



**TURUN
YLIOPISTO**

Matemaattis-luonnontieteellinen
tiedekunta

Hulevesien hallinta Turun Yliopistonmäellä talven aikana

Seela Brax

Maantiede
LuK-tutkielma
Laajuus: 6 op

27.4.2024

Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu
Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

LuK-tutkielma

Pääaine: Maantiede

Tekijä: Seela Brax

Otsikko: Hulevesien hallinta Turun Yliopistonmäellä talven aikana

Ohjaaja: Risto Kalliola

Sivumäärä: 37 sivua + liitteet 3 sivua

Päivämäärä: 27.4.2024

Kaupungit häiritsevät veden luonnollista kiertokulkua, kun rakennettu pinta ja vähentynyt kasvillisuus heikentävät veden imeytymistä maaperään ja varastoitumista kasvillisuuteen, mikä lisää pintavaluntaa. Tätä kaupunkien pintavaluntaa kutsutaan hulevedeksi. Hulevesi on sade- ja sulamisvesistä syntyvää pintavaluntaa kaupungeissa. Hulevesi on yhteiskunnallisesti kiinnostava aihe, koska se on haasteena ajan-kohtainen ja maailmanlaajuinen johtuen nopeasta kaupungistumisesta ja kaupunkien laajenemisesta sekä ilmastonmuutoksen mukana lisääntyvistä sateista ja sään ääri-ilmiöistä. Hulevesien hallinta on siis tärkeää kaupunkien kestävyuden ja turvallisuuden näkökulmasta.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tutkia hulevesien hallintaa Turun Yliopistonmäellä talven aikana. Turun Yliopistonmäki on mielenkiintoinen tutkimusalue sen topografian sekä siellä kulkevan ja aika viettävän suuren ihmismäärän takia. Alueella on myös paljon tiiviisti rakennettua maa-alaa, mikä johtuu alueella sijaitsevasta yliopiston kampusalueesta. Yliopistonmäen turvallisuus, kestävyys ja viihtyvyys on siis tärkeää. Talven konteksti on mielenkiintoinen, sillä talvella hulevedet eivät imeydy maaperään roudan ja lumipeitteen takia eivätkä haihdu vähentyneen evapotranspiraation takia. Myös lumien auraus ja kasaus vaikuttaa sulamisvesiin merkittävästi.

Tutkimuksessa käytän digitaalista aineistoa sekä laadullista havainnointiaineistoa. Digitaalisia aineistoja ovat Turun kaupungin WFS- ja WMS-rajapinnat, Maanmittauslaitoksen korkeusmallit sekä Turun hulevesikaivoaineisto. Rajapinnat sisältävät muun muassa ilmakuvia, viheralueaineistoa ja rakennustietoja. Digitaalisten aineistojen perusteella tein päällekkäisanalyysin, jonka avulla havainnollistin niitä tekijöitä, jotka vaikuttavat hulevesien kulkuun Yliopistonmäellä. Samalla tulkitsin tekijöiden vuorovai- kutuksia. Havainnointiaineiston keräsin Yliopistonmäeltä viideltä eri pisteeltä vuoden 2024 helmikuun aikana. Havainnointipisteet valikoituivat alueilta, joilla oli päällekkäisanalyysin perusteella mahdollisia hulevesiongelmia. Lopuksi vertailen päällekkäisanalyysin ja havainnoinnin tuloksia keskenään.

Tämän tutkimuksen perusteella Turun Yliopistonmäen hulevesien hallinnassa on kehitettävää, erityisesti talven kontekstissa. Havainnoinnin ja päällekkäisanalyysin perusteella Yliopistonmäen hulevesien hallinta on pitkälti suunniteltu ja toteutettu muiden vuodenaikojen ehdoilla. Lunta aurataan ja kasataan rinteille ja portaille, josta ne sulavat ja virtaavat kulkuväylille aiheuttaen hulevesiongelmia. Maaperän jäätyminen takia vettä ei myöskään infiltroidu, eikä kasvillisuus talvella varastoi tai haihduta vettä. Myös hulevesikaivot olivat usein tukossa jään tai hiekoitushiekan takia. Yliopistonmäellä olisi siis tulevaisuudessa mietittävä lumien kasauspaikat sekä kerääminen toimivammin sekä lisättävä talvella toimivia hulevesien hallintamenetelmiä, kuten hulevesialtaita ja ojia.

Avainsanat: hulevesi, hulevesien hallinta, sulamisvesi, hydrologia, pintavalunta, kestävä kaupunkikehitys

Sisällysluettelo

1	Johdanto	5
2	Tutkimuksen tausta ja teoreettinen viitekehys	7
2.1	Hulevedet osana hydrologista kiertoa	7
2.1.1	Hydrologinen kierto	7
2.1.2	Kaupunkiympäristön vaikutukset hydrologiseen kiertoon	8
2.1.3	Talven vaikutus hulevesiin	10
2.2	Hulevesien hallinta	12
2.2.1	Hulevesiin liittyvät ongelmat kaupunkiympäristössä	12
2.2.2	Huleveden hallintamenetelmät	14
2.2.3	Hulevedet osana kestävästä kaupunkikehityksestä	16
3	Aineistot ja menetelmät	17
3.1	Tutkimusalueen kuvaus	17
3.2	Digitaaliset aineistot	18
3.2.1	Turun kaupungin WFS- ja WMS-rajapinnat	18
3.2.2	Korkeusmallit	18
3.2.3	Hulevesikaivot	19
3.3	Kenttähavainnointi	20
3.4	Analyysimenetelmät	22
4	Tulokset	24
4.1	Havainnointi	24
4.2	Päällekkäisanalyysi	27
5	Keskustelu	30
5.1	Huleveden hallinta Yliopistonmäellä	30
5.2	Hulevesien kulkeutuminen Yliopistonmäellä	32
5.3	Talven vaikutukset hulevesien kulkeutumiseen ja hallintaan	33
6	Johtopäätökset	34
	Lähteet	35
	Liitteet	38
	Liite 1. Havainnointirunko	38
	Liite 2. Havainnoimalla kerätty aineisto	38

1 Johdanto

Hulevedet ovat sade- ja sulamisvesiä sekä rakennusten perustusten kuivatusvesiä, jotka kertyvät kaupunkien tai muiden rakennettujen alueiden pinnoille ja kulkevat siellä pintavaluntana (Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/132 § 103 a). Hulevesien muodostumisen taustalla on kaupunkiympäristön maankäytön häiritsevä vaikutus veden luonnolliseen kiertokulkuun (Khadka ym. 2020: 587).

Rakennetuissa ympäristöissä on usein paljon läpäisemätöntä pintaa, jonka läpi vesi ei pääse imeytymään maaperään, sekä vähemmän kasvillisuutta, mikä johtaa evapotranspiraation eli kokonaisuutena vähentymiseen (Kirker & Toran 2023). Nämä tekijät lisäävät tiiviin rakentamisen sekä keinotekoisien valuntareittien kanssa hulevesien määrää. Myös muuttuva ilmasto lisää hulevesiä: sään ääri-ilmiöt lisääntyvät, sademäärät kasvavat ja talven lämpötilat nousevat, mikä johtaa sulamisvesiin ja niiden uudelleenjäätymiseen (Holden 2018: 182).

Hydrologinen kiertokulku kaupungeissa vaihtelee myös alueellisesti riippuen esimerkiksi siitä, onko ilmasto kylmä vai lämmin (Bäckström & Viklander 2000: 1238). Kylmemmissä ilmastossa hulevesiongelmien liittyvät sadevesien lisäksi myös sulamisvedet. Sulamisvedet sisältävät paljon epäpuhtauksia ja haitta-aineita. Lumi sitoo ilmassa sekä maassa paljon epäpuhtauksia, koska lumihiuksilla on suuri pinta-ala ja talvella syntyy usein enemmän ilmansaasteita kuin muina vuodenaikoina (Bäckström & Viklander 2000: 1238–1240). Sulamisvedet voivat myös jäätä uudelleen lämpötilavaihteluiden takia, mikä johtaa maaperän jäätymiseen, vähentyneeseen infiltraatioon ja liukkaisiin pintoihin kaupungeissa.

Hulevedet ovat yhteiskunnallisesti tärkeä aihe, sillä kaupungistuminen, kaupunkien laajeneminen ja ilmastonmuutos etenevät nopeasti (Douglas 2018: 262). Hulevesiä lisäävät tekijät aiheuttavat erilaisia ongelmia. Hulevesiongelmia ovat muun muassa kaupunkitulvat sekä hulevesien kuljettamat haitta-aineet ja roskat, jotka yhdessä voivat johtaa esimerkiksi terveysriskeihin, taloudellisiin ja sosiaalisiin menetyksiin, vesistöjen ja maaperän saastumiseen sekä infrastruktuurin ja asutusten vaurioihin (Douglas 2018; Batalini de Macedo ym. 2021; Li ym. 2022). Hulevesiongelmia ilmenee siis taloudellisella, ekologisella sekä sosiaalisella ja kulttuurisella tasolla, minkä takia hulevesi ja sen hallinta on keskeistä myös kestävässä kehityksessä sekä kaupunkisuunnittelussa.

Hulevesien hallinnalla tarkoitetaan keinoja, joilla hulevesiä käsitellään, mikä voi tarkoittaa hulevesien imeyttämistä, viivyttämistä, johtamista ja viemärointiä (Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/132 § 103 b). Hallintaa voidaan toteuttaa perinteisenä maanalaisena viemärointinä tai uudempana integroituna ja luontopohjaisena hallintana (Bäckström & Viklander 2000: 1239–1240). Luontopohjaiset integroidut hallintamenetelmät jäljittelevät veden luonnollista kiertoa kaupungeissa esimerkiksi lisäämällä kasvillisuutta, viherkattoja tai sadepuutarhoja kaupungin infrastruktuuriin (Kopp ym. 2021). Talvella hulevesien hallinnassa korostuu veden varastointi ja ohjaaminen esimerkiksi hulevesialtaissa ja ojissa, sillä maaperä ei ime paljoa vettä johtuen maaperän jäätymisestä sekä maanpinnan lumi- ja jääpeitteestä. Kasvillisuudenkin merkitys on talvella vähäinen, koska silloin ei tapahdu yhtä paljon evapotranspiraatiota tai veden varastoitumista kasvillisuuteen kuin muina vuodenaikoina.

Sulamisvesiä tarkastelevasta hulevesitutkimuksesta on puutetta, vaikka kylmien ilmastojen kontekstissa ilmiö on tärkeä ottaa huomioon hulevesien hallintaa ja kaupunkien infrastruktuuria suunniteltaessa. Myös Turussa hulevesien tarkastelu on tärkeää, sillä kaupungissa on paljon mäkiä ja siten myös korkeusvaihteluja, jotka vaikuttavat siihen, mihin hulevedet kulkeutuvat (Suomi & Käyhkö 2012: 454). Eräs kiinnostava mäki Turussa on Yliopistonmäki, sillä siellä on paljon tiiviisti rakennettua maa-alaa, koska osa Turun yliopiston kampusalueesta sijaitsee mäen päällä. Täten kyseisellä alueella kulkee ja viettää aikaa päivittäin paljon ihmisiä, mikä tekee alueen turvallisuudesta, kestävyyydestä ja viihtyvyydestä tärkeää.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on siis tutkia Turun Yliopistonmäen hulevesien hallintaa ja sen toteutumista erityisesti sulamisvesien tapauksessa. Tutkimuskysymykseni ovat seuraavat:

1. Mitä hulevesien hallintakeinoja Turun Yliopistonmäellä on?
2. Mihin hulevedet hakeutuvat Turun Yliopistonmäellä?
3. Miten talvi vaikuttaa hulevesien kulkeutumiseen ja hallintaan?

2 Tutkimuksen tausta ja teoreettinen viitekehys

2.1 Hulevedet osana hydrologista kiertoa

2.1.1 Hydrologinen kierto

Luonnonmaantieteen professori Joseph Holden (2018: 150) määrittelee hydrologisen kierron kuvaavan veden kiertokulkua meristä ilmakehän läpi joko suoraan takaisin meriin tai mantee-reelle, josta se kulkee takaisin meriin joko maanpäällisiä tai -alaisia reittejä. Tekniikan emeritusprofessori ja hydrologian tutkija Wilfried Brutsaert (2005: 2) toteaa, että hydrologiseen kiertoon kuuluu sadanta, veden olomuodon muutokset, evapotranspiraatio, veden infiltraatio ja varastoituminen sekä valunta.

Sadanta tarkoittaa vettä, jota putoaa pilvistä nestemäisenä vetenä tai kiinteänä lumena, räntänä tai rakeina (Holden 2018: 466). Pilvet muodostuvat, kun vesistöistä, maaperästä ja kasvillisuudesta haihtuu tai lumesta sublimoituu vettä, joka sitten tiivistyy ilmakehässä tiivistymisydinten eli pienten hiukkasten ympärille pilviksi (Davis 2016: 102–108). Sadantaan ja pilvien muodostumiseen liittyy evaporaatiosta ja transpiraatiosta koostuva evapotranspiraatio eli kokonaishaihdunta, joka tarkoittaa ilmakehään haihtuvan veden yhteenlaskettua määrää (Brutsaert 2005: 3). Evaporaatio tarkoittaa vesistöistä ja maaperästä haihtuvaa vettä, kun taas transpiraatio tarkoittaa kasvillisuudesta lehdistä haihtuvaa veden määrää.

Veden kiertokulkuun sisältyy myös veden infiltraatio ja varastoituminen, jotka ovat yhteydessä sadantaan ja evapotranspiraatioon (Holden 2018: 476). Infiltraatio tarkoittaa prosessia, jossa vesi läpäisee maaperän ja imeytyy sinne (Davis 2016: 285). Kun vesi on läpäissyt maaperän, voi se suodattua pohjavedeksi ja -valunnaksi tai varastoitua sinne. Vettä voi varastoitua maaperän lisäksi ilmakehään, vesistöihin, lumi- ja jääpeitteeseen sekä kasvillisuuteen (Holden 2018). Veden varastoitumista kasvillisuuden tai rakennetuille pinnoille kutsutaan interseptioksi eli kasvillisuuspidännäksi (Holden 2018: 476).

Hydrologisen kierron viimeinen keskeinen tekijä on valunta. Valunta tarkoittaa sade- ja sulamisvesien poistumista valuma-alueelta joko pinta-, pohja- tai pohjavesivaluntana tai välittömänä valuntana (Davis 2016: 458). Pintavalunta tarkoittaa maan pinnalla tai pintakerroksissa valuvaa vettä ja pohjavalunta jatkuvaa valuntaa myös kausina, joina ei synny sade- tai sulamis-

vettä. Pohjavesivalunta puolestaan tarkoittaa pohjavedestä koostuvaa valuntaa. Välitöntä valuntaa tapahtuu tilanteissa, joissa vettä tulee valuma-alueelle suurina määrinä nopeasti. Valuma-alue on aluekokonaisuus ja hydrologinen yksikkö, jonne kerääntyy vettä alueen topografian eli pinnanmuotojen perusteella (Davis 2016: 154). Sitä rajaavat alueen topografisesti korkeat vedenjakajat siten, että vesi virtaa vedenjakajan eri rinteitä pitkin eri valuma-alueille (Holden 2018: 465).

Hydrologisen kierron eri vaiheet muodostavat veden kierron kokonaisuuden, jonka osat ovat jatkuvassa vuorovaikutuksessa keskenään. Hydrologista kiertoa voidaan tarkastella muun muassa vesitaseen näkökulmasta, jonka mukaan vettä tulee valuma-alueelle yhtä paljon kuin sieltä lähtee vettä, mukaan lukien muutokset vesivarannoissa (Khadka ym. 2020). Vesitase määrittyy vesitaseyhtälössä

$$P = Q + E + \Delta(I + M + G + S), \quad (1)$$

jossa valuma-alueen sadanta (P) on yhtä suurta kuin valunta (Q), evapotranspiraatio (E) ja vesivarantojen muutokset. Vesivarantoja ovat interseptio ja muut biologiset vesivarastot (I), maaperään varastoitunut vesi (M) sekä pohjavesi- (G), uoma- ja pintavesivarastot (S) (Holden 2018: 466). Vesitaseyhtälössä hahmottuu, kuinka veden kiertokulkuun kuuluvat tekijät vaikuttavat toisiinsa. Sadanta johtaa veden infiltraatioon, varastoitumiseen, interseptioon ja valuntaan. Tästä puolestaan seuraa mahdollisesti lisää valuntaa sekä varastoitumista, minkä jälkeen tapahtuu evaporaatiota ja transpiraatiota. Haihduntojen jälkeen vesi tiivistyy ja varastoituu pilviin, minkä jälkeen seuraa sadantaa ja hydrologinen kierto jatkuu.

2.1.2 Kaupunkiympäristön vaikutukset hydrologiseen kiertoon

Kaupunki ja kaupunkimaisuus voidaan määritellä monilla eri asteikoilla. Sosiologi Louis Wirth (1938) määrittelee tunnetusti kaupungit suhteellisen suuriksi, tiheiksi ja pysyviksi asutuksiksi, joissa asuu sosiaalisesti heterogeenisiä yksilöitä. Kaupunkeja tutkineen sosiologian professorin Claude S. Fischerin ja Mertonin (1984) mukaan myös väestön määrä ja tiheys, instituutiot ja markkinat, kulttuuri sekä anonyymit vuorovaikutussuhteet ovat tärkeitä kaupunkeja määritteleviä tekijöitä. Hydrologisen kierron näkökulmasta maankäyttöön pohjautuvat määritelmät ovat kuitenkin merkittävämpiä. Siksi tämän tutkimuksen kontekstissa kaupunkiympäristöllä tarkoitetaan rakennettua ympäristöä, jossa on läpäisemättömiä pintoja, tiheästi rakennettuja alueita ja

maanmuokkauksen seurauksena vähentynyttä kasvillisuutta (Schneider ym. 2009: 3). Muut kaupunkien määritelmät ovat kuitenkin tärkeä konteksti tämän hydrologialle olennaisemman määritelmän taustalla.

Kaupungeissa hydrologista kiertoa häiritsevää maanmuokkausta on sellainen, jossa lisätään läpäisemättömiä pintoja, vähennetään kasvillisuutta, rakennetaan tiheästi ja tuotetaan keinotekoisia valuntareittejä (Khadka ym. 2020; Kirker & Toran 2023). Keinotekoiset valuntareitit ovat muokattuja reittejä, joita pitkin vesi kulkeutuu ohjatusti esimerkiksi ojissa. Eri tekijöiden vaikutusten merkittävyys vaihtelee muun muassa alueen ja vuodenajan mukaan (Khadka ym. 2020: 595). Lämpimillä alueilla ja kesäisin kasvillisuuden vähentyminen häiritsee hydrologista kiertoa merkittävimmin, sillä silloin kasvillisuus varastoi paljon vettä ja vaikuttaa evapotranspiraatioon (Riikonen ym. 2016). Sen sijaan kylmemmillä alueilla syksyisin ja talvisin merkittävimpiä häiriötekijöitä ovat läpäisemättömät pinnat, sillä infiltraatio on kylminä kausina tärkeämpi veden varastointimenetelmä, koska evapotranspiraatio on vähentynyt (Khadka ym. 2020: 595). Keskeisintä on kuitenkin tarkastella tekijöiden yhteisvaikutuksia: jos hydrologisen kierron yksi vaihe häiriintyy, muodostuu vesitaseeseen epätasapaino, jolloin veden kiertokulku ei ole enää luonnollinen (Khadka ym. 2020: 587; Kirker & Toran 2023: 9).

Läpäisemättömät pinnat tarkoittavat pintoja, joilta vesi ei pääse imeytymään maaperään (Li ym. 2022: 1). Tällaisia pintoja ovat esimerkiksi päällystetyt alueet, kuten asfaltoidut tiet, parkkipaikat, lentokentät, katukivetykset sekä rakennusten katot (Riikonen ym. 2016; Kirker & Toran 2023). Myös tiivistynyt maa-aines tai jäänyt maaperä voidaan luokitella läpäisemättömäksi pinnaksi (Holden 2018: 477). Läpäisemättömät pinnat vaikuttavat hydrologiseen kiertoon lisäämällä pintavalunnan määrää, koska vettä imeytyy ja varastoituu maaperään vähemmän (Khadka ym. 2020: 587). Pintavalunnan määrää lisää läpäisemättömien pintojen kanssa myös kasvillisuuden puute, mikä johtuu vähentyneestä evapotranspiraatiosta ja heikosta veden varastoitumisesta kasvillisuuteen (Riikonen ym. 2016: 1712). Läpäisemättömien pintojen ja kasvillisuuden puutteen vaikutuksiin liittyy myös niiden sijoittelu, pintojen kaltevuudet sekä kasvillisuuden mosaiikkiluonne, joten pintojen läpäisemättömyydellä ei voida suoraan ennustaa pintavalunnan määrää (Kirker & Toran 2023: 10). Myös keinotekoiset valuntareitit häiritsevät veden luonnollista kiertokulkua (Khadka ym. 2020: 587).

Hulevesi on kaupunkien vaikutuksesta sade- ja sulamisvesistä sekä rakennusten perustuksien kuivatusvesistä syntyvää pintavaluntaa (Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/132 § 103 a). Luonnollisessa ympäristössä, esimerkiksi metsässä, virtaava sade- tai sulamisvesi ei siis ole hulevettä vaan luonnon huuhtoumaa (Holden 2018). Huleveteen ja sen määrään vaikuttavat monet alueelliset, ilmastolliset ja säähän liittyvät tekijät. Alueelliset tekijät liittyvät kaupunkien rakenteisiin, tiiviyteen sekä läpäisemättömien pintojen ja kasvillisuuden määrään (Khadka ym. 2020: 587; Kirker & Toran 2023). Ilmastolliset tekijät, kuten alueiden olosuhteet sekä ilmastonmuutos, vaikuttavat hulevesien muodostumiseen (Khadka ym. 2020: 595). Säätilat, kuten rankkasateet tai talvien lämpimät kaudet, vaikuttavat suoraan hulevesien määrään.

2.1.3 Talven vaikutus hulevesiin

Kaupunkien hydrologinen kierto on erilainen kylmissä ja lämpimissä ilmastoissa. Bäckström ja Viklander (2000) kuvailevat kylmempien ilmastojen veden kiertokulun erityispiirteitä siten, että kylmemmillä alueilla sadantaa tulee myös lumen muodossa, evapotranspiraatio on matalampaa, lunta akkumuloituu lumipeitteeksi sekä -kasoiksi ja lämpötilat ovat matalampia. Maanpinta ei myöskään imeytä vettä esimerkiksi lumi- tai jääpeitteen takia. Kylmien ilmastojen hulevesien tarkastelu on siis tärkeää, koska hulevesien kulkeutuminen ja hallinta muuttuu verrattuna muihin vuodenaikoihin. Merkittävää on myös se, että kylmissä ilmastoissa jopa yli puolet valunnasta voi koostua sulamisvesistä (Tahmasebi Nasab & Chu 2021: 1). Lumi myös sitoo enemmän epäpuhtauksia kuin nestemäinen vesi. Sulamisvesi voi siis saastuttaa ympäristöä voimakkaammin kuin sadevesi (Bäckström & Viklander 2000: 1238). Siksi on mielekäästä tarkastella talven hulevesiä erillisenä ilmiönä kylmemmässä kontekstissa.

Ilmassa lumi saastuu voimakkaasti, koska sen ominaispinta-ala on suurempi ja putoamisnopeus hitaampi kuin sadepisaran, mikä sitoo epäpuhtauksia tehokkaasti (Bäckström & Viklander 2000: 1238). Maassa lumi saastuu kuiva- ja märkälaskeuman, kaasujen sekä pienhiukkasten seurauksena. Kylmät olosuhteet tuottavat myös usein enemmän ilmansaasteita kuin lämpimät olosuhteet, koska pakkasella autojen moottorit polttavat polttoainetta paljon ja epäpuhtaasti, koska katalysaattorit lämpenevät hitaasti (Hakala & Välimäki 2003: 266). Ilmansaasteet voivat sitten jäädä maanpinnan lähelle ja sitoutua muun muassa lumipeitteeseen, sillä talvisessa inverttilanteessa ylempät ilmakerrokset ovat alempia lämpimämpiä, jolloin saasteet eivät pääse nousemaan. Tämän lisäksi talvella teitä suolataan, mikä syövyttää ajoneuvoja sekä muita metalleja ja lisää talvella hulevesien mukana kulkeutuvia epäpuhtauksia (Bäckström & Viklander 2000: 1239). Myös hiekoitushiekka voi kulkeutua huleveden mukana.

Hulevesiongelmien huomioiminen myös talvella on tärkeää, sillä sulamisvedet sisältävät paljon haitta-aineita ja muita epäpuhtauksia. Sulamisvesien määrää lisäävät kaduille ja muille kaupunkialueille kasatut lumikasat, hulevesikaivojen tukkeutuminen sekä maaperän jäätyminen (Bäckström & Viklander 2000: 1238–1240). Lumikasat ovat hulevesien näkökulmasta ongelmallisia, sillä niihin varastoituu haitta-aineita ja kiintoainesta, jotka sitten sulavat suurina ja kohdistettuina massoina lämpötilojen noustessa (Monrabal-Martinez ym. 2019: 451). Näitä sulamisvesiä viemäröivät hulevesikaivot voivat kuitenkin umpeutua talvella kaivonkansien jäätyminen tai lumen pakkautumisen takia, mikä voi johtaa hulevesitulviin lumen sulamisaikoina (Bäckström & Viklander 2000: 1240). Talvella ilma jäädyttää hulevesikaivoja ja -putkia, mikä johtaa ympäröivän maaperän jäätymiseen sekä epätasaiseen routimiseen (Bäckström & Viklander 2000: 1239). Tästä voi seurata vaurioita muun muassa vesiputkiin, rakennusten perustuksiin sekä teiden päällysteille. Talvella maaperä jäätyy muutenkin, mikä vähentää infiltraatiota kaupunkialueilla entisestään. Koska maaperän infiltraatiokyky heikkenee, voivat muulloin läpäisevät pinnat olla lumen sulamisaikoina vedellä kyllästyneitä, mikä lisää pintavaluntaa.

Eräs talvinen hulevesi-ilmiö liittyy lämpötilan vaihteluihin. Alkukeväästä lämpötilat vaihtelevat nollan asteen ylä- ja alapuolella, mikä johtaa jää- ja lumipeitteen sulamiseen sekä uudelleenjäätymiseen (engl. *freezeback*) (Hyman-Rabeler & Loheide 2023). Uudelleenjäätymisen tarkoittaa tilannetta, jossa lumipeite sulaa ja jäätyy uudelleen (Hyman-Rabeler & Loheide 2023: 3). Tätä sulamisen ja jäätyminen kierrettä jatkuu niin kauan, kun lämpötila vaihtelee nollan asteen molemmilla puolilla. Uudelleenjäätymisen johtaa siihen, että sulamisvedet imeytyvät maaperään, minkä jälkeen vesi ja maaperäkin jäätyy. Jäinen maaperä johtaa sitten infiltraation vähentymiseen, jolloin sulamisvedet eivät jatkossa imeydy vaan kulkeutuvat pintavaluntana. Jos sulamisen ja jäätyminen sykli jatkuu, jäätyy tämä pintavaluntakin, mikä johtaa kaupungissa jäisiin ja liukkaisiin pintoihin. Ilmastonmuutoksen myötä uudelleenjäätymistä alkaa tapahtua yhä enemmän myös keskellä talvea, kun lämpötilat nousevat (Hyman-Rabeler & Loheide 2023: 18). Uudelleenjäätymisen seurauksena voi myös syntyä paannejäättä, joka on pintavalunnasta tai pohjavedestä muodostuva kerroksittainen jäämuodostuma maan tai aiempien jääkerrosten pinnalla (Kuusisto 1984).

Talvisiin hulevesi-ilmiöihin liittyy myös routiminen eli maaperän jäätyminen. Routaa muodostuu, kun maan lämpötila laskee alle nollan asteen, minkä seurauksena maaperän vesi jäätyy (Hyman-Rabeler & Loheide 2023: 2). Maaperän vesi tällöin jäädyttää myös maa-ainesta, joka sitten sitoutuu yhteen ja kovettuu. Myös uudelleenjäätymisen liittyy routaan, sillä maaperään

imeytyvä sulamisvesi jäätyy ja jäädyttää myös maaperää. Routa on ongelmallista rakennetussa ympäristössä, sillä se aiheuttaa vaurioita rakennuksiin ja pintojen päällysteisiin. Vaurioita syntyy esimerkiksi jäälinssistä, jotka muodostuvat, kun routivaan maaperään imeytyy vettä esimerkiksi tierakenteen hienon maa-aineksen kautta (Kuusisto 1984). Tällöin maanpinnan lähelle syntyy ikään kuin jäätaskuja. Kun nämä jäätaskut eli -linssit sulavat lämpiminä kausina, vaurioituu päällystettyjen pintojen rakenne. Routavauriot voivat aiheuttaa turvallisuus- ja terveysriskejä, jos rakennusten perustukset tai infrastruktuuri heikkenee (Hyman-Rabeler & Loheide 2023). Routimisesta syntyvien rakennettujen pintojen vaurioiden korjaaminen ei ole helppoa, sillä ongelmat ovat maaperässä. Hulevesien hallinta on siis tärkeää talvella, sillä sulamisvedestä ja sen jääytymisestä voi syntyä kaupungeille turvallisuuteen liittyviä ja taloudellisia haittoja.

2.2 Hulevesien hallinta

2.2.1 Hulevesiin liittyvät ongelmat kaupunkiympäristössä

Hulevesi on ajankohtainen ongelma, sillä rakennetun ympäristön lisääntyessä ja kaupunkien tiivistyessä pintavalunta kasvaa ja ympäristöriskit lisääntyvät (Khadka ym. 2020; Kirker & Toran 2023). Hulevesiin liittyviä ongelmia on muun muassa kaupunkien tiivistymisestä johtuva hulevesien määrän lisääntyminen, ilmastonmuutoksen seurauksena runsastuvista sademääristä ja lämpenevien talvien sulamisvesistä johtuvat kaupunkitulvat, hulevesien kuljettamat haitta-aineet ja roskat sekä puutteelliset hulevesijärjestelmät (Khadka ym. 2020).

Hulevettä ei yleensä johdeta Suomessa jätevesijärjestelmiin, joten hulevedet päätyvät usein sellaisinaan luonnon vesistöihin (Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/132 § 103 c). Hulevesiongelmat täytyy siis ottaa sekä kaupunkiympäristöjen että niitä ympäröivien alueiden kontekstissa huomioon, sillä paikallisten ongelmien lisäksi hulevesien mukana kulkeutuvat aineet voivat myös rehevöittää tai happamoittaa vesistöjä (Monrabal-Martinez ym. 2019).

Kaupungit tiivistyvät ja laajenevat edelleen ympäri maailmaa, mikä lisää rakennettua ja vähentää luonnollista ympäristöä (Douglas 2018: 263). Koska rakennettu ympäristö häiritsee veden luonnollista kiertokulkua lisäämällä pintavaluntaa, on maailmanlaajuinen nopea kaupungistuminen ja kaupunkien tiivistyminen myös hulevesien kontekstissa ongelmallista (Batalini de Macedo 2022: 2538). Pintavalunnan lisääntyminen lisää tulvariskiä, mikä puolestaan uhkaa kaupunkien turvallisuutta ja kestävyyttä esimerkiksi taloudellisten menetysten ja terveyshaittojen muodossa (Batalini de Macedo 2022: 2539).

Ilmastonmuutos kasvattaa hulevesitulvien riskiä (Batalini de Macedo 2022). Ilmastolliset tekijät, kuten sadanta ja lämpötila, vaikuttavat voimakkaasti kasvillisuuteen. Kasvillisuus puolestaan vaikuttaa hydrologiseen kiertoon muun muassa veden imeyttämisen ja evapotranspiraation muodossa. Zhang ja kollegat (2022: 3267) toteavat, että ilmasto, kasvillisuus ja hydrologinen kierto, erityisesti pintavalunta, vaikuttavat toisiinsa ja niitä tulisi tarkastella kokonaisuutena. He toteavat myös, että ilmastonmuutoksen aiheuttama kasvillisuuden väheneminen lisää valunnan määrää voimakkaammin kuin muut tekijät (Zhang ym. 2022: 3276). Kasvillisuuden vähentymisen lisäksi ilmastonmuutos lisää rankkasateita tietyillä alueilla ja lämmittää talvia, mikä lisää sade- ja sulamisvettä. Tämä puolestaan lisää pintavaluntaa ja täten myös hulevesitulvien riskiä.

Hulevesitulvien ongelmallisuutta lisää huleveden mukana kulkeutuvat haitta-aineet ja roskat (Conley ym. 2019: 1). Conley ja kollegat (2019: 2) esittävät, että hulevesien mukana kulkeutuvien roskien määrä riippuu ensinnäkin hulevesien, mutta myös kaduille ja muille läpäisemättömille pinnoille kerääntyvän roskan määrästä. Myös lumi kerää mukanaan paljon epäpuhtauksia, koska lumien auraus kerää kaduilta kiintoainesta ja koska lumi itsessäänkin sitoo paljon epäpuhtauksia (Monrabal-Martinez ym. 2019: 451). Kun hulevesien määrä siis kasvaa kaupunkien laajentuessa ja tiivistyessä sekä ilmastonmuutoksen kiihtyessä, lisääntyy myös hulevesien mukana huuhtoutuvien epäpuhtauksien määrä (Conley ym. 2019). Haitta-aineet ja roskat aiheuttavat lopulta saastumista sekä terveystriskejä vesistöille, vesistöjen ympäristölle, kaupunkiympäristölle sekä ihmisille.

Eräs keskeinen hulevesien riskeihin vaikuttava tekijä on niiden hallinta. Hulevesien hallintaa ei aina olla suunniteltu hyvin tai tehokkaasti, mikä johtaa hulevesiongelmien (Khadka ym. 2020). Hulevesien puutteellisesta hallinnasta johtuvia hulevesiongelmia ovat muun muassa hulevesien kerääntyminen, mikä voi johtaa lopulta lätäköistä suurempiin hulevesitulviin (Douglas 2018). Hulevesien puutteellinen hallinta voi ilmetä esimerkiksi hallinnan puuttumisella, jolloin rakennetulta alueelta ei löydy lainkaan hulevesiviemäreitä, läpäisevää pintaa tai muuta veden ohjausta tai imeytystä. Puutteellinen hallinta voi olla myös hallinnan huonoa suunnittelua, jolloin esimerkiksi hulevesiviemärien sijainnit ovat väärillä paikoilla hulevesien kulkureittien kannalta.

2.2.2 Huleveden hallintamenetelmät

Hulevesien hallinta tarkoittaa keinoja, joilla hulevettä käsitellään. Tämä voi tarkoittaa huleveden ohjaamista muualle, esimerkiksi ojien tai viemäreiden kautta, tai veden imeyttämistä ja varastointia kasvillisuuteen tai maaperään, esimerkiksi viherkattojen, sadepuutarhojen tai läpäisevien pintojen kautta (Kopp ym. 2021). Talvella kasvillisuudella ja veden imeyttämisellä maaperään on heikompi merkitys. Tällöin keskeisiä menetelmiä ovat veden ohjaaminen sekä erilaiset viivytyrakenteet (Bäckström & Viklander 2000). Hulevesien hallinta on tarpeellista, sillä ilman sitä sade- ja sulamisvedet aiheuttaisivat mahdollisesti suuriakin vahinkoja kaupunkitilaan ja sen ympäristöön, kuten tulvia tai terveystarpeita (Conley ym. 2019).

Hulevesien hallintamenetelmiä on erilaisia. LID-menetelmät (engl. *Low Impact Development*) ovat Batalini de Macedon ja kollegoiden (2022: 2539–2540) mukaan menetelmiä, jotka palauttavat luonnollisen hydrologisen kierron ennalleen ja jotka perustuvat veden infiltraatioon, pohjaveden muodostumiseen, pintavalunnan pidättämiseen eli varastointiin sekä veden laadun parantamiseen. Niissä hulevesiä pyritään hallitsemaan paikallisesti mahdollisimman lähellä huleveden lähdettä. Tällaisia hallintamenetelmiä ovat esimerkiksi läpäisevät pinnat ja päällysteet sekä hulevesialtaat, jotka ovat talvella tärkeitä (Luo ym. 2023; Nazarpour ym. 2023). LID-menetelmiä kutsutaan eri nimillä eri puolilla maailmaa: Kiinassa termi on sienikaupunki (engl. *Sponge City*), Australiassa vesiherkkä kaupunkisuunnittelu (engl. *Water Sensitive Urban Design, WSUD*), Euroopassa ja erityisesti Isossa-Britanniassa kestävät kaupunkien viemäröintijärjestelmät (engl. *Sustainable Urban Drainage Systems, SuDS*) sekä Yhdysvalloissa vihreä tai sinivihreä infrastruktuuri (Batalini de Macedo ym. 2022: 2359; Luo ym. 2023: 1–2). Termit ovat lähes synonyymejä, mutta niissä ilmenee yksittäisiä eroavaisuuksia paikallisten kontekstien takia. LID-menetelmät ja vihreä infrastruktuuri ovat tieteellisessä keskustelussa yleisimmin käytettyjä termejä.

Ensimmäinen huleveden hallintamenetelmä on LID-menetelmiin kuuluvaa infiltraatioon ja osaksi myös varastointiin perustuvaa hallintaa. Tällaiset hallintamenetelmät ovat läpäiseviä pintoja (Batalini de Macedo ym. 2022). Läpäiseviä pintoja ovat sellaiset pinnat, joilta vesi pääsee imeytymään maaperään, kuten nurmikkoalueet, soratiet ja muut pinnat, joilla maaperä on kaupungeissa esillä (Li ym. 2022: 1). Näiden pintojen lisäksi hulevesien hallintamenetelmäksi on kehitetty läpäiseviä tienpäällysteitä (Luo ym. 2023). Luo ja kollegat (2023: 2627) määrittelevät läpäisevät tienpäällysteet päällystystekniikaksi, joka perustuu täydelliseen infiltraatioon

ja sisältää läpäisevän pintakerroksen, sorakerroksen, suodatuskerroksen sekä pohjakerroksen. Sade- ja sulamisvedet kulkevat läpäisevän tienpäällysteen läpi ensin imeytymällä ja varastoitu- malla päällysteeseen, minkä jälkeen vesi laskeutuu jokiin tai imeytyy ympäröivään maaperään ja lopulta pohjaveteen. Läpäisevät tienpäällysteet ovat Bäckströmin ja Viklanderin (2000) mu- kaan talvella toimivia hallintamenetelmiä, sillä ne kestävät routimista. Läpäisevät pinnat eivät kuitenkaan muuten imeytä talvella kovinkaan paljoa vettä, sillä se ei aina läpäise maaperää muun muassa lumipeitteen, paannejään sekä routimisen takia. Läpäisevät pinnat eivät siis itses- sään ole ratkaisu hulevesiongelmiiin. Kirker ja Toran (2023: 1–9) kertovat, kuinka hulevesi ei muutenkaan aina infiltroidu läpäisevillä pinnoilla, jos kyseiset pinnat ovat suhteellisen pieniä ja rakennetun alueen keskellä, sillä maaperä tiivistyy ja kyllästyy vastaavilla alueilla herkästi.

Toinen huleveden hallintamenetelmä kuuluu myös LID-menetelmiin ja on varastointiin perus- tuvaa hallintaa. Nämä menetelmät ovat kasvillisuuden lisäämiseen ja hulevesialtaisiin perustu- via. Hulevesialtaat (engl. *bioretention cells*) toimivat Nazarpourin ja kollegoiden (2023: 2–3) mukaan siten, että hulevesiä varastoidaan ja imeytetään maaperään tietynlaisissa vesialtaissa, joihin on lisätty kasvillisuutta ja erityisen läpäisevää maa-ainesta kerroksittain. Hulevesiä voi- daan varastoida altaiden lisäksi myös sadeputarhoissa tai ojissa (engl. *swale* tai *bioswale*). Bäckström ja Viklander (2000) toteavat, että varastointiin perustuvat hulevesialtaat ja ojat ovat talvella yksi merkittävimmistä hallintamenetelmistä, sillä ne vähentävät pintavaluntaa ja saas- teita, ovat integroitavia kaupunkiympäristöön ja sopeutuvat talviolosuhteisiin hyvin. Yleisesti kasvillisuuden lisääminen on hulevesien hallintaa edistävää, sillä kasvillisuuden puute lisää pin- tavaluntaa johtuen vähentyneestä varastoinnista ja evapotranspiraatiosta (Zhang ym. 2022: 3267). Riikosen ja kollegoiden (2016: 1693–1694) mukaan kaupunkien puustoa voidaan pitää hyvänä hulevesien hallintamenetelmänä, koska puut kuluttavat ja varastoivat runsaasti vettä. Kasvillisuus on kuitenkin talvella pienemmässä roolissa, sillä imeytymistä ja evapotranspiraatiota ei tapahdu paljoa.

Kolmas huleveden hallintamenetelmä on veden ohjaamiseen perustuvaa. Tällaiset menetelmät nojaavat viemärointiin sekä muun muassa ojitukseen (Nazarpour ym. 2023: 2). Viemärointiin perustuvaa niin sanottua perinteistä maanalaista hulevesien hallintaa kutsutaan harmaaksi inf- rastruktuuriksi (Li ym. 2022: 4; Nazarpour ym. 2023: 2). Talvella viemäroinnin ja veden oh- jaamiseen perustuvat huleveden hallintamenetelmät ovat varastoinnin ja viivyttämisen lisäksi talvella ja kylmissä ilmastoissa tärkeitä, sillä imeyttäminen on pienemmässä roolissa. Perintei-

set viemärointimenetelmät eivät kuitenkaan tulevaisuudessa kestä jatkuvasti kasvavaa hulevesivaluntaa, mikä johtuu kaupungistumisesta ja ilmastonmuutoksesta (Batalini de Macedo ym. 2022). Muuttuvan ilmaston ja yhteiskunnan takia on tarve kestäville ratkaisuille, jotka muun muassa edistävät ympäristöllistä kestävyyttä ja suojelevat vesistöjä, ihmisiä sekä kaupunkeja.

2.2.3 Hulevedet osana kestäväää kaupunkikehitystä

Hulevesien hallinta on yhteiskunnallisesti kiinnostava aihe, koska se on haasteena ajankohtainen ja maailmanlaajuinen, sillä ympäri maailmaa tapahtuu nopeaa kaupungistumista ja kaupunkien laajenemista (Douglas 2018). Myös ilmastonmuutos vaikuttaa hulevesiin lisääntyvien sademäärien ja sään ääri-ilmiöiden myötä, mikä tuo hulevesiongelmat keskeiseksi aiheeksi kaupunkien turvallisuutta ja kestävyyttä ajatellessa (Batalini de Macedo ym. 2022). Hulevedet vaikuttavat ihmisten, kaupunkien sekä ympäristön hyvinvointiin ja kestävyyteen monilla eri tavoilla. Muun muassa kaupunkitulvat sekä hulevesien kuljettamat epäpuhtaudet voivat yhdessä johtaa esimerkiksi terveysriskeihin, taloudellisiin ja sosiaalisiin menetyksiin, vesistöjen ja maaperän saastumiseen sekä infrastruktuurin ja asutusten vaurioihin (Douglas 2018; Li ym. 2022). Siksi hulevesien hallinta tulisi ottaa huomioon kestävässä kaupunkikehityksessä.

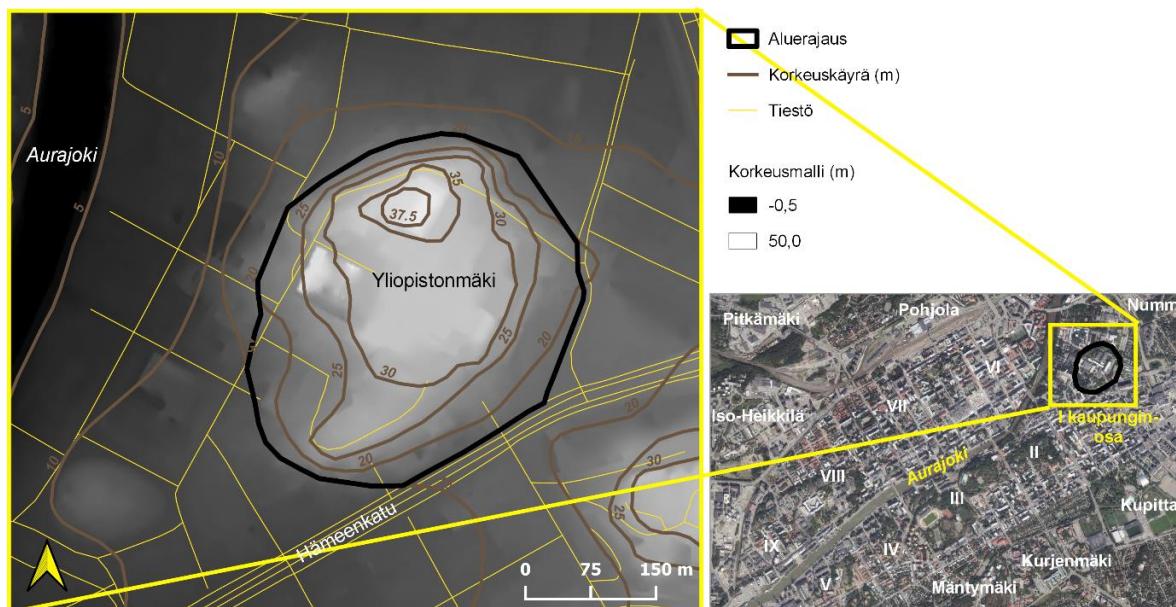
Kestävät kaupungit huomioivat suunnittelu- ja kehittämisprosesseissa eri kestävyysulottuvuudet: ekologisen, taloudellisen, sosiaalisen ja kulttuurisen kestävyuden. YK:n kestävä kehityksen tavoitteessa 11, Kestävät kaupungit ja yhteisöt, kestävien kaupunkien tavoitteiksi määritellään muun muassa inklusiivinen ja kestävä kaupungistuminen, osallistava, integroitu ja kestävä asutusten suunnittelu, katastrofien vaikutusten lieventäminen, kaupunkien haitallisten ympäristövaikutusten vähentäminen sekä turvalliset, inklusiiviset ja saavutettavat viheralueet (The 17 goals 2024). Kestävä kaupunkisuunnittelun ja -kehityksen tulisi huomioida näitä tekijöitä.

Hulevedet ovat keskeinen tekijä kestävässä kaupungeissa, sillä hulevesien hallinta edistää edellä mainittuja kestävyystavoitteita (Batalini de Macedo ym. 2022). Kopp ja kollegat (2021) toteavat tutkimuksensa tuloksien perusteella, kuinka hulevesien hallinta edistää kaupunkien kestävyyttä muun muassa tulvasuojelun, viihtyisyyden, innovaatioiden sekä luonnonvarojen hallinnan edistämisen muodossa. Hulevesien hallinta tällöin edistäisi kestäväää kaupunkikehitystä edistämällä puhtaan veden, kestävään infrastruktuurin ja innovaatioiden, kestävien kaupunkien ja yhteisöjen, ilmastotekojen sekä luonnonsuojelun kehitystä (Kopp ym. 2021: 144). Hulevesien hallinta on siis tärkeää kaupunkien kestävyydelle, erityisesti ympäristön, terveyden, viihtyisyyden ja turvallisuuden näkökulmista.

3 Aineistot ja menetelmät

3.1 Tutkimusalueen kuvaus

Tutkimukseni sijoittuu Turun Yliopistonmäen alueelle, joka sijaitsee Turun kaupungin keskustassa I kaupunginosassa (kuva 1). Tutkimusalueeni rajautuu alueen korkeusvaihtelun sekä tiestön mukaan, sillä vedet virtaavat pinnanmuotojen ohjaamana ja monesti siis myös teitä pitkin (Kirker & Toran 2023). Yliopistonmäki on mielenkiintoinen hulevesien näkökulmasta, sillä alueella on paljon tiiviisti rakennettua maa-alaa, koska siellä sijaitsee osa Turun yliopiston kampusalueesta (Suomi & Käyhkö 2012: 454). Alueella siis kulkee ja viettää aikaa päivittäin suuria määrä ihmisiä, jotka ovat suurimmaksi osaksi opiskelijoita tai yliopiston henkilökuntaa. Tutkimus sijoittuu Yliopistonmäen alueelle, koska alueen turvallisuus, kestävyys ja viihtyvyys on suurten ihmismäärien takia tärkeää.



Kuva 1. Tutkimusalueen rajaaminen Turun Yliopistonmäkeen korkeusmallien ja tiestön perusteella (Korkeusmalli 2 m 2022; Maastotietokanta 2022; Digiroad 2024; Turun kaupungin WMS-palvelu 2024).

Yliopistonmäen tutkimusalue on kooltaan noin 11,9 hehtaaria, ja se on maankäytöltään rakennettua aluetta, jossa sijaitsee myös viheralueita ja muuta kasvillisuutta (Turun kaupungin WMS-palvelu 2024). Tutkimuksen ajankohtana maanpeite koostuu ilmakuvasta tulkiten rakennusten katoista sekä päällystetyistä pinnoista, kallioalueista, nurmikoista sekä puiden latvustosta. Alue on kaavoitettu asemakaavassa laajalti yliopiston alueeksi. Alue on mäki, jonka päällä on tasaista pintaa. Sitä on siis mielenkiintoista tarkastella myös topografisesta näkökulmasta. Alueen korkeudet vaihtelevat välillä 15–37,5 metriä merenpinnan yläpuolella (Korkeusmalli 2 m 2022).

3.2 Digitaaliset aineistot

3.2.1 Turun kaupungin WFS- ja WMS-rajapinnat

Web Feature Service (WFS) -rajapinnat sisältävät vektorimuotoisia paikkatietoaineistoja, joita on mahdollista ottaa käyttöön paikkatieto-ohjelmistoissa internetistä verkko-osoitteilla (Zhao ym. 2017: 1). Web Map Service (WMS) -rajapinnat ovat myös verkko-osoitteiden muodossa käytettävissä, mutta ne sisältävät rasterimuotoisia kartta-aineistoja (Wu ym. 2011: 486). Rajapintapalvelut ovat yleensä ilmaisia ja vapaasti käytettävissä.

Turun kaupunki tarjoaa sekä WFS- että WMS-rajapintoja avoimesti verkkosivuillaan (Hyödynnä paikkatietoaineistoja avoimista rajapinnoista 2024). WFS-rajapinta sisältää ajantasaista vektoriaineistoa liittyen muun muassa rakennuksiin, maankäyttöön ja infrastruktuuriin. WMS-rajapinta sisältää rasterimuodossa muun muassa ilmakuvia, maastokartan, opaskartan ja kaa-voituksia. Rajapintoja voi käyttää paikkatieto-ohjelmistoissa kaupungin sivuilla ilmoitetuilla verkko-osoitteilla ilman sopimuksia tai kirjautumista. Aineistot tulevat suoraan kaupungin järjestelmistä tai tietokannoista.

Tässä tutkimuksessa käytän sekä WFS- että WMS-rajapintojen sisältämiä Turun kaupungin aineistoja. WFS-rajapinta-aineistot, joita tässä tutkimuksessa käytän, sisältävät tietoa Turun seudun viheralueista, kasvillisuudesta sekä rakennuksista (Turun kaupungin WFS-palvelu 2024). WMS-rajapinta-aineistot, joita käytän tutkimuksessa, ovat ilmakuvia sekä asemakaavoja Turun seudulta (Turun kaupungin WMS-palvelu 2024). Käytän aineistoja lähinnä päällekkäisanalyysissä digitointivaiheessa. Aineistot kuitenkin tukevat myös tutkimuksessa tehtävien analyysien tulkitsemisessä sekä alueellisen kontekstin ymmärtämisessä.

3.2.2 Korkeusmallit

Korkeusmallit ovat maanpinnan muotojen numeerisia esityksiä, joita käytetään usein muun muassa hydrologisiin analyyseihin sekä vesienhoidon suunnitteluun (Oksanen ym. 2017: 6). Suomessa korkeusmalleja valmistaa tunnetusti Maanmittauslaitos. Tässä tutkimuksessa käytän Maanmittauslaitoksen ilmalaserkeilaukseen perustuvaa korkeusmalli 2 m (KM2) -aineistoa sekä maastotietokannan korkeuskäyriä.

Maanmittauslaitoksen korkeusmalli 2 m kuvaa maanpinnan korkeutta pois lukien irtonaiset geologiset kohteet, ihmisten muodostamat väliaikaiset pinnanmuodot sekä ihmisen luomat rakenteet (Oksanen ym. 2017: 9). Korkeusmallin korkeusjärjestelmä on N2000 ja hilakoko 2 m x 2 m (Oksanen ym. 2017: 10). Se on tuotettu ilmalaserkeilaukseen perustuvasta pistepilviaineistosta, jossa pistetiheys on ainakin 0,5 pistettä neliometriä kohden. Korkeustiedon tarkkuus on korkeusmallissa 0,3 metriä (Maanmittauslaitoksen maastotietokohteet 2023: 74).

Maastotietokannan korkeuskäyrä-aineisto, joka on myös Maanmittauslaitoksen tuottama, kuvaa maanpinnan korkeutta merenpinnan tasosta samanarvokäyränä (Maanmittauslaitoksen maastotietokohteet 2023: 73–74). Käyrät on mitattu 5 metrin korkeusvälein, mutta aineistossa on myös 2,5 metrin apukäyriä kuvaamassa tasaisia alueita sekä maanpinnan pieniä muotoja. Korkeuskäyrien lisäksi niiden yhteydessä on hyvä käyttää korkeuskäyrän korkeusarvo -aineistoa, joka löytyy myös maastotietokannasta. Se on korkeuskäyrään tallennettava tekstikohde, jonka luvut osoittavat käyrän korkeusarvoa (Maanmittauslaitoksen maastotietokohteet 2023: 74).

3.2.3 Hulevesikaivot

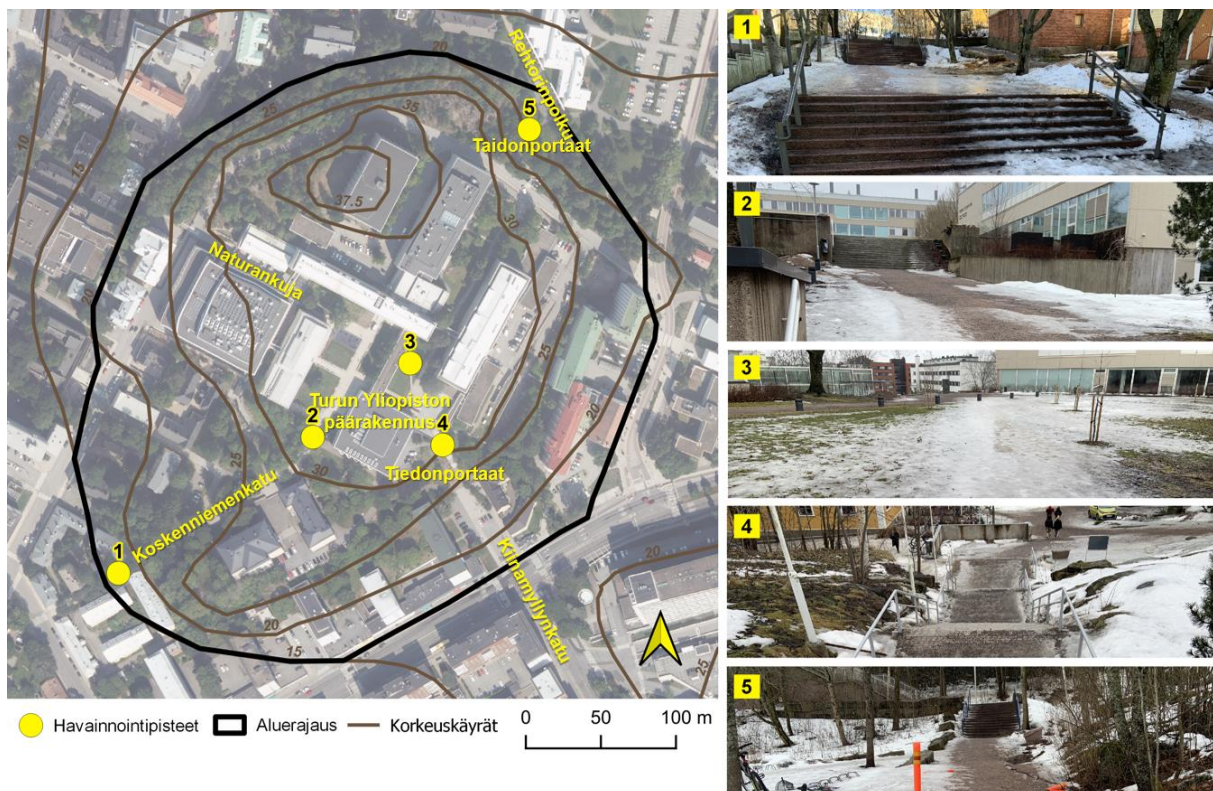
Tutkimuksen kontekstissa hulevesikaivoilla tarkoitetaan kaivojen kansia, eli kaivojen maapäällistä ritiläosaa, jota kautta vesi kulkeutuu hulevesiviemäriin. Hulevesikaivojen sijaintitiedot eivät ole avointa dataa, eli aineisto täytyy hankkia tilauksena niistä vastaavilta tahoilta. Turun kaupungin tapauksessa tiedot hulevesikaivojen sijainneista on tilattava johtokarttaotteena (Johtokartta 2017). Johtokartta sisältää muun muassa Turun kaupungin yleisten alueiden maanalaiset johdot, kaapelit sekä rakennelmat. Vaikka aineisto ei ole julkinen, on se kuitenkin maksuton.

Hulevesikaivoaineisto sisältää hulevesikaivojen sijainnit dwg-muodossa pisteinä. Aineisto on asetettu ETRS89-GK23FIN-koordinaattijärjestelmään Turun kaupungin linjausten mukaisesti. Aineisto sisältää pisteitä, jotka kuvaavat nimenomaan ritiläkaivoja, joiden kautta hulevesi kulkeutuu viemäriverkostoon. Hulevesikaivopisteet sijaitsevat vain aluerajauksen sisällä ja välittömässä läheisyydessä, sillä aineisto oli rajattava sitä tilatessa. Kaivonkansien joukko, joka on valikoitunut aineistoon, sisältää vain kunnan vastuulla olevat hulevesikaivot, eikä esimerkiksi kiinteistöjen omalla vastuulla olevia kaivoja. Yliopistonmäen alueella siis on enemmän kaivoja, kuin aineistossa esitetään.

3.3 Kenttähavainnointi

Valmiin aineiston lisäksi tässä tutkimuksessa käytän tuottamaani havainnointiaineistoa. Havainnoinnin tavoitteena on ymmärtää tarkasteltavaa ilmiötä tutkimuksen kohteen näkökulmasta ja tehdä niistä induktiivisesti johtopäätöksiä (Juuti & Puusa 2020: 9–10). Havainnointi on vuoropuhelussa muiden digitaalisten aineistojen sekä teorian kanssa, minkä avulla on mahdollista saada uusia näkökulmia ja laajempaa ymmärrystä aiheen tarkasteluun.

Olen tuottanut tämän tutkimuksen havainnointiaineiston vuoden 2024 helmikuun aikana. Roo-
lini havainnoinnissa on ollut ulkopuolinen, eli olen pysynyt ilmiön ulkopuolella vaikuttamatta sen kulkuun (Juuti & Puusa 2020: 128). Havainnointi on toteutettu säännöllisesti helmikuun jokaisena torstaina. Olen kohdistanut havainnoinnit tutkimusalueella viiteen eri pisteeseen (kuva 2). Havainnointipisteet ovat sellaisissa kohteissa, joissa kulkee ihmisiä päivittäin, ja joissa korkeusmallin perusteella olisi mahdollisuutta hulevesiongelmille. Tällaisia kohteita ovat tässä tutkimuksessa tasaiset tai hieman koverat päällystetyt pinnat sekä portaiden ympäröivät rinnealueet (Kirker & Toran 2023).



Kuva 2. Havainnointipisteet 1–5 tutkimusalueella Yliopistonmäellä. Kuvan oikeassa reunassa on havainnointipisteiden 1–5 luonnetta ja olosuhteita havainnollistavia kuvia numeroituna vastaavasti. (Maastotietokanta 2022; Turun kaupungin WMS-palvelu 2024).

Piste 1 sijaitsee tutkimusalueen vasemmassa reunassa Koskenniemenkadun portaikon alaosassa. Piste 2 sijaitsee Koskenniemenkadun portaikon yläosassa Turun yliopiston päärakennuksen lähellä. Piste 3 on Yliopistonmäen keskiosassa tasaisella nurmikkoalueella. Piste 4 sijaitsee Tiedonportailla, Kiinamyllynkadun pohjoisimmassa päädyssä. Piste 5 sijaitsee Taidonportailla, joka on Rehtorinpolun varrella. Suuri osa pisteistä sijaitsee porrasalueilla, sillä niiden läpi kulkee paljon ihmisiä päivittäin. Hulevedet myös todennäköisesti hakeutuvat kyseisille alueille, sillä ne sijaitsevat rinteessä, joita pitkin vedet pyrkivät virtaamaan alas (Kirker & Toran 2023). Piste 3 kuitenkin sijaitsee tasaisella nurmikkoalueella, mikä on hulevesien kerääntymisen ja infiltraation kannalta mielenkiintoista.

Teen havainnoinnit havainnointirunkoon nojaten, jotta havainnoinnit kiinnittyisivät tiettyihin alueen ja hulevesien hallinnan ominaisuuksiin (liite 1). Kiinnitän havainnoinneissani ensisijaisesti huomiota sääolosuhteisiin, havainnointialueen maanpintaan, hulevesien kerääntymiseen, kulkeutumiseen ja hallintamenetelmiin tai niiden puutteeseen sekä huleveden mahdollisiin lähteisiin. Näiden tekijöiden perusteella saisin hyvän kuvan siitä, miten hulevedet ja erityisesti sulamisvedet käyttäytyvät ja miten niitä hallitaan Turun Yliopistonmäellä.

Toteutin havainnoinnit tiettyinä havainnointipäivinä, eli vuoden 2024 helmikuun jokaisena torstaina 1., 8., 15., 22. ja 29. päivä siten, että tarkastelin jokaista havainnointipistettä noin 15 minuutin ajan. Tässä ajassa tarkkailin havainnointipisteen ympäristöä, maanpintaa ja mahdollisia hulevesiä tai niitä aiheuttavia tekijöitä. Otin jokaiselta alueelta kuvia yleisesti havainnointipisteen kokonaisuudesta sekä yksityiskohtaisemmin tietyistä huomioista (kuva 3). Kuvien avulla on tällöin mahdollista myöhemmin vertailla eri päiviä, pisteitä sekä analyysien tuloksia keskenään. Tein myös havainnointirunkoon perustuvia muistiinpanoja samoista syistä (liite 2).



Kuva 3. Havainnointipisteeltä otettuja esimerkkikuvia. Vasemmalla puolella on yleinen kuva alueen kokonaisilmeestä ja olosuhteista. Oikealla taas yksityiskohtaisempaa kuvaa hulevesiin liittyvistä huomioista. Kuvat on otettu 1.2.2024 pisteeltä 4.

3.4 Analyysimenetelmät

Tässä tutkimuksessa teen vertailevan päällekkäisanalyysin digitaalisista aineistoista. Analyysissä sijoitan läpäisemättömät ja läpäisevät pinnat, korkeusmallit sekä hulevesikaivot päällekkäin, jotta saan selville, miten hulevesien kulkeutumiseen ja keräytymiseen vaikuttavat tekijät sijoittuvat Yliopistonmäelle. Samalla teen analyysejä siitä, minne hulevedet näiden tekijöiden perusteella todennäköisimmin kulkeutuvat ja kerääntyvät. Jotta päällekkäisanalyysi voidaan toteuttaa, on aineistoille tehtävä muokkauksia. Vertailevan päällekkäisanalyysin tavoitteena on havainnollistaa niitä tekijöitä, jotka vaikuttavat hulevesien kulkuun Yliopistonmäellä. Samalla on erityisen tärkeää tunnistaa tekijöiden vuorovaikutus, sillä hulevesien hallinta on kokonaisvaltainen ilmiö, jonka osa-alueet vaikuttavat toisiinsa.

Turun WFS- ja WMS- aineistojen avulla digitoin Yliopistonmäen maanpeitteen, johon kuuluu läpäisemättömät rakennetut alueet, kuten rakennusten katot ja päällystetyt alueet, sekä läpäisevät alueet, kuten nurmikot ja muut kasvillisuusalueet. Jaoin mäen maanpeitteen kolmeen eri luokkaan: kattopintaan, läpäisevään pintaan ja läpäisemättömään pintaan. Digitoinnin tein ArcGIS Pro -paikkatieto-ohjelmistolla. Maanpeitteen luokittelun avulla tulkitseen, miten hulevedet käyttäytyvät Yliopistonmäellä. Esimerkiksi läpäisevällä nurmikkoalueella hulevedet todennäköisesti imeytyvät maaperään, kun taas asfaltoidulla alueella ne joko kulkeutuvat eteenpäin tai kerääntyvät riippuen topografiasta. Digitoidun aineiston attribuuttitaulusta laskin alueellisia tunnuslukuja läpäisemättömien ja läpäisevien pintojen pinta-aloista.

Korkeusmalliaineistoista voin aluerajausten ja digitoinnin jälkeen laskea Yliopistonmäen pintojen jyrkkyyksiä ja kaltevuuksia. Rinnekaltevuuden laskeminen onnistuu yhtälöllä

$$\tan \alpha = \frac{x}{y}, \quad (2)$$

jossa α tarkoittaa rinteiden kaltevuutta, x rinteiden korkeutta ja y rinteiden pituutta. Kyseessä on siis geometriaan perustuva yhtälö, jossa rinnettä tarkastellaan suorakulmaisena kolmiona, jonka kateetit ovat x ja y . Yhtälön avulla määritän Yliopistonmäen rinteiden kaltevuudet laskemalla ne ArcGIS Pro -paikkatieto-ohjelmistossa tehtyjen mittausten ja korkeusmallin tietojen perusteella. Yhtälön jälkimmäisellä osalla voidaan myös määrittää rinteiden jyrkkyyso prosentit, kun jaetaan rinteiden korkeus x rinteiden pituudella y . Määritin kaltevuudet sekä asteina että prosentteina koillis-, kaakkois-, lounais-, luoteis- ja pohjoisrinteiltä, sillä ne ovat selvästi kaltevia, eikä niissä ole rakennuksia mahdollisen pintavalunnan esteenä. Niiden tarkastelu on siis mielekästä tutkimuksen kannalta.

Maanpeitteen ja jyrkkyyksien lisäksi huleveden käyttäytymisen analyysissä on hyvä huomioida hulevesikaivot, joiden kautta vesi pääsee karkaamaan alueelta viemäreitä pitkin pois. Päällekkäisanalyysin viimeisenä elementtinä asetan hulevesikaivoaineiston maanpeitteen ja jyrkkyyksien aineistojen päälle, jotta saan kokonaisvaltaisen kuvan tekijöistä, jotka keskeisesti vaikuttavat hulevesien kulkuun. Kun kaikki analyysin osat ovat päällekkäin vertailtavissa, tulkiten aineistoista hulevesien käyttäytymistä eli sitä, minne hulevedet todennäköisesti kulkeutuvat, kerääntyvät ja imeytyvät. Tämän lisäksi tulkiten keinoja, joilla tätä käyttäytymistä hallitaan ja sitä, onko alueella joitain ongelmakohtia tai toimivasti suunniteltuja alueita hulevesien hallinnan näkökulmasta.

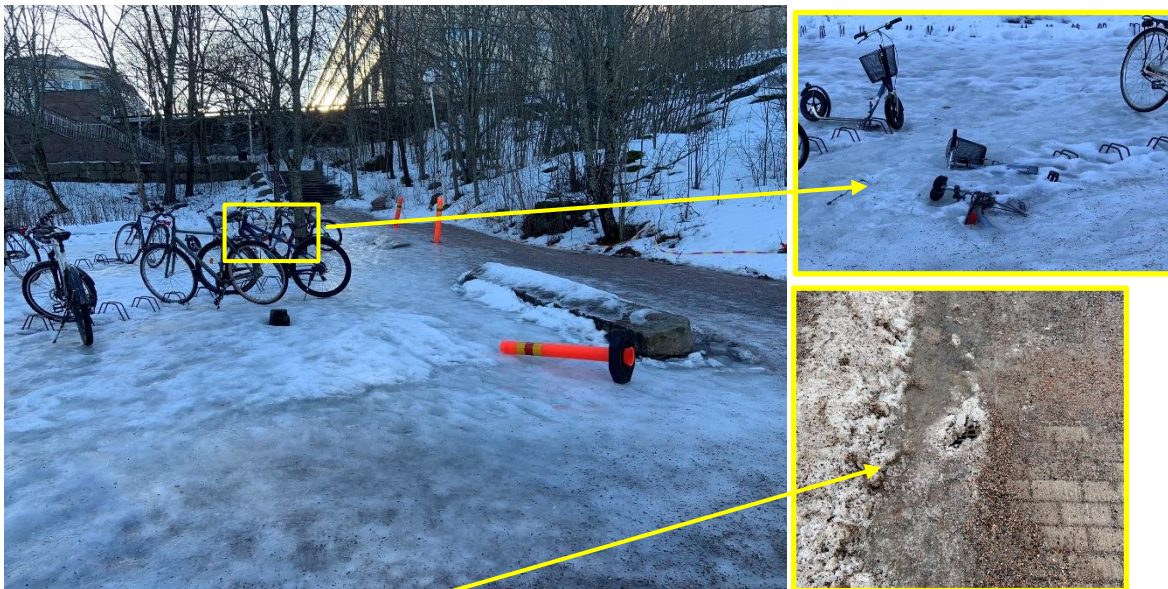
Päällekkäisanalyysin ja sen tulkinnan jälkeen vertailen saatuja tuloksia havainnoinnin tuloksiin. Tällöin on mahdollista vertailla analyysin tuloksia alueen todelliseen tilanteeseen, erityisesti talvisen havainnointiajankohdan kontekstissa. Olen tehnyt päällekkäisanalyysin lähinnä sadevesien näkökulmasta, sillä se ottaa huomioon yleisesti alueen pintavalunnan. Analyysin vertailu havainnoinnin tulosten kanssa tuo siis sulamisvesien ulottuvuutta tarkemmin esille, sillä kaikkia sulamisvesiin liittyviä elementtejä, kuten lumen kasausta paikkoja tai hulevesikaivojen kansien jäätymistä, ei ole mahdollista nähdä ilmakuvista tai paikkatietoaineistoista.

4 Tulokset

4.1 Havainnointi

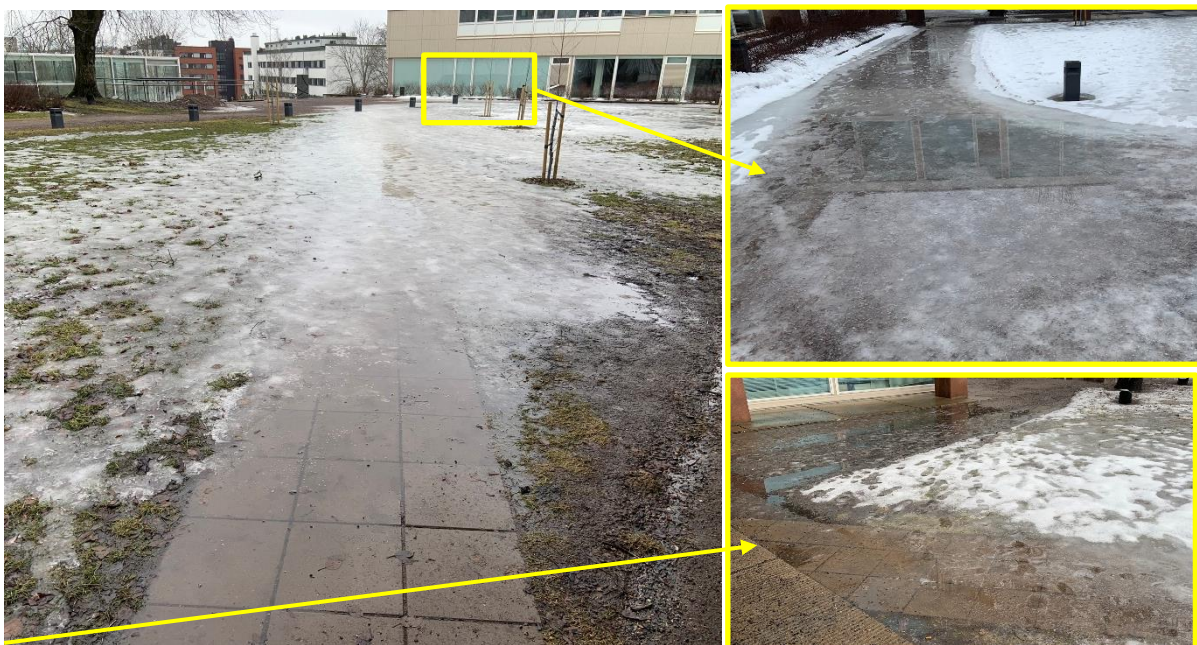
Havainnoinnin tuloksena on havainnointiaineisto, joka koostuu viidellä eri pisteellä tehdyistä havainnoista viitenä eri päivänä vuoden 2024 helmikuun jokaisena torstaina (liite 2). Havainnoinnin tuloksiin kuuluu myös kuvat ja videot, joita otin havainnointiajankohtina. Tuloksia on havainnointirungon mukaisesti viidestä eri näkökulmasta: säähän, maanpintaan ja hulevesien kerääntymiseen, hallintaan sekä lähteeseen liittyvät havainnot (liite 1).

Maanpinta oli jokaisella havainnointipisteellä jokaisena havainnointiajankohtana lumen tai jään peitossa (kuva 4). Oli siis vaikea tulkita, oliko havainnointipisteiden maanpeite esimerkiksi asfalttoitua eli läpäisemätöntä vai hiekoitettua eli läpäisevää. Portaat olivat myös lähes jatkuvasti jään tai loskan peitossa kaikilla pisteillä, joilla portaita oli. Portaita sisältäviä pisteitä ovat pisteet 1, 2, 4 ja 5. Erityisesti havainnointipisteellä 5 oli huomattavan paksu jää- ja lumipeite maassa, jonka takia esimerkiksi hulevesikaivot olivat jäätyneet umpeen (kuva 4). Maan peittyminen aiheutti haittoja myös jalankulkijoille ja pyöräilijöille, sillä maa oli liukas ja pysäköidyt pyörät olivat jäätyneet maahan kiinni.



Kuva 4. Huomioita havainnointipiste 5 maanpeitteestä. Vasemmalla olevasta suuresta kuvasta voidaan huomata, kuinka maa on täysin jään peittämä. Oikealla ylemmässä kuvassa on maahan jäänyt polkupyörä. Oikealla alemmassa kuvassa nähdään, kuinka hulevesikaivo on jäänyt umpeen.

Hulevettä kerääntyi tasaisille alueille päivinä, joina oli lämmintä tai sateista tai joita edelsi lämpimiä tai sateisia päiviä. Lämpimät päivät lisäsivät sulamisveden osuutta hulevedestä. Sateisten päivien hulevesi koostui lähinnä sadevedestä. Sade kuitenkin lisäsi myös sulamisvettä, kun jäät ja lumikasat sulivat sateen seurauksena. Kaikilla pisteillä oli siis havaittavissa hulevesien kerääntymistä lätäköiksi tasaisille pinnoille (kuva 5). Sulamis- ja sadevettä virtasi samalla portaita pitkin. Lätäköitä kertyi tällöin portaikkojen välitasangoille ja alaosaan sekä pisteen 3 tasaiselle nurmikkoalueelle. Ongelmia hulevesien kerääntymisessä ilmenikin eniten havainnointipisteellä 3, jossa jäätynyt tasainen nurmikkoalue oli täynnä lätäköitä (kuva 5). Tästä aiheutui haittoja alueella kulkeville, sillä tulvinut alue on keskeinen kulkuväylä.



Kuva 5. Huomioita hulevesien kerääntymisestä havainnointipisteellä 3. Vasemmalla olevasta suuresta kuvasta nähdään, kuinka nurmikon keskelle laatoitettu kulkuväylä on täysin sulamisveden peitossa. Ylhäällä oikealla olevassa kuvassa. Oikealla olevissa kuvissa havainnollistuu tarkemmin, kuinka laajalle sulamisvedet kerääntyivät.

Jokaisella pisteellä oli havaittavissa hulevesien hallintaa. Joillakin alueilla hallintamenetelmiä oli kuitenkin enemmän kuin toisilla. Kasvillisuutta oli jokaisella pisteellä. Puita löytyi jokaiselta pisteeltä ja pensaita sekä muuta kasvillisuutta löytyi pisteiltä 4 ja 5. Lämpäisvää pintaa oli pisteellä 3, joka on nurmikkoaluetta. Kuitenkin myös piste 5 oli osaksi lämpäisvää, sillä portaikon alaosassa ollut tienpätkä paljastui lumen sulaessa hiekkatieksi. Kasvillisuuden ja lämpäisvien pintojen merkitys on hulevesien hallinnan näkökulmasta talvella kuitenkin vähäinen. Hulevesikaivoja oli vaihtelevia määriä pisteissä 2, 4 ja 5. Eniten kaivoja löytyi pisteeltä 4, jossa kaivojen sijainnit olivat toimivia ja hulevesi virtasi niihin tehokkaasti (kuva 6). Muissa pisteissä kaivojen kannet olivat usein jäätyneitä umpeen tai muuten tukossa esimerkiksi hiekoitushiekan

takia. Veden ohjausta oli havaittavissa pisteillä 3 ja 5, mutta ohjauksen vaikutus hulevesien hallintaan oli lähes olematonta. Tämä johtuu siitä, että veden ohjaus oli kävelyteiden reunoilla olevia loivia uria, jotka olivat havainnoinnin aikana täynnä jäätä, lunta tai hiekoitushiekkaa.



Kuva 6. Havainnointipisteen 4 hulevesikaivoja. Vasemmalla oleva suurempi kuva havainnollistaa hulevesikaivojen sijainteja. Oikealla olevat kuvat näyttävät kaivot tarkemmin. Oikealla olevista kuvista voi myös hahmottaa, kuinka kaivojen ympärillä olevat sulamisvedet suuntaavat kaivoja kohti.

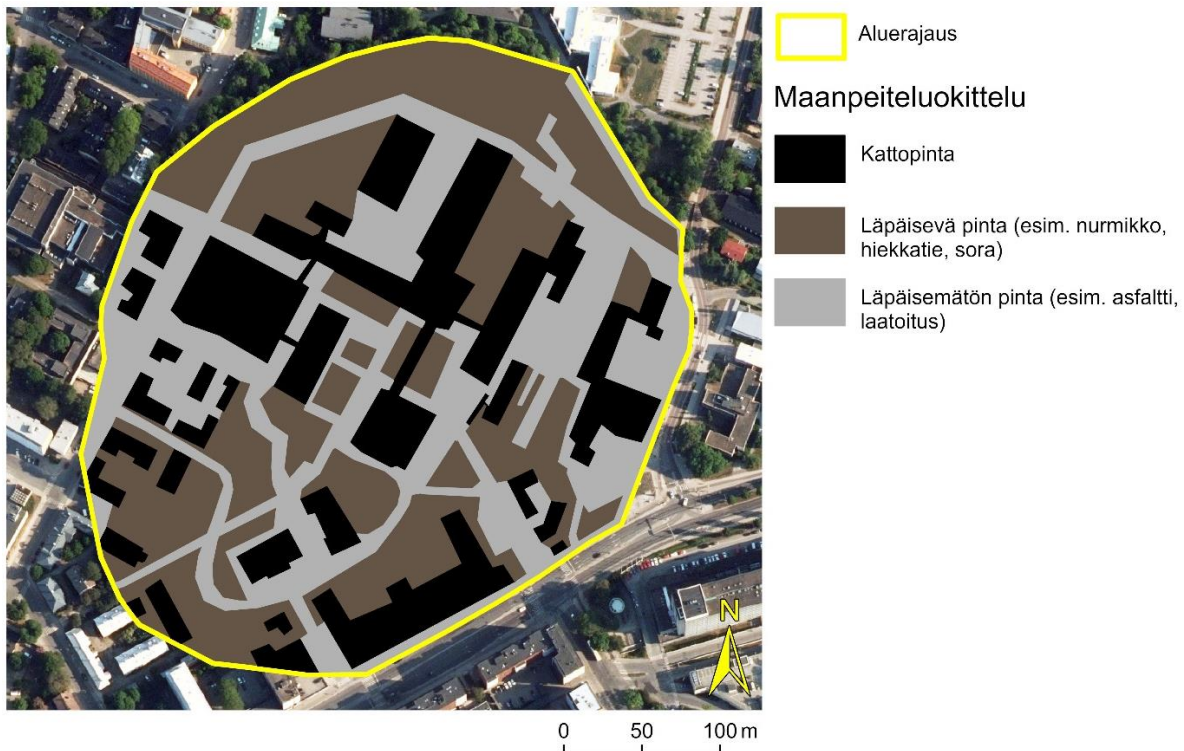
Hulevesien merkittävimmät lähteet sulamisveden näkökulmasta olivat rinteisiin ja portaisiin kasatut lumikasat (kuva 7). Näitä oli havaittavissa pisteillä 1, 2, 4 ja 5. Lumikasat sulavat, kun lämpötilat kasvavat ja sademäärät lisääntyvät, jolloin sulamisvettä virtaa portaita ja rinteitä pitkin. Vettä kerääntyy tämän seurauksena portaiden välitasangoille ja juurelle. Myös sadekuurot kerryttivät paljon hulevettä havainnointipisteisiin, kun jäiset hulevesiviemärien kannet ja maaperä eivät imeyttäneet vettä pois pinnoilta. Muita hulevesiä lisääntyviä tekijöitä olivat pisteitä 4 ja 5 ympäröivät rinteissä olevat ryteiköt, joilta virtasi sulamis- ja sadevettä kulkuväylille. Metsäiset ryteiköt lisäävät alueilla hulevesiä, sillä niihin kerääntyy lunta, paannejäättä ja vesilätäköitä, joita ei ole mahdollista kerätä tai esimerkiksi aurata pois, joten ne sulavat ja valuvat topografian mukaan rinnettä alas kulkuväylille. Myös havainnointipisteiden 3 ja 4 tasaisuus tai koveruus kerryttää vettä. Hulevesi siis virtaa rinteiltä ja kerääntyy Yliopistonmäen tasangoille ja juurelle. Lumikasojen sekä portaisiin kerääntyneen jään ja lumen vaikutukset hulevesien muodostumiseen oli havaittavissa erityisesti havainnointipisteellä 1 (kuva 7).



Kuva 7. Esimerkki huleveden lähteistä havainnointipisteeltä 1. Kuvassa on samat portaat eri havainnointipäivinä. Vasemmanpuoleisessa kuvassa portaille on kasattu lunta ja jäämurskaa. Oikeanpuoleisessa kuvassa sama lumi ja jää on sulanut kaksi viikkoa myöhemmin hulevesiksi. Vesi virtaa kuvassa portaita pitkin ja kasautuu portaiden välitasanteille. Sulamisvesi sitten jäätyy portaille uudestaan, minkä takia portaat ovat liukkaat.

4.2 Päällekkäisanalyysi

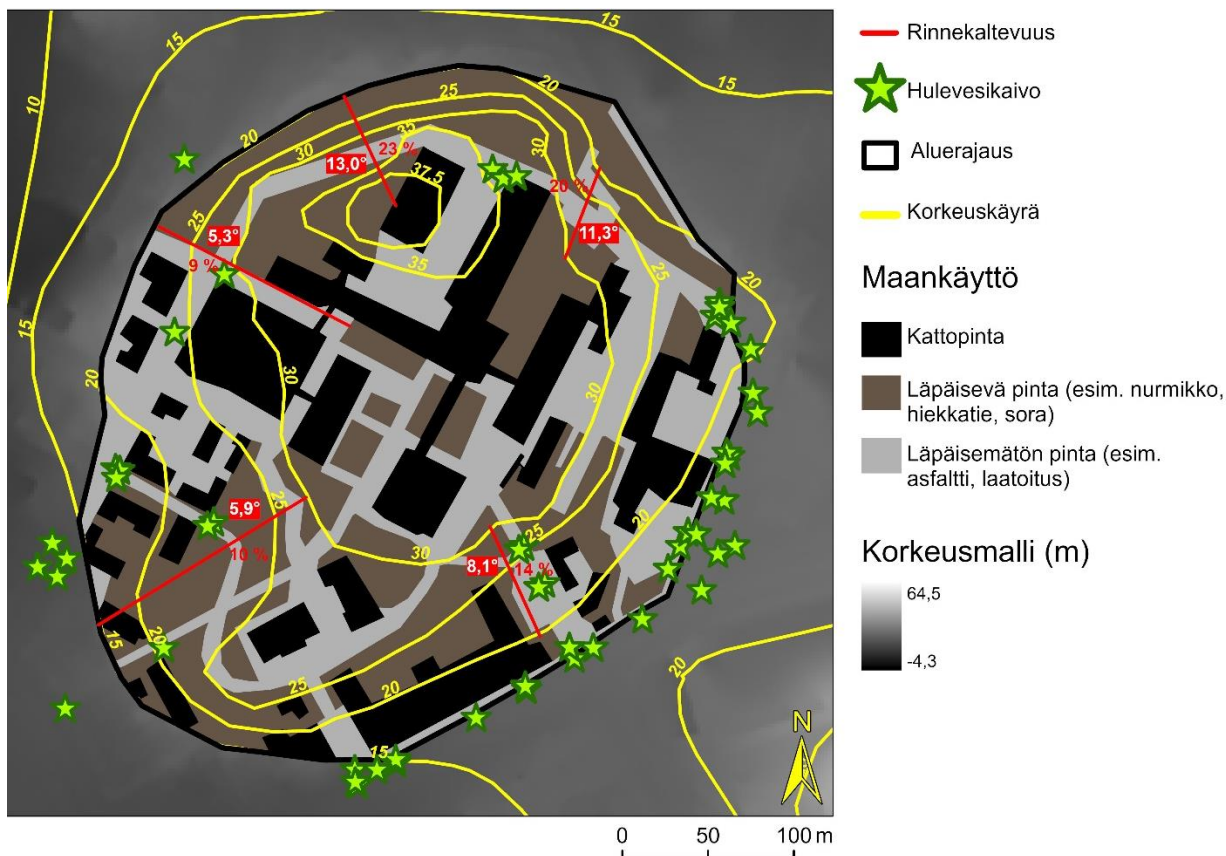
Päällekkäisanalyysin ensimmäisen vaiheen tuloksena jaoin Turun Yliopistonmäen maanpeitteen kolmeen eri luokkaan: kattopintaan, läpäisevään pintaan ja läpäisemättömään pintaan (kuva 8). Tutkimusalueen kokonaispinta-ala on noin 11,9 hehtaaria. Rakennusten kattoja on pinta-alaltaan digitoinnin mukaan noin 3,3 hehtaaria eli noin 28 % alueen kokonaispinta-alasta. Muuta läpäisemätöntä pintaa, kuten asfaltoituja teitä ja parkkipaikkoja tai muita päällystettyjä pintoja, on noin 4,1 hehtaaria eli noin 34 % alueen pinta-alasta. Yhteensä läpäisemätöntä pinta-alaa on siis noin 7,4 hehtaaria eli 62 % alueen pinta-alasta. Läpäisevää pintaa, kuten nurmikoita, metsikköjä tai sorateitä, on alueella noin 4,5 hehtaaria eli noin 38 % alueen kokonaispinta-alasta.



Kuva 8. Turun Yliopistonmäen maanpeite luokiteltuna kattopintaan, läpäisevään pintaan ja läpäisemättömään pintaan (Turun kaupungin WMS-palvelu 2024).

Analyysin toisessa vaiheessa laskin alueen rinteiden kaltevuuksia korkeusmallien ja paikkatieto-ohjelmiston mittaustyökalun avulla. Koillisrinteen eli taidonportaiden rinteiden kaltevuuskulma on noin $11,3^\circ$. Kaakkoisrinteen eli tiedonportaiden rinteiden kaltevuuskulma on $8,1^\circ$. Lounaisrinteen eli Koskenniemenkadun portaikon rinteiden kaltevuuskulma on $5,9^\circ$, ja se on rinteistä loivin. Luoteisrinteen eli Naturankujan rinteiden kaltevuuskulma on $5,3^\circ$. Vesilinnantien kohdalla sijaitsevan pohjoisimman rinteiden kaltevuuskulma on $13,0^\circ$, ja se on rinteistä jyrkin.

Analyysin kolmannessa vaiheessa asetin kaikki päällekkäisanalyysin osat päällekkäin (kuva 9). Päällekkäisanalyysistä voidaan tulkita hulevesien mahdollista käyttäytymistä eli sitä, minne hulevedet todennäköisesti kulkeutuvat, kerääntyvät tai imeytyvät. Päällekkäisanalyysistä voidaan visuaalisesti tulkita esimerkiksi hulevesikaivojen sijainteja suhteessa maankäyttömuotoihin ja rinteisiin. Kunnan ylläpitämät hulevesikaivot sijaitsevat lähinnä kulkuväylillä Yliopistonmäen juurella. Tutkimusalueen sisällä on noin 20 kunnan hulevesikaivoa. Analyysistä voidaan myös tehdä tulkintoja läpäisemättömien ja läpäisevien pintojen sijoittelusta. Alueella osassa rinteistä on läpäisevää pintaa imeyttämässä pintavaluntaa maaperään, mutta pinnat eivät välttämättä ole yhtenäisiä. Talvella imeytymistä kuitenkin tapahtuu vähän.



Kuva 9. Päällekkäisanalyysi karttamuodossa. Kuvaan on asetettu päällekkäin hulevesikaivot, korkeusmallit, maankäyttömuodot sekä muutaman valitun rinteiden kaltevuudet (Korkeusmalli 2 m 2022; Maastotietokanta 2022; Turun kaupungin WMS-palvelu 2024).

Päällekkäisanalyysistä voidaan huomata, kuinka hulevesiin vaikuttavat tekijät ovat vuorovaikutuksessa keskenään. Mäen päällä on suhteellisen paljon lämpäisemätöntä pintaa, minkä takia hulevedet eivät välttämättä imeydy maaperään heti sateen tai lumipeitteen sulamisen jälkeen. Siispä suurin osa alueen ja alueen välittömässä läheisyydessä olevista hulevesikaivoista sijaitsevat mäen juurella, sillä pintavalunta valuu mäen päältä alaspäin pinnanmuotojen mukaisesti.

5 Keskustelu

5.1 Huleveden hallinta Yliopistonmäellä

Turun Yliopistonmäellä hallitaan hulevesiä monilla eri keinoilla. Hulevesiä imeytetään maaperään läpäisevien nurmikoiden ja sora-alueiden avulla sekä johdetaan pois alueelta urien ja hulevesikaivojen avulla. Myös alueen kasvillisuus edistää hulevesien hallintaa, sillä se kuluttaa ja lopulta haihduttaa vettä pois alueelta (Riikonen ym. 2016: 1693–1694). Talvella nämä menetelmät ovat hallinnan kannalta kuitenkin puutteellisia. Muutenkin havainnoinnin ja päällekkäisanalyysin vertailun perusteella Yliopistonmäellä ilmenee useita hulevesiin liittyviä ongelmia.

Yliopistonmäen läpäisevät pinnat sijoittuvat läpäisemättömien pintojen väleihin niin, että suuria yhtenäisiä läpäiseviä alueita ei oikeastaan ole. Läpäisevää pintaa Yliopistonmäellä on noin 38 % alueen kokonaispinta-alasta, kun taas läpäisemätöntä pintaa on noin 62 %. Läpäisemätöntä pintaa on pieninä alueina ympäri Yliopistonmäkeä, ja sitä on myös määrällisesti vähän suhteessa alueen kokonaispinta-alaan. Kirker ja Toran (2023: 1–9) toteavat tutkimuksessaan, että pinta-aloiltaan pienet läpäisevät pinnat, jotka sijaitsevat rakennetun alueen keskellä, eivät ole tehokkaita infiltroimaan hulevettä, sillä maaperä tiivistyy ja kyllästyy ympäröivän rakennetun pinta-alan seurauksena. Talvella infiltraation määrä on muutenkin alhaista, kun maaperä jäätyy ja maanpinnalla on lunta ja paannejäätä. Samaa voidaan havaita Yliopistonmäen alueen läpäisevistä pinnoista, erityisesti mäen päällä olevista muutamista nurmikkoalueista, joiden ympärillä on useita suuria rakennuksia ja päällystettyjä kulkuväyliä.

Vaikka läpäisevää pintaa oli päällekkäisanalyysin tuloksien mukaan alueella vähän suhteessa läpäisemättömään pintaan, oli havainnointien perusteella kasvillisuutta alueella paljon. Jokaisella havainnointipisteellä oli joissakin määrissä kasvillisuutta eri muodoissa. Riikonen ja kollegat (2016: 1693–1694) mainitsevat kasvillisuuden olevan tehokas hulevesien hallintamenetelmä, sillä se kuluttaa ja varastoi paljon vettä. Myös Zhang ja kollegat (2022: 3267–3276) ovat todenneet, että kasvillisuuspeite on keskeinen tekijä hulevesien hallinnassa, sillä kasvillisuuden puute vaikuttaa hydrologiseen kiertoon veden varastoinnin ja evapotranspiraation vähentymisen muodossa. Kuitenkin on otettava huomioon talven konteksti ja sulamisvedet, sillä kasvillisuus ei talven aikana ole yhtä tehokas hulevesien hallintamenetelmä kuin esimerkiksi kesällä, kuten Khadka ja kollegat (2020: 595) toteavat tutkimuksessaan. Vähentyneen evapotranspiraation takia veden varastointi ja ohjaaminen on talvella tärkeämpää kuin kasvillisuuden lisäys.

Hulevesikaivoja eli vesien johtamista pois alueelta löytyi monelta havainnointipisteeltä. Kaivoja oli myös päällekkäisanalyysin perusteella runsaita määriä. Päällekkäisanalyysin perusteella tutkimusalueen sisällä on noin 20 hulevesikaivoa. Kuitenkin useampi havainnoinneissa mainittu hulevesikaivo ei ole kunnan ylläpitämä, eikä siten näkynyt päällekkäisanalyysissä. Siispä hulevesikaivojen sijainnin toimivuuden tulkinta analyysin perusteella osoittautui puutteelliseksi. Havainnoinneista sai kuitenkin hyvän käsityksen kaivojen toimivuudesta. Suurin osa hulevesikaivoista oli sijoitettu niin, että sade- ja sulamisvedet kulkeutuivat niihin suoraviivaisesti. Kuitenkin osa kaivoista oli ajoittain jäänyt umpeen tai muuten tukossa. Vaikka hulevesien perinteinen maanalainen viemärointi toimii osassa kohteista tehokkaasti, ei siihen voida täysin nojautua. Nazarpour ja kollegat (2023: 2) muistuttavat tutkimuksessaan, että harmaa infrastruktuuri ei tulevaisuudessa kestä nopeasta kaupunkien laajenemisesta ja ilmastonmuutoksesta johtuvaa lisääntyvää hulevesien määrää. Kuitenkin Yliopistonmäellä se oli talven kontekstissa yksi tehokkaimmista hallintamenetelmistä, kun läpäisevät pinnat tai kasvillisuus eivät infiltroineet tai varastoineet vettä.

Muita mahdollisia hulevesien hallintamenetelmiä ovat Luon ja kollegoiden (2023) esittelemät läpäisevät päällysteet sekä Nazarpourin ja kollegoiden (2023) esittelemät hulevesialtaat ja -ojat. Havainnoinnin ja analyysien perusteella vastaaville hallintamenetelmille on mahdollisuuksia ja tilaa Turun Yliopistonmäellä. Hulevesialtaat voisivat toimia sulamisvesien hallinnassa, sillä sulamisvedet voivat virrata niihin. Sulamisvesien varastointi olisi täten niissä mahdollista. Läpäisevät päällysteet vaatisivat suurempaa uudistusta Yliopistonmäellä, mutta lopulta sitä olisi Luon ja kollegoiden (2023: 2627) mukaan helppo ylläpitää ja kunnostaa ilman, että se veisi ylimääräistä tilaa kaupunkimaisemasta. Läpäisevät päällysteet kestävät myös routaa hyvin. Yleisesti hulevesien hallinnassa on Yliopistonmäellä paljon kehitettävää, sillä sulamisvesien huomiointi on havainnointien perusteella jäänyt vähemmälle. Siispä alueella olisi kiinnitettävä huomiota lumen kasaamisen sijoitteluun ja ajankohtiin, sillä kulkuväylille ja rinteisiin kasattu lumi lopulta sulii ja virtasi alueella, minkä jälkeen se jäättyi uudestaan, kuten Hyman-Rabeler & Loheide (2023: 3) tutkimuksessaan esittivät. Lumi- ja jääpeitteen uudelleenjäätymisen johtaa siihen, että myös maaperä jäätyy, mistä seuraa infiltraation vähentymistä, pintavalunnan lisääntymistä sekä pintojen liukkauteen. Samaa ilmiötä oli havaittavissa Yliopistonmäellä.

5.2 Hulevesien kulkeutuminen Yliopistonmäellä

Turun Yliopistonmäen rinteet ovat jyrkkiä, sillä niiden kaltevuuskulmat ovat 5,3 ja 13,0 asteen välillä. Prosentteina rinteiden jyrkkyydet ovat 9 ja 23 %:n välillä. Pintavalunta siis hakeutuu topografian mukaan mäen rinteitä alaspäin. Yliopistonmäellä on kuitenkin tasanteita, esimerkiksi mäen laella sekä portaiden välitasangoilla, joihin vesi kerääntyy. Tämän lisäksi pintojen läpäisevyys vaikuttaa huleveden kulkeutumiseen. Talvella voidaan kuitenkin olettaa, että lähes kaikki pinnat ovat läpäisemättömiä lumipeitteen, paaanjään ja roudan seurauksena.

Havainnointipisteistä neljä sijaitsivat rinteessä ja yksi tasaisella pinnalla. Tasaisella pinnalla sijaitsevalla pisteellä 3 oli havaittavissa ongelmia huleveden kerääntymisen kanssa, sillä sade- ja sulamisvedet eivät virranneet alueelta pois tai imeytyneet maaperään roudan ja lumipeitteen takia. Päällekkäisanalyysistäkin voidaan huomata alueen mahdollinen ongelmallisuus, sillä se on topografialtaan laaja tasainen alue, jolla on paljon rakennettua pintaa ja vain vähän läpäiseviä alueita. Hulevedet siis hakeutuivat tälle tasaiselle pinnalle pinnanmuotojen ohjaamana.

Rinteessä sijaitsevilla havainnointipisteillä oli havaittavissa paljon hulevesien kulkeutumista kohti mäen juurta. Pintavalunta kulki erityisen paljon portaita pitkin. Päällekkäisanalyysistäkin voidaan huomata, että portaita sisältävät rinteet olivat suhteellisen jyrkkiä rinteitä, eikä niissä ollut rakennuksia tai muita pintavaluntaa pysäyttäviä esteitä. Siispä tällaiset porrastetut rinteet ovat sellaisia, joihin hulevesi mielellään hakeutuu.

Päällekkäisanalyysistä sekä havainnoinneista voidaan myös huomata, kuinka Yliopistonmäkeä ympäröi monet tiet. Koska hulevesi valuu mäen päältä kohti mäen pohjaa, virtaavat hulevedet kohti kulkuväyliä. Tiet ovat myös usein ikään kuin suurten urien mallisia, joten vedet hakeutuvat niille mielellään. Kuitenkin analyysistä voidaan havaita, että Turun kaupunki ylläpitää useita hulevesikairoja, jotka sijaitsevat teillä, mikä vähentää hulevesitulvien riskiä.

Kirker ja Toran (2023) tarkastelevat tutkimuksessaan pintojen jyrkkyyksien vaikutuksia hulevesien kulkeutumiseen. He toteavat tutkimuksessaan, että alueilla, joilla on samat jyrkkyyssasteet ja sama läpäisemättömän pinnan osuus, oli havaittavissa eriyvää pintavalunnan määrää (Kirker & Toran 2023: 9). Hulevesien kulkeutumiseen vaikuttaa siis läpäisemättömien pintojen määrän ja kaltevuuksien lisäksi se, miten läpäisemättömät pinnat ovat sijoiteltu alueella. Kaltevuuksien ja pintojen määrien tarkastelu ei siis aina kuvaa hulevesien hallinnan kokonaisuutta.

Pintojen kaltevuuksien ja maankäyttömuotojen lisäksi hulevesien kulkeutumiseen vaikuttaa kasvillisuus. Kasvillisuus pidättää pintavaluntaa lisäämällä infiltraatiota, sillä juuret tekevät maaperästä huokoisempaa, minkä takia maaperän infiltraatiokyky kasvaa (Zhang ym. 2022). Kasvillisuus sitoo myös maaperää yhteen, kun juuret estävät muun muassa eroosiota ja maanvieremiä. Yliopistonmäellä on sijoitettu rinteisiin runsaasti kasvillisuutta, mikä hallitsee hulevesien kulkeutumista. Talvella tämä kasvillisuus ei kuitenkaan välttämättä hidasta hulevesien kulkua.

5.3 Talven vaikutukset hulevesien kulkeutumiseen ja hallintaan

Hydrologinen kiertokulku on talvella erilainen kuin muina vuodenaikoina, sillä sadantaa tulee nestemäisen veden sijaan myös lumena, joka akkumuloituu lumipeitteeksi ja -kasoiksi. Tämän lisäksi evapotranspiraatio on alhaista, lämpötilat ovat matalia ja maaperä ei imeytä vettä yhtä paljon jään ja lumen takia (Bäckström ja Viklander 2000). Lumen kerääntyminen, alhainen evapotranspiraatio sekä heikko infiltraatio vaikuttavat merkittävästi hulevesiin: talvella sulamisvesistä ja sadevesistä johtuva valunta ei imeydy tai kulkeudu samalla tavalla kuin lämpiminä kausina. Tässä tutkimuksessa tehdyn havainnoinnin perusteella voin todeta talvisten hulevesi-ilmiöiden toteutuneen myös Yliopistonmäellä.

Yliopistonmäen alueilla, joilla hulevesien hallinta oli havainnoinnin perusteella suunniteltu läpäisevien pintojen ja kasvillisuuden muodossa, oli ongelmia huleveden kerääntymisessä. Hyman-Rabeler ja Loheide (2023) totesivatkin tutkimuksessaan, että kylmien ilmastojen alueilla vettä ei imeydy paljoa maaperään, mikä johtaa hulevesiongelmiin. Samaa oli havaittavissa tutkimusalueella. Talven seurauksena infiltraatio vähenee, minkä takia hulevesien hallintaa olisi suunniteltava vaihtoehtoisin menetelmin (Bäckström & Viklander 2000).

Lumen kerääntyminen oli yksi keskeisimmistä hulevesiin vaikuttavista tekijöistä tässä tutkimuksessa. Lumikasat vaikuttivat merkittävästi hulevesiin, sillä ne keskittyivät usein jyrkkien rinteiden yläosiin tai portaisiin, josta ne sulivat ja virtasivat alamäkeen. Kaupunkien lumipeitteen albedo on alhaisempi ja lämpötilat ovat korkeampia lämpösaarekeilmion seurauksena, minkä takia lumikasat sulavat tehokkaasti (Kuusisto 1984: 134). Tämän takia lumikasat vaikuttavat suoraan ja merkittävästi huleveden määrään. Ilmastomuutoksen seurauksena talven lämpötilat nousevat, minkä takia lumet sulavat useammin kesken talvea johtaen suurempiin sulamisvesimääriin (Hyman-Rabeler & Loheide 2023).

6 Johtopäätökset

Turun Yliopistonmäellä on paljon kehitettävää hulevesien hallinnassa, erityisesti talven kontekstissa. Tässä tutkimuksessa tehdystä havainnoinnista ilmeni, että alueella on monia hulevesiongelmia talviaikaan. Yliopistonmäellä havaitsin paljon lätäköitä, joista osa voitaisiin luokitella jo tulvimiseksi. Havaitsin myös hulevesien virtaamista kulkuväylillä, erityisesti portaissa sekä paikoitellen riittävien hulevesien hallintamenetelmien puuttumista. Lumien kasaus rinteisiin ja portaisiin aiheutti suuren osan hulevesiongelmista, sillä niistä sulavat sulamisvedet virtaavat lämpimien tai sateisten kelien seurauksena pinnanmuotojen mukaisesti rinteitä alaspäin.

Hulevesien virtaaminen ja kerääntyminen talviaikaan voi johtaa turvallisuusriskeihin ja taloudellisiin menetyksiin. Kun alueella on runsaasti sade- ja sulamisvesiä, voivat ne johtaa kylmien lämpötilojen seurauksena maaperän routimiseen, liukkaisuun pintoihin sekä paannejäähän (Kuusisto 1984). Maaperän routiminen voi johtaa rakennetun pinnan vaurioihin, joiden korjaaminen on vaikeaa ja kallista. Liukkaat pinnat ja paannejää ovat sen lisäksi turvallisuusriski alueella kulkeville. Myös routa voi aiheuttaa Yliopistonmäellä turvallisuusriskejä, sillä alueella on runsaasti rakennuksia, joiden perustukset voivat heikentyä maaperän jääntymisen ja roudan sulamisen seurauksena.

Tulevaisuudessa Yliopistonmäellä tulisi kiinnittää enemmän huomiota hulevesien hallintaan talvella, sillä tämän tutkimuksen perusteella hallintaa on pitkälti suunniteltu ja toteutettu muiden vuodenaikojen ehdoilla. Ensimmäisenä alueella tulisi huomioida se, minne lumi aurataan ja kasataan. Lunta ei siis tämän tutkimuksen perusteella tulisi kasata rinteisiin tai portaikkoihin. Vaihtoehtoisesti alueelta tulisi poistaa sellaiset lumikasat, jotka ovat kasattu rinteisiin tai portaikkoihin, ennen kuin ne sulavat. Toinen huomioitava tekijä on varastointiin ja ohjaamiseen perustuvien hulevesien hallintamenetelmien lisääminen (Bäckström & Viklander 2000). Yliopistonmäelle voisi siis rakentaa esimerkiksi hulevesialtaita tai ojia, joihin sade- ja sulamisvedet kerääntyisivät kulkuväylien sijaan. Viimeisenä tulisi pohtia läpäisevien tienpäällysteiden mahdollisuuksia, sillä ne kestävät routaa tehokkaammin kuin läpäisemättömät päällysteet (Luo ym. 2023: 2628). Mahdollisuuksia hallinnan kehittämiseksi on siis useita.

Lähteet

- Batalini De Macedo, M., Nóbrega Gomes Júnior, M., Pereira De Oliveira, T. R., H. Giacomoni, M., Imani, M., Zhang, K., Ambrogi Ferreira Do Lago, C., & Mendiondo, E. M. (2022) Low impact development practices in the context of United Nations Sustainable Development Goals: A new concept, lessons learned and challenges. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 52(14) 2538–2581.
<https://doi.org/10.1080/10643389.2021.1886889>
- Brutsaert, W. (2005) *Hydrology: an introduction*. Cambridge University, Cambridge.
- Bäckström, M. & Viklander, M. (2000) Integrated stormwater management in cold climates. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 35(8) 1237–1249.
<https://doi.org/10.1080/10934520009377033>
- Conley, G., Beck, N., Riihimäki, C. A. & Hoke, C. (2019) Improving urban trash reduction tracking with spatially distributed Bayesian uncertainty estimates. *Computers, Environment and Urban Systems* 77 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurb-sys.2019.05.001>
- Davis, T. (2006) *The dictionary of physical geography*. 4. p. Wiley Blackwell, Chichester.
- Digiroad (2024) Väylävirasto, Helsinki 2024.
- Douglas, I. (2018). The challenge of urban poverty for the use of green infrastructure on floodplains and wetlands to reduce flood impacts in intertropical Africa. *Landscape and Urban Planning* 180 262–272. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.09.025>
- Fischer, C. S. & Merton, R. K. (1984) *The urban experience*. 2. p. Harcourt Brace Jovanovich, San Diego.
- Fletcher, T. D., Andrieu, H. & 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* 51 261–279. <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.09.001>
- Hakala, H. & Välimäki, J. (2003) *Ympäristön tila ja suojele Suomessa*. 2. p. Gaudeamus, Helsinki.
- Holden, J. (2018) *An introduction to physical geography and the environment*. 4. p. Pearson Education, Harlow.
- Hyödynnä paikkatietoaineistoja avoimista rajapinnoista (2024) Turun kaupunki. 3.3.2024. <<https://www.turku.fi/turku-tieto/kartat-ja-paikkatieto/karttapalveluiden-rajapinnat>>
- Johtokartta (2017) Turun kaupunki. 4.3.2024. <<https://www.turku.fi/palvelut/johtokartta>>

- Juuti, P. & Puusa, A. (2020) *Laadullisen tutkimuksen näkökulmat ja menetelmät*. Gaudeamus, Helsinki.
- Khadka, A., Kokkonen, T., Niemi, T. J., Lähde, E., Sillanpää, N. & Koivusalo, H. (2020) Towards natural water cycle in urban areas: modelling stormwater management designs. *Urban Water Journal* 17(7) 587–597.
<https://doi.org/10.1080/1573062X.2019.1700285>
- Kirker, A. N. & Toran, L. (2023) When impervious cover doesn't predict urban runoff: lessons from distributed overland flow modeling. *Journal of Hydrology* 621.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129539>
- Kopp, J., Frajer, J., Lehnert, M., Kohout, M. & Ježek, J. (2021) Integrating concepts of blue-green infrastructure to support multidisciplinary planning of sustainable cities. *Problems of Sustainable Development* 16(2) 137–146.
<https://doi.org/10.35784/pe.2021.2.14>
- Korkeusmalli 2 m (2022) Lehti L3324B. Maanmittauslaitos, Helsinki 2022.
- Kuusisto, E. (1984) *Snow accumulation and snowmelt in Finland*. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 55.
- Maastotietokanta (2022) Korkeuskäyrä, lehti k_L3324L_v. Maanmittauslaitos, Helsinki 2022.
- Li, W., Guo, J., Yuan, J., Liu, H. J. & Edwards, D. J. (2022) Exploring the key indicators of social impact assessment for sponge city PPPs: a sustainable development perspective. *Buildings* 12(9). <https://doi.org/10.3390/buildings12091329>
- Luo, H., Yang, J., Zhang, W., Yang, M., Chen, L. & He, B.-J. (2023) Cooling and purification effect of permeable pavements. *Journal of Water and Climate Change* 14(8) 2626–2641. <https://doi.org/10.2166/wcc.2023.006>
- Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/132. Annettu Helsingissä 5.2.1999-
- Maanmittauslaitoksen maastotietokohteet (2023) Maanmittauslaitos, Helsinki. 4.3.2024.
<https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2023/06/Maastotietokohteet_2023_05.pdf>
- Monrabal-Martinez, C., Meyn, T. & Muthanna, T. M. (2019) Characterization and temporal variation of urban runoff in a cold climate – design implications for SuDS. *Urban Water Journal* 16(6) 451–459. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2018.1536758>
- Nazarpour, S., Gnecco, I. & Palla, A. (2023) Evaluating the effectiveness of bioretention cells for urban stormwater management: a systematic review. *Water* 15(5) 1–37.
<https://doi.org/10.3390/w15050913>

- Oksanen, J., Sirkiä, O., Ahonen, T., Ilves, R., Pyysalo, U. & Ahokas, E. (2017) Kansallisen maastotietokannan laatumalli: korkeusmallit. Maanmittauslaitos, Helsinki. 3.3.2024. <https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2017/05/KMTK_korkeusmallit_laatuksikirja_2017-01-02.pdf>
- Riikonen, A., Järvi, L. & Nikinmaa, E. (2016) Environmental and crown related factors affecting street tree transpiration in Helsinki, Finland. *Urban Ecosystems* 19(4) 1693–1715. <https://doi.org/10.1007/s11252-016-0561-1>
- Schneider, A., Friedl, M. A. & Potere, D. (2009) A new map of global urban extent from MODIS satellite data. *Environmental Research Letters* 4(4) 1–11. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/4/4/044003>
- Suomi, J. & Käyhkö, J. (2012) The impact of environmental factors on urban temperature variability in the coastal city of Turku, SW Finland. *International Journal of Climatology* 32(3) 451–463. <https://doi.org/10.1002/joc.2277>
- Tahmasebi Nasab, M. & Chu, X. (2021) Do sub-daily temperature fluctuations around the freezing temperature alter macro-scale snowmelt simulations? *Journal of Hydrology* 596. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125683>
- The 17 goals (2024) United Nations. 15.4.2024. <<https://sdgs.un.org/goals>>
- Turun kaupungin WFS-palvelu (2024) Avoin data, Turun kaupunki, Turku 2024.
- Turun kaupungin WMS-palvelu (2024) Avoin data, Turun kaupunki, Turku 2024.
- Wirth, L. (1938) Urbanism as a way of life. *The American Journal of Sociology* 44(1) 1–24.
- Wu, H., Li, Z., Zhang, H., Yang, C. & Shen, S. (2011) Monitoring and evaluating the quality of Web Map Service resources for optimizing map composition over the internet to support decision making. *Computers & Geosciences* 37(4) 485–494. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2010.05.026>
- Zhang, C., Wu, C., Peng, Z., Kuai, S. & Zhang, S. (2022) Synergistic effects of changes in climate and vegetation on basin runoff. *Water Resources Management* 36(9) 3265–3281. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03199-w>
- Zhao, T., Zhang, C. & Li, W. (2017) Adaptive and optimized RDF query interface for distributed WFS data. *ISPRS International Journal of Geo-Information* (6)4 1–18. <https://doi.org/10.3390/ijgi6040108>

Liitteet

Liite 1. Havainnointirunko

Havainnointi Turun Yliopistonmäen alueella helmikuun 2024 aikana keskittyi seuraaviin aiheisiin:

1. Säätila (Havainnointipäivän keskilämpötila, ylin ja alin lämpötila ja sademäärä)
2. Maanpinta (Onko läpäisevää vai läpäisemätöntä, onko maa jäässä/lumessa?)
3. Hulevesien kerääntyminen (Onko lätäköitä tai puroja? Minne hulevesi kerääntyy tai kulkeutuu?)
4. Hulevesien hallinta (Onko hulevesikaivoja tai muuta veden ohjausta/varastointia?)
5. Huleveden lähde (Mistä hulevettä virtaa tai kertyy alueelle? Mistä sitä voisi tulla?)

Liite 2. Havainnoimalla kerätty aineisto

	Pvm.	Maanpinta	Hulevesien kerääntyminen	Hulevesien hallinta	Huleveden lähde
Piste 1	1.2.	Jäässä. Ei näy alla olevaa maata. Portaiden askelmat ovat paljaana. Hiekoitettu.	Jäässä pientä virtausta portaita alaspäin. Portaiden lopussa iso lätäkkö suojatien ylityskohdassa.	Portaiden reunalla on puita. Niitä on kuitenkin kaadettu. Ei näy veden ohjausta tai viemäreitä.	Hulevettä virtaa portaiden yläosasta kohti alaosaa. Portaiden reunoille on kasattu lumikasvoja, jotka sulavat, kuten myös alaosassa.
	8.2.	Jäässä ja lumessa. Maassa ja portailla on paljon jäämurskaa, mikä vaikeuttaa portaille astumista. Hiekoitettu.	Hulevettä ei ole kerääntynyt eikä sitä virtaa (huom. alhainen lämpötila).	Portaiden reunalla on puita. Ei edelleenkään näy ohjausta tai muuta.	Portaisiin on jätetty koko leveydeltä paksut kerrokset jäämurskaa ja lumikasvoja. Näyttää siltä, että jäätä olisi rikottu pois portaista, mutta se oli jätetty paikoilleen. Tämä sitten lämpimillä keileillä sulaa.
	15.2.	Maa on paksumman lumipeitteen peitossa. Portaille on kasattu lisää lunta. Ei hiekoitusta.	Hulevettä ei ole kerääntynyt eikä sitä virtaa (huom. edeltävä viikko kylmä).	Ei ole ohjausta. Puita on muutamia.	Lumikasvoja ei ole moneen viikkoon poistettu portailta, paitsi yhdestä käveltävästä kaistasta, mikä todennäköisesti johtaa runsaasti sulamisvesiin.
	22.2.	Maa on loskan ja jään peitossa. Osa alla olevasta maasta on tullut esiin voimakkaiden hiekkaa huuhtovien hulevesivirtojen takia. Pinta on läpäisemätöntä. Ei hiekoitusta.	Portaiden alaosassa, suojatien ylityskohdassa on valtava lätäkkö. Tekee suojatien ylityksestä hankalaa. Vettä virtaa puroina portaita pitkin alas. Portaiden tasanteilla on lätäköitä.	Vettä ei ole ohjattu mihinkään, eikä lumikasvoja ole poistettu missään kohtaa portailta.	Portaille aiempina viikkoina kasatut lumikasat alkavat nyt sulamaan nopeaa vauhtia, minkä takia vettä virtaa portaita pitkin alamäkeen suht. voimakkaana virtana. Edeltävän viikon runsaat sateet vaikuttavat myös.
	29.2.	Maassa on loskaa ja hiekoitushiekkaa runsaasti. Maan pinta näkyy. Se on läpäisemätöntä.	Portaiden alaosassa on lätäkkö. Vettä valuu portaita pitkin alamäkeen (loskassa uurteita).	Ei vielä näy veden ohjausta. Hieman on kasvillisuutta, mutta tähän aikaan vuodesta se ei paljo auta.	Portaille kasatut lumikasat, tien reunuksen lumikasat, viime viikkojen runsaat sateet.
Piste 2	1.2.	Jäässä, ei näy alla olevaa maata, paitsi portaiden askelmissa. Hiekoitettu.	Hulevettä ei ole kerääntynyt, eikä sitä näy virtaavan.	Portaiden yläosassa on ritiläkäivon tyypinen kaistale, joka ohjaa hulevedet pois ennen, kuin ne kulkeutuvat portaiden askelmille. Näitä on 2. Puita ja pensaita on useita.	Portaiden reunaan on kasattu lumikasvoja, jotka sulavat.

	8.2.	Maa on jäässä ja lumessa. Myös askelmat ovat osaksi jäässä. Muuta maata ei näy. Hiekoitettu.	Hulevettä ei ole kerääntynyt eikä sitä virtaa (huom. alhainen lämpötila).	Kaksi hulevesikaivoa on edelleen esillä. Toinen on jäänyt osaksi umpeen. Puut ja pensaat edelleen.	Portaiden reunassa ei ole enää lumikasoja.
	15.2.	Maa ja portaiden askelmat ovat tasaisen lumipeitteen peitossa. Portaille ja rinteeseen on kasattu lunta. Ei hiekoitusta.	Hulevettä ei ole kerääntynyt eikä sitä virtaa (huom. edeltävä viikko kylmä).	Molemmat hulevesikaivot ovat jäätyneet tai pakkautuneet lumen seurauksena umpeen. Puita ja pensaita on.	Portaiden reunaan on kasattu suuret lumikasat. Tien reunassa rinteellä on myös paljon lunta.
	22.2.	Maa on loskan ja jään peitossa. Osa portaiden askelmista on tullut esiin. Hiekoitettu (tai vanhat hiekat ovat tulleet esiin).	Portaiden tasangoilla on lätäköitä. Vettä myös valuu hieman portaita pitkin.	Molemmat hulevesikaivot ovat paljastuneet, mutta niihin ei imeydy vettä (joko ne ovat täynnä tai ne ovat sisältä jäässä/hiekkaa täynnä jne.).	Portaiden reunaan kasatut lumikasat alkavat sulaa. Koska kaivot eivät vedä, vesi ei kulkeudu muualle vaan valuu portaita alas ja kerääntyvät lätäköiksi tasanteille. Edeltävän viikon runsaat sateet myös.
	29.2.	Maassa on loskaa, hiekoitushiekkaa ja jäätä. Maanpinta on tullut esiin, ja se on läpäisemätöntä.	Hulevettä ei ole kertynyt, eikä sitä virtaa.	Molemmat hulevesikaivot ovat paljaana. Kasvillisuutta on edelleen.	Edeltävien viikkojen runsaat sateet, portaille kasatut sulavat lumikasat, tien reunusten sulavat lumet.
Piste 3	1.2.	Jäässä ja lumessa, alla olevaa ruohikkoa pilkistää jään alta hieman. Ei hiekoitusta.	Jääkentän keskellä on muutama lätäkkö. Vesi ei virtaa.	Hulevesikaivoja tai muuta ei ole. Alue on ruohikko, mutta jäässä se ei imeytä hulevettä.	Alue on tasainen, joten siihen satava vesi jää paikoilleen, eikä valu tai imeydy.
	8.2.	Jään ja lumen peitossa. Ruohoa ei näy enää lainkaan lumen alta. Ei hiekoitusta.	Ei ole lätäköitä tai virtavaa vettä (huom. alhainen lämpötila).	Ei edelleenkaan oikeastaan hallintaa. Ruohikko ei imeytä, kun se on jäässä.	Alueen tasaisuus edelleen.
	15.2.	Täysin lumen peitossa. Ruohoa ei näy lainkaan. Ei hiekoitusta.	Hulevettä ei ole kerääntynyt eikä sitä virtaa (huom. edeltävä viikko kylmä).	Ei hallintaa. Ruohikko ei imeytä jäässä tai pakkautuneen lumen takia.	Alueen tasaisuus.
	22.2.	Loskan ja lumen peitossa. Hieman paljastuneesta ruohikosta on muodostunut mutainen lätäkkö. Ei hiekoitusta.	Suuria lätäköitä on useita. Vesi ei virtaa niistä mihinkään.	Ei oikeastaan hallintaa. Ruohikko ei imeytä, koska maaperä on jäässä.	Edellisen viikon sateet jäävät paikoilleen, kun alue on tasainen. Jäinen maaperä ei imeytä, mikä muodostaa lätäköitä.
	29.2.	Osaksi jään peitossa. Ruohikko on tullut jo paljon esiin. Pinta on siis läpäisevää, mutta se on kuitenkin jäässä.	Suuria lätäköitä on jälleen useita, eikä vesi virtaa tai imeydy mihinkään.	Vaikka ruohikko ja maaperä on tullut esiin, ei se varastoi vettä joko jään takia tai suuren kyllästyneisyyden takia.	Edeltävinä viikkoina on ollut runsaat sateet, eivätkä ne liiku alueelta pois tasaisuuden ja jään/kyllästyksen takia.
Piste 4	1.2.	Jäässä ja lumessa. Portaiden askelmatkin ovat jäässä, joten alla olevaa maata ei näy. Hiekoitettu.	Hulevettä ei ole kerääntynyt. Vedet virtaavat lähinnä viemäreitä kohti. Portaisissa vettä ei virtaa.	Hulevesikaivoja on 2 ja ritiläkaivon tyyppisiä kaistaleita 1. Kasvillisuutta ei ole. Portaiden reunoilla on kuitenkin pensaita ja puita. Veden ohjausta tai viemäreitä ei ole alaosassa näkyvillä.	Alue on kovera, joten vettä virtaa keskelle reunoilta. Portaille ja reunoille on kasattu lumikasoja, jotka sulavat. Portaiden reunoilla on runsas lumista kalliota, joka on kallistunut portaita päin.
	8.2.	Maa on täysin lumen peitossa. Portaiden askelmatkin ovat lumessa sekä jäässä. Hiekoitettu.	Hulevettä ei ole kerääntynyt. Vettä ei myös virtaa (huom. alhainen lämpötila).	Kaikki kolme hulevesiviemäriä ovat esillä.	Lumikasoja on jälleen kasattu portaille ja portaiden yläpäähän sekä koveran alueen reunoille.
	15.2.	Täysin lumen ja loskan peitossa. Portailla taas lumikasoja. Hiekoitettu.	Hulevettä ei ole kerääntynyt eikä sitä virtaa (huom. edeltävä viikko kylmä).	Kaksi kaivoista on umpeutunut pakkautuneen lumen seurauksena. Yksi on osaksi näkyvissä.	Lumikasoja on taas kasattu samoihin paikkoihin.
	22.2.	Maa ja portaat ovat pääosin loskan ja hieman lumen peitossa. Ei hiekoitusta.	Portaiden alaosassa on suuri lätäkkö. Portaiden yläosassa tasanteella	Kaikki 3 hulevesiviemäriä ovat jälleen täysin esillä.	Kallioiden lumipeite sulaa, ja vesi virtaa portaille sekä kävelytielle. Tasanteella vettä

			hulevettä virtaa lätäköistä ja lumikasoista kaivoihin.		virtaa lumikasoista. Vesi päätyy viemäriin. Edellisen viikon sateet vaikuttavat.
	29.2.	Maassa on hieman jäätä, mutta muuten maanpinta on esillä. Portaat ovat täysin paljaat. Pinta on läpäisemätöntä. Ei hiekoitusta.	Portaiden yläpäässä hulevesi virtaa viemäriin. Portaiden alaosa on lätäkkö, mutta ei millään väylällä.	Kaikki 3 hulevesiviemäriä ovat täysin esillä. Portaiden alaosa on kaivokaistale, joka on ollut lumen peitossa. Kaivoja onkin siis 4.	Edellisillä viikoilla on satanut paljon. Kallioiden lumipeite on alkanut sulaa ja kerääntyy portaiden juureen ja tasanteille. Portaiden yläosan lumikasat sulavat.
Piste 5	1.2.	Paksussa jäässä ja lumessa. Alla olevaa maata ei näy. Hiekoitettu	Hulevettä ei ole kerääntynyt. Jäässä näkyy uurteita, joita pitkin vesi on virrannut.	Hulevesikaivoja on 1, mutta se on lähes jäänyt umpeen. Mahdollinen oja on myös pakkautunut lunta täynnä. Aluetta ympäröi runsaasti puita ja muuta kasvillisuutta. Tielle on laitettu sulkupylväät ja varoitusnauhaa.	Aluetta ympäröi metsäntyyppiset rinteet, jotka ovat lunta täynnä. Rinteet kallistuvat teitä pitkin, joten lunta sulaa todennäköisesti tietä kohti.
	8.2.	Paksussa jäässä ja lumessa. Alla olevaa maata ei näy. Hiekoitettu.	Hulevettä ei ole kerääntynyt eikä sitä virtaa (huom. alhainen lämpötila).	Aiemmin havaittua hulevesikaivoa ei enää näy, sillä se on jäänyt umpeen. Muuten sama kuin edellisviikolla. Tiellä on edelleen sulkupylväät ja varoitusnauhaa.	Tielle päin kallistuvilla rinteillä on edelleen paljon lunta.
	15.2.	Portaat ovat loskassa, maa on paksun jään sekä lumen peitossa. Hiekoitettu.	Hulevettä ei ole kerääntynyt eikä sitä virtaa (huom. edeltävä viikko kylmä).	Hulevesikaivo on edelleen jäänyt umpeen. Lumen alta on paljastunut pieni ojan tyyppinen kouru tien vieressä. Kasvillisuutta on. Sulkupylväät ja varoitusnauhat on.	Rinteillä on jälleen runsaasti lunta. Rinteen yläosasta paljastui pieni puron näköinen kouru, joka mahdollisesti kuljettaa hulevettä tielle ja portaille.
	22.2.	Maa on loskan ja lumen peitossa. Maata ei edelleen näy. Ei hiekoitusta.	Hulevettä on kerääntynyt mäen alaosaan tien reunan (jossa viemäri pitäisi olla). Jään uurteet ovat kasvaneet, kun vettä on virrannut enemmän runsaiden sateiden takia.	Hulevesikaivo on vieläkin umpinainen, vaikka edeltävällä viikolla on satanut runsaasti. Tien viereinen oja paljastuu yhä enemmän.	Rinteiden lumipeite on alkanut sulaa, ja vesi oletettavasti virtaa alamäkeen suoraan kävelytielle. Edellisen viikon sateet vaikuttavat myös.
	29.2.	Maassa on jäätä ja hiekoitushiekkaa. Maanpinta on tullut näkyviin, ja sen on läpäisemätöntä. Portaiden alaosa on kuitenkin hiekkatietä, mutta se on edelleen jään peitossa.	Lätäköitä ei ole, mutta vettä virtaa portaiden alaosaan olevaa tienreunaa pitkin. Jäässä on vahvat uurteet, ja tien viereinen oja on paljastunut entistä enemmän.	Pitkään jäänyt hulevesikaivo on nyt osaksi paljastunut. Näyttää kuitenkin siltä, että joku on tarkoituksella rikkonut sen päällä olevan jään, jotta kaivo näkyisi. Toisen tien vieressä on oja.	Edellisten viikkojen sateet sekä tien reunalla olevan metsikön lumipeite alkaa sulaa ja valua kohti portaita ja teitä.