

Tartu Ülikool  
Loodus- ja täppisteaduste valdkond  
Keemia instituut

Magistritöö keskkonnatehnoloogias (30 EAP)

***Escherichia coli* ja *Enterococcus sp* sisaldus sademevee reostuse  
indikaatorina Harku ja Mustjõe sademevee väljalaskude valgalade näitel**

Liisa-Mai Nurk

Juhendajad: Toonika Rinke, PhD

Eerik Jõgi, MSc

Tartu 2022

## **Annotatsioon**

Joogi- ja suplusvee fekaalse reostuse hindamiseks on indikaatorliikidena kasutusel nii *Escherichia coli* ja kui ka *Enterococcus sp.* Käesolevas töös kasutati neid indikaatorliike fekaalse reostuse hindamiseks sademevees. Uuringualaks olid Tallinnas asuvad Harku ja Mustjõe sademevee valgalad, mille suublaks on Kopli laht. Uuringu käigus kaardistati põhjalikult Harku ja Mustjõe sademevee valgalad, hinnati indikaatorliikide sisaldust sademevees ja töötati välja meetodika, mille abil on võimalik tuvastada reostajad. Väljapakutud meetodika abil tuvastati 10 kinnistut, mis juhtisid reovett sademeveekanaliseerimisele ning analüüsiti reostuste põhjuseid. Reostuste põhjused olid vanad likvideerimata või amortiseerunud ühendused, uued ühendused, mis ekslikult olid sademevette juhitud ja hooldamata kanalisatsioonitorustik. Kuigi meetodika annab kõige efektiivsemaid tulemusi soojal ja kuival perioodil, oleks tulevikus vajalik uurida ka indikaatorliikide sisalduste muutusi aastaaegade vaheldumisel.

**Märksõnad:** sademevesi, mikrobioloogiline reostus, *Escherichia coli*, *Enterococcus sp*

**CERCS:** T270 Keskkonnatehnoloogia, reostuskontroll

## **Abstract**

*Escherichia coli* and *Enterococcus sp* are both used as fecal indicator bacteria (FIB) to assess fecal pollution in drinking and recreational waters. In this study *Escherichia coli* and *Enterococcus sp* were used to assess fecal pollution in stormwater. The study area was the Harku and Mustjõgi stormwater catchment areas in Tallinn, discharging into Kopli bay. In the study, the Harku and Mustjõgi stormwater catchment areas were thoroughly mapped, the content of indicator species in the stormwater was assessed and a methodology was developed to identify polluters. Using the methodology, 10 polluters were identified that discharged wastewater into the stormwater sewer and the causes of pollution were analysed. The causes of the pollution were old unexploded or depreciated connections, new connections that were mistakenly discharged into the stormwater and unmaintained sewer. Although the methodology gives the most effective results in warm and dry periods, in the future it would be necessary to study the changes in the concentrations of indicator species as the seasons change.

**Keynotes:** stormwater, microbiological pollution, *Escherichia coli*, *Enterococcus sp*

**CERCS:** T270 Environmental technology, pollution control

## Sisukord

Töös kasutatud lühendid.....	4
Sissejuhatus .....	5
1. Kirjanduse ülevaade .....	6
1.1 Indikaatorbakterid <i>Escherichia coli</i> ja <i>Enterococcus</i> .....	6
1.1.1 <i>Escherichia coli</i> .....	6
1.1.2 <i>Enterococcus sp.</i> .....	7
1.2 Kanalisatsiooni arengust Tallinnas.....	7
1.3 Uuringuala sademevee väljalaskude ja valgalade kirjeldus .....	9
1.3.1 Mustjõe oja valgala .....	9
1.3.2 Harku sademevee väljalasu valgala.....	10
1.4 Varasemad sademevee mikrobioloogilised uuringud .....	13
1.4.1 <i>E. coli</i> ja <i>Enterococcus</i> sisaldus .....	13
1.4.2 Uuritavatel valgaladel läbi viidud uuringud.....	13
2. Eksperimentaalne osa .....	18
2.1 Uuringu ala valik ja valgalade kaardistamine .....	18
2.2 Proovide võtmise ja säilitamise meetoodika .....	18
2.3 <i>E. coli</i> ja <i>Enterococcus</i> mikrobioloogiline määramine .....	19
2.3.1. EVS-EN ISO 7899-2.....	20
2.3.2. EVS-EN ISO 9308-2.....	21
3. Tulemused ja arutelu .....	22
3.1 Valgalade kaardistamine ning meetoodika reostajate leidmiseks ja tulemuste hindamiseks.....	22
3.2 Tulemused väljalaskudes.....	23
3.3 Tulemused valgaladel.....	27
3.4 Leitud reostajad ja reostuste põhjused .....	32
3.5 Edasised uurimissuunad .....	34
Kokkuvõte .....	36
Summary .....	37
Kasutatud kirjandus.....	38

## Töös kasutatud lühendid

CFU – *colony-forming unit* (kolooni moodustav ühik)

*E. coli* – *Escherichia coli*

EAEC – *enteroaggregative Escherichia coli* (enteroagregatiivne *Escherichia coli*)

EHEC – *enterohemorrhagic Escherichia coli* (enterohemorraagiline *Escherichia coli*)

EIEC – *enteroinvasive Escherichia coli* (enteroinvasiivne *Escherichia coli*)

EPEC – *enteropathogenic Escherichia coli* (enteropatogeenne *Escherichia coli*)

ETEC – *enterotoxigenic Escherichia coli* (enterotoksigeenne *Escherichia coli*)

FIB – *fecal indicator bacteria* (fekaalne indikaatorbakter)

MPN – *most probable number* (kõige tõenäolisem number)

STEC – *Shiga toxin-producing Escherichia coli* (Shiga toksiini tootev *Escherichia coli*)

## Sissejuhatus

*Escherichia coli* ja *Enterococcus sp* on mõlemad inimeste ja teiste soojavereliste loomade soolestikus elavad bakterid, mida kasutatakse indikaatorliikidena joogi- ja suplusvees võimaliku fekaalse reostuse määramiseks.

Sademevees on *Escherichia coli* ja *Enterococcus sp* sisaldust uuritud nii Eestis kui mujal, kuid piirnorme nende sisaldusele sademevees pole seatud. Tallinna linn on samuti igal aastal seiranud suuremate sademevee väljalaskude kvaliteeti ja indikaatorliikide sisaldust, kuid sademevee valgaladel põhjalikumaid uuringuid tehtud pole.

Kuigi varasemalt on sademevett peetud puhtaks veeks, on hiljuti hakatud tähelepanu pöörama ka sademeveest pärinevatele reostusallikatele ning reostus(t)est tingitud veekvaliteedi langusele suublates. Käesolev töö keskendus kahele sademevee väljalasule, mis suubuvad Kopli lahte ja on ajalooliselt olnud Kopli lahe reostusallikateks.

Käesoleva ajani pole ka välja töötatud sobivat meetodikat tuvastamiseks kinnistuid, mis juhivad reovett sademevette. Kasutatud on keemiliste üldnäitajate analüüsimist, mille sisaldustele on ka piirnormid seatud, kuid väikese reovee koguse puhul ei pruugi keemiliste üldnäitajate sisaldused piisavalt kõrgeid tulemusi anda, et saaks reostust tuvastada.

Käesolev töö keskendus Harku ja Mustjõe sademevee valgalade *E. coli* ja *Enterococcus* sisaldusele ning töö eesmärkideks oli:

1. Kaardistada Harku ja Mustjõe sademevee valgalad
2. Leida sobiv meetodika reostuste leidmiseks sademevees kasutades indikaatorliike
3. Tuvastada reostajad, kes juhivad reovett sademevette

Saadud töö tulemusi saab kasutada edasistes uuringutes ning kirjeldatud meetodikat reostajate leidmiseks saab rakendada tulevikus teistele sademevee väljalaskudele ja valgaladele.

# 1. Kirjanduse ülevaade

## 1.1 Indikaatorbakterid *Escherichia coli* ja *Enterococcus*

### 1.1.1 *Escherichia coli*

*Escherichia coli* (*E. coli*, eesti k. kolibakter) on pulgakujuline gramnegatiivne bakter, kes kuulub *Enterobacteriaceae* perekonda. *E. coli* on üks enim uuritud baktereid (Jang et al., 2017). *E. coli* elab paljude imetajate soolestikus normaalse mikrofloora osana ja selle leidumine keskkonnas viitab otseselt fekaalset päritolu reostusele, seetõttu kasutatakse *E. coli* indikaatorliigina (FIB) veekeskkonna fekaalse reostuse määramiseks nii joogi- kui ka suplusvees (Walker et al., 2017). *E. coli* on sobiv ja laialdastelt kasutatud indikaator, kuna seda on lihtne tuvastada ning tavaliselt leidub *E. coli* rohkem kui võimalikke patogeene (Mendes et al., 2015). Eestis on joogivees *E. coli* piirmääraks 0 CFU/100 ml (Riigi Teataja, 2019a), suplusvees on *E. coli* kehtestatud piirnormiks  $10^3$  CFU/100 ml (Riigi Teataja, 2019b).

Enamik *E. coli* tüvesid pole patogeensed vaid need on kommensaalsed, s.t. nad ei tekita haigusi ning on osa imetajate normaalsest mikrofloorast. Patogeensed tüved jagunevad vastavalt infektsioonitekke kohale soolesisesteks ja soolevälisteks tüvedeks (Lutsar et al., 2007). Imetajate soolestikust on leitud 5 patogeenset *E. coli* tüvede klassi: shigatoksiini tootev *E. coli* (STEC), enteropatogeeniline *E. coli* (EPEC), enteroinvasiivne *E. coli* (EIEC), enteroagregatiivne *E. coli* (EAEC) ja enterotoksigeeniline *E. coli* (ETEC). Enterohemorraagiline *E. coli* (EHEC) on üks STECi tüüpidest, mille serotüüp *E. coli* O157:H7 on kõige tuntum reostunud veest ja söögist saadud haiguste põhjustaja (Jang et al., 2017). Kuigi enamik *E. coli* tüvisid pole patogeensed, on nende olemasolu keskkonnas indikaatoriks võimalikule fekaalsele reostusele ja sellega kaasnevatele teistele võimalikele terviseohtudele (näiteks viirused) (EPA, 2012).

*E. coli* võib esineda pinnases, vees, setetes ning ka loomadel ja taimedel (Mallard, 1980). Kuigi varem arvati, et *E. coli* ei suuda elada ja paljuneda peremeesorganismist väljaspool, on nüüd teada, et bakterid suudavad küllaltki pikki perioode elus püsida ka väljaspool soojavereliste soolestikku (Jang et al. 2017). *E. coli* elutingimusi väliskeskkonnas mõjutavad nii biotilised (teiste mikroorganismide olemasolu, ning *E. coli* võimekus võistelda teiste mikro-organismidega, omandada toitaineid ja moodustada biofilme) kui abioutilised tegurid (temperatuur, vee ja toitainete olemasolu, pH ja päikesekiirgus) (Van Elsas et al., 2010)

### 1.1.2 *Enterococcus* sp

Soolte enterokokid (*Enterococcus* sp, ka *Enterococcus*) on Enterococcaceae sugukonda kuuluvad grampositiivsed bakterid ja moodustavad samuti soojavereliste fekaalides leiduvate bakterite perekonna (Lebreton et al., 2014). Kuigi *Enterococcus*-t leidub väljaspool loomulikku elukeskkonda arvuliselt vähem kui *E. coli*, kasutatakse neid samuti fekaalse reostuse hindamiseks nii joogi- kui suplusvees (Noble et al., 2003). *Enterococcus* on põhiline indikaator, mida kasutatakse fekaalse reostuse tuvastamiseks soolases vees (Mendes et al., 2015). *Enterococcus* on soolases vees eelistatum indikaatorliik kui *E. coli*, sest *Enterococcus* on keskkonnas stabiilsem (Jin et al., 2004).

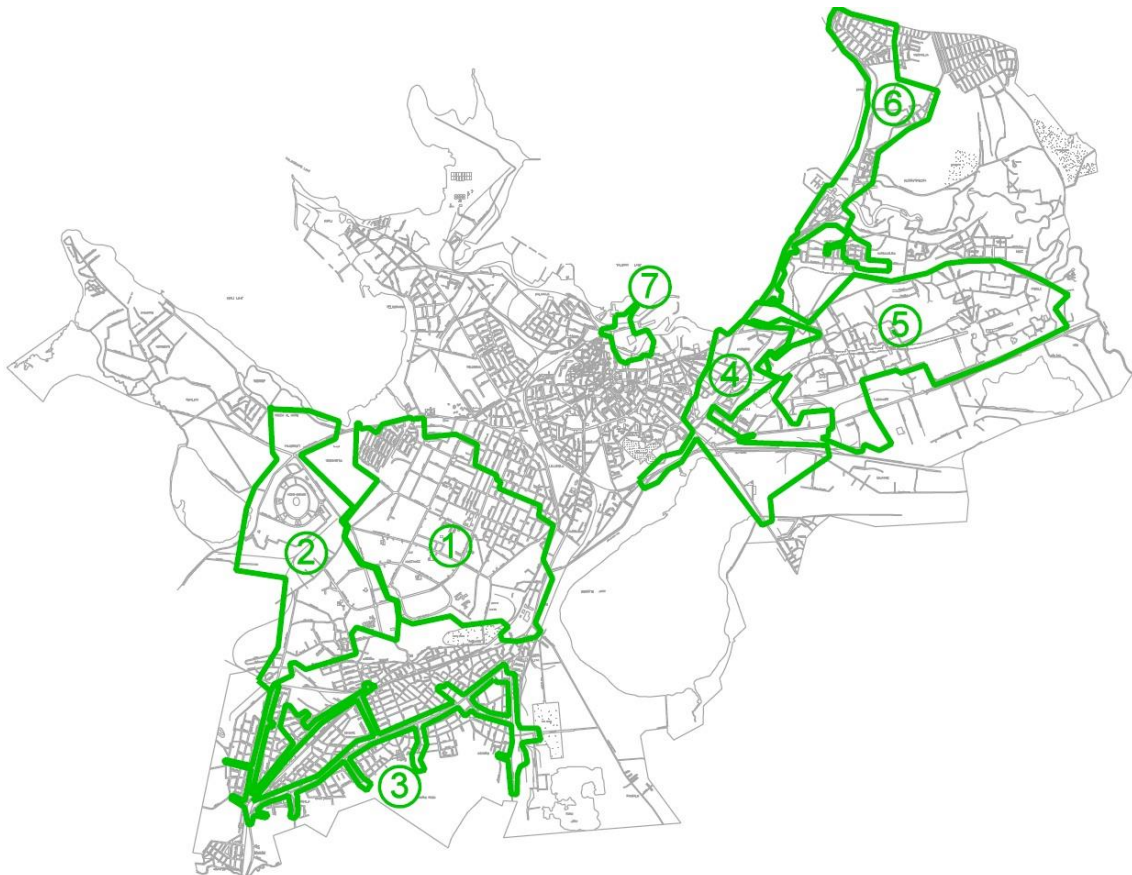
*Enterococcus* perekonnas on üle 40 erineva liigi, millest väga paljud on alles sel sajandil kirjeldatud (Lebreton, et al., 2014). Peamised *Enterococcus* liigid, mida leidub inimfekaalides, on *Enterococcus faecium* ja *Enterococcus faecalis* (Boehm ja Sassoubre, 2014), lisaks leidub looduses erinevaid liike (näiteks *Enterococcus casseliflavus*, *Enterococcus hirae* ja *Enterococcus mundtii*), mis enamasti ei kuulu inimeste ja teiste soojavereliste loomade soolestiku mikrofloorasse (Ferguson et al., 2005; 2013).

*Enterococcus* hakati suplusvee reostuse hindamiseks kasutama 1970ndate lõpus, kui uuringud näitasid, et esines tugev seos *Enterococcus* sisalduse ja uuringupiirkonnas peale ujumist soolestikuhaigustesse nakatunud inimeste arvu vahel (Boehm ja Sassoubre, 2014). Eestis on suplusvees *Enterococcus* piirnormiks  $10^2$  CFU/100 ml, mis on kümme korda madalam kui *E. coli* vastav lubatud piirnorm (Riigi Teataja, 2019b). Joogivees *Enterococcus*'t leiduda ei tohi (Riigi Teataja, 2019a).

## 1.2 Kanalisatsiooni arengust Tallinnas

Kanalisatsioonisüsteeme jagatakse ühisvoolseteks ja lahkvoolseteks süsteemideks. Ühisvoolses süsteemis juhitakse piirkonna reo- ja sademeveed ühte torustikku ning puhastatakse reoveepuhastusjaamas. Lahkvoolse süsteemi puhul kogutakse reo- ja sademeveed eraldi ning reovesi juhitakse reoveepuhastusjaama ja sademevesi suublasse. (Tarr, 1979)

Tallinnas on kasutusel nii lahkvoolne kui ühisvoolne kanalisatsioonisüsteem. Ühisvoolne kanalisatsioon on Tallinnas Kesklinnas v.a sadama piirkond, suures osas Põhja-Tallinnas ja Kristiine põhjaosas. Lahkvoolne süsteem on rajatud Lasnamäele, Mustamäele, Nõmmele, Haabersti linnaosa Väike-Õismäe piirkonda ja ka Pirita linnaosasse (joonis 1). Sademeveed lahkvoolsetest süsteemidest juhitakse Kopli lahte, Tallinna lahte ja Pääsküla rabasse (Maharjan, 2016).



Joonis 1. Suuremad sademevee kanalisatsiooni valgala Tallinna linnas (allikas: AS Tallinna Vesi)

*1-Mustjõe oja – Veskimetsa valgala; 2 - Harku pumpla ja Rocca-al-Mare valgala; 3 - Nõmme valgala; 4 - Ülemiste liiklussõlme – Kadrioru valgala; 5 - Lasnamäe valgala; 6 - Pirita valgala; 7 - Härjapea ja Lootsi pumplate valgala*

Enne 1980. aastat juhti kogu uuringupiirkonna (joonisel 1, piirkonnad 1 (ainult Mustjõe oja valgala) ja 2) reovesi koos sademeveega otse Kopli lahte. Seoses Tallinna linna kiire arenguga ning nn magalarajoonide (Mustamäe, Õismäe) ehitustega hakati uuringupiirkonnas 20. sajandi teisel poolel (Õismäel, Mustamäel ja Kristiine lõunaosas) arendama lahkvoolset kanalisatsioonisüsteemi ehk hakati eraldi koguma reo- ja sademevett (Sinirand, 1992).



Paljassaare reoveepuhastusjaama ja tunnelkollektorite valmimisega suunati ka reoveed puhastusse (Sinirand, 1987). Sademeveed juhiti siis ja ka nüüd puhastamata Kopli lahte. Kuigi nüüdseks peaksid kõik reoveeühendused, mis Kopli lahte on suunatud, olema likvideeritud, leidub ikka omavolilisi ühendusi, mis lahte reostavad.

### **1.3 Uuringuala sademevee väljalaskude ja valgalade kirjeldus**

Uuringualaks olid Tallinnas asuvad Harku ja Mustjõe sademevee valgalad, mille suublaks on Kopli laht.

#### **1.3.1 Mustjõe oja valgala**

Mustjõe oja (ka Mustjõgi ja Mustoja) looduslik valgala on nüüdseks inimese poolt tugevalt muudetud ja tänapäeval voolab Mustjõe oja läbi Mustamäe, Kristiine ja Haabersti linnaosade. Kuna suures osas on oja torudesse viidud ning sinna juhitakse sademevett, siis lisaks on koos looduslikule valgalale onga moodustunud 11,3 km<sup>2</sup> suurune sademeveevalgala, mis hõlmab idapoolset Mustamäed ja enamikku Kristiine linnaosast, välja arvatud viimase põhjapoolset osa (Keskkonnaregister). Mustjõe (ka Marja) sademevee väljalask asub Mustjõe tänava ja Marja tänava ristis (sinisega joonisel 2). Sealt algab Mustjõe oja looduslik, kuigi inimese poolt tugevalt mõjutatud 1,3 km pikkune lõik, mis läbib Mustjõe asumit Haabersti linnaosas ning suubub Kopli lahte (Keskkonnaregister).

Valgala põhisuunad võib jagada kaheks: Laki tänava valgala ja Marja tänava valgala. Nende tänavate ristis suunad ühinevad ja suubuvad Mustjõe sademevee väljalasku. Marja tänava valgala katab Forelli ja Marja tänavate vahelise Artelli tänava suuna, Tedre tänava suuna ning Räägu tänava poolt tuleva sademevee. Räägu tänavale valgub lisaks Sõpruse puiesteelt, Nõmme teelt ja Käo tänavalt Tedre tänava ja Linnu tee vaheline ala ning Varese tänavalt tulev sademevesi. Varese tänavale jooksva sademevee valgala on Nõmme tee ja Sõpruse puiestee vaheline ala kuni Linnu teeni, lisaks voolab mööda Linnu tee torustikku ka Tondi tänavalt tulev sademevesi.

Laki tänava suuna võib samuti kaheks jagada: Laki tänava valgala Kadaka tee poolt ja mööda Forelli tänava torustikku tuleva vee valgala. Kadaka tee valgalasse jäävad Laki tänava algus

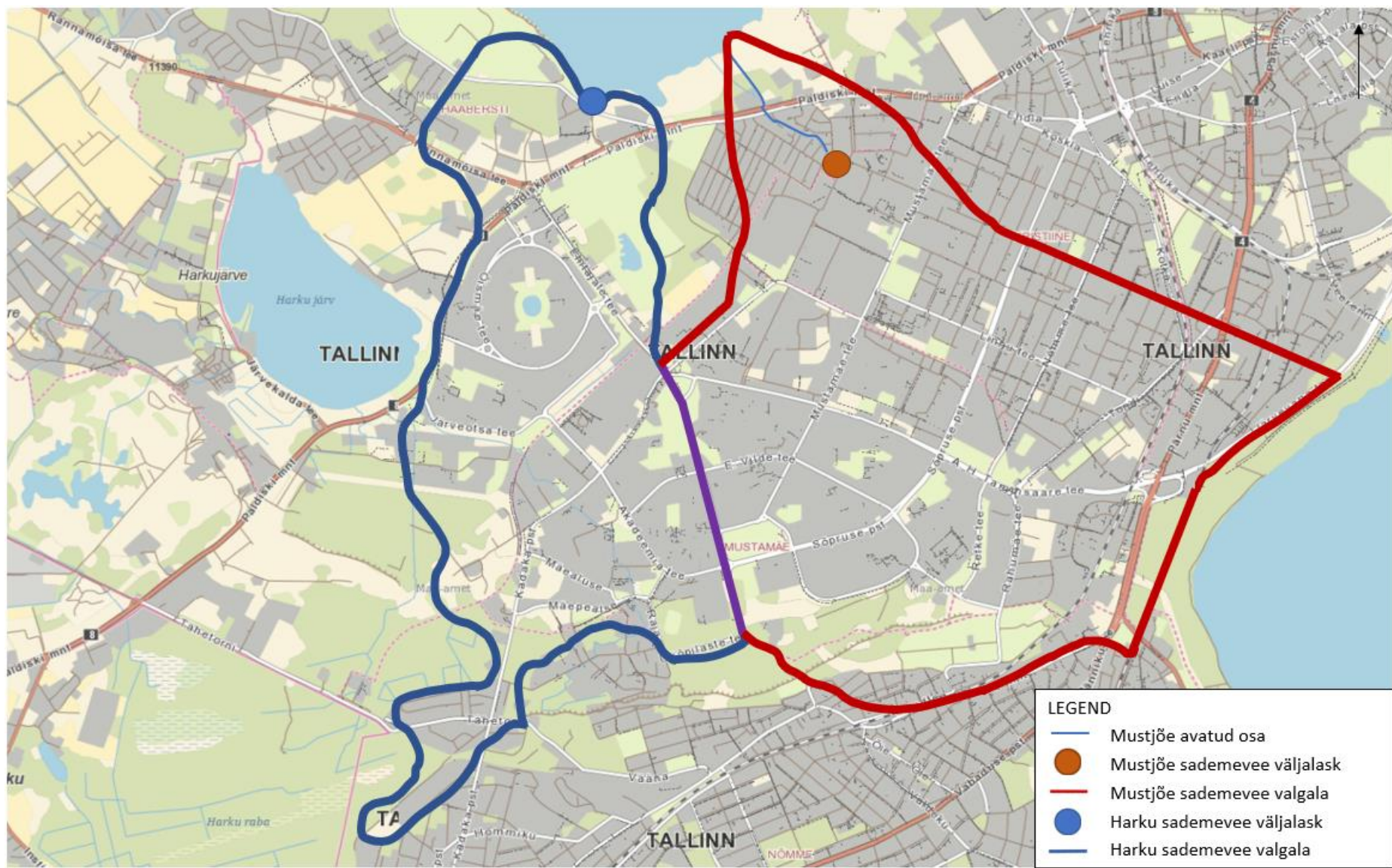
koos Aiandi ja Karjavälja tänavatega ning Kadaka tee lõik alates Ehitajate teest kuni Laki tänavaga ristumiseni. Forelli tänava kaudu voolab loodusliku Mustjõe oja vesi, mis saab alguse Mustamäelt Lepasalu allikatest. Allikatest pärit vesi voolab mööda Tammsaare tee torustikku, sinna voolavad sademeveed veel Retke teelt ja Tammsaare teelt Järvevana tee poolsest osast. Tammsaare tee ja Mustamäe tee ristumisel voolab jõgi mööda Mustamäe teed kuni Forelli tänavani, sellele lõigule lisanduvad sademeveed Linnu tee ääres olevast kraavist ja Löwenruh' pargist. Mustamäe tee Mustamäe poolsest osast kuuluvad valgalasse E. Vilde tee, J. Sütiste tee ja Sõpruse puistee tagumised osad.

### **1.3.2 Harku sademevee väljalasu valgala**

Harku sademevee väljalasu valgala (punasega joonisel 2) on 8,16 km<sup>2</sup> ning väljalasu kaudu voolavad Kopli lahte (Keskkonnaregister) sademeveed Mustamäe lääneosast, Haabersti linnaosast Väike-Õismäe asumist, osaliselt Astangu asumist, Rannamõisa tee ja Vabaõhumuuseumi tee piirkonnast, Tallinna loomaia territooriumilt ja Nõmme linnaosasse jäävatest Vana-Mustamäe ja Pääsküla asumitest. Mustamäe lääneosa, Väike-Õismäe ja Astangu sademeveed juhitakse Harku pumplasse ning allavoolu lisanduvad Haabersti ring ääres Rannamõisa tee sademeveed ning Rocca al Mare kaubanduskeskuse juures Tallinna loomaia sademeveed. Väljalasus lisanduvad Vabaõhumuuseumi poolt tulevad sademeveed. Harku pumplast ülesvoolu võib suunad kaheks jagada: Mustamäe ja Väike-Õismäe suund ning Astangu suund. Mustamäe ja Väike-Õismäe suunad liituvad Õismäe tee 107 juures. Väike-Õismäe suund jaguneb kolmeks suunaks (Õismäe sisering, loode suund ja kagu suund) ning katab kogu Väike-Õismäe asumi Ehitajate tee ja Paldiski mnt vahel. Mustamäe suunale liituvad Järveotsa teel olevate lasteaedade piirkonnad ning maa-aluste garaažide poolt tulevad sademeveed. Mustamäe suund jaguneb kaheks Akadeemia tee ja Leiva tänava vahel: Akadeemia tee suunalt voolavad sademeveed Pöörise ja Pilvetee tänavate piirkonnast ning Leiva tänavale voolavad kokku kogu läänepoolse Mustamäe ning osaliselt Pääsküla ja Vana-Mustamäe asumite sademeveed.

Leiva tänavale voolavad veed neljalt suunalt: väiksemate valgaladega on Iva tänava suund, Akadeemia tee suund ning suurema valgalaga Kadaka tee kirde suund, kuhu kuulub ka E. Vilde tee, Ehitajate tee ja Akadeemia tee vaheline elurajoon. Suure valgalaga on ka Kadaka tee edela suund, mis jaguneb omakorda Vinkli tänava suunaks Vinkli 6 territooriumi juures, veidi eemal Kadaka tee ja Kadaka puistee suundadeks. Vinkli tänava suunale lisanduvad ka

Tallinna Tehnikaülikooli ümbrusest kogutud sademeveed, Kadaka puiesteele voolavad sademeveed lisaks Nõmme linnaosa asumite ka Mäealuse ja Mäepealse suunalt. Valgala on küllaltki keeruline, on palju väikeseid sademeveesuundasid ja paralleelselt jooksvate sademeveetorude vee voolamissuunad ei pruugi kattuda, mis teeb voolusuundade ja väiksemate valgalade määramise ning kinnistutasandil reostajate leidmise keerukaks ning valgalal on ka teisi sademevee kogumissüsteeme. Lisaks Harku väljalasku suubuvate torudega juhitakse valgalalt sademevett ka Harku järve. Harku järve suubuvad Soone oja ja Järveotsa oja, kuhu omakorda suubuvad sademeveed valgalal olevatest (peamiselt Mustamäe Nõmme poolsest äärest ning Haaberstis Astangu ja Mäeküla asumite alalt) kraavidest ja truupidest.



Joonis 2. Mustjõe ja Harku sademevee väljalaskude asukohad ja valgala (aluskaardi allikas: Maa-amet)

## **1.4 Varasemad sademevee mikrobioloogilised uuringud**

### **1.4.1 *E. coli* ja *Enterococcus* sisaldus**

*E. coli* ja *Enterococcus* sisaldust sademevee valgaladel ja väljalaskudes on uuritud juba varasemalt. Eelmise sajandi keskel keskenduti rohkem üldistele fekaalsetele indikaatorliikide *fecal coliform* (mille hulka kuulub ka *E. coli*) ja *fecal streptococci* tuvastamisele sademevees (Mallard, 1980), kuid hilisemad uuringud on keskendunud ka ainult *E. coli* või *Enterococcus* määramisele sademevees (Shergill ja Pitt, 2004; Ahmed et al., 2019). Shergill ja Pitt (2004) on välja pakkunud ka piirnormid (*E. coli* 12 000 MPN/100 ml, *Enterococcus* 5000 MPN/100 ml), mille ületamine viitab otseselt reoveele sademevees. Neid soovituslikke piirnorme kasutati ka käesoleva töö tulemuste hindamisel, kuna Eestis ei ole seadustega sademeveele indikaatorliikide piirnorme kehtestatud.

Ahmed et al. (2019) toob välja, et fekaalsete indikaatorbakterite päritoluks sademevees võivad olla reovee ülevoolud, ebaefektiivsed septikud, põllumajandustest tulenevad veed või loomade ja lindude väljaheidet tänavatelt ja katustelt. Varasemates uuringutes on ka leitud, et *E. coli* ja *Enterococcus* sisaldused sademevees on korrelatsioonis aastaegade vaheldumisega, s.t soojadel perioodidel on bakterite sisaldused vees suuremad kui jahedamatel perioodidel (Selvakumar ja Borst, 2006).

Uuritud on, kuidas vooluhulgad mõjutavad bakterite sisaldust vees. Shergill ja Pitt (2004) leidsid, et bakterite kontsentratsioon vees ei vähenenud vee vooluhulga ehk sademete suurenemisega. Toimusid küll lühiajalised muutused, kuid keskmine sisaldus jäi samaks. Samas, TTÜ poolt läbi viidud uuringus (Tallinna Tehnikaülikooli Keskkonnatehnika instituut, 2016) toodi välja, et vooluhulga suurenemisega vähenesid *E. coli* ja *Enterococcus* sisaldused Mustjõe ojas.

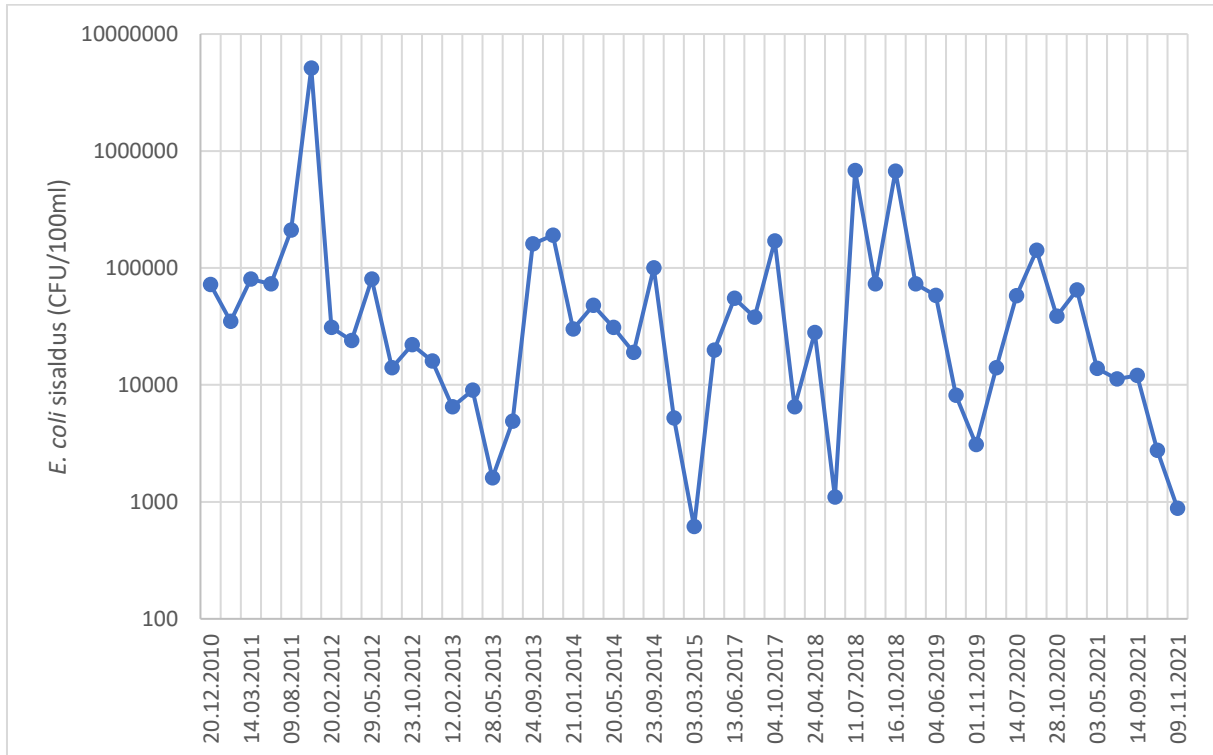
### **1.4.2 Uuritavatel valgaladel läbi viidud uuringud**

Varasemad uuringud Harku ja Mustjõe sademevee valgaladel on keskendunud peamiselt väljalaskudele, mitte valgaladele. Tallinna linn tellib igal aastal suuremate sademevee väljalaskude uuringu, mille käigus lisaks keemilistele üldnäitajatele on alates 2010. aastast

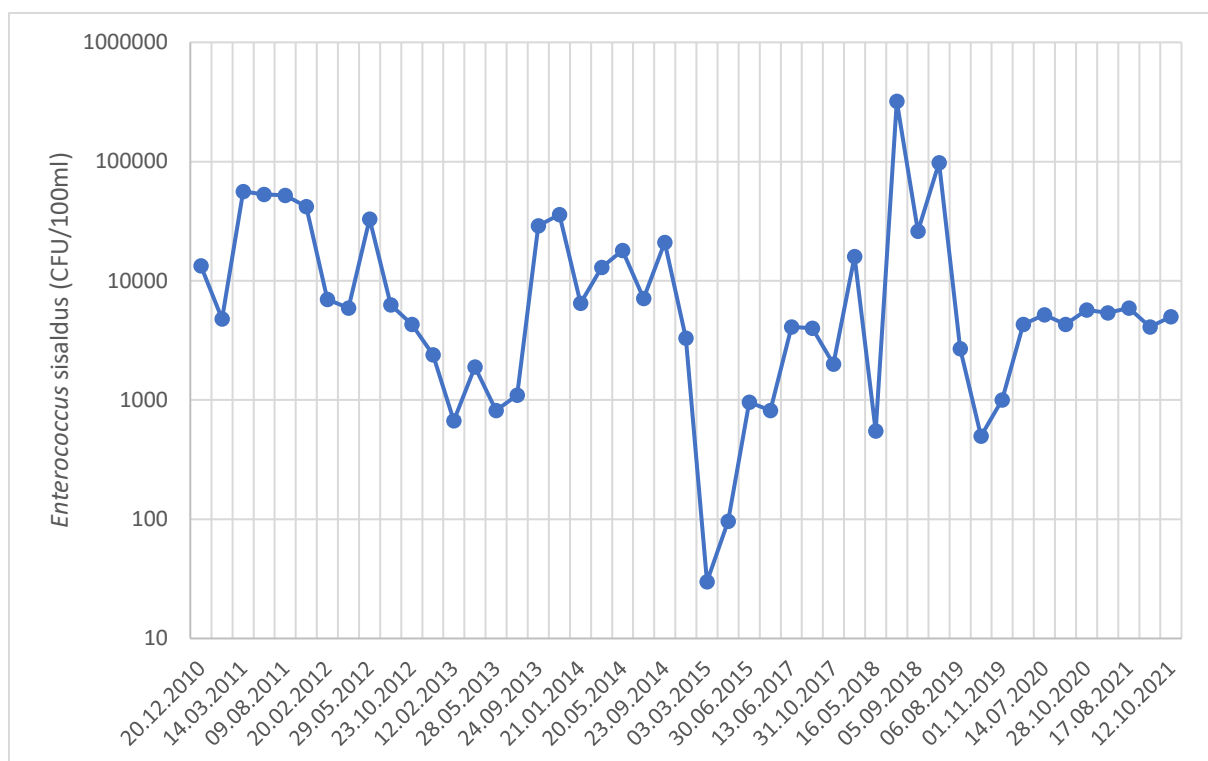
analüüsitud ka *E. coli* ja *Enterococcus* sisaldust sademevees. (Kakkum, 2011; AS Tallinna Vesi ja TTÜ KKT instituut, 2014; Lind et al., 2017; Kakkum, 2018; Lind et al., 2021)

Aastatel 2010-2021 võetud 65st proovist mõlemast väljalasust olid lõpuni määratud Mustjõe ojast Paldiski mnt ääres 59 *E. coli* ja 57 *Enterococcus* proovi ja Harku sademevee väljalasust 49 *E. coli* ja 47 soolte enterokokkide proovi. Teiste punktproovide puhul laborid ei määranud piisavalt täpset väärtust (tulemuseks anti „suurem kui“ või „väiksem kui“), et neid saaks statistilises analüüsis kasutada.

Harku sademevee väljalasus oli keskmine *E. coli* sisaldus  $1,8 \times 10^5$  CFU/100 ml (joonis 3) ja *Enterococcus* sisaldus  $2 \times 10^4$  CFU/100 ml (joonis 4). Kõrgeim *E. coli* sisaldus mõõdeti 31.10.2011, kus tulemuseks oli  $5,1 \times 10^6$  CFU/100 ml. Väga kõrged tulemused olid ka 11.07.2011 ja 16.10.2011, mil *E. coli* sisaldus oli vastavalt  $6,8 \times 10^5$  CFU/100 ml ja  $6,7 \times 10^5$  CFU/100 ml. Proove, mis ületasid  $10^4$  CFU/100 ml, oli kokku 37. *Enterococcus* kõige kõrgem näitaja oli 11.07.2011, kus tulemuseks mõõdeti  $3,2 \times 10^5$  CFU/100 ml. Proove, mille *Enterococcus* sisaldused olid  $5 \times 10^3$  CFU/100 ml või üle selle, oli kokku 25.

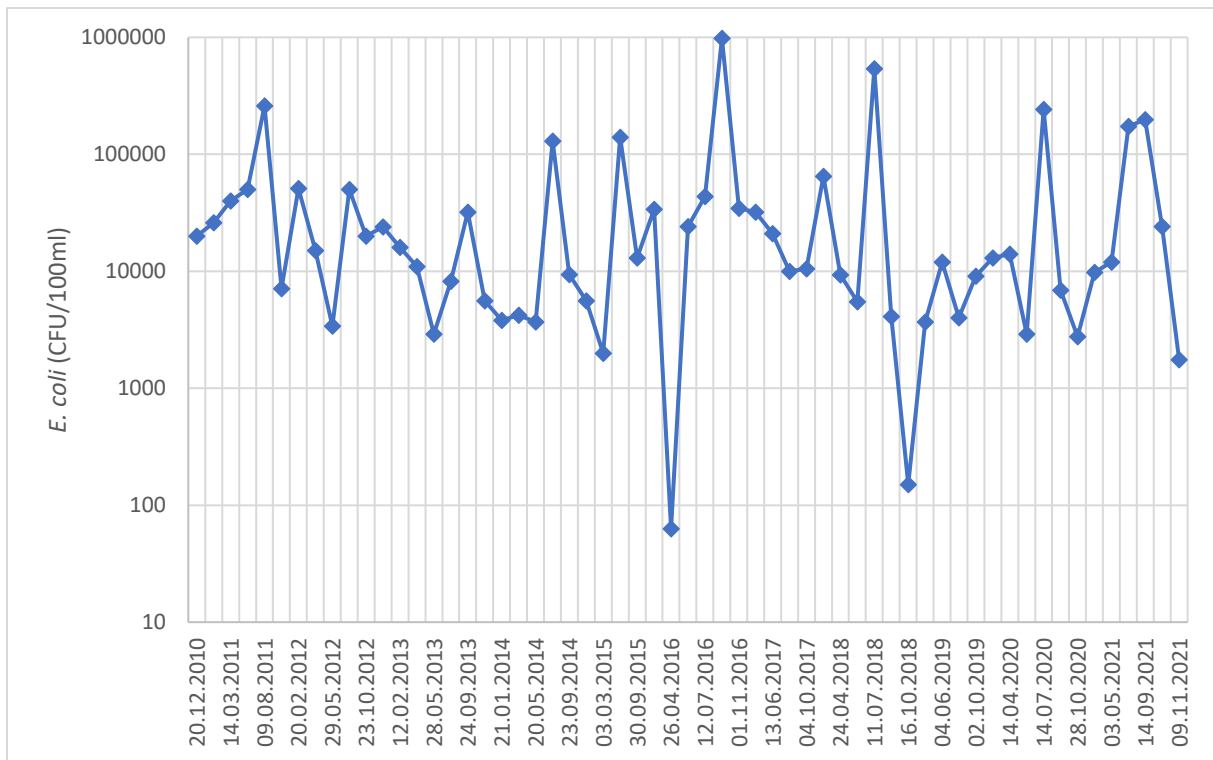


Joonis 3. *E. coli* sisaldus Harku väljalasus 2010-2021

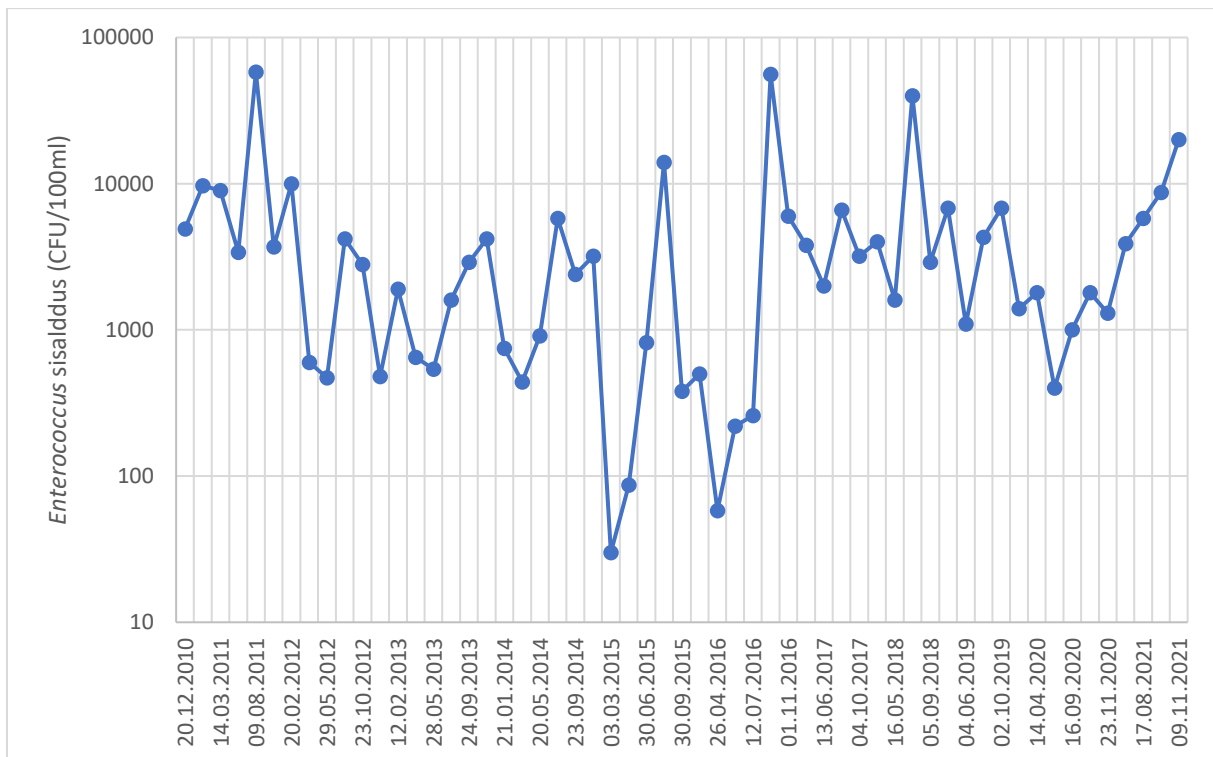


Joonis 4. *Enterococcus* sisaldus Harku väljalasus 2010-2021

Mustjõe oja puhul oli keskmine *E. coli* sisaldus  $5,9 \times 10^4$  CFU/100 ml (joonis 5) ja soolte enterokokkide sisaldus  $5,9 \times 10^3$  CFU/100ml (joonis 6). Kõrgeimad *E. coli* sisaldusega proovid võeti 04.10.2016, mil tulemuseks oli  $9,8 \times 10^5$  CFU/100 ml ja 11.07.2018, mil tulemuseks oli  $5,4 \times 10^5$  CFU/100 ml. Proove, mis ületasid  $10^4$  CFU/100 ml, oli kokku 35. Kõige kõrgemad *Enterococcus* sisaldused mõõdeti Mustjõe ojas 09.08.2011 ja 04.10.2016, kus tulemused oli vastavalt  $5,8 \times 10^4$  CFU/100 ml ja  $5,6 \times 10^4$  CFU/100 ml. Proove, mille *Enterococcus* sisaldused ületasid  $5 \times 10^3$  CFU/100 ml, oli kokku 15.



Joonis 5. *E. coli* sisaldus Mustjõe ojas 2010-2021



Joonis 6. *Enterococcus* sisaldus Mustjõe ojas 2010-2021



Lisaks iga-aastastele suuremate sademevee väljalaskude uuringutele, viidi 2014-2016 Keskkonnauuringute Keskuse ja Tallinna Tehnikaülikooli poolt läbi uuring „Mustoja valgala veekvaliteedi, reostuskoormuse ja sademevee äravoolu uuring“, mille käigus samuti võeti mikrobioloogiliste näitajate proove Mustjõe ojust (TTÜ KKT instituut, 2016). Nagu iga-aastased uuringud on näidanud, siis ka selles uuringus saadi väga varieeruvaid tulemusi ning samuti esines probleem, et labor ei analüüsinud kõiki proove lõpuni, vaid andis tulemuseks „rohkem kui x CFU/100 ml“.

Uuringu käigus võeti 2014. aasta novembrist 2015. aasta detsembrini 100 punktproovi, millest 56 proovis määrati indikaatorliikide täpne kvantitatiivne sisaldus. Nende proovide *E. coli* sisalduste tulemused varieerusid vahemikus  $9,2 \times 10^2$ - $2 \times 10^4$  CFU/100 ml ning keskmine väärtus *E. coli* puhul oli  $4,9 \times 10^3$  CFU/100 ml. *Enterococcus* väärtused varieerusid vahemikus  $0$ - $8 \times 10^3$  CFU/100 ml ning keskmine väärtus oli  $4 \times 10^2$  CFU/100 ml.

Mõlema väljalasu kõrged *E. coli* ja *Enterococcus* keskmised tulemused erinevates uuringutes viitavad otseselt fekaalset päritolu reostusele (reoveele) sademevees, kuid valgaladel pole põhjalikumaid uuringuid läbi viidud.

## **2. Eksperimentaalne osa**

### **2.1 Uuringu ala valik ja valgalade kaardistamine**

Kopli lahte juhitakse 16 sademe- ja drenaazivee väljalasku (Keskkonnaregister). ASil Tallinna Vesi on Kopli lahe piirkonnas 4 sademevee väljalasku. Mustjõe ja Harku väljalasud on nendest kõige suurema valgalaga ja vooluhulgaga. Seetõttu valitigi just need sademevee väljalasud uuringu objektiks. Nende kahe sademevee valgala vahele jääb ka Veskimetsa sademevee väljalask ning selle valgala, lisaks suubub veel Kopli lahte Kopliranna väljalask. Uuringu käigus võeti ka Veskimetsa väljalasust 2 punktproovi ja Kopliranna väljalasust samuti 2 punktproovi, kuid väga kõrgeid *E. coli* ja *Enterococcus* tulemusi ei tuvastatud ning seetõttu ei kaasatud neid sademevee väljalaskude uuringusse.

Valgalade kaardistamine algas 2020. aasta sügisel. Kasutades ASi Tallinna Vesi Trimble NIS süsteemi, kus on välja toodud Tallinna linna torustik, kaardistati mõlema sademevee valgalad QGISi programmis. Jooniste ja plaanide kohta koguti lisainformatsiooni ka Tallinna linna geomöödistuste portaalist (Tallinna geomöödistuste infosüsteem). Täpsema ülevaate saamiseks enne proovide võtmist, tehti ka eeltööd välitöödena, kus vaadati üle võimalikud proovivõtukaevud ning hinnati nende sobivust, s.t et kaev oleks leitav ja avatav, mitme voolusuuna kokkutulekul oleks huvipakkuv voolusuund eristatav (ehk ei tekiks segunemist) ja proovivõtmine oleks nõuetekohane. Lisaks kaardistati Mustjõe oja avatud osasse (n-ö looduslikku osasse) suubuvad toruotsad.

### **2.2 Proovide võtmise ja säilitamise meetodika**

Proovivõtukohtad töötati välja lähtuvalt valgalade kaardistamisel saadud sisendist ning peale põhisuundade proovivõtte keskenduti analüüsitulemustega kindlaks tehtud kõrgemate näitajatega väiksematele piirkondadele. Iga järgneva proovivõtmise sisendiks olid tavaliselt eelmise proovivõtu tulemused. Mõnikord tuli sisend ka uute piirkondade vaatluste põhjal (nii kaardi- kui ka kohapealsed vaatlused).

Kuna mikrobioloogilistele näitajatele sademevees piirnorme pole määratud, siis leides võimaliku reostava kinnistu, võeti reoveekahtluse korral ka keemiliste üldnäitajate proov, et

oleks alus ühenduse sulgemiseks. Kokku võeti perioodil 24.05.2021-20.12.2021 441 proovi. Erinevaid proovivõtukohti oli kokku 138.

Proovid võeti atesteeritud proovivõtjate poolt, järgides Keskkonnaministri määrust nr 49 (Riigi Teataja, 2019). Peale proovi võtmist pandi proov külmaelementidega jahutatud termokasti (joonis 7) ning viidi peale proovivõtu ringi ehk paari tunni jooksul laborisse.



Joonis 7. Külmaelementidega jahutatud proovipudelite kast

### **2.3 *E. coli* ja *Enterococcus* mikrobioloogiline määramine**

Proovid transporditi ning analüüsiti OÜ Keskkonnauuringute Keskuse (EKUK) laboris (Marja 4D, Tallinn).

Tabel 1. Analüüsimeetodid EKUKi laboris

Analüüsitava näitaja	Katsemeetod
<i>Enterococcus</i> arvukus CFU/100 ml	EVS-EN ISO 7899-2
<i>Escherichia coli</i> MPN/100 ml	EVS-EN ISO 9308-2

Erinevus analüüsitud indikaatorliikide ühikute vahel tähendab, et kasutati erinevaid meetodikaid näitajate analüüsimiseks. Ühik CFU tähendab „kolooni moodustav ühik“ ning

arv saadakse, kui loetakse kokku analüüsil tekkinud kolooniad (Eesti Standardimis- ja akrediteerimiskeskus, 2002). Ühik MPN tähendab „kõige tõenäolisem arv“ ja arv saadakse, kui tekkinud kolooniate arvu võrreldakse statistiliste tabelitega (Eesti Standardimis- ja akrediteerimiskeskus, 2014). Kuigi CFU ja MPN väärtused pole võrdsed (*E. coli* puhul on MPN olnud kõrgem kui samast proovist mõõdetud CFU ja *Enterococcus* kohta leiti, et CFU väärtused olid kõrgemad kui MPNi tulemused), on nende vahel positiivne seos (Cho et al., 2010). Seetõttu on võrreldud neid tulemusi omavahel ka käesolevas töös.

### 2.3.1. EVS-EN ISO 7899-2

Meetod (Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2002) määratleb vees olevate soolestikust pärit *Enterococcus* arvulise määramise membraanfiltreerimise meetodil ja on kavandatud joogivee, basseinivee ja muu desinfitseeritud või puhta vee analüüsimiseks. Sellele vaatamata võib metoodikat rakendada kõikidele vee tüüpidele, välja arvatud sel juhul, kui vesi sisaldab väga suurtes kogustes hõljuvaint või mikroorganisme. See metoodika on eriti sobilik suures veekoguses madala arvukusega *Enterococcus* avastamiseks. Määratakse soolestikust pärit baktereid, mis on võimelised muutma 2,3,5-trifenüültetrasooliumkloriidi formasaaniks ja hüdrolüüsima eskuliini 44 °C juures sapi-eskuliin-asiid söötmes.

Intestinaalsete enterokokkide arvulisel määramisel kasutatakse kindlat vee koguset, mis filtreeritakse läbi 0,45 µm poori suurusega membraanfiltrit, et bakterid jääks filtrile. Membraanfilter asetatakse tahkele selektiivsöötmele, mis sisaldab naatriumasiidi (gramnegatiivsete bakterite kasvu maha surumiseks) ja 2,3,5-trifenüültetrasooliumkloriidi, mis intestinaalsete *Enterococcus* poolt redutseerituna muutub punase värvusega formasaaniks. Tüüpilised kolooniad on värvunud üleni või vähemalt keskelt punakaspruunideks, punasteks või roosadeks.

Tüüpiliste kolooniate olemasolu korral on vajalik nende kinnitamine. Selleks tõstetakse membraanfilter sapi-eskuliin-asiid söötmega Petri tassile, mis on eelnevalt soojendatud temperatuurini 44 °C. Soolestikust pärit *Enterococcus* bakterid hüdrolüüsivad sellel söötmel eskuliini 2 tunni jooksul. Lõpptulemus moodustab tumepruuni kuni musta värvusega ühendi, mis difundeerub söötmesse.

### 2.3.2. EVS-EN ISO 9308-2

Meetodiga (Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, 2014) saab määrata coli-laadsete bakterite ja *E. coli* sisaldust kasvatades neid esmalt vedelsöötmes ja seejärel arvutada kõige tõenäolisema arv MPN tabelite abil. Meetodikat saab kasutada kõikide vee liikide puhul, kaasa arvatud vete puhul, mis sisaldavad palju hõljuvaint ja heterotroofseid baktereid.

Dehüdreeritud sööde lisatakse 100 ml veeproovile või selle lahjendusele ning segatakse korralikult. Kui sööde on lahustunud, siis valatakse kogu segu testalusele. Alus suletakse sulguriga ja inkubeeritakse ( $36\pm 2$ ) °C juures olenevalt söötimest 18-22 või 24-28 tundi. Positiivseteks coli-laadseteks bakteriteks loendatakse kollased „pesad“, mis pärast inkubeerimist on võrdlus„pesadega“ sama värvi või tumedamad. Positiivseteks *Escherichia coli*-deks loendatakse need kollased „pesad“, mis samas ka fluorestseeruvad. Statistiliste tabelite järgi saab määrata coli-laadsete bakterite ja *Escherichia coli* „kõige tõenäolisema arvu“ (MPN) 100 ml-s, mis ümardatakse lähima täisarvuni ja väljendatakse arv/100 ml.

### 3. Tulemused ja arutelu

#### 3.1 Valgalade kaardistamine ning metoodika reostajate leidmiseks ja tulemuste hindamiseks

Esmalt viidi läbi põhjalik Harku ja Mustjõe sademevee valgalade kaardistamine. Sealt saadud informatsiooni alusel jagati valgalad väiksemateks lõikudeks ja määrati proovivõtu- ja seirepunktid. Esimeste tulemuste järgi saadi teada peamised piirkonnad, kus bakterite sisaldus oli kõrgem ja kus võib leiduda keelatud reoveeühendusi. Seejärel jagati need piirkonnad veelgi väiksemateks lõikudeks ning võeti samuti proovid. Lähtuvalt uutest tulemustest saadi teada veelgi väiksem piirkond, kus reostaja võib olla. Uuringu jooksul selgus, et *E. coli* tulemus, mis viitab kindlasti reoveele on rohkem kui  $10^5$  MPN/100 ml ja *Enterococcus* sisaldus rohkem kui  $10^4$  CFU/100 ml.

Kui piirkond oli piisavalt täpsustatud, vaadati üle piirkonna kinnistute torustike joonised ning võrreldi neid reaalse olukorraga kinnistul. Koha peal hinnati visuaalselt ka sademeveetorustikku juhivat vett. Kui tekkis kahtlus, et tegemist on reoveega, võeti proov. Uuringu lõppedes võib väita, et visuaalselt on reovesi tuvastatav, kui *E. coli* sisaldus on rohkem kui  $10^6$  MPN/100 ml. *Enterococcus* sisalduse kohta seost bakterite sisalduse ja visuaalse väljanägemise vahel ei tuvastatud. *E. coli* oli parem indikaator reovee (n-ö värske reostuse) leidmiseks võrreldes *Enterococcus*'ega, kuna kuna *Enterococcus* püsib keskkonnas kauem. Seetõttu keskenduti reostajate leidmisel *E. coli* sisalduse määramisele reovees.

Saadud tulemuste analüüsi alusel koostati soovitusel, kuidas proovivõtu tulemuste alusel võib *E. coli* sisalduse põhjal identifitseerida võimaliku reostuse olemasolu. Indikatiivse piirnormina kasutati varem väljapakutud soovituslikku *E. coli* piirnormi väärtust  $1,2 \times 10^4$  MPN/100 ml (Shergill ja Pitt, 2004):

1. tulemus alla  $1,2 \times 10^4$  MPN/100 ml – suure tõenäosusega suurt reostajat piirkonnas ei ole ning küllaltki keeruline oleks seda leida (joonistel 12, 13, 14 ja 15 rohelisega märgitud);
2. tulemus  $1,2 \times 10^4 \dots 10^5$  MPN/100 ml – piirkonnas on reostaja(d), kuid selle leidmiseks tuleks piirkonda täpsustada (joonistel 12, 13, 14 ja 15 kollasega märgitud);
3. tulemus üle  $10^5$  MPN/100 ml – reostus on suur või reostaja(d) on lähedal, on suur tõenäosus neid leida (joonistel 12, 13, 14 ja 15 punasega märgitud).

Võib öelda, et kirjanduses toodud *E. coli* soovituslik piirnorm (Shergill ja Pitt, 2004)  $1,2 \times 10^4$  MPN/100 ml pidas paika ka Tallinna sademevee analüüside hindamisel, kuigi suvisesel perioodil oli rohkem soovitusliku piirnormi ületusi. Seetõttu on n-ö rohelise tulemuse ülemiseks piiriks seatud  $1,2 \times 10^4$  MPN/100 ml. *Enterococcus* soovitusliku piirnormi  $5 \times 10^3$  CFU/100 ml (Shergill ja Pitt, 2004) sobilikkust on raskem hinnata, kuid proovitulemused, kus reovett ei tuvastatud, jäid kõik alla selle näitaja. Kõrgemad kui  $1,2 \times 10^4$  MPN/100 ml *E. coli* näitajad esinesid ka kui *Enterococcus* sisaldus samas proovis oli vaid  $10^3$  CFU/100 ml.

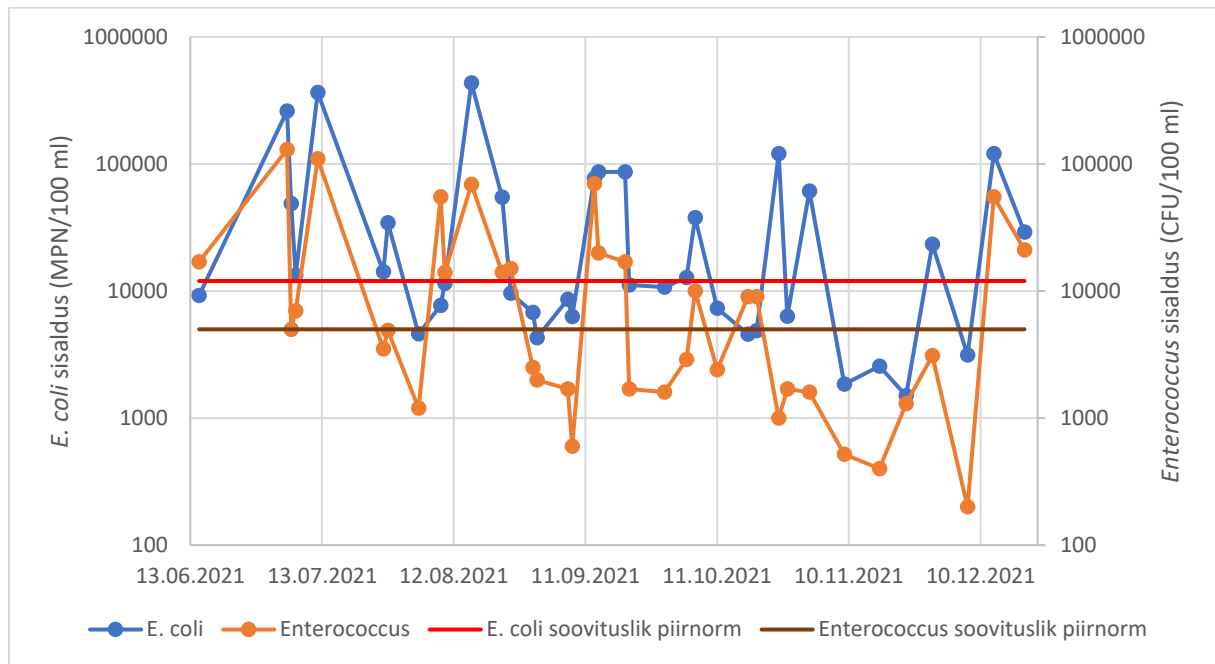
Kuna uuring viidi läbi nii suvel kui sügisel, saab väita, et kõige parem aeg selle meetodika järgi töötamiseks oli suvel, kui sademevee temperatuurid olid kõrgemad ( $>10$  °C) ja sademete hulk madal. Sügisel algasid sajud, mis tegi kinnistute tuvastamise keerulisemaks, kuna sademetega tuli reostusallikaid ka tänavatelt. Mida kõrgem oli veetemperatuur, seda vastupidavamad olid ka indikaatorliigid veekeskkonnas ning võimalik reostus püsis (vee)keskkonnas kauem (Jang et al. 2017).

Kirjeldatud meetodika on odavam ja kiirem, kui näiteks meetodika, millega määratakse sademevees indikaatorliikide asemel keemilisi üldnäitajaid (üldlämmastik, üldfosfor, biokeemiline hapnikutarve (näiteks BHT<sub>7</sub> analüüs võtab 7 päeva aega (Roppola et al. 2007))). Samas, kirjeldatud meetodika nõuab palju eeltööd torustike kaartidega ja esinevad probleemid, kus torustike reaalne paiknemine ei ole vastavuses kaartidel tooduga. Seetõttu on meetodika kasutamiseks vajalik väga põhjalik uuringupiirkonna läbivaatus. Meetodika negatiivseks omaduseks on ka, et indikaatorliikide esinemine tuvastab vaid fekaalset reostust ning seetõttu ei saa selle meetodikaga tuvastada tööstusreovett (nt autoremonditöökodade või -pesulate reovett). Lisaks tuleb meetodika kasutamisel arvestada, et reostused esinevad episoodiliselt ning punktproovid pole alati kõige efektiivsemad lahendused reostuste leidmiseks.

### **3.2 Tulemused väljalaskudes**

Mustjõe sademevee väljalasust võeti perioodil 15.06.2021-20.12.2021 kokku 37 punktproovi (joonis 8). Nendest 19 *E. coli* proovitulemused olid alla soovitusliku  $1,2 \times 10^4$  MPN/100 ml, 18 proovi analüüsitulemused ületasid seda. *Enterococcus* tulemustest 20 proovi tulemused olid vähem kui  $5 \times 10^3$  CFU/100 ml ning 17 proovi tulemused olid kõrgemad kui soovituslik piirnorm. Keskmise tulemuse väljalasus oli *E. coli* puhul  $5,4 \times 10^4$  MPN/100 ml ja

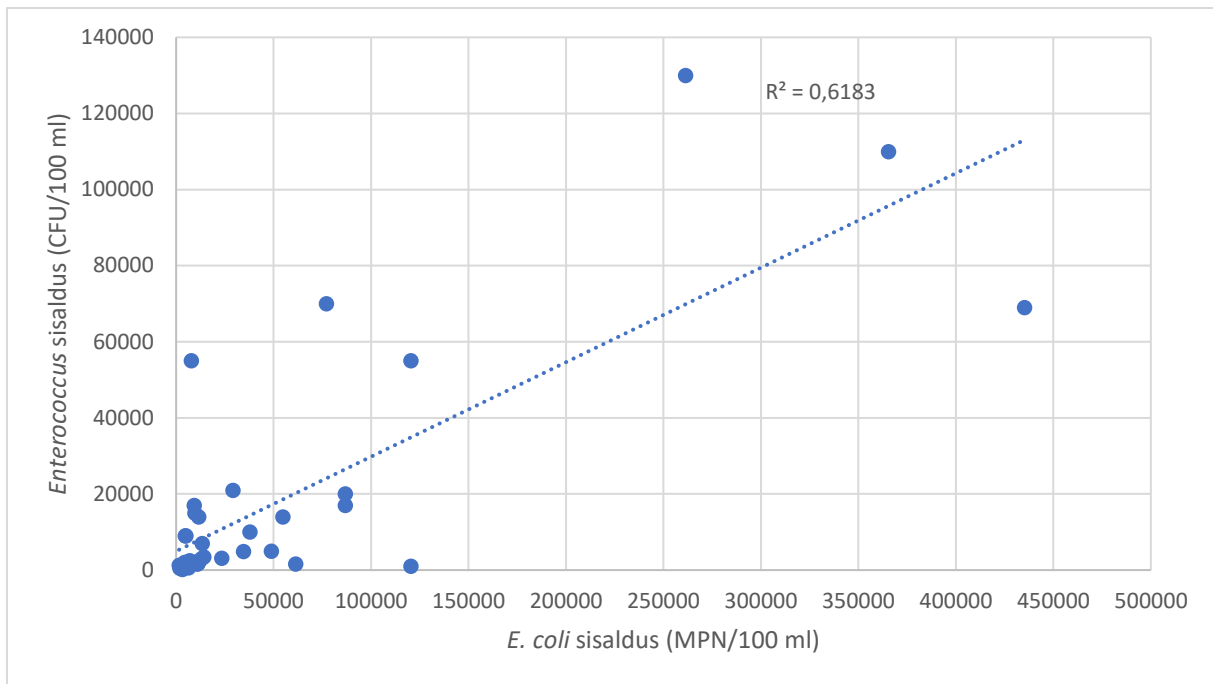
*Enterococcus*  $1,8 \times 10^4$  CFU/100 ml. *E. coli* ja *Enterococcus* kontsentratsioonide omavaheline suhe oli 3.



Joonis 8. *E. coli* ja *Enterococcus* sisaldus Mustjõe väljalasus

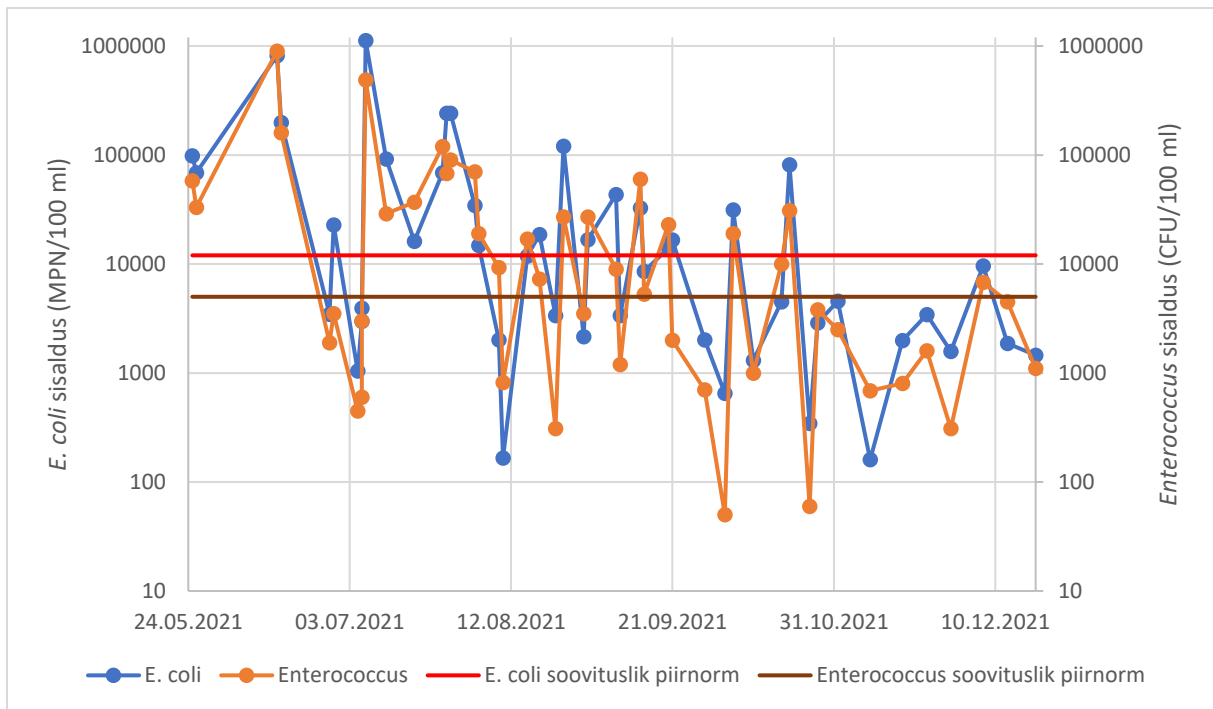
Väljalaskudes uuriti ka, kas ja kuidas *E. coli* ja *Enterococcus*'e sisaldus omavahel korreleeruvad (joonis 9). Mustjõe väljalasus korrelatsioonikordaja  $r$  on 0,79, see tähendab, et uuritavate indikaatorbakterite tulemused sademevees on võrreldavad ehk mida suurem on *E. coli* tulemus, seda suurema tõenäosusega on ka *Enterococcus* tulemused sademevees kõrged ja vastupidi.





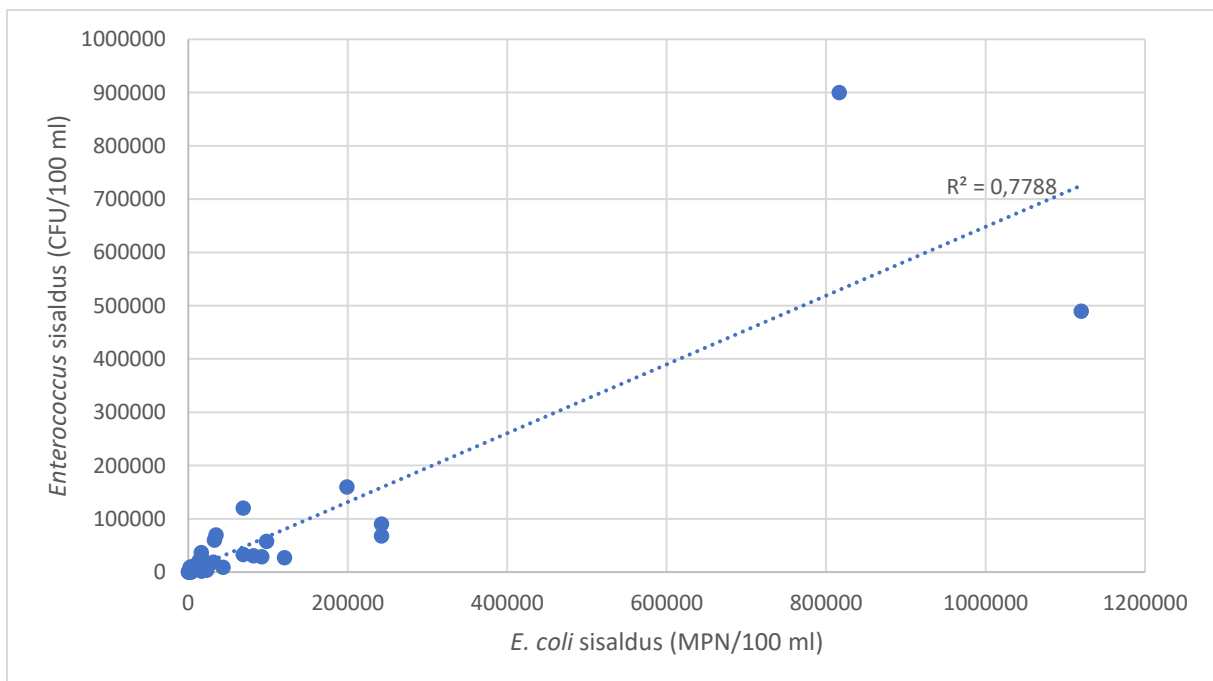
Joonis 9. *E. coli* ja *Enterococcus* korrelatsioon Mustjõe sademevee väljalasus

Harku sademevee väljalasust võeti perioodil 25.05.2021-20.12.2021 kokku 47 punktproovi (joonis 10), millest 25 proovi vastas *E. coli* soovituslikule piirnormile  $1,2 \times 10^4$  MNP/100 ml ja 22 proovi tulemused oli sellest kõrgemad. *Enterococcus* proovitulemustest 22 proovi jäid alla piirnormi  $5 \times 10^3$  CFU/100 ml ja 25 ületasid piirnormi. Keskmine *E. coli* tulemus Harku väljalasus oli  $7,4 \times 10^4$  MPN/100 ml ja *Enterococcus* tulemus  $5 \times 10^4$  CFU/100 ml. *E. coli* ja *Enterococcus* omavaheline suhe oli 1,5. See tähendab, et Mustjõe väljalasus olid *Enterococcus* näitajad võrreldes *E. coli* näitajatega madalamad kui Harku väljalasus. Erinevused on tingitud arvatavasti sellest, et Mustjõe väljalasus voolab lisaks sademeveele ka Mustjõe oja, mille looduslik vesi muudab veekeskkonnatingimusi ja vees leiduvate bakterite kooslusi.



Joonis 10. *E. coli* ja *Enterococcus* sisaldus Harku sademevee väljalasus

Harku väljalasus oli korrelatsioon veelgi tugevam ( $r=0,88$ ) (joonis 11), mis näitab, et *E. coli* ja *Enterococcus* sisaldused sademevees on tugevamalt omavahel seotud kui Mustjõe sademevees.



Joonis 11. *E. coli* ja *Enterococcus* korrelatsioon Harku sademevee väljalasus

### 3.3 Tulemused valgaladel

Kokku võeti uuringu jooksul 441 proovi, millest 251 võeti Mustjõe sademevee valgalalt, 182 proovi Harku sademevee valgalalt ja 8 proovi võeti teisest sademevee väljalaskudest, mida kasutati võrdluseks Harku ja Mustjõe sademevee väljalaskudega. Tulemuste tõlgendamisel kasutati soovituslikke piirväärtusi *E. coli* kuni  $1,2 \times 10^4$  MPN/100 ml ja *Enterococcus* puhul kuni  $5 \times 10^3$  CFU/100 ml.

Mustjõe valgalalt võetud 251 proovist oli *E. coli* piirväärtusest madalam 159 proovi tulemus ning 92 proovi tulemused ületasid  $1,2 \times 10^4$  MPN/100 ml. *Enterococcus* analüüsitulemustest jäi alla  $5 \times 10^3$  CFU/100 ml 144 proovi ja 107 proovi ületas soovitusliku piirnормi. Arvestades seda, et valgalalt võeti proove eesmärgiga leida reovett, mitte teha üldist seiret olid keskmised proovitulemused kõrgemad kui Mustjõe väljalasus (*E. coli* –  $3,3 \times 10^5$  MPN/100 ml ja *Enterococcus* –  $3,1 \times 10^5$  CFU/100 ml).

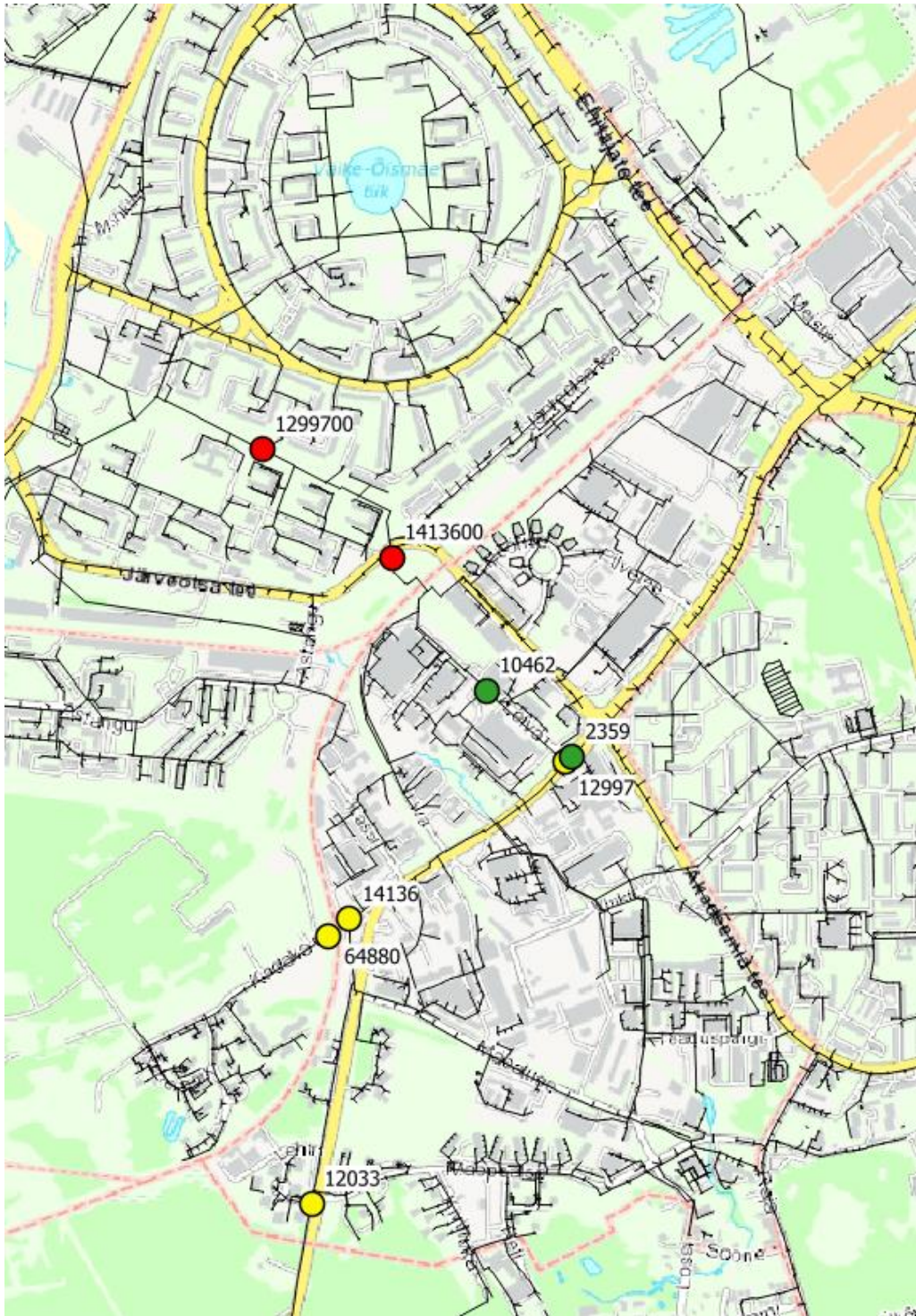
Harku sademevee valgalalt võetud 182 *E. coli* proovist 107 tulemus oli vähem kui  $1,2 \times 10^4$  MPN/100 ml ning 75 proovi tulemused ületasid piirnормi. *Enterococcus* tulemustest 105 proovi tulemused jäi alla  $5 \times 10^3$  CFU/100 ml, 77 proovi tulemused ületasid piirnормi. Keskmised proovitulemused *E. coli* ja *Enterococcus* kohta oli vastavalt  $5,3 \times 10^5$  MPN/100 ml ja  $2 \times 10^5$  CFU/100 ml.

Proovide võtmist valgaladel alustati suuremate lõikude ristumiskohtadest. Joonisel 12 on toodud 25.05.2021 proovivõtu tulemused, kus on näha, et kõrgemad näitajad leiti Harku valgalalt Mustamäe suunalt ja Mustjõe valgalalt Laki suunalt. Hilisema uuringu käigus leiti ka nendest suundadest suuremad reostused.



Joonis 12. *E. coli* arvukuse määramise tulemused (MPN/100 ml) 25.05.2021 Harku ja Mustjõe sademevee valgaladel

Harku valgala reostuse täpsem uuring toimus 1. juunil 2021 (joonis 13). Tulemustest selgus, et suurim reostaja on Järveotsa tee ja Kadaka tee vahel. Järgmiste uurimiste käigus tuvastatigi reostaja 14. juunil. Kadaka puiestee suunal oli samuti kõrgemad näitajad ning järgmised uuringud keskendusid sellele piirkonnale.



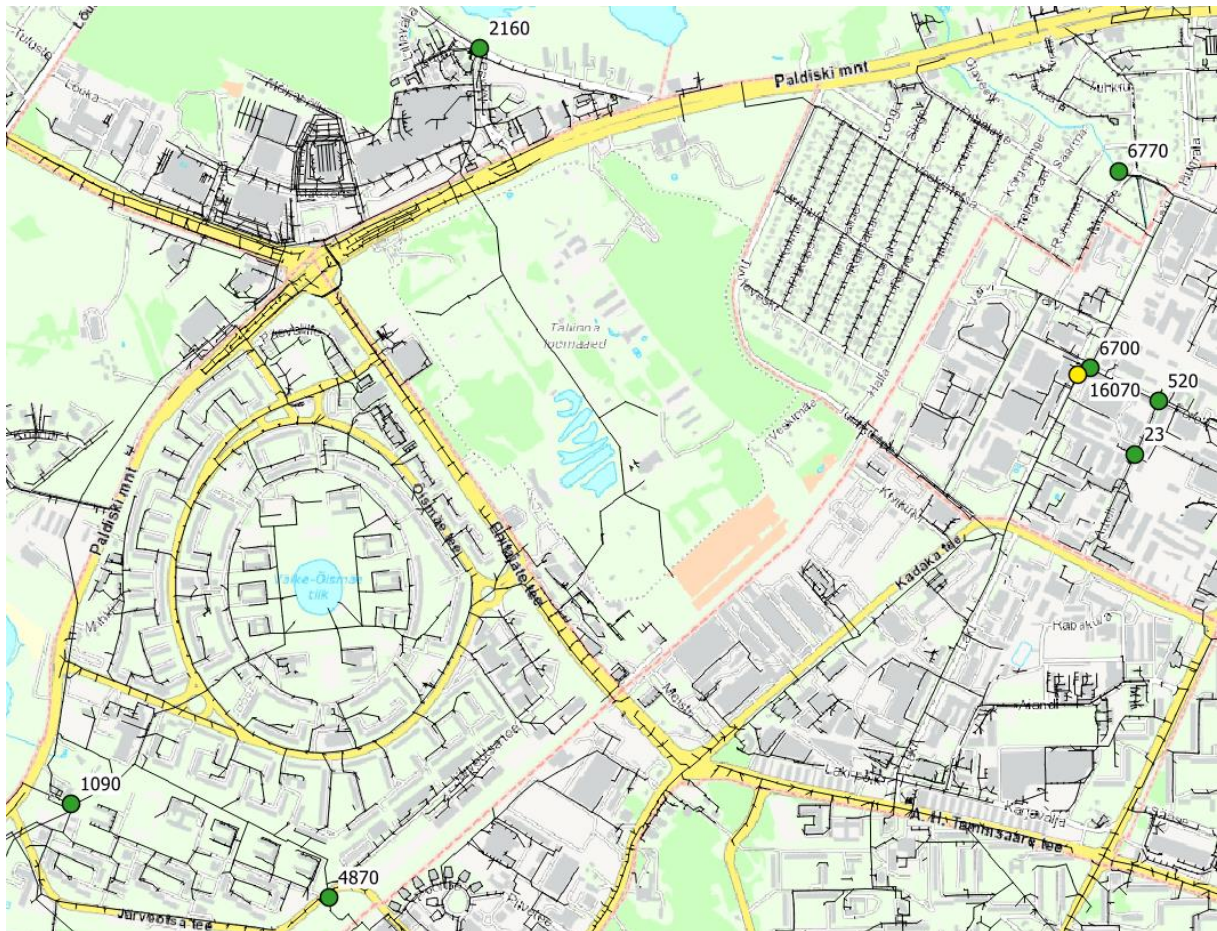
Joonis 13. *E. coli* arvukuse määramise tulemused (MPN/100 ml) 1.06.2021 Harku valgalal

Mustjõe valgalal reostuse tuvastamiseks võeti järgmised punktproovid 2. juunil 2021 (joonis 14). Tulemustest tuvastati lühike lõik Laki tänaval, kus vaatluste teel selgitati välja kinnistu, mis juhtis reovett sademevette.



Joonis 14. *E. coli* arvukuse määramise tulemused (MPN/100 ml) 2.06.2021 Mustjõe valgalal

Suve lõpus langesid keskmised *E. coli* näitajad nii väljalaskudes kui valgaladel (joonis 15) ning seetõttu muutus ka reostajate leidmine keerulisemaks. Indikaatorliigi vähenemine oli tingitud temperatuuride langusest. Sügisel keskenduti koha pealsetele vaatlustele ning valgalalt jätkati seireproovide võtmist korra nädalas.



Joonis 15. *E. coli* arvukuse määramise tulemused (MPN/100 ml) 30.08.2021

Üheks kõrgete indikaatorbakterite sisalduse põhjuseks on kindlasti keelatud reoveeühendused sademevee torustikus ning sellele annab kinnitust ka uuringuga leitud reostajate hulk. Lisaks nendele kantakse *E. coli* ja *Enterococcus*'t sademevette üldisest linnakeskkonnast restkaevude kaudu.

Restkaevude mõju hinnati 3 erineval päeval. 26.05.2021 võeti kaks punktproovi saju ajal Mustamäe tee ja Karjavälja tänava restkaevudest. *E. coli* sisaldus Mustamäe tee restkaevus oli  $9,8 \times 10^2$  MNP/100 ml ja *Enterococcus* tulemus  $9 \times 10^2$  CFU/100 ml. Karjavälja tänava kaevus olid tulemused sarnased – *E. coli*  $1,2 \times 10^3$  MNP/100 ml ja *Enterococcus*  $10^3$  CFU/100 ml. Kuigi tulemused on palju madalamad, kui sademevees, mis on segunenud reoveega, näitavad need hästi, et ka ainult tänavatelt juhitakse sademeveekanaliseerimise vett, mis sisaldavad indikaatorliike.

06. ja 07.07.2021 võeti mõlemal päeval üks punktproov samast kaevust Ehitajate teel asuva korterelamu parklast. 6. juuli oli sademeteta päev, kuid 7. juulil oli tugev sadu ning proov

võeti kaevust saju alguses. Tulemused näitasid (tabel 2), et saju tõttu tõusis *E. coli* ja *Enterococcus* sisaldus sademevees vastavalt 25 ja 550 korda, mis tulenes tõenäoliselt sellest, et tänavatelt uhati sinna kogunenud reostus sademevette.

Tabel 2. Proovitulemused Ehitajate tee restkaevus

Aadress	Kuupäev	<i>E. coli</i> (MPN/100 ml)	<i>Enterococcus</i> (CFU/100 ml)
Restkaev Ehitajate teel	06.07.2021	630	20
Restkaev Ehitajate teel	07.07.2021	15531	11000

Lisaks otsesele keelatud ühendustele võib reovesi sattuda sademeveetorustikku ebaseadusliku pargimise kaudu, kus pargija teadlikult või teadmatult pargib reovee sademeveetorustikku. Reovesi võib sademeveetorustikku liikuda ka pinnase kaudu, kui valgaladel on hooldamata või lekkivaid reovee kohtkäitlussüsteeme.

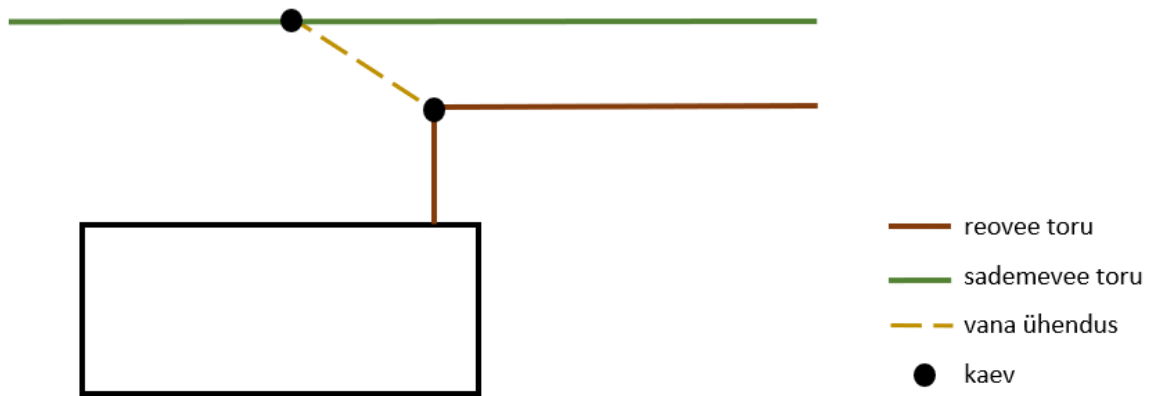
### 3.4 Leitud reostajad ja reostuste põhjused

Uuringu jooksul leiti 10 kinnistut, kes tahtmatult juhtisid osaliselt või täielikult enda kinnistu reovee sademeveekanaliseerimisele.

Leitud reostuste põhjused võib jagada kolmeks:

1. ajaloolised ühendused ehk ühendused, mis on jäänud ajast, kui sademevett ja reovett eraldi ei kogutud (joonis 16);
2. kehv ehituskvaliteet:
  - 2.1. uuslamurajoonid, kus puuduliku järelevalve tõttu on ühendatud kanalisatsiooniühendused sademeveetorustikuga (joonis 17 ja tabel 3);
  - 2.2. vanad amortiseerunud ühendused (joonis 18);
3. hooldamata kanalisatsioon, mille tõttu võivad tekkida ummistused või ülevoolud, mis võimaldavad reoveel sademevette sattuda (joonis 19).

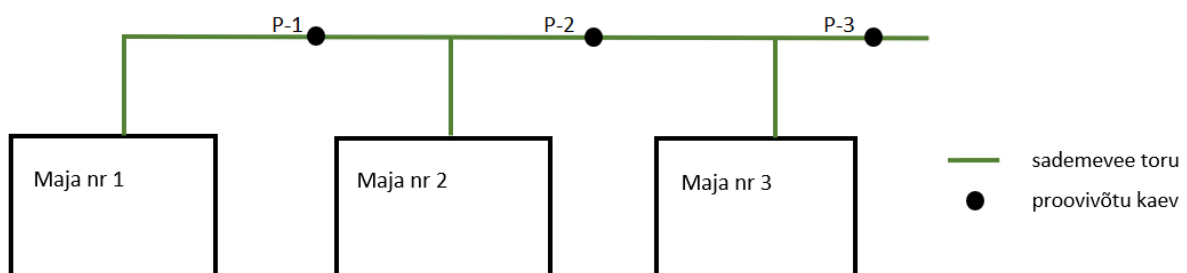




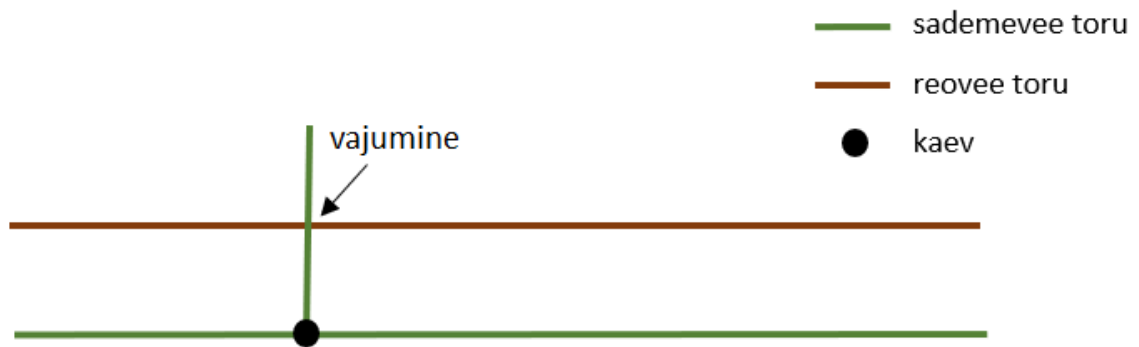
Joonis 16. Näide ajaloolisest ühendusest, kus uus reoveetoru oli välja ehitatud, kuid vana toru polnud suletud

Tabel 3. Proovivõtu tulemused uuselamurajooni näitel. Punasega on näidatud tulemused, mis olid väga kõrged ja viitasid reovee sattumisele sademevette.

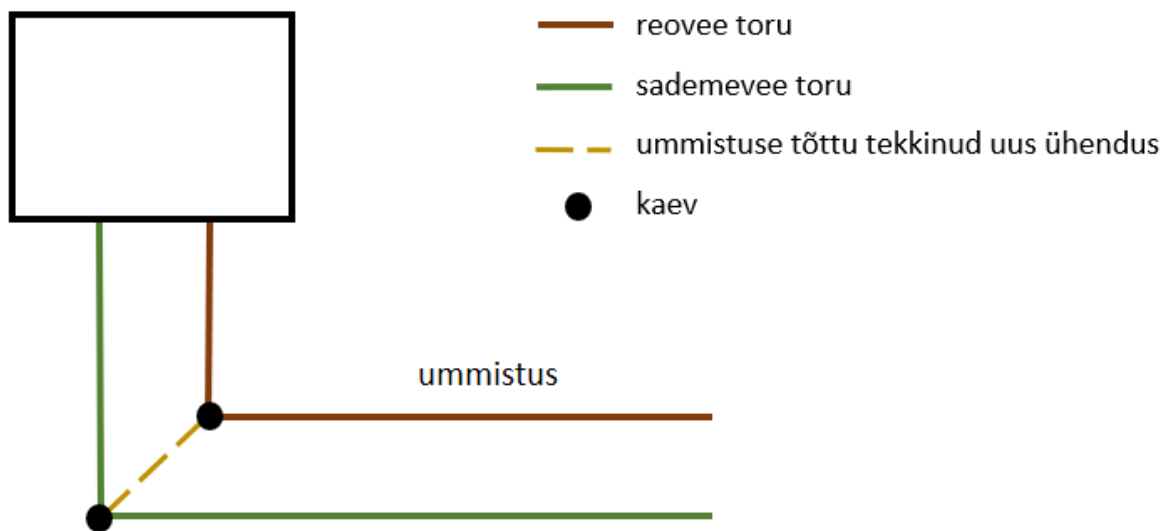
		E. coli (MPN/100 ml)	Enterococcus (PMÜ/100 ml)
P-1	14.06.2021	23	110
P-2	14.06.2021	2400000	6488000
P-3	14.06.2021	3448000	2100000
P-2	19.07.2021	38	680
P-3	19.07.2021	131	3600



Joonis 17. Näide uuselamurajoonist, kus majas nr 2 oli üks püstak ühendatud sademeveetorustikuga



Joonis 18. Näide amortiseerunud ühendusest, kus sademeveetoru oli vajunud ning selle alt voolas reovesi sademevette



Joonis 19. Näide hooldamata kanalisatsioonist, kus ummistuse tõttu reovesi voolas sademevette

### 3.5 Edasised uurimissuunad

Uuringutega Harku ja Mustjõe valgaladel edasi minnes tuleb kindlasti arvestada, et tõenäosus, et kuskil on keelatud ühendus (juhuslik või tahtlik) ei kao kunagi. Igal hetkel võib sademevees leiduda indikaatorbaktereid ning nende päritolu pole täpselt teada.

Uuringu tulemused näitasid, et *E. coli* sisaldus osutus usaldusväärsemaks näitajaks sademevees reovee sisalduse hindamiseks kui enterokokkide sisaldus. Edasised uuringud peaksid keskenduma *E. coli* sisalduste ööpäevastele muutustele, seetõttu oleks kasulik

kasutustele võtta automaatproovivõtu seadmed, millega saaks võtta nii keskmistatud kui ka punktproove. Oluline on välja uurida, kuidas indikaatorliikide sisaldused muutuvad vooluhulkade muutustel nii jahedamal kui soojemal perioodil. See eeldaks vooluhulkade ja indikaatorliikide sisalduse samaaegset mõõtmist, mida saaks taas lahendada automaatproovivõtuseadmetega.

Praegu on valgalalt võetud proove vaid pool aastat, seetõttu oleks kasulik jätkata punktproovide võtmist teistel aastaegadel ja järgmisel aastatel, et võrrelda aastaringseid muutusi sademevees. Kuna pidevalt võetakse sademevee väljalaskudes keemiliste üldnäitajate proove, saaks leida võimalikke seoseid indikaatorliikide sisalduse ja keemiliste üldnäitajate kontsentratsioonide vahel.

## Kokkuvõte

Sademevee väljalaske on juba aastaid seiratud keemiliste üldnäitajate järgi, kuid sademevee valgalasid on uuritud väga vähe. Käesolev töö keskendus kahe Kopli lahte suubuva sademevee väljalasu (Mustjõe ja Harku) valgalade uurimisele.

*E. coli* ja *Enterococcus* on kasutusel indikaatorliikidena fekaalse reostuse määramiseks nii joogi- kui suplusvees. Ka sademevees on nende indikaatorliikide sisaldust uuritud, kuid põhjalikumat analüüsi valgaladel tehtud pole. Uuringu käigus kasutati tulemuste võrdlemiseks kirjanduses väljapakutud piinorme indikaatorliikidele, mille sobivust hinnati ka uuritavate valgalade näitel.

Uuringu käigus pakuti välja meetodika, kuidas indikaatorbakterite analüüsimist kasutada reostajate leidmiseks. Meetodika koosnes valgalade põhjalikust kaardistamisest, seejärel jagati valgalad väiksemateks lõikudeks ning arvestades indikaatorliikide sisaldusi vees tuvastati perioodil 24.05.2021-20.12.2021 10 kinnistut, mis juhtisid oma reovee osaliselt või täielikult sademevette. Reostuste põhjused olid vanad likvideerimata või amortiseerunud ühendused, uued ühendused, mis ekslikult olid sademevette juhitud ja hooldamata kanalisatsioonitorustik.

Kirjeldatud meetodika võimaldab reostajate leidmist kiiremini kui keemiliste üldnäitajate abil. Lisaks on indikaatorliikide määramine laboris odavam kui keemiliste üldnäitajate määramine. Selle meetodika nõrgemateks külgedeks on pikk ettevalmistus valgala põhjaliku kaardistamise näol ning indikaatorliikidega ei saa määrata tööstustreovett (nt autoremonditöökojad). Meetodika töötab kõige paremini soojal ja kuival perioodil, kui looduslikku vett on vähe.

*E. coli* osutus paremaks indikaatorliigiks kui *Enterococcus* ja edaspidi võiksid uuringud keskenduda keskmistatud proovivõtmisele, et uurida *E. coli* sisaldusi ööpäevaste käikudena, lisaks võiks mõõta ka paralleelselt vooluhulkasid. Kindlasti peaks uurima ka indikaatorliikide sisalduse aastaajalisi muutusi.

## Summary

Stormwater outlets have been monitored for years, but the stormwater catchment areas have been studied very little. The current study focused on the catchment of two stormwater outlets (Mustjõgi and Harku) flowing into Kopli Bay.

*Escherichia coli* and *Enterococcus sp* are both used as faecal indicator bacteria (FIB) to assess faecal pollution in drinking and recreational waters. In Estonia, the content of these FIB in stormwater has also been studied earlier, but a more thorough analysis has not been performed in the catchment areas. In the course of this study, the limit values proposed in the literature for indicator species were used to compare the results, the suitability of which was also assessed on the example of the studied catchment areas.

We proposed a methodology on how to use the analysis of indicator bacteria to detect contaminants. The methodology consisted of a thorough mapping of the catchment areas, then the catchment areas were divided into smaller sections and, taking into account the concentrations of indicator species in the water, 10 polluters were identified in the period 24.05.2021-20.12.2021 that discharged their wastewater partially or completely into stormwater. The causes of the pollution were old unexploited or depreciated connections, new connections that were mistakenly discharged into the stormwater, and unmaintained sewer.

The described methodology allows to find pollutants faster than with general chemical indicators. In addition, the determination of indicator species in the laboratory is cheaper than the determination of general chemical parameters. The weaknesses of this methodology are the long preparation in the form of a thorough mapping of the catchment area and the indicator types cannot be used to determine industrial wastewater (eg car repair shops). The methodology works best in warm and dry periods when natural water is scarce.

*E. coli* proved to be a better indicator species than *Enterococcus*. Further studies in this field could focus on averaged sampling to examine *E. coli* levels on a daily basis, and flow rates could be measured in parallel. Seasonal changes in the content of indicator species should also be examined.

## Kasutatud kirjandus

Ahmed, Warish, Kerry Hamilton, Simon Toze, Stephen Cook, ja Declan Page. 2019. „A review on microbial contaminants in stormwater runoff and outfalls: Potential health risks and mitigation strategies“. *Science of The Total Environment* 692: 1304–21.

AS Tallinna Vesi, ja Tallinna Tehnikaülikooli Keskkonnatehnika instituut. 2014. „Tallinna sademevee seire 2012-2014“. Lõpparuanne. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool; AS Tallinna Vesi.

Boehm, Alexandria B, ja Lauren M Sassoubre. 2014. „Enterococci as Indicators of Environmental Fecal Contamination“. *Enterococci: From Commensals to Leading Causes of Drug Resistant Infection*. Boston: Massachusetts Eye and Ear Infirmary.

Cho, K. H., D. Han, Y. Park, S. W. Lee, S. M. Cha, J-H. Kang, ja J. H. Kim. 2010. „Evaluation of the relationship between two different methods for enumeration fecal indicator bacteria: colony-forming unit and most probable number“. *Journal of Environmental Sciences* 22 (64): 846–50.

Eesti Standardimis- ja akrediteerimiskeskus. 2002. „EVS-EN ISO 7899-2:2002 - Vee kvaliteet. Soolestiku enterokokkide avastamine ja loendamine. Osa 2: Membraanfiltrereerimise meetod“. <https://www.evs.ee/et/evs-en-iso-7899-2-2002>.

Eesti Standardimis- ja akrediteerimiskeskus. 2014. „EVS-EN ISO 9308-2:2014 - Water quality - Enumeration of Escherichia coli and coliform bacteria - Part 2: Most probable number method (ISO 9308-2:2012)“. <https://www.evs.ee/et/evs-en-iso-9308-2-2014>.

EPA. 2012. „Recreational Water Quality Criteria“.

Ferguson, Donna M., John F. Griffith, Charles D. McGee, Stephen B. Weisberg, ja Charles Hagedorn. 2013. „Comparison of Enterococcus Species Diversity in Marine Water and Wastewater Using Enterolert and EPA Method 1600“. *Journal of Environmental and Public Health*, 1–6.

Ferguson, Donna M., D.F Moore, M.A Getrich, ja M.H Zhouandai. 2005. „Enumeration and speciation of enterococci found in marine and intertidal sediments and coastal water in southern California“. *Journal of Applied Microbiology*, nr 99: 598–608.

Jang, J., H-G. Hur, M.J. Sadowsky, M.N Byappanahalli, T. Yan, ja S. Ishii. 2017. „Environmental Escherichia coli: ecology and public health implications—a review“. *Journal of Applied Microbiology*, nr 123: 570–81.

Jin, Guang, A.J. Englande, H. Bradford, ja H-W. Jeng. 2004. „Comparison of E.Coli, Enterococci, and Fecal Coliform as Indicators for Brackish Water Quality Assessment“. *Water Environment Research* 76 (3): 245–55.

Kakkum, Tiit. 2011. „Tallinna sademevee väljalaskude seire“. Tallinn: OÜ Eesti Keskkonnauuringute Keskus.

Kakkum, Tiit. 2018. „Tallinna linna sademevee kvaliteedi seire“. Tallinn: OÜ Eesti Keskkonnauuringute Keskus.

Keskkonnaregister. „Kopli laht“. Vaadatud 7. mai 2022a.  
<https://register.keskkonnaportaal.ee/register/body-of-water/8378575>.

Keskkonnaregister. „Mustjõgi“. Vaadatud 7. mai 2022b.  
<https://register.keskkonnaportaal.ee/register/body-of-water/8378817>.

Lebreton, Francois, Rob J. L. Willems, ja Michael S. Gilmore. 2014. „Enterococcus Diversity, Origins in Nature, and Gut Colonization“. *Enterococci: From Commensals to Leading Causes of Drug Resistant Infection*. Boston: Massachusetts Eye and Ear Infirmary.

Lind, Silver, Helen Juhkama, Janek Reinik, Latvian Environment, Geology and Meteorology Centre, ja Terviseamet. 2017. „Tallinna sademevee seire 2015-2017“. Lõpparuanne. Tallinn: ELLE OÜ.

Lind, Silver, Agnes Saks, Kadri Kipper, Janek Reinik, Latvian Environment, Geology and Meteorology Centre, AS Tallinna Vesi Laborid, ja Eesti Keskkonnauuringute Keskus. 2021. „Tallinna sademevee seire 2019-2021“. Lõpparuanne. Tallinn: ELLE OÜ.

Lutsar, Irja, Marika Mihkelsaar, ja Tõnis Karki. 2007. „Echerichia coli“. *Meditiiniline mikrobioloogia. II osa, Bakterioloogia ja mükoloogia*, 102–7. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus.

Maharjan, Bharat. 2016. „Stromwater Quantity and Quality of Large Urban Catchment in Tallinn“. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool.

Mallard, Gail E. 1980. „Microorganisms in Stormwater - A Summary of Recent Investigations“. Syosset, New York.

Mendes Silva, Diana, ja Lucilia Domingues. 2015. „On the track for an efficient detection of Escherichia coli in water: A review on PCR-based methods“. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, nr 113: 400–411.

Noble, R. T., D. F. Moore, M. K. Leecaster, C. D. McGee, ja S. B. Weisberg. 2003. „Comparison of total coliform, fecal coliform, and enterococcus bacterial indicator response for ocean recreational water quality testing“. *Water Research* 37: 1637–43.

Riigi Teataja. 2019a. „Sotsiaalministri määrus nr 61 ‘Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimeetodid’“. 24. september 2019. <https://www.riigiteataja.ee/akt/126092019002>.

Riigi Teataja. 2019b. „Keskkonnaministri määrus nr 49 ‘Proovivõtumeetodid’“. 3. oktoober 2019. <https://www.riigiteataja.ee/akt/108102019001>.

Riigi Teataja. 2019c. „Sotsiaalministri määrus nr 63 ‘Nõuded suplusveele ja supelrannale’ Lisa 2“. 3. oktoober 2019.  
[https://www.riigiteataja.ee/akt/lisa/1081/0201/9004/SOM\\_m63\\_lisa2.pdf#](https://www.riigiteataja.ee/akt/lisa/1081/0201/9004/SOM_m63_lisa2.pdf#).

Roppola, Katri, Toivo Kuokkanen, Jaakko Rämö, Hanna Prokkola, ja Eeva Heiska. 2007. „Comparison Study of Different BOD Tests in the Determination of BOD7 Evaluated in a Model Domestic Sewage“. *Journal of Analytical Methods in Chemistry* 2007.



Selvakumar, Ariamalar, ja Michael Borst. 2006. „Variation of microorganism concentrations in urban stormwater runoff with land use and seasons“. *Journal of Water and Health* 04.1: 109–24.

Shergill, Sumandeep Singh, ja Robert Pitt. 2004. „Quantification of Echerichia coli and Enterococci Levels in Wet Weather and Dry Weather Flows“, 10:746–74. Water Environment Federation.

Sinirand, Ilmar. 1987. *Tallinna veevarustus ja kanalisatsioon läbi sajandite*. Tallinn: Valgus.

Sinirand, Ilmar. 1992. *Tallinna veevarustuse ja kanalisatsiooni minevik ja tänapäev*. Tallinn: Valgus.

Tallinna geomöödistuste infosüsteem. Vaadatud 26. mai 2022. <https://geoveeb.tallinn.ee/>.

Tallinna Tehnikaülikooli Keskkonnatehnika instituut. 2016. „Mustoja valgala veekvaliteedi, reostuskoormuse ja sademevee äravoolu uuring“. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool.

Tarr, Joel A. 1979. „The Separate vs. Combined Sewer Problem“. *The Search for the Ultimate Sink*, 131–58. Akron, Ohio: The Universitu of Akron Press.

Van Elsas, Jan Dirk, Alexander V Semenov, Rodrigo Costa, ja Jack T Trevors. 2010. „Survival of Escherichia coli in the environment: fundamental and public health aspects“. *The ISME Journal* 5: 173–83.

Walker, David I, Jonathan McQuillan, Michael Taiwo, Rachel Parks, Craig A Stenton, Hywel Morgan, Matthew C Mowlem, ja David N Lees. 2017. „A highly specific Escherichia coli qPCR and its comparison with existing methods for environmental waters“. *Water Research*, nr 126: 101–10.

## **Tänuavaldused**

Soovin tänada oma juhendajaid Toonika Rinckenit ja Eerik Jõgi ning ASi Tallinna Vesi keskkonna ja kvaliteedi osakonna töötajaid, kellega koostöös antud uuring läbi viidi.

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Liisa-Mai Nurk,  
(*autori nimi*)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

**Escherichia coli ja Enterococcus sp sisaldus sademevee reostuse indikaatorina Harku ja Mustjõe sademevee väljalaskude valgalade näitel,**  
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendajad on Toonika Rinke ja Eerik Jõgi,  
(*juhendaja nimi*)

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 4.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

*Liisa-Mai Nurk*  
**27.05.2022**