



Aalto-yliopisto
Insinöörیتieteiden
korkeakoulu

Outi Raudaskoski

Hulevesien hallintavaihtoehtojen mallinnus tiiviissä taajamassa

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 5.2.2016

Valvoja: Professori Harri Koivusalo

Ohjaaja: TkT Nora Sillanpää

| | | |
|--|-----------------------|--------------------|
| Tekijä Outi Raudaskoski | | |
| Työn nimi Hulevesien hallintavaihtoehtojen mallinnus tiiviissä taajamassa | | |
| Koulutusohjelma Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka | | |
| Pää-/sivuaine Vesi- ja ympäristötekniikka | Koodi Yhd-12 | |
| Työn valvoja Professori Harri Koivusalo | | |
| Työn ohjaaja TKT Nora Sillanpää | | |
| Päivämäärä 5.2.2016 | Sivumäärä 78+5 | Kieli suomi |

Tiivistelmä

Vettä läpäisemättömän pinnan määrä on lisääntynyt kaupungistumisen myötä. Läpäisemättömän pinta vaikuttaa veden luonnolliseen kiertokulkuun vähentämällä imeytymistä ja haihduntaa ja lisäämällä pintavaluntaa. Tämän työn tavoitteena oli arvioida erilaisten hulevesien hallintarakenteiden vaikutuksia rankkasadetapahtumien aiheuttamaan valuntaan tiiviisti rakennetussa kaupunkiympäristössä. Tutkimusalueena työssä oli Vallikkalion alue Espoossa. Alueen hydrologiaa mallinnettiin SWMM (*Storm Water Management Model*) sadanta-valuntamallilla. Mallinnuksessa hyödynnettiin alueelta kerättyä sadanta- ja hulevesiviemärin valuntamittausaineistoa vuosilta 2004-2006. Mallin muodostamisessa käytettiin apuna QGIS-ohjelmaa, jolla määritettiin valuma-alueen rajat sekä maankäyttö. SWMM-malli kalibroitiin ja validoitiin hulevesiviemärissä mitattua valuntaa vastaan käyttäen PEST-ohjelmaa (*Model Independent Parameter Estimation*). Työssä käytettiin SWMM-ohjelman laskennallisia kuvauksia hulevesien hallintarakenteille eli LID-rakenteille (*Low Impact Development*). LID-rakenteille etsittiin sopiva parametriseointi ja mitoitus kirjallisuuden ja sidosryhmähaastatteluiden avulla. Hulevesien hallintarakenteista muodostettiin skenaarioita, joita mallintamalla osoitettiin eri LID-rakenteiden vaikutuksia hulevesiviemärin valuntaan. Skenaarioiden muodostamisessa käytettiin apuna kirjallisuutta ja sidosryhmähaastatteluita. Sidosryhmähaastatteluiden kautta tavoitteena oli saada työhön käytännön näkökulmia ja kartoittaa hulevesien hallinnan nykytila Suomessa. Haastatteluissa työn tavoitteeksi tarkentui hallintarakenteiden toimivuuden tarkastelu hyvin ja huonosti vettä läpäisevissä maaperissä erilaisilla mitoitusilavuuksilla.

Hulevesien hallintaskenaarioita vertailtiin keskenään erikokoisilla sadetapahtumilla sekä pidemmällä ajanjaksoilla. Vertailu perustui eroihin hulevesiviemärin ylivirtaamisissa ja valunnan kokonaismäärässä. Mallinnetuiksi yksittäisiksi sadetapahtumiksi valittiin kerran vuodessa, viidessä vuodessa ja sadassa vuodessa toistuvat 10 minuutin rankkasadetapahtumat. Mallinnetut pitkät ajanjaksot olivat vuoden 2004 sateinen jakso huhtikuusta loka-kuuhun ja vuoden 2006 kuiva ajanjakso huhtikuusta elokuuhun. LID-rakenteiden vaikutus näkyi lyhyillä mitoitusasteilla erityisesti viemäriverkoston ylivirtaamien pienentymisenä. Pitkillä ajanjaksoilla puolestaan pystyttiin osoittamaan LID-rakenteiden aiheuttama kumulatiivisen hulevesivalunnan vähentyminen. Suurimmat laskennalliset pitkän ajan vaikutukset saatiin hyvin läpäisevällä maaperällä usean menetelmän yhdistelmillä, joissa oli mukana biosuodatusalueet, sadevesisäiliöt ja katualueiden läpäisevät päällysteet. Huonosti läpäisevällä maaperällä suurimmat pitkän ajan vaikutukset saatiin laaja-alaisesti toteutulla viherkattoskenaariolla. Muiden menetelmien vaikutukset kumulatiiviseen valuntaan olivat heikkoja. Mitoitusasteet mallinnettiin hyvin vettä läpäisevällä maaperällä. Suurin vaikutus oli jälleen usean menetelmän yhdistelmillä. Suurimmilla mitoitusasteilla LID-menetelmillä ei ollut juurikaan vaikutusta hulevesiviemärin valuntaan ja menetelmien väliset erot olivat pieniä.

Avainsanat SWMM, LID, hulevesi, hulevesien hallinta, taajamahydrologia

| | | |
|---|-----------------------------|-------------------------|
| Author Outi Raudaskoski | | |
| Title of thesis Modelling urban stormwater management alternatives | | |
| Degree programme Civil and Environmental Engineering | | |
| Major/minor Water and Environmental Engineering | Code Yhd-12 | |
| Thesis supervisor Professor Harri Koivusalo | | |
| Thesis advisor D.Sc. (Tech.) Nora Sillanpää | | |
| Date 5.2.2016 | Number of pages 78+5 | Language Finnish |

Abstract

The amount of impervious surfaces has increased along with urbanization. The impervious cover impacts on the natural water cycle by decreasing infiltration and increasing surface flows. The objective of this thesis was to evaluate the impacts of different stormwater management methods on runoff induced by heavy rainfall in a dense urban environment. The study area was located in Vallikallio in Espoo. The hydrology of the study area was modelled with rainfall-runoff model SWMM (Storm Water Management Model). The measured rainfall and stormwater sewer runoff data from years 2004-2006 was utilized in the modelling. The model for simulations was constructed with QGIS, which was used to define the catchment borders and land use. The SWMM model was calibrated and validated against the measured stormwater runoff data using PEST (Model Independent Parameter Estimation). The LID (low impact development) tools of SWMM were used to model the stormwater management methods. Literature was used to find suitable parameters and sizing for the LID practices. Scenarios from stormwater management methods were formed and modelled to show the impact of different LID practices on the stormwater sewer runoff. Literature and interviews of interest groups were used to form the scenarios. The objective of the interviews was to get a practical perspective into the study and to review the current situation of stormwater management in Finland. The objective to analyze LID practices when the soil hydraulic conductivity was good (sandy loam) and poor (clay loam) was formed based on the interviews. Furthermore, the interviews established the objective for comparison of different sizing criteria of LID practices.

The stormwater management scenarios were compared by using event scale modelling of design storms of different magnitudes and continuous modelling of longterm time series. The comparisons were made based on the differences in peak flows and runoff volumes. The modelled single events included 10-minute design rainfall intensities representing the recurrence intervals of 1, 5 and 100 years. The modelled longer periods were rainy period from April to October in 2004 and dry period from April to August in 2006. The impacts of LID practices during single rainfall events was visible especially in the reduction of the peak discharge in the stormwater sewer. The longer periods showed the impacts of LID practices on the cumulative runoff volume reduction. The greatest effects during long period simulations with good hydraulic conductivity of soil were discovered using combinations of LID practices. The combinations included bioretention, rain barrels and permeable pavements at street area. When the hydraulic conductivity of soil was poor the largest effect was discovered with wide-ranging green roof scenario. The effects of other scenarios on sewer runoff were small. The single rainfall events were modelled with good hydraulic conductivity of soil. The greatest impact was again discovered with combinations of the LID practices. The LID practices had only a small effect on sewer runoff during the largest single rainfall events and the differences between the practices were small.

Keywords SWMM, LID, stormwater, stormwater management, urban hydrology

Alkusanat

Tämä työ toteutettiin Aalto-yliopistolle osana Maa- ja metsätalousministeriön rahoittamaa Viemäriverkostojen tila ja riskien hallinta (VERTI) -hanketta. Hankkeen toteutuksessa on mukana Aalto-yliopiston lisäksi Suomen Ympäristökeskus (SYKE). Haluan kiittää edellisiä tahoja mielenkiintoisesta aiheesta ja diplomityöni rahoittamisesta. Lisäksi kiitän Maa- ja vesitekniikan tuki ry:tä työni rahallisesta tukemisesta.

Haluan kiittää työni valvojaa professori Harri Koivusaloa hyvistä kommentteista ja neuvoista työn aikana. Haluan kiittää yhtäläillä työni ohjaajaa TkT Nora Sillanpäästä avusta materiaalien hankinnassa ja sidosryhmähaastatteluiden järjestämisessä sekä hyödyllisistä neuvoista työn aikana. Suuri kiitos kuuluu myös TkT Lassi Warstalle, jonka apu QGIS- ja SWMM-ohjelman käytössä oli korvaamatonta.

Työssä käytetyistä materiaaleista haluan kiittää Helsingin seudun ympäristöpalveluita (HSY) ja Espoon kaupunkia. Tärkeitä käytännön näkökulmia työhöni sain sidosryhmähaastatteluiden avulla, mistä tahdon kiittää haastateltuja asiantuntijoita: Antti Auvinen (Vantaan kaupunki), Ismo Häkkinen (Sito), Jari Koskiaho (SYKE), Jukka Jormola (SYKE), Lauri Harilainen (Sito), Mika Ristimäki (SYKE), Pekka Raukola (FCG), Terhi Renko (Pöyry), Timo Nikulainen (Sito) ja Ulla Loukkaanhuhta (Ramboll).

Erityisesti kiitän Pepan Petonin jäseniä mahtavista opiskeluvuosista, vertaistuesta, virkistyspäivistä ja tärkeistä elämänopeista joita olen saanut. Kiitos kuuluu myös perheelleni ja ystäväilleni merkittävästä tuesta koko opintojeni aikana. Lisäksi suuri kiitos Kallelle, joka jaksoi tukea ja kannustaa koko projektin ajan.

Espoo 5.2.2016

Outi Raudaskoski

Sisällysluettelo

| | |
|---|----|
| Tiivistelmä | |
| Abstract | |
| Alkusanat | |
| Merkinnät | 2 |
| Lyhenteet | 3 |
| Kuvaluettelo | 4 |
| Taulukkuuettelo | 5 |
| 1 Johdanto | 6 |
| 2 Kirjallisuuskatsaus | 8 |
| 2.1 Hulevesien hallinta | 8 |
| 2.2 Hajautetun hulevesien hallinnan menetelmiä | 9 |
| 2.2.1 Hajautettu hulevesien hallinta vanhoilla kaupunkialueilla | 10 |
| 2.2.2 Biosuodatus | 12 |
| 2.2.3 Sadevesisäiliöt | 13 |
| 2.2.4 Lämpäisevät päällysteet | 14 |
| 2.2.5 Viherkatot | 16 |
| 2.2.6 Viivytyksrakenteet | 17 |
| 2.2.7 Muut menetelmät | 17 |
| 3 Tutkimusalue ja -aineisto | 19 |
| 3.1 Vallikallion valuma-alue | 19 |
| 3.2 Mittausaineisto ja sadetapahtumat | 20 |
| 4 Tutkimusmenetelmät | 22 |
| 4.1 Valuma-alueen rajausta QGIS-ohjelmalla | 23 |
| 4.2 Kalibrointi ja validointi PEST-ohjelmalla | 24 |
| 4.3 Storm Water Management Model (SWMM) | 26 |
| 4.4 Työpaja ja haastattelut | 27 |
| 4.5 Hallintaskenaariot ja -skenaarioiden muuttajat | 27 |
| 4.6 LID-menetelmät ja niiden parametrit | 29 |
| 4.6.1 LID-menetelmille annettavien parametrien merkitykset | 29 |
| 4.6.2 Biosuodatuksen parametriarvot | 30 |
| 4.6.3 Sadevesisäiliöiden parametriarvot | 32 |
| 4.6.4 Lämpäisevien päällysteiden parametriarvot | 33 |
| 4.6.5 Viherkattojen parametriarvot | 36 |
| 4.6.6 Viivytyksrakenteen parametriarvot | 37 |
| 5 Tulokset ja niiden tarkastelu | 38 |
| 5.1 Mallin kalibrointi ja validointi | 38 |
| 5.1.1 Kalibroidut parametrit | 38 |
| 5.1.2 Kalibrointi- ja validointitulosten arviointi | 39 |
| 5.2 Työpajan ja haastatteluiden tulokset | 43 |
| 5.3 Hulevesien hallintaskenaarioiden vertailu | 46 |
| 5.3.1 LID-menetelmien toiminta pitkällä mallinnusajanjaksoilla | 46 |
| 5.3.2 LID-menetelmien toiminta mallinetuilla mitoitussateilla | 61 |
| 6 Johtopäätökset | 70 |
| Lähdeluettelo | 72 |
| Liiteluettelo | 78 |
| Liitteet | |

Merkinnät

| | |
|-------------|---|
| A | Varastoituneen veden pinnan pinta-ala [m ²] |
| A_s | Varastorakenteen pinnan pinta-ala [m ²] |
| C | Salaojan virtauskerroin [mm/h] |
| CS | <i>Conductivity slope</i> |
| D | Salaojan syvyys maan pinnasta [mm] |
| e | Huokoisuus |
| H_d | Salaojan korkeusasema rakennekerroksen pohjasta [mm] |
| h | LID rakenteeseen varastoidun veden syvyys [mm] |
| MEA | <i>Mean Absolute Error</i> , keskimääräinen absoluuttinen poikkeama |
| n_h | Huokosluku |
| NSE | <i>Nash-Sutcliffe efficiency</i> |
| $PBIAS$ | <i>Percent Bias</i> , suhteellinen poikkeama |
| $Q_{m,t}$ | Mallinnettu virtaama ajanhetkellä t [l/s] |
| $Q_{o,t}$ | Haivaittu virtaama ajanhetkellä t [l/s] |
| \bar{Q}_m | Mallinnetun virtaaman keskiarvo [l/s] |
| \bar{Q}_o | Havaitun virtaaman keskiarvo [l/s] |
| q | Salaojan virtaama [mm/h] |
| R^2 | Selitysaste |
| t | LID-rakenteen varaston tyhjenemisaika [h] |

Lyhenteet

| | |
|------|---|
| BMP | <i>Best Management Practice</i> |
| BS | Biosuodatus |
| DEM | <i>Digital Elevation Model</i> |
| LID | <i>Low Impact Development</i> |
| LP | Läpäisevä päällyste |
| PEST | <i>Model-Independent Parameter Estimation</i> |
| QGIS | <i>Geographic information system</i> |
| SUDS | <i>Sustainable Urban Drainage System</i> |
| SuDS | <i>Sustainable Drainage System</i> |
| SVS | Sadevesisäiliö |
| SWMM | <i>Storm Water Management Model</i> |
| VK | Viherkatto |
| VR | Viivytyksrakenne |
| WSUD | <i>Water Sensitive Urban Design</i> |

Kuvaluettelo

| | |
|--|----|
| Kuva 1. Hajautetun hulevesien hallinnan menetelmiä, joita voidaan soveltaa rakennetulla alueella (Sillanpää, 2015, muokattu lähteestä: CIRIA, 2013). | 11 |
| Kuva 2. Vallikallion valuma-alueen sijainti..... | 19 |
| Kuva 3. Ilmakuva Vallikallion valuma-alueesta ja valuma-alueen purkupiste..... | 20 |
| Kuva 4. Tutkimuksessa käytetty aineisto ja menetelmät..... | 22 |
| Kuva 5. Vallikallion valuma-alueen rajausta ja maankäyttö..... | 23 |
| Kuva 6. Yhdistelmäskenaarion menetelmät Vallikallion valuma-alueella SWMM-mallissa. Värit kuvaavat LID-menetelmien kattamaa prosenttiosuutta osavaluma-alueen pinta-alasta..... | 28 |
| Kuva 7. Mallinnettujen 1 m ³ /100 m ² biosuodatusalueiden pinta-alojen prosenttiosuudet pihojen pinta-aloista Vallikallion valuma-alueella..... | 32 |
| Kuva 8. Mallinnettujen 1 m ³ /100 m ² sadevesisäiliöiden pinta-alojen prosenttiosuudet kattojen kokonaispinta-aloista Vallikallion valuma-alueella..... | 33 |
| Kuva 9. Mallinnettujen 1 m ³ /100 m ² pihojen läpäisevät päällysteiden pinta-alojen prosenttiosuudet pihojen pinta-aloista Vallikallion valuma-alueella..... | 35 |
| Kuva 10. Mallinnettujen katujen läpäisevien päällysteiden pinta-alojen prosenttiosuudet kadun pinta-alasta Vallikallion valuma-alueella. Läpäisevät päällysteet katualueilla peittävät kevyenliikenteenväylät kokonaisuudessaan, joten läpäisevän päällysteen prosenttiosuus on 100 %..... | 35 |
| Kuva 11. Mallinnettujen viherkattojen pinta-alojen prosenttiosuudet kattojen kokonaispinta-alasta Vallikallion valuma-alueella. Viherkatot peittävät katot kokonaisuudessaan, joten prosenttiosuus kaikille katoille on 100 %..... | 36 |
| Kuva 12. SWMM profiilikuva viivytyrakenteen sijoittumisesta hulevesiverkostossa..... | 37 |
| Kuva 13. Kalibrointitapahtumien hetkellisen virtaaman kuvaajat tapahtumille (a) K1, (c) K2 ja (e) K3 ja kumulatiiviset valunnan kertymäkuvaajat tapahtumille (b) K1, (d) K2 ja (f) K3..... | 40 |
| Kuva 14. Validointitapahtumien hetkellisen virtaaman kuvaajat tapahtumille (a) V1, (c) V2 ja (e) V3 ja kumulatiiviset valunnan kertymäkuvaajat tapahtumille (b) V1, (d) V2 ja (f) V3..... | 42 |
| Kuva 15. Tiivistelmä työpajan ja haastatteluiden tuloksista..... | 44 |
| Kuva 16. Vuoden 2004 sateisen ajanjakson kumulatiivisen virtaaman kuvaajat hyvin vettä läpäisevällä maaperällä (a) biosuodatus- (BS), sadevesisäiliö- (SVS) ja läpäisevät päällysteet piholla -skenaariolle (LP), (b) läpäisevä päällyste katualueilla- (LP tiet), viherkatto- (VK), viivytyrakente- (VR) ja yhdistelmäskenaariolle..... | 48 |
| Kuva 17. Sadetapahtuman valuntakäyrä sateiselta ajanjaksolta hyvin vettä läpäisevällä maaperällä. Sadetapahtuman sademäärä oli 18,92 mm ja keskimääräinen intensiteetti 2,58 mm/h..... | 50 |
| Kuva 18. Vuoden 2006 vähäsateisen ajanjakson kumulatiivisen virtaaman kuvaajat hyvin vettä läpäisevällä maaperällä (a) biosuodatus- (BS), sadevesisäiliö- (SVS) ja läpäisevät päällysteet piholla -skenaariolle (LP), (b) läpäisevä päällyste katualueilla- (LP tiet), viherkatto- (VK), viivytyrakente- (VR) ja yhdistelmäskenaariolle..... | 52 |
| Kuva 19. Vuoden 2004 sateisen ajanjakson kumulatiivisen virtaaman kuvaajat huonosti vettä läpäisevällä maaperällä (a) biosuodatus- (BS) ja sadevesisäiliöskenaariolle (SVS), (b) läpäisevä päällyste-, (LP) viherkatto- (VK), viivytyrakente- (VR) ja yhdistelmäskenaariolle..... | 55 |
| Kuva 20. Sadetapahtuman valuntakäyrä sateiselta ajanjaksolta huonosti vettä läpäisevällä maaperällä. Sadetapahtuman sademäärä oli 18,92 mm ja keskimääräinen intensiteetti 2,58 mm/h..... | 57 |
| Kuva 21. Vuoden 2006 vähäsateisen ajanjakson kumulatiivisen virtaaman kuvaajat huonosti vettä läpäisevällä maaperällä (a) biosuodatus- (BS) ja sadevesisäiliöskenaariolle (SVS), (b) läpäisevä päällyste- (LP), viherkatto- (VK), viivytyrakente- (VR) ja yhdistelmäskenaariolle..... | 59 |
| Kuva 22. Kerran vuodessa toistuvan 10 minuutin sadetapahtuman valuntakäyrät (a) biosuodatus- (BS), läpäisevä päällyste piholla- (LP) ja sadevesisäiliöskenaariolle (SVS) (b) läpäisevä päällyste teillä- (LP_tiet), viherkatto- (VK), viivytyrakente- (VR) ja yhdistelmäskenaariolle. Tulvintaa ei tapahdu..... | 63 |
| Kuva 23. Kerran viidessä vuodessa toistuvan 10 minuutin sadetapahtuman valuntakäyrä (a) biosuodatus- (BS), läpäisevä päällyste piholla- (LP) ja sadevesisäiliöskenaariolle (SVS) (b) läpäisevä päällyste teillä- (LP tiet), viherkatto- (VK), viivytyrakente- (VR) ja yhdistelmäskenaariolle sekä tulvinta "ei LIDejä"-skenaariossa. Tulvinta on tulvahäviö, joka johtuu hulevesiviemärin ylikuormituksesta..... | 66 |
| Kuva 24. Kerran sadassa vuodessa toistuvan 10 minuutin sadetapahtuman valuntakäyrät (a) biosuodatus- (BS), läpäisevä päällyste piholla- (LP) ja sadevesisäiliöskenaariolle (b) läpäisevä päällyste teillä- (LP tiet), viherkatto- (VK), viivytyrakente- (VR) ja yhdistelmäskenaariolle. (c) Sama kuvaaja kuin (b), mutta mukana on "ei LIDejä"-skenaarion tulvinta eli tulvahäviö, joka johtuu hulevesiviemärin ylikuormituksesta..... | 68 |

Taulukkoluetelo

| | |
|--|-----------|
| <i>Taulukko 1. Hulevesien hallintaskenaarioiden mallinnuksessa käytetyt sadetapahtumat ja mallinnetut ajanjaksot.....</i> | <i>20</i> |
| <i>Taulukko 2. Vallikallion läpäisemättömän ja läpäisevän pinnan osuudet.....</i> | <i>24</i> |
| <i>Taulukko 3. Kalibrointi- ja validointitapahtumat.....</i> | <i>25</i> |
| <i>Taulukko 4. SWMM-ohjelmalla mallinnettavat LID-toiminnot (kuvat EPA SWMM 5.1. ohjelmasta. *Valinnainen.....</i> | <i>27</i> |
| <i>Taulukko 5. Mallinnettujen maaperien parametrit.....</i> | <i>29</i> |
| <i>Taulukko 6. Biosuodatuksen parametriarvot (¹Rossmann, 2010; ²Lehikoinen 2015).....</i> | <i>31</i> |
| <i>Taulukko 7. Sadeveisisäiliön parametriarvot.....</i> | <i>32</i> |
| <i>Taulukko 8. Läpäisevän päällysteen parametriarvot (Kling et al., 2015).....</i> | <i>33</i> |
| <i>Taulukko 9. Viherkaton parametriarvot (Krebs et al., 2015).....</i> | <i>36</i> |
| <i>Taulukko 10. Kalibroittavat parametrit, niiden lähtö-, minimi- ja maksimiarvot sekä kalibroinnissa saadut parametriarvot (¹Guan et al., 2014; ²Krebs et al., 2014; ³Engman, 1986; ⁴www.ejprescott.com ⁵www.fsl.orst.edu; ⁶www.engineeringtoolbox.com).....</i> | <i>38</i> |
| <i>Taulukko 11. Kalibrointi ja validointitapahtumien hyvyysluvut.....</i> | <i>41</i> |
| <i>Taulukko 12. Valuma-alueen vesitaseet eri skenaarioille hyvin vettä läpäisevällä maaperällä sateisena ajanjaksona. Suluissa prosenttiosuus kokonaissadannasta. LID salaojavalunta on osa purkupisteen valuntaa. SVS tarkoittaa sadeveisisäiliötä, BS biosuodatusaluetta, LP läpäisevää päällystettä, VK viherkattoa ja VR viivytyrakennetta. Tulvinta tarkoittaa viemäriverkoston hetkellistä ylikuormitusta... </i> | <i>47</i> |
| <i>Taulukko 13. LID-menetelmien pinta-alat ja niiden käsittelemät pinta-alat koko valuma-alueella. Suluissa prosenttiosuudet koko valuma-alueen pinta-alasta.....</i> | <i>49</i> |
| <i>Taulukko 14. Valuma-alueen vesitaseet eri skenaarioille hyvin vettä läpäisevällä maaperällä vähäsateisena ajanjaksona. Suluissa prosenttiosuus kokonaissadannasta. LID salaojavalunta on osa purkupisteen valuntaa. SVS tarkoittaa sadeveisisäiliötä, BS biosuodatusaluetta, LP läpäisevää päällystettä, VK viherkattoa ja VR viivytyrakennetta. Tulvinta tarkoittaa viemäriverkoston hetkellistä ylikuormitusta.....</i> | <i>51</i> |
| <i>Taulukko 15. Valuma-alueen vesitaseet eri skenaarioille huonosti vettä läpäisevällä maaperällä. Suluissa prosenttiosuus kokonaissadannasta sateisena ajanjaksona. LID salaojavalunta on osa purkupisteen valuntaa. SVS tarkoittaa sadeveisisäiliötä, BS biosuodatusaluetta, LP läpäisevää päällystettä, VK viherkattoa ja VR viivytyrakennetta. Tulvinta tarkoittaa viemäriverkoston hetkellistä ylikuormitusta... </i> | <i>54</i> |
| <i>Taulukko 16. Valuma-alueen vesitaseet eri skenaarioille huonosti vettä läpäisevällä maaperällä. Suluissa prosenttiosuus kokonaissadannasta vähäsateisena ajanjaksona. LID salaojavalunta on osa purkupisteen valuntaa. SVS tarkoittaa sadeveisisäiliötä, BS biosuodatusaluetta, LP läpäisevää päällystettä, VK viherkattoa ja VR viivytyrakennetta. Tulvinta tarkoittaa viemäriverkoston hetkellistä ylikuormitusta... </i> | <i>58</i> |
| <i>Taulukko 17. Maksimivirtaamat eri skenaarioissa vuoden 2004 sateiselta ajanjaksolta ja vuoden 2006 vähäsateiselta ajanjaksolta hyvin ja huonosti vettä läpäisevällä maaperällä. Suluissa maksimivirtaaman muutos "ei LIDejä"-skenaarioon verrattuna.....</i> | <i>60</i> |
| <i>Taulukko 18. Valuma-alueen vesitaseet eri skenaarioille kerran vuodessa toistuvalla rankkasateella. Suluissa prosenttiosuus sadannasta. SVS tarkoittaa sadeveisisäiliötä, BS biosuodatusaluetta, LP läpäisevää päällystettä, VK viherkattoa ja VR viivytyrakennetta. Tulvinta tarkoittaa viemäriverkoston hetkellistä ylikuormitusta.....</i> | <i>62</i> |
| <i>Taulukko 19. Maksimivirtaamat mitoitussateille eri skenaarioissa. Suluissa maksimivirtaaman muutos "ei LIDejä"-skenaarioon verrattuna.....</i> | <i>64</i> |
| <i>Taulukko 20. Valuma-alueen vesitaseet eri skenaarioille kerran viidessä vuodessa toistuvalla rankkasateella. Suluissa prosenttiosuus sadannasta. SVS tarkoittaa sadeveisisäiliötä, BS biosuodatusaluetta, LP läpäisevää päällystettä, VK viherkattoa ja VR viivytyrakennetta. Tulvinta tarkoittaa viemäriverkoston hetkellistä ylikuormitusta.....</i> | <i>65</i> |
| <i>Taulukko 21. Valuma-alueen vesitaseet eri skenaarioille kerran sadassa vuodessa toistuvalla rankkasateella. Suluissa prosenttiosuus sadannasta. SVS tarkoittaa sadeveisisäiliötä, BS biosuodatusaluetta, LP läpäisevää päällystettä, VK viherkattoa ja VR viivytyrakennetta. Tulvinta tarkoittaa viemäriverkoston hetkellistä ylikuormitusta.....</i> | <i>67</i> |

1 Johdanto

Moderni vesien hallinta alkoi 1800-luvun alussa, jolloin puhdasta vettä ja hygieniää alettiin arvostaa kasvavien kaupunkien myötä (Brown et al., 2008). Brownin et al. (2008) mukaan ympäristöstä, jonka ihmiset ajattelivat olevan puhdas, kuljetettiin vettä kaupunkeihin ihmisten käyttöön patojen ja putkistojen avulla. 1800-luvun keskivaiheilla kolera ja lavantauti levisivät Euroopassa epäpuhtaiden vesien takia. Tällöin aloitettiin viemäriverkostojen rakentaminen, jotta likaiset vedet saatiin johdettua pois kaupungeista. Viemäriin johdettiin sekä kaupunkien jätevedet että hulevedet. Ne päätyivät useimmiten viemäriverkostoa pitkin samoihin vesistöihin, joista puhdas vesi otettiin käyttöön. 1800-luvun lopulla Amerikassa siirryttiin erillisviemäröintiin, sillä suurten sateiden aikaan viemäreiden kapasiteetti ei ollut riittävä sekä jätevedelle että hulevedelle. Toisen maailmansodan jälkeen 1900-luvun puolivälissä kaupunkien kuivatuksessa otettiin askel eteenpäin ja hulevedet pyrittiin johtamaan pois nopeasti ja tehokkaasti. 1960-luvun lopulla ympäristötietoisuus lisääntyi ja vesistöjen kunnosta oltiin huolissaan. Huolestuneisuuden seurauksena jätevedenpuhdistamoilta tulevaa kuormituksen määrää alettiin rajoittaa ja sadevesien puhdistukseen kehiteltiin kosteikkoja ja erilaisia biosuodatusrakenteita.

Läpäisemättömän pinnan määrä on lisääntynyt kaupungistumisen myötä, mikä on muuttanut alueiden hydrologiaa ja veden luonnollista kiertokulkua. (Ashbolt et al., 2013; Butler & Davies, 2004; Shuster et al., 2005). Läpäisemätön pinta ja hulevesien johtaminen nopeasti hulevesiviemäriin johtaa tulvariskin kasvamiseen kaupunkialueilla (Butler & Davies, 2004). Kaupunkialueiden luonnollisen hydrologian palauttamiseksi alettiin kehittää menetelmiä jo 1970-luvulla. Pienen mittakaavan menetelmien tarkoitus oli estää kaupunkitulvat pienillä valuma-alueilla. Keinona käytettiin hulevesien viivyttämistä erilaisissa säiliöissä tai altaissa, jotta valuntapiikit pienentyisivät samalle tasolle kuin ennen rakentamista. 1980-luvulla hulevesien hallinnan tavoitteet laajenivat laadullisiin näkökulmiin. (Coffman & Clar, 2003.) Hulevedet heikentävät vesistöjen laatua, sillä valunnan mukana kulkeutuu orgaanista ja epäorgaanista ainesta viemäriverkoston kautta vastaanottavaan vesistöön. Läpäisemättömille pinnoille kertyneet liikenteen saasteet huuhtoutuvat sadeveten ja kulkeutuvat huleveden mukana vesistöön. (Borris et al., 2013; Butler & Davies, 2004.) Coffmanin ja Clarin (2003) mukaan toimenpiteistä huolimatta vesistöjen kunto heikentyi edelleen, joten 1990- ja 2000-luvun taitteessa kehitettiin uusia menetelmiä ja näkökulmia hulevesien hallintaan. Tuolloin alettiin ensimmäistä kertaa kehittää LID-menetelmiä (low impact development). LID tarkoittaa vaihtoehtoisia menetelmiä ja periaatteita, joilla pyritään vähentämään kaupungistumisen ja rakentamisen aiheuttamia hydrologisia vaikutuksia. LID-menetelmät ovat pienen mittakaavan menetelmiä, joita yhdistellään toisiinsa ja joiden avulla pyritään vaikuttamaan valuntaan sen syntypisteessä (Coffman ja Clar, 2003; Cheng et al., 2003).

Suomessa on tehty uusia hulevesiohjeistuksia kuten Kuntaliiton hulevesiopas (2012) ja eri kaupunkien hulevesiohjelmat, joiden myötä hulevesimallien hyödyntäminen yleistyy Suomessa. Suomessa tehty hydrologinen tutkimus keskittyy enemmän maaseutualueisiin kuin kaupunkialueisiin (Sillanpää, 2013). Tutkimusta kaupunkialueiden hydrologi-

asta sekä tietoa mallien ja hulevesien hallintamenetelmien soveltuvuudesta Suomen olosuhteisiin tarvitaan lisää. Tässä työssä hulevesien hallintaa tarkastellaan taajama-alueiden rankkasadetulvien hallinnan parantamisen ja maanpäällisten hulevesienhallintakeinojen edistämisen kannalta.

Tässä työssä rajattiin valuma-alue tiiviiltä kerrostaloalueelta Espoossa sijaitsevasta Vallikalliosta ja luotiin siitä SWMM-malli. Työn tavoitteena oli kalibroida ja validoida sadanta-valuntamalli Teknillisen korkeakoulun Vallikalliosta vuosina 2004-2006 keräämää sadanta-valunta-aineistoa vastaan. Vallikallion aluetta koskevaa tutkimusta ovat julkaisseet aikaisemmin esimerkiksi Kotola ja Nurminen (2003), Metsäranta (2003), Metsäranta et al. (2005), Tiihonen (2007), Aaltonen (2008), Sillanpää ja Koivusalo (2013; 2015a; 2015b) ja Sillanpää (2013). Työn tavoitteena oli arvioida erilaisten LID-menetelmien vaikutuksia sadannan aiheuttamaan hulevesiviemärin ylivirtaamiin ja kokonaisvirtaamaan erisuuruisilla yksittäisillä sadetapahtumilla ja pidemmällä ajanjaksoilla. Työssä muodostettiin erilaisia hulevesien hallintaskenaarioita kirjallisuuden ja sidosryhmähaastatteluiden avulla. Haastatteluiden tarkoituksena oli lisäksi selvittää hulevesien hallinnan ja LID-menetelmien nykytila Suomessa, kartoittaa rakenteiden suomalaisia mitoituskäytäntöjä ja ideoida tulosten esitystapaa. Hulevesien hallintaskenaariot mallinnettiin Storm Water Management Model-mallilla (SWMM). Hulevesien hallintarakenteille muodostettiin las kennalliset kuvaukset kirjallisuuteen perustuen. Työssä keskityttiin hulevesien määrälliseen hallintaan, ei niinkään laadulliseen. Hallintamenetelmien kustannusvaikutusten analysointi rajattiin työn ulkopuolelle.

2 Kirjallisuuskatsaus

2.1 Hulevesien hallinta

Kaupungistumisen myötä läpäisemättömän pinnan määrä on lisääntynyt, minkä seurauksena veden luonnollinen kiertokulku ja alueiden hydrologia ovat muuttuneet. Kaupungeissa maaperään imeytyy vähemmän vettä ja pintavalunnan määrä on suurempi kuin luonnontilassa. (Ashbolt, 2013; Butler ja Davies, 2004; Shuster et al., 2005.) Kasvillisuuden peittämän pinta-alan pienentyminen aiheuttaa lisäksi haihdunnan vähentymistä (Burns et al., 2012; Butler ja Davies, 2004; Shuster et al., 2005). Vesi kulkeutuu nopeammin läpäisemättömillä pinnoilla ja viemäreissä kuin luonnon rakentamattomilla pinnoilla. Veden määrän ja virtausnopeuden suurenemisen seurauksena hulevesiviemäreiden valuntapiikit kasvavat (Ashbolt, 2013; Butler ja Davies, 2004; Shuster et al., 2005; Wright ja Heaney, 2001). Esimerkiksi Ashboltin et al. (2013) tutkimus osoittaa läpäisemättömän pinnan lisääntymisen vaikutukset hulevesivirtaamiin. Perinteisen hulevesien hallintajärjestelmän tavoitteena on ollut saada sadevesi pois kaupunkialueelta mahdollisimman nopeasti, siten että kuivatus toimii, ja estää paikallisia tulvia. Perinteinen järjestelmä koostuu viemäriverkostosta ja mahdollisesti viivytysaltaasta ennen purkua vesistöön. Rakenteiden mitoitus perustuu suuriin, harvoin toistuviin sadetapahtumiin. Tällaiset rakenteet eivät nopeuta vain suurten sadetapahtumien jälkeisiä hulevesien virtausnopeuksia, vaan myös pienten sadetapahtumien jälkeisiä virtausnopeuksia. Perinteiset järjestelmät keskittyvät suuriin sadetapahtumiin unohtaen pienten hulevesivaluntojen arvon esimerkiksi kasteluvetenä. Pienet sadetapahtumat, jotka tuottaisivat vähän tai eivät ollenkaan valuntaa, tuottavat läpäisemättömällä pinnalla merkittävän määrän valuntaa. (Wright ja Heaney, 2001.)

Valunnan suhde sadantaan, eli valuntakerroin, ei ole valuma-aluekohtaisesti vakio. Valunnan määrä ei aina kasva samassa suhteessa sademäärän kanssa. Sillanpää ja Koivusalon (2014) mukaan valuntakerroin kasvaa, kun sademäärä tapahtuman aikana kasvaa. Sillanpää ja Koivusalo (2014) osoittivat, että on olemassa sadannan raja-arvo, jonka jälkeen valuntaa tuottava pinta-ala kasvaa. Kyseistä raja-arvoa suuremmilla sateilla valuntaa tuottavat myös läpäisevät pinnat. Sillanpää (2013) on määrittänyt Vallikalliassa sadannan raja-arvoksi 17,7 mm, jota suuremmilla sateilla valuntaa muodostuu myös läpäiseviltä pinnoilta. Suurilla sateilla kaupungistumisen vaikutukset pienenevät, sillä myös läpäisevät pinnat alkavat tuottaa valuntaa. Maaperällä on suuri vaikutus siihen, kuinka suurella sateella läpäisemätön pinta alkaa tuottaa valuntaa. Guanin et al. (2015a) mukaan 60 mm sadannan tuottama valunta voi muuttua maaperäparametreista riippuen jopa 20,1 mm, mikä tarkoitti Guanin et al. (2015a) tutkimuksessa 97,8 % lisäystä valunnassa. Maaperään vaikuttavia parametreja ovat sen kyllästynyt hydraulinen johtavuus, kapillaarinen imukorkeus ja alkuperäinen kosteus. Sadannan raja-arvo, jota suuremmilla sateilla läpäisevät pinnat alkavat tuottaa valuntaa, vaihtelee paljon maaperän laadun mukaan. Guanin et al. (2015a) tuloksissa sadannan raja-arvot vaihtelivat 17,5-39,4 mm välillä riippuen maaperälle annetuista parametreista. Mitä paremmin maaperä läpäisee vettä, sitä suurempi on

sadannan raja-arvo, jolla läpäisevät pinnat alkavat tuottaa valunnaa. Kaupunkialueilla tällaisia hyvin läpäiseviä alueita ei juurikaan ole, sillä läpäiseviltä alueilta on poistettu läpäisevä pintakerros, ja maaperä on tiivistynyt (Pitt et al., 2008.)

2.2 Hajautetun hulevesien hallinnan menetelmiä

Hajautettujen hulevesien hallintajärjestelmien tavoitteena on vähentää rakentamisen vaikutuksia kaupunkialueiden hydrologiaan. Hajautetut hallintajärjestelmät täydentävät perinteistä viemäriverkostoa vähentäen hulevesien määrää ja parantaen niiden laatua ennen veden johtamista hulevesiviemäriin. Järjestelmät koostuvat erilaisista pienimittakaavaisista varastorakenteista ja imeytysrakenteista. (Wright ja Heaney, 2001.)

Hajautetun hulevesien hallinnan lisääntyttyä sille kehittyi useita eri nimityksiä eri puolilla maailmaa. Termien määrittelyt poikkeavat hieman toisistaan niiden laajuudessa. Tässä työssä käytetään nimitystä *low impact development* (LID), jota käytettiin Pohjois-Amerikassa ja Uudessa-Seelannissa jo 1970-luvun lopulla. LID-menetelmien tarkoituksena on palauttaa rakennetun alueen luonnollinen hydrologia. LID-menetelmät tarkoittavat pienen mittakaavan hallintamenetelmiä lähellä valunnan synty pistettä, kuten bio-suodatusta, viherkattoja ja viherpainanteita. Muita termejä on esimerkiksi *sustainable urban drainage systems* (SUDS) tai *sustainable drainage systems* (SuDS), jonka käyttö alkoi vuonna 2000 Iso-Britanniassa ja Pohjois-Irlannissa julkaistuissa dokumenteissa. Termi käsittää hulevesien hallinnan erilaisia teknologioita ja tekniikoita, jotka ovat kestävämpiä ympäristön kannalta kuin perinteiset viemärintiratkaisut. *Water sensitive urban design* (WSUD) termi yleistyi Australiassa 1990-luvulla. Termi on määritelmältään laajin sisältäen vesitaseen hallinnan lisäksi laadun hallinnan, ympäristönsuojelun ja virkistyskäytön näkökulman. *Best management practices* (BMPs) termiä käytettiin alun perin Pohjois-Amerikassa ja Kanadassa. Termin alkuperä ei ole hulevesien hallinnassa vaan jätevesien käsittelyssä, jossa se tarkoitti pääasiassa rakenteettomia toimenpiteitä, kuten koulutusta ja kunnossapitoa. BMP laajeni myöhemmin tarkoittamaan sekä rakennettuja että rakenteettomia saastumisen estotoimenpiteitä. Sitä käytettiin Yhdysvaltojen hulevesiohjelmassa hulevesien laadunparantamisen yhteydessä 1980-luvun vaihteessa. Kun termiä käytettiin hulevesien hallinnan yhteydessä, siitä käytettiin tarkempaa määritelmää, joka sisälsi toimenpiteitä, tekniikoita tai rakenteita hulevesien hallintaan. (Fletcher et al., 2014.)

Hajautetun hulevesienhallinnan menetelmät perustuvat yleensä imeytykseen ja viivytykseen. LID-menetelmien avulla halutaan saada rakennettujen alueiden valunnan kesto ja toistuvuus mahdollisimman lähelle luonnollista tilaa käyttämällä vettä varastoivina, imeytäviä, viivyttäviä ja haihduttavia rakenteita (Coffman ja Clar, 2003). Kaupungistuminen vähentää pohjavalunnan määrää, sillä läpäisemätön pinta estää veden imeytymistä maaperään. Imeyttäminen toimii keinona palauttaa pohjavalunnan määrää maaperässä. (Fletcher et al., 2013). Imeytysratkaisuissa vesi pidätetään hetkellisesti, jonka jälkeen se imeytyy maaperään. Imeytysratkaisut jäljittelevät täten luonnonolosuhteita veden kiertokulun suhteen. Imeytysrakenteissa vesi voi varastoitua altaaksi maan pinnalle tai maan alle erilaisiin maaperäkerroksiin, joista se imeytyy maaperään. Kulkeutuessaan maakerrosten läpi vesi puhdistuu suodattamalla, biologisesti ja adsorption avulla. (Hvitved-Jacobsen et

al., 2010.) Imeytystekniikoita ovat esimerkiksi imeytyspainanteet ja -kaivannot, biosuodatus ja läpäisevät päällysteet. Imeytyksen tehokkuus riippuu alueen olosuhteista, erityisesti maaperän vedenläpäisevyydestä ja tukkeutumisen todennäköisyydestä. Viivytykseen perustuvat rakenteet säilyttävät vettä jonkin aikaa ja johtavat sen eteenpäin. Viivytyksen tarkoituksena on pienentää hulevesien ylivirtaamia ja vähentää vesistöihin päätyviä saasteita. Viivytysrakenteita ovat esimerkiksi viivytyksaltaat, viherkatot ja sadevesisäiliöt. (Fletcher et al., 2013.)

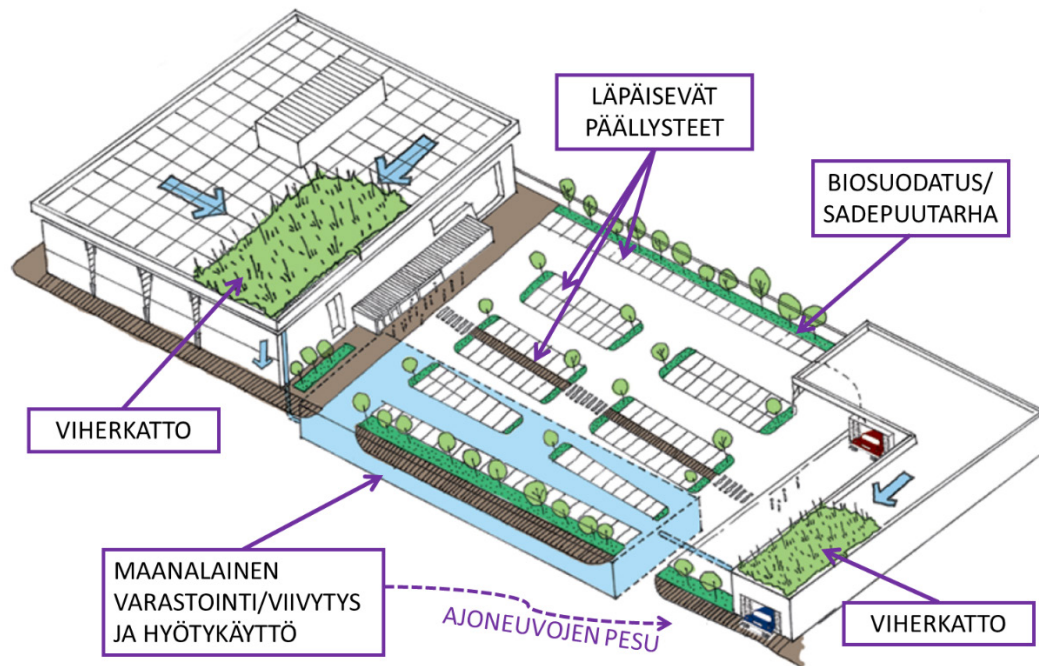
Coffmanin ja Clarin (2003) mukaan paras tapa saada kaupunkialueen hydrologia muistuttamaan luonnollista, on levittää hallintarakenteita tasaisesti valuma-alueelle. Tyypillisesti hajautettu hulevesien hallinta koostuu useasta LID-menetelmästä. Valuma-alueelle voidaan lisätä esimerkiksi useita biosuodatusalueita, viherpainanteita ja erottaa kattovedet viemäröintijärjestelmästä johtamalla vesi viheralueelle. Käyttämällä useita menetelmiä samanaikaisesti, saavutetaan suurempi hulevesien varastotilavuus helpommin. Hallintamenetelmien valinta ja määrä riippuu alueen ominaisuuksista, kuten maankäytöstä, maaperästä, geologiasta, pohjaveden pinnan korkeudesta, pohjaveden käytöstä ja purkuvesistön herkkyydestä. (Dhalla ja Zimmer 2010.)

Suomessa useiden kaupunkien hulevesiohjelmissa (Tampere, Espoo, Vantaa) on viime vuosina nostettu esille uusia periaatteita hulevesien käsittelyyn (Suomen Kuntaliitto, 2012). Ensisijaisena menetelmänä on mainittu hulevesien synnyn ehkäisy esimerkiksi läpäisevien pintojen ja viherkattojen avulla. Toisena menetelmänä mainitaan usein huleveden hyödyntäminen syntypaikalla esimerkiksi imeyttämällä, sadevesisäiliöiden avulla ja sadepuutarhojen kasteluvetenä. Imeytettäessä hulevesien laatu paranee, vesi puhdistuu maaperän fysikaalisten, kemiallisten ja biologisten ominaisuuksien ansiosta. Kun imeytysrakenteen huokokset pidättävät vettä hetkellisesti, tämä tasaa yli- ja alivirtaamia. Imeytysmenetelmät vähentävät hulevesimääriä, mutta eivät toimi tulvien hallinnassa sellaiseenaan, mutta lisäksi voidaan käyttää viivytyksrakenteita. Tulville on joka tapauksessa suunniteltava omat tulvimisreitinsä.

2.2.1 Hajautettu hulevesien hallinta vanhoilla kaupunkialueilla

Pienen mittakaavan hajautettuja LID-menetelmiä voidaan integroida jälkikäteen alueiden viheralueille, parkkipaikoille, rakennuksiin, maisemointiin ja katukuvaan (Coffman ja Clar, 2003). Hulevesien luonnonmukainen hallinta olemassa olevilla alueilla on kuitenkin haastavampaa verrattuna rakenteilla oleviin alueisiin. Hulevesien luonnonmukaisten hallintarakenteiden rakentaminen jälkeenpäin tulee kalliimmaksi kuin uusille alueille rakentaminen. (Pitt ja Clark, 2003, Schueler et al., 2007.) Vanhoilla kaupunkialueilla ei usein ole tilaa suurille hallintarakenteille, joten näille alueille sopivat parhaiten pieneen tilaan sopivat rakenteet, jotka parantavat vedenlaatua ja vähentävät virtaamia (Schueler et al., 2007). Hyviä esimerkkejä tällaisista rakenteista ovat kattojen irtikytkentä viemäriverkostosta ja kattopinnoille satavan veden käsittely, imeyttäminen, pienet biosuodatusalueet pihoilla, viherpainanteet ja läpäisevät päällysteet. (Pitt ja Clark, 2003; Schuelet et al., 2007). Suuren mittakaavan menetelmiä ovat pitempiäaikainen viivytyks suurissa altaissa, lammet, kosteikot ja suuret biosuodatusalueet. Nämä vaativat tilaa, eivätkä sovi todella tiheään rakennetuille alueille. Mahdollisia sijoituspaikkoja tilaa vaativille menetelmille

ovat esimerkiksi jo olemassa olevien lampien muokkaus, tierumpujen päälle rakennettavat varastot tai purkupisteen kohdalle rakennettavat altaat. (Schueler et al., 2007.) Kuvassa 1 on esitetty mitä hajautettu hulevesien hallinta rakennetuilla alueilla voisi tarkoittaa. Ostoskeskuksen parkkipaikoilla on käytetty läpäisevää päällystettä, parkkipaikkojen reunoilla on biosuodatusalueita, katoilla on viherkattoa ja hulevettä varastoidaan hyötykäyttöön.



Kuva 1. Hajautetun hulevesien hallinnan menetelmiä, joita voidaan soveltaa rakennetuilla alueilla (Sillanpää, 2015, muokattu lähteestä: CIRIA, 2013).

Rakennetuille alueille jälkepäin rakentamista kutsutaan englanniksi termillä ”*retrofitting*”. Termillä tarkoitetaan rakennettujen alueiden kunnostusta. Hulevesien tapauksessa *retrofitting* tarkoittaa olemassa olevan hulevesien hallintajärjestelmän parantamista menetelmillä, jotka poistavat vedestä saasteita ja edistävät luonnollista hydrologiaa kaupunkialueilla. Rakennettu alue asettaa enemmän rajoituksia hulevesien hallintarakenteille esimerkiksi tilan suhteen kuin uusi alue, joten suunnittelu on vaativampaa. *Retrofit*-rakentamisen päämääränä voi olla olemassa olevan hulevesiverkoston toiminnan parantaminen tai tulvaongelmien ratkaiseminen. Lisäksi uusia hulevesien hallintaratkaisuja rakennetaan olemassa oleville alueille esittely- ja koulutustarkoituksessa. Tällöin tietoisuus hallintaratkaisujen olemassa olosta lisääntyy ja niiden käyttö yleistyy muuallakin. Luonnonmukaisten hallintarakenteiden päämääränä voi olla myös saasteiden ja roskien pääsyn estäminen vesistöön, virtaaman vähentäminen sekaviemäreissä, vesistön kunnostus tai eroosion ehkäiseminen alajuoksulla. (Schueler et al., 2007.)

Vaihtoehtoisten hulevesijärjestelmien rakentaminen jo rakennetuille alueille voi olla kallista, mutta siitä on saatavilla myös ihmisten hyvinvointiin liittyviä etuja. Wolfin (2005) mukaan luonto lisää työtehoa, vähentää stressiä ja parantaa koululaisten suorituskykyä. Lisäksi viheralueet lisäävät ihmisten viihtyvyyttä ja ulkoilumahdollisuuksia. LID-mene-

telmien kustannuserot vaihtelevat paljon. Schueler et al. (2007) laskivat LID-menetelmien rakennuskustannuksia suhteessa niiden käsittelemään vesimäärään. Heidän mukaansa halvimpia vaihtoehtoja rakennetuille alueille olivat lammikot, sadepuutarhat ja uusien varastojen lisääminen. Kalleimpia olivat viherkatot, läpäisevät päällysteet sekä maanalaiset suodatusjärjestelmät. Kustannustehokkaimpia olivat menetelmät, jotka käsittelevät vettä suurelta alueelta. Menetelmien kustannukset riippuvat paljon paikallisista olosuhteista ja kriteereistä joilla menetelmiä vertaillaan. Schuelerin et al. (2007) tutkimuksessa yksikkökustannukset samalle menetelmälle vaihtelivat paljon, esimerkiksi altainen ja biosuodatuksen yksikkökustannusten erot olivat halvimman ja kalleimman välillä yli 100-kertaiset. Dhallan ja Zimmerin (2010) mukaan uudisrakentamisalueilla on onnistuttu säästämään LID-menetelmien avulla hulevesijärjestelmän kokonaiskustannuksissa.

2.2.2 Biosuodatus

Biosuodatusalueet ovat kehittyneet huleveden viivytyksaltaista, joissa käytettiin kasvillisuutta. Kasvillisuutta käyttämällä voidaan vähentää hulevesien määrää perustuen transpiraatioon kasvien pinnoilta. Maaperästä riippuen biosuodatuksessa voidaan suodattaa vettä pohjan läpi maaperään tai eristää rakenne vesitiiviiksi. Kasvillisuuden avulla päästään lähemmäs veden luonnollista kiertokulkua kuin viivyttämällä hulevettä viivytyksaltaissa, joissa ei ole kasvillisuutta. (Cahill, 2012.) Clarin et al. (2008) mukaan Koko biosuodatusalueen pinnalla on suositeltavaa käyttää kasvillisuutta. Kasvillisuus edistää juuriston avulla biosuodatusalueen vedenläpäisevyyttä ja ehkäisee sedimentin aiheuttamaa tukkeutumista.

Biosuodatusalueet sopivat pienten vesimäärien käsittelyyn, ne viivyttävät, suodattavat, imeyttävät ja puhdistavat hulevesiä. Biosuodatusalue koostuu kasvillisuuskerroksesta, jonka alla on suodattava kerros sekä salaojakerros. Hyvin vettä läpäisevällä maaperällä hulevesien käsittelyyn biosuodatuksella ei tarvita kuin kasvillisuuskerros ja pinnan muotoilu. Heikosti vettä läpäisevässä maaperässä salaojitus johtaa ylimääräisen veden eteenpäin. Vesi voi lammikoitua hetkellisesti biosuodatusalueelle, joten käytetyn kasvillisuuden tulee kestää sekä kuivuutta että kosteutta. Sopivia kasveja ovat esimerkiksi pajut, lepät ja rentukat. Biosuodatusta voidaan käyttää piha- ja puistoalueilla sekä pysäköinti- ja liikennealueilla. Tiealueilta ja lumenkaatopaikoilta syntyy keväisin erityisen likaisia hulevesiä, jotka voidaan puhdistaa peräkkäisillä hulevesienhallintarakenteilla ja käyttämällä oikeanlaista puhdistavaa kasvillisuutta. (Suomen Kuntaliitto, 2012.)

Biosuodatus puhdistaa hulevesiä kasvillisuuden avulla, kun vesi saa viipyä rakenteessa. Suodatuskerroksen aineksen valinta on rakenteen toiminnan kannalta tärkeää. Aineksen vedenläpäisevyys ja vedenpidätyskyky vaikuttavat kasvillisuuden selviytymiseen ja epäpuhtauksien poistumiseen. Joissakin tapauksissa halutaan välttyä veden imeytymiseltä maaperään esimerkiksi maaperän tai pohjaveden saastumisherkkyyden ja likaisten hulevesien vuoksi. Biosuodatusalue tulee varustaa ylivuotoreitillä, jotta varastokapasiteetin ylittyessä ylivuotovedet pääsevät virtaamaan hallitusti eteenpäin. Usein ylivuotoreitti kuljettaa veden hulevesiviemäriin. (Melbourne Water, 2005.)

Talvisin biosuodatuksen teho laskee maan jäätyessä. Suodatuskerrosten jäätymistä on hyvä ennaltaehkäistä kuivatuksen avulla eli asentamalla rakenteeseen salaoja. Rakenteen on tarkoitus olla kuiva kylmän kauden alkaessa, jolloin suodatuskerros ei tukkeudu jäästä. Rakenne on toiminnassa heti, kun sade- tai sulamisvesiä virtaa rakenteeseen. (Caraco ja Claytor, 1997.)

Sadepuutarha on variaatio biosuodatusalueesta ja sadepuutarha nimellä halutaan kuvailla enemmän biosuodatusalueiden maisemallisia merkityksiä. Sadepuutarhat hallitsevat hulevesiä kuten biosuodatusalueet eli varasotimalla veden kasvillisuuden peittämille alueille ja imeyttämällä vettä maaperään, jos maaperän olosuhteet sen sallivat (Cahill, 2012). Huleveden määrän vähentämisen ja ylivirtaamien pienentämisen lisäksi vedestä suodatuu haitta-aineita maaperään. Cahillin (2012) mukaan voidaan rakentaa joustavasti erikoisia sadepuutarhoja. Ne voivat hyvin täydentää muita hulevesien hallintamenetelmiä, kuten läpäiseviä päällysteitä ja imeytyskaivantoja. Sadepuutarhat sopivat retrofit-alueille, sillä niitä voidaan integroida rakennettuun ympäristöön. Sadepuutarhat soveltuvat alueille joiden maaperän läpäisevyys on vähintään 6,35 mm/h. Muutoin voidaan käyttää salaojittusta tai maanmuokkausta, jotta veden poistuminen rakenteesta varmistuu. Sadepuutarhat ovat osa maisemallista suunnittelua, lisäksi ne parantavat huleveden laatua ja vähentävät hulevesimääriä. Sadepuutarhojen on raportoitu poistavan suuria määriä kiintoainesta (70-90 %), keskivertomääriä fosforia (n. 60 %) ja kokonaistyyppiä (40-50 %). Sadepuutarhoille on muistettava järjestää ja suunnitella ylläpito, jotta rakenteen toiminta on pitkäikäistä. Ylläpitotoimenpiteitä ovat esimerkiksi tarpeellinen kastelu, rikkaruohojen kitkeminen, sedimentin poisto ja eroosioaurioiden korjaus. (Cahill, 2012.)

2.2.3 Sadevesisäiliöt

Sadevesisäiliöt varastoivat pääasiassa katoille satavaa vettä ja niitä voidaan käyttää niin asuinalueilla kuin teollisuus- tai ostoskeskusalueilla. Asuinalueilla sadevesisäiliöiden tilavuudet ovat tyypillisesti noin 190-400 litran välillä. Sadevesisäiliöt sopivat hyvin rakennetuille alueille, sillä niiden asentaminen on helppoa ja kustannukset ovat alhaiset. Ne vaativat alueen johon vedet voidaan purkaa eli tiiviiseen kaupunkiympäristöön voi olla vaikea lisätä kasteluun tarkoitettuja sadevesisäiliöitä. (Schueler et al., 2007.) Yleensä sadevesisäiliöihin kerätty vesi menee hyötykäyttöön esimerkiksi kasteluun. Sadevesisäiliöitä on hyvä sijoittaa paikkoihin, joissa viheralueet vaativat muutenkin kastelua. Sadevettä voidaan käyttää myös muihin käyttötarkoituksiin, kuten WC:n huuhteluun. Sadevesisäiliön vedestä on mahdollista valmistaa juomavettä, tällöin vesi vaatii ainakin suodatuksen ja desinfiointin. (Cahill, 2012.)

Cahillin (2012) mukaan sadevesisäiliöihin voidaan varastoida kerran kahdessa vuodessa toistuvan tai pienemmän rankkasateen sadevedet riippuen katon ominaisuuksista ja sadeveden keräyspisteiden määrästä. Sadevesisäiliön tulee olla tarpeeksi iso, jotta säiliössä on tilaa tiheästi toistuville sateille. Myös alueen topografia on hyvä ottaa huomioon. Sadevesisäiliö on hyvä asettaa korkealle paikalle, jotta vettä ei jouduta pumpaamaan hyötykäyttöpaikalle. Sadevesisäiliön toimivuus riippuu myös ilmasto-olosuhteista. Pallan et al. (2012) mukaan Suomen kaltaisissa Pohjois-Euroopan olosuhteissa saadaan parhain hyöty

sadevesisäiliöistä, sillä sadetapahtumat ovat pieniä ja niitä esiintyy tasaisin väliajoin tarpeeksi tiheästi. Talvisin sadevesisäiliöiden jäätyminen estetään tyhjentämällä säiliöt ennen niiden jäätymistä ja ottamalla ne pois käytöstä talven ajaksi (Schueler et al., 2007). Toinen vaihtoehto on asentaa sadevesisäiliö lämpimiin sisätiloihin, missä se ei pääse jäätymään. Sadevesisäiliöt tulee varustaa ylivuotoreitillä, joka johtaa vedet yleensä hulevesiviemäriin.

2.2.4 Lämpäisevät päällysteet

Lämpäisevä päällyste koostuu pintakerroksesta, jonka alla ovat kiviaineksesta koostuvat rakennekerrokset ja pohjalla olevasta suodatinkerroksesta tai -kankaasta (Kling et al., 2015). Lisäksi rakenteessa on mahdollisesti salaoja huleveden johtamiseksi eteenpäin, mikä on tarpeellista varsinkin ympäröivän maaperän ollessa heikosti vettä lämpäisevää. Hulevesi varastoituu hetkellisesti rakennekerroksen huokostilaan, kunnes se imeytyy tai johdetaan eteenpäin. Lämpäiseviä päällysteitä voidaan käyttää alueilla, joilla liikennemäärät ovat pieniä, kuten asuinkorttelien pysäköintialueilla, tonttiväylillä ja kevyen liikenteen väylillä. Pysäköintialueilla voidaan käyttää lämpäiseviä päällysteitä pysäköintiruuduissa. Lisäksi lämpäiseviä päällysteitä voidaan käyttää aukioilla, toreilla, peli- ja leikkikentillä ja liikenteenjakaajilla. Pohjamaan routivuus ja kosteusolosuhteet heikentävät usein rakenteen kantavuutta, joten lämpäisevän päällysteen alueeseen ei saa kohdistua suurta kuormitusta. (Kling et al., 2015.) Suomen Kuntaliiton (2012) mukaan Suomessa käytetyt tavanomaiset pysäköinti- ja liikennealueiden rakennekerrokset ovat riittäviä lämpäiseville päällysteille. Pohjamaan ominaisuudet ja vaadittu kantavuus määrittävät rakennekerrosten paksuuden. Huokoisia päällysteitä on eri materiaaleista eri tarkoituksiin ja olosuhteisiin. Materiaaleja ovat esimerkiksi lämpäisevä bitumipäällyste, betoni tai katukiveys ja vahvistettu sora tai nurmikko. (Cahill, 2012.)

Tavallisen katurakenteen mitoituksen määräävät pääasiassa kantavuus ja kuormitus. Lämpäiseviä päällysteitä käytettäessä mitoituksessa määrää myös hydrologia. Kantavuusvaatimukset ja pohjamaan ominaisuudet, kuten kantavuus, vedenlämpäisyys ja pilaantumisherkkyyys, määräävät paljonko vettä pitää imeyttää ja johtaa pois. Riittävän lämpäisevällä maaperällä (hydraulinen johtavuus enemmän kuin 3,6 mm/h) rakenne voi olla avoin, jolloin ei tarvita erillistä kuivatusrakennetta ja vesi imeytyy maaperään. Kohtalaisesti lämpäisevällä maaperällä (hydraulinen johtavuus vähemmän kuin 3,6 mm/h) osa hulevedestä imeytetään ja osa johdetaan muualle salaojassa tai varastoidaan. Heikosti vettä lämpäisevällä maalla, pohjavesialueilla tai pilaantumisherkillä alueilla hulevesiä ei imeytetä maahan, vaan rakenteessa on eriste ja vedet johdetaan salaojaputkissa pois. (Kling et al. 2015.)

Lämpäisevän päällysteen kerrosten mitoittaminen vesimäärän suhteen ei ole Suomen Kuntaliiton (2012) mukaan tarpeen, jos alueelle ei johdeta ympäristön hulevesiä. Tällöin voidaan pitää riittävänä kantavan kerroksen minimipaksuutta, joka on 100-150 mm. Suomen Kuntaliiton (2012) mukaan rakenteen ja pohjaveden pinnan välinen etäisyys tulee olla vähintään yksi metri. Lisäksi rakenteen pinnan ja valuma-alueen kaltevuuden tulee olla vähemmän kuin 5 %. Jos kaltevuus on suuri, pintoja täytyy porrastaa. Rakennusten alle sijoitettujen imeytysmenetelmien suojaetäisyys rakennuksista on vähintään kolme metriä

ja rakennusten yläpuolelle sijoitettujen vähintään 10 metriä. Klingin et al. (2015) perusteella optimaalinen huokoisuus läpäisevälle betonille on 20 %, tyyppillisten arvojen välillä 11-35 % välillä.

Suomen Kuntaliiton (2012) mukaan ylivuodoille tulee rakentaa maanpäällinen reitti tai salaoja maan alle. Cahillin (2012) mukaan läpäisevän päällysteen karkeaan varastokerrokseen voidaan rakentaa ylivuotojen hallintajärjestelmä, jolloin vesi ei nouse päällysteen yläpuolelle rankkasateilla.

Useassa tutkimuksessa (Pratt et al., 2002; Brattebo ja Booth, 2003; Bean et al., 2007; Cahill, 2012;) on todettu, että läpäisevät päällysteet voivat poistaa tehokkaasti joitakin haitta-aineita hulevesistä. Suomen Kuntaliiton (2012) mukaan taas läpäisevien päällysteiden puhdistusvaikutus on mitätön. Cahillin (2012) mukaan rakennekerrokseen jäävät esimerkiksi kiintoaine, metallit, öljy ja rasva. Pienillä sateilla systeemistä ei synny valuntaa, jolloin haitta-aineet jäävät rakenteeseen eivätkä kulkeudu vastaanottavaan vesistöön. Pienillä sateilla läpäisevä päällyste pystyy käsittelemään kaiken veden, jolloin se toimii hyvin veden laadun parantamisessa. Kuitenkin suurin osa saasteista pääsee läpäisevän päällysteen ja rakennekerrosten läpi, jolloin täytyy varmistaa, ettei huleveden mukana pääse myrkyjä tai haitta-aineita pohjavesiin joko hulevedestä itsestään tai maaperästä. (Cahill 2012.)

Läpäisevät päällysteet tukkeutuvat ajan myötä. Tukkiva materiaali jää yleensä pintakerrokseen tai kiviaineskerroksen yläpuolelle, joten tärkeä huoltotoimenpide on pintakerroksen puhdistaminen säännöllisesti. Hienoa sedimenttiä voi kulkeutua jonkin verran myös alempiin kerroksiin. 1-2 kertaa vuodessa tehtävien mittausten avulla tiedetään, milloin puhdistukselle on tarvetta. (Kling et al. 2015.) Suomen Kuntaliiton (2012) mukaan läpäisevä päällyste tulee puhdistaa kerran vuodessa keväisin. Läpäisevän päällysteen kunnossapito riippuu käytetyistä materiaaleista. Sitomattomia pintoja lanataan, läpäisevää asfalttia pestään ja kiveyksien nurmisaumoja voidaan ilmastoida.

Kylmissä olosuhteissa läpäisevien päällysteiden toimivuutta rajoittaa jää tai lumi päällysteen pinnalla. Lisäksi lumen mukana kulkeutuu läjityksen myötä läpäiseviä päällysteitä tukkivaa materiaalia, kuten hiekoitushiekkaa. Jos hiekoitus läpäisevän päällysteen alueella on tarpeen, tulee hiekan olla karkeaa, jotta se ei tuki päällysteen huokosia. Lumen poistaminen imeyttäviltä pinnoilta on suositeltavaa rakenteen toimivuuden parantamiseksi. Läpäisevä päällyste voi toimia talvella, kun olosuhteet otetaan huomioon routamitoituksessa ja kunnossapidossa. Esimerkiksi Roseenin et al. (2009) New Hampshiren kylmiin ilmasto-olosuhteisiin sijoittuvan tutkimuksen mukaan suodattavat ja imeyttävät menetelmät toimivat talvella. Talviaikaisen toimivuuden edistämiseksi, on tärkeää käyttää riittävän karkeaa materiaalia suodatus-/imeytyskerroksessa tai salaojittaa rakenne. Talviaikaisten sateiden aiheuttama valunnan johtamiseen hulevesiviemäriin tai muuhun johtamisjärjestelmään tulee varautua. Läpäisevien päällysteitä on hyvä suolata talviaikaan mahdollisimman vähän. Erityisesti pohjavesialueilla suolan käyttö on haitallista. (Kling et al., 2015.)

Hulevesien imeytystä ja viivyttämistä pidetään kustannustehokkaana vaihtoehtona, sillä niiden avulla voidaan säästää hulevesien viemärointi- tai muun käsittelytarpeen vähentämisessä. Lämpäisevien päällysteiden rakennus- ja ylläpitokustannukset ovat jonkin verran korkeammat kuin perinteisellä päällysteellä. Lämpäisevien päällysteiden ympäristövaikutukset ovat vähäisemmät, sillä ne aiheuttavat pienemmän hiilijalanjäljen kuin lämpäisemättömät päällysteet. (Kling et al., 2015.) Varesin ja Pulakan (2014) mukaan elinkaarikustannukset ovat alhaisimmat vettä lämpäisevällä päällysteellä, jos vesi voidaan imeyttää maaperään. Jos taas tarvitaan lisäksi veden poisjohtamista, on ratkaisu kalliimpi kuin perinteinen asfaltti. Perinteisen päällysteen elinkaarikustannukset asettuvat edellisten väliin.

2.2.5 Viherkatot

Viherkattojen suosio on kasvanut maailmanlaajuisesti ja Suomessakin mielenkiinto viherkattoja kohtaan on herännyt (Veuro et al., 2012). Viherkattoja on monenlaisia ohutrakenteisista paksuihin ja painaviin. Paksurakenteista viherkattoa voisi kuvailla kattopuutarhaksi, jonka kasvualusta on paksumpi ja kasvillisuus korkeampaa. Kasvillisuus vaatii paljon huolenpitoa ja kastelua. Ohuemman viherkaton kasvillisuus on matalaa, kasvualusta ohuempi ja ne eivät vaadi paljoa kastelua, sillä kasvillisuus kestää kuivuutta hyvin. (Connop et al., 2013.) Kuumuutta ja kuivuutta kestäviä kasveja ovat esimerkiksi maksaruoho ja sammalkasvillisuus, jotka vaativat ohuen kasvualustan ja ovat helppohoitoisia. Kattomateriaalista ei saa liueta haitallisia aineita sadevesiin. Viherkattoja voidaan rakentaa myös ohutrakenteisina, jolloin niitä voidaan käyttää katoilla, joiden kaltevuus on jopa 45 astetta. Ohut rakenne ei aseta erityisiä kantavuusvaatimuksia, vaan niitä käytetään normaalien kattomateriaalien sijasta. (Suomen Kuntaliitto 2012.) Viherkattorakenteessa voi olla vaihteleva määrä erilaisia kerroksia. Yleensä kerrokseen kuuluu ainakin kasvit, kasvualusta, juurisoja, vedeneriste ja tasakatoilla usein salaojakerros. Juurisoja, vedeneriste ja salaojakerros ovat usein valmistettu muovista. (Veuro et al., 2012.)

Viherkattojen merkityksen valunnan vähentämisessä tiiviisti rakennetuilla alueilla ovat todenneet mm, Berndtsson (2010) ja Oberndorfer et al. (2007). Viherkatot pystyvät varastoimaan sadevettä, josta osa kulkeutuu salaojaan ja osa haihtuu. Haihdunta aiheuttaa havaitun muutoksen hulevesivalunnassa. Viherkaton vedenpidätyskykyyn vaikuttavat sen rakennekerrosten ominaisuudet, kuten kerrosten lukumäärä, paksuudet, materiaalit ja pinnan kasvillisuus. Lisäksi viherkaton toimintaan vaikuttavat katon kaltevuus ja ilmasto-olosuhteet. Varsinkin lämpimänä kautena viherkattojen haihdunta tehostuu. Schrollin et al. (2011) mukaan viherkattojen toiminta heikkenee viileänä sateisena kautena, sillä kasvillisuuden vedenkäyttö laskee. Viileissä olosuhteissa viherkattoon tulisi valita kasvillisuutta, joka on aktiivista myös viileänä kautena. Talvisin, kun on lunta, viherkatot eivät ole aktiivisia. Tällöin tulee ottaa huomioon, ettei vesi kerääny viherkatolle ja pääse jäätymään. Lunta katolta poistettaessa jätetään viherkaton kasvillisuuden suojaksi ohut (10-15 cm) lumikerros. (Suomen Kuntaliitto, 2012.) Viherkattojen laadulliset vaikutukset saattavat olla huleveden laatua heikentäviä. Kuoppamäen et al. (2016) mukaan viherkattoilta lähtevän veden ravinnepitoisuudet ovat suurempia kuin sadeveden ja varsinkin fosforipitoisuudet kasvavat. Viherkattoilla ei tule käyttää lannoitteita tai kasvualustan materiaaleja, joista huuhtoutuu huomattavasti ravinteita huleveteen.

2.2.6 Viivytyksrakenteet

Hulevesien viivytyksrakenteet pidättävät ja viivyttävät hulevesivirtaamia ja vapauttavat ne vähitellen eteenpäin. Viivytyksrakenteet ovat yleensä rakennettuja altaita tai kaivantoja. (Suomen Kuntaliitto, 2012.) Sansalonen ja Hirdin (2003) mukaan viivytyksrakenteiden tarkoitus hulevesien varastoinnin ja viivytyksen lisäksi on myös hulevesien saasteiden laskeuttaminen. Viivytyksaltaiden suunnittelussa on haasteellista yhdistää erilaisten suunnittelutavoitteiden edellyttämät rakenteen tyhjentymisajat. Usein rakenteelta edellytetään nopeaa tyhjentymistä, jotta altaan kapasiteetti on käytettävissä seuraavaa sadetapahtumaa varten, kun taas huleveden puhdistaminen edellyttää yleensä pitkiä viipyymiä. Sansalonen ja Hirdin (2013) mukaan partikkelien laskeuttamiseksi viivytyksrakenteen tyhjenemisajan tulee olla noin 24-48 tuntia. Suomen Kuntaliiton (2012) mukaan hulevesien viivytyksrakenteen viivytystilavuuden tulisi tyhjentyä 24 tunnissa sadetapahtuman jälkeen, jotta rakenne on käytettävissä seuraavaa sadetapahtumaa varten. Viivytyksrakenteen ylläpitoon kuuluu sedimenttien poisto rakenteen pohjalta ja altaaseen kertyvän kasvillisuuden poisto (Sansalonen ja Hird, 2003). Sedimentin poisto on tärkeää varsinkin rakenteilla, joissa vesi viipyy pitkään.

2.2.7 Muut menetelmät

Aikaisemmissa kappaleissa esitetyt menetelmät ovat niitä, jotka valittiin tässä työssä mallinnettaviksi. Lisäksi on olemassa useita muita hallintamenetelmiä, joilla voidaan vähentää hulevesiviemärin valuntaa. Muita menetelmiä ovat esimerkiksi imeytyskaivannot, viherpainanteet, kattojen irtikytkentä hulevesiviemäriverkostosta, erisuuruiset kosteikot ja lammikot sekä erilaiset suodatusmenetelmät.

Imeytyskaivanto on täytetty karkealla kiviaineksella ja sen pinta on tyypillisesti avoin eli kasvillisuuskerrosta tai muuta maaperäkerrosta ei kiviaineksen päällä ole. Imeytyskaivanto voidaan sijoittaa myös maan alle. Maanalaiset imeytyskaivannot sopivat vähän epäpuhtauksia sisältävien hulevesien käsittelyyn. Hulevesi varastoituu kaivannon huokostilaan ja imeytyy pikkuhiljaa ympäröivään maaperään. Kaivannot tarvitsevat hulevesien esikäsittelyn, jotta järjestelmä ei tukkeudu kiintoaineksesta. Esikäsittelyksi soveltuu viherpainanne, kasvillisuuden peittämä pintavaluntakaista tai pieni viivytyksallas. (Suomen Kuntaliitto, 2012.)

Viherpainanteet ovat hulevesiä johtavia rakenteita avo-ojien tapaan, mutta niiden rakenteet eroavat toisistaan. Viherpainanteet ovat matalia ja niiden liuskat ovat loivat, toisin kuin avo-ojien. Lisäksi ne ovat täysin nurmella tai muulla kasvustolla verhoiltuja. Viherpainanteet on tarkoitettu johtamaan pintavaluntaa, mutta niillä voidaan myös käsitellä hulevesiä imeyttämällä ja suodattamalla. Painanteen pituuskaltevuuden tulisi olla alle 5 % ja jyrkemmissä kohdissa tulisi käyttää porrastusta tai patorakenteita. Viherpainanteen leveys voi vaihdella paljon. Pienet luiskineen noin metrin levyiset painanteet johtavat virtaamia, kun laajat pohjaltaan jopa kahden metrin levyiset painanteet viivyttävät ja johtavat laajojen alueiden virtaamia. (Suomen Kuntaliitto, 2012.) Kasvillisuus laskee veden virtausnopeutta, joten painanteet viivyttävät hulevesiä. Kasvillisuus myös suodattaa hu-

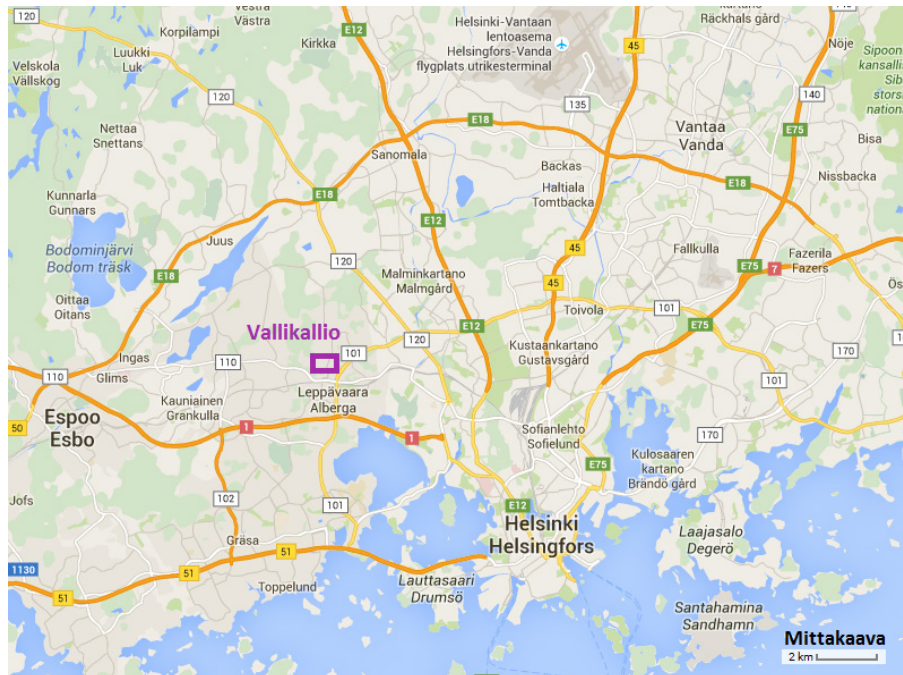
levettä parantaen sen laatua. Pohjamaan ominaisuuksista riippuen myös alapuolinen maaperä voi toimia epäpuhtauksien puhdistavana suodatuskerroksena. Syksyisin nurmikon maatumisen altistaa viherpainanteen eroosiolle. Hajautetun hulevesien hallinnan osana voidaan lisäksi käyttää suodatus kaistaleita (*filter strips*), jotka ovat kasvillisuuden peittämiä kaistaleita viherpainanteiden tapaan. Kyseiset rakenteet ovat pienempiä kuin viherpainanteet sekä usein tasaisia. Suodatuskaistaleen tarkoituksena on hidastaa huleveden virtausnopeutta ja johtaa vesi eteenpäin. (Sansalone ja Hird, 2003.)

Hiekkasuodatus on ollut yleinen veden puhdistustapa vesihuollossa jo pitkään, mutta hiljattain sitä on alettu käyttää myös hulevesien käsittelyssä. Hiekkasuodatus poistaa vedestä tehokkaasti kiintoainesta, orgaanista ainesta ja muita epäpuhtauksia. (Sansalone ja Hird, 2003.)

3 Tutkimusalue ja -aineisto

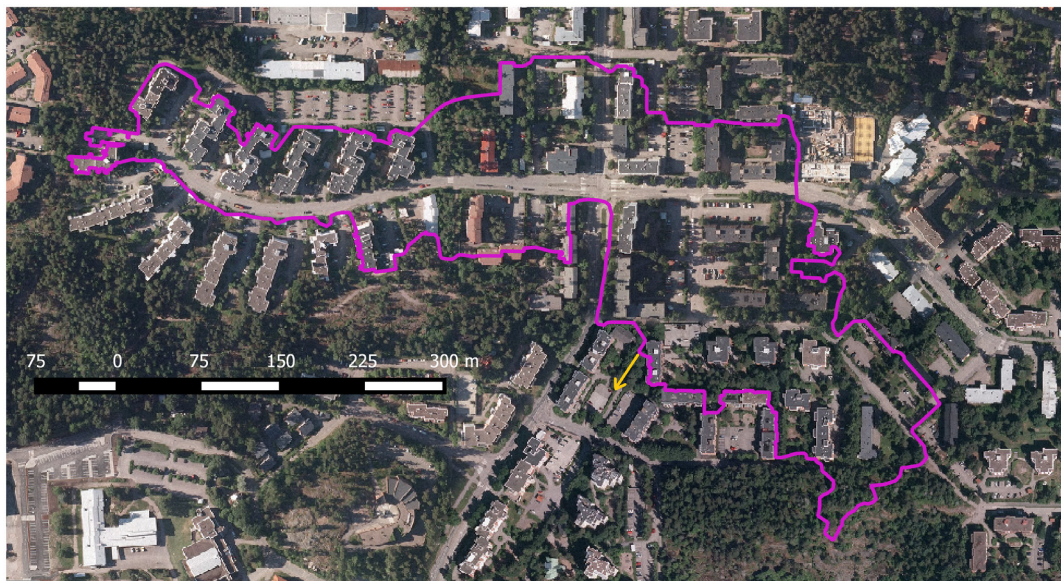
3.1 Vallikallion valuma-alue

Vallikallion valuma-alue on noin 11,4 ha kerrostaloalue, joka sijaitsee Etelä-Suomessa itäisessä Espoossa Leppävaaran pohjoispuolella (kuva 2).



Kuva 2. Vallikallion valuma-alueen sijainti.

Vallikallio sijaitsee Monikonpuron valuma-alueella ja noin 50 % sen pinta-alasta on läpäisemätöntä (kuva 3). Vanhimmat kerrostalot valmistuivat Vallikallioon 1970-luvulla ja uudemmat 1990-luvulla. Kotolan ja Nurmisen (2003) mukaan alueen asukastiheys vuonna 2003 on ollut 12 300 as/km². Maanpinnan korkeus alueella vaihtelee 29-50 m välillä. Sadevedet johdetaan suurimpien teiden alla kulkeviin sadevesiviemäriin, joissa ne kulkeutuvat Monikonpuroon laskevaan avo-ojaan. Sadevesiviemärin pituus on noin 1500 metriä. Vallikallion alueen tutkimus käynnistyi Teknillisessä korkeakoulussa vuonna 2001 Kaupunkivedet ja niiden hallinta (RYVE) –hankkeessa (Kotola ja Nurminen, 2003). Aikaisempia tutkimuksia ovat julkaisseet esimerkiksi Kotola ja Nurminen (2003), Metsäranta (2003), Metsäranta et al. (2005), Tiihonen (2007), Aaltonen (2008), Sillanpää ja Koivusalo (2013; 2015a; 2015b) ja Sillanpää (2013).



Kuva 3. Ilmakuva Vallikallion valuma-alueesta ja valuma-alueen purkupiste.

3.2 Mittausaineisto ja sadetapahtumat

Vallikalliossa on mitattu sadantaa ja virtaamaa hulevesiviemärissä vuosina 2001-2006 (Sillanpää, 2013). Mittausaineistoa on olemassa kahden minuutin ja kymmenen minuutin havaintovälein. Mallin kalibrointi ja validointi tehtiin mittausaineistolla, jonka havaintoväli oli kaksi minuuttia. Virtaama määritettiin sadevesiviemärikaivoon sijoitetun paineanturin avulla, joka mittasi vedenpinnan korkeutta. Sillanpää (2013) muutti paineanturin mitaamat vedenpinnan korkeustiedot virtaamaksi kaivolle kalibroidun purkautumiskäyrän avulla. Vallikallion paineanturi sijaitsi hulevesiviemärikaivossa, josta tulevan ja lähtevän putken halkaisija oli 500 mm. Mittausjärjestelyt on esitetty tarkemmin lähteessä Kotola ja Nurminen (2003) ja virtaaman laskentatapa lähteessä Sillanpää (2013). Tässä työssä käytettiin mittausaineistoa vuosilta 2004-2006. Mittausajanjaksolta valittiin valuntatapahtumat kalibrointia ja validointia varten sekä pidemmät ajanjaksot hulevesien hallintaskenaarioiden mallinnusta varten. Kalibrointi- ja validointitapahtumat on kuvattu tarkemmin kappaleessa 4.2 ja pitkien ajanjaksojen tiedot on esitetty taulukossa 1. Vuoden 2004 aineiston havaintoväli oli 10 minuuttia ja vuoden 2006 aineiston 2 minuuttia.

Taulukko 1. Hulevesien hallintaskenaarioiden mallinnuksessa käytetyt sadetapahtumat ja mallinnetut ajanjaksot.

| Mitoitussade | Sademäärä (mm/10 min) | Intensiteetti (mm/h) |
|-----------------|-----------------------|----------------------|
| 1/1 a | 4,3 | 24 |
| 1/5 a | 9,5 | 54 |
| 1/100 a | 19,1 | 114 |
| Ajanjakso | Sademäärä (mm) | |
| 1.4.-31.10.2004 | 679 | |
| 1.4.-31.8.2006 | 165 | |

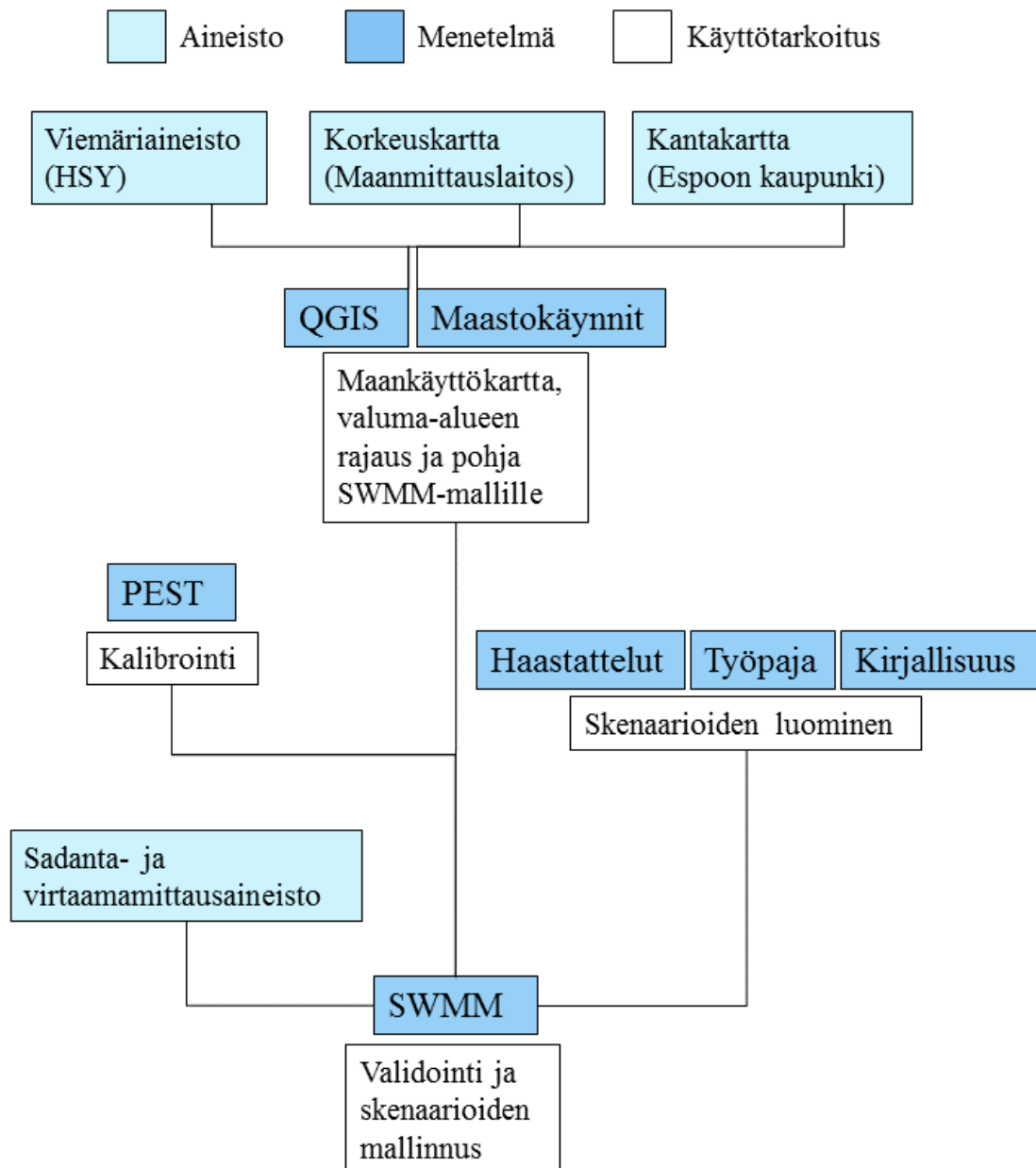
Hulevesien hallintaskenaarioiden vertailuun valittiin sateinen ajanjakso välillä 1.4.-31.10.2004 ja vähäsateinen ajanjakso välillä 1.4.-31.8.2006. Sateisena jaksone satoi 7

kuukauden aikana 679 mm ja vähäsateisena jaksena 5 kuukauden aikana 165 mm. Ilmatieteenlaitoksen (www.ilmatieteenlaitos.fi) mukaan Etelä-Suomessa sataa vuodessa keskimäärin 650-750 mm ja vuoden keskilämpötila vaihtelee 5 °C molemmin puolin (aineistot ovat vuosilta 1981-2010). Mittaustuloksia ei ollut saatavilla enää vuoden 2006 elokuun jälkeen, joten vähäsateinen tarkastelujakso on lyhempi kuin vuoden sateinen 2004 jakso. Pitkien jaksoiden mallinnuksen tarkoituksena on esittää LID-menetelmien kumulatiiviset vaikutukset hulevesiviemärin valuntaan, etenkin hulevesivalunnan määrän muuttumisena viemärissä.

Pitkien ajanjaksojen lisäksi hallintaskenaariot mallinnettiin yksittäisillä mitoitussadetahtumilla. Mitoitussateiden kestoksi valittiin 10 minuuttia, mikä vastaa yleistä suunnitteluperiaatetta Suomessa. Lisäksi 10 minuutin kesto vastaa Vallikallion valuma-alueen kertymisaikaa, joka on 12 min (Sillanpää ja Koivusalo, 2015a). Toistuvuuksiksi valittiin kerran vuodessa, viidessä vuodessa ja sadassa vuodessa toistuvat sadetapahtumat. Lyhyiden yksittäisten sateiden tarkoituksena oli esittää miten hulevesien hallintamenetelmät toimivat yksittäisillä rankkasateilla ja miten hyvin ne pienentävät hulevesiviemärin ylivirtaamia. Mallinnukseen valittiin kolme erisuuruista mitoitussadetta, jotta sateen suuruudesta riippuvat hallintamenetelmien vaikutusten erot tulisivat esille. Mitoitussateiden sademäärät on esitetty taulukossa 1. Mitoitussateiden mallinnusjaksoa jatkettiin vielä sateen jälkeen siten, että jakson kokonaispituus oli 12 tuntia. Tällöin LID-rakenteet ehtivät kuivata ja vesitaseista saatiin todenmukaisempia.

4 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksessa käytetyt menetelmät ja aineistot on esitetty kuvassa 3. Työn alussa määritettiin valuma-alueen rajat ja maankäyttökartta QGIS-ohjelman avulla. Tiedot muutettiin QGIS ohjelmasta SWMM-mallin (Rossman, 2010) luettavaan tiedostomuotoon (.inp), jonka jälkeen malli voitiin kalibroida ja validoida mitattua hulevesivirtaamaa vastaan. Kalibrointi tehtiin käyttäen PEST-ohjelmaa (Doherty, 2005). Hulevesien hallintaskenaariot muodostettiin haastatteluiden, työpajan ja kirjallisuuden avulla, skenaarioita mallinettiin SWMM-ohjelmalla eri sadetapahtumilla.



Kuva 4. Tutkimuksessa käytetty aineisto ja menetelmät.

4.1 Valuma-alueen rajaus QGIS-ohjelmalla

QGIS on avoimen lähdekoodin paikkatieto-ohjelma, joka on julkaistu vuonna 2002 (QGIS User Guide, 2015). Rajauksessa käytettiin Maanmittauslaitoksen 2x2 m² resoluutioista korkeuskarttaa, Vallikallion kantakarttaa, viemäriverkostoaineistoa sekä maastokäyntejä (kuva 4). Tarkat vaiheet QGIS-ohjelman käytöstä on esitetty liitteessä 1.

Hulevesiviemäriverkosto ja korkeuskartta yhdistettiin QGIS-ohjelmassa, jonka jälkeen valuma-alueen rajojen määrittäminen oli mahdollista. Valuma-alueen rajat laskettiin GRASS GIS-ohjelman avulla perustuen korkeuskarttaan ja viemäriverkoston asemaan. GRASS GIS-ohjelman määrittämät valuma-alueen rajat tarkistettiin manuaalisesti, sillä korkeuskarttaan perustuva valuma-alueerajaus ei ota huomioon rakennusten kattoja tai pihojen kuivatusjärjestelmiä. Alkuperäisen valuma-alueen rajat saattoivat kulkea keskeltä kattoja, joten rajat korjattiin kulkemaan kattojen myötäisesti. Rajauksen yhteydessä tehtiin maastokäyntejä alueelle, joissa tarkastettiin kuuluvatko rajalla olevat katot tai pihat valuma-alueeseen. Valuma-alueen rajauksen jälkeen alue jaettiin osavaluma-alueiksi maankäytön perusteella. Alue jaoteltiin seuraaviin maankäyttöluokkiin: asfaltti, katto, hiekka, kasvillisuus, kiveys ja avokallio (kuva 5).



Kuva 5. Vallikallion valuma-alueen rajaus ja maankäyttö.

Jokaisella osavaluma-alueella oli vain yhtä maankäyttöä, jolloin osavaluma-alueiden ominaisuudet voitiin asettaa maankäytön ominaisuuksien mukaan. Lämpisemättömän pinnan osuudeksi saatiin 55,9 % koko valuma-alueen pinta-alasta (taulukko 2). Kullekin maankäytölle annettiin oma tunnusluku, jolloin kuhunkin maankäyttöluokkaan kuuluvien alivaluma-alueiden ominaisuuksia voitiin muokata samanaikaisesti. QGIS-tiedostoista tehtiin SWMM-ohjelmalle sopiva tiedosto inp.PINS-ohjelman (<https://sites.google.com/site/inppins/>) avulla. Inp.PINS muuttaa QGIS-tiedostoissa olevat tiedot SWMMille sopivaan tiedostomuotoon.

Taulukko 2. Vallikallion läpäisemättömän ja läpäisevän pinnan osuudet.

| Pinta | ha | % |
|--|------|------|
| Läpäisemätön (katto+päällystetty+kiveys) | 6,37 | 55,9 |
| Läpäisevä (viheralueet+hiekkajasora) | 5,03 | 44,1 |

4.2 Kalibrointi ja validointi PEST-ohjelmalla

Kalibroinnissa käytettiin Dohertyn (2005) kehittämää PEST-ohjelmaa (Model-Independent Parameter Estimation), joka arvioi parametreja epälinearisesti Gauss-Marquardt-Levenberg metodilla. Ohjelmalla voidaan kalibroida useita parametreja samanaikaisesti. PEST etsii parasta parametrien yhdistelmää minimoimalla mallinnettujen ja mitattujen arvojen (tässä tapauksessa viemärin valunnan) eroja iteroinnin avulla. Parametreille asetetaan lähtöarvot sekä minimi- ja maksimi-arvot, joiden väliltä PEST etsii optimaalista arvoa kullekin parametrille.

Kalibrointia ja validointia varten valittiin valuntatapahtumia kesältä ja syksyltä. Kalibrointitapahtumiksi valittiin kolme valuntatapahtumaa aikaväliltä 28.9.2005–27.6.2006 ja validointitapahtumia valittiin kolme aikaväliltä 21.10.2005–15.8.2006 (taulukko 3). Tapahtumien sademäärät vaihtelevat 1,8 ja 4,8 mm välillä. Tapahtumat edustavat pieniä sadetapahtumia Sillanpään (2013) raportoimiin Vallikallion kaikkiin mittaustapahtumiin nähden. Kalibrointiin valittiin 2 minuutin välein mitattua aineistoa, sillä 10 minuutin välein mitattu aineisto on epätarkempaa Vallikallion valuma-alueen lyhyestä kertymäajasta johtuen. Kahden minuutin aineistoa oli saatavilla vähemmän ja mitatut sadetapahtumat olivat pienempiä kuin 10 minuutin välein mitatun aineistossa. Sillanpää (2013) määrittä Vallikallion hulevesiviemärin virtaamat laboratorio- ja maastomittauksiin perustuvan purkautumiskäyrän avulla. Laboratoriomittaukset voitiin suorittaa vesisyvyyteen 390 mm asti ja Sillanpää (2013) arvioi tämän ylittävien vesisyvyyksien virtaamat Manningin yhtälön avulla täyden putken (500 mm) vesisyvyyteen asti. Sillanpään (2013) mukaan suurilla virtaamilla mittauspisteen jälkeinen putkiston risteyskohta padotti vettä, mikä aiheuttaa epävarmuutta paineanturin mittaustuloksiin. Suuria ylivirtaamia sisältäviä valuntatapahtumia ei valittu kalibrointiin ja validointiin mukaan, valuntatapahtumien suurin ylivirtaama on 96 l/s, kun putken arvioitu maksimivirtaama täyden putken (500 mm) tilanteessa oli 342,6 l/s.

Taulukko 3. Kalibrointi- ja validointitapahtumat

| Tapahtuma | | | | | | |
|-------------|------------------|------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------|
| Kalibrointi | Alkuaika | Kesto (hh:mm) | Sademäärä (mm) | Ylivirtaama (l/s) | Valuntasumma (mm) | Valuntakerroin |
| K1 | 28.9.2005 11:04 | 7:36 | 4,8 | 67 | 2 | 0,43 |
| K2 | 29.9.2005 2:00 | 8:00 | 2,8 | 44 | 1 | 0,37 |
| K3 | 27.6.2006 5:18 | 4:22 | 3,8 | 66 | 1,5 | 0,4 |
| Validointi | | | | | | |
| V1 | 21.10.2005 16:20 | 2:48 | 1,8 | 71 | 0,9 | 0,52 |
| V2 | 22.6.2006 23:42 | 4:02 | 4,6 | 96 | 1,6 | 0,35 |
| V3 | 15.8.2006 11:56 | 4:04 | 3 | 67 | 0,9 | 0,3 |

Kalibrointi- ja validointituloksia arvioitiin neljän eri hyvyysluvun avulla. Neljä hyvyyslukua ovat *NSE* (*Nash-Sutcliffe efficiency*) (Nash ja Sutcliffe, 1970), R^2 (selitysaste) (Hirsch et al., 1992), *MAE* (keskimääräinen absoluuttinen poikkeama, *Mean absolute error*) ja *PBIAS* (Suhteellinen poikkeama, *Percent bias*). Arvot laskettiin yhtälöiden (1)-(4) avulla.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_t (Q_{o,t} - Q_{m,t})^2}{\sum_t (Q_{o,t} - \bar{Q}_o)^2} \quad (1)$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_t (Q_{o,t} - \bar{Q}_o)(Q_{m,t} - \bar{Q}_m)}{\sqrt{\sum_t (Q_{o,t} - \bar{Q}_o)^2 \sum_t (Q_{m,t} - \bar{Q}_m)^2}} \right]^2 \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_t |Q_{m,t} - Q_{o,t}| \quad (3)$$

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_t (Q_{o,t} - Q_{m,t}) 100}{\sum_t (Q_{o,t})} \right] \quad (4)$$

missä $Q_{o,t}$ on havaittu virtaama (l/s) ajanhetkellä t , $Q_{m,t}$ on mallinnettu virtaama (l/s) ajanhetkellä t , \bar{Q}_o on havaitun virtaaman keskiarvo, \bar{Q}_m on mallinnetun virtaaman keskiarvo ja n on havaintojen lukumäärä. *NSE* saa arvoja 1,0 ja $-\infty$ väliltä, 1,0 tarkoittaa täydellistä yhteensopivuutta havaintojen ja mallinnuksen välillä. Selitysaste R^2 saa arvoja 0 ja 1,0 väliltä ja se kuvaa kuinka suuren prosentuaalisen osuuden mitattujen arvojen vaihtelusta mallinnetut arvot selittävät. Arvo nolla tarkoittaa, ettei havaintojen ja mallinnuksen välillä ole korrelaatiota ja arvo yksi tarkoittaa täydellistä yhteensopivuutta. (Krause et al., 2005.) *MAE* kuvaa lukuarvona keskimääräistä eroa mallinnettujen ja havaittujen arvojen välillä. Arvo nolla tarkoittaa täydellistä yhteensopivuutta. *PBIAS* kertoo mallinnettujen arvojen taipumuksesta olla suurempia tai pienempiä kuin havaitut arvot.

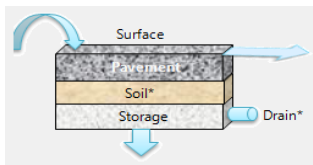
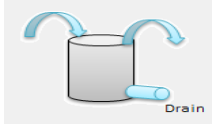
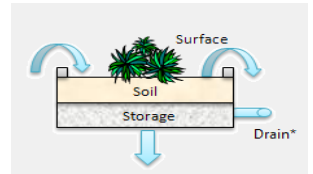
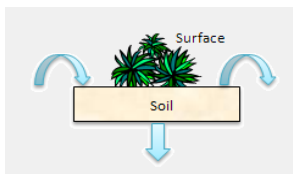
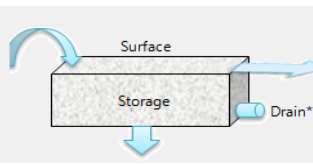
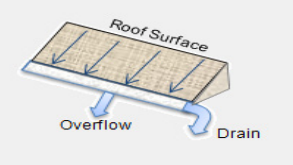
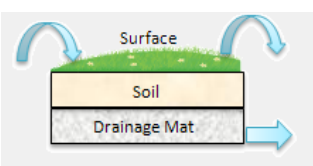
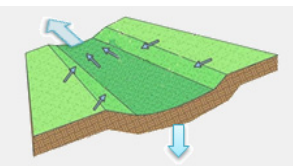
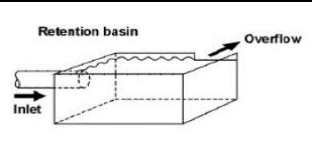
PBIAS-arvon suuruus kertoo prosentteina paljonko mallinnetut arvot eroavat keskimäärin mitatuista arvoista. Positiivinen luku kertoo mallin aliarvioivan ja negatiivinen arvo yliarvioivan havaittuja arvoja, nollan ollessa optimaalinen arvo. (Moriassi et al. 2007.)

4.3 Storm Water Management Model (SWMM)

SWMM ensimmäinen versio ilmestyi vuonna 1971 ja siitä on ilmestynyt useita päivityksiä, joista uusin versio on SWMM 5 (Rossman, 2010). Tämän työn mallinnuksessa käytettiin *Kinematic Wave* virtausmallia hulevesiviemärin valunnan kulkeutumisen kuvaamiseen ja *Green-Ampt* imeytymismallia kuvaamaan veden imeytymistä maaperään läpäisevillä alueilla. *Kinematic Wave* virtausmalli ei huomioi takaisinvirtausta tai paineellista virtaamaa verkostossa. Haihdunnan mallintamisessa käytettiin lämpötilamittaustietoja, joiden päivittäisten minimi- ja maksimiarvojen avulla SWMM laskee jokaiselle päivälle haihdunnan. SWMM mallintaa pintavalunnan jokaiselta osavaluma-alueelta epälineaarisina varastoina. Vesi tulee osavaluma-alueelle sadantana tai valuntana viereisiltä osavaluma-alueilta. Pintavaluntaa syntyy, kun osavaluma-alueen painannesäilyntä ylittyy. Pintavalunta poistuu osavaluma-alueelta joko imeytymällä, haihtumalla, valuntana hulevesiverkostoon tai pintavaluntana seuraavalle osavaluma-alueelle.

LID-toiminnot esitetään SWMM-mallissa vertikaalisina kerroksina, kuten pintakerros, maaperäkerros ja varastokerros (Rossman, 2010). Jokaisella kerroksella on omat ominaisuudet, kuten paksuus, huokoisuus, vedenpidätyskapasiteetti ja vedenjohtavuus. SWMM laskee kerrokseen varastoituvan vesimäärän ja paljonko vettä liikkuu kerrosten välillä. SWMM-ohjelmalla mallinnettavat LID-toiminnot ovat läpäisevä päällyste, biosuodatus, sadepuutarha, imeytyskaivanto, viherpainanne, sadevesisäiliö, viherkatto ja kattojen irtikykentä (taulukko 4). Lisäksi ohjelmalla voidaan mallintaa keskitettyjä viivytyrakenteita, jotka voivat olla maanalaisia tai maanpäällisiä. Käyttäjä voi valita onko läpäisevien päällysteiden, biosuodatuksen tai imeytyskaivannon rakenteessa salaojaa ja onko läpäisevän päällysteen rakenteessa maaperäkerrosta (Rossman, 2010). Tässä työssä mallinnettavat LID-menetelmät olivat läpäisevä päällyste, biosuodatus, sadevesisäiliö ja viherkatto sekä keskitetyn hallinnan viivytyrakenteet. SWMM kuvaa sadepuutarhan biosuodatusrakenteen yksinkertaistettuna versiona eikä sadepuutarhalle pysty mallissa asettamaan varastokerrosta tai salaojaa (taulukko 4). Työssä mallinnettiin vain biosuodatusrakenteita, sillä salaojan käyttö edistää rakenteen talvenaikaista toimivuutta (Caraco ja Claytor, 1997). Viherpainanteita ei mallinnettu Vallikallion alueelle, sillä sen vaatimaa tilaa ei ollut käytettävissä tiheästi rakennetulla alueella.

**Taulukko 4. SWMM-ohjelmalla mallinnettavat LID-toiminnot (kuvat EPA SWMM 5.1. ohjelmasta.
*Valinnainen**

| | | | |
|---|---|--|--|
| Läpäisevä päällyste (<i>permeable pavement</i>) |  | Sadevesisäiliö (<i>rain barrel</i>) |  |
| Biosuodatus (<i>bioretention</i>) |  | Sadepuutarha (<i>rain garden</i>) |  |
| Imeytyskaivanto (<i>infiltration trench</i>) |  | Kattojen irti- kytkentä (<i>rooftop dis-connection</i>) |  |
| Viherkatto (<i>green roof</i>) |  | Viherpainanne (<i>vegetative swale</i>) |  |
| Maanalainen tai maanpäällinen viivytusrakenne |  | | |

4.4 Työpaja ja haastattelut

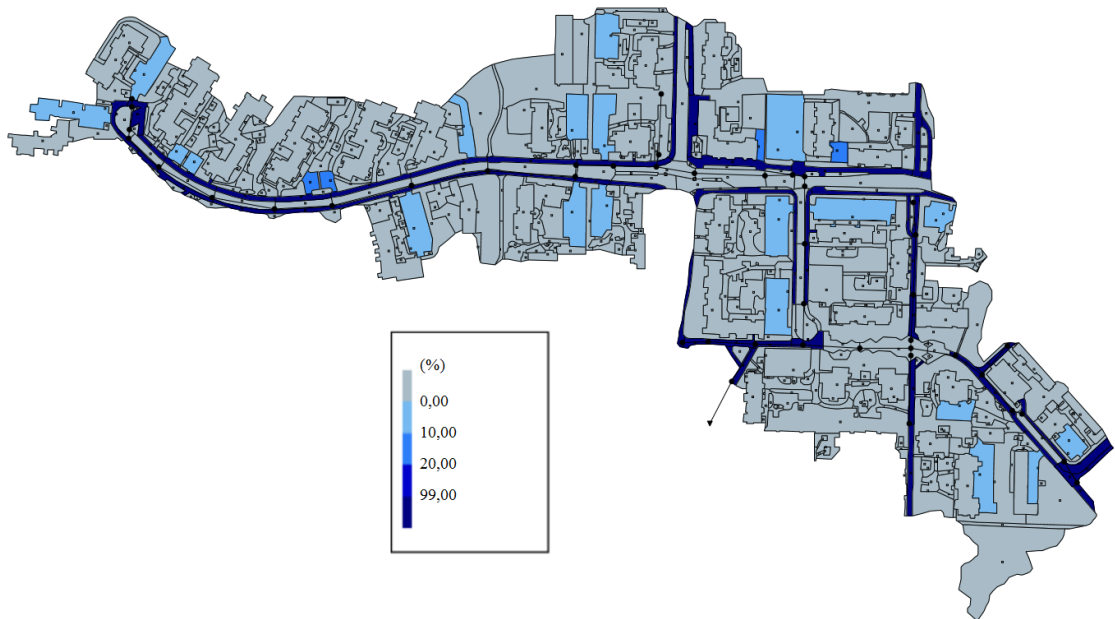
Hulevesien hallintaskenaarioiden muodostamisessa käytettiin apuna alan ammattilaisten näkökulmia, joita kartoitettiin VERTI-hankkeen työpajassa 16.6.2015 sekä erillisissä sidosryhmähaastatteluissa. Työpajassa oli läsnä kuntien vesilaitosten, Aalto-yliopiston ja Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) edustajia. Sidosryhmähaastatteluissa haastateltiin hulevesien hallintaan perehtyneitä henkilöitä neljästä eri yrityksestä, jotka olivat FCG Finnish Consulting Group Oy, Pöyry Finland Oy, Ramboll Finland Oy ja Sito Oy. Tarkoituksena oli selvittää LID-rakenteiden suunnittelun nykykäytännöt Suomessa sekä ideoida mallinnettavia skenaarioita, LID-rakenteiden mitoitusta ja tulosten esitystapaa. Työpajassa ja haastatteluissa esitetty posterit löytyy liitteestä 2. Työpajassa ja haastatteluissa keskityttiin neljään kysymykseen:

1. Millaisia hulevesiratkaisuja kannattaa vertailla?
2. Millaisia riskejä hallintavaihtoehtoihin sisältyy, miten riskit pitäisi huomioida?
3. Miten tulokset tulisi esittää, jotta tutkimus hyödyttää käytännön suunnittelua?
4. Mikä on vallalla oleva mitoituskäytäntö Suomessa ko. ratkaisuille?

4.5 Hallintaskenaariot ja -skenaarioiden muuttajat

Hallintaskenaarioissa päätettiin tutkia erikseen hajautettuja katualueelle ja tonttialueelle sijoitettuja rakenteita sekä keskitettyä viivytusrakennetta (VR). LID-rakenteiksi valittiin

biosuodatus (BS), läpäisevä päällyste (LP), sadeveisisäiliö (SVS) ja viherkatto (VK). Kaikkia rakenteita käytettiin tonttialueilla, mutta katualueilla tonttialueiden ulkopuolella vain läpäisevää päällystettä. Rakenteista muodostettiin skenaarioita siten, että jokaista käytettiin erikseen omassa skenaariossaan, jonka lisäksi muodostettiin kaksi yhdistelmäskenaariota. Yhdistelmäskenaarioissa käytettiin biosuodatusta tonttialueilla, sadeveisisäiliöitä katoilla ja läpäiseviä päällysteitä katualueella. Toisessa yhdistelmäskenaariossa oli mukana lisäksi keskitetty viivytysrakente valuma-alueen purkupisteessä. Kuvassa 6 on esitetty SWMM-mallin kuva valuma-alueesta, johon on sijoitettu yhdistelmäskenaarion LID-menetelmät.



Kuva 6. Yhdistelmäskenaarion menetelmät Vallikallion valuma-alueella SWMM-mallissa. Värit kuvaavat LID-menetelmien kattamaa prosenttiosuutta osavaluma-alueen pinta-alasta.

Skenaarioissa vertailtiin maaperän läpäisevyyden vaikutusta LID-rakenteiden toimintaan pitkällä aikavälillä. Maaperävertailussa valuma-alueen pohjamaata kuvaavat parametrit (taulukko 5) muutettiin hyvin vettä läpäiseviksi (*sandy loam*) ja huonosti vettä läpäiseviksi (*clay loam*). Mallinnukset tehtiin sateiselle ajanjaksolle vuodelta 2004 ja vähäsateiselle vuodelta 2006. Lisäksi mallinnuksissa tarkasteltiin tonttialueille sijoitettujen LID-rakenteiden (BS, LP, SVS) varastotilavuuden vaikutusta valuntaan yksittäisten mitoitussateiden ja pitkän aikavälin mallinnuksissa. Vaihtoehtoisina varastotilavuuksina käytettiin 0,5 m³, 1 m³ ja 2 m³ varastotilavuutta 100 m² rakenteen yläpuolista läpäisemätöntä pinta-alaa kohti.

Taulukko 5. Mallinnettujen maaperien parametrit.

| | Kyllästyneen maan hydraulinen johtavuus (mm/h) | Kapillaarinen imukorkeus (mm) | Maaperän kosteusvaje (osuus) |
|--|--|-------------------------------------|------------------------------------|
| Hyvin vettä läpäisevä maaperä (<i>sandy loam</i>) | 10,92 | 110,0 | 0,26 |
| Huonosti vettä läpäisevä maaperä (<i>clay loam</i>) | 1,02 | 210,1 | 0,15 |

4.6 LID-menetelmät ja niiden parametrit

4.6.1 LID-menetelmille annettavien parametrien merkitykset

LID-menetelmien parametrisoinnissa käytettiin pääasiallisesti kirjallisuuslähteitä, joista löytyi Suomen olosuhteisiin sopivia parametreja (esimerkiksi Kling et al., 2015; Krebs et al., 2015; Suomen Kuntaliitto, 2012). Kylmiin olosuhteisiin sijoitettavaa tutkimusta menetelmien parametritasolla ei kuitenkaan ole tehty paljoa, joten osaksi turvauduttiin SWMM:n ohjeistukseen (Rossman, 2010).

SWMM-ohjelmassa LID-rakenteiden vertikaaliset kerrokset ovat pinta-, maaperä- ja varastokerros sekä osassa rakenteista on mahdollisuus salaojakerrokseen (taulukko 4). Lisäksi läpäisevässä päällysteessä on päällystekerros. Pintakerrokselle annettavat parametrit ovat penkereen korkeus, kasvillisuuden osuus, Manningin kerroin ja pinnan kaltevuus. Penkereen korkeus määrittelee pinnan varastokapasiteetin eli pinnalle varastoituvan veden maksimimäärän. Kasvillisuuden osuus kertoo, kuinka suuri osa rakenteen pinta-alasta on kasvillisuuden peittämää. Maaperäkerrokselle annettavat parametrit ovat paksuus, huokoisuus, vedenpidätyskapasiteetti, lakastumisraja, vedenjohtavuus, CS (*conductivity slope*) ja kapillaarinen imukorkeus. Huokoisuus tarkoittaa huokosten tilavuusosuutta maaperässä. Vedenpidätyskapasiteetilla kuvataan huokosiin varastoituneen veden osuutta maaperässä, kun rakenteen maaperäkerros on tyhjentynyt vedestä. Lakastumisraja on huokosveden osuus maaperässä, kun maa on kuivunut ja vain mineraaleihin sitoutunut vesi on jäljellä. CS mittaa suhdetta, jolla maaperäkerroksen hydraulinen johtavuus pienenee kosteuden vähentyessä. Maaperäkerroksen kosteuspitoisuus ei voi laskea alle lakastumisrajan. Varastokerrokselle annetaan paksuus, huokosluku, suotautumisnopeus ja tukkeutumiskerroin. Huokosluku tarkoittaa huokosten tilavuuden suhdetta maa-aineksen tilavuuteen. Huokosluku eroaa maaperälle annettavasta huokoisuudesta, joka tarkoittaa huokostilavuuden suhdetta kokonaistilavuuteen. Huokosluku saadaan laskettua huokoisuudesta kaavan (5) avulla.

$$e = \frac{n_h}{1+n_h}, \quad (5)$$

missä e tarkoittaa huokoisuutta ja n_h huokoslukua. Suotautumisnopeus tarkoittaa varastokerroksen pohjan vedenjohtavuutta. Tukkeutumiskerroin kuvaa varastokerroksen pohjan

tukkeutumisrajaa. Tukkeutumiskerroin lasketaan jakamalla tukkeutumiseen vaadittava vesitilavuus varastokerroksen huokostilavuudella. Päälystekerrokselle annettavat parametrit ovat paksaus, huokosluku, läpäisemättömän pinnan osuus, läpäisevyys ja tukkeutumiskerroin. Salaojalle annetaan salaojan virtauskerroin, eksponentti n , jota käytetään salaojan virtaaman laskemiseen, ja salaojan korkeusasema (*offset height*). Lisäksi sadevesisäiliölle annetaan kuivatuksen viiveaika, joka tarkoittaa kuivaa aikaa, jonka jälkeen salaoja alkaa purkaa vettä viemäriverkostoon. Salaojan korkeus lasketaan varastokerroksen pohjalta ylöspäin. Mikäli luku on suurempi kuin nolla, SWMM antaa veden ensin täyttää tilan salaojan alapuolella, jonka jälkeen vesi kulkeutuu salaojaan. Salaojan virtauskerroin lasketaan kaavalla (6).

$$C = \frac{2D^{\frac{1}{2}}}{t}, \quad (6)$$

missä C on salaojan virtauskerroin (*drain coefficient*) (mm/h), D on salaojan syvyys maan pinnasta (mm) ja t on varaston tyhjenemisaika tunneissa. SWMM laskee salaojan virtaaman varastoituneen veden funktiona kaavan (7) mukaan

$$q = C(h - H_d)^n, \quad (7)$$

missä q on salaojan virtaama (mm/h), h on varastoidun veden syvyys (mm), H_d on salaojan korkeusasema pohjasta (mm) ja n on eksponentti (*drain exponent*). Parametrien laskennalliset menetelmät on kuvattu tarkemmin SWMM-manuaalissa (Rossman, 2010).

Käyttäjä voi valita SWMM-mallissa onko salaojitus käytössä läpäisevällä päällysteellä, biosuodatuksella ja imeytyskaivannolla. Salaojitus on aina oletusarvoisesti käytössä sadevesisäiliöillä. Kling et al. (2015) mukaan vettä voidaan imeyttää hyvin läpäisevään maaperään, muussa tapauksessa tulee käyttää salaojaa. Kuntaliiton hulevesioppaan (2012) mukaan suositeltava raja-arvo hyvin läpäisevän maaperän hydrauliselle johtavuudelle on 3,6 mm/h. Tällöin mallinnetulla hyvin vettä läpäisevällä maaperällä ei tarvita salaojaa, sillä sen hydraulinen johtavuus on 10,92 mm/h. Huonosti vettä läpäisevän maaperän hydraulinen johtavuus on 1,02 mm/h, joten sillä käytettiin salaojaa.

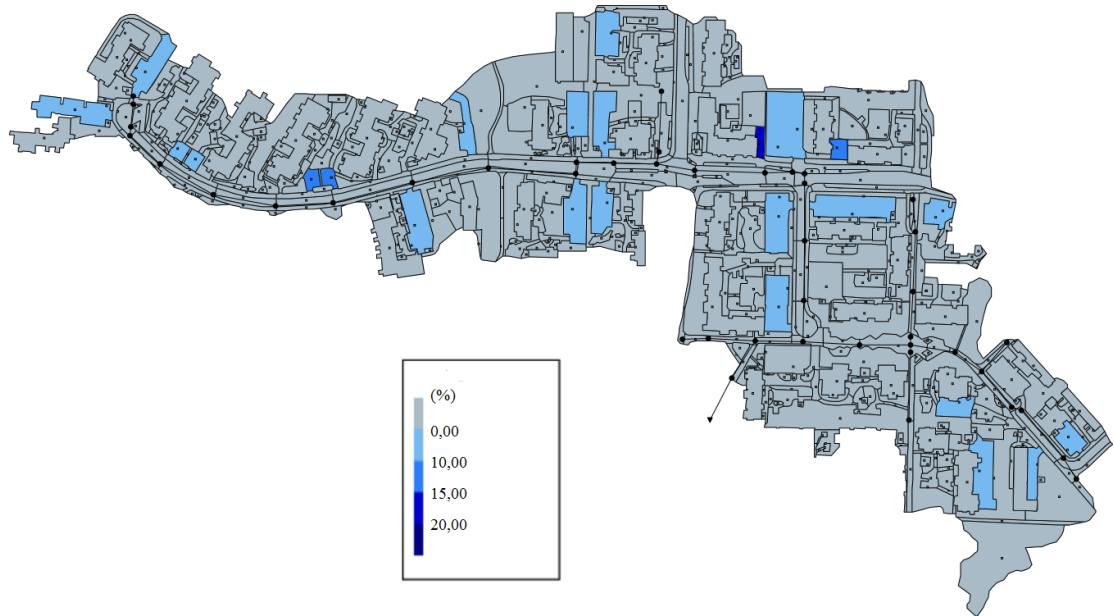
4.6.2 Biosuodatuksen parametriarvot

Biosuodatus koostuu SWMM-mallissa pinta-, varasto- ja maaperäkerroksesta sekä salaojasta (taulukko 4). Kerroksille annetut parametriarvot on esitetty taulukossa 6. Parametriarvot on määritetty sekä SWMM manuaalin (Rossman 2010) että Lehikoisen (2015) mallisovelluksen perusteella. Lehikoinen (2015) testasi SWMM-biosuodatusmallin tulosten herkkyyttä eri parametreille. Hän havaitsi, että biosuodatuksen toiminta perustuu lähinnä maaperäkerroksen parametrien keskinäisiin suhteisiin. Pintakerroksen, varaston ja salaojan parametreilla ei ollut juurikaan vaikutusta biosuodatuksen toimintaan.

Taulukko 6. Biosuodatuksen parametriarvot (¹ Rossman, 2010; ² Lehtikoinen 2015).

| Biosuodatus | Parametri | Arvo |
|----------------|----------------------------------|----------------------|
| Pinta | Penkereen korkeus (mm) | 150 ²⁾ |
| | Kasvillisuuden osuus | 0,18 ²⁾ |
| | Manningin kerroin | 0,68 ²⁾ |
| | Pinnan kaltevuus (%) | 0,5 ²⁾ |
| Maaperä | Paksuus (mm) | 800 ¹⁾ |
| | Huokoisuus (<i>porosity</i>) | 0,418 ²⁾ |
| | Vedenpidätyskapasiteetti | 0,153 ²⁾ |
| | Lakastumisraja | 0,08 ²⁾ |
| | Vedenjohtavuus (mm/h) | 60,96 ²⁾ |
| | CS | 10 ²⁾ |
| | Imukorkeus (mm) | 134,49 ²⁾ |
| Varasto | Paksuus (mm) | 250 ²⁾ |
| | Huokosluku (<i>void ratio</i>) | 0,6 ²⁾ |
| | Suotautumisnopeus (mm/h) | 10,92/1,02 |
| | Tukkeutumiskerroin | 0 |
| Salaoja | Salaojan virtauskerroin C (mm/h) | 0/8,7 |
| | EkspONENTTI n | 0,5 |
| | Salaojan korkeusasema (mm) | 0 |

Rossmannin (2010) mukaan biosuodatuksen maaperän paksuus vaihtelee tavallisesti 450-900 mm välillä. Tässä työssä arvoksi valittiin 800 mm. Biosuodatuksen suotautumisnopeuden arvo vaihtelee ympäröivän maaperän veden läpäisevyyden mukaan. Hyvin vettä läpäisevällä maaperällä suotautumisnopeus oli tällöin 10,9 mm/h ja huonosti läpäisevällä 1,1 mm/h. Jos biosuodatuksen pohjalla olisi imeytymisen estävä tiiviste, olisi suotautumisnopeuden arvo nolla. Varaston pohjan tukkeutuminen jätettiin huomioimatta antamalla tukkeutumiskertoimelle arvoksi 0. Salaojan virtauskertoimen arvo hyvin vettä läpäisevällä maaperällä oli nolla, sillä salaojaa ei käytetty ollenkaan. Huonosti läpäisevällä maaperällä salaojan virtauskertoimeksi saatiin 8,7 mm/h kaavan (6) avulla siten, että täysin vedellä kyllästyneen rakenteen tyhjenemisaika on 8 tuntia. Biosuodatusalueet sijoitettiin kaikille piha-alueille ja ne mitoitettiin 0,5 m³, 1 m³ ja 2 m³/100 m² läpäisemätöntä pihapinta-alaa, jolta hulevedet tulevat biosuodatusrakenteeseen. Kuvassa 7 on esitetty 1 m³/100 m² -kokoiset biosuodatusalueet Vallikallion valuma-alueella. 2 m³/100 m² kokoisten biosuodatusalueiden pinta-alat ovat kaksinkertaisia ja 0,5 m³/100 m² kokoisten pinta-alat ovat puolet kuvassa 7 esitettyihin pinta-aloihin verrattuna. Biosuodatusalueet asetettiin kaikkien pysäköintialueiden tai suurempien piha-alueiden yhteyteen.



Kuva 7. Mallinnettujen $1 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$ biosuodatusalueiden pinta-alojen prosentiosuudet pihojen pinta-aloista Vallikallion valuma-alueella.

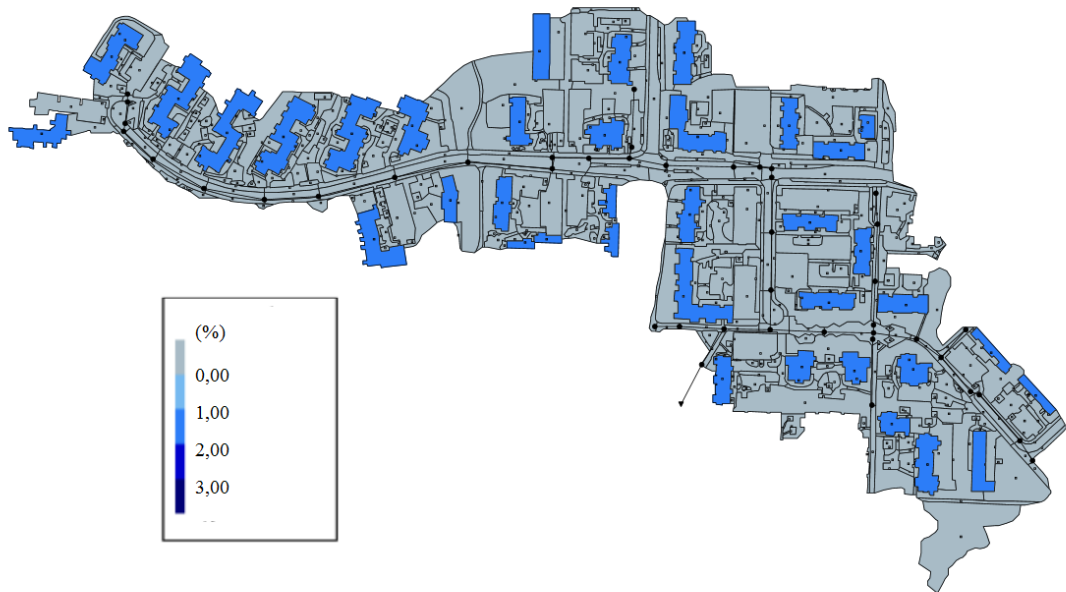
4.6.3 Sadevesisäiliöiden parametriarvot

Sadevesisäiliölle annetut parametrit on esitetty taulukossa 7. Rossmanin (2010) mukaan sadevesisäiliön korkeus vaihtelee tyypillisesti välillä 600-900 mm. Mallinnetun sadevesisäiliön korkeudeksi valittiin 600 mm, jolloin säiliön pinta-ala määrittää säiliön tilavuuden. Sadevesisäiliössä tulee olla salaoja. Täyden säiliön tyhjenemisajaksi asetettiin 48 tuntia, jolloin salaojan virtauskerroin saatiin kaavan (6) mukaan 1,0. Kuivatuksen viiveeksi laitettiin kaksi tuntia, jotta sadevesisäiliöt pystyvät laskemaan viemärin ylivirtaamaa pitämällä vettä varastossa sateisen ajan yli. Salaojan oletettiin olevan säiliön pohjalla, joten sen korkeusasema on nolla.

Taulukko 7. Sadevesisäiliön parametriarvot.

| Sadevesisäiliö | Parametri | Arvo |
|----------------|--------------------------------|------|
| Varasto | Säiliön korkeus (mm) | 600 |
| Salaoja | Salaojan virtauskerroin (mm/h) | 1,0 |
| | Eksponentti n | 0,5 |
| | Salaojan korkeusasema | 0 |
| | Kuivatuksen viive (h) | 2 |

Sadevesisäiliöt sijoitettiin jokaisen asuinrakennuksen yhteyteen ja niiden tilavuus mitoitettiin kunkin rakennuksen kattopinta-alan mukaan. Säiliöiden pinta-alat muutettiin siten, että ne vastasivat $0,5 \text{ m}^3$, 1 m^3 ja $2 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$ kattopinta-alaa. Kuvassa 8 on esitetty sadevesisäiliöt valuma-alueella tilanteessa, jossa mitoitustilavuutena on käytetty $1 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$.



Kuva 8. Mallinnettujen 1 m³/100 m² sadevesisäiliöiden pinta-alojen prosenttiosuudet kattojen kokonaispinta-aloista Vallikallion valuma-alueella.

4.6.4 Lämpäisevien päällysteiden parametriarvot

Lämpäisevien päällysteiden parametrisoinnissa käytettiin apuna VTT:n (Kling et al., 2015) suosittelemia parametriarvoja. Mitoitusarvoina käytettiin avoimen asfaltin parametriarvoja. Tässä työssä käytetyt arvot on esitetty taulukossa 8.

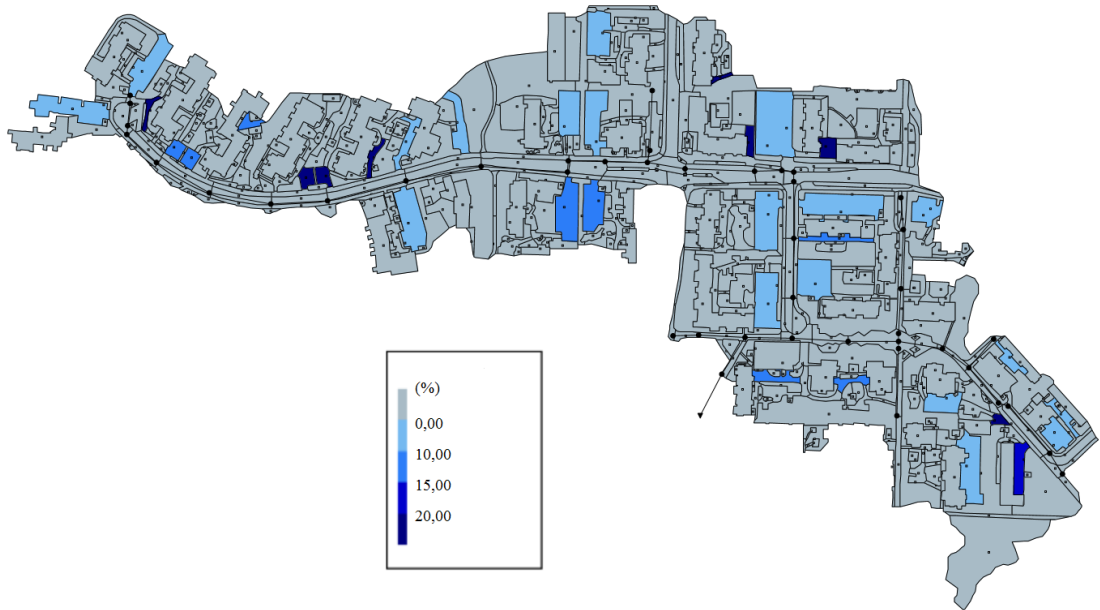
Taulukko 8. Lämpäisevän päällysteen parametriarvot (Kling et al., 2015).

| Lämpäisevä päällyste | Parametri | Arvo |
|----------------------|----------------------------------|------------|
| Pinta | Penkereen korkeus (mm) | 0 |
| | Kasvillisuuden osuus | 0 |
| | Manningin kerroin | 0,02 |
| | Pinnan kaltevuus (%) | 1,5 |
| Päällyste | Paksuus (mm) | 50 |
| | Huokosluku (<i>void ratio</i>) | 0,24 |
| | Lämpäisemätön pinta (%) | 0 |
| | Lämpäisevyys (mm/h) | 72 |
| | Tukkeutumiskerroin | 0 |
| Varasto | Paksuus (mm) | 100 |
| | Huokosluku (<i>void ratio</i>) | 0,43 |
| | Suotautumisnopeus (mm/h) | 10,92/1,02 |
| | Tukkeutumiskerroin | 0 |
| Salaoja | Salaojan virtauskerroin C (mm/h) | 1/5,9 |
| | EkspONENTTI n | 0,5 |
| | Salaojan korkeusasema (mm) | 0 |

Klingin et al. (2015) mukaan avoimen asfaltin päällystekerroksen tyypillinen huokoisuus on 0,16-0,22. Tässä käytettiin 0,19, jolloin huokosluvuksi saatiin kaavan (5) mukaan 0,24.

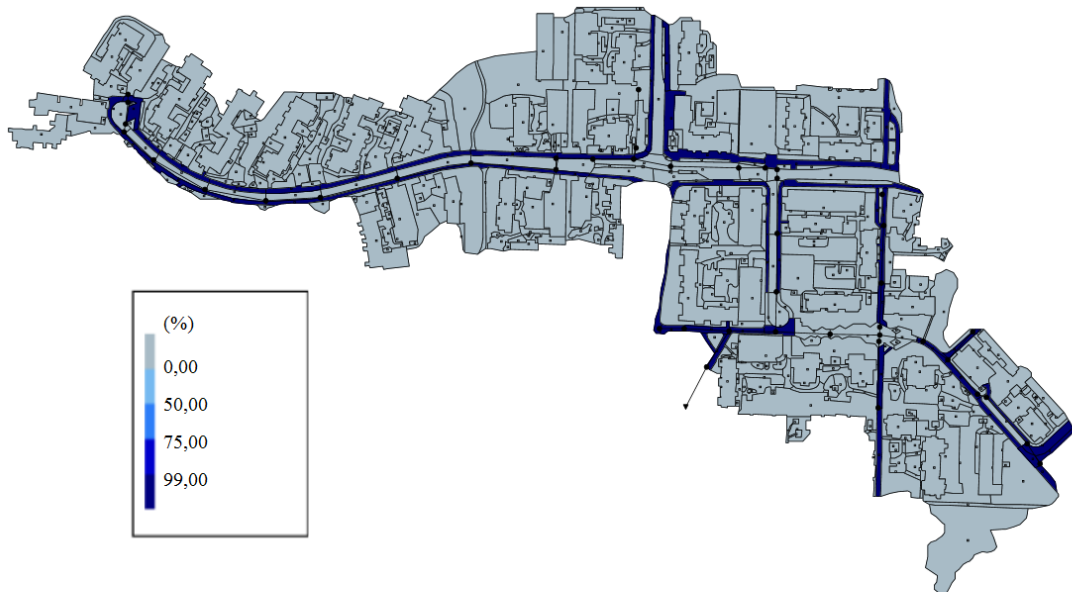
Salaoja huonosti läpäisevällä maaperällä mitoitettiin siten, että täysin vedellä kyllästynyt rakenne tyhjenee 8 tunnissa. Tällöin salaojan virtauskertoimeksi C saatiin kaavan (6) mukaan 5,9 mm/h. Myös hyvin läpäisevällä maaperällä jouduttiin käyttämään salaojaa, sillä ilman salaojaa mallinnettaessa läpäisevien päällysteiden jatkuvuusvirhe oli suuri (n. 10-15 %). Jatkuvuusvirhe tarkoittaa LID-rakenteiden osalta kyseisen rakenteen massata-seessa esiintyvää virhettä. Jatkuvuusvirhe kuvaa suhteellista eroa alkuperäisen varaston ja sisään virtaavan veden summan sekä lopullisen varaston ja ulos virtaavan veden summan välillä (Rossman, 2010). Jatkuvuusvirhe oli suurimmillaan pienillä mitoitustilavuuk-silla, mutta kaikkien mitoitustilavuuksien läpäiseville päällysteille käytettiin samanko-koista salaojaa. Salaoja hyvin läpäisevällä maaperällä mitoitettiin siten, että vedellä kyl-lästynyt rakenne tyhjenee 48 tunnin aikana. Kaavan (5) mukaan salaojan virtauskerto-i-meksi saatiin noin 1 mm/h. Tällöin pienimmän mitoitustilavuuden läpäisevien päällystei-den jatkuvuusvirhe mallinnuksessa oli enää noin 3-4 %. Salaojan korkeusasema poikkeaa Klingin et al. (2015) käyttämistä arvoista, sillä mallinnuksessa oletettiin, että salaoja on varastokerroksen pohjalla. Tällöin salaojan korkeusasemaksi asetettiin nolla. Klingin et al. (2015) käyttämistä arvoista poikkeaa myös varastokerroksen paksuus. Varastokerrok-sen paksuutena käytettiin 100 mm, joka on Suomen Kuntaliiton (2012) mainitsema kan-tavan kerroksen minimipaksuus. Pelkän varastokerroksen tilavuus on tällöin $3 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$ läpäisevää päällystettä, kun varastokerroksen huokosluku on 0,43. Kerran sadassa vuo-dessa toistuvan 10 minuutin sadetapahtuman aikana sataa noin 19,1 mm, mikä vastaa las-kennallisesti $1,91 \text{ m}^3$ hulevettä sadan neliömetrin alueella. Läpäisevä päällyste pystyy siis laskennallisesti varastoimaan sen pinnalle satavat suuretkin vesimäärät, kun pinta-ala on tarpeeksi suuri.

Läpäisevää päällystettä käytettiin piha-alueilla ja katualueilla eri skenaarioissa. Piha-alu-eille sijoitettavien läpäisevien päällysteiden varastotilavuudet mitoitettiin $0,5 \text{ m}^3$, 1 m^3 ja $2 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$ läpäisemätöntä pinta-alaa kohti, jolta vesi tulee rakenteeseen. Kuvassa 9 on esitetty läpäisevät päällysteet piha-alueilla, joiden mitoitustilavuudet ovat $1 \text{ m}^3 /100 \text{ m}^2$. Varaston tilavuutta muutettiin läpäisevien päällysteiden pinta-aloja muuttamalla.



Kuva 9. Mallinnettujen 1 m³/100 m² pihojen läpäisevät päällysteiden pinta-alojen prosenttiosuudet pihojen pinta-aloista Vallikallion valuma-alueella.

Läpäisevää päällystettä käytettiin kaikilla piholla ja parkkipaikoilla tai kaikilla kevyenliikenteenväylillä. Kevyen liikenteenväylille sijoitetut läpäisevät päällysteet Vallikallion valuma-alueella on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Mallinnettujen katujen läpäisevien päällysteiden pinta-alojen prosenttiosuudet kadun pinta-alasta Vallikallion valuma-alueella. Läpäisevät päällysteet katualueilla peittävät kevyenliikenteenväylät kokonaisuudessaan, joten läpäisevän päällysteen prosenttiosuus on 100 %.

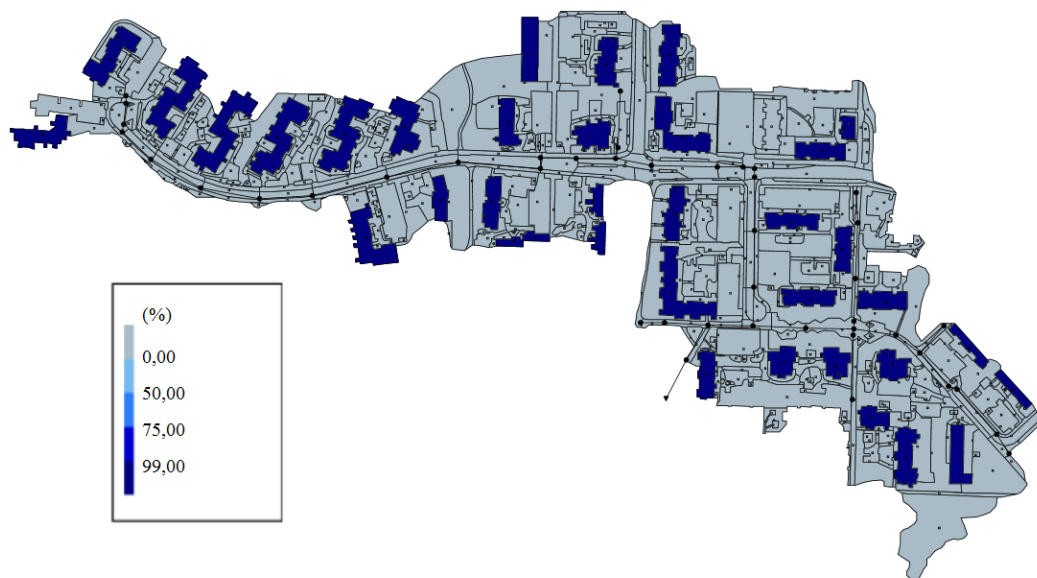
4.6.5 Viherkattojen parametriarvot

SWMM:ssä viherkatot koostuvat pintakerroksesta, maakerroksesta ja salaojamatosta. Viherkattokerrosten parametriarvot on annettu taulukossa 9. Arvot on valittu Krebsin et al. (2015) mukaan, jossa viherkattojen parametreja selvitettiin Lahdessa toteutettujen viherkattomittausten ja mallikalibroinnin avulla. Rossman (2010) on esittänyt, että viherkaton maaperän paksuus on tavallisesti 75-150 mm. Tässä käytettiin 100 mm, joka vastaa myös Rossmanin (2010) suositusta.

Taulukko 9. Viherkaton parametriarvot (Krebs et al., 2015).

| Viherkatto | Parametri | Arvo |
|--------------|---------------------------|-------|
| Pinta | Penkereen korkeus (mm) | 30 |
| | Kasvillisuuden osuus | 0,1 |
| | Manningin kerroin | 0,168 |
| | Pinnan kaltevuus (%) | 8 |
| Maaperä | Paksuus (mm) | 100 |
| | Huokoisuus | 0,4 |
| | Vedenpidätys kapasiteetti | 0,29 |
| | Lakastumisraja | 0,02 |
| | Veden johtavuus (mm/hr) | 37,9 |
| | CS | 40 |
| | Imukorkeus (mm) | 61,3 |
| Salaojamatto | Paksuus (mm) | 3,8 |
| | Huokoisuus (void ratio) | 0,41 |
| | Manningin kerroin | 0,01 |

Kuvassa 11 on esitetty viherkatot Vallikallion valuma-alueella. Kuvasta nähdään, että viherkattoja on jokaisella kerrostalon katolla, ei kuitenkaan piharakennusten katoilla.



Kuva 11. Mallinnettujen viherkattojen pinta-alojen prosenttiosuudet kattojen kokonaispinta-alasta. Viherkatot peittävät katot kokonaisuudessaan, joten prosenttiosuus kaikille katoille on 100 %.

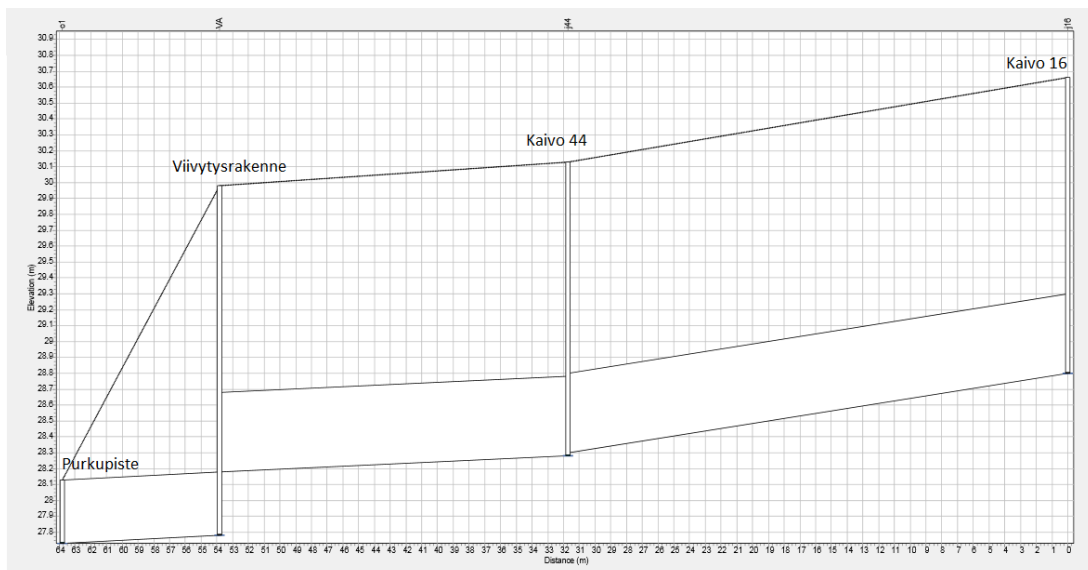
4.6.6 Viivytyksrakenteen parametriarvot

Viivytyksrakenneskenaarion mallinnuksella havainnollistettiin keskitetyn hulevesienhallinnan vaikutusta hulevesiviemärin virtaamaan. Viivytyksrakenteen sijoitettiin maan alle olemassa olevaan viemäriverkostoon ennen purkupistettä. Viivytyksrakenteelle määritettiin SWMM-mallissa muoto perustuen vesipinnan pinta-alan ja veden syvyyden suhteeseen. Tässä työssä käytettiin funktionaalista vaihtoehtoa varastorakenteen muodostamisessa, jolloin varastorakenteen muoto määräytyy kaavan (8) mukaan.

$$A_s = AD^B + C \quad (8)$$

missä A_s on varastorakenteen pinnan pinta-ala (m^2), A on vedenpinnan pinta-ala (m^2) veden syvyyden ollessa D (m) ja B ja C ovat vakioita. Viivytyksrakenteesta tehtiin suorakaitteen muotoinen asettamalla muuttujien B ja C arvoksi nolla, jolloin rakenteen pinta-ala jokaisella syvyydellä on sama. Pinta-alaksi A asetettiin $50 m^2$ ja maksimisyvyydeksi $2,2 m$. Viivytyksrakenteen maksimitilavuudeksi saatiin $110 m^3$.

Viivytyksrakenteen asema hulevesiverkostossa on esitetty kuvassa 12. Kaivon 44 ja purkupisteen, joiden väliin viivytyksrakenteen sijoitettiin, korkeusasemia ei muutettu. Viivytyksrakenteeseen tulevan putken korkeusasema asetettiin mahdollisimman korkealle, kuitenkin siten, että kaivosta 44 virtaa vettä viivytyksrakenteeseen. Viivytyksrakenteen purkuputki tuli sijoittaa rakenteen alaosaan, sillä veden annettiin poistua rakenteesta vain purkuputken kautta. Rakenteen pohja asetettiin vettä läpäisemättömäksi. Kaltevuuden myös purkuputken osalta tuli säilyä sellaisena, että vesi virtaa kohti purkupistettä ilman, että purkupisteen korkeusasema muutettiin. Viivytyksrakenteeseen tulevan putken paksuus on $500 mm$ ja lähtevän putken paksuudeksi valittiin $400 mm$. Mallinnettaessa testattiin myös pienempää ($300 mm$) lähtevää putkea, mutta putki padotti vettä liikkaa rankkasateiden aikana. Viivytyksrakenteen koko tilavuus ei tule käytettyä tuloputken ollessa matalalla rakenteessa. Suurilla rankkasateilla vesi palaa ennemmin tuloputkea takaisin kuin nousee viivytyksrakenteessa sen yläosaan saakka.



Kuva 12. SWMM profiilikuva viivytyksrakenteen sijoittumisesta hulevesiverkostossa.

5 Tulokset ja niiden tarkastelu

5.1 Mallin kalibrointi ja validointi

5.1.1 Kalibroidut parametrit

Kalibroitavien SWMM:n malliparametrien valinnassa käytettiin apuna kirjallisuutta. Krebs et al. (2013; 2014) tekivät herkkyysoanalyysin saadakseen selville parametrien minimimäärän niiden kalibrointia varten. Krebsin et al. (2014) mukaan parametrien herkkyydet riippuvat valittujen sadetapahtumien ominaisuuksista ja kuivasta jaksosta niiden välillä. Herkimmät parametrit olivat pintojen läpäisemättömyys, painannesäilyntä ja Manningin kertoimet sekä pintavalunnalle että putkiston valunnalle. Myös maaperän imeytymisparametreilla oli havaittu vaikutusta mallin toimivuuteen. Tässä työssä kalibroitavaksi valittiin taulukossa 10 esitetyt SWMM-mallin parametrit. Parametrien lähtöarvojen ja minimi- ja maksimiarvojen (taulukko 10) valinnassa käytettiin apuna kirjallisuutta (Guan et al., 2014; Krebs et al., 2014). Green-Ampt mallin maaperäparametrit valittiin kalibrointitilanteessa maaperäkartan perusteella. Maaperäparametrien vaikutus kalibrointitapahtumien valuntaan oli vähäinen, mikä johtuu todennäköisesti kalibrointitapahtumien pienistä sademääristä. Läpäiseville pinnoille satava vesi imeytyy maaperään eikä muodosta valuntaa, kun sademäärä on pieni. Vaikka maaperäparametreilla ei ollut vaikutusta kalibrointitilanteessa, niillä on merkitystä LID-rakenteiden toimintaan, sillä tyhjenemistä säätelevät ympäröivän maan parametrit. Maaperäparametreja ei kalibroitu, mutta niiden arvoja muutettiin myöhemmin hallintaskenaarioissa tarkasteltaessa hyvin ja huonosti läpäisevien maaperäparametrien vaikutusta mallinnustuloksiin. Kattojen ja kallion läpäisemättömyydeksi oletettiin 100 % ja kasvillisuuden läpäisemättömyydeksi 0 %.

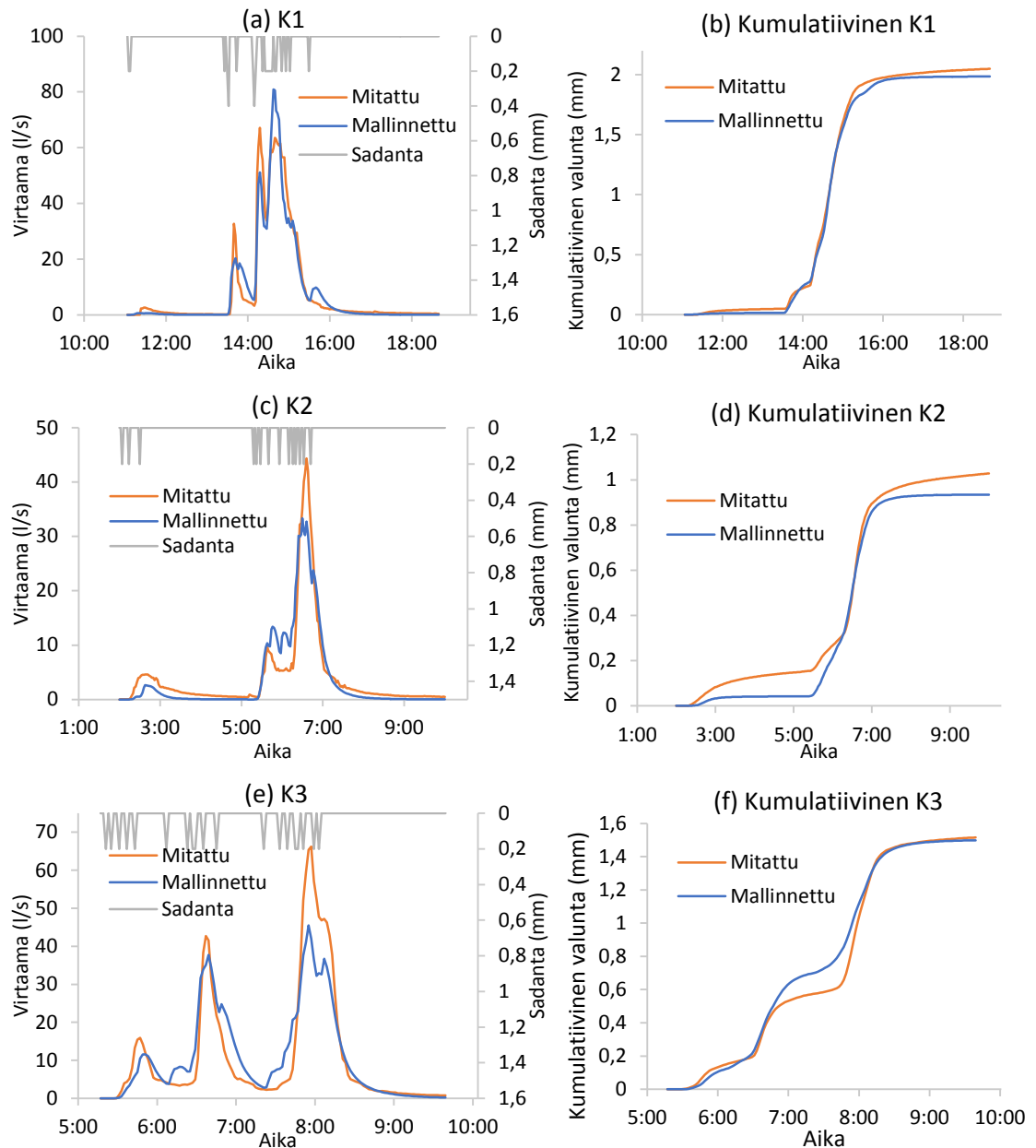
Taulukko 10. Kalibroitavat parametrit, niiden lähtö-, minimi- ja maksimiarvot sekä kalibroinnissa saadut parametriarvot (¹Guan et al., 2014; ²Krebs et al., 2014; ³Engman, 1986; ⁴www.ejprescott.com ⁵ www.fsl.orst.edu; ⁶www.engineeringtoolbox.com).

| Parametri | Pinta | Lähtöarvo | Minimi | Maksimi | Kalibroidut arvot |
|-----------------------|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
| Manningin kerroin n | Putket | 0,01 ⁴) | 0,008 ⁴) | 0,017 ⁴) | 0,015 |
| | Kallio | 0,03 ⁵) | 0,011 ⁵) | 0,05 ⁵) | 0,05 |
| | Katto | 0,01 | 0,001 ²) | 0,02 | 0,0084 |
| | Hiekka | 0,025 ⁵) | 0,01 ⁴) | 0,05 ⁵) | 0,01 |
| | Asfaltti | 0,013 ¹) | 0,008 | 0,016 ⁶) | 0,016 |
| | Kiveys | 0,01 | 0,005 | 0,02 ²) | 0,019 |
| | Kasvillisuus | 0,3 ¹) | 0,1 ²) | 0,5 ²) | 0,5 |
| Painannesäilyntä (mm) | Kallio | 3 | 1 | 8 | 3,16 |
| | Katto | 0,4 | 0,1 ²) | 2,5 ²) | 0,28 |
| | Hiekka | 1,6 | 0,4 | 3 | 0,4 |
| | Asfaltti | 0,5 | 0,2 | 2,5 ²) | 0,826 |
| | Kiveys | 0,4 | 0,3 | 2,54 ²) | 0,3 |
| | Kasvillisuus | 3 ²) | 1 | 5 ²) | 2,45 |
| Läpäisemättömyys (%) | Hiekka | 33 ²) | 25 | 70 ²) | 33 |
| | Asfaltti | 94 | 80 ²) | 100 ²) | 94,1 |
| | Kiveys | 85 | 80 ²) | 99 | 84,9 |

Kalibrointitapahtumat mallinnettiin peräkkäin siten, että väliin jätettiin noin vuorokausi sateetonta aikaa. Tässä työssä valittu kuivan ajan pituuden arvo vastaa lyhintä Sillanpään (2013) esittämää vesisadetapahtumien välisen kuivan ajan pituuden mediaani aikaa. Sillanpään (2013) tutkimuksessa mukana olleilla espoolaisilla asuinalueilla kuivan ajan pituuden mediaani vaihteli 1,1-2,5 vuorokauden välillä. Valuntatapahtumien todellisia kelsonaikoja tai mitattuja lämpötiloja ei muutettu, jotta olosuhteet säilyisivät tapahtumien peräkkäistämisen jälkeen. Kalibroinnin aluksi kaikkien taulukon 10 parametrien sallittiin vaihdella minimi- ja maksimiarvojen välillä. PEST tuottaa parametreille herkkyyssluvut, joiden avulla saatiin selville kalibrointitulokseen eniten vaikuttavat parametrit. Parametreista valittiin neljä herkintä, joita kalibroidiin edelleen valuntaa vastaan. Neljä herkintä parametria olivat asfaltin läpäisemättömyys, painannesäilyntä ja Manningin kerroin sekä putkiston Manningin kerroin. Krebsin et al. (2013) tulosten mukaan herkimvät parametrit olivat läpäisemättömän pinnan painannesäilyntä ja putkiston Manningin kerroin, jotka olivat herkimpien joukossa myös tässä työssä. Muiden parametrien arvot valittiin ensimmäisten kalibrointitulosten perusteella ja asetettiin muuttumattomiksi toisella kalibrointierroksella. Kalibroinnissa saadut parametrit on esitetty taulukossa 10. Saadut parametrit vastasivat osaksi Krebsin et al. (2014) kalibroimia parametriarvoja yhtä tiheään rakennetulla asuinalueella kuin Vallikallio. Krebsin et al. (2014) kalibroimia tuloksia vastasivat putkiston ja kiveyksen Manningin kertoimet sekä hiekan läpäisevyys. Kasvillisuuden Manningin kerroin vastasi parhaiten Krebsin et al. (2014) vähiten rakennetun (läpäisemättömyys 19 %) alueen Manningin kerrointa. Hiekalle kalibroitu painannesäilyntä ja Manningin kerroin eivät vastanneet Krebsin et al. (2014) tuloksia. Kolmea valuntatapahtumaa kokeiltiin kalibroida myös erikseen. Eri valuntatapahtumilla kalibroidut arvot poikkesivat toisistaan osittain paljon. Kun erikseen kalibroiduille arvoille laskettiin keskiarvot, niiden todettiin olevat lähellä aiemmin valuntatapahtumille yhtä aikaa kalibroiduja parametriarvoja. Koska eri valuntatapahtumille sopivat eri parametriarvot, kalibroinnissa saatuja parametrien arvoja ei voi pitää yksiselitteisinä.

5.1.2 Kalibrointi- ja validointitulosten arviointi

Kuvassa 13 esitettyjen tulosten perusteella Vallikallion valuma-alueen mallin kalibrointi onnistui hyvin parametrien yksiselitteisyyden puutteesta huolimatta. Kuvaajista nähdään, että virtaamapiikit osuvat ajallisesti suureksi osaksi kohdalleen, mutta ovat usein hieman liian pieniä tai liian suuria.



Kuva 13. Kalibrointitapahtumien hetkellisen virtaaman kuvaajat tapahtumille (a) K1, (c) K2 ja (e) K3 ja kumulatiiviset valunnan kertymäkuvaajat tapahtumille (b) K1, (d) K2 ja (f) K3.

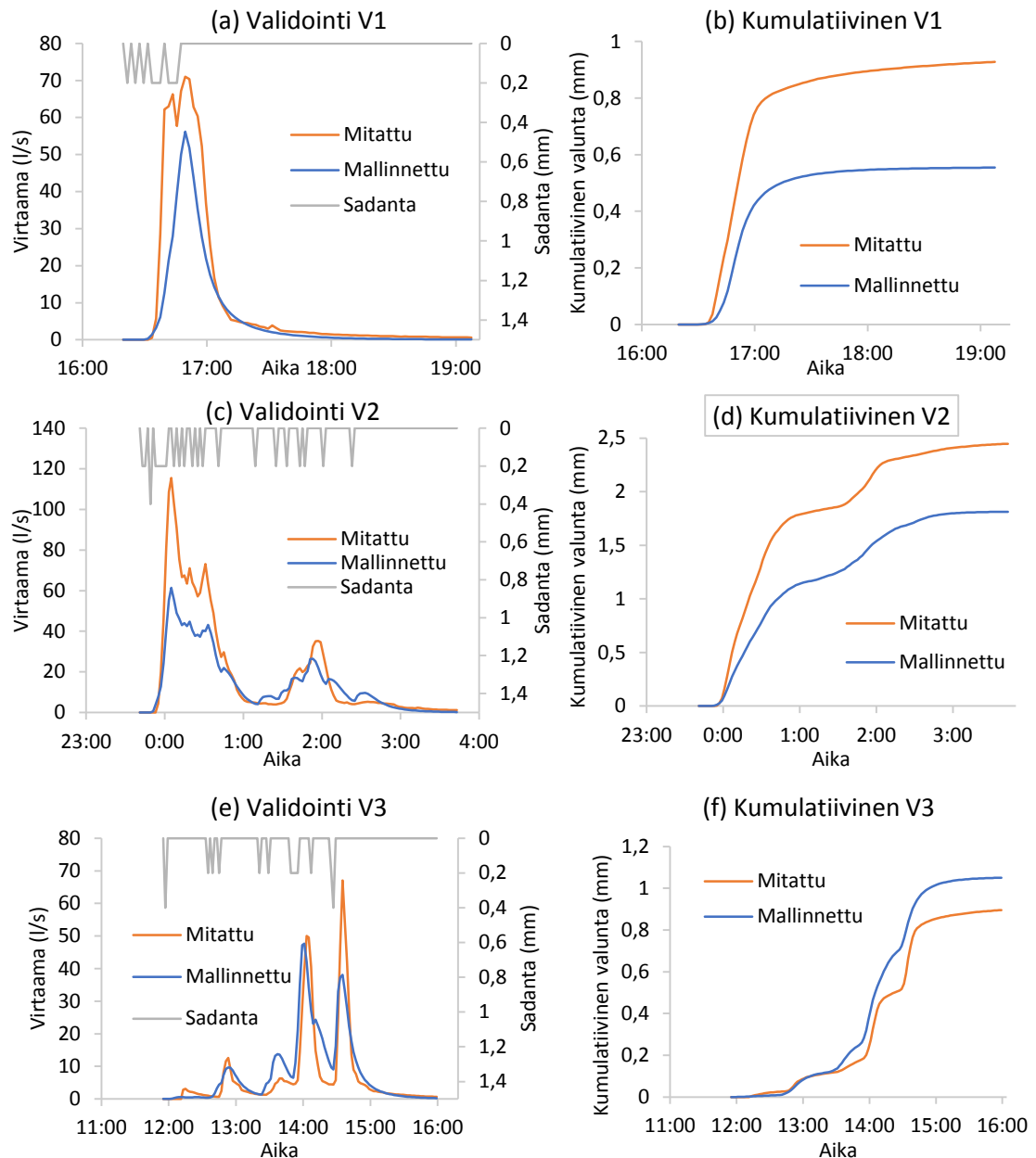
Malli näyttää noudattavan mittauksia melko hyvin, mikä nähdään kuvaajien lisäksi taulukossa 11 esitetyistä hyvyyslukuista. Moriasin et al. (2007) mukaan *NSE*:n arvo välillä 0,75-1,0 tarkoittaa erittäin hyvää mallin arviota mittauksiin nähden ja *NSE* välillä 0,65-0,75 tarkoittaa hyvää arviota. Kalibrointitapahtumien saamat *NSE*-arvot vaihtelevat 0,93-0,83 välillä, mikä tarkoittaa erittäin hyvää mallin arviota. Kumulatiivisen valunnan malli arvioi hyvin kuvan 13 perusteella. Varsinkin K1 tapahtumalla mitattu ja mallinnettu vastaavat tarkasti toisiaan ja tapahtuman K1 *NSE*-arvo on korkein eli 0,93. *PBIAS*-arvot vaihtelevat kalibroinnissa noin 1-9 % välillä, joten kalibroitu valunta eroaa mitatusta valunnasta keskimäärin noin 1-9 % valuntatapahtumasta riippuen. Moriasin et al. (2007) mukaan *PBIAS*-arvot -10...10 % välillä tarkoittavat erittäin hyvää mallin arviota. Keskimääräiset erot mallinnettujen ja mitattujen arvojen välillä (*MAE*) vaihtelevat kalibrointi-

tapahtumilla -0,37...-0,12 l/s välillä. *MAE*-arvot ovat pieniä kalibrointitapahtumien virtaamahuippuihin nähden, jotka ovat välillä 44-67 l/s. Selityksasteen (R^2) perusteella malli selittää kalibrointitapahtumilla 93-86 % mitattujen arvojen vaihtelusta.

Taulukko 11. Kalibrointi ja validointitapahtumien hyvyysluvut.

| Tapahtuma | | | | |
|--------------------|------------|----------------------|------------------|------------------|
| Kalibrointi | NSE | R² | MAE (l/s) | PBIAS (%) |
| K1 | 0,93 | 0,93 | -0,27 | 3,13 |
| K2 | 0,88 | 0,88 | -0,37 | 9,11 |
| K3 | 0,83 | 0,86 | -0,12 | 1,12 |
| Validointi | | | | |
| V1 | 0,73 | 0,87 | -4,18 | 40,26 |
| V2 | 0,74 | 0,94 | -4,94 | 25,92 |
| V3 | 0,74 | 0,75 | 1,20 | -17,35 |

Kuvan 14 perusteella malli ei kuvaa validointitapahtumia yhtä hyvin kuin kalibrointitapahtumia. Validointitapahtumilla V1 ja V2 mallinnettu valunta on suurimman osa aikaa mitattua valuntaa pienempi. Tapahtumalla V3 mallinnettu valunta on ajoittain suurempi kuin mitattu, vaikka mallinnettu ylivirtaama jääkin tapahtuman suurinta havaittua virtaamaa pienemmäksi.



Kuva 14. Validointitapahtumien hetkellisen virtaaman kuvaajat tapahtumille (a) V1, (c) V2 ja (e) V3 ja kumulatiiviset valunnan kertymäkuvaajat tapahtumille (b) V1, (d) V2 ja (f) V3.

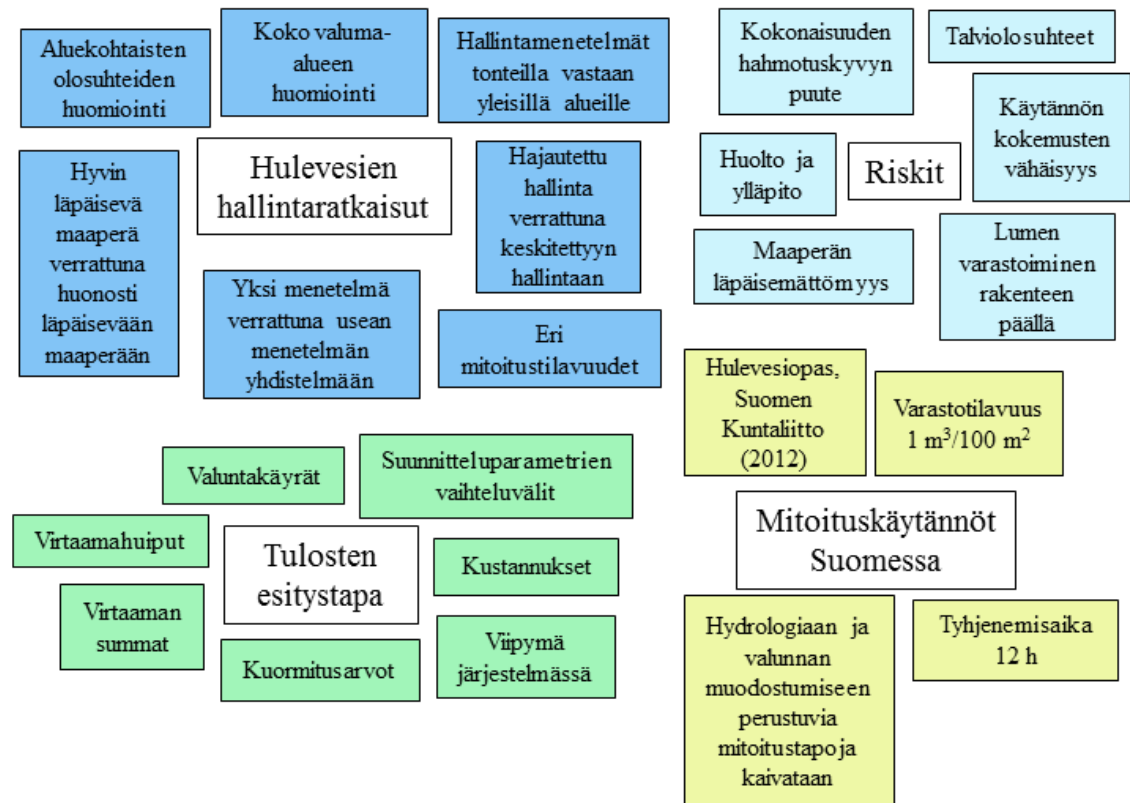
Kuvan 14 kuvaajien lisäksi taulukossa 11 esitetyt hyvyysluvut tukevat mallin heikompaa vastaavuutta validointitapahtumille kuin kalibrointitapahtumille. Validointitapahtumien *NSE*-arvot ovat 0,74 ja 0,73, mikä tarkoittaa mallin hyvää arviota mittauksiin nähden (Moriasi et al., 2007). Validointitapahtumien *PBIAS*-arvot kertovat mallin tyydyttävästä tai heikosta arviosta mittaustuloksiin nähden. Tyydyttävää arviota tarkoittaa *PBIAS*-arvo väliltä 10-25 % tai -10...-25 % ja heikkoa arviota -25 % pienempi tai 25 % suurempi arvo (Moriasi et al., 2007). *PBIAS*-arvot kertovat mallin aliarvioivan V1:n valuman arvoja noin 40 % ja V2:n noin 26 %. Myös kuvassa 14 valunnan kertymäkäyristä nähdään, että mallinnettu valunta V1:lla ja V2:lla jää reilusti alhaisemmaksi kuin mitattu. V3:n arvoja malli taas yliarvioi *PBIAS*-arvon mukaan noin 17 %, mikä näkyy myös kuvassa 14f. Kalibroinnissa todettiin, ettei kaikille kolmelle kalibroitalle valuntatapahtumalle löytynyt

yksiselitteisiä parametriarvoja. Validointitapahtumat olisivat luultavasti vaatineet eri parametreit kuin kalibroimalla saatiin, joten erot validoinnissa mittausten ja mallinnusten välillä ovat osittain suuria. Validointitapahtumien *MAE* vaihtelee välillä -4,94...1,12 l/s, joten erot mittausten ja mallinnuksen välillä ovat suuremmat kuin kalibroinnissa. Validointitapahtumista V2:n selitysasteen arvo on 0,94, joka on parempi kuin kalibrointitapahtumilla. Muut selitysasteen arvot ovat hieman huonompia, 0,87 ja 0,75. Selitysasteen mukaan mallinnetut validointitapahtumat selittävät 94-75 % arvojen vaihtelusta.

5.2 Työpajan ja haastatteluiden tulokset

Työpajassa heräsi käytännönläheisiä ajatuksia Vallikallion maankäytöstä ja sen erityispiirteistä, joiden selvittäminen olisi tarpeellista, jos haluttaisiin suunnitella mahdollisimman realistisia skenaarioita. Koska alueet ovat erilaisia, niille soveltuvat erilaisista menetelmistä koostuvat hallintaskenaariot. Osallistujat olivat kiinnostuneita Vallikallion viemäriverkoston kunnosta, kaavoitustilanteesta ja maanomistuksesta, jotka vaikuttavat sopivien LID-menetelmien valintaan. Yhdeksi skenaarioksi ehdotettiin rakenteiden laittamista joko tonteille tai yleisille alueille. Lisäksi ehdotettiin eri hallintarakenteiden painottamista eri skenaarioissa. Riskeinä hallintamenetelmien toimivuudelle nähtiin talviolosuhteet ja auraslumen varastoiminen rakenteen päälle. Skenaarioiden vertailumittareiksi ehdotettiin virtaamahuippujen vertailua, veden viipymisaikaa järjestelmässä, kuormitusarvoja ja kustannuksia. Hyvänä vaihtoehtona nähtiin myös vertailu virtaaman vähentämisen ja veden määrän vähentämisen, eli valunnan viivyttämisen ja pidättämisen, vaikutusten välillä. Mallinnussateiksi ehdotettiin sadevesiviemäreiden mitoitussadetta erilaisilla toistuvuuksilla. Mitoituksen lähtökohtana tulisi olla kaikilla alueilla hulevesien määrän vähentäminen imeyttämällä tai hyötykäytöllä. Suomessa mitoituksessa on käytetty usein Suomen Kuntaliiton (2012) hulevesiopasta. Hulevesioppaan mukaan 100 m² rakennettua pintaa kohti tulee olla yksi kuutiometri varastotilavuutta. Hallintarakenteiden tyhjentymisajaksi on yleistynyt 12 tuntia.

Hulevesiasiantuntijoiden haastatteluissa nousivat esille aluekohtainen suunnittelu ja aluekohtaisten olosuhteiden huomioonottaminen kuten työpajassakin. Kuvassa 15 on esitetty tiivistettynä työpajan ja haastatteluiden tärkeimmät tulokset. Suunnittelussa tulisi ottaa huomioon koko valuma-alue, Vallikallion tapauksessa Monikonpuron valuma-alue, eikä pelkästään keskittyä liian pieniin osavaluma-alueisiin. Pieneen suunnittelualueeseen keskittyminen voi johtaa ongelmiin muualla valuma-alueella. Yleisenä ongelmana nähtiin puutteet hulevesien hallinnan säädöksissä. Kiinteistöillä ei ole usein motivaatiota hulevesien hallinnalle. Hulevesijärjestelmän hallintaa tulisi parantaa ja selkeyttää kuntatasolla. Esille nousi myös kysymys, voidaanko luonnonmukaisten hallintamenetelmien käytöllä säästää viemäriputkien mitoituksessa.



Kuva 15. Tiivistelmä työpajan ja haastatteluiden tuloksista.

Hulevesien ensisijainen hallintamenetelmä on maaperään imeyttäminen, joka ei kuitenkaan aina ole mahdollista. Haastatteluissa todettiin, että suomalaisilla kaupunkialueilla luonnollinen maaperä soveltuu harvoin imeyttämiseen, mikä rajoittaa LID-rakenteiden suunnittelua. Toinen keskeinen ongelma on korkeuserojen puute. Huonoimmat olosuhteet maaperän ominaisuuksien ja korkeuserojen kannalta on vanhoilla peltoalueilla. Yhtenä skenaarioehdotuksena syntyi vertailu hyvin vettä läpäisevän maaperän ja huonosti vettä läpäisevän maaperän välillä. Samat hulevesien hallintakeinot eivät oletettavasti toimi yhtä hyvin molemmilla maaperillä. Huonosti vettä läpäisevällä maaperällä hulevesien imeyttäminen voi olla mahdotonta, jolloin hallinta perustuu viivytykseen, haihdutukseen ja suodatukseen. Imeytyskaivantoa pidettiin ensisijaisena menetelmänä, jos maaperä on vettä läpäisevää eikä pohjaveden pinta ole liian lähellä maanpintaa. Menetelmien vertailu tutkimalla yhtä menetelmää kerrallaan herätti erilaisia mielipiteitä. Toisten mielestä olisi kiinnostavaa mallintaa alueella yhtä menetelmää kerrallaan ja vertailla niiden toimivuutta. Toisaalta taas todellisessa tilanteessa käytettäisiin useaa rakennetta yhtä aikaa, jolloin niiden erikseen mallintamisesta ei nähty suurta hyötyä. Skenaarioksi ehdotettiin vertailua hajautetun hallinnan ja keskitetyn hallinnan välillä. Haastatteluissa katsottiin, että läpäisevät päällysteet ja biosuodatus sopivat sekä tonttialueille että katualueille. Tonttialueilla läpäisevät päällysteet sopivat pihaille ja parkkipaikoille ja katualueilla kävely- ja pyöräteille. Biosuodatusta voidaan käyttää katualueilla autotien ja kevyenliikenteen väylän välissä. Samaan yhteyteen sopisivat myös pienimuotoiset viherpainanteet. Lisäksi tonttialueille sopiviksi menetelmiksi katsottiin viherkatot, sadevesisäiliöt, kattojen irtikytkentä sekä läpäisevän maaperän tapauksessa imeytyskaivanto.

Riskitarkastelussa nähtiin hyvänä tarkastella harvinaisen suuren rankkasateen aiheuttamaa tilannetta. Riskinä nähtiin, ettei kokonaisuuksia osata hahmottaa. Esimerkiksi läpäisevien pintojen rakentaminen ei auta, jos maaperä ei imeytä tai varastoituvaa vettä ei hyödynnetä tontilla. Samoin Viheralueen koko ei ole itseisarvo vaan viheralueet olisi hyvä integroida läpäisemättömän alueen sisälle. Huolto ja ylläpito nähtiin myös riskialttiina samoin kuin talvikunnossapito. Kunnossapidon vastuu ja ohjeistus pitäisi olla tarpeeksi hyvää, jotta hulevesien hallintarakenteet toimisivat tehokkaasti ja pitkäikäisesti. Rakenteista on vielä vähän käytännön kokemuksia Suomessa, joten virheitä voi sattua niin suunnittelussa, rakentamisessa kuin ylläpidossa.

Tarpeena tunnistettiin suunnittelu- ja mallinnusparametrien skaalojen löytäminen Suomen olosuhteisiin. Esimerkiksi tieto siitä, miten paljon erityyppisiin maaperiin voi imeyttää vuorokaudessa, olisi hyödyllinen. SWMM-mallin maaperäparametrien (hydraulinen johtavuus, painekorkeus ja maaperän kosteusvaje) vaihteluvälit ovat laajat ja parametrien valinta vaikuttaa paljon hallintarakenteiden laskennalliseen toimintaan. Suunnittelussa tulisi valita maaperän parametreille varovainen arvo mieluummin kuin liian rohkea arvo. Esimerkiksi maaperän vedenläpäisevyys on parempi aliarvioida kuin yliarvioida. Alueista on olemassa maaperäkartoja, joiden avulla olisi hyvä tarkentaa mitä menetelmiä milläkin alueilla kannattaa käyttää. Tieto parametreista varsinkin LID-rakenteiden kohdalla on puutteellista ja niille kaivattiin jonkinlaisia ohjeistuksia. Laadun kannalta haitallisempia ovat pienet virtaamat ja keskivirtaamat kuin harvoin toistuvat huippuvirtaamat.

Hallintarakenteiden vertailua ehdotettiin tehtäväksi erilaisilla sadetapahtumilla, niin pienillä tai suurilla kuin lyhyt- tai pitkäkestoisilla. Hulevesien hallintamenetelmien vaikutuksesta tulvimiseen oltiin kiinnostuneita. Tuloksissa ehdotettiin tarkasteltavaksi valuntakäyriä, ylivirtaamia, virtaaman summaa ja viipymää valuma-alueella.

Haastatteluissa nousivat esille samat asiat mitoituskäytännöistä kuin työpapassakin. Yksi kuutiometri viivytystilavuutta 100 m² rakennettua pintaa kohti on yleistynyt Suomessa eikä sitä juuri kyseenalaisteta, vaikkei se varsinaisesti perustu tarkempaan tutkimustietoon. Haastatteluiden mukaan kyseinen arvo voi olla joillekin alueille liian suuri, toisille taas liian pieni. Joillakin alueilla näin suurta viivytystilavuutta ei ole mahdollista rakentaa tilanpuutteen vuoksi tai viivytystilavuuden rakentaminen tulee kohtuuttoman kalliiksi. Ehdotettiin, että mallinnuksessa voisi kokeilla yhtenä muuttujana erilaisten tilavuuksien vaikutusta (0,5 m³, 1 m³, 1,5 m³ jne.). Yleinen mielipide oli, että 1 m³/100 m²-käytännön tilalle olisi hyvä kehittää hydrologiaan ja alueen valunnan muodostumiseen perustuvia mitoitustapoja. 12 tunnin tyhjenemisaika rakenteille herätti erilaisia mielipiteitä. Toisaalta aika voisi olla lyhyempi, ettei rakenteen purkuputkista tarvitse tehdä liian pieniä ja siten vaikeuttaa niiden toimivuutta ja huoltovarmuutta. Virtaamapiikkien hallinta todettiin vaikeaksi näin pitkällä ajalla pientä varastotilavuutta käytettäessä, sillä varasto täyttyy nopeasti eikä toimi enää viivytävänä. Toisaalta taas mainittiin, että lyhyillä viipymillä rakenne ei välttämättä viivytä ollenkaan. Pienen sateen kerryttämä vesimäärä tyhjenee rakenteesta nopeasti. Maisemalliset arvot ja veden laadullinen hallinta puoltavat rakenteiden hitaampaa tyhjenemisaikaa, jotta lammikot eivät olisi kuivina pitkiä aikoja. Suu-

rille rakenteille 12 tunnin tyhjenemisaika voi olla liian lyhyt. Joissakin tapauksissa olemassa olevasta purkavasta rakenteesta virtaa tietty maksimimäärä vettä. Mikäli määrä ei ole riittävä 12 h tyhjenemisajan saavuttamiseen, voi sen uusiminen olla vaikeaa ja tulla kalliiksi. Joidenkin epäpuhtauksien poistuminen rakenteesta riippuen vaatii myös pidempiä viipymiä kuin 12 tuntia.

5.3 Hulevesien hallintaskenaarioiden vertailu

5.3.1 LID-menetelmien toiminta pitkillä mallinnusajanjaksoilla

Sateisen ja vähäsateisen ajanjakson mallinnuksien avulla arvioitiin LID-menetelmien kumulatiivista vaikutusta viemärin virtaamaan. Pitkät ajanjaksot mallinnettiin sekä huonosti että hyvin läpäisevällä maaperällä. Mallinnusten perusteella tutkittiin maaperän läpäisevyyden vaikutuksia LID-menetelmien toimintaan. Pihoille sijoitettavat menetelmät mallinnettiin kolmella eri mitoitustilavuudella, jonka jälkeen vertailtiin eroja niiden mallinnustuloksissa.

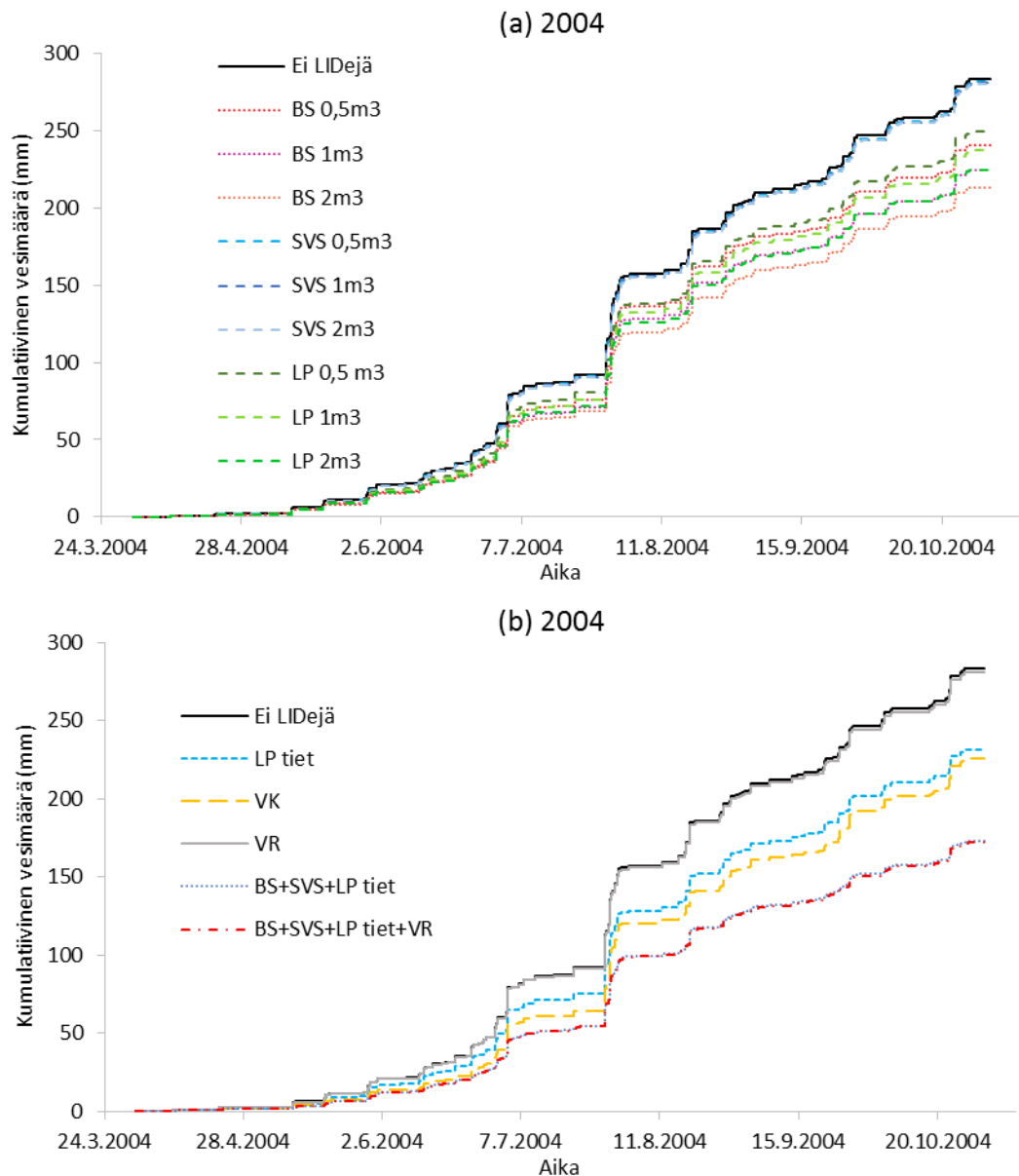
Hyvin vettä läpäisevä maaperä, sateinen ajanjakso

Sateisen ajanjakson vesitaseet eri skenaarioille hyvin vettä läpäisevällä maaperällä on esitetty taulukossa 12. Suurin osa sadannasta (47,4-65,7 %) imeytyy maaperään kaikissa skenaarioissa. Taulukossa 12 esitetty tulvinta tarkoittaa valunnan aiheuttamia viemäriverkoston hetkittäisiä kapasiteetin ylityksiä. SWMM-simulaatiossa tulvinta katoaa mallista tulvintahäviönä, joten tulviva vesimäärä ei päädy takaisin hulevesiverkostoon.

Taulukko 12. Valuma-alueen vesitaseet eri skenaarioille hyvin vettä läpäisevällä maaperällä sateisena ajanjaksona. Suluissa prosenttiosuus kokonaissadannasta. LID salaojavalunta on osa purkupisteen valuntaa. SVS tarkoittaa sadevesisäiliötä, BS biosuodatusaluetta, LP läpäisevää päällystettä, VK viherkattoa ja VR viivytyrakennetta. Tulvinta tarkoittaa viemäriverkoston hetkellistä ylikuormitusta.

| 1.4.–31.10.2004 | | Sadanta (mm) 679 | | | | |
|-----------------|-----------------------------|------------------|----------------|---------------|----------------------|-------------------------|
| Skenaario | Valunta purkupisteellä (mm) | Imeytyminen (mm) | Haihdunta (mm) | Tulvinta (mm) | Varaston muutos (mm) | LID salaojavalunta (mm) |
| Ei LIDejä | 282 (41,5 %) | 329 (48,5 %) | 65 (9,6 %) | 3 (0,4 %) | 0 (0 %) | - |
| SVS 0,5m3 | 280 (41,2 %) | 329 (48,5 %) | 67 (9,9 %) | 3 (0,4 %) | 0 (0 %) | 35 (5,2 %) |
| SVS 1m3 | 279 (41,1 %) | 329 (48,5 %) | 67 (9,9 %) | 3 (0,4 %) | 0 (0 %) | 53 (7,8 %) |
| SVS 2m3 | 279 (41,1 %) | 329 (48,5 %) | 66 (9,7 %) | 2 (0,3 %) | 0 (0 %) | 69 (10,2 %) |
| BS 0,5 m3 | 239 (35,2 %) | 371 (54,6 %) | 66 (9,7 %) | 3 (0,4 %) | 0 (0 %) | - |
| BS 1m3 | 223 (32,8 %) | 386 (56,9 %) | 67 (9,9 %) | 2 (0,3 %) | 0 (0 %) | - |
| BS 2m3 | 212 (31,2 %) | 396 (58,3 %) | 69 (10,2 %) | 1 (0,1 %) | 1 (0,1 %) | - |
| LP 0,5m3 | 248 (36,5 %) | 360 (53 %) | 65 (9,6 %) | 3 (0,4 %) | 0 (0 %) | 26 (3,8 %) |
| LP 1m3 | 235 (34,6 %) | 375 (55,2 %) | 64 (9,4 %) | 2 (0,3 %) | 0 (0 %) | 29 (4,3 %) |
| LP 2m3 | 223 (32,8 %) | 391 (57,6 %) | 62 (9,1 %) | 2 (0,3 %) | 0 (0 %) | 27 (4 %) |
| LP tiet | 230 (33,9 %) | 392 (57,7 %) | 55 (8,1 %) | 2 (0,3 %) | 0 (0 %) | - |
| VK | 224 (33 %) | 322 (47,4 %) | 123 (18,1 %) | 1 (0,1 %) | 8 (1,2 %) | - |
| VR | 282 (41,5 %) | 329 (48,5 %) | 65 (9,6 %) | 3 (0,4 %) | 0 (0 %) | - |
| SVS+BS+ | | | | | | |
| LP tiet | 172 (25,3 %) | 446 (65,7 %) | 59 (8,7 %) | 1 (0,1 %) | 0 (0 %) | 53 (7,8 %) |
| SVS+BS+ | | | | | | |
| LP tiet+VR | 172 (25,3 %) | 446 (65,7 %) | 59 (8,7 %) | 1 (0,1 %) | 0 (0 %) | 53 (7,8 %) |

LID-menetelmien avulla on mahdollista lisätä imeytymistä tehokkaasti, koska maaperän vedenläpäisevyys on hyvä. Läpäisevät päällysteet katualueilla lisäävät imeytymistä noin 19 %, eli 329 mm:stä 392 mm:iin (taulukko 12). Biosuodatusalueet lisäävät imeytymistä 13, 17 ja 20 % mitoitustilavuudesta riippuen. Yhdistelmäskenaarioissa imeyntä lisääntyy noin 36 % eli skenaarioista eniten. Yhdistelmäskenaarioissa on mukana sekä läpäisevä päällyste kaduilla että 1 m³/100 m² mitoitustilavuuden kokoiset biosuodatusalueet, jotka molemmat imeyttävät hulevettä tehokkaasti. Toisessa yhdistelmäskenaariossa on lisäksi viivytyrakennetta, jolla ei ole vaikutusta vesitaseeseen. Yhdistelmäskenaariot pystyvät lisäämään imeyntää niin paljon, että niiden avulla kumulatiivinen vesimäärää vähenee eniten (kuva 15). Lisäksi taulukosta 12 nähdään, että yhdistelmäskenaariot vähentävät hulevesiviemärin valunnan määrää lähes 40 % verrattuna siihen, ettei LID-menetelmiä ole käytetty lainkaan. Myös Guan et al. (2015b) ja Damodaram et al. (2010) ovat todenneet, että usean hulevesien hallintamenetelmän yhdistelmät pienentävät hulevesiviemärin virtaa tehokkaimmin. Lisäksi usean menetelmän yhdistelmien käyttämistä hulevesien hallinnassa ovat suositelleet esimerkiksi Coffman ja Clar (2003) sekä Dhalla ja Zimmer, 2010.



Kuva 16. Vuoden 2004 sateisen ajanjakson kumulatiivisen virtaaman kuvaajat hyvin vettä läpäisevällä maaperällä (a) biosuodatus- (BS), sadevesisäiliö- (SVS) ja läpäisevät päällysteet pihoiilla -skenaariolle (LP), (b) läpäisevä päällyste katualueilla- (LP tiet), viherkatto- (VK), viivytyksrakente- (VR) ja yhdistelmäskenaariolle.

Kuvasta 16b nähdään, että viherkattojen vaikutus kumulatiiviseen vesimäärään on huomattava. Viherkattojen vaikutus on hieman suurempi kuin katualueiden läpäisevien päällysteiden (taulukko 12 ja kuva 16b). Viherkatot lähes kaksinkertaistavat valuma-alueen haihdunnan ja vähentävät purkupisteen valuntaa yli 20 % (taulukko 12). Myös Mobilia et al. (2015) ovat raportoineet, että viherkatot lisäävät haihduntaa tehokkaasti pitkällä aikavälillä ja sitä kautta vähentävät viemärin valuntaa. Kuvasta 16b nähdään, että ero kumulatiivisessa virtaamassa VK-skenaariion ja LP tiet-skenaariion välillä on suurempi kesäkuukausina kuin mallinnusajanjakson lopussa. Ero pienenee, sillä lokakuun lämpötilat ovat alhaisemmat kuin kesällä eikä viherkatoilta haihdu enää yhtä paljon vettä kuin lämpiminä kesäkuukausina. Muiden skenaarioiden laskennallinen vaikutus haihduntaan on vähäistä. Tehokkaasti vettä imeyttävät läpäisevät päällysteet, joiden pinnalla ei ole haihduntaa lisäävää kasvillisuutta, vähentävät kokonaishaihdunnan määrää. Viherkattojen

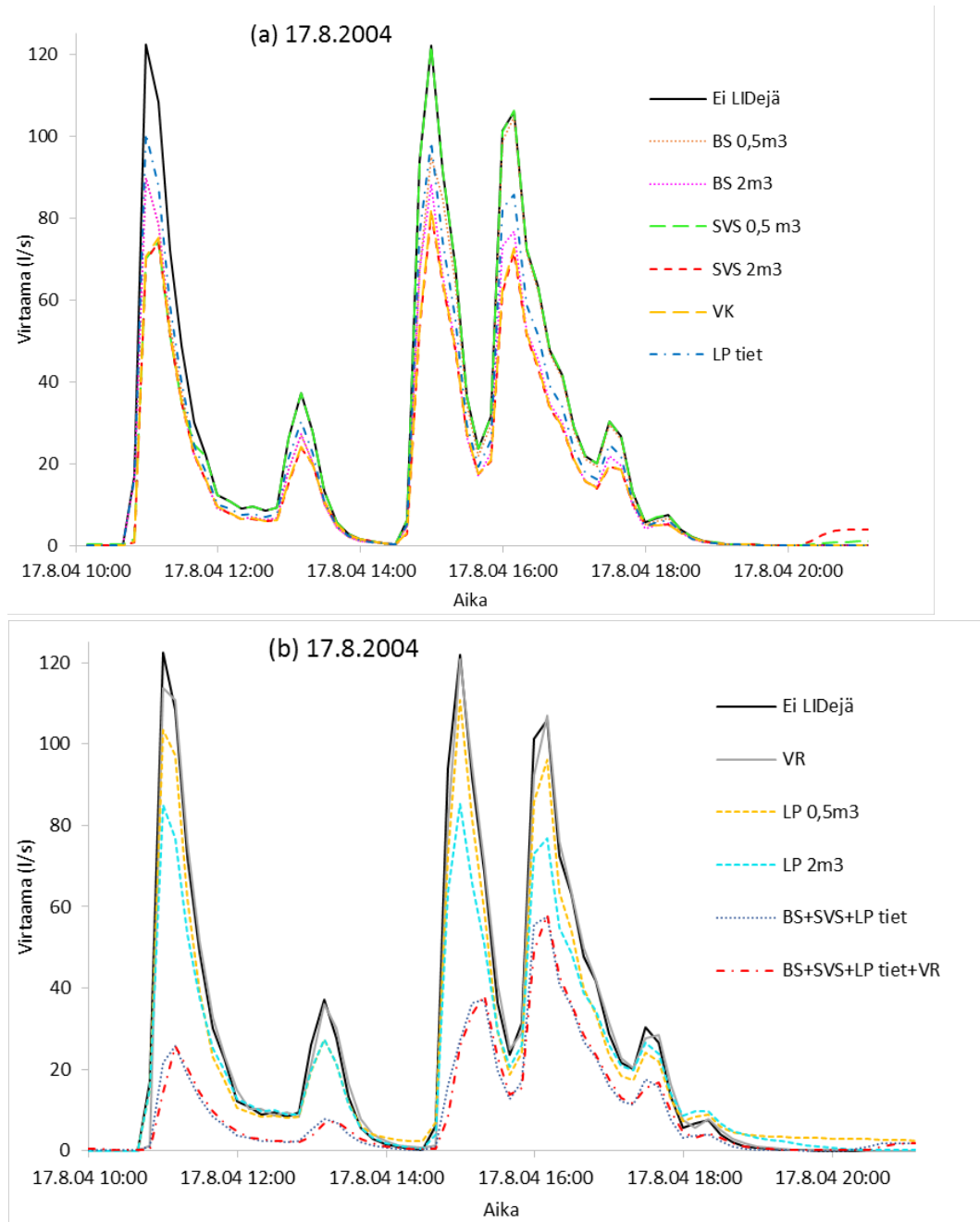
vaikutus on huomattava, sillä viherkattoja on sijoitettu kaikkien kerrostalojen katoille, jotka kattavat lähes 18 % valuma-alueen pinta-alasta (taulukko 13).

Taulukko 13. LID-menetelmien pinta-alat ja niiden käsittelemät pinta-alat koko valuma-alueella. Suluissa prosenttiosuudet koko valuma-alueen pinta-alasta.

| LID-menetelmä | LID pinta-ala (m ²) | Käsiteltävä pinta-ala (m ²) |
|-----------------------------|------------------------------------|--|
| BS 0,5 m ³ | 291 (0,3 %) | 18707 (16,4 %) |
| BS 1 m ³ | 582 (0,5 %) | 18707 (16,4 %) |
| BS 2 m ³ | 1164 (1 %) | 18707 (16,4 %) |
| SVS 0,5 m ³ | 175 (0,2 %) | 21009 (18,4 %) |
| SVS 1 m ³ | 350 (0,3 %) | 21009 (18,4 %) |
| SVS 2 m ³ | 700 (0,6 %) | 21009 (18,4 %) |
| LP pihat 0,5 m ³ | 668 (0,6 %) | 23349 (20,5 %) |
| LP pihat 1 m ³ | 1336 (1,2 %) | 23349 (20,5 %) |
| LP pihat 2 m ³ | 2672 (2,3 %) | 23349 (20,5 %) |
| LP tiet | 8950 (7,8 %) | 10641 (9,3 %) |
| VK | 20156 (17,7 %) | 20156 (17,7 %) |

Pihoille sijoitetut biosuodatusalueet sekä läpäisevät päällysteet vaikuttavat purkupisteen valuntaan sitä enemmän, mitä suurempi niiden mitoitustilavuus on (taulukko 12 ja kuva 16). Biosuodatusalueet vähentävät purkupisteen valuntaa laskennallisesti hieman enemmän kuin läpäisevät päällysteet piha-alueilla, vaikka läpäisevien päällysteiden kokonaispinta-ala ja käsittelemä pinta-ala ovat suurempia (taulukko 13). Käsiteltävä pinta-ala tarkoittaa aluetta, jolta vesi on johdettu LID-rakenteeseen. Taulukosta 12 nähdään, että biosuodatusalueet imeyttävät laskennallisesti hulevettä 5-11 mm enemmän kuin läpäisevät päällysteet. Ero menetelmien välillä johtuu läpäisevillä päällysteillä käytetystä salaojasta, jota pitkin osa vedestä kulkeutuu hulevesiviemäriin. Salaoja oli läpäisevien päällysteiden mallinnuksessa välttämätön, sillä ilman salaojaa niiden vesitaseessa olisi ollut 10-15 % jatkuvuusvirhe.

Kuvassa 17 on esitetty pieni osa sateisen ajanjakson valuntakäyrästä. Ennen esitettyä sadetapahtumaa oli runsaan vuorokauden pituinen sateeton jakso. Usean menetelmän yhdistelmät toimivat tehokkaimmin myös yksittäisellä sadetapahtumalla pitkältä ajanjaksolta. Kuvasta 17a nähdään, että 2 m³ sadevesisäiliöt pienentävät ylivirtaamia yhtä tehokkaasti kuin viherkatotkin. 0,5 m³ sadevesisäiliöt pystyvät pidättämään ensimmäisen virtaamapiikin, mutta sen jälkeen valuntakäyrä on yhtäläinen ”ei LIDejä”-skenaarion kanssa. Tehokkaimmin toimivat usean menetelmän yhdistelmät (kuva 17b). Läpäisevät päällysteet pihoilla ja sadevesisäiliöt purkavat vettä viemäriverkostoon pidempään sadetapahtuman jälkeen kuin muut rakenteet, sillä kyseisissä rakenteissa on salaoja.



Kuva 17. Sadetapahtuman valuntakäyrä sateiselta ajanjaksolta hyvin vettä läpäisevällä maaperällä. Sadetapahtuman sademäärä oli 18,92 mm ja keskimääräinen intensiteetti 2,58 mm/h.

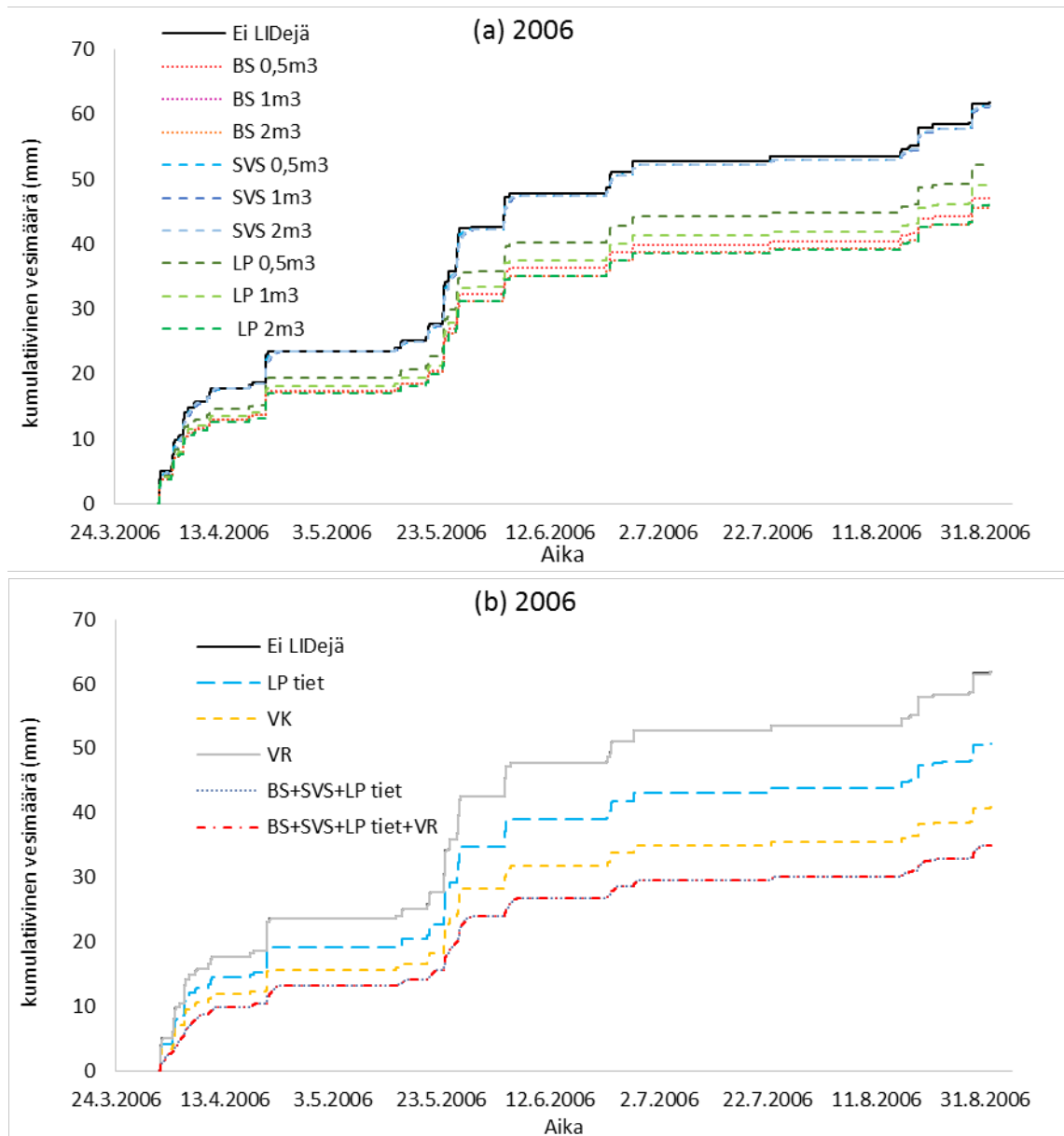
Hyvin vettä läpäisevä maaperä, vähäsateinen ajanjakso

Vuoden 2006 vähäsateisen ajanjakson vesitaseet eri skenaarioille on esitetty taulukossa 14. Suurin osa sadannasta (47,3-66,2 %) imeytyy maaperään, eli lähes sama osuus imeytyy kuin sateisena ajanjaksonakin.

Taulukko 14. Valuma-alueen vesitaseet eri skenaarioille hyvin vettä läpäisevällä maaperällä vähäsateisena ajanjaksona. Suluissa prosenttiosuus kokonaissadannasta. LID salaojavalunta on osa purkupisteen valuntaa. SVS tarkoittaa sadevesisäiliötä, BS biosuodatusaluetta, LP läpäisevää päällystettä, VK viherkattoa ja VR viivytysrakennetta. Tulvinta tarkoittaa viemäriverkoston hetkellistä ylikuormitusta.

| 1.4.–31.8.2006 | | Sadanta (mm) | | 165 | | |
|----------------|-----------------------------|------------------|----------------|---------------|---------------------|-------------------------|
| Skenaario | Valunta purkupisteellä (mm) | Imeytyminen (mm) | Haihdunta (mm) | Tulvinta (mm) | Varastonmuutos (mm) | LID salaojavalunta (mm) |
| Ei LIDejä | 62 (37,6 %) | 81 (49,2 %) | 22 (13,4 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | - |
| SVS 0,5m3 | 61 (37 %) | 81 (49,2 %) | 23 (14 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | 13 (7,9 %) |
| SVS 1m3 | 61 (37 %) | 81 (49,2 %) | 22 (13,4 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | 19 (11,5 %) |
| SVS 2m3 | 61 (37 %) | 81 (49,2 %) | 22 (13,4 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | 20 (12,1 %) |
| BS 0,5 m3 | 47 (28,5 %) | 94 (57 %) | 23 (14 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | - |
| BS 1m3 | 46 (27,9 %) | 95 (57,7 %) | 24 (14,6 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | - |
| BS 2m3 | 46 (27,9 %) | 93 (56,4 %) | 25 (15,2 %) | 0 (0 %) | 1 (0,6 %) | - |
| LP 0,5m3 | 52 (31,6 %) | 90 (54,6 %) | 22 (13,4 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | 7 (4,2 %) |
| LP 1m3 | 49 (29,7 %) | 94 (57 %) | 21 (12,7 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | 6 (3,6 %) |
| LP 2m3 | 46 (27,9 %) | 97 (58,9 %) | 21 (12,7 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | 3 (1,8 %) |
| LP tiet | 51 (31 %) | 95 (57,7 %) | 19 (11,5 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | - |
| VK | 41 (24,9 %) | 78 (47,3 %) | 46 (27,9 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | - |
| VR | 62 (37,6 %) | 81 (49,2 %) | 22 (13,4 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | - |
| SVS+BS+ | | | | | | |
| LP tiet | 35 (21,2 %) | 109 (66,2 %) | 21 (12,7 %) | 0 (0 %) | 1 (0,6 %) | 19 (11,5 %) |
| SVS+BS+ | | | | | | |
| LP tiet+VR | 35 (21,2 %) | 109 (66,2 %) | 21 (12,7 %) | 0 (0 %) | 1 (0,6 %) | 19 (11,5 %) |

Myös kuivana vuonna, kuten sateisenakin, yhdistelmäskenaariot toimivat parhaiten purkupisteen valunnan vähentämisessä (taulukko 14 ja kuva 18b). Yhdistelmäskenaariot vähentävät purkupisteen valuntaa noin 35 % verrattuna siihen, ettei LID-menetelmiä ole käytetty ollenkaan. Yhdistelmäskenaarioiden vaikutukset myös imeytymiseen ovat suuremmat verrattuna muihin skenaarioihin, sillä niiden seurauksena imeytyminen lisääntyy noin 26 %. Muissa skenaarioissa imeyntä ei yllä samalle tasolle eikä purkupisteen valunta vähene myöskään viherkattoskenaarioiden haihduntahäviön seurauksena yhtä paljon kuin yhdistelmäskenaarioissa (taulukko 14).



Kuva 18. Vuoden 2006 vähäsateisen ajanjakson kumulatiivisen virtaaman kuvaajat hyvin vettä läpäisevällä maaperällä (a) biosuodatus- (BS), sadevesisäiliö- (SVS) ja läpäisevät päällysteet pihoilaskenaariolle (LP), (b) läpäisevä päällyste katualueilla- (LP tiet), viherkatto- (VK), viivytyksrakente- (VR) ja yhdistelmäskenaariolle.

Viherkatot haihduttavat vettä tehokkaasti myös vähäsateisena vuonna. Viherkattojen avulla valuma-alueen haihdunta yli kaksinkertaistuu (taulukko 14). Lisäksi kumulatiivinen virtaama hulevesiviemärissä vähenee huomattavasti (kuva 18b). Ero katualueiden läpäisevien päällysteiden ja viherkattojen kumulatiivisten virtaamien välillä on suurempi vähäsateisena vuonna kuin sateisena vuonna (kuva 18b ja kuva 17b). Viherkattojen hulevesiä vähentävä vaikutus perustuu pitkälti haihduntaan, joka taas riippuu lämpötilasta. Vähäsateisen ajanjakson keskilämpötila on ollut mittauksien mukaan 14,1 °C ja sateisen ajanjakson 10,4 °C. Lisäksi vähäsateinen mallinnusajanjakso kestää elokuun loppuun, mutta sateinen mallinnusjakso jatkuu lokakuun loppuun asti. Sateisen ajanjakson keski-

lämpötila huhtikuusta elokuuhun on ollut 12,8 °C. Vähäsateinen ajanjakso on ollut lämpimämpi, joten viherkattojen haihduttava vaikutus on ollut suurempi kuin sateisena ajanjaksona.

Vähäsateisena vuonna biosuodatusalueiden vaikutukset kumulatiiviseen virtaamaan ovat suuremmat kuin piha-alueiden läpäisevien päällysteiden (kuva 18). Ero on suurimmillaan 0,5 m³ mitoitustilavuudella. 2 m³ mitoitustilavuuden biosuodatusalueiden ja läpäisevien päällysteiden vaikutukset kumulatiiviseen virtaamaan ovat lähes samat. Eroja biosuodatuksen ja läpäisevän päällysteen välillä selittää salaoja läpäisevien päällysteiden rakenteessa. Salaojavalunta on suurempaa LP 0,5 m³ skenaariossa kuin LP 1 m³ tai LP 2 m³ skenaarioissa (taulukko 14). Salaojavalunta lisää hulevesiviemärin valuntaa, jolloin myös kumulatiivinen virtaama kasvaa. BS 1 m³ ja BS 2 m³ skenaarioiden vaikutukset kumulatiiviseen virtaamaan ovat niin lähellä toisiaan, ettei käyriä erota kuvasta 18a toisistaan. Syynä voi olla se, että biosuodatusalueiden huleveden käsittelykapasiteetti ei täyty sateiden aikana. Pienempi biosuodatusalue pystyy käsittelemään siihen virtaavan veden, jolloin biosuodatusalueiden koon kasvattamisella ei ole merkitystä.

Sadevesisäiliöt ja viivytyksrakente eivät vaikuta vesitaseeseen tai kumulatiiviseen virtaamaan pitkällä aikavälillä (taulukko 14 ja kuva 18). Tämän työn mallinnuksissa sadevesisäiliöt purkavat veden samaan paikkaan kuin kattojen hulevedetkin purkavat eli suurimmaksi osaksi viemäriverkostoon. SWMM-mallissa valittiin sadevesisäiliöille vaihtoehto, että säiliöt purkavat veden osavaluma-alueen läpäisevälle pinnalle. Kyseessä oli kuitenkin sadevesisäiliön tapauksessa kattopinta, joka ei läpäise vettä. Tällöin huleveden määrä ei vähene, vaan sadevesisäiliöt pienentävät ylivirtaamia ja vähentävät hulevesiverkoston ylikuormitusta. Kuvasta 18a nähdään, että sadetapahtumien kohdalla sadevesisäiliöskenaarioiden kumulatiivisen virtaaman käyrä nousee loivemmin kuin ”ei LIDejä”-skenaarioiden käyrä. Ideaalitulanteessa sadevesisäiliöiden vesi käytettäisiin hyödyksi esimerkiksi viheralueiden kasteluun. Palla et al. (2012) on tuonut esille Suomen ilmasto-olosuhteiden tarjoaman potentiaalisen sadevesisäiliöiden käytössä. Sadevesisäiliöt pystyvät varastomaan vettä tehokkaimmin, kun sadetapahtumia on tasaisin väliajoin ja tiheään (keskimäärin noin kolmen päivän välein). Viivytyksrakente ei vaikuta vesitaseeseen ja sen tarkoituksena onkin viivyttää hulevettä ja pienentää ylivirtaamia sadetapahtumien aikana.

Huonosti vettä läpäisevä maaperä, sateinen ajanjakso

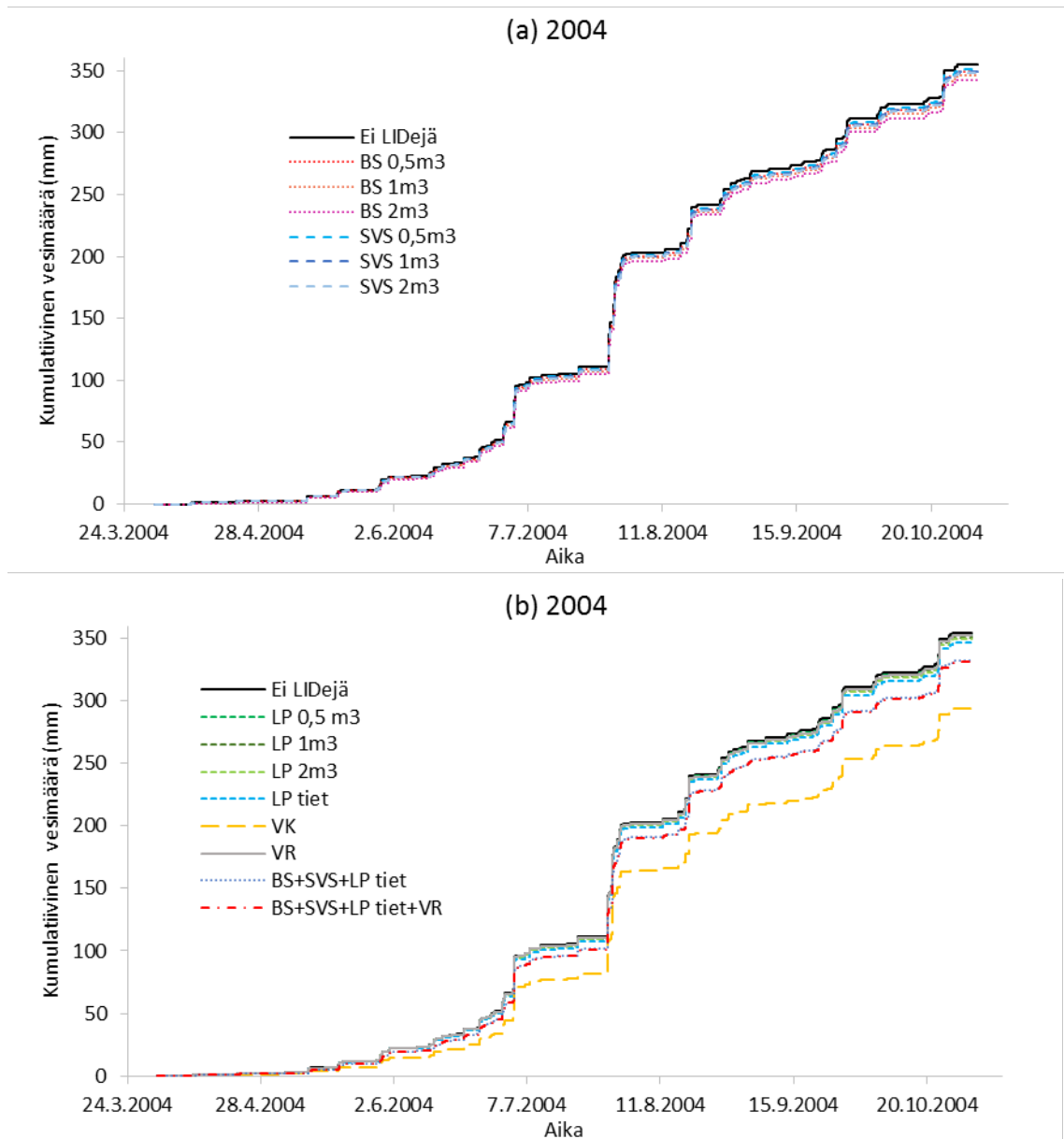
Sateisen ajanjakson vesitaseet eri skenaarioille huonosti vettä läpäisevällä maaperällä on esitetty taulukossa 15. Huonosti vettä läpäisevällä maaperällä suurin osa sadannasta (52,4-43 %) päätyy valunnaksi purkupisteellä, kun hyvin läpäisevällä maaperällä suurin osa imeytyi maaperään. Valuma-alueen maaperällä on huomattavia vaikutuksia valunnan määrään, sillä suurilla sateilla myös läpäisevät pinnat alkavat tuottaa valuntaa (Sillanpää 2013; Guan et al., 2015a). Läpäisevät pinnat tuottavat sitä helpommin valuntaa, mitä huonompi maaperän läpäisevyys on. Sillanpää (2013) on määrittänyt sadanta-valunta mitausten perusteella sadannan raja-arvoksi Vallikalliossa 17,7 mm, jota suuremmilla sateilla myös läpäisevät pinnat alkavat tuottaa valuntaa. Guanin et al. (2015a) SWMM-mallinnusten mukaan sadannan raja-arvo oli sitä suurempi, mitä parempi maaperän vedenläpäisevyys oli. Tässä työssä maaperän parametreja muutettiin simulointia varten, joten

huonosti läpäisevällä maaperällä raja-arvo on oletettavasti kyseistä arvoa matalampi riipuen Vallikallion maaperän todellisesta vedenläpäisevyydestä.

Taulukko 15. Valuma-alueen vesitaseet eri skenaarioille huonosti vettä läpäisevällä maaperällä. Suluisissa prosenttiosuus kokonaissadannasta sateisena ajanjaksona. LID salaojavalunta on osa purkupisteen valuntaa. SVS tarkoittaa sadevesisäiliötä, BS biosuodatusaluetta, LP läpäisevää päällystettä, VK viherkattoa ja VR viivytyrakennetta. Tulvinta tarkoittaa viemäriverkoston hetkellistä ylikuormitusta.

| 1.4.–31.10.2004 | | Sadanta (mm) 679 | | | | |
|-----------------|-----------------------------|------------------|----------------|---------------|----------------------|-------------------------|
| Skenaario | Valunta purkupisteellä (mm) | Imeytyminen (mm) | Haihdunta (mm) | Tulvinta (mm) | Varaston muutos (mm) | LID salaojavalunta (mm) |
| Ei LIDejä | 353 (52 %) | 245 (36,1 %) | 75 (11 %) | 7 (1 %) | 0 (0 %) | - |
| SVS 0,5m3 | 356 (52,4 %) | 246 (36,2 %) | 76 (11,2 %) | 6 (0,9 %) | 0 (0 %) | 35 (5,2 %) |
| SVS 1m3 | 354 (52,1 %) | 247 (36,4 %) | 76 (11,2 %) | 6 (0,9 %) | 0 (0 %) | 53 (7,8 %) |
| SVS 2m3 | 347 (51,1 %) | 248 (36,5 %) | 76 (11,2 %) | 5 (0,7 %) | 0 (0 %) | 69 (10,2 %) |
| BS 0,5 m3 | 348 (51,3 %) | 249 (36,7 %) | 76 (11,2 %) | 6 (0,9 %) | 0 (0 %) | 47 (6,9 %) |
| BS 1m3 | 350 (51,6 %) | 251 (37 %) | 77 (11,3 %) | 6 (0,9 %) | 0 (0 %) | 60 (8,8 %) |
| BS 2m3 | 341 (50,2 %) | 254 (37,4 %) | 79 (11,6 %) | 4 (0,6 %) | 1 (0,1 %) | 69 (10,2 %) |
| LP 0,5m3 | 351 (51,7 %) | 248 (36,5 %) | 74 (10,9 %) | 6 (0,9 %) | 0 (0 %) | 58 (8,5 %) |
| LP 1m3 | 350 (51,6 %) | 250 (36,8 %) | 73 (10,8 %) | 6 (0,9 %) | 0 (0 %) | 76 (11,2 %) |
| LP 2m3 | 348 (51,3 %) | 254 (37,4 %) | 72 (10,6 %) | 5 (0,7 %) | 0 (0 %) | 91 (13,4 %) |
| LP tiet | 345 (50,8 %) | 264 (38,9 %) | 65 (9,6 %) | 5 (0,7 %) | 0 (0 %) | 28 (4,1 %) |
| VK | 292 (43 %) | 242 (35,6 %) | 133 (19,6 %) | 4 (0,6 %) | 8 (1,2 %) | - |
| VR | 353 (52 %) | 245 (36,1 %) | 75 (11 %) | 7 (1 %) | 0 (0 %) | - |
| SVS+BS+ | | | | | | |
| LP tiet | 331 (48,8 %) | 274 (40,4 %) | 69 (10,2 %) | 4 (0,6 %) | 1 (0,1 %) | 139 (20,5 %) |
| SVS+BS+ | | | | | | |
| LP tiet+VR | 327 (48,2 %) | 274 (40,4 %) | 69 (10,2 %) | 4 (0,6 %) | 1 (0,1 %) | 139 (20,5 %) |

Huonosti läpäisevän maaperän tilanteessa kaikkien hulevesien hallintamenetelmien teho on huonompi verrattuna hyvin läpäisevällä maaperällä saatuihin mallinnustuloksiin. Huonosti läpäisevällä maaperällä purkupisteen valunta pienenee eniten viherkattoskenaariossa, kuten nähdään taulukosta 15 ja kuvasta 19. Viherkattoskenaariossa purkupisteen kokonaisvalunta on noin 19 % pienempi kuin ”ei LIDejä”-skenaariossa. Viherkattojen jälkeen toiseksi eniten purkupisteen valunta pienenee yhdistelmäskenaarioissa. Yhdistelmäskenaarioiden vaikutus kumulatiiviseen virtaamaan on selkeästi pienempi kuin viherkattojen (kuva 19). Huonosti läpäisevällä maaperällä imeyttävien menetelmien teho laskee selkeästi verrattuna hyvin läpäisevään maaperään. Syynä on maaperän huono läpäisevyys sekä salaojat, jotka lisäävät osaltaan hulevesiviemäriin päätyvää vesimäärää. Salaojia on käytettävä huonosti läpäisevällä maaperällä, jotta rakenne saadaan kuivatettua tarpeeksi tehokkaasti. Viherkattojen toimivuus on edelleen hyvä, sillä maaperän läpäisevyys ei vaikuta viherkatoilta tapahtuvaan haihduntaan.

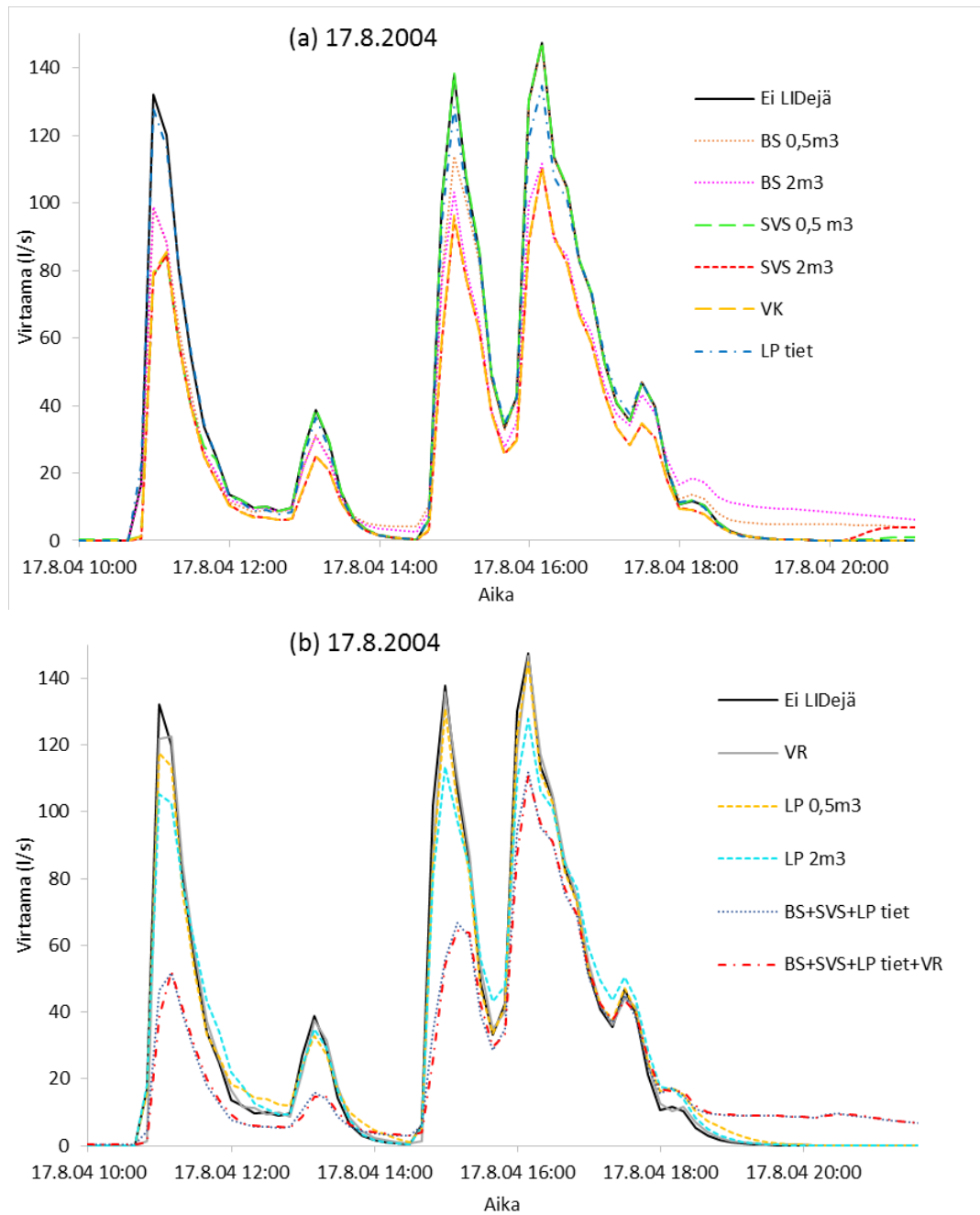


Kuva 19. Vuoden 2004 sateisen ajanjakson kumulatiivisen virtaaman kuvaajat huonosti vettä läpäisevällä maaperällä (a) biosuodatus- (BS) ja sadevesisäiliöskenaariolle (SVS), (b) läpäisevä päällyste-, (LP) viherkatto- (VK), viivytyksrakente- (VR) ja yhdistelmäskenaariolle.

Pihoille sijoitettujen LID-rakenteiden teho hulevesiviemärin valunnan vähentämisessä huonosti läpäisevällä maaperällä on melko alhainen (kuva 19). Taulukosta 15 nähdään, että läpäisevät päällysteet pihoilla pienentävät purkupisteen valuntaa vain 0,6-1,4 % ja biosuodatusalueet hieman enemmän eli 1,4-3,4 %. Läpäisevät päällysteet katualueilla vähentävät purkupisteen valuntaa vain 8 mm. Imeyttävät menetelmät eivät siis vähennä purkupisteen valuntaa tehokkaasti, kun maaperän vedenläpäisevyys ei ole hyvä ja varastoituvaa hulevettä ei ohjata hyötykäyttöön.

Kuvassa 20 on esitetty huonosti läpäisevällä maaperällä sama osa valuntakäyrää kuin kuvassa 17. Ero viherkattoskenaarioiden ja yhdistelmäskenaarioiden valuntakäyrien välillä ei ole yhtä suuri kuin hyvin läpäisevällä maaperällä mallinnettaessa. Yhdistelmäskenaariot pidättävät tehokkaasti varsinkin sadetapahtuman alussa syntyvän valunnan, mutta loppua

kohti menetelmien kapasiteetti pienentää virtaamahuippuja heikkenee. Vaikka sadetapahtuman loppua kohti menetelmien kapasiteetti alkaa olla täysi, ne pystyvät pienentämään valuntatapahtuman neljää ensimmäistä virtaamahuippua merkittävästi (kuva 20b). Lisäksi yhdistelmäskenaarioiden valunta jatkuu korkeampana kuin muiden skenaarioiden valunta vielä sadetapahtuman jälkeenkin, lukuunottamatta BS 2 m³-skenaariota, jonka valunta sadetapahtuman jälkeen on samalla tasolla. Salaojien vaikutus näkyy valunnassa selkeästi. Salaojan vaikutuksesta LID-rakenteisiin varastoitunut vesi purkautuu viemäri-verkoston vielä sadetapahtuman jälkeen. Läpäisevien päällysteiden varastointikapasiteetti on pienempi kuin biosuodatusalueiden, joten läpäisevien päällysteiden salaoja purkaa huleveden nopeammin viemäriverkoston. Tämän vuoksi läpäisevät päällysteet eivät pienennä virtaamapiikkejä yhtä tehokkaasti kuin biosuodatusalueet, mikä näkyy kuvasta 20b. LP 2 m³-skenaarion valunta ylittää paikoin muiden skenaarioiden valunnan juurikin salaojista purkautuvan veden takia. Biosuodatusalueet taas pidättävät vettä hieman pidempään, jolloin vesi purkautuu salaojien kautta myöhemmin (kuva 20a).



Kuva 20. Sadetapahtuman valuntakäyrä sateiselta ajanjaksolta huonosti vettä läpäisevällä maaperällä. Sadetapahtuman sademäärä oli 18,92 mm ja keskimääräinen intensiteetti 2,58 mm/h.

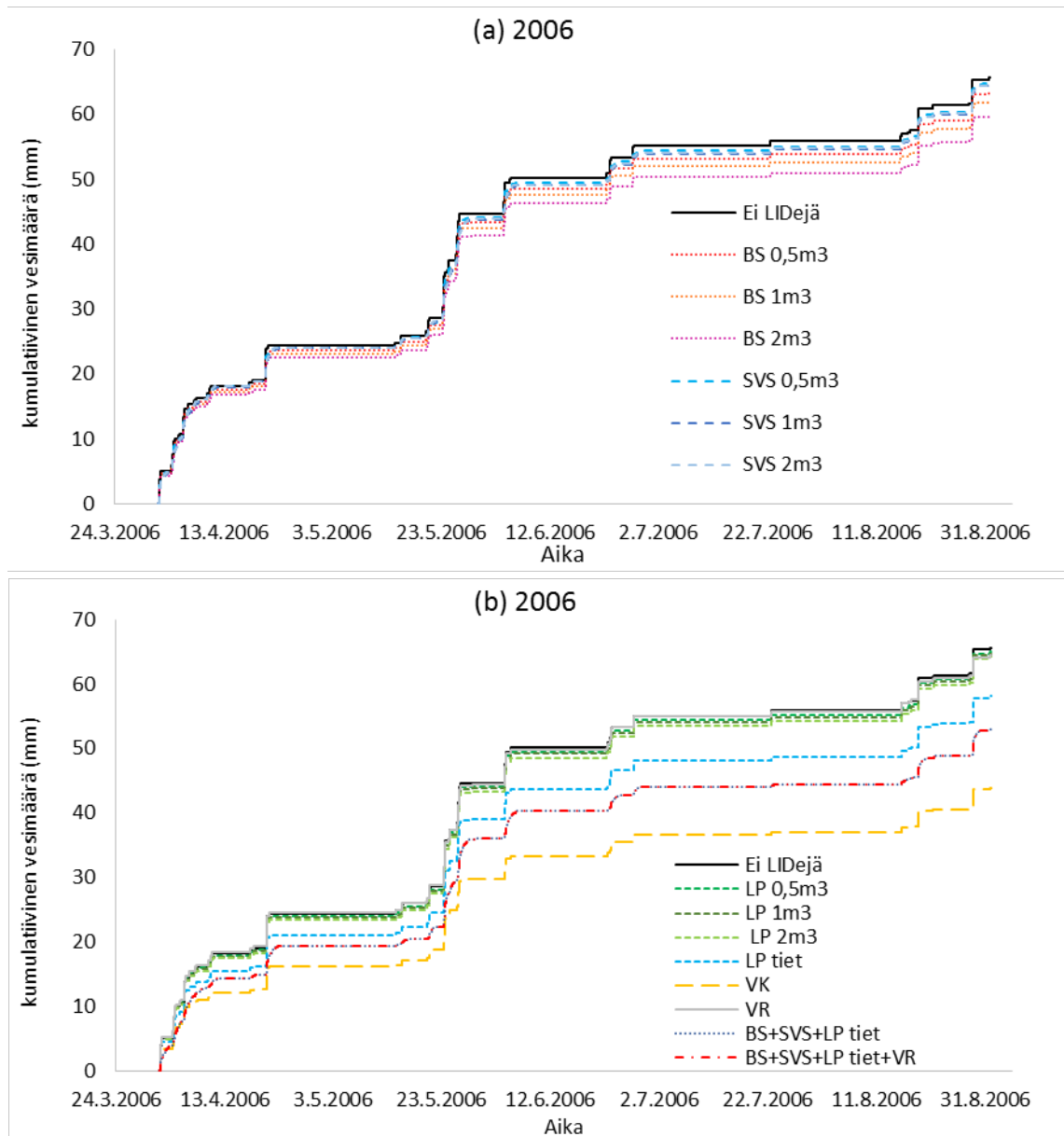
Huonosti vettä läpäisevä maaperä, vähäsateinen ajanjakso

Vähäsateisena ajanjaksona suurin osa sadannasta imeytyy maaperään (54-44,3 %), vaikka maaperä onkin huonosti vettä läpäisevää. Vesitaseet eri skenaarioille huonosti läpäisevällä maaperällä on esitetty taulukossa 16.

**Taulukko 16. Valuma-alueen vesitaseet eri skenaarioille huonosti vettä läpäisevällä maaperällä. Su-
luissa prosenttiosuus kokonaissadannasta vähäsateisena ajanjaksona. LID salaojavalunta on osa
purkupisteen valuntaa. SVS tarkoittaa sadevesisäiliötä, BS biosuodatusaluetta, LP läpäisevää pääl-
lystettä, VK viherkattoa ja VR viivytyrakennetta. Tulvinta tarkoittaa viemäriverkoston hetkellistä
ylikuormitusta.**

| 1.4.–31.8.2006 | | Sadanta (mm) 165 | | | | |
|----------------|----------------------------------|---------------------|-------------------|------------------|-------------------------|------------------------------|
| Skenaario | Valunta purku- pisteellä (mm) | Imeytyminen (mm) | Haihdunta (mm) | Tulvinta (mm) | Varaston muutos (mm) | LID salaoja- valunta (mm) |
| Ei LIDejä | 66 (40,1 %) | 75 (45,5 %) | 24 (14,6 %) | 1 (0,6 %) | 0 (0 %) | - |
| SVS 0,5m3 | 65 (39,4 %) | 75 (45,5 %) | 25 (15,2 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | 13 (7,9 %) |
| SVS 1m3 | 64 (38,8 %) | 75 (45,5 %) | 25 (15,2 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | 19 (11,5 %) |
| SVS 2m3 | 65 (39,4 %) | 75 (45,5 %) | 25 (15,2 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | 20 (12,1 %) |
| BS 0,5 m3 | 64 (38,8 %) | 76 (46,1 %) | 25 (15,2 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | 13 (7,9 %) |
| BS 1m3 | 62 (37,6 %) | 76 (46,1 %) | 26 (15,8 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | 13 (7,9 %) |
| BS 2m3 | 60 (36,4 %) | 77 (46,7 %) | 27 (16,4 %) | 0 (0 %) | 1 (0,6 %) | 11 (6,7 %) |
| LP 0,5m3 | 65 (39,4 %) | 75 (45,5 %) | 24 (14,6 %) | 1 (0,6 %) | 0 (0 %) | 16 (9,7 %) |
| LP 1m3 | 65 (39,4 %) | 76 (46,1 %) | 24 (14,6 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | 17 (10,3 %) |
| LP 2m3 | 64 (38,8 %) | 77 (46,7 %) | 23 (14 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | 18 (10,9 %) |
| LP tiet | 58 (35,2 %) | 86 (52,2 %) | 21 (12,7 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | 2 (1,2 %) |
| VK | 44 (26,7 %) | 73 (44,3 %) | 48 (29,1 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | - |
| VR | 66 (40,1 %) | 75 (45,5 %) | 24 (14,6 %) | 1 (0,6 %) | 0 (0 %) | - |
| SVS+BS+ | | | | | | |
| LP tiet | 53 (32,2 %) | 89 (54 %) | 23 (14 %) | 0 (0 %) | 1 (0,6 %) | 33 (20 %) |
| SVS+BS+ | | | | | | |
| LP tiet+VR | 53 (32,2 %) | 89 (54 %) | 23 (14 %) | 0 (0 %) | 1 (0,6 %) | 33 (20 %) |

Vaikka suurin osa sadannasta päätyykin imeynnäksi, eivät LID-menetelmät onnistu lisää-
mään sitä valuma-alueella juurikaan. Vain läpäisevät päällysteet katualueilla saavat ai-
kaan jonkinlaisen vaikutuksen imeytymisessä. Imeyntä lisääntyy laskennallisesti noin 13
% LP tiet-skenaariossa ”ei LIDejä”-skenaarioon nähden. Viherkatot lisäävät valuma-alu-
een haihduntaa kaksinkertaiseksi. Viherkatot ovatkin tehokkain menetelmä purkupisteen
valunnan vähentämisessä, mikä näkyy myös kuvassa 21b.



Kuva 21. Vuoden 2006 vähäsateisen ajanjakson kumulatiivisen virtaaman kuvaajat huonosti vettä läpäisevällä maaperällä (a) biosuodatus- (BS) ja sadevesisäiliöskenaariolle (SVS), (b) läpäisevä päällyste- (LP), viherkatto- (VK), viivytyksrakente- (VR) ja yhdistelmäskenaariolle.

Piha-alueiden läpäisevät päällysteet eivät vaikuta juurikaan kumulatiiviseen virtaamaan, kun taas pihoiden sijaitsevilla biosuodatusalueilla on pieni virtaamaa vähentävä vaikutus (kuva 21). Taulukosta 16 nähdään, että biosuodatusalueet lisäävät valuma-alueen haihduntaa noin 1-4 mm, mutta läpäisevät päällysteet pihoiden sijaitsevilla alueilla eivät lisää haihduntaa ollenkaan. Imeytyminen lisääntyy molemmilla menetelmillä vain 0-2 mm, joten haihdunta aiheuttaa eron näiden kahden menetelmän välille.

Viivyttävät menetelmät, joiden tarkoituksena on rajoittaa purkupisteen hetkellistä virtaamaa, eivät aiheuta yhtä suuria muutoksia kumulatiivisessa virtaamassa kuin valunnamäärää vähentävät menetelmät. Petruccin et al. (2013) mukaan valunnan määrään perustuvilla rajoituksilla on enemmän positiivisia vaikutuksia hulevesivaluntaan kuin hetkelli-

seen virtaamaan perustuvilla rajoituksilla. Hetkellisen virtaaman rajoittaminen tasaa purkupisteen virtaamaa, mutta ei vähennä huleveden määrää. Yläpuolisen valuma-alueen taasoittunut virtaama saattaa kerryttää alemman valuma-alueen virtaama huippuja ja aiheuttaa täten ongelmia alapuolisella valuma-alueella.

Maksimivirtaamat

Guan et al. (2015a) osoittivat, että LID-menetelmien virtaamaa pienentävät vaikutukset vähenevät suurten sadetapahtumien aikana. Suurten sateiden aikana myös läpäisevät pinnat alkavat tuottaa valuntaa, jolloin LID-menetelmien kapasiteetti ei riitä käsittelemään syntyviä hulevesimääriä. Pitkillä ajanjaksoilla hulevesiviemärin maksimivirtaama tapahtuu oletettavasti suuren sadetapahtuman aikana riippuen valuma-alueen ominaisuuksista. Taulukosta 17 nähdään, että vuoden 2004 sateisena ajanjaksona LID-menetelmien vaikutukset maksimivirtaamaan ovat pienempiä kuin vuoden 2006 vähäsateisena ajanjaksona. Syynä voi olla se, että vähäsateisen jakson maksimivirtaama on pienempi kuin sateisen ajanjakson. LID-menetelmien kapasiteetti riittää pienentämään vähäsateisen jakson ylivirtaamaa paremmin kuin sateisen jakson. Lisäksi LID-menetelmien kapasiteettiin ylivirtaamien pienemisessä vaikuttavat sadetapahtuman kesto ja aikaisemmat sadetapahtumat. Aikaisemmat sadetapahtumat tai pitkäkestoinen sade on voinut täyttää LID-rakenteiden varastokapasiteetin, jolloin maksimivirtaaman esiintymishetkenä ei ole tarpeeksi kapasiteettia vapaana ylivirtaaman hallitsemiseksi.

Taulukko 17. Maksimivirtaamat eri skenaarioissa vuoden 2004 sateiselta ajanjaksolta ja vuoden 2006 vähäsateiselta ajanjaksolta hyvin ja huonosti vettä läpäisevällä maaperällä. Suluissa maksimivirtaaman muutos ”ei LIDejä”-skenaarioon verrattuna.

| Skenaario | Maksimivirtaama (l/s) | | | |
|--------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| | 2004 | | 2006 | |
| | Hyvin läpäisevä maaperä | Huonosti läpäisevä maaperä | Hyvin läpäisevä maaperä | Huonosti läpäisevä maaperä |
| Ei LIDejä | 441 | 444 | 396 | 405 |
| BS 0,5 m3 | 441 (0 %) | 447 (1 %) | 356 (-10 %) | 392 (-3 %) |
| BS 1 m3 | 441 (0 %) | 447 (1 %) | 346 (-12 %) | 376 (-7 %) |
| BS 2 m3 | 423 (-4 %) | 447 (1 %) | 346 (-13 %) | 377 (-7 %) |
| SVS 0,5 m3 | 441 (0 %) | 447 (1 %) | 308 (-22 %) | 365 (-10 %) |
| SVS 1 m3 | 441 (0 %) | 447 (1 %) | 297 (-25 %) | 354 (-13 %) |
| SVS 2 m3 | 441 (0 %) | 447 (1 %) | 297 (-25 %) | 353 (-13 %) |
| LP 0,5 m3 | 441 (0 %) | 447 (1 %) | 392 (-1 %) | 404 (0 %) |
| LP 1 m3 | 440 (0 %) | 447 (1 %) | 389 (-2 %) | 403 (-1 %) |
| LP 2 m3 | 438 (-1 %) | 447 (1 %) | 370 (-6 %) | 397 (-2 %) |
| LP tiet | 405 (-8 %) | 436 (-2 %) | 358 (-10 %) | 389 (-4 %) |
| VK | 411 (-7 %) | 438 (-1 %) | 297 (-25 %) | 356 (-12 %) |
| VR | 414 (-6 %) | 426 (-4 %) | 354 (-11 %) | 344 (-15 %) |
| BS+SVS+ LP tiet | 404 (-8 %) | 442 (0 %) | 100 (-75 %) | 165 (-59 %) |
| BS+SVS+ LP tiet+VR | 387 (-12 %) | 416 (-6 %) | 95 (-76 %) | 159 (-61 %) |

Molemmilla mallinnusjaksoilla maksimivirtaama laskee eniten yhdistelmäskenaariossa, jossa on mukana viivytyrakenne. Maksimivirtaama laskee jopa 76 % yhdistelmäskenaariossa, kun maa on hyvin vettä läpäisevä ja kyseessä on vähäsateinen vuosi. Sateisena vuonna vastaava maksimivirtaama vähenee 12 %. Yhdistelmäskenaarioiden viivytyrakenneella on suurempi vaikutus maksimivirtaamaan sateisena vuonna kuin vähäsateisena vuonna. Vähäsateisena vuonna yhdistelmäskenaarioiden biosuodatusalueet ja sadeve-sisäiliöt pystyvät käsittelemään tulevan maksimivirtaaman, jolloin viivytyrakenne ei tuo suurta lisävaikutusta maksimivirtaamaan. Sateisena vuonna biosuodatusalueet ja sadeve-sisäiliö eivät riitä maksimivirtaaman käsittelyyn, joten viivytyrakenneesta on enemmän hyötyä. Viivytyrakenneella ei ole vaikutusta huleveden määrään, mutta sen vaikutus näkyy maksimivirtaamissa. Viivytyrakenne skenaarion ylivirtaamat ovat 4-15 % pienempiä kuin ”ei LIDejä”-skenaariossa. Guan et al. (2015b) osoittivat, että viivytyrakenne toimivat laskennallisesti tehokkaammin pienillä sateilla (intensiteetti 1,5 mm/h) kuin suurilla (intensiteetti 16 mm/h). Suurilla sateilla myöskään viivytyrakenne koolla ei ole yhtä suurta vaikutusta virtaamaan kuin pienillä sateilla, sillä kaikkien Guanin et al. (2015b) mallintamien viivytyrakenneiden kapasiteetti ylittyi suuren sateen aikana.

5.3.2 LID-menetelmien toiminta mallinetuilla mitoitussateilla

Mallinnetuilla mitoitussateilla arvioitiin LID-menetelmien vaikutuksia yksittäisten viemärimitoituksessa käytettyjen rankkasateiden aiheuttamaan valuntaan sekä ylivirtaamiin. Mitoitussateita mallinnettiin eri toistuvuuksilla, jotta voitiin arvioida eroja LID-menetelmien toimivuudessa erisuuruisten rankkasateiden välillä. Mallinnoissa vertailtiin piholle sijoitettujen hallintamenetelmien eri mitoitustilavuuksien vaikutuksia hulevesiviemärin virtaamaan. Mitoitussateet mallinnettiin hyvin vettä läpäisevällä maaperällä.

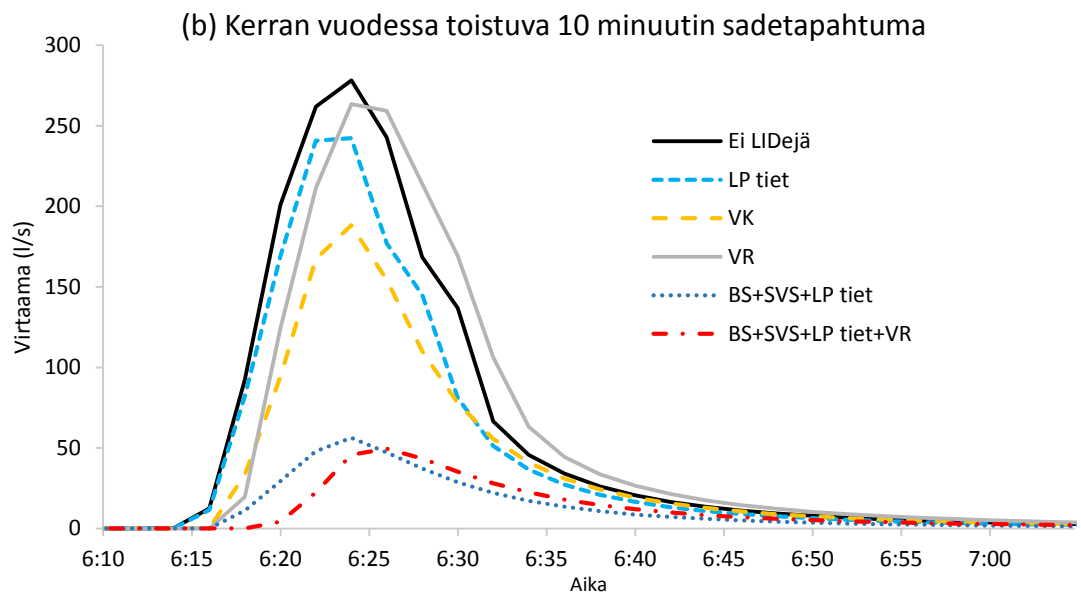
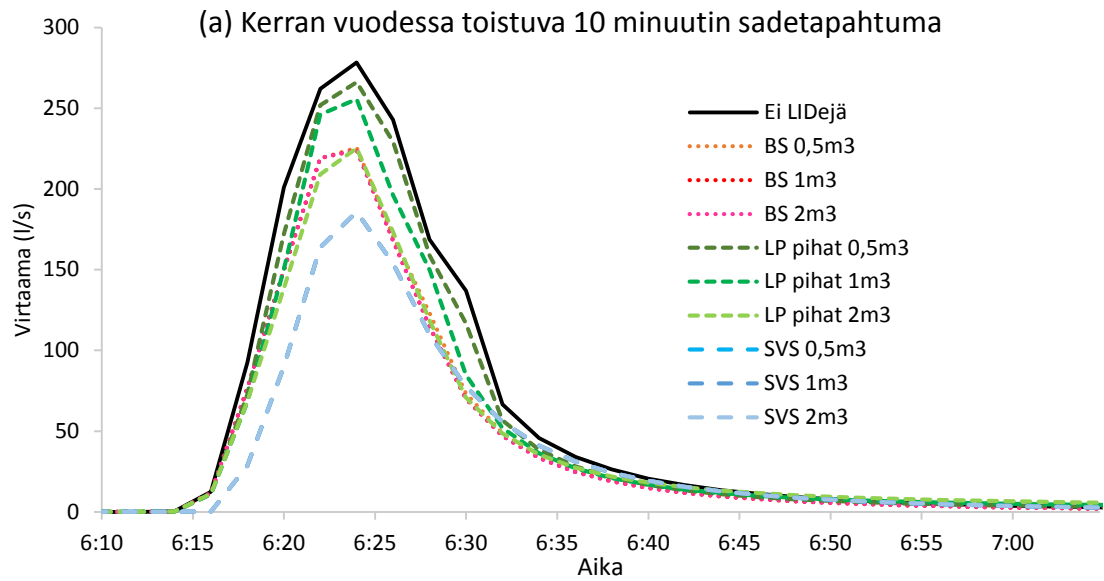
Kerran vuodessa toistuva mitoitussade

Mitoitussateiden kestoksi valittiin 10 minuuttia, mutta simulaatiota jatkettiin yhteensä 12 tunnin ajan. Tällöin LID-rakenteisiin varastoitunut vesi ehtii tyhjentyä paremmin, ja taulukossa 18 esitetyt vesitaseet ovat todenmukaisemmat. Mallinnoissa suurin osa sadanasta imeytyi maaperään (47,4-60,5 %), sillä maaperän vedenläpäisevyys oli hyvä.

Taulukko 18. Valuma-alueen vesitaseet eri skenaarioille kerran vuodessa toistuvalla rankkasateella. Suluissa prosenttiosuus sadannasta. SVS tarkoittaa sadevesisäiliötä, BS biosuodatusaluetta, LP läpäisevää päällystettä, VK viherkattoa ja VR viivytyrakennetta. Tulvinta tarkoittaa viemäriverkoston hetkellistä ylikuormitusta.

| 1/1 a 10 min | Sadanta (mm) | 4,3 | Intensiteetti (l/s/ha) | 72 | | |
|--------------|-----------------------------|------------------|------------------------|---------------|----------------------|--------------------------|
| Menetelmä | Valunta purkupisteellä (mm) | Imeytyminen (mm) | Haihdunta (mm) | Tulvinta (mm) | Varaston muutos (mm) | LID salaoja valunta (mm) |
| Ei LIDejä | 1,8 (41,8 %) | 2,1 (49,1 %) | 0,4 (9 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | - |
| SVS 0,5m3 | 1,4 (32,2 %) | 2,1 (47,9 %) | 0,4 (9 %) | 0 (0 %) | 0,5 (10,5 %) | 0,2 (5,4 %) |
| SVS 1m3 | 1,5 (34 %) | 2,1 (48,3 %) | 0,4 (9 %) | 0 (0 %) | 0,4 (8,3 %) | 0,3 (7,2 %) |
| SVS 2m3 | 1,6 (36,5 %) | 2,1 (48,6 %) | 0,4 (9 %) | 0 (0 %) | 0,2 (5,6 %) | 0,4 (9,5 %) |
| BS 0,5 m3 | 1,3 (31,2 %) | 2,4 (55,1 %) | 0,4 (9 %) | 0 (0 %) | 0,2 (4,7 %) | - |
| BS 1m3 | 1,3 (30,8 %) | 2,3 (53,2 %) | 0,4 (8,8 %) | 0 (0 %) | 0,3 (7,1 %) | - |
| BS 2m3 | 1,3 (30,8 %) | 2,1 (48,8 %) | 0,4 (9 %) | 0 (0 %) | 0,5 (11,4 %) | - |
| LP 0,5m3 | 1,7 (38,7 %) | 2,2 (52,2 %) | 0,4 (8,9 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | 0,1 (1,7 %) |
| LP 1m3 | 1,6 (36,5 %) | 2,3 (54,5 %) | 0,4 (8,8 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | 0,1 (2,7 %) |
| LP 2m3 | 1,4 (33,6 %) | 2,5 (57,7 %) | 0,4 (8,5 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | 0,2 (3,8 %) |
| LP tiet | 1,5 (34,3 %) | 2,5 (58,1 %) | 0,3 (7,4 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | - |
| VK | 1,2 (27,3 %) | 2 (47,4 %) | 0,5 (11,9 %) | 0 (0 %) | 0,6 (13,6 %) | - |
| VR | 1,8 (41,8 %) | 2,1 (49,1 %) | 0,4 (9 %) | 0 (0 %) | 0 (0 %) | - |
| SVS+BS+ | | | | | | |
| LP tiet | 0,7 (16,7 %) | 2,6 (60,5 %) | 0,3 (7,4 %) | 0 (0 %) | 0,7 (15,2 %) | 0,3 (7,3 %) |
| SVS+BS+ | | | | | | |
| LP tiet+VR | 0,7 (16,3 %) | 2,6 (60,5 %) | 0,3 (7,5 %) | 0 (0 %) | 0,7 (15,2 %) | 0,3 (7,3 %) |

Kerran vuodessa toistuvalla rankkasateella LID-menetelmät saavat aikaan näkyviä vaikutuksia valuntakäyrässä (kuva 22). Usean menetelmän yhdistelmät toimivat tehokkaimmin purkupisteen valunnan vähentämisessä ja ylivirtaaman pienentämisessä (taulukko 18 ja kuva 22). Yhdistelmäskenaariossa ilman viivytyrakennetta ylivirtaama pienenee 80 % ja yhdistelmäskenaariossa viivytyrakenteen kanssa 82 %, kuten nähdään taulukosta 19. Viivytyrakenteella ei ole suurta lisävaikutusta kerran vuodessa toistuvan rankkasateen ylivirtaaman pienentämisessä. Guanin et al. (2015b) mukaan viivytyrakenteet pienentävät ylivirtaamaa parhaiten pienillä sateilla. Tässä työssä mallinnettu viivytyrakente on pienempi kuin Guanin et al. (2015b) mallintamat viivytyrakenteet, joten kapasiteetti ylittyy helpommin.



Kuva 22. Kerran vuodessa toistuvan 10 minuutin sadetapahtuman valuntakäyrät (a) biosuodatus- (BS), läpäisevä päällyste pihoiden- (LP) ja sadevesisäiliöskenaariolle (SVS) (b) läpäisevä päällyste teillä- (LP tiet), viherkatto- (VK), viivytysrakente- (VR) ja yhdistelmäskenaariolle. Tulvintaa ei tapahtu.

Taulukko 19. Maksimivirtaamat mitoitussateille eri skenaarioissa. Suluissa maksimivirtaaman muutos ”ei LIDejä”-skenaarioon verrattuna.

| Skenaario | Maksimivirtaama (l/s) | | |
|-----------------------|-----------------------|-------------|-------------|
| | 1/1 | 1/5 | 1/100 |
| Ei LIDejä | 278 | 424 | 459 |
| BS 0,5 m3 | 226 (-19 %) | 417 (-1 %) | 461 (1 %) |
| BS 1 m3 | 224 (-19 %) | 414 (-2 %) | 461 (1 %) |
| BS 2 m3 | 224 (-19 %) | 413 (-2 %) | 461 (1 %) |
| SVS 0,5 m3 | 186 (-33 %) | 417 (-2 %) | 461 (1 %) |
| SVS 1 m3 | 186 (-33 %) | 398 (-6 %) | 461 (1 %) |
| SVS 2 m3 | 186 (-33 %) | 398 (-6 %) | 449 (-2 %) |
| LP 0,5 m3 | 266 (-4 %) | 423 (0 %) | 461 (1 %) |
| LP 1 m3 | 256 (-8 %) | 422 (-1 %) | 461 (1 %) |
| LP 2 m3 | 225 (-19 %) | 418 (-1 %) | 461 (1 %) |
| LP tiet | 242 (-13 %) | 400 (-6 %) | 447 (-3 %) |
| VK | 188 (-32 %) | 398 (-6 %) | 449 (-2 %) |
| VR | 264 (-5 %) | 394 (-7 %) | 432 (-6 %) |
| BS+SVS+ LP tiet | 56 (-80 %) | 238 (-44 %) | 443 (-3 %) |
| BS+SVS+ LP tiet+VR | 49 (-82 %) | 208 (-51 %) | 400 (-13 %) |

Sadevesisäiliöt pienentävät kerran vuodessa toistuvan rankkasateen ylivirtaamaa 33 %, eli toiseksi eniten yhdistelmäskenaarioiden jälkeen (taulukko 19). Sadevesisäiliöt eivät kuitenkaan hävitä vettä hulevesiverkostosta, sillä purkupisteen valunta ja säiliöihin varastoitunut vesimäärä vastaavat ”ei LIDejä”-skenaarioiden purkupisteen valuntaa (taulukko 18). Sadevesisäiliön viivyttävä vaikutus näkyy hyvin kuvassa 22a, sillä säiliöt alkavat purkaa vettä vasta kaksi tuntia sadetapahtuman jälkeen. Yhdistelmäskenaarioissa on mukana sadevesisäiliöt, mikä on otettava huomioon tarkasteltaessa purkupisteen valunnan pienentymistä. Osa vedestä on vielä simulaation lopussa varastoituneena säiliöihin ja virtaa vasta myöhemmin purkupisteelle. Yhdistelmäskenaarioiden sadevesisäiliöt on mitoitettu $1 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$ mukaan, joten taulukosta 18 nähdään, että niihin on varastoituneena simulaation lopussa 0,4 mm vettä.

Laaja-alaiset viherkatot valuma-alueella saavat huomattavan vaikutuksen aikaan huleveden virtaamassa. Viherkatot laskevat ylivirtaamaa 32 % ja vähentävät huleveden määrää viemärissä yhdistelmäskenaarioiden jälkeen tehokkaimmin. Viherkatot pystyvät varastoimaan sadetta tehokkaasti. Simulaation lopussa viherkattoihin on varastoitunut 13,6 % sadannasta (taulukko 18). Pallan et al. (2010) mukaan viherkatot pystyvät pidättämään tehokkaasti katoille satavaa vettä. Viherkatot vähensivät katolta tulevan huleveden ylivirtaamaa keskimäärin 83 % mittausjakson aikana. Viherkattoja tarkasteltaessa on muistettava, ettei haihdunnaa tapahdu talviaikana, mutta imeyntää saattaa tapahtua. Biosuodatusalueiden eri mitoitustilavuudet vähentävät purkupisteen valuntaa saman verran (kuva 22a). Kerran vuodessa toistuva 10 minuutin pituinen rankkasade ei täytä biosuodatusra-

kenteiden koko kapasiteettia, joten eroa purkupisteen valunnassa ei synny mitoitustilavuuksien välille. Eri mitoitustilavuuksien biosuodatusalueilta imeytyy kuitenkin eri määrä vettä. Mitä suurempi biosuodatusalueen varastotilavuus on, sitä vähemmän vettä imeytyy (taulukko 18). Ero johtuu siitä, että simulaatiossa suurempien biosuodatusalueiden varastotilavuus ei ole ehtinyt täyttyä, joten vesi ei ole vielä imeytynyt maaperään.

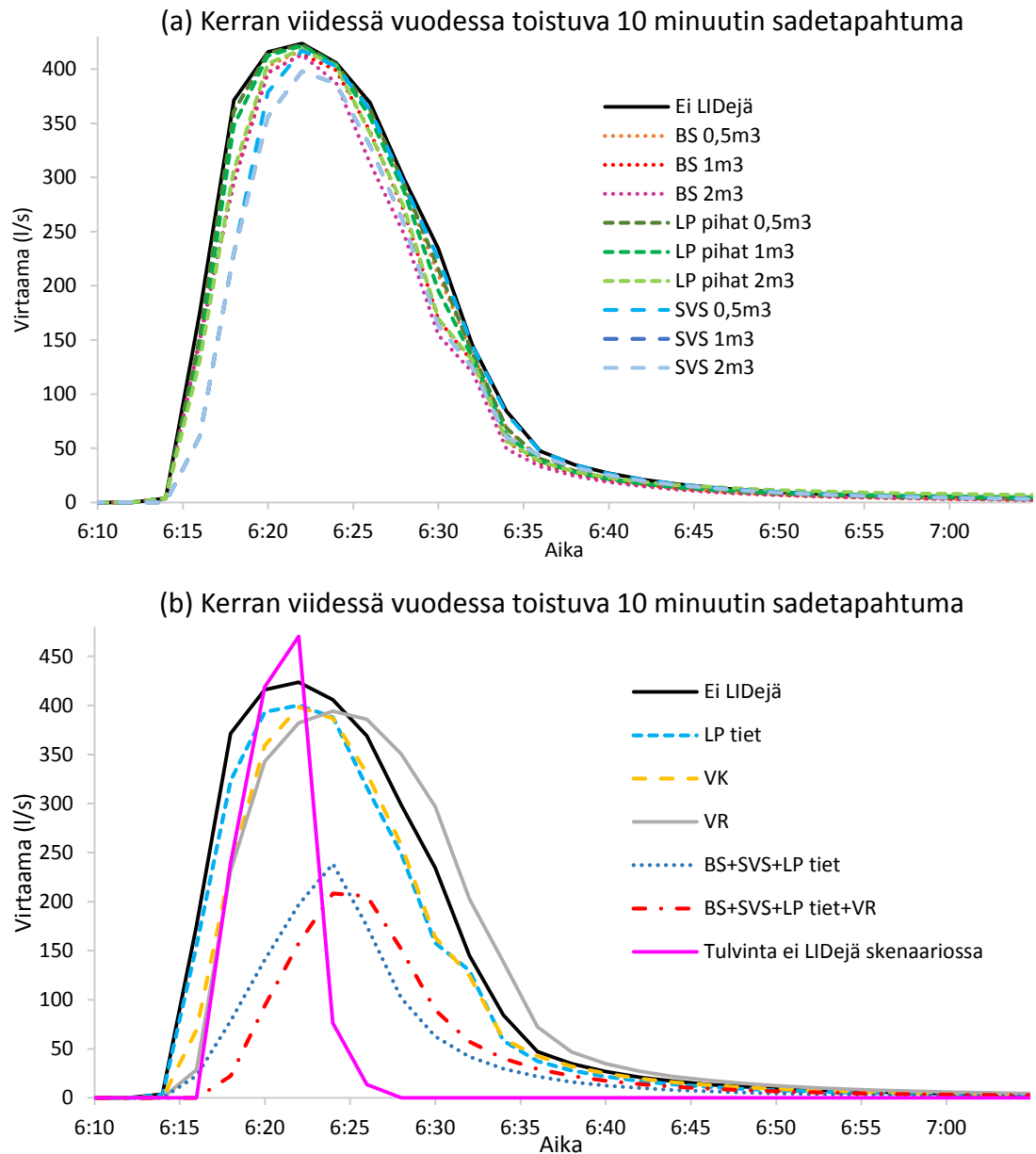
Kerran viidessä vuodessa toistuva mitoitussade

Kerran viidessä vuodessa toistuvalla mitoitussateella suurin osa sadannasta päätyy maaperään imeytänä (46,3-62,3 %) taulukon 20 vesitaseiden mukaan.

Taulukko 20. Valuma-alueen vesitaseet eri skenaarioille kerran viidessä vuodessa toistuvalla rankkasateella. Suluissa prosenttiosuus sadannasta. SVS tarkoittaa sadeveisiäiliötä, BS biosuodatusaluetta, LP läpäisevää päällystettä, VK viherkattoa ja VR viivytyrakennetta. Tulvinta tarkoittaa viemäriverkoston hetkellistä ylikuormitusta.

| 1/5 a 10 min Menetelmä | Valunta purku- pisteellä (mm) | Sadanta (mm) 9,5 | | | Intensiteetti (l/s/ha) | | 160 LID salaoja valunta (mm) |
|---------------------------|----------------------------------|---------------------|-------------------|--|------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| | | Imeytyminen (mm) | Haihdunta (mm) | | Tulvinta (mm) | Varaston muutos (mm) | |
| Ei LIDejä | 3,3 (34,9 %) | 4,6 (48,2 %) | 0,4 (4,1 %) | | 1,2 (12,9 %) | 0 (0 %) | - |
| SVS 0,5m3 | 3,2 (34 %) | 4,5 (47,8 %) | 0,4 (4,1 %) | | 0,7 (7,8 %) | 0,6 (6,3 %) | 0,3 (2,8 %) |
| SVS 1m3 | 3,2 (34,1 %) | 4,5 (47,4 %) | 0,4 (4,1 %) | | 0,3 (3 %) | 1,1 (11,3 %) | 0,5 (5,3 %) |
| SVS 2m3 | 3,4 (36,2 %) | 4,5 (47,4 %) | 0,4 (4,1 %) | | 0,3 (3 %) | 0,9 (9 %) | 0,7 (7,2 %) |
| BS 0,5 m3 | 3,1 (32,4 %) | 4,9 (51,4 %) | 0,4 (4,1 %) | | 0,9 (9,8 %) | 0,2 (2,4 %) | - |
| BS 1m3 | 3 (31,2 %) | 5,2 (54,2 %) | 0,4 (4,1 %) | | 0,6 (6,3 %) | 0,4 (4,3 %) | - |
| BS 2m3 | 2,8 (29,9 %) | 5,2 (54,7 %) | 0,4 (4,1 %) | | 0,5 (4,8 %) | 0,6 (6,5 %) | - |
| LP 0,5m3 | 3,2 (34,1 %) | 4,3 (45,2 %) | 0,4 (4,1 %) | | 1,2 (12,2 %) | 0 (0 %) | 0,1 (0,9 %) |
| LP 1m3 | 3,2 (33,7 %) | 4,8 (50,8 %) | 0,4 (4 %) | | 1,1 (11,4 %) | 0 (0 %) | 0,1 (1,4 %) |
| LP 2m3 | 3,2 (33,3 %) | 5 (52,9 %) | 0,4 (3,9 %) | | 0,9 (9,8 %) | 0 (0 %) | 0,2 (2,3 %) |
| LP tiet | 2,9 (30,7 %) | 5,5 (57,6 %) | 0,3 (3,4 %) | | 0,8 (8,3 %) | 0 (0 %) | - |
| VK | 2,8 (29 %) | 4,4 (46,3 %) | 0,5 (5,4 %) | | 0,3 (3 %) | 1,5 (15,8 %) | - |
| VR | 3,3 (34,5 %) | 4,6 (48,2 %) | 0,4 (4,1 %) | | 1,3 (13,3 %) | 0 (0 %) | - |
| SVS+BS+ | | | | | | | |
| LPtiet | 1,8 (18,6 %) | 5,9 (62,3 %) | 0,3 (3,4 %) | | 0 (0 %) | 1,5 (15,5 %) | 0,5 (5,3 %) |
| SVS+BS+ | | | | | | | |
| LPtiet+VR | 1,8 (18,5 %) | 5,9 (62,3 %) | 0,3 (3,4 %) | | 0 (0 %) | 1,5 (15,5 %) | 0,5 (5,3 %) |

LID-menetelmien toiminta kerran viidessä vuodessa toistuvalla rankkasateella on huomontaa kuin kerran vuodessa toistuvalla, mikä on näkyvissä taulukon 20 vesitaseista ja kuvan 23 valuntakäyristä. Pihoille sijoitetut biosuodatusalueet tai läpäisevät päällysteet eivät pysty pienentämään ylivirtaamaa tai vähentämään valunnan määrää juurikaan. Yhdistelmäskenaariot sen sijaan saavat aikaan huomattavan muutoksen ylivirtaamassa ja purkupisteen valunnassa myös kerran viidessä vuodessa toistuvalla sadetapahtumalla. Taulukon 19 maksimivirtaamista nähdään, että yhdistelmäskenaario ilman viivytyrakennetta pienentää maksimivirtaamaa 44 % ja yhdistelmäskenaario viivytyrakenteen kanssa 51 %.



Kuva 23. Kerran viidessä vuodessa toistuvan 10 minuutin sadetapahtuman valuntakäyrä (a) bio-suodatus- (BS), läpäisevä päällyste piholla- (LP) ja sadevesisäiliöskenaariolle (SVS) (b) läpäisevä päällyste teillä- (LP tiet), viherkatto- (VK), viivytusrakenne- (VR) ja yhdistelmäskenaariolle sekä tulvinta ”ei LIDejä”-skenaariossa. Tulvinta on tulvahäviö, joka johtuu hulevesiviemärin ylikuormituksesta.

Vesitaseita tarkasteltaessa on otettava huomioon kuvassa 23b esitetty tulvinta. SWMM mallintaa verkoston kapasiteetin ylittymisen tulvahäviönä, joka ei palaudu takaisin hulevesiverkostoon. Tulviva vesi siis katoaa mallinnuksessa häviönä, vaikka todellisessa tilanteessa vesi johdettaisiin tulvareittejä pitkin eteenpäin. Kuvan 23b tulvinta on ”ei LI-Dejä”-skenaarion tulvinta, muiden skenaarioiden tulvahäviöt on esitetty taulukossa 20. Yhdistelmäskenaarioissa hulevesiverkoston kapasiteetti ei ylitä lainkaan, ja muissa skenaarioissa tulvahäviö on 0,3-1,2 mm välillä.

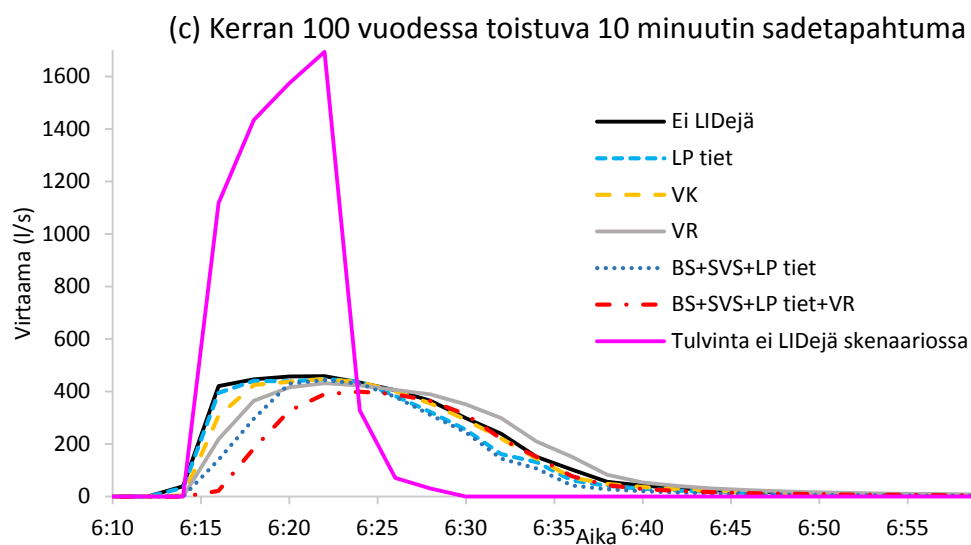
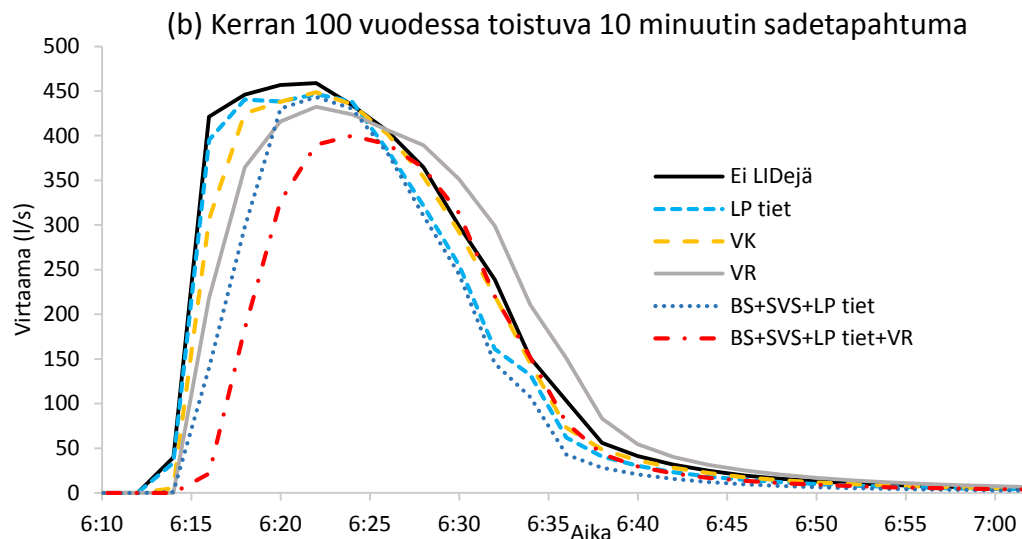
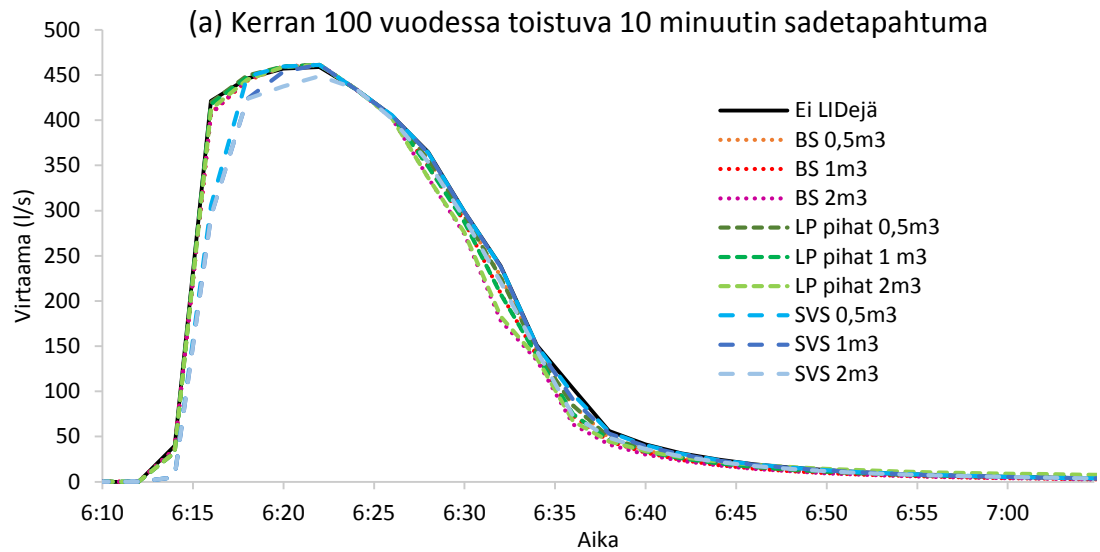
Kerran sadassa vuodessa toistuva mitoitussade

Mallinnuksiin otettiin mukaan myös äärimmäinen kerran sadassa vuodessa toistuva mitoitussade. Sateen intensiteetti on niin suuri, että hulevesiverkoston kapasiteetti ylittyy reilusti ja simulaatiossa menee enemmän vettä tulvahäviöihin kuin purkupisteen valuntaan (taulukko 21). Suurin osa sadannasta imeytyy kuitenkin maaperään, kuten kerran vuodessa ja kerran viidessä vuodessa toistuvilla mitoitussateillakin.

Taulukko 21. Valuma-alueen vesitaseet eri skenaarioille kerran sadassa vuodessa toistuvalla rankkasateella. Suluissa prosenttiosuus sadannasta. SVS tarkoittaa sadevesisäiliötä, BS biosuodatusaluetta, LP läpäisevää päällystettä, VK viherkattoa ja VR viivytyrakennetta. Tulvinta tarkoittaa viemäriverkoston hetkellistä ylikuormitusta.

| 1/100 a 10 min | Sadanta (mm) | 19,1 | Intensiteetti (l/s/ha) | 320 | | |
|----------------|-----------------------------|------------------|------------------------|---------------|----------------------|---------------------------|
| Menetelmä | Valunta purkupisteellä (mm) | Imeytyminen (mm) | Haihdunta (mm) | Tulvinta (mm) | Varaston muutos (mm) | LID sala-oja valunta (mm) |
| Ei LI-Dejä | 4,3 (22,7 %) | 8,1 (42,6 %) | 0,4 (2,1 %) | 6,3 (32,7 %) | 0 (0 %) | - |
| SVS 0,5m3 | 4,4 (23,1 %) | 8,1 (42,6 %) | 0,4 (2,1 %) | 5,6 (29,1 %) | 0,6 (3,1 %) | 0,3 (1,4 %) |
| SVS 1m3 | 4,6 (24,3 %) | 8,1 (42,7 %) | 0,4 (2,1 %) | 4,7 (24,8 %) | 1,2 (6,3 %) | 0,5 (2,6 %) |
| SVS 2m3 | 5,1 (26,5 %) | 8,1 (42,5 %) | 0,4 (2,1 %) | 3,3 (17,5 %) | 2,2 (11,5 %) | 1 (5,2 %) |
| BS 0,5 m3 | 4,2 (22 %) | 8,4 (44,2 %) | 0,4 (2,1 %) | 5,8 (30,5 %) | 0,3 (1,3 %) | - |
| BS 1m3 | 4,1 (21,7 %) | 8,7 (45,8 %) | 0,4 (2,1 %) | 5,4 (28,2 %) | 0,4 (2,3 %) | - |
| BS 2m3 | 4,1 (21,3 %) | 9,3 (48,6 %) | 0,4 (2,1 %) | 4,5 (23,8 %) | 0,8 (4,3 %) | - |
| LP 0,5m3 | 4,3 (22,5 %) | 8,3 (43,4 %) | 0,4 (2,1 %) | 6,1 (32,1 %) | 0 (0 %) | 0,1 (0,5 %) |
| LP 1m3 | 4,3 (22,5 %) | 8,4 (44 %) | 0,4 (2 %) | 6 (31,6 %) | 0 (0 %) | 0,2 (0,8 %) |
| LP 2m3 | 4,3 (22,5 %) | 8,6 (45,2 %) | 0,4 (2 %) | 5,8 (30,5 %) | 0 (0 %) | 0,3 (1,3 %) |
| LP tiet | 3,9 (20,7 %) | 9,9 (51,7 %) | 0,3 (1,8 %) | 5 (26 %) | 0 (0 %) | - |
| VK | 4 (21 %) | 8 (41,8 %) | 0,5 (2,6 %) | 3,4 (17,9 %) | 3,2 (16,8 %) | - |
| VR | 4,3 (22,3 %) | 8,1 (42,6 %) | 0,4 (2,1 %) | 6,3 (33,1 %) | 0 (0 %) | - |
| SVS+BS+ | | | | | | |
| LPtiet | 3,8 (19,9 %) | 10,5 (54,9 %) | 0,3 (1,6 %) | 2,9 (15,1 %) | 1,6 (8,5 %) | 0,5 (2,6 %) |
| SVS+BS+ | | | | | | |
| LPtiet+VR | 3,7 (19,6 %) | 10,5 (54,9 %) | 0,3 (1,6 %) | 2,9 (15,3 %) | 6 (31,3 %) | 0,5 (2,6 %) |

LID-menetelmillä ei ole huomattavan suurta vaikutusta näin rankan sadetapahtuman valuntaan. Kuvassa 24b nähdään, että viivytyrakenteellisella yhdistelmäskenaariolla on jonkinlainen vaikutus hulevesiviemärin valuntakäyrään. Taulukon 19 mukaan ylivirtaama on viivytyrakenteellisessä yhdistelmäskenaariossa 13 % pienempi kuin ”ei LI-Dejä”-skenaariossa. Muissa skenaarioissa maksimivirtaama muuttuu +1...-6 %. Taulukon 21 mukaan sadevesisäiliöt lisäävät purkupisteen valuntaa sitä enemmän, mitä suurempi sadevesisäiliön mitoitustilavuus on. Tulos on kuitenkin vääristynyt suuren tulvahäviön takia. Sadevesisäiliöt pystyvät vähentämään tulvahäviötä huomattavasti, jolloin vesi ei katoa mallinnuksessa tulvahäviönä, vaan päättyy viemäriverkoston ja lisää tällöin purkupisteen valuntaa. Tulvinnan merkitys kaikissa skenaarioissa on suuri, sillä SWMM-simulaatiossa 15,1-33,1 % sadannasta katoaa tulvintahäviöinä. Tulviva vesimäärä on suuri verrattuna purkupisteen valuntaan, mikä näkyy kuvassa 24c. Tulvinta on ”ei LI-Dejä”-skenaarion tulvinta ja sen osuus on 32,7 % sadannasta, kun purkupisteen valunta on vain 22,7 % sadannasta. Tulvahäviö on pienin yhdistelmäskenaarioissa, joissa se on 54 % pienempi kuin ilman LID-menetelmiä.



Kuva 24. Kerran sadassa vuodessa toistuvan 10 minuutin sadetapahtuman valuntakäyrät (a) bio-suodatus- (BS), läpäisevä päällyste piholla- (LP) ja sadevesisäiliöskenaariolle (b) läpäisevä päällyste teillä- (LP tiet), viherkatto- (VK), viivytysrakenne- (VR) ja yhdistelmäskenaariolle. (c) Sama kuvaaja kuin (b), mutta mukana on ”ei LIDejä”-skenaarion tulvinta eli tulvahäviö, joka johtuu hulevesiviemärin ylikuormituksesta.

LID-menetelmät saavat suurimman muutoksen aikaan valunnassa kerran vuodessa tois-
tuvalla mitoitussateella. Sillanpää ja Koivusalo (2015a) ja Damodaram et al. (2010) ovat
todenneet, että LID-menetelmät pystyvät hallitsemaan hulevesiä sitä huonommin, mitä
suurempi sadetapahtuma on kyseessä. Damodaramin et al. (2010) mukaan pienten satei-
den vaikutuksia ekosysteemiin ja sitä kautta vesistöjen laatuun ei pitäisi väheksyä hule-
vesien hallinnassa. LID-menetelmillä voidaan vaikuttaa pienten sateiden aiheuttamaan
valuntaan tehokkaasti. Tässä työssä mitoitussateiden mallinnustulosten tulkintaa vai-
keutti kuitenkin tulvahäviö. Tulvahäviön kautta mallista poistui hulevettä, joka todelli-
suudessa päätyisi tulvareiteille ja mahdollisesti takaisin viemäriverkostoon.

6 Johtopäätökset

Työssä rajattiin QGIS-ohjelmalla valuma-alue Espoon Vallikalliosta, jolle luotiin SWMM-malli. Malli kalibroitiin ja validoitiin Vallikallion valuntamittausaineistoa vastaan. Alueelle luotiin erilaisia hulevesien hallintaskenaarioita sidosryhmähaastatteluiden ja kirjallisuuden avulla. Sidoryhmähaastatteluista saatiin käytännön näkemystä hulevesien hallintaan Suomessa ja neuvoja hulevesiskenaarioiden mallinnuksiin. Työssä mallinnettiin LID-rakenteita SWMM-ohjelmalla ja arvioitiin niiden aikaansaamaa muutosta hulevesiviemärin ylivirtaamisissa ja kumulatiivisessa virtaaman kertymässä. LID-rakenteita mallinnettiin hyvin ja huonosti vettä läpäisevällä maaperällä pitkillä 5 ja 7 kuukauden ajanjaksoilla. Lisäksi pitkällä mallinnejaksolla vertailtiin pihoilta sijoitettavien biosuodatusalueiden ja läpäisevien päällysteiden eri mitoitustilavuuksia. Pitkien jaksojen lisäksi mallinnettiin yksittäisiä kerran vuodessa, viidessä vuodessa ja 100 vuodessa toistuvia 10 minuutin kestoisia mitoitussadetapahtumia.

Mallinnustulosten mukaan maaperän veden läpäisevyydellä on suuri merkitys LID-menetelmien toiminnan kannalta. Hyvin vettä läpäisevällä maaperällä kumulatiivista valuntaa vähensivät parhaiten usean menetelmän yhdistelmät, jotka sisälsivät biosuodatusalueet ($1 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$), sadevesisäiliöt ($1 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$) ja läpäisevät päällysteet katualueilla sekä toinen yhdistelmäskenaario sisälsi viivytysrakenteen. Myös ylivirtaama pieneni parhaiten yhdistelmäskenaarioissa hyvin läpäisevän maaperän mallinnoissa sekä pitkällä mallinnejaksolla että yksittäisillä mitoitussateilla. Hyvin vettä läpäisevällä maaperällä LID-rakenteet toimivat hyvin, mutta usein kaupunkialueiden maaperän vedenläpäisevyys ei ole riittävän hyvä. Menetelmien kartoittaminen, joilla kaupunkialueiden maaperän vedenläpäisevyyttä voidaan parantaa, on hulevesien hallinnan kannalta tarpeen.

Huonosti läpäisevällä maaperällä kumulatiivista valuntaa vähensi eniten viherkattojen tehostama haihdunta. Ylivirtaamia pienensivät parhaiten vähäsateisena vuonna molemmat yhdistelmäskenaariot ja sateisena vuonna yhdistelmäskenaario viivytysrakenteella. Viherkatot haihduttavat vettä, joten niiden toiminta on tehokasta, vaikka maaperä läpäisisi huonosti vettä. Lisäksi viherkattoskenaariot valuntamuutoksia tehosti sen laaja-alaisuus eli viherkattoja sijoitettiin jokaisen asuinrakennuksen katolle. Yhdistelmäskenaarioissa on mukana imeyttäviä menetelmiä (biosuodatus ja läpäisevät päällysteet), joten niiden toiminta on heikompa huonosti läpäisevällä maaperällä kuin hyvin läpäisevällä. Skenaarioiden keskinäiset erot voisivat olla erilaisia, mikäli mallinnoissa olisi huomioitu rakenteiden ympärivuotinen toimivuus. Imeyttävät rakenteet voivat toimia talviaikanakin, mutta viherkattoilta tapahtuva haihdunta pienenee kasvukauden ulkopuolella. Rakenteiden ympärivuotisen toimivuuden tutkiminen Suomen olosuhteissa on tarpeen, jotta LID-menetelmien keskinäinen paremmuus huleveden määrän vähentämisessä on mahdollista selvittää.

LID-menetelmillä on suuremmat vaikutukset vähäsateisena kuin sateisena ajanjaksona, etenkin, kun maaperän vedenläpäisevyys on huono. LID-rakenteiden kapasiteetti riittää paremmin pienten sateiden kuin suurten rankkasateiden käsittelyyn. Sama näkyy myös

mitoitussateiden mallinuksissa, sillä LID-menetelmät toimivat paremmin kerran vuodessa toistuvalla mitoitussateella kuin kerran viidessä tai sadassa vuodessa toistuvilla mitoitussateilla. LID-menetelmiä ei kannata mitoitaa suurille rankkasateille vaan tällaisia sateita varten tulee olla omat tulvareittinsä. LID-menetelmät voivat kuitenkin olla osa tulvareittejä, sillä työn SWMM-mallinnusten perusteella harvoin toistuvien sateiden tulvahäviö pienenee LID-menetelmien vaikutuksesta.

Rakenteiden eri mitoitustilavuuksilla oli merkitystä riippuen maaperän ominaisuuksista ja sateiden suuruudesta. Jos tarkoituksena on hallita usein toistuvien sateiden aiheuttamaa valuntaa, pieni mitoitustilavuus riittää vähentämään valuntaa varsinkin hyvin vettä läpäisevällä maaperällä. Kerran vuodessa toistuvalla mitoitussateella biosuodatusalueiden eri mitoitustilavuudet vaikuttivat valuntaan samalla tavalla, kun taas läpäisevien päällysteiden mitoitustilavuudet aiheuttivat erilaiset valuntakäyrät. Läpäisevien päällysteiden toimintaan vaikuttaa salaoja, sillä se lisää hulevesiviemäriin päätyvän veden määrää eikä rakenne pidätä hulevettä varastokerroksessa yhtä tehokkaasti kuin ilman salaojaa tai varastoituvan veden hyötykäyttöä. Mitoitustilavuuden valinnassa tulisi ottaa huomioon alueen maaperän ominaisuudet ja salaojan vaikutukset rakenteen toimintaan. Huonosti läpäisevällä maaperällä on yleensä käytettävä salaojaa ja imeyntää tapahtuu vähän, joten pienen mitoitustilavuuden menetelmät eivät saa suurta vaikutusta aikaan. LID-menetelmillä on kuitenkin vaikutusta valuntaan huonosti läpäisevän maaperän tilanteessa varsinkin vähäsateisena ajanjaksona. LID-rakenteiden mitoituksessa tulisi ottaa huomioon alueelle tyypillisten sateiden ominaisuudet, kuten sateen esiintymistiheys.

Mallinnustulosten mukaan viivytyksrakenteen avulla ei pystytä ehkäisemään kaupungistumisen aiheuttamia kielteisiä muutoksia valuntaan. Viivytyksrakenne auttaa pienentämään ylivirtaamia hieman, mutta kumulatiivinen valunta pysyy ennallaan. Sadevesisäiliöiden toiminta oli mallinuksissa samankaltainen, sillä varastoitunut vesi päätyi hulevesiviemäriin. Tuloksissa ei siis pystytty osoittamaan sadevesisäiliöiden potentiaalia valunnan pienentämisessä. Sadevesisäiliöihin varastoitunut vesi voitaisiin hyvin käyttää hyödyksi tonttialueilla esimerkiksi kasteluvetenä. Tulevaisuudessa on tarpeen kartoittaa hulevesien hyötykäyttömahdollisuuksia, mikä vaikuttaa osaltaan aluekohtaiseen LID-rakenteiden valintaan. LID-rakenteiden paremmuutta arvioitaessa kustannukset ja laadulliset vaikutukset ovat tärkeitä tekijöitä. Vaikka nämä näkökulmat jäivät tässä työssä rajauksen ulkopuolelle, niitä on tarpeen selvittää.

Lähdeluettelo

- Aaltonen, J. 2008. Sadanta-valuntaprosessi taajama-alueella: MOUSE ja MIKE SHE-ohjelmien testaaminen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Espoo. 113 s.
- Ashbolt, S., Aryal, S., Petrone, K., McIntosh, B. S., Maheepala, S., Chowdhury, R ja Gardner, T. 2013. Can stormwater harvesting restore pre-development flows in urban catchments in South East Queensland? *Water Science & Technology*. Vol. 67. No. 2. S. 446-451. ISSN: 0273-1223.
- Bean, Z., Hunt, F. ja Bidelspach, D. 2007. Evaluation of Four Permeable Pavement Sites in Eastern North Carolina for Runoff Reduction and Water Quality Impacts. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. Vol. 133. S. 583-592. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:6(583).
- Berndtsson, J., 2010. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: a review. *Ecological Engineering*. Vol. 36. S. 351–360. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2009.12.014.
- Brattebo, B. O. ja Booth, D. B. 2003. Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems. *Water Research*. Vol. 37. S. 4369-4376. DOI: 10.1016/S0043-1354(03)00410-X.
- Brown, R., Keath, N. ja Wong, T. 2008. Transitioning to Water Sensitive Cities: Historical, Current and Future Transitional States. 11th International Conference on Urban Drainage. 31.8.-5.9.2008. Edinburgh, Scotland, UK.
- Borris, M., Viklander, M., Gustafsson, A. ja Marsalek, J. 2013. Simulating future trends in urban stormwater quality for changing climate, urban land use and environmental controls. *Water Science & Technology*. Vol. 68 No. 9. S. 2082-2089. ISSN: 0273-1223.
- Burns, M.J., Fetcher T. D., Walsh, C. J., Ladson, A. R. ja Hatt, B. E. 2012. Hydrologic shortcomings of conventional urban stormwater management and opportunities for reform. *Landscape and Urban Planning*. Vol. 105. S. 230-240. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2011.12.012.
- Butler, D. ja Davies, J. 2004. *Urban Drainage*. 2nd ed. Lontoo. Spon Press. 543 s. ISBN: 0-415-30607-8.
- Cahill, T. 2012. *Low Impact Development and Sustainable Stormwater Management*. New Jersey. John Wiley & Sons. 293 s. ISBN: 978-0-470-09675-8.
- Caraco, D. ja Claytor, R. 1997. *Stormwater BMP Design Supplement for Cold Climates*. US EPA Office of Wetlands, Oceans and Watersheds. Ellicott City MD USA.
- Cheng, W-S., Coffman, L. ja Clar, M. 2003. *Low-Impact Development: Hydrological analysis*. Teoksessa: Field, R., Sullivan, D. *Wet-Weather Flow in the Urban Watershed*. Yhdysvallat. Lewis Publishers. S. 271-294. ISBN: 1-56676-916-7.
- CIRIA, 2013. *Water sensitive urban design in the UK: Ideas for built environment practitioners*. CIRIA Publication C723.

Clar, M., Laramore, E. ja Ryan, H. 2008. Rethinking Bioretention Design Concepts. Teoksessa: Clar, M. Low Impact Development: New and Continuing Applications. ASCE. S119-127. ISBN: 9780784472606.

Coffman, L. ja Clar, M. 2003. Low-Impact Development: An Ecologically Sensitive Alternative for Stormwater Management. Teoksessa: Field, R., Sullivan, D. Wet-Weather Flow in the Urban Watershed. Yhdysvallat. Lewis Publishers. S. 271-294. ISBN: 1-56676-916-7.

Connop, S., Nash, C., Gedge, D., Owczarek, K. ja Newport, D. 2013. TURAS green roof design guidelines: Maximising ecosystem service provision through regional design for biodiversity. University of East London.

Dhalla, S. ja Zimmer, C. 2010. Low Impact Development Stormwater Management Planning and Design Guide. Credit Valley Conservation, Toronto and Region Conservation Version 1.0. Ontario.

Damodaram, D., Giacomoni, H. M., Prakash Khedun, C., Holmes, H., Ryan, A., Saour, W. ja Zechman E. M. 2010. Simulation of combined best management practices and low impact development for sustainable stormwater management. JAWRA Journal of the American Water Resources Association. Vol. 42. S. 998-1008. DOI: 10.1111/j.1752-1688.2009.00342.x.

Doherty, J. 2005. PEST – Model-independent Parameter Estimation. User Manual, 5. painos. Watermark Numerical Computing. 333 s.

Engman, E.T., 1983. Roughness coefficients for routing surface runoff. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. Vol 112. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9437(1986)112:1(39)

Fletcher, T.D., Andrieu, H. ja Hamel, P. 2013. Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. Advances in Water Resources. Vol. 51. S. 261-279. DOI: 10.1016/j.advwatres.2012.09.001.

Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, F. W., Ashley, R. Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J-L., Mikkelsen, P. S., Rivard, G., Uhl, M. Dagenais, D. ja Viklander M. 2014. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more - The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. Urban Water Journal. DOI: 10.1080/1573062X.2014.916314

Guan, M., Sillanpää, N. ja Koivusalo, H. 2014. Modelling and assessment of hydrological changes in a developing urban catchment. Hydrological Processes. Vol. 29. S. 2880-2894. DOI: 10.1002/hyp.10410.

Guan, M., Sillanpää, N. ja Koivusalo, H. 2015a. Storm runoff response to rainfall pattern, magnitude and urbanization: Case study in a developing urban catchment. Hydrological Processes. DOI: 10.1002/hyp.10624.

Guan, M., Sillanpää, N ja Koivusalo, H. 2015b. Assessment of LID practices for restoring pre-development runoff regime in an urbanized catchment in southern Finland. *Water Science & Technology*. DOI: 10.2166/wst.2015.129.

Hirsch, R.M., Dennis, R. H., Cohn, T. A. ja Gilroy, E. J. 1992 *Statistical Analysis of Hydrologic Data*. Teoksessa: Maidment, D. R. *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill. S. 1-55. ISBN-10: 0070397325

Hvitved-Jacobsen, T., Vollertsen, J. ja Haaning Nielsen, A. 2010. *Urban and Highway Stormwater Pollution – Concepts and Engineering*. Yhdysvallat. CRC Press, Taylor & Francis Group. 347 s. ISBN: 978-1-4398-2685-0.

Kling, T., Holt, E., Kivikoski, H., Korkealaakso, J., Kuosa, H., Loimula, K., Niemeläinen, E. ja Törnqvist J. 2015. *Vettä läpäisevät päällysteet*. Käsikirja suunnitteluun, rakentamiseen ja ylläpitoon. VTT. 58 s. ISBN: 978-951-38-8198-6.

Kotola, J. ja Nurminen, J. 2003. *Kaupunkialueiden hydrologia – valunnun ja ainehuuhtouman muodostuminen rakennetuilla alueilla, osa 2: koealueutkimus*. Espoo. Teknillinen korkeakoulu, Vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio. 203 s. ISBN: 951-22-6497-8.

Krause, P., Boyle, D.P., Bäse, F. 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences*. European Geosciences Union. S. 89-97.

Krebs, G., Kokkonen, T., Valtanen, M., Koivusalo, H. ja Setälä, H. 2013. A high resolution application of a stormwater management model (SWMM) using genetic parameter optimization. *Urban Water Journal*. Vol. 10. S. 394-410. DOI: 10.1080/1573062X.2012.739631.

Krebs, G., Kokkonen, T., Valtanen, M., Setälä, H. ja Koivusalo, H. 2014. Spatial resolution considerations for urban hydrological modelling. *Journal of Hydrology*. Vol. 512. S. 482-497. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.03.013.

Krebs, G., Kuoppamäki, K., Kokkonen, T. ja Koivusalo, H. 2015. Simulation of green roof test bed runoff. *Hydrological Processes*. DOI: 10.1002/hyp. 10605.

Kuoppamäki, K., Hagner, M., Lehvävirta, S. ja Setälä, H. 2016. Biochar amendment in the green roof substrate affects runoff quality and quantity. *Ecological Engineering*. Vol. 88. S. 1 - 9. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2015.12.010.

Lehikoinen, E. 2015. *Kadun vastavalmistuneiden huleveden biosuodatusalueiden toimivuus Vantaalla*. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Espoo. 110 s.

Melbourne Water. 2005. *WSUD Engineering Procedures – Stormwater*. Collingwood, Australia. CSIRO Publishing. 285 s. ISBN: 0 643 09223 4 (sähköinen).

Metsäranta, N. 2003. *Valunnan muodostuminen taajama-alueilla - Laskentamallin kehitys ja soveltaminen*. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Espoo. 108 s.

Metsäranta, N., Kotola, J. ja Nurminen, J. 2005. Effects of urbanization on runoff water quantity and quality: experiences from test catchments in southern Finland. *Journal of River Basin Management*. Vol. 3. S. 229-234. DOI: 10.1080/15715124.2005.9635263.

Mobilia, M., Longobardi, A. ja Sator, J.F. 2014. Impact of green roofs on stormwater runoff coefficients in a Mediterranean urban environment. *Recent Advances in Urban Planning, Sustainable Development and Green Energy*. S. 100-106. ISBN: 978-960-474-404-6

Moriasi D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D. ja Veith, T. L. 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. Vol 50. S 885-900.

Nash, J.E. ja Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles. *Journal of Hydrology*. Vol. 10. S. 282-290. DOI: 10.1016/0022-1694(70)90255-6.

Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R.R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Köhler, M., Liu, K.K.Y., Rowe, B., 2007. Green roofs as urbanecosystems: ecological structures, functions and services. *BioScience*. Vol. 57. S. 823–833. DOI: <http://dx.doi.org/10.1641/B571005>.

Palla, A., Gnecco, I. ja Lanza, L.G. 2010. Hydrologic Restoration in the Urban Environment Using Green Roofs. *Water*. Vol. 2. S. 140-154. DOI: 10.3390/w2020140.

Palla, A., Gnecco, I., Lanza, L. G. ja La Barbera, P. 2012. Performance analysis of domestic rainwater harvesting systems under various European climate zones. *Resources, Conservation and Recycling*. Vol 62. S. 71-80. DOI: 10.1016/j.resconrec.2012.02.006.

Petrucci, G., Rioust, E., Deroubaix, J-E. ja Tassin, B. 2013. Do stormwater source control policies deliver the right hydrologic outcomes? *Journal of hydrology*. Vol. 458. S. 188-200. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.06.018.

Pitt, R., Chen, SE., Clark, SE, Swenson, J. ja Ong, CK. 2008. Compaction's impacts on urban storm-water infiltration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-Asce*. Vol 134. S. 652-658. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2008)134:5(652).

Pitt, R. ja Clark, S. 2003. Emerging Stormwater Controls for Critical Source Areas. Teoksessa: Field, R., Sullivan, D. *Wet-Weather Flow in the Urban Watershed*. Yhdysvallat. Lewis Publishers. S. 271-294. ISBN: 1-56676-916-7.

Pratt, C., Wilson, S. ja Cooper, P. 2002. Source Control Using Constructed Pervious Surfaces: Hydraulic, Structural and Water Quality Performance Issues. CIRIA C582. Lontoo. ISBN: 0 86017 582 0.

QGIS User Guide. Release 2.8. 2015. 333 s.

Roseen, R. M., Ballesterro, T. P., Houle, J. J., Avellaneda, P., Briggs, J. Fowler, G. ja Wildey, R. 2009. Seasonal Performance Variations for Storm-Water Management Sytems

in Cold Climate Conditions. *Journal of Environmental Engineering*. Vol. 135. S. 128-137. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9372(2009)135:3(128).

Rossman, L. A. 2010. Storm Water Management Model User's Manual – Version 5.0. Cincinnati, Ohio. U.S. Environmental Protection Agency. EPA/600/R-05/040. 282 s.

Sansalone, J. J. ja Hird, J. 2003. Treatment of Stormwater Runoff from Urban Pavement and Roadways. Teoksessa: Field, R., Sullivan, D. Wet-Weather Flow in the Urban Watershed. Yhdysvallat. Lewis Publishers. S. 141-185. ISBN: 1-56676-916-7.

Schroll, E., Lambrinos, J., Righetti, T. ja Sandrock, D. 2011. The role of vegetation in regulating stormwater runoff from green roofs in a winter rainfall climate. *Ecological Engineering*. Vol. 37. S. 595-600. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2010.12.020.

Schueler, T., Hirschman, D., Novotney, M. ja Zielinski, J. 2007. Urban Subwatershed Restoration Manual No. 3. Urban Stormwater Retrofit Practices. Version 1.0. Center for Watershed Protection. Ellicott City MD. 240 s.

Shuster, W., Bonta, J., Thurston, H., Warnemuende, E. ja Smith, D. 2005. Impacts of impervious surface on watershed hydrology: A review. *Urban Water Journal*. 2(4): 263-275. DOI: 10.1080/15730620500386529

Sillanpää, N. 2013. Effects of suburban development on runoff generation and water quality. Väitöskirja. Aalto-yliopiston Insinööritieteiden korkeakoulu. Rakennus- ja ympäristötekniikan laitos. Espoo. 240 s.

Sillanpää, N. 2015. WP5, Taajamien rankkasadetulvien hallinnan parantaminen: hulevesien hallinta tiiviissä kaupunkiympäristössä. VERTI-hankeen työpaja. Esitelmä.

Sillanpää, N. ja Koivusalo, H. 2015. Impacts of urban development on runoff event characteristics and unit hydrographs across warm and cold seasons in high latitudes. *Journal of Hydrology*. Vol. 521. S. 328-340. DOI:10.1016/j.jhydrol.2014.12.008.

Sillanpää, N. ja Koivusalo, H. 2014. Impacts of urbanization and event magnitude on runoff contributing area and runoff coefficients. 13th International Conference on Urban Drainage. 7.-12.9.2014. Sarawak, Malesia.

Sillanpää, N. ja Koivusalo, H. 2015a. Impacts of urban development on runoff event characteristics and unit hydrographs across warm and cold seasons in high latitudes. *Journal of Hydrology*. Vol. 521. S. 328-340. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.12.008.

Sillanpää, N. ja Koivusalo, H. 2015b. Stormwater quality during residential construction activities: influential variables. *Hydrological Processes*. Vol. 29. S. 4238-4251. DOI: 10.1002/hyp.10493.

Suomen Kuntaliitto. 2012. Hulevesiopas. Helsinki. 298 s. ISBN: 978-952-213-896-5.

Tiihonen, T. 2007. Hydrologiset prosessit taajamavaluma-alueilla – Alueellisesti hajautetun hulevesimallin kehitys ja soveltaminen. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Espoo. 111 s.

Vares, S. ja Pulakka, S. 2014. Life Cycle assessment (LCA) and costing analysis (LCCA) for conventional and permeable pavement walkways. VTT Research report VTT-CR-05777-14. 24 s.

Veuro, S., Lehvavirta, S. ja Mesimäki, M. 2012. Viherkattojen elinkaarianalyysi ja kestävätkä rakennerratkaisut – Esiselvitys. Viides ulottuvuus – viherkatot osaksi kaupunkia – tutkimusohjelma. Helsingin yliopisto.

Wolf, K. L. 2015. Encouraging Human Health and Wellness: LID Planning & Design for Co-Benefits. International Low Impact Development Conference 2015. 19.-21.1.2015. Houston, Texas.

Wright, L. Heaney, J. 2001. Design of Distributed Stormwater Control and Re-use Systems. Teoksessa: Mays, L. (toim.) Stormwater Collection Systems Design Handbook. Yhdysvallat. McGraw-Hill. S. 11.1-11.49. ISBN: 0-07-135471-9.

Liiteluettelo

Liite 1. QGIS vaiheet, 4 sivua

Liite 2. Posterit, 1 sivu

Liite 1. QGIS ohje

Aineistojen haku

Korkeusmalli rasteri ladataan CSC:n PaTuli palvelusta (www.csc.fi/paituli), aineistona ”MML, korkeusmalli” ja mittakaavana: ”Ruutukoko 2m x 2m”. Hulevesiverkoston kartta tilataan HSY:ltä ja se toimitetaan Espoon alueelta AutoCAD muodossa (DWG) kirjoitus-hetkellä. Espoon kaupungilta voi myös tilata AutoCAD muotoisen kantakartan, jota voi käyttää pohjana maankäyttöalueiden luomisessa QGIS-ohjelmassa.

Hulevesiverkoston digitointi

Hulevesiverkoston kartta avataan AutoCAD tai DraftSight-ohjelmalla ja tallennetaan DXF-muodossa. DXF-tiedosto avataan QGIS-ohjelmassa ja verkoston putkisto jäljennetään erilliseen ”Viiva”-tyyppiseen SHP-tiedostoon ja kaivot ”Piste”-tyyppiseen SHP-tiedostoon. Putkisto pitää piirtää irrallisina viivoina, ei ”Polyline”-viivoina.

Putkille ja kaivoille syötetään tarvittavat tiedot karttamerkkien ominaisuustietotauluihin (Taulukot L1.1 ja L1.2). Tekstiä sisältävien kenttien tyyppiä asetetaan teksti (String) ja lukuarvoja sisältävien kenttien tyyppiä desimaalinumero (Real). Kentän leveys kertoo kuinka pitkä merkkijono kenttään voidaan syöttää ja tarkkuus kertoo lukuarvojen tarkkuuden. Jokaiselle putkelle ja kaivolle annetaan yksilöllinen nimi. Juokseva numerointi vakiokirjainetuliitteellä tehdään valituille karttamerkeille tietolaskimessa seuraavalla kaavalla:

'j'+ tostring (\$rownum)

Tietoihin voi lisätä ”notes”-kentän muistiinpanoja varten (esim. putkien materiaalit ja puuttuvat tiedot, joita on täydennetty).

Taulukko L1.1. Putkille annettavat tiedot QGIS-ohjelmassa.

| Kenttä: | Kentän kuvaus: | Datatyyppi: |
|-------------|--|-------------|
| name | Yksilöllinen tunnus (esim. c1 ... cn) | String |
| elev_in | Sisääntuloputken korkeusasema (m) | Real |
| elev_out | Ulosmenoputken korkeusasema (m) | Real |
| diameter | Putken halkaisija (m) | Real |
| length | Putken pituus (m) | Real |
| junc_in | Kaivon nimi josta vesi tulee putkeen | String |
| junc_out | Kaivon nimi johon vesi menee putkesta | String |
| roughness | Manningin n putkelle (-) | Real |
| elev_in_of | Putken sisääntulopään korkeusaseman ja samasta kaivosta lähtevän matalimmalla olevan putken korkeusaseman erotus | Real |
| elev_out_of | Putken ulostulopään korkeusaseman ja samasta kaivosta lähtevän matalimmalla olevan putken korkeusaseman erotus | Real |
| notes | Muistiinpanot | String |

Taulukko L1.2. Kaivoille annettavat tiedot QGIS-ohjelmassa.

| Kenttä: | Kentän kuvaus: | Datatyyppi: |
|-----------|---------------------------------------|-------------|
| Name | Yksilöllinen tunnus (esim. j1 ... jn) | String |
| Elevation | Kannen korkeus | Real |
| Inv_elev | Alimman putken korkeusasema | Real |
| Max_depth | Kaivon syvyys eli edellisten erotus | Real |
| Notes | Muistiinpanot | String |

Hulevesiverkoston polttaminen korkeusmalliin

Hulevesiverkosto poltetaan korkeusmalliin, jotta verkosto vaikuttaisi valuma-alueen rajaukseen. Valuma-alueen rajausta tehdään korkeusmallin avulla QGISsin GRASS GIS -osalla. Aluksi avataan rasterityyppinen *dem_vallikallio* korkeusmalli ja vektorityyppinen *Putkisto* taso QGISsiin. Lisätään *Putkisto* tasoon uusi ominaisuus ”Syvyys” ominaisuuksien hallinnasta. Asetaan ”Syvyys” kentän arvoksi 100.0 (m) tietolaskimen avulla. *Putkisto* vektoritaso muutetaan rasteriksi rasterimuunnos työkalulla. Rasterimuunnos työkalun valikkoikkunasta valitaan syötetiedostoksi putkistotiedosto ja ”Ominaisuustieto” kenttään ”Syvyys” ominaisuus. Valitaan asetus ”Rasterin resoluutio karttayksikössä per pikseli” ja vaihdetaan molempiin kohtiin luvun 1 (m) tilalle 2 (m), sillä tässä työssä käytetään korkeusmallia, jonka ruutukoko on 2m×2m. Luodaan uusi rasteritaso *putkisto_rasteri*, joka peittää alleen vain putkiston. Tämän jälkeen luodaan korkeusmalli, jossa viemäriverkosto on mukana. Ensin käytetään rasterilaskinta ja vähennetään *dem_vallikallio* rasterista *putkisto_rasteri*. Koska *putkisto_rasteri* on pienempi, sen kohdalla valitaan ”Nykyisen tason alueen laajuus”, jolloin uusi *dem-putkisto* rasteri on samankokoinen kuin *putkisto_rasteri*. Seuraavaksi yhdistetään juuri luotu *dem-putkisto* ja *dem_vallikallio* rasterit toisiinsa käyttämällä ”Yhdistä” -toimintoa (”Rasteri” > ”Sekalaista” > ”Yhdistä”). Syöttötiedostoihin lisätään rasterit, jotka halutaan yhdistää eli ensin rasteri johon halutaan yhdistää ja seuraavaksi rasteri joka halutaan yhdistää. Tässä tapauksessa valitaan ensin *dem_vallikallio* rasteri ja sitten *dem-putkisto_rasteri*. Tulostiedostoon laitetaan uuden rasterin nimi *dem_yhdistetty*.

Valuma-alueen rajaaminen GRASS GIS ohjelmalla

QGISsissä valuma-alueen rajausta tehdään GRASS GISsin työkaluilla, jotka löytyvät ”Liitännäiset” valikon GRASS kohdasta. Luodaan ensin GRASSissa uusi karttajoukko, jonka sijainti on Vallikallio ja avataan luotu karttajoukko. Lisätään GRASSiin *dem_yhdistetty* rasteri käyttämällä GRASS työkaluista *r.in.gdal.qgis* funktiota ja luodaan rasteri *dem_yhdistetty_grass*. Asetuksista valitaan ”Override projection (use location’s projection)”.

Luodaan rasterille maantieteellinen alue *g.region.multiple.raster* funktiolla ja asetetaan luodun rasterin nimeksi *dem_yhdistetty_grass*. Lisätään luotu rasteri QGIS projektiin. GRASSin *r.fill.dir* funktion avulla poistetaan pienemmät painanteet *dem_yhdistetty_grass* korkeusmallista, ettei niistä muodostu omia pieniä valuma-alueita. Kirjoitetaan ”Output elevation rastermap after filling” kenttään *dem_yhdistetty_grass_filled1* ja ”Output direction raster map” kenttään *dem_yhdistetty_grass_filled2*. Lisätään luodut rasterit QGIS projektiin.

GRASS työkaluista *r.watershed* funktio luo korkeusmallin avulla osavaluma-aluejoukon. Osavaluma-alueiden määrä riippuu määritetystä alueen minimikoosta (”Threshold”), jonka arvoksi asetetaan tässä tapauksessa 1500. Korkeusmallina käytetään *dem_yhdistetty_grass_filled1* rasteria. Syötetään nimet generoitaville rastereille kenttiin ”Output” (*Output*), ”Drainage” (*Drainage*), ”Streams” (*Streams*) ja ”Labels” (*Valuma-alueet*) ja tuodaan nämä rasteritasot QGISsin karttaan. Tallennetaan GRASS rasteri taso *Valuma-*

alueet QGIS rasteriksi. Muutetaan *Valuma-alueet* rasteri SHP-tyyppiseksi vektoritasoksi vektorimuunnos työkalulla ("Rasteri" > "Muunnos" > "Monikulmio (Rasteri Vektoriksi)"). *Valuma-alueet* vektoritasoon saattaa jäädä joukko hyvin pieniä alivaluma-alueita ja ne kannattaa yhdistää ympäröiviin isompiin osavaluma-alueisiin yksinkertaisuuden vuoksi. GRASS funktioista *v.in.ogr.qgis* vie QGISsiin ladatun vektoritason GRASSiin. Asetetaan funktion kentän "Snapping Threshold Boundaries" arvoksi 0.01. Tämä asetus varmistaa että toisiaan hyvin lähellä olevat kulmapisteet yhdistetään toisiinsa, jolloin vierekkäisten monikulmioiden väliin ei jää tilaa. Pienet osavaluma-alueet yhdistetään isompiin Grass funktion *v.clean.rmarea* avulla.

Maankäyttö

Lopuksi luodaan maankäyttötyypit QGISsissä rajatulle valuma-alueelle käyttäen apuna PaiTuli-palvelun ilmakuvia, Espoon kaupungin kantakarttaa, Google Street View-palvelun kuvia sekä maastokäynneillä kerättyjä tietoja. Luodaan "Monikulmio" tyyppinen vektoritaso jokaista maankäyttöluokkaa varten (Taulukko L1.3) ja lisätään niihin ominaisuus "id". Piirretään eri maankäyttöä kuvaavat alueet eri tasoille ja syötetään monikulmioiden "id" arvot taulukon L1.3 mukaan.

Taulukko L1.3. Maankäyttöalueiden koodit.

| Koodi (id): | Maankäyttö: |
|-------------|---------------------------------|
| 10 | Kallio (läpäisemätön) |
| 20 | Katot (läpäisemätön) |
| 30 | Hiekka ja sora (läpäisevä) |
| 40 | Asfaltti (läpäisemätön) |
| 50 | Kivetykset (osittain läpäisevä) |
| 60 | Kasvillisuus (läpäisevä) |

Lisätään vektoritasot GRASSiin samalla tavalla kuin aikaisemmin (*v.in.org.qgis* funktio). Yhdistetään jokainen maankäyttö alue yhdeksi jatkuvaksi alueeksi *v.dissolve* funktiolla ja valitaan funktion ominaisuustiedon kenttään "id". Tallennetaan luotu yhdistetty vektoritaso maankäytön nimellä ja lisätään se QGIS:iin.

Yhdistetyssä vektoritasossa alueet ovat suuria, joten niitä pitää pilkkoa sopivan kokoisiin osiin. Apuna käytetään *Output* rasteria ja *Valuma-alueet* vektoritasoa. *Output* kartassa näkyy korkeusmallin perusteella lasketut veden virtaussuunnat. Alueet jaetaan manuaalisesti siten, että niille voidaan määrittää pituus. Alueen pituus on aina valunnan suuntainen. Pinta-alat ja kaltevuudet lasketaan QGISsin tietolaskimen avulla. Pituuden ja pinta-alan perusteella lasketaan alueiden leveys. Viheralueiden pituuden määrittäminen ei ole yhtä tärkeää kuin muiden alueiden, sillä niihin satava vesi ei yleensä aiheuta valuntaa simulaatioissa. Jaetut alueet yhdistetään samalle tasolle käyttämällä QGISsin yhdistä shapefilet työkalua ("Vektorit" > "Datanhallinta työkalut" > "Yhdistä shapefilet yhdeksi"). Tuloksena saadaan yksi SHP-tiedosto, joka on jaettu osavaluma-alueisiin maankäyttöjen perusteella. Yhdistetyn tiedoston nimeksi annettiin Vallikallio_areas_SWMM5_01.

Alivaluma-alueille annettavat tiedot on esitetty taulukossa L1.4. Kaltevuuden laskemista varten tehdään ensin kallistuma rasteri kohdasta "Rasteri" > "Maastoanalyysi" > "Kallistuma", valitaan korkeustaso kohtaan DEM korkeusrasteri ja ulostulotasoksi uusi rasteritaso Vallikallio_slope. Tämän jälkeen lasketaan kaltevuudet vyöhyketilastojen avulla. Rasteritasoksi valitaan Vallikallio_slope ja monikulmioksi yhdistetty SHP-tiedosto (tässä: Vallikallio_areas_SWMM5_01). Ominaisuustietotauluun saadaan kaltevuuden arvoja, joista käytetään keskimääräisiä kaltevuuksia.

Taulukko L1.4. Alivaluma-alueille annettavat tiedot QGIS-ohjelmassa.

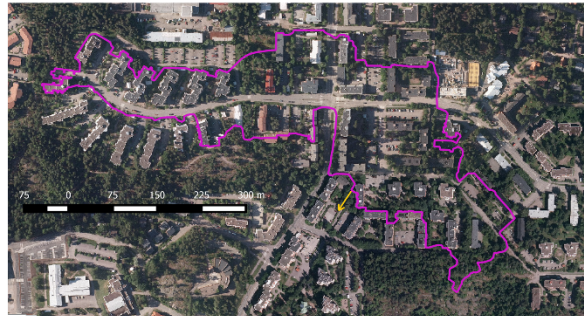
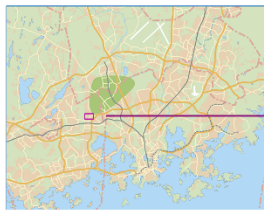
| Kenttä: | Kentän kuvaus: | Datatyyppe: |
|------------|--|-------------|
| slope | Kaltevuus (%) | Real |
| elevation | Korkeusasema (m) | Real |
| area | Pinta-ala (ha) | Real |
| dstore_imp | Läpäisemättömän alueen painannesäilyntä kirjallisuudesta (mm) | Real |
| dstore_per | Läpäisevän alueen painannesäilyntä kirjallisuudesta | Real |
| imperv | Läpäisemättömyys (%) | Real |
| n_imperv | Läpäisemättömän alueen Manningin kerroin (-) | Real |
| n_perv | Läpäisevän alueen Manningin kerroin (-) | Real |
| outlet | alue/kaivo johon kyseinen alue purkaa, katsotaan outlet kartan avulla mihin suuntiin vedet virtaavat ja päätellään | String |
| perczero_i | Läpäisemättömän alueen osuus, jolla ei ole painannesäilyntää | Real |
| rain_gage | Alueen sademittarin nimi (esim. r1) | String |
| length | Pituus veden virtaussuuntaan (m), mitataan mittaus työkalulla (viheralueille laskettiin $l=\sqrt{A}$ sillä niillä ei juuri virtaa vettä ja niiden muodot olivat epäsäännöllisiä) | Real |
| width | Leveys (m), lasketaan laskentatyökalulla jakamalla pinta-ala pituudella | Real |
| conduct | Maaperän kyllästynyt hydraulinen johtavuus (mm/hr) | Real |
| initdef | Maaperän alkuperäinen vesipitoisuus (%) | Real |
| suction | Maaperän kapillaarinen imukorkeus (mm) | Real |

Liite 2. Poster

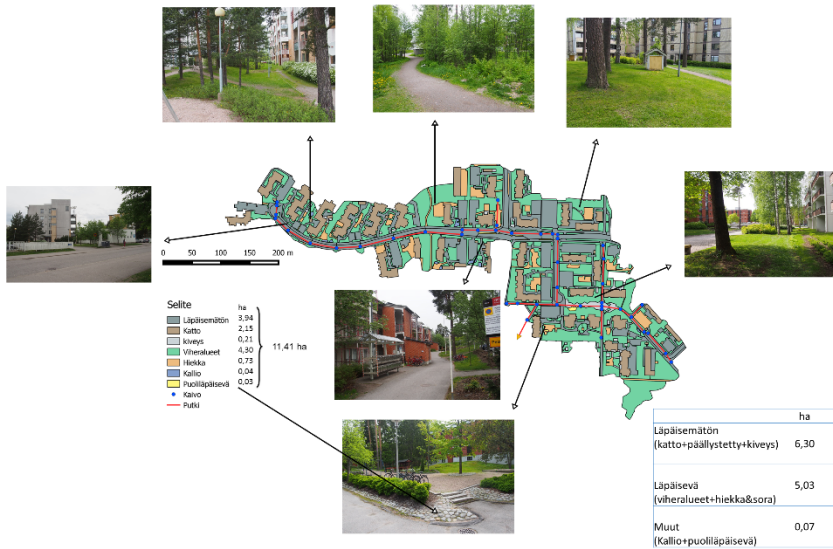
VERTI – Viemäreiden tila ja riskien hallinta
 Työpaketti 5: Taajaman rankkasadetulvien hallinnan parantaminen
 Outi Raudaskoski, Nora Sillanpää, Harri Koivusalo

Rankkasateet ja hulevedet tiiviissä kaupunkiympäristössä

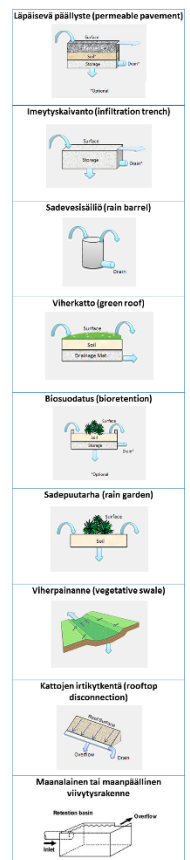
Valuma-alueen sijainti



Alueen maankäyttö



SWMM LID menetelmät



Kysymykset

1. Millaisia hulevesiratkaisuja kannattaa vertailla?
2. Millaisia riskejä hallintavaihtoehtoihin sisältyy, miten riskit pitäisi huomioida?
3. Miten tulokset tulisi esittää, jotta tutkimus hyödyttää käytännön suunnittelua?
4. Mikä on vallalla oleva mitoituskäytäntö Suomessa ko. ratkaisuille?