

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SÄRKILAHDEN HULEVESIMALLI

TEKIJÄ Juha Soili

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Juha Soili	
Työn nimi Särkilahden hulevesimalli	
Päiväys 1.6.2023	Sivumäärä/Liitteet 26
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kuopion kaupunki	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli mallintaa Kuopion Särkilahden alueen hulevesijärjestelmät ja sen valuma-alueelle kertyvien hulevesien määrä ja työn tilaajana toimi Kuopion kaupunki. Osana työtä tilaajalle toimitettiin hulevesimallin lisäksi mallinnusraportti.</p> <p>Mallinnustyö toteutettiin Kuopion kaupungin, Ohje hulevesimallinnukseen -ohjeen mukaisesti. Ohje edellyttää kaikkien tilaajalle luovutettavien hulevesimallien tulee olla yhteensopivia EPA:n SWMM-ohjelmiston kanssa. Työn tekemisessä käytettiin myös QGIS paikkatieto-ohjelmistoa, jonka avulla tilaajan toimittamia hulevesijärjestelmien sekä Maanmittauslaitoksen paikkatietoaineistoa digitoitiin.</p> <p>SWMM-ohjelmistossa kaivot, putket sekä valuma-alueet voidaan piirtää joko SWMM:n graafisen käyttöliittymän kautta tai määrittää manuaalisesti .inp -muodossa olevaan tekstitiedostoon. Yleensä kaupungit ja kunnat pitävät yllä hulevesiverkostotietoja paikkatietoaineistona shape tai geopackage -tiedostoina, kuten Kuopion kaupunki tässä tapauksessa. Tällä hetkellä SWMM ei pidä sisällään tuontitoimintoa eikä prosessointi työkaluja näille tiedostomuodoille toisin kuin QGIS. Tässä työssä tiedostojen siirrot ohjelmistojen välillä tehtiin QGIS:ssä Generate_SWMM_inp -lisäosan avulla. Generate_SWMM_inp on ilmainen ja avoimeen lähdekoodiin perustuva lisäosa ja sen avulla tiedostomuotojen siirto SWMM:n ja QGIS:n välillä on mahdollista joko paikkatieto tai Excel -muodoissa.</p> <p>Opinnäytetyössä kuvattiin paikkatietoaineistolta edellytettävät parametrit onnistuneeseen tiedostojen siirtoon QGIS:n sekä EPA:n SWMM-ohjelmiston välillä. Työssä havaittiin mallinnustyön olevan mahdollista toteuttaa QGIS:n ja EPA:n SWMM-ohjelmistojen kaltaisilla vapaaseen lähdekoodin pohjautuvilla ohjelmistoilla ja saavuttaa hulevesimallissa laadukas resoluutio</p>	
Avainsanat Hulevesimallinnus, hulevesi, paikkatieto, QGIS, SWMM	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology	
Author(s) Juha Soili	
Title of Thesis StormwaterModel of Särkilahti	
Date 1.6.2023	Pages/Appendices 26
Client Organisation /Partners City of Kuopio	
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to model the stormwater system in Särkilahti area in the city of Kuopio and the amount of stormwater that accumulates in its catchment area. The city of Kuopio commissioned the work. As part of the work, in addition to the stormwater model, a modeling report was delivered to the customer.</p> <p>The modeling work was carried out in accordance with the guidelines of the city of Kuopio. The instructions required that all stormwater models handed over to the customer must be compatible with the EPA SWMM software. The QGIS geospatial software was also used in the work to digitize the geospatial data of the stormwater management systems.</p> <p>In the SWMM software, wells, pipes and catchment areas can be drawn either through SWMM graphical user interface or defined manually in a text file in .inp format. In general, cities and municipalities maintain stormwater network data as geospatial data in shape or geopackage files, as does the city of Kuopio. Currently, SWMM does not include an import function or processing tool for these file formats, unlike QGIS. In this work, file transfers between softwares were done in QGIS using the Generate_SWMM_inp plugin. Generate_SWMM_inp is a free and open-source add-on and with it the transfer of file formats between SWMM and QGIS is possible either in geospatial or Excel formats.</p> <p>The thesis described the parameters required for the spatial data for successful file transfer between QGIS and EPA SWMM software. In the studies, it was found that it is possible to implement the modeling work with software based on free source code, such as QGIS and EPA SWMM software, and to achieve high-quality resolution in a stormwater model.</p>	
<p>Keywords</p> <p>Stormwater modeling, stormwater, geospatialian data, QGIS, SWMM</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	HULEVEDET	7
2.1	Hulevesien lainsäädäntö	7
3	KAUPUNKIHYDROLOGIAN OMINAISPIIRTEET	8
3.1	Sadanta.....	8
3.2	Haihdunta	9
3.3	Valunta	10
3.4	Imeyntä	10
4	MALINNETTAVAN KOHTEEN KUVAUS	11
4.1	Kohteenkuvaus	11
5	MALLINNUKSEN TOTEUTUS	14
5.1	Mallinnettavan alueen rajaus	14
5.2	Osavaluma-alueiden määrittäminen	14
5.3	Osavaluma-alueissa käytetyt parametrit	16
5.3.1	Pinta-ala	16
5.3.2	Läpäisemättömien pitojen osuudet	16
5.3.3	Leveys	16
5.3.4	Kaltevuus	16
5.3.5	Painannevarastot	16
5.3.6	Virtausvastuskertoimet.....	17
5.3.7	Muut käytetyt parametrit.....	17
5.4	Hulevesiverkoston luominen	18
5.4.1	Viemärit	19
5.4.2	Kaivot	19
5.5	Mallinnuksessa käytetyt sadetapahtumat	20
6	SÄRKILAHDEN HULEVESIMALLI	21
6.1	Mallinnusraportti	22
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	24
	LÄHTEET	25

KUVALUETTELO

Kuva 1. Vuoden keskimääräinen sademäärä (vasen kartta) ja sadannaltaan yli 0,1 mm sateet (oikea kartta) Suomessa vertailukaudella 1991–2020 (Ilmatieteenlaitos julkaisuaika tuntematon).	9
Kuva 2. Mallinnettavan alueen sijainti.	11
Kuva 3. Mallinnettavan alueen maankäyttömuodot ja asemakaava merkinnät.	12
Kuva 4. Mallinnettavan alueen läpäisemättömien pintojen prosenttiosuudet.	12
Kuva 5. Mallinnettavan alueen maalajit.	13
Kuva 6. 71 osavaluma-aluetta.	15
Kuva 7. Mallinnetut hulevesiviemärit ja -kaivot.	18
Kuva 8. Malliin jätetty hulevesiviemäriverkostot (vasen kartta) ja lähtötietoina saadut hulevesiviemäriverkostot (oikea kartta).	19
Kuva 9. Kuvakaappaus NotePad -tekstieditoriin kirjatusta kerran viidessä vuodessa 10 minuutin kestoista sadetapahtumista.	21
Kuva 10. SWMM-ohjelmistolla luotu hulevesimalli, jossa kuvattu osavaluma-alueilta purkautuvat hulevedet (Subcatch Runoff), kaivojen tulviminen (Node Flooding) sekä putkien hulevesien virtaus (Link Flow).	22
Kuva 11. Esimerkki mallinnusraportissa käytetystä hulevesiviemäriin kapasiteettia kuvaavasta poikkileikkauksuvasta sekä siihen liitetystä hulevesijärjestelmien sijainnin osoittavasta karttakuvasta Mestarinkadun valuma-alueella.	23
Kuva 12. Esimerkki mallinnusraportissa käytetystä kaivojen tulvimista kuvaavasta karttakuvasta eri sadetapahtumien aikana.	23

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Läpäisemättömän pinnan vaikutus veden kiertokulkuun (Tornivaara-Ruikka 2006, 11).	8
Taulukko 2. Painannevarastojen arvot (Rossman 2022, 210).	17
Taulukko 3. Manningin kerroin n eri maan pinnoille (Rossman 2022, 211).	17
Taulukko 4. Mallinnuksessa käytetyt kerran viidessä vuodessa toistuvat sadetapahtumat.	20
Taulukko 5. Mallinnuksessa käytetyt kerran sadassa vuodessa toistuvat sadetapahtumat.	20

1 JOHDANTO

Hulevesimallinnusta voidaan hyödyntää monessa hyvin erilaisessa tilanteissa. Hulevesimalleilla voidaan kuvata ja tutkia hulevesijärjestelmien toimivuutta erilaisissa sadetapahtumissa ja osoittaa verkoston mahdolliset tulvivat kohdat. Mallien avulla voidaan kuvata veden muodostumista ja liikkumista eri valuma-alueilla sekä hulevesi- ja uomaverkostoissa. Hulevesimalleja voidaan hyödyntää myös arvioidessa eri suunnittelu vaihtoehtojen toimivuutta.

Kaupunki rakentaminen muuttaa veden luonnollista kiertokulkua. Läpäisemättömät pinnat, kuten rakennusten katot, asfaltoidut kadut ja pysäköintialueet estävät veden imeytymisen maaperään. Kaupunkirakenteiden tieltä poistettujen kasvillisuuden peittämän pinta-alan pieneneminen aiheuttaa haihdunnan vähenemistä. Läpäisemättömillä pinnoilla vesi kulkeutuu nopeammin kuin luonnonmuokaisilla läpäisevillä pinnoilla, aiheuttaen veden määrän ja virtauksien kasvua. Kasuvat vesi määrät ja virtaukset lisäävät valuntapiikkejä, joiden myötä riski hulevesijärjestelmien tulvimiselle kasvaa.

Opinnäytetyön tilaajana toimi Kuopion kaupunki ja opinnäytetyön tavoitteena oli mallintaa Kuopion Särkilahden alueen hulevesiviemäriverkosto. Mallinnettava alue rajattiin ensimmäisessä opinnäytetyön palaverissa yhdessä tilaajan sekä opinnäytetyön ohjaajan kanssa. Alueen maankäyttö koostuu pääsääntöisesti liike- ja toimistorakennusten korttelialueista sekä teollisuus- ja varastorakennusten korttelialueista. Tästä syystä alueen läpäisemättömien pintojen osuus sen valuma-alueesta on hyvin suuri. Alueella on havaittu myös tulvimista. Mallintamalla alueen hulevesiverkosto ja sen valuma-alueen keräämät vedet oli mahdollista päästä kiinni tulvimisen syihin sekä havaita mallinnettavan alueen muut mahdolliset tulva-herkät kohdat sen hulevesiviemäriverkostossa. Hulevesimallin lisäksi työhön kuului mallinnusraportin laatiminen tilaajalle.

Opinnäytetyö toteutettiin Kuopion kaupungin, Ohje hulevesimallinnukseen -ohjeen mukaan. Ohje edellyttää, että kaikkien tilaajalle luovutettavien hulevesimallien tulee olla yhteensopivia EPA:n SWMM-ohjelmiston kanssa. Työn tekemisessä käytettiin myös QGIS paikkatieto-ohjelmistoa. Opinnäytetyössä kuvaan näiden kahden, avoimeen lähdekoodiin pohjautuvan ohjelmiston välisiä vaatimuksia sekä riippuvuuksia.

2 HULEVEDET

Hulevedeksi kutsutaan rakennetulta alueelta muodostuvia sade- ja sulamisvesiä sekä perusteiden kuivatusvettä. Nämä vedet syntyvät kaduilta, teiltä ja rakennusten katoilta muodostuvana pintavaluntana.

2.1 Hulevesien lainsäädäntö

Suomessa hulevesien lainsäädäntöä säätelevät muun muassa maankäyttö ja rakennuslaki (132/199 MRL), vesihuoltolaki (119/2001, VHL), vesilaki (587/2011, VL) sekä laki tulvariskien hallinnasta eli tulvariskilaki (620/2010). Muita hulevesiin liittyviä lakeja ovat vesienhoitolaki (1299/2004, VHJL), ympäristönsuojelulaki (527/2014, YSL), luonnonsuojelulaki (1096/1996), laki kadun ja eräiden yleisten alueiden kunnossa ja puhtaanapidosta (669/1978, KatuL), maantielaki (503/2005) sekä ratalaki (110/2007) (Kuntaliitto 2017, 14).

Keskeisimpänä hulevesien lainsäädäntöä ohjaa maankäyttö ja rakennuslaki, jonka tavoitteena on järjestää alueiden käyttö ja rakentaminen niin, että siinä luodaan edellytykset hyvälle elinympäristölle ja edistetään ekologisesti, taloudellisesti, sosiaalisesti ja kulttuurisesti kestävä kehitystä (Kuntaliitto 2017, 15). Vuoden 2014 lakimuutos toi lisäyksen 13 a:n maankäyttö- ja rakennuslakiin (682/2014), joka siirsi hulevesien hallinnan vastuun asemakaava-alueilla vesihuoltolaitokselta kunnalle (Kuntaliitto 2017). Luvussa 13 a säädetään esimerkiksi hulevesien hallinnan tavoitteista, vastuista, valvonnasta, kunnan hulevesijärjestelmästä, hulevesien hallintaan liittyvistä viranomaistehtävistä, hulevesien hallinnan ohjaamisesta sekä suunnittelusta (Kuntaliitto 2017, 14).

Vesihuoltolaki pitää sisällään vesihuoltoa ja huleveden viemärointiä koskevia säännöksiä. Vuonna 2014 vesihuoltolain muuttamisen yhteydessä käsite hulevesi viemäroinnistä erotettiin vesihuolto käsitteestä. Luvulla 3 a vesihuoltolakiin lisättiin omat hulevesiviemärointiä koskevat säännökset. Samalla siirrettiin kunnan hulevesien hallintaan liittyvät järjestämisvelvollisuudet vesihuoltolaista maankäyttö- ja rakennuslakiin (Kuntaliitto 2017, 17). Vesihuoltolakia sovelletaan huleveden viemärointiin silloin, kun vesihuoltolaitos huolehtii niistä.

Tulvariskilain tarkoituksena on vähentää tulvariskejä, ehkäistä ja lieventää tulvista ihmisen terveydelle, ympäristölle, infrastruktuurille sekä taloudelliselle toiminnalle aiheutuvia vahinkoja sekä edistää tulviin varautumista (Kuntaliitto 2017, 21). Lisäksi lain tarkoituksena on myös sovittaa yhteen tulvariskien hallinta ja vesistö alueen muu hoito ottaen huomioon vesivarojen kestävä käytön sekä suojelun tarpeet (Laki tulvariskien hallinnasta 620/2010, 1 §). Tulvariskilain mukaan kunta on hulevesitulvariskien hallinnan suunnittelussa tarkoituksenmukainen vastuutaho, koska hulevesitulvien syntytapa, vaikutukset sekä niiden hallitsemiseksi tarvittavat toimenpiteet ovat paikallisia (Kuntaliitto 2017, 22).

3 KAUPUNKIHYDROLOGIAN OMINAISPIIRTEET

Suomessa yli 72 prosenttia ihmisistä asuu kaupunkialueilla (Ympäristö.fi julkaisuaika tuntematon). Kaupungistuminen ja kaupunkirakentaminen muuttavat veden luonnollista kiertokulkua ja voidaan sanoa, että rakennetussa ympäristössä on luontaisen veden kiertokulun rinnalla myös vesihuollon oma veden kiertokulkunsa (Kuntaliitto 2012, 18). Kaupunkirakentamisen myötä läpäisemättömien pintojen pinta-ala kasvaa. Läpäisemättömät pinnat estävät veden infiltraation eli imeytymisen maaperään, jolloin pintavalunta lisääntyy runsaasti. Rakentamisen vaikutuksia veden kiertoon on koottu taulukkoon 1.

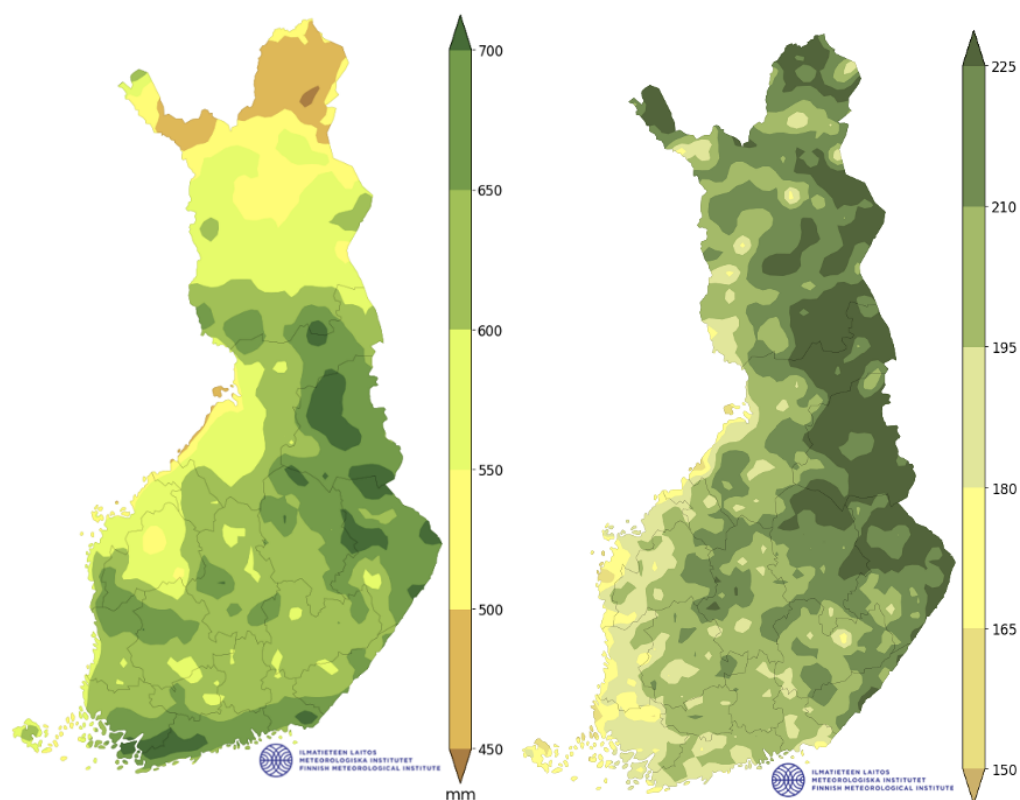
Taulukko 1. Läpäisemättömän pinnan vaikutus veden kiertokulkuun (Tornivaara-Ruikka 2006, 11).

Veden kierron osatekijä	Luonnontilainen alue (%)	Läpäisemättömän pinnan osuus (%)		
		10-20	35-50	75-100
Maa-alueelta tapahtuva haihdunta	40	38	35	30
Pintavalunta	10	20	30	55
Suodattuminen maanpinnan läheltä	25	21	20	10
Suodattuminensyvälle maahan	25	21	15	5
Yhteensä	100	100	100	100

Rakennetussa ympäristössä sadanta voi olla 5–10 prosenttia suurempaa luonnontilaan verrattuna, kun taas haihdunta luonnontilaista pienempää (Kuntaliitto 2012, 18). Lisääntyneet ja nopeasti muodostuneet hulevedet voivat aiheuttaa suurien virtaamavaihteluiden myötä tulvia. Suomen viemäriverkostosta yli 90 prosenttia on erillisviemäreitä, joissa hulevedet johdetaan lähimpään vastaan otta-vaan vesistöön (Aalto-yliopisto 2021). Hulevesien mukana huuhtoutuu päällystetyiltä pinnoilta mm. ravinteita, bakteereja, raskasmetalleja sekä öljyä vesistöihin.

3.1 Sadanta

Sadannalla tai toisin sanoen sademäärällä tarkoitetaan tietyssä ajassa eri olomuodoissa sateena maahan tulevaa vesimäärää (Vesi.fi). Suomessa vuotuinen sademäärä vaihtelee noin 500 ja 650 millimetrin välillä, kuva 1. Yhden millimetrin sademäärä vastaa yhden millimetrin paksuista vesikerrosta neliömetrin alueella. Suurimmat sademäärät satavat kesäisin, vaikka tällöin sadepäiviä on tavallisesti vähemmän, vuorokautiset sademäärät ovat kuitenkin kuurosateissa suurimmillaan (Ilmasto-opas.fi julkaisuaika tuntematon).



Kuva 1. Vuoden keskimääräinen sademäärä (vasen kartta) ja sadannaltaan yli 0,1 mm sateet (oikea kartta) Suomessa vertailukaudella 1991–2020 (Ilmatieteellinen tutkimuskeskus julkaisuaika tuntematon).

Todennäköisyyteen, että sadetapahtumat lisääntyvät rakennetuilla alueilla vaikuttavat useat tekijät. Sateiden syntyä kaupunkialueilla edesauttavat ilmansaasteiden aiheuttama lisätiivistyminen ilmassa, pintojen karkeudesta johtuva ilmavirtojen pyörteisyys sekä rakennetun ympäristön lämpötilaa kohottava vaikutus, jonka vuoksi lämpö kulkeutuu kaupunki alueiden yläpuolelle (Kotala, Nurminen & Vakkilainen 2005, 12).

3.2 Haihdunta

Haihdunnalla tarkoitetaan nestemäisessä tai kiinteässä muodossa olevan veden muuttumista vesihöyryksi. Rakennetussa ympäristössä haihtuminen on yleensä suhteellisen vähäistä. Tähän vaikuttavat kasvillisuuden vähyys verrattuna päällystettyihin pintojen määrään, toisaalta haihtumista tapahtuu myös katoilta sekä katujen pinnoilta. Vettä haihtuu kasvillisuudessa kahdella eri tavalla. Transpiraationa, jolloin kasvit käyttävät haihtuvan veden elin toimintoihinsa sekä interseptio haihduntana, jolloin kasvien pinnoille pidättynyt vesi haihtuu ilmakehään. Maan, veden ja lumen päältä tapahtuvaa haihduntaa kutsutaan evaporaatioksi.

3.3 Valunta

Maan pinnalla ja maaperässä liikkuvan veden määrää kutsutaan valunnaksi. Pintavalunnalla tarkoitetaan sademäärää (mm), joka ei imeydy vaan valuu pitkin maan pintaa (Vesi.fi). Mitä enemmän alueella on läpäisemätöntä pintaa, sitä enemmän ja tehokkaammin satanut vesi synnyttää pintavaluntaa. Kasvanut valunnan määrä nostavat virtausnopeuksia viemäreissä, avouomissa sekä maan pinnalla. Rungas ja tiheä kasvillisuus alentavat sateen aiheuttamia valunta ja virtaus huippuja hidastaen pintavaluntaa ja edistäen veden imeytymistä juuristoon. Yleensä kaupungistuminen lisää valuntaa, jonka vuoksi pintakerros- ja pohjavesivalunta heikkenee (Kotala 2005, 8). Pintavalunnan muodostumiseen vaikuttavat mm. sateen kesto ja voimakkuus, sadetapahtumaa edeltävä kuivan ajan pituus, maanpinnan kaltevuus sekä maaperän ominaisuudet (Kuntaliitto 2012, 93).

3.4 Imeyntä

Imeyntä tai imeytymistä tarkoitetaan maaperään suotautuvaa sadevesimäärää. Rakennetussa ympäristössä tehokas sadevesiviemärointi, vähäinen kasvillisuus sekä läpäisemättömien pintojen rungas määrä vähentävät sadeveden imeytymistä maaperään. Monesti myös rakennetun ympäristön luonnonmukaisia läpäiseviä pintoja on muokattu joko tiivistämällä tai kokonaan poistamalla niin, ettei läpäisevät pinnatkaan kykene imeyttämään sadevesiä luonnolliseen tapaan (Björninen 2010, 4).

4 MALINNETTAVAN KOHTEEN KUVAUS

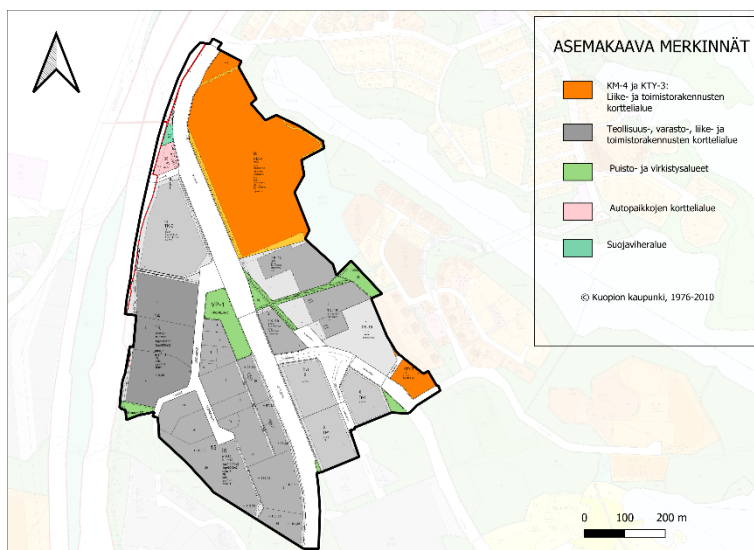
4.1 Kohteenkuvaus

Mallinnettava alue sijaitsee noin 4 kilometriä Kuopion keskustasta lounaaseen, kuva 2. Aluetta halkoo Leväsentie etelästä kiinteistön 7 h:n (Biltema-tavaratalo) kohdalta pohjoiseen 2:n saakka (Kaupakeskus Herman). Lännessä alue rajautuu valtatie 5:een ja lännessä Särkilahden asutusalueeseen. Mallinnettava alue on pinta-alaltaan noin 52 hehtaaria.



Kuva 2. Mallinnettavan alueen sijainti.

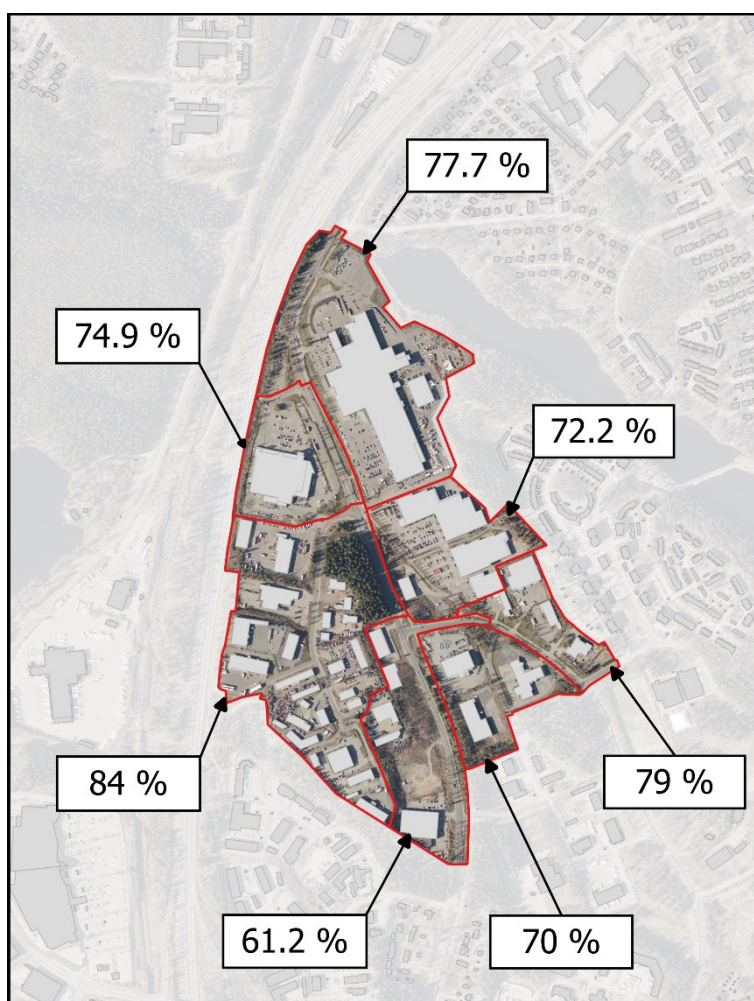
Valtaosa alueen maankäytöstä kuuluu liike- ja toimistorakennusten korttelialueeseen sekä teollisuus- ja varasto rakennusten korttelialueeseen, kuva 3.



Kuva 3. Mallinnettavan alueen maankäyttömuodot ja asemakaava merkinnät.

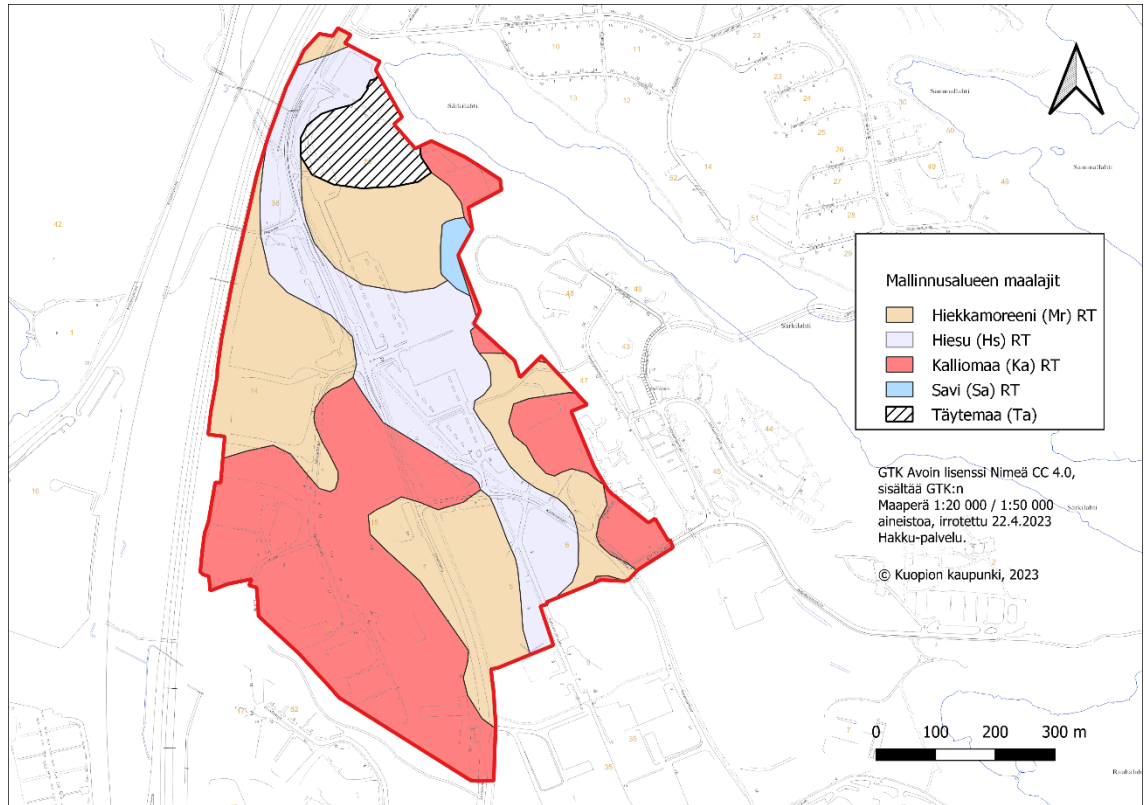
Ensimmäiset rakennukset alueelle on rakennettu 1970-luvulla ja uusimmat 2020-luvulla (Kuopion kaupunki). Alueesta murto-osa on puisto-, virkistys- tai muita viheralueita.

Mallinnettava alueen läpäisemättömien pintojen osuus maankäytöstä vaihtelee 61,2 prosentin ja 84 prosentin välillä, kuva 4.



Kuva 4. Mallinnettavan alueen läpäisemättömien pintojen prosentiosuudet.

Mallinnettavan alueen maaperä koostuu kalliomaasta (Ka), hiekkamoreenista (Mr) sekä hiesusta (Hs). Lisäksi mallinnusalueella sijaitsee pieni alue savea (Sa) sekä kauppakeskuksen pohjoispuolella paikoitusalueen rakentamisessa on käytetty täytemaata (Ta), kuva 5.



Kuva 5. Mallinnettavan alueen maalajit.

5 MALLINNUKSEN TOTEUTUS

Mallinnus toteutettiin Kuopion kaupungin, Ohje hulevesimallinnukseen -ohjeen mukaan. Kuopion kaupungille tehtävät hulevesimallit tulee laatia keskeisiltä perusteiltaan samankaltaisiksi ja yhteensopiviksi toistensa kanssa. Kaikkien laadittavien ja tilaajalle luovutettavien hulevesimallien tulee olla yhteensopivia EPA:n SWMM-ohjelmiston kanssa.

Storm Water Management Model eli SWMM on Yhdysvaltain ympäristösuojeluviraston (Environmental Protection Agency, EPA) kehittämä dynaaminen sadevesimalli, jota käytetään sadevesien valunnan, viemäreiden sekä muiden kuivatusjärjestelmien suunnitteluun erityisesti kaupunkialueilla. Ohjelmistolla on myös mahdollista analysoida hulevesijärjestelmien ja sadeveden hallintastrategioiden vaikutusta tulvariskeihin ja vesistöjen tilaan (Rossman & Simon 2022, 14).

Kuopion kaupunki ylläpitää hulevesiverkostosta kattavaa paikkatietoaineistoa. Aineisto pitää sisällään pääsääntöisesti tarkemitattuja tietoja kaivoista sekä putkista shape -tiedostomuodossa. Paikkatietoaineiston tarkastelu, digitointi ja analysointi toteutettiin QGIS-paikkatieto-ohjelmistolla. QGIS on avoimen lähdekoodin perustuva paikkatietojärjestelmäsovellus (GIS). Avoimen lähdekoodin ansiosta ohjelmistoon on saatavilla runsaasti käyttäjien tekemiä lisäosia ja usein nämä ovat maksuttomia sekä uudelleen muokattavissa. QGIS tukee useita rasteri-, vektori- sekä tietokantaformaatteja, joiden lisäksi ohjelmiston hyödynnettävissä ovat paikkatietopalveluiden verkkotietokannat kuten WMS-, WMTS-, WCS-, ja WFS-T-tietokannat (QGIS 2023).

SWMM-ohjelmistossa kaivot, putket sekä valuma-alueet voidaan piirtää joko SWMM:n graafisen käyttöliittymän kautta tai määrittää manuaalisesti .inp -muodossa olevaan tekstitiedostoon. Yleensä kaupungit ja kunnat pitävät yllä hulevesiverkostotietoja paikkatietoaineistona shape tai geopackage -tiedostoina, kuten Kuopion kaupungin tässä tapauksessa. Tällä hetkellä SWMM ei pidä sisällään tuontitoimintoa eikä prosessointi työkaluja näille tiedostomuodoille toisin kuin QGIS. Tässä työssä tiedostojen siirrot ohjelmistojen välillä tehtiin QGIS:ssä Generate_SWMM_inp -lisäosan avulla. Generate_SWMM_inp on ilmainen ja avoimeen lähdekoodiin perustuva lisäosa ja sen avulla tiedostomuotojen siirto SWMM:n ja QGIS:n välillä on mahdollista joko paikkatieto tai Excel -muodoissa.

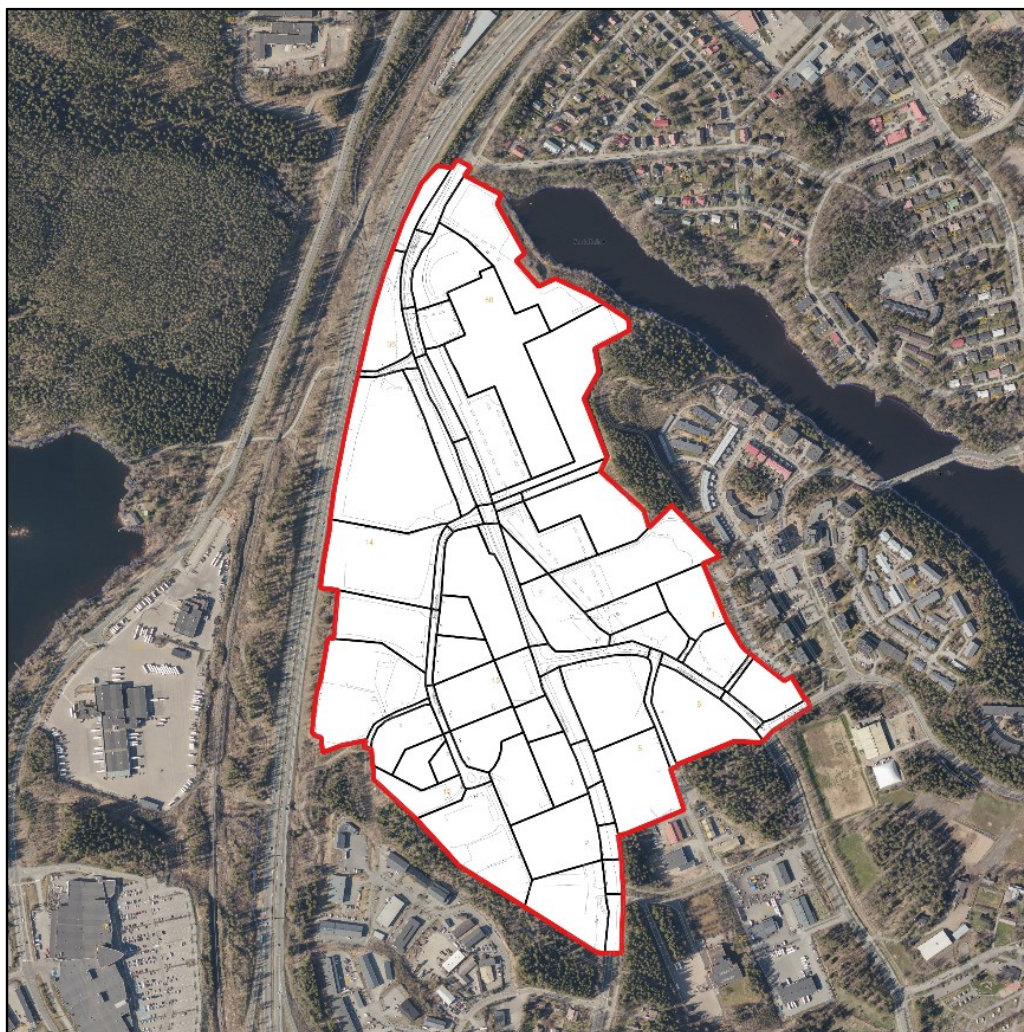
5.1 Mallinnettavan alueen rajaus

Rajat mallinnettavalle alueelle määräytyi Kuopion kaupungin toimittamien hulevesiverkoston paikkatietoaineiston perusteella. Toimitetusta aineistosta karsittiin kaikki Särkiniemen pohjoisen rannan sekä Särkilahden katujen kuten Hauenkoukun, Särkirannan sekä Särkilahdenkadun hulevesijärjestelmät ja niiden valuma-alueet. Lisäksi työtä aloittaessa optioksi jätettiin myös Neulamäen hulevesiverkoston mallintaminen, mikäli tälle jäisi aikaa.

5.2 Osavaluma-alueiden määrittäminen

Kaupungin toimittama hulevesiverkoston paikkatietoaineisto muodosti itsessään mallinnettavasta alueesta päävaluma-alueen, joka jaettiin kiinteistöjen sekä korkeuserojen perusteella seitsemään eri alueeseen. Nämä seitsemän aluetta jaettiin edelleen pienemmiksi, kaikkiaan 71 osavaluma-alueeksi.

Osavaluma-alueisiin jako toteutettiin valtakunnallisten kiinteistörekisterin mukaisten kiinteistöjen rajojen mukaan ja niitä muokkaamalla, kuva 6.



Kuva 6. 71 osavaluma-aluetta.

Alueen tiet pilkottiin pienemmiksi osiksi maanpinnan korkeuseroja myötäillen ja niin, että ne pystyttiin loogisella ja mahdollisimman realistisella tavalla yhdistämään lähimpään hulevesikaivon paikkatietoaineistossa. Lisäksi pinta-alaltaan suuret kiinteistöt sekä paikoitusalueet rajattiin omikseen osavaluma-alueiksi, mikäli ne oli mahdollista yhdistää kaivoihin paikkatietoaineistossa.

Ennen osavaluma-alueiden rajausta QGIS-paikkatieto-ohjelmistossa osavaluma-alueille luotiin GeoPackage-tiedostotaso. GeoPackage-tiedostomuodon avulla voitiin jokaiselle osavaluma-alueelle määrittää useampi taso yhteen tiedostoon, kuten nimi, alueen pinta-ala, läpäisemättömien pintojen prosenttiosuudet sekä muut SWMM ohjelmistoon vaadittavat parametrit. Alueita rajattaessa paikkatieto-ohjelmisto loi alueille tarkoitusperiensä mukaisesti koordinaatit sille osoittamassa järjestelmässä, ETRS-GK27FIN.

5.3 Osavaluma-alueissa käytetyt parametrit

5.3.1 Pinta-ala

QGIS:ssä pinta-alat eli *Area* on mahdollista laskea attribuutilaskimella *\$area* -komennolla, tällöin laskin antaa tulokset neliömetreinä. Sen sijaan SWMM-ohjelmistossa yleisesti käytössä oleva pinta-alojen esitystapa on hehtaari. Osavaluma-alueiden pinta-alat saatiin laskettua ja muutettua hehtaareiksi QGIS:n attribuutilaskimella komennolla *\$area/10000*.

5.3.2 Lämpäsemättömien pintojen osuudet

Lämpäsemättömien pintojen osuudet taulukoitiin GeoPackage-tiedostotasoon tietokenttään prosentteina. Lämpäsemättömien pintojen nimenä SWMM:ssä käytössä on *%Imperv*. Lämpäsemättömien pintojen osuudet rajattiin QGIS:ssä piirtämällä jokaisen osavaluma-alueen kaikille lämpäiseville pinnoille oma polygon-muotoinen shapefile-taso. Piirretyistä, lämpäisevien alueiden tasoista laskettiin attribuutilaskimen avulla niiden pinta-alat, joita vertaamalla osavaluma-alueiden pinta-aloihin saatiin laskettua lämpäsemättömien pintojen prosenttiosuudet kaavalla 1.

$$100 - \left(\frac{\text{lämpäisevä pinta-ala}}{100} \times \text{lämpäsemätön pinta-ala} \right) \quad (1)$$

5.3.3 Leveys

Tässä tapauksessa leveydellä tarkoitettiin osavaluma-alueen maan pinnalla kulkevan virtausreitit karakteristista leveyttä. Käytössä olleiden kartta-aineistojen riittämättömän resoluution vuoksi tätä parametria oli mahdoton määrittää. Sen sijaan osavaluma-alueiden karakteristinen leveys eli *Width* saatiin arvioitua laskemalla se kaavalla 2.

$$2 \times \sqrt{\text{pinta-ala}(m^2)} \quad (2)$$

5.3.4 Kaltevuus

Osavaluma-alueiden kaltevuuden tulisi kuvastaa veden virtausreitit kaltevuutta. Yksinkertaisen geometrian kohdalla tämä voitaisiin määrittää jakamalla korkeusero virtausreitit pituudella (Rossman & Huber 2016, 73). Usein maan pinnan muodot ovat moniulotteisempia ja tästä syystä edellä mainittu määrittämistapa hankalaa. Yleensä rakennetussa ympäristössä alueet ovat tehokkaasti salaojitettuja ja viemäroityjä, joten tarkan kaltevuuden määrittäminen olisi tästäkin syystä jokseenkin turhaa.

Kaltevuus (SWMM:ssä *%Slope*) tuli määrittää tietokenttään prosentteina, jolloin sen arvoksi asetettiin 1 %.

5.3.5 Painannevarastot

Sateilla vettä lammikoituu maan pinnan kuoppiin ja muihin epätasaisiin kohtiin, joita kutsutaan painannevarastoiksi (SWMM:ssä *Depression Storage*). Toisaalta painannevarstoina voivat toimia myös esimerkiksi nurmialueet ja muut lämpäisevät pinnat, joista vesi pystyy haihtumaan ilmakehään.

Taulukko 2. Painannevarastojen arvot (Rossman 2022, 210).

Läpäisemättömät pinnat	1.27 mm - 2.54 mm
Nurmikot	2.54 mm - 5.08 mm
Pellot	5.08 mm
Metsät	7.62 mm

SWMM käyttää painannevarastojen dimensiona millimetrejä tai tuumia, joka kuvaa painannevaraston syvyyttä. Painannevarastojen taulukoinnissa QGIS:ssä käytettiin taulukon 2 mukaisia arvoja.

5.3.6 Virtausvastuskertoimet

Virtausvastuksia tavanomaisesti arvioidaan erilaisilla häviökertoimilla, joista osavaluma-alueiden osalta SWMM:n käyttämä on Manningin kerroin n . Parametrit Manningin kertoimelle n tuli asettaa sekä läpäisemättömille (N -*imperv*), että läpäiseville (N -*perv*) pinnoille ja ne määritettiin taulukon 3 mukaan.

Taulukko 3. Manningin kerroin n eri maan pinnoille (Rossman 2022, 211).

Pinta	n
Asfaltti	0.011
Betoni	0.012 - 0.013
Karrhea betoni	0.024
Puu pinnat	0.014
Teräs	0.015
Luonnonmukainen pelto	0.05
Muokattu maaperä	0.06 - 0.17
Laidunalue	0.13
Nurmikko	0.15 - 0.41
Metsät	0.4 - 0.8

5.3.7 Muut käytetyt parametrit

Osavaluma-alueiden GeoPackage-tiedostotasoon määritettiin jokaiselle osavaluma-alueelle purkupiste, *Outlet*. Purkupisteeksi osoitettiin paikka, johon koko mallinnettavalle alueelle kerääntyvät hulevedet purkautuvat. Purkupisteen tasoon kirjattiin hulevesien purkautumispisteen korkeustiedot. Tässä mallissa purkupisteenä toimi Kallaveden rannalla sijaitseva, halkaisijaltaan 1400 mm hulevesiviemäri.

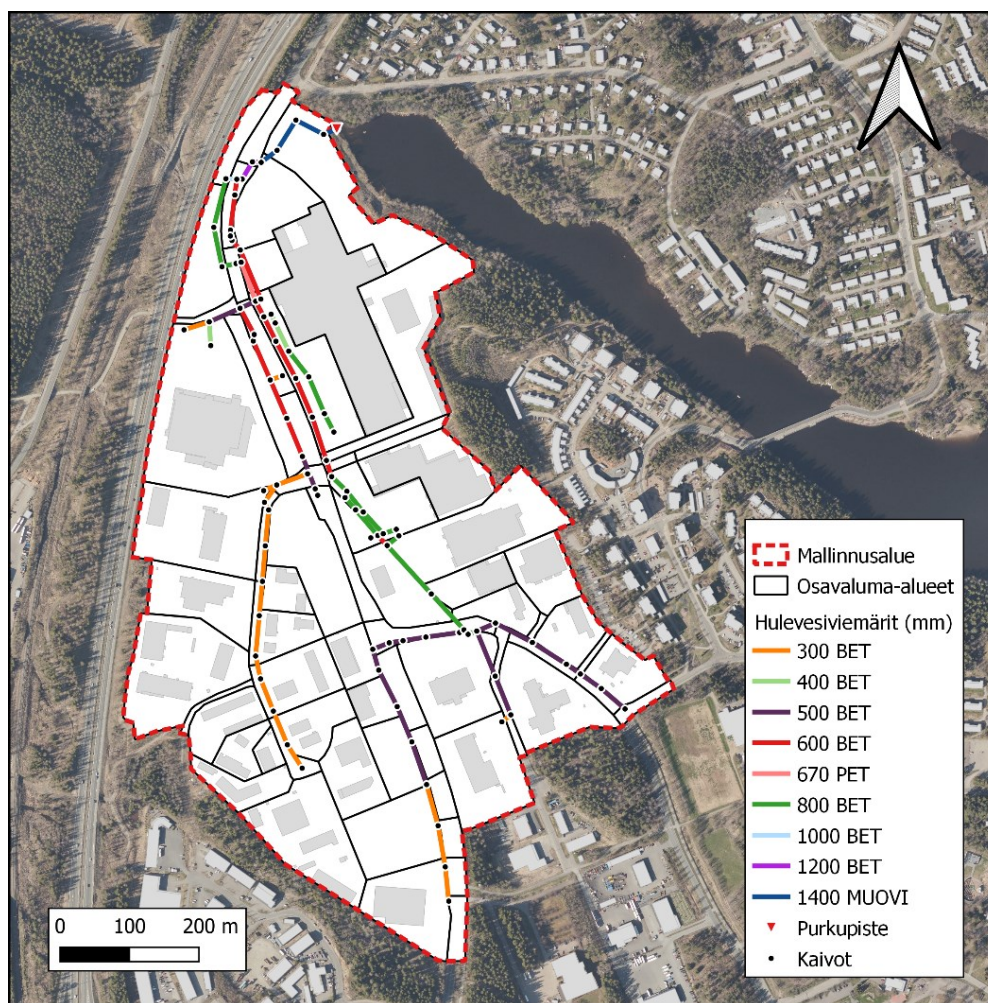
Hulevesien imeytymistä kuvaavaksi *Infiltration Method* parametriksi valittiin Kuopion kaupungin mallinnusoppaan edellyttämä *Green-Ampt* imeyntämallia.

Osavaluma-alueiden parametreihin määritettiin *%Zero-Imperv*-arvo joka kuvasi osavaluma-alueiden läpäisemättömien pintojen prosenttiosuutta jotka eivät sisällä painannevarastoa. Näiden arvojen tarkkaan määrittämiseen käytössä olleiden kartta-aineistojen resoluutio ei riittänyt. Kyseiset arvot asetettiin osavaluma-alueen läpisevien pinta-alojen perusteella 85 prosentista 100 prosenttiin.

Lisäksi osavaluma-alueiden GeoPackage -tiedostoon luotiin *Raingage* -taso, jonka parametrit jätettiin QGIS:iin asettamatta, mutta lisättiin SWMM:n tiedostoon.

5.4 Hulevesiverkoston luominen

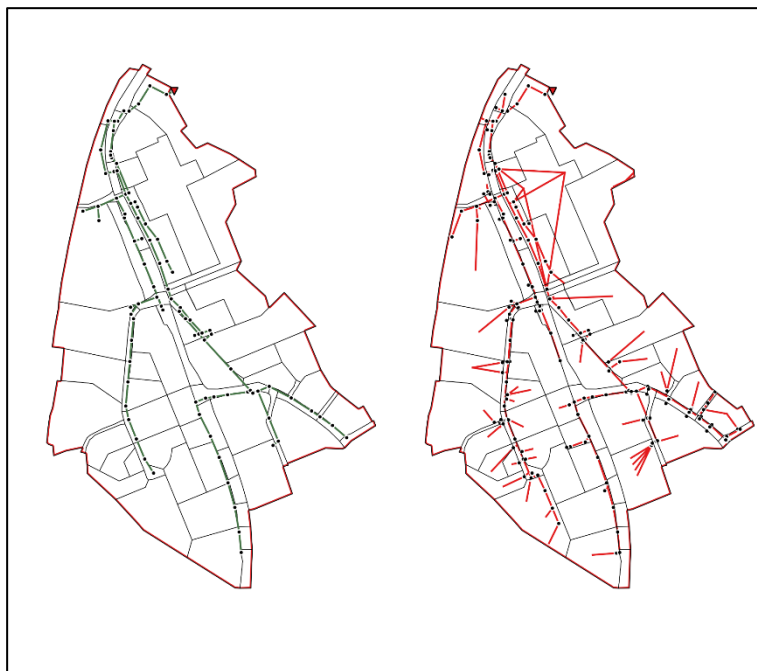
Lähtötietoina Kuopion kaupungilta saaduista hulevesijärjestelmien paikkatietoaineiston pohjalta luotiin viemäreille sekä kaivoille omat GeoPackage-tiedostot. Saadusta paikkatietoaineistosta karsittiin kaikki putket ja kaivot, jotka jäivät rajatun mallinnusalueen ulkopuolelle. Malliin jäljelle jääneitä hulevesiputkien ja -kaivojen digitoinnissa pyrittiin pitämään rakennettu malli vietoiltaan, korko- ja paikkatiedoiltaan mahdollisimman realistisena, kuva 7.



Kuva 7. Mallinnetut hulevesiviemärit ja -kaivot.

5.4.1 Viemärit

Viemäreiden osalta mallia lähdettiin rakentamaan Kuopion kaupungilta saatujen hulevesijärjestelmien paikkatietoaineistoa digitoimalla. Mallinnusalueen rajojen sisälle jääneistä viemäripukista karsittiin kaikki päällekkäin risteävät putket sekä putket, joista puuttuivat tiedot niiden paksuudesta, pituudesta tai niiden korkotiedot olivat puutteelliset. Lisäksi hulevesiviemäriputkista karsittiin mallin ulkopuolelle kaikki halkaisijaltaan alle 300 mm latvalinjoina olleet putket. Näin koska muun muassa Krebs (2015, 13–17) on todennut, että hyvä kompromissi tarvittavan aineiston määrän ja mallin valuntatulosten välille saadaan muodostettua, kun kaikki putket 300 mm putkikoosta ylöspäin sisällytetään hulevesiverkoston kuvaukseen. Näin 288 hulevesiputkilinjasta malliin karsiintui 94 putkilinjaa, kuva 8.



Kuva 8. Malliin jätetty hulevesiviemäriverkostot (vasen kartta) ja lähtötietoina saadut hulevesiviemäriverkostot (oikea kartta).

Viemäriputkille luotuun GeoPackage -tasoon kirjattiin SWMM:n putkille vaatimat parametrin kuten putkien pituudet, halkaisija, putken muoto sekä karheuskerroin. Karheuskertoimina toimi osavalueiden virtausvastuskertoimena käytetty Manningin kerroin n , joka määräytyi putkimateriaalin mukaan. Malliin jääneet putket koostuivat betoni- sekä muoviputkista ja niiden karheuskertoimena käytettiin arvoja 0,011–0,015. Lisäksi jokaiselle putkelle tuli määrittää kaivot, mistä jokainen putki lähtevät ja minne ne päättyvät.

5.4.2 Kaivot

Kaivojen paikkatietoaineistosta digitoitiin ja siitä karsittiin kaivot, joiden korkotiedot ja sijainnit olivat puutteellisia. Lisäksi mallin ulkopuolelle jätettiin kaivot, jotka eivät olleet yhteydessä karsittuihin putkilinjoihin. Tilaajan toimittama hulevesijärjestelmän paikkatietoaineisto ei ollut täysin kattavaa ja siinä havaittiin viemäriinjoja, joista kaivot puuttuivat. Puuttuvat kaivot luotiin kaivojen Geopackage-

tiedostoon ja niille kirjattiin korkotiedot sekä syvyydet viemärilinjan korkojen mukaan. Kaivoille luotiin GeoPackage -tiedostotasoon kirjattiin jokaiselle kaivolle nimi, syvyys sekä kaivon pohjan korkotiedot. Mallinnettavan alueen 191 alkuperäisestä kaivosta malliin jäi 93 kaivoa, kuva 8.

5.5 Mallinnuksessa käytetyt sadetapahtumat

Valuma-alueiden ja verkostojen lisäksi malliin määritettiin sadetapahtumat. Sateiden määrittämiseksi malliin luotiin aikasarjat, joissa sadetapahtumat jaettiin eri pituisiksi jaksoiksi, joille kullekin annettiin omat intensiteetit.

Tässä hulevesimallissa hulevesijärjestelmien toimivuutta arvioitiin toistuvuudeltaan ja kestoajoiltaan erilaisilla sadetapahtumilla. Tavanomaisissa sadetapahtumissa käytettiin kerran viidessä vuodessa toistuvia sateita, kestoaltaan 10, 30 ja 60 minuutin sadetapahtumia, taulukko 4.

Taulukko 4. Mallinnuksessa käytetyt kerran viidessä vuodessa toistuvat sadetapahtumat.

<u>Sateen kesto</u>	<u>Intensiteetti</u>		<u>Sademäärä</u>
<i>min</i>	<i>(mm/min)</i>	<i>(l/s/ha)</i>	<i>(mm)</i>
10	0.88	147	8.8
30	0.5	83.5	15
60	0.32	53.5	19.2

Tulvatilanteita aiheuttavia rankkasateita arvioitiin kerran sadassa vuodessa toistuvilla, kestoaltaan 10, 30 ja 60 minuutin sadetapahtumia, taulukko 5.

Taulukko 5. Mallinnuksessa käytetyt kerran sadassa vuodessa toistuvat sadetapahtumat.

<u>Sateen kesto</u>	<u>Intensiteetti</u>		<u>Sademäärä</u>
<i>min</i>	<i>(mm/min)</i>	<i>(l/s/ha)</i>	<i>(mm)</i>
10	1.8	301	18
30	0.88	147	26.4
60	0.6	100	36

6 SÄRKILAHDEN HULEVESIMALLI

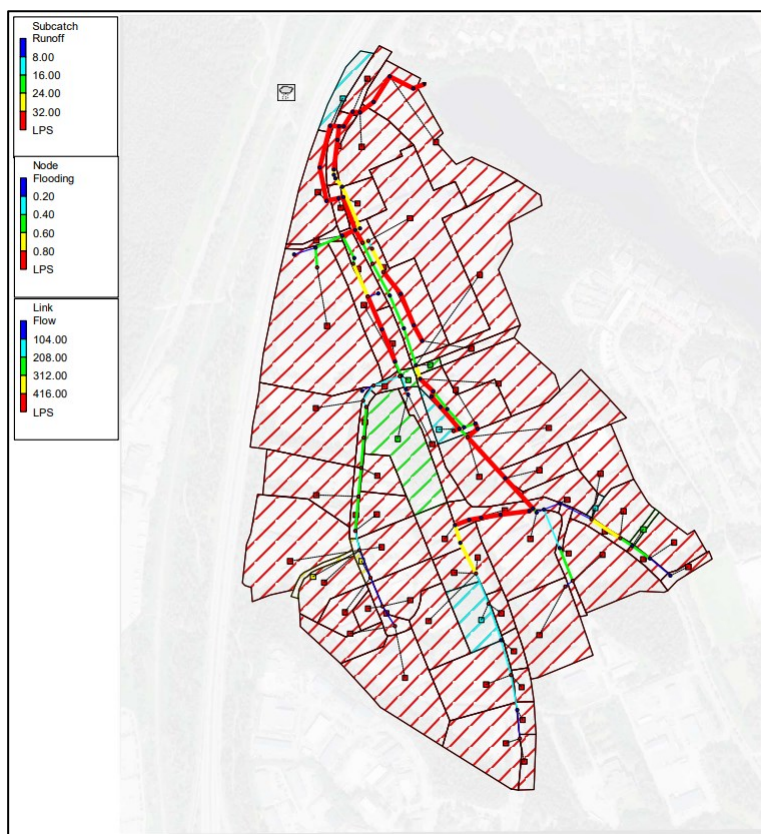
Varsinaisen mallinnustyö toteutettiin SWMM-ohjelmistolla. QGIS:llä tuotetut osavaluma-alueiden, hulevesiviemäreiden sekä -kaivojen paikkatietoaineisto muutettiin SWMM:n käyttämään .inp tiedostomuotoon QGIS:n *Generate_SWMM_inp* -lisäosan avulla. Lisäosan tuottamaan .inp tiedostoon kirjattiin aikasarjat tekstitiedostona NotePad:ia apuna käyttäen, kuva 9.

```
[TIMESERIES]
;;Name          Date          Time          Value
;;-----
5a_10min        0:00          0.88
5a_10min        0:01          0.88
5a_10min        0:02          0.88
5a_10min        0:03          0.88
5a_10min        0:04          0.88
5a_10min        0:05          0.88
5a_10min        0:06          0.88
5a_10min        0:07          0.88
5a_10min        0:08          0.88
5a_10min        0:09          0.88
```

Kuva 9. Kuvakaappaus NotePad -tekstieditoriin kirjatuista kerran viidessä vuodessa 10 minuutin kestoisista sadetapahtumista.

SWMM-ohjelmistossa mallille määritettiin mallinnuksen aloitus- ja päättymisajankohdat sekä aika-askleet. Aika-askleet asetettiin 10 sekuntiin, jolloin mallinnustuloksista voitiin erottaa hyvinkin lyhyet virtauspiikit hulevesiverkostossa. Lisäksi SWMM:ään määritettiin virtauksen dimensioiksi litraa per sekunti (*LPS*), sekä mallin käyttämä imeyntämalli *Green-Ampt*.

Rakennetun hulevesimallin avulla pystyttiin osoittamaan osavaluma-alueilta purkautuvien hulevesien määrä ja niiden aiheuttama kuormitus alueen hulevesijärjestelmiin, kuva 10.



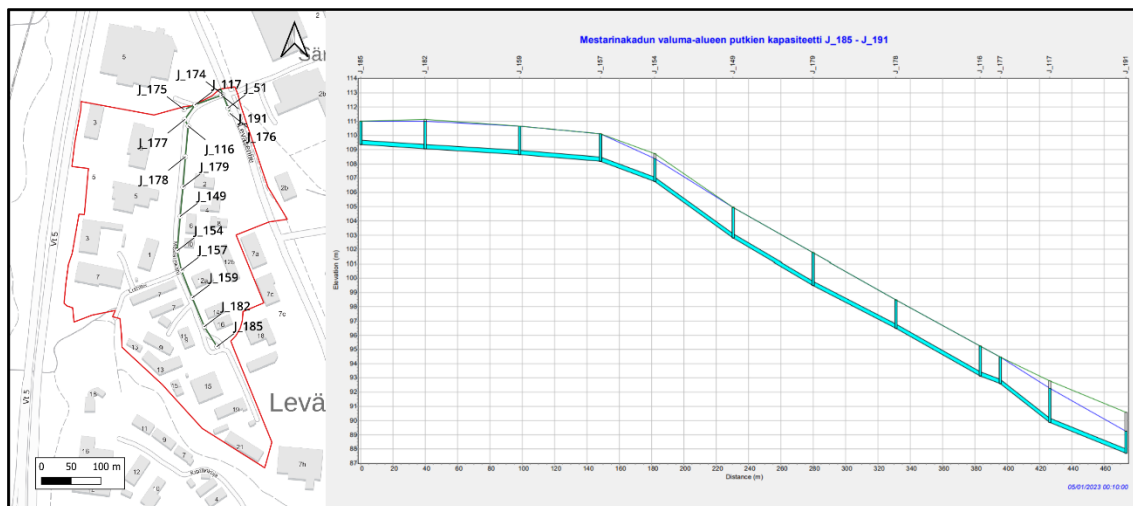
Kuva 10. SWMM-ohjelmistolla luotu hulevesimalli, jossa kuvattu osavaluma-alueilta purkautuvat hulevedet (Subcatch Runoff), kaivojen tulviminen (Node Flooding) sekä putkien hulevesien virtaus (Link Flow).

Lisäksi eri aikasarjojen avulla pystyttiin arvioimaan koko hulevesijärjestelmän toimivuutta eri sadetapahtumien aikana.

6.1 Mallinnusraportti

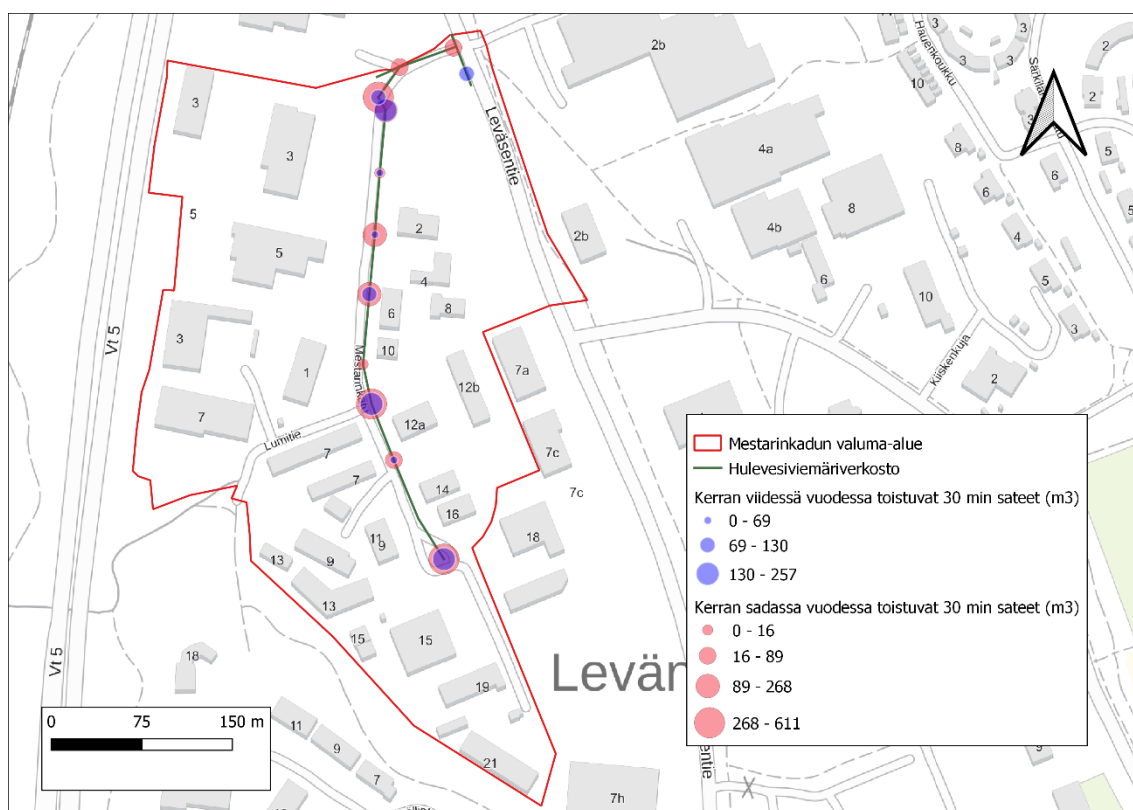
Osaksi opinnäytetyötä ja mallinnusta kuului tilaajalle toimitettava mallinnusraportti. Mallinnusraportissa tuli arvioida muun muassa hulevesijärjestelmän toimivuutta nykytilanteessa sekä kerran sadassa vuodessa toistuvalla rankkasateella.

Mallinnettavan alueen valuma-alueen keräämiä hulevesiä sekä hulevesiviemäriverkoston ja niihin yhteydessä olevien kaivojen toimintaa arvioitiin seitsemäksi eri alueeksi jaettujen osavaluma-alueiden mukaan. Jokaisen seitsemän alueen eri sadetapahtumien ja niistä muodostuvien hulevesien aiheuttamat kaivojen tulvimiset sekä viemäreiden kapasiteetin ylitykset raportoitiin tilaajalle toimitettuun mallinnusraporttiin. Mallinnusraporttiin koostettiin viemäriinjan poikkileikkauskuva tietyn tulvatapahtuman ajankohtana sekä tämän yhteyteen sijoitettu karttakuva hulevesiviemärijärjestelmien sijainnista, kuva 11.



Kuva 11. Esimerkki mallinnusraportissa käytetystä hulevesiviemärien kapasiteettia kuvaavasta poikki-leikkauksuvasta sekä siihen liitetystä hulevesijärjestelmien sijainnin osoittavasta karttakuvasta Mestarinakadun valuma-alueella.

Tilanteita, joissa mallinnuksessa määritetyt sadetapahtumat aiheuttivat kaivojen tulvimista, kuvattiin erillisellä karttakuvalla, kuva 12.



Kuva 12. Esimerkki mallinnusraportissa käytetystä kaivojen tulvimista kuvaavasta karttakuvasta eri sadetapahtumien aikana.

SWMM:n mallinnustulosten yhteenvetoraportista saadut tulvien hulevesien kokonaistilavuutta kuvaavat *Total Flood Volume* -arvot tallennettiin Excel-tiedostoon, josta ne siirrettiin QGIS:iin vektoriformaatissa. Näin tulvien kokonaistilavuudet pystyttiin yhdistämään jokaisen kaivon paikkatietoaineistoon.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli mallintaa tilaajan kanssa sovitun valuma-alueen muodostamat hulevedet ja sen sisältämät hulevesiviemäriverkostot niin, että rakennettu malli olisi yhteen sovitettavissa EPA:n SWMM-ohjelmiston kanssa. Lisäksi tilaajalle opinnäytetyötä tehdessä valmistui mallinnusraportti Kuopion kaupungin, Ohje hulevesimallinnukseen -ohjeen mukaisesti. Opinnäytetyön toteutuksessa käytettiin EPA:n SWMM:n lisäksi toista, niin ikään ilmaiseen lähdekoodiin pohjautuvaa QGIS-paikkatieto-ohjelmistoa.

Opinnäytetyönä toteutettu hulevesimalli edellä mainituilla ohjelmistoilla osoitti hulevesimallinnuksen olevan mahdollista toteuttaa niin myös ilmaisohjelmia apuna käyttäen. Vaikka monesti 3D-mallinnuksen on todettu olevan moderni mallinnustapa, voitiin tehdyllä hulevesimallilla saavutetun resoluution avulla osoittaa mallinnettavan alueen ongelma- ja tulvakohdat sekä määrittää mallinnettavan alueen hydrologiset ominaisuudet. Näiden ilmaisohjelmien yhteen sovittamisen ansiosta hulevesimallinnus on mahdollista toteuttaa hyvin alhaisin taloudellisin resurssein. Tästä uskoisin olevan hyötyä monelle taholle, jotka työskentelevät tulvariskien tai hulevesisuunnittelun parissa ja joilla ei ole mahdollista käyttää tarvittavia resursseja kalliisiin mallinnusohjelmiin.

Opinnäytetyötä tehdessä kohtasin suurimmat ongelmat ja haasteet käytettävissä olleiden kartta- ja paikkatietoaineistojen kanssa. Usein ongelmia aiheutti epämääräiset verkostotietojen paikkatietoaineisto tai saatavilla ollut luokittelematon laserkeilausaineisto. Luokitellun laserkeilausaineiston avulla olisi ollut mahdollista selvittää tarkasti osavaluma-alueiden läpäisemättömien pintojen osuus sekä läpäisevien pintojen painanteisiin varastoituvien hulevesien määrä. Luokitellulla laserkeilausaineistolla olisi lisäksi ollut mahdollista mallintaa osavaluma-alueiden ojat ja näin vähentää niiden vaikutus hulevesijärjestelmien kuormituksesta. Tarkemitatulla hulevesijärjestelmien paikkatietoaineiston avulla malliin olisi ollut mahdollista sisällyttää laajempia alueita eikä paikkatietoaineistossa olleisiin virheisiin olisi tarvinnut käyttää aikaa.

Lisäksi paljon aikaa opinnäytetyötä tehdessäni kului opettelemalla jonkin toiminnon tuottamista ja automatisointia QGIS-paikkatieto-ohjelmistolla. Lukuisten tutoriaalivideoiden katsominen vei usein kauemmas käsillä olleesta ongelmasta eivätkä niiden avulla tehtyjen paikkatietoaineistojen määrittäykset ratkaisseet ongelmia.

Vastaan tulleista haasteista olisi mahdollista jalostaa uusia opinnäytetyön aiheita niin laserkeilausaineistojen luokittelusta, maaston erityispiirteiden tarkemittauksesta aina konkreettisen mallinnusohjeeseen, jossa opastettaisiin valitsemaan ja jatkokäsittelymään saatavilla olevat paikkatietoaineistot vaadittavien resoluutioiden saavuttamiseksi.

Opinnäytetyön tekeminen oli hyvin itsenäistä, jonka vuoksi minulla oli mahdollisuus aikatauluttaa ja suunnitella työn toteutus noudattaen kuitenkin tilaajan laatimaa opasta mallinnukseen. Työn tekeminen oli erittäin opettavaista erityisesti aikataulutuksen ja siinä pysymisen vuoksi ja se antoi hyvän kuvan omasta ammattitaidosta ja valmiuksista työelämään.

LÄHTEET

- Aalto-yliopisto 2021. Kaupungit ja vesi. Verkkojulkaisu. Päivitetty 1.7.2021. <https://www.aalto.fi/fi/ra-kennetun-ympariston-laitos/kaupungit-ja-vesi>. Viitattu 13.4.2023
- Björninen Hannes 2010. Mallinnuksen hyödyntäminen hulevesien hallinnan suunnittelussa. Diplomi-työ. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201007051230>. Viitattu 20.4.2023.
- Ilmasto-opas.fi julkaisuaika tuntematon. Ilmatieteenlaitos, Suomen ympäristökeskus, Luonnonvara-keskus. Verkkojulkaisu. Nykyinen ilmasto – 30 vuoden keskiarvot. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/nykyinen-ilmasto-30-vuoden-keskiarvot#moreelsewhere>. Viitattu 6.4.2023.
- Ilmatieteenlaitos julkaisuaika tuntematon. Suomen ilmastoja kuvaavat vertailukaudet 1991–2020 keskiarvot. Verkkojulkaisu. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/1991-2020-kartat>. Viitattu 6.4.2023.
- Karvinen, Ville-Juhani 2010. Hulevesien laatu eräillä kaupunkivaluma-alueilla Helsingissä. Valokuva. <http://kiintopaikka.net/julkaisut/Karvinen2010-1-teksti.pdf>. Viitattu 3.2.2023.
- Koivusalo Harri, Teemu Kokkonen, Krebs Gerald & Valtanen Marjo 2015. Vesitalous. Kaupunkihydrologinen mallinnus – pienestä suureen mittakaavaan 56 (4), 13–17. https://vesitalous.fi/wp-content/uploads/2015/09/VT1504_lowres.pdf. Viitattu 21.5.2023
- Kuntaliitto 2017. Hulevesien hallinta. Verkkojulkaisu. Päivitetty 24.2.2017. Hulevesien hallinta | Kuntaliitto.fi. Viitattu 25.4.2023.
- Kuopion kaupunki. Kuopion karttapalvelu. Verkkopalvelu. <https://kartta.kuopio.fi/>. Viitattu 23.4.2023.
- Laki tulvariskien hallinnasta 620/2010. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20100620?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=tulvariski>. Viitattu 25.4. 2023.
- QGIS 2023. QGIS Desktop User Guide/Manual (QGIS 3.28). Verkkojulkaisu. Päivitetty 19.4.2023. https://docs.qgis.org/3.28/en/docs/user_manual/preamble/features.html. Viitattu 27.4.2023.
- Rossmann, Lewis a. & Huber, Wayne C. 2016. Storm Water Management Model Reference Manual Volume 1 – Hydrology (Revised). Pdf-tiedosto. Julkaistu 1.2016. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P100NYRA.txt>. Viitattu 18.5.2023.
- Rossmann, Lewis A. & Simon, Michelle A. 2022. Storm Water Management Model User's Manual Version 5.2. Pdf-tiedosto. Julkaistu 2.2022. <https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-04/swmm-users-manual-version-5.2.pdf>. Viitattu 15.4.2023.
- Suomen Kuntaliitto 2012. Hulevesiopus. Pdf-tiedosto. <https://www.kuntaliitto.fi/julkaisut/2012/1481-hulevesiopus>. Viitattu 3.2.2023.
- Suomen Kuntaliitto 2017. Hulevesioppaan päivitettyt luvut lainsäädännön muutosten osalta. Pdf-tiedosto. <https://www.kuntaliitto.fi/julkaisut/2017/1829-hulevesioppaan-paivitettyt-luvut-lainsaadannon-muutosten-osalta>. Viitattu 25.4.2023.
- Tornivaara-Ruikka Riitta 2006. Hulevesien käsittely maankäytön suunnittelussa. Uudenmaan ympäristökeskuksen raportteja 2006. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/44961/suojattu%2c%20ei%20pysty%20kopioimaan%20UUDra_3_2006.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Viitattu 13.4.2023.
- Vesi.fi julkaisuaika tuntematon. Sadanta. Verkkojulkaisu. <https://www.vesi.fi/sanasto/sadanta/>. Viitattu 6.4.2023.

Ympäristö.fi. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Verkojulkaisu. Kaupunki–maaseutuluokitus päivitetty: Suomen kaupungistumisaste noussut yli 72 prosentin. Päivitetty 29.5.2020.
[https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Elinymparisto_ja_kaavoitus/Yhdyskuntarakenne/Tietoa_yhdyskuntarakenteesta/Kaupunkimaaseutuluokitus_paivitetty_Suom\(57423\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Elinymparisto_ja_kaavoitus/Yhdyskuntarakenne/Tietoa_yhdyskuntarakenteesta/Kaupunkimaaseutuluokitus_paivitetty_Suom(57423)). Viitattu 3.2.2023.