



Asiakas: Lahden kaupunki

Projekti: Nastolan hulevesiverkoston ja hulevesijärjestelmän kehittämissuunnitelma ja tulvariskien alustava arviointi

Projektinumero: 101021079-001

## Sisältö

1	Johdanto.....	4
2	Hulevesijärjestelmän simulointimallin kuvaus .....	4
2.1	Hydraulinen verkostomalli.....	5
2.1.1	Verkostotiedon eheytytys .....	6
2.2	Sadanta-valuntamalli .....	6
2.2.1	Parametrit tulvamallinnuksessa.....	7
2.3	Pintamalli.....	8
2.4	Mitoitussateet.....	9
3	Mallinnustulokset .....	10
3.1	Maksimivirtaama .....	10
3.2	Välityskyky ( $Q_{max}/Q_{Manning}$ ).....	11
3.3	Tulvivat kaivot.....	11
3.4	Tulvariskikartoitus .....	11
4	Jatkotoimenpiteet .....	12

## Liitteet

Liite 1. Tulvivat kaivot

Liite 2. Putken välityskyky 1/20 v

Liite 3. Valuma-alueiden pintavaluntakertoimet

Liite 4. Putken maksimivirtaama 1/20 v

Liite 5. Maanpinnan virtausreitit

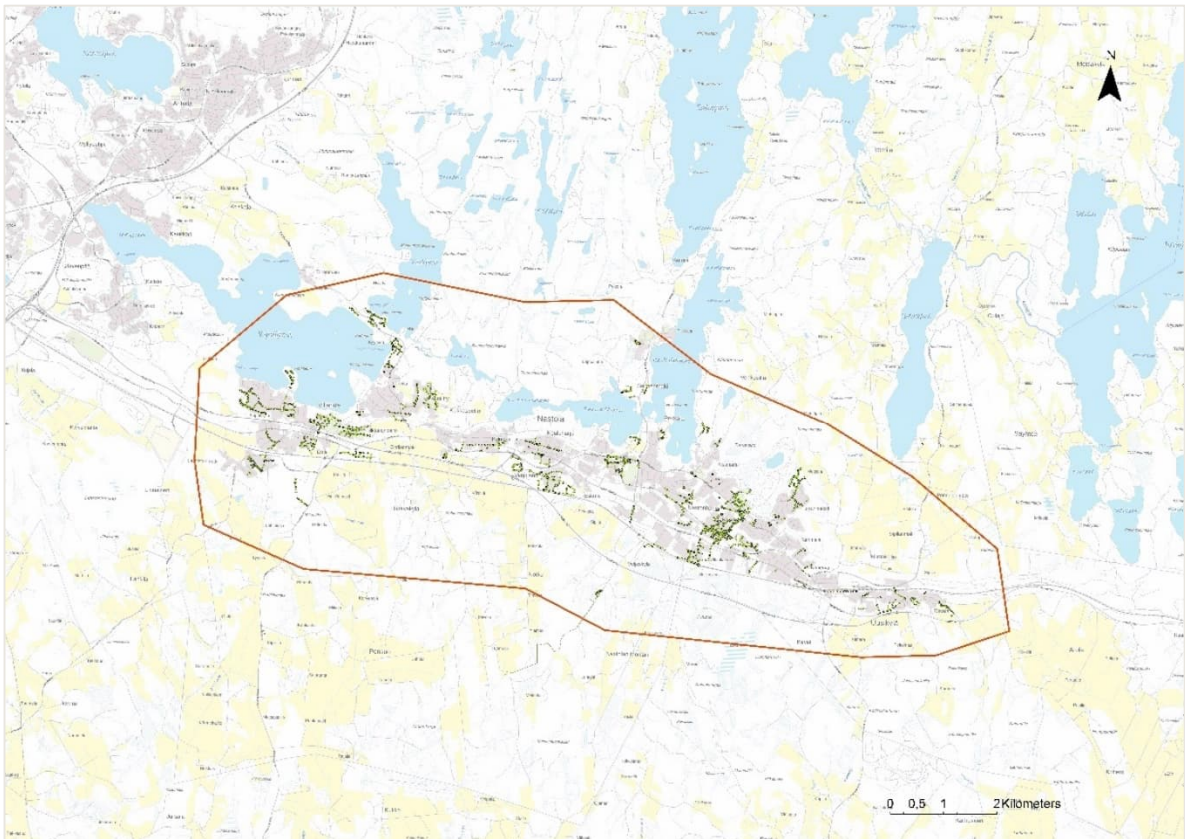
Liite 6. Painanneanalyysin tulokset

Liite 7. Tulvakartta 1/100 v

## 1 Johdanto

Tässä selvityksessä tehtiin Lahden kaupungin Nastolan kaupunginosalle hulevesiverkoston ja hulevesijärjestelmän toiminnallinen analyysi ja tulvariskien alustava arviointi. Työ on jatkoa vuoden 2018 Lahden hulevesijärjestelmän tulvariskien alustava arviointi -projektille. Työssä laadittiin Nastolalle hulevesiverkostomalli verkkotieto- ja oja-aineiston pohjalta käyttämällä DHI:n (Danish Hydrological Institute) MIKE-sarjan Mike+ -mallinnusohjelmaa sekä ArcGIS Pro -paikkatieto-ohjelmistoa. Tulvariskikartoitus tehtiin Fluidit Storm -ohjelmistolla. Mallinnustulosten perusteella analysoitiin verkoston toimintaa ja määritettiin tulvariskikohteet.

Tarkastelualue kattaa Nastolan kaupunginosan (kuva 1).



*Kuva 1 Tarkastelualue kartalla. Nastolan kaupunginosan ympärille on piirretty punainen viiva, joka kuvaa karkeasti tarkastelualueen sijaintia.*

## 2 Hulevesijärjestelmän simulointimallin kuvaus

Hulevesijärjestelmän simulointimalli koostuu hydraulisesta verkostomallista ja sadanta-valuntamallista. Projektissa luotiin hulevesijärjestelmän toimintaa simuloiva tietokonemalli MIKE+ -ohjelmistolla, jonka avulla voidaan monipuolisesti analysoida hulevesiviemärointijärjestelmän toimintaa. Tulvariskikartoitusta varten

malli vietiin Fluidit Storm -ohjelmistoon. Malli on laadittu ETRS-GK26-tasokoordinaatistossa ja N2000-korkeusjärjestelmässä.

## 2.1 Hydraulinen verkostomalli

Nastolan hulevesiverkostosta rakennettiin laskentamalli, joka sisältää runkolinjat ja ritiläkaivot lukuun ottamatta irrallisia rakenteita sekä lyhyitä kadunkuivatuslinjoja, jotka purkavat vetensä viereiseen avo-ojaan. Tonttijohtoja ja salaojia ei mallinnettu. Verkostomalli rakennettiin verkkotietoaineiston pohjalta. Mallin elementtien ominaisuuksissa säilytettiin sama Id-numero kuin verkkotietojärjestelmässä, jotta tietojen siirto myöhemmin mallin ja verkkotietojärjestelmän välillä on mahdollista.

Ennen varsinaisen mallin rakentamista keskeinen vaihe oli malliin sisällytettävien viemäriinjojen ja kaivojen valinta sekä verkkotiedon eheytytys, jossa parannettiin verkostotiedon laatua täydentämällä puutteita ja korjaamalla havaittuja virheitä. Verkostotiedon eheytytys tehtiin paikkatieto-ohjelmistolla siten, että jälkeenpäin on erotettavissa alkuperäiset ja eheytykseen perustuvat verkostotiedot. Eheytyttävistä tiedoista 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.

Verkostomalliin sisällytettiin seuraavat elementit eheytytystä verkkotietoaineistosta:

- verkostot ja avo-ojat: 54 km
- kaivot: 2530 kpl

Tulvamalliin 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.

Mallinnetulla alueella ei ollut yhtään runkolinjapumppaamaa, joten malliin ei laadittu yhtään hulevesipumppaamaa.

### 2.1.1 Verkostotiedon eheyty

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

- Putkia, joiden koko oli alle DN160, ei mallinnettu.
- Mallinusuohjelmassa ne putket, jotka olivat maksimissaan 1,3 metrin päässä kaivosta, yhdistettiin kyseiseen kaivoon.
- Pumppaamoja ja painelinjoja ei mallinnettu.
- Jos putkilinjan yläpäästä puuttui putken koko, kokona käytettiin putkilinjan alapäädyn putkikokoa.
- Lähtötietomateriaalissa ei ollut saatavilla identifioituja verkostojen purkupisteitä, joten purkupisteet luotiin verkostoon käsin tarkastelemalla pintamallia sekä verkoston korkotietoja.
- Niiden purkupisteiden, joiden pohjan korko vaikutti olevan virheellisesti maanpinnan yläpuolella, pohjan korko korjattiin tasoon maanpinta – 1 m.

## 2.2 Sadanta-valuntamalli

Sadanta-valuntamallilla arvioidaan sateesta muodostuvan valunnan määrää ja häviöitä. Näihin vaikuttavat esimerkiksi pintamateriaalit, imeytyminen, maaperän kaltevuus sekä sääolosuhteet. Sadanta-valuntamallin lähtötietoina käytetään läpäisemättömän pinnan osuutta (pintavaluntakerroin), painannesäilyntää (mm) sekä valunnan viivettä (min), joka kuluu pintavalunnan virtaamisesta mallin keräilyjärjestelmään. Viiveeseen vaikuttaa esimerkiksi valuma-alueen muoto ja kaltevuus.

Valuntamallia varten Nastola jaettiin pintamallia, vesistö- ja verkostotietoja sekä muuta aineistoa hyödyntävällä automaattityökalulla valuma-alueisiin, jolloin valuma-alueille voitiin määrittää tarkat pintavaluntaominaisuudet. Kutakin verkostossa olevaa kaivoa kohden määritettiin yksi valuma-alue. Valuma-alueiden ominaisuudet määriteltiin verkostotietojen, korkeusaineiston, maankäyttötietojen sekä ilmakuvien perusteella. Laskennalliset pintavaluntakertoimet kerrottiin vielä kertoimella 0,65. Tämä perustuu konsultin kokemukseen siitä, minkälaisia todelliset pintavaluntakertoimet yleensä ovat verrattuna laskennallisesti määritettyihin pintavaluntakertoimiin.

Valuma-alueille kohdistettiin painannesäilyntää riippuen valuma-alueen maaperästä ja maankäytöstä. Maaperä oli suurimmalta osin koko alueella hiekkaa tai muuta hyvin vettä läpäisevää maalajia, kuten soraa ja karkeaa hietaa. Alueen länsiosissa maaperässä on myös melko paljon hiesua. Painannesäilyntän määräksi annettiin hyvin vettä läpäisevän maaperän alueille 5,1 mm, jota voidaan pitää hiekkaisen maan yleisenä painannesäilyntäarvona (taulukko 1). Hiesuvaltaisille alueille annettiin painannesäilyntän arvoksi 3,8 mm (taulukko 1). Huonommin vettä

läpäisevän maaperän (savi, hieno hieta, lieju) alueilla painannesäilynnäksi annettiin 2,5 mm, jota voidaan pitää savisen maan yleisenä painannesäilyntäarvona (taulukko 1). Valuma-alueen maaperän läpäisevyys, eli se, onko valuma-alueen maaperä läpäisevää (jolloin käytettiin painannesäilyntäarvoa 5,1 mm) vai vähemmän läpäisevää (jolloin käytettiin painannesäilyntäarvoa 2,5 mm), laskettiin painotettuna keskiarvona valuma-alueelle osuvien maalajien pinta-aloista. Jos valuma-alueen maaperän pinta-alasta yli 50 % oli hyvin vettä läpäisevää maaperää, käytettiin painannesäilyntäarvona hiekkaisen maan painannesäilyntäarvoa 5,1 mm. Jos valuma-alueen maaperän pinta-alasta oli yli 50 % heikommin vettä läpäisevää maaperää, käytettiin painannesäilyntäarvona savisen maan painannesäilyntäarvoa 2,5 mm.

*Taulukko 1 Painannesäilynnän määrä eri maaperällä tai maankäytön alueella (Hulevesien hallinta mallintamalla. Jaakola 2015; viitattu Karamouz et al. 2010)*

<b>Maaperä/maan käyttö</b>	<b>Painannesäilynnän määrä (mm)</b>
Hiekka	5,1
Hiesu	3,8
Savi	2,5
Läpäisemätön päällyste	1,6
Läpäisevä maa kaupunkialueella	6,25

Maaperän vedenläpäisevyyden lisäksi painannesäilyntäarvoissa otettiin huomioon alueen maankäyttö. Tiiviisti rakennetuilla keskusta-alueilla painannesäilynnän arvoksi annettiin 1 mm kattojen ja asfalttipäällysteiden runsaan määrän vuoksi. Lisäksi huomioitiin valuma-alueen koko ja kaltevuus. Kaikkein suurimmille valuma-alueille, joilla oli hyvin vettä läpäisevä maaperä sekä verkostoa kohti viettävä kaltevuus, annettiin poikkeuksellisesti suurempi 6 mm painannesäilyntäarvo. Tämä kompensoi valuma-alueen suuren koon aiheuttamaa suurta virtaamaa verkostoon.

Pintavaluntakertoimien arvot ovat suurimmillaan 0,54. Valuma-alueet ja niiden pintavaluntakertoimet on esitetty liitteessä 2. Sadanta-valuntamallilla laskettu pintavalunta kohdistettiin kuormittamaan hulevesiverkostoa.

### 2.2.1 Parametrit tulvamallinnuksessa

Tulvamallinnus tehtiin Fluidit Storm -ohjelmistolla. Tulvamallinnusta varten valuma-alueille laskettiin vielä taulukoissa 1 ja 2 esitetyt parametrit maaperän sekä maanpeiteaineiston perusteella.



Taulukko 2 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

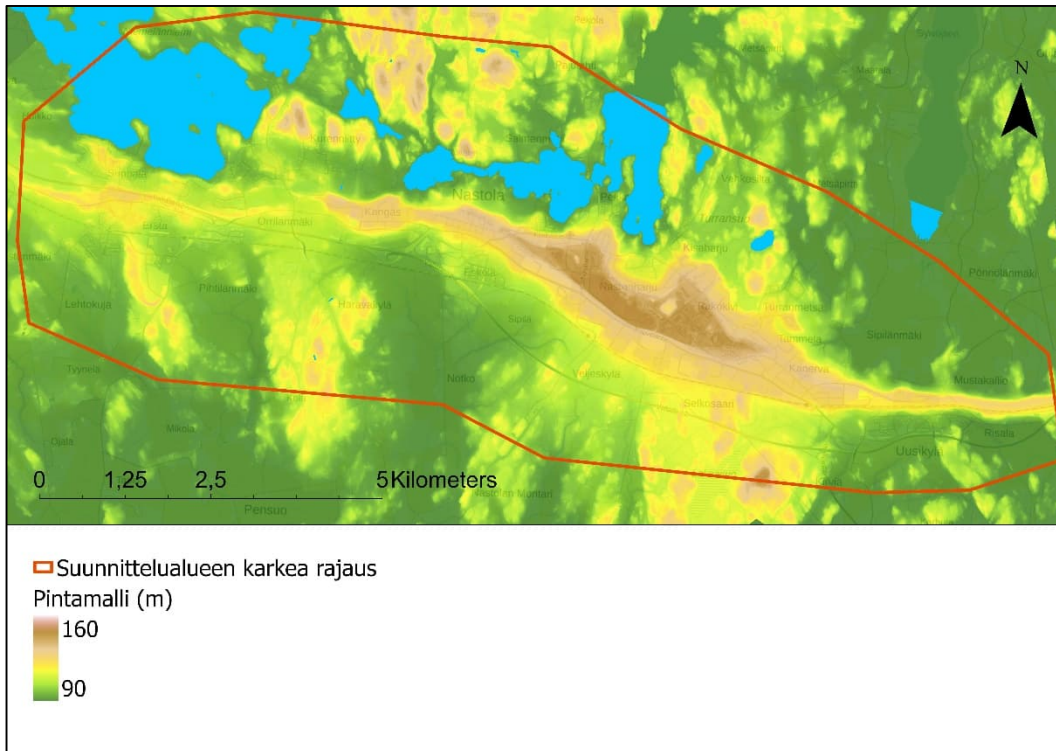
Taulukko 3 Maanpeitteeseen perustuvat parametrit

Maanpeitetyyppi	Painanne-säilyntä [mm]	Pinnan karkeus [Manning]	Läpäisemättömyys [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

Mikäli valuma-alueen läpäisemättömän pinnan osuus oli alle 30 % ja pinta-ala yli 5 ha, asetettiin alueelle arvo "impervious to pervious" eli oletettiin, että vesi imeytyy ensin maaperään ja päättyy sitten vasta verkostoon.

### 2.3 Pintamalli

Tarkastelussa hyödynnettiin 2 m x 2 m pintamallia (kuva 2). Pintamallin perusteella määritettiin kaivojen kansien korkeudet. Lisäksi pintamallia käytettiin tulvakarttojen laadinnassa. Pintamallia muokattiin siten, että olemassa olevien rakennusten kohdalta pintaa nostettiin 3 metriä. Tämä auttoi realistisemmassa tuloksessa veden virtausreittien ja valuma-alueiden laskennassa.



Kuva 2 Suunnittelualan pintamalli

## 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 kuormitetaan erimittaisilla mitoitussadetapahtumilla, joissa sateen pituus vaihtelee viidestä minuutista 24 tuntiin. Tulvakartat laadittiin Nastolan alueelle 15 minuutin mittaisilla sadetapahtumilla, sillä 15 minuutin mittainen sadetapahtuma aiheutti yleisesti suurimman tulvinnan alueen kaivoissa.

Mallinnus tehtiin taulukossa 2 esitetyillä mitoitussateilla, jotka ovat samat, kuin edellisessä Lahden työssä: kerran kolmessa, 20 ja 100 vuodessa toistuva mitoitussade. Tulvamallinnus tehtiin edellisen Lahden työn tavoin vain keskimäärin kerran 100 vuodessa toistuvassa rankkasadetilanteessa 20 minuutin sateen kestolla. Käytetyissä mitoitussateissa on huomioitu ennakoitu ilmastonmuutoksen vaikutus 20 % kasvuna nykyilmaston mukaisiin mitoitustilanteisiin.



Taulukko 4 Simuloinnissa käytetyt mitoitussateet

Toistuvuus	1/3 v		1/20 v		1/100 v	
	Intensi- teetti [l/s/ha]	Sade- määrä [mm]	Intensi- teetti [l/s/ha]	Sade- määrä [mm]	Intensi- teetti [l/s/ha]	Sade- määrä [mm]
5	220,00	6,6	300,00	9,0	400,00	12,0
10	150,00	9,0	240,00	14,4	320,00	19,2
15	133,00	12,0	210,00	18,9	280,00	25,2
20	110,40	13,2	170,00	20,4	234,00	28,1
30	86,00	15,5	130,00	23,4	180,00	32,4
60	56,40	20,3	86,00	31,0	110,00	39,6
180	28,00	30,2	40,00	43,2	54,00	58,3
360	17,00	36,7	24,00	51,8	32,00	69,1
720	10,60	45,8	14,00	60,5	20,00	86,4
1440	6,20	53,6	8,00	69,1	12,00	103,7

### 3 Mallinnustulokset

Verkoston mallinnus tehtiin kaikilla mitoitussadetahtumilla (1/3 v, 1/20 v, 1/100 v). Liitekartoissa on esitetty maksimikapasiteetti ja välityskyky ( $Q_{Max}/Q_{Manning}$ ) kerran 20 vuodessa toistuvassa rankkasadetahtumassa. Lisäksi tulvivat kaivot on esitetty kerran kolmessa, 20 ja 100 vuodessa toistuvissa rankkasadetahtumissa sekä tulvatilanne kerran 100 vuodessa toistuvassa rankkasadetahtumassa.

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

#### 3.1 Maksimivirtaama

Maksimivirtaama kuvaa eri verkosto-osuuksilla tapahtuvaa virtaamaa ja eri valuma-alueilta tapahtuva valunnan suuruutta (liite 4). Maksimivirtaamat ovat tarkastelualueella suurimmaksi osaksi alle 100 l/s.

### 3.2 Välityskyky ( $Q_{\max}/Q_{\text{Manning}}$ )

Viettoviemäreiden välityskykyä arvioidaan laskemalla viemärivälikohtainen  $Q_{\max}/Q_{\text{Manning}}$  -tunnusluku (liite 2). 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.

### 3.3 Tulvivat kaivot

Liitteessä 1 esitetyissä tulvivissa kaivoissa on vedenpinta noussut hetkellisesti tai pitempiä aikaisesti kaivon kannen tason yläpuolelle. Jokaisen tulvivan kaivon kohdalle ei siis synny huomattavaa tulva-aluetta ja tulviminen ei myöskään aiheuta merkittäviä ongelmia, jos tulvareitti on kunnossa. Kartasta voidaan kuitenkin havaita alueita, joilla on merkittävän paljon tulvivia kaivoja etenkin kerran kolmessa vuodessa toistuvassa rankkasadetilanteessa, kuten Vanhakartanon, Veljeskylän pohjoispuolen sekä Eskolan alueilla. Näillä alueilla voidaan tulkita verkostokapasiteetin olevan yleisesti niukka mitoittavaan sateeseen nähden. On kuitenkin huomioitava, että Nastolan maaperä on yleisesti hyvin vettä läpäisevää, ja vaikka tämä otettiin huomioon mallissa, erityisen paljon mallissa tulviviin kohteisiin tulee suhtautua kriittisesti.

### 3.4 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. 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. Maankäytön karkeuskertoimena (Manning's n) käytettiin koko alueelle arvoa 0,02.

Liitteessä 7 on esitetty tulvatilanne kerran 100 vuodessa toistuvassa rankkasadetilanteessa 20 minuutin mittaisella sadetapahtumalla mallinnetun verkoston alueelta. Kartassa on esitetty tulva-alueet, joilla veden syvyys on yli 5 cm. Mallinnuksen perusteella Nastolan alueen hulevesitulvien riskikohteet ovat melko paikallisia ja maanpinnalle kertyvät vesimäärät pääosin pieniä.

Alueille, joille ei laadittu hulevesiverkostomallia, laadittiin painanneanalyysi. Analyysissä määritettiin pintamallin avulla kaikki yli 5 cm syvät ja yli 1000 m<sup>2</sup> laajat painanteet, joihin alkaa kertyä rankkasadetilanteissa valumavesiä, jos

painannealueella ei ole hulevesiverkostoa johtamassa vettä pois tai se ei imeydy maaperään. Painanteet on esitetty liitteessä 6.

## 4 Jatkotoimenpiteet

Tässä selvityksessä tehtiin Lahden kaupungin Nastolan kaupunginosalle hulevesiverkostomalli ja analysoitiin hulevesijärjestelmän toimintaa eri tunnuslukujen avulla. Mallinnus tehtiin Mike+ -ohjelmistolla ja tulvamallinnukseen käytettiin Fluidit Storm -ohjelmistoa.

Laadittua hulevesiviemärimallia voidaan hyödyntää jatkossa hulevesiviemäroinnin suunnittelussa sekä hulevesitulvariskien hallinnassa. Hulevesimallia voidaan käyttää esimerkiksi suunnittelun ja hulevesi-infran omaisuudenhallinnan tukena sekä apuna hulevesijärjestelmän investointien ennakointiin ja ilmastonmuutokseen ja kaupungin tiivistymis- ja/tai laajentumistarpeisiin varautumiseen.

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.