

Alternatiivsete sademevee äravoolu- ja kogumissüsteemide uurimustöö

Tellijä : Tartu Linnavalitsuse
linnaplaneerimise ja maakorralduse osakond

Töö koostaja: OÜ Alkranel

Tegevjuht: Alar Noorvee

OÜ Alkranel
Tartu 2005

Sisukord

Sissejuhatus.....	4
1 Sademevee majandamise vajalikkusest	5
2 Tehnoloogilised lahendused kanaliseerimist vajava sademevee vähendamiseks, kogumiseks ja ärajuhtimiseks	6
2.1 Murukatused ja katusehaljastus	6
2.1.1 Intensiivne murukatus (sh katuseaed)	8
2.1.2 Ekstensiivne murukatus.....	9
2.2 Tiigid	10
2.3 Tehismärgalad	15
2.3.1 Pindmise vooluga süsteemid.....	16
2.3.2 Pinnaaluse vooluga süsteemid – horisontaalse läbivooluga pinnasfiltrid	18
2.3.3 Pinnaaluse vooluga süsteemid – vertikaalse läbivooluga pinnasfiltrid	19
2.4 Filtersüsteemid.....	21
2.4.1 Liiv-filtrid	21
2.4.2 Biopuhvrid	24
2.5 Imbsüsteemid.....	25
2.5.1 Imbkraavid.....	25
2.5.2 Imbväljakud	28
2.5.3 Imbkaevud	29
2.6 Avatud sademevee kanalid	30
2.6.1 Haljaskanalid	31
2.6.2 Kuivad kraavid.....	33
2.6.3 Püsiva veetasemega kraavid	34
2.6.4 Puhverribad	36
3 Murukatuse kasutamise võimalused Tartu linnas	38
3.1 Meteoroloogilised tingimused Tartu linnas.....	38
3.2 Tartu linnas kasutamiseks sobivad murukatuste tüübid.....	38
3.3 Potentsiaalselt haljastatav katusepind Tartu linnas.....	39
3.4 Sobivad murukatusetüübid	42
3.4.1 Sademevee sidumisvõime ja viibeaja pikendamise võime hinnang	43
3.4.2 Hinnanguline toimimisaeg ja hooldusvajadus	44
3.4.3 Hinnanguline mõju katusekattematerjalidele ja –konstruktsioonidele, soojusjuhtivuse arvutused	45

3.4.4	Hinnanguline maksumus	48
4	Sobivad tehnilised lahendused kõvakattega parklatelt sademevee kogumiseks ..	50
4.1	Lähtekohad	50
4.2	Õiguslikud alused	52
4.3	Tartu linnas rakendamiseks sobilikud tehnilised lahendused.....	52
4.4	Haljastatud (vett läbi laskvate) pindade efektiivse osakaalu hinnang kõvakattega parklates.	57
4.4.1	Sademevee vooluhulga vähendamise protsentuaalne hinnang	59
4.5	Alternatiivsed sajuveesüsteemid vee kvaliteedi tagamisel.....	60
4.5.1	Kõvakattega aladelt kogutava sademevee saasteainete sisaldus.....	61
4.5.2	Alternatiivsete sademeveesüsteemide puhastusvõime	62
4.6	Lahtiste (avatud) sajuveesüsteemide maksumuse hinnang	63
5	Fondid ja programmid, mis toetavad alternatiivsete, keskkonnasõbralike kanalisatsioonisüsteemide projektide koostamist ja nende realiseerimist.....	65
5.1	Ühtekuuluvus fond (Cohesion fund).....	65
5.2	LIFE	65
5.3	Phare - Transition Facility	66
5.4	Euroopa Regionaalarengu Fond (European Regional Development Fund – ERDF 68	
5.5	Keskkonnainvesteeringute Keskus	69
5.6	EAS - Kohaliku füüsilise elukeskkonna arendamise programm	70
	Kokkuvõte.....	71
	Kasutatud kirjandus.....	72

Sissejuhatus

Käesolev töö „Alternatiivsete sademevee äravoolu- ja kogumissüsteemide uurimustöö“ on koostatud OÜ Alkranel poolt Tartu Linnavalitsuse linnaplaneerimise ja maakorralduse osakonna tellimusel vastavalt töövõtulepingule nr 5070 /21.3-13.

Töö eesmärgiks on vähendada sademevee kanalisatsiooni juhitava sajuvee hulka, parandada linna esteetilist ilmet ja mitmekesistada linna ökosüsteemi. Töö koosneb Tartu linna territooriumil asuvatel hoonetel murukatuste võimaliku kasutamise ulatuse kaardistamisest ja võimalikest tehnilistest lahendustest, toimivuse ja maksumuse hinnangust. Analüüsitud on ka kõvakattega pindade planeerimise ja projekteerimisel kasutatavaid alternatiivseid lahendusi, nn lahtisi sademevee kanalisatsioonisüsteeme, nende võimalikke tehnilisi lahendusi, ruumivajadust ja maksumust.

Töö koostajateks on OÜ Alkranel keskkonnaspetsialistid Jaanus Hallik, Alar Noorvee, Elar Põldvere ja Tanel Esperk.

1 Sademevee majandamise vajalikkusest

Hoonestuse tihenemine ning vett mitteläbilaskvate materjalidega kaetud alade (suured asfalteeritud parklad, tänavad jne) pidev laienemine linnades takistab sademevee pinnasesse infiltreerumist. Tagajärjeks on vooluhulkade suurenemine sademevee- või ühisvoolukollektorites, millega võivad kaasneda lokaalsed üleujutused. Ühisvoolukollektorite puhul võib tekkida kanalisatsiooni lõpp-punkti- reoveepuhastis ülekoormus, mille tagajärjel heidetakse sealt keskkonda puudulikult puhastatud reovett. Ka siis kui puhastis otsest ülevooluohu ei teki, vähendab reovee lahjenemine puhastusprotsesside efektiivsust ning suurendab reovee käitlusele tehtavaid kulusi. Tänavatelt, parklatest jt kõvakatttega pindadelt sademevee poolt kaasa haaratud reoained, õli ja kummiosakesed suurendavad kanaliseeritava vee reostustaset ja seega ka puhasti koormust [Nilsson et al. 2001]. Puhasti ülekoormuse vältimiseks kasutatakse tavaliselt suure mahuga eelmahuteid, mis ei lase liigset veehulka korraga puhastisse jõuda. Alternatiivse lahendusena nähakse sademevee kanaliseerimisvajaduse vähendamist ja ennetamist avatud sajuveesüsteemide abil, kus sademeveel lastakse spetsiaalsetel väljakutel ja kraavides pinnasesse infiltreeruda ning haljastatud ning avatud veepinnaga aladel evapotranspireeruda. Murukatust loetakse avatud sajuveesüsteemide üheks oluliseks osaks [Villarreal et al. 2004].

2 Tehnoloogilised lahendused kanaliseerimist vajava sademevee vähendamiseks, kogumiseks ja ärajuhtimiseks

Kanaliseerimist vajava sademevee vähendamiseks, kogumiseks ja ärajuhtimiseks rakendatavad lahendused võib jagada kuude suuremasse gruppi: murukatused ja katusehaljastus, tiigid, tehismärgalad, imbsüsteemid, filtersüsteemid ning avatud kanalid.

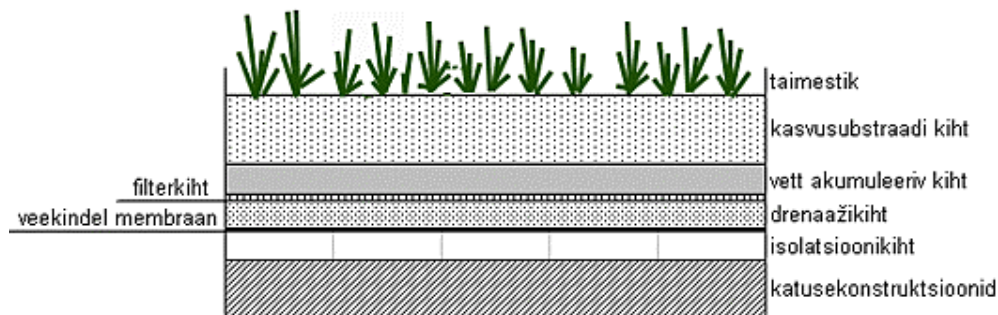
2.1 Murukatused ja katusehaljastus

Murukatused võib ehituse järgi jagada põhimõtteliselt kahte gruppi – ekstensiivseteks ja intensiivseteks murukatusteks (sh katusehaljastus nagu katuseaiad). Kuigi erinevat tüüpi ja erineva eesmärgiga rajatud murukatused sisaldavad erinevas mahu erinevaid komponente ja materjale, on nende põhimõtteline ehitus siiski üsna sarnane. Katuse konstruktsiooni poolt vaadatuna koosneb murukatus tavaliselt järgmistest kihtidest [Peck et al. 1999]:

- isolatsioonikiht, mis kaitseb katusekonstruktsioone ekstreemsete temperatuuride korral kahjustuste eest;
- veekindel membraan, tavaliselt geomembraan, mis kaitseb katusekonstruktsiooni niiskuse ja vee eest; valmistatud taimejuurtele vastupidavast materjalist või kaetud eraldiseisva juuretõkkekihiga, mis ei lase taimejuurtel tungida läbi veekindla membraani ja kahjustada selle veepidamisvõimet;
- drenaažikiht, mis juhib ära murukatusest läbi imbinud liigse vee, et see ei hakkaks taimekasvu pidurdama; tavaliselt kasutatakse selleks kergkruusa või spetsiaalseid geokomposiidist matte;
- filterkiht, mis ei lase kasvupinnasest väiksemaid osakesi drenaažikihti tungida ning hoiab nii ära drenaažikihi ummistumise
- vett akumul eeriv kiht, mis kuiva kliima ning vähem põuda taluvate taimeliikidele on täiendavaks veevaruks ja ühtlustab kasvupinnase niiskusesisaldust;
- kasvupinnase kiht, mille paksus, koostis ja omadused valitakse sõltuvalt kasvatatavatest taimeliikidest;
- taimestik, mis koosneb nii põuda kui liigniiskust taluvatest taimeliikidest ja varieerub väga palju sõltuvalt murukatuse kasutamise eesmärgist.

Toodud kihtide paksuseid varieeritakse vastavalt katuse tüübile ja rajamise eesmärgile. Samuti võib varieeruda kihtide arv ja järjekord – eriti intensiivsete murukatuste puhul, mis on ekstensiivsetest tunduvalt paksemad ning vajavad seetõttu keerukamaid niisutus- ja drenaažisüsteeme.

Läbilõige murukatuse kihilisest ehitusest on kujutatud joonisel 1.



Joonis 1. Läbilõige murukatusest.

Kui katusepind on kaetud murukatusega, siis imab kasvupinnas ning sellel kasvav taimestik endasse selle vee, mis muidu voolaks saju ajal kohe kanalisatsioonisüsteemi. Murukatuse sademevee kinnipidamisvõime sõltub sellest kui palju on murukatuse kasvupinnas ja teised kihid võimelised endasse korraga vett siduma. Paralleelselt toimub kasvupinnase ning taimede pinnalt kogu aeg evaporatsioon ning transpiratsioon, mis viivad sajuga katusesse jäänud vee tagasi atmosfääri. Sademete maht, sademevee pindmine äravool, katusest läbi nõrgunud vee äravool ning evaporatsioon ja transpiratsioon määravad ära murukatuse veebilansi. Murukatuse veebilansist ja veerežiimist sõltub kui palju on murukatuse võimeline sademevett kinni pidama.

Kuna kasvupinnase kihi paksusest ning kasvupinnases kasutatavatest materjalidest sõltub kui palju on murukatuse võimeline vett endaga siduma, kasutatakse kasvupinnase koostises selliseid materjale, mis on võimelised imama suhteliselt palju vett. Sobivaimad on selleks mitmesugused poorsed materjalid – nii looduslikud mineraalid kui tehismaterjalid nagu kergkruus (FIBO, LECA vms), mis on võimelised kiiresti palju vett imama, samas seda vajadusel taimedele piisavalt kiiresti tagasi andes. Eksperimentaalselt on välja selgitatud, et taimede kasvu ning sademevee kinnipidamise seisukohast oleks optimaalne kasutada kasvupinnast, mille poorsus on 60% ja mis seob pooridesse umbes 40% vett pinnase mahust. Selline kasvupinnas on võimeline siduma umbes 10 mm sademevett 2,5 cm paksuse pinnasekihi kohta [Beattie and Berghage 2004].

On selge, et mida paksem on kasvupinnase kiht, seda rohkem seob see vett. Samas tuleb leida jälle optimaalne paksus, kuna esiteks toob paksem kiht kaasa lisakoormuse katusekonstruktsioonidele (raskendab murukatuse rajamist olemasolevatele hoonetele) ning teiseks takistab liigse vee väljapääsemist pinnasest, mis nõuab täiendavaid drenaažisüsteeme ja taimedele suuremat hooldusvajadust.

Olukorras, kus sademete hulk on suurem kui murukatuse mahutada suudab, mängib kanalisatsioonile langeva hüdroloogilise koormuse (so löökoormuse) vähendamisel rolli murukatuse võime sademevee liikumist aeglustada ning selle väljavoolu pikema aja peale jaotada. Täielikult veega küllastunud kasvupinnasega murukatuse võimelised tavakatusega võimelised vihmahoost tingitud väljavoolu maksimumi edasi nihutama 15 kuni 45 minutit [Heeb *et al.* 1997 Koorberg 2001 järgi; Hutchinson *et al.* 2003]. Sademevee viibeaeg veega küllastunud kasvupinnases sõltub suurel määral ka kasvupinnase hüdrautilisest juhtivusest [Elken 2005].

Evapotranspiratsiooni määr sõltub sellest, kui palju taimi murukatust katab, so taimede katvusest ning lehtede suurusest, hulgast ja lehestiku tihedusest. Mida rohkem on lehepinda, seda enam saab läbi taimede vett atmosfääri transpireeruda.

2.1.1 Intensiivne murukatus (sh katuseaed)

Kirjeldus: Intensiivset murukatust iseloomustab suhteliselt tüse kasvupinnase kiht (tavaliselt 20-60 cm, aga kohati ka kuni 1 meeter), mis sisaldab palju huumust ning on koostiselt ja struktuurilt üsna sarnane tavalisele mullale. Intensiivsel murukatusel saab kasvatada väga erinevaid taimi ning isegi väiksemaid puid ja põõsaid (so katuseaedades), kuna paks kasvupinnase kiht sisaldab piisavalt toitaineid ning vett ja on seetõttu ka nõudlikele taimedele piisavalt heaks kasvukeskkonnaks. Intensiivse murukatuse taimestik vajab sarnaselt aedades kasvatatava analoogse taimestikuga regulaarset hooldust.

Intensiivse murukatuse näol on tegemist tervikliku katusekattesüsteemiga ning seetõttu ei käsitleta siinkohal katuseaiana, üksikuid, eraldi konteinerites kasvatatavaid rohttaimi, puid ja põõsaid.

Sellise, paksema kasvupinnase kihiga, murukatuse mass jääb ligikaudu 300 ja 1000 kg/m² vahemikku [Peck et al. 1999]. Liiga suure massi tõttu on intensiivseid murukatuseid enamasti võimalik rajada vaid uutele, alles projekteeritavatele või rekonstrueeritavatele hoonetele, kuna olemasolevate hoonete katusekonstruktsioonid ei ole mõeldud nii suure lisakoormuse kandmiseks. Intensiivne murukatus vajab ka keerulisemat drenaaži- ja niisutussüsteemi, et liigne vesi kasvupinnasesse ei koguneks või kasvupinnases ebahühtlaselt ei jaguneks ning seeläbi taimestiku optimaalset kasvu takistama ei hakkaks. Kuna intensiivne murukatus omab piisavalt paksu kasvupinnase kihti siis on see võimeline siduma praktiliselt 100% pealelangevast sademevee hulgast.

Plussid:

- Võimaldab sõltuvalt kasvupinnase kihi paksusest siduda ja evapotranspireerida suurel hulgal sademevett.
- Kasutatavate taimeliikide valik on suhteliselt lai ning seeläbi on võimalik luua eriilmelisi, liigirikkaid ning terviklikke katuseaedasid, mida saab kasutada näiteks rekreatiivsetel eesmärkidel.
- Lisaväärtusena aitab intensiivne murukatus kaitsta katusekattematerjale ning katusekonstruktsioone ilmastikutingimuste varieeruvuse eest, parandada õhukvaliteeti ja lisab katusele täiendavat isolatsioonivõimet.

Miinused:

- Suhteliselt suur lisakoormus katusekonstruktsioonidele – vajab tugevat lisatoestust ning rajamine olemasolevatele katustele piiratud.
- Vajab korrapärast hooldust.
- Paksema kasvupinnase kihi korral vajab täiendavat kastmis- ja drenaažisüsteemi.
- Rajamine on suhteliselt kallis.

2.1.2 Ekstensiivne murukatus

Kirjeldus: Ekstensiivset murukatust iseloomustab suhteliselt õhuke kasvupinnase kiht (5-15 cm), milles huumust on vähe ning enamuse moodustab poorne kerge täitematerjal (kergekruus, purustatud tellised vms spetsiaalselt valitud materjal). Kuna pinnasekiht on õhuke, siis sellise murukatuse mass on suhteliselt väike, jäädes umbes 70 ja 170 kg/m² vahele [Peck et al. 1999]. Tänu intensiivsest murukatusest oluliselt väiksemale massile saab ekstensiivset murukatust rakendada olemasolevate hoonete puhul üsna hõlpsalt ning tihti ilma täiendava lisatoetusega.

Väikese mahu tõttu on ekstensiivse murukatuse kasvupinnases niiskussisaldus väga kõikum ning seetõttu on ekstensiivsel murukatusel võimalised kasvama vaid vähesed taimeliigid. Tüüpilisemalt on nendeks mitmed turdlehelised (perekond kukehari jms) ning alvarikooslusele iseloomulikud taimeliigid nagu harilik nurmnelk, nõmm-liivatee jne. Samas on spetsiaalselt valitud liigid vähenõudlikud ning ei kasva omavahelise konkurentsi tõttu väga pikaks, mistõttu ekstensiivne murukatus ei vaja pidevat hooldust [Koorberg 2001].

Sõltuvalt kasvupinnase kihi paksusest on ekstensiivne murukatus võimaline siduma üldiselt 70 % kuni 80 % aastasest sademete hulgast. Samas on ekstensiivse murukatuse vee kinnipidamise võime piiratud kasvupinnase kihi veemahutavusega. Optimaalse koostisega kasvupinnas suudab siduda sademevett umbes 40% enda mahust. Kuna ekstensiivse murukatuse kasvupinnase kihi paksus jääb vahemikku 5 – 15 cm, siis on selge, et paduvihmade ajal kasvupinnas küllastub veega ning pärast küllastumist voolab täiendav veehulk juba katusest välja.

Plussid:

- Võimaldab sõltuvalt kasvupinnase kihi paksusest ning täiendavate vett säilitavate kihtide olemasolust siduda ja evapotranspireerida suhteliselt palju sademevett.
- Lisaväärtusena aitab intensiivne murukatus kaitsta katusekattematerjale ning katusekonstruktsioone ilmastikutingimuste varieeruvuse eest, parandada õhukvaliteeti ning lisab katusele täiendavat isolatsioonivõimet.
- Saab rajada ka kaldega (kuni 45°) katusepindadele.
- Praktiliselt olematu hooldusvajadus.
- Intensiivsest murukatusest oluliselt madalamad rajamiskulud.

Miinused:

- Kasutatavate taimeliikide valik on piiratud.
- Taimkatte väljakujunemine võtab võrreldes intensiivse murukatusega rohkem aega.
- Taimestik ei talu sagedast tallamist – kasutamine rekreatiivsetel eesmärkidel on piiratud.

2.2 Tiigid

Sademevee kogumise tiigid kujutavad endast mitmeosalist, püsiva veetasemega basseinide ning mõnikord madala, märgala sarnase ala kompleksi. Tavalisest tiigilaadsest veekogust eristab sademevee kogumise tiike ka eelbasseini olemasolu, milles settib välja sademeveega tiiki sattuv liiv jms tahked osakesed. Sademevee kogumise tiigid suudavad ajutiselt mahutada paduvihma tagajärjel tiigi valgalas maha sadanud veehulga ning äravool tiigist toimub pikema (kuni mõnepäevase) perioodi jooksul, mille vältel osa veest ka aurub ja infiltreerub tiigi märgala laadses osas. Seega aitavad sellised tiigid osaliselt vähendada kanaliseeritava sademevee mahtu ning alandada äravoolu maksimume. Sademevee kogumise tiikides toimuvad sademevee puhastamisel järgnevad mehhanismid:

- Tahkete osakeste settimine tiigi põhja;
- Saasteainete bioloogiline ärastus taimede, vetikate ja bakterite poolt;
- Osade saasteainete degradatsioon.

Tabelis 1 on toodud sademevee kogumise tiikide rakendamise puhul täheldatud hinnangulised puhastusefektiivsused erinevate saasteainete suhtes. Üldjuhul toimub sademevee kogumise tiikides kõige efektiivsem saasteainete ärastamine võrreldes teiste alternatiivsete sademeveesüsteemidega. Talveperioodil on sademevee kogumise tiikide puhastusefektiivsus erinevate saasteainete suhtes mõnevõrra madalam kuna püsiva veetasemega tiigi osa on osaliselt või täielikult jääkatte all.

Tabel 1. Saasteainete ärastamise hinnanguline efektiivsus sademevee kogumise tiikides [Alternative Stormwater Management Practices for Residential Projects: Retention Ponds . Canada Mortgage and Housing Corporation (http://www.cmhc-schl.gc.ca/en/imquaf/himu/wacon/wacon_029.cfm - 10.10.2005)]

Saasteaine	Puhastusefektiivsus
Kogu fosfor	Mõõdukas kuni kõrge
Kogu lämmastik	mõõdukas
Tahked osakesed	kõrge
Tina	Kõrge
Tsink	Mõõdukas
Bioloogiline ja keemiline hapnikutarve	Mõõdukas
Õli ja rasv	Kõrge
Bakteriaalne reostus	kõrge

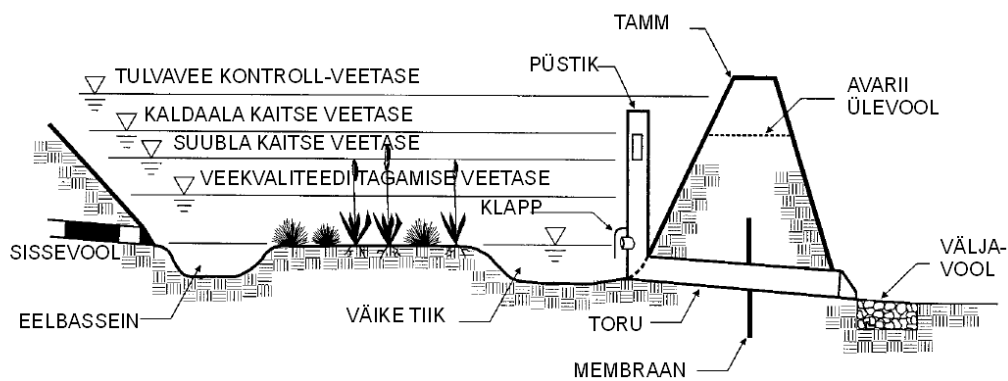
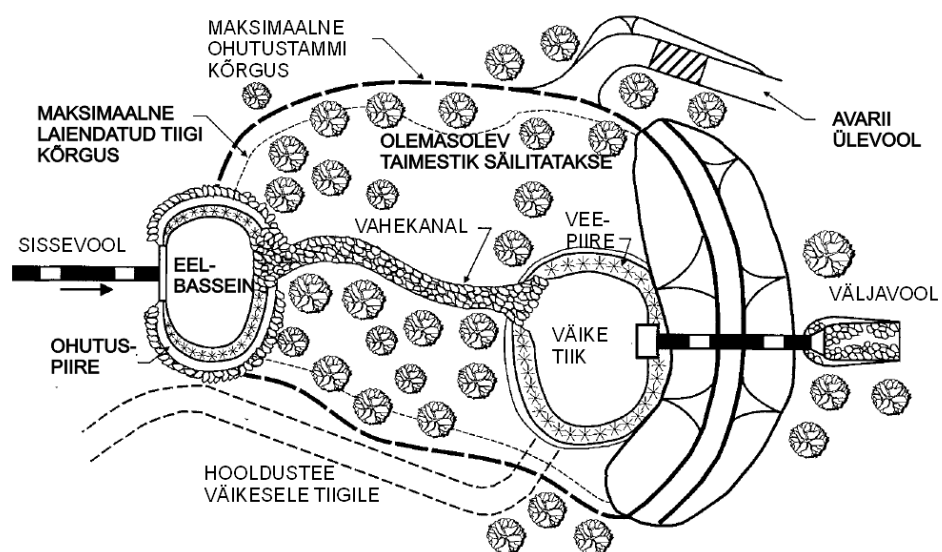
Saasteainete eemaldamise efektiivsust võivad vähendada tiigi projekteerimisel tehtud vead või tiikide vähene hooldamine. Tiikide projekteerimisel ja rajamisel tuleks seega arvestada järgmisi asjaolusid [Alternative Stormwater Management Practices for Residential Projects: Retention Ponds . Canada Mortgage and Housing Corporation (http://www.cmhc-schl.gc.ca/en/imquaf/himu/wacon/wacon_029.cfm - 10.10.2005)]:

- Projekteerimine (dimensioneerimine) – sademevee kogumise tiigi kuju tuleb projekteerida vastavalt tema rakendamise eesmärgile ning hüdroloogilisele ja saastekoormusele. Valesti projekteeritud kuju võib põhjustada vee voolamist ning kogunemist vaid osal tiigi pinnast, mis vähendab tiigi

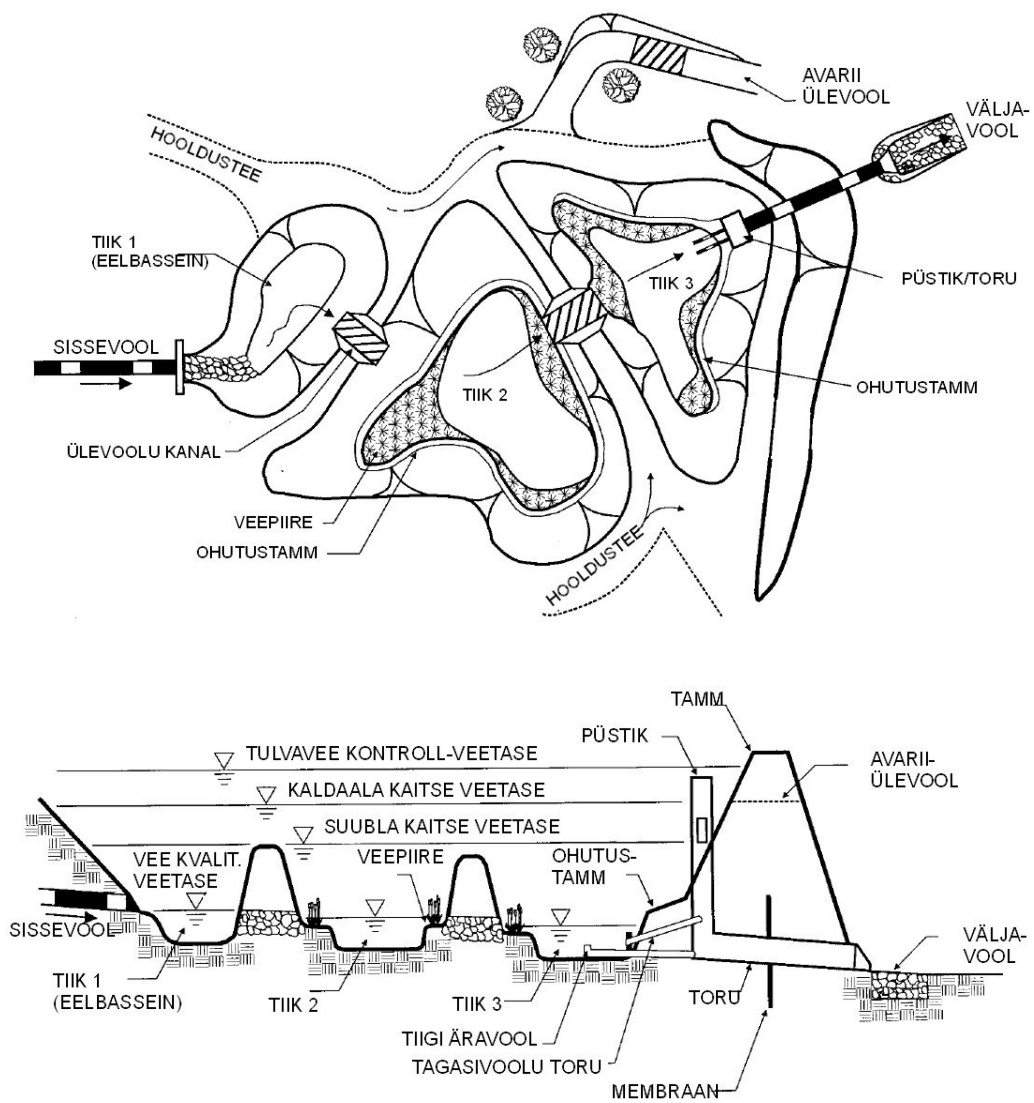
puhastusefektiivsust, kuna tiiki juhitud sademevee puhastamine toimub vaid osal tiigi kogupinnast. Et saavutada maksimaalset puhastusefektiivsust peab vee voolutee pikkus tiigis olema vähemalt 3 korda pikem voolutee laiusest. Kui sellise pikliku tiigi rajamine ei ole ruumikasutuse mõttes otstarbekas tuleks tiigis vee vooluteed pikendada otsevoolu takistavate tõkete kasutamisega.

- Tüüpilise sademevee kogumise tiigi pindala algab 2500 ruutmeetrist. Tiigi sügavus on 1-2 meetrit. Dimensioneerimisel tuleb suurus ja sügavus valida vee juurdevoolu suhtes nii, et sadudevahelisel perioodil tiigi püsiva veetasemega osad ära ei kuivaks. Tiigi minimaalne pindala peab olema vähemalt 1% selle valgala pindalast. Et tiigis säiliks püsiv veetase, tuleb tiik rajada vettpidava pinnasega kohta või kasutada tiigi kindlustamisel savi, geomembraane või võimaluse korral pinnase tihendamist. Tiigi kallaste kalle ei tohiks olla järsem kui 3:1 hoidmaks ära erosiooni ning mitte laugem kui 1:20, et tagada püsiva veetasemega osadel piisav sügavus mõistliku veehulga korral.
- Projekteerimine (asukoht) - tiigi kallast peaks piirama 10 m laiune puhverriba, vähest hooldust vajavate ning tiigi veetaseme muutustele tolerantsete taimeliikidega. Suhteliselt esteetilise välimuse tõttu on sademevee kogumise tiikide asukohavalik lihtsustatud, kuna neid võib rajada ka avalikesse, nähtavatesse kohtadesse ning nad võivad vastavatele aladele lisada rekreatiivset väärtust.
- Hooldus – Sademevee kogumise tiigid vajavad regulaarset ülevaatus, sisse- ja väljavoolu puhastust. Perioodiliselt on vaja teostada setete ärastamist ning vajadusel vooluteede süvendus ning parandustöid sõltuvalt tiigi seisukorrast. Üldjuhul tuleks setete eemaldamist läbi viia vähemalt kord iga 10 aasta jooksul.

Järgnevalt on joonistel 2 kuni 5 toodud sademevee kogumise tiikide näited.

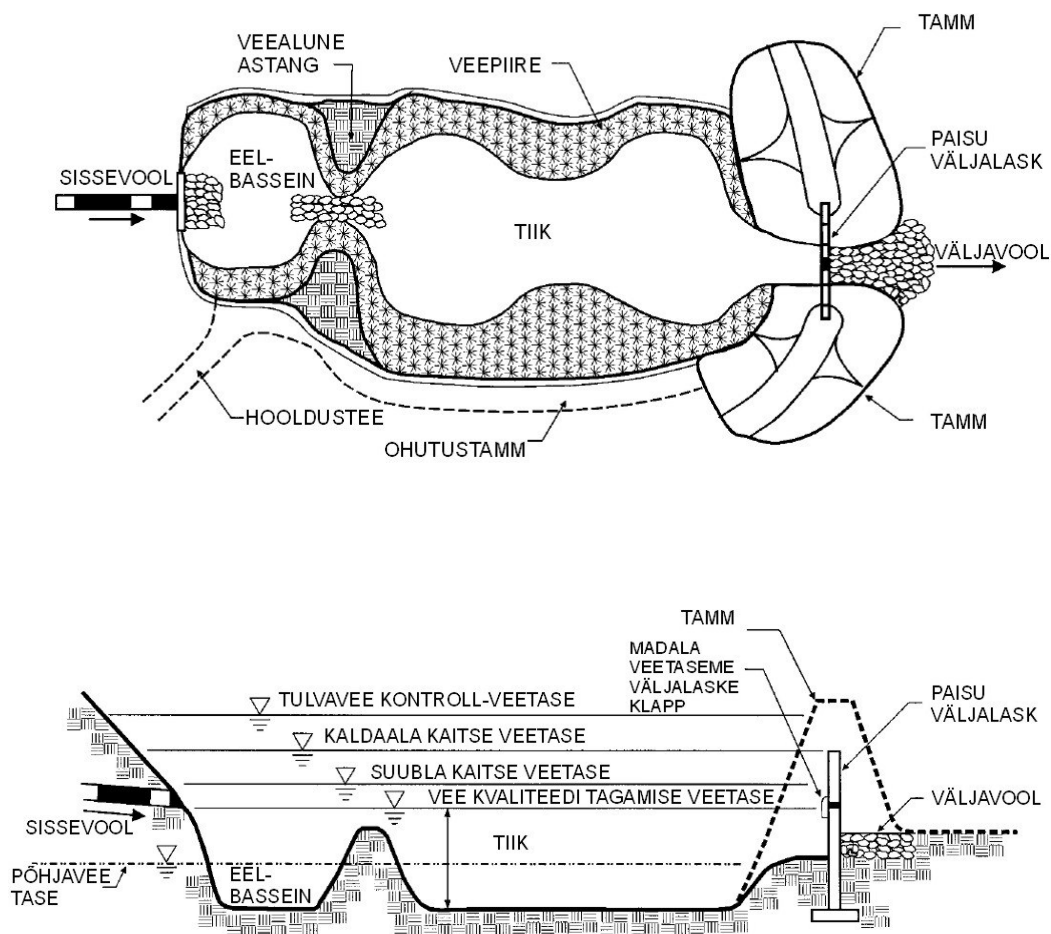


Joonis 2. Väikese tiigiga, laiendatava mahuga sademevee puhvertiik
[\[http://www.dec.state.ny.us/website/dow/toolbox/swmanual/nysswmdm03.pdf\]](http://www.dec.state.ny.us/website/dow/toolbox/swmanual/nysswmdm03.pdf) -
 12.10.05]



Joonis 4. Mitmeosaline sademevee kogumise tiik

[<http://www.dec.state.ny.us/website/dow/toolbox/swmanual/nysswmdm03.pdf>
12.10.05].

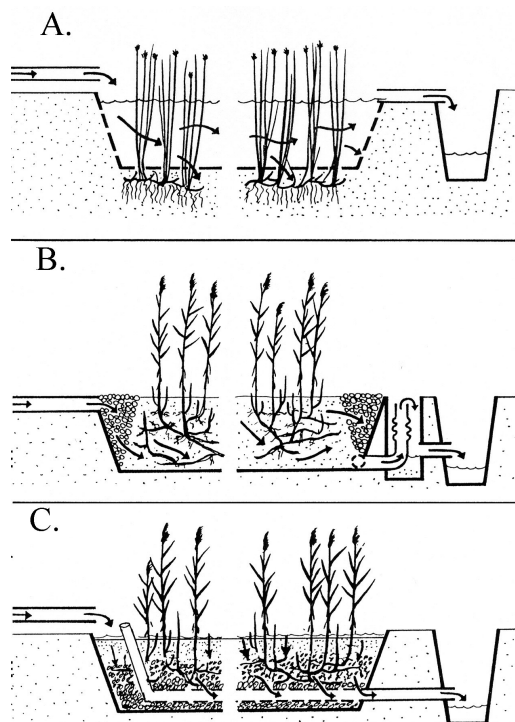


Joonis 5. Sademevee kogumise tiik kõrge lokaalse põhjavee tasemega piirkonnas
[\http://www.dec.state.ny.us/website/dow/toolbox/swmanual/nysswmdm03.pdf
 - 12.10.05].

2.3 Tehismärgalad

Tehismärgalad on madalad tiigid või pinnasfiltrid, mis on rajatud spetsiaalselt sademevee või reovee puhastamiseks ning milles on loodud sobivad kasvutingimused märgalakooslustes kasvavatele taimedele. Tehismärgalad jagatakse kolmeks põhitüübiks: pindmise vooluga süsteemid (avaveelised märgalad) ja pinnaaluse vooluga süsteemid (horisontaalse ja vertikaalse läbivooluga pinnasfiltrid).

Eestis on reovee puhastamiseks otstarbekas peamiselt kasutada pinnasfiltritest koosnevaid tehismärgalasid, mis on töökindlamad ja sobivad paremini kasutamiseks meie kliimatilistes tingimustes. Samas on avaveelistes süsteemides lihtsam tagada sadevee löökkooormuste puhverdamist, mistõttu on avaveelised märgalad sadevee süsteemidena sobilikumad ning sel eesmärgil ka maailmas rohkem kasutust leidnud. Erinevad tehismärgalasüsteemide tüübid on toodud joonisel 6.



Joonis 6. Tehismärgalasüsteemide tüübid: A – avaveeline tehismärgala, B – horisontaalse läbivooluga pinnasfilter, C – vertikaalse läbivooluga pinnasfilter [Vymazal et al., 1998].

2.3.1 Pindmise vooluga süsteemid

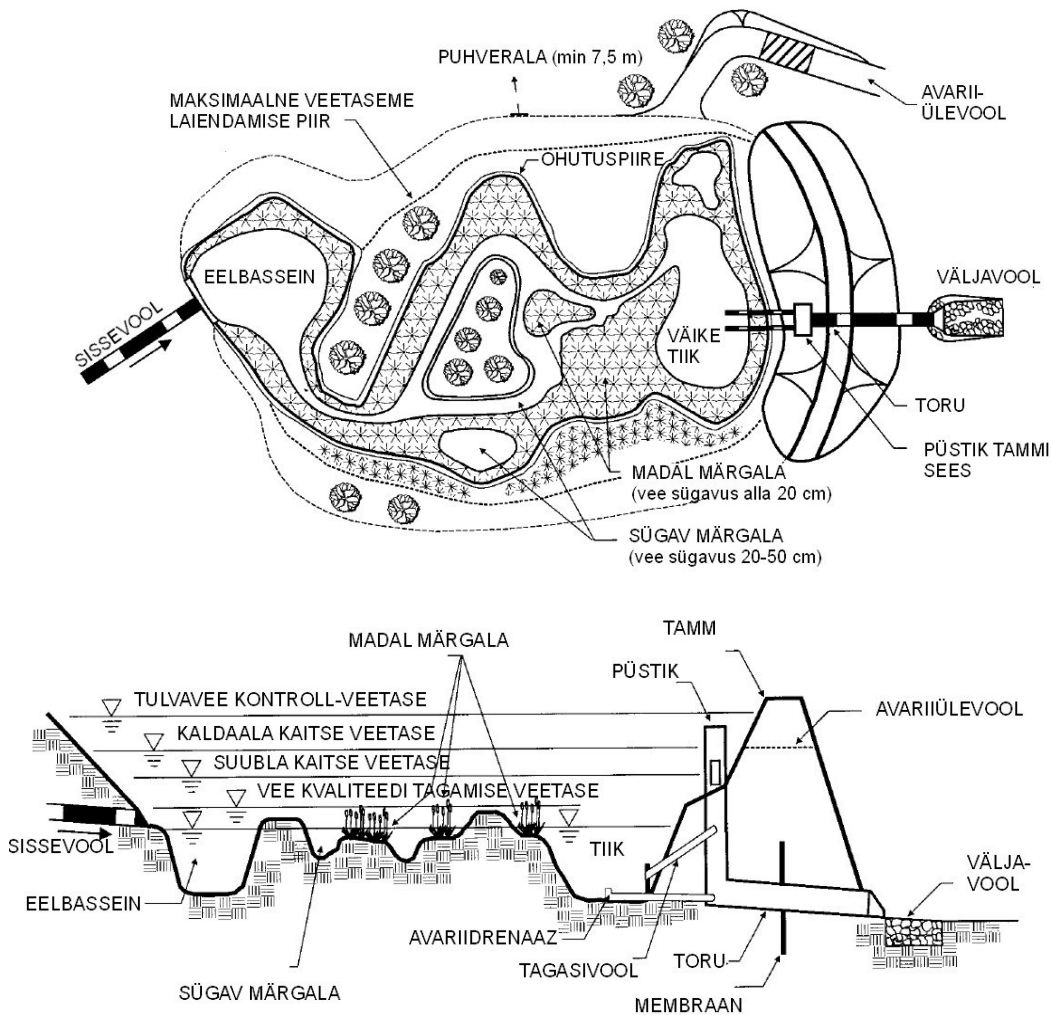
Pindmise vooluga süsteemid ehk avaveelised tehismärgalad on püsiva veetasemega madalad tiigid või niisked alad, mille põhja ja külgedele on kasvanud kõrgem taimestik. Avaveelised märgalad toimivad saastunud reovee puhastajatenä ning õige projekteerimise korral suudavad ka paduvihma ajal moodustuvaid sadevee löökkkoormusi puhverdada.

Avaveelistes märgalades toimuvad mitmed settimis- ja adsorptsiooniprotsessid ning ka bioloogilised protsessid. Antud märgalad koosnevad madalaveelistest (10 - 50 cm) kasvusubstraadil asuvatest tiikidest. Vee voolamist mõjutab madal sügavus, väike voolukiirus, kokkupuutumine taimevarte ja varisega.

Märgalasse võib istutada väga erinevaid taimi, peamine neist oleks laialehine hundinui. Taimede risofääri (juurte) piirkonnas toimuvad põhilised saasteainete lagundamis- ja sidumisprotsessid, kuna taimed loovad puhastusprotsessis osalevate mikroobide elukeskkonna. Taimede valikul on oluline ka ära kasutada pinnase taimejuurte kaudu aereerimise võimet. Märgala taimestiku niitmine ei ole üldiselt vajalik.

Avaveelise märgala üks võimalik lahendus on toodud joonisel 7. Projekteeritava vee sügavus sõltub taimeliikide optimaalsest veesügavuse vajadusest. Vahelduvad sügavamad vaba veega ja madalamad taimestikuga osad soodustavad süsteemi hapnikuga rikastumist ja saasteainete sidumist. Avaveelistel märgaladel peavad olema

projekteeritud veetaseme reguleerimist võimaldavad väljavoolud. Parema süsteemi puhastamise ja hooldamise huvides võib rajada paralleelsete tiikidega märgalad.



Joonis 7. Avaveeline märgala

[<http://www.dec.state.ny.us/website/dow/toolbox/swmanual/nysswmdm03.pdf>
12.10.05].

Avaveeliste sadevee tehismärgalade projekteerimisel ja rajamisel tuleks arvestada järgmisi asjaolusid [New York State Stormwater Management Design Manual
<http://www.dec.state.ny.us/website/dow/toolbox/swmanual/nysswmdm03.pdf>
12.10.05].

- Projekteerimine (dimensioneerimine) – sademevee puhverdamise ja puhastamise märgala kaju tuleb projekteerida vastavalt tema rakendamise eesmärgile ning hüdroloogilisele ja saastekoormusele. Soovitav on rajada pikad ja peenikesed tiigid pikkuse laiuse suhtega minimaalselt 2:1, soovitatavalt kuni 10:1.

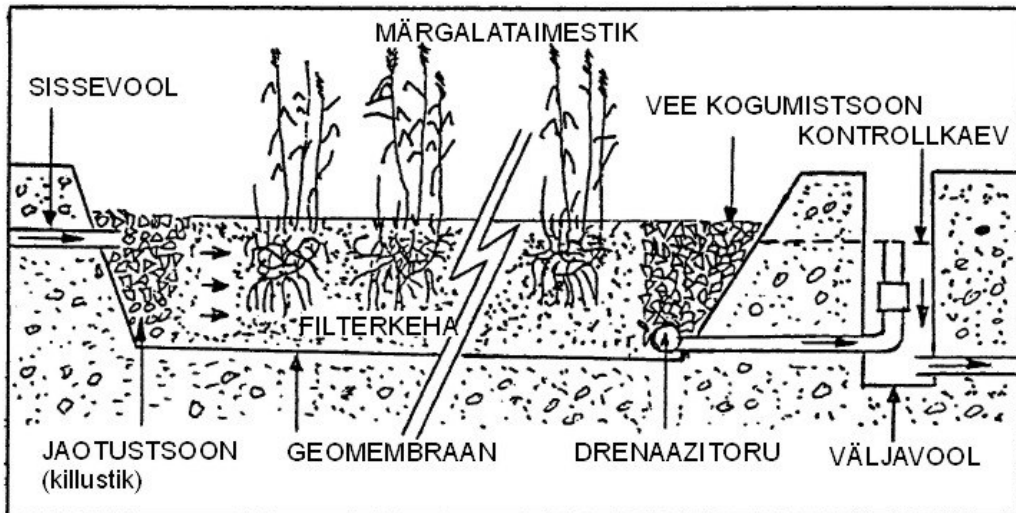
- Tüüpilise sademevee puhastamise avaveelise märgala pindala sõltub valgala suurusel. Dimensioneerimisel tuleb suurus ja sügavus valida vee juurdevoolu suhtes nii, et sajujuhtude vahelisel perioodil märgala püsiva veetasemega osad ära ei kuivaks. Kogu märgala veemahust peaks haarama 50% tiigi osa. Märgala pindalast peaks vähemalt 25% olema sügavamad alad. Märgala minimaalne pindala peab olema vähemalt 1-1,5% selle valgala pindalast. Et märgalas säiliks püsiv veetase, tuleb märgala tiigi osa rajada vettpidava pinnasega kohta või kasutada tiigi kindlustamisel savi, geomembraane või võimaluse korral pinnase tihendamist. Märgalale peaks olema projekteeritud ka puhverdusvõime, et suurte sademevee hulkade korral suudaks märgala veetaseme tõustes mahutada surema koguse sadevett.
- Projekteerimine (asukoht) - märgala peaks piirama minimaalselt 7,5 m laiune puhverriba, vähest hooldust vajavate ning veetaseme muutustele tolerantsete taimeliikidega. Taimestik tiigi pinnal ja puhveralal tuleks valida mitmekesine.
- Hooldus – Sademevee puhastamise avaveelised märgalad vajavad regulaarset ülevaatust, sisse- ja väljavoolu puhastust. Perioodiliselt on vaja teostada setete ärastamist ning vajadusel vooluteede süvendus ning parandustöid sõltuvalt märgala seisukorrast.

2.3.2 Pinnaaluse vooluga süsteemid – horisontaalse läbivooluga pinnasfiltrid

Pinnaaluse horisontaalse vooluga süsteemid ehk juurestikpuhastid kujutavad endast märgala, millel ei ole vabaveelist pinda. Veevool toimub märgala täitvas vett juhtivas pinnases nagu kruus, kergkruus vms selle välispinna all. Enamasti valitakse filtermaterjali terasuuruseks 2 – 10 mm, kusjuures sisse- ja väljavoolutsoonid ehitatakse jämekillustikust, et vältida süsteemi ummistumist [IWA, 2000].

Horisontaalse läbivooluga pinnasfiltri ehitus on toodud joonisel 8. Pinnasfiltris on ühte serva paigutatud jaotus- ja teise kogumistorud. Jaotus- ja kogumistorustik paigutatakse alati filtri pikemasse külge, millega tagatakse suurem kokkupuutepind pinnasega ja parem hüdrauliline läbilaskevõime. Reovee nivoo hoitakse filtris enamasti poolel tasemel, kuid seda on võimalik vastavalt vajadusele reguleerida filtrile järgnevast väljavoolukaevust.

Süsteemi kutsutakse horisontaalse vooluga pinnasfiltriks, sest reovesi siseneb ja voolab aeglaselt läbi poorse pinnasfiltri rohkem või vähem horisontaalsel teel. Projekteerimisel on vajalik arvestada sadevee iseloomu, hüdraulilist koormust, filtermaterjalide omadusi, veesügavust süsteemis, viibeaega, vee liikumise reguleerimist, taimede liike ja nende hooldamist. Põhimõtteliselt võib süsteemi rajada ka märgalataimestikuta, paigutades filterkeha peale kasvupinnase kihi ning külvates sinna näiteks muru. Sel moel on tegemist maa-aluse pinnasfiltriga, mis sobitub hästi linnalisele haljasalale. Mõnevõrra võib märgalataimestiku puudumine vähendada aga sadevee puhastusefektiivsust. Pinnasfiltrid ei vähenda oluliselt sadevee koguseid, vaid on ette nähtud kõva kattega aladelt kogutava sadevee puhastamiseks ja edasiseks kanalisatsiooni, suublasse või immutamisse suunamiseks.



Joonis 8. Tüüpiline horisontaalse läbivooluga pinnasfilter [Vymazal, 2002]

Horisontaalse läbivooluga tehismärgalade projekteerimisel ja rajamisel tuleks arvestada järgmisi asjaolusid:

- Projekteerimine (dimensioneerimine) – sademevee puhverdamise ja puhastamise märgala kuju tuleb projekteerida vastupidiselt avaveelisele tehismärgalale lai ning lühike. Pikkuse laiuse suhte on soovitatavalt minimaalselt 1:2 kuni 1:4.
- Tüüpilise sademevee puhastamise horisontaalse läbivooluga pindala sõltub valgala suurusest. Soovitatav filterkeha sügavus on 1-1,2 m. Et märgalas säiliks püsiv veetase, tuleb märgala rajada vettpidava pinnasega kohta või kasutada tiigi kindlustamisel savi või geomembraane. Märgalale peaks olema projekteeritud ka puhverdusvõime, et suurte sademevee hulkade korral suudaks märgala veetaseme tõustes mahutada suurema koguse sadevett. Sõltuvalt vee pealevoolust peaks märgala väljavool olema reguleeritav.
- Märgala sissevoolule peab eelnema kindlasti settekaev.
- Hooldus – Sademevee puhastamise horisontaalse läbivooluga märgalad vajavad regulaarset ülevaatust, sisse- ja väljavoolu puhastust. Perioodiliselt on vaja teostada setete ärastamist settekaevust.

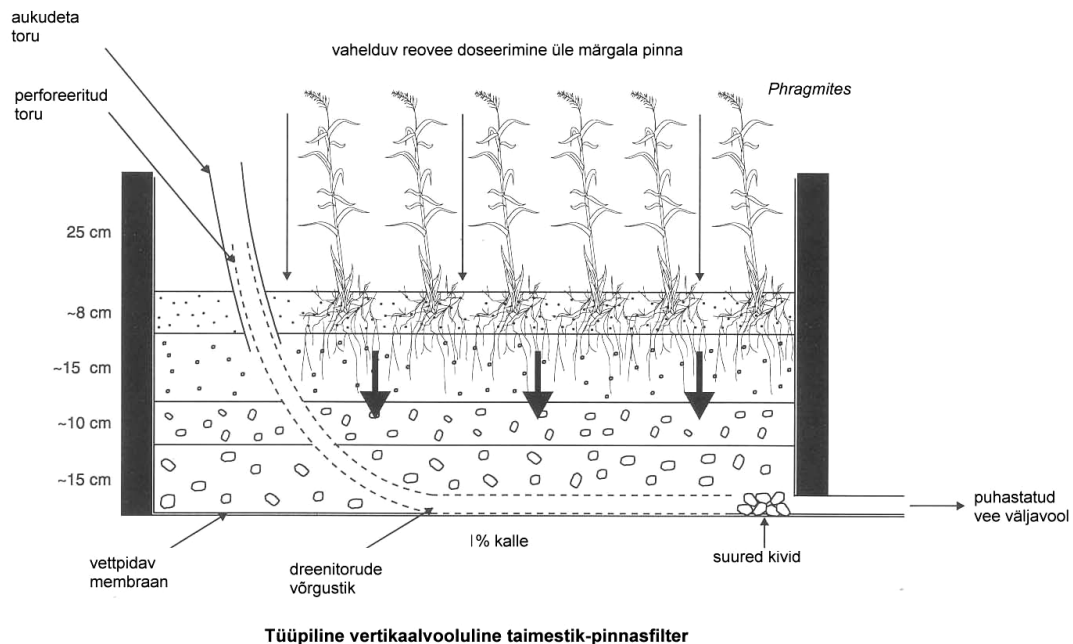
2.3.3 Pinnaaluse vooluga süsteemid – vertikaalse läbivooluga pinnasfiltrid

Vertikaalse läbivooluga pinnasfiltrid kujutavad endast maapinnast isoleeritud, peamiselt kruusast või kergkruusast koosneva pinnasega täidetud vanni, mis on kaetud taimkattega ning mis ujutatakse perioodiliselt veega üle. Vertikaalse läbivooluga pinnasfiltri ehitus on toodud joonisel 9. Vee vertikaalsel imbumisel läbi pinnase vesi puhastub filtreerumise ning mikrobioloogiliste protsesside tagajärjel, samuti toimub efektiivne vee aeratsioon. Filtri peamine ülesanne on hapnikku nõudvate protsesside toimumise soodustamine (orgaanilise reostuse degradeerimine, nitrifikatsioon).

Selles tehismärgala tüübis kombineeritakse erineva teraläbimõõduga pinnasmaterjalide kihid (põhjas suurema ja ülemises kihis väiksema) ja pinnasfiltri hüdrauliline toide. Filterkihi tüsedus on enamasti 100 cm, millele võib täiendavaks soojusisolatsiooniks lisada mõnikümmend sentimeetrit isolatsioonimaterjali, et tagada süsteemi toimimine talvisel perioodil. Filtrid kavandatakse enamasti ristkülikukujulised, kus pikkuse ja laiuse suhtarvud ulatuvad 0,3 kuni 3-ni. Filtrile istutatakse hariliku pilliroo taimed, mis osalevad tugeva juurestikuga puhastussüsteemi keskkonna mitmekesisemaks muutmisel ning tagavad pikaajalise pinnase hüdraulilise läbilaskevõime säilimise. Mikroorganismide poolt läbiviidavad protsessid on sellist tüüpi pinnasfiltris väga intensiivsed ja seetõttu ei kahanda taimede ärajätmine oluliselt puhastuse intensiivsust [IWA, 2000].

Enamike märgalasüsteemide puhul eemaldatakse suurem osa hõljuvosakestest mehhaanilise teel puhastusüksustes enne, kui reovesi lastakse puhastussüsteemi. Kõige otstarbekam on rakendada setitamist. Setitina võib kasutada ka näiteks, settetiike või -basseine [Vymazal *et al.*, 1998]. Suurema osa hõljuvaine eemaldamine reoveest enne pinnasfiltrisse juhtimist on oluline, et vältida filtrite ummistumist. Heljum, mida reoveest ei õnnestu välja setitada, filtreeritakse välja pinnasfiltrites.

Vee juhtimiseks pinnasfiltri pinnale on vajalik kas reljeefist tingitud kõrguste vahe või siis vee pumpamine, mistõttu pole vertikaalse läbivooluga märgalasüsteemid sagedaste puhastamisel olulist rakendust leidnud. Tegemist on pigem olulise tehismärgala-süsteemiga reovete puhastamisel.



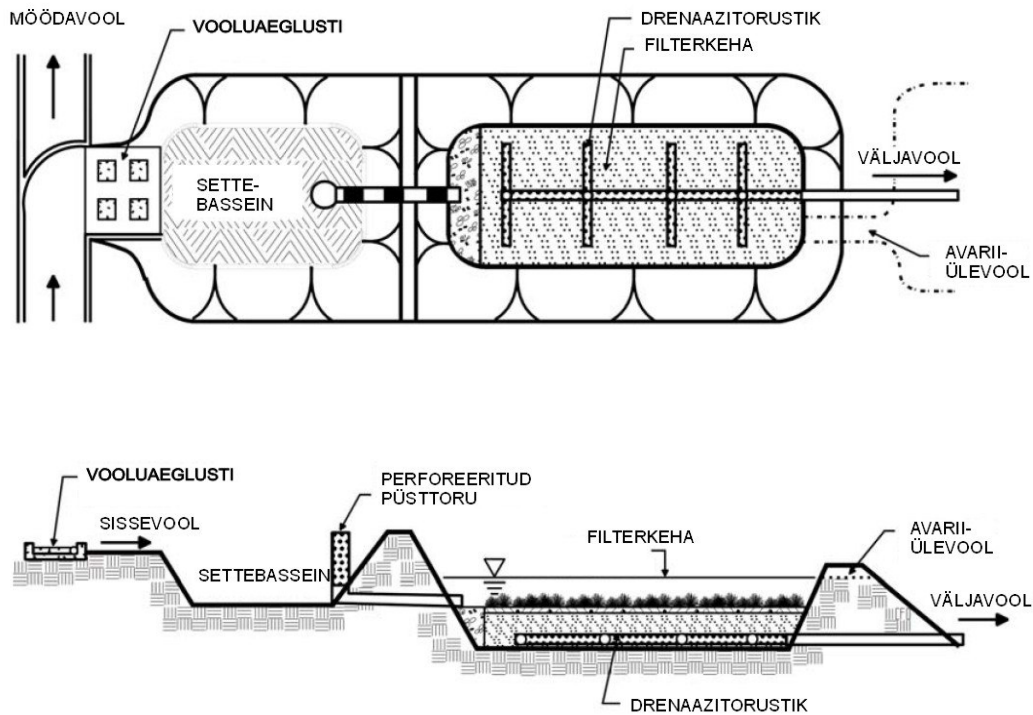
Joonis 9. Tüüpiline vertikaalse läbivooluga pinnasfilter [Vymazal *et al.*, 1998].

2.4 Filtersüsteemid

Sademevee filtersüsteemid hoiavad nendesse juhitud sademevee ajutiselt kinni ning juhivad selle läbi liivast, orgaanilisest materjalist või pinnasest filtri. Filtri läbinud vesi kogutakse ja juhitakse kanalisatsioonisüsteemi või teistesse alternatiivsetesse sademeveesüsteemidesse nagu näiteks imbsüsteemid. Filtersüsteemid ei vähenda oluliselt kanaliseeritava sademevee hulka, vaid on vahendiks kõvakattega pindadelt sademevee kogumiseks ja selle vee puhastamisel enne kanaliseerimist või suublasse suunamist. Filtersüsteemide erinevad tüübid hõlmavad lahtiseid liiv-filtreid, maa-aluseid liiv-filtreid ning biopuhvreid.

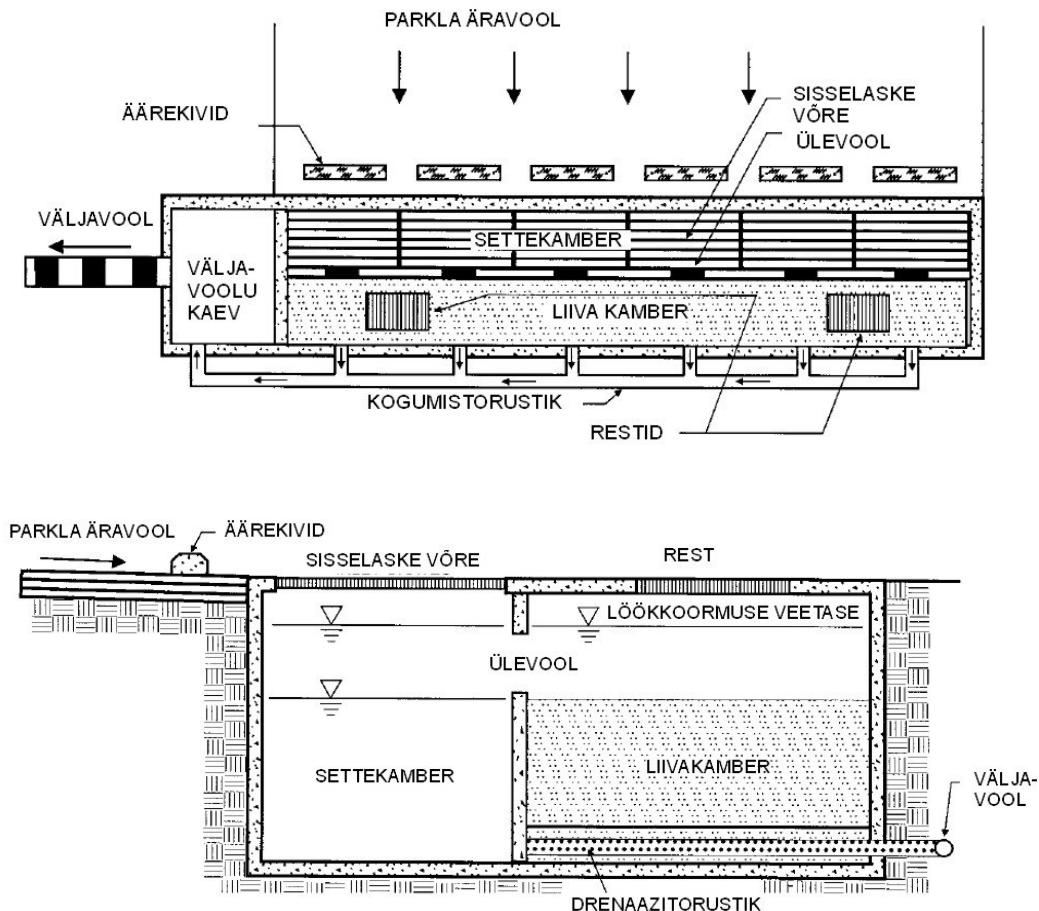
2.4.1 Liiv-filtrid

Liiv-filtrid on kaheosalised süsteemid, mis koosnevad eelmahutist, kus setitatakse välja vees olevad tahked osakesed ning liivaga täidetud järelmahutist, milles vesi immutatakse läbi liiva ning kogutakse torudrenaažiga edasiseks käitluseks. Liiv-filtrid võivad suuruselt ja konstruktsioonilt olla väga varieeruvad. Lihtsamad süsteemid koosnevadki vaid avatud, tiigilaadsest eelmahutist ning haljastatud ja liivaga täidetud järelmahutitest. Tahkete osakeste liivakihti sattumise vältimiseks on liivakiht tavaliselt geotekstiiliga kaetud. Joonisel 10 on toodud üks võimalik avatud liiv-filtri konstruktsioon.



Joonis 10. Näide avatud, pindmise vooluga liiv-filtri konstruktsioonist. [<http://www.dec.state.ny.us/website/dow/toolbox/swmanual/nysswmdm03.pdf> - 12.10.05].

Linnaruumis, kus suuri lahtisi süsteeme on raske rakendada on võimalik kasutada ka maa-aluseid liiv-filtreid, kus nii eelmahuti kui ka filter on viidud maa alla ning süsteem on pealt kinnine, va sademevee sissevooluvõred ning hooldusluugid. Maa-aluste liiv-filtri näidis on toodud joonisel 11.



Joonis 11. Maa-aluse liiv-filtri konstruktsiooninäidis

[<http://www.dec.state.ny.us/website/dow/toolbox/swmanual/nysswmdm03.pdf> 12.10.05].

Liiv-filtrite puhastusefektiivsus sõltub suurel määral asukohast, ilmastiku tingimustest ning filtreeritava vee hulgast ja kvaliteedist. Üldiselt eemaldab liiv-filter veest paremini tahkeid osakesi (sh tahkete osakestega seotud raskemetalle) ja hõljumit, vähemal määral lahustunud saasteaineid, kuna eeskätt töötab liiv-filter mehhaanilise filtrina. Keskmise hinnanguline puhastusefektiivsus erinevate saasteainete suhtes on toodud tabelis 3.

Tabel 3. Liiv-filtri hinnanguline puhastusefektiivsus erinevate saasteainete suhtes. [Alternative Stormwater Management Practices for Residential Projects: Retention Ponds. Canada Mortgage and Housing Corporation (http://www.cmhc-schl.gc.ca/en/imquaf/himu/wacon/wacon_030.cfm - 18.10.2005)].

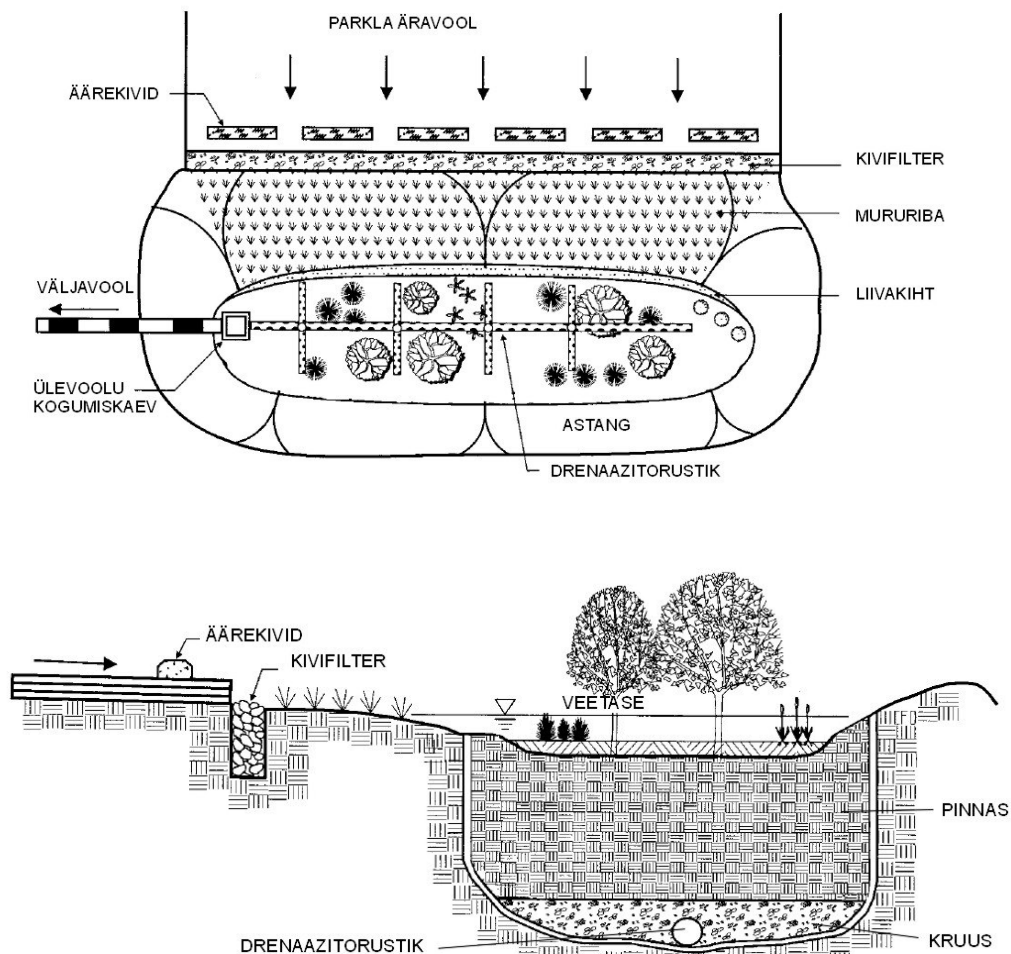
Saasteaine	puhastusefektiivsus
Kogu fosfor	Keskmine
Kogu lämmastik	Keskmine
Tahked osakesed	Väga kõrge
Tahkete osakestega seotud metallid	Väga kõrge
Biokeemiline ja keemiline hapnikutarve	Keskmine
Õli ja rasv	Kõrge
Bakteriaalne reostus	Keskmine

Liiv-filtrite projekteerimisel ja dimensioneerimisel tuleks arvestada järgnevate asjaoludega:

- Kasutusvõimalused – liiv-filtrite suurus on kergesti varieeritav, mistõttu saab neid kasutada täpselt nii nagu olemasolev linnaruum võimaldab ja konkreetselt pinnalt kogutav sademevee hulk nõuab. Eeskätt kehtib see just maa-aluste liiv-filtrite puhul, kuna süsteemiga hõivatud maa-ala on osaliselt kasutatav. Avatud liiv-filtri puhul – eriti suuremate süsteemide korral – ei ole maa-ala võimalik alternatiivselt kasutada. Suuremate avatud süsteemide puhul on probleemiks ka mitte eriti atraktiivne välimus, mistõttu sellised süsteemid tuleks projekteerida kõrvalisematesse kohtadesse või kasutada nende varjamiseks hekke või muid looduslikke tõkkeid.
- Tehnilised nõuded – filterkihina kasutatav liivakiht peab olema vähemalt 0,5 meetri paksune, et toimida piisavalt efektiivselt. Dimensioneerimisel tuleks lähtuda lokaalsetest ilmastikutingimustest nii, et süsteem oleks võimeline lühiajaliselt mahutama umbes 75% sademeveest. Väga suurtelt kõvakattega pindadelt kogutud sademevee puhastamiseks on otstarbekas kasutada mitut paralleelset filtersüsteemi. Ühe filtersüsteemi valgala suuruseks võiks hinnanguliselt olla maksimaalselt umbes 40 000 m². Külma kliimaga piirkondades tuleb arvestada, et talveperioodil kui esineb sissevoolu ja väljavoolu ning filterkihi jäätumise oht, on filtersüsteemi töö häiritud. Kevadisel sulaperioodil taastub filterkihi puhastusvõime pärast sulamist suhteliselt kiirelt.
- Hooldusvajadus – liiv-filtrid vajavad pidevat ülevaatus. Regulaarselt tuleb eelmahutist eemaldada sinna settinud tahked osakesed. Avatud liiv-filtri korral tuleb perioodiliselt niita filtrit katvat taimestikku ning eemaldada filterkihile langenud varis ja prügi. Kui sademevee filtreerumisperiood läbi filtri pikeneb üle 36 tunni, on vaja filtrit kattev pinnas või maa-aluse filtri korral kruusa või killustiku kiht sinna sattunud setetest puhastada või kiht uue materjaliga asendada. Korrapärase hoolduse korral on liiv-filtrite kasutusaeg pikk ning puhastusefektiivsus stabiilne.

2.4.2 Biopuhvrid

Biopuhvri puhul on tegemist suhtelist suuremõõtmelise, kasvupinnasega täidetud ning ülejäänud pinnasest veekindla membraaniga eraldatud vanni või basseini, mis on haljastatud (sh osaliselt ka kõrghaljastusega). Kasvupinnasest läbi filtreeruv vesi kogutakse kasvupinnase all asuva drenaažiga ning suunatakse kanalisatsiooni või edasisele käitlemisele, näiteks imbsüsteemidesse. Kui ümbritseva pinnase hüdrauliline juhtivus on piisavalt suur võib biopuhver olla ka ümbritsevast pinnasest eraldamata ning sademevesi lastakse pärast biopuhvri läbimist otse ümbritsevasse pinnasesse ja edasi põhjavette imbuda. Setete kuhjumise vältimiseks kasvupinnase peal, kasutatakse sissevoolul tahkete osakeste eemaldamiseks eelpuhastust – näiteks haljastatud puhverriba. Kuigi biopuhvrid ei võimalda olulisel määral vähendada kanaliseerimist vajava sademevee hulka, aitab nende rohke kasutamine alandada kanaliseeritava sademevee vooluhulga maksimume. Biopuhvri üks võimalik näidiskonstruktsioon on toodud joonisel 12.



Joonis 12. Biopuhvri konstruktsiooni näide.

[<http://www.dec.state.ny.us/website/dow/toolbox/swmanual/nysswmdm03.pdf>
12.10.05].

Biopuhvrite puhastusefektiivsus erinevate saasteainete suhtes on analoogne eelmises alapeatükis kirjeldatud liiv-filtersüsteemidega.

Lisaks kõvakattega aladelt kogutud sademevee puhastamisele toimub biopuhvrites tänu taimkattele ka evapotranspiratsioon, mis vähendab mõnevõrra edasist kaitlust või immutamist vajava vee hulka. Biopuhvrite projekteerimisel tuleks arvestada järgnevate asjaoludega

[<http://www.dec.state.ny.us/website/dow/toolbox/swmanual/nysswmdm03.pdf> -

18.10.05 ja <http://www.epa.gov/owm/mtb/biortn.pdf> - 18.10.05]:

- Kasutusvõimalused – biopuhvreid saab kasutada kõvakattega aladelt kogutud sademevee puhastamiseks ja selle koguse vähendamiseks seal, kus on piisavalt ruumi ja sobivad tingimused selle rajamiseks. Põhjavee maksimaalne tase peab olema minimaalselt 1,8 meetri sügavusel. Samuti peab biopuhvrite rajamisel olema asukoht suhteliselt lame ja ühtlane. Üle 20% kaldega alale biopuhvrit rajada ei saa.
- Tehnilised nõuded – efektiivselt töötava biopuhvri minimaalne võimalik suurus on umbes 5 m x 12 m, mis tagab piisava ruumi taimestiku iseseisvaks arenguks ja vastupanuks erinevatele saasteainetele. Dimensioneerimisel tuleb arvestada biopuhvri pindalaks umbes 5-7% tema valgalast, sõltuvalt lokaalsetest ilmastikutingimustest. Üks biopuhver sobib maksimaalselt u 4000 – 10000 m² (maksimaalselt 20000 m²) suuruse pindalaga valgala teenindamiseks. Suuremate pindade korral tuleb rajada mitu paralleelset biopuhvrit. Kasvupinnase kihi paksus võiks biopuhvril olla umbes 1,5 kuni 2 meetrit. Et saju ajal ei valguks vihmavesi biopuhvrilt ära peavad biopuhvri kaldad olema piisavalt kaldu või piisavalt laiad, et süsteem mahutaks vähemalt 75% sademevee mahust. Ajutiselt veega kaetud ala peaks seejuures olema maksimaalselt 15 cm sügav, et mitte pärssida taimestiku kasvu. Õlisaaste mikrobioloogilise degradatsiooni soodustamiseks tuleks kasvupinnas katta puukoorest multšiga, mis tekitab sobivad tingimused vajalike mikroorganismide tekkeks ja püsimiseks.
- Hooldusvajadus – biopuhvrid vajavad pidevat ülevaatamist ning vajadusel erosiooni- vms kahjustuste parandamist. Perioodiliselt tuleb koristada biopuhvrile kogunenud prügi, lisada puukoorest multši ning vajadusel osa pinnast taashaljastada. Kasvupinnasest läbi filtreerunud vee kogumisdrenaaži olemasolu korral tuleb seda ummistumise vältimiseks perioodiliselt puhastada.

2.5 Imbsüsteemid

Sademevee imbsüsteemid kujutavad endast süsteeme, mis suudavad ajutiselt koguda sademevett ning juhtida seda mõnepäevase perioodi jooksul pinnasesse. Imbsüsteemid jagunevad kolme gruppi: imbkraavid, imbväljakud ning imbkaevud.

2.5.1 Imbkraavid

Imbkraav kujutab endast kaevikulaadset, suhteliselt lühikest kraavi, mis on täidetud killustikuga vms sarnase materjaliga, et luua ajutine maa-alune reservuaar sademevee hoidmiseks. Sademevesi juhitakse reservuaari ehk nõ immutuskihti jaotustorustiku

kaudu. Reservuaari kogunenud sademevesi imbub aegamisi läbi kraavi põhja pinnasesse ja lõpuks põhjavette. Imkraavi peamiseks funktsiooniks on vee puhastamine enne vee immutamist. Korralikult hooldatud imkraav suudab veest eemaldada nii tahkeid kui lahustunud saasteaineid. Saasteainete eemaldamine toimub nende filtreerumisel, adsorptsioonil pinnaseosakestele ja mikrobioloogilisel ning keemilisel lagunemisel pinnases. Puhastusefektiivsus sõltub suuresti pinnasetüübist, kuhu imkraav on rajatud (liivase pinnase puhul on puhastusefektiivsus väiksem kui poorsete pinnaste puhul).

Hinnangulised puhastusefektiivsused imkraavi kasutamisel erinevate saasteainete puhul on toodud tabelis 2 [*Alternative Stormwater Management Practices for Residential Projects: Infiltration Trenches. Canada Mortgage and Housing Corporation* (http://www.cmhc-schl.gc.ca/en/imquaf/himu/wacon/wacon_026.cfm - 10.10.2005)].

Tabel 2. Hinnangulised puhastusefektiivsused imkraavi kasutamisel erinevate saasteainete puhul.

Saasteaine	Puhastusefektiivsus
Kogu fosfor	Kõrge
Kogu lämmastik	Kõrge
Tahked osakesed	Väga kõrge
Raskemetallid	Väga kõrge
Biokeemiline ja keemiline hapnikutarve	Väga kõrge
Õli ja rasv	Kõrge
Bakteriaalne reostus	Väga kõrge

Imkraavide rajamisel tuleb arvestada järgmiste asjaoludega [California Stormwater BMP Handbook, Municipal. 2003. California Stormwater Quality Association <http://www.cabmphandbooks.com/documents/Municipal/Municipal.pdf> - 15.10.05 ja New York State Stormwater Management Design Manual. 2003. <http://www.dec.state.ny.us/website/dow/toolbox/swmanual/nysswmdm03.pdf> - 12.10.05]:

- Kasutusvõimalused – kuigi vee immutamine pinnasesse töötab suhteliselt lihtsal põhimõttel tuleb imkraavide projekteerimisel ja rajamisel põhjaveereostuse ning imbsüsteemide ülekoormuse vältimiseks arvestada olulisel määral lokaalsete tingimustega. Imkraave saab kasutada vee liiv- ja saviliivpinnastes, kus põhjavee maksimaalne tase jääb immutustasandist vähemalt 1,2 meetri sügavusele. Sobivate tingimuste olemasolul saab imbsüsteeme üsna edukalt kasutada, kuna süsteemid võtavad enda alla üsna vähe pinda ning neid saab rajada praktiliselt igale poole kus oleks vaja rakendada sademevee kohtkäitlust – so. väiksemate hoonegruppide jne juures.
- Tehnilised nõuded – Imkraavid tehakse aastaringse kasutamise korral 1,2 kuni 1,8 m sügavad, ainult suvise kasutamise korral võib imkraavide sügavuseks olla ka umbes 0,5 meetrit. Ühe imkraavi maksimaalne pikkus on 20 meetrit. Imkraavi põhi ja küljed tuleb ümbritsevast pinnasest eraldada geotekstiiliga (filterkangaga), et vältida täitematerjali ummistumist pinnaseosakestega. Jaotustorustik tehakse umbes 100mm läbimõõduga drenaažitorudest. Olenevalt imkraavi juhitava vee kvaliteedist ning mahust on soovitatav ummistuste vältimiseks kasutada setitit või eelpuhastit, mis eemaldab veest suurema osa tahketest osakestest.

2.5.2 Imbväljakud

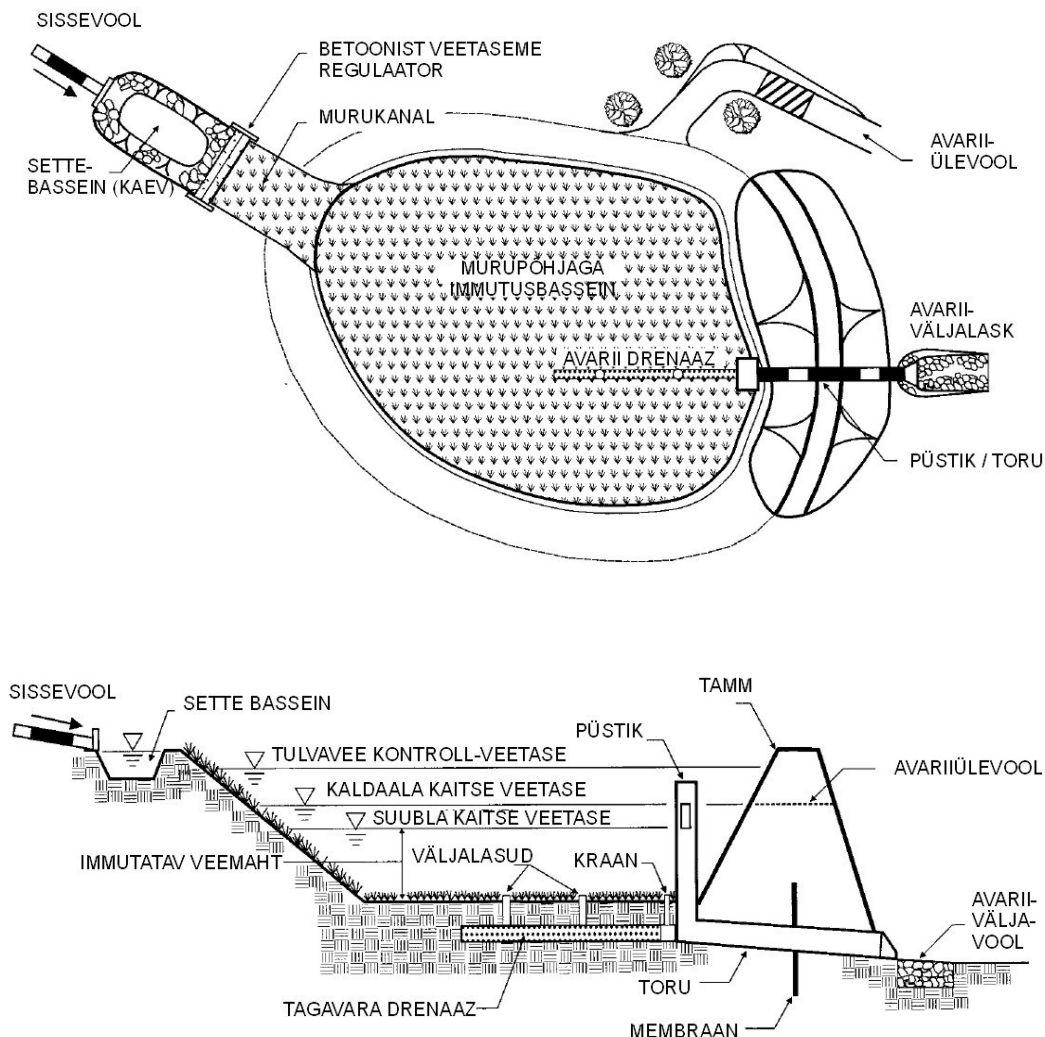
Imbväljakute näol on tegemist lamedapõhjalise haljastatud väljaku või alaga, mis on igast küljest tammiga piiratud ning asub poorsel või vett hästi juhtival pinnasel. Kui imbväljakule juhitakse sademevett, muutub see ajutiselt madala tiigi laadseks veekoguks, kus vesi mõne päeva jooksul maasse ning seal edasi põhjavette imbib. Kontrollimatu ülevoolu vältimiseks rajatakse imbväljakule tavaliselt ka alternatiivne väljavool, mis rakendub kõrge veetaseme korral. Imbväljakud sobivad ainult suviseks kasutamiseks ning sademevee infiltreerimisvõime säilitamiseks tuleb sõltuvalt imbväljakule juhitava vee kvaliteedist kasutada eelsetitit vms süsteemi, mis vähendab tahkete osakeste kandumist imbväljakule.

Sarnasel imbkraavidele on korralikult projekteeritud ja hooldatud imbväljakud võimelised veest eemaldama nii tahkeid kui lahustunud saasteaineid. Saasteainete eemaldamine toimub nende adsorptsioonil pinnaseosakestel ning mikrobioloogilisel ning keemilisel lagunemisel pinnases. Puhastusefektiivsus sõltub suuresti pinnasetüübist, kuhu imbkraav on rajatud (liivase pinnase puhul on puhastusefektiivsus väiksem kui poorsete pinnaste puhul).

Imbväljakute rajamisel tuleb arvestada järgnevate asjaoludega [California Stormwater BMP Handbook, Municipal. 2003. California Stormwater Quality Association <http://www.cabmphandbooks.com/documents/Municipal/Municipal.pdf> - 15.10.05]:

- Rakendusvõimalused - imbväljakuid saab kasutada vee liiv- ja saviliivpinnastel, kus põhjavee maksimaalne tase jääb immutussügavusest vähemalt 3 meetri sügavusele. Imbväljakute rajamiseks sobivad vaid lameda kaldega, ühtlase pinnaga alad. Imbväljakud hõlmavad üldjuhul umbes 2-5% oma valgala pinnast ning on suhteliselt suure kuluefektiivsusega, kuna nende rajamiseks ei ole vaja kasutada erilisi materjale ja tehnilisi süsteeme.
- Tehnilised nõuded – dimensioneerimisel tuleb arvestada suurel määral lokaalsete pinnase- ning ilmastikutingimustega. Imbväljak peaks optimaalse efektiivsuse jaoks olema võimeline aasta jooksul mahutama umbes 80-85% aastast sademete hulgast selle valgala – so ümbritsevad tammid peavad olema piisavalt kõrged, et mahutada piisav hulk sademevett sõltuvalt keskmisest sademete jaotumisest. Tammide kalle ei tohiks olla järsem kui 3:1 hoidmaks ära erosiooni. Sõltuvalt pinnase hüdraulilisest juhtivusest tuleb imbväljak dimensioneerida selliselt et kogu sademevesi imbuks pinnasesse 48 tunni jooksul. Kui imbväljak rajatakse maapinnast madalama süvendina, siis tuleb imbväljaku kaldad piirata u 10 meetri laiuse puhverribaga.
- Hooldusvajadus – imbväljakud vajavad pidevat ülevaatust, et vajadusel parandada erosiooni mõjul tekkinud kahjustusi. Perioodiliselt tuleb tegeleda prahi eemaldamisega ja väljakut katva taimestiku niitmisega, et säilitada imbväljaku esteetilist välimust.

Joonisel 14 on toodud imbväljaku näidis, kus lisaks avariiravavoolule on kasutatud ka tagavaraväljavoolu juhuks, kui väljakule juhitud veehulk ei imbu piisavalt kiiresti pinnasesse.

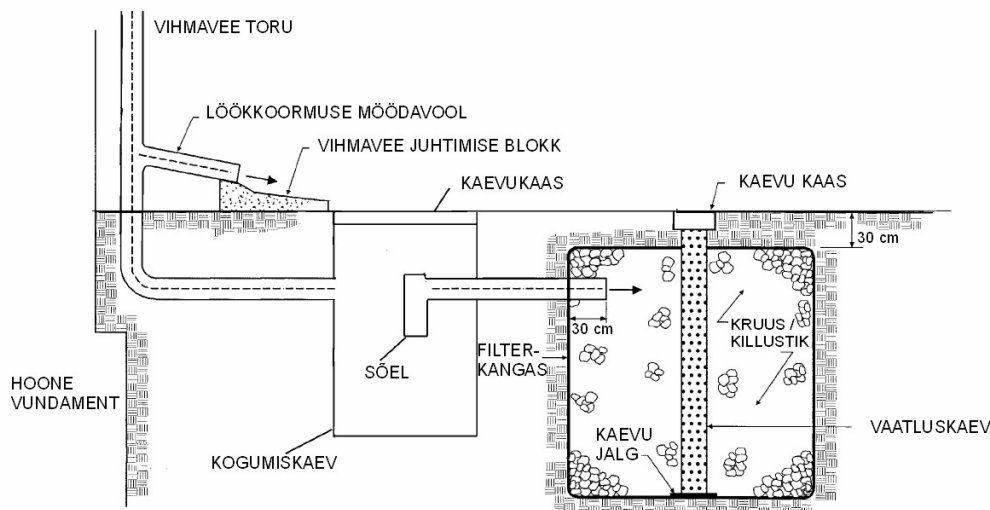


Joonis 14. Tagavaraväljavooluga immutusbasseini kasutamise näidis
[\http://www.dec.state.ny.us/website/dow/toolbox/swmanual/nysswmdm03.pdf
 12.10.05].

2.5.3 Imbkaevud

Imbkaeve kasutatakse ainult katuselt kogutud sademevee lokaalseks käitlemiseks. Need on mõõtmelt suhteliselt väikesed, killustiku või poorse pinnasega täidetud maa-alused reservuaarid, kuhu juhitud vesi imbub aegamisi pinnasesse ning sealt edasi põhjavette.

Mõelduna vaid katusepinnalt tuleva sademevee käitlemiseks on imbkaevude nõ võimsus suhteliselt madal – sõltuvalt lokaalsetest ilmastikutingimustest on maksimaalne valgala suurus kuni 4000 m². Imbkaevu võimalik konstruktsioon on toodud joonisel 15. Paduvihmade puhul tuleb liigse vee kogunemise vältimiseks vihmaveetorudesse rajada ka löökkroomuse möödavool, mis juhib liigse sademevee imbkaevust mööda.



Joonis 15. Võimalik imbkaevu konstruktsiooni näide

[<http://www.dec.state.ny.us/website/dow/toolbox/swmanual/nysswmdm03.pdf> - 12.10.05].

Imbkaevu rajamisel tuleb arvestada järgmiste asjaloludega [<http://www.dec.state.ny.us/website/dow/toolbox/swmanual/nysswmdm03.pdf> - 12.10.05 ja Water related Best Management Practices in the landscape. 1999. Center for Sustainable Design <http://www.abe.msstate.edu/Tools/csd/NRCS-BMPs/pdf/water/volume/drywell.pdf> - 24.09.05]:

- Kasutusvõimalused – imbkaeve saab kasutada ainult katusepindadelt kogutud sademevee immutamiseks.
- Tehnilised nõuded – imbkaevude rajamise tehnilised nõuded on analoogsed imbkraavidega. Imbkaeve saab kasutada vee liiv- ja saviliivpinnastes, kus põhjavee maksimaalne tase jääb immutustasandist vähemalt 1,2 meetri sügavusele. Imbkaevud tehakse aastaringse kasutamise korral 1,2 kuni 1,8 m sügavad, ainult suvise kasutamise korral ka umbes 0,5 meetrit. Imbkaevu põhi ja küljed tuleb ümbritsevast pinnasest eraldada geotekstiiliga (filterkangaga), et vältida täitematerjali ummistumist pinnaseosakestega. Imbkaevu asukohavalikul tuleb arvestada minimaalseks kauguseks hoone vundamendist vähemalt 3 meetrit.
- Hooldusvajadus – Kogumiskaevu tuleb perioodiliselt puhastada katuselt koos vihmaveega sinna sattunud lehtedest ning võimalikust settest.

2.6 Avatud sademevee kanalid

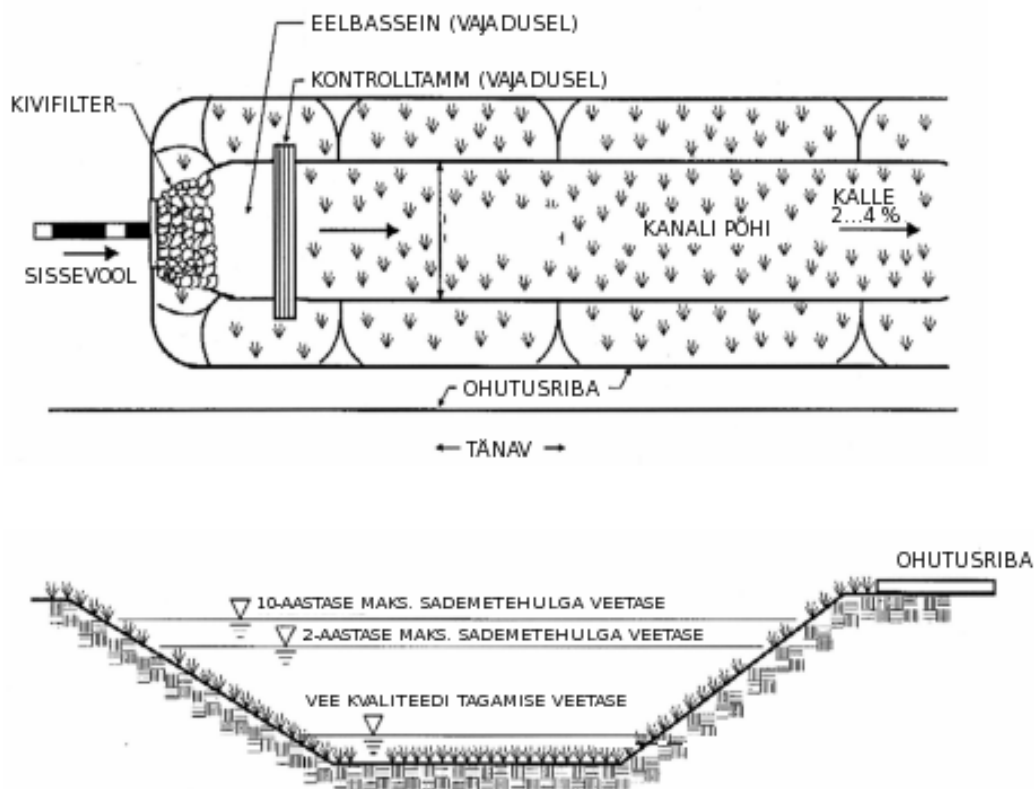
Avatud sademevee kanalites toimub sademevee käitlemine kombineerides sademevee filtreerumist läbi pindmise taimkatte ning imbumist pinnasesse. Avatud sademevee kanalid võib jagada neljaks põhitüübiks: haljaskanalid, kuivad kraavid, püsiva veetasemega kraavid ning puhverribad. Need süsteemid käitlevad sademevett analoogselt kuid, erinevad veidi ehituselt ning kasutuselt.

Avatud sademevee kanalite alla kuuluvaid süsteeme loetakse sademevee kogumise tiikide ning tehismärgalade kõrval üheks parimatest lahendustest sademevee käitlemisel külmema kliimaga piirkondades.

2.6.1 Haljaskanalid

Haljaskanalid sarnanevad paljuski tavapäraste konventsionaalsete kanalitega (kraavidega), mida kasutatakse vee ära juhtimiseks, kuid mis tagavad täiendavalt ka sademevee puhastumise. Sarnaselt filtersüsteemidele eemaldavad haljaskanalid sademeveest efektiivselt tahkeid osakesi ja hõljumit, tahkete osakestega seotud raskemetalle ning vähendavad biokeemilist hapnikutarvet. Ülejäänud saasteainete suhtes toimivad haljaskanalid vähemefektiivselt. Haljaskanalitel on laiad, suhteliselt lauged kaldad, mis on kaetud tiheda taimestikuga. Kallaste laius, kaldenurk ning kanali pikkus on otseselt sõltuv käideldava sademevee mahust ja selle pealevoolu intensiivsusest – so valgala suuruselt ja lokaalsetest ilmastikutingimustest. Haljaskanalite kasutamise eesmärk on eeskätt vähendada sademevee löökkkoormust kanalisatsioonisüsteemile või suublale, aeglustades vee voolamist. Täiendava funktsioonina puhastub vesi osaliselt tahketest osakestest ja saasteainetest voolates üle haljastatud pinna ning imbudes pinnasesse. Haljaskanalid sobivad kasutamiseks igal pool, kus on nende rajamiseks piisavalt ruumi, sobivad ilmastikutingimused püsiva haljastuse rajamiseks, maapind piisava kaldega vee äravoolu tagamiseks piki kanalit ning erosioonile piisavalt vastupidav pinnas. Haljaskanaleid saab edukalt lülitada sademeveekanalisatsiooni koosseisu asendades nendega näiteks kõvakattega alade ääres paiknevad rentsliid jms vett koguvad ning edasikandvad süsteemid.

Joonisel 16 on toodud haljaskanali võimalik ehitus. Haljaskanalite efektiivsus sademevee käitlemisel väheneb oluliselt intensiivsemate sajujuhtude korral. Suured veehulgad ning vee kiire voolamine võivad haljaskanali kaldaid erodeerida ning põhjustada seeläbi süsteemi kahjustumist. Seepärast ei sobi haljaskanalid kasutamiseks väga suurte kõvakattega pindade puhul, millelt toimuv äravool võib ajuti olla väga intensiivne ja suure mahuga.



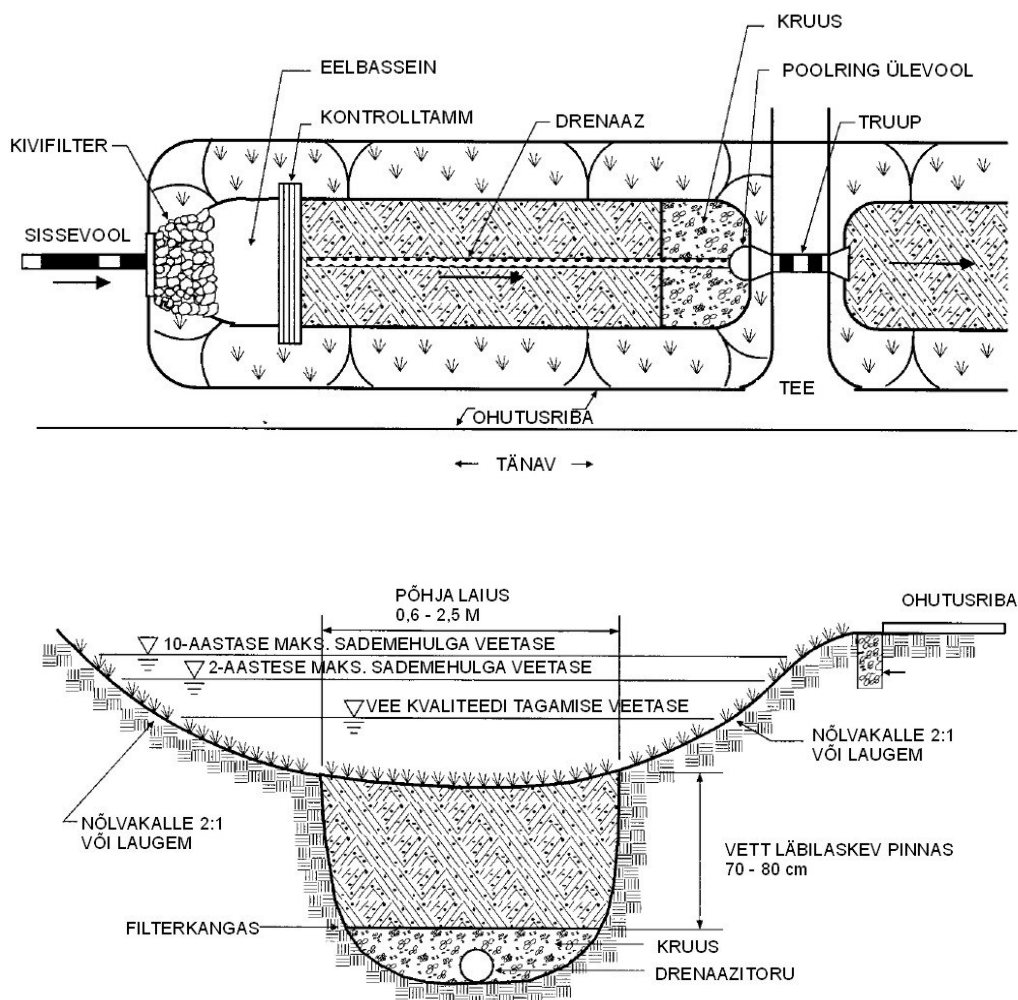
Joonis 16. Haljaskanalali läbilõige
[\[http://www.stormwatercenter.net/Manual_Builder/Performance%20Criteria/Open%20Channels.htm\]](http://www.stormwatercenter.net/Manual_Builder/Performance%20Criteria/Open%20Channels.htm) – 19.10.2005]

Haljaskanalite projekteerimisel peaks arvestama järgnevate asjaoludega
[\[http://www.epa.gov/owm/mtb/vegswale.pdf\]](http://www.epa.gov/owm/mtb/vegswale.pdf) – 19.10.2005]:

- Tehnilised nõuded – Haljaskanaleid ei saa erosiooniohu tõttu rajada kruusastele ning väga liivastele pinnastele. Samas peaks pinnase hüdroloogiline juhtivus olema vähemalt 0,3 m/ööp ning seetõttu tuleks kanalite rajamisel vältida pinnase kokkusurumist raskete masinatega. Sademevee viibeaja pikendamiseks haljaskanalis peaks kanali kalle pikisuunas olema võimalikult väike, kuid tagama siiski vee voolamise. Üldjuhul jääb põhja kalle vahemikku 1% kuni 2 %. Haljaskanalali kaldad võivad erosiooni ärahoidmiseks olla maksimaalse kaldega 1:3. Dimensioneerimisel tuleks arvestada 1% - 7% ulatuses valgala hõivamisega sõltuvalt pinnase hüdraulilisest juhtivusest ning kallaste kaldest. Soovitav haljaskanalali põhja laius on 1–2 m (maksimaalselt 2,5 m).
- Hooldusvajadus – haljaskanalali puhastusefektiivsuse ning infiltratsioonivõime säilitamiseks vajab see pidevat ülevaatumist, niitmist, vajadusel umbrohutõrjet, ning paljanduvate kohtade taashaljastamist. Perioodiliselt tuleb eemaldada praht ning varis, mis võib takistada vee voolamist.

2.6.2 Kuivad kraavid

Kuivad kraavid on analoogsed haljaskanalitele, kuid piki kanali põhja on rajatud kruusaga täidetud sügavam vagu, mille all asub filterkangaga eraldatud drenaažikiht ning torudrenaaž. Näide haljaskanali konstruktsioonist on toodud joonisel 17. Kuivade kraavide kasutuseesmärk on filtreerida ja puhastada sademevett saasteainetest ning vähendada sademevee löökoormust kanalisatsioonile. Iseseisva süsteemina kuivad kraavid kanaliseeritava vee hulka oluliselt ei vähenda ning kraavi põhjast torudrenaažiga kogutud vesi vajab edasist käitlemist alternatiivsetes süsteemides või suunamist kanalisatsiooni. Kuivades kraavides filtreerub veehulk läbi filterpinnase maksimaalselt 24 tunni jooksul.



Joonis 17. Kuiva kraavi konstruktsiooni näide

[<http://www.dec.state.ny.us/website/dow/toolbox/swmanual/nysswmdm03.pdf>
12.10.05].

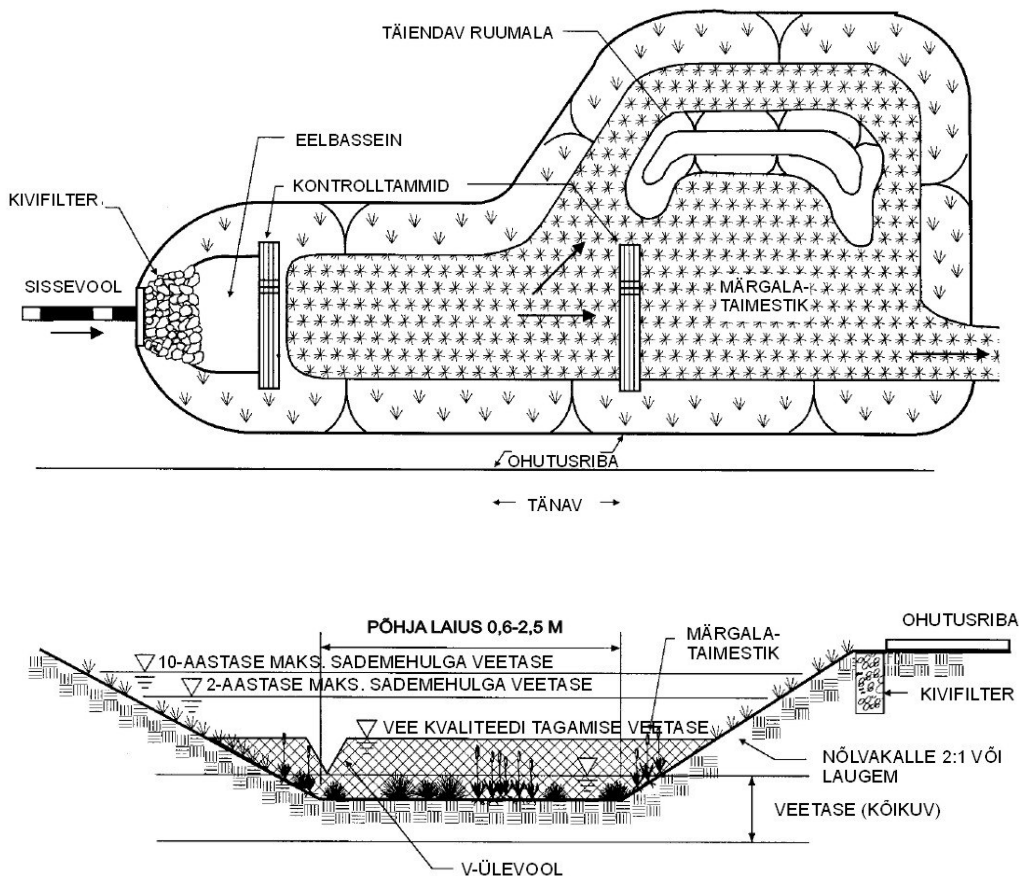
Erosiooni vähendamiseks sademevee voolamisel kraavi põhjas jagatakse kuivad kraavid tavaliselt kontrolltammidega väiksemateks eraldatud üksusteks. Tammid pidurdavad vee voolukiirust ning pikendavad ka mõnevõrra sademevee viibeaega kraavis. Kontrolltammide kasutamisel saab kuivasid kraave rajada ka mõnevõrra järsematele pindadele kui haljaskanaleid, kuigi sademevee viibeaja pikendamiseks on eelistatud siiski võimalikult lamedapõhjaliste kraavide kasutamine. Maksimaalne põhja kalle on kontrolltammide kasutamise korral ligikaudu 4%. Kuivade kraavide projekteerimise tehnilised nõuded ning hooldusvajadus on ülejäänud osas analoogsed haljaskanalitega.

[www.metrocouncil.org/environment/Watershed/BMP/CH3_STDetDrySwale.pdf – 19.10.05].

2.6.3 Püsiva veetasemega kraavid

Püsiva veetasemega kraavid on analoogsed sademevee käitlemiseks kasutatavate avaveeliste tehismärgaladega. Mõlemas esineb üsna madal, veidi kõikuv, kuid püsiv veetase ning kasvavad märgalakooslustele omased taimeliigid. Püsiva veetaseme ja seega ka märgalataimede arengu tagamiseks on vajalik kõrge põhjaveetaseme olemasolu. Püsiva veetasemega kraavid on mõeldud sademevee hulga mahutamiseks ning kinnipidamiseks ~24 tunni jooksul.

Püsiva veetasemega kraavi konstruktsiooni näide on toodud joonisel 18.



Joonis 18. Püsiva veetasemega kraav

[<http://www.dec.state.ny.us/website/dow/toolbox/swmanual/nysswmdm03.pdf>
12.10.05].

Sarnaselt kuivadele kraavidele koosnevad püsiva veetasemega kraavid üksteisest kontrolltammidega eraldatud väiksematest üksustest. Erinevalt kuivadest kraavidest puudub püsiva veetasemega kraavidel drenaaž, mistõttu suudavad viimased saju korral kanaliseeritava sademevee hulka tammidega seatud veetasemele vastava hulga võrra vähendada. Võimalikult suure hulga sademevee kinnipidamiseks saab püsiva veetasemega kraavidele juurde projekteerida täiendava ruumalaga nõ taskuid ja sügavamaid osasid.

Püsiva veetasemega kraavide projekteerimisel tuleb arvestada järgnevate asjaoludega [<http://www.georgiastormwater.com/vol2/3-2-6.pdf> – 10.10.2005 ja <http://www.dec.state.ny.us/website/dow/toolbox/swmanual/nysswmdm03.pdf> - 12.10.2005]:

- Kasutusvõimalused – püsiva veetasemega kraave saab kasutada aladel, kus on piisavalt kõrge põhjavee või pinnasevee tase või halvasti vett juhtiv pinnas, mis tagab märgalataimedele sobiva kasvukeskkonna. Püsiva veetasemega kraavide kasutamise eesmärk on vähendada sademevee löökoormust kanalisatsioonile või suublale hoides veehulka enne kanalisatsiooni jõudmist

kinni kuni 48 tundi. Sarnaselt avaveelistele märgalapuhastitele puhastub kraavis seisev sademevesi, kuna tahked osakesed filtreeritakse kraavis kasvava taimestiku poolt ja seetatakse ning taimed ja mikroorganismid seovad ning degradeerivad saasteaineid.

- Tehnilised nõuded – sademevee viibeaja pikendamiseks püsiva veetasemega kanalis peaks kanali kalle pikisuunas olema võimalikult väike, kuid olema piisav tagamaks vee voolamise. Üldjuhul jääb põhja kalle vahemikku 2 % kuni 4%. Püsiva veetasemega kraavide kaldad võivad erosiooni ärahoidmiseks olla maksimaalse kaldega 1:3. Setete liigse kuhjumise vältimiseks tuleb sissevoolu juurde rajada eelbassein, kus suuremad tahked osakesed välja settivad. Dimensioneerimisel tuleks lähtuda lokaalsetest sajujuhtude maksimumidest arvestades sademevee viibeajaks 24-48 tundi ning kraavi maksimaalseks sügavuseks umbes 50 cm. Püsiva veetasemega kraavi põhja soovitatav laius on 1-2 m (maksimaalselt 2,5 m).
- Hooldusvajadus – perioodiliselt kontrollida eelbasseinis settinud materjali hulka ning vajadusel puhastada. Kui tahketest osakestest ning varisest jms materjalist moodustunud settekiht kraavi põhjas ületab veerandi kraavi mahust, siis tuleb settekiht eemaldada.

2.6.4 Puhverribad

Puhverribad kujutavad endast haljastatud kaldpindasid, mis asuvad kõvakattega pindade ääres ning omavad mõningast puhastusefektiivsust neist ülevoolava vee käitlemisel. Puhverribasid kasutatakse enamasti koos teiste alternatiivsete sademevee puhastussüsteemidega, peamiselt eelpuhastina. Üldjuhul koosnevad puhverribad tavapärastest muruliikidest jms vastupidavamatest heintaimedest. Ka looduslikku roheala saab puhverribana kasutada, kui see koosneb liigniisketele tingimustele vastupidavamatest taimeliikidest ning on piisavalt ühtlase pinnaga, et vältida sademevee kogunemist loikudeks. Minimaalselt on siiski vaja kalded optimaalseks kohendada.

Puhverribade põhifunktsioon on pidurdada sademevee voolukiirust, mille tagajärjel settib sademeveest välja sinna sattunud tahked saasteained. Tihedast taimkattest läbi voolates pikeneb ka sademevee jõudmine kanalisatsiooni ning eemaldatakse saasteaineid, mida taimed vajavad või akumuleerivad. Ühtlasi imbub osa sademeveest pinnasesse ning seeläbi väheneb kanaliseerimist vajava sademevee hulk. Puhverribade puhastusefektiivsus sõltub suurel määral sellest üle voolava vee hulgast ja saasteainete sisaldusest, mistõttu on see üsna suurtes piirides varieeruv. Seetõttu saab puhverribasid efektiivselt kasutada vaid suhteliselt väikese pindalaga valgalade korral. Väga linnastunud piirkonnas ning suurepinnaliste kõvakattega alade juures on veehulk ja sellest tulenevalt ka vee voolukiirus üle puhverriba liiga suur, et soosida tahkete osakeste välja settimist. Väga linnastunud piirkonnas ei ole võimalik puhastusefektiivsust ka puhverribade suurendamisega kompenseerida kuna ruumi selleks tihtilugu lihtsalt ei ole. Liiga suure voolukiiruse korral ei toimi enam ka veehulga ühtlane voolamine üle kogu puhverriba pinna, vaid veevool koguneb üksikutesse vooluteedesse, mis toob kaasa erosiooni.

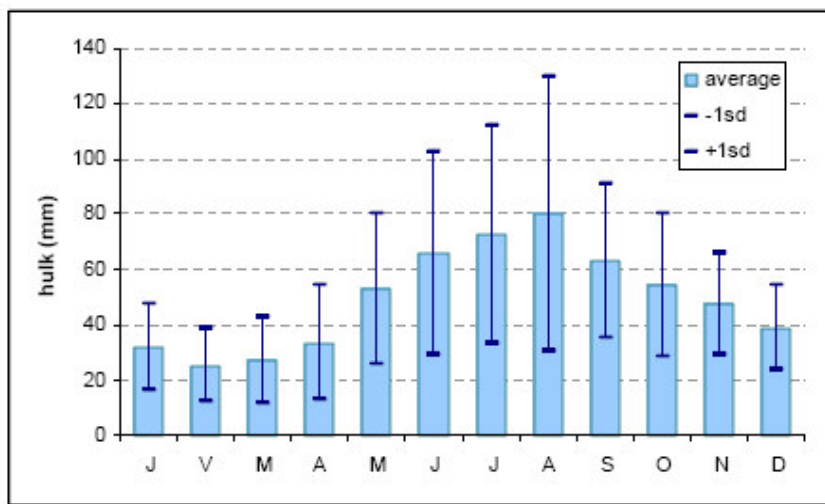
Puhverribade planeerimisel tuleb arvestada järgmiste asjaoludega [Wisconsin Storm Water Manual: Filter Strips. 2000. Wisconsin Department of Natural Resources http://s142412519.onlinehome.us/uw/pdfs/G3691_6.PDF - 31.10.2005]:

- Kasutusvõimalused – puhverribad sobivad üldjuhul kasutamiseks koos teiste alternatiivsete sademeveepuhastussüsteemidega nende eel-puhastina.
- Tehnilised nõuded – sademevee viibeaja ning puhverriba puhastusefektiivsuse optimeerimiseks peaks puhverriba kalle olema võimalikult väike, kuid samas piisav, et vältida loikude teket. Mida järsem on kalle, seda enam esineb oht erosiooniks ning veevoolu kogunemiseks üksikutesse voolukanalitesse. Väga tiheda taimkatte ning hea hüdroloogilise juhtivusega pinnase puhul on maksimaalne võimalik kalle kuni 10%, ülejäänud juhtudel aga väiksem. Puhverriba minimaalne laius (so risti voolusuunaga) on 6 meetrit, minimaalne pikkus 15 – 23 meetrit. Täpsemal dimensioneerimisel tuleks eesmärgiks seada sademevee viibeaeg umbes 20 minutit ning lähtuvalt potentsiaalsest vooluhulgast arvutada vajalik kalde ja pikkuse kombinatsioon ning laius. Ühtlase ülepinnalise voolu tagamiseks peab puhverribale eelnema mingisugune veevoolu aeglustav, jagav ja suunav süsteem – näiteks korrapäraste vahede või avadega äärekivid vms.
- Hooldusvajadus – puhverribad vajavad ülevaatus 2 – 3 korda aastas ning pärast suuremaid paduvihmasid. Kui paduvihmade tõttu on tekkinud selgelt nähtavad sügavamad vooluteed või loigud, siis tuleb pinda tasandada. Pinna osalise paljandumise korral tuleb see taashaljastada. 2 kuni 3 korda aastas, sõltuvalt taimkatet moodustavate liikide kasvukiirusest tuleb puhverribal niita. Taimkatte kõrgus võiks pidevalt olla vahemikus 15-30 cm. Perioodiliselt tuleks kontrollida ka puhverribale kogunenud settekihti ning vajadusel see eemaldada ning puhverriba taashaljastada.

3 Murukatuse kasutamise võimalused Tartu linnas

3.1 Meteoroloogilised tingimused Tartu linnas

Viimase 50 aasta meteoroloogiliste andmete põhjal on aastane sademete hulk Tartu linnas keskmiselt 593 mm. Omaselt Eesti kliimale on siinne sademete hulk ajas varieeruv ning sellel esineb selge sesoonne dünaamika. Suurem osa aastasest sademete hulgast langeb maha maist septembrini. Sel ajal on ka paduvihmade esinemise tõenäosus suurim. Maksimaalne sademete hulk esineb augustis (keskmiselt on augusti sademete hulk 80 mm) ning minimaalne sademete hulk veebruaris (keskmiselt on veebruari sademete hulk 25 mm) [Jaagus, 1999 Ahas, Aasa jt. järgi]. Aastase sademetehulga ajaline varieeruvus Tartu linnas on esitatud joonisel 19.



Joonis 19. Sademete keskmine aastane dünaamika ja varieeruvus Tartus 1960-1999 [Jaagus, 1999 Ahas, Aasa jt. järgi].

3.2 Tartu linnas kasutamiseks sobivad murukatuste tüübid

Murukatuste kasutamisel kanaliseeritava sademevee hulga vähendamiseks ning löökoormuse puhverdamiseks on kõige otstarbekam kasutada ekstensiivseid murukatuseid, kuna need on piisavalt kerged, et haljastada olemasolevate hoonete katusepindasid. Sõltuvalt kasvupinnasekihi paksusest ning koostisest jääb ekstensiivse murukatuse mass üldjuhul vahemikku 70 kuni 170 kg/m² [Peck et al. 1999], peamiselt kerghuumuspõhise kasvupinnase korral isegi vahemikku 40 kuni 70 kg/m² (veega küllastunud olekus, kasvupinnase kihi paksusega 5 - 10 cm) [Hallik 2005]. Intensiivne murukatuse ehk katusaia mass jääb sõltuvalt kasvupinnase kihi paksusest vahemikku 300 kuni 1000 kg/m², mida on olemasolevatel hoonetel kasutamiseks liialt palju, kuna katuste projekteeritud kandevõime ei ole nii suure varuga üle dimensioneeritud [Peck et al. 1999]. Lisaks toob ekstensiivse katuseaia regulaarne hooldusvajadus kaasa lisakulusid, mis muudavad sademevee hulga vähendamise oluliselt kulukamaks ning kuluefektiivsuse madalamaks.

Kuigi ekstensiivseid murukatuseid on võimalik rajada ka mõõduka kaldega (kuni 40°) katusepindadele, vajab kaldpinnale rajatud katusehaljastus erosiooni ning pinnase liikumise vältimiseks suurel hulgal täiendavat lisatoestust, mis muudab murukatuse rajamise jällegi olulisemalt kulukamaks ning sademevee hulga vähendamise kuluefektiivsuse madalamaks.

Seetõttu tuleb lugeda Tartu linnas murukatuse rajamise koha pealt potentsiaalseteks hooneteks lamekatusega betoonpaneelidest või telliskividest ehitatud korruselamud või tööstushooned. Metallkarkassile ehitatud lao- ja tootmishooned haljastamiseks ei sobi. Kuna murukatuse rajamisel on eelduseks vettpidava ning juurekindla geomembraani kasutamine murukatuse eraldamiseks allolevast katusepinnast, siis ei sea lamekatusel kasutatud katusekattematerjal piiranguid murukatuse rajamisele.

3.3 Potentsiaalselt haljastatav katusepind Tartu linnas

Kanaliseerimist vajava sademevee hulga vähendamise hindamisel on aluseks võetud potentsiaalselt haljastatavate lamekatusega hoonete katusepindade pindala Tartu linnas. Lamekatusepindade määramiseks kasutati Tartu linna digitaalset alusplaani mõõtkavaga 1:2000.

Tartu linnas on suurima lamekatusepinnaga hoonetega piirkonnaks Annelinn, seega asub ka suurim murukatuste rajamise potentsiaal just selles tsoonis. Kui välja arvata Jaama tänava ning Ihaste tee ääres paiknevad väikeelamud, on Annelinnas paiknevatel hoonetel potentsiaalselt haljastatavat katusepinda ligikaudu 270 000 m².

Annelinnaga külgnevas Jaamamõisa linnaosas on lamekatusega korruselamud koondunud linnosa läänepoolsesse ossa. Potentsiaalselt haljastatavat katusepinda on seal hinnanguliselt 75 000 m².

Ränilinnas asuvad korruselamud on samuti kaetud lamekatusega ning koos TÜ Füüsika Instituudi ja Tartu Teaduspargi hoonetega on potentsiaalselt haljastatavat katusepinda kokku hinnanguliselt 27 000 m².

Maarjamõisa linnaosas on lamekatusega kaetud vaid Tartu Ülikooli Arstiteaduskonna õppehoone Biomedicum Ravila tänava ääres, Tartu Meditsiinikooli õppehoone ning Tartu Ülikooli ühiselamud Nooruse tänava ääres ja TÜ kliinikumi Maarjamõisa haigla, lastehaigla, psühhiaatriakliiniku ning kopsukliiniku hooned. Linnaosa hoonete kogu katusepinnast on potentsiaalselt haljastatavat pinda hinnanguliselt 23 000 m².

Tammelinnas lamekatusega korruselamud praktiliselt puuduvad, üksikud lamekatusega tootmis- ja ärihooned asuvad Tammelinna lääneservas Riia tänava äärde jäävas piirkonnas Savi tänava ja Ringtee vahelisel lõigul. Potentsiaalselt haljastatavat katusepinda on kokku hinnanguliselt 9 000 m².

Veeriku linnaosas on haljastamispotentsiaaliga Kannikese, Ravila ja Ilmatsalu tänavatega piirneval alal asuvad korruselamud, Ravila, Veeriku, Öhtu ja Ilmatsalu tänavatega piirneval alal asuvad korruselamud (va. Ilmatsalu tänavaga külgnevad hooned, mis on valdavalt viilkatusega) ja koolihoone, Tulbi, Nelgi, Hommiku ja Veeriku tänavatega piirneval alal asuvad korruselamud ning lamekatusega

tootmishooned. Ilmatsalu tänavaga külgneval ja sellest põhja poole jääval tootmismaal asuvad hooned on enamuses viilkatusega. Potentsiaalselt haljastatavad on vaid neli Ilmatsalu tänava vahetus läheduses paiknevat hoonet (Ilmatsalu tn 1, 3 ja 3E ning Ravila tn 80). Kokku on potentsiaalselt haljastatavat katusepinda hinnanguliselt 23 000 m².

Tähtvere linnaosas asuvad valdavalt individuaalelamud. Potentsiaalselt haljastatavad lamekatused on Vaksali, Hiie, Tõrviku, Tungla, Fr.R. Kreutzwaldi ja Tuglase tänavatega piirneval alal asuvatel korruselamutel ning koolihoonel, Tuglase tänavaga külgnevas ning sellest loodesse jäävas Tähtvere osas asuvad korrusmajad, Eesti Põllumajandusülikooli ühiselamu ja õppehooned ning AS-i Tartu Näitused messikeskuse hooned. Lamekatusega on ka osa Laulupeo puiestee ja Tähtvere tänava vahelisel ala paiknev AS-i Tartu Õlletehas tootmishoonetest. Kokku on Tähtveres potentsiaalselt haljastatavat katusepinda hinnanguliselt 51 000 m².

Supilinnas asuvad peamiselt viilkatusega puitmajad ning ka suurematel telliskivihoonetel on viilkatus, mistõttu Supilinnas ei ole murukatuse jaoks sobivaid katusepindasid.

Kesklinna linnaosas asuvatel majad on samuti kaetud valdavalt viilkatustega. Eranditeks Tartu Ülikooli raamatukogu, Tartu Ülikooli ühiselamu Tiigi tänaval, Eesti Rahva Muuseumi näitusemaja, Mart Reiniku Gümnaasiumi hoone võimlatiib, Riia, Filosoofi, Võru ja Era tänava vahelisel tootmismaal asuv tootmis- ja ärihoone, Kinohoone Väike-Tähe ja Riia tänavate nurgal, Riia, Pepleri ning Vanemuise tänava vahelisel alal asuv Eesti Kirjandusmuuseumi hoone hoovipoolne tiib, korterelamu Riia 15a ning kontorihoone Riia 15, Tartu Ülikooli Füüsikahoone Tähe tänaval, Tartu Kohtumaja ja ärihoone Hansakeskus Riia ja Kalevi tänava nurgal, Korterelamu Riia tn 3, AS Tartu Kaubamaja uus ärihoone ning Aura Veekeskuse ja Turu tänava spordikeskuse hooned. Kokku on potentsiaalselt haljastatavat pinda Kesklinnas hinnanguliselt 36 000m².

Karlova linnaosa koosneb valdavalt puitelamutest. Lamekatusega korruselamud asuvad Tähe, Saekoja, Purde ja Salme tänavatega piirneval alal, Raua, Turu, Rebase ja Tehase tänavatega piirneval alal. Suurel hulgal lamekatusega tootmis- ja ärihooneid paikneb Turu ja Rebase tänavaga ning Emajõeiga piirneval tootmisalal, Tehase, Turu, Tähe tänavatega ning Karlova piiril kulgeva raudteega piirneval tootmisalal. Samuti asub Karlovas AS Tartu Mööblimaja kaupluse hoone Alevi tn 3a ja Riia tänavaga külgnev AS Fortum Tartu Keskkatlamaja hoone. Käesolevas töös ei arvata lamekatusega hoonete hulka halvas seisukorras, lagunevaid tootmishooneid (kunagine Tartu Lihakombinaadi hoone jne) Tootmispiirkondades loetakse potentsiaalselt haljastatavateks vaid üksikud, suuremad betoonhooned. Kokku on Karlovas potentsiaalselt haljastatavat katusepinda hinnanguliselt 36 000 m².

Ropka linnaosas on murukatuste rajamiseks sobivad lamekatused tootmishoonetel Turu tänava ja Ropka tee ning linnaosa piiril kulgeva raudteega piirneval alal, Ropka teega külgneval lasteaial, Aardla, Tähe ja Võru tänavate ning linnaosa piiril kulgeva raudteega piirneval alal asuvatel korruselamutel, linnaosa läänepiiril kulgeva raudteega külgnevad Tartu Kutsehariduskeskuse ning Tartu Kunstigümnaasiumi hoonetel ja Aardla tänavaga külgneval tootmismaal asuvad tootmis- ja ärihoonetel.

Kokku on Ropka linnaosas potentsiaalselt haljastatavat pinda hinnanguliselt 32 000 m².

Variku linnaosas asuvad ainsad lamekatusega korruselamud Sinika tänavaga külgnevatel aladel ning kokku on potentsiaalselt haljastatavat katusepinda vähem kui 3 000 m².

Vaksali linnaosas on lamekatusega kaetud kaks teenindushoonet Võru tänav ning linnaosa piiril kulgeva raudtee vahelisel alal Väike-Kaare tänavast Kastani tänavani, tootmishooned Võru, Kastani, Riia ja Filosoofi tänavatega piirneval alal, Vaksali ja Vanemuise tänav nurgal asuvad korruselamud, Kuperjanovi tn 54 korterelamu ja Näituse tänavaga külgnevad korruselamud Vaksali tänavast kuni A. Haava tänavani. Kokku on Vaksali linnaosas hinnanguliselt 23 000 m² potentsiaalselt haljastatavat katusepinda.

Ihaste linnaosas asuvad valdavalt individuaalelamud ning eraldatuse ning suure haljastuse osakaalu tõttu ei ole otstarbekas Ihastes sademevee kinni pidamiseks murukatuseid rajada.

Raadi-Kruusamäe linnaosas on lamekatusega kaetud Jaama ja Puiestee tänav nurgal asuv ärihoone, kaks korruselamut Puiestee ja Peetri tänavate nurgal, kolm korruselamut Lubja ja Peetri tänavate nurgal, tootmishooned Puiestee, Nurme, Aru ja Muru tänavatega piirneval alal, korterelamu Puiestee ja Põllu tänavate nurgal, korterelamud Põllu, Kruusamäe ja Muru tänavatega piirneval alal, korterelamud Muru, Kummeli, Kanarbiku ja Vilja tänavatega piirneval alal. Kokku on potentsiaalselt haljastatavat katusepinda Raadi-Kruusamäel hinnanguliselt 19 000 m².

Ropka tööstusrajooni jääb nii lamekatusega korruselamuid kui ka suuri lamekatusega tootmis- ja ärihooneid. Lamekatusega korruselamud on koondunud Sepa, Vasara, Jalaka ja Sepikoja tänavatega piirnevale alale ja lisaks külgnevad Võru tänav läheduses Tartu linna piiriga korterelamud Ringtee 3 ja 7. Lamekatusega korruselamute katuste kogupindala on hinnanguliselt 15 000 m². Lisaks on Ropka tööstusrajooni tootmis- ja ärihoonetest hinnanguliselt 2/3 kaetud lamekatustega – so hinnanguliselt 180 000 m² katusepinda. Kuigi kokku on Ropka tööstusrajoonis seega hinnanguliselt 195 000 m² potentsiaalselt haljastatavat katusepinda on murukatuste rajamine enamjaolt kõvakatteta pinnaga tööstusrajooni küsitava efektiivsusega sademevee käitlemise optimeerimisel.

Ülejõe linnaosas asub suhteliselt palju lamekatusega korruselamuid. Suurem osa neist asub Paju, Pika, Anne, Jaama ja Raatuse tänavaga piirneval alal. Üksikud hooned ka Roos ja Pika tänav nurgal, Vene ja Ujula tänav nurgal, Fortuuna tänav ja Narva maantee nurgal. Ülejäänud hoonetest on potentsiaalselt haljastatavad Raatuse ja Kivi tänav vahel asuv koolihoone, Paju ja Anne tänavate nurgal asuv lasteaed, Tartu Ülikooli ühiselamud Raatuse tänav ja Narva maantee ääres ning Raatuse tn. 20 asuv kauplusehoone ja Ujula ja Sauna tänavate nurgal asuv Konsumi kauplusehoone. Ülejõe linnaosas on potentsiaalselt haljastatavat katusepinda kokku 36 000 m².

Kõikide linnaosade peale kokku on potentsiaalselt murukatusega kaetavat katusepinda 858 000 m².

Eelnevalt välja toodud potentsiaalselt haljastatava katusepinna suurus erinevates linnaosades on koondatud tabelisse 4.

Tabel 4. Potentsiaalselt haljastatava katusepinna suurus linnaosade kaupa.

Linnaosa	Potentsiaalselt haljastatava katusepinna suurus m²	Linnaosa	Potentsiaalselt haljastatava katusepinna suurus m²
Tähtvere	51 000	Ropka	32 000
Veeriku	23 000	Ropka töötusrajoon	195 000
Marjamõisa	23 000	Raadi Kruusamäe	19 000
Tammelinn	9 000	Supilinn	-
Ränilinn	27 000	Ülejõe	36 000
Vaksali	23 000	Jamamõisa	75 000
Kesklinn	36 000	Annelinn	270 000
Karlova	36 000	Ihaste	-
Variku	3 000	kokku	858 000

3.4 Sobivad murukatuseüübid

Nagu eespool mainitud sobib linnakeskkonnas, olemaolevatele hoonetele rajada ekstensiivset katusehaljastust, mis ei vaja erilist hooldust ning suudab siduda enamiku kogu aastases sademetehulgast. Tartus oleks ekstensiivse murukatuse kolmest erinevast variandist – 5 cm, 10 cm ning 15 cm paksuse kasvupinnasekihiga – rakendada kahte viimast, kuna esimene vajab põuasematel perioodidel täiendavat hooldust kastmise näol. Samuti on õhema kasvupinnasekihiga murukatuse korral oht, et kasvupinnas jääb kiiremini ning murukatusel kasvavad taimed saavad talveperioodil kahjustada, mistõttu võib tekkida vajadus murukatust paiguti ja perioodiliselt taashaljastada. 5 cm paksuse kasvupinnasekihiga murukatuse vajab kindlasti ka vett akumulatsioon kihti, et taimestikule sobivat kasvukeskkonda säilitada. Paksema kasvupinnasega murukatuste puhul on võimalik kivivilla kiht ära jätta ning seeläbi murukatuse kuluefektiivsust suurendada.

Uute, ehitatavate hoonete katmisel murukatusega võib ekstensiivse murukatuse asemel kasutada ka analoogse kasvupinnasekihi paksuse, kuid oluliselt raskema pinnasega ja rohttaimedega haljastatud mätaskatust või koguni intensiivset murukatust, kui murukatust soovitakse kasutada lisaks sademevee hulga vähendamisele ka rekreatiivsetel eesmärkidel. Mätaskatuste ning intensiivse katusehaljastuse rakendamisel tuleb nende poolt avaldatav lisakoormus kindlasti hoonet projekteerides arvesse võtta ning hoone katusekonstruktsioonid vastavalt dimensioneerida. Kasvupinnase kihi sügavuse ja kasutatavate taimeliikide valikul tuleks seejuures lähtuda katusepinna alternatiivse kasutamise (rekreatiivne pind vms) poolt seatud eesmärkidest ja nõuetest ning seda igal juhul eraldi.

3.4.1 Sademevee sidumisvõime ja viibeaja pikendamise võime hinnang

Lähtudes eelmises punktis välja pakutud lahendustest vaadeldakse käesolevas töös sademevee sidumisvõime ja viibeaja pikendamise võimet kahe erineva ekstensiivse murukatuse variandi – 10 cm ja 15 cm kihipaksusega spetsiaalse kergkruusapõhise kasvupinnasega murukatuse – korral.

Kirjanduse põhjal on murukatused suveperioodidel sõltuvalt kasvupinnase poorsusest võimelised teoreetiliselt kinni pidama 30 kuni 40 mahuprotsendi ulatuses sademevett, mis 10 cm paksuse pinnasekihiga katuse puhul peaks olema 30 - 40 mm ja 15 cm paksuse pinnasekihi puhul vastavalt 45 – 60 mm [Beattie and Berghage 2004]. Kuna murukatuse kasvupinnas ei kuiva normaalingimustes kunagi absoluutkuivaks, siis reaalselt on sadevee sidumise tulemused olnud siiski mõnevõrra madalamad – Ameerika Ühendriikides, Põhja-Carolina osariigis läbi viidud uurimuse kestel sidus 10 cm paksuse pinnasekihiga murukatus 12 – 17 mm sademevett sajukorra kohta [Moran *et al.* 2003] ning Kanadas läbi viidud uuringu puhul oli väljavool 15 cm paksuse kasvupinnase kihiga murukatusest kevadperioodil 21 mm kogumahuga saju korral 5,7 mm ja 19 mm kogumahuga saju korral 2,9 mm, mis teeb seotud vee hulgaks 15,3 – 16,1 mm [Liu 2003].

Selle põhjal saab normaalseks sademevee sidumisvõimeks suveperioodil hinnata mõlema paksusega kasvupinnasekihi korral keskmiselt 15 mm sademevett sajukorra kohta. On selge, et murukatuse poolt pikema perioodi jooksul kinni peetud sademevee hulk sõltub otseselt sajupäevade jagunemisest ning igal sajukorral maha sadanud sademete hulgast. Mida pikem on kahe sajukorra vaheline periood, seda enam jõuab murukatus läbi evapotranspiratsiooni “kuivada”. Järjestikku esinevate sajupäevade puhul ei suuda kahe saju vahepeal piisavalt suurel määral sademevett atmosfääri tagasi evapotranspireeruda, mistõttu murukatus on eelmise sajuga maha sadanud veest küllastunud ning ei ole valmis uut veehulka vastu võtma ja endasse mahutama. Sarnane olukord esineb Eesti kliimatingimustes ka kevad- ja sügisperioodil, mil suhteliselt madal õhutemperatuur ning kõrge õhuniiskus pärsvad katusepinnal toimuvat evapotranspiratsiooni, mille tõttu on murukatused pidevalt veega peaaegu küllastunud olekus. Eesti tingimustes läbi viidud uuringud on seda kinnitanud ning on leitud, et kevad- ja sügisperioodil on murukatused sõltumatult nende paksusest võimelised siduma keskmiselt 2 mm kuni 3 mm sademevett sajukorra kohta [Hallik 2005, Teemusk 2005].

Pikema perioodi jooksul seovad murukatused suvekuudel 70-100% sademetest, kevad- ja sügisperioodil 40 - 50% [Begrünte Dächer. 1995 Koorberg 2001 järgi] talvel pärast kasvupinnase jäätumist 0%. Eesti kliimatingimustes saadud uurimustulemusi arvesse võttes saadi teoreetisel arvutusel keskmine kinni peetud sademevee hulga kevadperioodil 50 – 60 % sademete koguhulgast [Hallik 2005].

Arvestades kevadperioodi kestuseks märtsi algus kuni mai lõpp [Hallik 2005], suveperioodi kestuseks juuni algus kuni septembri lõpp, sügisperioodi kestuseks oktoobri algus kuni novembri lõpp ning talveperioodi kestuseks detsembri algus kuni märtsi algus, saame eelnevalt kirjeldatud sademevee sidumise määrasid ning peatükis 4 joonisel 19 toodud pikaajalisi keskmisi kuu sademetehulkasid arvesse võttes leida

vaadeldavate murukatuste sademevee kinnipidamisvõime. Tabelis 5 tehtud arvutustest järeldub, et hinnanguliselt on murukatused keskmiselt võimelised sademevett siduma 283,5 kuni 389,5 mm/a.

Tabel 5. Murukatuse hinnanguline sademevee sidumisvõime.

Kuu	Kuu keskmine sademetehulk	Murukatuse poolt seotud sademevesi %	Murukatuse poolt seotud sademevesi mm
jaanuar	31	0	0
veebuar	25	0	0
märts	28	40 - 50	11,2 - 14
aprill	33	40 - 50	13,2 - 16,5
mai	53	40 - 50	21,2 - 26,5
juuni	66	70 - 100	46,2 - 66
juuli	72	70 - 100	50,4 - 72
august	80	70 - 100	56 - 80
september	63	70 - 100	44,1 - 63
oktoober	55	40 - 50	22 - 27,5
november	48	40 - 50	19,2 - 24
detsember	39	0	0
Kokku	593		283,5 - 389,5

Sarnaselt sademevee sidumisvõimele sõltub ka sademevee viibeaeg murukatuses ehk äravooluviivitus otseselt sademete intensiivsusest ja sajuhoogude muustrist – muutliku intensiivsusega, järjestikuste, lühiajaliste vihmahoogude korral on äravooluviivitus kirjanduse põhjal ulatunud ühest tunnist kuni 4,5 tunnini [Moran *et al.* 2003]. Väga intensiivsete sadude korral kahaneb väljavooluviivitus üsna väikeseks – Kanadas 15 cm paksuse kasvupinnasega murukatuse korral oli üliintensiivse vihmaja (sademete intensiivsus 60 mm/h) väljavoolu viivitus vaid 4 minutit, samas kui normaalse saju korral (sademete intensiivsus 2,9 mm/h) oli äravooluviivitus 95 minutit [Liu 2003].

Üldjuhul suudavad murukatused keskmise intensiivsuse ja mahuga sajujuhtude korral sademevee äravoolu algust edasi lükata 30 – 45 minutit [Bass and Baskaran 2003]. Ka täielikult veega küllastunud kasvupinnasega murukatuse korral on võrreldes tavakatusega võimeline vihmahoost tingitud väljavoolu maksimumi edasi nihutama 15 kuni 45 minutit [Heeb *et al.* 1997 Koorberg 2001 järgi; Hutchinson *et al.* 2003]. Eesti kliimatingimustes kevadperioodil läbiviidud uuringutes selgus analoogselt, et varasemate meteoroloogiliste andmete põhjal leitud tüüpiliste sajuintensivsuste ja –mahtude korral lükkub sademevee äravoolu algus edasi 45 – 75 minuti võrra. Seejuures reageerisid äravoolu dünaamika põhjal õhema kasvupinnasega murukatused sademete algusele ja lõpule kiiremini ning sademete äravool oli nende puhul intensiivsem kui lühiajalisem. Paksema kasvupinnasega murukatuse korral käitus sademete suhtes inertsemalt ning jaotas äravoolu pikema ajaperioodi peale [Hallik 2005].

3.4.2 Hinnanguline toimimisaeg ja hooldusvajadus

Võrreldes konventsionaalsete katustega on murukatuste toimimisaeg oluliselt pikem. Mõningatel andmetel on murukatuste toimeaeg vähemalt 40 aastat ning korraliku hoolduse puhul ka rohkem [Massachusetts Low Impact Development Toolkit].

Factsheet #4: Green Roofs]. Üldiselt ei ole murukatuste toimimisaeg piiratud seda moodustavate materjalide degradeerumise vms protsessiga, vaid pigem hakkab taimede iseseisvat kasvu ja arengut 40 aasta möödudes mõjutama kasvupinnase vaesumine toitainetest ning kasvupinnase kihistumine fraktsiooni järgi. Seda annab parandada kasvupinnase segamisega ning väetamisega pikatoimeliste granuleeritud väetistega.

Hooldusvajadust erinevate murukatuste puhul üldisemalt kirjeldades võib öelda, et kõige rohkem hooldust vajab intensiivne katusehaljastus ehk katuseaed. Sarnaselt tavalise aiaga vajab katusaial kasvav rohttaimede, puude ja põõsaste kooslus pidevat hooldust nii kastmise, väetamise, niitmise, okste lõikamise jms tegevuse näol. Puude ja põõsastega katuseaia puhul tuleb arvestada ka puude ja põõsaste asendamise vajadusega, mis võiks toimuda keskmiselt iga 15 aasta järel [Teemusk 2003]. Intensiivse katusehaljastuse korral on suhteliselt tusedasse kasvupinnasekihti tarvis rajada ka täiendav drenaažitorustik ning seda tuleb regulaarselt kontrollida, et võimalikult kiiresti avastada tekkinud ummistused ning need likvideerida. Rahalised kulutused võivad intensiivse katusehaljastuse puhul olla üsna suured kuna taimestiku regulaarseks hoolduseks on vaja palgata aednik. Samuti on taimkatte uuendamise ja asendamise kulud üsna suured, kuna puude ja põõsaste istikud on suhteliselt kallid. Kui peaks tekkima vajadus murukatuse mõne kihiosa parandamiseks või aluskatusele juurdepääsemiseks on see suhteliselt tuseda kasvupinnasikihi tõttu komplitseeritud ning kulukas.

Tartu linnas soovituslikult välja pakutud murukatusetüüp – ekstensiivne murukatus on juba olemuselt planeeritud võimalikult väikese hooldusvajadusega. Ekstensiivsel murukatusel kasutatakse spetsiaalselt valitud liigid on vähenõudlikud ning ei kasva omavahelise konkurentsi tõttu väga pikaks, mistõttu ekstensiivne murukatus ei vaja pidevat niitmist [Koorberg 2001]. Samas on tarvis taimestiku olukorda aeg-ajalt kontrollida (eriti pärast pikkasid põuaseid perioode) ning vajadusel paljanduvaid alasid taashaljastada. Kuigi ekstensiivsel murukatusel kasvavad liigid on keskkonnatingimuste suhtes vähenõudlikud ning neid ei ole tarvis regulaarselt kasta ja väetada, on pärast katuse rajamist kuni juurestiku väljaarenemiseni tarvis taimestiku võimalikult kiire idanemise, juurdumise ning arengu tagamiseks kuivematel perioodidel kord nädalas kasta. Sademete regulaarsel esinemisel täiendavat kastmist vaja ei ole [Koorberg 2001]. Üldiselt ekstensiivseid murukatusi keskkonnakaitselistel kaalutlustel väetada ei soovitata, kuid kui toitainete sisaldus kasvupinnases aja jooksul väheneb, tuleb kasvupinnase esialgsete omaduste taastamiseks kasutada pikatoimelisi granuleeritud väetisi. Kord aastas tuleks kontrollida äravoolulehtrite olukorda ning vajadusel neid puhastada.

3.4.3 Hinnanguline mõju katusekattematerjalidele ja –konstruktsioonidele, soojusjuhtivuse arvutused

Kuna murukatus on heterogeenne, mitmekihiline süsteem, siis summeerub murukatuse soojusjuhtivus mitme erineva omadustega kihi soojusjuhtivusest ning neid mõjutavatest parameetritest. Murukatuse isoleeriv võime ei ole seejuures konstantne, vaid sõltub suurel määral ilmastikutingimustest, kasvupinnasekihi koostisest ja niiskussisaldusest, drenaažikihis olevast veehulgast ning tuulekiirusest vahetult murukatuse kohal. Vähemal määral mõjutavad soojusjuhtivust ka murukatuse

liigilisest koosseisust tingitud taimkatte kõrgus ja tihedus. Ekstensiivse murukatuse kasvupinnas koosneb üldjuhul enamjaolt kergkruusast, mis on väga väikese tihedusega poorne materjal ning annab murukatuse kasvupinnasekihile suhteliselt hea isoleeriva võime. Ainult kergkruusast koosnevas või spetsiaalsest geo-komposiidist valmistatud drenaažikihis on palju tühimikke, mis samuti murukatuse summaarset isolatsioonivõimet suurendavad. Täiendava isolatsioonikihina arvestatakse ka murukatust katva taimelehtede vahele jäävat, suhteliselt väheliikuvat õhukihti.

Kui kasvupinnases, drenaažikihis ja taimelehtes sisalduv õhk vähendab soojusjuhtivust läbi murukatuse, siis niiskussisalduse tõus kasvupinnases ja drenaažikihis vastupidi suurendab murukatuse soojusjuhtivust. Kui väike soojusjuhtivus on oluline katusekattematerjalide, katusekonstruktsioonide ning katusealuste ruumide isoleerimiseks näiteks madala temperatuuriga välisõhu mõjutuste eest, siis suvisel perioodil mängib väliskeskkonna mõjude eest kaitsmisel rolli hoopis murukatuse niiskussisaldusest tulenev suur termiline inertsus ning katusepinnal toimuv evapotranspiratsioon, mis annavad murukatusele võime katusealuseid ruume jahutada ning suuri temperatuurikõikumisi ühtlustada. Väliskeskkonna mõju vähendamisele aitavad kaasa ka katust katva taimelehtede varjutavad omadused, ning taimelehtes olev isoleeriv õhukiht, kuigi isolatsioonivõimet loetakse suveperioodil kokkuvõttes siiski teisejärguliseks mõjufaktoriks [Niachou et al. 2001]. Talveperioodil seevastu evapotranspiratsioon praktiliselt ei toimu ning veega suhteliselt küllastunud olekus murukatus suudab kuni jäätumise ja püsiva lumekatte tulekuni tasakaalustada vaid temperatuuriekskreemumite mõju.

Kui konventsionaalsete katuseetüüpide puhul kasutatakse katusekattematerjalid on pidevalt mõjutatud intensiivsest päikese kiirgusest (sh eriti UV spektriosa lagundavast toimest) ja ekstreemsete temperatuurikõikumiste lagundavast toimest, siis eelnevat arvestades on murukatused võimelised katusekonstruktsioone ja katusekattematerjale nende kahjulike faktorite eest kaitsma. Erinevad uurimused on näidanud, et katmata ning murukatusega kaetud katuste puhul on temperatuuride amplituud katusekattematerjalide pinnal ning katusekonstruktsioonides väga erinev. Bituumenkattega katuse korral kõigub bituumeniga kaetud pinna temperatuur ööpäeva jooksul keskmiselt 42°C – 47°C, samas kui murukatusega kaetud katusekattematerjali pinnal kõikus temperatuur keskmiselt vaid 5°C – 7°C [Liu 2003 Teemusk 2005 järgi, Liu and Baskaran 2003]. Lumikatteta talveperioodil jahtub bituumenkatuse üsna kiirelt sõltuvalt välisõhu temperatuurile. -15°C temperatuuri korral oli temperatuur murukatusega kaetud pinnal aga veel +2°C. Lumikatte esinemise korral erinevused praktiliselt kaovad, kuna lumi käitub suhteliselt hea soojusisolaatorina [Bas and Baskaran 2003 Teemusk 2005 järgi].

Mahendades oluliselt temperatuurikõikumiste mõju katusekattematerjalidele ning blokeerides täielikult selleni jõudva päikese kiirguse, on selge, et murukatusega katmisel on võimalik katusekattematerjalide eluiga mitmekordselt pikendada. Londonis eelmise sajandi esimesel poolel haljastatud katuste näitel oli murukatusega kaetud veekindel katusekattematerjali kiht suhteliselt heas seisus ka 50-aastase perioodi möödumisel, samas analoogsete katmata katuste katusekattematerjalide eluiga piirub 10-15 aastaga [Peck et al. 1999]. Lisaks eelnevale kaitseb murukatus katusekattematerjale ka füüsiliste vigastuste eest, mis katuse hooldustegevuse või muul otstarbel kasutamise käigus ette võivad tulla.

Tartu linna hoonetel kasutamiseks sobivad ekstensiivsed murukatused on aluskatusest eraldatud veekindla geomembraaniga, mis on suhteliselt vastupidav füüsikaliste mõjutustele ning käitub juuretõkkena, mistõttu murukatuse kasutamine ei mõjuta negatiivselt olemasoleva katusekattematerjali veepidavust. Tartu linnas, olemasolevatel hoonetel kasutamiseks sobivate murukatusetüüpide rajamisel ulatub katusekonstruktsioonidele avaldatav lisakoormus hinnanguliselt 70 kg/m^2 (10 cm paksuse kasvupinnase kihi puhul) kuni 120 kg/m^2 (15 cm paksuse kasvupinnase kihi puhul).

Eelnevat arvesse võttes on murukatuse täpse soojusjuhtivuse kalkuleerimine suhteliselt komplitseeritud. Uurimustes on ekstensiivse murukatuse kasvupinnase soojusjuhtivusteguriks vihmamärjas olekus arvestatud hinnanguliselt $0,5 \text{ W/mK}$ kuni $0,6 \text{ W/mK}$ [Eggenberger 1983 Eumorfopolou and Aravantinos 1998 järgi]. Drenaažikihis kasutatava 10-20 mm fraktsiooniga kergkruusa soojusjuhtivustegur on $0,09 \text{ W/mK}$ [maxit Estonia AS] ning vettsäilitava kihina kasutatava mineraalvilla soojusjuhtivustegur jääb vahemikku $0,03$ kuni $0,04 \text{ W/mK}$ [Saint-Gobain Isover Eesti AS]. Taimestik sisalduva seisva õhukihi tõttu võib murukatuse soojusjuhtivus väheneda täiendavalt kuni 30 % võrra, kuid see sõltub oluliselt taimkatte kõrgusest ja tihedusest [Peck et. al 1999].

Lähtuvalt eelnevalt esitatud andmetest saab arvutada murukatust moodustavate kihtide soojusülekandekoeffitsendid ning soojusülekandekistused, mille põhjal saab omakorda leida kogu murukatuse soojusülekandekistuse ja soojusülekandekoeffitsendi. Geotekstiilist filterkanga ning vettpidava geomembraani osa on kogu murukatuse soojusülekandekoeffitsendi leidmisel loetud tühiseks ning taimkattes sisalduva õhukihi täiendav mõju on jäetud suure varieeruvuse tõttu arvestamata.

Katust moodustavate kihtide soojusjuhtivust iseloomustavad parameetrid 10 cm paksuse kasvupinnasekihiga ekstensiivse murukatuse puhul on toodud tabelis 6.

Tabel 6. 10 cm paksuse kasvupinnase kihiga ekstensiivse murukatuse kihtide soojusjuhtivust iseloomustavad parameetrid.

Murukatuse kiht	(Keskmine) soojusjuhtivustegur λ (W/mK)	Kihi paksus L (m)	Soojusülekandekoeffitsent U (W/m²K)	Soojusülekandekist R (m²K/W)
kasvupinnas	0,55	0,1	5,5	0,18
vett akumuleeriv mineraalvilla kiht	0,035	0,05	0,7	1,43
kergkruusast drenaažikiht	0,19	0,03	6,3	0,16

Summaarne murukatuse soojusülekandekist on sel juhul $0,18 + 1,43 + 0,16 = 1,77 \text{ m}^2\text{K/W}$ ning kogu murukatuse soojusülekandekoeffitsent $1 / 1,77 = \mathbf{0,56 \text{ W/m}^2\text{K}}$. Juhul kui rajamiskulude kokkuhoidmiseks jäetakse ära vett akumuleeriv mineraalvilla kiht oleks sama murukatuse summaarne soojusülekandekist $0,18 + 0,16 = 0,34 \text{ m}^2\text{K/W}$ ja kogu murukatuse soojusülekandekoeffitsent $1/0,34 = \mathbf{2,94 \text{ W/m}^2\text{K}}$.

Katust moodustavate kihtide soojusjuhtivust iseloomustavad parameetrid 15 cm paksuse kasvupinnasekihiga ekstensiivse murukatuste puhul on toodud tabelis 7.

Tabel 7. 15 cm paksuse kasvupinnase kihiga ekstensiivse murukatuse kihtide soojusjuhtivust iseloomustavad parameetrid.

Murukatuse kiht	(Keskmise) soojusjuhtivustegur λ (W/mK)	Kihi paksus L (m)	Soojusülekandekoeffitsient U (W/m²K)	Soojusülekandekakistus R (m²K/W)
kasvupinnas	0,55	0,15	3,66	0,27
vett akumuleeriv mineraalvilla kiht	0,035	0,05	0,7	1,43
kergekruusast drenaazikiht	0,19	0,03	6,3	0,16

Summaarne murukatuse soojusülekandekakistus on sel juhul $0,27 + 1,43 + 0,16 = 1,86$ m²K/W ning kogu murukatuse soojusülekandekoeffitsient $1 / 1,86 = 0,54$ W/m²K. Juhul kui rajamiskulude kokkuhoidmiseks jäetakse ära vett akumuleeriv mineraalvilla kiht oleks sama murukatuse summaarne soojusülekandekakistus $0,27 + 0,16 = 0,43$ m²K/W ja kogu murukatuse soojusülekandekoeffitsient $1/0,43 = 2,33$ W/m²K.

3.4.4 Hinnanguline maksumus

Alljärgnevalt on tabelis 8 esitatud 10 cm ja 15 cm paksusega kasvupinnasekihiga ekstensiivse murukatuse rajamise hinnangulised maksumused. Eraldi on välja toodud ka samade murukatuste hind juhul kui vett akumuleeriv mineraalvilla kiht on ära jäetud. Hinnanguline maksumus on esitatud lähtudes vähemalt 1000 m² suuruse katusepinna katmisel moodustavate kihtide mahust ja sellest tingitud hinnatasemest.

Tabel 8. Tartu linnas soovituslikult välja pakutud ekstensiivsete murukatuste tüüpide ehitusmaksumused.

Murukatuse tüüp	1000 m² katusepinna maksumus (kr)	Sh materjalid (kr)	Maksumus (kr/m²)	Sh materjalid (kr/m²)
15 cm kasvupinnasekihiga	535 000	300000	535	300
15 cm kasvupinnasekihiga ilma mineraalvillast veeakumulaatorita	460 000	230000	460	230
10 cm kasvupinnasekihiga	450 000	255000	450	255
10 cm kasvupinnasekihiga ilma mineraalvillast veeakumulaatorita	375 000	180000	375	180

Peamisteks kasutatavateks ehitusmaterjalideks on ekstensiivsetes murukatustes: erineva fraktsiooniga kergkruus, savipulber, huumusmuld, geomembraanid, filterkangas, äravoolulehtrid jms äravoolusüsteemi elemendid. Sõltuvalt sellest, kas

katused haljastatakse seemnete külvamisega või istikute kasutamisega on murukatuse rajamisel tarvis vastavate taimeliikide seemneseid või istikuid.

Ekstensiivse murukatuse erinevate variantide maksumused on toodud maksumusena ruutmeetri kohta. Hinnangulise maksumuse andmisel on arvestatud nii kasutatavate materjalide koondmaksumust kui ka ehitus- ja projekteerimismaksumust. Ehitusel kasutatava huumusmulla osas on arvestatud AS-i Tartu Vesi poolt tasuta pakutava reoveesetekomposti kasutamisega.

4 Sobivad tehnilised lahendused kõvakattega parklatelt sademevee kogumiseks

Külmas kliimas kasutatavaid sadevee kogumissüsteemide tehnoloogiaid on kirjeldatud peatükis 2.

4.1 Lähtekohad

Põhiosa Tartu kanalisatsioonist on ühisvoolne — reovesi ja sademevesi voolavad samas torus. Lahkvoolne kanalisatsioon on rajatud ainult Annelinna piirkonda.

Geoloogia

Tartu asub Kagu-Eesti lavamaal, mida läbib Emajõe ürgorg. Tartu asub devoni avamusalal, aluspõhjane avaldub Aruküla lade (punane liivakivi). Ürgreljeefivormidena ristuvad Emajõe ürgoruga 2 sügavat mandrijää sulamisvee setteisse (liiva, kruusa) mattunud vagumust (Raadi–Ropka vagumus – põhi kuni 40 m allpool merepinda ning Raadi–Maarjamõisa vagumus – põhi merepinna tasemel). Emajõe ürgoru pervedel laiub moreentasandik. Emajõe ürgorus domineerivad jõe sängisetted – liiv ja saviliiv.

Joonisel 20. on esitatud väljavõte Tartumaa põhjavee kaitstuse kaardist [Eesti Geoloogiakeskus OÜ]. Põhjavesi on Tartu linnas valdavalt kas kaitstud või keskmiselt kaitstud. Esineb ka nõrgalt kaitstud piirkondi, nt Kesklinna, Tähtvere ja Supilinna piirkond ja Kvissentali elamurajooni piirkond. Põhjavee kaitstust hinnatakse 1992. aastal koostatud “Eesti põhjavee kaitstuse ja antropogeense koormuse kaardi tugilegend” [Savitskaja, 1992] alusel. Tugilegend alusel on maapinnalt esimene aluspõhjaline veekiht:

kaitsmata, kui reoainete infiltratsiooniaeg läbi kvaternaarisetete on ≤ 30 d;

-moreen ≤ 2 m ($k=0,01-0,5$ m/d)

-liiv, kruus ≤ 20 m ($k=1-5$ m/d)

nõrgalt kaitstud, kui reoainete infiltratsiooniaeg läbi kvaternaarisetete on 30-180 d;

-moreen 2 – 10 m ($k=0,01-0,5$ m/d)

-savi, liivsavi ≤ 2 m ($k=0,0001-0,005$ m/d)

-liiv, kruus 20 – 40 m ($k=1-5$ m/d)

keskmiselt kaitstud, kui reoainete infiltratsiooniaeg on 180-360 d;

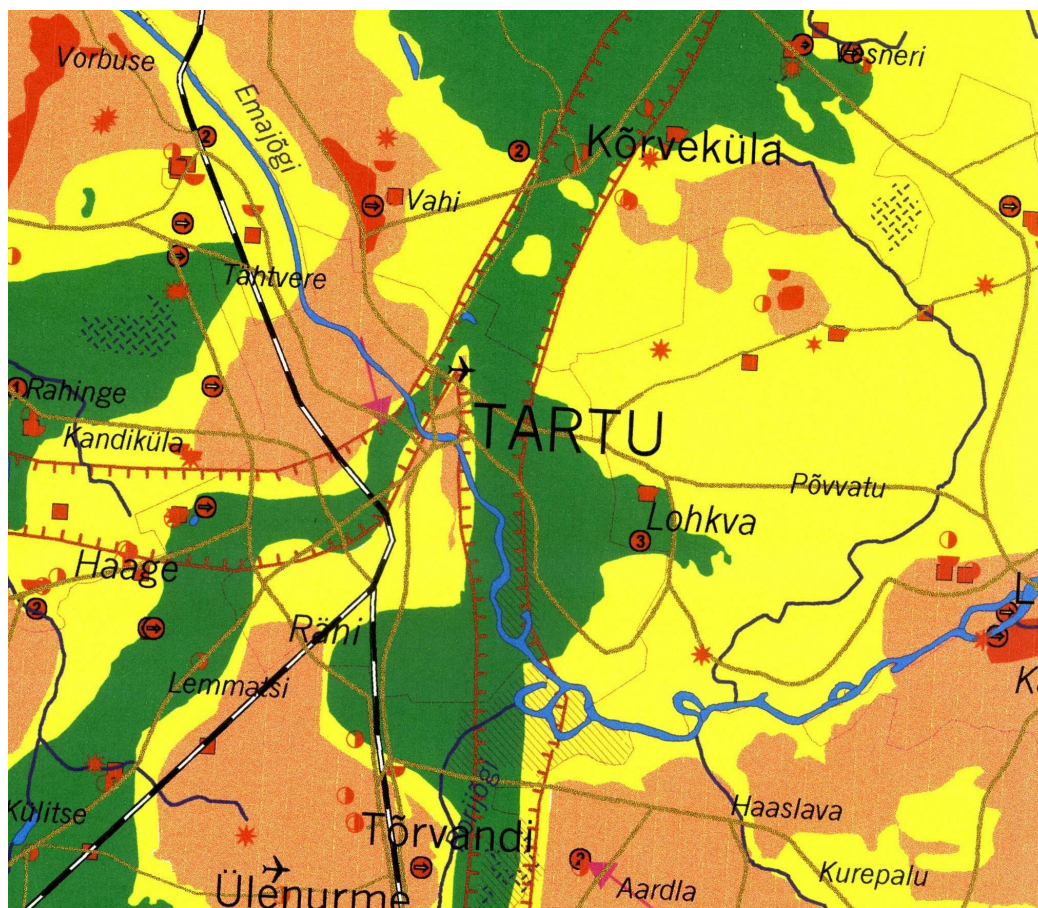
-moreen 10 – 20 m ($k=0,01-0,5$ m/d)





-savi, liivsavi 2 – 5 m ($k=0,0001-0,005$ m/d)

kaitstud, kui reoainete infiltratsiooniaeg läbi kvaternaarisetete on >360 d;

-moreen > 20 m ($k=0,01-0,5$ m/d)

-savi, liivsavi > 5 m ($k=0,0001-0,005$ m/d)



LEGEND:	
	Kaitsmata ala (reoaine infiltratsiooniaeg läbi kvaternaarisetete $T < 30$ ööpäeva): moreeni ≤ 2 m; liiv, kruus ≤ 20 m
	Nõrgalt kaitstud (reoaine infiltratsiooniaeg läbi kvaternaarisetete $T = 30-180$ ööpäeva): moreeni 2-10 m; savi, liivsavi ≤ 2 m; liiv, kruus 20-40 m
	Keskmiselt kaitstud (reoaine infiltratsiooniaeg läbi kvaternaarisetete $T = 180-360$ ööpäeva): moreeni 10-20 m; savi, liivsavi 2-5 m; liiv > 40 m
	Kaitstud (reoaine infiltratsiooniaeg läbi kvaternaarisetete $T > 360$ ööpäeva): moreeni > 10 m; savi > 5 m;

Joonis 20. Väljavõte Tartumaa põhjavee kaitstuse kaardist [Eesti Geoloogiakeskus OÜ].

4.2 Õiguslikud alused

Sademevee küsimusi käsitletakse Ühisveevärgi ja –kanalisatsiooni seaduses, kus reguleeritakse sademevee ühisveevärki ja kanalisatsiooni juhtimist ning selle eest võetavat tasu.

Olulisimaks õigusaktiks, mis sätestab nõuded ka sademevee keskkonda juhtimiseks, on Vabariigi Valitsuse 31. juuli 2001. a määrus nr 269 "Heitvee veekogusse või pinnasesse juhtimise kord¹". Nimetatud määrus sätestab muuhulgas saastatud sademevee veekogusse juhtimise nõuded [§7] ja heitvee pinnasesse immutamise nõuded [§10].

Määruse §7 kohaselt peab:

- saastatud sademevett enne suublasse juhtimist puhastama.
- saastatud sademevee tekke vältimiseks või selles reoainete koguse vähendamiseks peab reoveekogumisalade teid, väljakuid ja muid alasid, millelt sademevett ära juhitakse, regulaarselt kuivalt puhastama.
- sademeveelaskme kaudu tohib veekogusse, v. a lähemale kui 200 m supelranna välispiirist, juhtida sademevett, mille keskmised reostusnäitajad ei ületa lisaks lisas 1 loetletud ohtlike ainete sisalduse piirväärtustele heljumi ehk hõljuvaine ehk heljuvainesisaldust (edaspidi heljuvainesisaldus) 40 mg/l ja naftasaaduste sisaldust 5 mg/l.

Määruse §10. kohaselt:

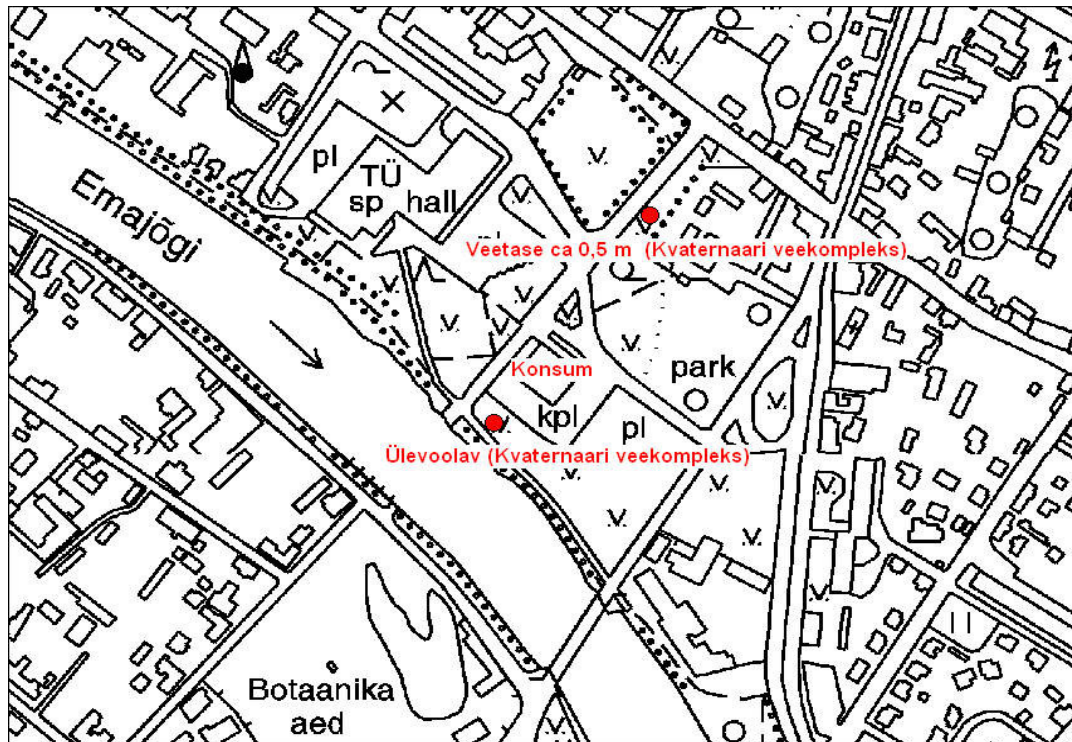
- Võib sademevett, mis vastab §-s 7 ja lisas 3 esitatud nõuetele, immutada pinnasesse, kuid mitte veehaarde sanitaarkaitsealal ja mitte lähemal kui 50 m selle välispiirist.
- Heitvee immutussügavus peab olema aasta ringi vähemalt 1,2 m ülalpool põhjavee kõrgeimat taset.

4.3 Tartu linnas rakendamiseks sobilikud tehnilised lahendused

Lähtudes seadusandlusest ja kliimaatilistest tingimustest võib Tartus teoreetiliselt kasutada kõiki eelpool kirjeldatud sademeveesüsteeme. Peamiselt määravad sadeveesüsteemide kasutamise Tartu linnas vaba maa-ala olemasolu, geoloogilised ja hüdrogeoloogilised tingimused, kaugus Emajõe jmt.

Olemasolevatele andmetele tuginedes ei ole võimalik kasutada sadevee immutamist suurel osal Tartu territooriumist, kuna ei ole võimalik täita Vabariigi Valitsuse 31. juuli 2001. a määruse nr 269 nõuet, et sadevee immutussügavus oleks aasta ringi vähemalt 1,2 m ülalpool põhjavee kõrgeimat taset [suulised andmed Eesti Geoloogiakeskuse ja Tartu Veevärgi vastava ala spetsialistidelt]. Ülevaatlikud andmed põhjavee kõrgeima taseme kohta Tartu linnas hetkel puuduvad. Pidevat seiret on teostatud Eesti Geoloogiakeskus OÜ poolt vaid kahel Meltsiveski veehaarde piiresse jääval kvaternaari veekompleksi kaevul [vt joonis 21]. Selle kohaselt on üks kaevudest (Emajõe kaldalähedane) pidevalt üleajav ning teine mõnevõrra kõrgemal

paiknev kaev keskmise veetasemega 0,5 m allpool maapinda. Vastavalt pole võimalik immutamiseks ette antud nõudeid täita.



Joonis 21. Eesti Geoloogiakeskus OÜ poolt pidevalt seiratavad kaevud Tartu linnas (Allikas: Eesti Geoloogiakeskus OÜ).

Tartu linnas oleks sadevee immutamise võimaluste kindlaksmääramiseks soovitatav teostada põhjavee kõrgeima taseme seiret ning veetaseme kõikumisi sesoonselt analüüsida. Sel moel saaks kaardistada asukohad, kus on võimalik sadevett imutada. Seire tarbeks on võimalik teataval määral kasutada ka olemasolevaid salvkaeve, mis individuaalelamute piirkondadesse omal ajal rajatud on.

Lisaks peavad immutamiseks olema tagatud teisedki sobilikud tingimused: pinnase filtratsiooniomadused peavad vastama suurte sadeveekoguste immutamistingimustele ja tagatud peab olema põhjavee kaitstus. Seega on otstarbekas paralleelselt põhjavee kõrgeima taseme seirega kindlaks määrata ka pinnase filtratsiooniomadused seirepunktides. Teatud määral on võimalik pinnase filtratsiooniomaduste andmeid koondada erinevate ehitusgeoloogiliste aruannete põhjal. Põhjaveekaitstus enamikes Tartu linna piirkondades takistuseks pole [vt joonis 20].

Paikades, kus on võimalik sadevett imutada, on mõistlik rajada imbsüsteemid, kuna immutamisevõimaluse korral on võimalik kanalisatsiooni juhitava sadevee hulka vähendada vastavas piirkonnas kuni 100%. Katuselt tuleva sademevee võib imutada koheselt, kuna tegemist on saastumata sademeveega. Parklatest ja teedel tuleva sademevee peab enne immutamist juhtima läbi sademeveepuhasti (tiigi, tehismärgala, filtersüsteemi vmt).

Arvestades, et eeldatavasti on Tartu linna territooriumil sademevee immutamisevõimalused piiratud, saab kasutada sadevete puhastamiseks ning

puhverdamiseks peamiselt teisi käesoleva töö peatükis 2 kirjeldatud süsteeme. Süsteemi valikul hakkab määrama vaba maa-ala suurus, süsteemi ehitusmaksumus, süsteemi esteetiline välimus, süsteemi hooldusvajadus jmt.

Linnaruumis, kus maa-ala kasutusvõimalused võivad olla piiratud, on kõige lihtsamini kasutatavateks süsteemideks erinevad filtersüsteemid ja pinnasfiltrid, mida on võimalik paigutada maa alla ning maa-ala selle peal on võimalik alternatiivselt kasutada (nt on neid võimalik paigutada osaliselt ka parkla alla, kust sadevett kogutakse). Õigesti projekteeritult suudavad filtersüsteemid ja pinnasfiltrid enne sadevee kanalisatsiooni juhtimist vett efektiivselt puhastada ning samuti sadeveekogust puhverdada, et mitte kanalisatsioonisüsteeme ülekoormata. Väga suurtelt kõvakattega pindadelt kogutud sademevee puhastamiseks on otstarbekas kasutada mitut paralleelset filtersüsteemi, mis võimaldab tõsta süsteemi puhastusefektiivsust ning ka puhverdusvõimet. Taolised süsteemid projekteeritakse lähtudes sellest, et nad suudaksid mahutada vähemalt 75% kogumisalale mahasadavast maksimaalsest sademehulgast, seda puhastada ning 48 tunni jooksul sadeveekoguse ühtlaselt edasi juhtida. Sel moel seotakse maksimaalne sademetehulk süsteemi 48 tunniks ning kanalisatsioonisüsteeme ei koormata üle ajutise löökoormusega.

Analoogselt pinnasfiltritele ja filtersüsteemidele on parklate ja suurte kõvakattega pindade juures võimalik kasutada biopuhvreid. Biopuhvrid vajavad küll rohkem vaba pinda, kuid on samas ka haljastuselemendid, mis ilmestavad linnapilti. Biopuhvrites toimub sadevee puhastamine ja puhverdamine ning seejärel juhtimine kanalisatsiooni, võimalusel immutamine või juhtimine veekogusse. Joonisel 22. on esitatud foto biopuhvrist.



Joonis 22. Biopuhver parkla keskel

[<http://www.dec.state.ny.us/website/dow/toolbox/swmanual/nysswmdm03.pdf>
12.10.05]:

Ühed sobivaimad sadeveesüsteemid külmas kliimas on avatud kanalid. Eriti sobilikud on avatud kanalid Tartus Emajõe-lähedastes piirkondades, kus on võimalik puhastunud sadevesi otse jõkke juhtida. Avatud kanaleid saab edukalt lülitada sademeveekanalisatsiooni koosseisu asendades nendega näiteks kõvakattega alade ääres paiknevad rentsliid jms vett koguvad ning edasikandvad süsteemid. Avatud kanalite kaudu toimub vee juhtimine, ning tänu filtratsiooni ja sadenemisprotsessidele ka sadevee puhastamine. Avatud kanaleid ja kraave on otstarbekas kasutada just vee juhtimiseks Emajõkke, et sel moel vähendada kanalisatsiooni juhitava sadevee

koguseid. Siiski seab avatud kanalite kasutamisel omad piirid ruumipuudus linnaruumis. Tänavatel, mis piirnevad kõnniteede ja kinnistutega, osutub keeruliseks avatud kanalite rajamine. Joonisel 23. on esitatud foto kuiva kraavi kohta.



Joonis 23. Kuiv kraav

[<http://www.dec.state.ny.us/website/dow/toolbox/swmanual/nysswmdm03.pdf>]

Sadevee tiikide ning avaveeliste märgalade kasutamine on linnaruumis raskendatud nende suure ruumivajaduse ning vaba veepinna tõttu. Sobiv oleks avatud veepinnaga süsteeme kasutada vaid paikades, kus need sobiksid ruumikasutuse poolest sadevete puhastamiseks ja puhverdamiseks enne sadevete Emajõkke juhtimist. Sadeveed juhitaks sellisel juhul drenaažisüsteemi ja/või kraavituse abil puhastamiseks jõeäärsele alale sadeveetiiki või avaveelisele märgalale, kus toimuksid sadevee puhastusprotsessid ning seejärel juhitaks puhastatud sadevesi edasi Emajõkke. Joonisel 24. on esitatud foto avaveelise ujumattidega sadevee - märgala kohta Belgias.

Tartu linnas oleks võimalik kohtades, kus on piisavalt ruumi, kasutada perspektiivse sademeveekanaliseerimise kollektorite väljalaskudel sademeveetiike või märgalasid, et kogutud sademevee kvaliteet enne Emajõkke juhtimist normide piiresse viia. Lähtudes Tartu Linna üldplaneeringus toodud perspektiivsest sademevete trassist ning planeeritud väljalaskudest, leidub alternatiivsete sadevee puhastussüsteemide rajamiseks piisavalt ruumi kindlasti Tartu linna lõunaosas Emajõe äärde jääval luha-alal. Enne sadeveepuhastite planeerimist ja rajamist tuleb kindlasti arvestada kaasnevate keskkonnamõjudega, kuna Emajõe-äärne luha-ala on looduskaitsealase väärtusega. Puhastussüsteemide rajamisel tuleb asukohavalikul arvestada ka Emajõe veetaseme võimalikust tõusust tulenevate piirangutega vaadeldaval alal.



Joonis 24. Avaveeline ujumattidega sadevee - märgala Belgias [Foto: Noorvee, A.]

On võimalik ka sadevee tiikide ja avaveeliste märgalade sobitamine linnapilti sel moel, et nad muudetakse atraktiivseteks rekreatsioonialadeks. Joonisel 25. on esitatud foto rekreatsioonialana projekteeritud tehismärgala kohta Suurbritannias.

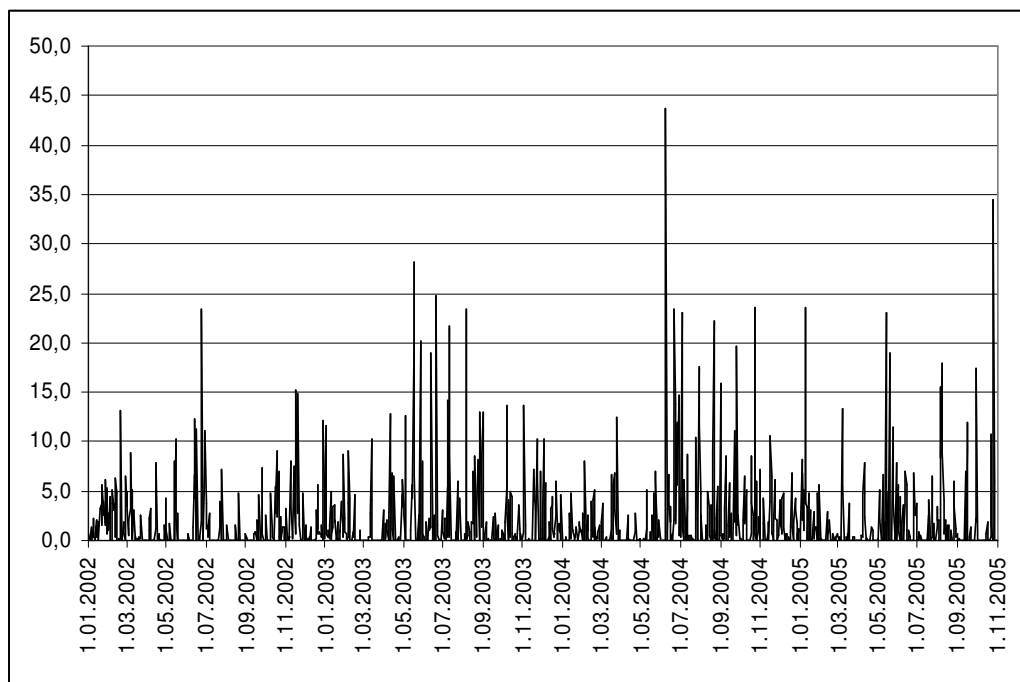


Joonis 25. Tehismärgala Oaklands Park Suurbritannias [Allikas: Mander, Ü.]

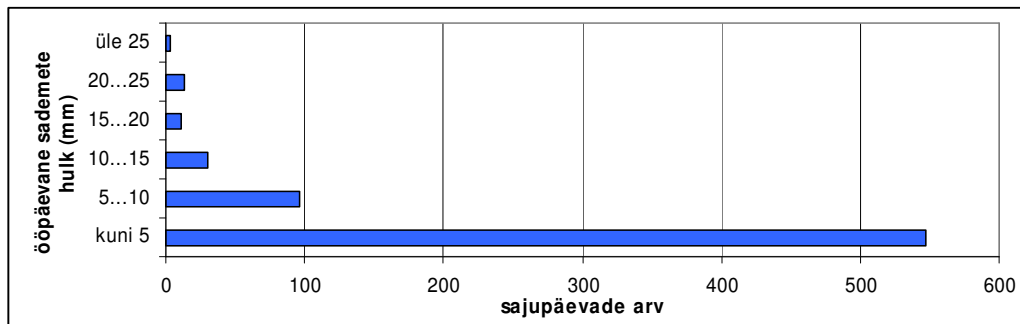
Avatud sadevee süsteemide sidumine kanalisatsioonisüsteemiga on lihtne. Kuivõrd erinevatel sadeveesüsteemidel (va imbsüsteemid) on projektikohaselt ette nähtud rajada kontrollitav väljavool väljavoolu torustiku kaudu, siis on võimalik väljavoolust tulenev vesi lihtsasti torustiku kaudu ka kanalisatsioonisüsteemi. Tavapärasest erinevaid lahendusi kanalisatsiooni ühendamisel pole vaja ette näha. Võimaluse korral on otstarbekas sadeveed juhtida peale sadevee puhastussüsteemi läbimist otse suublasse, mis vähendab kanalisatsioonisüsteemi koormust.

4.4 Haljastatud (vett läbi laskvate) pindade efektiivse osakaalu hinnang kõvakattega parklates.

Kõvakattega parklates saab vett läbilaskvate pindade (muu hulgas ka avatud sadeveesüsteemide) efektiivset osakaalu hinnata tuginedes kirjandusallikatele ning ka maksimaalsetele sademehulkadele piirkonnas. Viimase 3-4 aasta maksimaalne sademete hulk on Tartu lähipiirkonnas (mõõdetuna Tõravere ilmajaamas) olnud kuni 44 mm/ööp [EMHI andmed]. Ööpäevased sademete hulgad viimase 3-4 aasta kohta on toodud joonisel 26. Enamasti jäävad ööpäevased sademetehulgad siiski alla 5 mm/ööp ning üle 20 mm/ööp mahuga sajupäevad esinevad paar kuni 6 korda aastas. Sajupäevade sagedusjaotus ööpäevase sademetemahu järgi viimasel 3-4 aastal on toodud joonisel 27.



Joonis 26. Ööpäevased sademete hulgad (mm) Tõraveres 01.01.2002 - 31.10.2005 [EMHI andmed].



Joonis 27. Sajupäevade sagedusjaotus ööpäevase sademete hulga järgi Tõraveres 01.01.2002 – 31.10.2005 [EMHI andmed.]

Tuginedes erinevatele kirjandusallikatele

[<http://www.dec.state.ny.us/website/dow/toolbox/swmanual/nysswmdm03.pdf>] peaks avatud sadeveesüsteemide kavandamisel lähtuma järgmistest pindade osakaalust:

- Sadevee tiigid – minimaalne pindala 1% valgalast;
- Avaveelised tehismärgalad – minimaalne pindala 1% valgalast;
- Filtersüsteemid ja pinnasfiltrid - minimaalne pindala 1-2,5% valgalast;
- Biopuhvrid - minimaalne pindala 5-7% valgalast;
- Imbsüsteemid - minimaalne pindala 2-5% valgalast;
- Avatud kanalid (haljaskanalid) – minimaalne pindala 1-7% valgalast.

Pindalaliste osakaalude suur erinevus eri süsteemide puhul on tingitud süsteemide erinevatest mahtudest (tiike projekteeritakse reeglina sügavamatena kui näiteks filtersüsteeme) ning ka süsteemide iseloomust (nt imbsüsteemid peavad suutma neisse koguneva sadevee ka pinnasesse edasi juhtida).

Alljärgnevalt on esitatud hinnanguliselt minimaalne vett läbilaskvate pindade osakaalu hinnang kõva kattega parklates Tartu linnas tuginedes Tartu linna viimase 3-aastase perioodi maksimaalsele sademetehulgale (44 mm/ööp). Avatud ja looduslähedased sadevee süsteemid peaksid suutma mahutada 75-100% ööpäevasest sademeveest ning suutma selle edasi suunata 48 tunni jooksul. Sellest lähtuvalt võib teostada näitliku arvutuse:

100 m² parklapinnalt võib ööpäeva jooksul maksimaalsete sademete hulga korral koguneda 44 mm/ööp x 100 m² = 4,4 m³ sademevett.

Vastavalt on minimaalne avatud pinna vajadus kõvakattega parklates Tartus 4,4% parklate pindalast. Kasutades filtersüsteemi, mille mahtu on osaliselt võimalik paigutada ka parklapinna alla, võib avatud vett läbilaskva pinna pindala olla ka väiksem. Konsultant soovitab antud juhul rakendada vett läbilaskva pinna osakaalu kõvakattega parklates 4 – 8 %, arvestades enamikes Tartu piirkondades eeldatavat kõrget vabapinnalise põhjaveetaset, isegi 8-10- protsendilist vett läbilaskva pinna osakaalu.

4.4.1 Sademevee vooluhulga vähendamise protsentuaalne hinnang

Kõvakattega pindadelt kogutud sademevee hulga vähendamine sõltub otseselt, mis tüüpi alternatiivset meetet on võimalik konkreetse kõvakattega ala piirkonnas kasutada. Nagu peatükis 4.3 mainitud sõltub erinevate alternatiivsete sajuveesüsteemide kasutamine suurel määral konkreetse piirkonna geoloogilistest ja hüdrogeoloogilistest tingimustest.

Efektiivseimaks alternatiivseks meetmeks on kindlasti sademevee immutamine pinnasesse. Juhul kui piirkonna geoloogilised ja hüdrogeoloogilised tingimused seda lubavad, siis on imbsüsteemide – imbkraavid, imbväljakud ja imbkaevud – rakendamisel võimalik vastavalt kõvakattega alalt kogutud aastast sademeveehulga vähendada põhimõtteliselt 100%. Kindlasti võib pikema ajalise perioodi jooksul aegajalt esineda normaalingimustest oluliselt suurema mahuga sajupäevasid, mille jooksul tekkinud sademevee liig tuleb kanaliseerida, kuna süsteeme ei ole mõttekas üle dimensioneerida. Peatükis 4.4 esitatud ruumivajaduse hinnangu alusel on õigesti projekteeritud imbsüsteemid võimelised kinni pidama kogu sademetehulga kuni 28 mm mahuga sajupäevade puhul. Kahjuks ei ole olemasolevatele andmetele tuginedes võimalik kasutada sadevee immutamist suurel osal Tartu territooriumist, kuna ei ole võimalik täita Vabariigi Valitsuse 31. juuli 2001. a määruse nr 269 nõuet, et sadevee immutussügavus oleks aasta ringi vähemalt 1,2 m ülalpool põhjavee kõrgeimat taset [suulised andmed Eesti Geoloogiakeskuse ja Tartu Veevärgi vastava ala spetsialistidelt].

Avatud sademeveekanalistest on sademevee hulka võimelised enim vähendada haljaskanalid. Veehulk, mis haljaskanalisis infiltreerub sõltub suurel määral asukoha geoloogilistest ja hüdrogeoloogilistest tingimustest, aga ka haljaskanalide põhja kaldest ning pikkusest. Samuti sõltub infiltreerunud veehulk sademete intensiivsusest või täpsemalt öeldes sademetehulga jaotumisest, sest kui sademevee hetkkoormus haljaskanalisis ületab pinnase hüdroloogilise juhtivuse, siis voolab liigne vesi mööda kanalit edasi selle suublasse. Pinnase hüdraulilise juhtivuse korral 0,3 m/ööp suudab 2 m laiuse põhjaga haljaskanal 100-meetrise pikkuse kohta siduda 60 m³ vett ööpäevas. Enam vähem ühtlase sademetehulga jaotumise korral tekib näiteks 10 000 m² kõvakattega pinnal see veehulk 6 mm mahuga sajupäeva jooksul. Kuna haljaskanalide pikkus sõltub eelkõige kõvakattega pinna kaugusest suublast (Tartu puhul Emajõe või ühenduspunktist kanalisatsiooniga), siis on võimatu täpselt hinnata sademevee hulga vähenemist üldiselt kõigi potentsiaalsete kõvakattega alade kohta. Võib siiski arvestada, et näiteks 10 000 m² kõvakattega pinna kohta peaks kuni 15 mm sademetehulgaga sajupäeval maha sadanud veehulga täielikuks sidumiseks ja infiltreerimiseks olema haljaskanalide pikkus vähemalt 250 meetrit ning arvestades ka kanalile endale langevaid sademeid ning sademete ebaühtlast jagunemist sajupäeva jooksul, siis vähemalt 265 meetrit või isegi rohkem (kanali laiuse 2 m ning pinnase hüdraulilise juhtivuse 0,3 m/ööp korral).

Kuivad kraavid on samuti võimelised mõnevõrra sademetehulga vähendama, kuid siiski vähem kui haljaskanalid, kuna sademevee äravool mööda torudrenaaži on infiltreerumisele eelistatud ning seda eriti suuremate sajuhulkadega sajupäevade korral. Iseseisva süsteemina kuivad kraavid kanaliseeritava vee hulga oluliselt ei vähenda ning pigem käituvad sademevee löökkoormuse puhvrina jaotades väljavoolu ühtlaselt 24 tunnisele perioodile.

Kolmas pinnasest eraldamata avatud kanalite tüüp – püsiva veetasemega kraav sademevee hulga vähendamiseks võimalusi ei paku kuna selle rajamiseks nõutav eeltingimus – kõrge põhjaveetaseme olemasolu – elimineerib sademevee efektiivse infiltrerumise pinnasesse. Püsiva veetasemega kraav käitub sarnaselt kuivale kraavile peamiselt sademevett puhastava ning selle löökkkoormust vähendava süsteemina.

Juhul kui sademeveesüsteemid on looduslikust pinnasest isoleeritud ning neil puudub suubla, on tegemist avaveeliste süsteemidega – sademevee kogumise tiikide ning avaveeliste tehismärgaladega. Viimaste puhul on sademevee hulga vähendamine üsna tühine ning need käituvad pigem sademett puhastavate ning selle löökkkoormust vähendavate süsteemidena. Avaveelised sademevee kogumise tiigid on võimelised sademete kogust vähesel, dimensioneeritud määral endasse koguma. Veehulga vähenemine toimub läbi evaporatsiooni avatud veepinnalt ning läbi tiigitaimestiku toimuval transpiratsiooni. Viimase võib avatud pinnaga tiigi puhul lugeda siiski tühiseks. Vabalt veepinnalt toimuvat evaporatsiooni mõõdetakse potentsiaalse aurumisenä. Potentsiaalne aurumine perioodil november – märts on jääkatte tõttu tühine. Perioodil märts kuni mai ja september kuni november on potentsiaalne aurumine vahemikus 20 mm kuni 60 mm ning perioodil mai kuni september vahemikus 80 mm kuni 130 mm. Maksimaalne potentsiaalne aurumine esineb tavaliselt juunis [Elken 2005]. Kui võrrelda potentsiaalse aurumise määra joonisel 19 kujutatud keskmiste sademete hulkadega, siis on näha, et veepinna veebilanss on negatiivne vaid perioodil aprill kuni september ning aurumise tõttu väheneb veehulk tiigis sel perioodil hinnanguliselt 30 mm kuni 60 mm. Arvestades avaveelise tiigi või tehismärgala suuruseks 2,8 kuni 7 % kõvakattega valgala pinnast väheneb sademevee hulk hinnanguliselt aprillis 5-13%, mais 6-15%, juunis 6-14% ja augustis 3-8%.

Juhul kui sademevesi juhitakse läbi dreniiva pinnase ning kogutakse torudrenaažiga – so kasutatakse erinevaid pinnaaluse vooluga tehismärgalasid ning filtersüsteeme – saab sademevee hulk väheneda vaid läbi evapotranspiratsiooni. Kuna läbi maapinna pindmise kihi ja taimkatte toimuv evapotranspiratsioon on potentsiaalsest evaporatsioonist mitu korda väiksem, siis on selle tagajärjel toimuv sademevee hulga vähenemine suhteliselt tühine. Filtersüsteemid ning pinnaaluse vooluga tehismärgalad käituvad seetõttu vaid efektiivsete sademevett puhastavate ning sademevee löökkkoormust vähendavate süsteemidena ning sadevete koguse vähendamine on sisuliselt olematu.

4.5 Alternatiivsed sajuveesüsteemid vee kvaliteedi tagamisel

Juhul kui sademevesi juhitakse lahkvoolselt, ilma eelneva puhastuseta looduslikku veekokku, toob see kaasa saasteainete kontsentratsiooni kasvu suublaks olevas veekogus ning see võib omakorda avaldada negatiivset mõju vee-elustikule. Suurlinnade puhul loetakse sademeveest põhjustatud hajusreostust oluliseks osaks linna valgala suublaks olevate veekogude veekvaliteedi halvendamisel [Brezonik and Stadelmann 2002].

Saasteained satuvad sademevette peamiselt kõvakattega aladelt, kuhu sademetega perioodide vahelisel ajal kuhjuvad erinevad transpordi, ehitustegevuse jms tagajärjel tekkivad saasteained. Katustel kogunevas sademevees on saasteainete sisaldus

üldjuhul piisavalt väike, vastates Vabariigi valitsuse määrusega „Heitvee veekogusse või pinnasesse juhtimise kord¹“ kehtestatud piirmääradele [Teemusk 2005].

4.5.1 Kõvakattega aladelt kogutava sademevee saasteainete sisaldus

Kõvakattega aladelt kogutud sademevee reoainete sisaldust on konkreetselt väga raske kirjeldada, kuna tänavatele ja parklapindadele kogunenud saasteainete sisaldus sõltub nii aastaajast, sajujuhtude vahele jäävast ajast, sajujuhu jooksul maha sadanud vee hulgast (sealhulgas suurel määral ka sademete intensiivsusest), mis on väga varieeruvad faktorid. Mõningate uurimustööde raames on siiski leitud vahemikud, mille piiresse kõvakattega aladelt kogutud sademevee reoainete sisaldused suure tõenäosusega mahuvad. Nii näiteks on USA-s tehtud uuringute põhjal kanaliseeritava sademevee reoainete sisaldus toodud tabelis 9 [EPA 1993].

Tabel 9. Kanaliseeritava sademevee tõenäoline reoainete sisalduste vahemik USA näitel [EPA 1993].

Reoaine (ühik)	Keskmine reoainete kontsentratsioon		
	10- protsentiil	mediaan	90- protsentiil
Tahked osakesed (mg/l)	35	125	390
BHT ₅ (mg/l)	6,5	12	20
KHT (mg/l)	40	80	175
Üldfosfor (mg/l)	0,18	0,41	0,93
Sealhulgas lahustuv fosfor (mg/l)	0,1	0,15	0,25
Üldlämmastik (mg/l)	0,95	2	4,45
Sealhulgas nitraatlämmastik (mg/l)	0,4	0,9	2,2
Vask (µg/l)	15	40	120
Plii (µg/l)	60	165	465
Tsink (µg/l)	80	210	540

Võrreldes tabelit Vabariigi valitsuse poolt kehtestatud piirnorme veekogusse juhitavale heitveele saab öelda, et raskmetallide, fosfori ja lämmastiku sisaldused jäävad täielikult normi piiresse, bioloogiline ja keemiline hapnikutarve ületab veidi kehtestatud norme ning oluliselt üle kehtestatud normide on sademevee tahkete osakeste ehk heljuvaine sisaldus. Toodud uurimuses ei olnud eraldi välja toodud naftasaaduseid, mis kujutavad endast olulist osa kõvakattega aladelt kaasa kantavatest reoainetest.

Teise näitena on alljärgnevalt, tabelis 10, ära toodud tulemused USA-s läbi viidud uurimustööst, kus uuriti maanteedelt kogutud sademevee kvaliteeti kolmes erineva liikluskorrumusega piirkonnas [Barrett et.al 1995]. I piirkonnas oli liiklustihedus suur (ligikaudu 60 000 sõidukit päevas), teises piirkonnas mõnevõrra väiksem (~47 000 sõidukit päevas) ning III piirkonnas oluliselt väiksem (~9 000 sõidukit päevas). Tabelist 10 on näha, et keskmised mõõdetud kontsentratsioonid on suures osas sarnased tabelis 9 toodud tulemustega, jäädes enamjaolt kehtestatud normide piiresse.

Tabel 10. Erinevate reoainete mediaankontsentratsioonid maanteedelt kogutud sademevees [Barrett et. al. 1995].

	Reoainete mediaankontsentratsioonid		
	I piirkond	II piirkond	III piirkond
pH	7,15	5,61	6,51
Tahked osakesed e. heljuvained (mg/l)	131	118	19
BHT ₅ (mgO/l)	12,2	5,0	3,5
KHT (mgO/l)	126	40	35
Üldsüsinik (mg/l)	47	21	16
Lahustunud süsinik (mg/l)	25	11	13
Nitraadid (mg/l)	1,03	0,73	0,28
Üldfosfor (mg/l)	0,33	0,11	0,10
Naftasaadused ja rasv (mg/l)	4,1	1,7	0,5
Vask (mg/l)	0,034	0,007	0,008
Raud (mg/l)	2,606	1,401	0,361
Plii (mg/l)	0,050	0,016	0,007
Tsink (mg/l)	0,208	0,050	0,022

Kokkuvõttes võib kõvakattega aladelt kogutava sademevee koostise kohta teha järelduse, et sellest tulenev reostus on eeskätt seotud heljuvainete ning naftasaaduste suure sisaldusega.

4.5.2 Alternatiivsete sademeveesüsteemide puhastusvõime

Alternatiivsete sademeveesüsteemide puhastusefektiivsused on tulenevalt nende tööpõhimõtetest ning neis toimuvatest protsessidest mõnevõrra erinevad. Peamiste reoainete ärastamiseefektiivsused erinevate alternatiivsete puhastussüsteemide lõikes on toodud tabelis 11 [CWP 2003].

Tabel 11. Alternatiivsete sademeveesüsteemide puhastusefektiivsused peamiste reoainete lõikes (%) [CWP 2003].

Reoaine	Heljuv-ained	P _{üld}	Sh PO ₄	N _{üld}	Sh. NO _x	Vask	Tsink	Nafta-saadused, rasvad	Bakteriaalne reostus
tiigid	80	51	65	33	43	57	66	78	70
tehismärgalad	76	49	48	30	67	40	44	85	78
filtersüsteemid	86	59	57	38	-14	49	88	84	37
kuivad ning püsiva veetasemega kraavid	81	34	1	84	31	51	71	62	-25
haljaskanalid	31	-16	*	-9	24	14	0	*	0
imbsüsteemid	95	80	85	51	82	*	*	*	*
* - täpsed andmed puuduvad									

Tabelist 11 on näha, et erinevate sademeveesüsteemide puhastusvõime erinevate reoainete suhtes on keskmine kuni kõrge. Naftasaaduste ärastamisvõime on 62 kuni

78 % (haljaskanalite ning imbsüsteemide kohta täpsed andmed puuduvad, kuid eeldatavalt on nende võime naftasaaduste degradeerimisel nõrgem). Ka heljuvaine sisalduse vähendamisel on erinevad süsteemid suhteliselt efektiivsed (va haljaskanalid) ning puhastusefektiivsus jääb selle reoaine osas 80 kuni 95 % vahele. Negatiivsed puhastusefektiivsuse väärtused NO_x osas filtersüsteemides on seotud nitrifikatsiooniprotsessiga, kus ammonium-lämmastik muudetakse aeroobsetes tingimustes esmalt NO₂-ks ja seejärel NO₃-ks. Hapnikupuuduses toimub denitrifikatsioon ja NO_x ühendid lenduvad gaasilise lämmastikuna (filtersüsteemides ei jõua see aga veel toimuda). Negatiivsed väärtused üldfosfori ja üldlämmastiku osas haljaskanalites on tõenäoliselt seotud vee vooluga kaasa kanduvate surnud taimeosadega, mis lagunedes fosforit ja lämmastiku eraldavad.

Kui võrrelda sadevete keskmist koostist tiheda liiklusega piirkonnas (tabel 10) ning erinevate alternatiivsete sadeveesüsteemide puhastusefektiivsust (tabel 11), siis võib järeldada, et alternatiivsed sadeveesüsteemid suudavad tagada nõuetekohase sadevee puhastuse.

Tabel 12. Alternatiivsete sademeveesüsteemide teoreetilised keskmised väljavoolu tulemused (arvutatud tabeli 10 ja 11 andmete alusel).

	Tiheda liiklusega piirkonna sadevesi	Väljavool tiigist	Väljavool tehismärgalast	Väljavool filter-süsteemist	Väljavool kraavist
Tahked osakesed (mg/l)	131	26,20	31,44	18,34	24,89
nitraadid (mg/l)	1,03	0,59	0,34	1,17	0,71
üldfosfor (mg/l)	0,33	0,16	0,17	0,14	0,22
Naftasaadused ja rasv (mg/l)	4,1	0,90	0,62	0,66	1,56
vask (mg/l)	0,034	0,01	0,02	0,02	0,02
tsink (mg/l)	0,208	0,07	0,12	0,02	0,06

4.6 Lahtiste (avatud) sajuveesüsteemide maksumuse hinnang

Tabelis 13 on esitatud hinnangulised eelpool kirjeldatud avatud sadevee süsteemide rajamise maksumused. Hinnanguline lahtiste sadeveesüsteemide maksumus on esitatud lähtudes süsteemi soovitatavast valgala suurusest, sellest sõltuvast süsteemi mahust ning maksimaalsest võimalikust sademete hulgast, mida süsteem peab suutma puhverdada ning puhastada.

Peamisteks kasutatavateks ehitusmaterjalideks on avatud sadeveesüsteemides: liiv, kruus, killustik, munakivid, torustikud, geomembraanid (juhul kui on vajalik pinnasest isoleerimine), filterkangas, kontrollkaevud, kohati esineb vajadus betoonitööde teostamiseks (settekaevud, tammid, ülevoolud) ning sõltuvalt asukohast ka piirete rajamine. Enamike süsteemide juures on soovitatav teha kulutusi ka taimestiku istutamiseks süsteemi.

Erinevat tüüpi lahtiste sadevee süsteemide maksumused on toodud maksumusena süsteemi rajamise ruutmeetri kohta ning samuti puhastust vajava maksimaalse sadevee koguse kohta. Hinnangulise maksumuse andmisel on arvestatud nii kasutatavate materjalide koondmaksumust kui ka ehitus-, projekteerimistööde maksumust, arvestatud pole ehitusaluse pinna maa maksumust.

Tabel 13. Hinnanguline lahtiste sadevee süsteemide rajamise maksumus

Jrk nr	Süsteem	Maksumus süsteemi pindala kohta (kr/m ²)	Maksumus sadevee koguse kohta (kr/m ³)
1.	TIIGID	520 - 570	310 - 360
1.1.	Väikese tiigiga, laiendatava mahuga sademevee puhvertiik	450 - 500	270 - 320
1.2.	Suure tiigiga, laiendatava mahuga sademevee puhvertiik	450 - 500	260 - 310
1.3.	Mitmeosaline sademevee kogumise tiik	470 - 520	280 - 330
1.4.	Sademevee kogumise tiik kõrge lokaalse põhjavee tasemega piirkonnas	700 - 750	420 - 470
2.	TEHISMÄRGALAD JA FILTERSÜSTEEMID	730 - 780	550 - 600
2.1.	Avaveeline tehismärgala	570 - 620	450 - 500
2.2.	Horisontaalse läbivooluga pinnasfilter	860 - 910	640 - 690
2.3.	Vertikaalse läbivooluga pinnasfilter	970 - 1020	730 - 780
2.4.	Liivfilter	680 - 730	550 - 600
2.5.	Biopuhver	560 - 610	380 - 430
3.	IMBSÜSTEEMID	770 - 820	590 - 640
3.1.	Imbkraavid	800 - 850	400 - 450
3.2.	Imbväljakud	770 - 820	460 - 510
3.3.	Tagavaraväljavooluga immutusbassein	600 - 650	600 - 650
3.4.	Imbkaevud	900 - 950	900 - 950
4.	LAHTISED KANALID	200 - 250	200 - 250
4.1.	Haljaskanalid	200 - 250	200 - 250
4.2.	Kuivad kraavid	210 - 260	210 - 260
4.3.	Püsiva veetasemega kraavid	190 - 240	190 - 240

5 Fondid ja programmid, mis toetavad alternatiivsete, keskkonnasõbralike kanalisatsioonisüsteemide projektide koostamist ja nende realiseerimist

5.1 Ühtekuuluvus fond (Cohesion fund)

Ühtekuuluvus fondi (ÜF) keskkonnasektori projektide eesmärk on viia sektori olukorda kirjeldavad näitajad vastavusse ELi nõuetega. ÜF rahastab suuri keskkonnainfrastruktuuri projekte (maksumusega alates 10 miljonist eurost). Suurte summade tõttu on tõenäoliselt vajalik koostöö teiste Eesti omavalitsustega.

Ühtekuuluvusfondi toetust võivad saada projektid, mis:

- toetavad Eesti keskkonnanstrateegia täitmist valdkondades, mis langevad kokku Ühtekuuluvusfondi sihtidega, sh
 - säilitavad, kaitsevad ja/või parandavad keskkonna seisundit ning kaitsevad elanikkonna tervist, või
 - edendavad kaalutletud ja ratsionaalset loodusvarade kasutamist;

Keskkonnasektoris saavad ÜF toetust esmajärjekorras sellised probleemsed valdkonnad, nagu: joogivesi; reovesi; jäätmekäitlus; õhu puhtus. Toetuse saamiseks peavad projektid ette nägema ja järgima ELi keskkonnavalitsuse põhimõtteid: ettevaatusprintsiipi, ennetusmeetmete võtmist, reostuse kõrvaldamist reostuskoldes, "saastaja maksab" põhimõtet. Toetust võivad saada ka projektid, mis on kavandatud selleks, et täita ELis kehtivad kvaliteedinõudeid ja tehnilisi spetsifikatsioone ning millel on piisav õiguslik ja halduslik raamistik.

Projektid, mida soovitakse ÜF toetusel ellu viia, valib välja Eesti riik. Toetuse saamiseks tuleb Eestil esitada Euroopa Komisjonile projekti rahastustaotlus koos vajalike analüüsidega. Iga eduka taotluse kohta teeb Euroopa Komisjon rahastamisotsuse (tavaliselt kolme kuu jooksul), millega nähakse ette Euroopa Liidu toetuse suurus.

Ühtekuuluvusfondist saavad toetust taotleda:

- kohaliku omavalitsuse (*enamus*) osalusega äriühingud ja sihtasutused;
- kohaliku omavalitsuse asutatud sihtasutused;
- riikliku infrastruktuuri omanikud ja haldajad;
- riigi osalusega ettevõtted;
- keskkonnakaitse ja transpordiga seotud riigiasutused;
- mittetulundusühingud ja sihtasutused.

5.2 LIFE

LIFE'i üldeesmärk on anda panus Ühenduse keskkonnapoliitika ja keskkonna-alase seadusandluse rakendamisse, kaasajastamisse ja arengusse, eriti keskkonna integreerimisel teistesse poliitikatesse ning säästvasse arengusse Ühenduses.

LIFE on kolme põhitegevusvaldkonna rahastamisvahend: loodus, keskkond, kolmandad riigid. Kõigi kolme valdkonna eesmärk on keskkonna parandamine, kuid igal valdkonnal on ka oma spetsiifilised eelistused.

- LIFE-Looduse tegevuse eesmärk on ELi huviorbiidis asuvate elupaikade, floora ja fauna kaitsmine;
- LIFE-Keskkond hõlmab innovatiivseid demonstratsioonimeetmeid majandustegevuse ja kohalike ametiasutuste suhtes, samuti ettevalmistavaid meetmeid ühenduse seadusandluse ja poliitika toetamiseks;
- LIFE-Kolmandad riigid puudutab tehnilist abi Vahe- ja Baltimere-äärsetele kolmandatele riikidele.

LIFE-Keskkond finantseerib uuenduslikke katse- ja demonstratsioonitegevusi, mille eesmärk on:

- keskkonna-alaste meetmete kaasamine maakasutuse arendamisesse ja planeerimisesse, sealhulgas linna- ja rannikualadel;
- põhja- ja pinnavee säästva majandamise edendamine;
- majandustegevuse mõjude vähendamine keskkonnale;
- heitvee vältimine, ümbertöötlemine ja mõistlik majandamine
- toodete mõju vähendamine keskkonnale.

LIFE-Keskkonna toetus eraldatakse parimale taotlusele, mis pakub tähtsate keskkonnaküsimuste uuenduslikke lahendusi ning viib konkreetsete tulemusteni. Taotlused peavad olema nähtavad ning tehniliselt ja rahaliselt mõistlikud. Projektid peaksid sisaldama teadmiste levitamist. Eriti tähtsal kohal on demonstratsiooni aspekt. Tehniliselt tuleb projektid ellu rakendada selliselt, et oleks võimalik hinnata nende laiaulatusliku rakendamise tehnilist ja majanduslikku võimalikkust. LIFE-Keskkond ei ole suunatud uurimistööle või investeerimisele olemasolevasse tehnoloogiasse, selle eesmärk on täita lõhet uurimistööde ja arendustegevuse tulemuste ning laiaulatusliku juurutamise/turuletoomise vahel.

Projektitaotlusi oodatakse taotlejalt kord aastas. Taotlused tuleb esitada EV Keskkonnaministeeriumile. LIFE-Keskkonna projektide rakendamiseks kulub tavaliselt 1,5 kuni 3 aastat. Projekti üldmaksumus varieerub üldiselt 1 miljonist 5 miljoni euron. Rahaline panus on väiksem kui 30 protsenti projektide abikõlblikest kulutustest või võrdne 30 protsendiga. Panus ei ületa tavaliselt 1 500 000 eurot (keskmine EÜ panus on 500 000 eurot).

LIFE-Keskkond, mis on küll avatud kõigile füüsilistele või juriidilistele isikutele Euroopa Liidus, on siiski mõeldud eriti industriaalsektorile ja avalikule võimule. Avatud kuni 2006. a.

5.3 *Phare - Transition Facility*

Phare programm on üks kolmest peamisest Euroopa Liidu poolt finantseeritavast abiprogrammist, mille eesmärgiks oli aidata Kesk- ja Ida-Euroopa riikidel valmistuda Euroopa Liitu astumiseks. Samas jätkatakse Eesti administratsioonile suunatud

abimeetne (Transition Facility) kaudu Phare programmi raames finantseeritavate valdkondade toetamist ka pärast liitumist Euroopa Liiduga. Abikõlblikud tegevused ning projektide koostamine on sarnane Phare programmile. Perioodil 2000 - 2006 on Phare toetus jätkuvalt suunatud kahele prioriteedile: institutsionaalne areng ja investeeringud.

1. Institutsionaalne areng

Institutsionaalse arengu tähtsaim ülesanne on aidata riikidel arendada administratiivseid struktuure, arengustrateegiaid, inimressursse ja juhtimisoskusi, mis on vajalikud tugevdamiseks riigi majandust, sotsiaalset arengut, õiguslast regulatsiooni ja administratiivset kompetentsust.

Institutsionaalse ülesehituse puhul toetatakse eelkõige:

- avaliku sektori (valdkondade) arengut (finants, õigus- ja sisepoliitika, põllumajandus ja maaelu ning **keskkond**);
- haldusreformi läbiviimist;
- Euroopa Ühenduste programmides osalemist;
- demokraatliku ühiskonna arendamist;
- justiits- ja siseküsimuste lahendamist.

2. Investeeringud

ELga liitumise eelduseks oli, et administratiivne ülesehitus, infrastruktuur ja vastavad standardid oleksid kooskõlas ELi omadega. Sellest tulenevalt on võimalikud järgmised Phare investeeringud:

- Eesti normide (standardite) ühtlustamiseks EL omadega;
- majanduse restruktureerimisse – tagamaks ettevõtluse ja tööjõu konkurentsivõimet;
- tootmislikku infrastruktuuri – toetamiseks sotsiaal-majanduslikku arengut;
- väikese- ja keskmise suurusega ettevõtetesse – toetamiseks nende arengut.

Abitaotlustele esitatavad põhinõuded:

- **Katalüütilisus.** Phare toetus peaks mõjuma kui katalüsaator protsessidele, mis aitavad kaasa sujuvamale liitumisele EL-ga.
- **Kaasfinantseeringu olemasolu.** Kõik Phare poolt toetatavad investeerimisprojektid peavad olema kaasfinantseeritavad rahvuslikest vahenditest. Toetus võib küündida kuni 75%-ni avaliku sektori kulutustest (kasumit mittetootvates projektides). Kasumit toovates projektides toetab Phare kuni 50% avaliku sektori poolsetest kuludest.
- **Kooskõlastatus.** Kaasfinantseerimiseks sobilike projektide väljaselgitamiseks teeb Komisjon tihedalt koostööd Euroopa Investeerimispanka ja rahvusvaheliste finantsinstitutsioonidega.
- **Täiendamine.** Phare toetus ei asenda, vaid täiendab teisi finantseerimisallikaid. Phare toetus ja alternatiivsed finantseerimisallikad võivad toimida paralleelselt.
- **Projekti valmidus ja suurus.** Projektid peavad olema tehniliselt valmis koheseks rakendamiseks. Eraldatava Phare toetuse minimaalne suurus on 2 MEUR projekti kohta.
- **Toetamine.** Phare poolt finantseeritava projekti toetamist jätkatakse ka peale ühinemist EL-iga. Kõik projektid peavad järgima Euroopa Liidu norme ja

standardeid ning Amsterdami Lepingu artiklis 2 märgitud keskkonnasõbraliku tegutsemise printsiipi.

- **Konkurents.** Finantseeritavate projektide elluviimisel on tagatud konkurents ja Euroopa Lepingu järgsete riigihanke protseduuride järgimine

Pharest saavad toetust taotleda:

- kohaliku omavalitsuse (*enamus*) osalusega äriühingud ja sihtasutused;
- kohaliku omavalitsuse asutatud sihtasutused;
- riigi osalusega ettevõtted;
- keskkonnakaitse ja transpordiga seotud riigiasutused;
- ettevõtted.

5.4 Euroopa Regionaalarengu Fond (European Regional Development Fund – ERDF)

Fondi üldeesmärk on toetada majandustegevuse- ja infrastruktuuride arendamist. Fond abistab mahajäänud regioone eelkõige investeringutega tootmisse, infrastruktuuri ning väikese ja keskmise suurusega ettevõtete arengusse:

EL struktuurifondide toetuse eraldamine liikmesriigile toimub mitmeaastaste programmide ehk arengukavade alusel, mille liikmesriik koostab ja esitab Euroopa Komisjonile. Eesti on esitanud Euroopa Komisjonile heakskiitmiseks strateegilise dokumendi nimetusega “Eesti riiklik arengukava EL struktuurifondide kasutuselevõtuks - ühtne programmdokument 2003 -2006” (RAK). Eesti riiklik arengukava 2003-2006 toetub neljale prioriteedile:

- Inimressursi arendamine;
- Ettevõtluse konkurentsivõime;
- Põllumajandus, kalandus ja maaelu;
- Infrastruktuur ja kohalik areng..

Otseselt keskkonnaseisundi parendamisele on suunatud prioriteedi Infrastruktuur ja kohalik areng raames meede „Keskkonna-infrastruktuuri arendamine“. Perioodil 2004 -2006 on meetme rahastamiseks ERDFist planeeritud 150 miljonit krooni. Spetsiifilised keskkonna-infrastruktuuri arendamise eesmärgid on:

- veekogude ja põhjavee hea seisundi saavutamine ja tagamine
- energeetika keskkonnamõjude vähendamine ja taastuvate energiaallikate kasutamise laiendamine
- jäätmete tekke ning neist tuleneva tervise- ja keskkonnaohu vältimine ja vähendamine
- bioloogilise ja maastikulise mitmekesisuse säilimine

Projekti taotluse miinimumnõudeks on, et projekt peab vastama nii RAK tuumik- kui ka meetmespetsiifilistele kriteeriumitele. Sellest tulenevalt on projekti abikõlblikkuse hindamiskriteeriumid, millele eranditult iga struktuurifondidest kaasrahastatav projekt peab vastama, järgmised:

- Projekt peab vastama RAK strateegiale ning olema kooskõlas meetme ja prioriteedi eesmärkidega, mille raames rahastamist taotletakse;
- Projekt peab olema asja- ja ajakohane - uuringutele, arengukavadele või selgelt tõendatud vajadustele vastav;

- Projekt peab olema majanduslikult efektiivne;
- Projekt peab olema jätkusuutlik, looma püsivat või pikaajalist lisaväärtust;
- Taotleja peab olema suuteline projekti ellu viima.

Lisaks nimetatutele on tähtis silmas pidada järgmisi nõudeid:

- Projekt peab olema vastavuses RAK üldiste ja EL läbivate poliitikate eesmärkidega;
- Projekt peab olema selged, mõõdetavad ja mõistliku ressursikuluga saavutatavad tulemused;
- Projekt peab täitma riigiabi reegleid ja riigihanke seadust (s.t projektid, kus viimased esinevad).

Struktuuriotoetuse taotleja esitab oma taotluse alati KIKile. Taotlejaks saab olla ainult juriidiline isik.

5.5 Keskkonnainvesteeringute Keskus

Keskkonnaprogrammi eesmärgid:

- loodusvarade kasutamise seotud keskkonnakahjustuste likvideerimine, keskkonnaseisundi taastamine, taastuvate loodusvarade looduslikule taastumisele kaasaaitamine, taastumatute loodusvarade täiendavate varude alased ning jäätmete taaskasutamise võimaluste uuringud;
- keskkonnaseisundi jälgimine, saastamist vähendavate keskkonnakaitseliste abinõude rakendamine, keskkonnauuringute ning loodusobjektide kaitse korraldamine;
- keskkonna saastamist põhjustavate saastekollete likvideerimisele või keskkonna endise seisundi taastamisele suunatud tegevus, kaitsealuste liikide poolt tekitatud kahju hüvitamine.

Omafinantseerimine:

- Omavalitsustel ning riigile või omavalitsustele kuuluvatel äriühingutel, mis ei konkureeri vabaturul teiste ettevõtetega peab omafinantseerimine olema vähemalt kümme protsenti KIKi finantseeritava projekti või projekti etapi abikõlblike kulude maksumusest, kui riigiabi reguleerivates õigusaktides pole sätestatud teisiti.
- Sihtasutustel ja mittetulundusühingutel on soovitatav omafinantseerimine kümme protsenti KIKi finantseeritava projekti või projekti etapi abikõlblike kulude maksumusest, mis on eeliseks taotluse hindamisel.
- Muudel ettevõtjatel peab omafinantseerimine olema vähemalt 50 protsenti KIKi finantseeritava projekti või projekti etapi abikõlblike kulude maksumusest.

Toetuse taotlejaks võivad olla kohalikud omavalitsused, äriühingud/ ettevõtjad ja keskkonnakaitses tegelevad riigiasutused. Mittetulundusühingud ja sihtasutused saavad olla taotlejaks, kui nende põhikiri näeb ette loodus- või keskkonnakaitselist tegevust. Projektide taotlused esitab toetuse taotleja KIKile 15. märtsiks, 15. juuliks või 1. novembriks.

5.6 EAS - Kohaliku füüsilise elukeskkonna arendamise programm

Programmi eesmärgiks on kohalike avalike teenuste kättesaadavuse ja kvaliteedi parandamine ja ühtlustamine, kohaliku avaliku infrastruktuuri majandusliku efektiivsuse tõstmine, kohaliku elanikkonna töövõimaluste ja elukvaliteedi parandamine ning piirkondade arengupotentsiaali maksimaalset ärakasutamist takistavate tegurite (nn. pudelikaelte) kõrvaldamine.

Abikõlblikud on investeeringud kohaliku arengu seisukohast oluliste infrastruktuuriobjektide ja -süsteemide rajamiseks või renoveerimiseks:

- investeeringud üldhariduskoolide ja lasteaedade arendamiseks;
- investeeringud tööhõivet stimuleerivate sotsiaalteenuste osutamisega seotud kohaliku infrastruktuuri arendamiseks;
- investeeringud sildade, viaduktide, tunnelite, ümbersõiduteede, saartega ühenduse pidamiseks vajalike sadamate ning riikliku arengukava teiste meetmete raames toetatavate projektidega seotud ühenduste arendamiseks;
- investeeringud katlamajade, kaugküttevõrgustiku ja tänavavalgustussüsteemide arendamiseks.

Taotlejateks võivad olla:

- kohaliku omavalitsuse üksused;
- avaliku sektori enamusosalusega äriühingud (ainult investeeringute katlamajade, kaugküttevõrgustiku ja tänavavalgustussüsteemide arendamiseks puhul);
- sihtasutused ja mittetulundusühingud, juhul kui projektiga taotletavad tegevused kuuluvad nende organisatsioonide põhikirjaliste tegevuste hulka, sh kogudused.

Kokkuvõte

Käesoleva töö koostamise eesmärk oli kogu Tartu linna territooriumil alternatiivsete sademevee kogumise, ärajuhtimise ja sademevee vähendamise meetmeteks lahenduste uurimine ja leidmine.

Töös kirjeldati erinevate alternatiivsete sademevee kogumise, ärajuhtimise ja sademevee vähendamise tehnoloogiliste süsteemide tööpõhimõtet, ehitust (sealhulgas näidissüsteemide joonised), rakendusvõimalusi ning rakendamise piiranguid. Kirjeldati erinevat tüüpi murukatuseid ja katusehaljastust, sademevee kogumise tiike, tehismärgalasid, filtersüsteeme, imbsüsteeme ning avatud sademevee kanaleid.

Seejärel hinnati murukatuste kasutamisevõimalust Tartu linnas, arvestades erinevate murukatusetüüpide sobivust ja rakendatavust. Lähtuvalt hoonete konstruktsioonist hinnati potentsiaalselt haljastatava katusepinna suurusks Tartu linnas kokku 858 000 m². Olemasolevate hoonete haljastamiseks sobiva ekstensiivse murukatuse tehniliste parameetrite ning omaduste põhjal hinnati sademevee sidumisevõimet ning viibeaja pikendamise võimet. Hinnanguliselt on Tartu linna sobivad ekstensiivsed murukatused võimelised siduma 280 mm kuni 390 mm sademevett ning pikendama selle äravoolu algust keskmiselt 15 kuni 45 minutit. Hinnati ka ekstensiivse murukatuse toimimisaega ja hooldusvajadust, mõju katusekattematerjalidele ning maksumust. Tartu linnas rakendamiseks sobivate ekstensiivsete murukatuste maksumuseks hinnati sõltuvalt konstruktsioonist 375 kuni 535 krooni ruutmeetri kohta.

Järgnevalt pakuti lähtuvalt Eesti Vabariigis kehtivatest õigusnormidest ning Tartu linna territooriumi geoloogilistest ja hüdrogeoloogilistest tingimustest välja Tartu linnas rakendamiseks sobilikud tehnoloogilised meetmed sademevee kogumiseks, ärajuhtimiseks vähendamiseks. Sobivate süsteemide hulka kuuluvad praktiliselt kõik töö esimeses pooles kirjeldatud tehnoloogilised süsteemid, kuigi sademevee hulga vähendamise seisukohast efektiivseimate lahenduste – imbsüsteemide – kasutamine on ebasobivate hüdrogeoloogiliste tingimuste tõttu Tartus piiratud. Konkreetse süsteemi valik sõltub eeskätt vaba ruumi olemasolust ning konkreetse ala sobivusest. Sobivaimad tehnoloogilised lahendused linnaruumis on hinnanguliselt erinevad filtersüsteemid, pinnasfiltrid, biopuhvrid ning avatud kanalid.

Töös hinnati erinevate alternatiivsete sademeveesüsteemide rakendamisel vajaminevat pinda kõvakattega aladelt sademevee efektiivseks kogumiseks ja ärajuhtimiseks või käitlemiseks ning hinnati sademevee hulga vähendamise võimalusi nende süsteemide lõikes. Hinnati ka erinevate alternatiivsete sademeveesüsteemide ehitusmaksumust.

Töö lõpus esitati kirjeldav loend fondidest ja programmidest, mis võiksid muuhulgas toetada alternatiivsete, keskkonnasõbralike kanalisatsioonisüsteemide projektide koostamist ja nende realiseerimist.

Kasutatud kirjandus

Ahas, R., Aasa, A., Silm, S., Karu, H., Luud, A. ja Sootla, I. 2004. Ilmastikutingimuste varieeruvusest tulenevad tulvaveeriskid Tartus. Tartu linnavalitsuse linnaplaneerimise ja maakorralduse osakonna poolt tellitud uurimustöö. TÜ Geograafia Instituut.

Barrett, M.E., Malina, J.F.Jr., Charbeneau, R.J., Ward, G.H. 1995. Characterization of Highway Runoff in the Austin, Texas area. Center for Research in Water Resources. The University of Texas at Austin. (<http://www.cwrw.utexas.edu/reports/pdf/1995/rpt95-10.pdf> - 12.12.2005)

Bass, B. and Baskaran, B. 2003. Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaption Strategy for Urban Areas. CCAF impacts and adaptation progress report 01.04.1999 – 31.03.2001. Adaptation & Impacts Research Group, Environment Canada.

Beattie, D., and Berghage, R. 2004. Green roof media characteristics. In Greening Rooftops for Sustainable Communities 2004 conference proceedings. Green Roofs for Healthy Cities.

Begrünte Dächer. 1995. Schriftenreihe Umwelt. Nr 216. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern.

Brezonik, P.L., Stadelmann, T.H. 2002. Analysis and predictive models of stormwater runoff volumes, loads, and pollutant concentrations from watersheds in the Twin Cities metropolitan area, Minnesota, USA. Water Research, 36: 1743–1757.

CWP. 2003. Impacts of Urbanization on Downstream Receiving Waters. Runoff Rundown, issue #9. (http://www.cwp.org/Impacts_part2.pdf - 12.12.2005).

Eesti Geoloogiakeskus OÜ. Tartumaa põhjaveekaitstuse kaart 1:100000.

Eggenberger, A. 1983. Bauphysikalische Vorgänge im begrünten Warmdach. Das Gratenamt, 6/32, 1983.

Elken, J. 2005. Merefüüsika ja hüdroloogia. Tartu Ülikooli Mereinstituut. Loengukonspekt. (www.sea.ee/~elken/Hmfkon4.doc - 19.05.2005).

EPA. 1993. Natural wetlands and urban stormwater: potential impacts and management. U.S Environmental Protection Agency, Office of Wetlands, Oceans and Watersheds. (<http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/stormwat.pdf> - 09.12.2005)

Eumorfopoulou, E. and Aravantinos, D. 1998. The contribution of a planted roof to the thermal protection of buildings in Greece. Energy and Buildings, 27: 29-36.

Hallik, J. 2005. Ekstensiivse murukatuse sademevee kinnipidamisvõime kevadperioodil. Bakalaureusetöö Ökotehnoloogias. Tartu Ülikool.

Heeb J., Vetter F., Schönborn A. 1997. Retention Gründächer. asserrückhaltevermögen von Dachbegrünungen – Grundlagen und Folgerungen für die Praxis. Käsikirjaline seminarimaterjal. Tartu, Ökoloogiliste Tehnoloogiate Keskuse raamatukogu.

Hutchinson, D., Abrams, P., Retzlaff, R. and Liptan, T. 2003. Stormwater monitoring two ecoroofs in Portland, Oregon, USA. Rooftops for Sustainable Communities 2003 conference proceedings. Green Roofs for Healthy Cities.

IWA Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control, 2000. Constructed Wetlands for Water Pollution Control. Process, Performance, Design and Operation. Scientific and Technical Report No. 8. IWA Publishing. 156p.

Koorberg, P. 2001. Ekstensiivse katusehaljastuse loomine ja selle linnaökoloogiline tähendus. Lõputöö maastikukaitse ja -hoolduse erialal. EPMÜ Keskkonnakaitse instituut.

Liu, K. 2003. Engineering Performance of Rooftop Gardens through Field Evaluation. Proceedings for RCI 18th International Convention and Trade Show, Tampa, Florida, March 13-18, 2003, pp. 1-15.

Liu, K. and Baskaran, B. 2003. Thermal performance of green roofs through field evaluation. Proceedings for the First North American Green Roof Infrastructure Conference, Awards and Trade Show, pp. 1-10.

Moran, A., Hunt, B. and Jennings, G. 2003. A North Carolina Field Study to Evaluate Greenroof Runoff Quantity, Runoff Quality and Plant Growth. Rooftops for Sustainable Communities 2004 conference proceedings. Green Roofs for Healthy Cities.

Niachou, A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A. and Mihalakakou, G. 2001. Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. Energy and Buildings, 33: 719-729

Nilsson, A., Malmquist, Y. and Maastik, A. 2001. Reo- ja sademevesi. Rootsi Keskkonnaameti koostatud vihikusari „Veemajanduse planeerimine“. Keskkonnaministeerium.

Peck, S.W., Callaghan, C., Kuhn, M.E. and Bass, B. 1999. Greenbacks from green roofs: Forging a new industry in Canada. Status report on benefits, barriers and opportunities for green roof and vertical garden technology diffusion.

Teemusk, A. 2003. Ülevaade murukatustest ja murukatuste elutsükli maksumuse analüüs Eestis. Bakalaureusetöö Ökotehnoloogias. Tartu Ülikool.

Teemusk, A. 2005. Murukatuse temperatuuri reguleerimise ja vee kinnipidamise võime eesti kliimatingimustes AS-i Triip murukatuse näitel. Magistritöö Ökotehnoloogias. Tartu Ülikool.

Villarreal, E.L., Semadeni-Davies, A., Bengtsson, L. 2004. Inner city stormwater control using a combination of best management practices. *Ecological Engineering*, 22: 279-298.

Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., Haberl, R., Perfler, R. and Laber, J. 1998. Removal mechanisms and types of constructed wetlands. In: *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*, J. Vymazal, H. Brix, P.F. Cooper, M.B. Green and R. Haberl (eds.), Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, pp. 11-60.

Vymazal, J. 2002. The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years experience. *Ecological Engineering* 18, pp 633–646.

Ökoloogiliste Tehnoloogiate Keskus, 2003. Ökoloogiliste reoveekäitluse meetodite rakendamise juhend. Tartu.

Kasutatud Internetiallikad:

Alternative Stormwater Management Practices for Residential Projects: Retention Ponds . Canada Mortgage and Housing Corporation (http://www.cmhc-schl.gc.ca/en/imquaf/himu/wacon/wacon_029.cfm - 10.10.2005).

California Stormwater BMP Handbook, Municipal. 2003. California Stormwater Quality Association
(<http://www.cabmphandbooks.com/documents/Municipal/Municipal.pdf> - 15.10.05).

Ettevõtluse Arendamise Sihtasutus (<http://www.eas.ee/?id=694> - 20.10.05)

Euroopa Komisjon

(http://europa.eu.int/comm/regional_policy/funds/procf/cf_en.htm,
<http://europa.eu.int/comm/environment/life/life/environment.htm>,
<http://europa.eu.int/comm/enlargement/pas/phare/index.htm> ja
<http://www.eucenter.org/index.php?action=programs&process=detail&id=12>
http://europa.eu.int/comm/regional_policy/funds/prord/prords/implem/pdimp_en.htm
<http://www.eucenter.org/index.php?action=programs&process=detail&id=9> -
20.10.05)

Euroopa Liidu Struktuurifondid (<http://www.struktuurifondid.ee/?id=1254> -
20.10.05)

EV Keskkonnaministeerium (<http://www.envir.ee/2818>, <http://www.envir.ee/2834>,
<http://www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=2832/Environment+vormi+t%F5lge.doc> - 20.10.05)

EV Rahandusministeerium (<http://www.fin.ee/?id=2896> - 20.10.05)

New York State Stormwater Management Design Manual. 2003. New York State Department of Environmental Conservation.

(<http://www.dec.state.ny.us/website/dow/toolbox/swmanual/nysswmdm03.pdf> - 12.10.05).

Massachusetts Low Impact Development Toolkit. Factsheet #4: Green Roofs.
Boston Metropolitan Area Planning Council
(http://www.mapc.org/regional_planning/LID/PDFs/greenroof.pdf - 06.11.2005)

Maxit Estonia AS (<http://www.maxit.ee/> - 04.11.2005)

Saint-Gobain Isover Eesti AS (<http://www.isover.ee/> - 04.11.2005)

SA Keskkonnainvesteeringute Keskus (<http://www.kik.ee/> - 20.10.05)

Water related Best Management Practices in the landscape. 1999. Center for Sustainable Design (<http://www.abe.msstate.edu/Tools/csd/NRCS-BMPs/pdf/water/volume/drywell.pdf> - 24.10.05).

Wisconsin Storm Water Manual: Filter Strips. 2000. Wisconsin Department of Natural Resources (http://s142412519.onlinehome.us/uw/pdfs/G3691_6.PDF - 31.10.2005)