

Olivia Rissanen

ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUS HULEVESIEN HALLINTAAN KAUPUNKIEN KESKUSTOISSA

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastajat:
Marja Palmroth
Silja Mustonen
Huhtikuu 2024

TIIVISTELMÄ

Olivia Rissanen: Ilmastonmuutoksen vaikutus hulevesien hallintaan kaupunkien keskustoissa.

The impact of climate change on stormwater management in urban areas

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Tekniikan ja luonnontieteiden kandidaattiohjelma, ympäristö- ja energiatekniikan opintosuunta
Huhtikuu 2024

Kaupunkien keskustat ovat hyvin tiheästi rakennettuja ja sisältävät paljon läpäisemätöntä pintaa, jonka vuoksi niistä ei löydy hulevesien luonnollisia poistumisreittejä. Tämän vuoksi hulevedet aiheuttavat erilaisia hallinnan määrällisiä ongelmia, esimerkiksi hulevesitulvia, mikäli kaikkea hulevettä ei pystytä hallitsemaan nykyisin keinoin. Hulevesiä voidaan johtaa vesistöön tai jätevedenpuhdistamolle. Jätevedenpuhdistamolle johdettaessa voivat ne aiheuttaa hallintaongelmia ja vuotoja kuormittamalla jätevedenpuhdistamaa yli sen normaalin kapasiteetin.

Tämän kandidaatin työn tavoitteena oli selvittää, kuinka ilmastonmuutos tulee muuttamaan hulevesien määrää ja miten kaupunkien keskusta-alueet voisivat sopeutua muutokseen. Näiden lisäksi selvitettiin erilaisia keinoja hyödyntää hulevesiä syntypaikalla. Työ rajattiin keskittymään Helsingin, Tampereen ja Turun keskustoihin. Kandidaatin työ on toteutettu kirjallisuuskatsauksena.

Ilmastonmuutoksen seurauksena hulevesien määrä tulee muuttumaan. Sadannan määrässä on havaittavissa kasvua verrattuna aikaisempiin vuosikymmeniin. Ilmastonmuutoksen ennustetaan nostavan lämpötilaa, jonka seurauksena sulamisvesien määrä tulee muuttumaan. Myös rankkasateiden ennustetaan lisääntyvän, mikä lisää hulevesitulvariskiä. Koska hulevesien määrä tulee lisääntymään, on kaupunkien keskustoihin lisättävä hulevesien hallinnan keinoja.

Kaupunkien keskusta-alueille voidaan lisätä erilaisia hulevesien hallinnan keinoja. Läpäisevässä asvaltissa on vähemmän bitumia ja enemmän kuitua verrattuna tiiviiseen asvalttiin, joka tekee sen rakenteesta huokoisemman. Huokoinen rakenne lisää hulevesien imeytymistä maaperään. Sadepuutarhat ovat suodatusrakenteita, joissa voi olla joko läpäisevä tai läpäisemätön pohja. Pohjan rakenteesta riippuen hulevesiä voidaan joko viivyttää tai imeyttää. Hulevesikasetit ovat maanalainen keino imeyttää ja viivyttää hulevesiä. Ne ovat tehokkaita varastoimaan vettä.

Hulevesikasetit ja läpäisevä asfaltti sopivat esimerkiksi parkkialueille sekä kevyenliikenteen väylille. Sadepuutarhat sopivat esimerkiksi puistoihin ja teiden reuna-alueille. Läpäisevän asfaltin ja sadepuutarhojen haasteena on niiden imeytymistehon heikkeneminen talviolosuhteissa. Hulevesikasettimallit eivät välttämättä sopeudu kasvillisuuden tai rakennusten läheisyyteen, mikä voi aiheuttaa haastetta tiheästi rakennetuilla alueilla.

Hulevesiä ei tarvitse aina johtaa pois vaan mahdollisuuksien mukaan niitä voidaan hyödyntää syntypaikalla. Keskusta-alueilla on hyvin paljon taloyhtiöitä, joiden pihojen ja mahdollisten puutarhojen kasteluun hulevesiä voitaisiin hyödyntää. Tämän lisäksi hulevesiä voidaan kerätä säiliöihin ja käyttää sammutusvetenä. Sammutusveden haasteena on tarvittavan vesimäärän säilöminen, sillä usein vesi voidaan ottaa lähellä olevasta vesistöstä, jossa vettä on tarpeeksi. Kaupunkeihin voidaan myös rakentaa hulevesipuistoja, joissa hulevettä säilötään ja hyödynnetään puiston ja kaupungin toimintoihin. Nämä puistot voivat toimia myös tärkeinä virkistysalueina alueen asukkaille. Kaupunkien keskustoissa hulevesien määrä tulee siis lisääntymään, jonka vuoksi sinne tulee lisätä uusia hulevesien hallinnan keinoja, kuten hulevesikasetteja tai läpäisevää asfalttia.

Avainsanat: läpäisevä asfaltti, sadepuutarhat, hulevesikasetit, hulevesien hyödyntäminen

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2.HULEVEDET JA ILMASTONMUUTOS.....	3
2.1 Sadanta ja sulamisvedet	3
2.1.1 Sadannan määrä.....	3
2.1.2 Sulamisvesien määrä.....	5
2.1.3 Ilmastonmuutoksen vaikutus hulevesien määrään	7
2.2 Hulevesien aiheuttamat riskit.....	10
3.HULEVESIEN MÄÄRÄLLINEN HALLINTA	12
3.1 Prioriteettijärjestys	12
3.2 Nykytilanne	13
3.3 Hulevesien määrän vähentäminen	14
3.3.1 Lämpäisevä asvaltti.....	16
3.3.2 Sadepuutarhat	17
3.4 Hulevesien johtaminen	19
3.5 Hulevesien viivyttäminen.....	21
3.6 Hulevesien hyödyntäminen	22
4.JOHTOPÄÄTÖKSET	25
LÄHTEET	27

1. JOHDANTO

Hulevedet ovat sade- ja sulamisvesiä, joita johdetaan pois maan pinnalta, rakennuksien katoilta tai muilta vastaavilta pinnoilta (Vesihuoltolaki 119/2001). Vuonna 2000 suomalaisista noin 80 % asui taajama-alueilla, jotka kattoivat vain noin 2 % koko Suomen pinta-alasta (Ristimäki et al., 2003, s.12). Kaupunkien keskusta-alueet ovat hyvin tiiviisti rakennettuja ja sisältävät paljon läpäisemättömiä pintoja, jolloin niistä ei löydy luontaisia poistumisreittejä sade- ja sulamisvedelle (Nurmi et al., 2008, s.5; Rosenberger et al., 2021). Tämän vuoksi ne voivat aiheuttaa kaupungeissa ympäristöriskejä (Rosenberger et al. 2021).

Keskustojen kokonaisalasta usein yli puolet on läpäisemättömiä pintoja, kuten asfaltoituja katuja ja parkkialueita sekä kattoja, joka on suurin veden kiertokulkuun vaikuttava tekijä (Kuntaliitto, 2012, s. 18). Kaupunkialueet ovat hulevesien hallinnan kannalta riskialueita, sillä ne on hyvin tiiviisti rakennettuja, niissä on korkeat liikennemäärät sekä siellä esiintyy hallinnan määrällisiä haasteita (Tampereen kaupunki, 2023). Koska kaupungeista ei löydy hulevesien luonnollisia poistumisreittejä, tulee niitä suunnitella ja sijoittaa kaupunkiin. Kaupungistuminen vaikuttaa myös alueiden ilmastoon (Vakkilainen et al., 2005, s.12; Trusilova et al., 2008).

Tässä työssä keskitytään ilmastonmuutoksen aiheuttamiin määrällisiin muutoksiin hulevesien hallinnassa sekä erilaisiin hulevesien hallintakeinoihin, joita kaupunkialueille voidaan tarvittaessa lisätä. Työ rajataan keskittymään kolmen Suomen kaupungin, Helsingin, Tampereen ja Turun keskustoihin, sillä jokaisessa näissä kaupungeissa ydinkeskusta on vanha ja asukkaita on Suomen mittapuulla paljon. Kirjallisuusselvityksessä tutkitaan erilaisten hulevesien hallintakeinojen sopeutumista kaupunkialueelle sekä ilmastonmuutoksen aiheuttamiin hulevesien määrän muutoksiin. Kandidaatintyön tavoitteena on selvittää, miten hulevesien määrät tulevat muuttumaan ilmastonmuutoksen seurauksena sekä millaisia keinoja kaupunkien keskustoihin voitaisiin lisätä hulevesien määrällisen hallinnan parantamiseksi.

Toisessa luvussa käsitellään hulevesiä ja ilmastonmuutosta. Luvussa käydään läpi sadannan ja sulamisvesien määrä tällä hetkellä ja se, miten kaupungistuminen on vaikuttanut niiden määrään. Lisäksi selvitetään, miten ilmastonmuutos vaikuttaa hulevesien määrään ja millaisia ympäristöriskejä hulevedet voivat aiheuttaa. Kolmannessa luvussa

käydään läpi hulevesien määrällistä hallintaa, hallinnan nykytilannetta Helsingissä, Tampereella ja Turussa sekä hulevesien hyödyntämiskeinoja. Luvussa selvitetään läpäisevän asfaltin, sadepuutarhojen sekä hulevesikasettien sopivuutta keskusta-alueille. Työn lopussa on johtopäätökset.

2. HULEVEDET JA ILMASTONMUUTOS

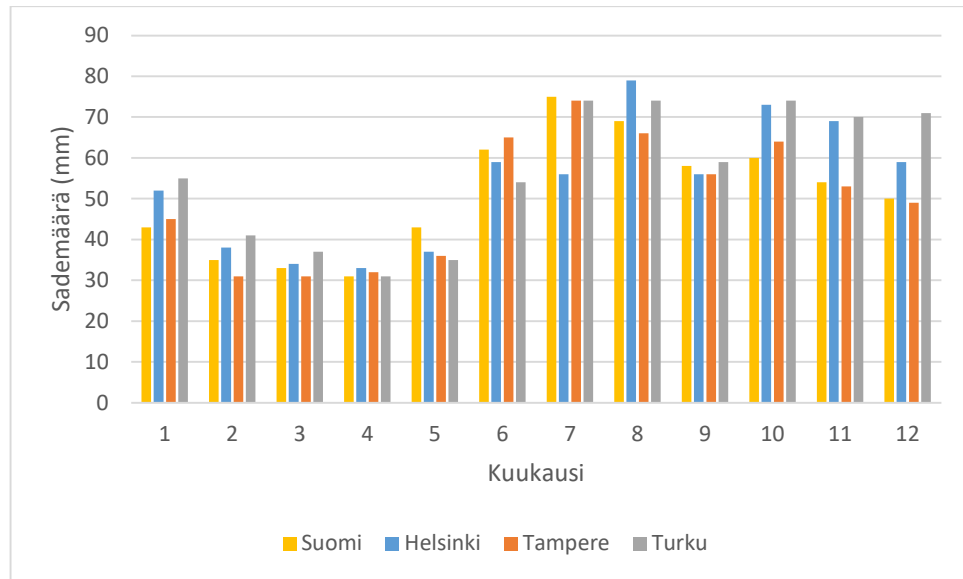
Tässä luvussa käsitellään sadannan ja sulamisvesien nykyistä määrää Helsingissä, Tampereella ja Turussa ja sitä, miten ne vertautuvat toisiinsa, jonka lisäksi käsitellään kaupungistumisen ja ilmastomuutoksen aiheuttamia muutoksia sadantaan ja sulamisvesiin sekä niistä syntyvien hulevesien aiheuttamia ympäristöriskejä.

2.1 Sadanta ja sulamisvedet

Sadanta eli sademäärä kuvaa maahan tulevaa vesimäärää eri sateen olomuodoissa tietyssä ajassa (VESI.fi, 2020). Sade muodostuu, kun ilmakehässä oleva vesihöyry joko tiivistyy vesipisaroiksi tai härmistyy lumi- ja jääkiteiksi, jotka törmäillessään toisiinsa kasvavat ja muodostavat pilviä, joista painovoiman seurauksena sade päätyy maahan (Lepäranta et al., 2017, s. 73). Sulamisvedet syntyvät, kun lumi tai jää sulaa (TEPA-termipankki, 2023.). Sadannan tavoin myös sulamisvesien määrä vaihtelee vuosittain, sillä talven lumitilanteet ovat keskenään erilaisia. Pohjois-Suomessa lumipeite on huomattavasti paksumpi ja ajallisesti pidempi verrattuna Etelä-Suomeen. Tämän seurauksena myös sulamisvesiä syntyy enemmän Pohjois- kuin Etelä-Suomessa. (Ilmatieteen laitos, n.d.c)

2.1.1 Sadannan määrä

Sadannan määrä Suomessa vaihtelee paljon eri vuosien välillä. Suomen vuotuinen sademäärä vaihtelee 500-750 mm välillä (Eskola & Tahvonen, 2010, s. 11). Helsingissä kolmenkymmen vuoden ajanjakson aikana sadannan määrä on vaihdellut 508 mm välillä. Helsingissä on vuosien 1991-2020 välillä satanut keskimäärin 645 mm, Tampereella 602 mm ja Turussa 675 mm (Ilmatieteen laitos, n.d.e), kun koko Suomen keskiarvo on 613 mm (Ilmatieteen laitos, n.d.d). Tampereella sataa siis keskimäärin hieman vähemmän kuin Suomessa yleisesti, sen sijaan taas Helsingissä ja Turussa sataa enemmän kuin Suomessa keskimäärin. Sadannan määrä vaihtelee myös kuukausittain. Kuvaan 1 on koottu sekä Suomen että Helsingin, Tampereen ja Turun keskimääräiset kuukausittaiset sadannat aikajaksolla 1991-2020 (Ilmatieteen laitos, n.d.e).



Kuva 1. Keskimääräinen sademäärä eri kuukausina aikavälillä 1991–2020

Kuvasta 1 havaitaan, että Suomessa suurimmat sademäärät ovat kesäaikana sekä lokakuussa. Pienin sademäärä on taas helmi-, maaliskuu- ja huhtikuun aikana. Tampereen sademäärät ovat suhteellisen samanlaiset kuin Suomessa yleisesti. Suurin ero on toukokuun sademäärässä, jolloin Tampereella sataa noin 7 mm vähemmän kuin keskimääräisesti Suomessa. Helsingin ja Turun sademäärät eroavat enemmän koko Suomen keskiarvosta verrattuna Tampereeseen. Helsingissä ja Turussa sademäärät ovat suurempia loka-, marras- ja joulukuun aikana, jolloin näissä kaupungeissa sataa 9 - 21 mm enemmän kuin Suomen keskiarvo, kun taas keväällä sademäärä on hieman pienempi. Helsingin ja Turun erilaiset sademäärät johtuvat kaupunkien sijainnista Suomen rannikolla. Keväisin sademäärät ovat pienempiä, sillä kylmä meri vähentää sateiden määrää, kun taas loppukesästä ja syksyisin meri lämmittää aluetta ja lisää sateiden määrää (Ilmatieteen laitos, n.d.b).

Helsingin mittausasema sijaitsee Runeberginkadun, Hietaniemenkadun ja Perhonkadun välisessä korttelissa Helsingin keskustassa. Tampereen mittausasema sijaitsee Varalan urheiluopiston läheisyydessä. Turussa mittausasema sijaitsee Artukiasentien ja Tillerinkadun risteyksessä keskustan ulkopuolella. (Ilmatieteenlaitos, n.d.e) Koska Tampereella ja Turussa mittausasemat eivät sijaitse aivan keskusta-alueella, on todennäköistä, että mittaustulokset eivät ole täysin vastaavia keskusta-alueilla, sillä kaupungistumisella on vaikutusta sadantaan.

Kaupungistumisen seurauksena sademäärät ovat yleisesti lisääntyneet kaupungeissa noin 10 % (Vakkilainen et al., 2005, s.12). Toisaalta osassa Euroopan kaupungeissa sademäärät ovat vähentyneet kaupungistumisen seurauksena (Trusilova et al., 2008). Kaupungistuminen vaikuttaa eri tavoin eri vuoden aikojen sadantaan: syksyisin, talvisin

ja keväisin sademäärät kasvavat, mutta kesäisin ne pienentyvät (Song et al., 2021; Trusilova et al., 2008). Sadannan määrän väheneminen kesällä johtuu vähentyneestä pintaveden määrästä suurilla kaupunkialueilla (Trusilova et al., 2018). Kuitenkin Helsingissä, Tampereella ja Turussa on saatavilla pintavettä myös kesäisin, sillä ne sijaitsevat suurien vesistöjen lähellä, joten pintaveden saatavuuden väheneminen ei todennäköisesti vaikuta näiden kaupunkien sadantaan. Sadannan määrään lisääntymiseen vaikuttavat useammat tekijät, kuten ilmassa tapahtuvan tiivistymisen lisääntyminen saastumisen vuoksi, ilmavirtojen pyörteisyys pintojen karheuden seurauksena sekä lämpöisemmän ilman vuoksi kasvanut lämmön siirtyminen kaupungin ylle (Vakkilainen et al., 2005, s.12). Sadannassa tapahtuvat muutokset vaikuttavat myös syntyvien hulevesien määrään. Sadannan kasvun lisäksi myös haihdunta on kaupungeissa pienempää verrattuna luonnontilaiseen alueeseen (Mayer et al., 2003), joka lisää hulevesien määrää. Helsingin ja Turun keskustoissa sataa siis keskimäärin vuodessa hieman enemmän kuin Tampereen keskustassa. Eri kuukausien aikana sademäärät vaihtelevat paljon. Sadannan määrä on suurinta Helsingissä ja Turussa loppuvuoden aikana, kun taas Tampereella kesällä.

Hulevesien kannalta merkittävin sadetyyppi on konvektiivinen sade, koska siinä sateen intensiteetti on usein voimakas, jolloin hulevesiä syntyy paljon lyhyellä aikavälillä. Se syntyy, kun jokin maastokohta lämpenee enemmän kuin sitä ympäröivä alue, jonka seurauksena ilma laajenee ja kohoaa ylöspäin. Lopulta ilma viilenee ja siinä oleva vesihöyry tiivistyy. (Aaltonen et al., 2008, s.18) Suomessa nämä ovat yleensä paikallisia ja esiintyvät usein ukkosen kanssa. Konvektiiviset sateet ovat usein kestoiltaan lyhyempiä, mutta voimakkuudeltaan rankkoja. (Leppäranta et al., 2017, s.74)

2.1.2 Sulamisvesien määrä

Sulamisvesien määrä on riippuvainen talven lumipeitteestä, joka vaihtelee vuosittain. Tampereella pysyvän lumipeitteen tulo on ollut keskimäärin joulukuun loppupuolella ja Helsingissä sekä Turussa tammikuun alussa vuosien 1991-2020 aikana. Lumipeite taas on sulanut pois Helsingissä keskimäärin maaliskuun puolessa välissä, Turussa ja Tampereella maaliskuun lopussa tai huhtikuun alussa. (Ilmatieteen laitos, n.d.a) Ensilumi sataa Etelä-Suomeen yleensä marraskuun puoleen väliin mennessä, mutta ei kuitenkaan jää maahan, vaan pysyvä lumipeite kehittyy kylmimpien kuukausien aikana, joita Suomessa ovat joului-, tammi- ja helmikuu (Jylhä et al., 2009, s. 51; Olsson et al., 2015).

Helsingissä ja Turussa lumipeitteen tyypillinen paksuus on hieman pienempi kuin Tampereella. Maaliskuun puolessa välissä Tampereella keskimääräinen paksuus on ollut vuosien 1991-2020 aikana 20 - 30 cm välillä, kun vastaava luku on Turussa ja

Helsingissä 5 - 10 cm. Maaliskuun viimeisen päivä vastaavat luvut ovat Tampereella 5 - 10 cm, Helsingissä ja Turussa 0 - 5 cm. (Ilmatieteen laitos, n.d.a) Tampereella siis sulamisvedet syntyvät hieman myöhemmin kuin Helsingissä ja Turussa sekä keskimääräisesti niitä syntyy hieman enemmän.

Kaupunkien keskusta-alueilla lumen määrä on kuitenkin usein pienempi, sillä tiiviisti rakennetuilla alueilla lunta aurataan ja kuljetetaan pois lumien vastaanottoaikoille, jonka lisäksi alueiden kadut voivat olla lämmitettyjä, jolloin lumet sulavat nopeammin pois. Myös aurauksen jälkeen jäljelle jäänyt vähäinen lumimäärä sulaa helpommin pois verrattuna auramattomaan lumimäärään. Helsingissä arvioidaan, että normaaleina lumitalvina lunta ajetaan pois noin 800 000 m³ (Huhtinen & Känkkänen, 2015), jonka vuoksi keväisin syntyvä sulamisvesien määrä on merkittävästi pienempi verrattuna esimerkiksi ympärillä oleviin maaseutualueisiin.

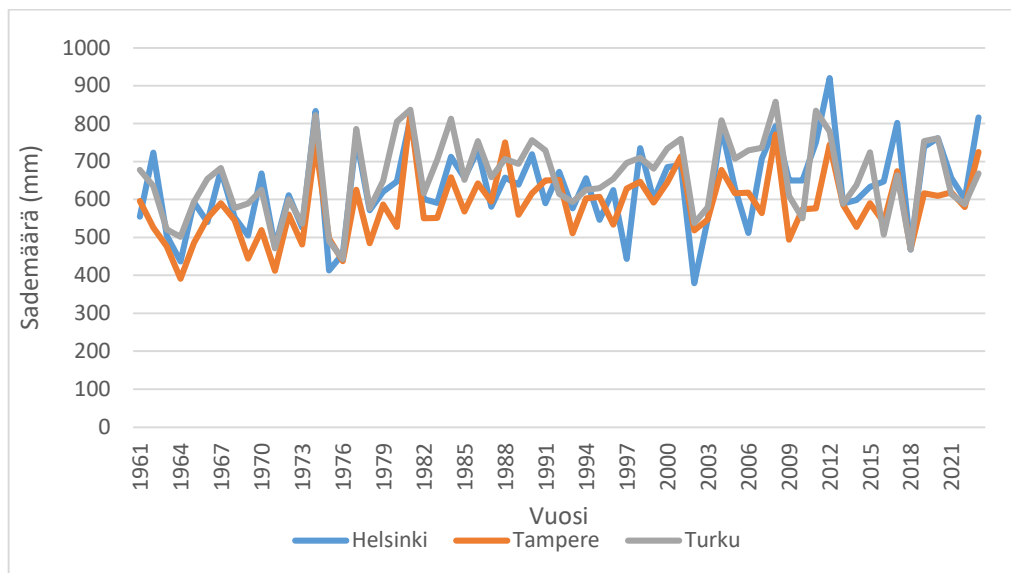
Lumipeitteen määrä Helsingin Kaisaniemessä on vaihdellut paljon Ilmatieteen laitoksen mittaushistorian aikana vuodesta 1911 lähtien. Suurin mitattu lumensyvyys 109 cm on mitattu 23.3.1941. Kaksi muuta lumisinta talvea ovat 1915 - 1916 ja 1930 - 1931 talvet. Pienin mitattu suurin lumen syvyys on vain 3 cm, joka on mitattu talvella 2019 - 2020. Muut vähälumisiet talvet ovat vuosien 1963 – 1964 ja 2014 – 2015 talvet. Vähälumisimpia ja lumisimpia talvia vertailemalla havaitaan, että lumen määrä on vähentynyt vuosisadan aikana. (Ilmatieteen laitos, n.d.a) Samankaltaista mittaustietoa ei ole saatavilla Tampereelta tai Turusta, mutta voidaan olettaa, että lumitilanne on ollut suhteellisen samankaltainen myös näissä kaupungeissa.

Sulamisvesien määrä on siis riippuvainen lumen määrästä, jonka määrä taas riippuu sadannasta ja sen aikaisesta lämpötilasta. Suomessa vuoden keskilämpötila vaihtelee Etelä-Suomen 5°C Pohjois-Suomen -2°C välillä (Olsson et al., 2015). Lunta pääsee syntymään joulukuun loppupuolelta maaliskuun alkuun asti, jonka aikana keskilämpötila on negatiivisen puolella. Helsingin, Tampereen ja Turun lämpötilat vaihtelevat samassa suhteessa eri kuukausien aikana. Tampereella talvi on muutaman asteen kylmempi, jonka seurauksena myös lumipeite on paksumpi ja sulamisvesiä syntyy enemmän. (Ilmatieteen laitos, n.d.a) Tampereen kylmempään säähän talvisin vaikuttaa kaupungin sijainti keskemällä Suomessa verrattuna kahteen rannikkokaupunkiin, joissa meri lämmittää kaupungin ilmastoa talvisin ennen jäätymistä. Koska Helsingissä ja Turussa sulamisvesiä syntyy vähemmän kuin Tampereella, tulee siellä osa sateesta vetenä, jolloin hulevesiä syntyy jo talven aikana ja sulamisvesiä taas hieman vähemmän keväällä.

2.1.3 Ilmastonmuutoksen vaikutus hulevesien määrään

Ilmastonmuutoksen vaikutukset ilmastoon ovat moninaiset. Sen on ennustettu lisäävän sään ääri-ilmiöitä, jolloin niin rankkasateet kuin kuivuus tulevat lisääntymään. Ilmastonmuutos tulee myös vaikuttamaan lämpötilaan, jonka nousun seurauksena esimerkiksi lumipeitteen määrä voi vähentyä ja merenpinta nousta. Nämä voivat vaikeuttaa hulevesien hallintaa.

Ilmastonmuutoksen seurauksena myös sadantaolot tulevat muuttumaan (Jylhä et al., 2009, s.36; Olsson et al., 2015; Virtanen & Rohweder, 2011, s.109). Sademäärät vaihtelevat eri vuosien välillä paljon. Kuvaan 2 on koottu sademäärät Helsingissä, Tampereella ja Turussa vuosien 1961-2023 välillä (Ilmatieteen laitos, n.d.e).



Kuva 2: Sademäärät vuosien 1961-2023 aikana.

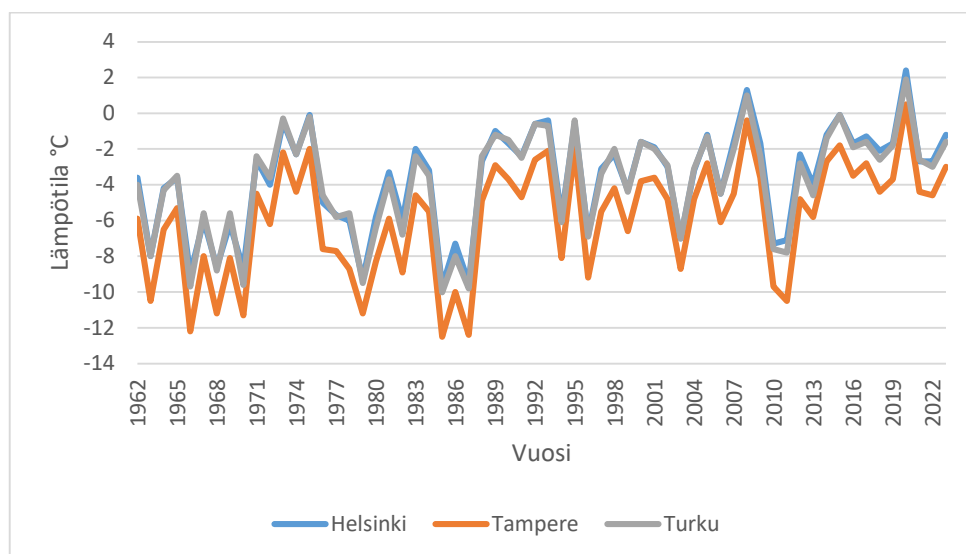
Kuvasta 2 havaitaan, että vuosittaiset vaihtelut voivat olla suuriakin. Pidemmällä tarkastelulla sademäärät ovat hieman suurettuneet. Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin (eli Intergovernmental Panel on Climate Change, myöhemmin IPCC) raportissa todetaan, että vuodesta 1900 vuoteen 2005 sademäärä kasvoi merkittävästi Pohjois-Euroopassa (Intergovernmental panel on climate change, 2007, s.2). Toisaalta vastaavaa merkittävää pitkäaikaista kasvutrendiä ei Suomessa havaittu 1940-1990-lukujen välissä (Tuomenvirta, 2004, s.68). Koska vuosittainen sademäärän vaihtelu on suurta, on hyvä tarkastella sademääriä esimerkiksi vuosikymmenien jaksoina, jolloin voidaan paremmin saada tietoa sadannan muutoksista. Kun vertaillaan kuvan 2 vuosien 1961-1980 sademäärää vuosiin 2001-2020 huomataan, että vuotuisen sademäärän keskiarvo näissä kolmessa kaupungissa on noussut noin 573 mm:stä 647 mm:iin eli noin 74 mm. Keskimääräinen sademäärä on kasvanut siis ainakin Helsingissä, Tampereella ja Turussa. Eri

kaupunkien sademäärät muuttuvat samankaltaisesti eri vuosien aikana, mikä johtunee kaupunkien sijainnista lähellä toisiaan, jolloin saman vuoden aikana sääolot pysyvät suhteellisen samankaltaisina. Kuvasta 2 havaitaan myös, että Helsingissä ja Turussa sademäärien vaihtelu on suurempaa verrattuna Tampereeseen.

Ilmastonmuutoksen seurauksena sadannan määrä lisääntyy, sillä ilmakehän lämpenemisen seurauksena ilmakehä sisältää enemmän vesihöyryä kuin tällä hetkellä. Ilmastonmuutoksen seurauksesta Pohjois-Euroopassa sademäärät voivat kasvaa noin 10 % verran ja Suomessa sademäärä lisääntyy nopeammin maan pohjois- kuin eteläosissa. Muutokset tulevat olemaan suurempia talvella, jolloin sademäärät voivat kasvaa noin 20 % verran, kun kesäisin muutos on 0-10% välillä riippuen sijainnista. (Jylhä et al., 2009, s.34) Jylhän (2009) mukaan vuoden 2041-2050 keskimääräinen sademäärä ylittää jakson 1971-2000 keskiarvon yli 90 % todennäköisyydellä sekä vuositasolla sadepäivät tulevat kasvamaan koko Suomessa.

Sadannan kasvun lisäksi ilmastonmuutos tulee vaikuttamaan myös sateen intensiteettiin. Viime vuosikymmenien aikana rankkasateet ovat voimistuneet maailmalla sekä erittäin todennäköisesti ne tulevat myös jatkossa lisääntymään (Intergovernmental panel on climate change, 2007, s.30). Etelä-Suomessa sadepäivät saattavat kesäisin vähentyä, mutta toisaalta rankkasateet tulevat voimistumaan niin kesäisin kuin talvisin (Jylhä et al., 2009, s.55).

Sulamisvesien määrä riippuu paljon lämpötilasta. Viime vuosikymmenien aikana vuoden keskilämpötilan arvo on noussut korkeammaksi ja kylmemmät vuodet ovat vähentyneet. Lumipeitteen kertymiseen talven lämpötiloilla on merkittävä vaikutus. Kuvaan 3 on koottu kaupunkien talvien keskilämpötilat vuosien 1962 – 2023 välillä (Ilmatieteen laitos, n.d.e).



Kuva 3. Talvien keskilämpötilan muutos ajanjaksolla 1962-2023.

Kuvasta 3 havaitaan, että myös talvien keskilämpötilat ovat nousseet vuodesta 1962. Kylmät talvet, jolloin keskilämpötila on ollut alle -10°C ovat vähentyneet merkittävästi, jonka lisäksi viime vuosina osan talvista keskilämpötila ei ole mennyt negatiiviseksi. Talvien lämpenemisen seurauksena lumen kertymisen sijaan yhä useampi sade tulee vetenä tai räntänä ja sulaa pois hyvin nopeasti, jolloin keväällä syntyvä sulamisvesien määrä pienenee, mutta talven aikana syntyvä hulevesien määrä kasvaa.

Ilmastonmuutoksen seurauksena maapallon lämpötila tulee laajalti nousemaan. IPCC:n raportin mukaan viimeisen 50 vuoden aikana maapallon lämpötila on noussut voimakkaammin kuin yhtenäkkään aikaisempaan 50 vuoden ajanjaksona viimeisen 2000 vuoden aikana. Ihmisen toiminnan myötä maapallon lämpötila on noussut $0,8-1,3^{\circ}\text{C}$ astetta vuosista 1850-1900 vuosiin 2010-2019. (Calvin et al., 2023, s. 42) IPCC:n arviota lämpötilan noususta ei voida suoraan verrata kuvaan 3, sillä sen mittausaika on merkittävästi lyhyempi. Vertailemalla voidaan kuitenkin huomata, että lämpötilan nousua on tapahtunut myös Helsingissä, Tampereella ja Turussa.

On odotettavaa, että Suomessa lämpötila tulee nousemaan tämän vuosisadan aikana. Riippuen sijainnista lämpötilan on ennustettu nousevan $1,3-6,6$ asteen verran, siten että muutos olisi suurin talviaikana (Olsson et al. 2015). Mikäli lämpötila tulee nousemaan suuresti talvisin, tulee se vaikuttamaan merkittävästi syntyvien sulamisvesien määrään. Jos talvisin lämpötila on pääosin positiivisen puolella, ei lumipeitettä kerry pidemmäksi, jonka seurauksena sulamisvesiä syntyy vähemmän ja pidemmällä aikavälillä. Kun lämpötilan nousun lisäksi myös sadannan määrä tulee todennäköisesti nousemaan, on todennäköistä, että tulevaisuudessa hulevesiä syntyy talvisin enemmän kuin tällä hetkellä ja sulamisvesien määrä keväisin pienenee merkittävästi.

Ilmastonmuutoksen seurauksena on siis todennäköistä, että hulevesien määrä tulee lisääntymään Helsingissä, Tampereella ja Turussa. Sadannan määrä tulee kasvamaan varsinkin talvisin, jolloin hulevesiä voi syntyä noin 20 % enemmän kuin tällä hetkellä. Ilmastonmuutoksen seurauksena myös merenpinnan korkeus tulee ennusteiden mukaan nousemaan tämän vuosisadan loppuun mennessä $18-59$ cm johtuen veden lämpölaajenemisesta sekä jäätiköiden sulamisesta (Intergovernmental panel on climate change, 2007, s.8), joka voi vaikeuttaa hulevesien johtamista merenranta kaupungeissa meriin. Hulevesien johtaminen vaikeutuu varsinkin alavilla alueilla, joissa verkostotulvat voivat aiheuttaa haittaa (Helsingin kaupunki, 2018). Toisaalta Suomessa maanpinta nousee keskimäärin noin $1,5$ mm vuodessa (Poutanen, n.d.), joka voi hieman pienentää merenpinnan nousun vaikutusta.

2.2 Hulevesien aiheuttamat riskit

Hulevedet voivat aiheuttaa kaupunkiympäristöissä erilaisia riskejä. Hulevesitulva aiheutuu, kun vettä sataa rankasti eikä kaupungin hulevesijärjestelmä pysty vastaamaan syntyneeseen vesimäärään. Tällöin vesi nousee kaduille sekä piha-alueille, sillä sadevesiviemärit eivät pysty siirtämään vettä pois tarvittavalla tehokkuudella. Hulevesitulvat voivat aiheuttaa suuriakin vahinkoja. Suomessa hulevesien aiheuttamat tulvat ovat pääosin aiheuttaneet materiaalivahinkoa, kun vettä on päätynyt esimerkiksi talojen kellareihin. (Suomen ympäristökeskus, 2021) Euroopassa hulevesitulvien seurauksena on tuhoutunut kokonaisia naapurustoja, esimerkiksi Hull 2007 ja Glasgow 2002 (Houston et al., 2011, s. 7).

Hulevesitulvien syntyyn ja aiheutuvien vahinkojen suuruuteen vaikuttavat useammat eri tekijät, joita on esimerkiksi läpäisevien pintojen osuus kaupungissa, hulevesijärjestelmään aiheutuva lisäkuormitus täydennysrakentamisen seurauksena, luontaisten valunnan varastoalueiden ja virtausreittien muuttuminen sekä ilmastonmuutos. (Kuntaliitto, 2012, s.19) Kuten aiemmin todettiin, ilmastonmuutoksen seurauksesta rankkasateet tulevat yleistymään, joka voi pahentaa hulevesitulvia. Ilmastonmuutoksen lisäksi suuri uhka hulevesitulvien kannalta on myös rakentamisesta johtuva valuntaolojen muutos.

Tulvariskilain mukaan kunnan vastuulla on pääosin hulevesitulvariskien hallinnan suunnittelu (Tulvariskilaki, 620/2010). Hulevesien synty, niiden vaikutukset ja tarvittavat toimenpiteet tulvien hallintaan ovat paikallisia, jonka vuoksi kunta on sopiva vastuutaho (Kuntaliitto, 2012). Helsingin kaupungin hulevesiohjelman mukaan kaupungissa on monta hulevesitulvaherkkää aluetta, jotka voivat aiheuttaa haittaa omaisuudelle ja toiminnalle (Helsingin kaupunki, 2018, s. 31). Tampereen kaupungin kestävän energian ja ilmaston toimintasuunnitelman mukaan alueen merkittävimmät paikalliset ilmatoriskit ovat rankkasateet ja niistä aiheutuvat hulevesitulvat sekä myrskyt (Tampereen kaupunki, 2023, s.16-17). Turun kaupungin hulevesiohjelman mukaan Turussa ei ole ollut yhteiskunnan toimintaa tai ihmisten terveyttä vaarantavia hulevesitulvia, mutta pienempiä hulevesiongelmia oli useampia (Turun kaupunki, 2016, s.19). Jokaisessa kolmessa kaupungissa on siis hulevesitulvarisikohteita, jotka voivat aiheuttaa vahinkoja.

Hulevesitulvien lisäksi hulevedet aiheuttavat myös muita riskejä ympäristöönsä. Hulevedet voidaan johtaa ilman puhdistamista noroihin, puroihin, lampiin ja järviin. Kaupunkialueilla hulevedet kulkeutuvat usein kovia pintoja pitkin, mikä edistää haitta-aineiden huuhtoutumista niiden mukana. (Tampereen kaupunki, 2023, s.13) Aineiden huuhtoutuminen vesistöön edistää sen rehevöitymistä ja samentaa vettä, jonka lisäksi mahdolliset bakteerit voivat aiheuttaa hygieenisiiä haittoja. Kaupunkialueilla haitta-aineiden

päästölähteinä ovat esimerkiksi liikenne, rakennukset, katutila ja laskeuma ilmasta, joiden seurauksena hulevesiin voi päätyä esimerkiksi kiintoainetta, metalleja, muovia ja PAH sekä muita orgaanisia yhdisteitä. (Suomen ympäristökeskus, 2022)

Hulevesien ja jätevesien sekaviemäroinnin rakentaminen on nykyään kielletty, mutta vanhoja sekaviemäreitä on vielä olemassa. Hulevedet voidaan johtaa jätevesiviemäriin, mikäli se on rakennettu ennen vuotta 2015 ja mitoituksessa on otettu huomioon myös hulevedet, alueella ei ole hulevesiverkostoa ja vesihuoltolaitos pystyy käsittelemään johdettavat hulevedet taloudellisesti ja asianmukaisesti. (Vesihuoltolaki 119/2001) Sekaviemärointi on edelleen yleistä erityisesti suurempien kaupunkien vanhoilla keskusta-alueilla (Valkonen et al., 2021, s.7). Sekaviemäroinnin seurauksena jätevedenpuhdistamolle voi rankkasateiden tai jäänsulamisen aikana syntyä ylikuormitusta, jolloin jätevedenpuhdistamolla tulvii eikä kaikkea saada käsiteltyä (Vesilaitosyhdistys, 2023, s.48). Tällöin osa jätevedestä päästetään pois laitokselta vesistöön puhdistamattomana, jolla pyritään estämään likavesien tulviminen asuntoihin ja kaduille (Suomen ympäristökeskus, 2022). Tämän lisäksi suuret vesimäärät voivat haitata jätevedenpuhdistamon biologisia prosesseja ja täten heikentää puhdistustehokkuutta (Vesilaitosyhdistys, 2023, s.48). Tarvittaessa jätevedenpuhdistamolle tulevat vedet kuitenkin päästetään biologisen käsittelyn ohi, jotta kyseinen prosessi ei häiriintyisi (Valkonen et al., 2021, s.7).

3. HULEVESIEN MÄÄRÄLLINEN HALLINTA

Tässä luvussa käsitellään hulevesien määrällistä hallintaa kaupunkien keskusta-alueilla. Aluksi käydään läpi hulevesien hallinnan prioriteettijärjestystä ja sitä, miten nykyiset keinot sopivat siihen. Tämän jälkeen käydään läpi eri keinoja vähentää, johtaa ja viivyttää hulevesiä. Lopussa käsitellään hulevesien hyödyntämistä.

3.1 Prioriteettijärjestys

Hulevesien hallinnalla on prioriteettijärjestys, jonka tavoitteena on ohjata hulevesien hallinnan toteuttamista. (Kuntaliitto, 2012). Helsingin, Tampereen ja Turun hulevesiohjelmiin on kirjattu hulevesien hallinnan prioriteettijärjestys, joka on saman tyylinen jokaisessa kaupungissa (Helsingin kaupunki, 2018, s.12-13; Tampereen kaupunki, 2023, s.40; Turun kaupunki, 2016, s.7-8).

Ensimmäisenä tavoitteena on hulevesien käsittely ja hyödyntäminen syntypaikalla. Jotta hulevedet voidaan imeyttää syntypaikalla, tulee maaperän laadun ja muiden olosuhteiden sallia se. Maaperän tulee olla siis läpäisevää, joten kaupunkialueilla on monia alueita, joissa tämä ei ole mahdollista, esimerkiksi rakennetun alueen vuoksi. Mikäli imeytys ei ole mahdollista, pyritään hidastamaan hulevesien virtaamaa tai hulevettä voidaan viivyttää viheralueella ennen kuin se johdetaan pois. (Nurmi et al., 2008, s.8) Mikäli hulevesien imeytys tai viivytys syntypaikalla ei ole mahdollista, hulevedet tulee johtaa pois alueelta siten, että sen kulkua hidastetaan ja viivytetään esimerkiksi ojien, lampien ja altaiden avulla. Näissä hulevesi voi imeytyä maahan, pidättyä kasvillisuuteen tai haihtua ilmaan. (Nurmi et al., 2008, s.8) Kaupunkialueilla mahdollisia ongelmia voi tuoda tilanpuute, sillä jo rakennettuun tilaan voi olla vaikeaa lisätä esimerkiksi tasausaltaita.

Mikäli hulevesien johdatus alueelta pois ei ole mahdollista aiemmin mainituin menetelmin, voidaan ne johtaa putkella eteenpäin. Ennen kuin hulevedet johdetaan lopullisesti esimerkiksi kaupunkipuroon, ne käsitellään jollain hidastavalla ja viivyttävällä keinolla, jotta niistä saadaan poistettua haitta-aineita. (Nurmi et al., 2008, s.8) Viimeinen keino on hulevesien johtaminen putkia pitkin suoraan vesistöön ilman hulevesien käsittelyä. Tätä keinoa tulisi välttää, sillä tällöin hulevedet kuormittavat vastaanottavaa vesistöä. Mahdollisesti myös hulevedet voidaan johtaa sekaviemäröinnin kautta jätevedenpuhdistamolle, jossa ne käsitellään. (Nurmi et al., 2008, s.8). Uusia sekaviemärejä ei kuitenkaan ole saanut rakentaa enää vuoden 2015 jälkeen (Vesihuoltolaki 119/2001).

3.2 Nykytilanne

Vesihuoltolain mukaan kiinteistön omistajalla tai haltijalla on ensisijainen vastuu kiinteistön hulevesien poisjohtamisesta ja käsittelystä (Vesihuoltolaki 119/2001). Kunnan vastuulla on alueiden käytön suunnittelun ja rakentamisen ohjaus ja valvonta (Maankäyttö ja rakennuslaki 132/1999). Helsingissä, Tampereella ja Turussa kaupungit ovat vastuussa hulevesien määrällisestä hallinnan suunnittelusta ja seuraamisesta. Mahdollisesti voidaan tehdä myös yhteistyötä paikallisen vesiyhtiön kanssa, mikäli alueella on sekaviemäröintiä.

Suomessa kaupunkialueilla hulevedet johdetaan usein ihmisten rakentamien tai muokkaamien reittien kautta. Pääosin käytössä on hulevesiviemäreitä, mutta varsinkin vanhoilla keskusta-alueilla on myös sekaviemäriverkosto. Hulevesien viemäröinnin ansiosta pinnat saadaan nopeammin kuiviksi sekä niistä saadaan johdettua vedet pois, jolloin niiden käyttö on helpompaa. Tällöin on saatu siistittyä katutilaa sekä kasvatettua hyöty-pinta-alaa. (Kuntaliitto, 2012) Helsingin, Tampereen ja Turun keskustat ovat hyvin tiiviisti rakennettuja ja vettä läpäisemättömiä. Niistä ei löydy enää luontaisia valumareittejä, joten hulevedet on ohjattava ihmisten rakentamien tai muokkaamien reittien kautta.

Niin Helsingissä, Tampereella kuin Turussa on keskustan alueella käytössä vielä sekaviemäröintiä. Helsingin keskusta-alueella oli vuonna 2006 sekaviemäriä noin 250 km (Nurmi et al., 2008, s.5). Tampereella vuonna 2017 sekaviemäriä oli noin 47 km (Tampereen kaupunki, n.d., s.175) ja Turussa oli vuonna 2014 noin 52 km (Turun kaupunki, 2016, s.5). Sekaviemäröinnissä vedet päätyvät jätevedenpuhdistamolle jäteveden kanssa. Sekaviemäröinnin lisäksi kaupungeissa on käytössä hulevesiviemäriverkosto. Helsingissä oli vuonna 2006 noin 800 km hulevesiverkostoa (Nurmi et al., 2008, s.5). Tampereella vastaava määrä oli vuonna 2017 626 km (Tampereen kaupunki, n.d., s.175) ja Turussa vuonna 2014 noin 553 km (Turun kaupunki, 2016, s.5). Hulevesiverkostoa pitkin hulevedet ohjataan näissä kaupungeissa läheisiin vesistöihin. Näiden lisäksi kaupunkeihin on rakennettu valtaojia (Turun kaupunki, 2016, s.5), joita pitkin hulevesiä voidaan johtaa keskustojen ulkopuolella. Kaupunkien keskusta-alueilla sijaitsee myös puistoja ja virkistysalueita, joissa voi tapahtua hulevesien imeytymistä.

Helsingissä, Tampereella ja Turussa on siis käytössä sekaviemäröintiä keskusta-alueilla, jonka lisäksi hulevesiä johdetaan alueen vesistöihin ilman käsittelyä. Nykytilanne ei siis vastaa prioriteettijärjestystä kaupunkien keskustoissa, joihin on lisättävä hallinnan keinoja, jotta hulevesiä voitaisiin käsitellä paikallisesti mahdollisimman paljon eikä niitä tarvitsisi johtaa muualle. Tämän lisäksi luvussa 2 todettiin, että hulevesien määrä tulee

ilmastonmuutoksen seurauksena lisääntymään, joten kaupunkialueille tulee lisätä hallintakeinoja, jotta hulevesiä voidaan hallita ja mahdollisia hulevesitulvia estää.

3.3 Hulevesien määrän vähentäminen

Hulevesien määrän vähentäminen on merkittävä osa hulevesien hallintaa, sillä se on keino palauttaa veden hydrologinen kierto lähemmäksi tilannetta, joka se oli ennen kuin alueelle on rakennettu. Hulevesien määrään muodostumista voidaan rajoittaa vähentämällä rakennettuja pintoja sekä imeyttämällä ja haihduttamalla hulevesiä, jolloin osa pintavalunnasta kulkeutuu maa- ja pohjavedeksi tai ilmakehän vedeksi. (Kuntaliitto, 2012)

Luonnollisia imeytyspintoja ovat kaikki luonnolliset maa-alueet. Niiden imeytymiskapasiteetti vaihtelee ja on riippuvainen rakojen ja huokosten määrästä. Tämän lisäksi on tärkeää tietää, miten maaperä pystyy varastoimaan imeytynyttä vettä. Koska kaupunkien keskustat ovat jo hyvin pitkälle suunniteltuja ja rakennettuja, ei niistä löydy suuria aloja luonnollisia imeytyspintoja. Mikäli kaupunkialueelta löytyy luonnollisia imeytymispintoja, on tärkeää, että ne suojataan rakennusvaiheessa siten, että ne eivät tiivisty esimerkiksi ajoneuvojen vaikutuksesta. (Bonn, 2003)

Luonnollisten pintojen sijaan kaupunkialueille voidaan lisätä rakennettuja imeytyspintoja, jolloin alueet voidaan rakentaa niin, että syntyvät hulevedet ohjataan valumaan kasvillisuuden peittämälle alueelle, jonne se imeytyy, tai rakentaa kovat pinnat vettä läpäiseviksi. Kasvillisuuden kulkeutuminen viheralueelle voi estyä, mikäli viheralueet on korkeammalla kuin läpäisemättömät pinnat tai reunakivetys on alueiden välissä. Yksinkertaisena keinona on madaltaa viheralueiden pintaa läpäisemättömien pintojen alapuolelle, jolloin hulevedet valuvat niihin. (Bonn, 2003) Lisäämällä läpäiseviä pintoja kaupunkialueelle, voidaan vähentää hulevesien määrää ja pienentää niiden huippuvirtaamia (Kuntaliitto, 2012, s.285).

Imeyttäminen on tehokkain keino pienentää syntyneen huleveden kokonaismäärää. Imeytyksellä tavoitellaan mahdollisimman suuren osan pintavalunnasta muuntamista pinta-kerros- ja pohjavesivalunnaksi. Kaupunkialueille hulevedet sisältävät paljon kiintoainetta ja liukoisia epäpuhtauksia. Imeytys puhdistaa hulevesiä, sillä vedet suodattuvat maakerrosten läpi, jolloin maaperän ominaisuudet puhdistavat sitä. Mikäli alueella esiintyy pohjaveden pinnan alentumista, pystytään imeyttämällä estämään sitä. (Kuntaliitto, 2012) Hulevesiä voidaan imeyttää erilaisilla pintaratkaisulla tai imeytyskaivannoilla, joita on koottu taulukkoon 1.

Taulukko 1: Hulevesien määrän vähentämisen keinoja

<i>Keino</i>	<i>Mikä</i>	<i>Edut</i>	<i>Heikkoudet</i>	<i>Paikka</i>	<i>Lähteet</i>
<i>Viheralueet</i>	Imeytyste- hokkuuteen vaikuttaa merkittävästi ensimmäinen maakerros ja kasvit.	Tehokkaita pidättämään ja hyödyntä- mään sade- vettä. Lisää haihduntaa.	Vaativat pal- jon tilaa, vai- kea lisätä jo rakennettuun ympäristöön.	Puistikot, lii- kenneväylien väleihin.	(Bonn, 2003, s.17)
<i>Päällystekivi- vet</i>	Imeytymiste- hokkuuteen vaikuttaa saumojen le- veys, kiven koko ja pinta.	Epätasainen pinta piden- tää huleve- sien viipy- misaikaa.	Alueen tulee kestää käyt- töä, esteettä- myys.	Parkkialueet, kävelykadut, raitiovaunu- väylät.	(Bonn, 2003, s. 19)
<i>Sorapinnat</i>	Imeytymiste- hokkuuteen vaikuttaa so- ran raekoko, joka ei saa olla liian pieni.	Tehokkaita imeyttämään vettä.	Talvisin lu- men auraus, esteettä- myys.	Alueet, joissa käyttö pientä ja ei lumen- aurausta.	(Bonn, 2003, s.20)
<i>Imeytys- kaivannot</i>	Hulevesi va- rastoituu huokostilaan, josta se imeytyy maa- perään.	Esimerkiksi kattovedet voidaan oh- jata suoraan näihin.	Sijoittaminen vaikeaa, sillä maanalla jo paljon infra- rakenteita.	Taloyhtiöiden piha-alueet.	(Kuntaliitto, 2012, s.147- 149)

Taulukon 1 keinoista keskusta-alueille sopisi parhaiten päällystekivet, sillä niitä on helppo sijoittaa tiiviisti rakennetuille alueille, joissa ne lisäävät hulevesien imeytymistä maaperään. Myös viheralueet ovat tärkeä osa kaupunkiympäristöä, mutta jo rakennettuun ympäristöön niitä voi olla vaikea lisätä, sillä ne vaativat paljon tilaa. Tärkeämpää olisikin pitää jo olemassa olevista viheralueista huolta ja mahdollistaa niissä hulevesien imeytyminen.

Hulevesien muodostumista voidaan estää hyvällä kaupunkisuunnittelulla, jolloin ei tarvitse rakentaa erillisiä hulevesirakenteita tai aluevarauksia hulevesien hallintaan.

Mahdollisuuksia on esimerkiksi luonnollisen kasvillisuuden säilyttäminen ja ylläpito, päällystettyjen pintojen minimointi ja alueen tasaamisen välttäminen. Päällystettyjä pintoja voidaan minimoida esimerkiksi rakentamalla parkkialueet useampaan kerrokseen, jolloin vaadittava maa-ala pienenee tai lisäämällä alueelle viherkattoja, jotka imevät osan hulevesistä. (Kuntaliitto, 2012, s.20)

3.3.1 Lämpäisevä asvaltti

Yksi keino lisätä hulevesien imeytymistä maaperään on lämpäisevän asvaltinn lisääminen kaupunkialueelle. Lämpäisevä asvaltti koostuu päälliskerroksesta sekä useammasta alakerroksesta. Päällimmäinen kerros tarjoaa asvaltinn rakenteellisen vakauden, kovan pinnan sekä ulkonäön. Alakerrokset tukevat pintakerrosta ja suodattavat hulevesiä sekä mahdollistavat niiden lyhytaikaista säilömistä. (Kuruppu et al., 2019) Lämpäisevät asvaltinn muodostuu kiviaineesta ja bitumista. Tiiviiseen asvalttiin verrattuna niissä on vähemmän bitumia ja enemmän kuitua, jolloin asvaltinn rakenteesta tulee huokoisempi. (Bonn, 2003, s. 20)

Lämpäisevä asvaltti on materiaalina hyvin tukkeutumisherkkä (Kling et al., 2015; Kuruppu et al., 2019). Tukkeutumisherkkyys johtuu hienojakoisen aineksen joutumisesta asvalttiin, joka ajan myötä tukkii huokokset, jolloin asvaltti ei pysty enää imeyttämään hulevesiä (Bonn, 2003, s. 20; Kuntaliitto, 2012, s.285). Tukkeutumista voidaan ehkäistä puhdistamalla pinta säännöllisesti esimerkiksi harjaamalla tai pesemällä sitä (Kuntaliitto, 2012, s.247).

Lämpäisevä asvaltti ei sovellu alueille, joissa keskivuorokausiliikenne on yli 1000 autoa/vrk, sillä asvaltti ei kestä suuren liikennemäärän aiheuttamaa kuormitusta (Kling et al., 2015, s.17). Lämpäisevä asvaltti sopeutuu hyvin kevyen liikenteen väylille, leikkikentille ja pysäköintialueille (Kuruppu et al., 2019), sillä näissä liikennemäärät ovat määrällisesti pienempiä. Lämpäisevällä asvaltinn tukkeutumisherkkyuden vuoksi sitä ei tulisi sijoittaa alueille, jossa on suuri tukkeutumisvaara. Tukkeutumisvaaraa aiheuttavat esimerkiksi hulevesissä oleva hienoaines sekä autojen nastarenkaat. (Kling et al., 2015, s.19) Nämä huomioon ottaen kaupunkialueilla lämpäisevä asvaltti sopisi erityisesti parkkialueille sekä kevyen liikenteen väylille.

Suomessa talviolosuhteet tuovat haasteita lämpäisevän asvaltinn käyttöön. Imeytymisnopeus pienenee nollassa asteessa noin 40 %:iin 20 °C:n imeytymisnopeudesta. Muutaman asteen pakkasella imeytymisnopeus laskee merkittävästi, mutta ei kuitenkaan lopu kokonaan. Yli viiden asteen pakkasessa lämpäisevät asvaltinn eivät ole enää imeytymiskykyisiä. (Bäckström & Bergström, 2000) Talvisin lämpötilat saattavat vaihdella, jolloin

välillä lumi sulaa, jonka jälkeen se jäätyy uudestaan. Tällaisen jäätymis- ja sulamissykliäen vuorotellessa kahden päivän ajan, läpäisevän asfaltin imeytymiskyky heikkenee noin 90 % (Bäckström & Bergström, 2000).

Mikäli läpäisevän asfaltin päältä ei aurata lunta pois, voi se aiheuttaa jäisen kerroksen, joka estää veden imeytymisen sekä voi lisätä alueen liukkautta (Kling et al., 2015, s.48). Tämä voi aiheuttaa turvallisuusriskejä. Koska läpäisevä asfaltti on huokoisempaa kuin tiivis asfaltti, ei sen pinnan mekaaninen kestävyys ole välttämättä yhtä hyvä kuin tiiviin asfaltin. Tämän vuoksi lumen auraus tulee toteuttaa niin, ettei aura kuluta pintaa osu- malla siihen. Mekaanista rasi- tusta voidaan vähentää esimerkiksi asentamalla auran ku- miasennuslevy, joka lisää terän pystysuuntaista joustoa tai poistamalla lunta harjalait- teilla. (Kling et al., 2015, s.48)

Talvella teitä voidaan suolata, jotta tien pinnan jääkerros ja lumi saadaan sulatettua, tai hiekoittaa, jotta tiet pysyvät käyttökunnossa. Hiekoitus ja suolaus voivat aiheuttaa läpäi- sevien asfalttien tukkeutumista ja täten heikentää veden imeytymistä (Huang et al., 2016). Mikäli läpäisevää asfalttia on tarpeellista hiekoittaa, tulee hiekan olla karkeara- keista tai hiekoitussepe- liä, jolloin pintamateriaalin huokosiin voi tunkeutua alle 10 % hie- koitusmateriaalista (Kling et al., 2015, s.48). Yleensä riittää, että hiekoitusmateriaalin pienin raekoko on yli 1 mm eikä hiekoitusmateriaalia ole tarpeellista pestä (Kuosa et al., 2014, s.20).

Talven kylmän ilmaston aiheuttamista haasteista huolimatta on läpäisevä asfaltti hyvä keino osaksi hulevesien hallintaan kaupunkialueilla, joissa esimerkiksi tilanpuute aiheut- taa haastetta hallinnan järjestämiselle. Koska se voi kuitenkin tukkeutua helposti, tulee sen lisäksi kaupungissa olla myös muita hallinnan keinoja.

3.3.2 Sadepuutarhat

Ekosysteempalveluiden laatu on heikentynyt vuosien aikana, kun kaupunkien viheralu- eita on korvattu läpäisemättömillä pinnoilla (Ishimatsu et al., 2017). Yksi keino huleve- sien hallintaan ja ekosysteempalveluiden parantamiseen on sadepuutarhat. Sadepuu- tarhat ovat pienikokoisia suodatusrakenteita, joilla on tarkoitus hallita toistuvia sademää- riä. Sadepuutarhan periaate on, että vesi johdetaan kuoppaan tai muulle alenevalle alu- eelle, jossa kasvillisuuden avulla viivytetään ja puhdistetaan hulevesiä, jonka lisäksi vettä voidaan suodattaa maakerrosten läpi. (Kuntaliitto, 2012; Robinson et al., 2019).

Sadepuutarhoihin sijoitettavan kasvillisuuden tulee kestää alueen olosuhteet. Kasvilli- suuden tulee pystyä elämään niin kuivassa kuin kosteassa ympäristössä, jonka lisäksi

liikennealueen läheisyydessä sen tulee kestää normaalia korkeampia suolapitoisuuksia, jotka voivat varsinkin talvisin olla suuria (Robinson et al., 2019). Sadepuutarhoissa voi olla läpäisevä pohjarakenne, jolloin vesi imeytyy maaperään, tai läpäisemätön pohjarakenne, jolloin ne tulee liittää hulevesijärjestelmään.

Sadepuutarhojen koko vaihtelee niiden valuma-alueen mukaan. Sadepuutarhan pinta-alan tulisi olla 1-5 % valuma-alueen kovan pinnan kokonaismäärästä, mutta vähintään kuitenkin 3 metriä pitkä ja 1,5 metriä leveä. (Robinson et al., 2019) Niiden muoto on sopeutuva ympäristön mukaan, jonka vuoksi ne sopeutuvat hyvin eri alueille. Sadepuutarha ei kuitenkaan saa olla liian suuri, sillä silloin se voi kuivua, mikä aiheuttaa sen toiminnan heikentymistä (Robinson et al., 2019).

Sadepuutarhoja voidaan sijoittaa monelle eri paikalle. Kaupunkialueella ne sopeutuvat erityisesti puistikoihin, teiden reunusalueille ja parkkipaikoille (Kuntaliitto, 2012; Robinson et al., 2019). Niitä ei kuitenkaan saa sijoittaa alueelle, joissa on liian jyrkkiä rinteitä (Robinson et al., 2019). Liian jyrkissä alueissa esimerkiksi eroosio voi vaikeuttaa sadepuutarhan toimintoja ja ylläpitoa.

Sadepuutarhat voivat tehokkaasti hidastaa valuman määrää sekä vähentää ja viivyttää huippuvirtauksia (Ishimatsu et al., 2017). Kiinassa Xi'an:in kaupungissa tehdyssä tutkimuksessa havaittiin, että pinta-alasuhteen ollessa 1-4 prosenttia, huippuvirtaukset pienenevät sadepuutarhan ansiosta 12,7 - 44,6 % läpäisemättömällä pohjalla ja 12,9 - 44,6 % läpäisevällä pohjalla (Li et al., 2015). Huippuvirtaus voi siis pienentyä merkittävästi sadepuutarhan seurauksena eikä pohjan tyypillä ole suurta vaikutusta muutokseen. Samassa tutkimuksessa havaittiin, että läpäisemättömällä pohjalla valumamäärä pieneni 2,7- 40,2% ja läpäisevällä pohjalla 12,3 - 44,2 % (Li et al., 2015). Valuman määrän muutokseen pohjan tyyppi sen sijaan vaikuttaa hieman enemmän. Jokaisessa muutoksessa on kuitenkin suuri vaihteluväli, jonka vuoksi arvot voivat olla myös samoja. On myös huomioitava, että tutkimus on tehty Kiinan keskiosissa, jossa ilmasto on erilainen verrattuna Suomen eteläosiin, joka vaikuttaa esimerkiksi sopivaan kasvillisuuteen.

Sadepuutarhat vaativat jatkuvatoimista huoltotyötä. Pääsääntöisin hoitokeino on alueelle valuvan jätteen, esimerkiksi roskapussien ja tyhjien tölkkien, siivoamien alueelta, etteivät ne tuki sadepuutarhan ja mahdollisen viemärijärjestelmän välistä kanavaa (Ishimatsu et al., 2017). Jotta sadepuutarhalle taataan pitkäaikainen toimivuus, tulee sen ylin maakerros poistaa noin 10 - 20 vuoden välein riippuen paikallisista olosuhteista ja läpäisykyvystä (Robinson et al., 2019).

Talvisin kylmyys vaikuttaa sadepuutarhan toimintaan. Kasvillisuus on valittava siten, että se selviytyy myös pakkasessa. Sadepuutarhan suodatuskyky voi romahtaa lumien

sulamisen aikana, jolloin rasitus on suurta lyhyellä aikavälillä. Täydellisen jäätyminen riski on kuitenkin vähäinen -15°C saakka. (Bäckstörn & Vikander, 2000 teoksessa Robinson et al., 2019, s.24) Kovilla pakkasilla ei kuitenkaan synny merkittäviä määriä hulevettä, sillä sadantaa tulee lumena ja sulaa vasta lämpötilan noustessa. Tämän vuoksi täydellisen jäätyminen ei pitäisi aiheuttaa suuria haittoja sadepuutarhan toimintaan.

Sadepuutarhat mitoitetaan usein 0,5 - 2 vuoden aikana toistuville sademäärille (Robinson et al., 2019), jonka vuoksi ne eivät pysty vastaamaan kovimpiin rankkasateisiin. Tämän vuoksi ne eivät voi olla ainut hallintakeino vaan niiden lisäksi on oltava myös muita hulevesien hallintakeinoja. Hulevesien hallinnan lisäksi sadepuutarhat kuitenkin tukevat myös esteettistä ja biodiversiteettisiä tarkoituksia (Robinson et al., 2019), jonka vuoksi ne ovat hyvä lisä kaupunkialueen hulevesien hallintaan.

3.4 Hulevesien johtaminen

Hulevesien johtaminen voidaan toteuttaa monella tavalla. Kaupunkialueilla yleisimpiä ovat kauan olleet hulevesiviemärit sekä salaojat. Näiden putkijärjestelmien lisäksi hulevesiä on mahdollista johtaa erilaisilla pintajärjestelmillä. Pintajohtamisjärjestelmien tavoitteena on pienentää huleveden virtaamaa, laskeuttaa epäpuhtauksia sekä mahdollistaa imeytyminen. (Bonn, 2003; Kuntaliitto, 2012) Johtamisen soveltuvin keino määrällisen hallinnan kannalta on avoin kuivatusjärjestelmä, jossa hulevesi johtuu painanteissa, avo-ojissa sekä tarvittaessa rummuissa ja hulevesiviemäreissä. Maan pinnalla johtaminen ei sovellu hyvin kaupunkialueille, sillä se vaatii suhteellisen paljon tilaa, jota tiheästi rakennetuilla alueilla ei ole. (Kuntaliitto, 2012) Näiden keinojen sopeutuvuutta kaupunkialueille on koottu taulukkoon 2.

Taulukko 2: Hulevesien johtamisen keinoja.

Keino	Mikä	Edut	Heikkoudet	Paikka	Lähteet
Avo-ojat	Hulevesi johdetaan syvissä ja jyrkkäluiskaisissa avoimissa ojissa.	Virtaamaa viivyttävät ja tasaavat omaisuudet, pienempi tulvariski verrattuna hulevesiviemäriin.	Vaativat paljon tilaa, eivät ole välttämättä turvallisia, kunnossapito hankalaa, esiintyy eroosiota ja sortumia.	Kaupunkien reuna-alueet, suuremmat puistot.	(Kuntaliitto, 2012, s.158-159)
Viherpainanteet	Matalampia ja loivempia ojia, joissa voi olla kivetyksiä ja kasvillisuutta.	Hulevesien käsittely imeytyksen, suodatuksen ja viivytyksen avulla.	Vaativat tilaa.	Puistot ja kaupunkien reuna-alueet.	(Kuntaliitto, 2012, s.159-160)
Rakennetut kanavat	Läpäisemättömästä aineesta rakennetut kanavat, joissa vettä johdetaan.	Veden johtavuus on hyvä, vaatii pienen tilan.	Ei tapahdu imeytymistä.	Teiden reuna-alueet.	(Kuntaliitto, 2012, s.164)
Rakennetut uomat	Luonnonmukaisesti rakennettu uoma.	Monipuolisia, viivyttävät hyvin.	Vaativat paljon tilaa.	Kaupunkien reuna-alueet, puistot.	(Kuntaliitto, 2012, s.164)
Vesiportaat	Vesi valuu alaspäin rakennettua kanavaa pitkin.	Puhdistavat vettä.	Vaatii korkeuseron ja tilaa.	Puistot.	(Bonn, 2003, s.24)
Hulevesikourut	Kulkuväylien yhteydessä olevia kouruja.	Vaatii vain pienen tilan.	Pystyvät käsitellä vain vähän hulevettä, eli eivät estä hulevesitulvia.	Teiden reuna-alueet.	(Kuntaliitto, 2012, s.168)

Tiiviillä keskusta-alueilla hulevesien johtaminen voi olla hankalaa. Taulukon 2 keinoista tiiviille keskusta-alueelle sopisi parhaiten rakennetut kanavat sekä hulevesikourut, joita voidaan sijoittaa teiden reuna-alueille. Hulevedet eivät kuitenkaan imeydy niissä, jonka vuoksi niillä voitaisiin johtaa hulevedet imeytysalueille keskustan ulkopuolelle. Mikäli keskusta-alueella on puistoja, voisi niihin lisätä vesiportaita, joissa hulevedet puhdistuvat, jonka lisäksi ne voivat lisätä puiston viihtyvyyttä.

Hulevesille tulee olla lisäksi tulvareittejä, jotta mitoituksen ylittyessä, on keino johtaa hulevedet hallitusti pois alueelta. Tulvareitit voivat muodostua monista eri järjestelmistä. Kaupunkialueille sopivia tulvareittejä ovat esimerkiksi suurikokoiset putket sekä kanavat, joissa vedenjohtavuus on hyvä. Olisi hyvä välttää hulevesien johtamista suoraan vesistöön, sillä ne sisältävät haitta-aineita. Hulevedet tulisi johtaa tulvareittejä pitkin tulva-alueille, mikäli se on mahdollista. (Kuntaliitto, 2012) Tulvareittien tavoitteena on estää hulevesitulvien syntyminen.

3.5 Hulevesien viivyttäminen

Hulevesien viivyttämisen tavoitteena on hidastaa ja pidättää syntynyttä hulevesivirtaamaa varastoimalla se ja vapauttaa sitä vähitellen, kun tulovirtaama on loppunut. Viivytyksimenetelmiä, joita on useanlaisia, on koottu taulukkoon 3. Niissä osassa on pysyvä vesipinta ja toiset kuivuvat sateiden välissä. (Kuntaliitto, 2012)

Taulukko 3: Hulevesien viivyttämisen keinoja.

Keino	Mikä	Edut	Heikkoudet	Paikka	Lähteet
Hulevesilammet	Pieniä altaita, joissa pääsääntöisesti pysyvät vesipinta.	Tasaa ja pienentää hulevesien virtaamisnopeutta, poistaa epäpuhtauksia.	Vaativat tilaa ja tulee olla mahdollisuus täyttää lammi, sillä vesimäärät vaihtelevia.	Puistot.	(Kuntaliitto, 2012, s.173)
Kosteikot	Matalia ja monipuolisen kasvillisuuden sisältäviä altaita, pääosin veden peitossa.	Monipuolinen eliöstö, pinnanmuodot vaihtelevia.	Vaativat paljon tilaa.	Suuremmat puistot, kaupunkialueen reuna-alueet.	(Kuntaliitto, 2012, s.175)
Maanalaiset altaat	Maanalainen alas, jossa on salaojitus ja purkupuutki.	Vettä voidaan hyödyntää esimerkiksi kasteluun.	Ei imeytä huolellisesti. Maan alla olevat infrastruktuurit.	Parkkialueet, pihat, puistot.	(Kuntaliitto, 2012, s.177)

Taulukon 3 keinoista keskusta-alueelle sopisi parhaiten maanalaiset altaat, sillä näihin voidaan säilöä suurempikin määrä vettä ja niitä voidaan sijoittaa esimerkiksi parkkialueiden alle. Niiden sijoittamisen haasteena voi kuitenkin olla maan alla jo valmiiksi olevat infrarakenteet, jolloin sopivan paikan löytäminen voi vaikeutua. Hulevesien viivyttäminen on kuitenkin tehokas keino pienentää tulvariskejä, sillä viivytyksimenetelmät pystyvät hallitsemaan suuriakin määriä hulevettä kerralla. Kyseisten keinojen haasteena kaupunkialueella on yleisesti niiden vaatima suuri pinta-ala, jonka vuoksi niiden sijoittaminen on hankalaa. Kaupunkialueelle sopiva ratkaisu voisi kuitenkin olla hulevesikasetit.

Hulevesikasetit ovat keino imeyttää ja viivyttää hulevesiä maanalaisesti. Ne ovat rakenteeltaan kevyitä ja pieniä. Kasetit painavat yleensä 8-20 kg ja ovat tilavuudeltaan 190-430 litraa (Kling et al., 2015, s.31). Pienen koon ja keveyden vuoksi niitä on helppo käsitellä ja ne sopeutuvat monenlaisiin kohteisiin, jonka lisäksi niitä voidaan tarvittaessa asentaa päällekkäin ja vierekkäin (Kuntaliitto, 2012, s.149). Esimerkiksi Uponor-hulevesikasetteja voidaan asentaa enintään kymmeneen kerrokseen (Uponor, 2023). Ne ovat myös tehokkaita varastoimaan hulevettä, koska niiden tehollinen varastointikapasiteetti on 95 - 97% (Kling et al., 2015, s.31).

Hulevesikasetit soveltuvat hyvin tiiviisti asutuille alueille (Kling et al., 2015, s.31) sekä alueille, joissa on paljon läpäisemätöntä pintaa kuten parkkialueet tai kevyenliikenteen väylät. Kuitenkin esimerkiksi Uponor-hulevesikasettien imeytyspaikan etäisyyden tulee olla vähintään kuuden metrin päässä rakennuksesta eikä kasetteja saa sijoittaa puiden tai kasvillisuuden läheisyyteen (Uponor, 2023). Tämä voi rajoittaa kasettien asennusta tiiviisti rakennetuille alueille. Toisaalta Wavin kertoo hulevesikasettinsa Q-Bic Plus Tree Tank olevan sopiva ratkaisu kaupunkialueiden puiden juurille, sillä kyseinen hulevesikasetti antaa puun juurille sopivat kasvuolosuhteet sekä estää juurien aiheuttamia tievaurioita (Wavin, 2020). Kyseinen malli voisi sopeutua hyvin keskustojen puistikoihin, jolloin hulevesikasetin avulla voitaisiin varmistaa, että puut saavat tarvittavasti vettä.

3.6 Hulevesien hyödyntäminen

Hulevesiä voidaan hyödyntää monella tavalla syntypaikalla tai sen läheisyydessä. Hulevesiä voidaan hyödyntää esimerkiksi virkistystarkoituksessa puistoissa tai kasteluvetenä, mikäli sitä säilötään. Suomessa on tällä hetkellä talousvettä tarjolla riittävästi, jonka vuoksi huleveden hyödyntämiselle ei ole yhtä suuri tarve kuin maissa, joissa vesivaroista on pulaa. Näissä maissa hulevettä voidaan hyödyntää esimerkiksi vaatteiden pesuun ja wc:n huuhteluun, jolloin voidaan minimoida veden säännöstelyä ja vähentää vesivarojen kulutusta (Antunes et al., 2016). Kuitenkin on mahdollista, että ilmastonmuutoksen myötä kuivuus voi aiheuttaa Suomen etelä- ja lounaisosissa veden saatavuuden ongelmia (Ahopelto, 2024, s.31). Tällöin hulevesien laajempi hyödyntäminen tulisi tarpeelliseksi.

Pohjoismaissa hulevesien yleisin hyödyntämistapa on kasteluvetenä käyttäminen. Kaupunkialueilla kasteluveden tarve voi olla suurempi, sillä alueet kuivuvat nopeammin, kun hulevedet ohjataan pois. Tämän vuoksi hulevesin kerääminen kasteluvedeksi on hyvä tapa hyödyntää niitä. Esimerkiksi Järvenpään keskustassa ajoradoilta hulevedet kerätään teiden välissä olevassa reunakivelliselle alueelle, jossa puut ja muut istutukset voivat hyödyntää niitä. Järvenpäässä ratkaisu on toiminut eikä istutettuja katupuita ole tarvinnut keinokastella. (Häkkinen, 2023) Hulevesien hyödyntämistä kasteluvetenä voi rajoittaa teiden suolaus, sillä kaikki kasvillisuus ei välttämättä sopeudu suolaisempiin olosuhteisiin.

Kaupunkialueilla on useita taloyhtiöitä, joiden piha-alueilla on usein pieniä viheralueita. Näitä viheralueita ja siellä olevia mahdollisia puutarhoja voitaisiin kastella hulevedellä vesijohtoveden sijaan. Hulevesiä voidaan kerätä joko maanalaisiin tai -päällisiin säiliöihin. Piha-alueiden lisäksi keskusta-alueelle voidaan rakentaa suurempia puistoratkaisuja, jotka hyödyntävät hulevettä toiminnassaan. Hulevesiä voi hyödyntää myös autojen

pesuvetenä, mutta keskusta-alueella tämä ei ole toimiva keino, sillä yleensä taloyhtiöiden alueelle autojen peseminen on kielletty (Kasurinen, 2017).

Kööpenhaminaan on rakennettu Enghaveparken, joka toimii sekä virkistysalueena että hulevesien sijoituspaikkana. Puistoon on rakennettu 2000 m³ pidätysallas, jonka lisäksi puisto pystyy pidättämään vettä kokonaisuudessaan 22600 m³ matalien muurien avulla. Puistoon johdetaan läheisten kattojen sadevedet ja puistossa hulevettä varastoidaan ja käytetään muun muassa kasvien ja puiden kasteluun kuivina aikoina. Varastoitua vettä voidaan hyödyntää myös Kööpenhaminan katujen puhdistukseen. Osa vedestä hyödynnetään myös viereisessä suihkulähdepuutarhassa, jossa lapset voivat leikkiä. Enghaveparken onkin siis tärkeä virkistysalue paikallisille, joka muokkautuu sateen mukaan. Puisto on rakennettu alueella sijaitsevan vanhan puistoalueen paikalle, jonka vuoksi se ei ole tarvinnut kaupunkialueelta uutta tilaa. (Tredje natur, n.d.) Samankaltaisia puistoja voisi mahdollisesti rakentaa myös Helsingin, Tampereen ja Turun keskusta-alueilla sijaitseviin puistoihin, jolloin niihin kertyvää vettä voitaisiin hyödyntää kaupungeissa.

Hulevesiä voidaan hyödyntää myös esimerkiksi sammutusvesinä. Yleisesti Suomessa sammutusvetenä käytetään vesijohtoverkoston vettä (Pohjanmaan pelastuslaitos, 2022, s.7). Suomessa esimerkiksi Hyvinkäällä teollisuusalueelle sijaitseva Gles Oy kerää alueelta syntyviä hulevesiä maanalaiseen säilöön, josta ne voidaan käyttää kasteluun tai mahdollisen tulipalon sattuessa sammutusvetenä (Vaasan hallinto-oikeus, 2022, s.25). Myös muualla maailmassa hulevesiä hyödynnetään sammutusvesinä. Yleistä on, että vesi säilötään kohteessa, jolloin sitä ei tarvitse johtaa pois alueelta. Tämän lisäksi vettä voidaan hyödyntää myös sprinklereissä. (Antunes et al., 2022) Tarvittava sammutusvedentarve vaihtelee paljon tulipalon mukaan. Vuosien 2006-2008 tilastojen mukaan rakennuspaloissa 3 m³ vesimäärä on riittänyt 55 % paloista ja 13 m³ vesimäärä 74 % paloista. (Kuntaliitto, 2011, s.11) Tämän perusteella vettä ei suurimmissa osissa tulipaloja tarvitse kovin suuria määriä. Kuitenkin esimerkiksi kauppakeskuksissa vedentarve on 0,20 l/s/m³ ja toimistotiloissa 0,10 l/s/m³, joita keskusta-alueilla on paljon (Pohjanmaan pelastuslaitos, 2022, s.11). Suurin osa paloista saadaan siis sammutettua säiliöautojen vesimäärillä, jolloin kohteeseen sijoitettuja hulevesiä ei tarvittaisi. Tämän lisäksi mahdollisen hulevesisäiliön tulisi olla tarpeeksi suuri, jotta vettä olisi kannattavaa ottaa säiliöstä eikä lähellä olevista luonnonvesistä. Kaupungeissa ongelmaksi voi täten muodostua tilanpuute. Hulevesiä on siis mahdollista hyödyntää usein eri tavoin. Näitä keinoja on vertailtu taulukossa 4.

Taulukko 4: Hulevesien hyödyntämisen keinoja.

<i>Keino</i>	<i>Edut</i>	<i>Haitat</i>
<i>Kasteluvesi</i>	Kaupunkialueilla kastelun tarve voi olla suurempi ja vähentää keinokastelun tarvetta.	Hulevedet voivat sisältää suuria määriä suolaa, jota kasvillisuus ei välttämättä siedä.
<i>Pesuvesi</i>	Vähentäisi vesijohtoveden tarvetta.	Taloyhtiöissä ei yleensä saa pestä autoja.
<i>Sammutusvesi</i>	Vähentäisi vesijohtoveden tarvetta.	Jotta olisi kannattava vaihtoehto, tarvitsisi suuren säiliön, jolloin haasteena tilanpuute.
<i>Hulevesipuisto</i>	Yhdistää hulevesien hallinnan ja alueen virkistyskäytön. Vettä voidaan hyödyntää myös muualla.	Voivat vaatia suuren tilan, jonka löytäminen voi olla hankalaa.

Kaupunkien keskusta-alueilla hulevesien hyödyntämisen keinoista parhaiten sopisi kasteluvetenä käyttö, sillä vettä voidaan kerätä suoraan kasveille tai pieniin säiliöihin, jolloin se vähentäisi keinokastelun tarvetta. Tämän lisäksi keskusta-alueille sopisi hyvin hulevesipuistot, sillä ne hulevesien hyödyntämisen lisäksi antavat myös virkistysarvoa. Näitä voidaan myös yhdistää toisiinsa, sillä puistossa vettä voidaan kerätä ja tarvittaessa kastella muitakin keskusta-alueita sillä.

4. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli selvittää, miten hulevesien määrät tulevat muuttamaan ilmastonmuutoksen seurauksena Helsingissä, Tampereella ja Turussa sekä millaisia keinoja kaupunkien keskustoihin voitaisiin lisätä, jotta hulevesien määrällistä hallintaa voitaisiin parantaa. Näiden lisäksi selvitettiin erilaisia keinoja hyödyntää hulevesiä kaupunkien keskustoissa.

Kaupungistumisen seurauksena keskusta-alueilta on hävinnyt luontaiset huleveden poistumisreitit, jonka lisäksi kaupungistumisella on vaikutus alueen hulevesien määrään. Kaupungistumisen on todettu nostavan sadannan määrää, mutta määrän nousu vaihtelee sijainnin mukaan. Vuosittaiset sadannan määrät vaihtelevat paljon, mutta vertaillaessa vuosien 1961-1980 sademääriä vuoteen 2001-2020, huomattiin, että keskimääräinen vuosittainen sademäärä on kasvanut jokaisessa kolmessa kaupungissa. Lisäksi huomattiin, että Helsingissä ja Turussa sataa keskimäärin enemmän kuin Tampereella. Sulamisvesiä syntyy kuitenkin kaupunkialueilla vähemmän kuin ympäröivillä seuduilla, sillä osa lumesta aurataan pois, jonka lisäksi teitä voidaan lämmittää.

On todennäköistä, että ilmastonmuutoksen seurauksena rankkasateiden määrä tulee lisääntymään, mikä kuormittaa hulevesijärjestelmää. Keskimääräinen lämpötila on noussut viime vuosikymmenten aikana, joka vähentää sulamisvesien määrää, sillä osa talven sateesta tulee vetenä lumen sijasta. Tällöin hulevettä syntyy tasaisemmin vuoden aikana. Lämpötilan ennustetaan jatkavan nousua, jolla on vaikutusta hulevesien syntymiseen. Ilmastonmuutos on lisännyt myös sadannan määrää Pohjois-Euroopassa, joka lisää huleveden hallinnan haasteita. Ilmastonmuutoksen seurauksena sademäärät voivat kasvaa talvisin noin 20 %.

Hulevedet voivat aiheuttaa erilaisia ympäristöriskejä. Kaupunkien keskustoissa näistä merkittävin on hulevesitulvat, joiden syntyyn vaikuttaa läpäisevien pintojen osuus, täydentämISRakentamisen aiheuttamana lisäkuormitus hulevesijärjestelmään, luontaisten valumareittien muuttuminen sekä ilmastonmuutos. Vastuu hulevesitulvariskien hallinnan suunnittelusta on kunnalla, jonka vuoksi kaupunkien hulevesiohjelmassa on tunnistettu eri tulvariskialueita. Niin Helsingissä, Tampereella kuin Turussa on kaupunkien keskustojen alueella sekaviemäröintiä, joka lisää jätevedenpuhdistamoille syntyvää kuormitusta, ja voi suuren kuormituksen aikana lisätä ylikuormitusta, jonka seurauksena osa vedestä joudutaan päästään vesistöön ilman puhdistusta.

Keskusta-alueille tulee lisätä uusia huleveden hallinnan keinoja, sillä hulevesien määrät tulevat kasvamaan ilmastonmuutoksen seurauksena. Lämpäisevällä asfaltilla voidaan korvata tiivistä asfalttia. Se sopeutuu hyvin kevyenliikenteen väylille tai parkkialueille, joissa liikennemäärät pysyvät suhteellisin pieninä. Niiden haasteena on kuitenkin tukkeutumisherkkyys ja talviolosuhteet. Nolla asteessa niiden imeytymisnopeus pienenee noin 40 %:iin 20°C:n imeytymisnopeudesta, jonka lisäksi tiealueiden ylläpito voi vahingoittaa sitä.

Sadepuutarhat ovat pienikokoisia suodatusrakenteita, joiden avulla viivytetään ja puhdistetaan hulevesiä. Niiden koko vaihtelee valuma-alueen mukaan ja keskusta-alueille ne sopeutuvat esimerkiksi puistoihin, teiden reunusalueille ja parkkipaikoille. Kiinassa tehdyn tutkimuksen mukaan ne hidastavat valuman määrä 2,7 - 44,2 % ja pienentävät huippuvirtauksia 12,7 - 44,6 %. Niiden haasteena on kuitenkin löytää sopivaa kasvilisuuta, joka pystyy elämään muuttuvissa olosuhteissa. Tämän lisäksi niiden suodatuskyky voi heikentyä talvisin.

Hulevesikasetit ovat myös sopiva lisä keskusta-alueiden huleveden hallintaan. Ne ovat tehokkaita varastoimaan vettä, sillä niiden tehollinen varastointikapasiteetti on 95 - 97 %. Ne sopeutuvat moniin paikkoihin, sillä niitä voidaan sijoittaa vierekkäin ja päällekkäin. Ne sopeutuisivat hyvin parkkialueille tai kevyenliikenteen väylille. Osa kaseteista sopeutuu myös puiden läheisyyteen ja voivat parantaa niiden kasvuolosuhteita.

Hulevesiä voidaan hyödyntää monella eri tavalla. Kaupunkialueille voidaan rakentaa hulevesipuisto, joka varastoi hulevettä ja muokkautuu tarvittaessa huleveden määrän mukaan. Alueelta kerättyä vettä voidaan hyödyntää esimerkiksi kasvien kasteluvetenä tai teiden pesuvetenä. Hulevesien hallinnan lisäksi puisto voi olla tärkeä virkistyspaikka alueen asukkaille. Ne vaativat kuitenkin suuren tilan, jonka vuoksi keskusta-alueille niiden sijoittaminen voi olla haastavaa. Hulevesiä voidaan kerätä talteen myös esimerkiksi taloyhtiöiden pihilla ja hyödyntää kasteluvetenä.

Ilmastonmuutoksen myötä hulevesien hallinta tulee muuttumaan, jonka vuoksi on tärkeää, että keskusta-alueille lisätään uusia hallinnan keinoja. Tässä työssä läpi käytyistä keinoista tiiviille keskusta-alueelle parhaiten sopisivat hulevesikasetit, sillä ne ovat erittäin tehokkaita varastoimaan vettä, sekä lämpäisevä asfaltti, sillä se sopivat hyvin kevyenliikenteen väylille ja parkkipaikoille, joita keskusta-alueilla on paljon. Nämä eivät kuitenkaan pelkästään pysty hallitsemaan kaikkia keskusta-alueen hulevesiä, vaan vaativat rinnalle muita hulevesien hallinnan keinoja.

LÄHTEET

Aaltonen, J., Hohti, H., Jylhä, K., Karvonen, T., Kilpeläinen, T., Koistinen, J., Kotro, J., Kuitunen, T., Ollila, M., Parvio, A., Pulkkinen, S., Silander, J., Tiihonen, T., Tuomenvirta, H. & Vajda, A. 2008. Rankkasateet ja taajamatulvat. Suomen Ympäristökeskus, Helsinki, 123 s.

Ahopelto, L. 2024. Drought in Water Abundant Finland: Data and Tools for Drought Management. Aalto University. Helsinki, s.53

Antunes, L.N., Ghisi, E. & Souza, J.C. 2022. Stormwater harvested from a permeable pavement for use in the fire extinguishing system and non-potable uses of a building: a case study. *Urban water journal* 19, 433–440 s.

Antunes, L.N., Thives, L.P. & Ghisi, E., 2016. Potential for Potable Water Savings in Buildings by Using Stormwater Harvested from Porous Pavements. *Water* 8. 18 s.

Bonn, C. 2003. Ekologinen hulevedenkäsittely muissa Pohjoismaissa. Pohjanmaan liitto, Vaasa. 55 s.

Bäckström, M., Bergström, A., 2000. Draining function of porous asphalt during snowmelt and temporary freezing. 594-598 s.

Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P.W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., Cheung, W.W.L., Connors, S., Denton, F., Diongue-Niang, A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Jones, C., Jotzo, F., Krug, T., Lasco, R., Lee, Y.-Y., Masson-Delmotte, V., Meinshausen, M., Mintenbeck, K., Mokssit, A., Otto, F.E.L., Pathak, M., Pirani, A., Poloczanska, E., Pörtner, H.-O., Revi, A., Roberts, D.C., Roy, J., Ruane, A.C., Skea, J., Shukla, P.R., Slade, R., Slangen, A., Sokona, Y., Sörensson, A.A., Tignor, M., Van Vuuren, D., Wei, Y.-M., Winkler, H., Zhai, P., Zommers, Z., Hourcade, J.-C., Johnson, F.X., Pachauri, S., Simpson, N.P., Singh, C., Thomas, A., Totin, E., Arias, P., Bustamante, M., Elgizouli, I., Flato, G., Howden, M., Méndez-Vallejo, C., Pereira, J.J., Pichs-Madruga, R., Rose, S.K., Sabehe, Y., Sánchez Rodríguez, R., Ürge-Vorsatz, D., Xiao, C., Yassaa, N., Alegría, A., Armour, K., Bednar-Friedl, B., Blok, K., Cissé, G., Dentener, F., Eriksen, S., Fischer, E., Garner, G., Guivarch, C., Haasnoot, M., Hansen, G., Hauser, M., Hawkins, E., Hermans, T., Kopp, R., Leprince-Ringuet, N., Lewis, J., Ley, D., Ludden, C., Niamir, L., Nicholls, Z., Some, S., Szopa, S., Trewin, B., Van Der Wijst, K.-I., Winter, G., Witting, M., Birt, A., Ha, M., Romero, J., Kim, J., Haites, E.F., Jung, Y., Stavins, R., Birt, A., Ha, M., Orendain, D.J.A., Ignon, L., Park, S., Park, Y., Reisinger, A., Cammaramo, D., Fischlin, A., Fuglestvedt, J.S., Hansen, G., Ludden, C., Masson-Delmotte, V., Matthews, J.B.R., Mintenbeck, K., Pirani, A., Poloczanska, E., Leprince-Ringuet, N. & Péan, C., 2023. IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Sveitsi. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 35-115 s.

Eskola, R. & Tahvonen, O., 2010. Hulevedet rakennetussa viherympäristössä. Hämeen ammattikorkeakoulu, Hämeenlinna. 152 s.

Helsingin kaupunki, 2018. Helsingin kaupungin hulevesiohjelma. Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön julkaisuja, Helsinki. 46 s. Saatavilla: <https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/julkaisut/julkaisut/julkaisu-03-18.pdf>

Houston, D., Werritty, A., Bassett, D., Geddes, A., Hoolachan, A. & McMillan, M. 2011. Pluvial (rain-related) flooding in urban areas: the invisible hazard | Joseph Rowntree Foundation. 96 s.

Huang, J., Valeo, C., He, J. & Chu, A. 2016. Three Types of Permeable Pavements in Cold Climates: Hydraulic and Environmental Performance. *Journal of Environmental Engineering* 142.

Huhtinen, T. & Känkkänen, R. 2015. Lumen vastaanoton vaihtoehdot vuoteen 2050. Helsingin kaupungin Rakennusvirasto, Helsinki. 35 s. Saatavilla: https://www.hel.fi/static/liitteet-2019/Kymp/liikenne-ja-kartat/kadut/2015_08_18_lumen_vastaanoton_vaihtoehdot_vuoteen_2050.pdf

Häkkinen, I. 2023. Hulevedet hyötykäyttöön kaupunkirakentamisessa. Saatavilla: <https://www.vyl.fi/viherymparisto/lehdet/hulevedet-kaupunkirakentamisessa/> Viitattu 9.4.2024

Ilmatieteen laitos, n.d.a Lumitilastot - Ilmatieteen laitos. Saatavilla: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/lumitilastot> , viitattu 26.2.2024

Ilmatieteen laitos, n.d.b Ennustamisen ominaispiirteet vuodenajoittain - Ilmatieteen laitos. Saatavilla: https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ennustamisen_ominaispiirteet_vuodenajoittain , viitattu 13.3.2024

Ilmatieteen laitos, n.d.c Vuositilastot - Ilmatieteen laitos. Saatavilla: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/vuositilastot>, viitattu 20.2.2024

Ilmatieteen laitos, n.d.d Kuukausitilastot - Ilmatieteen laitos. Saatavilla: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot>, viitattu 20.2.2024

Ilmatieteen laitos, n.d.e Tilastoja vuodesta 1961 - Ilmatieteen laitos. Saatavilla: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tilastoja-vuodesta-1961>, viitattu 20.2.2024

Intergovernmental panel on climate change, 2007. Climate change 2007: the physical science basis. Cambridge university press, Cambridge. 112 s. Saatavilla: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf

Ishimatsu, K., Ito, K., Mitani, Y., Tanaka, Y., Sugahara, T., Naka, Y., 2017. Use of rain gardens for stormwater management in urban design and planning. Landscape and ecological engineering 13, 205–212 s.

Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S., Seitola, T., 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. Ilmatieteen laitos, Helsinki. 112 s.

Kasurinen, R., 2017. Saako auton pestä omalla pihalla? – Ei välttämättä. Yle Uutiset. Saatavilla: <https://yle.fi/a/3-9702633>, viitattu 9.4.2024

Kling, T., Holt, E., Kivikoski, H., Kuosa, H., Loimula, K., Trönqvist, J., 2015. Vettä läpäisevät päällysteet. VTT Technology 201, Espoo. 75 s.

Kuntaliitto, 2011. Opas sammutusvesisuunnitelman laatimiseksi. Suomen kuntaliitto, Helsinki. 46 s. Saatavilla: <https://www.kuntaliitto.fi/julkaisut/2011/1411-opas-sammutusvesisuunnitelman-laatimiseksi>

Kuntaliitto, 2012. Hulevesiopus. Suomen kuntaliitto, Helsinki. 298 s. Saatavilla: <https://www.kuntaliitto.fi/julkaisut/2012/1481-hulevesiopus>

Kuosa, H., Niemeläinen, E., Kivikoski, H., Trönqvist, J., 2014. Pervious pavement winter performance – State-of-the-Art and recommendations for Finnish winter conditions. VTT-R-08223-13, Espoo. 29 s.

Kuruppu, U., Rahman, A., Rahman, M.A., 2019. Permeable pavement as a stormwater best management practice: a review and discussion. Environ Earth Sci 78, 327. 20 s.

Leppäranta, M., Virta, J., Huttula, T., 2017. Hydrologian perusteet. Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos, Helsinki. 195 s. Saatavilla: <http://hdl.handle.net/10138/241220>

Li, J., Li, Ya, Li, Yajiao, 2015. SWMM-based evaluation of the effect of rain gardens on urbanized areas. Environ Earth Sci 75, 17. 14 s.

Maankäyttö ja rakennuslaki 132/1999, FINLEX® - Ajantasainen lainsäädäntö: Maankäyttö- ja rakennuslaki... 132/1999).

Mayer H., Matzarakis, A. & Iziomon MG, 2003. Spatio-temporal variability of moisture conditions within the Urban Canopy Layer. Theoretical and Applied Climatology 76. 165-179 s.

Nurmi, P., Heinonen, T., Jylhänlehto, M., Kilpinen, J., Nyberg, R., 2008. Helsingin kaupungin hulevesistrategia. Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut, Helsinki. 124 s. Saatavilla: https://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/2008/hulevesistrategia_2008_9.pdf

Olsson, T., Jakkila, J., Veijalainen, N., Backman, L., Kaurola, J., Vehviläinen, B., 2015. Impacts of climate change on temperature, precipitation and hydrology in Finland – studies using bias corrected Regional Climate Model data. Hydrology and earth system sciences 19.vakki 3217–3238 s.

Pohjanmaan pelastuslaitos, 2022. Sammutusvesisuunnitelma. 27 s. Saatavilla: <https://pohjanmaanhyvinvointi.fi/wp-content/uploads/2022/11/Sammutusvesisuunnitelma-2022-6.pdf>

Poutanen, M., n.d. Maannousu | Maanmittauslaitos. Saatavilla: <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/maannousu>, viitattu 9.4.2024

Ristimäki, M., Oinonen, K., Pitkäranta, H., Harju, K., 2003. Kaupunkiseutujen väestömuutos ja alueellinen kasvu. Ympäristöministeriö, Helsinki. 196 s.

Robinson, T., Schulte-Herbrüggen, H., Gerenstein, T., 2019. Raingardens for stormwater management. Borlänge. 62s.

Rosenberger, L., Leandro, J., Pauleit, S., Erlwein, S., 2021. Sustainable stormwater management under the impact of climate change and urban densification. Journal of hydrology (Amsterdam) 596, 126137. 11 s.

Suomen ympäristökeskus, 2021. Hulevesitulva Vesi.fi. Saatavilla: <https://www.vesi.fi/sanasto/hulevesitulva/>, viitattu 1.3.2024

Suomen ympäristökeskus, 2022. Hulevesien ympäristöriskit Vesi.fi. Saatavilla: <https://www.vesi.fi/vesitieto/hulevesien-ymparistoriskit/>, viitattu 1.3.2024

Tampereen kaupunki, n.d. Tampereen kaupungin tilastollinen vuosikirja 2018-2020 (No. 50). Strategia- ja kehittämissyksikkö, Tampere. 200 s. Saatavilla: <https://www.tampere.fi/sites/default/files/2022-04/Tampereen-kaupunki-tilastollinen-vuosikirja-2018-2020-FINAL.pdf>

Tampereen kaupunki, 2023. Tampereen kaupungin hulevesiohjelma ja valuma-alue selvitys 2023-2030. Tampere. 140 s. Saatavilla: https://www.tampere.fi/sites/default/files/2023-11/tampereen_kaupungin_hulevesiohjelma_ja_valuma_alue_selvitys_2023-2030.pdf

TEPA -termipankki, 2023. sulamisvesi | TEPA-termipankki (erikoisalojen sanasto- ja sanakirjakokoelma) Saatavilla: <https://termipankki.fi/tepa/fi/haku/sulamisvesi>, viitattu 26.2.2024

Tredje natur, n.d. Enghaveparken – climate park. TREDJE NATUR. Saatavilla: <https://www.tredjenatur.dk/en/portfolio/enghaveparken-climate-park/>, viitattu 8.4.2024

Trusilova, K., Jung, M., Churkina, G., Karstens, U., Heimann, M., Claussen, M., 2008. Urbanization Impacts on the Climate in Europe: Numerical Experiments by the PSU–NCAR Mesoscale Model (MM5). *Journal of applied meteorology* (1988) 47. 1442–1455 s.

Tulvariskilaki, 620/2010, FINLEX ® - Ajantasainen lainsäädäntö: Laki tulvariskien hallinnasta... 620/2010)

Tuomenvirta, H., 2004. Reliable estimation of climatic variations in Finland, Contributions / Finnish Meteorological Institute. Finn. Meteorological Inst, Helsinki. 82 s.

Turun kaupunki, 2016. Turun kaupungin hulevesiohjelma 2016-. Turku. 23 s. Saatavilla: https://www.turku.fi/sites/default/files/atoms/files/turun_kaupungin_hulevesiohjelma_2016.pdf

Uponor, 2023. Stormwise- Tehokkaat ratkaisut hulevesien hallintaan. Saatavilla: https://www.uponor.com/fi-fi/search-page?Category=downloadCenter&asset_system_id=asset_system_id-25&asset_product_group_id=asset_product_group_id-40, viitattu 13.4.2024

Vaasan hallinto-oikeus, 2022. , Gles Kierrätys Oy. 776/2022. 34 s. Saatavilla: https://oikeus.fi/material/collections/20220629142629/HkXoFGkoR/Vaasanhallinto-oikeuden-pts29.6.2022nro776_2022_valitusympristilupa-asiassa,Hyvinkaa.pdf

Vakkilainen, P., Kotola, J., Nurminen, J. 2005. Rakennetun ympäristön valumavedet ja niiden hallinta. Ympäristöministeriö, Helsinki. 116 s.

Valkonen, K., Lindqvist, P., Syväälä, R., 2021. Viemäriverkoston ylivuotojen ja jätevedenpuhdistamo-ohitusten hallinnan ratkaisut Itämeren alueella. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, Pirkanmaa. 44 s.

VESI.fi, 2020. Sadanta. Saatavilla: <https://www.vesi.fi/sanasto/sadanta/>, viitattu 20.2.2024

Vesihuoltolaki 119/2001, FINLEX ® - Ajantasainen lainsäädäntö: Vesihuoltolaki 119/2001

Vesilaitosyhdistys, 2023. Vesihuoltolaitosten tunnuslukujärjestelmän raportti 2022 (No. 76), Vesilaitosyhdistyksen julkaisusarja. Helsinki. 92 s.

Virtanen, A., Rohweder, L., 2011. Ilmastonmuutos käytännössä: hillinnän ja sopeutumisen keinoja. Gaudeamus Helsinki University Press, Helsinki. 415 s.

Wavin, 2020. Ratkaisu hulevesihaasteisiin. Saatavilla: <https://www.wavin.com/fi-fi>