



Asiakas: Lahden kaupunki

Projekti: Lahden hulevesiverkoston toiminnallinen analyysi

Projektinumero: 101024864

## 1 Johdanto

Lahden hulevesiverkosto on mallinnettu osittain vuonna 2018 Mike Urban-ohjelmistolla ja kyseisten verkostoalueiden osalta on laadittu tulvakartta-aineistot hulevesiverkoston kehittämisen tarpeisiin. Nastolan alueen malli on rakennettu vuonna 2023 Mike+ -ohjelmistoon. Tässä työssä mallinnettiin aiemmista mallinnuksista puuttuneet verkosto-osat ja analysoitiin niiden toiminta.

Hulevesimallia voidaan käyttää suunnittelun apuna, hulevesi-infran omaisuudenhallinnan työkaluna sekä lyhyen ja pitkän tähtäimen investointien kartoittamiseen hulevesijärjestelmän toiminnallisuuden näkökulmasta.

Mallin avulla voidaan ennakoida tulevia investointeja maanalaisiin ja maanpäällisiin hulevesijärjestelmän osiin, varautua ilmastonmuutokseen ja kaupungin tiivistymis- ja/tai laajentumistarpeisiin. Mallin avulla voidaan selvittää tulvareittien toimivuutta ja varmistaa niiden muodostuminen siten kuin on suunniteltu.

Hanke edistää mm. seuraavia kestävän kehityksen tavoitteita (YK Agenda 2030):

9. Kestävää teollisuutta, innovaatioita ja infrastruktuuria

11. Kestävät kaupungit ja yhteisöt

13. Ilmastotekoja

## 2 Hulevesijärjestelmän simulointimallin kuvaus

Hulevesijärjestelmän simulointimalli koostuu hydraulisesta verkostomallista ja sadanta-valuntamallista. Projektissa luotiin hulevesijärjestelmän toimintaa simuloiva tietokonemalli Fluidit Storm -ohjelmistolla, jonka avulla voidaan monipuolisesti analysoida hulevesiviemärintijärjestelmän toimintaa. Malli on laadittu ETRS-GK26-tasokoordinaatistossa ja N2000-korkeusjärjestelmässä.

### 2.1 Hydraulinen verkostomalli

Lahden hulevesiverkoston aiemmin mallintamattomista osista rakennettiin laskentamalli, joka sisältää runkolinjat ja ritiläkaivot lukuun ottamatta irrallisia rakenteita sekä lyhyitä kadunkuivatuslinjoja, jotka purkavat vetensä viereiseen avo-ojaan. Tonttijohtoja ei mallinnettu.

Aiemman mallinnustyön yhteydessä v. 2018 hulevesiverkoston verkkotietoaineisto eheytetttiin koko Lahden alueelta mallin rakentamista varten sopivampaan muotoon paikkatieto-ohjelmistossa ja kyseistä aineistoa hyödynnettiin edelleen tässä työssä eikä uusia tai muuttuneita verkostoalueita huomioitu. Verkostoaineistoa eheytetttiin lisäksi edelleen mallinnusohjelmistoon tuotaessa, jotta mallin rakentaminen oli

mahdollista. Verkkotietoaineiston eheytyksen parantaa verkostotiedon laatua täydentämällä puutteita ja korjaamalla havaittuja virheitä. Eheytyksessä hyödynnettiin mallinnusohjelmiston lisäksi ESRI ArcGIS Pro paikkatieto-ohjelmiston työkaluja.

Eheyttäviä tietoja olivat esimerkiksi puuttuvat ja epäselvät tiedot putkien ja kaivojen korkotiedoissa, putkien sisähalkaisijoissa ja materiaaleissa sekä virtaussuunnissa. Lisäksi, jos kahden viemäriputkielementin välissä ei ollut verkkotietoaineistossa kaivoa, luotiin simulointimalliin putkien väliin kuvitteellinen kaivoelementti (ns. haamukaivo) laskennallisista syistä. Mallin elementtien ominaisuuksissa säilytettiin sama Id-numero kuin verkkotietojärjestelmässä, jotta tietojen siirto myöhemmin mallin ja verkkotietojärjestelmän välillä on mahdollista.

Malliin on eroteltu umpikannelliset kaivot ja avoimet kaivot (esim. ritiläkansi- ja kitakaivot). Simuloinnissa ei ole huomioitu ritiläkaivojen tai verkostojen toimintahäiriöitä, jotka esimerkiksi estävät sulamis- tai sadevesien pääsyn hulevesiviemäriin. Tällaisia häiriöitä voivat aiheuttaa esim. keväällä lumi- ja jääsohjo tai syksyllä puista pudonneet lehdet.

Hulevesiverkoston toiminnan kannalta oleelliset avo-ojat mallinnettiin yleispiirteisesti yhtä tyyppipoikkileikkausta käyttäen. Tällaisia avo-ojaosuuksia ovat sellaiset, joissa hulevesiviemäri purkaa vedet avo-ojaan ja alempana hulevedet johdetaan takaisin hulevesiviemäriin tai rumpuun. Kadunvarsojia ei sisällytetty malliin.

Lisäksi mallinnettiin verkoston toiminnan kannalta olennaiset hulevesialtaat sekä pienet lammet. Hulevesialtaille käytettiin suunnitelmien mukaisia tilavuus- ja korkotietoja siltä osin, kun niitä oli saatavilla. Loput hulevesialtaat sekä lammet mallinnettiin hyödyntämällä pintamallin tietoja.

Mallinnettavalla alueella oli viisi hulevesipumppaamaa (Saarikunnas svp Luhdan svp, Hankaankatu alikulku, Aukeankatu alikulku ja Tasangonpolku alikulku). Pumppaamot ja niiden painelinjat vietiin malliin. Pumput mallinnettiin vuoden 2024 tietojen mukaisesti.

### 2.1.1 Verkostotiedon eheytyksen

Verkostotiedon eheytyksen toteutettiin lähtökohtaisesti samoilla eheytyksiperiaatteilla, kuin vuoden 2018 Lahden hulevesijärjestelmän tulvariskien alustava arviointi - projektissa tehtiin. Joitain tarkennuksia kuitenkin tehtiin.

Lähtötietomateriaalissa oli erillisellä tasolla aukot. Jos verkosto-osuudelle ei ollut aukkoa, purkupiste luotiin verkostoon käsin tarkastelemalla pintamallia sekä verkoston korkotietoja. Aukkoaineistossa oli mukana myös tuloaukkoja, joten

aukkoja muutettiin kaivoiksi, mikäli aukkoon liittyvän putken virtaussuunta sekä kallistus olivat aukosta poispäin.

Kaivojen, putkien ja ojien parametrit täydennettiin seuraavasti:

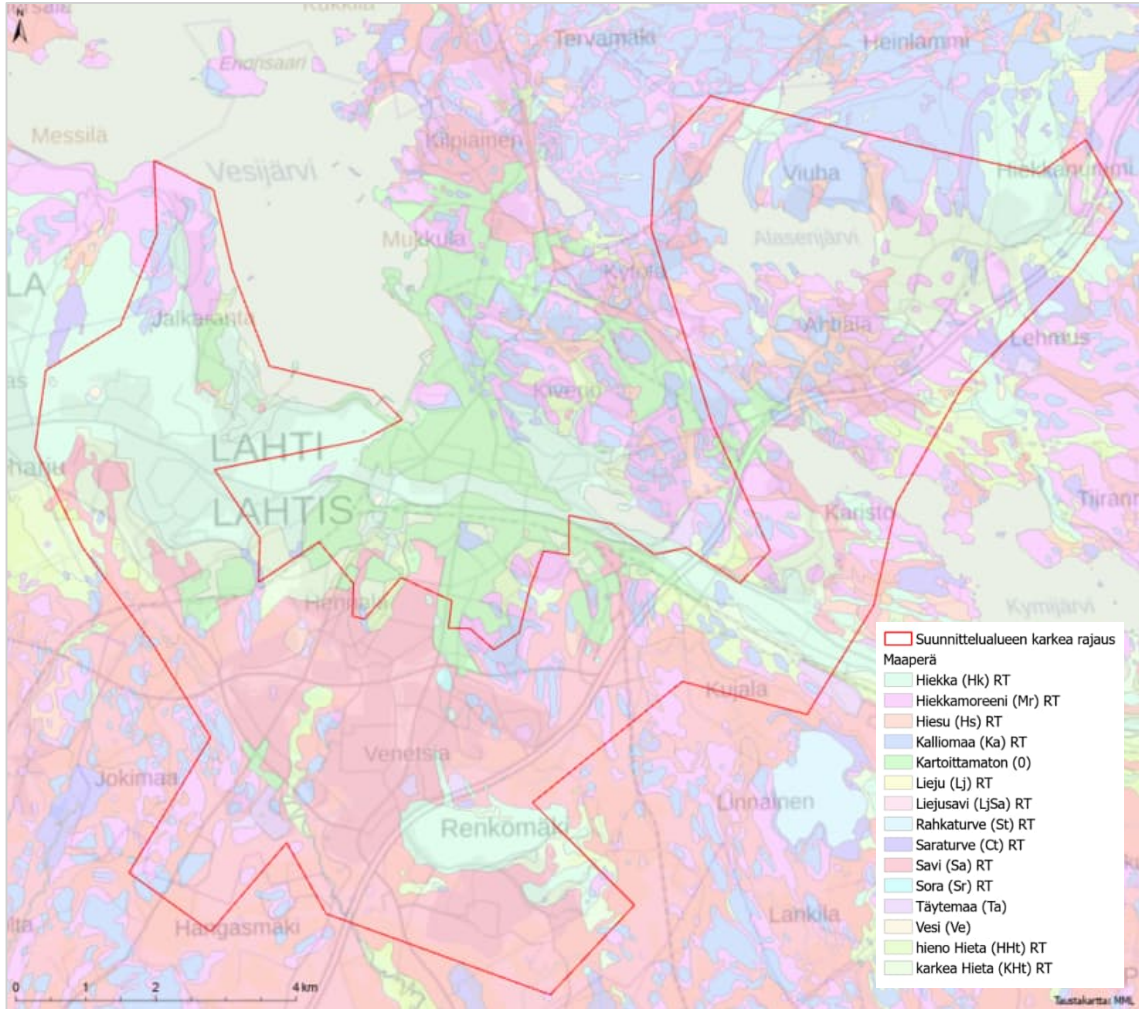
- vietto-osuuksien kaivoille laskennallinen tulva-alue 50 m<sup>2</sup> (vain verkostomallinnus. Tulvamallinnuksessa tulva-alue pintamallista)
- painelinjojen kaivoille maksimipaine 10 m
- ojien taitepisteille pohjan korko pintamallista ja maksimipaine 2 m (ojan syvyys)
- viettoviemäreille tulo- ja lähtöhäviöt 0,5
- painelinjoille keskimääräinen häviö 0,2
- ojille karkeus Manning's n = 0,08 ja oletuspoikkileikkaus, jossa pohjan leveys 1 m ja luiskan kaltevuus 1:1

## 2.2 Sadanta-valuntamalli

Sadanta-valuntamallilla arvioidaan sateesta muodostuvan valunnan määrää ja häviöitä. Näihin vaikuttavat esimerkiksi pintamateriaalit, imeytyminen, maaperän kaltevuus sekä sääolosuhteet. Valuntamallia varten tarkastelualue jaettiin automaattityökalulla valuma-alueisiin, jolloin valuma-alueille voitiin määrittää tarkat pintavaluntaominaisuudet. Kutakin verkostossa olevaa kaivoa kohden määritettiin yksi valuma-alue. Valuma-alueiden ominaisuudet määriteltiin verkostotietojen, rumpujen, pintamallin, virtavesien, maanpeitetietojen sekä maaperän perusteella.

Sadanta-valuntamallin lähtötietoina käytetään läpäisemättömän pinnan osuutta, painannesäilyntää (mm), läpäisemättömän ja läpäisevän pinnan karkeuskerrointa, keskimääräistä pituuskaltevuutta sekä pisintä virtausreittiä ja siitä johdettua valuma-alueen karakteristista leveyttä. Valunnan muodostumisessa huomioitiin myös eri pintamaalajeista riippuva imeyntä.

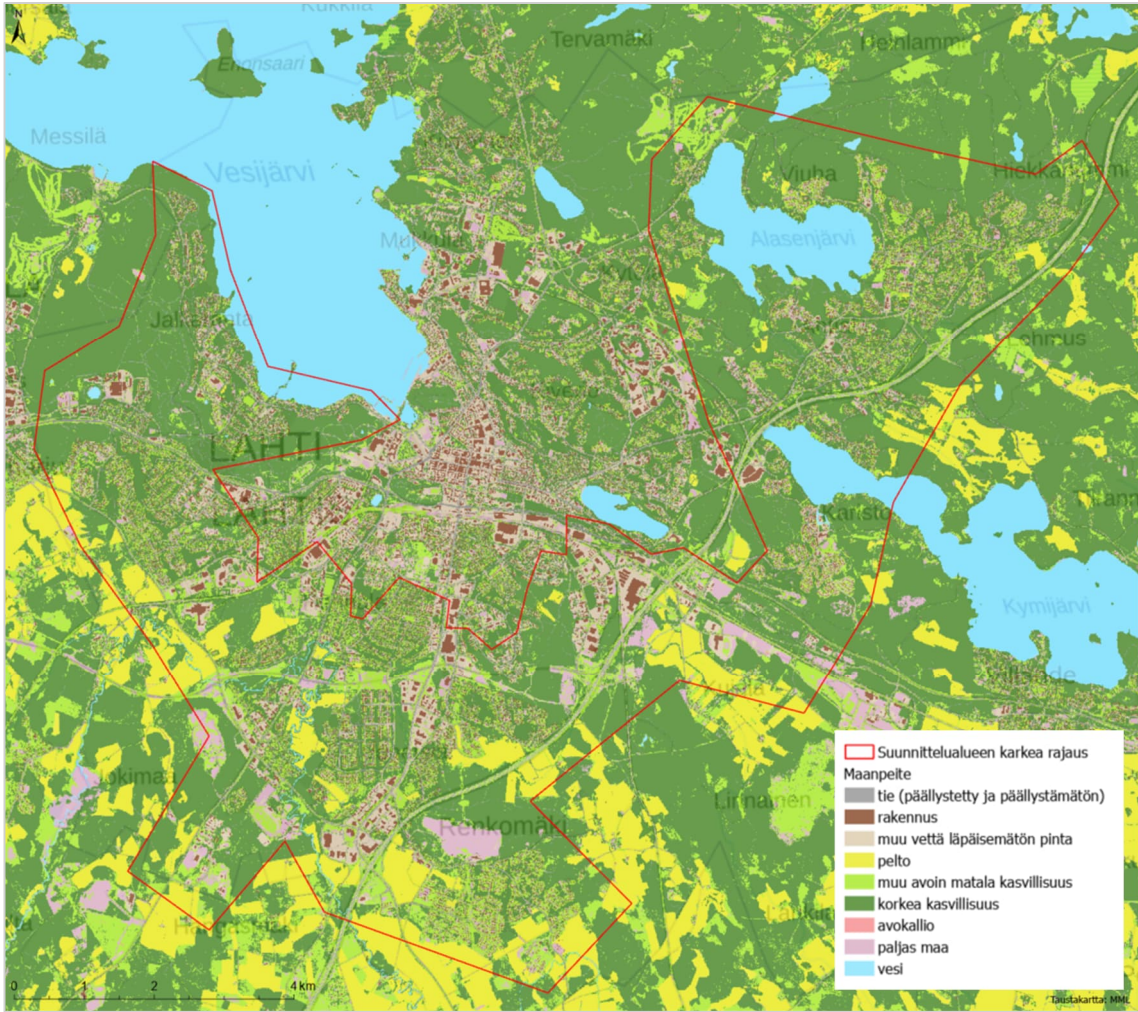
Valuma-alueille kohdistettiin painannesäilyntää riippuen valuma-alueen maaperästä (kuva 1 ja taulukko 1) ja maanpeitteestä (kuva 2 ja taulukko 2). Valuma-alueen maaperän läpäisevyys, eli se, onko valuma-alueen maaperä läpäisevää vai vähemmän läpäisevää, laskettiin painotettuna keskiarvona valuma-alueelle osuvien maanpeitetyyppien pinta-aloista.



Kuva 1 Suunnittelalueen maalajit (GTK) (Taustakartta MML)

Taulukko 1 Maaperään perustuvat parametrit

Maaperä (GTK)	Hydraulic conductivity [mm/h]	Initial deficit	Suction [mm]
Sora / hiekka	108	0,34	49
Moreeni	15,5	0,31	89
Hiesu / hiekka	4,3	0,24	209
Savi	1,1	0,21	316
Kallio	1,1	0,21	316



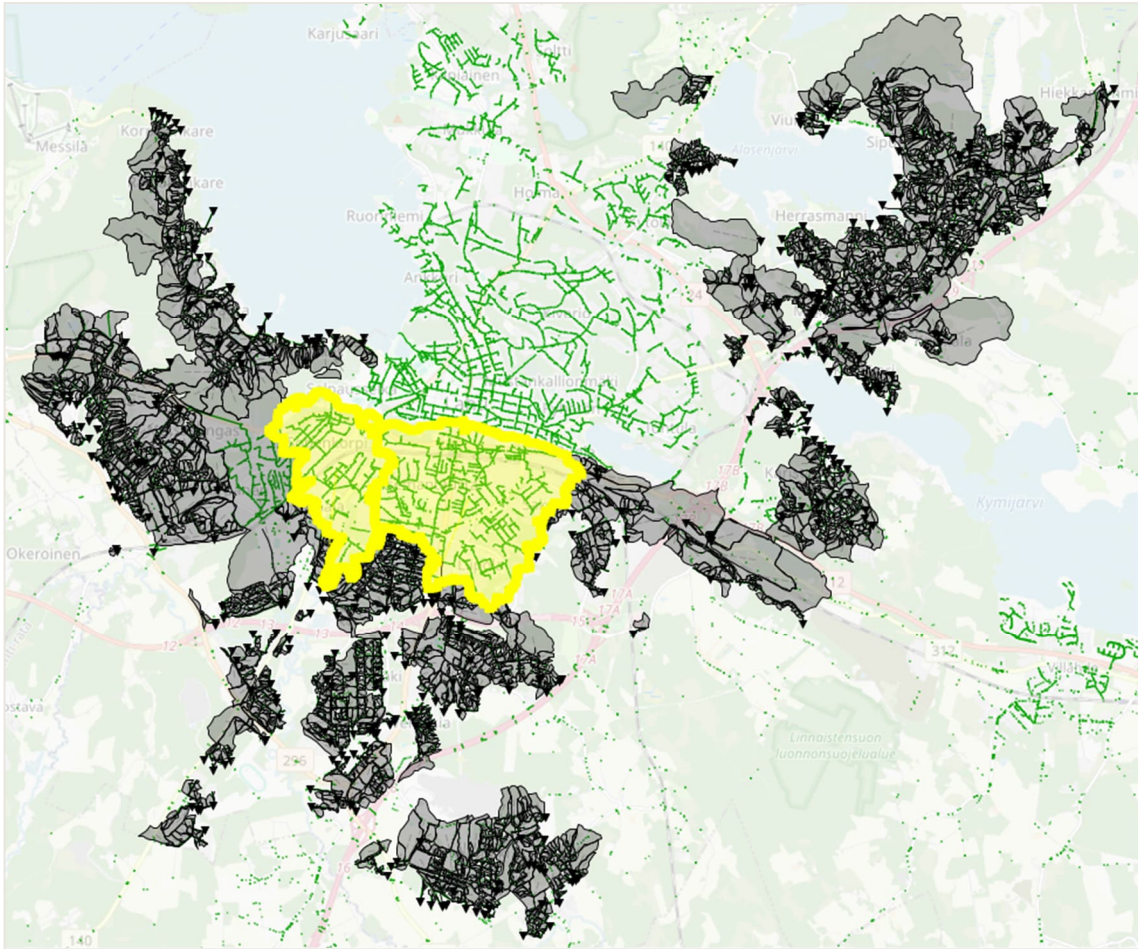
Kuva 2 Suunnittelalueen maanpeite (Taustakartta MML)

Taulukko 2 Maanpeitteeseen perustuvat parametrit

Maanpeitetyyppi	Painanne- säilyntä [mm]	Pinnan karheus [Manning]	Läpäisemät- tömyys [kyllä/ei]
Päällystetty tie	0,5	0,02	kyllä
Päällystämätön tie	1,5	0,02	ei
Rakennus	0,28	0,02	kyllä
Muu vettä läpäisemätön pinta	0,5	0,02	kyllä
Pelto	5,07	0,3	ei
Muu avoin matala kasvillisuus	5,07	0,2	ei
Korkea kasvillisuus	7,53	0,4	ei
Avokallio	0,024	0,02	kyllä
Paljas maa	1,5	0,024	ei
Vesi	-	-	kyllä

Sadanta-valuntamallilla laskettu pintavalunta kohdistetaan kuormittamaan hulevesiverkostoa. Mikäli valuma-alueella oli hulevesiverkoston liittymättömiä kiinteistöjä yli 30 % valuma-alueen pinta-alasta, asetettiin alueelle arvo "impervious to pervious" eli oletettiin, että vesi imeytyy ensin maaperään ja sitten vasta päätyy verkostoon.

Lisäksi malliin tehtiin kahden suuren valuma-alueen (kuva 3) osalta virtaaman rajoitus aiemmin mallinnetun verkoston laskentatulosten perusteella. Näillä valuma-alueilla mallin virtaamat olivat ilman rajoitusta kohtuuttoman suuria, koska alueiden verkosto ei ollut mukana mallissa viivyttämässä virtaamaa. Idänpuoleiselle valuma-alueelle virtaamarajoitus oli Asemantaustan mallista keskimäärin kerran 20 vuodessa toistuvassa rankkasadetilanteessa 1600 l/s ja keskimäärin kerran 100 vuodessa toistuvassa rankkasadetilanteessa 1800 l/s. Lännen puoleisen valuma-alueen virtaamarajoitukset laskettiin Asemantaustan valuma-alueen virtaamista pinta-alan perusteella ja vastaavat rajoitukset olivat tälle alueelle 772,5 l/s ja 896,1 l/s.

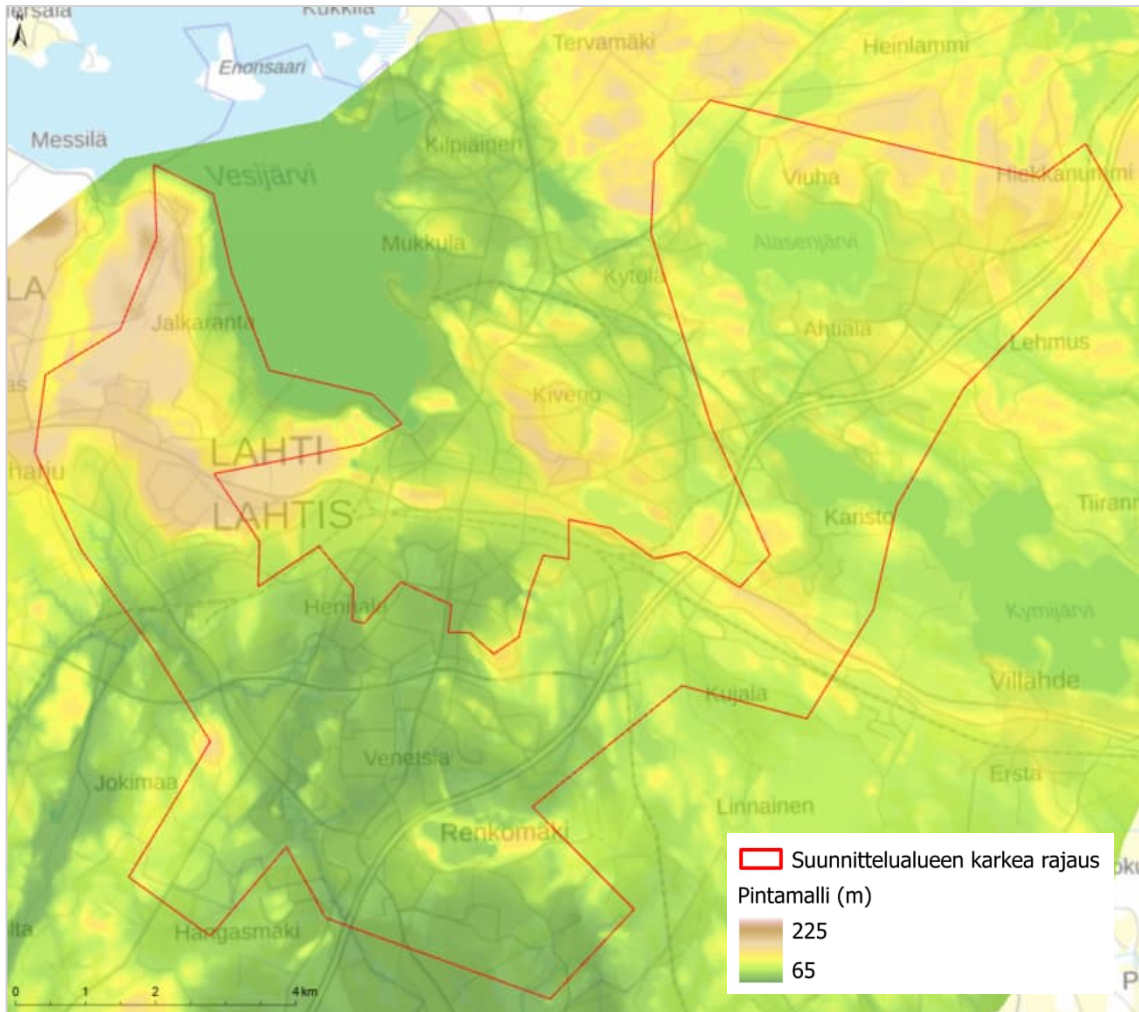


Kuva 3 Valuma-alueet, jolle asetettiin virtaamarajoitus (Taustakartta OpenStreetMap)

### 2.3 Pintamalli

Tarkastelussa hyödynnettiin Maanmittauslaitoksen 2 m x 2 m pintamallia (kuva 4). Pintamallin perusteella määritettiin kaivojen kansien korkeudet. Lisäksi pintamallia käytettiin valuma-alueiden luomisessa sekä tulvakarttojen laadinnassa.





Kuva 4 Suunnittelualan pintamalli (Taustakartta MML)

## 2.4 Mitoitussateet

Hulevesijärjestelmät mitoitetaan kesäsateiden perusteella. Lumensulamiskauden valunnat eivät ole luonteeltaan yhtä hetkellisiä ja aiheuta yhtä suuria hetkellisiä virtaamia hulevesijärjestelmässä, kuin voimakkaat kesän rankkasateet.

Mallinnuksessa valuma-alueita kuormitettiin erimittaisilla mitoitussadetapahtumilla, joissa sateen pituus vaihtelee kymmenestä minuutista tuntiin. Tulvakartat laadittiin 20 minuutin mittaisilla sadetapahtumilla.

Mallinnus tehtiin taulukossa 3 esitetyillä keskimäärin kerran 20 ja 100 vuodessa toistuvilla mitoitussateilla. Käytetyissä mitoitussateissa on huomioitu ennakoitu ilmastonmuutoksen vaikutus 20 % kasvuna nykyilmaston mukaisiin mitoitustilanteisiin.

Taulukko 3 Simuloinnissa käytetyt mitoitussateet

Toistuvuus [min]	1/20 v		1/100 v	
	Intensiteetti [l/s/ha]	Sademäärä [mm]	Intensiteetti [l/s/ha]	Sademäärä [mm]
10	240,0	14,4	-	-
20	170,0	20,4	234,0	28,1
30	130,0	23,4	-	-
60	86,0	31,0	-	-

### 3 Mallinnustulokset

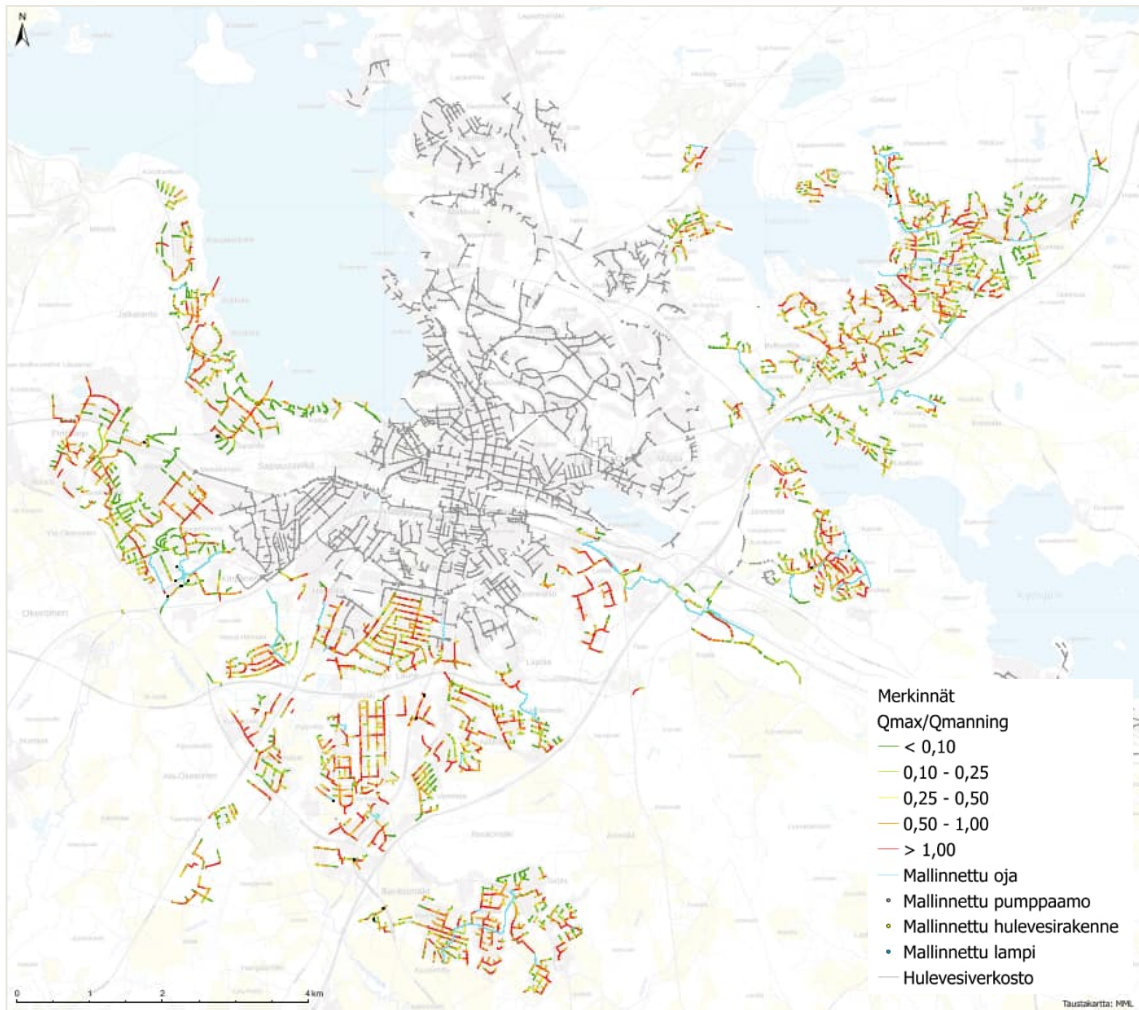
Verkoston mallinnus tehtiin välityskyvyn ( $Q_{max}/Q_{Manning}$ ) osalta keskimäärin kerran 20 vuodessa toistuvassa rankkasadetapahtumassa ja tulvamallinnuksen osalta keskimäärin kerran 100 vuodessa toistuvassa rankkasadetapahtumassa.

Huomioitavaa on, että kuvissa tulokset esitetään putkikohtaisina maksimiarvoina, eivätkä ne ole samaan aika-asteleeseen sidottuja tuloksia. Lisäksi pienehköt putkikoot sekä osittain suuretkin valuma-alueet saavat aikaan sen, että mallissa tulvivia kaivoja saattaa olla enemmän kuin todellisuudessa. Tietyt kaivot, joihin liittyy suuri valuma-alue, kuormittuvat siis mallissa jonkin verran todellisuutta enemmän.

#### 3.1 Välityskyky ( $Q_{max}/Q_{Manning}$ )

Viettoviemäreiden välityskykyä arvioidaan laskemalla viemärivälikohtainen  $Q_{max}/Q_{Manning}$  -tunnusluku (kuva 5, liite 1). Tämä tunnusluku ilmaisee putkikohtaisesti suurimman mallinnuksessa esiintyneen virtaaman suhteen putken maksimikapasiteettiin eli teoreettiseen maksimivirtaamaan nähden tilanteessa, jossa viemäriin padottumista ei vielä esiinny. Yli 1,0 tunnusluvut kertovat kyseisen viemäriin välityskyvyn ylittymisestä ja vähintään paikallisesti padottavasta viemäriosuudesta. Välityskyvyn ylittymisestä saattaa seurata putkijärjestelmän tulvimista sekä avouomissa rumpujen patoutumista.

Mallinnetulla alueella hulevesiverkoston kapasiteetti ylittyy monin paikoin keskimäärin kerran 20 vuodessa toistuvassa rankkasadetilanteessa. Todennäköisesti verkoston mitoitus on kuitenkin tehty tarkasteltua rankkasadetilannetta pienemmillä virtaamilla, joten kapasiteetin ylitykset olivat odotettavissa.



Kuva 5 Putken välityskyky  $Q_{max}/Q_{Manning}$  keskimäärin kerran 20 vuodessa toistuvassa rankkasadetilanteessa

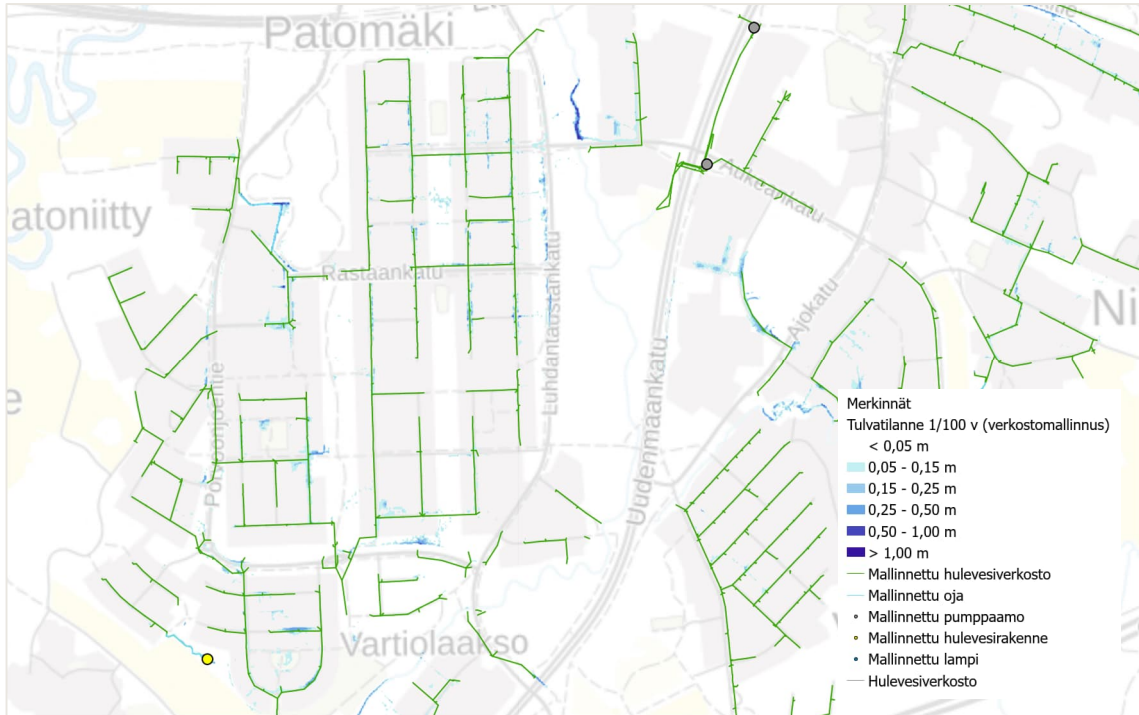
### 3.2 Tulvariskikartoitus

Yhdistämällä pintamalli hulevesiverkostomalliin voitiin mallintaa veden virtausta verkoston ja maanpinnan välillä sekä maanpäällisten tulvareittien muodostumista. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että vedenpinnan noustessa verkostossa kaivon kannen yläpuolelle, vesi siirtyy virtaamaan pintamalliin. Tulvamallinnuksessa vain avoimet ritiläkansi- ja kitakaivot kytkettiin pintamalliin, jolloin vesi pääsi tulvimaan vain näistä kaivoista.

Käytetty pintamallin tarkkuus on 2 m x 2 m ja laskentatarkkuus 2 m x 2 m. Pintamallista nostettiin rakennukset 5 m ylöspäin, jotta vesi ei pääse virtaamaan niiden läpi. Maankäytön karkeuskertoimena (Manning's n) käytettiin koko alueelle arvoa 0,02.

Liitteessä 2 on esitetty tulvatilanne kerran 100 vuodessa toistuvassa rankkasadetilanteessa 20 minuutin mittaisella sadetapahtumalla mallinnetun

verkoston alueelta. Kuvassa 6 on esimerkki tulvatilanteen esitystavasta. Kartoissa on esitetty tulva-alueet, joilla veden syvyys on yli 5 cm. Mallinnuksen perusteella hulevesitulvien riskikohteet ovat melko paikallisia ja maanpinnalle kertyvät vesimäärät pääosin pieniä.



Kuva 6 Tulvatilanne keskimäärin kerran 100 vuodessa toistuvassa rankkasadetilanteessa. Esimerkkikuva liitteestä 2. (Taustakartta MML)

## 4 Jatkoimenpiteet

Lahden hulevesiverkosto on mallinnettu jo aiemmin osittain. Tässä työssä mallinnettiin puuttuvat verkosto-osat ja analysoitiin niiden toiminta. Mallinnus ja tarkastelut tehtiin Fluidit Storm -ohjelmistolla.

Hulevesimallia voidaan käyttää apuna suunnitteluun, hulevesi-infran omaisuudenhallintaan sekä investointien kartoittamiseen toiminallisuuden näkökulmasta. Lisäksi mallin avulla voidaan ennakoida hulevesijärjestelmän investointeja ja varautua ilmastonmuutokseen ja kaupungin tiivistymis- ja/tai laajentumistarpeisiin.

Jatkotoimenpiteenä sekä nyt että aiemmin laaditut mallit on mahdollista yhdistää ja kääntää samaan ohjelmistoon. Valmiin mallin avulla on myös mahdollista tuottaa erilaisia yksityiskohtaisempia karttanäkymiä tuloksista sekä tulvivien kaivojen, putkien maksimikapasiteettien ja -virtaamien teemakarttoja ja merkittävimpien runkolinjojen pituusprofileita maksimivedenpinnankorkeuksineen.

Pintavirtausmallin avulla on myös mahdollista laatia tulvareittien karttoja ja analyysejä.

Mallin valuma-alueet on laadittu automaattisin menetelmin, jolloin yksittäisiä virheitä esimerkiksi niiden liitospisteissä esiintyy siellä täällä. Mallin myöhemmässä käytössä esimerkiksi yksittäisen kohteen mitoituksessa tulee varautua tarkistamaan ja tarkentamaan valuma-alueiden täsmällisyyttä sekä niiden liitospisteitä verkostoon.