paviršinių nuotekų, patenkančių ant urbanizuotos teritorijos paviršiaus, užterštumas priklauso nuo daugelio faktorių: giedros periodo trukmės, lietaus intensyvumo, debito, paviršinių nuotekų susidarymo vietos, automobilių srauto intensyvumo, atmosferos užterštumo, taip pat nuo teritorijos hidrogeologinių ir paviršiaus dangų savybių (Mimi 2008; Jaruševičiūtė ir kt. 2010).

Paviršinės nuotekos, surenkamos nuo nelaidžių teritorijų paviršiaus, būna užterštos įvairiais teršalais, kurių pobūdis priklauso nuo šių faktorių (Jang *et al.* 2010; Gobel *et al.* 2006; Wu *et al.* 2009):

- vandeniui nelaidaus paviršiaus dangos cheminė sudėtis;
- eismo intensyvumas;
- atmosferos užterštumas;
- susidarančių kritulių dažnumas ir intensyvumas;
- teritorijos infrastruktūra;
- antropogeniniai veiksniai.

Lietuvos paviršinių nuotekų tvarkymo reglamente nurodyta, kad nuotekos, kurios yra surenkamos iš teritorijų, kuriose nėra taršos kenksmingomis medžiagomis šaltinių (parkai, pėsčiųjų zonos, vejotės, žaidimų aikštelės), gali būti išleidžiamos į aplinką nevalytos (Lietuvos

Respublikos... 2007). Netvarkomos paviršinės nuotekos gali sukelti nepalankius ekologinių sistemų pokyčius vandens telkiniuose (Sauliute ir Tričys 2011).

Paviršinių nuotekų tarša nustatoma įvairiais metodais. Toliau pateikiamas dažniausiai taikomas paviršinių nuotekų teršalų nustatymo grupavimas:

- bioskaidžios organinės medžiagos;
- maistinės medžiagos (aktyvusis azotas, aktyvusis fosforas);
- sunkieji metalai (varis, cinkas, švinas, kadmio, nikelis, chromas);
- organiniai mikroteršalai (pesticidai, aromatiniai angliavandeniliai, fenoliai, dioksinai, furanai, policikliniai aromatiniai angliavandeniliai, įvairūs tirpikliai);
- skendinčiosios medžiagos (Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010).

Teršalų grupavimas taikomas organiniams ir neorganiniams teršalams, esantiems paviršinėse nuotekose.

1.1 lentelė. Paviršinių nuotekų teršalų šaltiniai ir jų įtaka vandens ekosistemoms (Rimeika 2011)

Teršalas	Šaltinis	Įtaka vandens ekosistemoms
Nuosėdos	Statybos aikštelės, miesto teritorijos paviršiaus erozija, nevalomos gatvės (keliai)	Nusėda ant dugno, yra papildomas biogeninių medžiagų šaltinis, blokuoja saulės šviesos prasiskverbimą, padengia dugną smėliu
Organinės medžiagos	Mašinų tepalai, trąšos, šiukšlės	Mažina deguonies kiekį vandenyje, blogina vandens kokybę
Biogeninės medžiagos	Organinės medžiagos, šiukšlės, trąšos, maisto atliekos, nuotekos	Išbalansuota ekosistema, intensyvus dumblių augimas, deguonies mažėjimas
Metalai	Auto transportas, statybinės medžiagos, chemikalai	Mažina atsparumą ligoms, mažina dauginimosi spartą, keičia įpročius
Chloridai	Druska (iš maisto pramonės ir kovai su kelių apledėjimu)	Sterilizuoja vandenį, mažina biotos augimą
Bakterijos	Naminiai gyvūnai, šiukšlės	Ligų sukėlimo pavojus
Nafta	Auto transportas	Mažina deguonies kiekį vandenyje

1.1 lentelėje pateikiami pagrindiniai anksčiau minėtų teršalų patekimo į paviršines nuotekas šaltiniai. Lentelėje nurodoma kiekvieno iš šių teršalų galima įtaka ekosistemoms. Atsižvelgiant į teršalų įtaką ekosistemai ir jų patekimo šaltinius būtina valyti paviršines nuotekas prieš jas išleidžiant į paviršinius vandens telkinius.

Bioskaidžias organines medžiagas galima skirti į dvi grupes:

- bioskaidūs organiniai junginiai yra ištirpusio deguonies šaltiniai paviršinėse nuotekose;

- bioskaidžios organinės medžiagos yra maistas heterotrofams, taip pat ir didesniems vandens organizmams (Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010).

Daugiausiai organinių junginių vandenyje gali būti asimiliuojami aerobinių organizmų, greičiausiai tai daro bakterijos.

Norint nustatyti bioskaidžių organinių junginių kiekį tiriamose paviršinėse nuotekose yra taikomi biocheminio deguonies ir cheminio deguonies suvartojimo nuotekose tyrimai, kartais taikomas ištirpusio deguonies nuotekose tyrimas (Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010).

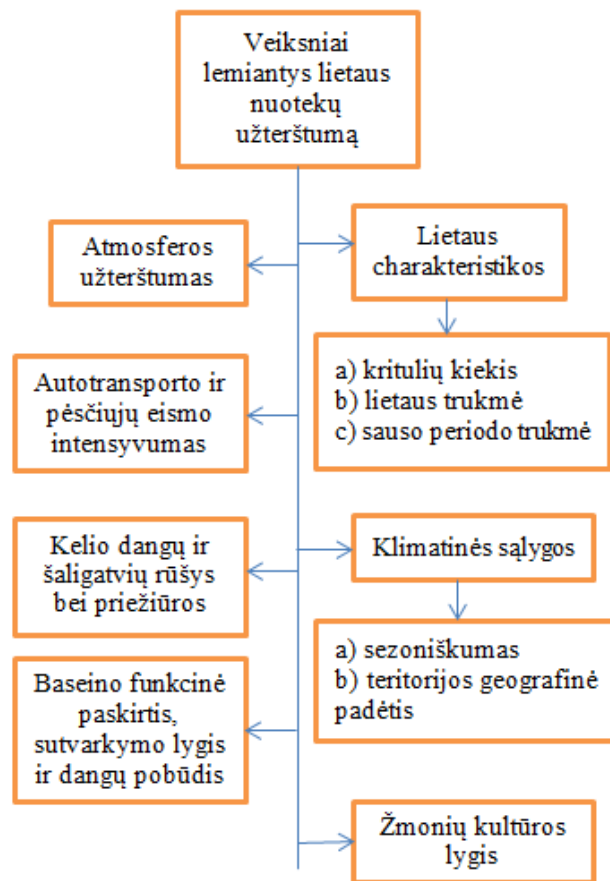
Maistinės medžiagos paviršinėse nuotekose apibrėžiamos kaip aktyviojo azoto ir fosforo kiekiai jose. Didelis azoto koncentracijų patekimas į antžeminį azoto ciklą yra vienas iš svarbiausių aplinkos pokyčių 20-ajame amžiuje (Collins *et al.* 2010; [Vitousek et al., 1997](#)). Azoto koncentracijos padidėjimas paviršiniuose vandens telkiniuose nustatytas urbanizuotose teritorijose (Collins *et al.* 2010; [Groffman et al. 2004](#); [Grimm et al. 2008](#)).

Remiantis 1.1 lentelėje pateiktais duomenimis pagrindiniai biogeninių medžiagų šaltiniai yra: organinės medžiagos, šiukšlės, trąšos, maisto atliekos ir nuotekos, o jų sukeliamas poveikis aplinkai gali būti aiškinamas kaip: išbalansuota ekosistema, intensyvus dumblių augimas ir deguonies mažėjimas.

Sunkieji metalai į paviršines nuotekas gali patekti kartu su autotransporto išmetamais teršalais, statybinėmis medžiagomis ir kitomis cheminėmis medžiagomis (1.1 lentelė). Sunkieji metalai, kurių koncentracijos yra dažniausiai tiriamos paviršinėse nuotekose:

- varis;
- švinas;
- cinkas;
- kadmis;
- nikelis;
- chromas (Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010; Davis and McCuen 2010).

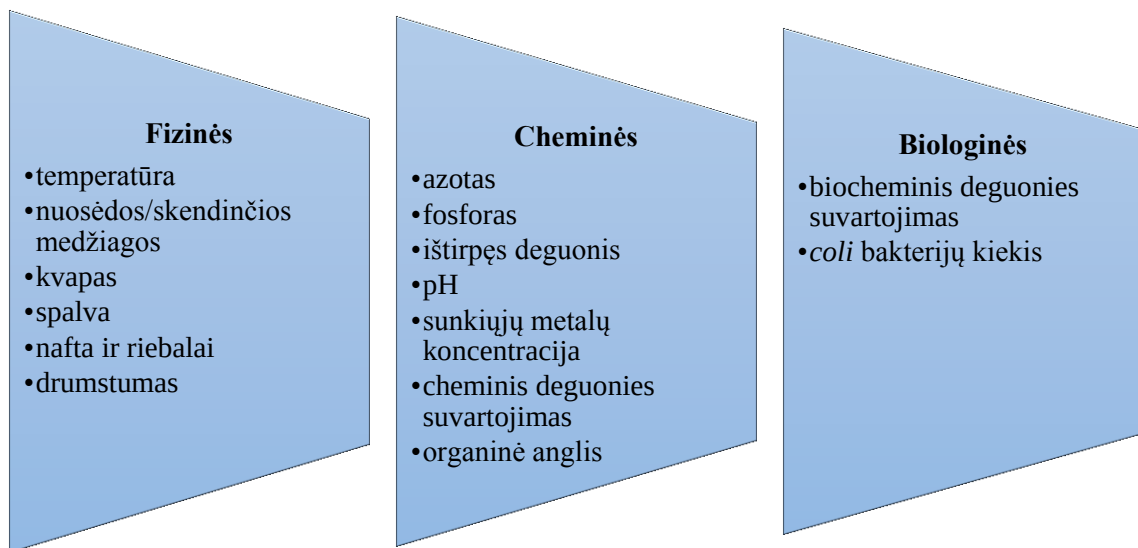
Ir nedidelė koncentracija minėtų sunkiųjų metalų gali sukelti didelį pavojų gyviesiems organizmams (Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010). Galimas sunkiųjų metalų poveikis ekosistemai: mažina atsparumą ligoms, mažina organizmų dauginimosi spartą ir keičia jų įpročius (1.1 lentelė). Sunkieji metalai dažniausiai aptinkami paviršinio vandens telkinių nuosėdose, į kuriuos jie patenka su skendinčiomis medžiagomis (Davis and McCuen 2010).



1.2 pav. Pagrindiniai veiksniai, lemiantys lietaus nuotekų užterštumą (Rimeika 2011)

1.2 paveiksle pateikti veiksniai, į kuriuos turėtų būti atsižvelgiama vertinant susidarančias paviršines nuotekas ir jų kokybę. Galimas kritulių nuspėjimas atitinkamoje teritorijoje gali leisti nuspėti susidarysiančių nuotekų taršą. Teritorijos klimato ypatumai sąlygoja kritulių vertinimo modelio pasirinkimą (galimas kritulių lygis, sezoninis nuotekų pasiskirstymas, kritulių charakteristikos ir temperatūra) (Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010). Tiriama stacionarių ir mobilių taršos šaltinių įtaką paviršinių nuotekų taršai, taip tiriama kaip paveiktų paviršinių nuotekų taršą įvykusios avarijos stacionariuose taršos objektuose. Įvertinus kelio dangų ir šaligatvių priežiūrą, baseino sutvarkymo lygį ir dangų pobūdį, atsižvelgus į žmonių kultūros lygį, galima nustatyti dažniausiai pasitaikančius tiriamose paviršinėse nuotekose teršalus, nustatyti jų parametrus, taip pat stebėti jų kitimo dinamiką laike. Taip pat, vertinant paviršinių nuotekų taršą, reikia atsižvelgti į:

- paviršinių nuotekų atskiedimą, joms patekus į paviršinius vandens telkinius;
- nuotekų taršą laike, atsitiktinė ir baigtinė gamtinių sąlygų įtakojama nuotekų tarša (Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010);
- geografines teritorijos sąlygas, taršos šaltinius joje.



1.3 pav. Pagrindiniai parametrai, įtakojantys paviršinių nuotekų savybes (Campbell 2007; Wastewater characteristics 2009).

Skendinčiosios medžiagos yra pagrindinis teršalas, kuris teršia paviršines nuotekas (Davis and McCuen 2010). Skendinčiosios medžiagos gali transportuoti adsorbuotus sunkiuosius metalus, fosforą, azoto junginius, kurie gali sukelti vandens ekosistemos pokyčius, neigiamai įtakojančius žmonių sveikatą, vandens telkinių florą ir fauną. Kaip yra pateikta 1.1 lentelėje, skendinčiųjų medžiagų pagrindiniai šaltiniai yra: statybos aikštelės, miesto teritorijos paviršiaus erozija ir nevalomos gatvės (keliai). Skendinčiųjų medžiagų keliamas pavojus aplinkai: gali susidaryti nuosėdos ant vandens telkinio dugno, tai papildomas biogeninių medžiagų šaltinis, blokuoja saulės šviesos prasiskverbimą į gilesnius sluoksnius, padengia dugną smėliu. Didelis skendinčiųjų medžiagų kiekis paviršinėse nuotekose gali užkimšti paviršinių nuotekų surinkimo tinklus, sukelti potvynius urbanizuotoje teritorijoje, kietosios dalelės nuplaunos nuo važiuojamosios urbanizuotos teritorijos dalies gali pasižymėti ėsdinančiomis savybėmis (Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010).

Kad paviršinės nuotekos būtų tinkamos išleisti į paviršinius vandens telkinius, turi būti įvertintos pagrindinės fizikinės vandens savybės:

- pH;
- ištirpusio deguonies kiekis;
- temperatūra (1.3 pav.).

pH parametras taikomas nustatyti vandenilio jonų koncentracijai (H^+) paviršinėse nuotekose. Vandens organizmams tinkamiausios sąlygos augti ir gyventi yra, kai pH yra tarp 6 ir 8. Paviršinių nuotekų terpės rūgštingumą gali įtakoti rūgštiniai atmosferiniai krituliai (Davis and McCuen 2010).

Paviršinės nuotekos patenkančios į paviršinius vandens telkinius yra susimaišę su ištirpusio deguonies (O₂) dujomis (Davis and McCuen 2010). Priklausomai nuo metų ir paros laiko, gamtiniuose vandenyse ištirpusio deguonies koncentracija gali kisti nuo 0 mg/l iki 14 mg/l (Margenytė *ir kt.* 2012). Ištirpusio deguonies koncentracija priklauso ir nuo vandens temperatūros – šaltesniame vandenyje deguonies gali ištirpti daugiau (Margenytė *ir kt.* 2012; Fang *et al.* 2004).

Norint palaikyti vandenyje optimalias sąlygas ekosistemai augti, turi būti palaikomas ištirpusio deguonies kiekis nuotekose daugiau nei 6 mg/l, esant minimaliai koncentracijai – 2 mg/l, vandens gyvūnai patiria deguonies stygių, o esant kritinei koncentracijai, t. y. mažesnei nei 1,2 mg/l – žūva (Davis and McCuen 2010).

Vandens temperatūra įtakoja ekosistemos augimą vandenyje. Vandenyje gyvenantys skirtingi organizmai prisitaikę gyventi prie skirtingos temperatūros, todėl vandens gyvūnai gyvena skirtinguose vandens gyliuose, kur temperatūra yra skirtinga (Davis and McCuen 2010).

Paviršinių nuotekų kvapas padeda identifikuoti nuotekų taršos šaltinį (Storm Water Management... 1999). Pagal vandens kvapą galima spręsti apie jo cheminę sudėtį, užterštumo laipsnį. Kvapą sukelia vandenyje esančios lakiosios medžiagos, įvairių jame vykstančių biologinių, biocheminių ir cheminių procesų šalutiniai dujiniai produktai.

Nafta ir riebalai yra sudaryti iš daug organinių medžiagų su skirtingomis toksinėmis savybėmis ir sudėtimi (Campbell 2007). Ši grupė teršalų yra apibrėžiama kaip bet kokia medžiaga, kuri tirpsta paveikta organinio ekstrahuoto tirpiklio, todėl, naftos ir riebalų koncentracija yra nustatoma taikant orientacines priemones, o ne analitinius tikslus matavimus (Duncan 1999; Campbell 2007). Naftos produktai į paviršines nuotekas patenka nuo eksploatuojamų transporto priemonių, degalinių ar pramonės įmonių teritorijų.

Cheminis deguonies suvartojimas (ChDS) – deguonies, suvartojamo nuotekų mėginio priemaišas oksiduojant dichromatu tam tikromis sąlygomis, koncentracija (STR 2.02.05:2004).

Biocheminis deguonies suvartojimas (BDS) – ištirpusio deguonies, suvartojamo tam tikromis sąlygomis (per 5 paras, esant 20 °C temperatūrai) biologiškai skaidant organines arba neorganines nuotekų priemaišas, koncentracija (STR 2.02.05:2004).

Bendrosios organinės anglies koncentracija nuotekose parodo organinių medžiagų kiekį paviršinėse nuotekose (Duncan 1999; Campbell 2007). Natūralios ir sintetinės organinės medžiagos, esančios paviršinėse nuotekose suvartoja deguonį, didelė organinių medžiagų koncentracija neigiamai veikia paviršinių nuotekų kokybę (Stormwater Annual Report... 2010).

Bendras koliforminių bakterijų kiekio nuotekose nustatymas yra naudojamas kaip vandens mikrobiologinio užterštumo indikatorius (Duncan 1999; Campbell 2007).

1.2. Paviršinių nuotekų poveikis aplinkai

Susidariusios paviršinės nuotekos gali sukelti žalingą poveikį aplinkai. 1.2 lentelėje aprašytas paviršinių nuotekų galimas poveikis aplinkai ir ir jį sukeliančios priežastys.

1.2 lentelė. Paviršinių nuotekų poveikis aplinkai ir jį sukeliančios priežastys (Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010)

Poveikis aplinkai	Pasekės
Fiziniai gyvenimo pokyčiai	Potvyniai miestų ir kaimų teritorijose
	Dirvožemio erozija ir dideli nuotekų debitai kanaluose ir upėse
	Nuosėdų patekimas į nuotekų surinkimo tinklus ir transporto sistemas, taip pat geriamojo vandens tiekimo tinklus
Ištirpusio deguonies išsekvojimas	Poveikis vandens telkinių biologinei įvairovei
Eutrofikacija	Tai poveikis maistingųjų medžiagų (azoto ir fosforo) ir organinių medžiagų (substratai) pernelyg dideliu biologiniam augimui ir aktyvumui
Toksinių teršalų poveikis	Sunkiųjų metalų ir organinių mikroteršalų didelė koncentracija
Rizika žmonių sveikatai	Tiesioginis patogeninių organizmų ir virusų poveikis žmonių sveikatai
	Netiesioginis poveikis per užterštą maistą
Estetinio vaizdo blogėjimas	Įtakojamas bendro kietųjų dalelių ir nuosėdų išleidimo

Paviršinės nuotekos, kurias sudaro nuotekos nuo nelaidžių paviršių, gatvių, automobilių stovėjimo aikštelių, pastatų stogų, kitų grįstų teritorijų, yra viena iš pagrindinių priežasčių paviršinio vandens kokybės blogėjimui (Environmental assessment 2006).

Su paviršinėmis nuotekomis patekusios bakterijos ir patogeniniai organizmai į požeminius vandens telkinius, žmonėms gali sukelti ligas ir įvairias infekcijas. Todėl paviršinės nuotekos, turi būti valomos. Paviršinės nuotekos, turinčios toksiškų organinių priemaišų, veikia vandenį ir jame esančius gyvus organizmus, o nuotekos, kurios turi neorganinių priemaišų, keičia vandens spalvą ir skaidrumą, kvapą ir skonį, naikina florą ir fauną, ardo metalo ir betono konstrukcijas (Baltrėnas *ir kt.* 2008).

Paviršinės nuotekos, kuriose gali būti perteklinis kiekis maistinių medžiagų (azoto ir fosforo) ir patekusios į paviršinio vandens telkinius blogina vandens kokybę (Perlman 2013).

Kartu su paviršinėmis nuotekomis į požeminio vandens telkinius gali patekti ir kiti vandens teršalai: toksinės medžiagos, sunkieji metalai. Šių teršalų poveikis žmogui yra itin kenksmingas, gali sukelti ligas.

1.3. Paviršinių nuotekų valymo būdai ir technologijos

Paviršinių nuotekų valymo įrenginiai, kuriais pašalinami teršalai, susikaupę nuotekose, gali būti:

- filtravimo;
- nusodinimo;
- biologinio.

Remiantis statybos techniniame reglamente nurodyta filtrų apibrėžtimi, filtravimo įrenginiai – tai kompleksas skirtų nuotekoms valyti įrenginių, kuriuose galutinis nuotekų valymas atliekamas tik šiam tikslui skirtoje vietoje natūralios sanklodos gruntuose ir nėra organizuoto nuotekų išleidimo (STR 2.02.05:2004; Lietuvos Respublikos... 2001). Jungtinių Amerikos Valstijų Aplinkos apsaugos agentūros (EPA) pateikiama biofiltro apibrėžtimi aiškinama, kad filtras – tai įrenginys, kuriuo filtruojasi paviršinės nuotekos. Filtrai gali būti pagaminti iš smėlio, durpių ir kt. medžiagų (Environmental protection... 2013).

Paviršinėms nuotekoms valyti gali būti taikomos ir statybinės atliekos. Viena iš medžiagų, kuri taikoma nuotekoms valyti – autoklavinio akytojo betono skalda. Mokslininkai nustatė, kad ši statybinė atlieka gali būti naudojama filtruose, kurie valo paviršines nuotekas, buitines nuotekas ar net sąvartynų filtratą (Renman and Renman 2012). Ši statybinė atlieka pagaminta iš smėlio, vandens, cemento ir gipso. Porėtumo statybinei medžiagai suteikia gamybos proceso metu naudojama aliuminio pudra, taip pat ir tai, kad ši statybinė medžiaga yra gaminama 180–200 °C temperatūroje (Renman and Renman 2012). Mokslininkai tiria, ar, pritaikius autoklavinio akytojo betono blokelių skaldą filtruose, galima sumažinti BDS ir maistinių medžiagų (fosforo ir azoto) koncentracijas užterštose paviršinėse nuotekose. Mokslininkų tyrimais yra nustatyta, kad taikant šią statybinę atlieka fosforo šalinimo efektyvumas paviršinėse nuotekose gali būti pasiekiamas nuo 81 % (Malavipathirana *et al.* 2013) iki 92,4 % (Renman and Renman 2012).

Filtravimo įrenginiai, skirti valyti paviršines nuotekas, turi būti pakankamai dideli, kad spėtų išvalyti teršalus, patekusius kartu su paviršinėmis nuotekomis. Tokie įrenginiai iki galo neišvalo paviršinių nuotekų, todėl valomos paviršinės nuotekos į tokio tipo įrenginius patenka valymo sistemos gale. Filtravimo įrenginiai skirti paviršinėms nuotekoms valyti yra:

- išplėstinio sulaikymo baseinai;

- sauso pratęsto sulaikymo tvenkiniai;
- infiltravimo tranšėjos;
- smėlio ir augalų filtrai – biofiltrai;
- pelkėtos žemumos;
- žolių terasos (Davis and McCuen 2010).

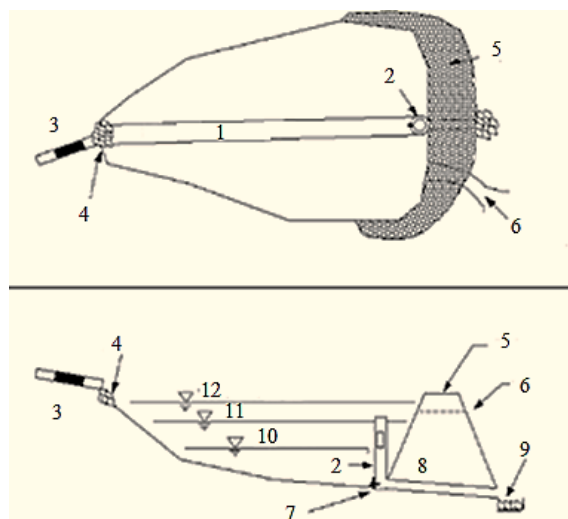
Paviršinių nuotekų biofiltrai – paviršinių nuotekų valymo įrenginys. Įrenginiui įrengti yra iškasamas dirvožemis pasirinktame plote, iškastas plotas yra užpildomas atitinkamai parinktais dirvožemio ir organinių medžiagų mišinio sluoksniais. Įrenginys yra apželdinamas augalais, kurie yra prisitaikę augti perteklinės drėgmės zonose (Environmental protection... 2013). Biofiltruose paviršinės nuotekos valomos biologinių ir cheminių procesų metu (Blecken *et al.* 2007).

Filtruose vykstantys procesai gali būti skirstomi į vandens judėjimo (medžiagų pernešimas vandenyje dėl advekcijos, dispersijos, difuzijos), cheminius ir biologinius (Farm 2003).

Vienas svarbiausių vandens judėjimo reiškinių yra advekcija (Farm 2003). Advekcija – vandens masių judėjimas natūraliuose vandens telkiniuose, kai ištirpusios medžiagos dėl vėjo energijos ir gravitacijos jėgų transportuojamos kartu su vandens tėkme laiko ir erdvės atžvilgiu (Vincevičienė 1998). Advekcija vyksta dėl vandens tėkmės – tai tolygi pasiskirsčiusi tėkmė, kuri tik perneša (transportuoja) medžiagas, nekeisdama medžiagų identiškumo savybių (Vincevičienė 1998).

Difuzija – tai savaiminis judančių dalelių maišymasis. Taip pat svarbus filtravimo įrenginiuose vykstantis procesas. Dėl difuzijos medžiagų judėjimas vyksta iš didelių teršalų koncentracijų zonos mažų koncentracijų zonų link, kad išsilygintų koncentracijų skirtumai (Farm 2003; Vincevičienė 1998).

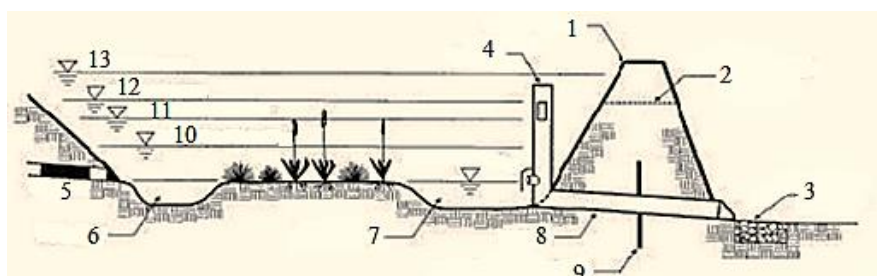
Išplėstinio sulaikymo baseinas (1.4 pav.), kitaip dar vadinamas sausu tvenkiniu – tai įrenginys, kuriam nėra būtinas nuolatinis paviršinių nuotekų tiekimas (Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010). Išplėstinio sulaikymo tvenkiniai gali būti lengvai pritaikomi kontroliuoti potvynių vandeniui, tai yra pagrindinis visų projektuojamų tvenkinių paviršinėms nuotekoms valyti tikslas. Išplėstinio sulaikymo baseinuose galima pašalinti nuotekose esančius teršalus kartu su nuosėdomis.



1.4 pav. Išplėstinio sulaikymo baseino, paviršinėms nuotekoms valyti, schema: 1 – nedidelio srauto kanalas, 2 – vertikalus vamzdis, 3 – įtekėjimas, 4 – apsauginė danga, 5 – kranto sutvirtinimas, 6 – atsarginis slenkstis, 7 – mažo srauto purkštukas, 8 – vamzdis, 9 – ištekėjimas, 10 – CPv lygis, 11 – 25 metų lygis, 12 – 100 metų lygis (Debo and Reese 2003)

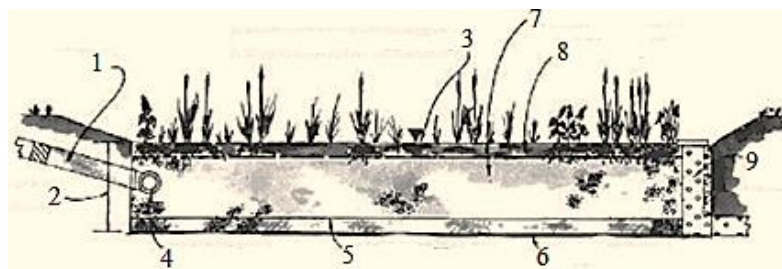
Išplėstinio sulaikymo baseine paviršinės nuotekos gali išbūti iki 72 val. Nuotekos gali būti išleidžiamos po netikėto ir nekontroliuojamo nuotėkio įrenginyje. Norint sumažinti nuotėkio debitą, kuris patenka į įrenginį, galima taikyti infiltraciją į dirvožemį. Šių įrenginių efektyvumas siekia iki 80 % (Debo and Reese 2003; Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010).

Drėgnieji tvenkiniai (1.5 pav.) gali kaupti paviršinės nuotekas ir jas į aplinką išleisti lėtai, išlaikant iki keleto dienų (Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010). Tvenkiniai gali filtruoti teršalus, kurie patenka kartu su paviršinėmis nuotekomis (Wet ponds... 2009). Be tinkamos priežiūros, tvenkiniai negali veikti efektyviai. Kartu su patekusiomis nuotekomis į tvenkinius patenka azoto ir fosforo junginiai. Šios maistinės medžiagos, patekusios į tinkamai neprižiūrimą įrenginį, gali kauptis, todėl gali pablogėti paviršinių nuotekų valymo efektyvumas, sumažėja ištirpusio deguonies koncentracija, matomas dumblių žydėjimas, gali sklisti nemalonūs kvapai (Wet ponds... 2009).



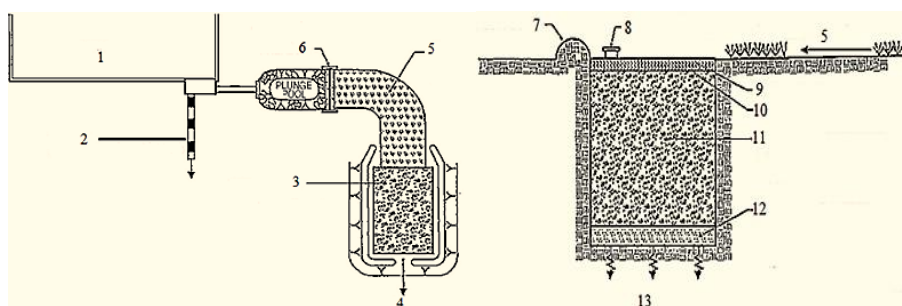
1.5 pav. Drėgniojo tvenkinio, paviršinėms nuotekoms valyti, schema: 1 – kranto sutvirtinimas, 2 – atsarginis slenkstis, 3 – ištekėjimas, 4 – vertikalus vamzdis, 5 – įtekėjimas, 6 – baseinas, 7 – mažas baseinas, 8 vamzdis, 9 – filtro diafragma, 10 – nuotekų aukštis, 11 – 2 metų lygis, 12 – 10 metų lygis, 13 – 100 metų lygis (Environmental protection... 2012)

Smėlio ir augalų filtras (1.6 pav.) yra tankiai padengti natūralia augmenija su žemu vandens gyliu, kuris siekia 0,1–0,3 m. Vandens gylis įrenginyje ir visa įrenginio struktūra parenkama atsižvelgiant į vyraujančių kritulių tipą, intensyvumą, metų laiką (Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010). Filtre sulaikomos skendinčiosios medžiagos. Smėlio ir augalų filtras yra sudarytas iš skirtingų natūralių ekosistemų (Constructed treatment... 2004). Priklausomai nuo fizinių, cheminių ir biologinių procesų filtruose, jų sistema gali kisti (Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010). Šių įrenginių valymo efektyvumas siekia iki 76 % (Birch *et al.* 2004).



1.6 pav. Filtro, paviršinėms nuotekoms valyti, schema: 1 – įtekėjimas, 2 – 1,20 m gylis, 3 – nuotekų paviršius, 4 – perforuotas vamzdis, 5 – dirvos sluoksnis, 6 – nepralaidi riba, 7 – anaerobinė zona, 8 – aerobinė zona, 9 – nuotekų išleidimas (Debo and Reese 2003)

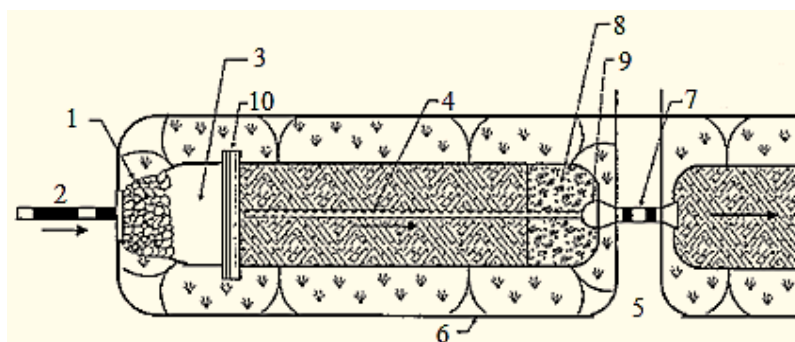
Infiltravimo tranšėja (1.7 pav.) iškasama ir paruošiama kartu su filtro užpildu ir užpilama akmenimis, kad būtų suformuotas požeminis baseinas (Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010). Infiltravimo tranšėjos yra vienas iš infiltravimo įrenginių, kurie valomas paviršines nuotekas infiltruoja į gilesnius dirvožemio sluoksnius (Debo and Reese 2003). Paviršinės nuotekos pirmiausia teka į pirminio apdorojimo įrenginius, o tada patenka į infiltravimo tranšėjas (Debo and Reese 2003). Įrenginio efektyvumas siekia 80–100 % (Debo and Reese 2003).



1.7 pav. Stovėjimo aikštelės schema, paviršinėms nuotekoms valyti taikant infiltravimo tranšėją: 1 – stovėjimo aikštelė, 2 – aplinkkelis, 3 – infiltravimo tranšėja, 4 – nuotėkis, 5 – žolės tinklas, 6 – nuotekė tekėjimo reguliatorius, 7 – vandens perpildymo terasa, 8 – stebėjimo vamzdis, 9 – žvyro užpildas filtre, 10 – apsauginis sluoksnis, 11 – akmenų užpildas, 12 smėlio filtras, 13 – nuotekų išteklėjimas (Debo and Reese 2003)

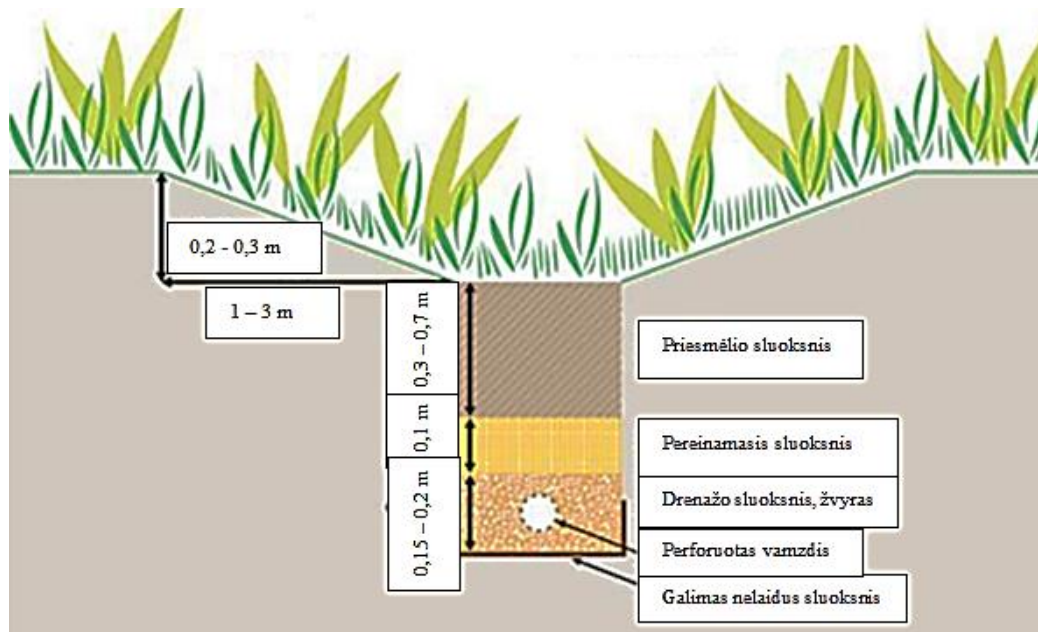
Sausa pelkėta žemuma (1.8 pav.) – tai seklūs kanalai, ant kurių auga augalai, skirti kaupti teršalus ir tokiu būdu valyti paviršines nuotekas (Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010). Tokie įrenginiai įrengiami šalia kelių, kad būtų galima rinkti nuotekas ir jas nukreipti į surinkimo,

valymo ir išleidimo įrenginius (Davis and McCuen 2010). Įrenginiuose patekusios nuotekos valosi infiltruodamosi į gilesnius dirvožemio sluoksnius (Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010). Norint pasiekti didesnę paviršinių nuotekų valymo efektyvumą turi būti užtikrintas mažas įrenginio nuolydis ir geras įrenginio užpildo nusausinimas (Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010). Taip šiuose įrenginiuose efektyviai gali būti šalinamos skendinčiosios medžiagos, bei užtikrinama sparti nuotėkio infiltracija (Davis and McCuen 2010).



1.8 pav. Pelkėtų žemumų, paviršinėms nuotekoms valyti, schema: 1 – apsauginė danga, 2 – įtekėjimas, 3 – pirminis valymas, 4 – drenažo sluoksnis, 5 – įvažiavimas, 6 – įtvirtinimas, 7 – požeminis vamzdis, 8 – žvyro užpildo sluoksnis, 9 – apvalus vamzdis, 10 – nuotėkio reguliavimas (Debo and Reese 2003)

Žolių terasos sistemą sudaro dirva ir augalai, kurie vartojami kaip filtrų sistema paviršinėms nuotekoms valyti nuo urbanizuotos teritorijos (Davis and McCuen 2010; Debo and Reese 2003) (1.9 pav.). Taikant tokius filtrus, juose vyksta nusodinimo, adsorbcijos, filtracijos ir biologiniai procesai, kurių metu augalai pasisavina medžiagas iš paviršinių nuotekų (Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010). Taikant tokį paviršinių nuotekų valymo filtrą nuotekos yra išvalomos, išgarinamos pro augalų lapus ir yra infiltruojamos į dirvožemį (Davis and McCuen 2010). Nuotėkis iš filtro gali būti grąžinamas į išvalytų nuotekų surinkimo tinklų sistemą, kuria nuotekos bus visiškai išvalytos, arba leisti visam nuotėkiui infiltruotis į dirvožemį (Debo and Reese 2003).



1.9 pav. Žolių terasos, paviršinėms nuotekoms valyti, principinė schema (Bioretention systems 2010)

Labiausiai paplitęs paviršinių nuotekų valymo būdas yra valymas tvenkiniuose (Farm 2001; German 2001; Persson 1999; Pettersson 1999). Kurie skirstomi į:

- išleidžiamieji tvenkiniai;
- neišleidžiamieji tvenkiniai.

Tinkamai suprojektuoti tvenkiniai paviršinėms nuotekoms valyti yra efektyvūs šalinti skendinčiąsias medžiagas ir sunkiuosius metalus (German 2003). Išvalymo efektyvumas priklauso nuo konkretaus teršalo, tvenkinio formos ir nuo teritorijos, iš kurios nuotekos suteka į tvenkinį. Įvairiuose literatūros šaltiniuose pateikiamas skirtingas paviršinių nuotekų išvalymo efektyvumas (iki 80 %). (Pettersson 1999; Bhaduri *et al.* 1995; Lundberg *et al.* 1999).

1.3.1. Filtrų tipai ir veikimo principas

Paviršinių nuotekų tvarkymas Lietuvoje atliekamas, remiantis Lietuvos Respublikos įsakyму „Dėl paviršinių nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo“. Lietuvos paviršinių nuotekų tvarkymo reglamente yra nurodyta, kad kiekvienas teritorijos valdytojas nori arba privalo organizuoti surinkti ir pašalinti į aplinką arba išleisti į kitiems asmenims priklausančias nuotekų tvarkymo sistemas. Nuotekų tvarkymas yra apibrėžiamas kaip paviršinių nuotekų:

- surinkimas;
- transportavimas;
- valdymas;
- išleidimas;

- valymo metu susidarančio dumblo (šlamo) pirminis tvarkymas (Lietuvos Respublikos... 2007).

Paviršinės nuotekos turi būti tvarkomos atskirai nuo buitinių, komunalinių ir gamybinių nuotekų (Lietuvos Respublikos... 2007), todėl joms valyti taikomi atskiri įrenginiai. Nuo lietaus nuotekų sistemos priežiūros priklauso miesto gatvių būklė, transporto eismo sąlygos liūčių ir pavasario polaidžio metu, vandens telkinių ekologinė pusiausvyra (Sauliutė ir Tričys 2011).

Paviršinėms nuotekoms valyti taikomi biofiltrai:

- žolių terasos;
- sausos žolių terasos su užpildu;
- pelkėtos žemumos;
- augalinės filtro juostos;
- augaliniai filtrai.

Visi šie valymo įrenginiai priklauso paviršinių nuotekų filtravimo įrenginių grupei. Biofiltrai taip pat skirstomi į:

- mikro-augaliniai filtrai – tai nedidelio ploto įrenginiai, skirti valyti paviršines nuotekas nedideliame plote, dažniausiai tiekiamas koncentruotas nuotekų srautas, kai yra įrengtas vamzdis nuotekoms surinkti ir tiekti į įrenginį;
- augaliniai filtrų baseinai – tai yra įrenginiai, skirti valyti paviršinėms nuotekoms, susidarančioms ant automobilių stovėjimo aikštelių ar komercinių pastatų stogų. Paviršinės nuotekos į įrenginį tiekiamos koncentruotai (kai nuotekos į paviršinių nuotekų valymo įrenginį tiekiamos vamzdžiu). Tokio tipo paviršinių nuotekų įrenginiai gali būti pastatyti ir paskirstyti per visą gyvenamojo kvartalo teritoriją;
- urbanizuotoje teritorijoje naudojami augaliniai filtrai – tai žoliniais augalais ir medžiais užsodintos teritorijos (Bioretention 2011).



1.10 pav. Augalinio filtro, paviršinėms nuotekoms valyti, nuotrauka (Bioretention 2011)

1.10 paveiksle pateikta dažniausiai taikomo tipo augalinio filtro nuotrauka. Jį sudaro dirvos sluoksnis ir į jį susodinti augalai. Augalai yra labai svarbūs filtro veikimo procese, kadangi augalų šaknys akumuliuoja sunkiuosius metalus, kurie patenka į filtrą kartu su paviršinėmis nuotekomis (Godecke-Tobias 2010).

Filtro užpildams dažniausiai taikomos medžiagos:

- žvyras;
- labai rupus smėlis;
- vidutinis smėlis;
- smulkus smėlis;
- labai smulkus smėlis;
- aleuritas ir molis;
- priesmėlis.

Žvyras taikomas filtro drenažo sluoksnio sudarymui. Taip pat taikomas kietmedžio žievės ar skiedrų mulčas, viršutinį įrenginio sluoksnį gerinantys elementai (1.4 lentelė), kompostas.

Augalų, dažniausiai taikomų filtruose, sąrašas pateiktas 1.3 lentelėje.

1.3 lentelė. Filtruose naudojami augalai (Bioretention 2011)

Žoliniai augalai	Krūmai	Medžiai
Miglinis (<i>Elymus virginicus</i>)	Bugienis (<i>Ilex verticillata</i>)	Juodasis beržas (<i>Betula nigra</i>)
Didžioji smilga (<i>Agrostis alba</i>)	Bugienis (<i>Ilex glabra</i>)	Raudonasis klevas (<i>Acer rubrum</i>)
Raudonžiedis klumelis (<i>Asclepias incarnata</i>)	Tikrasis alksnakotis (<i>Clethra ainifolia</i>)	Pelkinis ąžuolas (<i>Quercus palustris</i>)
Rykštėtoji sora (<i>Panicum virgatum</i>)	Tikrasis šilkmedis (<i>Myrica cerifera</i>)	Ąžuolas (<i>Quercus phellos</i>)
Stačioji lobelija (<i>Lobelia cardinalis</i>)	Virgininė itėja (<i>Itea virginica</i>)	Juodasis gluosnis (<i>Salix nigra</i>)
Viksvameldis (<i>Scirpus americanus</i>)	Balinė azalija (<i>Azeala viscosum</i>)	Pilkasis beržas (<i>Betula populifolia</i>)
Onoklija (<i>Onoclea sensibilis</i>)	Vakarinis galvožis (<i>Cephalanthus occidentalis</i>)	Miškinė nisa (<i>Nyssa sylvatica</i>)
Barzdota vilkdalgis (<i>Iris versicolor</i>)	Slyvalapis putinas (<i>Virburnum prunifolium</i>)	Jovaras (<i>Platanus occidentalis</i>)
Viksvameldis (<i>Scirpus cyperinus</i>)	Krūminė amfora (<i>Amorpha fruticosa</i>)	Pensilvaninis uosis (<i>Fraxinus pennsylvanica</i>)
Pelkinė puriena (<i>Caltha palustris</i>)	Dantytasis putinas (<i>Virburum dentatum</i>)	Virgininė magnolija (<i>Magnolia virginiana</i>)
Purpurinis kemeras (<i>Eupatorium purpureum</i>)		Alksniadantis alksnis (<i>Alnus serrulata</i>)
Baltagalvės lelijos (<i>Lilium superbum</i>)		Kanadinė medlieva (<i>Amelanchier canadensis</i>)
Raudonosios monardos (Mornarda didyma)		Uosialapis klevas (<i>Acer negundo</i>)
Smilga (<i>Chasmanthium latifolium</i>)		Virgininis sniegmedis (<i>Chionanthus virginicus</i>)

1.3 lentelėje pateikti žolinių daugiamečių augalų, krūmų ir medžių pavadinimai. Augalų filtrai gali būti taikomi ir šalto klimato šalyse, tačiau augalai naudojami filtruose turi būti atsparūs ne tik šalčiui bet ir druskoms. Tam tinkamiausi yra pelkių augalai, dėl atsparumo druskoms.

Medžių ir krūmų rūšys, kurios yra nurodytos 1.3 lentelėje, taikomi įrenginiams apželdinti tuomet, kai filtro užpildų sluoksnių gylis yra nemažesnis kaip 800 mm (Land

Development Guidelines... 2007). Žoliniai augalai filtruose taikomi esant ir mažesniajam įrenginio užpildo sluoksnio gyliui.

Filtro veikimas prasideda tada, kai į jį patenka paviršinės nuotekos. Pirmiausiai paviršinės nuotekos patenka ant filtro paviršiaus. Nuotekų sulaikymas filtro viršuje, leidžia gerinti paviršinių nuotekų išvalymą.

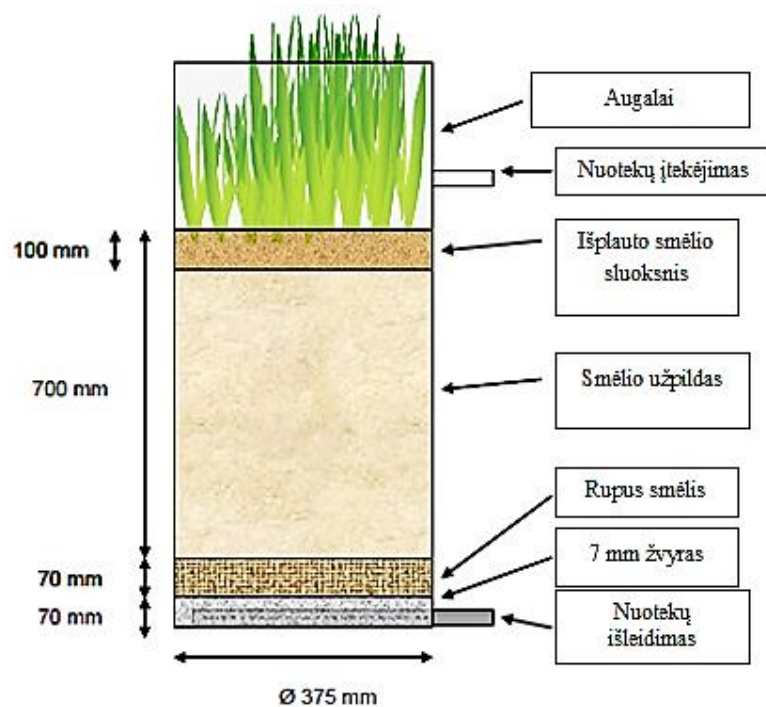
Viršutinis augalinio filtro užpildo sluoksnis gali būti pagerinamas naudojant organines medžiagas, trąšas ir mikroelementus (1.4 lentelė).

1.4 lentelė. Viršutinio filtro sluoksnio gerinimo medžiagos (Bratières *et al.* 2009)

Pavadinimas	Kiekis
Granuliuotas paukščių mėšlas	50 kg/100m ² filtro ploto
Superfosfatas	2 kg/100m ² filtro ploto
Magnio sulfatas	3 kg/100m ² filtro ploto
Kalio fosfatas	2 kg/100m ² filtro ploto
Kalcio karbonatas	1 kg/100m ² filtro ploto
Trąšos NPK (16:4:14)	4 kg/100m ² filtro ploto
Kalkės	20 kg/100m ² filtro ploto

Viršutinio filtro užpildo sluoksnio gerinimas vykdomas tam, kad būtų užtikrintas filtre naudojamų augalų šaknyno vystymasis. Tačiau taikant šį metodą, kyla grėsmė nuotekas užteršti medžiagomis: azotu, fosforu (Limouzin *et al.* 2011; Read *et al.* 2008).

Nuotekų valymas filtre vyksta dėl filtravimosi per užpildą, dėka augalų šaknų ir mikroorganizmų veiklos, taip pat teršalų šalinimas vyksta dėka cheminių ir biocheminių procesų. Infiltracijos metu, į gilesnius užpildo sluoksnius, yra sulaikomi teršalai: skendinčiosios medžiagos, azotas ir fosforas.



1.11 pav. Paviršinių nuotekų valymo filtro principinė schema (Bratieres *et al.* 2008)

Filtre išvalytos paviršinės nuotekos patenka į gilesnius dirvožemio sluoksnius arba drenažo sistemoje yra surenkamas ir tiekiamas į paviršinių nuotekų tinklus, arba šalinamas į paviršinio vandens telkinius (1.11 pav.).

Dėl paviršinių nuotekų infiltracijos pajėgumų, galimo filtro užsikimšimo, susidarančių nuosėdų sluoksnio būtina vykdyti filtro priežiūros darbus. Pašalinant ant viršutinio filtro sluoksnio susidariusias nuosėdas, pašalinama didžioji dalis kietųjų dalelių, kurios gali būti absorbavusios ir kitus teršalus. Tai gali pailginti filtro filtracinės medžiagos veikimą, taip pat sumažinti eksploataavimo ir priežiūros išlaidas (Godecke-Tobias 2010).

Siekiant išvengti filtro užsikimšimo, šaltuoju metų laiku, kai galimas užsikimšimas dėl apledėjimo, filtras turi būti tikrinamas prieš nukrentant temperatūrai žemiau 0 °C, įvertinti paviršinį nuosėdų sluoksnį.

Pašalinti teršalus iš filtro filtracinės medžiagos yra būtina dėl tinkamo ir efektyvaus įrenginio veikimo (Hatt *et al.* 2010). Vertinant galimą teršalų koncentraciją susidarančią filtre, įrenginio užpildo medžiagos turi būti šalinamos į sąvartynus arba išvalomos, taikant atitinkamas technologijas. Tokiu atveju užpildo medžiagos ir toliau gali būti taikomos paviršinių nuotekų valymo procese (Anderson *et al.* 1998).

1.3.2. Filtrų valymo efektyvumas ir panaudojimo galimybės

Paviršinių nuotekų valymo filtro veikimas pagrįstas užterštų paviršinių nuotekų filtravimusi per augalų sluoksnį ir filtro užpildo sluoksnius. Filtruose nuotekų valymo metu yra sulaikomos skendinčiosios medžiagos (Evaluating Options for... 2014) ir kiti teršalai, kurie patenka su užterštomis paviršinėmis nuotekomis.

Atskirų teršalųvalymo efektyvumas filtruose:

- skendinčios medžiagos – 83–92 %;
- bendras fosforas – 29–80 %;
- azoto junginiai – 39–89 % (Jurries 2003).

Didžiausias kiekis sulaikomas įrenginyje yra skendinčiųjų medžiagų, kurios yra pagrindinis taršos šaltinis paviršinėse nuotekose, bei maistinės medžiagos, kurios sukelia eutrofikacijos procesą. Azoto ir fosforo išvalymo kokybė įrenginyje priklauso nuo filtre naudojamų augalų. Jei pasirenkamas filtro užpildas, kuris neturi pernelyg didelio organinių medžiagų kiekio, tai padeda išvengti azoto ir fosforo išplovimo iš filtro užpildų (Advancing the Design... 2008).

Filtrą galima taikyti itin plačiai dėl šių priežasčių:

- filtras gali dirbti esant įvairioms klimato, dirvožemio ir požeminio vandens sąlygoms;
- lankstus dizainas;
- užtikrina geras sąlygas pašalinti nuosėdoms (skendinčiosioms medžiagoms) ir sunkiesiems metalams;
- tinkamai parinktas užpildas ir augalai gerina augalų maistinių medžiagų šalinimo efektyvumą;
- reikia mažesnio ploto veikimui, lyginant su kitais valymo įrenginiais, kurių infiltracijos lygis yra mažesnis nei filtro (Water sensitive ... 2011).

Taikant filtrą nuotekoms valyti, galima kontroliuoti nuotekų debitą ir taip išvengti potvynių ar apsemtų teritorijų, išvengti transporto trikdžių gatvėse.

Daugiausia paviršinių nuotekų valymo filtrų tyrimų yra atliekama Australijoje. Melburno Monash universitetoprofesorė Ana Deletic, vykdo tiriamuosius paviršinių nuotekų valymo įrenginio filtro tyrimus. Tiriami įrenginio valymo efektyvumas, taikant įvairias filtro užpildų medžiagas. Tyrimai atliekami šiltnamiuose, naudojant „dirbtines“ paviršines nuotekas. Tyrimai atliekami sukūrus 20 filtrų, kurių struktūra yra vienoda ir į kiekvieną filtrą tiekama 25 litrai „dirbtinių“ paviršinių nuotekų. Eksperimentinių tyrimų metu vertinamos teršalų koncentracijos nuotekose jas išvalius, augalų šaknyso pakitimai, augalo augimo greičiai.

Švedijoje paviršinių nuotekų valymo įrenginio filtro tyrimus atlieka Godecke-Tobias Blecken. Mokslininko tiriamieji darbai susiję su filtro taikymu esant žemoms ($3\text{ }^{\circ}\text{C}$) temperatūroms ir įrenginio valymo efektyvumo vertinimu, šalinant iš užterštų paviršinių nuotekų sunkiuosius metalus ir druskas. Tiriamieji darbai atliekami uždaroje patalpose, taikant dirbtinį šviesos šaltinį, ir naudojamos „dirbtinės“ nuotekos.

Lenkijos ir Etiopijos mokslininkai atlieka palyginamuosius paviršinių nuotekų valymo įrenginių – filtrų tyrimus. Lenkijoje buvo tirta Lodzės krašto Sokolūvka upės basieno teritorija, Etiopijoje – Assela mieste paviršinių nuotekų surinkimo vieta. Vertinama įrenginių valymo efektyvumas, valant skirtingus teršalus. Tyrimai atliekami natūraliomis sąlygomis, jau suprojektuotuose ir veikiančiuose filtruose. Atlikus palyginamuosius tyrimus, nustatytas skirtingas valymo efektyvumas atskirų teršalų. Palyginus gautus rezultatus, mokslininkai nustatė, kad įrenginys efektyviau veikia Lenkijoje. Lodzės universiteto mokslininkai teigia, kad šis įrenginys paviršinėse nuotekose esančius teršalus valo pakankamai efektyviai: skendinčiosios medžiagos – 95%, bendras fosforas – 86%, bendras azotas – 81%.

1.4. Paviršinių nuotekų mėginių ėmimo ir teršalų analizės metodai

Mokslininkai tiria paviršinių nuotekų išvalymo efektyvumą taikant skirtingus paviršinių nuotekų valymo filtrų užpildų sluoksnius. Dažniausiai taikomi įrenginiai nuotekų valymui – paviršinių nuotekų valymo filtrai. Paviršinių nuotekų filtrų užpildams taikomos natūralios medžiagos: žvyras, smėlis, mulčas, durpės ir kt.

Paviršinės nuotekos susidaro įvairiose klimato juostose, todėl mokslininkai, atlikdami tyrimus bando nustatyti paviršinių nuotekų valymo filtrų pritaikymą įvairiomis klimatinėmis sąlygomis. Plačiausiai filtrų taikymą skirtingomis klimatinėmis sąlygomis atliko Švedijos universiteto mokslininkas Godecke-Tobias Bleckian. Mokslininkas tiria, ar paviršinių nuotekų išvalymo efektyvumas priklauso nuo aplinkos temperatūros.

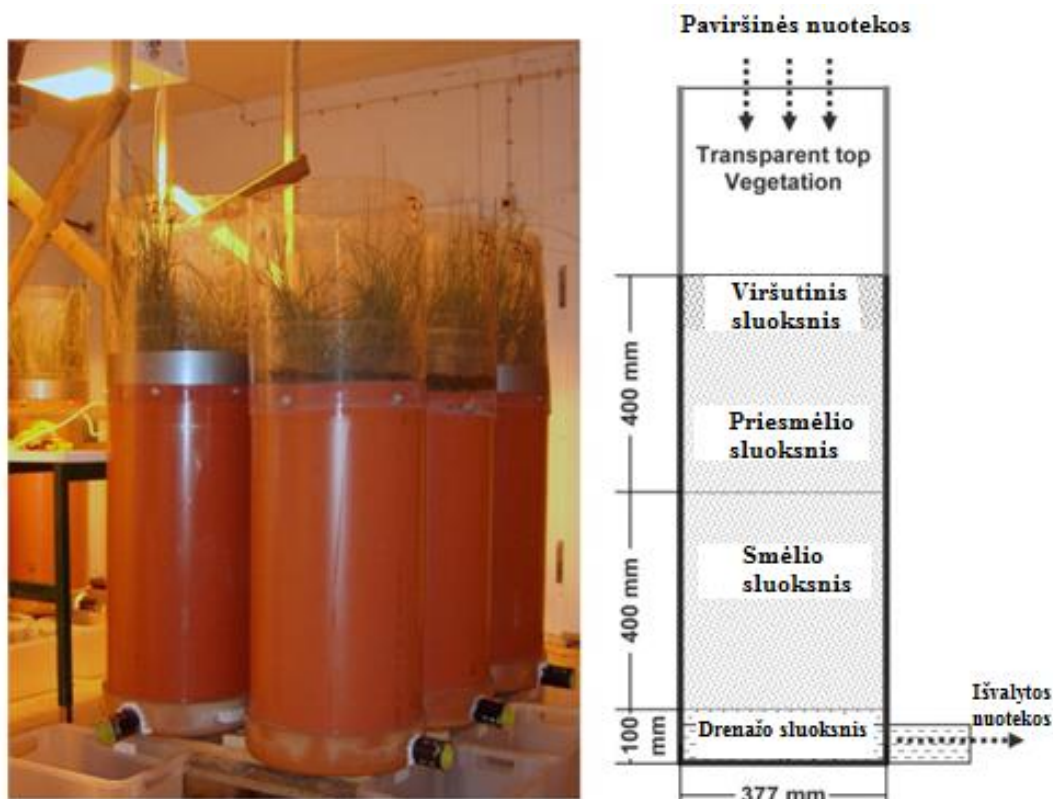
Godecke-Tobias tyrimų tikslas, nustatyti ar kinta filtrų valymo efektyvumas, šalinant maistines medžiagas ir skendinčiąsias medžiagas iš paviršinių nuotekų, esant skirtingoms aplinkos temperatūroms (Godecke-Tobias *et al.* 2010), taip pat vertina sunkiųjų metalų šalinimą iš paviršinių nuotekų (Godecke-Tobias *et al.* 2011).

Moksliniai tyrimai atliekami paviršinių nuotekų valymo įrenginius (1.14 pav.) testuojant $1,8 \pm 1,0$, $7,3 \pm 0,4$ ir $20,3 \pm 1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Godecke-Tobias *et al.* 2010; Godecke-Tobias *et al.* 2011). Tyrimai atliekami uždaroje patalpose, kuriose palaikoma nurodyta aplinkos

temperatūra. Įvertinti kaip skiriasi įrenginių veikimo efektyvumas esant skirtingomis aplinkos temperatūrom.

Švedijoje atlikti tyrimai taikant vienodos konstrukcijos paviršinių nuotekų valymo filtrus. Kiekvienas iš filtrų buvo 900 mm aukščio ir 377 mm pločio ir buvo pagaminti iš organinio stiklo. Šio įrenginio viršutinis užpildo sluoksnis, kuris siekė 400 mm, sudarytas iš 2–4 mm skersmens žvyro dalelių sumaišytų su dirvožemiu, ir apatinis sluoksnis, kuris taip pat yra 400 mm gylis – sudarytas iš smulkaus smėlio, įrenginiai apželdinti Snapuotąja viksva (*Carex rostrata Stokes*) (Godecke-Tobias *et al.* 2010). Atlikus tyrimus, nustatyta, kad fosforo ir skendinčiųjų medžiagų šalinimas iš paviršinių nuotekų filtre (1.12 pav.) nepriklauso nuo aplinkos temperatūros, tačiau azoto šalinimo efektyvumas nuo aplinkos temperatūros priklauso. Pagal mokslininko Godecke-Tobias atliktus tyrimus nustatyta, kad azoto šalinimas iš paviršinių nuotekų efektyviau vyksta esant žemesnei temperatūrai (apie 2 °C). Tai galima aiškinti tuo, kad esant žemesnei aplinkos temperatūrai nevyksta biologiniai procesai, kuriuose dalyvauja ir azotas, todėl vyksta mažesni jo išplovimai (Godecke-Tobias *et al.* 2010).

Mokslininkas, Godecke-Tobias, atlikęs sunkiųjų metalų (Cu, Zn, Pb, Cd) koncentracijos tyrimus nustatė, kad skirtingi metalai, esant skirtingoms temperatūroms, taip pat ir šalinami skirtingai. Cu koncentracija, išvalytose paviršinėse nuotekose, esant 20 °C temperatūrai, yra 2 kartus didesnė, nei kad esant 2 °C temperatūrai (Godecke-Tobias *et al.* 2011). Remiantis mokslininko atliktais tyrimais, nustatyta, kad efektyviausiai, esant žemai, 2 °C temperatūrai yra šalinami cinkas ir kadmis, jų šalinimo efektyvumas siekia 99 %.



1.12 pav. Filtro nuotrauka ir schema(Godecke-Tobias *et al.* 2011)

Norvegijos mokslininkų atlikti biofilto tyrimai parodė, cinko išvalymo efektyvumas gali siekti 92–95 %. Tuo tarpu vario šalinimo efektyvumas siekia tik 40–63 (Godecke-Tobias *et al.* 2011).

Ir Švedijoje ir Norvegijoje atliktais mokslininkų tyrimais nustatyta, kad efektyviausiai yra šalinamas cinkas, esant žemai aplinkos temperatūrai. Tačiau nustatyta, kad esant žemai aplinkos temperatūrai, Švedijoje, varis yra šalinamas 93 % efektyvumu (Godecke-Tobias *et al.* 2011), o Norvegijoje atliktais tyrimais nustatyta, kad vario šalinimas iš paviršinių nuotekų yra apie 51,5 % (Godecke-Tobias *et al.* 2011). Tai galima aiškinti tuo, kad Norvegijoje atlikti tyrimai esant natūralioms aplinkos sąlygoms, kuomet nėra užtikrinamos nekintančios aplinkos sąlygos ir nuotekų sudėtis, kai tuo tarpu Švedijoje atlikti tyrimai laboratorinėmis sąlygomis, naudojant vienodos sudėties dirbtines nuotekas. Švedijos universiteto Lulea mokslininkai atliko tyrimus, kurių metu taip pat nustatinėjo skirtingų temperatūrų įtaką sunkiųjų metalų šalinimui iš užterštų paviršinių nuotekų. Pasirinktos 4.6 ± 0.6 °C ir 17.1 ± 1.5 °C aplinkos temperatūros (Søberg *et al.* 2014). Tyrimų metu vertinta, ar naudojami augalai – Nendrinis dryžutis (*Phalaris arundinacea*), Viksva (*Carex panacea*), Glaustažiedis viksrė (*Juncus conglomeratus*) – taip įtakoja sunkiųjų metalų koncentracijos mažėjimą išvalytose paviršinėse nuotekose. Parinktos trys augalų rūšys, kurių tarša tiriamais sunkiaisiais metalais įvertinta prieš naudojant augalus, taip pat ir po paviršinių nuotekų valymo, esant skirtingoms aplinkos temperatūroms. Nustatyta, kad iš pasirinktų tirti augalų, didžiausia sunkiųjų metalų

koncentracija po paviršinių nuotekų valymo, yra Snapuotoje viksoje (Søberg et al. 2014). Taip pat nustatyta, kad kadmio ir cinko koncentracija skirtinguose augaluose nesiskyrė (Søberg et al. 2014). Mokslininkai teigia, kad norint iš paviršinių nuotekų efektyviai pašalinti kadmį ir cinką, galima taikyti visus tris augalus. Tačiau efektyviausiai šviną ir varį iš paviršinių nuotekų sulaiko Nendrinis dryžutis (Søberg et al. 2014).

1.5. Paviršinių nuotekų filtracijos procesų matematins modeliavimas

Teršalų sklaidą, poveikį aplinkai ir gyviesiems organizmams, paviršinių nuotekų pagrindinius kokybės kriterijus galima vertinti taikant matematinio modeliavimo programas. Galima taikyti matematinius modelius ar modeliavimo programų paketus. Pirmieji modeliai, skirti modeliuoti paviršinių nuotekų kiekius ir kokybę, buvo sukurti 1970 m. ir daugiausia jų buvo sukurta JAV vyriausybės agentūrų, tokių kaip Aplinkos apsaugos agentūra (Reinikytė 2011). Toliau pateikiami dažniausiai taikomi matematinio modeliavimo ir programų paketų aprašymai.

Vienmatė dažnio analizė. Dažnio sąvoka taikoma nuotėkio ir kritulių charakteristikoms (Davis and McCuen 2010). Atliekant inžinerinius tyrimus svarbu vertinti ir priimant sprendimus atsižvelgti į 100 metų maksimalias nuotekų dažnio vertes. Matematinis dažnio modeliavimas kaip alternatyva grafiniam sprendimui taikant tikimybinis duomenis, dažnio analizė, vertinant nuotekų ir kritulių charakteristikas turi būti atliktas vertinant matematinį modelį. Modelis dažniausiai taikomas hidrologijoje normaliniam, *log-normaliniam* ir *log-Pearson* skirstiniams sudaryti išreiškiamas:

$$Y = \bar{Y} + KS; \quad (1.4)$$

čia Y – atsitiktinio kintamojo vertė; $\bar{Y}$ – atsitiktinio kintamojo Y vidurkis; S – standartinis nuokrypis; K – dažnio faktorius.

Priklausomai nuo gyventojų populiacijos dažnio faktorius K atspindi atsitiktinį atsitiktinio kintamojo įvykį. Modelis taikomas sintezės atveju, kai tikimybė yra žinoma ir vertinama priklausomai nuo reikiamo dydžio (Davis and McCuen 2010).

Dvimatis modeliavimas yra apibrėžiamas koreliacine ir regresine analize. Koreliacinė analizė numato priemonės, taikant grafinį santykinį stiprumą tarp dviejų ar daugiau kintamųjų. Regresija yra tendencija numanomoms reikšmėms vieno, dviejų kartų koreliuotų atsitiktinių verčių, priartėjant kuo arčiau vidurkio reikšmės (Davis and McCuen 2010).

Teršalų masės apkrovos modelis vaizduoja santykį bendros apkrovos nuotėkio su įvykio įvykimo laiku:

$$M = A\alpha\left(\frac{y}{A}\right)^\beta; \quad (1.5)$$

čia M – teršalų masės apkrova tiriamame upės baseine, nuotėkio atveju, g; A – tiriamo paviršiaus plotas, ha; y – vidutinis nuotekų debitas, atitinkamu laiku, m h⁻¹; α ir β – empiriniai koeficientai (Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010).

Teršalų didėjimo modelis tiria teršalų akumuliaciją atitinkamu laiku tiriamame paviršiuje. Šis modelis vertina atmosferinius kritulius, poveikį dirvožemio erozijai ir augalams, potvynius, automobilių teršalų emisijas, sniego akumuliaciją ir konstrukcijas.

Paprastas linijinis modelis:

$$M(t) = M_o + r_{b-u}A \Delta t; \quad (1.6)$$

čia $M(t)$ – akumuliuojamas teršalo kiekis teritorijoje laike t , g; M_o – pradinė teršalo koncentracija augale, g; r_{b-u} – teršalų augimo rodiklis, g ha – 1 d; A – tiriamos teritorijos plotas, ha; Δt – teršalų akumuliacijos laikas sausuoju laikotarpiu, d (Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010).

Teršalų išplovimo modelis yra kaip rezultatas gautas iš teršalų augimo modelio. Jis prognozuoja galimą taršą, kurią sukeltų paviršinės nuotekos. Tačiau paviršinių nuotekų nuotėkis, remiantis teršalų masės apkrovos modeliu, nėra laikomas teršalų išplovimo modeliu:

$$M(t) - M(t + \Delta t) = M(t) \left(1 - e^{-k \Delta t}\right); \quad (1.7)$$

čia k – pirmojo lygio teršalų šalinimo koeficientas, val⁻¹; Δt – nuotėkio periodas, val (Hvitved-Jacobsen *et al.* 2010).

LSPC paviršinių nuotekų susidarymo baseino modeliavimo programa, kuri apima supaprastintas hidrologinio modeliavimo programos Fortan (HSPF) algoritmus ir imituoja hidrologines sąlygas, nuosėdų kiekį, bendrą vandens kokybę sausumoje, supaprastina transporto srauto modelį (United States... 2013).

Paviršinių nuotekų matematinio modeliavimo programos (SWMM, WAM, CivilSoft, Infoworks) sukurtos remiantis prieš tai paminėtų matematinių modelių (vienmatė dažnio analizė, dvimatis modeliavimas, teršalų didėjimo modelis, teršalų išplovimo modelis, LSPC paviršinių nuotekų susidarymo baseino modeliavimo programa) pagrindu.

Lietaus vandens valdymo modelis (SWMM) yra dinamiškas kritulių nuotekų imitavimo modelis naudojamas modeliuoti momentinio ar ilgalaikio paviršinių nuotekų susidarymo kiekį ir kokybę urbanizuotose teritorijose. Paviršinių nuotekų nuotėkis SWMM veikia paviršiaus plotuose, į kuriuos patenka krituliai ir susidaro nuotekos. SWMM modelis vertina nuotėkio kiekį, kokybę, srautus (patenkančius į įrenginius), gylius ir vandens užterštumą per visą modeliavimo laikotarpį (United States... 2013).

Modeliavimo programa WAM, kuri yra naudinga vertinant paviršinių nuotekų susidarymo ploto savybes. WAM buvo sukurta siekiant leisti inžinieriams įvertinti vandens kokybę (paviršinių ir požeminių vandens telkinių), remiantis žemės naudojimo, dirvožemio ir klimato veiksniais. Modelis imituoja svarbiausias hidrologines savybes ir teršalų migracijos fizinius veiksnius (United States... 2013).

CivilSoft – tai viena iš „galingiausių“ aplinkos inžinerijos objektų skaičiavimo ir projektavimo sistemų. CivilSoft leidžia atlikti kompleksinę inžinerinių sistemų skaičiavimą, projektavimą ir kurti projekto brėžinius. Ji pateikia skaičiavimo rezultatus tiek skaitmenine forma, tiek grafiniu pavidalu (Reinikytė 2011). Iš įvairių CivilSoft siūlomų programinių komplekso modulių vandens ūkio inžinerijai naudingi: *AutoWater*, *AutoSever*, *AutoStorm*. *AutoStorm* programa skirta esamoms arba projektuojamoms gatvių lietaus nuotekų tinklų ir drenažo sistemoms atvaizduoti grafiškai, aprašyti plane ir pjūvyje, taip pat hidrauliniams skaičiavimams atlikti bei optimizuoti, parenkant skersmenis pagal nustatytus projektavimo kriterijus (Reinikytė 2011).

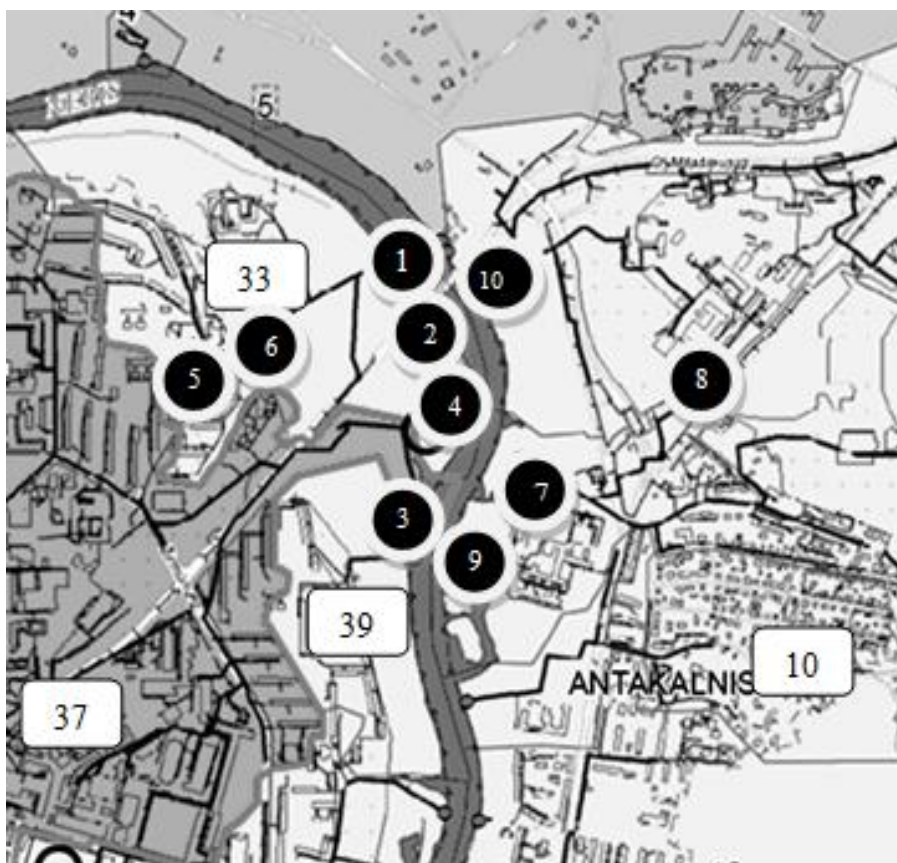
InfoWorks programa integruojanti visą vandens ciklą nuo tiekimo iki jo paskirstymo, nuotekų ir paviršinių nuotekų šalinimo ir upės hidraulinių modeliavimą (Reinikytė 2011).

2. PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ UŽTERŠTUMO IR FILTRO VALYMO EFEKTYVUMO TYRIMŲ METODIKA

2.1. Paviršinių nuotekų mėginių ėmimo metodika

Paviršinių nuotekų mėginiai Vilniaus miesto teritorijoje imami nuo gatvių ir išleistuvuose, esant teigiamai aplinkos temperatūrai. Tiriamas Vilniaus miesto šiaurinėje dalyje (urbanizuotoje teritorijoje) susidarančių paviršinių nuotekų užterštumas. Mėginiai imami išleistuvuose, kuriais nevalytos paviršinės nuotekos išteka į Neries upę.

Vilniaus mieste tirtų paviršinių nuotekų išleistuvių išsidėstymo schema pateikta 2.1 paveiksle.



2.1 pav. Vilniaus miesto paviršinių nuotekų išleistuvių žemėlapis: ● – paviršinių nuotekų mėginiai imti iš nuotekų išleistuvių ir nuo urbanizuotose teritorijos paviršiaus; □ - paviršinių nuotekų surinkimo baseinų numeris (Lietaus vandens... 2006)

Paviršinių nuotekų mėginiai imami į 5 litrų talpos plastikinius indus. Indai prieš kiekvieną naudojimą išplaunami distiliuotu vandeniu. Mėginiai imami ir gabenami į laboratoriją remiantis Lietuvos standartu LST EN ISO 5667-1:2007 „Vandens kokybė. Mėginių ėmimas. 2 dalis. Nurodymai, kaip imti mėginius“. Paviršinių nuotekų mėginių analizė pradedama tą pačią dieną, t. y. iškart po mėginių paėmimo. Mėginiuose nustatoma: temperatūra (mėginio paėmimo metu), pH, skendinčios medžiagos, ištirpusio deguonies kiekis, BDS₅, bendrasis azotas, bendroji anglis. Šių parametrų nustatymo metodikos pateiktos 2.2 skyriuje.

Paviršinių nuotekų mėginiai, naudoti filtrų efektyvumui tirti, imti iš pirmojo paviršinių nuotekų išleistuvo (2.1 paveiksle Nr. 1).

2.2. Paviršinių nuotekų mėginių analizės metodika

Temperatūra paviršinėse nuotekose nustatoma iškart paėmus mėginį. Temperatūra nuotekose matuojama, vadovaujantis prietaiso naudojimosi skaitmeniniu termometru – *TP-3001* su matavimo zonu instrukcija. Termometras temperatūrą parodo, kai termometro daviklis patalpinamas į paviršinių nuotekų mėginį. Temperatūra registruojama, kai termometro ekrane rodmenys nebekinta. Skaitmeninio termometro *TP-3001* su matavimo zonu – matavimo ribos siekia nuo $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Prietaiso matavimo tikslumas $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

pH koncentracija paviršinių nuotekų mėginiuose nustatoma vadovaujantis pH-metro – *WTW/538* naudojimosi instrukcija. pH-metro davikliai yra panardinami į mėginį prieš tai mėginį suplakus. Davikliai, panardinti mėginyje taip, kad būtų apsemti ir laikomi tol, kol įrenginio ekrane rodoma pH vertė ir temperatūra nekinta. pH-metro *WTW/538* nustatymo ribos nuo 1 iki 14, o jo matavimo tikslumas $\pm 0,01$ (2.2 pav.).



2.2 pav. pH-metras WTW/538 (WTW bench... 2015)

Paviršinio vandens **prisotinimas deguonimi** (ištirpusio deguonies koncentracija) nustatomas, vadovaujantis prietaiso oksimetro *Oxi 3205* instrukcija (2.3 pav.).



2.3 pav. Oxi 3205 ištirpusio deguonies matuoklis (oksimetras)

Prieš pradedant tyrimą oksimetru, įrenginio galvutė yra nuplaunama distiliuotu vandeniu ir nusausinama popieriniu rankšluosčiu. Šis veiksmas kartojamas prieš pradedant matuoti ištirpusio deguonies koncentraciją mėginyje ir baigus. Po šios procedūros įrenginio zondas talpinamas į paviršinių nuotekų mėginį ir laikomas 10 sekundžių. Praėjus šiam laikotarpiui įrenginys registruoja ištirpusio deguonies kiekio koncentraciją mėginyje (mg/l). Oksimetras ištirpusio deguonies koncentraciją gali nustatyti, kai ji siekia nuo 0 mg/l iki 90,0 mg/l. Įrenginio matavimo tikslumas – $\pm 0,5\%$.

Bendrosios anglies ir azoto tyrimas. Vadovaujantis SHIMADZU firmos įrenginio, TOC-V_{CPH} analizatoriaus (2.4 pav.) naudojimosi instrukcija, nustatomas bendrosios anglies kiekis, taip pat nuotekose esantis bendrasis azotas.

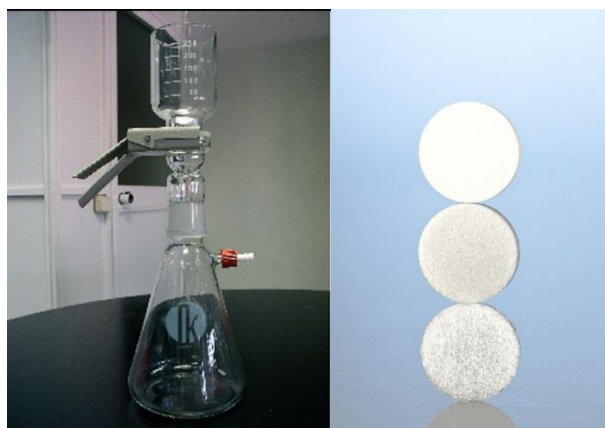


2.4 pav. SHIMADZU firmos TOC-V_{CPH} bendrosios anglies ir azoto analizatorius su skysto mėginio moduliu (SHIMADZU CORPORATION... 2003)

Nustatant bendrąją anglį ir bendrąjį azotą, tiriamos paviršinės nuotekos filtruojamos (sulaikomos skendinčiosios medžiagos). Filtravimas atliekamas naudojant košimo vakuuminį įtaisą – DURAN, mėginys nukošiamas pro stiklo pluošto filtrą – DURAN, filtro poros 1,2 μm . Atlikus paviršinių nuotekų filtraciją, paviršinės nuotekos yra pilamos į stiklinius buteliukus. Pilama ~ 35 ml filtruotų paviršinių nuotekų į buteliukus, kurie yra sandariai uždengiami

Parafilm juostele arba specialiu dangteliu. Įrenginio bendrojo azoto nustatymo riba nuo 0 mg/l iki 4000 mg/l, bendrosios anglies – nuo 0 mg/l iki 4 mg/l (*SHIMADZU CORPORATION...* 2003).

Skendinčiųjų medžiagų koncentracija paviršinėse nuotekose nustatoma košimo metodu, vadovaujantis Aplinkos apsaugos normatyviniu dokumentu LAND 46-2007 „*Vandens kokybė. Skendinčių medžiagų nustatymas. Košimo pro stiklo pluoštą metodas*“. Skendinčiosios medžiagos nustatomos naudojant košimo vakuuminį įtaisą – *DURAN*, mėginys nukošiamas pro stiklo pluošto filtrą, kurio porų dydis yra 1,2 μm. Prieš naudojimą filtrai 1 valandą yra džiovinami 105±2 °C temperatūroje, tam kad pasišalintų juose esanti aplinkos drėgmė. Išdžiovinus, filtras pasveriamas. Prieš pradedant skendinčiųjų medžiagų analizę, mėginiai yra suplakami, kad pakibusios (skendinčios) dalelės pasiskirstytų tolygiai visame mėginio tūryje. Filtras į košimo įrangos piltuvą įdedamas lygia puse į apačią ir prietaisas prijungiamas prie vakuumą sukeliančio siurblio. Visas bandinio kiekis įpilamas į įrenginį ir mėginys perfiltruojamas. Vakuumas išjungiamas, kai koštuve neliaka vandens. Filtras atsargiai išimamas, įstatomas į laikiklį ir džiovinamas spintoje 105±2 °C temperatūroje iki pastovios masės, pasveriamas. Nuosėdų masė apskaičiuojama iš filtro masės su nuosėdomis atimant filtro masę prieš filtravimą (be nuosėdų).



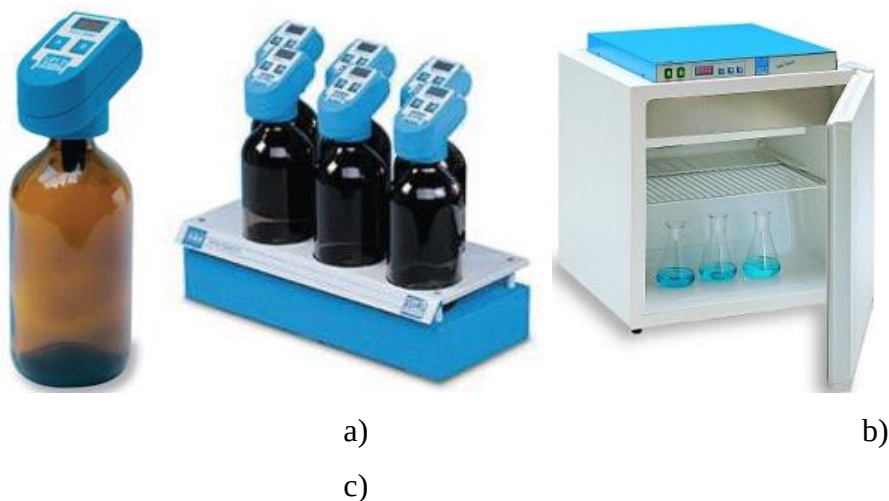
2.5 pav. Košimo prietaiso sistema: a) košimo vakuuminis įtaisas *DURAN*; b) stiklo pluošto filtrai

Skendinčiųjų medžiagų koncentracija p miligramais litrai apskaičiuojama pagal formulę:

$$p = \frac{1000 \cdot (b - a)}{V}, \quad (2.1)$$

čia p – skendinčių medžiagų koncentracija, mg/l; b – filtro masė po filtravimo, mg; a – filtro masė prieš filtravimą, mg; V – bandinio tūris, ml (*Lietuvos Respublikos...* 2002).

BDS₅ tyrimas. BDS₅ – tai kiek per 5 paras deguonies reikia, kad lengvai skylantys organiniai teršalai biochemiškai oksiduotųsi (Baltrėnas ir kt. 2008; Chen *et al.* 2012). Šiam tyrimui naudojama laboratorinė įranga – *VELP Scientifica B.O.D. System* jutiklių sistema (2.6 pav.). Paviršinių nuotekų BDS₅, nustatomas vadovaujantis prietaiso naudojimosi instrukcija. Prietaiso nustatymo riba – iki 999 mg/l.



2.6 pav. *VELP Scientifica* BDS jutiklių sistema: a) BDS jutikliai; b) magnetinė maišyklė; c) VEL inkubatorius (*VELP Scientifica* 2010)

BDS₅ nustatymas įrenginyje atliekamas esant nekintančiai 20 °C temperatūrai, kurią palaiko VELP inkubatorius. BDS₅ tyrimui, įrenginiu *VELP Scientifica B.O.D. System*, mėginio tūris parenkamas nustačius ištirpusio deguonies koncentraciją paviršinių nuotekų mėginiuose. Pagal prietaiso naudojimosi instrukcijoje pateiktas ištirpusio deguonies reikšmes, parenkamas mėginio tūris, kuriame nustatomas BDS₅.

2.1 lentelė. Mėginio tūrio parinkimas pagal ištirpusio deguonies koncentraciją

Ištirpusio deguonies koncentracija, mg O ₂ /l	Mėginio tūris, ml
0–100 mg O ₂ /l	100 ml
0–600 mg O ₂ /l	150 ml
0–250 mg O ₂ /l	250 ml
0–90 mg O ₂ /l	400 ml

BDS₅ tyrimui, įrenginiu *VELP Scientifica B.O.D. System*, mėginio tūris parenkamas nustačius ištirpusio deguonies koncentraciją paviršinių nuotekų mėginiuose (2.1 lentelė).

2.3. Paviršinių nuotekų užterštumo ir filtro valymo efektyvumo tyrimų metodika

Filtrų valymo sistemos paviršinėms nuotekoms valyti, vienas iš dažniausiai taikomų paviršinių nuotekų valymo sistemų Jungtinėse Amerikos Valstijose (Davis *et al.* 2009), taip pat taikoma ir kitose valstybėse: Lenkijoje ir Etiopijoje (Negussie *et al.* 2012), Australijoje (Hatt *et al.* 2010; Zinger *et al.* 2011), Izraelyje (Fujita 1997; Trowsdale and Simcock 2011; Wong 2006; Woods-Ballard *et al.* 2007; Zinger *et al.* 2011). Filtrų sistemų užpildai paviršinėms nuotekoms valyti gaminamos iš augalų, dirvožemio, bioanglies, popieriaus atliekų, medžio žievių, durpių, molio, opokos, stiklo atliekų (Trowsdale and Simcock 2011; Wanielista and Chang 2008).

Filtruose, užterštos nuotekos valomos įvairaus skersmens ir tūrio filtro užpilduose. Užterštos paviršinės nuotekos filtro užpilduose valomos keliais metodais:

- filtravimo;
- adsorbcijos;
- biologinio teršalų įsisavinimo metu (HumeGarden biofilter... 2012).

Augalai kaupia savyje maistines medžiagas ir vandenį. Vandenį augalai pro žioteles transpiracijos metu pašalina į aplinką.

Sukurti keturi nauji paviršinių nuotekų valymo įrenginiai – filtrai. Stačiakampio gretasienio formos įrenginio plotis 0,2 m, aukštis – 1 metras, dugnas – 0,2×0,2 m. Filtrai pagaminti iš skaidraus, 10 mm storio, organinio stiklo, tam kad būtų galima stebėti vykstantį nuotekų filtracijos procesą. Filtro konstrukcijai naudojami metaliniai vožtuvai nuotekoms iš įrenginio išleisti, taip pat naudojami 4 guminiai vamzdeliai išvalytoms nuotekoms nukreipti į surinkimo talpas.

Paviršinių nuotekų valymo įrenginio filtro testavimas vyksta uždaroje, patalpoje, kurioje vidutinė temperatūra yra ~ 20 °C. Todėl, norint užtikrinti, kad augalai augtų ir vystytis jų šaknynas, virš filtrų montuojama aukšto slėgio natrio lempa (18 W, 550 Lm). Tai speciali lempa, naudojama sudaryti natūralioms apšvietimo sąlygoms augalams, skatinti intensyvesnę jų vegetaciją. Filtras apšviečiamas 24 valandas per parą (Godecke-Tobias *et al.* 2010; LeFevre *et al.* 2012).

Filtro užpildams naudojami:

- autoklavinio akytojo betono skalda 10–40 mm;
- 300 µm kvarcinis smėlis;
- 2–4 mm žvyras;
- dirvožemio sluoksnis su augaline danga – pievinė miglė (*Poa pratensis*) (2.7 pav.).



2.7 pav. Paviršinių nuotekų valymo filtrai: 1 – smulkintas autoklavinis akytasis betonas; 2 – pievinė miglė (*Poa pratensis*), autoklavinio akytojo betono skalda; 3 – pievinė miglė, kvarcinis smėlis; 4 – kvarcinis smėlis (Makaravičiūtė 2014)

Paviršinių nuotekų valymo įrenginio filtro veikimas yra pagrįstas atitekėjusių užterštų nuotekų filtravimusi filtro užpildo sluoksniais. Kiekvienas iš paviršinių nuotekų valymo įrenginio – filtro komponentų atlieka tam tikras funkcijas. Filtracijos procesas prasideda jau tuomet, kai yra sulaikomos nuotekose esančios stambios dalelės (pvz.: lapai, popieriaus atliekos ir kt.). Susidariusios paviršinės nuotekos teka per pirmą įrenginio sluoksnį. Pirmame filtre teka per autoklavinio akytojo betono skaldos užpildo sluoksnį, antrajame ir trečiajame filtruose teka per augalinį sluoksnį, ketvirtajame filtre teka per kvarcinio smėlio sluoksnį. Augalinė sritis, kurioje yra auginami augalai sumažina paviršinių nuotekų greitį, patekusį į įrenginį ir sulaiko filtro viršutinio užpildo sluoksnio daleles nuo galimo jų išplovimo. Vanduo, susikaupęs ant pirmojo įrenginio užpildų sluoksnio, vertikalčiai žemyn filtruojasi į gilesnius įrenginio sluoksnius.

Pirmame įrenginio užpildo sluoksnyje yra stabdomas paviršinių nuotekų tekėjimo greitis, paskleidžiant atitekėjusias nuotekas per visą sluoksnio plotą. Patekusios nuotekos į paviršinių nuotekų valymo įrenginio pirmąjį užpildo sluoksnį horizontalčiai pasklinda visame

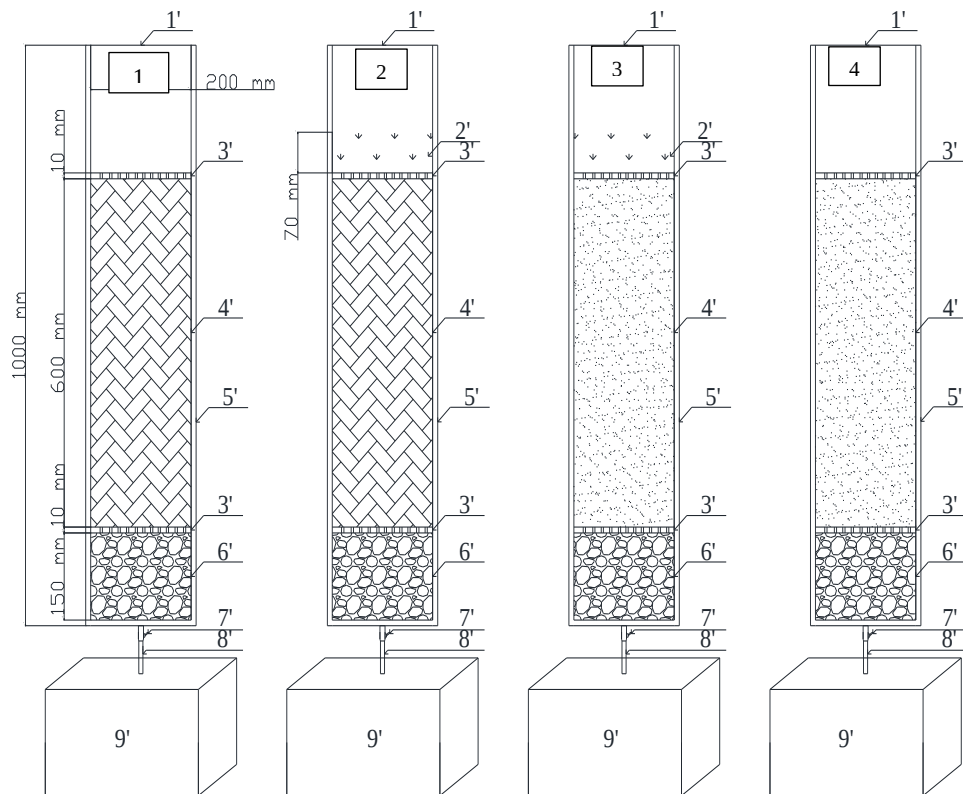
įrenginio paviršiaus plotyje. Toks nuotekų pasiskirstymas lėtina paviršinių nuotekų skverbimąsi filtru. Paviršinių nuotekų paskleidimas sluoksnyje taip pat sudaro sąlygas vykti transpiracijai ir gilesnei infiltracijai. Kai kurios su nuotekomis patekusios dalelės nėra filtruojamos gilesniuose filtro užpildo sluoksniuose, o yra sulaikomos augalinėje filtro dalyje (Storm Water Technology... 1999). Filtruose, kuriuose viršutinis įrenginio sluoksnis yra dirvos velėna tampa organiniu sluoksniu, kuris filtruoja teršalus ir užtikrina palankią aplinką veistis mikroorganizmams, kurie neleidžia toliau su užterštomis paviršinėmis nuotekomis filtruotis organiniams teršalams ir naftos produktų dalelėms. Šis sluoksnis veikia panašiu principu kaip ir lapų paklotė miške, kuri apsaugo nuo erozijos ir žemiau esančių sluoksnių džiovimo.

Drenažo sluoksnis, įrenginiuose yra 2–4 mm žvyras, kuris surenka išvalytą vandenį. Pro jį prasiskverbęs vanduo, atidarius vožtuvą, guminiu vamzdeliu yra išleidžiamas (Guidelines for filter... 2009) į nuotekų surinkimo talpą.

Filtro užpildas – tai vieta, kurioje gali vystosi mikrobiologinė terpė. Naudojamo užpildo dalelių dydis ir forma yra svarbus parametras, kuris įtakoja porų atsiradimą filtre. Užpildo porose esantis oras, sudaro sąlygas vystytis amonį oksiduojančioms bakterijoms (AOB), azotą skaidančioms bakterijoms (NOB) (Wanielista and Chang 2008). Oro kiekis ir filtro užpildo poringumas įtakoja dirvožemio savybes, o taip pat didesnį nuotekų debito prasiskverbimą (Coffman 2001).

Augalai, naudojami filtre buvo parenkami atsižvelgiant į tai, kad nebūtų jautrūs maistinių medžiagų trūkumui, prisitaikę prie esamų klimatinės Lietuvos sąlygų. Todėl vienas iš tinkamų augalų, kurie gali būti efektyviai taikomi filtruose tai pievinė miglė (*Poa pratensis*).

Pagal mokslininko Godecke-Tobias Blecken parengtą paviršinių nuotekų valymo metodiką, skirtą vidutinių platumų klimato juostos valstybėms, nuotekos tiekiamos į paviršinių nuotekų valymo filtrą, įvertinus jo paviršiaus plotą yra 12 litrų (Godecke-Tobias *et al.* 2010) tiriamos išvalytos nuotekos, kurios yra surenkamos prasifiltravusios per 2 valandas. Lietuvoje per metus iškrenta vidutiniškai 680 mm kritulių. Nuotekos į filtrą pilamos, jas tiksliai dozuojuojant po 1 litrą. Prieš nuotekoms patenkant į filtrą, jos suplakamos. Nuotekų užterštumo tyrimai atliekami prieš jų valymą ir po.



2.8 pav. Tyrimams naudojamų paviršinių nuotekų valymo filtrų schema: 1 – pirmas filtras; 2 – antras filtras; 3 – trečias filtras; 4 – ketvirtas filtras; 1' – nuotekų tiekimas; 2' – dirvožemio ir pievinės miglės sluoksnis; 3' – nuotekų paskirstymo ir sluoksnių palaikymo plokštelė; 4' – smulkintų autoklavinio akytojo betono skaldos sluoksnis/ kvarcinio smėlio sluoksnis; 5' – organinio stiklo korpusas; 6' – drenažo sluoksnis; 7' – nuotekų išleidimo vožtuvas; 8' – guminiai nuotekų išleidimo vamzdeliai; 9' – išvalytų paviršinių nuotekų surinkimo talpa

Pirmas paviršinių nuotekų valymo filtras yra be augalinės dangos (2.7 pav.; 2.8 pav.). Tiekiamos nuotekos pirmajame filtre patenka ant nuotekų paskirstymo plokštelės, kuri skirta, tolygiai paskirstyti paviršines nuotekas visame įrenginio paviršiaus plote. Pro ją nuotekos filtruojasi į autoklavinio akytojo betono skaldos užpildo sluoksnį. Drenažo ir smulkinto autoklavinio akytojo betono skaldos užpildo sluoksnis yra atskirtas perforuota, organinio stiklo plokšte. Nuotekos pratekėjusios per plokštelę filtruojasi į filtro drenažo sluoksnį. Prasifiltravusios pro visus filtro užpildo sluoksnius nuotekos, yra išleidžiamos į valytų nuotekų surinkimo talpas.

Antras paviršinių nuotekų valymo filtras su augaline danga (2.7 pav.; 2.8 pav.). Nuotekos, patekusios į filtrą infiltruojasi pro augalinės dangos sluoksnį, tuomet teka per sluoksnius palaikančią, perforuotą, organinio stiklo plokštelę ir patenka į smulkinto autoklavinio akytojo betono sluoksnį. Teka per skirtingus sluoksnius palaikančią plokštelę ir patenka į drenažo sluoksnį. Prasifiltravusios pro visus antrojo filtro užpildo sluoksnius paviršinės nuotekos išleidžiamos į išvalytų nuotekų surinkimo talpas.

Trečiasis filtras yra su augaline danga (2.7 pav.; 2.8 pav.). Nuotekos patekusios į trečiąjį filtrą filtruojasi per augalinės dangos sluoksnį, ir teka per skirtingus įrenginio užpildo

sluoksnius palaikančią plokštelę. Trečiajame filtre pirmoji skirtingus sluoksnius palaikanti plokštelė skiria augalinės dangos ir kvarcinio smėlio sluoksnius, kad būtų galima tolygiai paskirstyti nuotekas visame filtro kvarcinio smėlio užpildo sluoksnio paviršiuje. Pratekėjusios per plokštelę, nuotekos toliau infiltruojasi į kvarcinio smėlio užpildo sluoksnį. Prasifiltravusios pro jį, nuotekos teka per skirtingus sluoksnius palaikančią perforuotą organinio stiklo plokštelę, kuri skiria kvarcinio smėlio ir drenažo sluoksnius. Pratekėjusios nuotekos per plokštelę, patenka į drenažo sluoksnį. Prasifiltravusios pro visus trečiojo filtro užpildo sluoksnius paviršinės nuotekos išleidžiamos į išvalytų nuotekų surinkimo talpas.

Ketvirtasis paviršinių nuotekų filtras yra be augalinės dangos (2.7 pav.; 2.8 pav.). Tiekiamos nuotekos filtre patenka ant nuotekų tolygaus paviršinių nuotekų paskirstymo plokštelės. Pro ją nuotekos filtruojasi į kvarcinio smėlio užpildo sluoksnį. Drenažo ir kvarcinio smėlio užpildo sluoksniai yra atskirti skirtingus sluoksnius palaikančia, perforuota, organinio stiklo plokšte. Nuotekos pratekėjusios per plokštelę filtruojasi į filtro drenažo sluoksnį. Prasifiltravusios pro visus filtro užpildo sluoksnius nuotekos, yra išleidžiamos į valytų nuotekų surinkimo talpas.

Filtro užpildo sluoksnių užpildams naudojamos skirtingų frakcijų dalelių užpildai. Parenkant tinkamą užpildą atliekama granulimetrinė analizė. Sijojimo metodas taikomas, kai tiriamojo grunto dalelės yra stambesnės nei 63 μm . Sietų rinkinį sudaro ne mažiau kaip 12 sietų, kurių akučių didumas yra nuo 125 mm iki 0,06 mm (ISO 565:1990). Prieš bandymą mėginiai kruopščiai sumaišomi ir išdžiovinami 105 $^{\circ}\text{C}$ temperatūroje. Sijojamojo bandinio kiekis priklauso nuo dalelių skersmens. Persijotų dalelių masė, procentais, skaičiuojama pagal 2.2 formulę:

$$f_n = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n}{m_d}, \quad (2.2)$$

čia m_1 – per mažiausią sietą persijotų dalelių masė, g; $m_2 \dots m_n$ – per stambesnius sietus persijotų dalelių masė, g; m_d – sausojo grunto bandinio masė, g (Prušinskienė 2012).

Po išdžiovinimo gruntas pasveriamas 0,1 % sausojo grunto masės tikslumu.

Remiantis EN 12457-3:2002 „Characterisation of waste. Leaching. Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges. One stage batch test at a liquid to solid ratio of 10 l/kg for materials with particle size below 10 mm (without or with size reduction)“ standartu, atliekamas išplovimo tyrimas. Atliekų išplovimas atliekamas pasveriant tam tikrų medžiagų kiekį (44 g). Pasvertos medžiagos supilamos į laboratorinius, sandariai užsukamus, indus, į juos įpilant 88 ml distiliuoto vandens. Gautas bandinys yra kratomas 6 valandas „Labos Shake-Gerhardt“ besisukančio būgno kratytuve, 10 apsisukimų/ min greičiu.



2.9 pav. Besisukančio būgno kratytuvas „Labos Shake-Gerhardt“ (Makaravičiūtė 2014)

Remiantis EN 12457-3:2002 „Characterisation of waste. Leaching. Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges. One stage batch test at a liquid to solid ratio of 10 l/kg for materials with particle size below 10 mm (without or with size reduction)“ standartu buvo atliktas kvarcinio smėlio išplovimo tyrimas.

Vandeninė suspensija besisukančio būgno kratytuve yra maišoma nekeičiant sukimosi greičio (10 apsisukimų/ min), kad turima suspensija maišymo metu homogenizuotųsi.

Hidraulinis laidumas – dirvožemio gebėjimas perduoti vandenį į gilesnius sluoksnius (Hydraulic conductivity 2015). Hidraulinį laidumą aprašo Darsi dėsnis (Hubbert 1956):

$$q = -K \cdot (h_2 - h_1) \cdot l; \quad (2.3)$$

čia q – fluido kiekis (debitas), m^3/s ; K – filtracijos koeficientas; h_1 ir h_2 – vandens lygio skirtumai; l – užpildo sluoksnio storis, m .

Paviršinių nuotekų valymo įrenginių gebėjimas perduoti paviršines nuotekas į gilesnius užpildo sluoksnius atliekamas, taikant *Constant-Head* metodą. Hidraulinio laidumo tyrimas atliekamas visame filtro paviršiaus plote. Tuomet matuojamas laikas, per kurį pasirinktas tūris infiltruojasi į sistemą (Hydraulic conductivity 2015). Hidraulinio laidumo tyrimas atliekamas ant PET plėvelės įpylus 3 litrus paviršinių nuotekų. Nuotekos išpilamos ant įrenginio paviršiaus ir liniuote išmatuojamas susidarantis vandens sluoksnio aukštis ant filtro paviršiaus. Stebimas laikas, per kurį paviršinės nuotekos, nuo jų patekimo, infiltruojasi į įrenginio užpildą. Laikas stabdomas tuomet, kai vandens ant užpildo paviršiaus nebelieka, matosi tik blizgantis užpildo dalelių paviršius (Infiltration test 2015).

2.4. Paviršinių nuotekų *Hydrus-1D* matematinio modeliavimo metodika

Paviršinių nuotekų valymo įrenginių gebėjimo perduoti paviršines nuotekas į gilesnius užpildo sluoksnius modeliavimas atliekamas, taikant *Constant-Head* metodą. Pagrindinė formulė aprašanti hidraulinį laidumą taikant *Constant Head* metodą (Civil and Environmental... 2008):

$$k = \frac{V \cdot L}{A \cdot h \cdot t} \quad (2.4)$$

čia k – hidraulinio laidumo koeficientas, V – nuotekų tūris, L – filtro ilgis, A – filtro paviršiaus plotas, h – aukščių skirtumas, t – laikas, per kurį paviršiuje nebelieka vandens.

Hydrus-1D matematinio modeliavimo programa skirta modeliuoti nuotekų srautus filtre, šilumos pasiskirstymą įrenginyje, tirpių junginių pasiskirstymą (Šimūnek *et al.* 2009) prisotintuose, neprisotintuose ir iš dalies prisotintuose (Šimūnek *et al.* 2008) paviršinių nuotekų valymo įrenginio užpildų sluoksniuose. Matematinio modeliavimo programa *Hydrus-1D* skaičiavimus atlieka pagal *Darsi dėsnį* (Dobrego *et al.* 2001):

$$\frac{\partial(P^2)}{\partial t} = (k/\mu)P_0\Delta(P^2) \quad (2.5)$$

čia k – hidraulinis laidumas, μ – klampa, $Pa \cdot s$; P , P_0 – slėgis įtekant nuotekoms, slėgis ištekant nuotekoms, Pa .

Programa matematinį modeliavimą atlieka pagal *Richard's* lygtį (Pachepskya *et al.* 2003):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D(0) \frac{\partial \theta}{\partial x} \right] \quad (2.6)$$

čia θ – tūrinis dirvožemyje esančio vandens kiekis, $m^3 m^{-3}$; D – dirvožemyje esančio vandens difuzija, $m^2 s^{-1}$; x – filtro gylis, m ; t – laikas, s .

Hidraulinis filtro skirtingų užpildų, laidumas aprašomos naudojant:

- *van Genuchten* modelį;
- *Brooks* ir *Corey* modelį;
- *modifikuotą van Genuchten* modelį;
- *Kosugi* modelį.

van Genuchten modelis. Vandens sulaikymo funkcija yra vandens kiekio θ ir dirvožemio drėgmės potencialo h santykis (van Genuchten 1980). Vandens sulaikymo kreivė *van Genuchten* modelyje aprašoma taip:

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + |\alpha h|^n]^m}, & \text{kai } h < 0 \\ \theta_s, & \text{kai } h \geq 0 \end{cases} \quad (2.7)$$

$$K(h) = K_s S_e^1 \left[1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right]^2 \quad (2.8)$$

čia m , n – empiriniai parametrai $1/l$; S_e – efektyvusis vandens kiekis; K_s – sočiojo vandens hidraulinis laidumas, l/T ; K_r – santykinis hidraulinis laidumas; $K_k(h_k)$ – neprisotinto vandens hidraulinis laidumas esant maksimaliam slėgiui paviršiuje h_k , l/T ; $K(h)$ – hidraulinio laidumo funkcija.

Brooks ir Corey modelis. Efektyvus filtro prisotinimas yra linijinė funkcija $1/P_c^2$, kur P_c yra kapiliarinis slėgis užpilde (Brooks and Corey 1964). Efektyvus filtro prisotinimas apskaičiuojamas įvertinus 2.9 lygčių sistemoje sąlygas.

$$S_e = \begin{cases} |\alpha h|^{-n}, & \text{kai } h < -1/\alpha \\ 1, & \text{kai } h \geq -1/\alpha \end{cases} \quad (2.9)$$

$$K = K_s S_e^{2/n+1+2} \quad (2.10)$$

Modifikuotas van Genuchten modelis. Modifikuota van Genuchten vandens sulaikymo funkcija yra vandens kiekio θ ir dirvožemio drėgmės potencialo h santykio santykis su *Mualem* modeliu, kuris aprašo porų pasiskirstymą filtro užpildo sluoksniuose (Vereecken et al. 2010). Vandens sulaikymo funkcija pateikiama 2.11 lygčių sistemoje:

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_a + \frac{\theta_m - \theta_a}{[1 + |\alpha h|^n]^m}, & \text{kai } h < h_s \\ \theta_s, & \text{kai } h \geq h_s \end{cases} \quad (2.11)$$

čia h_s – oro debitas, l .

$$K(h) = \begin{cases} K_s K_r(h), & \text{kai } h \leq h_k \\ K_k + \frac{(h - h_k)(K_s - K_k)}{h_s - h_k}, & \text{kai } h_k < h < h_s \\ K_s, & \text{kai } h \geq h_s \end{cases} \quad (2.12)$$

čia $K_k(h_k)$ – neprisotinto vandens hidraulinis laidumas esant maksimaliam slėgiui paviršiuje h_k , l/T .

$$K_r = \frac{K_k}{K_s} \left(\frac{S_e}{S_{ek}} \right) \left[\frac{F(\theta_r) - F(\theta)}{F(\theta_r) - F(\theta_{kr})} \right]^2 \quad (2.13)$$

K_r – santykinis hidraulinis laidumas.

$$F(\theta) = \left[1 - \left(\frac{\theta - \theta_a}{\theta_m - \theta_a} \right)^{1/m} \right]^m \quad (2.14)$$

čia m, n – empiriniai parametrai $1/l$.

$$S_{ek} = \frac{\theta_k - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (2.15)$$

Kosugi modelis. Kosugi prielaida yra, kad filtro užpildo porų dydis yra lognormalinis atsitiktinis kintamasis, ir nustatytas drėgmės sulaikymu, parametų vidurkio ir standartinio nuokrypio pasiskirstymu (Malama *et al.* 2014).

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \begin{cases} \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left\{ \frac{\ln(h/\alpha)}{\sqrt{2n}} \right\}, & \text{kai } (h < 0) \\ 1, & \text{kai } (h \geq 0) \end{cases} \quad (2.16)$$

Hidraulinis laidumas filtre apskaičiuojamas pagal *Mualem* teorijos pagrindu sudarytą lygčių sistemą:

$$K = \begin{cases} K_s S_e^l \left\{ \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[\frac{\ln(h/\alpha)}{\sqrt{2n}} + \frac{n}{\sqrt{2}} \right] \right\}^2, & \text{kai } (h < 0) \\ s, & \text{kai } (h \geq 0) \end{cases} \quad (2.17)$$

van Genuchten modelis naudojamas prognozuoti filtro užpildo sluoksnių ir augalų galimybes, absorbuoti vandenį, taip pat įvertina bendrą užpildo sluoksnių stabilumą. *Brooks* ir *Corey* įvertina koreliaciją tarp užpildo sluoksnių porėtumo ir slėgio, kuris veikia drenažo sluoksnį. *Modifikuotas van Genuchten* modelis taikomas modeliuoti neprisotinto vandens hidraulinį vandens laidumą filtre. *Kosugi* modelis taikomas nustatyti drėgmės pasiskirstymą filtro užpildo sluoksniuose.

Hidrologinius procesus paviršinių nuotekų valymo įrenginyje sudaro:

- garavimas;
- infiltracijos greitis;
- nuotėkio debitas ir intensyvumas (Meng 2014).

Nuotekų balanso lygtis (Meng 2014):

$$ET = P - I - R \pm DSW; \quad (2.18)$$

čia ET – garavimas; P – krituliai; I – infiltracija; R – nuotėkio debitas; DSW – nuotekų kaita skirtinguose sluoksniuose.

Bendras nuotekų nuotėkis įrenginyje apskaičiuojamas pagal 2.19 formulę (Meng 2014):

$$R = RS + RB; \quad (2.19)$$

čia RS – paviršinių nuotekų debitas; RB – nuotėkis, susidarantis po drenažo sluoksnio.

Modeliavimo programa Hydrus-1D modeliuojama kiekvieno įrenginio hidraulinis laidumas.

2.5. Statistinis duomenų apdorojimas

Eksperimentų metu gauti rezultatai apdorojami remiantis pagrindiniais statistiniais rodikliais: vidurkis, mediana, standartinis nuokrypis. Duomenų vidurkis apskaičiuojamas remiantis 2.20 formule:

$$X_{vid} = \frac{\sum_{i=1}^n n_1 + n_2 + \dots + n_n}{n} \quad (2.20)$$

Apskaičiavus duomenų vidurkį, galima įvertinti reikšmę, aplink kurią yra išsidėsčiusi visa duomenų aibė (Pagrindinės statistinės... 2015).

Mediana – tai duomenų aibės reikšmė, kuri dalija visą aibę į dvi dalis. Duomenų aibėje, mediana reiškia vidurinį skaičių. Duomenų standartinis nuokrypis – dydis, nusakantis atsitiktinio dydžio įgyjamų reikšmių sklaidą apie vidurkį. Duomenų aibės standartinis nuokrypis apskaičiuojamas pagal 2.21 formulę:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (2.21)$$

Įvertinant duomenų imties reikšmes, patikrinama, ar duomenys yra pasiskirstę pagal normalųjį skirstinį. Duomenų pasiskirstymas nustatomas iš grafiškai (histograma) pateikiamų vidurkio reikšmių.

3. PAVIRŠINIŲ NUOTEKŲ IR FILTRO VALYMO EFEKTYVUMO TYRIMŲ REZULTATAI IR ANALIZĖ

3.1. Paviršinių nuotekų tyrimai ir analizė

Paviršinių nuotekų mėginių analizė atlikta tiriant paviršinių nuotekų mėginius Vilniaus mieste, dešiniajame ir kairiajame Neries upės krante. Tyrimai atlikti, norint nustatyti paviršinių nuotekų užterštumą, kurios patenka į Neries upę. Paviršinių nuotekų analizei, mėginiai imti iš paviršinių nuotekų išleistuvų ir nuo nelaidžių vandeniu paviršių (gatvės). Paviršinių nuotekų mėginių analizės laikotarpiu vidutinė paros temperatūra buvo 2,4 °C. Mėginiai buvo imti du kartus: prieš imant pirmą kartą mėginius buvo 5 dienų giedros periodas; imant antrą kartą – 3 dienų giedros periodas.

Dėl teigiamos aplinkos temperatūros tiriamuoju laikotarpiu gatvėse nebuvo naudotos kelių priežiūros priemonės: smėlis, druska. Todėl tai nepaveikė didesnio skendinčiųjų ir biogeninių medžiagų koncentracijos susidarymo paviršinėse nuotekose. Mėginių ėmimo metu vidutinė paros temperatūra buvo 2,8 °C ir 4,2 °C. Paviršinių nuotekų mėginiai buvo imti šiaurinėje Vilniaus miesto dalyje lietuj lyjant. Laboratorijoje atlikti paviršinių nuotekų mėginių tyrimai, paimti iš 10 vietų.

Dešiniajame tiriamosios Šiaurinės Vilniaus miesto dalies Neries krante paviršinių nuotekų taršą, be autotransporto ir kelių priežiūros sukeltos taršos, gali veikti ir AB „Kuro aparatura“, AB „Vilma“, AB „Stafis“ ir AB „Autobusų parkas“ (UAB „Grinda“ 2013). Tiriamoje teritorijoje dešiniajame Neries krante paviršinių nuotekų taršą, be autotransporto sukeltos taršos, gali sukelti degalinė UAB „Lukoil Baltija“ (2.1 pav.).

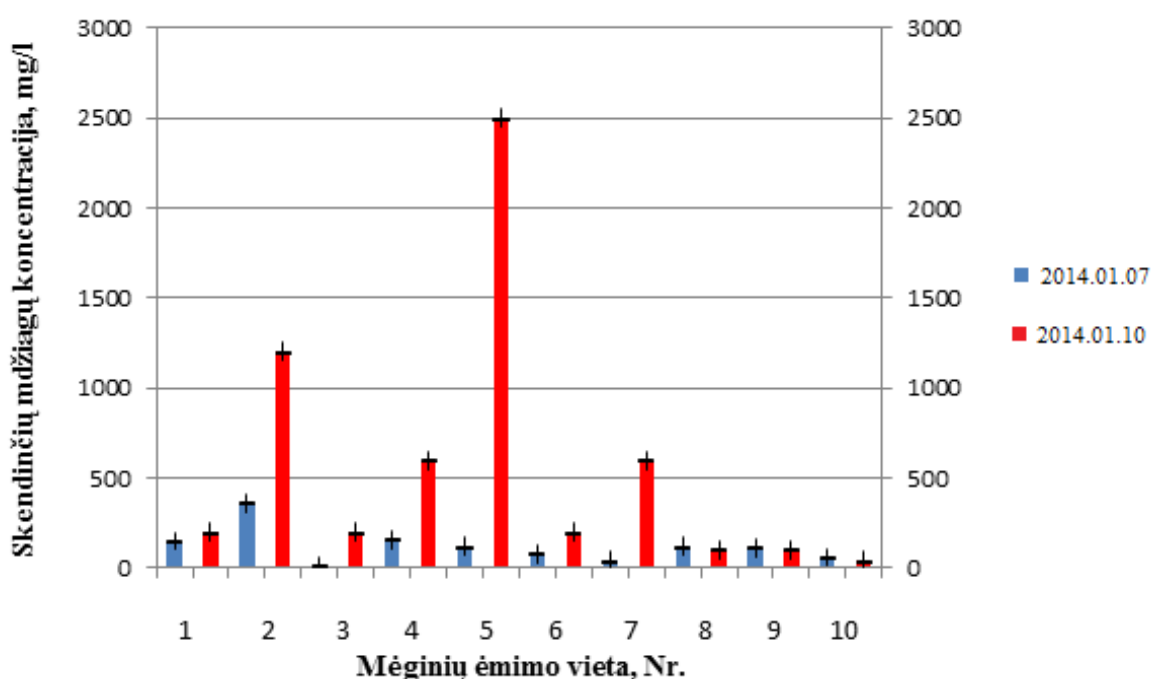
Lietuvoje leistina vidutinė metinė skendinčiųjų medžiagų koncentracija paviršinėse nuotekose, išleidžiamose į aplinką, yra 30 mg/l (Lietuvos Respublikos... 2007). 2014 m. sausio mėnesį paimtuose mėginiuose skendinčiųjų medžiagų koncentracija (skirtinguose mėginių ėmimo taškuose) buvo nuo 40 mg/l iki 360 mg/l. Vidutinė skendinčiųjų medžiagų koncentracija 353,5 mg/l. Didžiausia skendinčiųjų medžiagų koncentracija nustatyta paviršinių nuotekų mėginyje, paimtame nuo Valakampių tilto. Didžiausia momentinė skendinčiųjų medžiagų koncentracija šiame mėginyje leistiną viršija 7,2 karto. Pagal gautus duomenis, iš dešimties mėginių, didžiausia leistina skendinčiųjų medžiagų koncentracija nebuvo viršijama tik 2-juose mėginiuose (3-ame ir 4-ame paviršinių nuotekų mėginių tyrimų vietose), ir siekė 10 mg/l ir 40 mg/l, gauti rezultatai antruoju mėginių analizės metu.

Vertinant 6 metų Vilniaus miesto šiaurinės dalies paviršinių nuotekų išleistuvų taršos duomenis, didžiausia vidutinė skendinčiųjų medžiagų koncentracija yra nustatyta vasaros metu ir siekia 148,25 mg/l, mažiausia – pavasarį – ir siekia 30,74 mg/l (UAB „Grinda“ 2013).

Atsižvelgus į ankstesnių šešerių metų skendinčiųjų medžiagų koncentraciją žiemos metu, 2014 metų sausio mėnesio nustatyta skendinčiųjų medžiagų koncentracija paviršinių nuotekų išleistuvuose yra didesnė 2,8 karto.

Vidutinė skendinčiųjų medžiagų koncentracija tiriamuoju laikotarpiu gali būti didesnė dėl aukštesnės temperatūros. Esant aukštesnei nei 0 °C temperatūrai, iškrenta lietaus krituliai, kuriems patekus ant paviršiaus, nuo gatvių, šaligatvių ar kitų nelaidžių paviršių yra nuplaunami nešvarumai, tokiu būdu nuo paviršių pašalinama didesnė dalis skendinčiųjų medžiagų. Žiemos metu skendinčiosios medžiagos į paviršinius vandens telkinius patenka tik tada, kai yra teigiama temperatūra arba kai kelių priežiūrai naudojamos papildomos, ledą tirpdančios medžiagos.

Lyginant gautus duomenis su kitų mokslininkų atliktais tyrimais, Vilniaus miesto šiaurinėje dalyje tirtuose skendinčiųjų medžiagų mėginiuose buvo nustatyta didesnė skendinčiųjų medžiagų koncentracija nei Radviliškio mieste. Radviliškio mieste 2010 metais atliktais tyrimais, skendinčiųjų medžiagų koncentracija paviršinių nuotekų mėginiuose kito nuo 7,5 mg/l iki 30,8 mg/l (Sauliutė ir Tričys 2011). Didžiausia skendinčiųjų medžiagų koncentracija Vilniuje didesnė ~ 12 kartų, nei didžiausia nustatyta Radviliškio mieste.

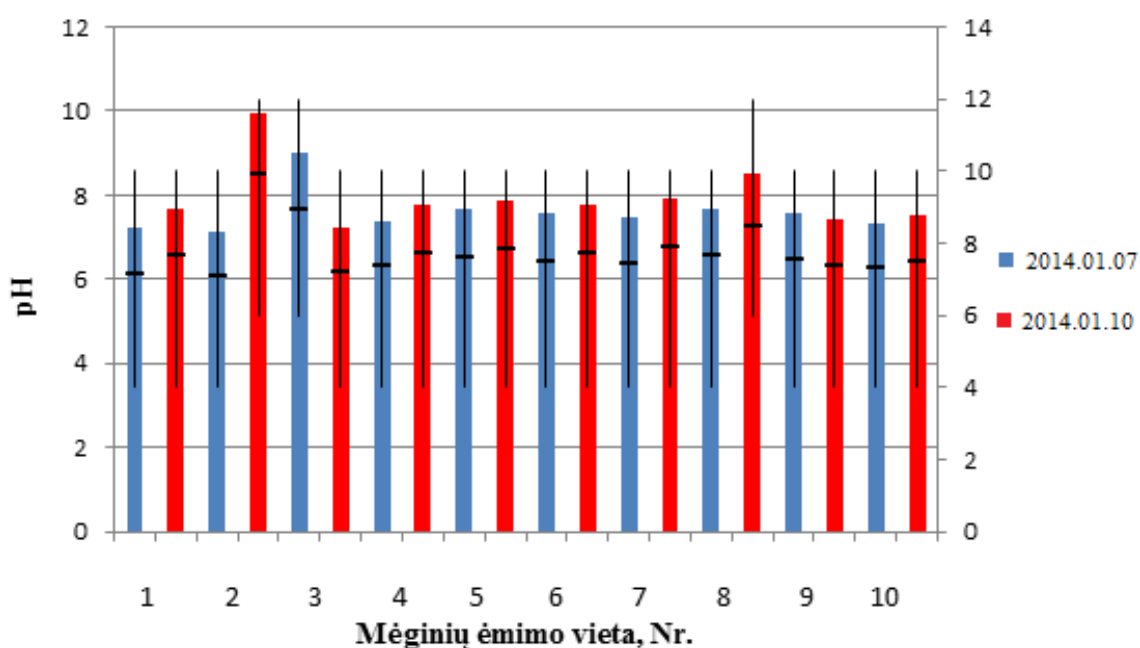


3.1 pav. Skendinčiųjų medžiagų koncentracija, šiaurinės Vilniaus miesto dalies, paviršinėse nuotekose

Vilniaus mieste 2012 metų žiemos metu VĮ „Vilniaus oro uostas“ teritorijoje buvo atlikti paviršinių nuotekų tyrimai. Tyrimų metu nustatyta skendinčiųjų medžiagų koncentracija skraidymo lauko šiauriniame išleistuve siekė 29 mg/l, o skendinčiųjų medžiagų

koncentracija paviršinėse nuotekose skraidymo lauko pietiniame išleistuve siekė 6,5 mg/l (Vilniaus oro uostas... 2012).

Tirtuose, Vilniaus miesto šiaurinės dalies, paviršinių nuotekų mėginiuose, pH koncentracija nustatyta silpnai šarminė. pH mėginiuose, kurie buvo paimti 2014 m. sausio mėnesį kito nuo 7,13 iki 8,99. 8,99 pH dydis nustatytas mėginyje, kuris buvo paimtas nuo Valakampių tilto. Lyginant atliktus tyrimus su įmonės, atsakingos už paviršinių nuotekų tvarkymą ir išleidimą, turimais duomenimis, pirmajame paviršinių nuotekų išleistuve pH per pastaruosius šešerius metus kito nuo 7,27 iki 8,59 (UAB „Grinda“ 2013). pH dydžio kaita priklauso nuo ištirpusio deguonies kiekio ir į nuotekas patenkančių teršalų: sunkiųjų metalų, skendinčiųjų medžiagų koncentracijos ir biogeninių medžiagų.



3.2 pav. pH dydis paviršinėse nuotekose šiaurinėje Vilniaus miesto dalyje

Vilniaus oro uoste, pH vertės nustatytos skraidymo lauko šiauriniame paviršinių nuotekų išleistuve siekė 7,62, o skraidymo lauko pietiniame išleistuve, siekė 7,48 (Vilniaus oro uostas... 2012). Paviršinių nuotekų vandens mėginių, kurie buvo tirti Radviliškio mieste, pH vertės nekontroliuojamuose paviršinių nuotekų išleistuvuose ir nuo urbanizuotos teritorijos paviršiaus (gatvės) tirtuose mėginiuose kito nuo 6,70 iki 7,81 (Sauliutė ir Tričys 2011). Dešiniajame Šiaurinės Vilniaus miesto dalies Neries krante vidutinė pH vertė yra 7,86, šis dydis nežymiai viršija pH vertę nustatytą Vilniaus oro uosto teritorijoje.

Ištirpusio deguonies koncentracija paviršinių nuotekų mėginiuose, kurie buvo imti iš Vilniaus miesto šiaurinės dalies paviršinių nuotekų išleistuvų ir nuo nelaidžių paviršių, kito nuo 0,03 mg O₂/l iki 0,04 mg O₂/l (ištirpusio deguonies koncentracija vandenyje praktiškai gali kisti nuo 0 iki 14 mg O₂/l). Kuo mažesnė ištirpusio deguonies koncentracija vandenyje,

tuo daugiau organinių medžiagų vandenyje yra. Ištirpusio deguonies tyrimai paviršinių nuotekų mėginiuose atliekami, norint įvertinti ar nuotekose yra maistinių medžiagų. Atlikti tyrimai parodė, kad nuotekose maistinių medžiagų koncentracija yra nedidelė.

Bendrosios anglies koncentracija mėginiuose, kurie buvo imti 2014 m. sausio mėnesį, kito nuo 12,76 mg/l iki 55,81 mg/l. Didžiausia koncentracija (55,81 mg/l) nustatyta mėginyje, kuris buvo paimtas iš paviršinių nuotekų išleistuvo (4 mėginių ėmimo vieta). Bendrosios anglies tyrimai atlikti norint nustatyti organinių medžiagų kiekį nuotekose. Bendrosios anglies koncentracija yra nuotekų užterštumo organinėmis medžiagomis indikatorius. Leistina bendrosios anglies koncentracija nuotekose gali kisti nuo 0,1 % iki 30 %. Atlikti tyrimai parodė, kad bendrosios anglies koncentracija paviršinių nuotekų mėginiuose neviršijo 30 %. Leidžiamos bendrosios anglies koncentracijos kiekis paviršinėse nuotekose nėra reglamentuojamos Lietuvos Respublikos teisės aktuose.

3.1 lentelė. Bendrosios anglies koncentracija paviršinėse nuotekose, šiaurinėje Vilniaus miesto dalyje

Mėginių ėmimo vieta, Nr.	Bendrosios anglies koncentracija, mg/l	
	2014.01.07	2014.01.10
1.	22,17	48,62
2.	48,32	23,58
3.	39,11	40,54
4.	18,63	12,76
5.	50,12	15,37
6.	51,58	14,85
7.	55,81	24,92
8.	37,2	12,86
9.	41,47	19,66
10.	26,18	20,29

Bendrojo azoto koncentracija paviršinių nuotekų mėginiuose, kurie buvo paimti 2014 m. sausio mėnesį, kito nuo 0,25 mg/l iki 8,46 mg/l. Didžiausia koncentracija buvo nustatyta paviršinių nuotekų išleistuve (4 mėginių ėmimo vieta). Pagal Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymą „Dėl paviršinių nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo“, didžiausia momentinė bendrojo azoto koncentracija negali viršyti 20 mg/l. Nuotekų mėginiuose, kurie buvo paimti nuo nelaidžių paviršių ir paviršinių nuotekų išleistuvų šiaurinėje Vilniaus miesto dalyje, neviršijo didžiausios leistinos bendrojo azoto koncentracijos.

3.2 lentelė. Bendrojo azoto koncentracija paviršinėse nuotekose, šiaurinėje Vilniaus miesto dalyje

Mėginių ėmimo vieta, Nr.	Bendrojo azoto koncentracija, mg/l	
	2014.01.07	2014.01.10
1.	1,12	1,27
2.	0,27	1,35
3.	8,46	0,83
4.	0,93	0,89
5.	4,17	0,77
6.	3,98	0,54
7.	8,33	1,27
8.	0,88	0,25
9.	1,06	1,64
10.	1,15	1,97

Bendrojo azoto koncentracija nuotekose nėra viršijama, todėl galima teigti, kad Vilniaus mieste, dešiniajame Neries krante atlikti paviršinių nuotekų mėginių tyrimai parodo, kad paviršinės nuotekos nėra užterštos organinėmis medžiagomis.

Naftos produktų kiekis buvo tiriamas 2014 m. sausio mėnesį paimtuose mėginiuose. Nustatytos naftos produktų koncentracijos paviršinių nuotekų mėginiuose (2.1 pav.):

- 1-ajame mėginyje – 0,12 mg/l;
- 2-ajame mėginyje – 3,03 mg/l;
- 3-ajame mėginyje – 3,00 mg/l;
- 9-ajame mėginyje – 1,30 mg/l;
- 8-ajame mėginyje – 1,81 mg/l.

Leistina naftos produktų koncentracija, remiantis Lietuvos Respublikos paviršinių nuotekų reglamentu, paviršinėse nuotekose yra 7 mg/l. Mėginiuose, kuriuose buvo tirta naftos produktų koncentracija, leistina naftos produktų koncentracija nebuvo viršijama. Tirtuose mėginiuose didžiausia naftos produktų koncentracija (3,03 mg/l) nustatyta mėginyje, kuris buvo paimtas nuo Valakampių tilto (2-asis mėginys) (2.1 pav.).

Atsižvelgus į paviršinių nuotekų taršą naftos produktais, per pastaruosius šešerius metus (2008–2013 m.) didžiausia tarša yra nustatyta Vilniaus miesto paviršinių nuotekų išleistuvuose, ji žiemos metu siekė 12 mg/l. Vidutinė tarša naftos produktais šaltuoju metų laiku yra 1,69 mg/l (UAB „Grinda“ 2013). Tirti naftos produktų taršos kiekiai Radviliškio mieste 2010 metais kontroliuojamuose paviršinių nuotekų išleistuvuose: didžiausia nustatyta paviršinių nuotekų tarša naftos produktais siekė 0,49 mg/l. Lyginant gautus rezultatus Vilniaus mieste su Radviliškyje, nustatyta tarša naftos produktais Vilniuje yra 6 kartus didesnė.

Biocheminis deguonies suvartojimas, Vilniaus miesto Šiaurinės dalies paviršinėse nuotekose, buvo tiriamas 2014 m. sausio mėnesį. BDS₅ tirtuose mėginiuose kito nuo 0 mg O₂/l iki 79 mg O₂/l. Didžiausias nustatytas biocheminis deguonies suvartojimas per 5 paras nustatytas mėginyje, kuris buvo paimtas nuo Valakampių tilto (2-asis mėginys) (2.1 pav.). Lyginant su kitų mokslininkų atliktų tyrimų rezultatais, Vilniaus mieste nustatyta biocheminio deguonies suvartojimo vertė 9 kartus viršijo vidutinį biocheminį deguonies suvartojimą, nustatytą Šiaulių mieste (Sauliutė 2011). Tyrimų metu, nustatyta didžiausia biocheminio deguonies suvartojimo vertė viršija vidutinę metinę koncentraciją (50 mg O₂/l) ~ 2 kartus.

Atlikus paviršinių nuotekų tyrimus, buvo nuspręsta, filtrų efektyvumo tyrimams naudoti 1–ojo paviršinių nuotekų išleistuvo paviršines nuotekas.

3.2. Filtrų efektyvumo tyrimai ir analizė

Paviršinių nuotekų valymo filtrų efektyvumui nustatyti atlikta 10 bandymų. Bandymams atlikti, paviršinių nuotekų mėginiai imti iš pasirinkto šaltinio (1 išleistuvas, 2.1 pav.). Paviršinių nuotekų mėginiai imti, esant teigiamai aplinkos temperatūrai. Tyrimų metu, nustatant 4 paviršinių nuotekų valymo filtrų valymo efektyvumą tirti šie paviršinių nuotekų kokybiniai parametrai:

- skendinčiosios medžiagos (SM);
- bendras azotas (N_b);
- bendroji anglis (C_b);
- pH.

Tyrimais siekiama įvertinti filtrų valymo efektyvumą. Filtrų teršalų šalinimo efektyvumas apskaičiuojamas pagal 3.1 formulę:

$$C = \left(\frac{C_{\text{itekėjusios nuotekos}} - C_{\text{ištekėjusios nuotekos}}}{C_{\text{itekėjusios nuotekos}}} \right) \cdot 100 \% ; \quad (3.1)$$

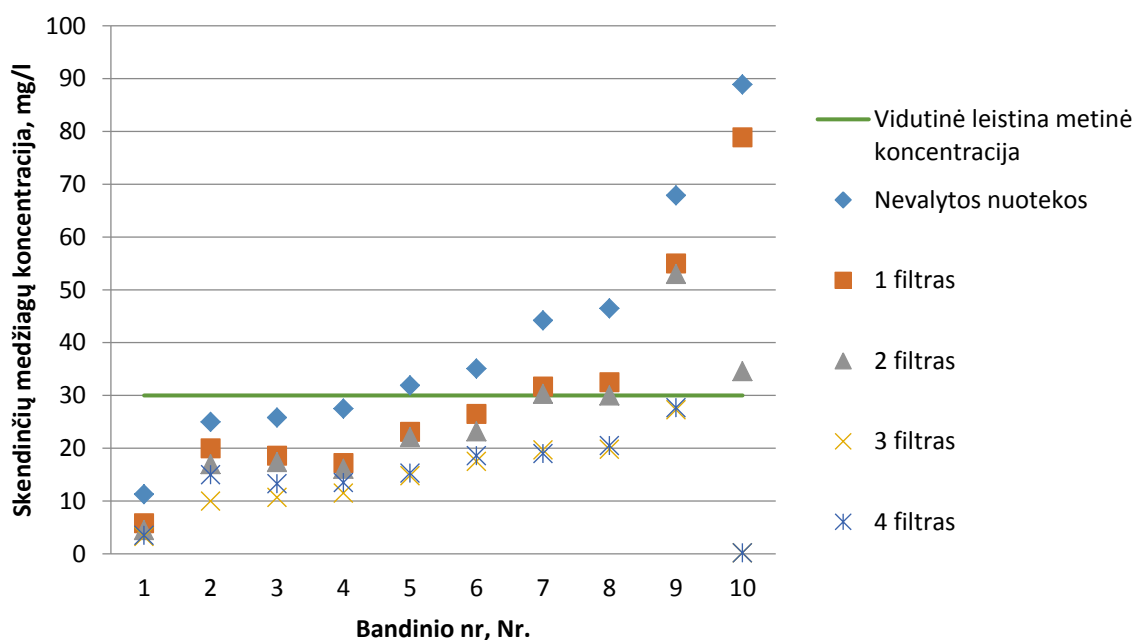
čia C – teršalo šalinimo efektyvumas, %; $C_{\text{itekėjusios nuotekos}}$ – teršalo koncentracija į nuotekų valymo įrenginį įtekėjusiose paviršinėse nuotekose, mg/l; $C_{\text{ištekėjusios nuotekos}}$ – teršalo koncentracija iš valymo įrenginio ištekėjusiose nuotekose, mg/l.

Skendinčiųjų medžiagų šalinimas iš paviršinių nuotekų. Skendinčiųjų medžiagų koncentracija tiriamuose nevalytų paviršinių nuotekų mėginiuose viršijo leistiną vidutinę metinę išleidžiamų paviršinių nuotekų į gamtinę aplinką koncentraciją (30 mg/l), penkiuose mėginiuose. Išvalytose nuotekose nustatyta didesnė nei 30 mg/l skendinčių medžiagų

koncentracija 7 mėginiuose: 31,7 mg/l, 32,5 mg/l, 55,0 mg/l, 78,9 mg/l buvo nustatyti 1 filtre ir 30,3 mg/l, 53,0 mg/l, 34,6 mg/l buvo nustatyta 2 filtre (3.3 lentelė; 3.3 pav).

3.3 lentelė. Skendinčiųjų medžiagų koncentracijos tiriamuose bandiniuose

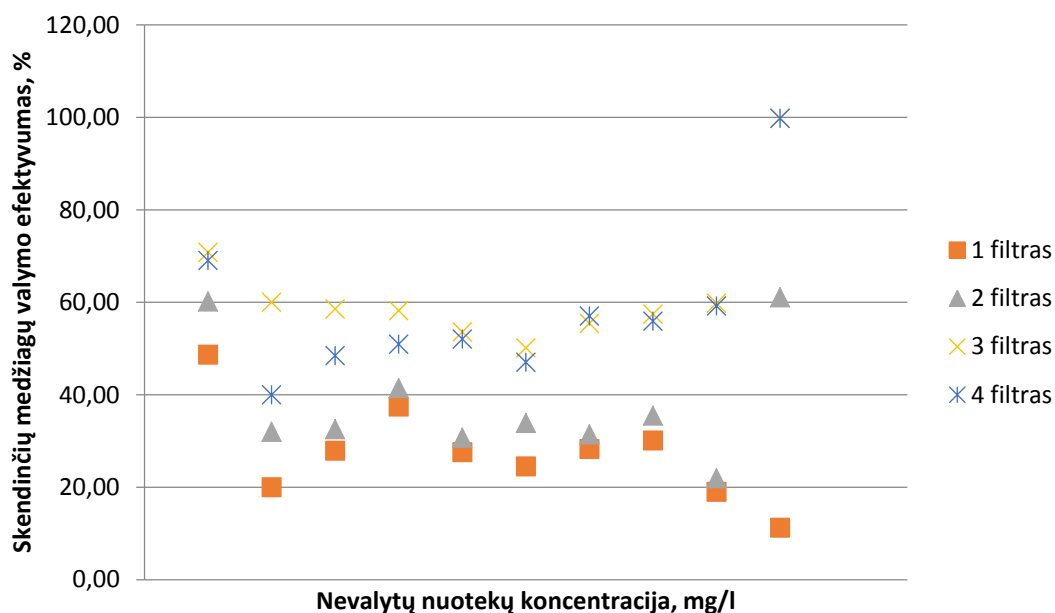
Bandinys	Skendinčiųjų medžiagų koncentracija									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nevalytos nuotekos	11,3	25,0	25,8	27,5	31,9	35,1	44,2	46,5	67,9	88,9
1 filtras	5,8	20,0	18,6	17,2	23,1	26,5	31,7	32,5	55,0	78,9
2 filtras	4,5	17,0	17,4	16,1	22,1	23,2	30,3	30,0	53,0	34,6
3 filtras	3,3	10,0	10,7	11,5	14,8	17,5	19,7	19,8	27,3	0,2
4 filtras	3,5	15,0	13,3	13,5	15,3	18,6	19,0	20,5	27,7	0,2



3.3 pav. Skendinčiųjų medžiagų koncentracija tiriamuose mėginiuose

Didžiausia koncentracija skendinčiosiomis medžiagomis nustatyta išvalytose nuotekose 78,9 mg/l – 1 filtre, su autoklavinio akytojo betono skalda. Mažiausia koncentracija 0,2 mg/ nustatyta 4 ir 3 filtruose, su kvarcinio smėlio užpildo sluoksniu.

Vertinant paviršinių nuotekų valymo įrenginių efektyvumą, šalinant skendinčiąsias medžiagas iš užterštų paviršinių nuotekų gauti tyrimų rezultatai rodo, kad efektyviausiai šalina 3 filtras, su kvarcinio smėlio užpildu ir augalinės dangos sluoksniu (3.4 pav.).



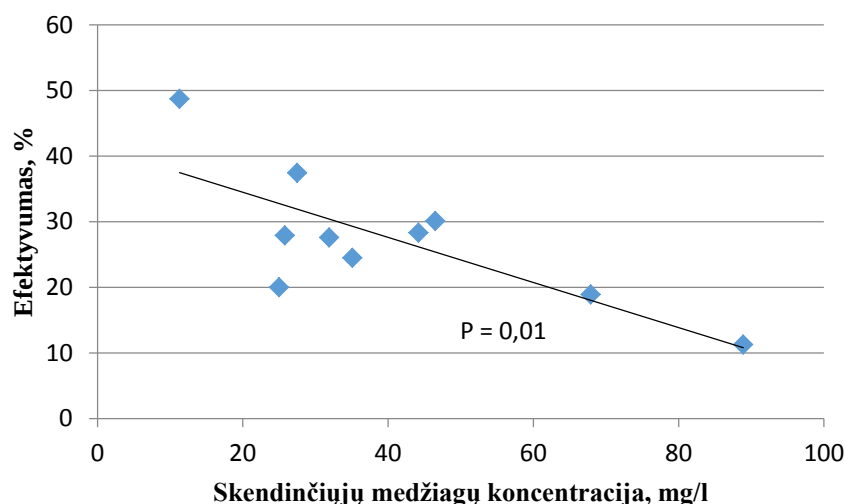
3.4 pav. Skendinčiųjų medžiagų šalinimo efektyvumas paviršinių nuotekų valymo įrenginiuose

Vertinant vidutinį (10 bandymų) skendinčiųjų medžiagų šalinimo efektyvumą iš paviršinių nuotekų, mažiausias valymo efektyvumas nustatytas 1 filtre, su autokalvinio akytojo betono blokelių skalda. Vidutinis valymo efektyvumas šiame įrenginyje siekia 27,5 %. Tuo tarpu 3 filtre, su kvarcinio smėlio užpildu ir augalinės dangos sluoksniu, vidutinis valymo efektyvumas, šalinant skendinčiąsias medžiagas iš paviršinių nuotekų, siekia 62,4 %.

Paviršinių nuotekų valymo efektyvumas priklauso nuo valomų paviršinių nuotekų užterštumo. Kaip matoma, pagal 3.4 lentelėje pateiktus duomenis, tarp užterštų nuotekų koncentracijos skendinčiosiomis medžiagomis ir skendinčiųjų medžiagų šalinimo efektyvumo tiriamuose filtruose, nustatyta stipri koreliacija 1 filtre, su autokalvinio akytojo betono skaldos užpildu. Pagal patikimumo p reikšmę, galima teigti, kad gauta koreliacija yra statistškai reikšminga, nes patikimumo reikšmė p yra lygi 0,01.

3.4 lentelė. Skendinčiųjų medžiagų koncentracija užterštose paviršinėse nuotekose ir skendinčiųjų medžiagų šalinimo efektyvumo koreliacija

	1 filtras	2 filtras	3 filtras	4 filtras
r	-0,76	0,08	0,58	0,68
koreliacija	stipri	labai silpna	vidutinė	vidutinė
p	0,01	0,83	0,08	0,03



3.5 pav. 1 filtro skendinčiųjų medžiagų koncentracijos užterštose paviršinėse nuotekose ir skendinčiųjų medžiagų šalinimo efektyvumo priklausomybė

Lyginant 1 ir 4 filtrus be augalinės dangos, didžiausias nustatytas skendinčiųjų medžiagų valymo efektyvumas 1 filtre siekia 48,7 %, kai tuo tarpu 4 filtre didžiausias efektyvumas net 99,8 %. Didžiausi valymo efektyvumai 1-ame ir 4-ame filtruose nustatyti esant skirtingai nevalytų paviršinių nuotekų užterštumo skendinčiosiomis medžiagomis, koncentracijai. Vidutinis valymo efektyvumas 4 filtre yra du kartus didesnis nei 1 filtre. Skirtingą skendinčiųjų medžiagų šalinimo efektyvumą įrenginiuose įtakoja skirtinga filtrų užpildų frakcija. 1 filtre naudojama autoklavinio akytojo betono skalda, kurios skersmuo 10–40 mm, o 4 filtre – kvarcinis smėlis, kurio dalelių skersmuo yra 0,3 mm.

1 ir 2 filtrai yra užpildyti autoklavinio akytojo betono skalda. Vidutinis skendinčiųjų medžiagų valymo efektyvumas 2 filtre yra 38,1 %. Tai yra 1,4 karto efektyvesnis valymas nei 1 filtre. Skendinčiųjų medžiagų šalinimas 2 filtre vyksta efektyviau dėl augalinės dangos taikymo jame. Mokslininkų atliktų tyrimų metu nustatyta, kad taikant augalus paviršinių nuotekų valymo filtruose, paviršinių nuotekų išvalymo efektyvumas yra aukštesnis, nei taikant filtrus be augalinės dangos (Denman *et al.* 2007; Hendersonas *et al.* 2007; Read *et al.* 2008). Taip pat mokslininkai yra ištyrę, kad filtruose naudojamas augalinės dangos sluoksnis iš užterštų paviršinių nuotekų šalina azotą ir fosforą, taip pat ir sunkiuosius metalus (Breen 1990; Rogers *et al.* 1991; Song *et al.* 2001; Read *et al.* 2008). Augalinės dangos paviršiuje taip pat yra sulaikomos skendinčiosios medžiagos. Augalinės dangos sluoksnis skirtas sulėtinti paviršinių nuotekų tekėjimo greitį, bei sorbcijos ir biologinių procesų metu sulaikyti teršalus (Lewis *et al.* 2008).

3 ir 4 filtrai yra užpildyti kvarcinio smėlio užpildo sluoksniu, tačiau 4 filtras neturi augalinės dangos sluoksnio. 3 filtre vidutinis skendinčiųjų medžiagų valymo efektyvumas yra 62,4 %, o 4 filtre siekia 58,0 %. Todėl galima teigti, kad augalinės dangos sluoksnis

vidutiniškai 4,4 % padidina skendinčiųjų medžiagų šalinimo efektyvumą. Vykstant užterštų nuotekų infiltracijai į gilesnius įrenginio užpildo sluoksnius, viršutiniame filtro sluoksnyje (augalinėje dangoje) yra sulaikomos stambesnės skendinčiosios medžiagos.

2 ir 3 filtruose su augalinės dangos sluoksniu skendinčiųjų medžiagų valymo efektyvumas kinta nuo 20,0 % iki 99,8 %. Efektyvesnis skendinčiųjų medžiagų šalinimas vyksta 3 filtre, kur vidutinis efektyvumas siekia 62,4 %. 3 filtre skendinčiosios medžiagos yra valomos efektyviau 1,6 karto nei 2 filtre. Efektyvumą skirtinguose filtruose įtakoja skirtingų užpildų frakcijų dydžiai (2 filtre taikoma autoklavinio akytojo betono skalda 10–40 mm, 3 filtre – kvarcinis smėlis 300 µm).

Lyginant gautus rezultatus su kitų mokslininkų gautais rezultatais, atliktų laboratorinių tyrimų metu nustatytas vidutinis skendinčiųjų medžiagų valymo efektyvumas įrenginiuose kito nuo 27,5 % iki 62,4 %, kai tuo tarpu Australijos mokslininkų sukurtas paviršinių nuotekų filtras, kurį sudarė: stambus žvyras (užpildo dalelių skersmuo 50 mm) ir žvyras (užpildo dalelių skersmuo 30 mm). Atliktų tyrimų metu, skendinčiųjų medžiagų šalinimo efektyvumas siekia 79 % (Kandra *et al.* 2011). Mokslininkai teigia, kad skendinčiųjų medžiagų koncentracijos šalinimą iš paviršinių nuotekų, taikant paviršinių nuotekų filtrus, galima pasiekti iki 90 % (Bratieres *et al.* 2009; Tobias-Blecken 2010).

Skendinčiųjų medžiagų šalinimo priklausomybė nuo pH. Patikrinti, ar skendinčiųjų medžiagų šalinimas filtruose priklauso nuo fizinių parametrų, atliekama koreliacinė analizė. Koreliacinės analizės metu tikrinama ar skendinčiųjų medžiagų šalinimo efektyvumas priklauso nuo paviršinių nuotekų pH.

3.5 lentelė. pH vertės tirtuose paviršinių nuotekų mėginiuose

Bandinys										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nevalytos nuotekos	7,5 9	7,7 4	7,2 2	7,8 7	7,6 8	7,8 7	7,5 3	7,3 6	7,7 6	7,4 4
Nuotekos išvalytos 1 filtre	9,3 3	9,0 7	8,7 4	8,6 7	8,6 3	8,5 8	8,5 3	8,5 0	8,4 8	8,4 3
Nuotekos išvalytos 2 filtre	9,1 5	8,9 8	8,9 0	8,7 3	8,6 9	8,6 3	8,6 0	8,5 5	8,5 1	8,5 0
Nuotekos išvalytos 3 filtre	7,9 6	7,8 2	7,8 0	7,8 0	7,7 3	7,7 2	7,7 0	7,6 5	7,5 3	7,5 2
Nuotekos išvalytos 4 filtre	7,8 0	7,7 3	7,7 2	7,7 0	7,6 9	7,6 4	7,5 9	7,5 8	7,5 3	7,5 0

Paviršinių nuotekų pH po valymo filtruose padidėjo. Tačiau stebimas išvalytų paviršinių nuotekų pH mažėjimas. Išvalytų paviršinių nuotekų pH dydžio mažėjimą filtruose įtakoja įrenginių veikimo laikas. Remiantis gautais rezultatais, matomas pH dydžio mažėjimas

filtrų veikimo laikotarpiu. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2007 m. spalio 8 d. įsakyme Nr. D1-515 „Dėl aplinkos ministro 2006 m. gegužės 17 d. įsakymo Nr. D1-236 „Dėl nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo“ pakeitimo“ yra nurodyta, kad nuotekų, kurios yra išleidžiamos į gamtinę aplinką pH turi būti 6,5–8,5. Taikant paviršinių nuotekų filtrus su kvarcinio smėlio ir autoklavinio akytojo betono skaldos užpildais, pH dydis nuotekų, kurios gali būti išleidžiamos į gamtinę aplinką, yra užtikrinamas po 49 dienų filtrų veikimo laiko.

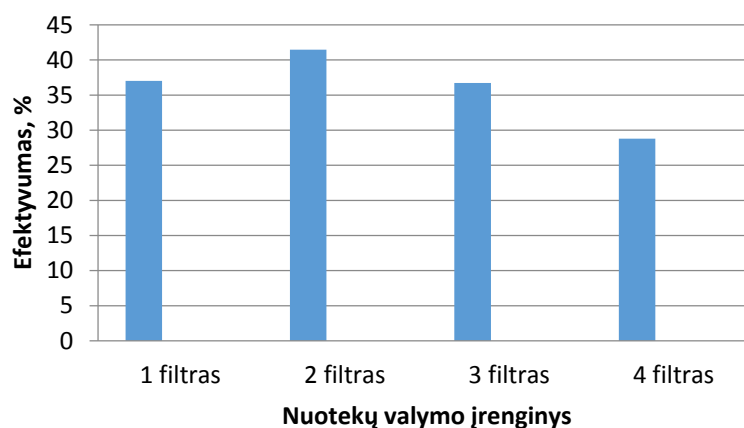
Atlikus kvarcinio smėlio ir autoklavinio akytojo betono skaldos išplovimo tyrimus, nustatytos pH vertės yra didesnės, nei pradinio tirpalo pH. Autoklavinio akytojo betono skaldos išplovimo tyrimų metu pradinis tirpalo pH: 7, 7,5, 8 ir 9. Po atlikto išplovimo tyrimo pH reikšmės padidėjo, jos nustatytos: 8,68, 9,16, 9,56, 10,12. Gauti išplovimo tyrimų duomenys paaiškina padidėjusias pH vertes 1 ir 2 filtruose su autoklavinio akytojo betono skaldos užpildu.

Atlikus kvarcinio smėlio išplovimo tyrimus taip pat nustatytas pH dydžio didėjimas. Pradinio tirpalo pH 7 ir 7,22, tačiau po išplovimo tyrimo nustatytas pH padidėjo iki 7,38 ir 7,67.

Bendrojo azoto šalinimo iš paviršinių nuotekų efektyvumo tyrimai. Bendrojo azoto tyrimai atlikti įvertinant kaip pakito azoto koncentracija, nuotekoms prasifiltravus pro visus valymo įrenginių užpildo sluoksnius. Paviršinių nuotekų valymo įrenginių valymo efektyvumas, šalinant bendrojo azoto koncentraciją iš atitekėjusių paviršinių nuotekų yra pateikiamas 3.6 lentelėje.

3.6 lentelė. Bendrojo azoto šalinimo efektyvumas tiriamuose filtruose

Bandinys	Šalinimo efektyvumas, %									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 filtras	62,79	30,82	37,37	7,90	17,44	83,74	39,63	53,49	18,85	18,16
2 filtras	60,50	-	31,08	77,11	9,97	49,73	36,04	67,59	69,53	13,12
3 filtras	36,59	-	45,53	53,65	29,85	32,89	24,74	71,84	42,65	29,50
4 filtras	9,28	-	26,14	68,20	15,89	15,95	19,39	48,30	74,26	10,62



3.6 pav. Vidutinis azoto šalinimo efektyvumas filtruose

Pagal atliktą statistinę analizę efektyviausiai bendrasis azotas yra sulaikomas 1 filtre, mažiausias efektyvumas nustatytas 4 filtre. Paviršinių nuotekų užterštumas bendruoju azotu, tiriamuoju laikotarpiu, neviršijo leistinos vidutinės metinės koncentracijos 20 mg/l.

Pagal 3.6 lentelėje pateiktus duomenis, matyti, kad didėjant nevalytų nuotekų užterštumui bendruoju azotu, po nuotekų valymo paviršinių nuotekų valymo filtruose taip pat nustatytos didesnės bendrojo azoto koncentracijos. Esant mažiausiai 0,08 mg/l bendrojo azoto koncentracijai paviršinėse nuotekose, nustatytos didžiausia bendrojo azoto koncentracija paviršinėse nuotekose išvalytose nuotekose 3-ajame ir 4-ajame filtruose. Toks azoto koncentracijos padidėjimas užfiksuotas pirmojo eksperimento metu. Siekiant išsiaiškinti bendrojo azoto koncentracijos padidėjimo priežastis, buvo atliktas užpildų išplovimo tyrimas.

Atlikus tyrimus nustatyta, kad autoklavinio akytojo betono skaldos pradinio tirpalo bendrojo azoto koncentracija nepakito (0,77 mg/l). Vertinant kvarcinio smėlio išplovimo metu gautus rezultatus, bendrojo azoto koncentracija padidėjo. Pradinė tirpalo nustatyta bendrojo azoto koncentracija yra 0,36 mg/l ir 0,27 mg/l. Po atlikto kvarcinio smėlio išplovimo tyrimo nustatyta 1,96 mg/l ir 1,84 mg/l.

Mokslininkų nustatyta, kad filtruose su augaline danga, vyksta intensyvesnis azoto junginių šalinimas iš paviršinių nuotekų (Denman *et al.* 2007; Hendersonas *et al.* 2007; Read *et al.* 2008).

Mokslininkai nustatė, kad autoklavinio akytojo betono naudojimas paviršinių nuotekų valymo įrenginiuose padeda absorbuoti organinius teršalus. Bendrojo azoto šalinimo efektyvumas kinta nuo 5 % iki 45 % (Nilsson *et al.* 2013). Akyta užpildo struktūra (autoklavinio akytojo betono skalda) leidžia absorbuoti ir savyje sulaikyti organines medžiagas. Paviršinių nuotekų, kurių pH yra mažesni, sudaromos geresnės sąlygos bakterijų dauginimuisi ir bioplėvelės susidarymui, kuri leidžia dar efektyviau valyti nuotekas nuo azoto junginių (Nilsson 2012).

Azoto šalinimo efektyvumas kvarcinio smėlio užpildo sluoksnyje efektyviau vyksta praėjus ~ 35 dienoms nuo eksperimento pradžios (Nilsson *et al.* 2013). Kvarcinio smėlio užpildo sluoksnyje efektyvesnis azoto šalinimas vyksta, kai jame užsiveisia mikroorganizmai, skaidantys azoto junginius patenkančius su užterštomis paviršinėmis nuotekomis į valymo įrenginį.

Bendrojo azoto šalinimas paviršinių nuotekų valymo filtrų laboratorinių tyrimų metu efektyviau vyko 1 ir 2 filtruose, kurių užpildo sluoksnius sudaro autoklavinio akytojo betono skalda. Kitų mokslininkų (Nilsson *et al.* 2013) tyrimai taip pat patvirtina, kad organinių junginių absorbcija vyksta intensyviau porėtose sorbentuose. 3 ir 4 filtrai kurių užpildą sudaro kvarcinis smėlis nepašalina azoto junginių iš paviršinių nuotekų. Tai galima aiškinti tuo, kad yra per trumpas įrenginių eksploatavimo laikas, kad įrenginio užpilduose užsiveistų pakankamai mikroorganizmų, kurie skaido azotą.

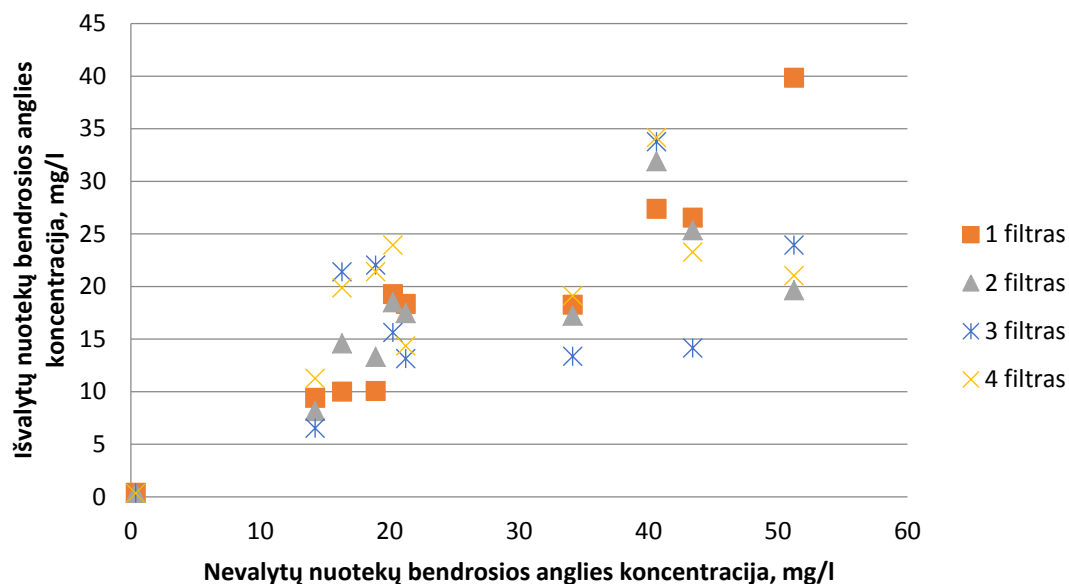
Lyginant su kitų mokslininkų atliktais tyrimais, bendrojo azoto koncentracija tirtuose filtro (filtre naudojamų užpildų sluoksnių seka: viksva (*Carex appressa*); smėlingas priemolis 0,05–0,84 mm; smėlis 0,4–0,6 mm; žvyras 5–20 mm) naudojamo Kfar Sava mieste Izraelyje, mėginiuose, vidutiniškai yra ~3,27 mg/l ir valymo efektyvumas nuo azoto junginių 44,63 % (Zinger *et al.* 2011). Australijos mieste, *Monash* universitete atliekamų paviršinių nuotekų valymo filtro (filtre naudojamų užpildų sluoksnių seka: viksva (*Carex rostrata*); smėlis 0,063–4 mm; smėlis 4–6 mm; žvyras 4–8 mm) eksperimentiniai tyrimai parodė, kad azoto šalinimo efektyvumas kinta nuo 56 % iki 70 % (Bratieres *et al.* 2009). Lyginant su atliktais tyrimais, bandymų metu gautas bendrojo azoto efektyvumas kinta nuo 0,21 % iki 29,54 % ir tai yra 2,4 kartų mažiau nei nustatyta *Monash* universiteto mokslininkų. Mokslininkų nustatyta, kad autoklavinio akytojo betono skaldos naudojimas paviršinių nuotekų valymui, sumažina paviršinių nuotekų užterštumą bendruoju azotu nuo 8 % iki 66 % (Nilsson *et al.* 2013). Tyrimų metu nustatyta bendrojo azoto šalinimo efektyvumas filtruose, užpildytuose autoklavinio akytojo betono skalda, vidutiniškai kito 28,60 % ir 29,54 %. Mokslininkų nustatyta, kad azoto šalinimo efektyvumas filtruose, su augalijos viršutiniu sluoksniu gali siekti iki 93 % (Zhang *et al.* 2011).

Bendrosios anglies paviršinėse nuotekose tyrimai. Bendrosios anglies tyrimai atlikti:

- 10 paviršinių nuotekų mėginiuose;
- 40 mėginių po paviršinių nuotekų valymo.

Prieš tiriant bendrosios anglies kiekį nuotekose, mėginiai yra perfiltruoti per stiklo pluošto filtrus. Tokiu būdu yra pašalintos skendinčios medžiagos mėginiuose. Didžiausia bendrosios anglies koncentracija nevalytose paviršinėse nuotekose nustatyta 4 bandymo metu. Pagal 3.7 paveiksle pateiktą grafiką, matome, kad efektyviausiai bendrosios anglies

koncentracija sumažėja 2 filtre (su autokalvinio akytojo betono blokelių skaldos užpildu ir augaline danga), nustatytas vidutinis šalinimo efektyvumas 30,1 %. Mažiausias nustatytas šalinimo efektyvumas nustatytas 4 filtre, kur vidutinis paviršinių nuotekų valymo efektyvumas siekia 19,2 %.



3.7 pav. Paviršinių nuotekų valymo efektyvumo tyrimas pagal bendrosios anglies kiekį

Efektyviausiai bendrosios anglies koncentraciją nuotekose sumažina 1 ir 2 filtrai (su autokalvinio akytojo betono blokelių skaldos užpildu). Vidutinis valymo efektyvumas 1 filtre – 29,2 %. Efektyviau bendrosios anglies šalinimas vyksta autokalvinio akytojo betono skalda užpildytuose filtruose, ne taip efektyviai – 3 ir 4 filtruose su kvarcinio smėlio užpildu. 3 ir 4 filtruose, kur valymo efektyvumas kinta nuo 18,19 % iki 60,90 %. Vidutinis valymo efektyvumas 3 filtre yra 28,82 %, 4 filtre – 19,19 %.

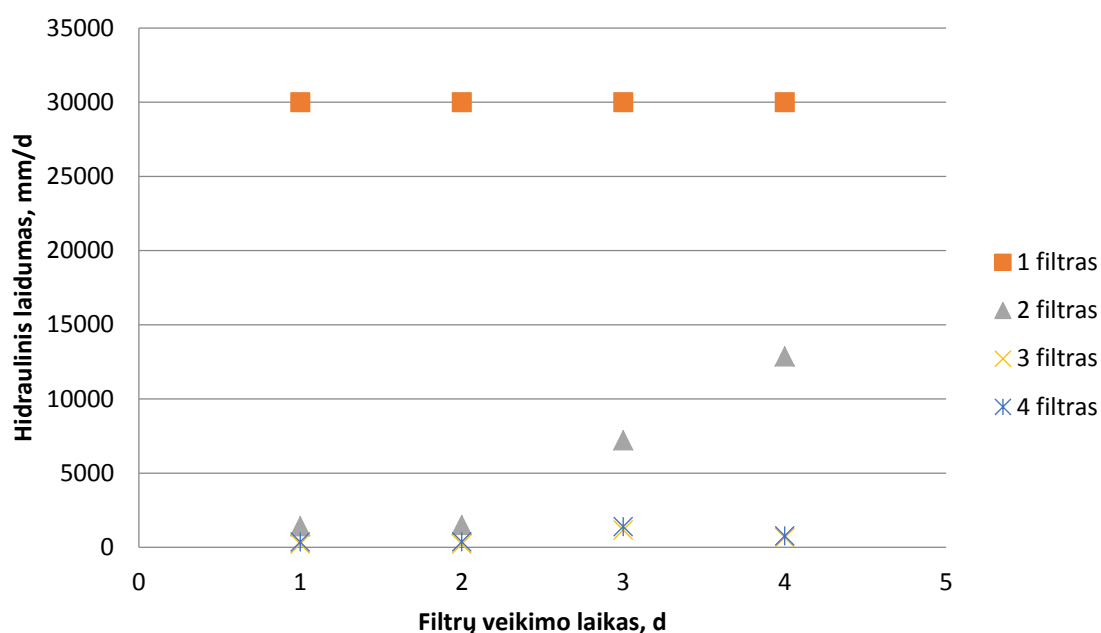
Kitų mokslininkų atlikti tyrimai parodė, kad bendrosios anglies koncentraciją paviršinių nuotekų valymo filtre galima sumažinti 30–40 % (Henderson *et al.* 2007). Bendrosios organinės anglies koncentracija nuotekose parodo organinių medžiagų kiekį paviršinėse nuotekose (Duncan 1999; Campbell 2007).

Hidraulinio laidumo tyrimai paviršinių nuotekų filtruose. Natūrinėmis sąlygomis filtrų hidraulinis laidumas tirtas 5 kartus: po 768 veikimo valandų, po 792 veikimo valandų, po 1152 valandų, po 1176 valandų ir po 1183 veikimo valandų.

3.7 lentelė. Natūrinėmis sąlygomis nustatytas filtrų hidraulinis laidumas

Laikas, val.	768	792	1152	1176	1183
	Hidraulinis laidumas, mm/d				

Filtrų Nr. 1	30000	30000	30000	30000	30000
Filtrų Nr. 2	1406,3	1500,0	7200,0	12857,1	11250,0
Filtrų Nr. 3	221,9	209,3	1161,3	656,9	814,5
Filtrų Nr. 4	351,6	362,2	1384,6	759,5	1343,3



3.8 pav. Filtrų hidraulinis laidumas, nustatytas natūrinėmis sąlygomis

Po nuolatinio filtrų veikimų nustatytas hidraulinis laidumas nekito tik smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre. Čia jis buvo nustatytas 30000 mm/d.

Nustatytas mažiausias hidraulinis laidumas kvarcinio smėlio filtre su augalinės dangos sluoksniu. Po nuolatinio veikimo mažiausias hidraulinis laidumas nustatytas praėjus 792 valandoms, nuo filtro veikimo pradžios. Čia jis nustatytas 209,3 mm/d.

Skirtingose pasaulio šalyse, kuriose, paviršinių nuotekų valymui yra taikomi filtrai, įrenginio rengimo rekomendacijose yra nurodytos hidraulinio laidumo reikšmės, kurias užtikrinus galima efektyviai valyti užterštas paviršines nuotekas:

- Naujojoje Zelandijoje filtrų rengimo rekomendacijose nurodyta hidraulinio laidumo koeficiento reikšmė K turi siekti bent 12,5 mm/h (ARC 2003; Claytor and Schueler 1996; Winogradoff 2002);
- Austrijoje hidraulinio laidumo koeficiento leistinas kitimas yra nuo 36 mm/h iki 360 mm/h (ONORM B2501-1 2000);
- Australijoje – nuo 50 mm/h iki 200 mm/h, (Melbourne Water... 2005).

Lietuvoje, nėra nustatyta, koks hidraulinis laidumas paviršinių nuotekų valymo filtruose turi būti užtikrinamas, norint efektyviai išvalyti užterštas paviršines nuotekas.

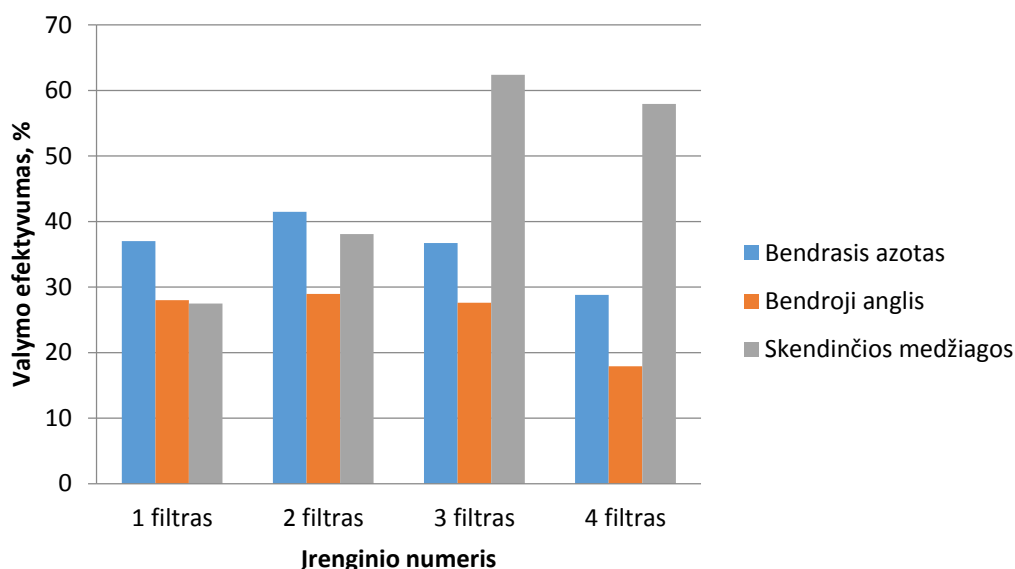
Įvertinus kvarcinio smėlio su augaline danga filtro gautus rezultatus hidraulinis laidumas nustatytas šiame filtre yra 1,5 karto mažesnis nei Naujoje Zelandijoje, 34 kartus mažesnis nei nustatytas Austrijoje ir 23 kartus mažesnis nei nustatytas Australijoje.

Taip pat hidraulinio laidumo tyrimai filtruose atlikti esant sausros periodui. Pasirinktą laiką, 15 parų (360 valandų) filtrai nebuvo drėkinami. Praėjus sausros periodui, filtruose atlikti hidraulinio laidumo tyrimai parodė, kad smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre, hidraulinis laidumas nepriklauso nuo sausojo periodo trukmės.

Taip pat nustatyta, kad po sausojo periodo smulkinto autoklavinio akytojo betono filtras su augalinės dangos sluoksniu, kvarcinio smėlio filtras su augalinės dangos sluoksniu ir kvarcinio smėlio filtre, t. y. 2, 3 ir 4 filtruose, nustatytas didesnis hidraulinis laidumas, nei tai buvo nustatyta po nuolatinio filtrų drėkinimo (nuolatinio veikimo). Kvarcinio smėlio filtre su augalinės dangos sluoksniu ir kvarcinio smėlio filtre (3 ir 4 filtrai), po 1152 valandų veikimo nustatytas staigus hidraulinio laidumo koeficiento pokytis, jis padidėjo 3,8 karto. Hidraulinio laidumo didėjimas nustatytas dėl to, kad sausojo periodo metu, iš filtro užpildo drėgmė pasišalino ir tarp filtro užpildo dalelių atsirado oro tarpai. Esant tokioms sąlygoms, vėl pradėjus drėkinti filtras nuotekos gali lengviau filtruotis filtre.

Taip pat, hidraulinio laidumo tyrimai, buvo atlikti praėjus 384 valandoms ir 391 valandai po sausros laikotarpio. Nustatyta, kad praėjus sausros laikotarpiui ir vėl pradėjus drėkinti filtras hidraulinis laidumas didėja (3 ir 4 filtruose). Kaip matyti iš 3.7 lentelėje pateiktų duomenų, didžiausias hidraulinio laidumo pokytis nustatytas kvarcinio smėlio filtre (4 filtras). Hidraulinis laidumas kvarcinio smėlio filtre praėjus sausros periodui, ir vėl drėkinant filtrą padidėjo 1,77 karto, o kvarcinio smėlio filtre su augalinės dangos sluoksniu – 1,24 karto, smulkinto autoklavinio akytojo betono filtro su augalinės dangos sluoksniu hidraulinis laidumas sumažėjo 1,14 karto. Hidraulinio laidumo sumažėjimą 2 filtre (smulkinto autoklavinio akytojo betono filtro su augalinės dangos sluoksniu) galėjo įtakoti augalinės dangos sluoksnis, kurį sudaro Pievinė miglė (*Poa Pratensis*) ir dirvožemis, kuriam yra būdinga esant visiškai sausam lengvai praleisti vandenį.

Bendras visų filtrų efektyvumo palyginimas. Įvertinus kiekvieno paviršinių nuotekų filtro valymo efektyvumą, nustatyta, kad skendinčiasias medžiagas, bendrąjį azotą ir bendrąją anglį iš atitekėjusių paviršinių nuotekų šalina 1 ir 2 filtrai. Autoklavinio akytojo betono skalda dėl savo paviršiaus struktūros efektyviai šalina maistines medžiagas (bendrąjį azotą, bendrąją anglį). Efektyviausiai šalinamos skendinčiosios medžiagos 3 ir 4 filtruose.



3.9 pav. Vidutinis filtrų efektyvumas valant paviršines nuotekas

Pagal 3.9 paveiksle pateiktą filtrų efektyvumą valant paviršines nuotekas, matoma, kad skendinčios medžiagos efektyviau yra šalinamos filtruose su augalinės dangos sluoksniu (2 ir 3 filtras). Bendrojo azoto šalinimas 1 ir 2 filtruose (su smulkinto autoklavinio akytojo betono sluoksniu) skiriasi 1,2 karto, ir efektyviau yra šalinama 2 filtre, su augalinės dangos sluoksniu. 3 ir 4 filtruose bendrojo azoto šalinimas 1,3 karto, šalinama efektyviau 3 filtre (su augalinės dangos sluoksniu). Bendrosios anglies koncentracija 1 ir 2 filtruose kinta nežymiai. 2 filtras bendrąją anglį šalina efektyviau nei pirmasis 1 kartą. 3 filtras (su kvarcinio smėlio ir augalinės dangos sluoksniu) bendrąją anglį šalina 1,5 karto efektyviau nei 4 filtras, kuris yra be augalinės dangos sluoksnio.

Kiti mokslininkai atlikę koreliacinę analizę tarp hidraulinio laidumo ir skendinčiųjų medžiagų valymo efektyvumo ir bendrojo azoto valymo efektyvumo taip pat nustatė vidutinio stiprumo koreliacinę ryšį (Bratieres *et al.* 2009; Lintern *et al.* 2011).

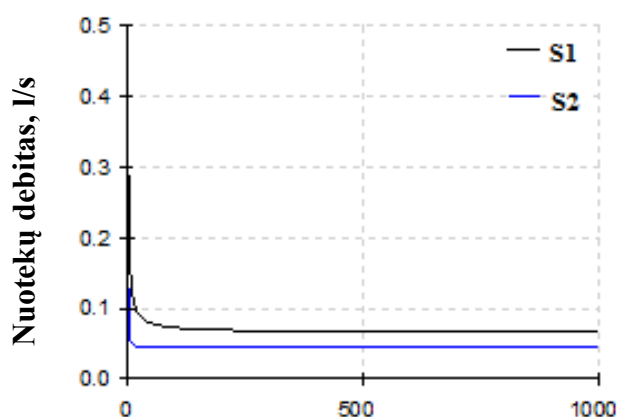
3.3. Paviršinių nuotekų *Hydrus-1D* matematinio modeliavimo rezultatai ir analizė

Paviršinių nuotekų valymo filtrų hidrauliniai tyrimai atlikti 5 kartus. Hidraulinio laidumo tyrimai atlikti keturiuose paviršinių nuotekų filtruose.

Taikomas kvarcinis smėlis kurio dalelių dydis yra 300 μm dydžio. Smulkinto autoklavinio akytojo betono skaldos dalelių dydis 10–40 mm, tankis $500 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ poringumas 79,7 %.

Pagrindiniai įvesties duomenys programoje *Hydrus-1D* yra:

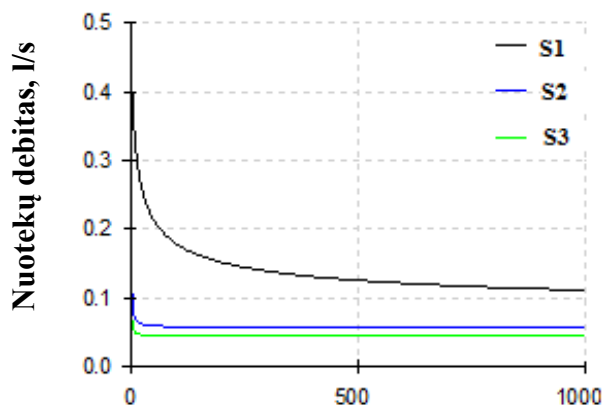
- filtro aukštis;
- filtracijos tipas (vertikali, horizontali);
- veikimo laikas;
- užpildo sluoksnių charakteristikos (parenkama iš programoje esančios bibliotekos);
- modelis, pagal kurį atliekamas hidraulinio laidumo filtruose modeliavimas.



Užpildo sluoksnio gylis,

3.10 pav. Debito priklausomybė nuo filtro užpildų gylio smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre:
S1 – smulkinto autoklavinio akytojo betono sluoksnis, S2 – drenažo sluoksnis

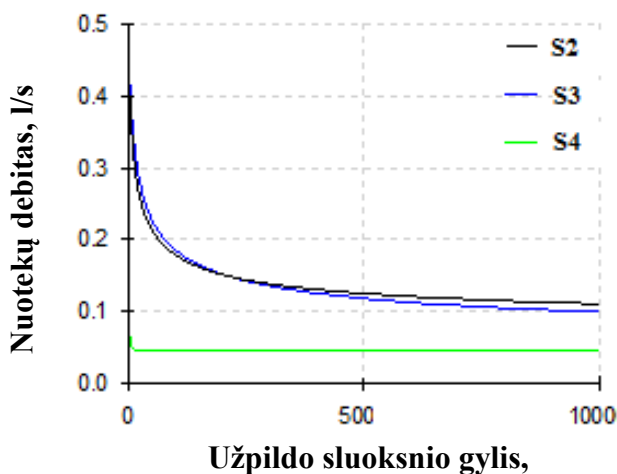
Atlikus matematinę hidraulinio laidumo modeliavimą programa *Hydrus-1D*, nustatytas nuotekų debitas skirtinguose filtro gyliuose. 3.10 paveiksle pateikti modeliavimo duomenys, parodantys debito kitimą smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre (1 filtras). Matematinio modeliavimo rezultatai parodė, kad didžiausias vandens debitas yra tik užpildų paviršiuje, maždaug iki 10 cm gylio.



Užpildo sluoksnio gylis,

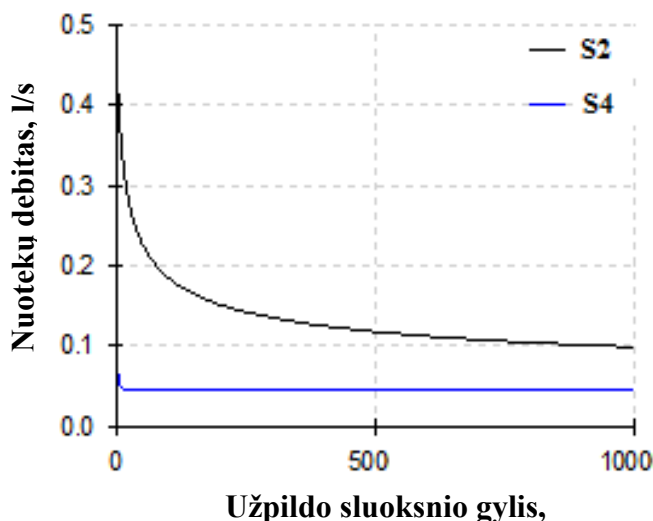
3.11 pav. Debito priklausomybė nuo filtro užpildų gylio smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre su žolinės augalijos danga: S1 – smulkinto autoklavinio akytojo betono sluoksnis, S2 – drenažo sluoksnis, S3 – pievinės miglės danga

Įvertinus smulkinto autoklavinio akytojo betono filtro su žolinės augalijos dangos sluoksniu, nuotekų debito priklausomybę nuo užpildo sluoksnio gylio (3.11 pav.), galima teigti, kad pievinės miglės sluoksnis, sumažina nuotekų debito greitį. Todėl, paviršinės nuotekos teka lėčiau smulkinto autoklavinio akytojo betono sluoksniu, o tai didina išvalymo efektyvumą.



3.12 pav. Debito priklausomybė nuo filtro užpildų gylio kvarcinio smėlio filtre su žolinės augalijos sluoksniu: S2 – drenažo sluoksnis, S3 – pievinės miglės danga, S4 – kvarcinio smėlio sluoksnis

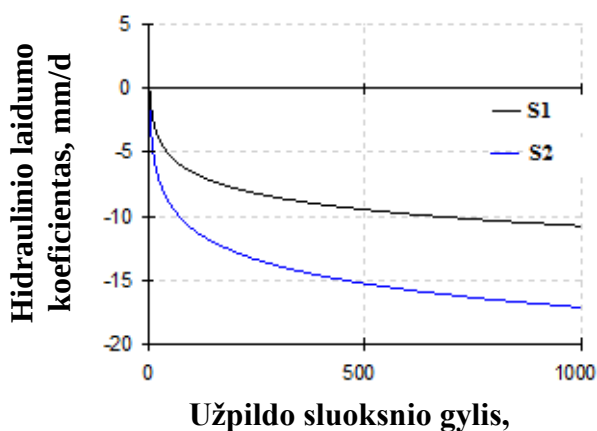
Kvarcinio smėlio filtre su augalinės dangos sluoksniu, paviršinių nuotekų debito priklausomybę nuo užpildo sluoksnio gylio, galima teigti, kad pievinės miglės sluoksnis, sumažina nuotekų debito greitį 3 filtre. Nuotekos filtruojasi į kvarcinio smėlio užpildo sluoksnį lėčiau, dėl to vyksta efektyvesnis nuotekų išvalymas (3.12 pav.).



3.13 pav. Debito priklausomybė nuo filtro užpildų gylio kvarcinio smėlio filtre: S2 – drenažo sluoksnis, S4 – kvarcinio smėlio sluoksnis

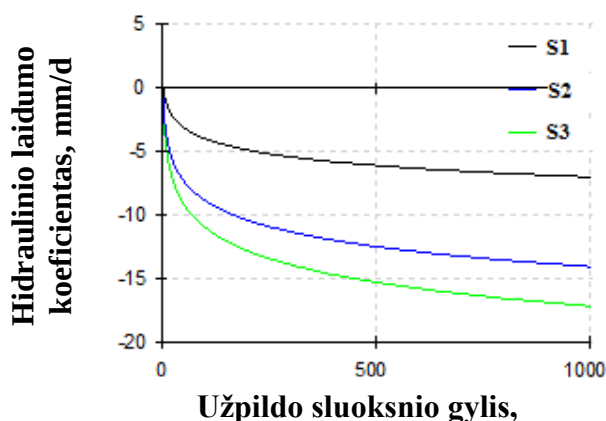
Kvarcinio smėlio filtre, kaip ir smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre, augalinės dangos sluoksnio nėra. Todėl atitekėjusios paviršinės nuotekos iškart patenka į filtro užpildo

sluoksnį – kvarcinio smėlio sluoksnį. Nustatyta, kad paviršinių nuotekų debitas, tiriamajame užpilde mažėja (3.13 pav.).



3.14 pav. Hidraulinio laidumo koeficiento priklausomybė nuo užpildo sluoksnio gylio autoklavinio akytojo betono skaldos filtre: S1 – smulkinto autoklavinio akytojo betono sluoksnis, S2 – drenazo sluoksnis

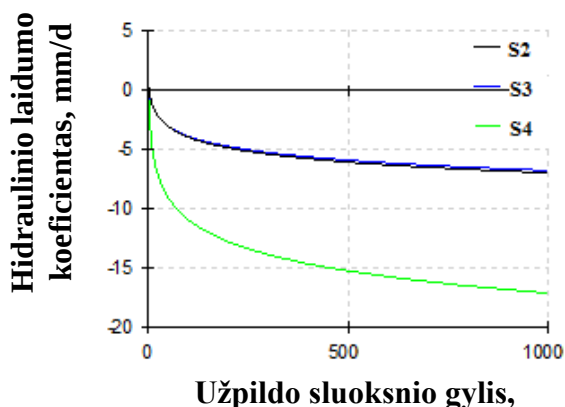
Hidraulinio laidumo koeficientas, kaip ir paviršinių nuotekų debitas, taip pat priklauso nuo filtro užpildo sluoksnio gylio. Naudojantis modeliavimo programa *Hydrus-1D* apskaičiuotas hidraulinio laidumo koeficientas skirtingų užpildų, skirtinguose gyliuose. Smulkinto autoklavinio akytojo betono filtre, smulkinto autoklavinio akytojo betono sluoksnio hidraulinio laidumo koeficientas K kinta nuo 0 iki 8 mm/d (3.14 pav.). Priimant, kad taikomo užpildo sluoksnio dalelių granulimetrinė sudėtis kinta nuo 10 mm iki 40 mm.



3.15 pav. Hidraulinio laidumo koeficiento priklausomybė nuo užpildo sluoksnio gylio smulkinto autoklavinio akytojo betono filtro su žolinės augalijos sluoksniu: S1 – smulkinto autoklavinio akytojo betono sluoksnis, S2 – drenazo sluoksnis, S3 – pievinės miglės danga

Smulkinto autoklavinio akytojo betono filtro su žolinės augalijos sluoksniu, hidraulinio laidumo koeficientas taip pat vertinamas atsižvelgiant į atskirus filtro sluoksnius. Augalinė danga sulėtina vandens debito tėkmę, tačiau dėl mažo sluoksnio aukščio ir šaknų

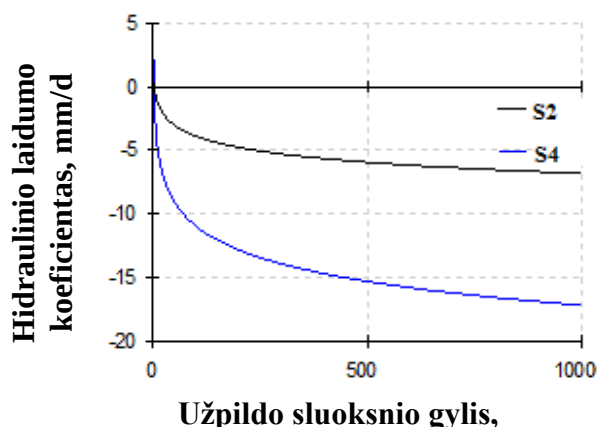
sistemos išsivystymo, hidraulinio laidumo koeficientas augalinės dangos sluoksnyje kinta 0 mm/d iki 7 mm/d (3.15 pav.).



3.16 pav. Hidraulinio laidumo koeficiento priklausomybė nuo užpildo sluoksnio gylio kvarcinio smėlio filtras su žolinės augalijos sluoksniu: S2 – drenažo sluoksnis, S3 – pievinės miglės danga, S4 – kvarcinio smėlio sluoksnis

Kvarcinio smėlio filtro su žolinės augalijos dangos sluoksniu gauti rezultatai taip pat priklauso nuo sluoksnių gylio, ir nuo pasirinktos tyrimo trukmės. Kadangi natūriniai tyrimai atliekami vertinant per dvi valandas surinktas išvalytas nuotekas, modeliuojamo filtro veikimo laikas taip pat parenkamas dvi valandos. Per trumpą filtro veikimo laiką, labiausiai hidraulinio laidumo koeficientas kinta drenažo sluoksnyje (žvyras 2–4 mm), čia jis kinta 0–16 mm/d (3.16 pav.).

Kvarcinio smėlio filtre, vertinant skirtingus filtro sluoksnius (kvarcinio smėlio užpildo sluoksnį ir žvyro drenažo sluoksnį) hidraulinio laidumo koeficientas kinta nuo 0 mm/d iki 17 mm/d (3.17 pav.). Kvarcinio smėlio hidraulinis laidumas priklauso nuo kvarcinio smėlio granulimetrinės sudėties.



3.17 pav. Hidraulinio laidumo koeficiento priklausomybė nuo užpildo sluoksnio gylio kvarcinio smėlio filtre: S2 – drenažo sluoksnis, S4 – kvarcinio smėlio sluoksnis

Mokslininkai nustatė, kad filtruose, kuriuose yra naudojamas smulkinto autoklavinio akytojo betono užpildo sluoksnis, hidraulinio laidumo koeficientas turi būti užtikrinamas mažiausiai 2500 mm/h (Renman and Renman 2012). Pasiekus mokslininkų nustatytą hidraulinio laidumo reikšmę, galima užtikrinti efektyvų fosforo ir azoto šalinimą iš paviršinių nuotekų.

Kitų mokslininkų nustatytas skirtingų kvarcinių smėlio frakcijų ir rūšių hidraulinio laidumo koeficiento reikšmės kinta nuo 22 ± 1 mm/d iki 1130 ± 64 mm/d (Arias *et al.* 2001). Naudojant skirtingų frakcijų užpildus, pasiekiamas skirtingos hidraulinio laidumo reikšmės.

Remiantis natūrinėmis sąlygomis nustatytomis hidraulinio laidumo reikšmėmis, smulkinto autoklavinio akytojo betono užpildas, gali užtikrinti efektyvų maistinių medžiagų (fosforo ir azoto) šalinimą, nes hidraulinis laidumas kinta nuo 1406,3 mm/val. iki 30000 mm/val.

Tiriamas kvarcinis smėlis gali užtikrinti maistinių medžiagų šalinimą (azoto ir fosforo), nes hidraulinio laidumo reikšmės patenka į mokslininkų nustatytą hidraulinio laidumo dydžio intervalą, 22 ± 1 mm/d iki 1130 ± 64 mm/d.

IŠVADOS

1. Atlikus tyrimus nustatyta, kad paviršinių nuotekų valymo filtrai su autoklavinio akytojo betono skaldos užpildu efektyviau valo bendrąjį azotą ir bendrąją anglį nuotekose, nei kad filtrai su kvarcinio smėlio užpildu. Atitinkamai, filtruose su autoklavinio akytojo betono skalda, bendrojo azoto šalinimo efektyvumas – 41,85 %, bendrosios anglies šalinimo efektyvumas – 28,95 %.
2. Paviršinių nuotekų filtruose skendinčiosios medžiagos efektyviausiai šalinamos, kurių užpildą sudaro 300 µm skersmens kvarcinio smėlio sluoksnis. Vidutiniškai skendinčiosios medžiagos filtruose su kvarcinio smėlio užpildo sluoksniu sulaikomos nuo 57,9 % iki 62,4 %.
3. Tyrimais nustatyta, kad filtrai, su augalinės dangos sluoksniu (Pievinė miglė (*Poa pratensis*)), vidutiniškai 20 % efektyviau sulaiko teršalus (skendinčiosios medžiagos, bendroji anglis, bendrasis azotas), nei filtrai be augalinės dangos sluoksnio.
4. Atlikus hidraulinio laidumo matematinį modeliavimą filtruose, nustatyta, kad filtruose, kuriuose yra taikomas augalinis sluoksnis, hidraulinio laidumo greitis mažesnis, ir nuotekų filtracija yra lėtesnė. Filtruose, kuriuose yra taikomas augalinės dangos sluoksnis, hidraulinis filtro laidumas, dėl augalinės dangos sluoksnio sumažėja nuo 0 iki 7 mm/d.

REKOMENDACIJOS

1. Rekomenduoju taikyti paviršinių nuotekų valymui augalinius filtrus, kurie sudaryti iš augalinės dangos (Pievinė miglė (*Poa pratensis*)), filtruojančio sluoksnio (kvarcinis smėlis (300 µm) arba autoklavinio akytojo betono skalda (10–50 mm)), drenžo sluoksnis (žvyras 1–4 mm).

2. Filtruose naudojama Pievinė miglė auga Lietuvoje, lengvai prisitaiko prie drėgmės pertekliaus. Todėl šis augalas yra tinkamas naudoti augaliniuose filtruose, paviršinėms nuotekoms valyti.
3. Kvarcinis smėlis, autoklavinio akytojo betono skalda ir žvyras – tai medžiagos, kurios gali būti taikomos paviršinių nuotekų valymo filtruose, nes šalina iš paviršinių nuotekų: skendinčiąsias medžiagas, bendrąjį azotą, bendrąją anglį.
4. Sukurti filtrai gali veikti esant žemai aplinkos temperatūrai, todėl atsižvelgus į Lietuvos geografinę padėtį filtrai efektyviai šalintų teršalus iš paviršinių nuotekų, natūraliai, ne laboratorinėmis sąlygomis.

LITERATŪRA IR ŠALTINIAI

Advancing the design of stormwater biofiltration [interaktyvus]. 2008. Žiūrėta 2013 m. lapkričio 19 d. Prieiga per internetą: <<http://www.monash.edu.au/fawb/products/fawb-advancing-rain-gardens-workshop-booklet.pdf>>.

Anderson, B. C.; Brown, A. T. F.; Watt, W. E.; Marsalek, J. 1998. Biological leaching of trace metals from stormwater sediments: influential variables and continuous reactor operation. *Water Science Technologies* 38(10): 73–81.

[Aplinkos būklė 2012 tik faktai \[interaktyvus\]. 2013. Žiūrėta 2013 m. spalio 29 d. Prieiga per internetą: <http://gamta.lt/files/TIK%20FAKTAI%202012_galutinis1386581143074.pdf>.](http://gamta.lt/files/TIK%20FAKTAI%202012_galutinis1386581143074.pdf)

ARC. 2003. Stormwater Management Devices: Design Guidelines Manual, Auckland Regional Council, Auckland, New Zealand.

Arias, C. A.; Bubba, M. D.; Brix, H. 2001. Phosphorus removal by sands for use as media in subsurface flow constructed reed beds, *Water Research* 35(5): 1159–1168.

Baltrėnas, P.; Butkus, D.; Oėkinis, V.; Vasarevičius, S.; Zigmontienė, A. 2008. Aplinkos apsauga. Vilnius. Technika. 576 p.

Bioretention [interaktyvus]. 2011. Žiūrėta 2014 m. sausio 5 d. Prieiga per internetą: <http://vwrrc.vt.edu/swc/april_22_2010_update/DCR_BMP_Spec_No_9_BIORETENTION_FinalDraft_v1-8_04132010.htm>.

Bioretention systems [interaktyvus]. 2010. Žiūrėta 2014 m. sausio 20 d. Prieiga per internetą: <<http://www.riversands.com.au/bioretention-system.php>>.

Birch, G. F.; Mathai, C.; Fazeli, M. S. JeongYul, S. 2004. Efficiency of a constructed wetland in removing contaminants from stormwater. *Wetlands* 24(2): 459–466.

Bhaduri, B. L.; Harbor, J. M.; Maurice, P. A. 1995. Chemical trap efficiency of construction site storm-water retention basin. *Physical Geography* 16(5): 389–401.

Bratieres, K.; Fletcher, T.; Deletić, A.; Somes, N.; Gerrans, D.; Baer, E.; Urrutiaguer, M. 2009. Alternative filter media column trial [interaktyvus]. Australija [žiūrėta 2014 m. balandžio 27 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.waterforliveability.org.au/wp-content/uploads/FINAL-REPORT-Alternative-filter-media-trial.pdf>>.

Bratieres, K.; Fletcher, T. D.; Deletic, A.; Zinger, Y. 2008. Nutrient and sediment removal by stormwater biofilters: A large-scale design optimisation study, *Water research* 42: 3930– 3940.

Breen, P. F. 1990. A mass balance method for assessing the potential of artificial wetlands for wastewater treatment, *Water Research* 24: 689–697.

Brooks, R. H.; Corey, T. A. 1956. Hydraulic properties of porous media [interaktyvus]. Žiūrėta: 2015 m. sausio 30 d. Prieiga per internetą: <http://www.wipp.energy.gov/library/cra/2009_cra/references/Others/Brooks_Corey_1964_Hydraulic_Properties_ERMS241117.pdf>.

Campbell, A. 2007. Recycled organics products in stormwater treatment applications [interaktyvus]. Australija žiūrėta 2013 m. gruodžio 30 d. Prieiga per internetą: <<http://www.recycledorganics.com/publications/reports/stormwater/stormwaterreport.pdf>>.

Chen, C.; Lung, W.; Li, S.; Lin, C. 2012. Technical challenges with BOD/DO modeling river in Taiwan, *Journal of Hydroenvironment Research* 6: 3–8.

Civil and Environmental Engineering Department. Constant head and falling head permeability test [interaktyvus]. 2008. Žiūrėta: 2015 m. balandžio 13 d. Prieiga per internetą: <http://faculty.fullerton.edu/btiwari/geotech_Lab/mainpage_files/other/Permeability.pdf>.

Claytor, R. A.; Schueler, T. R. 1996. Design of Stormwater Filtering Systems, The Centre for Watershed Protection, Silver Spring, Maryland.

Coffman, L. S. 2001 08 21. Method and aparus for treating stormwater runoff. Jungtinių Amerikos Valstijų patentas Nr. US 6,277,274 B1. 19 p.

Collection And Reuse Of Stormwater [interaktyvus]. 2014: Žiūrėta: 2015 m. vasario 9 d. Prieiga per internetą: <<http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/techpublications/TechPub-8b/stormwater.asp>>.

Collins, K. A.; Lawrence, T. J.; Stander, E. K.; Stander, R. J.; Jontos, R. J.; Kaushal, S. S.; Newcomer, T. A.; Grimm, N. B.; Cole, M. L. 2010. Opportunities and challenges for managing nitrogen in urban stormwater: A review and synthesis. *Ecological engineering* 36(11): 1507–1519.

Constructed treatment wetlands [interaktyvus]. 2004. Žiūrėta 2013 m. gruodžio 30 d. Prieiga per internetą: <<http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/ConstructedW.pdf>>.

Davis, A. P.; McCuen, R. H. 2010. Stormwater management for smarth growth. United Kingdom: Springer. 368 p.

Davis, A. P.; Hunt, W. F.; Traver, R. G.; Clar, M. 2009. Bioretention technology: An overview of current practice and future needs. *Journal of Environmental Engineering* 135(3): 109–117.

Debo, T. N.; Reese, A. J. 2003. Municipal stormwater management. *Second edition*. London: Lewis. 1135 p.

Denman, L.; May, P.; Breen, P.F.; 2007. An investigation of the potential to use street trees and their root zone soils to remove nitrogen from urban stormwater, *Water Resources*,10: 303–311.

Dobrego, K. V.; Zhdanok, S. A.; Zaruba, A. I. 2001. Experimental and analytical investigation of the gas filtration combustion inclination instability, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 44(11): 2127–2136.

Duncan, H. P. 1999. Urban Stormwater Quality: A Statistical Overview. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology.

Duran Group [interaktyvus]. 2015. Žiūrėta 2015 m. gegužės 4 d. Prieiga per internetą: <<http://www.duran-group.com/en/products-solutions/laboratory-glassware.html>>.

Environmental Protection Agency [interaktyvus]. 2013. Žiūrėta: 2015 m. kovo 2 d. Prieiga per internetą: <http://water.epa.gov/polwaste/npdes/stormwater/upload/owner_developer_long.pdf>.

Enviromental assessment [interaktyvus]. 2006. Žiūrėta 2013 m. gruodžio 30 d. Prieiga per internetą: <http://water.epa.gov/scitech/wastetech/guide/stormwater/upload/2006_10_31_guide_stormwater_usw_b.pdf>.

EN 12457-3:2002 (E). Characterisation of waste. Leaching. Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges. Two stage batch test at a liquid to solid ratio of 2 l/kg and 8 l/kg for materials with a high solid content and with a particle size below 4 mm (without or with size reduction). 30 p.

Evaluating options for water sensitive urban design – a national guide [interaktyvus]. 2014. Žiūrėta 2014 m. birželio 19 d. Prieiga per internetą: <<http://www.slideshare.net/Retiz16x/r1c317>>.

Fang, X.; Stefan, H. G.; Eaton, J. G.; McComick, J. H.; Alam, S. R. 2004. Simulation of thermal/dissolved oxygen habitat for fishes in lakes under different climate scenarios: Part 1. Cool-water fish in the contiguous US. *Ecological Modelling* 172(1): 13–37.

Falkenbergas, K. 2010. Aplinkos apsauga nuo nuotekų išleidimo [interaktyvus]. Belgija. Žiūrėta 2013 m. lapkričio 4 d. Prieiga per internetą: <http://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/info/pdf/waste_water_lt.pdf>.

Farm, C. 2003. Constructed Filters and Detention Ponds for Metal Reduction in Storm Water. Sweden: Malardalen University. 45 p.

Farm, C. 2001. Pollution reduction in storm water using detention pond and constructed filters. Licentiate thesis, Dept. of Energy. Sweden: Malardalen University. 40 p.

Fujita, S. 1997. Measures to promote stormwater infiltration. *Water Science and Technology* 36: 289–293.

German, J. 2001. Stormwater sediments, removal and characteristics. Licentiate thesis, Dept. of Water Environment Transport. Sweden: Chalmers University of Technology. 37 p.

German, J. 2003. Reduction Stormwater Pollution – Performance of Retention Ponds and Street Sweeping. Sweden: Chalmers University of Technology. 23 p.

Gobel, P. Dierkes, C.; Coldewey, W. G. 2007. Storm water runoff concentration matrix for urban areas. Storm water runoff concentration matrix for urban areas, 91(1–2): 26–42.

Godecke-Tobias, B. 2010. Biofiltration technologies for stormwater quality treatment. Sweden: Lulea. 222 p.

Godecke-Tobias, B.; Zinger, Y.; Deletic, A.; Fletcher, T. D.; Hedström, A.; Viklander, M. 2010. Laboratory study on stormwater biofiltration: Nutrient and sediment removal in cold temperatures. *Journal of Hydrology* 394(3–4): 507–514.

Godecke-Tobias, B.; Marsalek, J.; Viklander, M. 2011. Laboratory study of stormwater biofiltration in low temperatures: Total and dissolved metal removals and fates, *Water, Air, & Soil Pollution* 219(1-4): 303-317.

Godecke-Tobias, B.; Zinger, Y.; Muthama, T. M.; Deletic, A.; Fletcher, T. D.; Viklander, M. 2007. The influence of temperature on nutrient treatment efficiency in stormwater biofilter systems, *Water Science and Technology* 56(10): 83–91.

Grimm, N. B.; Faeth, S. H.; Golubiewski, N. E.; Redman, L.; Wu, J. G.; Bai, X. M.; Briggs, J.M. 2008. Global change and the ecology of cities. *Science* 319 (5864): 756–760.

Groffman, P. M.; Law, N. L.; Belt, K. T.; Band, L. E.; Fisher, G. T. 2004. Nitrogen fluxes and retention in urban watershed ecosystems. *Ecosystems* 7 (4): 393–403.

Guidelines for filter media in biofiltration systems [interaktyvus]. 2009. Žiūrėta 2014 m. sausio 9 d. Prieiga per internetą: <http://graie.org/SOCOMA/IMG/pdf/FAWB_Filter_media_guidelines_v3_June_2009-2.pdf>.

Hatt, B. E.; Steinel, A.; Deletic, A. *et al.* 2010. Retention of heavy metals by stormwater filtration systems: Breakthrough analysis. *Water Science and Technology* 64 (9): 1913–1919 p.

Henderson, C.; Greenway, M.; Pgilips, I. 2007. Removal of dissolved nitrogen, phosphorus and carbon from stormwater by biofiltration mesocosms, *Water Science and Technology*, 55 (4): 183–191.

Hydraulic conductivity [interaktyvus]. 2015. Žiūrėta: 2015 m. sausio 21 d. Prieiga per internetą: <<http://web.ead.anl.gov/resrad/datacoll/conduct.htm>>.

Hubbert, M. K. 1956. Darcy's Law and the Field Equations of the Flow of Underground Fluids [interaktyvus]. 1956. Žiūrėta: 2015 m. sausio 21 d. Prieiga per internetą: <<https://www.onepetro.org/general/SPE-749-G>>.

HumeGarden biofilter technical manual [interaktyvus]. 2012. Žiūrėta: 2014 m. kovo 15 d. Prieiga per internetą: <http://www.humes.com.au/fileadmin/templates/HUMES/doc/Brochures/HumeGarden_tech_manual.pdf>.

Hvitved-Jacobsen, T.; Vollertsen, J.; Haaning Nielsen, A. 2010. Urban and highway stormwater pollution. *Concepts and engineering*. London: CRC. 347 p.

Infiltration Test [interaktyvus]. 2015. Žiūrėta: 2015 m. sausio 20 d. Prieiga per internetą: <http://www.phillywatersheds.org/whats_in_it_for_you/residents/infiltration-test>.

ISO 565:1990. Test sieves - Metal wire cloth, perforated metal plate and electroformed sheet - Nominal sizes of openings. 3 p.

Janeliauskienė, D.; Rimeikai, M.; Vinciūnas, V. 2011. Paviršinių nuotekų kiekio įvertinimas, *Science-future of Lithuania* 13(5): 127–131.

Jang, Y. C.; Jain, P.; Tolaymat, T.; Dubey, B.; Singh, S.; Townsend, T. 2010 Characterization of roadway stormwater system residuals for reuse and disposal options. *Science of the Total Environment*, 408: 1878–1887.

Jaruševičiūtė, E.; Mažeikienė, A.; Valentukevičienė, M. 2010. Paviršinių nuotekų užterštumo mažinimo Vilniaus miesto PNVI tyrimai ir analizė, *Environmental Protection Engineering* 2(5): 30-35.

Jurries, D. 2003. Biofilters (bioswales, vegetative buffers, and constructed wetlands) for storm water discharge pollution removal [interaktyvus]. Oregonas. Žiūrėta 2013 m. lapkričio 19 d. Prieiga per internetą: <<http://www.deq.state.or.us/wq/stormwater/docs/nwr/biofilters.pdf>>.

Kandra, H. S.; McCarthy, D.; Deletic, A. 2011. Investigation of biological clogging in stormwater filters, 12 th International Conference of Urban Drainage, Porto Alegre/ Brazil 2011 rugsėjo 11-16 d. 1–8.

LAND 46-2007 Vandens kokybė. Skendinčių medžiagų nustatymas. Košimo pro stiklo pluošto koštuvą metodas. Vilnius, 2007. 7 p.

Land Development Guidelines. Water Sensitive Urban Design (WSUD) Guidelines [interaktyvus]. 2007. Žiūrėta: 2015 m. kovo 9 d. Prieiga per internetą: <http://www.goldcoast.qld.gov.au/gcplanningscheme_0509/attachments/policies/policy11/section_13_13_selections_for_WSUD_systems.pdf>.

Lewis, J. F.; Hatt, B. E.; Fletcher, T. D.; The impact of vegetation on the hydraulic conductivity of stormwater biofiltration systems: 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008: 1–10.

LeFevre, G.; Novak, P. J.; Hozalski, R. M. 2012. Fate of naphthalene in laboratory-scale bioretention cells: implications for sustainable stormwater management, *Environmental Science and Technology* 46: 995–1002.

Lietaus vandens nuotekos [interaktyvus]. 2014. Žiūrėta 2014 birželio 3 d. Prieiga per internetą: <<http://aplinka.vilnius.lt/lt/index.php/aplinkos-kokybe/nuotekos/lietaus-vanduo/>>.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2007 m. gruodžio 3 d. įsakymas Nr. D1-655 „Dėl Lietuvos Respublikos aplinkos apsaugos normatyvinių dokumentų 47-1:2007 „Vandens kokybė. Biocheminio deguonies suvartojimo per n parą (BDS_n) nustatymas. 1 dalis. Skiedimo ir sėjimo, pridėjus alitiokarbamido, metodas“ ir LAND 47-2:2007 „Vandens kokybė. Biocheminio deguonies suvartojimo per n parą (BDS_n) nustatymas. 2 dalis. Neskiestų mėginių metodas“ patvirtinimo“, *Valstybės žinios* 80-3476.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2007 m. balandžio 2 d. įsakymas „Dėl paviršinių nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo“, *Valstybės žinios* 42-1594.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2002 m. rugpjūčio 8 d. įsakymas Nr.406 „Dėl aplinkos apsaugos normatyvinio dokumento land 46-2002 patvirtinimo“, *Valstybės žinios* 80-3477.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2001 m. gegužės 9 d. įsakymas Nr. 252 „Dėl aplinkosauginių buitinių nuotekų filtravimo įrenginių įrengimo gamtinėmis sąlygomis taisyklių (LAND 21-01) patvirtinimo“, *Valstybės žinios* 41-1438.

Limouzin, M.; Lawler, D. F.; Barrett, M. E. 2011. Performance Comparison of Stormwater Biofiltration Designs [interaktyvus]. JAV [žiūrėta 2014 m. sausio 9 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.crrw.utexas.edu/reports/pdf/2010/rpt10-05.pdf>>.

Lintern, A.; Daly, E.; Duncan, H.; Hatt, B. E.; Fletcher, T. D.; Deletic, A. 2011. Key design characteristics that influence the performance of stormwater biofilters: 12 th International Conference of Urban Drainage, Porto Alegre/ Brazil 2011 rugsėjo 11-16 d. 1–8.

Lundberg, K.; Carling, M.; Lindmark, P. 1999. Treatment of highway runoff: a study of three detention ponds. *The Science of the Total Environment* 235(1-3): 363–365.

Lognormal Pore-size Distributions [interaktyvus]. Žiūrėta: 2015 m. sausio 30 d. Prieiga per internetą: <<http://arxiv.org/pdf/1301.0772.pdf>>.

Malama, B.; Performance Assessment Department; Sandia National Laboratories; Carlsbad NM; Kuhlman, K. L. 2014. Unsaturated Hydraulic Conductivity Models Based on Truncated

Malavipathirana, S.; Wimalasiri, S.; Priyantha, N.; Wickramasooriya, S.; Welagedara, A.; Renman, G. 2013. Value Addition to Waste Material Supported by Removal of Available Phosphate from Simulated Brackish Water—A Low Cost Approach, *Journal of Geoscience and Environment Protection* 1(2): 7–12.

Margenytė, L.; Zigmontienė, A.; Tomaševskis, E. 2012. Pagrindinių vandens užterštumo Vilnios upėje charakteristikų analizė. *Aplinkos apsaugos inžinerija* 4(5): 435–440.

Melbourne Water, 2005. Water Sensitive Urban Design (WSUD) Engineering Procedures: Stormwater. CSIRO Publishing, Melbourne.

Meng, Y.; Wang, H.; Chen, J.; Zhang, S. 2014. Modelling Hydrology of a Single Bioretention System with HYDRUS-1D, *The Scientific World Journal* [interaktyvus]. Žiūrėta: 2015 m. sausio 27 d. Prieiga per internetą: <<http://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/521047/abs/>>.

Mimi, Z. 2008. Spatial analysis of urban stormwater quality: Ramallah district as a case study. *Water and Environment* 23(2): 128–133.

Negussie, Y. Z.; Urbaniak, M.; Szklarek, S.; Lont, K.; Gagala, I.; Zalewski, M. 2012. Efficiency analysis of two sequential biofiltration systems in Poland and Ethiopia- the pilot study, *Ecology and Hydrobiology* 12(4): 271-285.

Nilsson, C.; Lakshmanan, R.; Renman, G.; Rajarao, G. K. 2013. Efficacy of reactive mineral-based sorbents for phosphate, bacteria, nitrogen and TOC removal – Column experiment in recirculation batch mode, *Water Research* 47(14): 5165–5175.

Nilsson, C. 2012. Phosphorus removal in reactive filter materials – factors affecting the sorption capacity [interaktyvus]. Žiūrėta: 2015 m. vasario 3 d. Prieiga per internetą: <<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:566812/FULLTEXT01.pdf>>.

ONORM B2506-1, 2000. Soakaways for rain water from roof gutters and reinforced surfaces – application, hydraulic dimensioning, construction and operation. Österreichisches Normungsinstitut, Wien, Österreich.

Pachepsky, Y.; Timlin, D.; Rawls, W. 2003. Generalized Richards' equation to simulate water transport in unsaturated soils, *Journal of Hydrology* 272(2003): 3–13.

Pagrindinės statistinės sąvokos [interaktyvus]. 2015. Žiūrėta: 2015 m. sausio 29 d. Prieiga per internetą: <<http://www.vartiklis.lt/science/math/stat-notions.htm>>.

Perlman, H. 2013. Runoff (surfacewater runoff) [interaktyvus]. Žiūrėta 2013 m. gruodžio 30 d. Prieiga per internetą: <<http://ga.water.usgs.gov/edu/runoff.html>>.

Persson, J. 1999. Hydraulic Efficiency in Pond Design. Ph.D. thesis, Dept. of Hydraulics, Sweden: Chalmers University of Technology. 40 p.

Pettersson, T. J. R. 1999. Stormwater ponds for pollution reduction. Ph.D. thesis, Dept. of Sanitary Engineering, Chalmers University of Technology. Germany. 37 p.

Prušinskienė, S. 2012. Smėlio gruntų ypatumai ir jų tyrimo metodai. Mokomoji knyga. *Mokomoji knyga*. Vilnius: Technika, 184 p.

Rimeika, M. Klaipėdos miesto lietaus nuotekų tvarkymo pagrindiniai sprendiniai ir įgyvendinimo perspektyvos [interaktyvus]. 2011. Žiūrėta: 2013 lapkričio 16 d. Prieiga per internetą:

<<http://corpi.ku.lt/~akmenadane/img/pranesimai/5%20M.Rimeika%20pranesimas.pdf>>.

Read, J; Wevill, T; Fletcher, T; Deletic, A. 2008. Variation among plant species on pollutant removal from stormwater non biofiltration systems. *Water research* 42(4–5): 893–902.

Reinikytė, M. 2011. Paviršinių nuotekų tinklo hidraulinė analizė [interaktyvus]. Vilnius. Žiūrėta: 2013 m. lapkričio 6 d. Prieiga per internetą: < http://vddb.laba.lt/fedora/get/LT-eLABa-0001:E.02~2011~D_20110621_170521-92925/DS.005.0.01.ETD >.

Renman, G.; Renman, A. 2012. Sustainable use of crushed autoclaved aerated concrete(CAAC) as a filter medium in wastewater purification, WASCON Conference proceedings, 1–7.

Rogers, K. H.; Breen, K. H.; Chick, A. J. 1991. Nitrogen removal in experimental wetland treatment systems: evidence for the role of aquatic plants, *WPCF* 63(7): 934–941.

Sauliutė, G. 2011. Paviršinių nuotekų kokybės tyrimas Radviliškio mieste [interaktyvus]. Žiūrėta: 2014 m. vasario 27 d. Prieiga per internetą: <<file:///C:/Users/Asus/Downloads/DS.005.0.01.ETD.pdf>>.

Sauliutė, G.; Tričys, V. 2011. Paviršinių nuotekų taršos tyrimas Radviliškio mieste. *Jaunųjų mokslininkų darbai* 3(32): 125–130.

SHIMADZU CORPORATION. PC-Controlled Total Organic Carbon Analyzer TOC-Vcpn/cpn and TOC-Control V Software [interaktyvus]. 2003. Žiūrėta: 2014 m. lapkričio 20 d. Prieiga per internetą: <http://www.ecs.umass.edu/eve/facilities/equipment/TOC/TOCV/TOC-V_CP_Users_Manual_E.pdf>.

Song, Y.; Fitch, M.; Burken, J.; Nass, L.; Chilukiri, S.; Gale, N.; Ross, C. 2001. Lead and zinc removal by laboratory-scale constructed wetlands, *Water Environmental Research* 73: 37–44.

Stormwater Annual Report 2009-2010 [interaktyvus]. 2010. Žiūrėta: 2015 m. gegužės 5 d. Prieiga per internetą: <<http://www2.lbl.gov/ehs/esg/Reports/assets/AnnualReport20092010.pdf>>.

Storm water management fact sheet. *Visual inspection* [interaktyvus]. 1999. Žiūrėta: 2013 m. gruodžio 30 d. Prieiga per internetą: <http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2002_06_28_mtb_visnspect.pdf>.

Storm Water Technology Fact Sheet. *Bioretention* [interaktyvus]. 1999. Žiūrėta: 2014 m. sausio 9 d. Prieiga per internetą: <http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2002_06_28_mtb_biortn.pdf>.

STR 2.02.05:2004 Nuotekų valyklos. Pagrindinės nuostatos Vilnius, 2004. 81 p.

Søberg, L.; Godecke-Tobias, B.; Viklander, M.; Hedström, A. 2014. Metal uptake in three different plant species for cold climate biofilter systems: 13th International Conference on Urban Drainage, Sarawak, Malaysia, Rugsėjo 7–12 d. 1–8.

Šimůnek, J.; Šejna, M.; Saito, H.; Sakai, M.; van Genuchten, M. T. 2009. The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media [interaktyvus]. Žiūrėta: 2014 m. lapkričio 16 d. Prieiga per internetą: <http://www.pc-progress.com/Downloads/Pgm_hydrus1D/HYDRUS1D-4.08.pdf>.

Šimůnek, J.; van Genuchten, M. T.; Šejna, M. 2008. Development and Applications of the HYDRUS and STANMOD Software Packages and Related Codes [interaktyvus]. Žiūrėta: 2014 lapkričio 14 d. Prieiga per internetą: <http://www.pc-progress.com/Downloads/Pgm_hydrus1D/HYDRUS1D-4.08.pdf>.

progress.com/Documents/Simunek%20et%20al.,%20VZJ%20-%202008,%20Hydrus%20and%20Stanmod%20models.pdf>.

Trowsdale, A. S.; Simcock, R. 2011. Urbanstormwater treatment using bioretention. *Journal of Hydrology* 397(3–4): 167–174.

UAB „Grinda“. 2013. Vilniaus miesto paviršinių nuotekų išleistuvų monitoringo duomenys 2008–2013 m.

United States environmental protection agency [interaktyvus]. 2013. Žiūrėta: 2014 m. sausio 6 d. Prieiga per internetą: <<http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/efdc.html>>.

van Genuchten, M. T. 1980. A closed-form equation for prediction the hydraulic conductivity of unsaturated soils [interaktyvus]. Žiūrėta: 2015 m. sausio 30 d. Prieiga per internetą: <http://afrsweb.usda.gov/sp2UserFiles/Place/20360500/pdf_pubs/P0682.pdf>.

VELP Scientifica [interaktyvus]. 2010. Žiūrėta: 2014 m.sausio 20 d. Prieiga per internetą: <<http://www.velp.com/en/>>.

Vereecken, H.; Weynants, M.; Javaux, M.; Pachepsky, Y.; Schaap, M. G.; van Genuchten, M. T. 2010. Using Pedotransfer Functions to Estimate the van Genuchten– Mualem Soil Hydraulic Properties: A Review [interaktyvus]. Žiūrėta: 2014 m. lapkričio 16 d. Prieiga per internetą: <http://www.pc-progress.com/Documents/RVGenugten/2010_Vereecken_Pedotransfer_functions_VZJ.pdf>.

Vilniaus oro uostas. 2012. Paviršinių nuotekų tyrimų protokolai. Vilnius 4 p [žiūrėta 2014 m. balandžio 3 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.vilnius-airport.lt/s/docs/aplinkosauga/2012_pavirsiniu-nuoteku-tyrimu-protokolai.pdf>.

Vincevičienė, V. 1998. Atvirų telkinių vandens kokybės modeliavimas. Kaunas: Technologija, 1998. 308 p.

Vitousek, P. M.; Mooney, H. A.; Lubchenco, J.; Melillo, J. M. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277 (5325): 494–499.

Zinger, Y.; Deletic, A.; Fletcher, T. D.; Wong, T. 2011. A dual-mode biofilter system: case study in Kfar Sava, Israel: 12 th International Conference of Urban Drainage, Porto Alegre/ Brazil 2011 rugsėjo 11-16 d. 1–8.

Zhang, Z.; Rengel, Z.; Liaghati, T.; Antoniette, T.; Meney, K. 2011. Influence of plant species and submerged zone with carbon addition on nutrient removal in stormwater biofilter, *Ecological Engineering* 37(11): 1833–1841.

Wanielista, M.; Chang, N. 2008. Alternative Stormwater Sorption Media for the Control of Nutrients [interaktyvus]. Žiūrėta: 2015 m. sausio 30 d. Prieiga per internetą: <<http://stormwater.ucf.edu/research/Final%20Report%20Sept%2026.pdf>>.

Wastewater characteristics [interaktyvus]. 2009. Žiūrėta: 2013 m. gruodžio 30 d. Prieiga per internetą: <https://www.dlsweb.rmit.edu.au/toolbox/plumbing/toolbox12_01/units/cpcpdr4001a_sanitary/00_groundwork/page_004a.htm>.

Water sensitive urban design [interaktyvus]. 2011. Žiūrėta: 2013 m. lapkričio 19 d. Prieiga per internetą: <<http://www.water.wa.gov.au/PublicationStore/first/99305.pdf>>.

Wet ponds [interaktyvus]. 2012. Žiūrėta: 2013 m. lapkričio 7 d. Prieiga per internetą: <http://cfpub.epa.gov/npdes/stormwater/menuofbmps/index.cfm?action=factsheet_results&view=specific&bmp=68>.

Winogradoff, D. A., 2002. The bioretention manual, Prince's Georges County Maryland, 2008.
<<http://www.co.pg.md.us/Government/AgencyIndex/DER/ESD/Bioretention/bioretention.asp>>.

Wong, T. H. F. 2006. Australian Runoff Quality: A Guide to Water Sensitive Urban Design. 208 p.

Woods-Ballard, B. K.; Martin, P.; Jefferies, C.; Bray, R.; Shaffer, P. 2007. The SUDS Manual. CIRIA (C697), London and Dundee. 167–174.

WTW bench pH/mV meters [interaktyvus]. 2015. Žiūrėta: 2015 gegužės 4 d. Prieiga per internetą:

<<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/z313173?lang=en®ion=LT>>.

Wu, P.; Zhou, Y. S. 2009. Simultaneous removal of coexisting heavy metals from simulated urban stormwater using four sorbents: A porous iron sorbent and its mixtures with zeolite and crystal gravel. *Journal of Hazardous Materials*, 168: 674–680.

AUTORIAUS PUBLIKACIJOS

1. Makaravičiūtė, L.; Marčiulaitienė, E. 2014. Vilniaus miesto paviršinių nuotekų tarša skendinčiosiomis medžiagomis. Iš *Aplinkos apsaugos inžinerija: 17-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, įvykusios Vilniuje 2014 m. balandžio 9 d. Vilnius: Technika, 104–109.
2. Makaravičiūtė, L.; Marčiulaitienė, E. 2014. Storm water pollution in the urban environment of Vilnius, Lithuania. 9th International Conference „Environmental Engineering“, May 22-23,, Vilnius, Lithuania: selected papers. Vilnius : Technika, 1–6.
3. Makaravičiūtė, L.; Marčiulaitienė, E. 2015. Paviršinių nuotekų filtro hidrauliniolaidumo tyrimai ir vertinimas. Iš *Aplinkos apsaugos inžinerija: 18-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, vykusios Vilniuje, 2015 m. balandžio 9 d., pranešimų medžiaga. (Straipsnis yra taisomas, sulaukus recenzentų recenzijų.)

PRIEDAI