



Maastikuarhitektuuri õppetool

SÄÄSTLIKE SADEMEVEESÜSTEEMIDE
KASUTAMISVÕIMALUSED LINNARUUMI KUJUNDAMISEL,
TARTU, KAUNASE PUIESTEE VALGALA NÄITEL

Retrofitting Sustainable Drainage Systems in the Kaunase Puiestee
Catchment Area in Tartu, Estonia

Magistritöö

Autor: Anneli Kompus

Juhendaja: Sulev Nurme, MSc

Tartu

2015

Autorideklaratsioon

Olen magistritöö kirjutanud iseseisvalt. Kõigile töös kasutatud teiste autorite töödele, põhimõtteliste seisukohtadele ning muudest allikatest pärinevatele andmetele on viidatud.

..... (töö autori allkiri ja kuupäev)

Üliõpilase kood:

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele

..... (juhendaja allkiri ja kuupäev)

Kaitsmisele lubatud (kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees (allkiri)

Sisukord

Sissejuhatus.....	7
1. Sademevesi linnaruumis – säästlike lahenduste uurimise vajalikkus	9
2. Säästlike sademeveesüsteemide kujunemine	11
2.1 Sademevee äravoolu korralduse areng linnades	11
2.2 Säästlike sademeveesüsteemide kasutamise areng linnades	13
3. Säästlike sademeveesüsteemide kasutamisoskuse ja terminoloogia	15
4. Säästlike sademeveesüsteemide tehnoloogiad.....	19
4.1 Tehnoloogiate liigitamine	19
4.2 Setitamise tehnoloogiad	19
4.2.1 Kuivtiik	19
4.2.2 Märktiigid	21
4.3 Filtreerimise tehnoloogiad	24
4.3.1 Üldine kirjeldus.....	24
4.3.2 Maapealne liivafilter	24
4.3.3 Maa-alune liivafilter	26
4.4 Infiltratsiooni tehnoloogiad.....	27
4.4.1 Üldine kirjeldus.....	27
4.4.2 Imbtiigid.....	28
4.4.3 Imbkraavid	30
4.4.4 Imbkaevud	32
4.4.5 Vett läbilaskev pinnakate.....	33
4.5 Bioloogilistel protsessidel põhinevad tehnoloogiad.....	35
4.5.1 Üldine kirjeldus.....	35

4.5.2	Vihmaaed	35
4.5.3	Tehismärgalad.....	37
4.5.4	Maa-aluse filtriga märgalad	39
4.5.5	Haljaskraavid ja roheribad	39
4.5.6	Haljaskatus	41
4.6	Hoiustamise ja taaskasutuse tehnoloogiad	44
4.6.1	Vee kogumismahutid	44
5.	Säästlik sademeveesüsteem ökosüsteemiteenuste pakkujana	46
6.	Säästlikud sademeveesüsteemid linnamaastiku kujundajana	48
7.	Säästlike sademeveesüsteemide rakendamise võimalused linnas	53
8.	Säästlike sademeveesüsteemide kasutamine külmas kliimas	55
9.	Säästlike sademeveesüsteemide kontseptsioon Eestis	57
10.	Metoodika	60
10.1	Töö koostamise peamine meetod	60
10.2	Ülevaade varasemates sarnastes töodes kasutatud metoodikatest	60
10.3	Kaunase pst valgala valik	62
10.4	Töö läbiviimise tehniline kirjeldus	63
11.	Säästlike sademeveesüsteemide rakendamine Kaunase pst valgala	65
11.1	Hetkeolukord	65
11.2	Strateegiad ja meetmed Kaunase pst valgala	66
12.	Sademevee äravoolu tehnoloogiate võimalikud mõjud	73
13.	Säästlike sademeveesüsteemide rajamismaksumus Kaunase pst valgala	77
	Kokkuvõte.....	79
	Summary	81

Kasutatud kirjandus	82
Kasutatud illustratsioonid	89
Skeemid	89
Pildid.....	90

Sissejuhatus

Käesoleva magistr töö teema valik on autoril kujunenud paari viimase aasta jooksul. Esmane huvi teema vastu tekkis ameerika külalislektori prof. Daniel Hess'i loengut kuulates, kus käsitleti muuhulgas parklatesse rajatud bioloogilisi puhveralasid. Eelnev kokkupuude selliste süsteemidega autoril puudus, seega tärkas soov uurida lähemalt taoliste lahenduste olemust ja käsitlust linnaruumi kujundamisel. Teemasse süvenedes selgus, et mitmetes teistes riikides on erinevaid alternatiivseid lahendusi ja tehnoloogiaid sademevee ärajuhtimiseks rakendatud juba aastakümneid, kuid Eestis on sellealane praktika vähene. Lõputöö teema valiku oluliseks ajendiks on ka tõsiasi, et säästlikud sademeveelahendused on säästva arengu propageerimisel ning edendamisel oluline teema, mida on Eestis vähe uuritud ja kajastatud.

Säästlik sademeveesüsteem on pinnavee äravoolu süsteem, mida arendatakse jätkusuutliku arengu ideaalidega kooskõlas (Woods-Ballard *et al.* 2007, lk xxv). Sellise süsteemi tehnoloogiad tegelevad sademevee ärajuhtimisega, kasutades looduslikke protsesse. Kui traditsioonilise torustiku peamine eesmärk on sademevesi võimalikult kiiresti tekkekohast torustikku ja vastuvõtvasse veekogusse juhtida, siis säästlikud lahendused püüavad imiteerida looduslikku veeringet. Selliste süsteemide kasutamise tagajärjel suureneb sademevee äravoolu kvaliteet ja väheneb vastuvõtvasse veekogusse juhitava vee hulk ja reostus. Lisaks suurenevad ökoloogilised ja sotsiaalsed hüved linnakeskkonnas ning tekib rohkem võimalusi atraktiivsema ja mugavama linnaruumi loomiseks.

Eestis koostatud uuringud sademevee säästlikest süsteemidest on enamasti sisaldanud ülevaadet erinevatest tehnoloogiatest ja teinud arvutusi katustelt kogeneva vee taaskasutuse kohta, nii eramajade kui ka ühiskondlike hoonete puhul. Samuti on uuritud sademevee korraldust konkreetse arendusprojekti käigus Loode-Pärnus. Käesoleva magistr töö uurimisobjekt on 100 hektari suurune Kaunase pst valgala Tartus, Annelinnas. Töös otsitakse vastust küsimusele, kuidas on võimalik linnaruumis, laiaulatusliku valgala piires, korraldada sademevee käitlust säästvalt ja jätkusuutlikult?

Magistritöö eesmärgid on:

- anda ülevaade säästlike sademeveesüsteemidega seotud aineastiku kohta
- koostada strateegiline ettepanek säästlike sademeveesüsteemide rakendamise võimaluste loomiseks Kaunase pst valgalal
- koostada võrdlusanalüüs Kaunase pst valgalal olemasoleva sademeveelahenduse ning säästlikele sademeveesüsteemidele tugineva lahenduse mõjudest
- võrrelda traditsioonilise ja säästliku sademeveesüsteemi majanduslikku tasuvust rajamisel

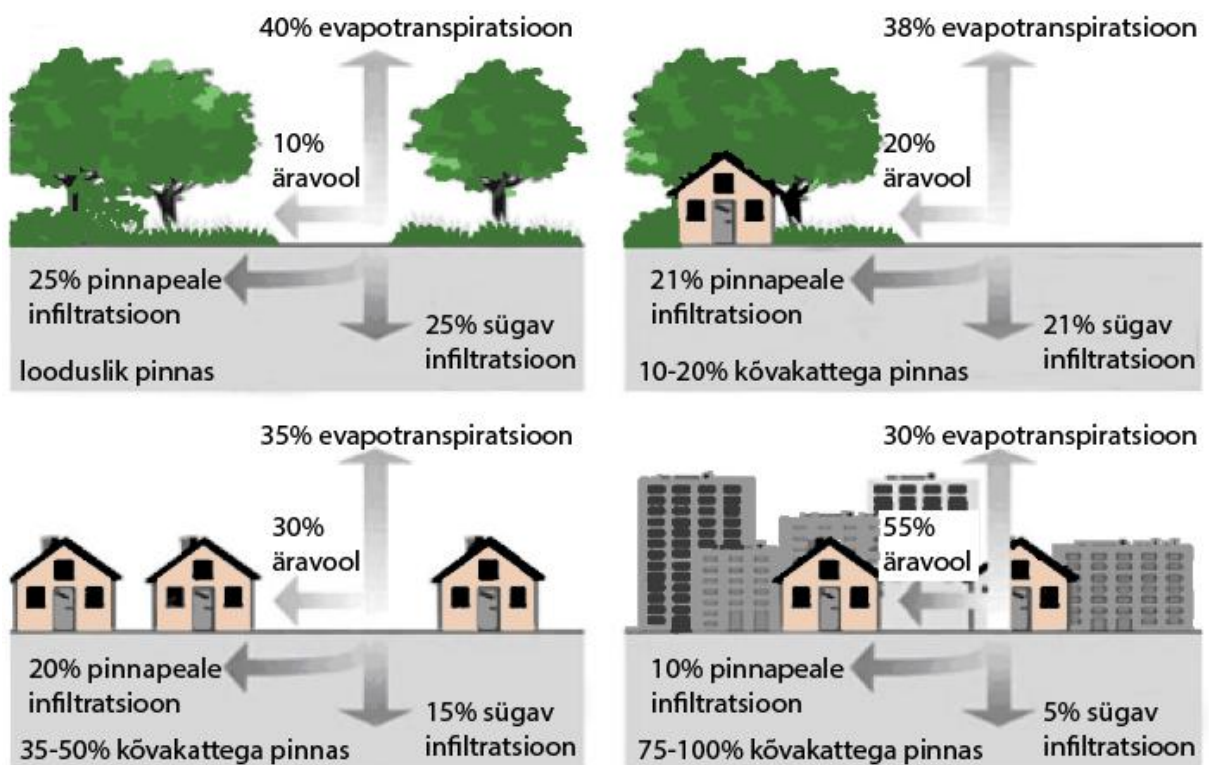
Magistritöös uuritakse säästlike sademeveesüsteemide rakendamise võimalusi Kaunase pst valgalal. Töös koostatakse valikalale strateegiline ettepanek erinevate tehnoloogiate kasutamise võimalustest, kasutades kirjandusallikates väljatoodud soovitusi ja varasemalt teostatud uuringutulemusi. Ettepanek koosneb üldisest tegevuskavast ja seda toetavast skeemist. Magistritöös analüüsitakse valitud säästlike tehnoloogiate ja traditsioonilise sademeveestruktuuri mõju ökoloogilistele, sotsiaalsetele ja majanduslikele aspektidele, kasutades kirjandusallikates väljatoodud uuringutulemusi. Võrreldakse säästliku ja traditsioonilise sademeveesüsteemi rajamismaksumust, kasutades ehitusmaterjalide ja taimestiku koondmaksumust ning ehitus- ja projekteerimistööde hindu.

Lõputöö autor soovib uurimistöö tulemusena kinnitada järgnevaid hüpoteese:

- 1) säästlikel sademeveesüsteemidel on oluline roll veeressursside jätkusuutliku kasutamise korraldamisel
- 2) säästlikel sademeveesüsteemide kasutamine Anne linnaosas pakub võimalusi avaliku ruumi paremaks kujundamiseks ja ökoloogiliste hüvede tekitamiseks
- 3) säästlike sademeveesüsteemide rakendamine linnaruumis on pikas perspektiivis tulusam kui ainult traditsioonilise sademeveestruktuuri kasutamine

1. Sademevesi linnaruumis – säästlike lahenduste uurimise vajalikkus

Linnade kasv ja nende osatähtsus on alates eelmise sajandi keskpaigast olnud tormakas. Maailma Ühinenud Rahvaste Organisatsiooni andmetel elab selle aasta seisuga veidi üle poole maailma rahvastikust linnades (ÜRO 2014). Majanduse ja ühiskonna kiirest arengust tingitud linnastumine on tekitanud suuri muutusi vee hüdroloogilises tsükli. Tänu suurele kõvakattega pindade osakaalule on linnades suurenenud sademevee pindmine äravool, vähenenud imbumine ja evapotranspiratsioon (koguarumine vee pinnalt ja läbi taimestiku) ning halvenenud pinnasesse ja veekogudesse juhitava sademevee kvaliteet (ENSR Corporation 2005) (skeem 1).



Skeem 1. Suureneva kõvakattega pinnakatete osakaalu mõju veeringele (allikas: United States Environmental Protection Agency)

Alternatiivsete tehniliste lahenduste kasutamine võib parandada linna veekäitluse efektiivsust ja infrastruktuuri funktsioone, seda eriti kuivemates piirkondades (Nelson 2012). Harjumuspäraste tavade muutmisel seisab ees mitmeid keerukaid ja mitmetahulisi väljakutseid, eriti sel juhul, kui olemasolevad ja kättesaadavad ressursid jõuavad säästliku eksploatatsiooni piirile (Brown

2012). Sademevee säästliku kasutamise planeerimisel tuleb tegeleda järjest suurenevate nõudmistega, mida toob endaga kaasa rahvastiku kiire kasv, kliimamuutused, veeressursside piiratus, keskkonnahoidlikkus ja sotsiaalsed mõjutused.

Investeeringud linna infrastruktuuri ja rekonstrueerimistöösse on järkjärguline protsess ning kogu infrastruktuuri ümberkorraldus ei ole majanduslikult ja keskkonnahoidlikult jätkusuutlik (Lloyd *et al.* 2012). Seetõttu on säästlikel tehnoloogiatel põhinevaid lahendusi võimalik integreerida olemasolevasse või kavandatavasse sademevee kanalisatsioonivõrgustikku, moodustades ühtselt töötavaid hübriidsüsteeme. Siinkohal leidub kirjanduses vähe viiteid, kuidas võimaldada sellist üleminekuprotsessi traditsioonilise sademeveekorralduse ja alternatiivsete säästlike lahenduste hübriidsüsteemide kasutamisele võtmisel (Ferguson *et al.* 2013).

Asjakohaselt kavandatud, ehitatud ja hooldatud säästlikud sademeveesüsteemid on jätkusuutlikumad, kui tavapärase sademevee äravoolumeetmete kasutamine, kuna need vähendavad linnastumise negatiivseid mõjusid keskkonnale. Säästlike sademeveesüsteemide kasutamise positiivsed aspektid on välja toonud Woods-Ballard *et al.* (2007):

- linnastumisega kaasneva suurenenud äravoolukoguste ja –sageduse vähendamine
- äravoolumäärade vähendamine, mis vähendab üleujutuste riske ka allavoolu
- sademevee reostusainete kontsentratsiooni vähendamine, mis kaitseb suublade (veekogu, kuhu sademevesi juhitakse) kvaliteeti
- juhuslike lekete puhver, mis takistab kõrge kontsentratsiooniga reostusainete sattumist otse pinnaveekogudesse
- kanalisatsiooni sattuva pinnavee hulga vähendamine, mis omakorda vähendab ühisvoolse süsteemi lekete riske ja reostunud vee sattumist otse maapinda
- linnaruumi esteetilise väärtuse tõstmine ja ökoloogiliste hüvede suurendamine
- elupaikade pakkumine ja bioloogilise mitmekesisuse suurendamine

Alternatiivseid lahendusi ja tehnoloogiaid on vaja uurida ja kajastada ka Eestis, et tagada veeressursside jätkusuutlik kasutus ja linnakeskkonna säästev areng.

2. Säätlike sademeveesüsteemide kujunemine

2.1 Sademevee äravoolu korralduse areng linnades

Sademevee käitlemise ajaloos on täheldatud nelja erinevat paradigmat, mis kirjeldavad linna veeressursside kasutamise evolutsiooni ja arengut (Novotny ja Brown 2007, lk xiv):

- madala pinnavee utiliseerimine, kergesti ligipääsetavate pinnaveekogude kasutamine ning inimeste, jäätmete ja vihmavee ühine kulgemine tänavatel kuni keskajani
- kavandatud veehaarded, -transportisüsteemid ja -hoidlad (Rooma akveduktid, maa-alused tsisternid) ning kanalisatsioon antiik- ja keskaja linnades
- ühis- ja lahkvoolne kanalisatsioon, suured investeeringud punktreostuse piiramiseks ja töötlemiseks 20.sajandi alguse linnades
- hajureostuse kaasamine veekäitluse infrastruktuuri 20.sajandi keskpaigast

Antiiktsivilisatsioonide linnade sademeveesüsteemid olid konstrueeritud suure põhjalikkusega, mille eesmärk oli vihmavee kogumine, üleujutuste ärahoidmine ja jäätmete edasitoimetamine. Tõenäoliselt saavutati soovitud tulemus katse-eksituse meetodiga, kus planeerimise ja disaini osakaal oli väike. Vaatamata sellele, võib mitmeid antiikaja sademeveesüsteeme hinnata väga edukateks. Linna sademevee äravoolu vaadeldi kui jäätmete edasitoimetamise mehhanismi, mis tekitas probleeme üleujutuste ja reostuse näol, kuid pakkus ka eluolulist loodusressurssi. (Burian ja Edwards 2002, lk 2)

Rooma impeeriumi perioodi jooksul tekkisid ulatuslikud tehnoloogilised edasimineked linnavee äravoolu korralduses. Olulisemad näited on vee transportimine kaugematest veehaaretest (Rooma akveduktid), suure maa-aluse kanalisatsioonisüsteemi väljaheitamine ning vee kogumine tsisternidesse hilisemaks kasutamiseks. Ehitati välja keeruline võrgustik avatud kanalite ja maa-aluse kanalisatsiooniga, rajades tahtmatult ühe varaseima näite linnalikust veetsüklist. Rooma impeeriumi languse tagajärjel hakkas enamike Euroopa linnade rahvaarv vähenema ning sellega kaasnes ka erinevate munitsipaalteenuste, sealhulgas ka kanalisatsioonisüsteemide hülgamine. Keskajal toimus vähe tehnoloogilisi uuendusi ning inimeste vähene huvi uuenduste vastu aitas kaasa kanalisatsiooni lagunemisele. Sellel perioodil pidasid enamik inimesi linna sademevee äravoolukorraldust ebavajalikuks teenuseks. Oluline

oli elada veekogu lähedal, kuna veetranspordi linna läbi akveduktide või torude ei toimunud. Kogu reovesi jõudis kohalikesse veekogudesse koos sademeveega. Inimeste väljaheitel koguti kokku ning neid kasutati muuhulgas ka eraaedades väetisena. (*ibid*, lk 5)

Esimesed modernsed sademevee äravoolu lahendused said alguse 19.sajandil, kui vesiklosettide kasutuselevõtuga suunati sademevee kanalisatsiooni ka olmereovesi ning ehitati välja ühiskanalisatsioon. Sellel perioodil toimus muutus inimeste suhtumises ning linnavee äravoolu korraldust hakati pidama elutähtsaks mehhanismiks linna infrastruktuuris. Avalikkuse toetusel algutati suurejoonelisi projekte põhjalike vee- ja kanalisatsioonisüsteemide ehitamiseks. Samuti muutus suhtumine sademeveesüsteemide rajamisse. Eelneva katse-eksituse meetodi asemel kaasati ka tehnilisi eksperte ning täiustati mitmeid ehitustehnoloogiaid ja -meetodeid. Tähelepanu pöörati ka vee puhastusmeetmetele, kuna lõputud reo- ja heitvee kogused, mis suublatesse juhiti, põhjustasid suuri probleeme rahva tervisele. (*ibid*, lk 10)

Alates 20.sajandi algusaastatest oli suhtumine linna sademeveesüsteemi, kui elutähtsasse mehhanismi kindlalt juurdunud. Insenerid täiendasid pidevalt erinevaid arvutusmetoodikaid tõhusamate tehnoloogiliste lahenduste leidmiseks. 20.sajandi teisel poolel toimus Ameerika Ühendriikides, Euroopas ja ka teistes maades mitmete, sademevee probleemidega tegelevate normatiivide ja standardite väljatöötamine. Viidi läbi ulatuslik seire, mis parandas arusaamu sademevee äravoolu hulga ja kvaliteedi omadustest ning võeti kasutusele arvutimudelid, mis täiustasid ehitus- ja analüüsimeetodeid. Linna sademevee äravoolu korraldamine oli 20.sajandi lõpul oluliselt laiahaardelisem. Lisaks tehnilisele ülesandele, kuidas linna sademevesi kiiresti ära juhtida, pöörati tähelepanu ka sotsiaalsetele, majanduslikele, poliitilistele, keskkondlikele ja seadusandlikele faktoritele. (*ibid*, lk 13)

21.sajandi linnades kerkib esile uus paradigma – jätkusuutliku ja toimetulekuvõimelise linna vesikonna süsteemide mudel, mis kasutab linna veekäitluse korraldamisel terviklikku lähenemist ja hõlmab endas kogu linnakeskkonda, mitte ainult selle üksikuid elemente (Novotny ja Brown 2007, lk xvi).

2.2 Säästlike sademeveesüsteemide kasutamise areng linnades

Esimesi, looduslikel protsessidel põhinevaid sademeveesüsteeme on rajatud juba 19.sajandi lõpul, kui Frederick Law Olmsted kujundas Bostoni linna rohealade süsteemi „Emerald Necklace“, mis koosnes mitmest, omavahel pargi- ja veeteedega ühendatud avalikust haljasalast. Nimetatud projekti võib pidada esimeseks tehislikuks süsteemiks, mis tegeleb linna sademevee ja kanalisatsiooni üleujutuste probleemidega, kasutades lahenduste leidmiseks looduslike protsesse. Näiteks konstrueeriti haljasalade süsteemi ajutine tiik ja taimestikuga kaetud märgalad, mille eesmärk oli kanalisatsiooni ja sademevee üleujutuste vähendamine (Eisenman 2013, lk 293). Kogu pargisüsteemi kujundus oli mitmekülgne, mis lõi nii atraktiivse ja hüvesid pakkuva linnaruumi kui tegeles ka sanitaar- ja üleujutusprobleemidega. Üldine lähenemine ja suhtumine sademeveekorraldusse jäi tollel ajal siiski oma ajastu piiridesse ning peamine tähelepanu oli tervishoiul, mitte keskkonna säästmisel.

Alates 20. sajandi keskpaigast kerkis esile uus lähenemine sademevee korralduses. Arenenud maad hakkasid tajuma olemasoleva sademeveesüsteemi ja keskkonna vahelist konflikti, mistõttu sademe- ja reovee kanaliseerimise korraldamisel pandi rohkem rõhku keskkonnakaitse küsimustele. Siiski lahendati enamik üleujutustega kaasnevatest probleemidest sademevee äravoolusüsteemide ehitamisega, mille eesmärk oli veevoolu efektiivne ärajuhtimine allavoolu jäävatesse suublatesse ehk tegeleti tagajärgedega, mitte põhjustega. Kuna linnad arenesid jõudsalt ning kõvakattega pindade osakaal aina kasvas, tekkis vajadus veelgi suuremamahuliste süsteemide rajamiseks. Lisaks oli suureks probleemiks sademevees sisalduva reostuse hulk, mis tulenes nii atmosfääris kui ka maapinnal olevast reostusest. Tulemuseks oli maapinna ja veekogude suur reostuskoormus ning vee kvaliteedi langus, mis seadis ohtu pinnavee tarvitamiskõlblikkuse. (Poletto ja Tassi 2012, lk 57)

Üksikuid, kuid märkimisväärseid projekte, mis tegelevad konkreetselt sademevee probleemi säästliku käitlemisega, võib välja tuua ka 1970ndatest. Houstonis, Teksases viidi läbi elamupiirkonna arendus „The Woodlands“, kus võeti kasutusele säästlike äravoolusüsteemide tehnoloogiad. Alal esines rohkesti kõrghaljastust ning osades piirkondades ei võimaldanud pinnase olukord sademeveel piisavalt efektiivselt imbuda. Arendusprojekti eesmärk oli loodusliku tasakaalu säilitamine, kasutades ära olemasolevat olukorda (tiigid, ojad, vett

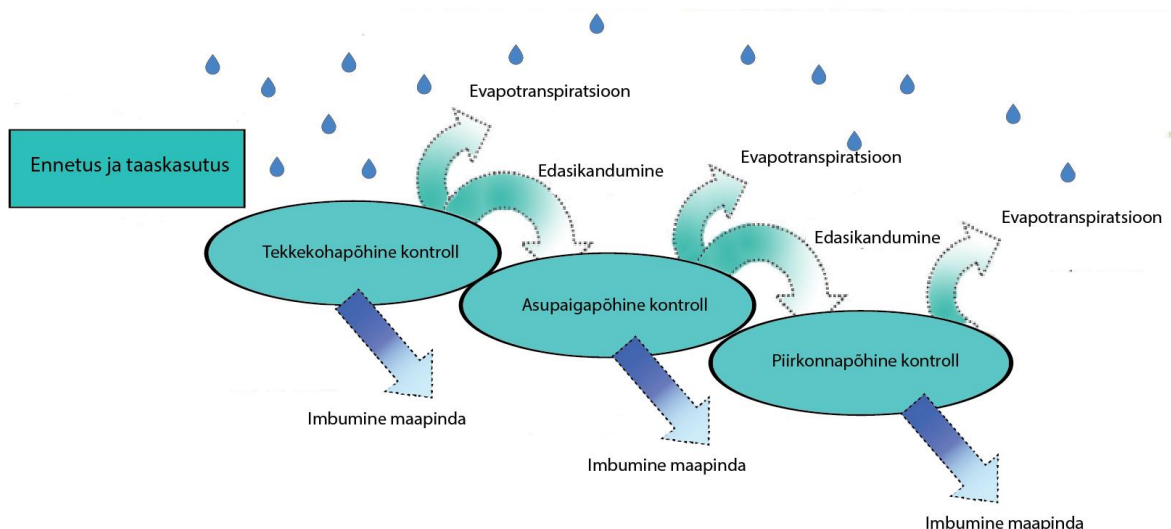
läbilaskvad pinnakatted, puud ja muud kohalik taimestik). Lisaks kujundati alale tehislikke tiike, valle, paisjärv ja haljaskraavid. Tulemusena kerkis elamupiirkond, mis suutis vastu võtta ja reguleerida suuri sademevee koguseid. Järgmine teedrajav projekt viidi läbi paar aastat hiljem Kalifornia osariigis, Davise linnas. Elamupiirkonna arenduse „Village homes“ käigus konstrueeriti projektalale keeruline haljaskraavide võrgustik, laiaulatuslik rohealade süsteem ja kuivtiigid, mis suudavad korruga vastu võtta kuni 10 aasta sademete hulga, ilma et tekiks vajadus sademevee ärajuhtimiseks torustikku. (Tunney 2001, lk 2)

20.sajandi keskpaigast alates on mitmetes riikides läbiviidud palju erinevaid innovaatilisi projekte, kuid tegemist on olnud üksikute juhtumitega ning üldised strateegiad ja arengusuunad olid sademevee korralduse osas eelkõige pühendunud sademevee ärajuhtimisele tekkekohast. Veekvaliteedi probleemide lahendamisel tegeleti siiski valdavalt tagajärgedega, mitte põhjustega. Mitmed riigid, eesotsas Ameerika Ühendriikide, Prantsusmaa ja Austraaliaga, pakkusid 1990ndate alguses välja uued strateegiad linna sademevee kvalitatiivseks ja kvantitatiivseks käitlemiseks. Põhirõhk oli sademevee säästlikumal korraldamisel, kasutades selleks loodusliku veeringe protsesse imiteerivate süsteemide tehnoloogiaid (Poletto ja Tassi 2012, lk 58). Viimase 10 aasta jooksul on sademevee äravoolu lahenduste kontseptsioonid arenenud jõudsalt nii teoorias kui praktikas. Linna sademevee äravoolu korraldamine on jõudnud seisu, kus arvestatakse väga laiaulatuslike keskkonna-, tervishoiu-, sotsiaal- ja majanduskaalutlustega (Fletcher *et al.*, 2014, lk 13). Toetatakse keskkonnakaitset, mille prioriteediks seejuures on reostuse vältimine tekkekohas ehk tegelemine põhjustega, mitte tagajärgedega (Pachel 2014, lk 26). Viimaste aastate arengusuunad sademevee käsitluses liiguvad aina terviklikuma lahenduse poole, mis haarab endasse kogu linnakeskkonna ja selle erinevad mõjutajad, kasutades vahenditena asula rohe- ja sinistruktuuri.

3. Säätlike sademeveesüsteemide kasutamisosofia ja terminoloogia

Säätlike sademeveesüsteemide kasutamine loodusliku veeringe protsesside imiteerimisel toetub kolmele, üksteist tasakaalustavale põhifunktsioonile: sademevee äravoolukoguste vähendamine, vee kvaliteedi parandamine ja hüvede pakkumine. Olenevalt kohaspetsiifilistest probleemidest võib rõhuasetus olla rohkem ühel või teisel funktsioonil. Säätliku sademeveesüsteemi puhul eelistatakse äravoolu käitlemist maapinnal, võimaluse korral kasutatakse tekkekohapõhist lähenemist ehk sademevee töötlemist võimalikult allikalähedaselt (Digman *et al.* 2012, lk 26).

Selleks, et võimalikult lähedaselt imiteerida loodusliku veeringe protsesse kogu valgalal, on sobiv kasutada sademevee käitlusahelat (skeem 2), mis kasutab erinevaid tehnoloogiaid jadamisi, et järkjärgult vähendada vee reostust, voolukiirust ja vooluhulki (Woods-Ballard *et al.* 2007). Käitlusahel koosneb neljast osast: ennetus, tekkekohapõhine kontroll, asupaigapõhine kontroll ja piirkonnapõhine kontroll. Sademevee liikumisel ühest süsteemist teise eelistatakse vett edasikandvate säätlike sademeveesüsteemide tehnoloogiate kasutamist.

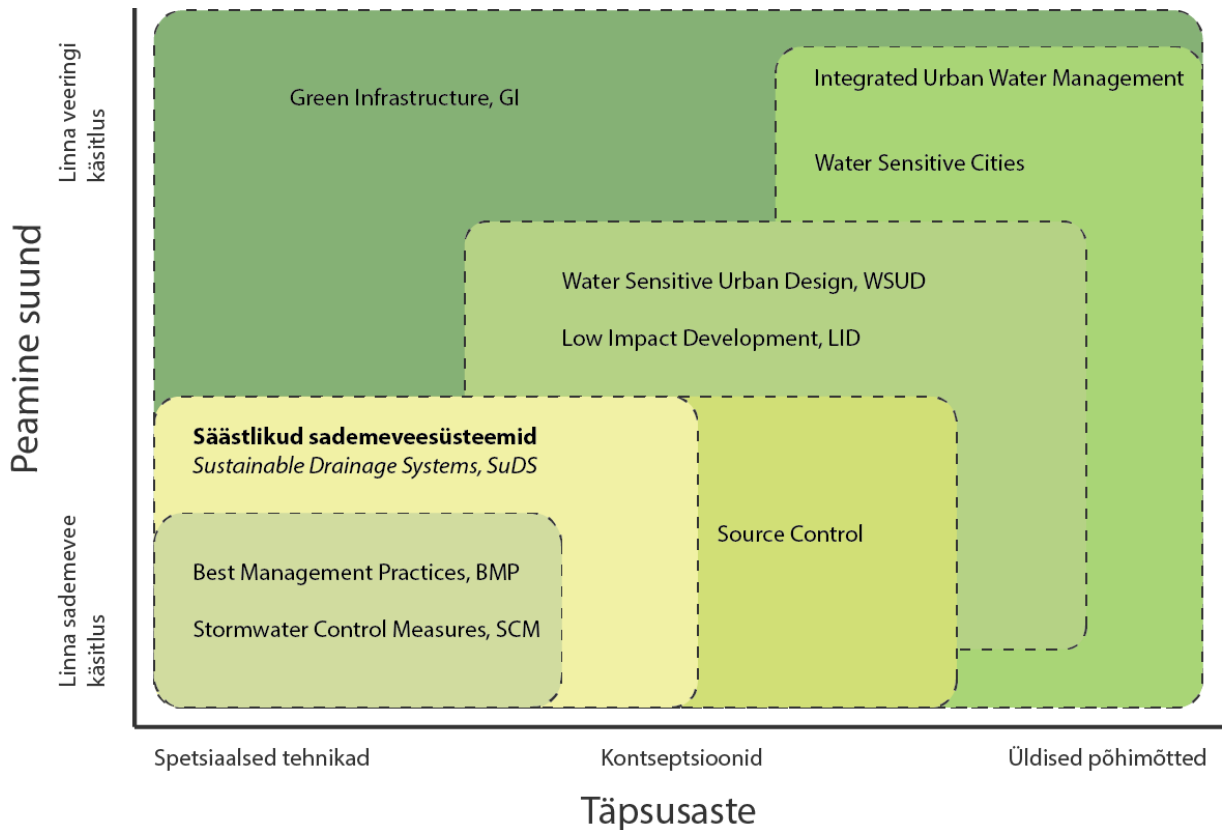


Skeem 2. Sademevee käitlusahel (allikas: Woods-Ballard *et al.* 2007, ptk 1-12)

Sademevee äravoolu probleemide ennetusmeetmeteks on sademevee taaskasutus niisutuseks ja kasutuseks majapidamises ning linnatänavate ja siseõuede korrapärase hooldus (teede ja parklate puhastus liivast, kruusast, tolmust, prügist ning muudest tahketest osakestest). Tekkekohakontrolli meetmed taaskasutavad ja hoiustavad sademevett selle tekkekohas (näiteks ühe krundi piires), kus vastavaks tehnoloogiaks on näiteks haljaskatus, vihmaaed, läbilaskev pinnakate või vihmavee mahuti, mis kollektiivse kasutusena mitmes tekkekohas korraga vähendavad oluliselt äravooluvee hulka ja kiirust, mida allavoolu olevad süsteemid peavad vastu võtma (Digman *et al.* 2012, lk 27). Asupaigapõhised meetmed korraldavad sademevee äravoolu suurema ala piires, juhtides sademevett näiteks ühe tänava või linnaosa majade katustelt ja parklatest suuremasse haljaskraavi või tiiki. Piirkonnapõhine kontroll tegeleb mitmest asupaigast edasijuhitud sademeveega, mida kontrollib tavaliselt märgala või muu püsiva veehulgaga tehnoloogia (Woods-Ballard *et al.* 2007). Asupaiga- ja piirkonnakontrolli puhul kasutatakse edasikandvateks tehnoloogiateks eelkõige haljaskraave ja roheribasid, mis juhivad ja töötlevad sademevett liikumisel ühest süsteemist teise. Sademevee käitlusahelat on võimalik kasutada igal pool, kuid kohaspetsiifilised tingimused määravad ära võimalike tehnoloogiate valiku. Kuigi eelistatuim variant on sademevee kontroll otse tekkekohas, ei ole see alati võimalik ning seetõttu on võimalik kasutada erinevaid äravoolu juhtimise ja kogumise mehhanisme.

Säästlike sademeveesüsteemide terminoloogia on riigiti erinevalt arenenud. Hoolimata erinevatest nimetustest, on peamine eesmärk sama – linnastumisega kaasnevate negatiivsete mõjude leevendamine linna veeringes. Näiteks Ameerika Ühendriikides ja Kanadas on kirjeldatud säästlike sademeveesüsteemide kontseptsiooni kasutades ingliskeelseid termineid „Low Impact Development“ (LID), „Best Management Practices“ (BMP) ja ka hiljutisem nimetus „Stormwater Control Measures“ (SCM), Uus-Meremaal „Low Impact Urban Design and Development“ (LIUDD), Austraalias „Water Sensitive Urban Design“ (WSUD), Inglismaal ja teistes Euroopa riikides „Sustainable Urban Drainage Systems“ (SuDS). Lisaks on kasutuses kontseptsioonid „Integrated Urban Water Management“ (IUWM), „Water Sensitive Cities“ ja „Source control“, mis samuti tegelevad sademevee äravooluga seotud probleemide uurimisega. Fletcher *et al.* (2014) koostatud uuring linna sademevee äravooluga seotud kontseptsioonide

terminoloogiast toob välja erinevate terminite sisulise ulatuse ja nende omavahelise kattumise, mis aitab iseloomustada nende seoseid ja ühtseid eesmärke (skeem 3).



Skeem 3. Linna sademevee terminoloogia üks võimalikest klassifikatsioonidest (allikas: Fletcher et al. 2014, lk 11)

Selline klassifikatsioon on vaid paindlik skemaatiline esitus, mis areneb aja jooksul edasi, kuid pakub siiski selgemat raamistikku erinevate riikide ja piirkondade sademevee käsitlemise kontseptsioonide kohta (Fletcher et al. 2014, lk 12).

Erinevate tehnoloogiate mitmekülgsus võimaldab planeerijatel ja inseneridel luua paindlikke lahendusi, mis arvestavad kohalike tingimuste ja tulevaste arengutega, funktsioneerides ka tulevikus. Erinevate tehnoloogiate kasutamine sõltub kohaspetsiifilistest tingimustest, kus olulised mõjutajad on sademevee hulk, topograafia, piisava ruumi olemasolu vajalike rajatiste ehitamiseks, rajatud infrastruktuur, ökoloogilised tingimused ja linnaplaneerimise üldised arengusuunad. Tehnoloogiate valikul tuleb arvestada kohaliku hüdroloogilise seisundiga,

põhjavee taseme ja kõikumisega ning geoloogiliste teguritega. Säästlike süsteemide rakendamine linnaruumis eeldab nii linnaplaneerijate, maastikuarhitektide, mullateadlaste, hüdro- ja geoloogide, geotehniliste- ja veeinseneride, kohaliku omavalitsuse ametnike, vee-ettevõtjate ja arendajate head koostööd. Vajalik on kindlaks määrata säästlike sademeveesüsteemide kasutamise eesmärk, milliseid probleeme see lahendab ja millised on sobivad lahendused kohalikus kontekstis.

4. Säätlike sademeveesüsteemide tehnoloogiad

4.1 Tehnoloogiate liigitamine

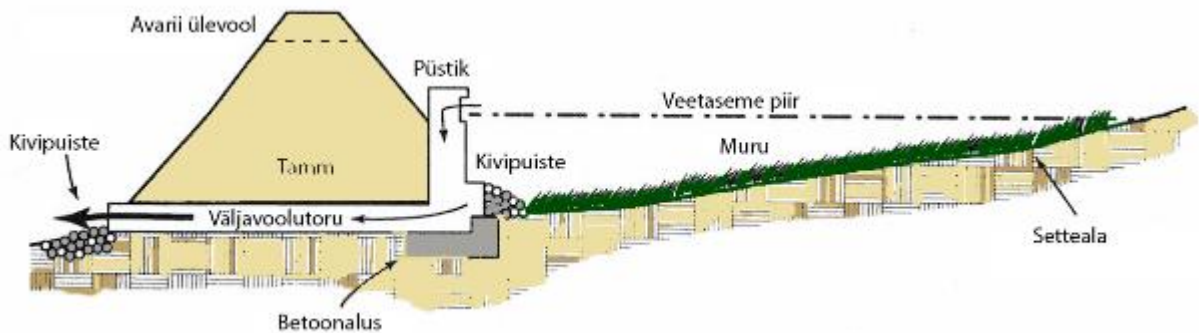
Sademevee äravoolu säästlikuks korraldamiseks on võimalik kasutada mitmeid erinevaid tehnoloogiaid. Läbi erinevate füüsiliste, bioloogiliste ja keemiliste protsesside nagu setitamine, filtreerimine ja immutamine, lisaks ka sademevee hoiustamine ja taaskasutus, väheneb sademevees reostuskoormus, voolukiirus ning suublatesse jõudva sademevee äravoolu hulk. Vastavalt süsteemis toimuvale peamisele tööprotsessile on tehnoloogiad võimalik jaotada 4 kategooriasse: sademeveest reostusosakeste väljasetitamine, vee filtreerimine, infiltratsioon maapinda ja bioloogiliste protsesside kasutamine (Erickson *et al.* 2013, lk 35). Lisaks saab eraldi liigitada viiendaks kategooriaks sademevee hoiustamise ja taaskasutuse. Mitmed säästlike sademeveesüsteemide tehnoloogiad kasutavad sademevee äravoolu käitlemiseks mitut tehnilist protsessi korraga. Näiteks samaaegselt sademevee filtreerimisega, toimub teatud määral ka vee immutamine maapinda. Seetõttu on kategooriate loomine säästlike sademeveesüsteemide puhul kirjanduses mõneti erinev ning esineb erinevaid klassifikatsioone. Käesolevas töös on tehnoloogiate jaotus tehtud süsteemis toimuva peamise ja tõhusaima käitlusprotsessi alusel.

4.2 Setitamise tehnoloogiad

4.2.1 Kuivtiik

Kuivtiik on ajutine, avatud veehoidla maapinnal, mis täitub sademeveega suurte vihmasadude ja tormide korral. Püsivat veetaset selline tiik ei hoia ning kogu kinnipeetud äravool suundub aeglaselt edasi. Tüüpiliselt toimub väljavool tiigist paari päeva jooksul. Sademevee äravoolu juhtimiseks kasutatakse sisse- ja väljavoolutorusid. Tavaliselt juhitakse vesi kuivtiiki, kus äravoolu kiirus aeglustub ning vees sisalduvad reostusosakesed sadenevad tiigi põhja. Teatud määral võib toimuda ka sademevee imbumine maapinda, aurustumine vee pinnalt ja aurustumine läbi taimestiku (Erickson *et al.* 2013, lk 37). Kuivtiike on kasutatud vett mitteläbilaskva pinnase korral, kus basseini rajamist ei mõjuta pinnaalused tingimused, nagu kaljune pinnas või kõrge põhjaveetase (Roach *et al.* 2012, lk 215), mis takistaksid sellise süsteemi ehitamist. Kuivtiike on võimalik rajada igas suuruses. Kuigi enamasti on tegemist

suuremõõtmeliste projektidega, (näiteks mitme tänava kõvakattega pindadelt tuleva sademevee ärajuhtimine) on võimalik ehitada ka väikseid mikrosüsteeme (näiteks ühe elamu krundi teenindamine). Näide ühest võimalikust konstruktsioonilahendusest on esitatud skeemil 4.



Skeem 4. Kuivtiigi skemaatiline läbilõige (allikas: United States Environmental Protection Agency)

Lahenduste väljatöötamisel on võimalus olla loominguline ja kasutada erinevaid materjale: murukate, kiviklibu, taimestik. Kuna setted langevad tiigi põhja, on vajalik teostada rutiinset hooldust (niitmine, puhastamine setetest), et säiliks süsteeme töövõime ja esteetiline välimus kuival perioodil. Erinevaid lahendusi leidub praktikas palju, illustratiivseks näiteks on toodud kuivtiik kaubanduspiirkonnas (pilt 1), kus sademevee juhtimisele süsteemi aitab kaasa kivise voolutee kasutamine. Pildil 2 on toodud kuivtiigi kasutamine elamuspiirkonnas koos madal ja kõrghaljastusega.

Kuivtiigi pindala on tüüpiliselt 0,5-2% valgala pindalast, (Weiss *et al.* 2007, lk 37), reostusainete eemaldamisvõime on hõljumi ja raskemetallide puhul keskmine ja toitainete puhul madal (Woods-Ballard *et al.* 2007).



Pilt 1. Kuivtiik kaubanduspiirkonnas. Teksas, Austin (allikas:Thompson Land Engineering)



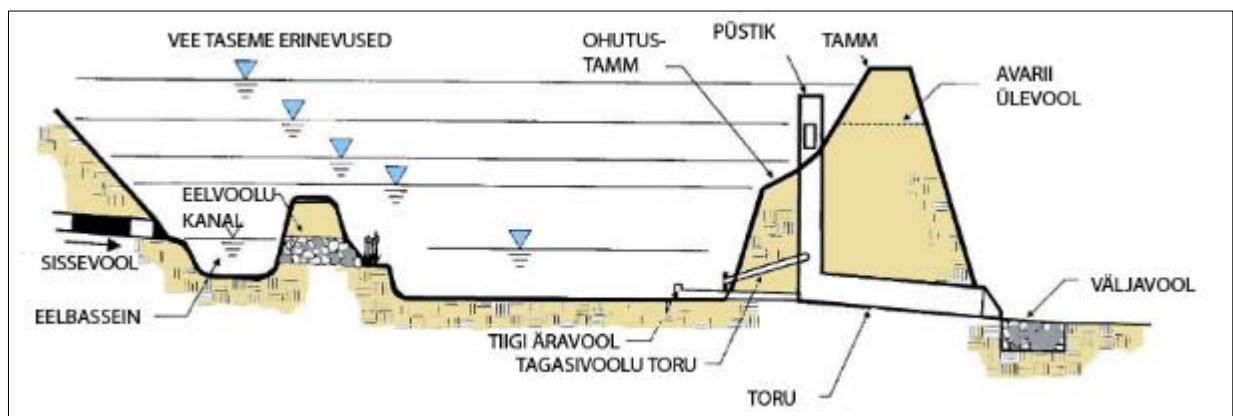
Pilt 2. Kuivtiik elamupiirkonnas. Suurbritannia, Leicester (allikas:Susdrain)

4.2.2 Märktiigid

Märktiigid on enamasti tehislikud veekogud, mille peamine eesmärk on edendada äravooluvee reostusega seotud aineosakeste settimist, samuti reguleerida sademevee äravooluhulka ja kaitsta alasid üleujutuste eest (Roach *et al.* 2012, lk 237). Kuigi märktiikides toimuvad ka bioloogilised

protsessid, on töös liigitatud selline tehnoloogia seadistamise kategooriasse, kuna peamine protsess on eelkõige reostusosakeste sadenemine. Lisaprotsessidena toimub märgtiigis veehulga reguleerimine ka läbi infiltratsiooni ja aurustumise. Vee infiltratsiooni ei toimu sel juhul, kui pinnas tiigi põhjas on vettpidav või põhjaveetaseme kõrgus ei võimalda sademeveel imbuda (Erickson *et al.* 2013, lk 38).

Olenevalt kliimatilistest tingimustest kavandatakse märgtiik tavapäraselt asukohta, mis suudab hoida enamik aastast pidevat veetaset. Alalise veehulga hoidmiseks peab tiigi põhja pinnas olema küllaltki vettpidav ning äravoolu valgala suhteliselt suur, et toimuks piisav sademevee sissevool tiiki (Roach *et al.* 2012, lk 237). Läbilõige märgtiigi ühest võimalikust konstruktsioonist on esitatud skeemil 5.



Skeem 5. Märgtiigi skemaatiline läbilõige (allikas: *The Stormwater Manager's Resource Center*)

Weiss *et al.* (2007) poolt läbiviidud uuringutulemused näitavad, et märgtiik suudab tänu pidevale veehulgale eemaldada rohkem reostusosakesi kui kuivtiik, kuna vee viibeag tiigis on pikem. Reostusosakeste eemaldamisvõime on märgtiigis hõljumi ja raskemetallide puhul kõrge, toitainete korral keskmine (Woods-Ballard *et al.* 2007).

Olenevalt kohaspetsiifilistest tingimustest on võimalikke konkreetseid lahendusi palju. Märgtiiki ehitamisel on võimalik kasutada mitmekülgset veelembelist taimestikku, mis talub linnaga kaasnevat reostust. Tiigi rajamisel on võimalik valida mitmete kujunduslahenduste vahel, ääristades kaldaäär taimestiku, muru või kividega. Et kindlustada süsteemi toimimine ja töövõime on vajalik ka korrapärane hooldus (puhastamine setetest kaldavööndis, niitmine).

Illustratiivne näide (pilt 3) on toodud märgtiigi kasutamisest kortermajade piirkonnas, kuhu on integreeritud ka purskkaev. Pildil 4 on toodud näide suuremahulise märgtiigi kasutamisest.



Pilt 3. Märgtiik. Rootsi, Austenborg (allikas: Urban Green-Blue Grids)



Pilt 4. Märgtiik. Georgia, Atlanta (allikas: Atlanta Beltline)

4.3 Filtreerimise tehnoloogiad

4.3.1 Üldine kirjeldus

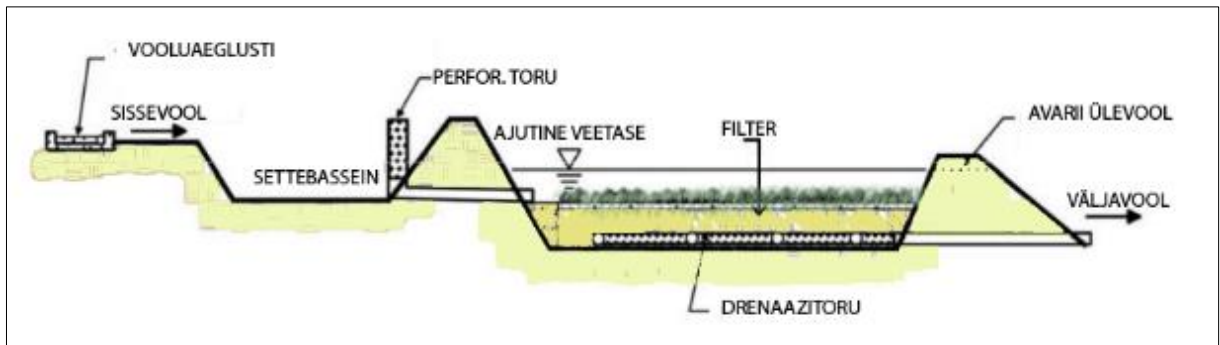
Sademevee äravoolu kvaliteedi tõstmisel kasutatakse palju ka filtreerimise protsessil põhinevaid tehnoloogiaid. Filter on süsteem, mis koosneb poorse materjali peenrast ehk filtermeediast, sademevee ajutisest kollektorist, äravoolu ning möödaviigu torudest ja teatud juhtudel ka teisejärgulisest paisusilmast. Filtersüsteemi tööpõhimõte on äravoolu puhastamine ning edasi suunamine. Filtrid võivad juhtida sademevett nii veekogudesse, pinnasesse, järgmisesse veepuhastussüsteemi kui ka sademevee torustikku. Sellistes süsteemides toimub tänu poorsele materjalile reostusaineosakeste filtreerumine ning adsorptsiooni ja ioonvahetuse põhiprotsessid. Mida pikem on kontakt poorse materjali ja sademevee vahel, seda efektiivsem on sademevee puhastus. Filtreerimismaterjaliks võib kasutada nii puhast liiva kui ka keerulisemaid bioloogiliselt aktiivseid segusid (nt kruusa, mulla ja orgaanilise aine segu), samuti palju teisi granuleeritud materjale. Lisaks on võimalik kasutada erinevate ettevõtete poolt toodetud tehismaterjalist filtersüsteeme. Porse materjali pind võib sisaldada ka vegetatsiooni (eelkõige murukate). Et säiliks süsteemi töövõime on vaja teostada regulaarset ülevaatust ja hooldust (niitmine ja ülevaatus korra aastas, setete eemaldamine iga kolme aasta tagant). Erinevaid filtreid on võimalik paigutada nii maapinnale kui maa alla, viimasel juhul on võimalus rajada filtri kohale (eriti tehislikke filtrite puhul) ka muud infrastruktuuri, näiteks parklaid. (Ballestro ja Aldrich 2012, lk 291-293)

4.3.2 Maapealne liivafilter

Maapealse liivafiltri puhul on poorseks materjaliks puhas liiv või kruus, läbi mille toimub sademevee äravoolu puhastusprotsess. Tüüpilise lahenduse korral voolab sademevesi ülesvoolu olevast kollektorist läbi perforeeritud toru liivafiltrisse, kust see omakorda maapinda ja/või järgmisse äravoolusüsteemi imbub. Selliste filtrite abil suureneb oluliselt vee kvaliteet, kuigi läbiva sademevee koguste kontrollimine ja vähendamine jääb tagasihoidlikuks. Reostusosakesi filtreerivaks materjaliks on liiv või kruus, mille osakeste suurus on valitud vastavalt kohalikele oludele, et saavutada vajalik poorsusaste. Maapealset liivafiltrit ei ole soovitatav kavandada

paikadesse, kus esineb suur settekoormus (nt ehitusplatsid). (Ballestro ja Aldrich 2012, lk 298-300)

Maapealse liivafiltri üks võimalik konstruktsioonilahendus on esitatud skeemil 6, kuhu on sademevee eeltöötamiseks konstrueeritud ka settebassein, mis vähendab äravoolu kiirust ja liivafiltrile juhitava vee mahtu.



Skeem 6. Maapealse liivafiltri skemaatiline läbilõige (allikas: Virginia Water Resources Research Centre)



Pilt 5. Maapealne liivafilter. New York, Seneca (allikas: Montgomery County Environment Protection)



Pilt 6. Maapealne liivafilter, Maryland, Rockville (allikas: Montgomery County Environment Protection)

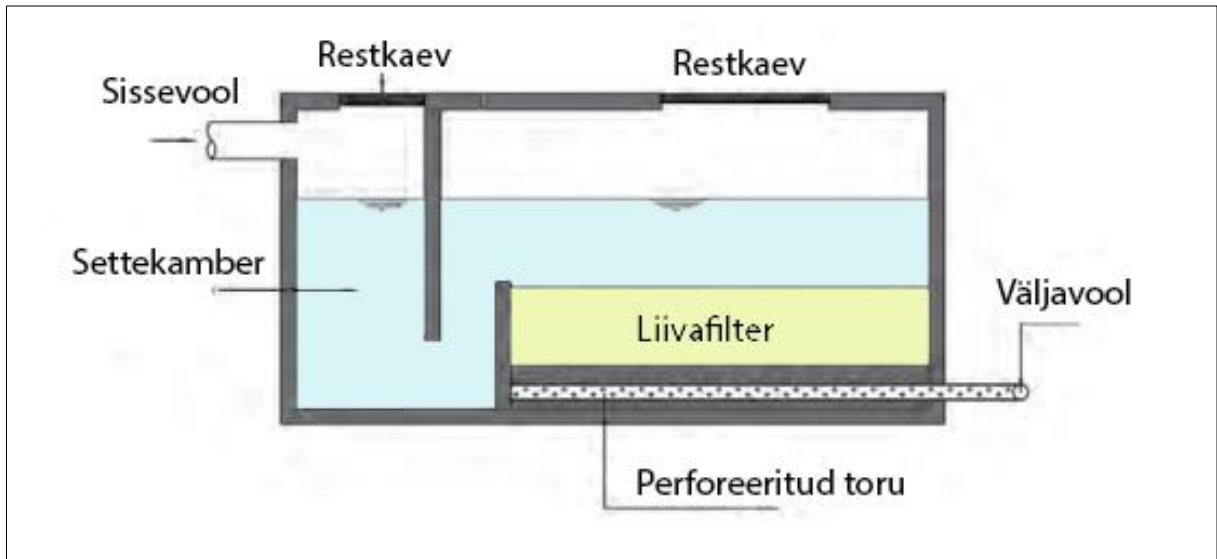
Sademevee kvaliteedi parandamine toimub liivafiltris läbi füüsilise sõelumise, mis püüab kinni vees olevaid reostusosakesi. Kinnipeetud osakesed kogunevad filtri poorides, mis võivad tekitada ummistusi tulevikus, seega on soovitatav eeltöödelda sademevett ülesvoolu asuvates süsteemides, enne liivafiltrisse jõudmist (Erickson *et al.* 2013, lk 39-40). Liivafiltris on hõljumi ja raskemetallide eemaldamisvõime kõrge, toitainete eemaldamine keskmine (Woods-Ballard *et al.* 2007).

4.3.3 Maa-alune liivafilter

Maa-aluse liivafiltri puhul on kogu süsteem (sademevee kollektor, liivafilter, sisse-ja väljavoolu torud) viidud maa alla ning sademevee liikumine läbi filtri toimub sarnaselt maapealse liivafiltriga. Maa-aluste filtrite kavandamisel tuleb valida suhteliselt tasane pinnas, kus põhjaveetaseme kaugus filtrist on piisavalt suur. Eelkõige kasutatakse maa-alust liivafiltrit tiheda asustusega linnapiirkondades, kus ruumipuuduse tõttu pole võimalik rajada maa-pealseid süsteeme. (Ballestro ja Aldrich 2012, lk 309-310)

Maa-aluse liivafiltri üks võimalikest konstruktsioonidest on esitatud skeemil 7. Süsteemi kohale on võimalik rajada nii murualasid kui ka näiteks kergema koormusega parklaid ja kergliiklusteid.

Reostusosakeste eemaldamisvõime maa-aluses liivafiltris on suur hõljumi ja raskemetallide korral ja madal toitainete puhul (Woods-Ballard *et al.* 2007).



Skeem 7. Maa-aluse liivafiltriga seadme skemaatiline läbilõige (allikas: New Zealand digital library)

4.4 Infiltratsiooni tehnoloogiad

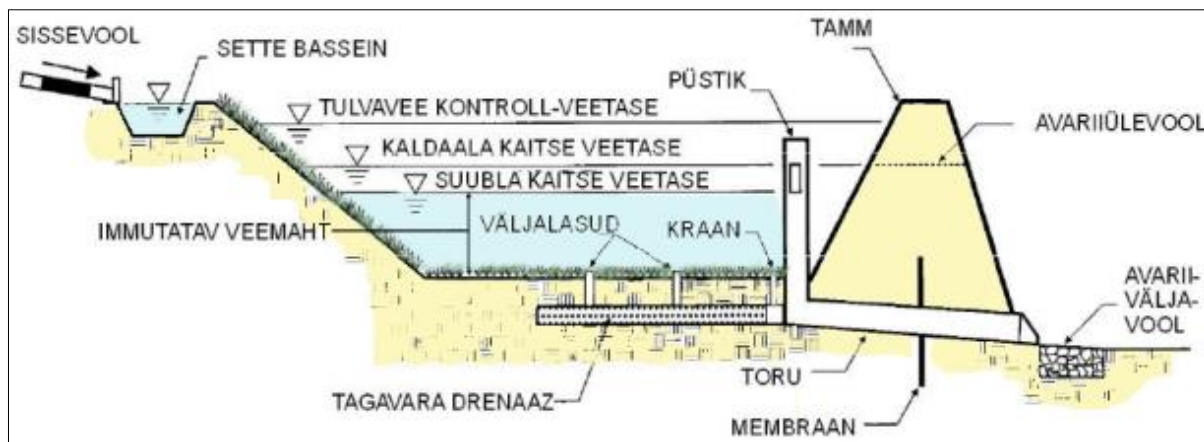
4.4.1 Üldine kirjeldus

Kui säästliku tehnoloogia peamine tööprotsess on sademevee infiltreerimine, toimub süsteemis kogutud vee immutamine pinnasesse läbi füüsiliste ja keemiliste protsesside. Eristatakse kahte tüüpi immutust: maapealne ja maa-alune immutamine. Esimese puhul koguneb sademevesi maapinnal olevasse süvendisse, tavaliselt tiiki või kraavi, kust vesi pinnasesse imbub. Teise puhul siseneb vesi maa-alusesse reservuaari ehk imbsüsteemi, mis on kas tühi või täidetud kivide või muu toestava materjaliga. Maa-aluse süsteemi puhul imbub vesi pinnasesse reservuaari põhja ja külgede kaudu. Et säiliks süsteemi töövõime on vajalik teostada regulaarset ülevaatus ja hooldust (suuremate tahkiste eemaldamine kord aastas, setete eemaldamine iga viie aasta tagant). Infiltratsioonisüsteemi rajamiseks on vaja läbilaskvat pinnast, soodsat geoloogilist seisundit ja püsivat põhjavee seisundit. Näiteks ei sobi sademevee immutamine karstialadele, mis võib kaasa tuua pinna-aluste kivimite erosiooni. (Aldrich 2012, lk 350)

4.4.2 Imbtiigid

Imbtiik (ka nimetusega imbväljak) on looduslik või tehislik veehoidla, mis kogub ja hoiustab ajutiselt sademevett ning immutab selle teatud aja jooksul maapinda. Imbtiigi põhjaprofiil on tihti lame ja kaetud tiheda taimestikuga, parimaks pinnasetüübiks asupaiga valikul on vett hästi läbilaskev pinnas, mis võimaldab sademeveel imbuda. Reostus- ja toitainete eemaldamine toimub läbi keemiliste, bioloogiliste ja füüsiliste protsesside. Süsteemi peamine eesmärk on sademevee äravoolu koguste vähendamine läbi infiltratsiooni, kuigi teatud määral esineb veekadu ka läbi aurumise ja evapotranspiratsiooni. (Erickson *et al.* 2013, lk 45)

Imbtiik on oma olemuselt kuivtiik, kus puuduvad ära- ja ülevoolu torud ning sademevee väljavool süsteemist toimub tänu vee imbumisele läbi tiigi põhja ja külgede. Imbtiigi pikaajalise toimimise tagamiseks ja võimaliku erosiooni vältimiseks on oluline valida kvalifitseeritud geotehnilise inseneri, geoloogi või mullateadlase abiga sobiva pinnase ja hüdro-geoloogiliste tingimustega asukoht (Aldrich 2012, lk 361). Skeemil 8 on esitatud imbtiigi näidiskonstruktsiooni läbilõige.



Skeem 8. Imbtiigi skemaatiline läbilõige (allikas: Pennsylvania Department of Environmental Protection)

Reostusosakeste eemaldamisvõime on suur hõljumi ja raskemetallide korral ning keskmine toitainete puhul (Woods-Ballard *et al.* 2007). Illustratiivne näide imbtiigist on toodud pildil 7, mis tegeleb sõiduteelt koguneva sademevee äravoolu reguleerimise ja puhastamisega. Pildil 8 on toodud näide imbtiigi kasutamisest haljasalal.



Pilt 7. Imbitiik. Ohio, Columbus (allikas: Southwest Urban Hydrology)

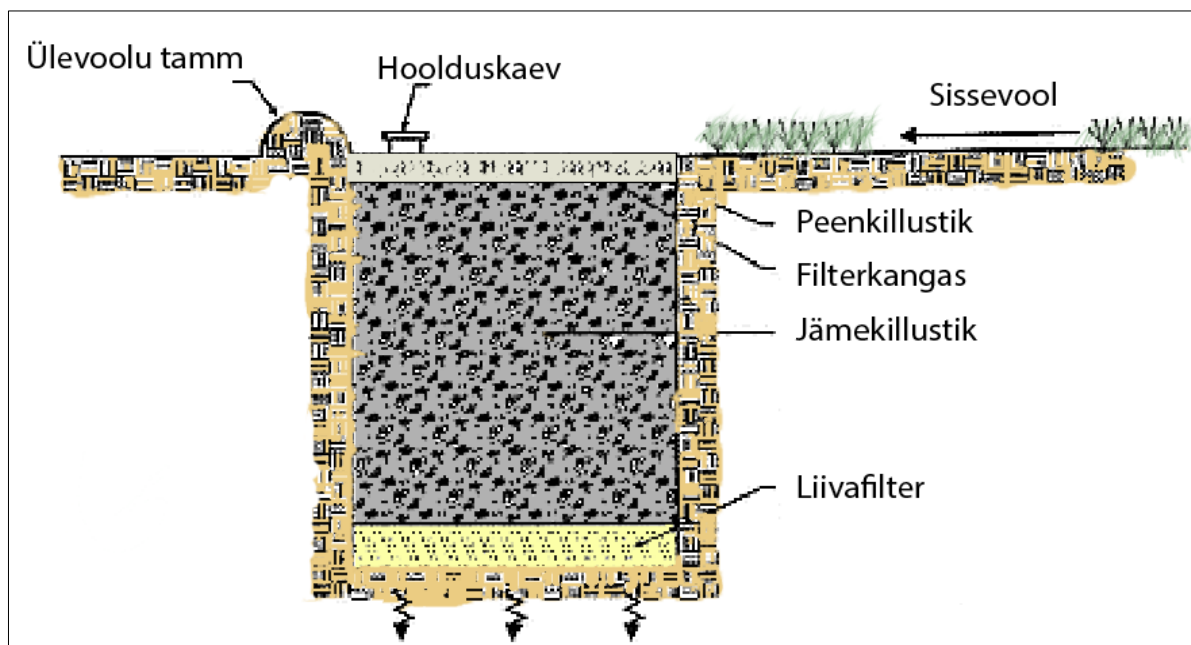


Pilt 8. Imbitiik Kalifornia, Emerywill (allikas:Blue-Green Building)

4.4.3 Imbkraavid

Imbkraavid on kaevikulaadsed infiltratsioonisüsteemid, mis koguvad ja immutavad sademevett. Tavaliselt on kraavid täidetud kivimitega, et toetada muldseinu ja tekitada maa-aluseid veereservuaare, kus sademevesi aeglaselt pinnasesse imbub. Kivi asemel kasutatakse ka plastvõre struktuure, et suurendada kraavi poorsust ja vähendada kraavi suurust. Et tagada imbkraavi töövõime, on oluline eeltöödelda sademevee jämedamaid setteid enne imbkraavi sisenemist (näiteks roheribade ja haljaskraavide kasutamine ülesvoolul). (Aldrich 22012, lk 370)

Tihedamini kasutatakse imbkraave kõvakattega teede ja parklate juures, sageli koos roheribaga. Läbilõige tüüpilisest konstruktsioonist on esitatud skeemil 9.



Skeem 9. Imbkraavi skemaatiline läbilõige (allikas: United States Environmental Protection Agency)

Imbkraavi pikkus oleneb kohalikest tingimustest ja äravooluhulga suuruselt. Näide pildil 9 illustreerib suurema skaalaga kraavi kasutamist parklas, näide pildil 10 iseloomustab väikesema mahuga kraavi kasutusviisi elumaja läheduses. Reostusosakeste eemaldamisvõime imbkraavis on hõljumi ja raskemetallide korral kõrge, toitainete puhul madal kuni keskmine (Woods-Ballard *et al.* 2007).



Pilt 9. Imbkraav. Kanada, Niagara Falls (allikas: theAgritect)

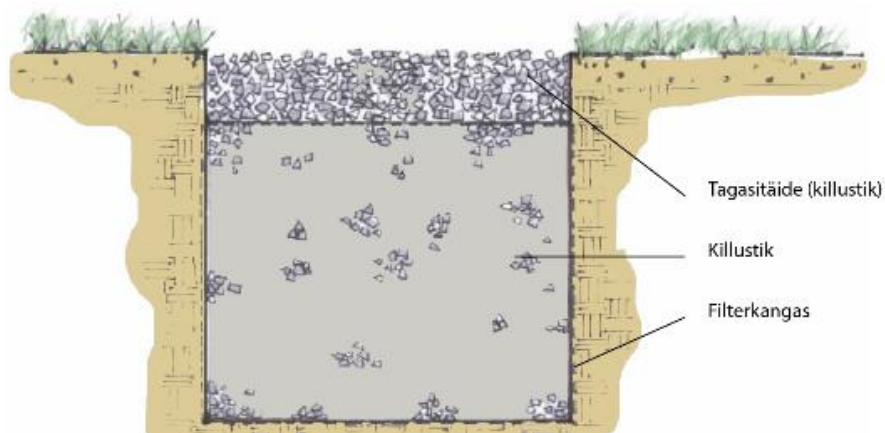


Pilt 10. Imbkraav. New Hampshire, Wakefield (Allikas: Acton Wakefield Watersheds)

4.4.4 Imbkaevud

Imbkaevud on maa-alused struktuurid, mis on kavandatud väikeste sademevee vooluhulkade infiltreerimiseks. Maapinnalt koguneb vesi maa-alusesse reservuaari, kust see aeglaselt pinnasesse imbub. Selliseid süsteeme kasutatakse ainult väikse valgalaga paikades, kus sobiv sademevee äravooluala suurus on kuni pool hektarit ning vaba ruumi teiste lahenduste kasutamiseks on vähe. Imbkaev sobib hea hüdraulilise juhtivusega pinnase puhul, mis tagab mõistliku infiltatsioonimäära. Osades piirkondades kasutatakse imbkaeve tsentraliseeritud sademevee äravoolusüsteemi asemel, kus sademevesi juhitakse katustelt ja teistelt kõvakattega pindadelt otse imbkaevu. Kaevu põhja kaugus põhjavee kõrgeimast tasemest või aluspõhja kivimitest peab olema vähemalt 1,2 meetrit, et vältida põhjavee reostusohte. (Aldrich 22012, lk 376)

Lihntne konstruktsiooninäide imbkaevust on näidatud skeemil 10, kus kaevatud süvend on täidetud killustiku või muu peene agregaadiga, mis hoiab ära kaevu seinade kokkuvarisemise. Võimalik on kasutada veereservuaariks ka plastmassmahuteid (skeem 11), millel on suurem sademevee mahutamisevõime kui ainult killustikuga täidetud imbkaevul. Reostusosakeste eemaldamisevõime imbkaevus on hõljumi ja raskemetallide korral keskmine, toitainete puhul madal (Woods-Ballard *et al.* 2007).



Skeem 10. Imbkaevu skemaatiline läbilõige (allikas: United States Environmental Protection Agency)

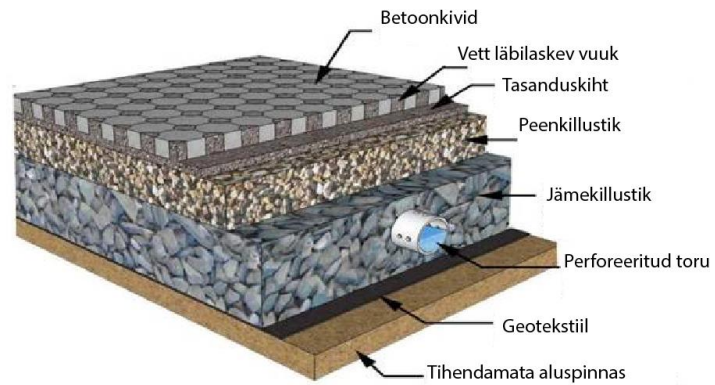


Skeem 11. Imbkaevu skemaatiline läbilõige (allikas: *The family Handyman*)

4.4.5 Vett läbilaskev pinnakate

Vett läbilaskev pinnakate on sademevee juhtimise süsteem, mis koosneb suure kandevõimega, vastupidavast ja vett läbilaskvast pinnasillutisest, mis juhib sademevee pinna-alusesse kihilisse struktuuri. Seal toimub sademevee ajutine hoiustamine seni, kuni vesi pinnasesse imbib või aeglaselt dreneažitorusse vabaneb. Läbilaskva pinnakatte peamised kolm tüüpi on poorne asfalt, poorne betoon ja erinevad omavahel põkkuvad sillutised (sh vuugimuru). Vett läbilaskev pinnakate alandab sademevee äravooluhulka, puhastab sademevett ja vähendab teiste sademevee infrastruktuuri elementide (restkaevud, torud ja veehoidlad) kasutamise vajadust. Süsteemi töövõime säilitamiseks on vajalik teostada regulaarset ülevaatus ja hooldust (prügi ja suuremate tahkiste koristamine iganädalaselt, pinna-aluste setete eemaldamine olenevalt vajadusest iga 15-20 aasta tagant). Tihedamini kasutatakse vett läbilaskvat pinnast kerge liiklussagedusega aladel (parklad, elumajade piirkond, tupikud, jalgteed, sissesõiduteed ja siseõued), kus maapinna kalded on väikesed ja pinnakate suudab vastu võtta kasutuskooormust. (Aldrich 2012, lk 380)

Reostusosakeste eemaldamisvõime on kõrge nii heljumi, raskemetallide kui ka toitainete puhul (Woods-Ballard *et al.* 2007).



Skeem 12. Betoonkivi sillutise skemaatiline konstruktsioon (allikas: Virginia Water Resources Research Center)



Pilt 11. Kivisillutis parklas Kalifornia, Santa Monica (allikas: Green Values Stormwater Toolkit)



Pilt 12. Pornee asfalt New York, Clark (allikas: Grotto Engineering)

4.5 Bioloogilistel protsessidel põhinevad tehnoloogiad

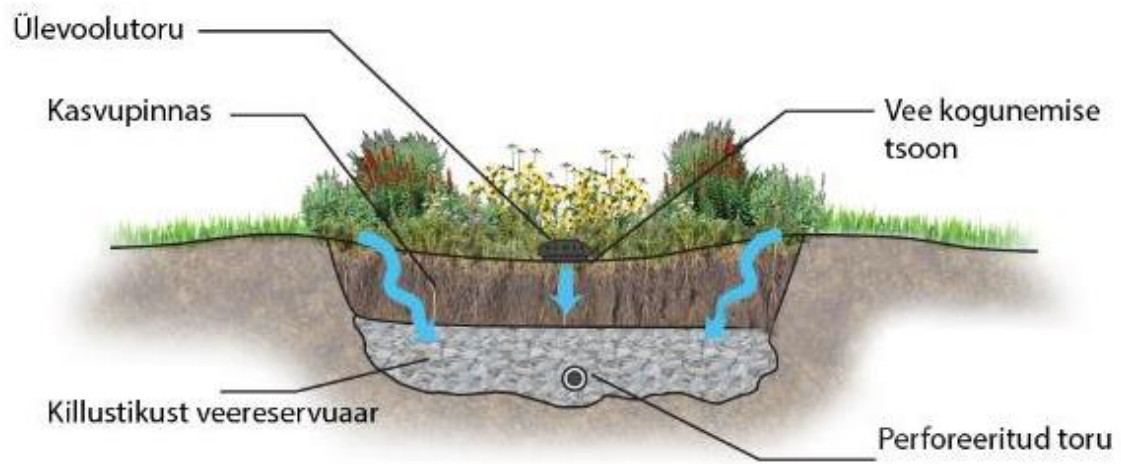
4.5.1 Üldine kirjeldus

Bioloogilistel protsessidel põhinevate süsteemide kategoorias on välja toodud säästlikud sademevee tehnoloogiad, kus peamine roll sademevee äravoolu reguleerimisel on bioloogilistel protsessidel. Enamasti on tegu looduslike või tehislake madalate nõgude ja kraavidega, mis on taimestatud ning kuhu on juhitud veekindlatelt pinnastelt kogunev sademevesi (Erickson *et al.* 2013, lk 48). Olenevalt konstruktsioonist võib läbi süsteemi toimuda sademevee immutamine, filtreerimine ja ka edasijuhtimine järgmisse äravoolu käitlemise süsteemi, suublasse või sademeveekanaliseerimisele. Süsteemi töö võime säilitamiseks on vajalik teostada regulaarset ülevaatus ja hooldust (taimestiku hooldus ja suurte tahkiste eemaldamine korra aastas, setete eemaldamine olenevalt vajadusest, tüüpiliselt iga 5-8 aasta tagant) (Barrett 2012, lk 436-479).

4.5.2 Vihmaaed

Maapealse liivafiltri kontseptsiooni edasiarendus on vihmaaed (kasutatakse ka nimetust vihmapeenar), kus filtreerivaks materjaliks on liivast, kruusast, kompostist, multšist ja mullast koosnev segu. Vihmaaeda eesmärk on sademevee vooluhulkade vähendamine läbi infiltratsiooni ja niiskuskadude. Selleks soodustab vihmaaed taimestiku kasvu ning püüab imiteerida asukoha linnastumise eelset veeringet. Lisaks sademevee vooluhulkade aeglustamisele, toimuvad süsteemis ka sademevee puhastamise protsessid. Sarnaselt maapealsete liivafiltritega on vihmaaeda lihtsam kavandada laugema maapinnaga kohtadesse. (Ballestro ja Aldrich 2012, lk 313-316)

Reostusosakeste eemaldamisvõime vihmaaias on hõljumi ja raskemetallide puhul kõrge, toitainete korral keskmine (Woods-Ballard *et al.* 2007). Vihmaaedade suurus ja erineva taimestiku kasutus sõltub kohalikest tingimustest. Üks võimalik konstruktsioonilahendus on antud skeemil 13. Pildil 13 on näidatud vihmaaeda kasutamine parklast koguneva sademevee töötlemiseks ja pildil 14 sõiduteedelt koguneva sademevee töötlemiseks.



Skeem 13. Vihmaia skemaatiline läbilõige (allikas: Landscape Architects and Contractors Central Indiana)



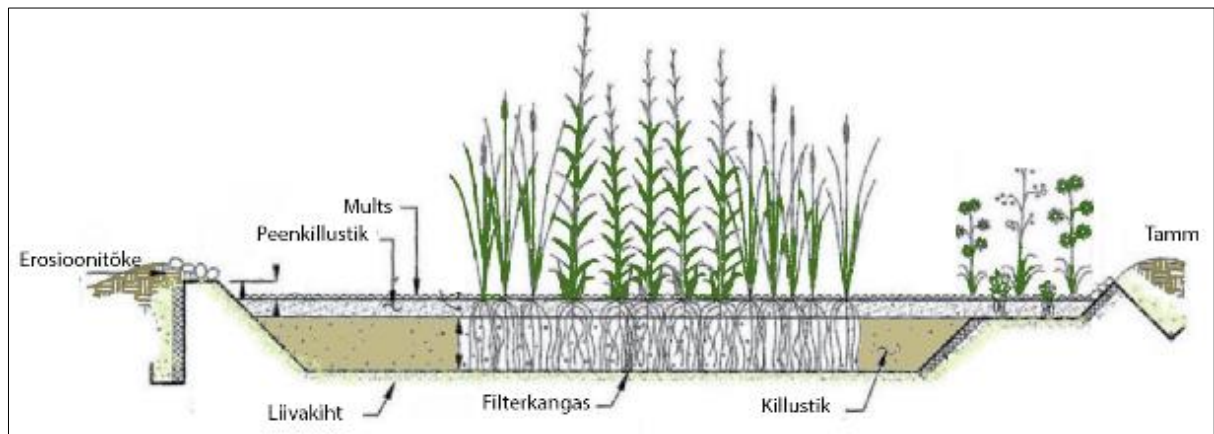
Pilt 13. Vihmaaed Kanada, Saanich (allikas: A Web Atlas of Landscape Architecture in BC)



Pilt 14. Vihmaaed Kalifornia, San Francisco (allikas: SF Better Streets)

4.5.3 Tehismärgalad

Tehismärgalad talletavad madalates tiikides sademeveett vihmasadude vahepealsel ajal ning soodustavad veelembelise taimeestiku (kõrrelised, kõrkjad ja pajulised) kasvumist. Taimestiku olemasolu vähendab süsteemi voolava sademevee voolukiirust. Reostusainete eemaldamine sademeveest toimub settimise, filtreerimise ja bioloogilise protsesside abil. Märgalad on sobivad väikese ja keskmise suurusega lisajõgede piirkonnas, kus on piisavalt palju avatud alasid ja küllaltki stabiilsed voolukiirused aastaringsest. (Roach *et al.* 2012, lk 252-253)



Skeem 14. Märgala skemaatiline läbilõige (allikas: College of Engineering – Purdue University)

Tehismärgalade rajamisel tuleb arvestada suure ruumivajadusega, mistõttu on tiheda hoonestusega aladel nende kasutamine raskendatud. Reostusainete eemaldamisvõime märgalas on kõrge hõljumi ja raskemetallide korral ja keskmine toitainete puhul (Woods-Ballard *et al.* 2007).



Pilt 15. Märgala Tennessee, Chattanooga (allikas: Hargreaves)

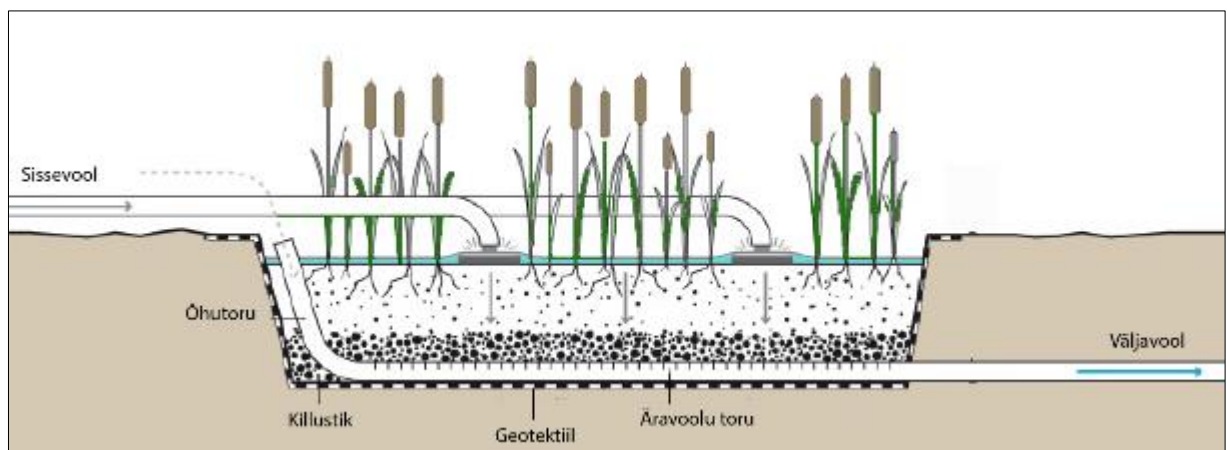


Pilt 16. Märgala Hiina, Haerbin (allikas: Domus)

4.5.4 Maa-aluse filtriga märgalad

Maa-alune märgala erineb teistest filtreerimisseadmetest, kuna veevool suunatakse horisontaalselt läbi poorse materjali (tavaliselt killustiku). Viimase peal asub filter, mis takistab selle kohal oleva kasvupinnase imbumist läbi poorse materjali. Maa-aluse filtriga märgala võib ehitada ka kõrge põhjaveetasemega aladele lähedusse. Et vältida infiltratsiooni, võib süsteemi põhi ja küljed katta savi või muu veekindla kihiga. (Ballestro ja Aldrich 2012, lk 335-336)

Üks võimalik konstruktsiooninäidis on toodud skeemil 15, kus on näidatud ka veevoolu vertikaalne liikumine läbi kasvupinnase.



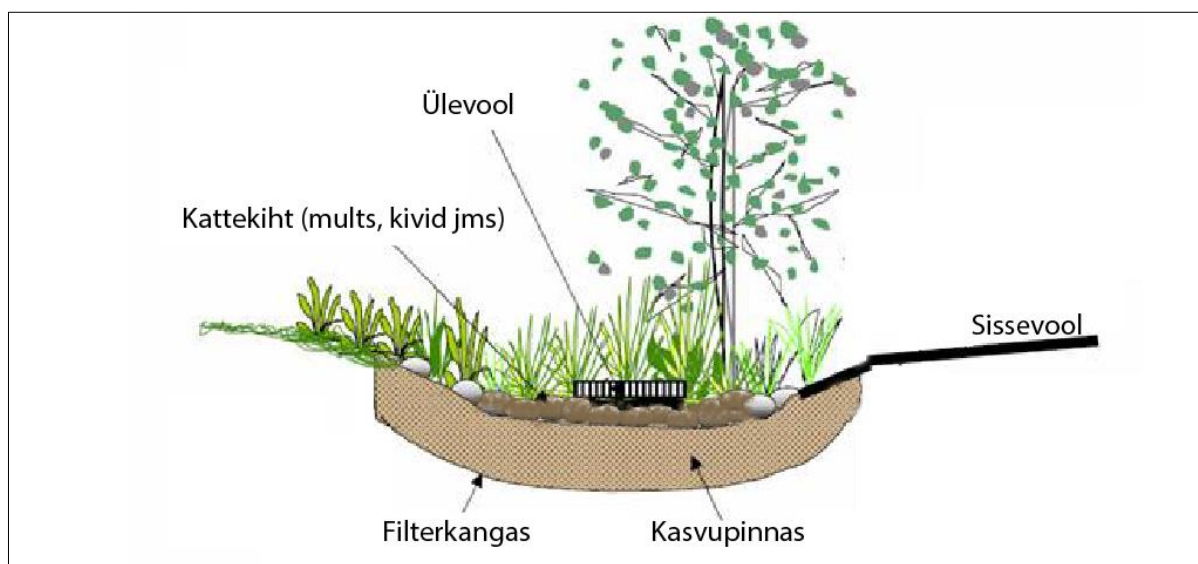
Skeem 15. Maa-aluse filtriga märgala skemaatiline läbilõige (allikas: Sustainable Sanitation and Water Management)

4.5.5 Haljaskraavid ja roheribad

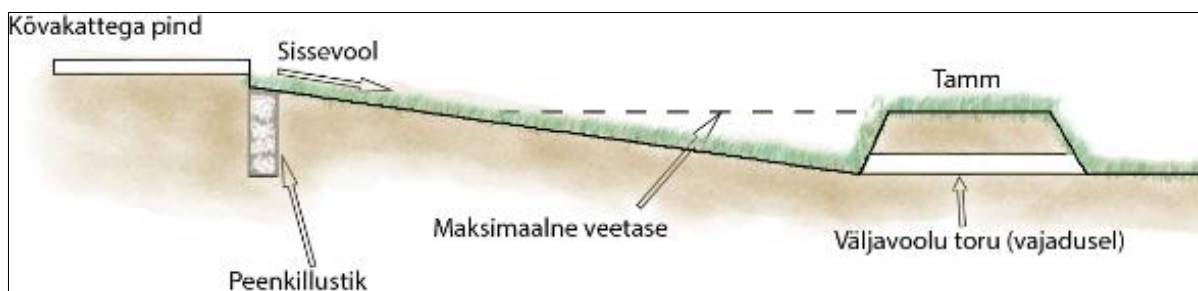
Haljaskraavid on madalad kraavid, millel on piki-profiilis tasased nõlvad (soovitavalt 1 kuni 2.5% kaldega), kus veetase jääb allapoole sealkasvava taimestiku kõrgusest või seda piiravatest muudest elementidest (nt kivid) ning toimub madal, ühtlane veevool. Roheribad on taimestikuga (eelkõige muruga) kaetud tasased pinnad, millest vesi ühtse kihina üle voolab. Haljaskraavide ja roheribade eesmärk on vähendada sademevee voolukiirust ja kurnata sademevee pinnal ujuvaid reostusaineid. Võrreldes tavaliste kraavidega, mis on mõeldud sademevee kiireks edasikandmiseks, on haljaskraavid ja roheribad kavandatud laiemateks, et saavutada aeglasem voolukiirus. Tavalisel paigutatakse haljaskraavid teede või kinnistupiiride äärde ja parklate eraldussaalte. Roheribad kavandatakse väikese langusega aladele, tihti ülesvoolu filtritest ja

infiltratsioonisüsteemidest, et eeltöödelda sademevett. Samuti võib roheribasid kavandada ka parklatesse, sõidutee eraldussartele jt vettpidava pinnasega aladele, tingimusel, et veevool on ühtlane kogu roheriba ulatuses. (Aldrich ja Medina 2012, lk 268-280)

Reostusosakeste eemaldamisvõime haljaskraavides on hõljumi puhul kõrge, raskemetallide korral keskmine ja toitainete puhul madal (Woods-Ballard *et al.* 2007). Üks võimalikust haljaskraavi konstruktsioonist on toodud skeemil 16. Skeemil 17 on toodud näide roheriba võimalikust struktuurist.



Skeem 16. Haljaskraavi skemaatiline läbilõige (allikas: KloroStone Ceramic Pervious Paver)



Skeem 17. Roheriba skemaatiline läbilõige (allikas: Environmental Review Toolkit)

Piltidel 17 ja 18 on toodud näited haljaskraavi ja roheriba kasutamisest linnakeskkonnas.



Pilt 17. Haljaskraav Oregon, Portland (allikas: Land Perspectives)



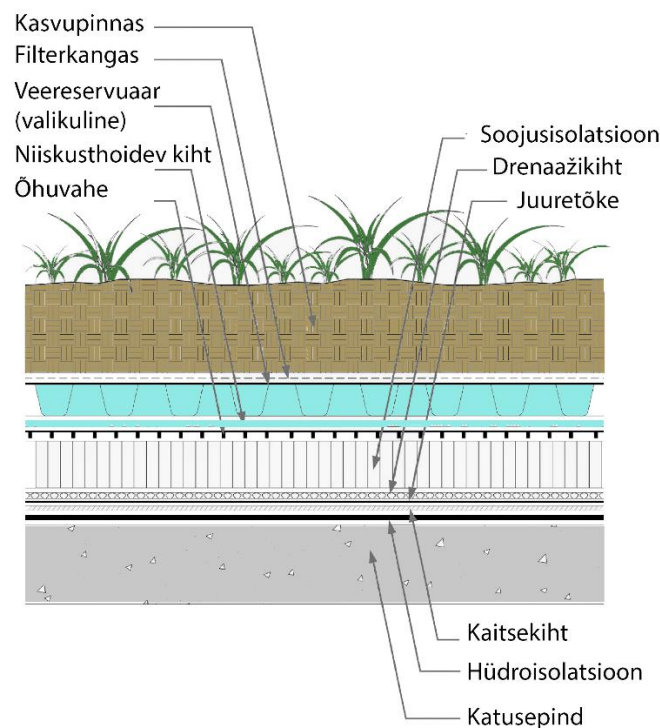
Pilt 18. Roheriba Kalifornia, Fillmore (allikas: Invisible Structures, Inc)

4.5.6 Haljaskatus

Haljaskatuste puhul on kasutusel mitmeid mõisteid. Sagedamad neist on haljas-, taim- ja ökokatused. Haljaskatuse eesmärk on koguda, hoida ja aurustada katustel olevat sademevett, läbi mille väheneb sademevee äravooluhulk. Tänu püsivale mulla- ja taimestikukihile on haljaskatus võimeline eemaldama õhuga edasikanduvaid reostusaineid, mis ladestuvad

tavalistel kõvakattega pindadel. Haljastatud katus peab olema vettpidava aluskihiga ning suutma vastu võtta lisakoormust, mida tekitavad taimestik, orgaanilised pinnasekihid ja sademevesi. Haljaskatuseid jagatakse vastavalt kasvupinnase hulgale kaheks: intensiivne ja ekstensiivne haljaskatus. Ekstensiivne katus on õhukese profiiliga, millel kasvab kuivust taluv taimestik, nagu sukulendid, samblikud ja muud rohutaimed. Eriti palju leiab kasutamist kukehari. Intensiivne katus on paksema profiiliga ning tavaliselt keerukama konstruktsiooniga, Kasvupinnase sügavus on sel puhul suurem, seega on võimalik kasutada väga mitmesuguseid taimi katuse haljastamiseks. (Ballestro ja Aldrich 2012, lk 324-326)

Kui intensiivse haljaskatuse rajamine on võimalik ainult lamekatusega hoonete puhul, siis ekstensiivset haljaskatust saab luua ka kerge katusekaldega rajatistele. Ekstensiivseid katuseid on Põhja-Euroopas kasutatud juba tuhandeid aastaid, nii Islandil, Norras kui ka teistest põhjamaades. Ekstensiivse ja intensiivse haljaskatuse peamine erinevus on kasvupinnase sügavus ja kasutatav taimestik. Skeemil 18 on näidatud pool-intensiivse haljaskatuse üldine konstruktsioonikihtide skeem. Intensiivse katuse puhul on kasvupinnase osakaal suurem ja ekstensiivse puhul väiksem.



Skeem 18. Pool-intensiivse haljaskatuse skemaatiline läbilõige (allikas: Greenroofs)



Pilt 19. Ekstensiivne haljaskatus Pensilvaania, West Grove (allikas: Green Roof Plants)



Pilt 20. Intensiivne haljaskatus Maryland, Baltimore (allikas: Greenroofs)



Pilt 21. Mätaskatused Fääri saartel (allikas: Wikimedia)

4.6 Hoiustamise ja taaskasutuse tehnoloogiad

4.6.1 Vee kogumismahutid

Sademevee kogumine on üks võimalus kasutada ära langevat vihmavett, mis läheb muidu äravoolu ja aurumise tõttu kaduma (Kinkade-Levario 2007, lk 11). Kõige tavalisem on vihmavee kogumine katustelt veemahutitesse, mis võivad asuda nii maapinnal kui ka allpool maapinda. Mahutite suurus on väga varieeruv ning oleneb sademete hulgast ja kõvakattega pindade osakaalust. Hoiustatud sademevett kasutatakse niisutuseks ning majapidamises mittejoogikõlbuliku veena. Veepaagid ja vihmaveetünnid funktsioneerivad kui veehoiusteemid, mis vähendavad sademevee äravoolukoguseid. Võimalikud lahendused sobivad nii elamu-, äri- kui tööstushoonetele. (Roach *et al.* 2012, lk 198-199)



Pilt 22. Vihmaveemahuti eramajas (allikas:David C Stuart)



Pilt 23. Sammastesse peidetud sademeveetorud, maa-alune kogumissüsteem. Tartu, Vanemuise tn (allikas:SkyScaperCity)

5. Säästlik sademeveesüsteem ökosüsteemiteenuste pakkujana

Säästlike sademeveesüsteemide eesmärk, lisaks äravooluvee koguste ja vee kvaliteedi kontrollimisele, on ka ökoloogiliste hüvede pakkumine. Linna ökosüsteemi oluline koostisosa on bioloogiline mitmekesisus, mis aitab säilitada looduslikku keskkonda, loob esteetilisi ruume ja rekreatsioonivõimalusi ning rikastab üldist linnaelustikku (Scholz 2014). Samuti on bioloogiline mitmekesisus aluseks erinevate ökoloogiliste hüvede tootmiseks. Mida suuremaks kasvab rahvastiku arv linnades, seda olulisem on pöörata tähelepanu linna ökosüsteemile ja selle pakutavatele hüvedele. Ökoloogilisi hüvesid pakuvad ökosüsteemiteenused ehk teenused, mida inimene saab loodusest (MEA 2005). Ökosüsteemiteenused jagunevad nelja järgnevasse rühma (Sall *et al.* 2012, lk 8):

- Tugiteenused – teenused nagu aineriing, mullateke, fotosüntees, elupaiga loomine
- Reguleerivad teenused – teenused, mis mõjutavad kliimat, vee-, õhu- ja mullakvaliteeti, veevarusid, üleujutusi, samuti tolmeldamine
- Varustusteenused – teenused, mida inimene saab ökosüsteemilt näiteks toidu, vee, puidu jt materjalidena
- Kultuuriteenused – teenused, millega loodus pakub esteetilist ja vaimset naudingut, on lõõgastumise kohaks ja uute teadmiste allikaks

Võttes aluseks Mader *et al.* (2011) poolt väljaantud juhendi ökosüsteemiteenustest linna majandamisel ja Scholz (2014) teostatud uurimuse säästlike sademeveesüsteemide pakutavatest universaalsetest teenustest, saab välja tuua peamised aspektid, kuidas sellised lahendused aitavad kaasa bioloogiliselt mitmekülgse linna ökosüsteemi kujunemisele ja milliseid ökoloogilisi hüvesid nad pakuvad. Esiteks võivad säästlikud sademevee süsteemid kaasa aidata looduslike elupaikade loomisele, aine- ja veeringele ning fotosünteesile, olles elupaiga pakkuja taimedele ja loomadele. Samuti toimub sellistes süsteemides erinevad regulatsiooniprotsessid, nagu kohaliku kliima ja õhu kvaliteedi reguleerimine, süsinikuringe, heitvee töötlemine, erosiooni takistamine, mullaviljakuse hoidmine, tolmeldamine, haiguste ja kahjurite regulatsioon. Bioloogilise mitmekesisuse suurendajana on nende tähtis funktsioon ka geneetilise ressursi hoidmine ning linna-aiandust silmas pidades toiduga varustamine. Samuti pakuvad säästlikud sademeveesüsteemid inimestele kultuurilisi ehk immateriaalseid teenuseid. Eelkõige

esteetilisi, spirituaalseid ja psühholoogilisi hüvesid, mida inimesed saavad kokku puutel bioloogiliselt mitmekesiste ökosüsteemidega. Rekreatsioon, füüsilise ja vaimne tervis, turism, inspiratsiooniallikas kunstiloominguks, vaimne kogemus, loodusetunnetus ja teadlikkuse tõstmine – kõiki neid hüvesid võib pakkuda säästlike lahenduste rakendamine linnaruumis.

Ökoloogilisi hüvesid toodavad eelkõige bioloogilistel protsessidel põhinevad sademeveesüsteemid, mis kasutavad taimestikku sademevee puhastamiseks läbi filtreerimise ja immutamise. Erinevates süsteemides on võimalik kasutada väga mitmekülget vegetatsiooni: puud, põõsad, rohttaimed, püsililled ja murukatted, mis moodustavad omavahel erinevaid taimkooslusi. Säästlikud sademeveesüsteemid loovad elupaiku vee- ja kaldaäärsele taimestikule ja loomastikule, näiteks märgalades, –tiikides ja vihmaaedades. Samuti kuivust taluvale taimestikule ekstensiivsetel haljaskatustel. Sobivaima taimestiku valikul on eelis alati kodumaistel liikidel, mis sobivad kohalikku keskkonda, olles kasvukohal edukad ja elujõulised. Maa-aluste süsteemide puhul, näiteks imbkraavid, -kaevud ja maa-alused liivafiltrid, on ökoloogiliste hüvede osakaal väiksem.

6. Säätlikud sademeveesüsteemid linnamaastiku kujundajana

Traditsiooniline sademeveektorustik on enamasti rajatud maa-aluse süsteemina, kuid säästlike sademeveesüsteemide kasutamisel on võimalik kasutada ka maapealseid tehnoloogiaid. Kui veemajandus toimub maapealsena, muutuvad piirid ehitatud keskkonna ja säästliku sademeveesüsteemi infrastruktuuri vahel hägusemaks. Seetõttu on oluline säästlike sademeveesüsteemide integreerimisel linnakeskkonda järgida ka linnaplaneerimise ja maastikuarhitektuuri põhimõtteid, et realiseerida selliste lahenduste täielikku potentsiaali. Peamiseks eesmärgiks linnaplaneerimise ja sademeveesüsteemide rakendamise seisukohalt on avaliku ruumi kvaliteedi tõstmine, mille tulemusena paraneb ka elukvaliteet ning paindlike kujunduslahenduste loomine, mida on võimalik efektiivselt ülal pidada. (Digman *et al.* 2012, lk 42-43)

Üks mitmetest linnaplaneerimise juhisdokumentidest – „Urban Design Compendium“ (HCA ja Evans 2013), on välja toonud mitmeid põhimõtteid, mida järgida säästlike sademeveesüsteemide rakendamisvõimaluste loomisel. Esimene eesmärk on inimestele turvalise, mugava, mitmekülgse ja atraktiivse avaliku ruumi loomine. Eristatav, elav ning mitmeid valikuvõimalusi ja hüvesid pakkuv keskkond soodustab suhtlust inimeste vahel ning efektiivsemat tänavaruumi kasutamist. Uute arenduste puhul tuleb silmas pidada olemasoleva linnaruumi omaduste ärakasutamist ja ka rõhutamist, seda nii ühe tänava kui kogu linna piires. Erinevad piirkonnad ja paigad peavad olema kergesti ligipääsetavad ning integreeritud nii füüsiliselt kui visuaalselt ümbritsevasse keskkonda. Ühenduste loomisel tuleb tähelepanu pöörata erinevatele liiklemisviisidele: jalgsi, jalgrattaga, ühistranspordiga ja autoga. Hea kohadisaini loomisel on oluline luua tasakaal tehis- ja looduskeskkonna vahel. Kasutades ära paigale iseloomulikke ressursse – kliimat, pinnavorme, maastikku ja ökoloogiat, on võimalik maksimeerida energiakokkuhoidu ja pakutavaid hüvesid. Uued arendused, rekonstrueerimis- ja regeneratsiooniprojektid peavad olema paindlikud ning arvestama võimalike tulevaste muutustega kasutuses, elustiilis ja rahvastikus. Võimalike lahenduste rakendamiseks linnaruumi peavad vastavad projektid olema majanduslikult teostatavad, hästi majandatud ja hooldatud, selleks on aga vajalik mõista arendajate majanduskaalutlusi, kindlustada kohaliku omavalitsuse pühendumus ja kogukonna osavõttlikkus.

Echols ja Pennypacker (2008) on välja toonud mõiste „sademevee loominguine disain“, mis suhtub sademevee käsitusse kui kunstivormi. Selline kontseptsioon rõhutab keskkonnahoidlikkust, toob esile sademevee potentsiaali ja näeb seda olulise tegurina visuaalselt elava maastiku kujundamisel. Linnaruumi kujundamine säästlike sademeveesüsteemide abil toetub sademevee loominguine disaini põhimõtteid järgides järgmistele eesmärkidele: õppimis- ja rekreatsioonivõimaluste loomine, esteetilise rikkuse pakkumine, ohutuse tagamine ja kogukondlike väärtuste vahendamine.

Õppimis- ja rekreatsioonivõimaluste pakkumise heaks näiteks on maastikuarhitekti Carol Mayer Reed'i poolt kujundatud metafooriline maastik sademevee hüdroloogilisest tsüklist Oregoni Messikeskuses Portlandis (pilt 24). Messikeskuse hoonest ulatuvad välja neli sademevee väljavooluava, mis suunavad 20 tuhande m² suuruselt katuselt koguneva sademevee edasi haljaskraavidesse ja vihmaaedadesse. Kujunduslahendus imiteerib looduslikku jõesängi. Kasutatud on kivisambaid, mis rõhutavad kraavi järjestikuseid elemente: ojad, veesilmad ja tammid. Kodumaine taimestik on elegantselt paigutatud kraavi põhja ja külgedele. Kogu lahenduse lahenduse kontseptsiooniks on narratiiv sademevee teekonnast katuselt veekoguni.



Pilt 24. Sademevee väljavool Oregoni Messikeskuse katuselt (allikas:ASLA)



Pilt 25 ja 26. Oregoni Messikeskus (allikas: ASLA)

Märkimisväärne näide rekreatsioonivõimaluste loomiseks läbi maastikukujunduse on ka Washingtoni osariigis, Rentonis asuv „Waterworks Garden.“ Kunstnik Lorna Jordan, maastikuarhitektid firmast „Jones & Jones“, ja insenerifirma „Brown & Caldwell“ koostasid pargiprojekti, mille käigus kujundati ümber olemasolev veepuhastusjaam. Kujunduslahendus koosneb viiest, omavahel teerajaga ühenduses olevast ruumist, mis toovad esile sademevee liikumise teekonna. Pargi sissepääs asub kõrgendikul, kust saab alguse vee teekond maapinnal ning kujunduslahendus jälgib vee liikumist läbi erinevate ruumide: „The Knoll“ (Küngas), „the Funnel“ (Lehter), „the Grotto“ (Grott), „the Passage“ (Läbikäik) ja „the Release“ (Vabanemine). Kujundusvõtetena kasutakse märgtiikide ja märgalade tehnoloogiaid (pildid 27, 28 ja 29). Kujunduses on pandud rõhku ka ohutusele, näiteks reelingute ja taimestiku kasutamine, mis piirab otsest kontakti veekogudega.



Pilt 27, 28 ja 29. Waterworks Garden Rentonis, vastavalt vasakul the Release, paremal üleval the Knoll, paremal all the Grotto (allikas: 4culture, iconicenergyco)

Heaks näiteks erinevate kujundusvõtete kasutamisest on ka Portlandis asuva korrusmaja sisehoovi projekt „10th@Hoyt“, kus on kasutatud teljeliselt orienteeritud kompositsiooni ning materjalide, värvide ja tekstuuride minimalistlikkust. Sisehoovi keskelge tähistab hoone vihmaveetoru, kust vesi voolab mööda renni edasi astmelisse kanalisisse ning kiviklibuga kaetud imbakraavi (pilt 30). Kogu projekt on ka kogukondlike väärtuste vahendajaks, propageerides sademevee äravoolu säästlikku käitlemist ning kogukonna eesrindlikku lähenemist veeressursside jätkusuutlikkuse tagamisele.

Esteetilise rikkuse saavutamine on hästi õnnestunud visuaalse rütmi kompositsioonivõtete kasutamisega Portlandis „SW 12th Avenue Green Street Project“ käigus (pilt 31). Sademevesi on juhitud sõiduteelt nelja, betoonäärüstusega vihmaaeda, kus on kasutatud erinevaid luga ja

tarna liike ning kõrghaljastust. Kujundus loob visuaalse rütmi linnaruumis, mis on samal ajal ka funktsionaalne sademevee puhastussüsteem.



Pilt 30. Kortermaja sisehoov (allikas: Koch Landscape Architecture)



Pilt 31. Visuaalse rütmi kasutamine Portlandis (allikas: Green Infrastructure Digest)

7. Säästlike sademeveesüsteemide rakendamise võimalused linnas

Linnakeskkond on pidevalt muutuv ja arenev süsteem. Alati, kui linnas toimuvad teatud muudatused, eelkõige erinevate ehitustööde näol, tekib võimalus teha mitmeid asju teisiti. Kuigi ei pruugi olla ühtegi vahetut põhjust, miks panna rõhku ka pinnavee ülejutuste või reostuse probleemile, tekib siiski võimalus muuta ehitustööde osana ka sademevee käitlemist paremaks. Sellist lähenemisviisi säästlike sademeveesüsteemide rakendamisel linnas nimetatakse „oportunistlikuks“, kus võimalus säästlike sademeveesüsteemide kasutamiseks tekib läbi teiste ajendite nagu näiteks uute elamupiirkondade arendamine, linnaosade ja piirkondade regeneratsiooniprojektid, roheline infrastruktuuri arendamine, eraisikute ja ettevõtete ehitusprojektid ning linna infrastruktuuri arendus- ja parandustööd. Mitmete erinevate oportunistlike meetmete rakendamine teisejärgulise eesmärgina vähendab oluliselt ka üldist äravoolu hulka kogu linna valgalal, mida on demonstreerinud mitmed linnad Põhja Ameerikas (Toronto, Portland, Seattle ja New York). (Digman *et al.* 2012, lk 11)

Kui peamine eesmärk on lahendada sademevee kvaliteedi ja ülejutusriskidega kaasnevaid probleeme, on vajalik planeerida säästlike sademeveesüsteemide tehnoloogiate ulatuslikumat kasutust. Sellest tulenevalt nimetatakse sellist meetodit „strateegiliseks“ lähenemiseks, kus arvestatakse suuremate skaalade ja terviklike valgaladega. Sademevee äravooluga seotud probleemide lahendamine on süstemaatiline ning loob võimalused erinevate tehnoloogiate kasutamiseks tervikliku ja ühtse linnaruumi kujundamiseks. Sellisel juhul on oluline mõista erinevate probleemide põhjuseid ja tagajärgi ning potentsiaalseid võimalusi nende lahendamiseks. Linnaruumi sademevee äravoolu võrgustik on keeruline süsteem, seetõttu on erinevaid põhjus-tagajärg seoseid hüdrooloogilises tsüklis võimalik luua erinevate arvutimudelite abil. (*ibid*, lk 12)

Selleks, et valida alale võimalikud säästlike sademeveesüsteemide tehnoloogiad ja meetmed, mida kasutada, on oluline arvestada erinevate suurusjärgudega. Olenevalt ala suurusest, mis võib varieeruda ühest erakrundist kuni laiaulatusliku valgalani välja, on võimalik kasutada mitmeid erinevaid tehnoloogiaid. Kohalikud tingimused, sealhulgas linna kontekst ja olemasolev olukord, määravad ära need võimalused, mis on realiseeritavad. Mõistes ala suurust, kohaliku

konteksti ja ajendeid sademevee äravoolu kontrolliks, on võimalik tuvastada teostatavad kontrollmeetmed kasutades sademevee käitlusahelat (vt skeem 2, lk 15). (*ibid*, lk 26)

Erinevates riikides läbiviidud projektide põhjal võib öelda, et säästlike sademeveesüsteemide rakendamine linnaruumi on mõnes asupaigas kergem kui teistes. Rakendamisvõimalusi on võimalik jaotada kolme üldisesse kategooriasse: sihipärased, universaalsed ja tulevased võimalused (Stovin ja Swan 2007, lk 207). Sihipärased võimalused sisaldavad endas meetmeid, mida on tõenäolisemalt kõige lihtsam rakendada. Eelistatakse ühiskondlikku, riigi- ja ärimaad ning säästlikke sademeveesüsteeme rakendatakse paikades, kus on rohkem vaba maapinda erinevate lahenduse sisseviimiseks, toimub linnaruumi rekonstrueerimine või muu ehitustegevus (nt tänavate rekonstrueerimine, linna infrastruktuuri rajamine). Universaalsed võimalused on need meetmed, mida on võimalik rakendada strateegiliselt ning sarnaste maakasutusega aladel, näiteks vihmavee taaskasutamine niisutuseks eramajade piirkonnas, haljaskatuste kasutamine ühiskondlikel hoonetel ja läbilaskva pinnakatte kasutamine parklates, tupikteedel ja sissesõiduteedel. Tulevaste võimaluste alla liigituvad arendamata maa-alad, kus on tulevikus võimalus rakendada säästlike sademeveesüsteemide meetmeid juba esmase ehituse käigus, vähendades sellega ehituskulusid. Väljaarendatud aladel on säästlike sademeveesüsteemide rakendamine linna üldisesse infrastruktuuri keerulisem ja kulukam. (Digman *et al.* 2012, lk 88-89)

8. Säästlike sademeveesüsteemide kasutamine külmas kliimas

Säästlike sademeveesüsteemide laialdaselt kasutust põhjamaade kliimas takistab eelarvamus, et sellised süsteemid on uued ja läbi proovimata, vaatamata paljudele koostatud kvaliteetsetele uurimustele, mis vastupidist tõestavad (Ellis *et al.* 2001, Jefferies 2001, Schluter *et al.* 2002, Revitt *et al.* 2003, Dechesne *et al.* 2002, Fletcher *et al.* 2002). Lisaks pole selliste süsteemide kasutuselevõtt olnud laiaulatuslik kartuses, et nende töövõime on talveperioodil esineva jäätunud maapinna (sh filtreeriva materjali) ja seiskunud bioloogiliste protsesside tõttu raskendatud. Lisaväljakutsed säästlike sademeveesüsteemide kasutamisel külmas kliimas on lumesulamise hüdroloogia, maapinna jäätumine, temperatuurist sõltuvad muutused vee keemilises koostises, vee tihedus ja ioonvahetuse protsesside võimekus. Sademevee äravoolu efektiivse majandamise strateegiate loomisel on oluline arvestada ka talvise sademevee äravooluga, mille reostuskoormus on oluliselt suurem, kuna reostusosakesed kuhjuvad linnalumes. (Roseen *et al.* 2009, lk 128)

Siiski on säästva ja jätkusuutliku arengu toetuseks vajalik säästlike sademeveesüsteemide integreerimine linna sademevee korraldusse ka külma kliimaga piirkondades (Thorolfsson 2012, lk 62). Kirjandusest võib välja tuua mitmeid uuringuid säästlike tehnoloogiate töövõimest külmas kliimas, mille tulemused soosivad nende kasutamist. Fach *et al.* (2011) uurisid haljaskraavide talvist töövõimet Alpide regioonis. Uuringutulemused näitasid, et haljaskraav suutis täitis oma funktsiooni mõningase vähenenud töövõimega. Kuigi haljaskraavi ülemine kiht talvel külmus, oli kraavi mahutavus piisav, et hoiustada sademevett seni kui kliimaatilised tingimused paranesid. Roseen *et al.* (2012) uurisid poorse asfaldi hüdroloogilist töövõimet ja reostusainete eemaldamise võimekust New Hampshire'is. Uuringutulemused näitasid, et ka pikaajalise maapinna külmumise korral oli sademevee infiltratsioonivõime püsiv. Uuringu käigus külmus maapind kuni 71 cm-ni, mille käigus ei vähenenud poorse asfaldi hüdroloogiline töövõime ega esinenud märgatavaid külmakerkeid. Välja võib veel tuua varasema näitena Roseen *et al.* (2008) uurimuse vihmaaedade töövõimest külmades piirkondades ja Roseen *et al.* (2009) uurimuse, kus viidi läbi katsed nii vihmaaedade, maapealse liivafiltri, märgala ja poorse asfaldi töövõimekuse hooajaliste muutuste kohta. Tulemused näitasid, et valitud filtersüsteemide hooajalised muutused olin minimaalsed. Samuti näitas uuring, et väikeste,

aineosakeste settimis- ja reageerimisajast rohkem sõltuvate, süsteemide töövõime talveperioodil langes.

Erinevate tehnoloogiate konkreetsete lahenduse puhul tuleb arvestada lisakoormuse ja vajalike mahtuvustega (nii reostuse kui vooluhulga suurenemise tõttu), mis tulenevad talvisest lumekattest ja kevadisest sulavee äravoolust. Kõige efektiivsemad lahendused külmas kliimas on Mäckströmi ja Viklanderi poolt koostatud uurimuse (2000) kohaselt avatud süsteemid maapinnal (nt haljaskraavid, vihmaaiad, märgtiigid) ja vett läbilaskvad pinnakatted, mida tõestavad ka mitmed eespool mainitud uurimustööd.

9. Säästlike sademeveesüsteemide kontseptsioon Eestis

Võrreldes teiste arenenud riikidega, nagu näiteks Ameerika Ühendriigid, Austraalia, Uus-Meremaa, Suurbritannia, Saksamaa, Rootsi ja Taani on säästlikud sademevee lahendused Eestis küllaltki uus mõiste. Enamikke tehnoloogiaid on siinmail vähe uuritud ning veelgi vähem linnaruumis teostatud. Siiski võib välja tuua erandeid sademevee pinnasesse immutamise praktikatest: imbkaevud, sõelme- ja kruusateed, vuugimuru ning sajuvee juhtimine murupindadele. Rohkem on hakatud kasutama ka imbväljakuid sademevee immutamiseks maapinda, kus kasutatakse maa-aluse reservuaarina plastist kärpblokke. Peamiselt on tegemist maa-aluste süsteemidega, mis maapinnal visuaalset mõju ei avalda (va vuugimuru). Lisaks tuleb mainida maaparanduse praktikat, mis reguleerib sademevee äravoolu, et kuivendada või niisutada alasid taimekasvatuseks. Linnatingimustes on see siiski vähelevinud.

Viimastel aastatel on teadlikkus säästlikest süsteemide kontseptsioonist ja tehnoloogiast mõnevõrra suurenenud, tuues praktiliseks näiteks Euroopa Komisjoni programmi „LIFE+“ raames läbiviidud projekti loodusliku puhastusmehhanismiga vooluveekogu kujundamisest Tallina Botaanikaaija territooriumil asuva Lepiku kraavilõigule (Võrdlusuuringud 2015) ja Eesti-Läti piiriülese koostööprogrammi projekti „(D)rain for Life“, mis tutvustas säästlikke sademeveesüsteeme ja konkreetseid tehnoloogilisi lahendusi Võru ja Loode-Pärnu kontekstis. Projekti raames viidi Pärnus, 2013 aastal läbi ka rahvusvaheline konverents „Sademevee säästlike lahenduste arengu perspektiivist Eestis ja Lätis.“

Üks põhjus, miks Euroopa riikides on viimase 15 aasta jooksul veemajandamise küsimustega intensiivsemalt tegeletud, on EL veepoliitika raamdirektiiv (2000/60/EÜ). Tegemist on EL liikmesriikidele suunatud õigusaktiga, mille ülesandeks on kehtestada Euroopa Ühenduse ühtne tegevusraamistik vee kaitse kavandamiseks ja korraldamiseks Euroopa Liidus. Direktiiv seab veekaitse eesmärgiks kõikide vete (nii pinnavee, rannikuvee kui ka põhjavee) hea seisundi saavutamise. Ettenähtud nõuete täitmine toimub läbi kohalike veemajanduskavade, mis koostatakse igale vesikonnale (Eestis: Ida-Eesti, Lääne-Eesti ja Koiva) (Keskkonnaministeerium 2015). Euroopa direktiiv on üks suurimaid mõjutajad, mille abil on näiteks Suurbritannias ja Rootsis kasutatud sademevee äravoolu juhtimisel just säästlike sademeveesüsteeme ja nende põhimõtteid.

Kuigi säästlike sademeveesüsteemide kui tehnoloogilise lahenduse kasutamist ei ole otseselt kajastatud seadusandluses, üleriigilises või Tartut puudutavates arengukavades ja -strateegiates, võib siiski välja tuua mõned dokumentides mainitud eesmärgid, mis ühtivad säästlike sademeveesüsteemide kasutamisfilosoofiaga.

Riiklik arengustrateegia „Säästev Eesti 21“ seab endale üheks eesmärgiks ökoloogilise tasakaalu saavutamise. Arengusuund näeb Eesti maastikku kui elukeskkonda, mis haarab endasse kõige muu kõrval ka globaalsed ressursid nagu ilmastiku, õhu- ja veevalla. Kohalikul tasemel on püstitatud eesmärgiks saavutada bioloogilise mitmekesisusega, rekreatiivsete ressursside ja esteetiliste parameetritega elukoht, mille säilitamine ja arendamine on oluline kõigi arengueesmärkide saavutamiseks. Kirjeldatud tulemuse saavutamiseks tekib hea võimalus kasutada ühe meetmena säästlikke sademeveesüsteeme, mis toetavad püstitatud eesmärke.

Tartu arengustrateegia „Tartu 2030“ üheks tegevussuunaks on välja toodud ökonoomsed tehnilised infrastruktuurid, kus kujundatakse linnastu joogivee-, kanalisatsiooni- ja sademevee süsteem ning soositakse sademevee lokaliseerimist ja korduvkasutamist. Sademevee äravoolu tekkekohapõhine kontroll on üks säästlike sademeveesüsteemide esmaseid ülesandeid, olles sobiv meede kirjeldatud eesmärgi saavutamiseks. Lisaks on välja toodud Tartu kui Eesti keskkonnahariduse keskus, millel on parimad eeldused olla rahvuslik pioneer keskkonnasõbralikkuses. Siinsed teadusasutused on kõige kohasemad Eesti loodustingimustele sobivate keskkonnatehnoloogiate väljatöötamiseks, mida säästlike sademeveesüsteemide rakendamine kindlasti nõuab.

Tartu linna eelarve strateegiast (aastateks 2015-2018) võib välja tuua keskkonnakaitse seisukohad, mis panevad muuhulgas rõhku keskkonnateadlikkuse edendamisele ning vee- ja kanalisatsioonisüsteemi arendustele, mille käigus tekib hea võimalus säästlike sademeveesüsteemide rakendamiseks uute kommunaalprojektide ja vanade süsteemide rekonstrueerimistöde käigus.

„Tartu linna ühisveevärgi ja – kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2012-2025“ käsitleb muuhulgas ka sademeveekanalisatsiooni arendamist, mille eesmärgiks on seatud sademevee ärajuhtimine ja loodusesse tagastamine võimalikult puhtalt, ilma reoveega segamata ja

reoveepuhastit koormamata. Lahendusena näeb arengukava ette kogu Tartu linnas lahkvoolse sademeveekanaliseerimise väljaehitamist, et vähendada ühisvoolse kanalisatsiooni ja reoveepuhasti koormust. Kirjeldatud probleemi lahenduseks tekib ka võimalus kaaluda säästlike sademeveesüsteemide kasutamist, mis vähendavad koormusi veepuhastitele ja olemasolevale kanalisatsioonile.

Kõige konkreetsem käsitlus, mis puudutab säästlike sademeveesüsteemide põhifunktsiooni ehk sademevee äravoolu juhtimist pinnasesse ja/või veekogusse, on kirjas EV määruses „Reovee puhastamise ning heit- ja sademevee suublasse juhtimise kohta esitatavad nõuded, heit- ja sademevee reostusnäitajate piirmäärad ning nende nõuete täitmise kontrollimise meetmed“ (RT I, 04.12.2012, 1), mis muuhulgas esitab nõuded veekogusse või pinnasesse juhitava heit- ja sademevee näitajatele (reostusnäitajate piirväärtused, puhastusastmed, immutussügavus ja kogused).

Eelpool mainitud tähelepanekud erinevatest dokumentidest loovad üldpildi teemaga seonduvatest üldistest suundadest ning annavad aluse säästlike sademeveesüsteemide kasutamise võimaluste loomisele läbi strateegiliste eesmärkide. Siiski on tegemist vaid üldiste arengusuundadega, mis konkreetsete tehnoloogiate kasutamist ei käsitle ning vahendid, kuidas nende eesmärkideni jõuda hetkel säästlike sademeveesüsteemide kasutamist ei kajasta.

10. Metoodika

10.1 Töö koostamise peamine meetod

Lõputöö peamine uurimisstrateegia on võrdlev juhtumiuurimus, kus uurimisobjektiks on valitud Tartu Anne linnaosa Kaunase pst valgaala. Töös uuritakse üksikjuhtumit, kuna see piirkond on Tartus ainulaadne ning tekitab võimaluse kohaspetsiifilise lähenemise kasutamiseks ja konkreetse piirkonna säästlike sademeveesüsteemide strateegiate loomiseks. Töös kaardistatakse valikala olemasolev olukord, kasutades välisvaatluse, kaartide ja dokumentide uurimise meetodeid. Esitakse strateegiline plaan säästlike sademeveesüsteemide kasutamisevõimalustest, mille koostamisel kasutatakse dokumendi- ja kaardianalüüsi meetodeid. Töös hinnatakse valitud süsteemide ja traditsioonilise sademeveetorustiku mõjusid, kasutades võrdleva analüüsi meetodeid. Samuti koostatakse valitud süsteemide ja traditsioonilise sademeveetorustiku hinnanguline rajamismaksumuse võrdlus, kasutades võrdleva analüüsi meetodeid.


10.2 Ülevaade varasemates sarnastes töödes kasutatud metoodikatest

Säästlike sademeveesüsteemide rakendamist linnaruumi on mitmetes välisriikides palju uuritud ning läbi aastate on erinevate süsteemide rakendamiseks kasutatavaid metoodikaid olnud palju. Kirjanduses võib täheldada säästlike sademeveesüsteemide rakendamise metoodika arengut, kus iga uus lähenemine toetub vanale ning täiendab seda uute suundade ja aspektidega.

Swan ja Sovin (2002) arendasid välja tugiraamistiku, mille abil tuvastada ja hinnata erinevaid, säästlikel sademeveesüsteemidel põhinevaid lahendusi kanalisatsiooni rehabilitatsiooniks. Raamistiku eesmärk oli efektiivselt välja selgitada need säästlike sademeveesüsteemide kasutamisevõimalused, mis on hüdrauliliselt tõhusad, lihtsad ning mida on tulus teostada. Vastav skeem, mille abil oli võimalik valida parim lahendus koosnes neljast hierarhiast (tabel 1), mis suunas selle kasutajat valima ühiskondlikke katuseid elamukatuste asemel, soosis tekkekohapõhist kontrolli tekkekohavälise kontrolli üle ja immutussüsteeme viibesüsteemide asemel. Samuti eelistati odavaimate lahenduste kasutamist. Uuringu raamistik ei arvestanud kõikide teguritega, mida tuleb kaaluda erinevate säästlike sademeveesüsteemide valimisel

linnaruumi ning keskendus peamiselt ainult ühisvoolse kanalisatsiooni üleujutusriskide vähendamisele.

Tabel 1. Säästlike sademeveesüsteemide kasutamise raamistiku 4 hierarhiat (Swan ja Stowin 2002)

	Keerukusaste (projekteerimistöö vajadus) 			
Eelistusjärjestus 	Maapinna liik	Pinnavee kontroll	Töötamis põhimõte	Maksumus
	Ühiskondlikud hooned	Tekkekoha kontroll	Immutamine	Odavam
	Elamute katused	Edasikandmine	Ärajuhtimine	Kõige kallim
	Sõiduteed	Asukoha kontroll	Hoiustamine	
			Taaskasutus	

Olulisi täiendusi Swan ja Stowin (2002) poolt koostatud metoodikale tegi Atkins (2004) poolt läbiviidud uuring, kus tähelepanu pöörati lisaks ka praktilistele rakendamise võimalustele just planeerimise ja projekteerimise vaatenurgast. Raport arendas välja rea diagramme, mis kirjeldasid asukohavaliku ja teostatavuse uuringu tegemise detailseid meetmeid ning rõhutas asjasse puutuvate isikute kaasamist projekti juba varajases staadiumis.

Speirs *et al.* (2006) poolt koostatud raport säästlike linna sademevee lahenduste rakendamisest esitab oma töös üldise otsustusprotsessi tugiraamistiku, mis on jaotatud kaheks etapiks. Esimene etapp keskendub säästlike sademeveesüsteemide lahenduste teostatavuse uurimisele ning teine etapp tegeleb detailsete lahenduste väljatöötamisega. Erinevate alternatiivide hindamisel kasutati mõlemas etapis kvalitatiivset multikriteeriumi analüüsi, kus peamised hindamiskriteeriumid olid hüdrauliline tõhusus, vee kvaliteet, hüved, ökoloogia ja jätkusuutlikkus. Järgnevatel aastatel on erinevates uuringutes kasutatud valdavalt sarnast metoodikat, mida on uuringute konkreetsetele eesmärkidele ja uuringuala spetsiifilistele tingimustele täiendatud ja muudetud. Säästlike sademeveesüsteemide rakendamise metoodikas on kasutatud ka kvantitatiivset lähenemist, kus erinevate tehnoloogiate valimisel ja uurimisel on koostatud erinevad punktiarvestussüsteemid, näiteks Jefferies *et al.* (2009) või Casal-Campos *et al.* (2012).

Põhjalik tugiraamistik on koostatud Digman *et al.* (2012) juhisdokumendis, kus säästlike sademeveesüsteemide rakendamine linnaruumi koosneb järgnevatest etappidest: ettevalmistus ja taustainfo kogumine, teostatavuse hindamine, võimaluste väljatöötamine, tasuvusanalüüs, detailsete lahenduste väljatöötamine ja rajamine ning tõhususe kontroll. Viimaste aastate metoodika säästlike sademeveesüsteemide rakendamisel välja arendatud linnaruumis on jõudnud seisu, kus arvestatakse väga mitmetahuliste ja laiahaardeliste teguritega.

Käesoleva lõputöö metoodika tugineb Digman, *et al.* (2012) ja Swan ja Stovin (2007) poolt koostatud meetoditele, mille teoreetilisi lähtekohti kirjeldab peatükk 7, lk 53 „Säästlike sademeveesüsteemide rakendamise võimalused linnas“.

10.3 Kaunase pst valgala valik

Käesolevas töös on valitud uurimisobjektiks Kaunase pst valgala, mis moodustab keskse osa Anne linnaosast (skeem 19, lk 65). Lõputöö uurimisteema on sademevee äravoolu korraldamine säästlike tehnoloogiaid kasutades, seega on valikala piiriks valitud olemasoleva valgala piir, et tegeleda ühtselt ja süsteemselt kogu alaga. Viimastel aastatel on muutunud Annelinn (ja ka teised vabaplaneeringuga alad mujal Eestis) aktuaalseks teemaks ning püütakse leida erinevaid lahendusi mugava ja atraktiivse linnaruumi kujundamiseks. Annelinna paneelelamud moodustavad suuremõtmelise ja monotoonse labürindi, kus elamute vaheline avalik ruum vajab mugavamaid ja esteetiliselt rikkamaid lahendusi. Ettepanekuid erinevate vabaplaneeringuga alade probleemide lahendamiseks on esile kerkinud palju, näiteala valikul on silmas peetud Annelinnas läbiviidud visioonikonkursil esile kerkinud ideed, et Anne linnaruum vajab inim-mõõdulisi ja tihedama ruumilise liigendusega ruume (Pae 2015). Valikala on suure asustustihedusega piirkond, millega kaasnevad suurenenud reostusriskid. Ligi pool valgala pindalast on kaetud kõvakattega pindadega, mis on oluliselt muutnud linnastumise eelset hüdroloogilist seisundit. Võttes arvesse eelpool nimetatud tegureid, on lisaks sademevee äravoolu kvaliteedi parandamisele ja äravoolukoguste vähendamisele, võimalik säästlike sademeveesüsteemide kasutamisel Annelinnas leida võimalusi ka vabaplaneeringuga linnaruumi paremaks kujundamiseks ja inimestele mugava mikrokliima loomiseks. Annelinnas

on ka ruumi ja võimalusi rakendada erinevates piirkondades visuaalselt rohkem või vähem maastikupilti mõjutavaid lahendusi.

10.4 Töö läbiviimise tehniline kirjeldus

Põhietapid töö läbiviimisel on taustainfo kogumine ja eesmärkide püstitamine, teostatavuse hindamine ja strateegiliste võimaluste väljatöötamine ning mõjude hindamine.

Töö läbiviimise esimene etapp oli ettevalmistus, kus toimus andmete kogumine dokumentide ja kaardianalüüsi ning välitööde abil, et määrata esialgsed vajadused ja eesmärgid säästlike sademeveesüsteemide rakendamise võimaluste loomiseks Kaunase pst valgatal. Vajaminev andmestik koostati Maa-ameti kaartide põhjal, mis sisaldasid järgmisi andmeid: geodeesia, maakasutus, kõrgused, maapinna reljeef, kalded, ortofotod, ajalooline kujunemine, üleujutused, mullastik, põhjavee kaitstus, kitsendused, katastriüksused ja maakatte kõrgusmudel. Samuti kasutati Tartu Ühisveevärgi- ja kanalisatsiooni arendamise kavas (2012-2025) sisalduvaid kaarte: „2005-2010 ehitatud sademeveetorud“, „2005-2010 ehitatud kanalisatsioonitorud ja kanalisatsioonipumplad“, „Olemasolev ja perspektiivne sademevee põhirajatiste skeem“ ja „Olemasolev ja perspektiivne reoveekanaliseerimise põhirajatiste skeem“. Lisaks kasutati Riigi Ilmateenistuse meteoroloogilisi andmeid Tartu sademete hulga kohta viimase 10 aasta jooksul. Välitööde käigus toimus kaardianalüüsist tulenevate andmete: pinnakatete, maakasutuse ja olemasoleva haljastuse kontrollvaatlus. Samuti esialgsete võimaluste tuvastamine võimalike tehnoloogiate rakendamiseks, vastavalt olemasolevale maapinna reljeefile, vabale ja püstitatud eesmärkidele.

Teises etapis toimus teostatavuse hindamine ja strateegiliste plaani loomine, mille käigus valiti hierarhilist lähenemist kasutades ja valikala kohaspetsiifilisi tingimusi arvestades, sademevee äravoolu strateegiad ja tehnoloogiad, kasutades juhisdokumente Woods-Ballard *et al.* (2007) ja Digman *et al.* (2012) ning ettevalmistusetapis kogutuid kohaspetsiifilisi andmeid. Teostatavuse hindamine toimus peatükis 7, lk 53 „Säästlike sademeveesüsteemide rakendamise võimalused linnas“ kirjeldatud põhimõtete järgi.

Kolmas etapp koosnes sademevee äravoolusüsteemide analüüsitabeli koostamisest, kus võrreldi traditsioonilise sademevee torustiku ja valgalale valitud tehnoloogiate mõjusid. Võrdlusanalüüsi koostamisel kasutati erinevaid säästlike sademeveesüsteemide tehnoloogiate mõjude uuringuid. Töö käigus koostati järgnevad koondtabelid: „Sademevee äravoolu tehnoloogiate mõju majanduslikele aspektidele“ (tabel 2) ja „Sademevee äravoolu tehnoloogiate mõju veevoolu hulga, kvaliteedile ja keskkonnale“ (tabel 3). Valitud tehnoloogiate ja traditsioonilise sademeveetorustiku majanduslike mõjusid hinnati juhtdokumendi „SuDS Manual“ (Woods-Ballard *et al.* 2007) ja „Design of Urban Stormwater Controls“ (WEF, ASCE ja EWRI 2012) põhjal. Hinnati valitud säästlike tehnoloogiate ja traditsioonilise sademeveetorustiku investeerimis-, hooldus- ja kogukulusid 50 aasta jooksul. Valitud tehnoloogiate keskkondlike mõjusid hinnati juhisdokumentide „SuDS Manual“ (Woods-Ballard *et al.* 2007), „Design of Urban Stormwater Controls“ (WEF, ASCE ja EWRI 2012) ja „Retrofitting to Manage Surface Water“ (Digman *et al.* 2012) põhjal.

Lisaks koostati hinnanguline ehitusmaksumuse võrdlustabel valitud tehnoloogiate ja traditsioonilise sademeveetorustiku rajamismaksumuse kohta, kasutades traditsioonilise torustiku maksumuse hindamisel 7 suurima Eesti linna (Pärnu, Kohtla-Järve, Paide, Haapsalu, Rakvere, Kuressaare ja Keila), ja 3 juhuslikult valitud valla (Türi, Kadrina ja Raasiku), 2014 või 2015 aastal uuendatud „Ühisveevärgi- ja kanalisatsiooni arendamise kavas“ sisalduvaid sademevee torustike keskmisi rajamismaksumusi. Säästlike sademeveesüsteemide tehnoloogiate hinnangulise rajamismaksumuse koostamisel kasutati 2005. aastal koostatud uurimuses „Alternatiivsete sademevee äravoolu- ja kogumissüsteemide uurimustöö“ (Alkranel OÜ, 2005) väljatoodud süsteemide rajamismaksumusi, mis arvestasid materjalide koondmaksumust, ehitus- ja projekteerimistööde hindu. Esitatud maksumused kaasajastati, kasutades Statistikaameti poolt väljaantud ehitushinnaindeksi muutust alates aastast 2005. Taimestikku kasutavate süsteemide (haljaskraav, vihmaaed, haljaskatus, märgtiik) rajamismaksumusele lisati keskmine taimestiku ja istutustööde maksumus, kasutades suurimate aiandite 2015 aasta hinnakirjasid ning eelarvestusfirma OÜ Ekre Nora poolt 2015 1.januari seisuga välja töötatud ehituslike üksushindade loetelu.

11. Säätlike sademeveesüsteemide rakendamine Kaunase pst valgalal

11.1 Hetkeolukord

Kaunase pst valgala asub Tartus Anne linnaosas, Kaunase pst tänavat ümbritseval alal (skeem 19). Valgala on ligikaudu 100 hektar suurune, mille põhjaosas asub Rahumäe kalmistu ning looduslikud maa-alad, kesk- ja lõunaosas 9 ja 5 korruseliste korterelamute alad, mitmed ühiskondlikud asutused, spordiväljakud ning erinevad kaubanduspinnad. Ala läbivad 3 suuremat kergliiklusteed, millest 2 kulgevad Emajõe suunas ning 1 paralleelselt. Suurima liikluskoormusega tänavad, mis valgala läbivad on läbi Jaama tänaval kulgev Tartu-Räpina-Värskä tugimaantee, lisaks Kalda tee ja Kaunase pst.



Skeem 19. Kaunase pst valgala asukohaskeem

Maapinna reljeef on üldjoontes tasane ning langeb Emajõe suunas, siiski esineb alal mitmeid paiku, kus nõlvakalded on 5% kuni 10%, mõnedel juhtudel isegi üle selle. Alal esineb mitmeid rohealaseid, iseloomulikud on kortermajade vahelised siseõued ja avatud rohealad valgala

põhjaosas ühiskondlike hoonete ümbruses. Rohealade haljastus on monotoonne, koosnedes peamiselt murualadest ja kõrghaljastusest. Kõvakattega pindade osakaal on Kaunase pst valgalal ligikaudu 50% kogupindalast.

Juba nõukogude ajal on rajatud Annelinna suuremalt osalt täielik lahkvoolne kanalisatsioon, kus sademevee väljalasud on suunatud Paju tänava juurest Emajõkke ning Kalda tänava juurest Anne kanalisisse (Tartu ÜVKAK 2012). Vastavalt hetkel kehtivas ÜVKAKis toodud skeemile olemasolevatest ja perspektiivsetest sademevee põhirajatistest on Kaunase pst valgalal ligikaudu 13 kilomeetrit sademeveekollektoreid. Tartus on Riigi Ilmateenistuse andmetel (mõõdetuna Tõraveres, viimase 10 aasta jooksul) keskmine sademete hulk aastas 690mm. Sademete ööpäevane maksimum on 62,7mm ning kuu maksimum 203mm. Tüüpiliselt kogu Eesti kliimale langeb enim sademeid maist septembrini. Keskmine sademetega päevade arv on 189 ehk veidi üle poole aastast.

Maa-ameti kaardirakenduse mullakaardi andmetel on Kaunase pst valgalal valdavalt leostunud ja leetjad gleimullad, välja arvatud ala kaguosas, kus esineb sügav madalloomuld. Põhjavee kaitstuse hinnangu kohaselt asub Kaunase pst küll enamjaolt suhteliselt ja keskmiselt kaitstud alal, kuid valgala kirdeosas esineb ka nõrgalt kaitstud alasid (Maa-ameti geoloogilise kaardi andmetel). Annelinna linnaosa on Tartus kõige suurema asustustihedusega piirkond (5044 in/km²), kus suurima vanusegrupi moodustavad 19-64-aastased inimesed. Maabilanss maaomandivormi järgi jaguneb ligikaudu: 25% eramaad, 60% munitsipaalmaad, 3% riigimaad ja 12% ülejäänud pinnad (Tartu Linnavalitsus 2013).

11.2 Strateegiad ja meetmed Kaunase pst valgalal

Kaunase pst valgala on jaotatud vastavalt välitööde käigus täheldatud valdavale maakasutusele erinevateks alamvalgaladeks: transpordimaa (sõiduteed koos piirnevate haljasaladega), elamumaa (9 ja 5korruseliste korterelamute alad koos tupiktänavate ja haljasaladega), ühiskondlike ehitiste alad (lasteaiad, koolid, raamatukogu), üldkasutatav maa (haljasalad), ärimaa (ärihooned koos parklatega), kalmistumaa (Rahumäe kalmistu) ning reformimata maa (looduslik, välja arendamata maa). Vastav valgala jaotus on koostatud peatükis 3, lk 15

„Säästlike sademeveesüsteemide kasutamisoskuse ja terminoloogia“ ja peatükis 7, lk 53 „Säästlike sademeveesüsteemide rakendamisoskused linnas“ kirjeldatud põhimõtete põhjal. Igale alamvalgalale on määratud vastavad säästlikud sademevee strateegiad ja meetmed, mis toetavad sademevee käitlusahela kontseptsiooni ning mis on sobivad kogu Kaunase pst valgala sademevee kõige efektiivsemaks ja säästlikumaks majandamiseks, vastav plaanilahendus on esitatud skeemil 20, lk 72.

Rahumäe kalmistul (piirkond A) on kõvakattega maapinda vähe (enamik piirkonna pinnasest on sademevett läbilaskev). Sellel alal on soovituslik kasutada kõvakattega pindade osakaalu ja äravooluvee hulga vähendamise strateegiat. Seetõttu võib kaaluda Jaama tänava äärses kalmistu parklas vett läbilaskva pinnakatte kasutamist ning krematooriumi hoone katusest koguneva vihmavee kogumist, mida saab taaskasutada igapäevaselt mittejoogikõlbliku veena, kalmistu lillede kastmiseks või hoiustades kuivemate perioodide tarbeks. Nende süsteemide abil on võimalik korraldada sademevee tekkekohapõhist kontrolli ning vähendada olemasolevate kõvakattega pindade mõju ka ülejäänud valgale.



Pilt 32. Vaade Kaunase pst valgala kirdeosa rohumaale

Piirkond B on hetkel arendamata maa, kus esineb nii kõrghaljastus ja ka ulatuslik rohumaad. Kui tulevikus on plaanis sellele alale arendustegevus, siis on soovituslik ala planeerimisel kasutada säästlike sademeveesüsteemide strateegiaid. Uute arenduste raames on säästlike sademeveesüsteemide rakendamine oluliselt lihtsam ja odavam lahendus. Kuna selles

piirkonnas on säilinud looduslik veeringe, ei mõjuta piirkond B ülejäänud valgala sademevee äravooluhulki negatiivselt, vaid soodustab loodusliku hüdroloogilise veeringe toimimist.

Suure liikluskoormusega sõiduteed (piirkond C) on valgala olulised reostusallikad. Piirkonnas on soovituslikuks kasutada asukohapõhist kontrolli ning sademevee äravoolu edasikandmise ja töötlemise strateegiat. Kõvakattega pindadelt tuleneva sademevee äravoolu majandamiseks on sobiv meede haljaskraavide ja roheribade kasutamine sõiduteede ääres ja eraldussaartel. Nimetatud meetmete abil on võimalik korraldada sademevee asukohapõhist kontrolli. Näiteks on Kaunase pst tänaval võimalik rajada tänu piisavalt laiale sõiduteealale rohelist puhveralast haljaskraavide näol eraldussaartena kahe liiklussuuna vahele. Samuti ääristavad Kaunase pst mitmed haljasalad, kuhu on võimalik rajada äravoolu suunavad roheribad. Lisaks on võimalik suunata sademevee äravool haljaskraavi valgala Jaama tänava lõigu Häirekeskuse hoone poolsel äärel ja Kalda tänava sõidutee Emajõe poolsel äärel. Vaba ruumi olemasolu silmas pidades on säästlike sademeveesüsteemide rakendamine eeldatavasti tõhusaim Kaunase pst sõiduteel. Jaama ja Kalda tänava sõiduteealadel on vaba ruumi vähem, seetõttu võib olla raskendatud piisava suurusega äravoolusüsteemi rajamine, mis suudaks efektiivselt ja tõhusalt töödelda sinna juhitud sademevett.



Pilt 33. Vaade Kaunase pst tänavale

Piirkonnas D asuvad erinevad ühiskondlikud hooned (koolid, lasteaiad ja raamatukogu) koos neid ümbritsevate haljasaladega. Piirkonnas on soovituslik kasutada tekkekohapõhist kontrolli ning kõvakattega pindade ja vihmavee äravoolu koguste vähendamise strateegiat, kasutades haljaskatuseid ja vihmaveemahuteid. Koolimajade ja lasteaedade lamekatustele on võimalik rajada haljaskatused, mis lisaks sademevee majandamisele on ka võimalikud õppevahendid koolitöös. Kogutud vihmavett on võimalik kasutada niisutuseks ja taaskasutuseks mittejoogikõlbuliku veena.



Pilt 34. Vaade kergliiklusteed ümbritsevale haljasalale, taamal ühiskondlikud hooned

Piirkond E moodustab kõige suurema osa kogu valgalast, kus asuvad 5- ja 9-korruselised korterelamud koos siseõuede, kõrval- ja tupiktänavate ning kergliiklusteedega. Piirkonnas on soovituslik kasutada tekkekohapõhist kontrolli, äravoolu koguste vähendamist tsentraalses sademeveekanalisisatsioon, äravoolu kvaliteedi parandamist ja kõvakattega pindade osakaalu vähendamist, samuti kergliiklusteede ääres sademevee edasikandmise meetmeid. Soovituslikeks meetmeteks on vett läbilaskvate pinnakatete kasutamine kortermajadevahelistel sõidu- ja kõnniteedel ja parklates. Kuna piirkonnas on sõidu- ja kergliiklusteede katendite olukord kehv, tekib hea võimalus sellise tehnoloogia rakendamiseks tulevaste rekonstrueerimistöde käigus. Hoonete katustelt koguneva sademevee käitlemiseks on sobivam rajada siseõuede vihmaaiad, mis pakuvad lisaks sademevee kvaliteedi parandamisele ka esteetilisi ja rekreatiivseid hüvesid.

Ala läbivate kergliiklusteede ääres on sobilik kasutada haljaskraave vee edasijuhtimiseks ja filtreerimiseks.



Pilt 35. Vaade kortermajade vahelisele siseõuele

Piirkond F moodustub erinevatest kaubandus- ja ärihoonetest ning neid ümbritsevatest parklatest. Sademevee äravoolu majandamise soovituslik strateegia on tekkekohapõhine kontroll, kõvakattega pindade ja äravoolukoguste vähendamine. Kaubandus- ja äripindade puhul on vaba ruumi haljaskraavi, vihmaaia või muu pinnapealse süsteemi kasutuseks vähe, seega on soovituslik kasutada vett läbilaskvaid pinnakatteid ning haljaskatuseid.



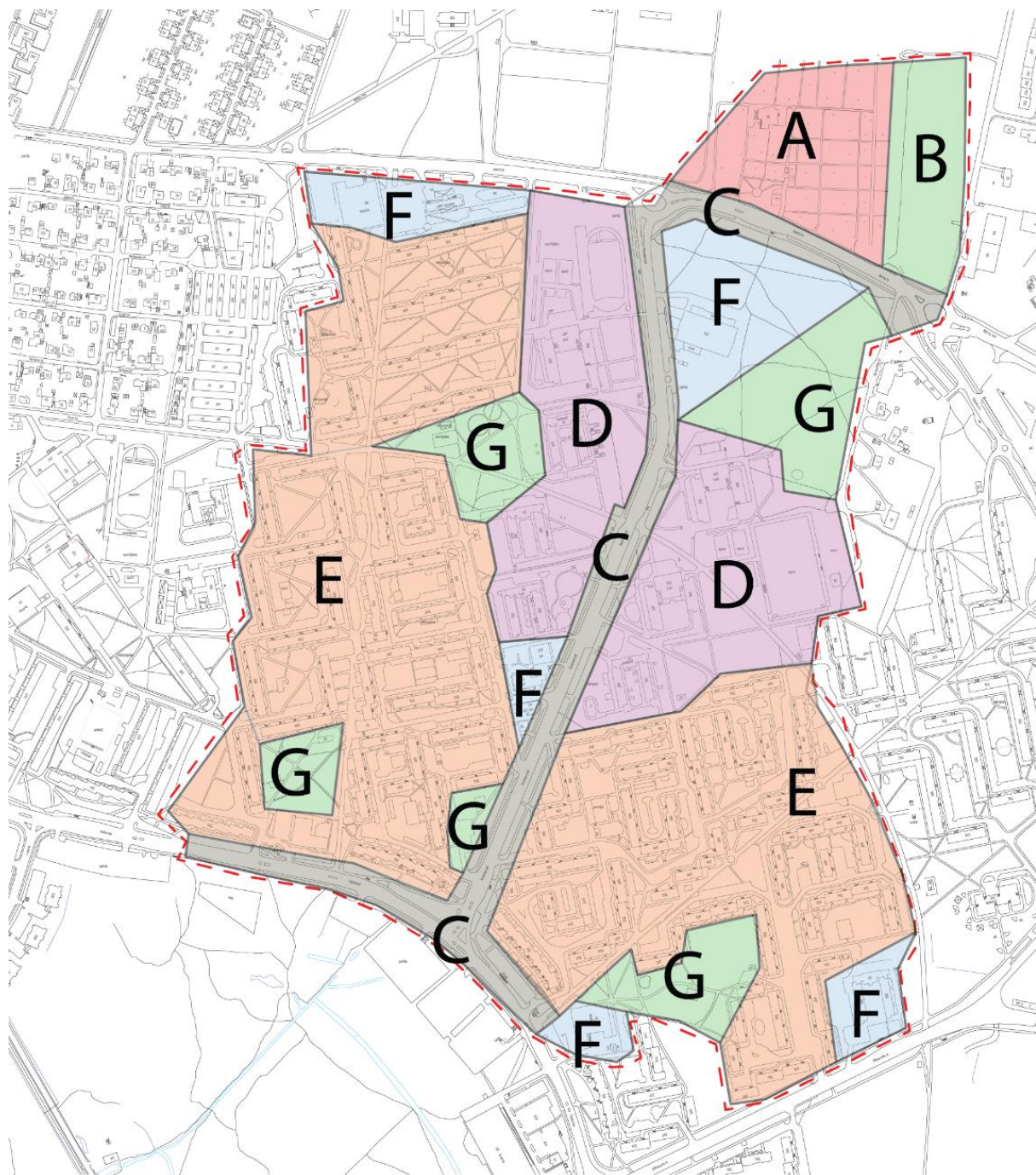
Pilt 36. Vaade kaubandushoonele

Piirkond G koosneb erinevatest haljasaladest, kus sademevee äravoolu käitlemise soovituslikuks strateegiaks on olemasoleva loodusliku pinnase säilitamine, uute rekreatsiooniprojektide läbiviimisel säästlike sademeveesüsteemide tekkekohapõhise kontrolli põhimõtete järgimine ja lisaks sademevee asupaigapõhine kontroll valgala kirdeosas. Tekkekohapõhiseks kontrolliks on soovituslik meede vihmaedade kasutamine. Soovituslik tehnoloogia valgala kirdeosas on sademevee märgtiigi rajamine (olemasoleva tiigi rekonstrueerimine), mis töötleb eelkõige Jaama tänavalt kogunevat äravooluvett.



Pilt 37Tiik valgala kirdeosas

Kogu valgala sademevee äravoolu käitlemise strateegia on kasutada säästlike sademeveesüsteemide käitlemisahelat koostöös olemasoleva traditsioonilise sademeveetorustikuga, et vähendada Anne kanalisse suubuva sademevee hulka ning luua Kaunase pst valgale võimalusi maastikuarhitektuurse ilme rikastamiseks ning esteetiliste ja ökoloogiliste hüvede loomiseks, mida kirjeldati peatükis 5, lk 46 „Säästlik sademeveesüsteem ökosüsteemiteenuste pakkujana“ ja peatükis 6, lk 48 „Säästlikud sademeveesüsteemid linnamaastiku kujundajana“.



- A- kalmistu- vihmavee kogumine, läbilaskev pinnakate
- B- looduslik ala- arendamata maa, oportunistlik võimalus säästlike lahenduste kasutamiseks tulevikus
- C- sõiduteed- haljaskraav, roheriba
- D- ühiskondlikud hooned- rohekatus, vihmavee kogumine
- E- 5-9korruselised paneel eramud, poolavalik siseõu, kergliiklusteed- läbilaskev pinnakate, vihmaaed, haljaskraav
- F- ärihooned, parklad- rohekatus, läbilaskev pinnakate
- G- haljasalad - vihmaaed, märgtiik

Skeem 20. Sademevee äravoolu käitlemise tehnoloogiad Kaunase pst valgalal

12. Sademevee äravoolu tehnoloogiate võimalikud mõjud

Kaunase pst valgalale on tehtud ettepanek sademevee äravoolu korraldamiseks, kasutades säästlike sademeveesüsteemide meetmeid. Valitud lahenduste ja traditsioonilise sademeveetorustiku mõju erinevatele majanduslikele ja keskkondlikele aspektidele on toodud tabelites 2 ja 3: tabel 2 „Sademevee äravoolu tehnoloogiate üldine mõju majanduslikele aspektidele ja tabel 3, lk 76 „Sademevee äravoolu tehnoloogiate mõju veevoolu hulga, kvaliteedile ja linnakeskkonnale“.

Tabel 2. Sademevee äravoolu tehnoloogiate üldine mõju majanduslikele aspektidele

	Mõju	Maakasutus	Investeeringukulud	Hoolduskulud	Kogumaksumus
Tehnoloogia	Vihmaaed	K	K*	K*	S*
	Haljaskraav	S	K*	K*	K*
	Märghiik	S	K*	K*	S*
	Roheriba	K	M*	M	M
	Läbilaskev pinnakate	M (neto)	K	M	K
	Haljaskatus	<i>ei mõjuta</i>	K*	K*	/
	Vihmavee mahuti	<i>ei mõjuta</i>	M	M	M
	Sademevee kanalisatsioon	<i>ei mõjuta</i>	S	K	S
/ - info puudub					
* - oleneb ka konkreetsest lahendusest					
S - suur kulu					
K - keskmine kulu					
M - madal kulu					

Valikalale esitatud võimalike säästlike sademeveesüsteemide meetmeteks on vihmaia, haljaskraavi, roheriba, läbilaskva pinnakatte, haljaskatuse ja vihmaveemahutite kasutamine. Suurima maavajadusega süsteemid on haljaskraav ja märghiik, keskmise maavajadusega vihmaaed ja roheriba. Olemasolevat vaba ruumi maapinnal ei vaja haljaskatuste ja vihmaveemahutite kasutamine, samuti traditsioonilise sademeveetorustiku kasutamine. Vihmaia, haljaskraavi, märghiigi ja haljaskatuse investeeringu- ja hoolduskulud ning kogumaksumus sõltuvad spetsiifilistest lahendustest, kuid võrreldes ülejäänud tehnoloogiatega on nende vastavad kulud keskmised. Kogumaksumus on suurim vihmaia, märghiigi ja sademevee kanalisatsiooni kasutamisel. Madalaim kulu on roheribade ja vihmaveemahutite

kasutamisel. Koostatud tabel näitab tehnoloogiate maksumuse omavahelist võrdlust. Tüüpiliselt on kulud bioloogilistel protsessidel põhinevate tehnoloogiatele (vihmaaed, haljaskraav, märgtiik) suuremad kuna süsteemis kasutatakse palju orgaanilist materjali, mis on tundlikum erinevatele muutustele ajas ja keskkonnas. Kuna iga valitud säästliku tehnoloogia hooldusvajadus sõltub kogunenud setete ja sademete hulgast ning süsteemi töövõimekusest, olenevad kogukulud konkreetsetest lahendustest ja hoolduse sagedusest.

Erinevate valitud tehnoloogiate ja traditsioonilise sademeveetorustiku mõju äravoolu vee kogustele, kvaliteedile ja keskkonnale on esitatud tabelis 3, lk 75. Läbilaskev pinnakate, haljaskatus ja vihmavee mahuti on peamised äravoolu ennetusmeetodid. Tekkekohapõhist kontrolli soodustavad kõik esitatud tehnoloogiad (välja arvatud märgtiik). Asupaigapõhist kontrolli mõjutavad enim haljaskraavi ja märgtiigi kasutamine. Äravoolu peamised edasikandjad on haljaskraav ja sademeveetorustik. Äravoolu hulka reguleerivad kõik säästlikud sademevee tehnoloogiad, vähemal määral roheriba ja vihmaveemahuti kasutamine. Veevoolu kvaliteedi parandamist mõjutavad kõik säästlikud sademevee tehnoloogiad, vähemal määral roheriba, läbilaskva pinnase ja vihmavee mahuti kasutamine.. Esitatud lahenduses on sademevee äravoolu keskkonnahoidliku käitlemise ja linnaruumi kujundamise suurimateks mõjutajateks märgtiik, haljaskraav, vihmaaed ja haljaskatus, olenevalt konkreetsest lahendusest ka läbilaskva pinnakatte kasutamine. Linna esteetikat edendavad enim vihmaaia, haljaskraavi, märgtiigi ja haljaskatuste kasutamine. Sademevee torustik mõjutab eelkõige sademevee asupaigapõhist kontrolli ja edasikandumist, vähemal määral ka tekkekohapõhist kontrolli. Seetõttu pakub säästlike sademeveesüsteemide kasutamine rohkem võimalusi vee kvaliteedi parandamiseks, äravoolukoguste vähendamiseks ja linnaruumi kujundamiseks kui ainult tsentraalse sademeveetorustiku kasutamine.

Tabel 3. Sademevee äravoolu tehnoloogiatega mõju veevoolu hulga, kvaliteedile ja linnakeskkonnale.

		Tehnoloogia							
Mõju		Vihmaaed	Haljaskraav	Märgtiik	Roheriba	Läbilaskev pinnakate	Haljaskatus	Vihmavee mahuti	Sademevee torustik
Sademevee käitlusahel	Ennetus	≈				◇	◇	◇	
	Tekkekohakontroll	◇	◇		◇	◇	◇	◇	≈
	Asupaiga kontroll	≈	◇	◇		≈			◇
	Piirkondlik kontroll			◇					
	Edasikandmine	≈	◇		≈			≈	◇
Veevoolu hulk	Edasikandmine		◇		≈			≈	◇
	Kinnipidamine	◇	◇	◇		◇	◇	≈	≈
	Immutamine	≈	≈	≈	≈	◇		◇	
	Taaskasutus							◇	
Veevoolu kvaliteet	Setitamine		◇	◇	◇	◇		≈	
	Filtreerimine	◇	◇	◇	◇	◇	◇	≈	
	Immutamine	◇	◇	◇	◇	◇	◇	≈	
	Bioloogiline lagundamine	◇	◇	◇	≈	≈	◇	≈	
Linnakeskkond	Linnaruumi kujundus	◇	◇	◇	≈	◇	◇	≈	
	Esteetika	◇	◇	◇	≈	≈	◇	≈	
	Hüvede pakkumine	◇	≈	◇	≈	≈	◇	≈	
	Linna ökoloogia	◇	◇	◇	≈	≈	◇	≈	
	Roheline infrastruktuur	◇	◇	◇	◇		◇		

◇ - peamine positiivne mõjutus

≈ - võimalik mõjutus, sõltub konstruktsioonist

Säästlike sademeveesüsteemide kasutamisega kaasnevad ka mitmed sotsiaal-kultuurilised mõjud, mis olenevad kohakontekstist, rahvastikust ja üldistest väärtustest. Peamised mõjutused säästlike süsteemide rakendamisevõimaluste leidmisel on vastuvõetavus huvirühmade poolt (näiteks kohalikud elanikud, kohalik omavalitsus, vee-ettevõtjad, arendajad ja keskkonnaministeerium), osaluse ja vastutuse aspektid ning linnaruumi kasutamise aktiivsus. Käesoleva töö meetodite raames on võimalik hinnata tehnoloogiate mõju linnaruumi kasutamisele ning teiste sotsiaalsete mõjude hindamine vajab eraldi uurimismeetodikat (kohavaatlused, küsitlusankeedid ja intervjuud), mida käesolevas töös ei kasutata. Valitud meetmetest soodustavad Kaunase pst valgala linnaruumi aktiivset kasutamist eelkõige vihmaedade, haljaskraavide ja märgtiigi tehnoloogiad, mis pakuvad esteetilisi naudinguid ja rekreatiivseid võimalusi erinevatele sotsiaalsetele gruppidele, ning mille põhimõtteid kirjeldab peatükk 6, lk 48 „Säästlikud sademeveesüsteemid linnamaastiku kujundajana.“ Nimetatud peatükis kirjeldatakse ka maastikuarhitektuursete kujundusvõtete kasutamist, mida saab kasutada valitud tehnoloogiatest kõige mitmekülgselt vihmaaia, haljaskraavi, märgtiigi ja haljaskatuse kujundamisel.

13. Säästlike sademeveesüsteemide rajamismaksumus Kaunase pst valgalal

Kaunase pst valgalale on koostatud hinnanguline ehitusmaksumuse võrdlus valitud säästlike sademeveesüsteemide tehnoloogiate ja traditsioonilise sademeveetorustiku rajamismaksumuse vahel (tabel 4).

Tabel 4. Säästlike sademeveesüsteemi tehnoloogiate ja traditsioonilise sademeveetorustiku hinnangulise rajamismaksumuse võrdlus

	Hind mõõtühiku kohta	Ulatus valgalal, vastavas mõõtühikus	Rajamismaksumus €	Kokku €
Haljaskraav	90 €/m ² ^a	2100 m ²	190 000	3 460 000
Märgtiik	60 €/m ²	780 m ²	47 000	
Vihmaaed	80 €/m ²	4500 m ²	360 000	
Läbilaskev pinnas	70 €/m ²	38000 m ²	2 660 000	
Haljaskatus	40 €/m ² ^b	4100 m ²	160 000	
Roheriba	20 €/m ²	1800 m ²	36 000	
Vihmavee mahuti	300 €/m ³	16 m ³	4 800	
Sademevee torustik	300 €/m	12500 m	3 750 000	3 750 000

a- kasutades kõrg- ja madalhaljastust
b- ekstsensivse katuse puhul

Kõige suurema osakaalu valgala pindalast moodustab vett läbilaskva pinnase kasutamine 38 tuhande ruutmeetrise kogupindalaga, kõige väiksema osakaalu vihmavee mahutite kasutamine, vastavalt 16 m³. Kõrgeim hind ühe ruutmeetri kohta esineb haljaskraavi, vihmaaia ja läbilaskva pinnakatte kasutamisel (70 - 90 €/m²). Haljaskraavi ruutmeetri maksumus on kõrge, kuna maksumuse arvutamisel on arvestatud ka kõrg- ja madalhaljastuse kasutamisega. Madalaim hind on roheribade kasutamisel (20 €/m²). Võrdeliselt tehnoloogiate osakaaludele valgalal on ka kogu rajamismaksumus suurim läbilaskva pinnase kasutamisel, samuti vihmaaia ja haljaskraavi kasutamisel. Madalaim rajamismaksumus esineb vihmaveemahutite kasutamisel, hoolimata mahutite kõrge hinnast ühe mõõtühiku kohta. Valitud säästlike sademeveesüsteemide tehnoloogiate kogu rajamismaksumus Kaunase pst valgalal on hinnanguliselt 3,5milj. eurot, mis on samas suurusjärgus sademevee torustiku rajamismaksumusega, vastavalt 3,7milj. eurot.

Eestis ei ole säästlike sademeveesüsteemide rakendamist sellises mahus praktikas teostatud, seega saab võrrelda ainult hinnangulisi rajamismaksumusi. Teostatud hinnavõrdluse eesmärk oli näidata hindade suurusjärke võimalike tulevaste projektide investeerimismahtude tarbeks ning tegelike hindade leidmiseks on vajalik koostada kohaspetsiifilised lahendused, kus on teada tehniline teostus, kasutatav materjal ja dimensioonid. Siiski võib järeldada, et säästlike sademeveesüsteemide kasutamine ei ole oluliselt kallim kui traditsioonilise torustiku kasutamine ning kartus kõrge rajamismaksumuse ees ei tohiks olla takistuseks selliste süsteemide kasutuselevõtul.

Kokkuvõte

Majanduse ja ühiskonna kiirest arengust tingitud linnastumine on tekitanud suuri muutusi vee hüdroloogilises tsüklis. Kõvakattega pindade suure osakaalu tõttu ei suuda sademetena langenud vesi enam looduslikult maapinda imbuda ning linnades suureneb kanaliseeritava sademevee hulk, mis juhitakse suublatesse nii ühis- kui lahkvoolsete kanalisatsioonitorude kaudu. Linnastumisega kaasnev reostus halvendab veekogudesse ja pinnasesse jõudva sademevee kvaliteeti ning on ohuks veeressursside jätkusuutlikkusele. Säästlik sademeveesüsteem ehk pinnavee äravoolu süsteem püüab imiteerida loodusliku veeringe protsesse, et leevendada linnade arenguga kaasnevaid negatiivseid mõjusid keskkonnale. Säästlike sademeveesüsteemide eesmärk on äravoolu käitlemine maapinnal võimalikult allikalähedaselt ehk tekkekohas, kasutades selleks tehnoloogiaid, mis hoiustavad, filtreerivad ja immutavad sademevett.

Säästlike sademeveesüsteemide tehnoloogilised lahendused on väga mitmekülgsed ning olenevad kohaspetsiifilistest tingimustest. Kirjanduses on koostatud mitmeid juhisdokumente ja uurimusi erinevate tehnoloogiate kasutamise võimalustest ja töövõimest, nii soojas kui ka külmas kliimas, nii tööstusrajoonides kui elamupiirkondades, mida on võimalik kohaldada ka Eesti tingimustesse. Maastikuarhitektide ja linnaplaneerijate seisukohast vaadatuna pakub säästlike lahenduste kasutamine ka mitmeid loominguulisi ja efektiivseid võimalusi linnakeskkonna kujundamiseks, mille tulemusena tõuseb avaliku ruumi esteetiliste, rekreatiivsete ja ökoloogiliste hüvede hulk.

Käesolevas töös koostati strateegiline lahendus sademevee äravoolu säästlikuks korraldamiseks Kaunase pst valgalal. Uurimuse käigus jagati valikala valdava maakasutusviisi järgi alampiirkondadeks ning igale piirkonnale esitati strateegilised meetmed sademevee äravoolu käitlemiseks. Esitatud lahendused loovad ühtse terviku kogu valgalal, moodustades sademevee käitlusahela, mis järkjärgult vähendab äravoolu koguseid ja reostuskoormust. Koostatud võrdlusanalüüs näitas, et äravoolu korraldamisel on säästlike sademeveesüsteemide tehnoloogiate kasutamisel traditsioonilise sademeveetorustiku ees palju eeliseid, mis soodustavad veeressursside jätkusuutlikku kasutamist ja mitmekülgse linnakeskkonna kujundamist. Võttes Kaunase pst valgalal kasutusele sademevee ennetus- ja tekkekohapõhise

kontrolli meetmed (vihmaveemahutite, vihmaaedade, haljaskatuste ja vett läbilaskvate pinnakatete kasutamise) on võimalik vähendada sademevee äravoolu hulka ja reostust tänavatel, sademevee torustikes ja suublas (Anne kanalis). Võttes kasutusele asukohapõhise kontrolli meetmed (haljaskraavid ja roheribad) on võimalik suurendada Anne kanalisse juhitava äravoolu kvaliteeti. Töö tulemused näitavad, et maapealsete säästlike sademeveesüsteemide kasutamine loob rohkem võimalusi Kaunase pst-d ümbritseva linnakeskkonna atraktiivsemaks muutmiseks, mugava mikrokliima loomiseks ning esteetiliste ja ökoloogiliste hüvede suurendamiseks, kui ainult tsentraalse sademeveetorustiku kasutamine.

Töös koostati rajamismaksumuse võrdlus, mille tulemused näitasid, et säästlike sademeveesüsteemide hinnanguline rajamismaksumus Kaunase pst valgalal on samas suurusjärgus tsentraalse sademeveetorustiku maksumusega, olles koostatud lahenduse kohaselt isegi väiksem. Tulemus näitab, et säästlike sademeveesüsteemide kasutamisel ei tohiks määravaks takistuseks olla eelarvamus kõrgest rajamismaksumusest. Pigem tekitab see valikuvõimalusi alternatiivsete ja säästlikema lahenduste kasutamiseks, mis on pikemas perspektiivis tulusamad kui ainult tsentraalse sademeveetorustiku kasutamine.

Kuigi Kaunase pst valgalale esitatud ettepanek säästlike sademeveesüsteemide kasutamisest lähtub strateegilistest meetmetest, annab koostatud lahendus üldise tegevusraamistiku ka erinevate „oportunistlike“ võimaluste ärakasutamiseks, näiteks säästlike tehnoloogiate rakendamine tulevaste parandustööde ja regeneratsiooniprojektide käigus. Töös esitatud lahenduse põhimõtteid on võimalik kasutada ka kogu Tartu linna hõlmava sademevee arengustrateegia koostamisel.

Töö koostamisel ilmnas, et säästlike süsteemide kasutamise kontseptsioonid ja terminoloogia ei ole alati üheselt mõistetavad ning puudub universaalne eestikeelne tüpologia, mis hõlbustaks selliste tehnoloogiate kasutamist. Edasist uurimist vajavad säästlike sademeveesüsteemide kasutamise poliitilised ja institutsionaalsed aspektid, mis on tihti määravad tegurid selliste süsteemide rakendamisel linnaruumi. Samuti on vajalik uurida säästlike süsteemide kasutamise vastuvõetavust erinevate huvigruppide poolt.

Summary

The use of impermeable pavement in urban settings has affected natural hydrological cycles in ways that increase surface runoff, lower the quality of storm-water runoff in downstream water bodies, and cause more risk of flooding. Sustainable drainage systems use various measures to address sustainable water management in which source control is preferred rather than “end of pipe” solutions. Sustainable drainage systems have the ability to improve the quality of storm-water, reduce the amount of runoff in the streets, and provide many aesthetic and environmental benefits; taken together, these aspects help to promote sustainable development in cities.

An example of a strategic measure for retrofitting urban stormwater runoff management using sustainable drainage systems is presented for Kaunase puistee catchment area in Tartu, Estonia. The study area is divided into sub-catchments depending on land use and pollution risks. For each sub-catchment, strategies and specific measures for retrofitting sustainable drainage systems are presented. Multi-criteria analysis of the proposed measures suggest various benefits for using sustainable drainage systems instead of traditional drainage pipes; chief among these benefits are enhancements to urban design and aesthetics. A general cost-benefit analysis is also conducted and determines that the capital cost of using sustainable drainage systems in Kaunase puistee catchment area is lower than a traditional drainage pipe system. Findings further suggest that the most effective storm-water management plan for Kaunase puistee catchment area incorporates sustainable drainage systems into the existing drainage pipe system infrastructure to reduce runoff quantities in the storm-water collectors and improve the quality of runoff in a key downstream water body, the Anne canal. Use of sustainable drainage systems (swales, rain gardens, wet ponds, green roofs and permeable pavement) will help improve the aesthetics of public space, provide more benefits than traditional drainage systems, and address the issues of the lack of appropriately scaled public space in Annelinn.

Findings from this research underscore the need for a comprehensive guidance manual in the Estonian language for sustainable drainage systems due to a lack of research in Estonia and a diverse abundance of terminology in other countries that can lead to miscommunication and confusion. Further research is recommended to address the political and institutional barriers of retrofitting sustainable drainage systems in Estonia.

Kasutatud kirjandus

- Aldrich, J. A. (2012). Chapter 9 Infiltrators. *Design of Urban Stormwater Controls*. Virginia: WEF Press.
- Aldrich, J. A., & Medina, D. E. (2012). Chapter 7 Swales and Strips. *Design of Urban Stormwater Controls*. Virginia: WEF Press.
- Alkranel, OÜ (2005). *Alternatiivsete sademevee äravoolu- ja kogumissüsteemide uurimustöö*. Tartu.
- Atkins. (2004). *Scottish Water SUDS Retrofit Research Project. Report to Scottish Executive*. Šotimaa.
- Ballestro, T., & Aldrich, J. A. (2012). Chapter 8 Filters. *Design of Urban Stormwater Controls*. Virginia: WEF Press.
- Barrett, M. (2012). Maintenance of Stormwater Controls. *Design of Urban Stormwater Controls* (lk 442). WEF Press.
- Brown, R. (2012). Transitioning to the water sensitive city: The socio-technical challenge. *Water Sensitive Cities* (lk 29-42). London. IWA Publishing.
- Burian, S. J., & Edwards, F. G. (2002). Historical Perspectives of Urban Drainage. *Ninth International Conference on Urban Drainage (9ICUD)* (lk 1-16). Portland, Oregon. American Society of Civil Engineers.
- Casal-Campos, A., Jeffries, C., & Momparler, P. (2012). Selecting SUDS in the Valencia Region of Spain. *Water Practice and Technology*.
- Dechesne, M., Barraud, S., & J.P, B. (2002). Performance of stormwater infiltration basins on the long term. *Global Solutions for Urban Drainage*. Portland, Oregon.
- Digman, C., Ashley, R., Balmforth, D., Balmforth, D., Stovin, V., & Glerum, J. (2012). *Retrofitting to manage surface water C713*. London. CIRIA.

- Echols, S., & Pennypacker, E. (2008). From Stormwater Management to Artful Rainwater Design. *Landscape Journal*, 27:2-08.
- Eesti Entsüklopeedia. *Eesti mullastik* [WWW]
http://entsyklopeedia.ee/artikkel/eesti_mullastik (26.05.2015)
- Eesti Keskkonnaministeerium (2015). *Veemajanduskavad*. [WWW]
<http://www.envir.ee/et/veemajanduskavad> (26.05.2015)
- Eesti Keskkonnaministeerium (2005). *Säästev Eesti 21*. [WWW] <http://www.envir.ee/2847>
 (26.05.2015)
- Eisenman, T. S. (2013). Frederic Law Olmsted, Green Infrastructure, and the Evolving City. *Journal of Planning History*, 287-311.
- Eke Nora OÜ (2015). *OÜ Eke Nora poolt väljatöötatud ehituslike üksushinnete loetelu*
- Ellis, J., Shutes, R., Forshaw, M., ja Winter, B. (2001). SUDS and constructed wetlands: how compatible are they? *National Conference on Sustainable Drainage*, (lk 147-158).
 Coventry Ülikool.
- ENSR Corporation (2005). *Pilot TMDL Applications using the Impervious Cover Method*
 [WWW]http://www.epa.gov/region1/eco/tmdl/pdfs/ensr_pilot/ENSR_PilotTMDLsusin gICM.pdf (25.05.2015)
- Erickson, A. J., Weiss, P. T., ja Gulliver, J. S. (2013). *Optimizing Stormwater Treatment Practices: A Handbook of Assessment and Maintenance*. New York: Springer Science .
- Fach, S., Engelhard, C., Wittke, N., ja Rauch, W. (2011). Performance of infiltration swales with regard to operation in winter times in an Alpine region. *Water Science and Technology*.
- Ferguson, B. C., Brown, R. R., Frantzeskaki, N., de Haan, F., ja Deletic, A. (2013). The enabling institutional context for integrated water management: Lessons from Melbourne. *Water Research*, 7300-7314.

- Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., . . . Viklander. (2014). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more - The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*.
- Fletcher, T., Peljo, L., Fielding, J., Wong, T., ja Weber, T. (2002). The performance of vegetated swales for urban stormwater pollution control. *Global Solutions for Urban Drainage*. Portland, Oregon.
- Haapsalu Veevärk AS (2014). *Haapsalu ühisveevärgi ja –kanalisatsiooni arengukava aastateks 2014-2025*. [WWW] <http://www.hvv.ee/wp-content/uploads/2011/12/Haapsalu-%C3%9CVK-arengukava-2014-2025.pdf> (26.05.2015)
- HCA ja Evans, R. (2013). *Urban Design Compendium*. London, UK: HCA.
- Jefferies, C., Duffy, A., Berwick, N., McLean, N., ja Hemingway, A. (2009). SUDS Treatment Train Assessment Tool. *Water Science Technology*, 1233-1240.
- Jeffries, C. (2001). *SUDS Monitoring Programme*. Edinburgh, Scotland: SNIFFER.
- Järve Biopuhastus OÜ (2014). *Kohtla-Järve linna ühisveevärgi ja –kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2015-2026* [WWW] <http://www.kohtla-jarve.ee/index.php?area=1&p=static&page=arengukava> (26.05.2015)
- Kadrina vald (2015). *Kadrina valla ühisveevärgi- ja kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2015-2026*. [WWW] <http://www.kadrina.ee/atp/?id=395> (26.05.2015)
- Keila linn (2015). *Keila linna ühisveevärgi ja –kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2015-2026* [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/aktiivisa/4090/4201/5012/kava.pdf#> (26.05.2015)
- Kinkade-Levario, H. (2007). *Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse*. Kanada. New Society Publishers.
- Kuressaare linn (2014). *Kuressaare ühisveevärgi ja –kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2014-2025* (26.05.2015)

- Lloyd, S., Pamminger, F., Wang, J., ja Wallner, S. (2012). Transitioning existing development to more sustainable urban water infrastructure. *World Water Congress ja Exhibition* (lk 10). Busan, Korea: IWA .
- Mader, A., Patrickson, S., Calcaterra, E., Smit, J., Blignaut, J., de Wit, M., ja van Zyl, H. (2011). *TEEB Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management*. TEEB - The Economics of Ecosystems and Biodiversity.
- MEA (2005). Millennium Ecosystems Assessment. *Ecosystems and Human Wellbeing: Synthesis*. Washington, DC: Island Press.
- Mäckström, M., ja Viklander, M. (2000). Integrated stormwater management in cold climates. *Journal of Environmental Science and Health*, 1237-1249.
- Nelson, V. (2012). Achieving the water commons - The role of decentralised system. *Water Sensitive Cities* (lk 9-28). London. IWA Publishing.
- Novotny, V., ja Brown, P. R. (2007). Cities of the Future: Towards Integrated Sustainable Water and Landscape Management. *Cities of the Future - Bringing Blue Water to Green Cities*. IWA Publishing.
- Pachel, K. (2014). *Sademevee kanalisatsiooni perspektiivsed lahendused*. [WWW]
http://www.ttu.ee/public/t/Taiendusoppijale/Sademevesi_02.04.2014_Karin_Pachel.pdf
 f (26.05.2015)
- Pae, K. (2015). *Ülev ja Igapäevane*. [WWW]
<https://annelinnaportaal.wordpress.com/2015/04/18/ulev-ja-igapaevane> (26.05.2015)
- Paide linnavalitsus (2014). *Paide linna ühisveevärgi ja –kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2015-2027* [WWW]
<https://www.riigiteataja.ee/aktiivisa/4110/2201/5018/%C3%99CVK%20kava.pdf#>
 (26.05.2015)

- Poleto, C., ja Tassi, R. (2012). Sustainable Urban Drainage Systems. *Drainage Systems* (lk 57-58). InTech.
- Pärnu linn (2014). *Pärnu linna ühisveevärgi- ja kanalisatsiooni arendamise kava 2015-2026* [WWW] <http://www.parnu.ee/index.php?id=1553> (26.05.2015)
- Raasiku vald (2015). *Raasiku valla ühisveevärgi ja –kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2015-2026* [WWW] http://raasiku.kovtp.ee/documents/821183/5302407/Raasiku+valla+%C3%9CVK+AK+2015-2026_01-12-14.pdf/28afa7f2-9332-4656-80d4-2d7aedecbae4;jsessionid=7698A0E4CE4C45852BDD6992DC614803.jvm2?version=1.0 (26.05.2015)
- Rakvere linnavalitsus (2014). *Rakvere linna ühisveevärgi ja –kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2014-2025* [WWW] <http://rakvere.kovtp.ee/linna-uhisveevargi-ja-kanalisatsiooni-arengukava> (26.05.2015)
- Revitt, D., Shutes, R., Jones, R., Forshaw, M., ja Winter, B. (2003). Practical experience of the use of vegetated ponds for the treatment of highway runoff. *Sustainable Drainage*, (lk 19-29). Coventry Ülikool.
- Riigi Ilmateenistus (2015). *Igapäevased sademete summad Tartu-Tõraveres ajavahemikul 2000-2015*.
- Roach, V. A., Aldrich, J. A., ja Limtrajiti, V. (2012). Chapter 6 Basins. *Design of Urban Stormwater Controls*. Virginia: WEF Press.
- Roseen, R. M., Ballester, T. P., Houle, J. J., Avellaneda, P., Briggs, J., Fowler, G., ja Robert, W. (2009). Seasonal Performance Variations for Storm-Water Management Systems in Cold Climate Conditions. *Journal of Environmental Engineering*, 128-137.
- Roseen, R. M., Ballester, T. P., Houle, J. J., Briggs, J. F., ja Houle, K. M. (2012). Water Quality and Hydrologic Performance of a Porous Asphalt Pavement as a Storm-Water Treatment Strategy in a Cold Climate. *Journal of Environmental Engineering*, 81-89.

- Roseen, R., Houle, J., ja Ballestro, T. (2008). Performance of Two Bioretention Systems in a Cold Climate. *Bioretention Research and Extension Symposium* . Rutgers, New Brunswick.
- Sall, M., Uustal, M., ja Peterson, K. (2012). *Ökosüsteemiteenused. Ülevaade looduse pakutavatest hüvedest ja nende rahalisest väärtusest*. SA Säästva Eesti Instituut/ Stockholmi Keskkonnainstituudi Tallinna keskus. Tallinn
- Schluter, W., Spitzer, A., ja Jeffries, C. (2002). Performance of three sustainable drainage systems in east Scotland. *Global Solutions for Urban Drainage*. Portland, Oregon.
- Scholz, M. (2014). Rapid assessment system based on ecosystem services for retrofitting of sustainable drainage systems. *Environmental Technology*, 1286-1295.
- Speirs, I., Mclean, N., Gairns, L., Chatfield, P., Robertsion, E., ja Beecroft, B. (2006). *Retrofitting Sustainable Urban Water Solutions*. Edinburgh.
- Statistikaamet (2015) *Ehitushinnaindeksi muutus võrreldes eelmise aastaga*. [WWW] <http://www.stat.ee/34191> (26.05.2015)
- Stovin, V. S., ja Swan, A. D. (2007). SuDs - cost estimates and decision support tools. *Water Management*, 160(4), lk 207-214.
- Swan, A., ja Stovin, V. (2002). A decision-support framework for the design of retrofit SUDS. *International Conference on Sewer Operation and Maintenance*. Bradford, Inglismaa.
- Tartu Linnavalitsus (2015). *Tartu linna eelarvestrateegia 2015-2018*. [WWW] https://www.tartu.ee/data/ea_strateegia%202015_2018.pdf (26.05.2015)
- Tartu Linnavalitsus (2013). *Statistiline ülevaade Tartu 2012*. [WWW] http://www.tartu.ee/data/tartu_stat_2012_veebi.pdf (26.05.2015)
- Tartu Linnavalitsus (2005). *Tartu linna arengustrateegia 2030*. [WWW] http://www.tartu.ee/data/TARTU%202030_avalikule%20v%C3%A4ljapanekule.pdf (26.15.2015)

- Tartu Linnavalitsus ja Tartu Linnavolikogu (2012). *Tartu linna ühisveevärgi- ja kanalisatsiooni arendamise kava 2012-2025*. [WWW]
<https://www.tartu.ee/data/UVK%20AK%202012-2025.pdf> (26.05.2015)
- Thorolfsson, S. T. (2012). Stormwater Management in Cold Climate. *Urban Flooding: Planning for a blue and green city*. Malmö Rootsi.
- Tunney, K. W. (2001). Innovative Stormwater Design: The Role of the Landscape Architect. *Stormwater*, 30-43.
- Türi vald (2014). *Türi valla ühisveevärgi ja –kanalisatsiooni arendamise kava aastateks 2014-2026* [WWW] https://www.riigiteataja.ee/failid/YVK_arendamise_kava.pdf
(26.05.2015)
- WEF, ASCE, & EWRI. (2012). *Design of Urban Stormwater Controls*. Virginia, USA: WEF Press.
- Weiss, P. T., Erickson, A. J., & Gulliver, J. S. (2007). Cost and pollutant removal of stormwater treatment practices. *Journal of Resources Planning and Management* , 218-229.
- Woods-Ballard, B., Kellagher, R., Martin, P., Jefferies, C., Bray, R., & Shaffer, P. (2007). *The SuDS manual*. CIRIA.
- Võrdlusuuringud linnade veekaitstes - CITYWATER. (2015) [WWW]
<http://www.tallinn.ee/est/Vordlusuuringud-linnade-veekaitstes-CITYWATER>
(26.05.2015)
- ÜRO. (2014). *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision. Highlights*. New York: ÜRO.

Kasutatud seadusandlus

Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2000/60/EÜ *Euroopa Ühenduse ühtne tegevusraamistik vee kaitse kavandamiseks ja korraldamiseks Euroopa Liidus*, 23. oktoober 2000.

Vabariigi Valitsuse 29.novembri 2012. a määrus nr 99 (RT I, 04.12.2012, 1) „*Reovee puhastamise ning heit- ja sademevee suublasse juhtimise kohta esitatavad nõuded, heit- ja sademevee reostusnäitajate piirmäärad ning nende nõuete täitmise kontrollimise meetmed*“

Kasutatud illustratsioonid

Skeemid

Skeem 1. United States Environmental Protection Agency [WWW]

http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_MEDIA/nrcs143_024824.jpg (26.05.2015)

Skeem 4. United States Environmental Protection Agency [WWW]

<http://water.epa.gov/polwaste/npdes/swbmp/Dry-Detention-Ponds.cfm> (26.05.2015)

Skeem 5. The Stormwater Manager's Resource Center [WWW]

http://www.stormwatercenter.net/Manual_Builder/Performance%20Criteria/Stormwater%20ponds.htm (26.05.2015)

Skeem 6. Virginia Water Resources Research Centre [WWW]

http://www.vwrrc.vt.edu/swc/NonPBMPSpecsMarch11/VASWMBMPSpec12FILTERINGPRACTICES_clip_image003.jpg (26.05.2015)

Skeem 7. New Zealand digital library [WWW]

<http://www.nzdl.org/gSDL/collect/fnl2.2/archives/HASH3d2b.dir/p039.gif> (26.05.2015)

Skeem 8. Pennsylvania Department of Environmental Protection [WWW]

<http://www.elibrary.dep.state.pa.us/dsweb/GetRendition/Document-48477/html/index317228.png> (26.05.2015)

Skeem 9. United States Environmental Protection Agency [WWW]

http://water.epa.gov/polwaste/npdes/swbmp/images/post_14b.gif (26.05.2015)

- Skeem 10. United States Environmental Protection Agency [WWW]
<http://www.epa.gov/region1/soakuptherain/images/drywell.jpg> (26.05.2015)
- Skeem 11. The family Handyman [WWW] http://hostedmedia.reimanpub.com/TFH/Step-By-Step/FH04SEP_WETBAS_01.JPG (26.05.2015)
- Skeem 12. Virginia Water Resources Research Center [WWW]
http://www.vwrrc.vt.edu/swc/NonPBMPSpecsMarch11/VASWMBMPSpec7PERMEABLEP AVEMENT_clip_image006.jpg (26.05.2015)
- Skeem 13. Landscape Architects and Contractors Central Indiana [WWW]
<http://www.holemanlandscape.com/wp-content/uploads/2015/04/rain-garden-diagram.jpg>
 (26.05.2015)
- Skeem 14. College of Engineering – Purdue University [WWW]
https://engineering.purdue.edu/~frankenb/NU-prowd/images/image09_06b.jpg (26.05.2015)
- Skeem 15. Sustainable Sanitation and Water Management [WWW]
<http://www.sswm.info/sites/default/files/toolbox/TILLEY%20et%20al%202014%20Schematic%20of%20the%20Vertical%20Flow%20Constructed%20Wetland.jpg> (26.05.2015)
- Skeem 16. KloroStone Ceramic Pervious Paver [WWW] <http://klorotechpavers.com/wp-content/uploads/2014/07/3EDE1BC5-5763-4129-AAC8-F790D28E17DC.jpg> (26.05.2015)
- Skeem 17. Environmental Review Toolkit [WWW]
<http://environment.fhwa.dot.gov/ecosystems/ultraurb/images/fig20b.gif> (26.05.2015)
- Skeem 18. Greenroofs [WWW] <http://t0wnley.info/green-roof-section-detail.html>
 (26.05.2015)

Pildid

- Pilt 1. Thompson Land Engineering [WWW] http://www.tleng.net/Detention_Pond_-_Commerical12_22.jpg (26.05.15)
- Pilt 2. Susdrain [WWW] http://www.susdrain.org/images/c.14_-_retention_and_detention_-_detention_basins.jpg (26.05.15)
- Pilt 3. Urban Green-Blue Grids [WWW] <http://www.urbangreenbluegrids.com/uploads/003-Augustenborg-006-Andre-Vaxelaire-jpeg-1300x650.jpg> (26.05.2015)
- Pilt 4. Atlanta Beltline [WWW] <http://beltlineorg.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2012/10/4thWard-fall.jpg> (26.05.2015)
- Pilt 5. Montgomery County Environment Protection [WWW]
http://farm3.staticflickr.com/2861/10820600073_21419c78db.jpg (26.05.15)

- Pilt 6. Montgomery County Environment Protection [WWW] <http://www.montgomerycountymd.gov/DEP/Resources/Images/water/stormwater-facilities/Sand-filter-after-cleaning.jpg> (26.05.15)
- Pilt 7. Southwest Urban Hydrology [WWW] http://bluegreenbldg.org/wp-content/uploads/2011/01/EmeryvilleDoyleHollis4_13SSD1.jpg (26.05.2015)
- Pilt 8. Blue-Green Building [WWW] http://bluegreenbldg.org/wp-content/uploads/2011/01/EmeryvilleDoyleHollis4_13SSD1.jpg (26.05.2015)
- Pilt 9. theAgritect [WWW] https://theagritect.files.wordpress.com/2012/12/dsc_0012.jpg (26.05.2015)
- Pilt 10. Acton Wakefield Watersheds [WWW] <http://awwatersheds.org/cms/assets/DSCF2311.jpg> (26.05.2015)
- Pilt 11. Green Values Stormwater Toolkit [WWW] http://greenvalues.cnt.org/national/images/permeable_pavement.jpg (26.05.2015)
- Pilt 12. Grotto Engineering [WWW] http://www.grottoengineering.com/IMG_3053.JPG (26.05.2015)
- Pilt 13. Web Atlas of Landscape Architecture in BC [WWW] <http://www.sitelines.org/webatlas/victoria/trent-raingarden.htm> (26.05.2015)
- Pilt 14. SF Better Streets [WWW] <http://www.sfbetterstreets.org/wp-content/uploads/2012/05/rain-garden.jpg> (26.05.2015)
- Pilt 15. Hargreaves [WWW] <http://www.hargreaves.com/projects/Waterfronts/ChattanoogaRenaissance/> (26.05.2015)
- Pilt 16. Domus [WWW] http://www.domusweb.it/content/dam/domusweb/en/architecture/2012/01/19/nature-as-infrastructure/big_371863_9436_DO1201040061.jpg (26.05.2015)
- Pilt 17. Land Perspectives [WWW] <https://landperspectives.files.wordpress.com/2011/06/rivereast-center-2.jpg> (26.05.2015)
- Pilt 18. Invisible Structures, Inc [WWW] http://invisiblestructures.com/project_profiles/wp-content/uploads/2011/01/img.php_129.jpeg (26.05.2015)
- Pilt 19. Green Roof Plants [WWW] <http://www.greenroofplants.com/wordpress/wp-content/uploads/2010/03/DanskoRoof6.jpg> (26.05.2015)
- Pilt 20. Greenroofs [WWW] <http://www.greenroofplants.com/wordpress/wp-content/uploads/2010/03/DanskoRoof6.jpg> (26.05.2015)

- Pilt 21. Wikimedia [WWW]
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/39/Nor%C3%B0rag%C3%B8ta,_Faroe_Islands_%282%29.JPG (26.05.2015)
- Pilt 22. David C Stuart [WWW]
<https://davidcstuart.files.wordpress.com/2011/07/cimg6402.jpg> (26.05.2015)
- Pilt 23. SkyScaperCity [WWW]
<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=354429&page=25> (26.05.2015)
- Pilt 24. ASLA [WWW]
<http://www.asla.org/uploadedImages/Guide/Portland/Topics/Water/occ1.jpg> (26.05.2015)
- Pilt 25 ja 26. ASLA [WWW]
<http://www.asla.org/uploadedImages/Guide/Portland/Topics/Water/occ1.jpg> (26.05.2015)
- Pilt 27. 4culture [WWW]
http://www.4culture.org/publicart/threads/listen/media/listen4culture/waterworks_gardens/jordan/jordan_001_audiomask.jpg (26.05.2015)
- Pilt 28. Iconicenergyco [WWW] http://www.iconicenergyco.com/wp-content/uploads/2014/01/waterworks_kent.jpg (26.05.2015)
- Pilt 29. 4culture [WWW]
<http://www.4culture.org/publicart/collection/profile.aspx?projectid=39&cat1=Collection&cat2=Project&cat3=S-Z&cat3b=> (26.05.2015)
- Pilt 30. Green Infrastructure Digest [WWW] <http://hpi.green.com/tag/portland/> (26.05.2015)
- Pilt 31. Koch Landscape Architecture [WWW] <http://www.kochla.com/images/209-02%20copy2.jpg> (26.05.2015)

