



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jani Pekkarinen

SELVITYS PIENEMPIEN TEIDEN LIIKENNÖI-  
TÄVYYDESTÄ JA KOROTUSMAHDOLLI-  
SUUKSISTA LAIHIANJOEN TULVA-ALUEILLA

Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus

Tekniikka  
2022

## **ALKUSANAT**

Kiitos Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksen ympäristövastuualueen vesistöyksikköön mahdollisuudesta tehdä tämä opinnäytetyö mielenkiintoisesta, haastavastakin, mutta opettavaisesta aiheesta. Oli hienoa tutustua ELY-keskuksen ja Y-vastuualueen toimintaan ja saada tehdä töitä mukavassa porukassa.

Erityiskiitos vesitalousasiantuntija Marko Ojamaalle neuvoista, opastuksesta ja ohjauksesta tämän työn ja tulvamallinnusohjelmien kanssa.

Laihiolla 17.11.2022

Jani Pekkarinen

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jani Pekkarinen
Opinnäytetyön nimi	Selvitys pienempien teiden liikennöitävyydestä ja korotusmahdollisuuksista Laihianjoen tulva-alueilla
Vuosi	2022
Kieli	suomi
Sivumäärä	98
Ohjaaja	Tom Lipkin

---

Laihia-Tuovila-Runsorin merkittävä tulvariskialue sijaitsee Laihianjoen vesistöalueella. Yhden tai useamman merkittävän tulvariskialueen sisältävillä vesistöalueilla laaditaan tulvariskien hallintasuunnitelma. Tulvariskien hallinnan tavoitteita alueella pyritään saavuttamaan hallintasuunnitelmassa esitetyillä toimenpiteillä.

Tämä työ on yksi Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelmassa vuosille 2022–2027 esitetyistä tulvariskiä vähentävistä toimenpiteistä. Työssä on selvitetty Laihianjoen varrella sijaitsevien pienten teiden korottamisen vaikutusta liikennöintiin tulvilla, käyttäen avuksi Laihianjoen alaosaan tehtyä 2D-virtausmallinnusta ja paikkatietoaineistoa. Työhön valittiin mukaan Laihianjoen alaosalta tiet, joita keskimäärin kerran sadassa vuodessa toistuva vesistötulva tulvamallinnuksen perusteella katkaisee, estäen tulvanaikaista liikennöintiä.

Laihianjoen virtausmallinnus ja tulvakartoitus on tehty avuomien virtausmallinnusohjelma HEC-RAS:lla. Virtausmallinnus on muodostettu käyttäen muun muassa jokiuoman poikkileikkausaineistoa, ympäröivää maastoaineistoa ja havaintotietoja vedenmittausasemilta. Maastoaineistoa muokattiin teiden osalta korottamalla niitä SCALGO Live -tulvahallintasoventuksen avulla. Tienkorotuksen vaikutus liikennöintiin selvittiin HEC-RAS:lla analysoimalla muutoksia tulva-alueessa ja tulvan vedenkorkeuksissa. Tarkasteltiin myös tien korotuksen mahdollisia haitallisia vaikutuksia lähialueen rakennuksiin. Epävarmuutta tuloksissa aiheuttaa virtausmallinnuksen tierumpujen todellisten mittojen puute pienempien teiden osalta.

## ABSTRACT

Author	Jani Pekkarinen
Title	Survey on the Possibilities of Improving Traffic by Raising Smaller Roads in the Laihianjoki River Flood Areas
Year	2022
Language	Finnish
Pages	98
Name of Supervisor	Tom Lipkin

---

The significant flood risk area of Laihia-Tuovila-Runsor is located in the Laihianjoki river watershed area. Flood risk management plans are created for significant flood risk areas. Flood risk management objectives in the area are planned to be met with measures presented in the management plans.

This thesis is a measure for lowering flood risks presented in the Laihianjoki river watershed flood risk management plan for the years 2022-2027. The report studies how raising the surface level of smaller roads affects floods and transportation, by using 2D-flow modelling and geospatial data. The examined roads are those which are affected by a flood that occurs on average once in a hundred years.

The Laihianjoki river flow modelling and flood mapping were made with HEC-RAS, a computer program for modelling the hydraulics of water flow through rivers and channels. The flow model was constructed with the cross-section data of the river, the surrounding terrain data and observation data from water measuring stations among other things. The terrain data was modified by raising the road levels with the use of SCALGO Live flood management application. The effect of raising the road levels was examined with HEC-RAS and the changes in the flooding were analysed. Possible negative effects on buildings were also examined. The lack of precise measurements of culverts in the model causes uncertainty in the results.

---

Keywords	Floods, flood control, flood mapping, hydraulic modelling, Laihianjoki river
----------	--

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	11
2	TULVASANASTO.....	12
3	LAIHIANJOKI.....	18
	3.1 Laihianjoen vesistöalue.....	18
	3.2 Tulvia Laihianjoella.....	24
	3.3 Tulvasuojelun suunnitelmia ja toimenpiteitä Laihianjoella.....	25
4	TULVIEN HYDRAULINEN MALLINTAMINEN.....	31
	4.1 Esimerkkejä virtausmallinuksista.....	31
	4.2 Laihianjoen virtausmallinnuksen soveltaminen.....	35
5	SELVITYSTYÖN TARKOITUS.....	37
	5.1 Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma 2022–202737	
	5.2 Tavoitteet ja toimenpiteet tulvariskien hallintasuunnitelmassa.....	38
	5.3 Selvitys pienempien teiden liikennöitävyydestä ja korotusmahdollisuuksista Laihianjoen tulva-alueilla.....	39
6	AINEISTO.....	41
	6.1 Laihianjoen virtausmallit.....	41
	6.2 Väyläviraston tie- ja katuverkko Digiroad.....	43
	6.3 Suomen ympäristökeskuksen määritetyt vesistötulvan tulva-alueet (tulvavaarakartat).....	43
	6.4 Tulvariskissä olevien rakennusten tarkempien kastumiskorkeuksien selvitys Laihianjoella.....	44
7	MENETELMÄT.....	46
	7.1 ArcMap.....	46
	7.2 SCALGO Live.....	46
	7.3 HEC-RAS.....	47

8	TYÖSKENTELY.....	49
8.1	Selvitysalueen määrittely .....	49
8.2	Tulvan katkaisemien teiden korottaminen.....	50
8.3	Työvaiheet.....	52
8.4	Tienkorotusten mallinnuksen epävarmuudet ja haasteet .....	55
9	TULOKSET .....	58
9.1	Rudontie, Laihia .....	58
9.2	Praskintie junaradan eteläpuolella, Laihia.....	60
9.3	Karkkimalantie, Laihia ja Mustasaari .....	62
9.4	Isokarkkimalantie ja Pikkukarkkimalantie, Mustasaari.....	67
9.5	Helsingbyntie, Mustasaari .....	70
9.6	Tuovilantie Junaradan eteläpuolella, Mustasaari.....	72
9.7	Lentokentäntie ja Vaxlaxintie, Vaasa .....	75
9.8	Asematie, Mustasaari .....	78
9.9	Näverbackvägen, Mustasaari.....	80
9.10	Tuovilantie junaradan pohjoispuolella, Mustasaari .....	83
9.11	Torrvikvägen, Mustasaari .....	86
9.12	Monnattarintie, Vaasa ja Villvallvägen, Mustasaari .....	90
10	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	94
	LÄHTEET .....	96

## KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

<b>Kuva 1.</b> Laihianjoen valuma-alue ja suurimmat maankäyttöluokat SYKE:n Corine 2018 maanpeiteaineiston mukaan. ....	19
<b>Kuva 2.</b> Laihianjoen vesistöalue ja sillä sijaitseva Laihia-Tuovila-Runsorin valtakunnallisesti merkittävä tulvariskialue.....	22
<b>Kuva 3.</b> Laihianjoen ja Kyrönjoen tulvat yhdistyvät ajoittain bifurkaatioalueella.	23
<b>Kuva 4.</b> Vihreällä vasemmalla Sulvanjoen ja oikealla Tuovilan/Laihianjoen pidennysuomien ruoppaukset. Punaisella Sävvikin eristysojan ruoppaus.....	27
<b>Kuva 5.</b> Tulvakeskuksen tulvakarttapalvelusta löytyy ELY-keskusten ja SYKE:n muodostamat tulvavaara- ja tulvariskikartat ja muuta tulvatietoa.....	31
<b>Kuva 6.</b> Selvityksessä tarkastellut tiet. Sininen alue kuvastaa vesistötulvan laajuutta keskimäärin kerran sadassa vuodessa toistuvan tulvan aikana. ....	40
<b>Kuva 7.</b> Työskentelyä Scalgo Live:llä. Karkkimalantien pintaa on korotettu tasaisesti 40 cm.....	52
<b>Kuva 8.</b> Scalgo Live:n avulla korotetusta tiestä tehtiin valinta tieaukkojen väli kerrallaan ja tallennettiin geotiff-tiedostona. Aukkovälien korotetut tieosuudet liitettiin maastomalliin HEC-RAS:ssa. ....	53
<b>Kuva 9.</b> HEC-RAS:n kuvaaja esittää tien korottamista Näverbackvägenillä. Vihreä viiva kuvastaa nykyistä maastoa ja ruskea korotettua tietä. Tien korottaminen johtaa jopa puolen metrin tulvavedenpintojen korkeuseroon tien eri puolilla (tummansininen viiva). Turkoosi viiva esittää nykytilannetta, jossa vesi ylittää tien. ....	54
<b>Kuva 10.</b> Virtausmallinnuksen laskentaverkkoa on tihennetty uomien, teiden ja penkereiden kohdalla. Laskentaverkkoa täytyi usein hieman muokata korkeusmallin muokkaamisen jälkeen. Kuvassa laskentaverkon geometria Rudontielle HEC-RAS:n Geometric Data -ikkunassa. ....	57
<b>Kuva 11.</b> Rudontien tulvatilanne keskimäärin kerran sadassa vuodessa toistuvalla tulvalla. Kuvassa tulvan äärimmäinen leviäminen koko mallinnetun tulvatilanteen aikana. Rudontie peittyi paikoin tulvavesistä. Tien länsipuolella pellolla on iso tulvatasanne.....	59

<b>Kuva 12.</b> Rudontien tilanne 1/100 a toistuvalla tulvalla, kun Rudontietä on korotettu 50 cm. Tulvavesi ei nouse enää tielle. Pellolle valtatie 3:n pohjoispuolella (nuoli) kertyy enemmän tulvavesiä. Vedenkorkeudet joen ja Rudontien välissä kasvavat maltillisesti. ....	60
<b>Kuva 13.</b> Praskintie 1/100 a toistuvalla tulvalla. Vesi ylittää tien paikoin. ....	61
<b>Kuva 14.</b> Sorapintaista Praskintietä on korotettu 40 cm. Vesi ei nouse korotuksen jälkeen tielle. Vedenkorkeudet tienvarressa nousevat maltillisesti korotuksen vaikutuksesta.....	62
<b>Kuva 15.</b> Karkkimalantie ja tulvan äärimmäiset leviämisalueet 1/100 a toistuvan tulvan aikana. Tulvavesi nousee tien yli monin paikoin. ....	65
<b>Kuva 16.</b> Karkkimalantien soraosuus (violetti) 40 cm korotuksen jälkeen. Tulvavesi ei nouse tielle. Mallin rumpuaukot ovat ”jäässä”, eikä tulvavesi pääse purkautumaan tien ali. Tien korottamisella on vaikutusta myös joen itäpuolella Praskintiellä, jossa tulva-alue kasvaa hieman.....	65
<b>Kuva 17.</b> Koko Karkkimalantietä korotettu 40 cm. Tässäkin tilanteessa kaikki tierumpupaikat ovat tukossa. Tien täydellinen tulvan padottaminen nostaa vedenkorkeuksia karkkimalantien varrella noin 5–7 cm. ....	66
<b>Kuva 18.</b> Koko Karkkimalantietä korotettu 40 cm. Rumpuaukot on lisätty tienkorotuksen yhteyteen. Nykytilanteeseen verrattuna tulva-alue pysyy lähes muuttumattomana. Vedenkorkeudet Karkkimalantien molemmin puolin nousevat enää noin 1–3 cm.....	66
<b>Kuva 19.</b> Isokarkkimalantien (purppura) ja Pikkukarkkimalantien (ruskea) tulvatilanne 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Laihianjoki virtaa kuvassa länteen. Tie katkeaa molempien teiden pohjoispäässä. Teillä on jopa noin 30 cm vettä. Lähialueen rakennuksista monet kastuvat. ....	69
<b>Kuva 20.</b> Iso- ja Pikkukarkkimalantie 40 cm korotuksen jälkeen. Korotus ei ole riittävä, vaan tulva nousee tien yli Isokarkkimalantiellä (purppura). Isokarkkimalantie patoaa vedenkorkeudet itäpuolellaan jopa noin 25 cm nykytilannetta korkeammaksi. Jo alkujaan huonossa asemassa olevien	

rakennusten tilanne huononee merkittävästi pitkälle itään Karkkimalantietä pitkin.....	69
<b>Kuva 21.</b> Helsingbyntie 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Tien pohjoispää katkeaa tulvalla ja vettä tiellä on jopa runsaat 30 cm.....	71
<b>Kuva 22.</b> Helsingbyntie 40 cm korotuksen jälkeen. Tien liikennöitävyys säilyy 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Tulvatilanne tienvarressa muuttuu vain vähän tien korotuksen jälkeen.....	71
<b>Kuva 23.</b> Tuovilantie junaradan eteläpuolella 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Hägnäsbackenin eteläpuolella (nuoli) tie jää veden alle noin 400 metrin suoralla osuudella. Tähän paikkaan vesi nousee jo pienemmillä tulvilla. ....	74
<b>Kuva 24.</b> Tuovilantietä korotettiin 50 cm. Korotus tehtiin 3,4 km matkalla (nuolten välissä), sillä tulva nousee tielle vain paikallisesti. Korotuksen jälkeen tie pysyy liikennöitävänä ja tien pohjoispuolelle päättyy vähemmän tulvavesiä. ....	74
<b>Kuva 25.</b> Lentokentäntie ja Vaxlaxintie (purppura) 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Etelän suunnasta virtaava vesi nousee Lentokentäntien yli noin 100 metrin matkalla ja Vaxlaxintien yli vajaan 200 metrin matkalla. ....	77
<b>Kuva 26.</b> Teitä on korotettu 50 cm. Lentokentäntie pysyy kuivana. Korotus ei ole riittävä Vaxlaxintiellä. Maastoon on lisätty uoman silta-aukko (nuoli). ....	77
<b>Kuva 27.</b> Asematie 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Laihianjoen ja Kyrönjoen bifurkaation tulvavesi virtaa idän suunnasta ja nousee tien yli. ....	79
<b>Kuva 28.</b> Asematietä korotettiin 30 cm, jolloin tulvan nousu tielle estyy. Tie nostaa tulvavedenkorkeutta itäpuolellaan noin 5 cm. Asematien rumpuaukot ovat määritetty niin suuriksi, etteivät ne padota vettä lainkaan (nuolet). Tulvan voidaan olettaa nousevan reilummin todellisuudessa. ....	79
<b>Kuva 29.</b> Näverbackvägen 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Tulva peittää tietä lähes kauttaaltaan. ....	82
<b>Kuva 30.</b> Näverbackvägen 40 cm korottamisen jälkeen. Junaradan pohjoispuolella korottaminen mahdollistaa tulvanaikaisen liikennöinnin, vähentäen rakennusten tulvariskiä. Radan eteläpuolella korotus patoaa tulvaa haitallisesti. ....	82

<b>Kuva 31.</b> Tulvatilanne 1/100 a toistuvuuden tulvalla on lohduton Tuovilantiellä ja bifurkaatioalueella. Tie on kauttaaltaan tulvan peittämä ja sitä peittää paikoin jopa 85 cm kerros vettä. ....	85
<b>Kuva 32.</b> Nostamalla Tuovilantien tasausta korkoon N2000 + 6,9 m estetään tulvan nouseminen tielle täysin. Tulvatilanne on lähes identtinen nykytilanteen kanssa. Maksimivedenkorkeudet Tuovilantien varressa laskevat keskimäärin noin 2 cm. Junaradan eteläpuolelle päätyy hieman enemmän vettä. (nuoli).....	85
<b>Kuva 33.</b> Tuovilantie 1/50 a toistuvuuden tulvalla tien korotuksen jälkeen. Noin puolet tieosuudesta kastuu nykytilanteessa. Korotettiin Tuovilantietä noin puoli metriä korkoon N2000 +6,40 m, jolloin korotustarvetta on vain etelästä Torrvikvägenille saakka. (nuoli) Korottamalla tien liikennöitävyys säilyy 1/50 a tulvalla.....	86
<b>Kuva 34.</b> Torrvikvägen 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Liikennöinti tiellä estyy lukuun ottamatta tien pohjoisinta osaa. Bifurkaation virtaus ylittää tien ja kulkee länteen (nuolet). ....	89
<b>Kuva 35.</b> Torrvikvägeniä korotettu riittävästi estämään 1/100 a toistuvan tulvan nousu tielle. Rummut puuttuvat mallista, ja pelloille (nuoli) virtaa vettä etelästä pohjoisen sijaan. Tie patoaa Kyrönjoelta tulevan virtauksen täysin itäpuolelleen. ....	89
<b>Kuva 36.</b> Harmaana nähdään nykytilanteen mukainen tulva ja sinisenä tien korotuksen jälkeinen tulvan laajuus. Länteen Tuovilantietä (purppura) kohti virrannut vesi muuttaa kulkuaan etelään Torrvikvägenin patoamana. (nuoli) ....	90
<b>Kuva 37.</b> Monnattarintie ja Villvallvägen (purppura) 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Monnattarintie katkeaa pohjoisessa ja Villvallvägen eteläpäässä. ....	93
<b>Kuva 38.</b> Teiden korotuksen jälkeen liikennöinti pohjoisen suuntaan mahdollistuu 1/100 a toistuvuuden tulvilla. Villvallintietä (purppura) ei voida kulkea etelään, jossa radan viertä kulkeva Långstrandvägen on kokonaan tulvan peittämä. ....	93

## 1 JOHDANTO

Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksen ympäristövastuualueen laatimassa Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelmassa vuosille 2022–2027 on esitetty perusteltuja toimenpiteitä, joilla pyritään saavuttamaan tulvariskien hallinnan tavoitteita valtakunnallisesti merkittävällä Laihia-Tuovila-Runsorin tulvariskialueella. Tämä työ on yksi hallintasuunnitelmassa esitetyistä tulvariskiä vähentävistä toimenpiteistä, jossa selvitetään pienempien teiden liikennöitävyyttä ja korotusmahdollisuuksia Laihianjoen tulva-alueilla.

ELY-keskusta varten tehty Laihianjoen virtausmallinnus ja tulvakartoitus on valmistunut 2021. Suomen ympäristökeskus (SYKE) on valmistanut Laihianjoen tulvien tulvavaarakartat virtausmallinnuksen pohjalta. Tässä työssä Laihianjoen virtausmallinnuksen avulla selvitetään miten Laihianjoen tulva-alueiden tulvan katkaisemien pienempien teiden liikennöintiä voitaisiin parantaa niitä korottamalla tai tie-rumpujen kokoa muuttamalla. Tässä työssä tutkittavat tiet sijaitsevat Laihianjoen alajuoksulla Laihian, Mustasaaren ja Vaasan kuntien alueella.

Laihianjoen tulvakarttojen virtausmallinnus on tehty avouomien virtausmallinnusta varten suunnitellulla HEC-RAS-ohjelmalla. Virtausmallinnuksia käytetään apuna mm. kaupunkien kuivatuksen suunnittelussa, virtavesikunnostuksissa sekä tulvariskien hallinnassa.

Tässä työssä on tarkoituksena muokata virtausmallinnuksen pohjana olevaa maaston korkeusmallia korottamalla yksittäisten teiden korkeusasemaa ja mallintaa tienkorotuksen vaikutukset tulvaan HEC-RAS:n avulla. Mallinnusten avulla pyritään selvittämään, voitaisiinko tien tulvanaikaista liikennöintiä parantaa tienkorotuksilla siten, ettei samalla kasvateta tulvariskiä toisaalla, erityisesti rakennusten osalta. Mallinnustulosten perusteella tehdään suositukset teiden korotuksista ja ne kirjataan ylös havainnollistavien karttakuvien kera.

## **2 TULVASANASTO**

### **Bifurkaatio**

Hydrologiassa bifurkaatiolla tarkoitetaan virtauksen haaroittumista, niin etteivät haarat enää yhdisty. Bifurkaatiot voidaan jakaa joki- tai järvibifurkaatioihin. Joen virtauksen haaroittuminen tai järven purkautuminen kahta lasku-uomaa pitkin eri suuntiin.

### **Hulevesitulva**

Hulevesitulva syntyy, kun sataa niin rankasti, että taajaman hulevesijärjestelmä ylikuormittuu. Sadevesiviemärit eivät silloin pysty kuljettamaan satanutta vettä pois riittävän nopeasti, vaan vesi nousee kaduille ja pihuille aiheuttaen vahinkoa. Hulevesitulvaa kutsutaan myös taajama- tai rankasadetulvaksi. Hulevesitulvat ovat yleensä paikallisia ja lyhytkestoisia.

### **Hydrologia**

Geofysiikan osa-alue, joka tutkii veden esiintymistä, ominaisuuksia ja kiertokulkua maapallolla.

### **Hyyde**

Hyyde eli suppojää koostuu pienistä jääkiteistä, joita syntyy voimakkaasti ja pyörteisesti virtaavan jokijakson alijäähtyneeseen veteen. Vesi pääsee alijäähtymään pakkasella, kun virtaus estää suojaavan jääkannen syntymisen. Hyydepatoja syntyy, kun hyydejää tarttuu uoman pohjaan tai kasautuu jääkannen alle estämään veden kulkua.

### **Ilmastonmuutos**

Ilmastonmuutos tarkoittaa maapallon ilmastojärjestelmässä tapahtuvaa pitkäkestoisesta muutosta, jonka seurauksena sääolojen yleinen luonne muuttuu. Nykykeskustelussa tarkoitetaan ennen muuta ihmisen aiheuttamaa ilmaston lämpenemistä ja sen seurausvaikutuksia.

### **Järvisyysprosentti**

Valuma-alueella sijaitsevien järvien pinta-alan osuus valuma-alueen pinta-alasta.

### **Jääpato**

Virtavesien talvinen tai keväinen ilmiö. Jääpato syntyy yleensä jäiden lähtiessä, kun jäälautat kasautuvat jokeen. Jääpato hidastaa virtausta ja nostattaa tulvia.

### **Korkeusmalli, topografia**

Korkeusmalli on maanpinnan muotojen esitys, joka muodostaa pinnanmuotoja kuvaavan korkeuspisteiden verkon. Tarkin Suomessa valtakunnallisena saatavilla oleva korkeusmalli on Maanmittauslaitoksen valmistama KM2 (2 x 2 metrin ruutukoko)

Topografialla tarkoitetaan maanpinnan muotojen yksityiskohtaista kuvaamista.

### **Laserkeilaus**

Mittausmenetelmä, jolla maanpinnasta saadaan ilma-aluksesta lähetettyjen lasersäteiden avulla mittatarkkaa kolmiulotteista tietoa.

### **Merivesitulva**

Merivesitulva eli meritulva johtuu siitä, että merenpinta nousee poikkeuksellisen korkealle ja tulvii maa-alueille. Suomessa on nimetty viisi merivesitulvien riskialuetta. Ilmastonmuutos voi lisätä merivesitulvien vaaraa.

### **Merkittävä tulvariskialue**

Merkittäväksi tulvariskialueeksi nimetään sellainen alue, jolla tulvariski on alustavan arvioinnin perusteella mahdollisesti merkittävä. Nimeämisessä otetaan huomioon tulvan todennäköisyys ja tulvasta aiheutuvat vahingot. Merkittävälle tulvariskialueelle laaditaan tulvavaara- ja tulvariskikartta sekä tulvariskien hallintasuunnitelma.

### **Pengerrys**

Tulvapengerryksellä rajataan jokiuoma erilleen sen luontaisesta tulvatasanteesta, jolloin penkereen taustalla olevaa maastoa voidaan käyttää myös tulvatilanteessa. Haittapuolena pengerryksissä on, että joen vesimäärä virtaa tällöin kaventuneella alueella ja tulvaongelma siirtyy mahdollisesti joen alajuoksua kohti. Pengerryksen etuna uoman perkaamiseen, on että itse uomaa ei tarvitse kaivaa, vaan penkereen maa-aines voidaan ottaa kauempaa tulvatasanteelta.

### **Perkaus, ruoppaus**

Jokiuoman perkauksella tarkoitetaan uoman kasvillisuuden poistoa tai vedenjohdokyvyn kasvattamista uomaa kaivamalla. Perkauksella pyritään tulvien alentamiseen tai keston lyhentämiseen. Perkaamisen aiheuttama vedenjohdokyvyn lisääntyminen saattaa aiheuttaa tulvaongelmia joen alajuoksulla. Perkaus on usein kustannusten takia yksinkertaisin tapa vähentää tulvahaittoja

### **Toistuvuusajaka, tulvan todennäköisyys**

Tulvan toistuvuusajalla ja vuotuisella todennäköisyydellä kuvataan tulvan esiintymistiheyttä. Molemmat käsitteet ovat yleisesti käytössä. Toistuvuusajaka on keskimääräinen aika, jonka kuluttua tietyn suuruinen tulva esiintyy uudelleen. Esimerkiksi 250 vuoden toistuvuusajaka tarkoittaa, että tulva koetaan todennäköisesti neljä kertaa tuhannen vuoden aikana.

Vuotuinen todennäköisyys keskimäärin kerran 250 vuodessa esiintyvän tulvan esiintymiselle on 0,4 %. Keskimäärin kerran sadassa vuodessa toistuvan tulvan vuotuinen todennäköisyys on 1 %.

Tulvien toistuvuuden arviointi sisältää epävarmuuksia johtuen mm. havaintojakson pituudesta ja mallintamisesta. Toistuvuusajat ovat arvioita, eivätkä täsmällisiä arvoja. Ne ovat kuitenkin hyvä tulvariskien hallinnan apuväline.

## **Tulva**

Vesistön vedenpinnan noususta, merenpinnan noususta tai hulevesien kertymisestä aiheutuva maan tilapäinen peittyminen vedellä. Tulvat kuuluvat luonnonkiertoon ja ne lisäävät osaltaan vesi- ja rantaluonnon monimuotoisuutta. Ongelmia tulvista aiheutuu niiden noustessa asuinalueille, teille ja muille ihmisen käyttämille alueille.

## **Tulvariskien hallinta**

Sellaisten toimien kokonaisuus, joiden tavoitteena on arvioida ja vähentää tulvariskejä sekä estää ja vähentää tulvista aiheutuvia vahinkoja. Tulvariskien hallinnan suunnittelu sisältää kolme vaihetta: tulvariskien alustava arviointi, tulvakarttojen laatiminen ja tulvariskien hallintasuunnitelma.

## **Tulvariskien hallintasuunnitelma**

Merkittävälle tulvariskialueelle laadittu suunnitelma siitä, miten estetään tai vähennetään tulvia ja niiden aiheuttamaa vaaraa erilaisilla toimenpiteillä. Merkittävillä tulvariskialueilla hallintasuunnitelmat tulee lain mukaan tehdä. Hallintasuunnitelmassa tarkastellaan mm. toimenpiteiden hyötyjä, kustannuksia ja tärkeysjärjestystä.

## **Tulvariskikartta**

Tulvariskikartoissa esitetään tulvavaara-alueen asukkaiden määrä, erityiskohteet, infrastruktuuri, ympäristöriskikohteet, kulttuuriperintö ja muut tarpeelliset tiedot.

### **Tulvavaarakartta**

Tulvavaarakartta kuvaa veden alle jäävät alueet ja vesisyvyyden sekä vallitsevan vedenkorkeuden tietyllä tulvan todennäköisyydellä. Tulvavaara- ja tulvariskikarttoja laaditaan ainakin tulville, joiden vuotuinen todennäköisyys on 2 % ja 1 % sekä harvinaisen suurelle tulvalle.

### **Valuma-alue, vesistöalue**

Vesistön valuma-alue on se alue, josta satava vesi päätyy maanpinnan muotojen ohjaamana kyseiseen vesistöön. Valuma-alueiden välisiä rajoja kutsutaan vedenjakajiksi. Valuma-alueella voidaan tarkoittaa myös vesistöaluetta.

Vesistöalue on alue, josta kaikki pintavalunta virtaa puron, järven, joen tai suistoalueen kautta mereen.

### **Valunta**

Valunta kertoo maan pinnalla ja maaperässä liikkuvan veden määrän. Lumien sulaminen ja rankat sateet lisäävät vesimäärää ja voivat aiheuttaa tulvia.

### **Vesienhoitoalue**

Yhdestä tai useammasta vesistöalueesta muodostuva alue, jolle suunnitellaan vesienhoitoa. Suomessa on kahdeksan vesienhoitoaluetta. Laihianjoen vesistöalue kuuluu Kokemäenjoen-Saaristonmeren-Selkämeren vesienhoitoalueeseen.

### **Vesistötulva**

Vesistötulva kehittyy yleensä lumen sulamisen tai pitkäkestoisen sateen seurauksena. Jokien ja järvien kevättulvat ovat tyyppisiä vesistötulvia, mutta vesistötulvia

esiintyy muinakin aikoina. Jokiin muodostuvat jää- ja hyydepadot pahentavat tulvia.

### **Virtaama**

Uoman poikkileikkauksen läpi kulkevan vesimäärän tilavuus aikayksikössä ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

### **Yläjuoksu**

joen osat, jotka ovat jonkin kohdan yläpuolella, eli lähempänä joen alkuosia tai latvavesiä. Alajuoksua ovat vastaavasti jonkin kohdan alapuoliset vedet, eli se osa, joka on lähempänä joen laskukohtaa.<sup>1,2,3,4,5</sup>

---

<sup>1</sup> Vesisanasto. Vesi.fi

<sup>2</sup> Tulvasanasto. Ympäristö.fi

<sup>3</sup> Terminologia. Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2022–2027.

<sup>4</sup> Tulvariskialueet. Vesi.fi

<sup>5</sup> Luonnonmukainen vesirakentaminen. 2003. SYKE.

### 3 LAIHIANJOKI

#### 3.1 Laihianjoen vesistöalue

Laihianjoen vesistöalue sijaitsee Pohjanmaan maakunnassa pääosiltaan Laihian, Mustasaaren ja Vaasan kuntien alueella. Vähäiseltä osin vesistöalue ulottuu myös Ilmajoen, Isonkyrön ja Kurikan kuntien alueille. Laihianjoki saa alkunsa Laihian ja Ilmajoen rajamailta ja se laskee Pohjanlahteen Vaasan kaupungin eteläpuolelle. Alaosallaan joki tunnetaan myös Tuovilanjokena.

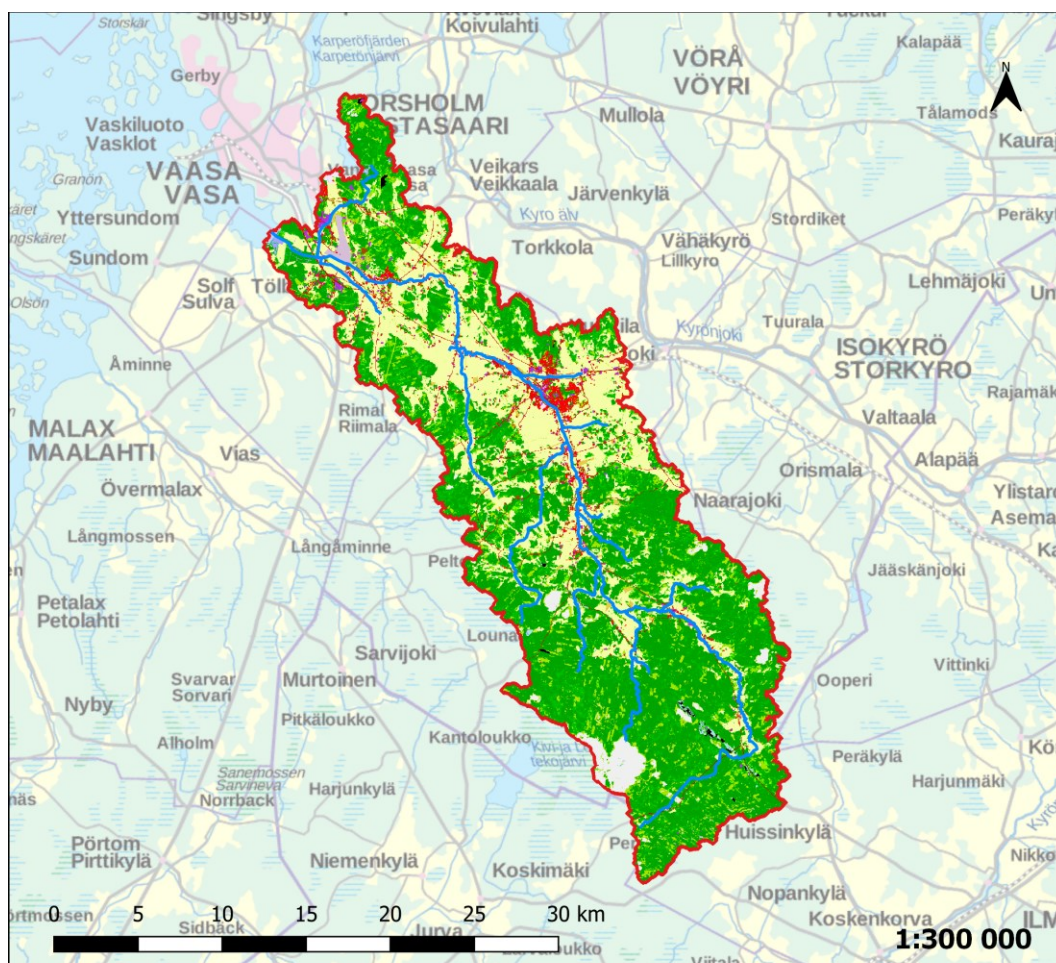
Laihianjoen vesistöalueen pinta-ala on noin 506 km<sup>2</sup> ja se on lähes täysin järvetön, järvisyysprosentin ollessa ainoastaan 0,04. Joen kokonaispituus on noin 60 km ja pudotuskorkeus noin 75 m. Suurimmat joen sivu-uomat ovat Sevarbäcken, Päkinkuoma, Sahaluoma, Haisuluoma ja Tuurinluoma.

Vesistöalueesta noin 90 % on maatalousmaata ja metsää (Kuva 1.). Maankäyttö on voimakasta ja metsä- ja pelto-ojituksia on tehty runsaasti. Tulva-alueita ovat pääosin jokivarren laajat peltoalueet. Laajimmat metsä- ja suoalueet sijaitsevat joen yläosilla ja näin ollen metsäojitukset sijoittuvat suurilta osin valuma-alueen latvoille.

Rakennetut alueet sijoittuvat pääosin Laihian keskustaajamaan sekä kyliin, joista suurimmat ovat Isokylä, Kylänpää ja Jokikylä taajaman yläpuolella sekä Mustasaaren Helsingby joen alaosalla. Asutusta on tiiviisti Laihian taajamassa ja harvempaa asutusta on pitkin jokivartta. Koko Laihianjoen vesistöalueen asukkaista noin 56 % asuu jokivarren läheisyydessä.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Tulvariskien alustava arviointi Laihianjoen vesistöalueella. 2011. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus.



### Laihianjoen valuma-alueen 10 suurinta maankäyttöluokkaa

- Havumetsät kivennäismaalla 30,7 %
- Pellot 26,4 %
- Sekametsät kivennäismaalla 13,5 %
- Havumetsät turvemaalla 7,6 %
- Harvapuustoiset alueet kivennäismaalla 5 %
- Sekametsät turvemaalla 2,5 %
- Avosuot 2,4 %
- Pientaloalueet 2,1 %
- Harvapuustoiset alueet 1,6 %
- Lehtimetsät kivennäismaalla 1,5 %

Valuma-alueen pinta-ala: 506,6 km<sup>2</sup>

**Kuva 1.** Laihianjoen valuma-alue ja suurimmat maankäyttöluokat SYKE:n Corine 2018 maanpeiteaineiston mukaan.

Alueen maisema on loivapiirteistä, sillä maaperä on nuorta, merestä nousutta alunamaata. Alunamaa (myös sulfidimaa, litorinamaa) on Litorinakauden (n. 5000–1800 vuotta eaa.) aikaisen merenpohjan rikkiptoista maata. Kuivuessaan maan rikkiyhdisteet, sulfidit, muuttuvat suoloiksi ja aiheuttavat vesiä happamoitettavaa valunutta. Savipitoiset alunamaat ovat viljelyskelpoisia, mutta mm. salaojitus ja peltojen kuivaus aiheuttavat happamien suolojen valunutta sekä ravinteiden huuhtoutumista vesistöön Laihianjoella.<sup>7</sup>

Suuret virtaamavaihtelut ja tulvaherkkyys ovat tunnusomaisia Laihianjoelle. Suurin ongelma joella ovat kevättulvat. Joen virtaama on tyypillisesti korkeimmillaan juuri keväisin lumen sulamisen seurauksena. Vettä varastoivien järvien puuttuminen sekä alueen voimakas pelto- ja metsäojitus pahentavat kevättulvia.<sup>8</sup> Kevättulvahuipun arvioidaan kasvaneen jopa 50 % runsaiden ojitusten seurauksena. Kesä- ja syystulvahuippujen arvellaan myös kasvaneen jossain määrin ojitusten vuoksi.<sup>9</sup>

Jääpadot ja merivedenkorkeuden muutokset nostavat jokien vedenpintaa. Laihianjoella on koettu muutamia jääpadoista aiheutuneita tulvia. Hyydepatotulvia ei Laihianjoella ole tavanomaisesti esiintynyt. Merkittävin jääpadoista johtunut tulva oli vuonna 1971, jolloin Laihian kirkonkylän sillan yläpuolella jääpadot aiheuttivat tulvavahinkoja kellareihin. Kirkon silta uusittiin 1973, eikä jääpatoja ole enää tämän jälkeen esiintynyt kirkonkylällä. Jääpatoja ei ole havaittu Laihianjoella 2000-luvulla, johtuen leudontuneista talvista.<sup>10</sup>

---

<sup>7</sup> Paunila & Rautamäki. 1999. Eteläisen Kaupunginselän ja sen valuma-alueiden ympäristöyleisuunnitelma.

<sup>8</sup> Tulvariskien alustava arviointi Laihianjoen vesistöalueella. 2011. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus.

<sup>9</sup> Paunila & Rautamäki. 1999. Eteläisen Kaupunginselän ja sen valuma-alueiden ympäristöyleisuunnitelma.

<sup>10</sup> Tulvariskien alustava arviointi Laihianjoen vesistöalueella. 2011. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus.

Keskimerivedenkorkeus vaikuttaa Laihianjoella Vaasan lentoaseman yläpuolelle saakka. Merivesi käy korkeimmillaan talvisin. Kevättulva-aikaan merivesi on tyypillisesti keskimääräistä tasoa alempana. Meriveden korkeudella ei ole juurikaan merkitystä kevät- ja kesätulviin Laihianjoella.<sup>11</sup>

Maan arvioidaan kohoavan alueella 0,8 cm vuodessa. Meriveden pinnan nousun arvioidaan kuitenkin hidastavan maankohoamisen 0,4 cm:iin vuodessa seuraavan sadan vuoden aikana.<sup>12</sup> Laihianjoen alaosalla on 22 km mittainen tasainen tulviva suvantojakso. Vaikka maankohoaminen on nopeampaa suvantojakson alapäässä, ei kohoamisen nähdä voimistavan Laihianjoen tulvia pitkälläkään aikavälillä.<sup>13</sup>

Länsirannikon vähäjärvisillä jokialueilla myös rankkasateet voivat aiheuttaa tulvia. Esimerkiksi melko lähellä Vöyrillä kesällä 2004 sattunut rankkasade olisi Laihianjoen vesistöalueelle osuessaan aiheuttanut keskimäärin kerran 150 vuodessa toistuvan tulvan. Varsinkin asfaltoidussa taajamassa rankkasade voi aiheuttaa merkittäviä vahinkoja sadeveden tunkeutuessa mm. kellareihin.<sup>14</sup>

Laihianjoen alaosalla sijaitseva tulvaherkkä Laihia-Tuovila-Runsorin alue on nimetty yhdeksi Suomen 22 merkittävästä tulvariskialueesta (Kuva 2.). Laihia-Tuovila-Runsorin merkittäväksi tulvariskialueeksi nimeämisen perusteena ovat mm. seuraavat seikat: Tulvalla on vahingollista seurausta ihmisten terveydelle tai turvallisuudelle (alueella on asukkaita erittäin harvinaisen tulvan peittämällä asuinalueella ja vaikeasti evakuoitavia kohteita), välttämättömyyspalveluiden keskeytyminen (tieliikenneyhteydet Vaasan eteläpuolella, rautatieyhteys ja lentoliikenneyhteys poikki tai vaarassa tulvalla, voimalaitos tulva-alueella), pitkäkestoinen tai

---

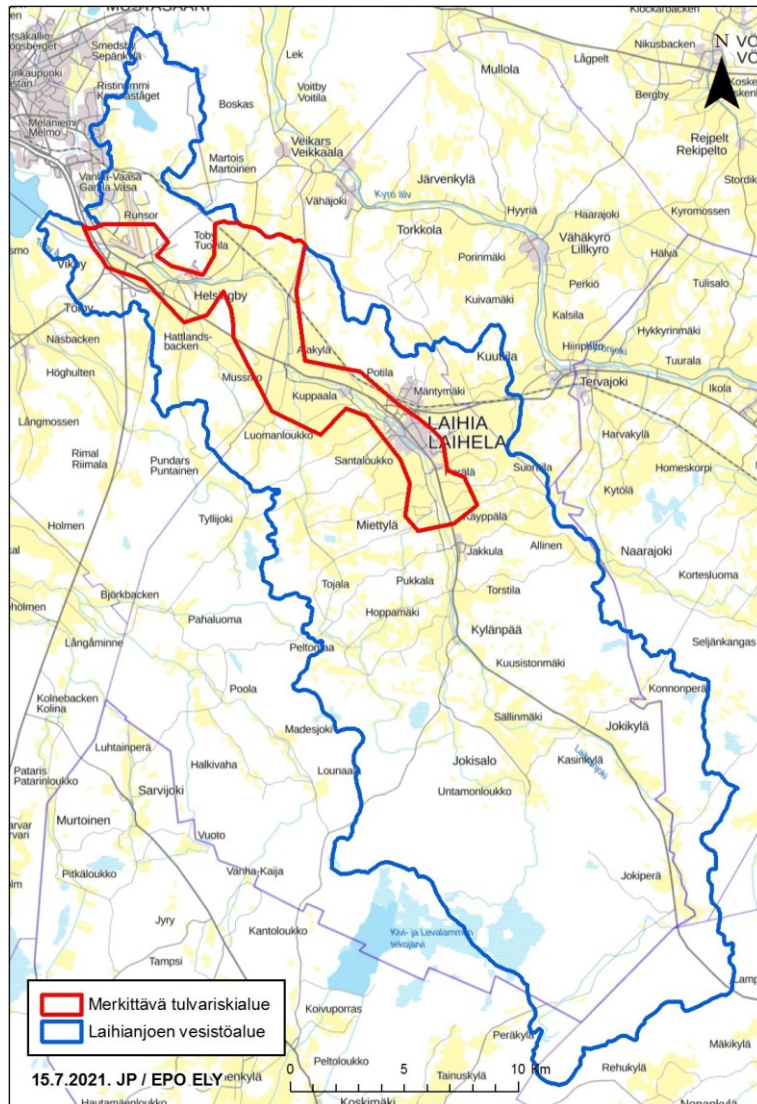
<sup>11</sup> Tulvariskien alustava arviointi Laihianjoen vesistöalueella. 2011. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus.

<sup>12</sup> Paunila & Rautamäki. 1999. Eteläisen Kaupunginselän ja sen valuma-alueiden ympäristöyleissuunnitelma.

<sup>13</sup> Tulvariskien alustava arviointi Laihianjoen vesistöalueella. 2011. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus.

<sup>14</sup> Laihianjoen tulvariskien hallinnan yleissuunnitelma. 2006. Suomen salaojakeskus Oy.

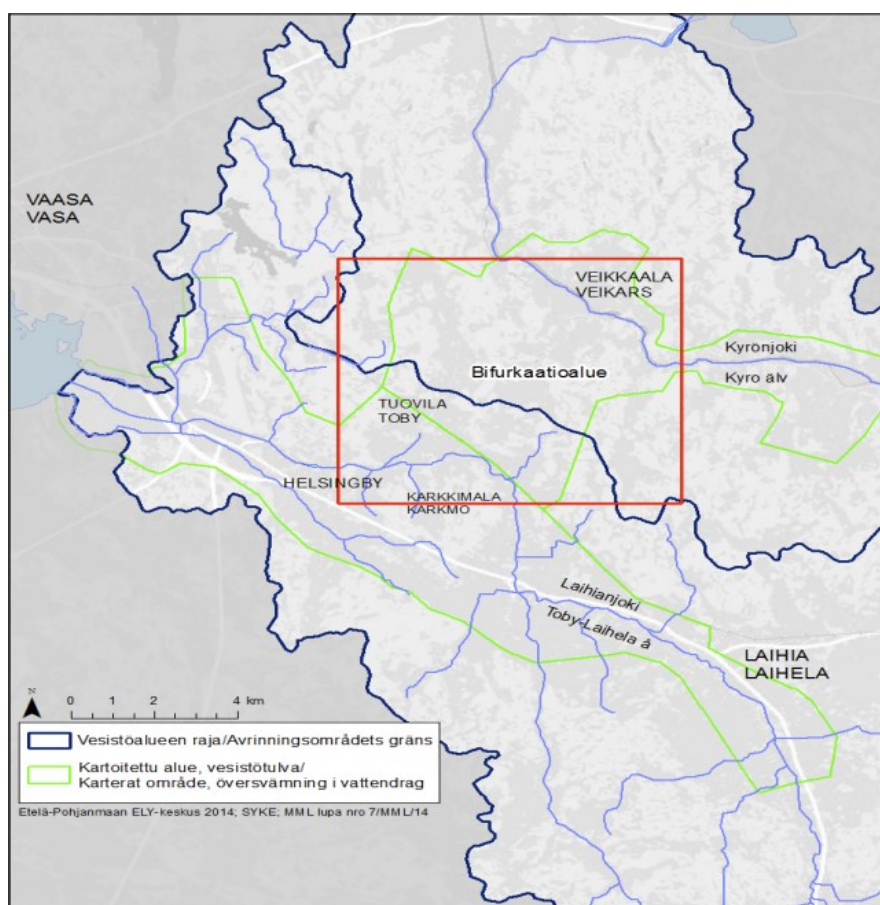
laaja-alainen vahingollinen seuraus ympäristölle (alueella ympäristölupavelvollisia kohteita, mm. metalliteollisuuslaitos, pilaantuneita maa-alueita) sekä muita perusteita (alueella aiemmin esiintyneitä tulvia, kaavoituspaineita).<sup>15</sup>



**Kuva 2.** Laihianjoen vesistöalue ja sillä sijaitseva Laihia-Tuovila-Runsorin valtakunnallisesti merkittävä tulvariskialue.

<sup>15</sup> Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2022–2027. ELY-keskus.

Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallinnassa täytyy huomioida myös Kyrönjoki. Myös Kyrönjoki on nimetty yhdeksi Suomen merkittävistä tulvariskialueista. Kyrönjoen ja Laihianjoen tulvat voivat yhdistyä suurilla tulvilla ns. bifurkaatioalueella.<sup>16</sup> Bifurkaatioalue muodostuu joen alaosalla, kun Helsingbyn, Tuovilan ja Karkkimalan tulva-alue yhdistyy kyrönjoen Veikkaalan ja Kolkin tulva-alueeseen (Kuva 3.).<sup>17</sup>



**Kuva 3.** Laihianjoen ja Kyrönjoen tulvat yhdistyvät ajoittain bifurkaatioalueella.<sup>18</sup>

<sup>16</sup> Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016–2021. ELY-keskus.

<sup>17</sup> Tulvariskien alustava arviointi Laihianjoen vesistöalueella. 2011. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus.

<sup>18</sup> Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2022–2027. ELY-keskus.

### 3.2 Tulvia Laihianjoella

Suuria tulvia Laihianjoella on koettu keväällä 1953, 1966, 1984 ja 2013, kesällä 1967 ja syksyllä 2012. Historiatietojen mukaan kevättulvia kerrotaan olleen myös vuosina 1888, 1895, 1899, 1905, 1906, 1916 ja 1933. Karkkimalan vedenmittauspisteellä on kerätty virtaama- ja vedenkorkeustietoja vasta vuodesta 1972 saakka.

Pahin tulva on ollut vuoden 1953 kevättulva, jolloin paikallisten ihmisten muistikuvien mukaan tulvavedet kastelivat rakennuksia Laihian keskustassa ja Rudolla. Kevään 1966 tulva nosti vettä pelloille Helsingbyssä, Karkkimalassa sekä Rudolla. Vuoden 1966 tulvan toistuvuudeksi arvellaan keskimäärin 1/10 vuodessa – 1/20 vuodessa toistuva tulva.

Vuoden 1984 tulvasta on olemassa kattavasti tietoa. Paikalliset ihmiset muistavat tapahtuneen edelleen ja Vaasan vesipiiri suoritti tuolloin tulvakorkeusmittauksia alueella. Tulva kasteli asuinrakennuksia, peitti laajoja peltoalueita Rudolla ja Karkkimalassa sekä katkaisi teitä, mm. tien Vaasan lentoasemalle ja osan lyhyemmästä kiitoradasta. Kyrönjoen ja Laihianjoen yhdistyneiden tulva-alueiden ns. bifurkaatioalueella tulvi laajasti. Laihianjokeen muodostui myös jääpatoja. Tulvan toistuvuus on keskimäärin 1/30 vuodessa – 1/40 vuodessa toistuva tulva.

Vuosi 2012 oli paikoitellen sateisin yli 50 vuoteen. Syksyllä lyhytaikainen rankkasade Laihianjoella sai aikaan lumien sulamista nopeamman ja paikallisemmän valunnan. Vedenkorkeudet nousivat huomattavasti ennusteita nopeammin. Tulva nousi pelloille ja tielle Rudon alueella. Vedenkorkeudet Rudolla olivat suurempia kuin vuoden 1984 tulvalla. Rudolla ja sen yläpuolisella alueella kastui muutamia asuinrakennuksia. Karkkimalassa tulva levisi laajoille peltoalueille. Bifurkaatioalueella Kyrönjoen tulvavesi levisi pelloille, katkaisi teitä ja kasteli rakennuksia. Syksyn 2012 tulvan toistuvuudeksi arvioidaan keskimäärin 1/10 vuodessa – 1/15 vuodessa toistuva tulva.

Keväällä 2013 poikkeuksellisen nopeasti lämmennyt sää aiheutti äkillisen kevättulvan. Tulvaa edesauttoi lumen normaalia korkeammat vesiarvot ja vahvemmat jääpeitteet. Kyrönjoella vedenpinta nousi hetkellisesti 1/50 vuodessa toistuvan korkeuden tasolle jääpadosta johtuen. Tulva katkoi teitä ja kasteli muutamia kiinteistöjä bifurkaatioalueella. Laihianjoella tulvan arvioidaan olleen kuitenkin vain keskimäärin 1/10 vuodessa toistuva tulva.

Syksyllä 2016 runsaat sateet nostivat Pohjanmaan rannikon jokien virtaamat tyyppillistä kevättulvaa suuremmiksi. Laihianjoen virtaama vastasi tällöin toistuvuudeltaan keskimäärin 1/15 vuodessa toistuvaa tilannetta. Karkkimalassa sekä bifurkaatioalueella tulvi laajasti pelloilla ja pienempiä teitä oli veden alla. Karkkimalan Asematie kaivettiin auki tulvavesien uhattua asuinrakennuksia.

Keväällä 2018 lämmin sää joudutti lumen sulamista, siten että virtaamat ja vedenkorkeudet nousivat Pohjanmaan vesistöissä. Kyrönjoen alaosalla jääpadot aiheuttivat tulvahaittoja, joiden vaikutuksesta bifurkaatioalueella oli useita rakennuksia uhattuna. Pelastuslaitos esti kahden rakennuksen kastumisen tulvaseinäkkeillä.<sup>19</sup>

### **3.3 Tulvasuojelun suunnitelmia ja toimenpiteitä Laihianjoella**

Laihianjoen tulvasuojelua on kehitetty erilaisissa selvityksissä ja toimenpiteitä on toteutettu näiden pohjalta. Vuonna 1999 julkaistussa Eteläisen kaupunginselän ja sen valuma-alueiden ympäristöyleissuunnitelmassa esitettiin alustavia toimenpiteitä ja ehdotuksia lisäselvityksiä varten Laihianjoella. Suunnitelmassa käsiteltiin perusteellisesti alueen nykytilannetta monilta kannoilta. Tätä ennen tulvasuojelun toimenpiteenä Laihianjoen suistossa oli mm. pengerreretty 474 ha alue maataloutta varten.<sup>20</sup>

---

<sup>19</sup> Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2022–2027. ELY-keskus.

<sup>20</sup> Laihianjoen tulvariskien hallinnan yleissuunnitelma. 2006. Suomen Salaojakeskus Oy.

Ympäristöyleissuunnitelman yhtenä päätavoitteena oli ”veden viipymän lisääminen, veden kulun tasaaminen ja tulvien torjunta valuma-alueella”. Keinoina tulvahappujen leikkaamiseksi suunnitelmassa mainittiin, että tekoaltaiden sijoittamiseen ei alueelta löydy sopivia paikkoja, mutta tulvia voitaisiin torjua useilla pienillä laskeutusaltailla, lammilla ja kosteikoilla. Mahdollisina keinoina esitettiin lisäksi perkausta ja pengerrystä, joilla parannettaisiin joen vedenjohtavuutta ja eristettäisiin tulva-alueita jokiuomasta. Tuovilan- ja Sulvanjoen alaosien tulvasuojelun kannalta suistojen perkaamista pidettiin edullisimpana ratkaisuna.<sup>21</sup>

Tuovilanjoen ja Sulvanjoen alaosan suistojen perkaushanke kuuluikin Laihianjoen alaosan tulvasuojelusuunnitelmaan vuodelta 2004, jossa suistoa kaavailtiin perattavaksi noin 2 km matkalta. Ympäristölupa perkauksiin saatiin Länsi-Suomen ympäristölupavirastolta vuonna 2008 ja lopulta Vaasan hallinto-oikeudelta vuonna 2010.<sup>22</sup>

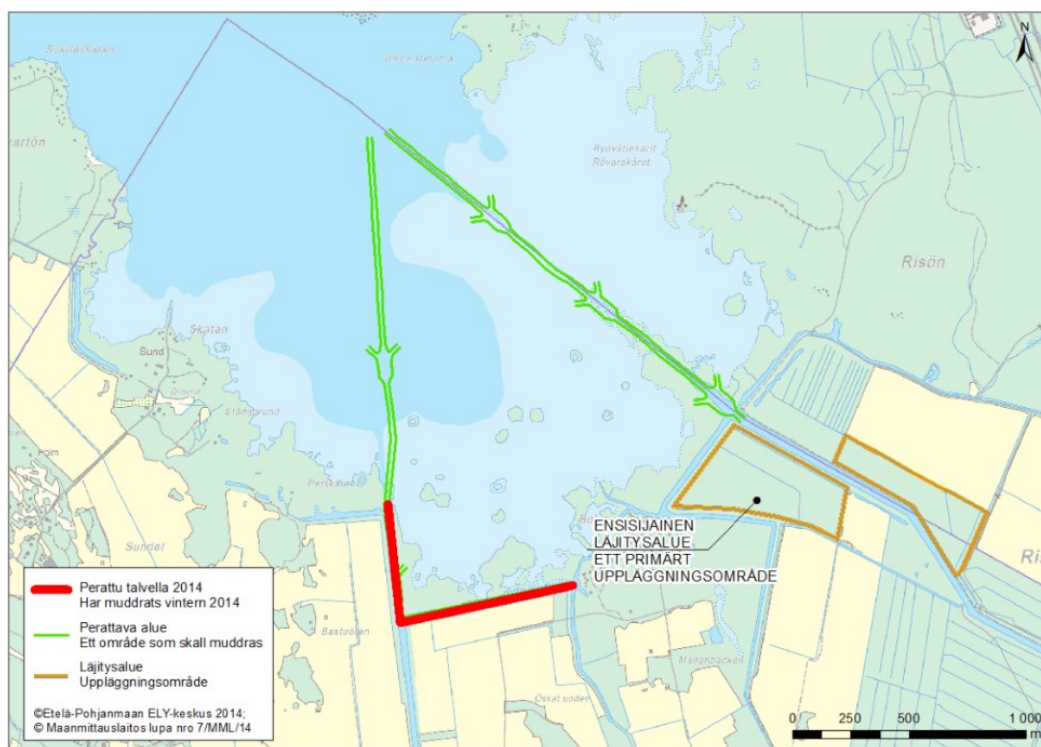
Tuovilanjoen ja Sulvanjoen mereen laskevia pidennysuomia ruopattiin kumpaakin hankkeessa noin kahden kilometrin matkalla (Kuva 4.). Tuovilanjoen pidennysuomaa ruopattiin kahden metrin syvyiseksi ja 15 m leveäksi. Lisäksi uomaan kaivettiin kolme allasta sivu-uomineen. Sulvanjoen pidennysuomaa ruopattiin kahden metrin syvyiseksi ja 10 m leveäksi. Uomaan kaivettiin kaksi allasta sivu-uomineen. Lisäksi ruopattiin Sulvanjoen suulla sijaitsevaa Sävvin eristysojaa. Perkaustyötä tehtiin talvisin jään päältä. Työ aloitettiin talvella 2013–2014 ja se päättyi talvella 2017–2018.<sup>23</sup>

---

<sup>21</sup> Paunila & Rautamäki. 1999. Eteläisen Kaupunginselän ja sen valuma-alueiden ympäristöyleissuunnitelma.

<sup>22</sup> Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2022–2027. ELY-keskus.

<sup>23</sup> Käkränen, O. 2019. Vaasan edustan merialueen vedenlaatutarkkailu vuonna 2018. KVVY Tutkimus Oy.



**Kuva 4.** Vihreällä vasemmalla Sulvanjoen ja oikealla Tuovilan/Laihianjoen pidentysuomien ruoppaukset. Punaisella Säsvikin eristysojan ruoppaus.<sup>24</sup>

Tuovilanjoen ja Sulvanjoen suistojen perkauksen on arvioitu alentavan tulvavenkorkeutta vuotta 1984 vastaavalla suurtulvalla 0,3 m jokisuulla, 0,2 m Vaasan moottoritieellä ja noin 0,13 m Vaasan lentokentän läheisyydessä. Ruoppauksen vaikutus ulottuu lentokentän alueen yläpuolelle saakka.<sup>25</sup>

Vuonna 2006 valmistui Laihianjoen tulvariskien hallinnan yleissuunnitelma jatkona Eteläisen kaupunginselän ympäristöyleissuunnitelmalle. Jatkotoimiksi yleissuunnitelmassa ehdotettiin Laihianjoen yläosan vesien johtamista Kyrönjoen vesistöön ja/tai Nälkäjärvelle tai Vaatimonnevalle perustettaviin tulva-altaisiin. Lisäksi ehdotettiin joen oikaisukanavaa Rudolta sevarbäckenin sivu-uomaa pitkin joen alaosille

<sup>24</sup> Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016–2021. ELY-keskus.

<sup>25</sup> Laihianjoen tulvariskien hallinnan yleissuunnitelma. 2006. Suomen Salaojakeskus Oy.

tai suoraan mereen sekä Laihian taajaman ohittavaa oikaisukanavaa. Joen ruopaukset todettiin kustannuksiltaan edullisimmaksi, mutta toisaalta suuret ympäristövaikutukset aiheuttavaksi toimenpiteeksi. Jokivarren rantojen raivauksia kuitenkin suositeltiin tehtäväksi pääasiallisesti maisemallisista syistä, sillä niiden vaikutus virtaukseen todettiin pieneksi. Kiinteistökohtaisia pengerryksiä sekä Vaasan lentokentän ympäristön pengertämistä ehdotettiin myös jatkotoimiksi.<sup>26</sup>

Yleissuunnitelman pohjalta jatkosuunnitelmaksi valittiin Sahaluoman yläosalla sijaitsevan Nälkjärven käyttämistä tilapäisenä tulvavesien varastoaltaana ja selvitettiin muita pienten tulvaveden varastoaltaiden paikkoja. Jatkosuunnitelmiin kuului lisäksi Laihianjoen rantojen raivaus, joka toteutettiin EU-hankkeena vuosina 2012–2013. Liettymien poistaminen Tuovilanjoen alueella sekä Isokylän pohjanpadon rakentaminen kuuluvat jatkosuunnitelmiin.<sup>27</sup>

Vuonna 2010 voimaan astuneella lailla tulvariskien hallinnasta (620/2010) ja sitä tarkentavalla asetuksella (659/2010) Suomen tulvariskilainsäädäntö yhdenmukaistettiin EU:n tulvalainsäädännön kanssa.<sup>28</sup> Uudessa tulvariskilaissa määritettiin yhdeksi tulvariskien hallinnan vaiheeksi tulvariskien alustava arviointi, jossa tunnistettiin Suomen tulvariskialueet. ELY-keskusten arvioiden perusteella Suomeen nimettiin merkittävät tulvariskialueet, joista yhtenä myös Laihia-Tuovila-Runsor. Alueelle perustettu tulvaryhmä suunnittelee alueen tulvariskien hallintaa hallintasuunnitelmissa, joissa esitetään tulvariskien hallinnan toimenpiteitä.<sup>29</sup>

Alueella aiemmin esitettyjä Laihianjoen tulvariskien hallinnan toimenpiteitä arviointiin monitavoitearvioinnilla Laihianjoen tulvaryhmän ja sen sidosryhmien kesken. Arvioinnin perusteella Laihianjoella suoritettavista toimenpiteistä päätettiin

---

<sup>26</sup> Laihianjoen tulvariskien hallinnan yleissuunnitelma. 2006. Suomen Salaojakeskus Oy.

<sup>27</sup> Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2022–2027. ELY-keskus.

<sup>28</sup> Suomen tulvariskilainsäädäntö. Vesi.fi.

<sup>29</sup> Tulvariskien hallinta. Vesi.fi.

jättää pois Nälkäjärven tilapäinen tulvavesien varastoallas, oikaisukanavat Rudolta mereen ja Laihian taajaman ohitse sekä tulvavesien johtaminen Kyrönjokeen, sillä toimenpiteillä ei arvioitu saavutettavan riittäviä tulvariskien hallinnan tavoitteita tai niiden arvioitiin olevan ristiriidassa vesienhoidon tavoitteiden kanssa, jotka tulee ottaa huomioon tulvariskien hallintasuunnitelmissa.

Vesienhoidon tavoitteita, vesien laatua sekä hyvää ekologista tilaa uhkaavat merkittävimmin juuri perkaukset ja virtaamien ja vedenkorkeuksien säännöstely, joilla muutetaan huomattavasti vesimuodostuman rakenteita. Jatkossa edistettäviä toimenpiteitä Laihianjoella ovat puolestaan vesien pidättäminen pienimuotoisilla kosteikoilla, luonnonmukaisilla uomilla sekä vedenpidätysaltailla. Näillä keinoilla saadaan aikaan myönteisiä vaikutuksia vesientilaan ja voidaan lisäksi vähentää kiintoaineksen määrää Laihianjoella.<sup>30</sup>

Tulvariskien hallinnan toisella, meneillään olevalla suunnittelukierroksella, jatkosuunnitteluun valittuja toimenpidekokonaisuuksia Laihianjoen vesistöalueella ovat: käytössä jo olevat tulvariskien hallinnan keinot ja niiden tehostaminen, veden pidättäminen valuma-alueella pienimuotoisilla toimenpiteillä, liikenneyhteyksien liikennöitävyyden kehittäminen tulvatilanteessa ja erityiskohteiden suojaaminen.

Yksityiskohtaisiin toimenpiteisiin lukeutuvat mm. maankäytön suunnittelu ja tulvien huomioiminen kaavoituksessa, kuntien varautumissuunnitelmat, kohteiden suojaaminen tilapäisillä tulvaseinämillä, omatoimisen varautumisen edistäminen asuinrakennusten suojaamiseksi, selvitys tulvien vaikutuksista rautatieyhteyden

---

<sup>30</sup> Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016–2021. ELY-keskus.

toimivuuteen tulvatilanteessa ja myös tämä selvitystyö tulva-alueen pienempien teiden korotusmahdollisuuksista.<sup>31</sup>

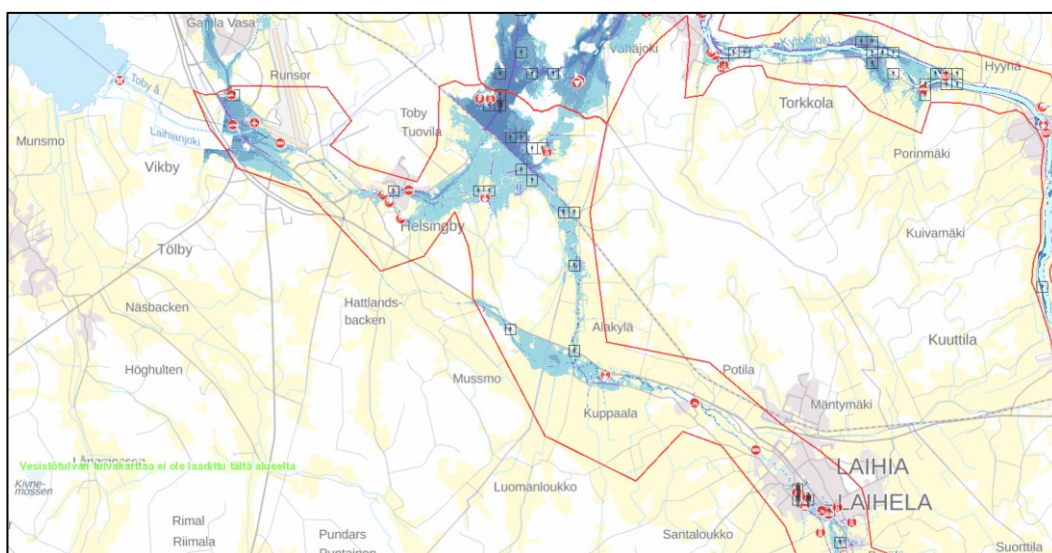
---

<sup>31</sup> Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2022–2027. ELY-keskus.

## 4 TULVIEN HYDRAULINEN MALLINTAMINEN

### 4.1 Esimerkkejä virtausmallinuksista

Laihianjoesta on valmistettu hydraulinen mallinnus, jonka avulla on kartoitettu erisuuruisten virtaamien aiheuttamat tulvat vesistöalueella. Uusimman virtausmallinnuksen on valmistanut Ympäristötekniikan insinööritoimisto Jami Aho vuonna 2021. Virtausmallinnus Laihianjoesta on valmistettu ensimmäisen kerran jo vuonna 2007 Länsi-Suomen ympäristökeskuksen toimesta ja sitä on päivitetty vuosina 2012 ja 2013. Suomen ympäristökeskus (SYKE) on muodostanut Laihianjoen vesistöalueen viralliset tulvavaarakartat virtausmallinnuksen tulosten pohjalta (Kuva 5.).<sup>32</sup>



**Kuva 5.** Tulvakeskuksen tulvakarttapalvelusta löytyy ELY-keskusten ja SYKE:n muodostamat tulvavaara- ja tulvariskikartat ja muuta tulvatietoa.<sup>33</sup>

Hydraulinen mallinnus on yksi tehokkaimmista tavoista tutkia jokivesien dynamiikkaa ja kartoittaa tulvien laajuutta. Mallintaa voidaan yksittäisen tulvatapahtuman

<sup>32</sup> Aho, J. 2021. Laihianjoen virtausmallinnus ja tulvakartoitus. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus

<sup>33</sup> Tulvakarttapalvelu. Tulvakeskus.

koko kesto ja sen aiheuttamat tulvatilanteet tai jopa kokonainen hydrologinen vuosi. Tarvittavat aineistot jokiuoman ja tulva-alueitten virtauksen mallintamiseksi ovat uoman topografinen aineisto, vedenkorkeus- tai virtaamatiedot sekä uoman pohjan ja ympäröivän maaston karkeuskerroin. Lisäksi tarvitaan validointiaineisto, jolla mallinnuksen onnistuminen varmistetaan.<sup>34</sup>

Laihianjoen alaosalla on valmistettu muuttuvavirtauksinen kaksiulotteinen virtausmallinnus, jonka avulla on kartoitettu alueen tulvien laajuus erisuuruisilla joen virtaamilla. Laihian keskustaajaman yläpuolisella osalla on tehty yksiulotteinen mallinnus tasaisella virtauksella. Erilaisilla todennäköisyyksillä toistuvat virtaamat on määritetty Karkkimalan havaintoasteikon toistuvuusanalyysin ja kevään 2018 tulvan virtaamatietojen avulla. Laihianjoen alaosille keskittyvien tulvien laajuus ja varastoituminen on voitu mallintaa aikaisemmin tehtyjä 1D-mallinnuksia tarkemmin tuoreen 2D-virtausmallin avulla.

Jokiuoman geometria on valmistettu poikkileikkausmittauksista joiden välit on interpoloitu ja näin on voitu muodostaa uomasta yhtenäinen maastomalli. Uoman ulkopuolisen maaston topografisena aineistona on käytetty Maanmittauslaitoksen muodostamaa KM2-Korkeusmallia, jota on täydennetty erinäisillä pintamalleilla.<sup>35</sup>

Validointiaineistona virtausmallinnuksessa on ollut vedenkorkeustiedot Karkkimalan havaintoasemalta. 2D-virtausmallinnus on kalibroitu säätämällä uoman karkeuskertoimia, niin että mallinnetut vedenkorkeudet on saatu vastaamaan todellisia vedenkorkeushavaintoja Laihianjoella.<sup>36</sup> Karkeuskertoimet kuvastavat vir-

---

<sup>34</sup> Alho, P. ym. 2015. Tulvariskien hallinta uusilla teknologioilla. Metsätieteen aikakauskirja.

<sup>35</sup> Aho, J. 2021. Laihianjoen virtausmallinnus ja tulvakartoitus. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus

<sup>36</sup> Aho, J. 2021. Laihianjoen virtausmallinnus ja tulvakartoitus. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus

tauksen vastusta uomissa ja tulvatasangoilla. Laihianjoen virtausmallinnus on valmistettu HEC-RAS-ohjelmalla, jossa maaston karkeutta kuvataan Manningin lukuarvon avulla. Karkeuskertoimien valinnassa apuna on kirjallisuudesta saatavat arvot.<sup>37</sup> Karkeuskertoimet vaihtelevat maankäytön tai kasvillisuuden mukaan, ja ne voidaan esimerkiksi tuoda HEC-RAS:iin paikkatieto-ohjelmalla valmistettuna aineistona, jossa kullekin maankäyttömuodolle on määritetty oma karkeuskerroin.<sup>38</sup>

Viime vuosina virtausmallinnusta on hyödynnetty tulvasuojelun toimenpiteitä arvioitaessa mm. Kokemäenjoella ja Eurajoella. Porissa Kokemäenjoen varrella vesistötulvan riski on suurin Suomessa. Tulvien vakavuutta lisää joen virtaaman lisäksi meriveden korkeus ja mahdolliset jääpadot. Aalto-yliopiston tutkimuksessa tutkittiin mm. jääpatojen vaikutusta tulviin ja jokiuomien ruoppauksilla saavutettavia hyötyjä tulvien pienentämiseksi.

Aalto-yliopiston virtausmallinnus on tehty Infoworks RS -ohjelmistolla, joka HEC-RAS:n tavoin tukee virtauksen mallintamista sekä yhdessä uoman suuntaisessa ulottuvuudessa, että kahdessa ulottuvuudessa tulva-alueilla. Laihianjoen virtausmallinnuksen tavoin, työssä käytettiin näiden yksi- ja kaksiulotteisten mallinnusten yhdistettyä virtausmallia.<sup>39</sup> Kokemäenjoella oli jo hieman aiemmin tehty hyöde- ja jääpatojen vaikutusten sekä tulvien leviämisen tutkimusta HEC-RAS:lla ja kaksiulotteisella BASEMENT-virtausmallilla.<sup>40</sup> Tuoreet mallinnustulokset todettiin vertailukelpoisiksi aiemmin saatujen tulosten kanssa.<sup>41</sup>

---

<sup>37</sup> HEC-RAS Hydraulic reference manual. Manning's roughness coefficients.

<sup>38</sup> Snellman, R. ja Sane, M. 2016. Avoin data tuo 2D-virtausmallit käden ulottuville. Vesitalous.

<sup>39</sup> Kirves, R. ym. 2012. Porin tulvavaara Suomen suurin -virtausmallinnukset merkittävä osa tulvasuojelun kehittämistä. Vesitalous.

<sup>40</sup> Huokuna, M. ja Aaltonen, J. 2009. Selvitys suunnitteluvaihtoehtojen vaikutuksista jää- ja hyödepatojen aiheuttamiin vedenkorkeuksiin Kokemäenjoen alaosalla. SYKE.

<sup>41</sup> Kirves, R. ym. 2012. Porin tulvavaara Suomen suurin -virtausmallinnukset merkittävä osa tulvasuojelun kehittämistä. Vesitalous.

Kokemäenjoen virtausmallinnuksen pohjana on maaston korkeusmalli, joka oli muodostettu maaston laserkeilausaineisto ja jokiuomien viistokaikuluotaukset yhdistämällä. Malli kalibroitiin ja validoitiin Laihianjoen virtausmallin tavoin mitattujen todellisten vedenkorkeushavaintojen perusteella.

Kokemäenjoen virtausmallinnuksessa jokiuomien ruoppaukset kaiverrettiin uoman maastomalliin. Mallinnustulosten perusteella ruoppausten vaikutus havaittiin vähäiseksi kerran sadassa vuodessa toistuvalla ylivirtaamalla (HQ) ja merivedenkorkeuden ollessa ylivedenkorkeudessa (HW). Ruoppaukset todettiin kuitenkin tulvimista pienentäviksi ylivirtaamaskenaarioissa, joissa merivedenkorkeus on matalampi.

Kokemäenjoen virtausmallinnuksella tuotettiin tietoa tulvien nykytilanteesta ja ruoppausten vaikutuksesta erilaisissa skenaarioissa ja saatua tietoa on käytetty hyödyksi Porin tulvasuojeluhankkeen jatkosuunnittelussa.<sup>42</sup>

Esimerkkejä virtausmallinnuksen tehokkaasta hyödyntämisestä tulvasuojelussa löytyy myös Eurajoelta, jossa Turun yliopiston tutkimuksessa tarkasteltiin joen perkausten vaikutusta tulvariskiä kaksikulotteisen virtausmallinnuksen avulla. Mallinnusta tehtiin Delft-3D Flow -ohjelmalla. Käytössä oli uoman geometrian erittäin tarkka kartoitus lähikartoitusmenetelmillä, johon yhdistettiin Maanmittauslaitoksen kansallinen maanpinnan laserkeilausaineisto. Eurajoen perkausten havaittiin vähentävän tulvimista ja tutkimuksen todettiin osoittavan hydraulisen mallinnuksen selkeät hyödyt jokiympäristöjen suunnittelutyössä.<sup>43</sup>

---

<sup>42</sup> Kirves, R. ym. 2012. Porin tulvavaara Suomen suurin -virtausmallinnukset merkittävä osa tulvasuojelun kehittämistä. Vesitalous.

<sup>43</sup> Blåfield, L. ym. 2021. Jokiuoman kartoitus ja virtausolosuhteiden mallinnus tukena perkausten suunnittelussa: esimerkkinä Eurajoki. Terra.

2D-virtausmallinnus Kokemäenjoella, Eurajoella ja Laihianjoella on voitu tehdä luotettavasti, kun käytössä on ollut tarkka topografinen, hydrologinen sekä mallinnuksen validoinnin mahdollistava aineisto. Virtausmallinnusten avulla voidaan siis kartoittaa erilaisia tulvaskenaarioita ja valmistaa niiden pohjalta tulvakarttoja. Myös jokiuomien perkauksia, pengerryksiä ja jääpatoja voidaan mallintaa ja selvittää näin ennalta niiden vaikutuksia. Virtausmallinnuksia on mahdollista soveltaa monin eri tavoin.

#### **4.2 Laihianjoen virtausmallinnuksen soveltaminen.**

Tässä työssä työskentelyn pohjana on ollut valmis Laihianjoen alaosan 2D-virtausmallinnus, jossa on mallinnettu noin kahden viikon mittainen keväinen tulvatapahuma erisuuruisilla virtaaman toistuvuusajoilla. Työssä keskityttiin tarkastelemaan keskimäärin kerran sadassa vuodessa toistuvaa virtaamaa Laihianjoessa ja sen aiheuttamia tulvia. Tarkastellussa virtaamaskenaariossa merivedenkorkeus oli keskivedenkorkeudessa (MW). Merivedenkorkeudella ei ole suurta merkitystä Laihianjoen kevät- ja kesätulviin.<sup>44</sup>

Tässä työssä sovellettiin valmista Laihianjoen virtausmallinnusta muokkaamalla sen pohjana olevaa maaston korkeusmallia. Suoraan jokeen kohdistuvien toimenpiteiden sijaan tutkittiin teiden vaikutusta tulviin. Tietä korottamalla voidaan muodostaa tulvilta suojaava pengeri, jolla samalla varmistettaisiin tien liikennöitävyys tulvien aikaan. Erityisen tärkeää teiden liikennöitävyys tulvien aikana on pelastustoiminnalle. Vesi soratielle tulviessaan voi myös vaurioittaa tietä.

Aina tietä korottamalla ei paranneta tulvatilannetta. Tulvan nouseminen tielle voidaan estää, mutta tulva voi levitä tämän seurauksena alueille, joille se ei aiemmin ulottunut. Kastumisvaarassa voi olla tällöin asuinrakennuksia tai muita merkittäviä

---

<sup>44</sup> Tulvariskien alustava arviointi Laihianjoen vesistöalueella. 2011. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus.

kohteita. Tien korottaminen ei ole siis aina paras ratkaisu tulvaongelmiin, vaikka tulvanaikainen liikennöinti tiellä parantuisikin.

Tässä työssä tehtiin vertailua nykyhetken maaston perusteella suoritettua vesistö-tulvan mallintamista ja tien korotusten jälkeen uudelleen mallinnetun tulvan välillä. Työskentelyä helpotti valmis Laihianjoen virtausmallinnus, joten työtä ei tarvinnut aloittaa tyhjältä pohjalta, kun sovellettiin jo olemassa olevaa, laadukasta mallinnustyötä. HEC-RAS- ja Scalgo Live -ohjelmien käyttäminen, maaston korkeusmallin muokkaaminen teiden osalta ja siihen tarvittavien menetelmien löytäminen ja uudelleenmallinnuksen ongelmien ratkominen olivat kuitenkin haastavia ja aikaa vieviä työvaiheita.

Järkevää soratien korotustapaa ja korotuksen määrää pohdittiin työssä. Käytännössä mallinnuksen kannalta teitä olisi voitu korottaa ”liikaa”, jotta olisi ainoastaan muodostettu tiestä tulvia torjuva pengeri, jonka vaikutus tulva-alueen muutokseen olisi tutkittu. Tahdottiin kuitenkin arvioida mahdollisimman kevyitä toimenpiteitä sorateille, jolloin tietä ei mahdollisesti tarvitsisi leventää tai kantavuutta vahvistaa muilla tavoin ennen tien korotusta. Todella reilut tienkorotukset eivät liene kovinkaan realistisia, varsinkaan pienillä yksityisteillä. Kaikille tutkituille teille tehtiin kuitenkin tulvavedenkorkeuden edellyttämä korotus, jotta tulva ei enää pääsyt tielle nousemaan. Soratien kunto ja edellytykset korotuksille täytyy selvittää perusteellisesti, mikäli todellisia toimenpiteitä harkittaisiin. Tämän työn avulla on saatu kuitenkin tietoa vaadittavasta tasauksen noston tasosta, jolla mahdollistetaan tien liikennöinti vielä keskimäärin kerran sadassa vuodessa toistuvilla tulvilla sekä korotusten aiheuttamista mahdollisista haittavaikutuksista.

## 5 SELVITYSTYÖN TARKOITUS

### 5.1 Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma 2022–2027

Laihianjoen varrella sijaitseva Laihia-Tuovila-Runsor on yksi Suomen 22 maa- ja metsätalousministeriön nimeämästä valtakunnallisesti merkittävästä tulvariski-alueesta (22.12.2018). Merkittävien tulvariskien alueille on laadittu tulvariskien hallintasuunnitelmat, joilla edistetään tulvariskien hallinnasta annetun lain ja asetuksen tavoitteita. Hallintasuunnitelmien avulla pyritään vähentämään, ehkäisemään ja lieventämään tulvia ja tulvavahinkoja sekä parantamaan tulviin valmistautumista. Laihianjoen tulvariskien hallintasuunnitelma toimii vesistöalueen tulvariskien hallintaa koordinoivana teoksena. Laihianjoen tulvariskien hallintasuunnitelma on laadittu Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksen ympäristövastuualueella Laihianjoen vesistöalueen tulvaryhmän ohjauksessa.<sup>45</sup>

Tulvariskien hallintasuunnitelmat toteutetaan kuuden vuoden välein. Tämänhetkiset tulvariskien hallintasuunnitelmat on hyväksytty ja laadittu vuosille 2022–2027. Meneillään on tulvariskien hallinnan toinen suunnittelukierros, ensimmäiset hallintasuunnitelmat laadittiin vuosille 2016–2021. Tulvariskien hallintasuunnitelmat toteutetaan samassa syklissä vesien tilaa koskevien vesienhoitosuunnitelmien kanssa, ja vesienhoidon tavoitteet on otettu huomioon tulvariskien hallinnan toimenpiteissä. Lisäksi ilmastonmuutos ja siitä aiheutuvat muutokset säässä ja vesiolioissa on huomioitu aiempaa paremmin uusimmissa suunnitelmissa.<sup>46</sup>

---

<sup>45</sup> Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2022–2027. ELY-keskus.

<sup>46</sup> Tulvariskien hallintasuunnitelmat auttavat varautumaan ilmastonmuutokseen. 2021. Maa- ja metsätalousministeriö.

## 5.2 Tavoitteet ja toimenpiteet tulvariskien hallintasuunnitelmassa

Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelmassa esitetään alueelle ehdotetut tulvariskien hallinnan tavoitteet ja perustellut toimenpiteet tavoitteiden saavuttamiseksi. Lisäksi arvioidaan edellisen hallintasuunnitelman tavoitteiden ja toimenpiteiden toteutumista. Hallintasuunnitelmasta laaditaan ensin ehdotus, joka on kuultavana ja johon asianomaiset voivat antaa mielipiteensä. Laihianjoen vesistöalueen tulvaryhmä ja lopulta maa- ja metsätalousministeriö hyväksyvät tulvariskien hallintasuunnitelmasta tehtävän ehdotuksen. Tulvariskien hallinnan prosessi toistuu edellä mainitulla tavalla kuuden vuoden välein.

Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallinnan tavoitteet jaotellaan ihmisen terveyttä ja turvallisuutta, yhteiskunnan toimivuutta ja taloudellista toimintaa, ympäristöä ja kulttuuriperintöä sekä vesien hallintaa, varautumista ja ilmastonmuutosta koskeviin alueisiin. Tulvariskien hallinnan tavoitteilla Laihianjoen vesistöalueella on erityisesti haluttu korostaa tulviin varautumista, maankäytön ohjausta, omatoimista tulviin varautumista ja veden pidättämistä valuma-alueella. Nämä tavoitteet toimivat lähtökohtana toimenpiteille, joilla tulvariskejä hallitaan.

Tulvariskien hallinnan toimenpiteet jaotellaan tulvariskiä vähentäviin toimenpiteisiin, tulvasuojelutoimenpiteisiin, valmiustoimiin, toimintaan tulvatilanteessa sekä jälkitoimenpiteisiin. Tämä selvitystyö pienten teiden liikennöitävyydestä ja korotusmahdollisuuksista lukeutuu tulvariskiä vähentäviin toimenpiteisiin, joiden tarkoitus on ”vähentää mahdollisia tulvavahinkoja, alueen vahinkopotentiaalia sekä estää tulvariskin kasvua.” Toimenpiteitä hallintasuunnitelmassa on kaikkiaan 29,

joista osa on jatkuvia ja osalle on määritetty toteuttamisaikataulu. Selvitys pienempien teiden liikennöitävyydestä ja korotusmahdollisuuksista tulva-alueilla toteutetaan hallintasuunnitelman aikataulun mukaisesti 2022–2023.<sup>47</sup>

### **5.3 Selvitys pienempien teiden liikennöitävyydestä ja korotusmahdollisuuksista Laihianjoen tulva-alueilla**

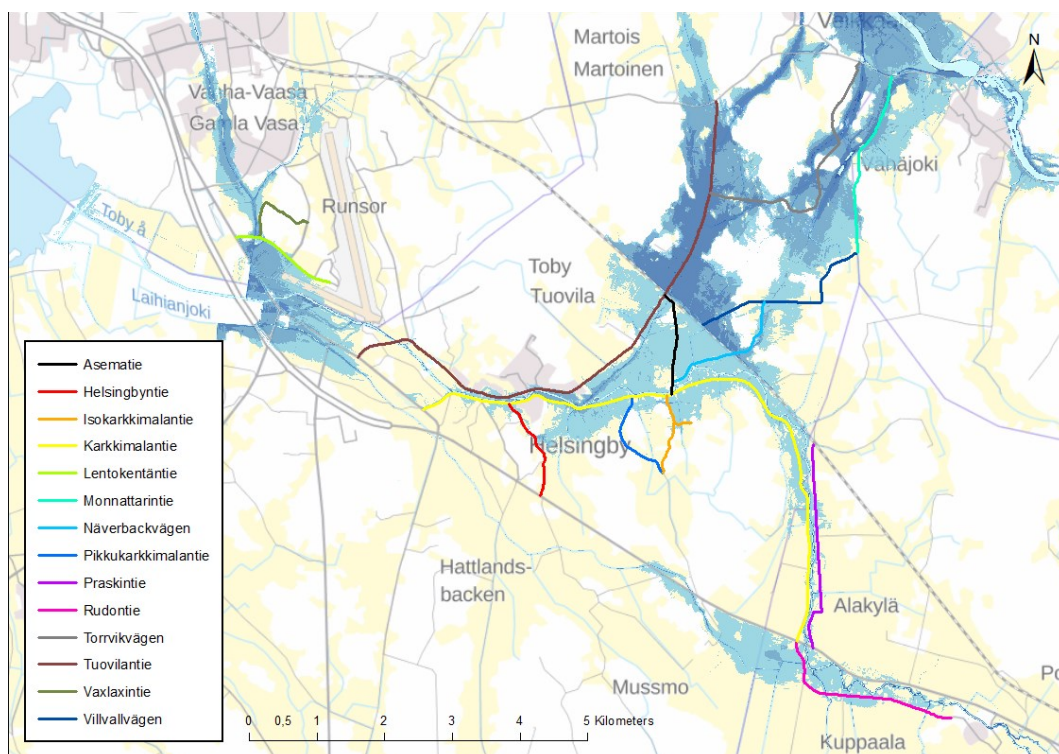
Tien korkeusasema voi tulvatilanteessa toimia asutusta suojaavana suojajenkeereinä, toisaalta taas tulvatilannetta pahentavana padottavana rakenteena. Kun tulva-alueella rakennetaan tai kunnostetaan teitä, tulee varmistaa, että tielinjauksilla ja rummuilla ei lisätä tulvariskejä. Laihianjoen tulvaryhmä onkin katsonut, että pienempien teiden liikennöitävyydestä ja korotusmahdollisuuksista on tarpeen tehdä selvitys.<sup>48</sup> Selvitystyössä pyritään löytämään kohteita, joissa liikennöitävyyttä voidaan parantaa, ilman että tulvariskit kasvavat toisaalla ja aiheuttavat vaaraa esimerkiksi asutukselle.

Tässä selvityksessä tarkastelun kohteena ovat Laihianjoen tulva-alueilla sijaitsevat tiet, joille tulvavesi noustessaan vaikeuttaa tai estää liikenteen kulkua. Laihianjoen tulvat sijoittuvat pääosin joen alajuoksun alueille mm. Rudolla, Karkkimalassa, Tuovilassa sekä Laihianjoen ja Kyrönjoen välisellä ns. bifurkaatioalueella, jossa jokien tulva-alueet ajoittain yhdistyvät, kun osa Kyrönjoen virtaamasta suuntautuu Laihianjokeen. Tutkittavat tiet sijaitsevat Mustasaaren, Laihian ja Vaasan kuntien alueella (Kuva 6.). Pääosa teistä sijaitsee Mustasaarella.

---

<sup>47</sup> Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2022–2027. ELY-keskus.

<sup>48</sup> Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2022–2027. ELY-keskus.



**Kuva 6.** Selvityksessä tarkastellut tiet. Sininen alue kuvastaa vesistötulvan laajuutta keskimäärin kerran sadassa vuodessa toistuvan tulvan aikana.

Laihianjoesta tehdyn virtausmallinnuksen avulla voidaan mallintaa miten tulvalla katkeavan tien korottaminen tai ojarumpujen koon kasvattaminen vaikuttavat tulvaveden kulkuun ja siihen, että paraneeko tien tulvanaikainen liikennöitävyys talvella. Työn tarkoitus on, että Laihianjoen alaosan virtausmallinnuksen maastomallia muutetaan teiden ja rumpujen osalta ja analysoidaan saatuja muutoksia tulvan leviämisessä. Mallinnuksista pyritään keräämään hyödyt ja haitat havainnollistavine karttakuvineen.

## 6 AINEISTO

### 6.1 Laihianjoen virtausmallit

Tämän selvityksen lähtöaineistoon kuuluu Ympäristötekniikan insinööritoimisto Jami Ahon 2021 ELY:lle tekemä Laihianjoen virtausmallinnus ja tulvakartoitus. Mallinnus koskee koko Laihianjoen pääuomaa ja lisäksi Sevarbäckenin aluetta sekä Laihianjoen ja Kyrönjoen välistä aluetta. Ahon työssä tehtiin kaksi erillistä virtausmallia Laihianjoelle. Laihian keskustan alapuoliselle alueelle tehtiin 2D-virtausmalli antamaan aiemmin tehtyjä 1D-virtausmalleja tarkempaa ja todenmukaisempaa kuvaa tilanteesta joella. Virtaamana käytettiin muuttuvaa virtausta, jotta veden virtausreitit maastossa ja tulva-alueen veden varastoituminen voitiin ottaa huomioon. 2D-mallin avulla voitiin myös määrittää tarkemmin Kyrönjoen ja Laihianjoen välisen bifurkaatioalueen tulvavesien vaikutusta Laihianjokeen. Laihianjoen yläosalle tehtiin 1D-virtausmalli, jossa käytettiin tasaista virtausta. Ylä- ja alaosan mallinnuksen raja on Laihian keskustan Ruutintienellä.<sup>49</sup>

1D-malleissa virtaus on aina kohtisuora uoman poikkileikkaukseen nähden ja haasteena on laskea tulvaveden leviäminen virtaaman kasvaessa, sillä vesi voi levitä tasaisella alustalla epärealistisen laajalle, johtuen mallin poikkileikkausesitysmuodosta. 2D-virtausmalli antaa yksiulotteista mallia tarkemman tuloksen tulvatasanteiden veden virtaussuunnalle ja -nopeudelle. Sen avulla voidaan myös paremmin arvioida tulvatasanteiden vedenvarastointikapasiteettia. 2D-mallissa vesi virtaa laskentaverkon sivujen kautta useampaan suuntaan ja malli soveltuukin hyvin monimutkaisempien kokonaisuuksien, kuten tulvavesien mallintamiseen. Yhdistetyt 1D- ja 2D-mallit ovat yleisiä, sillä 1D-mallit ovat valmiiksi kalibroituja uoman poikkileikkausaineiston ja vedenkorkeushavaintojen avulla, kun taas 2D-malli

---

<sup>49</sup> Aho, J. 2021. Laihianjoen virtausmallinnus ja tulvakartoitus. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus.

joudutaan kalibroimaan maaston maankäytön tai kasvillisuuden mukaan vaihtelevilla karkeuskertoimilla, jotta malli saadaan vastaamaan havaintoja. 2D-mallintamisen vaatima pitkä laskenta-aika hankaloittaa mallin epävarmuustarkastelua.<sup>50</sup>

Laihianjoen virtausmallinnuksen maanpintatietoina on käytetty Länsi-Suomen ympäristökeskuksen, sen edeltäjävirastojen ja ELY-keskuksen mittaamia uoma- ja aukkotietoja. Uoman poikkileikkauksista on muodostettu uoman pohjamalli. Uoman ulkopuolisen maaston korkeustietona on käytetty Maanmittauslaitoksen KM2-korkeusmallia (2009) jota on täydennetty valtatie 3:n pintamallilla (Ramboll) ja Laihian keskustan eritasoliittymän pintamallilla (A-insinöörit). Risöfladan alapuolisen alueen korkeustietona on käytetty alueen perkauksen luotaustietoa (Mapteam Oy) ja alueen penkereiden korkeustietona alueen kaivuusuunnitelmassa esitetyt korkeudet. Tulvakarttojen laadinnassa on käytetty Maanmittauslaitoksen KM2-pintamallia (2019). Mallinnusohjelmistoina maaston osalta on käytetty AutoCad Civil 2016 -ohjelmaa ja ArcGis 10.3 -ohjelmaa.

Virtaamien määrittäminen eri toistuvuuksilla on määritetty Karkkimalan mittausasemalta saatujen pitkän ajan havaintosarjojen avulla. Virtaamatietoja on täydennetty Laihian keskustan vedenkorkeuden ja virtaaman mittausaseman tiedoista, joita on vuodesta 2012 lähtien. Havaintojen ja mallilla laskettujen vedenkorkeuksien erotusten perusteella mallin kalibrointi on onnistunut hyvin yläosan 1D-mallin osalta ja riittävällä tarkkuudella alaosan 2D-mallin osalta. Kyrönjoen bifurkaation mallinnuksessa käytössä on ollut vuoden 2018 tulvan tarkka havaintotieto Skatilan mittausasemalta sekä Kyrönjoen virtausmalli, joiden avulla mallinnuksen arvioidaan onnistuneen hyvin. Laihianjoen virtausmallinnus on tehty HEC-RAS 5.0.7 -ohjelmalla.<sup>51</sup>

---

<sup>50</sup> Snellman, R. ja Sane, M. 2016. Avoin data tuo 2D-virtausmallit käden ulottuville. Vesitalous.

<sup>51</sup> Aho, J. 2021. Laihianjoen virtausmallinnus ja tulvakartoitus. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus.

## 6.2 Väyläviraston tie- ja katuverkko Digiroad

Digiroad on vuonna 2004 käyttöön otettu Väyläviraston kansallinen avoimen datan tietojärjestelmä, johon on koottu koko Suomen tie- ja katuverkon keskilinja-geometria ja tärkeimmät ominaisuustiedot digitaalisessa muodossa. Digiroad mahdollistaa muun muassa erilaisten reitinsuunnittelu- ja navigointipalveluiden kehittämisen. Kunnat, yksityistiekunnat, ELY-keskukset, Maanmittauslaitos ja toimivaltaiset viranomaiset (esim. HSL ja Föli) vastaavat tietojen ylläpidosta yhteistyössä Väyläviraston kanssa. Vuodesta 2019 lähtien yksityistiekunnat ilmoittavat yksityisteitä koskevat tiedot yksityistielain mukaisesti. Myös yksityisteitä koskevat tiedot yhdistetään osaksi avointa paikkatietoaineistoa.<sup>52</sup>

## 6.3 Suomen ympäristökeskuksen määritetyt vesistötulvan tulva-alueet (tulvavaarakartat)

Tulvakarttoja hyödynnetään tulvariskien hallinnassa monin tavoin. Ne kuvaavat veden alle jääviä alueita, niiden pohjalta voidaan tehdä vahinkoarvioita ja tunnistaa riskikohteita. Tulvavaarakartat on laadittu tulvariskilainsäädännön mukaisesti kaikille merkittävillä tulvariskialueille.<sup>53</sup>

Tulvavaarakartat esittävät tulvan laajuutta tietyllä todennäköisyydellä. Tulvakartoilta nähdään, mitkä alueet ovat tulvavaarassa erisuuruisilla tulvilla. Tulvien suuruutta kuvaa niiden toistuvuusaika. Tulvavaarakartat laaditaan kaikilla merkittävillä tulvariskialueilla. Tulvavaarakartat laaditaan keskimäärin kerran 50 vuodessa (1/50 a, todennäköisyys 2 %) ja keskimäärin kerran 100 vuodessa (1/100 a, todennäköisyys 1 %) toistuville tulville. Tulvavaarakartat laaditaan lisäksi tulvalle, joka

---

<sup>52</sup> Digiroad, kansallinen tie- ja katuverkon tietojärjestelmä. Väylävirasto.

<sup>53</sup> Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2022–2027. ELY-keskus.

on mahdollinen erityisissä olosuhteissa tai jonka vuotuinen todennäköisyys on hyvin vähäinen. Tulvakartoitetut toistuvuusajat vaihtelevat alueittain. Usein kartoitetaan lisäksi 1/20 a, 1/250 a ja 1/1000 a toistuvuusajan tulvat. Tulvien toistuvuusajat voidaan kiteyttää niin, että isoja tulvia esiintyy harvoin, pieniä usein.

Haasteena tulvakarttojen laatimisessa on harvinaisten tulvien vedenkorkeuksien määrittäminen. Koska luotettavia hydrologisia havaintoja on vain lyhyeltä ajalta, sisältyy arviointeihin epävarmuuksia. Jokikohteissa voidaan käyttää virtausmalleja, joissa vedenkorkeudet mallinnetaan uoman geometrian ja virtaamatietojen avulla. Kaksiulotteisia virtausmalleja käytetään monimutkaisissa virtaustilanteissa.<sup>54</sup> Kaksiulotteista virtausmallinnusta on käytetty myös Laihianjoen alaosan tulvien mallintamisessa. Mallinnuksen avulla on määritetty Laihianjoen tulvien tulvavaarakartat.

#### **6.4 Tulvariskissä olevien rakennusten tarkempien kastumiskorkeuksien selvitys Laihianjoella**

Tulvariskissä olevien rakennusten tarkempien kastumiskorkeuksien selvitys on tehty Laihia-Tuovila-Runsorin valtakunnallisesti merkittävällä tulvariskialueella keuhällä 2021. Selvitys oli tulvariskien hallintasuunnitelmassa vuosille 2016–2021 esitetty tulvariskien hallinnan toimenpide. Selvityksen tarkoitus oli kartoittaa tarkemmin ne rakennukset, jotka kastuvat keskimäärin kerran sadassa vuodessa toistuvalla tulvalla. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus on tehnyt vastaavanlaisia selvityksiä Kyrönjoella ja Lapuanjoella yhteistyössä alueen kuntien kanssa.

Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) tuottamat tulvavaarakartat kuvaavat tulvien peittävyyttä ja syvyyttä. Tulvakartoilta nähdään tulvavaarassa olevat alueet erisuuruisilla tulvilla. Kartoista ei kuitenkaan suoraan voida sanoa, mitkä rakennukset

---

<sup>54</sup> Tulvakartoitus. Ympäristö.fi

kastuvat tulvilla, sillä tulvavaarakartoissa käytetty maanpinnan korkeustieto poikkeaa todellisesta alimmasta, vahinkoja aiheuttavasta korkeudesta. Tulvavaarakartta ei huomioi tarkasti maanpinnan korkeuksia rakennusten lähellä, eikä näin ollen anna todellista tietoa rakennusten kastumisriskistä. Tarkentavien mittausten perusteella saadaan selville tulvavaara-alueen rakennusten perustusten todellinen korkeusasema. Mittauksilla on saatu selville Laihianjoen merkittäväällä tulvariskialueella keskimäärin kerran sadassa vuodessa toistuvalla tulvalla kastuvat rakennukset. Tarkastelun tuloksia hyödynnetään mm. maankäytön suunnittelussa, tulviin varautumisessa ja tulvatiedottamisessa.<sup>55</sup>

---

<sup>55</sup> Tulvariskissä olevien rakennusten tarkempien kastumiskorkeuksien selvitys Laihianjoella. 2021. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus.

## 7 MENETELMÄT

### 7.1 ArcMap

ArcMap on yksi keskeisimpiä ArcGIS-tuoteperheen ohjelmista. ArcGIS:n kehittäjä on yhdysvaltalainen Esri. ArcMap:n avulla voidaan esittää, luoda ja analysoida paikkatietoaineistoa sekä tehdä karttoja. Paikkatieto on tietoa, johon voidaan liittää maantieteellinen sijainti. Tyypillisesti ArcMap:ia käytetään karttojen kanssa työskentelyyn. ArcMap:ssa esille voidaan tuoda aineistoa, joiden kohteiden sisältämää tietoa voidaan tutkia, visualisoida ja käyttää hyödyksi analyyseissä.<sup>56</sup>

Esimerkkinä paikkatietoaineistosta on Väyläviraston tie- ja katuverkkoaineisto (Digiroad), jota on käytetty apuna tässä työssä. Digiroadissa eri toiminnallisen luokittelun tiet (valtatie, kokoojakadut, yksityistiet...) esitetään ArcMap:ssa havainnollisesti eri väreillä. Digiroad-aineiston avulla voitiin haluttujen teiden keskilinja-geometria viedä ArcMap:sta edelleen muokattavaksi muissa ohjelmissa, niin että muokkausta voitiin kohdistaa tarkasti tien todelliseen sijaintiin.

### 7.2 SCALGO Live

SCALGO Live on Tanskassa, Århusin yliopistossa tulvanhallintaan kehitetty selainpohjainen sovellus. SCALGO Live mallintaa tulvavesien valuma-alueita ja virtausreittejä antaen yleiskuvaa tulva-alueen topografiasta, tulvavesien määrästä ja ongelmakohdista. Tulvahallinnan suunnittelussa pyritään sijoittamaan tulvarakenteita tulvavesien varastointiin, viivytykseen ja ohjaamiseen, jotta tulvavahingoilta voitaisiin välttyä. SCALGO Live:ssä näitä rakenteita voidaan lisätä maastonmuokkaustyökalujen avulla ja mallintaa rakenteiden vaikutusta tulvatilanteessa.<sup>57</sup>

---

<sup>56</sup> What is ArcMap? Esri.

<sup>57</sup> Åström, H. 2020. Ilmastonkestävä kaupunki ja nouseva tulvariski – Kokemuksia ja ajatuksia Tanskasta. Rakennustekniikka.

SCALGO Live:n maastonmuokkaustyökaluilla voitiin tehdä halutun tien korottaminen. Tielle voitiin asettaa ojaluisien kaltevuus ja säätää tarkasti tien pituusleikasta. Varsinainen mallinnustyö tehtiin SCALGO Liven sijaan kuitenkin HEC-RAS-ohjelmalla, jossa Laihianjoen virtausmallin pohjalla olevaa maastomallia muokattiin SCALGO Live:llä teihin tehdyin muutoksin. SCALGO Live itsessään ei mahdollista Laihianjoen virtausmallin kaltaista ajan suhteen muuttuvan virtauksen mallintamista.

### 7.3 HEC-RAS

Laihianjoen tulvakarttojen virtausmallinnus on tehty HEC-RAS-ohjelmalla (Hydrological Engineering Centre-River Analysis System). HEC-RAS on Yhdysvaltojen puolustusministeriön alaisen viraston U.S. Army Corps of Engineers kehittämä työkalu avouomien virtausten mallintamiseen. HEC-RAS:n avulla voidaan simuloida tasaista tai muuttuvaa virtausta yksi- tai kaksiulotteisissa mallissa, tai näiden yhdistelmässä.<sup>58</sup> HEC-RAS:lla luotujen virtausmallien sovelluskohteita ovat esimerkiksi tulvariskien hallinta, kaupunkien kuivatuksen suunnittelu, virtavesikunnostukset sekä patojen vahingonvaaraselvitykset.<sup>59</sup>

Laihianjoen virtausmallinnus on tehty HEC-RAS:lla. Ohjelman RAS Mapper -käyttöliittymän avulla voidaan visualisoida mallinnustuloksia. RAS Mapper:n avulla voidaan tutkia mm. virtaamia, virtauksen suuntaa ja nopeutta, vedenpinnan korkeutta sekä näiden muutosta ajan kuluessa. Ohjelman uusimmissa versioissa myös maaston muokkaamisen mahdollistava RAS Mapper -työkalu on integroitu paremmin ohjelmaan. Tässä työssä käytössä oli kuitenkin hieman vanhempi HEC-RAS-versio, jossa RAS Mapper:n käyttö maaston muokkaamiseksi oli hieman työlääm-

---

<sup>58</sup> Brunner, G. 2022. HEC-RAS User's manual.

<sup>59</sup> Snellman, R. ja Sane, M. 2016. Avoin data tuo 2D-virtausmallit käden ulottuville. Vesitalous.

pää. Yhteensopivuuden varmistamiseksi ohjelmaversio oli sama kuin millä Laihi-anjoen virtausmallinnuskin oli tehty. Maaston muokkaus tehtiinkin siis SCALGO Live:n avulla ja muutokset tuotiin HEC-RAS:iin, jossa ohjelmalla laskettiin uudeen tulvavesien kulku ja analysoitiin tulokset.

## 8 TYÖSKENTELY

### 8.1 Selvitysalueen määrittäminen

Työskentelyn alussa päädyttiin tarkastelemaan teitä, joille tulvavesi nousee keskimäärin kerran sadassa vuodessa toistuvan tulvan (1/100 a) aikana. Todennäköisyys tällaisen tulvan esiintymiselle jonakin valittuna vuonna on 1 %. Tarkasteltavana ovat valtion ja kuntien omistamien teiden lisäksi yksityistiet, joita selvitysalueella on useita. Selvityksen tiet ovat seututeitä, yhdysteitä, tärkeitä yksityisteitä tai muita yksityisteitä Väyläviraston tie- ja katuverkkoaineiston luokittelun mukaan. Valtaosa selvityksen teistä on luokaltaan muu yksityistie.

Laihianjoen yläjuoksulla Laihian keskustan yläpuolella ja Kylänpää-Jokikylä välisellä alueella tulvavesi peittää paikoin pieniä yksityisteitä, mutta merkittävästi 1/100 a toistuvuuden tulva katkoo teitä ja vaikeuttaa liikennöitävyyttä vasta Laihianjoen alajuoksulla Rudolta alkaen. Siksi tässä selvityksessä keskitytäänkin Laihianjoen alajuoksulla sijaitseviin teihin Laihialla, Mustasaassa ja Vaasassa. Merkittävä määrä teistä katkeaa Laihianjoen ja Kyrönjoen välisellä tulvaherkällä bifurkaatioalueella, joka on erityisen haastavaa aluetta, kun etsitään keinoja teiden tulvanaikeisen liikennöitävyyden parantamiseksi.

Vaasan Lentokentäntie ja Tuovilantien eteläpäässä Tuovilan kivisillalle päättyvä noin 2 km pituinen tienosuus ovat alueen tulvilla peittyvistä teistä vilkkaimmin liikennöityjä. Tarkat liikennemäärät selviävät Väyläviraston internetsivuilta, josta löytyy valtion ylläpitämien teiden liikennemääräkartat vuosilta 2012–2021. Lentokentäntien ja Tuovilantien eteläisen tienosuuden liikennemäärät ovat keskimäärin noin 1500 ajoneuvoa/vrk. Tuovilantien pohjoiseen Vähäkyröntiehen saakka jatkuvan pidemmän osuuden liikennemäärä on keskimäärin noin 700 ajoneuvoa/vrk. Laihian Rudontielle kulkee keskimäärin noin 300 ajoneuvoa/vrk. Liikennemäärät

ovat alle 100 ajoneuvoa/vrk muilla tässä työssä tutkittavilla valtion tai kunnan ylläpitämillä teillä.<sup>60</sup>

Yksityisteiden liikennemääriä ei Väyläviraston aineistosta löydy, mutta määrät lienevät pääsääntöisesti pieniä. Suuri osa tämän selvityksen teistä on juuri sorapintaisia yksityisteitä. Voidaankin pääasiassa puhua pienempien teiden liikennöitävyyden ja korotusmahdollisuuksien selvittämisestä selvityksen otsikon mukaisesti, vaikka tarkasteltavana on myös muutama suurempi päällystetty tie.

## 8.2 Tulvan katkaisemien teiden korottaminen

Valtaosa tämän selvityksen teistä on sorapintaisia yksityisteitä. Soratien kelirikko-  
korjausmenetelmiä on esitetty mm. Suomen tieyhdistyksen julkaisemassa yksityistien parantaminen-oppaassa. Kelirikkokorjausmenetelmiä voidaan soveltaa tien tasauksen nostamiseen tulvavaurioiden välttämiseksi.<sup>61</sup>

Soratien tasauksen nostorakenteessa tien nykyinen kulutuskerros murske poistetaan 100–150 mm syvyydelle saakka. Muotoillulle ja tiivistetylle pohjalle asennetaan suodatinkangas, 200–300 mm jakava murskekerros, 200 mm kantava kerros sekä 100 mm kulutuskerros. Tasauksen nosto on tällöin 350–500 mm.<sup>62</sup> Tässä työssä lähtökohtana soratien korotuksille on ollut edellä olevan ohjeen mukainen tasauksen noston taso. Tien korottaminen käyttäen vakiopaksuisia rakennekerroksia koko tien matkalla arvioitiin menetelmäksi, jolla yksityistiellä tulviin saatettaisiin todennäköisimmin varautua. Samalla vähennetään tien kelirikosta johtuvia ongelmia ja parannetaan kantavuutta. Tien korotukset mallinnettiin tällä tavoin

---

<sup>60</sup> Liikennemääräkartat. Väylävirasto.

<sup>61</sup> Hämäläinen, E. 2010. Yksitystien parantaminen.

<sup>62</sup> Hämäläinen, E. 2010. Yksitystien parantaminen.

tasaisesti korottamalla, mikäli toisin ei mainita. Paikoin sorateiden notkelmia täytyi korottaa muuta tietä suuremmin täytöin, jotta korotus olisi riittävän suuri.

Mikäli tien korottamiseen ryhdytään tulviin varautumisen vuoksi, tulee huomioida tiealueen mahdollinen leventyminen päällysrakenteen kasvaessa. Suuremmilla korotuksilla ojaluisia joudutaan siirtämään kauemmas tien keskiviivasta riittävän luiskan kaltevuuden saavuttamiseksi ja tien reunakantavuuden varmistamiseksi. Myös tonteille johtavia kulkuteitä joudutaan aina hieman korottamaan tien korotuksen yhteydessä.<sup>63</sup>

Tässä selvityksessä on tarkasteltu sorateiden lisäksi muutamaa päällystettyä valtion ylläpitämää tietä. Normaalisti päällystetyn tien rakenne, kantavuus ja kuivatus ovat kunnossa, toisin kuin monilla rakentamattomilla sorateilla, jotka ovat saattaneet muodostua aikojen saatossa ”kärrypoluista” nykyisiksi teiksi. Päällystetyllä tiellä voidaan suhteellisen helposti toteuttaa suuretkin korotukset. Päällystettyä tietä voidaan korottaa vanhan päällysteen poistamisen jälkeen tasausta nostamalla soveltuvalla kantavan kerroksen materiaalilla.<sup>64</sup>

Päällystetyillä teillä mm. Rudontiellä ja Tuovilantiellä ei ole tarvetta koko tien tasauksen nostamiseen, sillä molemmilla teillä tulvavesi nousee tien yli vain tietyin rajatuin kohdin 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Korotus onkin molemmilla teillä tehty vain tulvavaarassa oleville tienkohdille. Korotus on tasoitettu muutaman sadan metrin matkalla tulvivaa tienkohtaa pidemmälle, jotta tie palaa tasaisesti entiselle tasaukselleen.

---

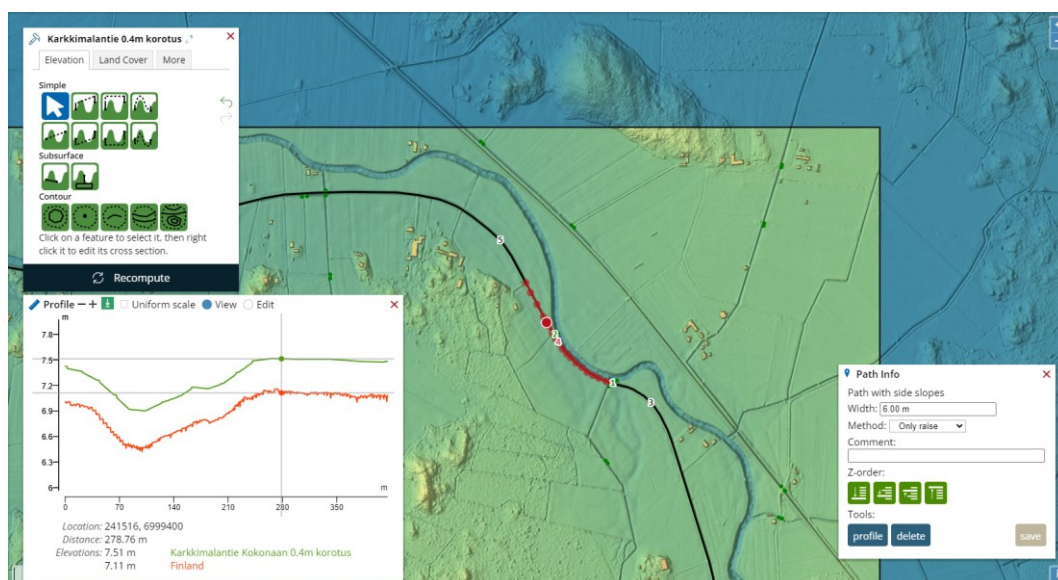
<sup>63</sup> Hämäläinen, E. 2010. Yksitystien parantaminen.

<sup>64</sup> Tierakenteen suunnittelu. 2018. Väylävirasto.

### 8.3 Työvaiheet

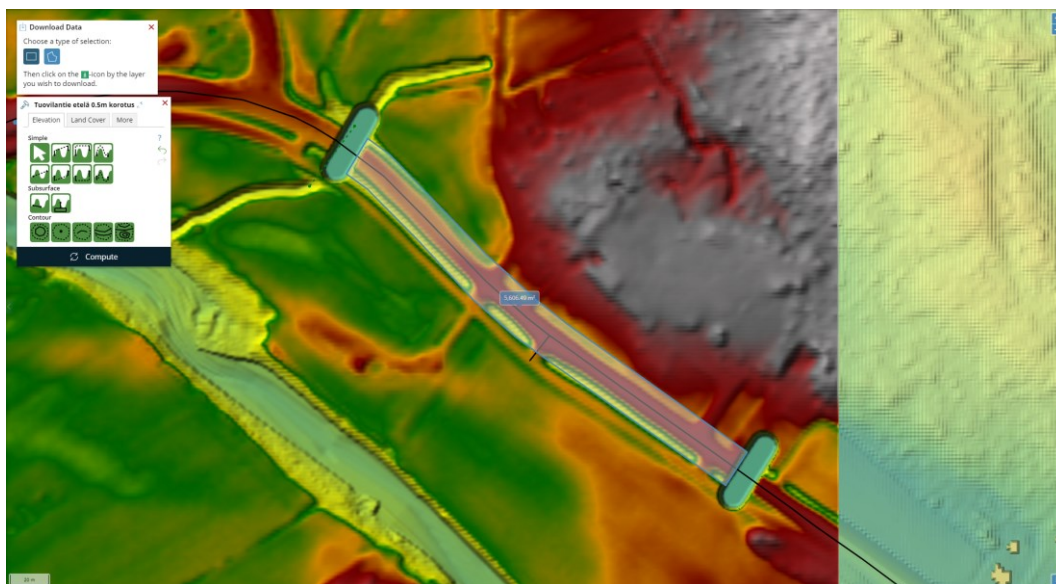
Työ aloitettiin tekemällä karttatarkastelua ArcMap 10.8.1 -paikkatieto-ohjelmalla. Aineistoksi ladattiin Väyläviraston tie- ja katuverkko (Digiroad). Digiroad on kansallinen tie- ja katutietojärjestelmä, joka sisältää teiden ja katujen keskilinja-geometrian ja niiden tärkeimmät ominaisuustiedot. Aineistoksi ladattiin myös Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) tuottama 1/100 a toistuvuuden määritetty vesistötulvan tulva-alue, eli tulvavaarakartta.

Työskentely aloitettiin tarkastelemalla tulvavaarakarttaa, jotta nähtiin missä paikoin keskimäärin kerran sadassa vuodessa toistuva vesistötulva peitti teitä Laihi-anjoen tulva-alueilla. Jos tulvavesi nousi tielle, valittiin haluttu tie digiroad-aineistosta, ja tallennettiin tien keskiviiva vektorimuotoisena tiedostona jatkomuokkauksia varten. Tien keskiviiva tuotiin Scalgo Live -sovellukseen. Keskiviivan avulla maaston muokkaus voitiin kohdistaa täsmällisesti tien todelliseen sijaintiin. Scalgo Live:n maaston muokkausominaisuuksien avulla voitiin tehdä haluttu tien korotus, määrittää ojaluiskien kaltevuus sekä muokata tien pituusleikkausta (Kuva 7.).



**Kuva 7.** Työskentelyä Scalgo Live:llä. Karkkimalantien pintaa on korotettu tasaisesti 40 cm.

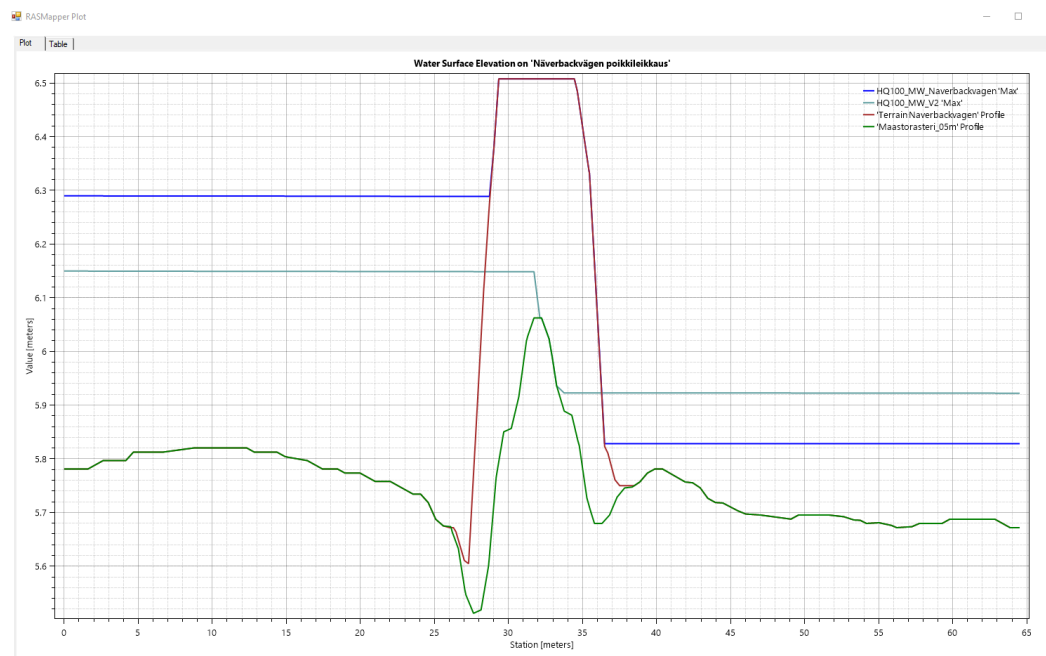
Muokattu tiemaasto tuotiin edelleen HEC-RAS:iin, jossa muodostettiin uusi maastomalli yhdistämällä Scalgo Live:llä tehty korotettu tiemaasto virtausmallinnuksen pohjana olevaan maastomalliin. Tämän jälkeen suoritettiin varsinainen muuttuneen maaston virtausmallinnuksen laskenta, joka mallin laajuuden vuoksi vei aikaa tyypillisesti työpäivän ajan, noin 8 tuntia. Tehokkaalla tietokoneella laskenta-aika lyhenee. Uusimmissa HEC-RAS-ohjelman versioissa on itsessään hyvät mahdollisuudet maastomallin muokkaamiseen RAS Mapper -käyttöliittymän avulla, mutta tässä työssä käytössä oli muokkausominaisuuksiltaan hieman rajoittuneempi 5.0.7-versio, jota oli käytetty myös Laihianjoen virtausmallinnuksen tekemiseen. Maaston muokkaaminen Scalgo Live:ssä todettiin kuitenkin sujuvaksi työskentelymenetelmäksi (Kuva 8.).



**Kuva 8.** Scalgo Live:n avulla korotetusta tiestä tehtiin valinta tieaukkojen väli kerallaan ja tallennettiin geotiff-tiedostona. Aukkovälien korotetut tieosuudet liitettiin maastomalliin HEC-RAS:ssa.

Viimeinen työvaihe oli HEC-RAS:lla suoritettujen mallinnustulosten arviointi, jossa on pyritty selvittämään tienkorotuksen toteuttamiskelpoisuutta. HEC-RAS:n profiiliviivat ovat olleet tärkeä arvioinnin työkalu. Haluttuun kohtaan kartalle voitiin piirtää viiva, jossa esimerkiksi virtaamaa tai maaston profiilia voitiin tarkastella kuvaajassa (Kuva 9.). Kuvaajaan saadaan esille yhtä aikaa esimerkiksi alkuperäinen ja

korotettu maasto sekä alkuperäinen ja tien korottamisen aiheuttama muuttunut tulvavedenkorkeus. Profiiliviivojen avulla voitiin selkeimmin havaita muutokset ja tehdä arviointia tien korottamisen vaikutuksista tulva-alueilla.



**Kuva 9.** HEC-RAS:n kuvaaja esittää tien korottamista Näverbackvägenillä. Vihreä viiva kuvastaa nykyistä maastoa ja ruskea korotettua tietä. Tien korottaminen johtaa jopa puolen metrin tulvavedenpintojen korkeuseroon tien eri puolilla (tummansininen viiva). Turkoosi viiva esittää nykytilannetta, jossa vesi ylittää tien.

Arvioinnin apuna on ollut lisäksi tulvavaara-alueella sijaitsevien rakennusten alimpien kastumiskorkeuksien mittaustiedot. Mittauksilla on selvitetty joen varren keskimäärin kerran sadassa vuodessa toistuvilla tulvilla kastuvat rakennukset. Kun kastuvat sekä vaarassa olevat rakennukset on lisätty virtausmallinnuksen kartoille, on voitu arvioida, että muuttuuko niiden tulvan aikainen tilanne teitä korottamalla. Seinäjoki-Vaasa radan pohjoispuolella ei käytössä ollut mittausaineistoa. Tienkorotusten arvioinnit karttakuvineen on kirjattu tämän työn tulokset-kappaaleeseen.

#### 8.4 Tienkorotusten mallinnuksen epävarmuudet ja haasteet

Tämän selvityksen tarkoituksena on ollut tutkia tulvatilanteen muuttumista Laihianjoen alaosalla, missä harvinaiset, keskimäärin kerran sadassa vuodessa toistuvat tulvat katkaisevat teitä. Käytännössä tämä on tehty siten, että alaosan 2D-tulvamallinnuksen taustalla olevaa maaston korkeusmallia on muokattu haluttujen teiden pintaa korottamalla.

Laihianjoen tulvamallinnukseen ei ole lisätty kaikkia alueen tierumpuja yksityiskohtaisesti. Malliin lisätyt aukot ovat vuonna 2013 valmistetusta Laihianjoen virtausmallista sekä Kyrönjoen ja Laihianjoen välisellä alueella vuonna 2019 tehdyistä aukkojen kartoituksista. Aukot, joista ei ole ollut kartoitustietoja, ovat määritetty niin suuriksi, että ne eivät aiheuta padotusta millään virtaamalla.<sup>65</sup>

Näin ollen osa pienempien yksityisteiden rumpuaukoista puuttuu mallista tai aukot on määritetty todellisuutta suuremmiksi. Merkittävät rakenteet kuten sillat, rautatien aukot sekä suurempien teiden rumpuaukot ja niiden todellinen mitoitus on lisätty mallinnukseen. Tulvien mallintamisen tarkkuutta voitaisiin parantaa, mikäli kaikki todelliset aukot ja rumpukoot voitaisiin lisätä malliin. Käytännössä tähän vaadittava työ on suuri. Valtion ylläpitämille teille löytyy tierumpu- ja siltatiedot koordinaatteineen ja halkaisijatietoineen Väyläviraston latauspalvelusta. Tosin mallintamiseen oleellista tietoa rumpujen korkeusasemasta ei aineistossa ole. Suuri osa tämän selvityksen teistä on yksityisteitä, joille rumputietoja ei ole saatavilla lainkaan paikkatietoaineistona.

Todellisten rumpukokojen puuttuminen aiheuttaa tienkorotusten mallinnukseen epävarmuutta. Todelliset aukot voidaan kuitenkin lisätä HEC-RAS:ssa tien korotuksen yhteyteen. Rajallisesta työskentelyajasta johtuen aukkoja ei kuitenkaan lisätty,

---

<sup>65</sup> Aho, J. 2021. Laihianjoen virtausmallinnus ja tulvakartoitus. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus.

sillä se edellytti kaikkien tarvittavien rumpuaukkojen maastomittauksia. Alueen tierumpuja mitattiin työskentelyn loppupuolella, mutta mittauksia ei ehditty hyödyntää mallinnustyössä. Tienkorotuksia mallinnettiin siis käyttämällä alkuperäiseen virtausmalliin määritettyjä aukkoja.

Joidenkin teiden kohdalla kokeiltiin tieaukkojen sulkemisen vaikutusta tien korotuksen yhteydessä. Tällainen tilanne on mahdollinen esimerkiksi rumpujen ollessa jäässä tulvan aikaan. Sulkemalla aukot saatiin aikaan pahin mahdollinen tulvan aikainen tilanne, kun tierakenne padottaa vettä korkeimmilleen.

Kaksiulotteisessa virtausmallinnuksessa veden virtauksen suunta mallinnetaan korkeusmallin päälle muodostetun laskentaverkon avulla. Yksinkertaistettuna vesi kulkee laskentaverkon ruudussa suuntiin, jossa maanpinnan korkeus on matalin. Mallinnusohjelma ratkaisee kullekin laskentaverkon ruudulle lisäksi tietoa vedenkorkeudesta ja virtausnopeuksista.<sup>66</sup> Laihianjoen virtausmallinnuksen laskentaverkon ruudun peruskoko on 30 m x 30 m. Kuvassa 10 nähdään miten uomien, teiden ja penkereiden kohdalla verkkoa on tihennetty ja muotoiltu, jotta laskenta huomioisi ne virtausesteinä.<sup>67</sup>

Kun korkeusmallia oli muokattu korottamalla teitä, aiheutti se ajoittain ristiriitoja laskentaverkon geometrian kanssa. Ajoittain syntyi mallin laskennan pysäyttäviä virheitä, jotka täytyi selvittää virheilmoitusten perusteella laskentaverkkoa hieman muokkaamalla. Muutamain paikoin laskentaverkko ei jakaantunut oikein tien keskilinjalta ja toiminut virtausesteinä tulvalle. Vesi ”hyppäsi” tällöin virheellisesti tien yli, vaikka tie oli ympäröivää maastoa korkeammalla. Nämä virheet voitiin korjata pakottamalla laskentaverkko jakaantumaan tien keskeltä.

---

<sup>66</sup> Snellman, R. ja Sane, M. 2016. Avoin data tuo 2D-virtausmallit käden ulottuville. Vesitalous.

<sup>67</sup> Aho, J. 2021. Laihianjoen virtausmallinnus ja tulvakartoitus. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus.



**Kuva 10.** Virtausmallinnuksen laskentaverkkoa on tihennetty uomien, teiden ja penkereiden kohdalla. Laskentaverkkoa täytyi usein hieman muokata korkeusmallin muokkaamisen jälkeen. Kuvassa laskentaverkon geometria Rudontiellä HEC-RAS:n Geometric Data -ikkunassa.

Kenties haastavinta työskentelyssä on ollut arvioida mitä voidaan pitää haitallisenä tulvavedenpinnan nousuna, sillä tulvan patoaminen tierakenteella korottaa aina jossain määrin vedenpintoja. Pienikin kasvu tulvavedenkorkeuksissa voi aiheuttaa pahenevia tulvavahinkoja, joita on vaikea tulkita ohjelman avulla täysin. Hyvin suurten tai pienten tulvavedenpintojen nousujen perusteella voitaneen kuitenkin tehdä melko hyviä arvioita tienkorotusten järkevyydestä.

## 9 TULOKSET

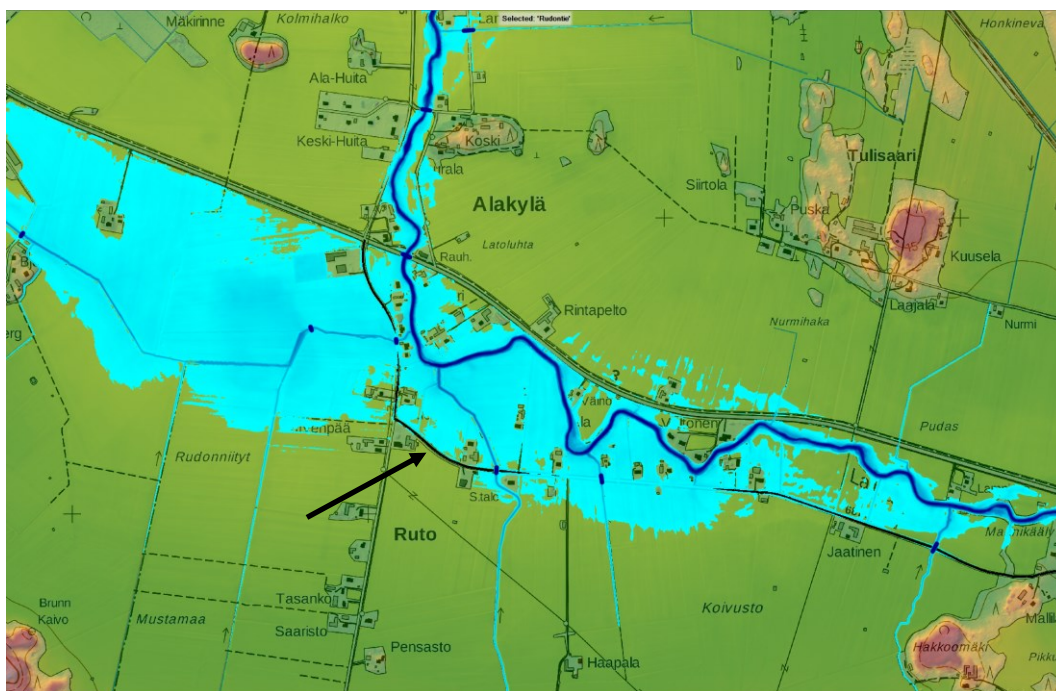
### 9.1 Rudontie, Laihia

Laihian Rudontie on päällystetty tie, jonka varrella useat rakennukset ovat riskissä kastua Laihianjoen tulvilla. Tulvavaara 1/100 a toistuvalla tulvalla koskee Rudontien länsipäätä noin 2,5 km matkalla. Tulvamallinnuksen perusteella tulvavesi ylittää Rudontien noin 600 metrin matkalla ja lisäksi tulva nousee tielle Sevarbäckenin sivu-uoman silta-aukosta. Tulvavesi levittyy laajalle peltoalueelle Rudontien länsipuolella. Saavutettuaan tulvahuippunsa pellon tulvatasanteella, virtauksen suunta kääntyy uomasta hetkellisesti kohti Laihianjokea, kun tulvavesi purkautuu takaisin jokeen. Tien keskilinjaa peittää paikoin 15 cm vettä 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Tien sivukaltevuuden vuoksi vettä on tien reunassa enemmänkin. Liikennöinti ja tienreunan havaitseminen vaikeutuu. Valtaosa alueella olevista rakennuksista kastuu 1/100 a toistuvuuden tulvalla rakennusten alimpien kastumiskorkeusmittausten perusteella.

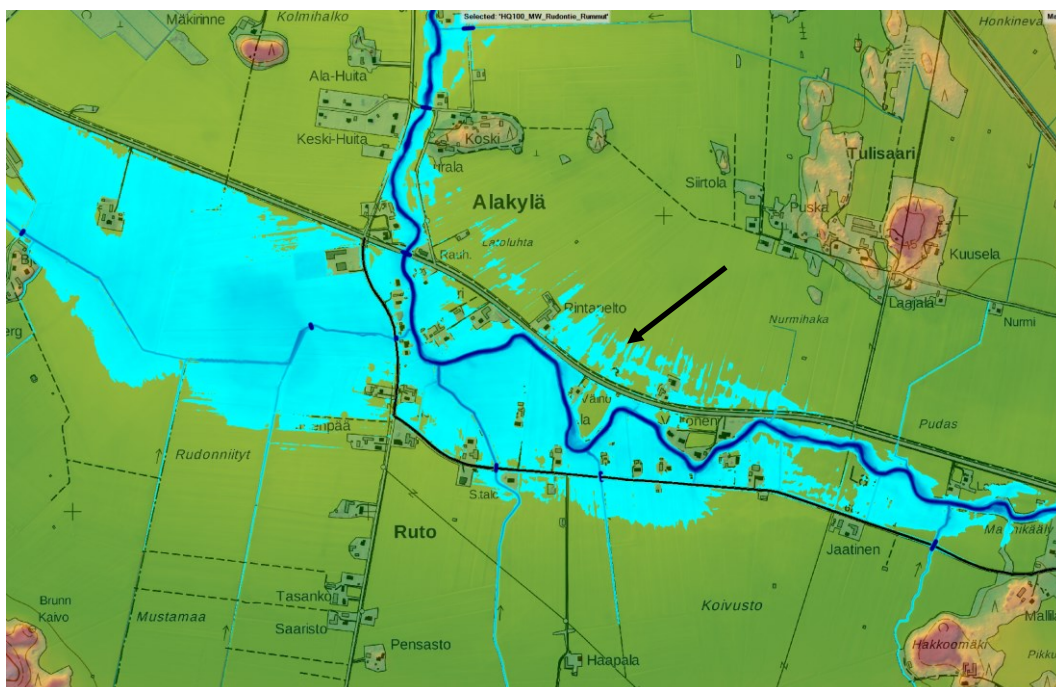
Tietä korotettiin 50 cm, 2,5 km matkalla valtatie 3:n risteyksestä lähtien. Tien korottamisen jälkeen tie pysyy liikennöitävänä jopa harvinaisella 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Tulvavesi ei nouse enää tielle, vaan kulkee tieaukoista Rudontien eteläpuolelle. Vesi ei myöskään enää nouse tielle Sevarbäckenin sivu-uomasta. Tulvan leviämisaalue ei suuresti muutu nykytilanteeseen nähden. Rudontien eteläpuolella tulva-alue pienenee hieman, kun taas valtatie 3:n pohjoispuolelle pellolle kertyy hieman nykytilannetta enemmän vettä. Tulva nousee Rudontien ja Valtatie 3:n risteyksessä. Muutos ei ole kovin merkittävä, mutta heikentää hieman läheisten rakennusten asemaa tulvalla. Tulvavedenkorkeudet Rudontiellä kasvavat noin 3 cm. Sevarbäckenin suuntaan muodostuvalla tulvatasanteella tulvavedenkorkeus kasvaa tienkorotuksen vaikutuksesta noin 1 cm.

**Rudontien korottamisella ei vaikuta mallinnuksen perusteella olevan suuresti tulvatilannetta pahentavia vaikutuksia. Pellolle valtatie 3:n pohjoispuolelle kertyy lähtötilannetta enemmän vettä valtatie 3:n alittavan rummun kautta. Rudontie**

säilyy liikennöitävänä harvinaisella, 1/100 a toistuvuuden tulvalla korotuksen ansiosta. Todellinen tienkorotustarve on mallinnettua 50 cm korotusta vähemmän, jo 30 cm korotus estäisi veden nousun tielle harvinaisilla tulvilla. Tie on tulvavaarassa länsipäästään noin 2,5 km matkalla, ja tietä olisi tarpeen korottaa vain tältä matkalta.



**Kuva 11.** Rudontien tulvatilanne keskimäärin kerran sadassa vuodessa toistuvalla tulvalla. Kuvassa tulvan äärimmäinen leviäminen koko mallinnetun tulvatilanteen aikana. Rudontie peittyy paikoin tulvavesistä. Tien länsipuolella pellolla on iso tulvatasanne.



**Kuva 12.** Rudontien tilanne 1/100 a toistuvalla tulvalla, kun Rudontietä on korotettu 50 cm. Tulvavesi ei nouse enää tielle. Pellolle valtatie 3:n pohjoispuolella (nuoli) kertyy enemmän tulvavesiä. Vedenkorkeudet joen ja Rudontien välissä kasvavat maltillisesti.

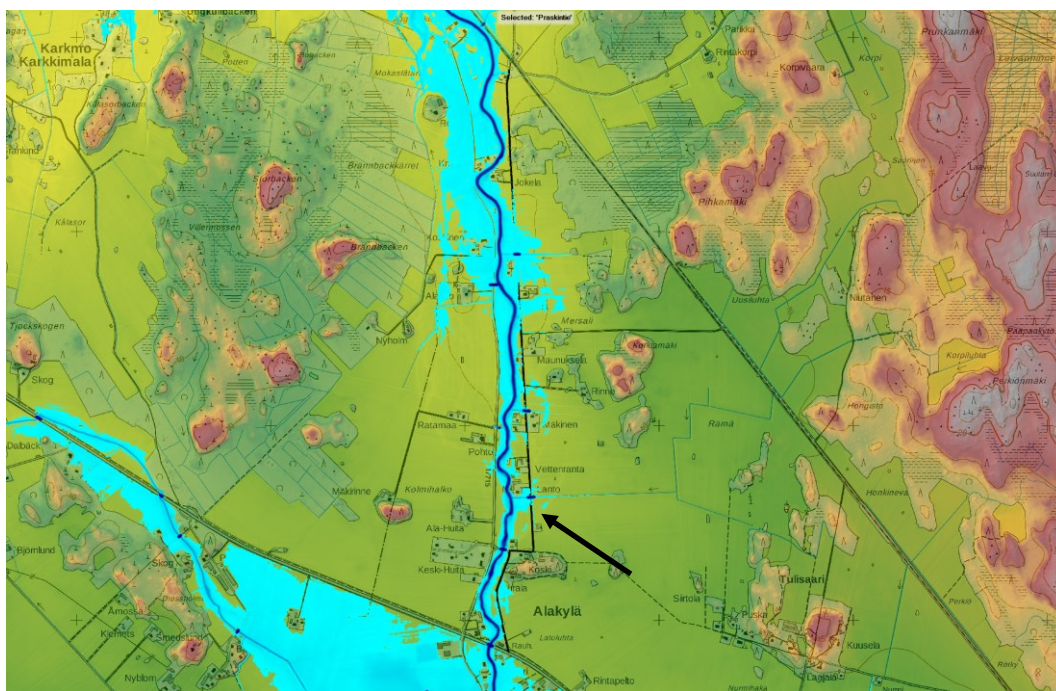
## 9.2 Praskintie junaradan eteläpuolella, Laihia

Praskintie on soratie, joka kulkee Laihianjoen itäpuolella. Laihianjoen 1/100 a toistuvuuden tulva nousee tielle Seinäjoki-Vaasa radan eteläpuolisella osuudella. Tien varrella on rakennusten alimpien kastumiskorkeusmittausten perusteella 1/100 a toistuvalla tulvalla kastuvia rakennuksia. Tulvavesi peittää tietä pisimmillään noin 300 metrin matkalla. Tiellä on paikoin noin 15 cm kerros vettä.

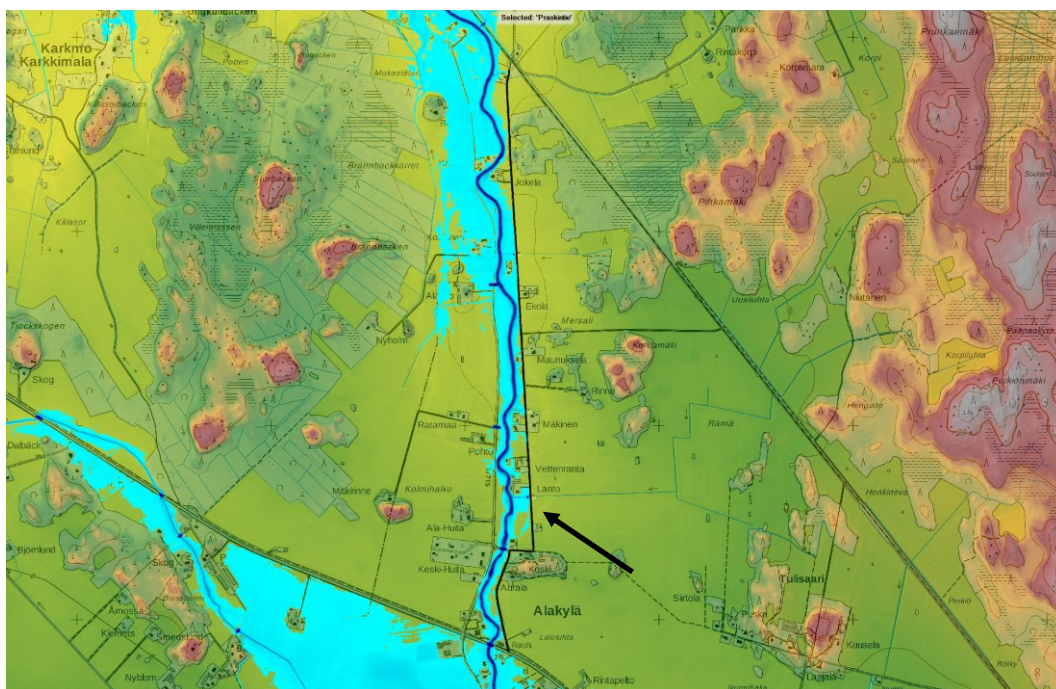
Praskintiellä soratien tasausta korotettiin 40 cm koko tien pituudella, jotta tulvavesi ei pääsisi nousemaan tien yli. Tien korotus tehtiin niin, että vesi ei pääse kulkemaan Praskintien tierumpujen kautta tien itäpuolelle. Tilanne voisi olla tällainen esimerkiksi keväällä rumpujen ollessa jäässä. Tällöin nähdään mikä on pahin tulvanaikainen tilanne tulvavedenkorkeuksien suhteen.

40 cm korotuksella tie pysyy kuivana 1/100 a tulvalla. Laihianjoen ja Praskintien välissä tulvan levinneisyys muuttuu hyvin vähän. Korotus vaikuttaa tulvan leviämiseen hieman myös joen länsipuolella Karkkimalantiellä. Maksimivedenkorkeudet Praskintien varrella rakennusten lähellä kasvavat noin 2–4 cm. Suurta muutosta nykytilanteeseen ei tule. Tulvavesi ei pääse tien itäpuolelle tässä tilanteessa, jossa tietä on korotettu ja rummut ovat ”kiinni”.

**Vaikka veden purkautuminen tierummuista Praskintien alitse mallissa on esitetty, ei korotus patoa vettä niin, että tulvavedenkorkeudet Laihianjoen ja Praskintien välissä nousevat merkittävästi. Tierumpujen toimiessa normaalisti vedenkorkeus laskee hieman. Praskintiellä tien korottaminen parantaisi liikennöitävyyttä harvinaisen tulvan aikana.**



**Kuva 13.** Praskintie 1/100 a toistuvalla tulvalla. Vesi ylittää tien paikoin.



**Kuva 14.** Sorapintaista Praskintietä on korotettu 40 cm. Vesi ei nouse korotuksen jälkeen tielle. Vedenkorkeudet tienvarressa nousevat maltillisesti korotuksen vaikutuksesta.

### 9.3 Karkkimalantie, Laihia ja Mustasaari

Karkkimalantie on noin 9,2 km pituinen tie, joka kulkee Laihianjoen vartta pitkin Laihian ja Mustasaaren kunnissa. Tien läntinen osuus on päällystetty noin 3,9 km matkalla Asematien risteykseen, Karkkimalan sillalle saakka. Sillalta itään, Laihian suuntaan lähtevä tien osuus on päällystämätöntä soratietä 5,3 km matkalla. Rakennusten alimpien kastumiskorkeuksien mittausten perusteella 1/100 a toistuvalla tulvalla kastuvia rakennuksia on molemmin puolen Karkkimalantietä.

Korotettiin aluksi vain Karkkimalantien soraosuutta, jossa on useita vedellä peittyviä paikkoja. Pisin tulvan alle jäävä tienkohta on noin 160 m pitkä, jossa vettä on tiellä jopa noin 35 cm 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Tietä korotettiin 40 cm. Tierumpuaukkoja ei lisätty malliin, jotta nähtäisiin miten korkealle tie saattaa pahimmillaan padota vettä. Soratie pysyy kuivana korottamisen jälkeen. Vettä ei päädy

tien länsipuolelle, kun vesi ei kulje tierummuista. Tien korottaminen vaikuttaa tulvavedenkorkeuksiin myös Praskintien puolella. Vedenkorkeudet nousevat noin 5–7 cm tienkorotuksen vaikutuksesta lähellä tienvarren rakennuksia.

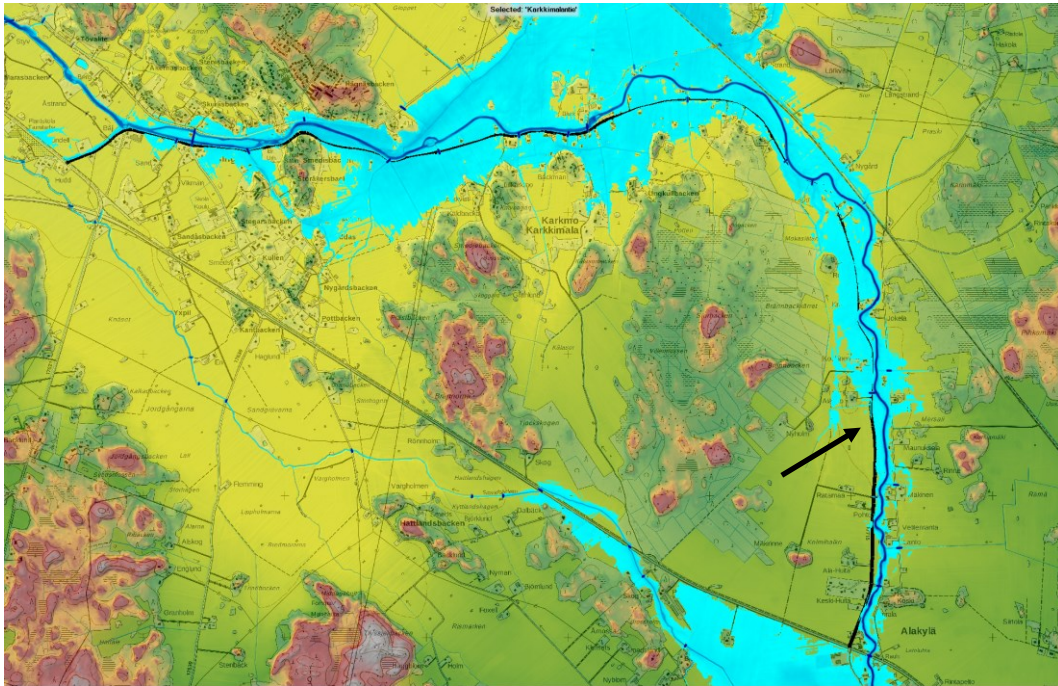
Korotettiin seuraavaksi koko Karkkimalantietä 40 cm, mukaan lukien tien päällystetty osuus. Tierumpuaukkoja ei aluksi lisätty malliin. Päällystetyllä osuudella tulva ei täysin katkaise tietä missään kohdin 1/100 a toistuvalla tulvalla, mutta nousee tielle. Myös päällystetty tien osa pysyy kuivana korotuksen jälkeen. Päällystetyn osuuden varrella tulvavedenkorkeudet nousevat noin 5–6 cm. Kun tierumpuaukot lisättiin malliin, tulvavedenkorkeudet nousevat enää noin 1–3 cm koko Karkkimalantien varrella.

Korottamalla Karkkimalan soratietä ja Praskintietä yhdessä, tulvatilanne ei suuresti eroa tilanteesta, jossa ainoastaan Karkkimalantietä korotetaan. Kun molempia teitä korotetaan yhdessä, nousevat vedenkorkeudet teiden varsilla 1/100 a toistuvalla tulvalla nykytilanteesta korkeintaan 5–10 cm tilanteessa, jossa molempien teiden tierummut ovat tukossa.

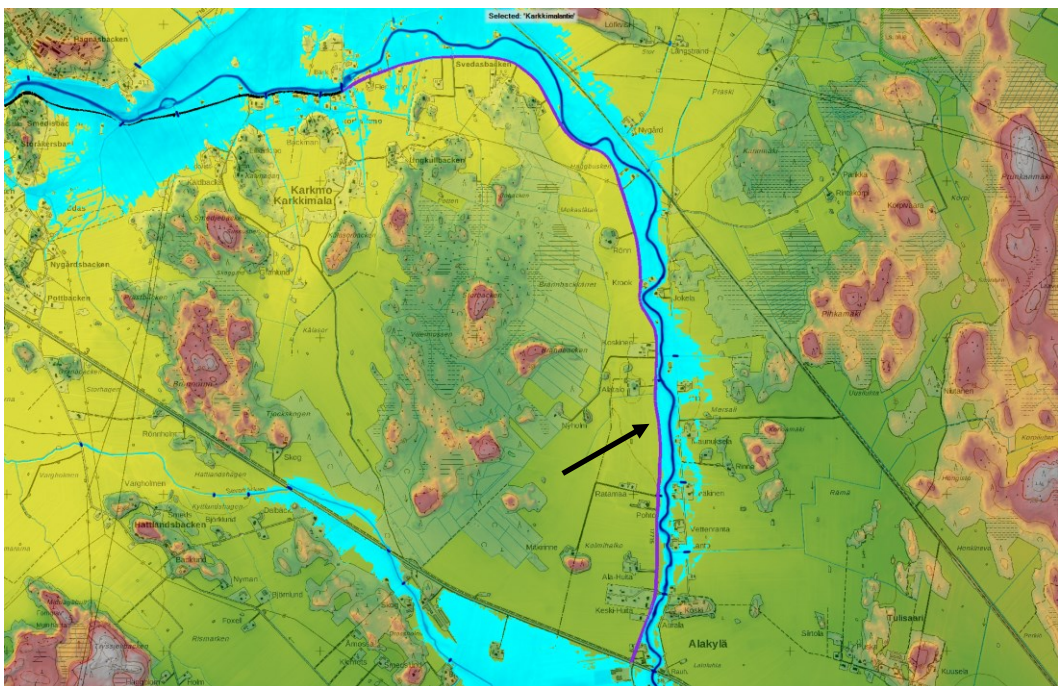
**Karkkimalan sillalta Laihian suuntaan jatkuvaa Karkkimalantien sorapintaista tienosaa 40 cm korottamalla vesi ei nouse tielle 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Tierumpujen ollessa jäässä, nousevat vedenkorkeudet tien varressa tienkorotuksen vaikutuksesta 5–7 cm. Soratietä korottamalla voitaisiin varmistaa liikennöinti tienvarren kiinteistöiltä harvinaisten tulvien aikana, ilman että rakennusten tulvariskit kasvavat merkittävästi.**

**Koko Karkkimalantien korottaminen, mukaan lukien päällystetty tienosa, nostaa tulvavedenkorkeuksia melko maltillisesti, 1–3 cm. Tulvan nousu päällystetylle tienosalle ei kuitenkaan ole yhtä merkittävää, kuin mitä se on Karkkimalantien sorapintaishalla tienosalla, jossa tie peittyy harvinaisella tulvalla monin paikoin. Päällystetyllä osuudella korotukselle on tarvetta vain muutaman sadan metrin matkalla, jossa joki tulvii tielle 1/100 a toistuvalla tulvalla.**

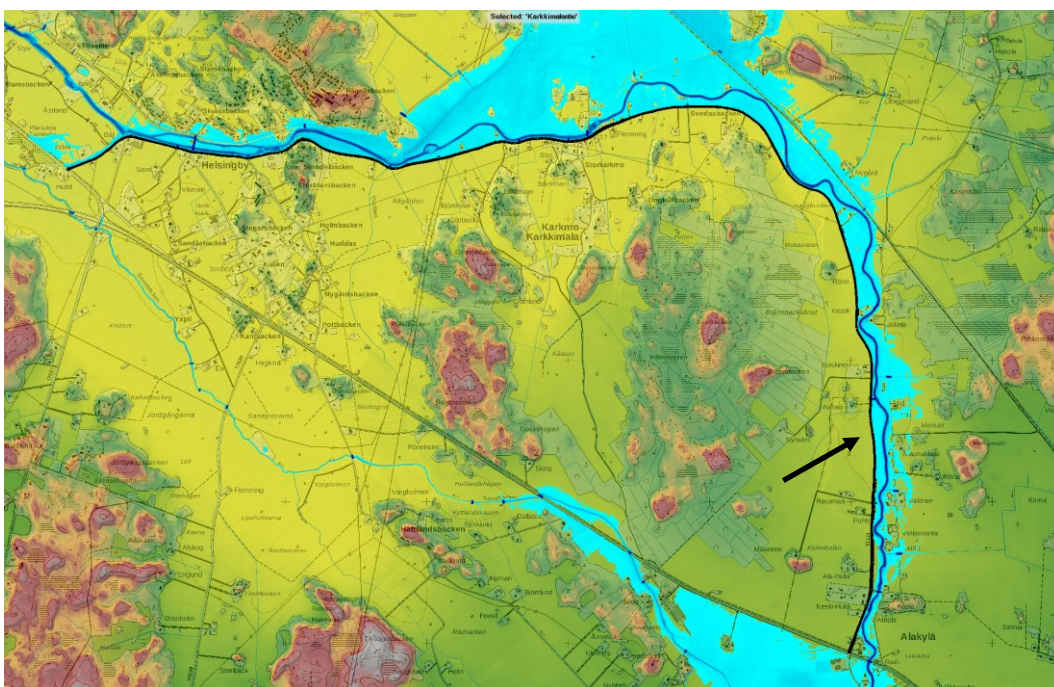
**Karkkimalantietä voitaisiin korottaa yhdessä Laihianjoen toisella puolella kulkevan Praskintien kanssa. Vaikka teitä korotettaisiin yhdessä, ei yhteisvaikutus tulvaveden nousuun ole suuri.**



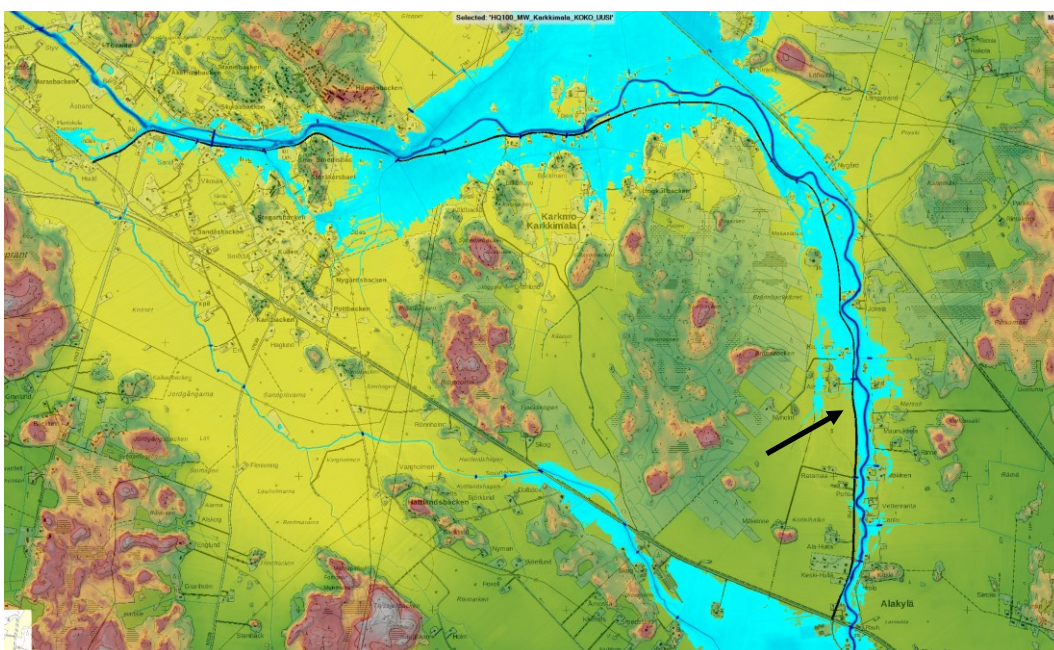
**Kuva 15.** Karkkimalantie ja tulvan äärimmäiset leviämisalueet 1/100 a toistuvan tulvan aikana. Tulvavesi nousee tien yli monin paikoin.



**Kuva 16.** Karkkimalantien soraosuus (violetti) 40 cm korotuksen jälkeen. Tulvavesi ei nouse tielle. Mallin rumpuaukot ovat ”jäissä”, eikä tulvavesi pääse purkautumaan tien ali. Tien korottamisella on vaikutusta myös joen itäpuolella Praskintiellä, jossa tulva-alue kasvaa hieman.



**Kuva 17.** Koko Karkkimalantietä korotettu 40 cm. Tässäkin tilanteessa kaikki tie-rumpupaikat ovat tukossa. Tien täydellinen tulvan padottaminen nostaa vedenkorkeuksia karkkimalantien varrella noin 5–7 cm.



**Kuva 18.** Koko Karkkimalantietä korotettu 40 cm. Rumpuaukot on lisätty tienkorotuksen yhteyteen. Nykytilanteeseen verrattuna tulva-alue pysyy lähes muuttumattomana. Vedenkorkeudet Karkkimalantien molemmin puolin nousevat enää noin 1–3 cm.

#### 9.4 Isokarkkimalantie ja Pikkukarkkimalantie, Mustasaari

Iso- ja Pikkukarkkimalantie ovat Karkkimalantiestä haarautuvia sorapintaisia yksityisteitä. Pikkukarkkimalantie päättyy Isokarkkimalantiehen eteläpäässään. Tiet kulkevat melko lähekkäin ja yhdistyvät, ja siksi niitä tarkastellaan yhdessä. Molempia teitä peittää jopa noin 30 cm vettä tien keskilinjalla 1/100 a toistuvalla tulvalla. Teiden pohjoispäissä on 1/100 a toistuvalla tulvalla kastuvia rakennuksia.

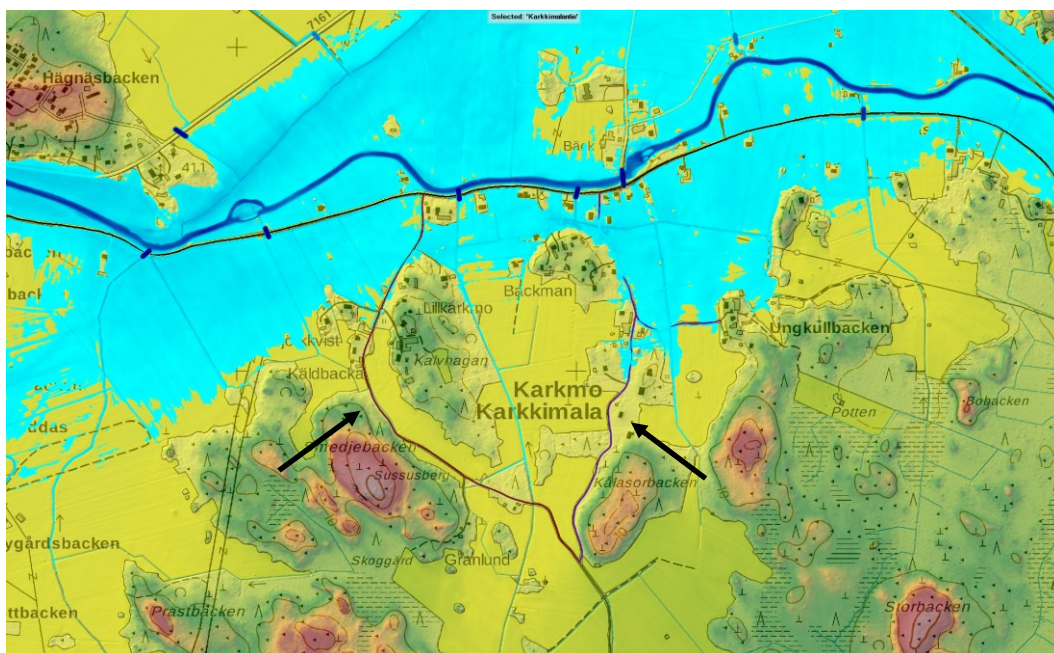
Teitä korotettiin 40 cm, jotta nähtäisiin korotuksen vaikutus alueella. Isokarkkimalantiella korotettiin myös tien keskivaiheilla itään Ungkullbackenin suuntaan kulkevaa haaraa. Korotuksen jälkeen Isokarkkimalantie patoaa tulvavettä merkittävästi, ja vedenkorkeudet Karkkimalantien ja Isokarkkimalantien varressa nousevat jopa noin 25 cm. Tulvavesi nousee selvästi kastuvien rakennusten läheisyydessä. Tulva lähestyy myös mittausten mukaan tulvavahingoilta välttyviä rakennuksia. Rakennukset Isokarkkimalantien itäpuolella sekä Karkkimalantietä idän suuntaan kärsinevät tulvavahingoista. Korotus ei kuitenkaan ole riittävä pitämään teitä liikennöitävänä 1/100 a tulvalla, vaan Isokarkkimalantie katkeaa edelleen tulvalla.

Pikkukarkkimalantielle tulvavesi ei enää nouse korotusten jälkeen. Vedenkorkeus Iso- ja Pikkukarkkimalantien välissä nousee korkeimmillaan noin 12 cm. Mikäli vain Pikkukarkkimalantietä korotettaisiin, olisi seuraus todennäköisesti samanlainen veden patoutuminen tien itäpuolelle ja tulvatilanteen pahentuminen, kuin tässä tilanteessa Isokarkkimalantien itäpuolella.

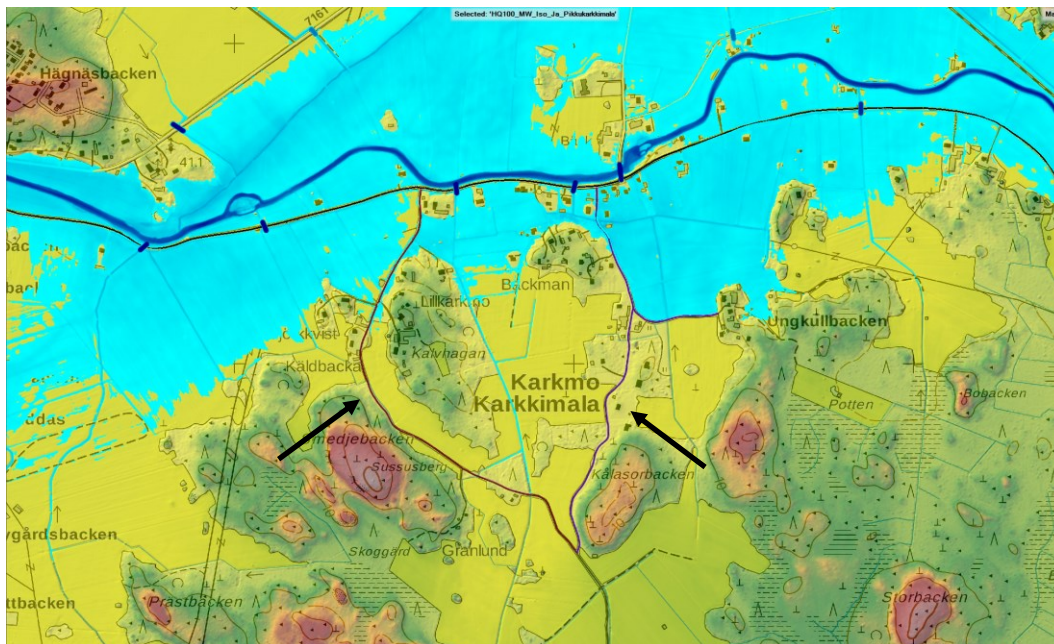
Epävarmuutta tarkasteluun aiheuttaa Isokarkkimalantien poikki kulkevien tie-rumpujen puuttuminen. Rumpuaukkojen myötä virtaus länteen voisi tasoittua ja maksimivedenkorkeudet idässä laskea.

**Korottamalla Iso- ja Pikkukarkkimalanteitä, ei luultavammin paranneta alueen liikennöitävyyttä. 40 cm korotus ei mallin mukaan riitä estämään tulvan nousua Isokarkkimalantielle. Suuremmalla tien korottamisella lähialueen tulvatilanne ainoastaan pahenee, tien padottaessa tulvavettä vieläkin enemmän. Kun joen**

**virtaukseen nähden poikittaisia Iso- ja Pikkukarkkimalantietä korotetaan, johtaa se tulvan patoutumiseen haitallisella tavalla ja vedenkorkeuksien huomattavaan nousuun. Mallinnustulosten perusteella kaikkien lähialueen tulvariskissä olevien rakennusten tilanne huononee, mikäli teitä korotetaan.**



**Kuva 19.** Isokarkkimalantien (purppura) ja Pikkukarkkimalantien (ruskea) tulvatilanne 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Laihianjoki virtaa kuvassa länteen. Tie katkeaa molempien teiden pohjoispäässä. Teillä on jopa noin 30 cm vettä. Lähialueen rakennuksista monet kastuvat.



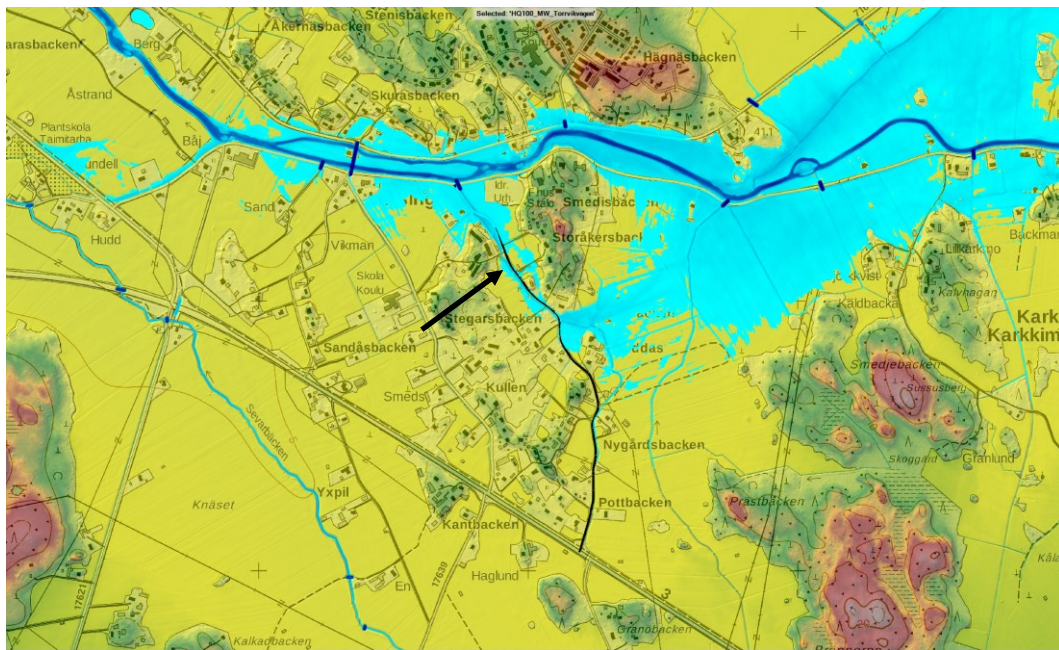
**Kuva 20.** Iso- ja Pikkukarkkimalantie 40 cm korotuksen jälkeen. Korotus ei ole riittävä, vaan tulva nousee tien yli Isokarkkimalantiellä (purppura). Isokarkkimalantie patoaa vedenkorkeudet itäpuolellaan jopa noin 25 cm nykytilannetta korkeammaksi. Jo alkujaan huonossa asemassa olevien rakennusten tilanne huononee merkittävästi pitkälle itään Karkkimalantietä pitkin.

### 9.5 Helsingbyntie, Mustasaari

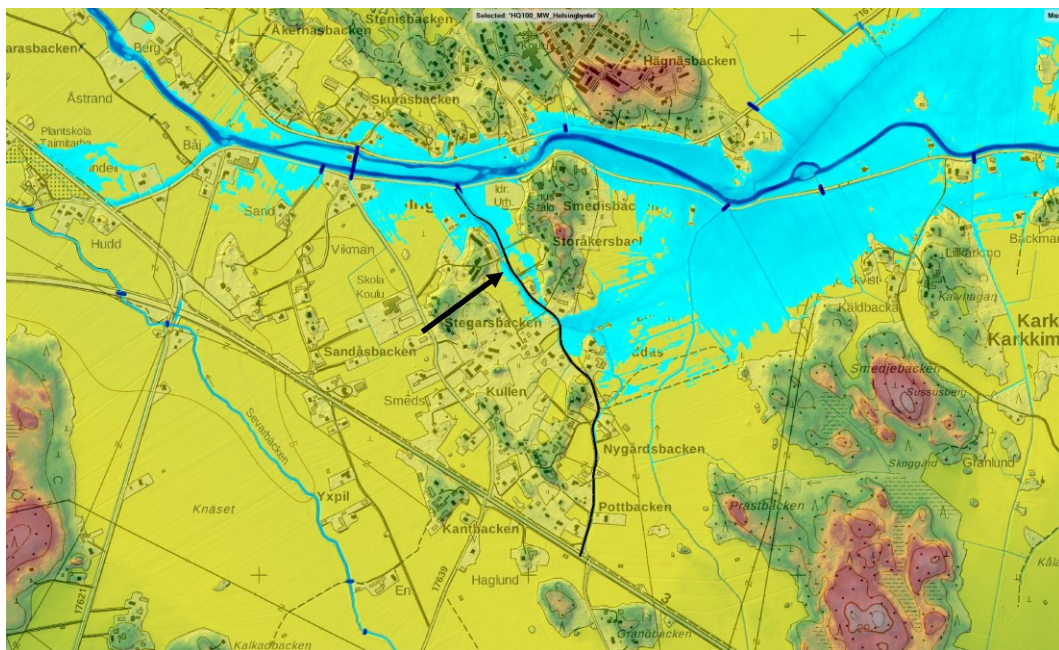
Helsingbyntie on noin 1,5 km pituinen sorapintainen yksityistie. 1/100 a toistuvuuden tulvalla tie on veden peitossa noin 200 metrin matkalla pohjoispäässään. Vettä on tiellä jopa runsaat 30 cm. Tien varrella on 1/100 a tulvalla kastuvia rakennuksia. Tie kulkee Laihianjokeen nähden poikittain Iso- ja Pikkukarkkimalantien taivoin. Tulvavesi ei pääse levittäytymään yhtä laajalti kuin edellisten tapauksessa, sillä Smedisbackenin ja Storåkersbackenin korkea maasto estää veden nousua joesta. Virtaus ei suuntaudu yhtä voimakkaasti ja laajalta alueelta tietä vasten kuten Iso- ja Pikkukarkkimalantiellä.

Tietä korotettiin 40 cm. Korotuksen myötä tulvavesi ei enää nouse Helsingbyntielle, eikä tie padota vedenkorkeuksia suuresti. Vedenkorkeudet kasvavat vain noin 2 cm tien molemmin puolin pohjoisessa sekä tien keskivaiheilla Holmbackenin kohdalla melko pienillä alueilla.

**Helsingbyntien korottaminen voisi helpottaa tien liikennöintiä 1/100 a toistuvalla tulvalla. Tienkorotuksen vaikutusta tienvarren rakennuksiin voi pitää pienenä tulvavedenkorkeuden nousun perusteella.**



**Kuva 21.** Helsingbyntie 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Tien pohjoispää katkeaa tulvalla ja vettä tiellä on jopa runsaat 30 cm.



**Kuva 22.** Helsingbyntie 40 cm korotuksen jälkeen. Tien liikennöitävyys säilyy 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Tulvatilanne tienvarressa muuttuu vain vähän tien korotuksen jälkeen.

## 9.6 Tuovilantie Junaradan eteläpuolella, Mustasaari

Tuovilantie on selvityksen vilkkaimmin liikennöity tie. Pituutta koko tiellä on noin 8,6 km. Tie on päällystetty. Vaasa-Seinäjoki välin junarata kulkee tien halki karkeasti tien puolella välissä. Junaradan pohjoispuolella Kyrönjoen bifurkaatioalueella kulkevan tienosuuden tulvan aikainen tilanne on eteläistä osuutta selkeästi huonompi, ja siksi tietä tarkastellaan kahdessa osassa.

Eteläisen, Laihiantieltä junaradalle saakka jatkuvan tienosuuden pituus on noin 5,6 km. Eteläisellä osuudella 1/100 a toistuva tulva katkaisee tien Hägnäsbackenin kohdalla noin 400 metrin matkalla, kohdassa, jossa Laihianjoki kulkee melko lähellä tietä. Muilta osin eteläinen tienosa pysyy kuivana 1/100 a tulvalla. Tulva ei tien ylittäessään pääse leviämään kovin kauas, sillä Hägnäsbackenin mäki estää veden nousun pohjoiseen asuinalueille. Pohjoiseen Tuovilantieltä haarautuvia teitä kastuu, merkittävimmin asuinalueelle kulkeva Lundintie. Liittyviä teitä tulisi korottaa joka tapauksessa hieman Tuovilantien korotuksen yhteydessä.

Aivan junaradan eteläpuolella Tuovilantien molemmin puolen on laajat tulva-alueet. Tuovilantietä ei ole tarpeen korottaa täällä, sillä tien nykyinen tasaus riittää pitämään tien liikennöitävänä harvinaisella 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Paikka on hankala tienvarren rakennusten tilanteen vuoksi, sillä Tuovilantien molemmin puolin kertyy paljon vettä Kyrönjoen bifurkaation vaikutuksesta.

Vettä Tuovilantiellä on vajaat 40 cm 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Joki tulvii tielle Hägnäsbackenin kohdalla usein jo pienemmilläkin tulvilla. Koska tie katkeaa paikallisesti, korotettiin eteläistä Tuovilantietä ainoastaan noin 3,4 km matkalla, välillä Itäinen Runsorintie-Valosuontie. Tie korottuu silloin Skurasbackenin ja Hägnäsbackenin alueilla, ja korotus tasoittuu riittävän pitkällä matkalla, palaten alkuperäiselle tasaukselle muutaman sadan metrin matkalla.

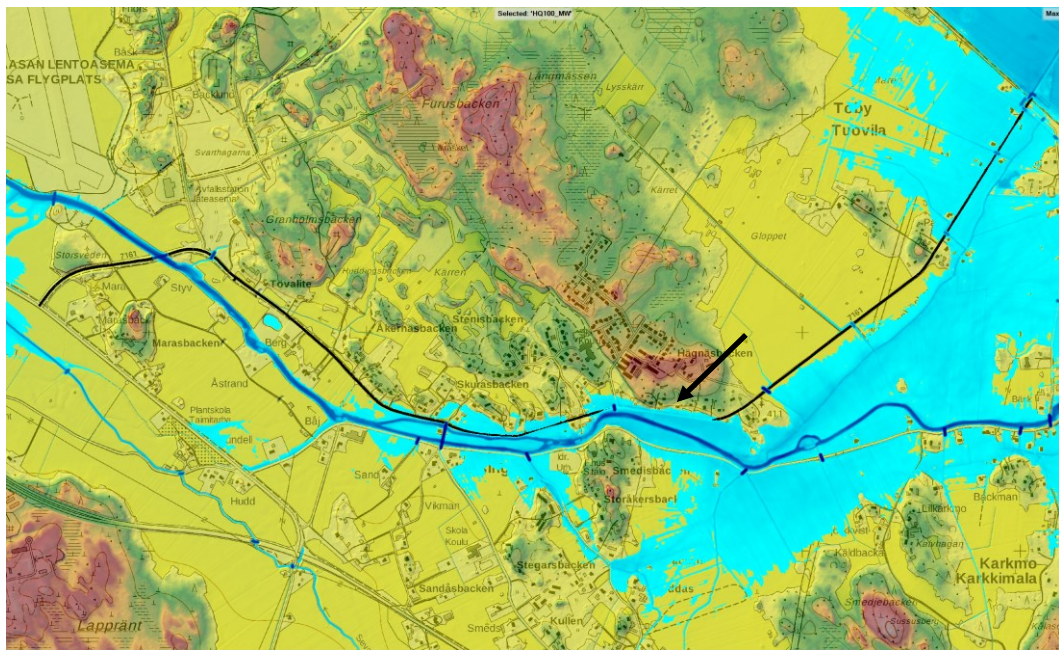
Eteläistä Tuovilantietä korotettiin 50 cm. Korotus on riittävä estämään tulvan nousun tielle. Merkittävin muutos tien korotuksen jälkeen tapahtuu Skurasbackenin

kohdassa, johon päätyvä tulvaveden korkeus laskee jopa noin 18 cm. Skurasbackenin alueen rakennusten tulvavaaran voi olettaa laskevan selvästi korotuksen ansiosta.

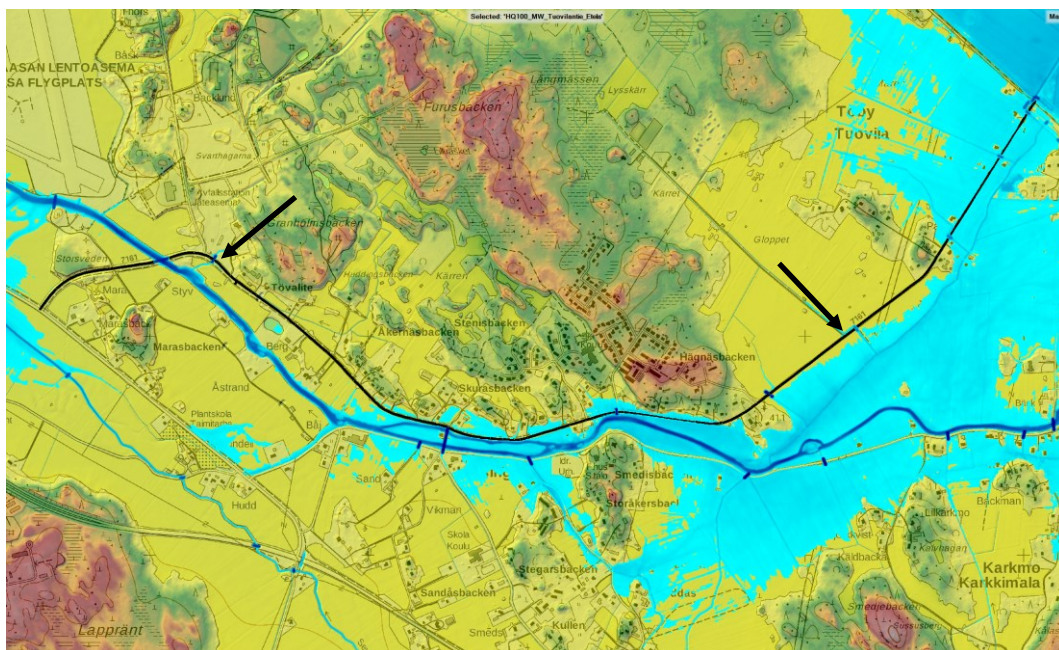
Hägnasbackenin kohdassa Tuovilantie pysyy kuivana, mutta tiehen liittyvän Lundintien alkupää kastuu edelleen. Lundintie on kokoojakatu, jonka varrella on useita taloja. Lundintiellä vedenkorkeus nousee hieman Tuovilantien korotuksen jälkeen, jolloin tiellä on reilut 20 cm vettä muutaman kymmenen metrin matkalla. Lundintien alkupäätä tulisikin korottaa hieman Tuovilantien korotuksen yhteydessä, noin 40 metrin matkalla.

Tulvatilanne vaikeutuu hieman Tuovilan kivisillan kohdalla olevan rakennuksen ja Tuovilantien eteläpuolella kohdassa Fors olevan kiinteistön kohdalla. Maksimitulvavedenpinta nousee kuitenkin näissä kohdin vain maltillisesti, noin 2 cm.

**Tuovilantien paikallinen korottaminen olisi suositeltavaa ottaen huomioon tien suuret liikennemäärät ja myös kulkemisen Hägnäsbackenin asuinalueelle. Eteläinen Tuovilantie peittyy tulvavedellä Hägnäsbackenin kohdalla jo useammin toistuvilla tulvilla, mutta korottamalla tietä 50 cm liikennöitävyys tiellä säilyisi jopa 1/100 a toistuvalla tulvalla, ilman merkittäviä haitallisia vaikutuksia tulvan leviämisessä. Skurasbackenin kohdalle tulvavesiä päätyisi aikaisempaa vähemmän, mikäli tietä korotettaisiin.**



**Kuva 23.** Tuovilantie junaradan eteläpuolella 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Hägnäsbackenin eteläpuolella (nuoli) tie jää veden alle noin 400 metrin suoralla osuudella. Tähän paikkaan vesi nousee jo pienemmillä tulvilla.



**Kuva 24.** Tuovilantietä korotettiin 50 cm. Korotus tehtiin 3,4 km matkalla (nuolten välissä), sillä tulva nousee tielle vain paikallisesti. Korotuksen jälkeen tie pysyy liikennöitävänä ja tien pohjoispuolelle päätyy vähemmän tulvavesiä.

### 9.7 Lentokentäntie ja Vaxlaxintie, Vaasa

Vaasan lentokentäntie katkeaa keskimäärin kerran sadassa vuodessa toistuvan tulvan aikana reilun 100 metrin matkalla tulvamallinnuksen perusteella. Tien keskilinjalla on vettä tällöin jopa noin 45 cm. Lentokentäntieltä haarautuu sorapintainen Vaxlaxintie, joka peittyy 1/100 a toistuvuuden tulvalla vajaan 200 metrin matkalla. Vaxlaxintiellä vettä on paikoin jopa 70 cm 1/100 a tulvalla. Lentokentäntie ja Vaxlaxintie kastuvat tulvamallinnuksen mukaan jo pienempienkin tulvien aikana. Tulvamallinnuksen perusteella molempia teitä olisikin syytä korottaa, jotta tulvavesi ei nousisi tielle. Vaxlaxintiellä lentokentätien päässä liikennöinti voi estyä muutamilta kiinteistöiltä kokonaan tulvan aikana. Liikennöinti ei esty täysin Lentokentälle tai Vaxlaxintien muille kiinteistöille, sillä molemmille teille päästään tulvilla kuivana pysyvää Runsorintietä pitkin.

Alkuperäisessä maastomallissa Lentokentätien alittavaa uomaa ja siltaa ei ole huomioitu. Tulvavesi nousee mallissa tielle heti ojan vierestä, maaston matalasta kohdasta ja kenties siksi on koettu, ettei tielle ole ollut tarpeen lisätä aukkoa. Silta-aukko täytyi huomioida, kun tietä korotettiin. Tiehen jätettiin 5 metrin levyinen aukko, jotta saataisiin todenmukainen reitti tulvaveden kululle. Todellinen silta-aukko on hieman pienempi 3,5 metriä leveä.

Lentokentätietä sekä Vaxlaxintietä korotettiin 50 cm. Lentokentäntie pysyy nyt kuivana 1/100 a tulvan aikana. Tulvavesi kulkee pohjoiseen tien silta-aukosta, eikä nouse enää tielle. Lentokentän eteläpuolisen pellon laajalla tulvatasanteella vedenkorkeus pysyy lähes muuttumattomana. Lentokentän pohjoispuolella maksimivedenkorkeus laskee noin 3 cm, joka helpottaisi hieman Lentokentätien ja Vaxlaxintien kulmassa olevan kiinteistön tulvanaikaista tilannetta.

Vaxlaxintie peittyy edelleen tien korottamisen jälkeen noin 150 metrin matkalla. Tiellä on enimmillään reilu 20 cm vettä. Tulos on odotettava, ottaen huomioon

vedenkorkeuden tiellä lähtötilanteessa. Tulvan aikainen liikennöinti helpottuu kuitenkin hieman Vaxlaxintiellä jo 50 cm korottamisella. Paikallisesti tietä täytyisi korottaa jopa 70–80 cm, jotta se pysyisi täysin kuivana.

**Tulvamallinnuksen keskimäärin kerran sadassa vuodessa toistuvan tulvan mallissa on epävarmuutta Lentokentäntien suhteen, sillä tien alittavan sillan aukkoa ei ole huomioitu. Maasto sillan itäpuolella on syvänteessä, josta tulvavesi todennäköisesti kuitenkin tien riittävän suurella tulvalla ylittää. Lentokentäntien korottaminen ei juurikaan patoa vettä tien eteläpuolella, ja tulvavesi silta-aukon kautta kulkiessaan vaikuttaa laskevan maksimivedenpintoja pohjoisen suuntaan uoman varrella. Lentokentäntie pysyy kuivana 50 cm korotuksen jälkeen. Jos Lentokentäntietä on korotettu, silta-aukko padottaessaan todennäköisesti pahentaa tulvan leviämistä Laihiantielle ja lentokentälle. Riittävä silta-aukon mitoitus olisi huomioitava tien korottamisen yhteydessä. Nykyinen tilanne, jossa tulvavesi pääsee purkautumaan paikallisesti lentokentäntien yli, saattaa olla kaikkein suotuisin. Tulvan aikana kulku lentokentälle onnistuu myös Runsorintietä pitkin.**

**Vaxlaxintie pysyäkseen täysin kuivana 1/100 a toistuvuuden tulvalla, vaatii jopa 70–80 cm korottamisen noin 150 metrin matkalla. Liikennöinti voi estyä muutamilta Lentokentäntien risteyksessä olevilta kiinteistöiltä harvinaisilla tulvilla nykytilanteessa. Jos ainoastaan Vaxlaxintietä korotetaan, jäänee yhden kiinteistön rakennukset tulvan kastelemaksi, mikäli tulvavesi nousee tontille Lentokentäntien yli. Vaxlaxintielle voidaan kulkea myös Runsorintieltä.**



**Kuva 25.** Lentokentäntie ja Vaxlaxintie (purppura) 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Etelän suunnasta virtaava vesi nousee Lentokentäntien yli noin 100 metrin matkalla ja Vaxlaxintien yli vajaan 200 metrin matkalla.



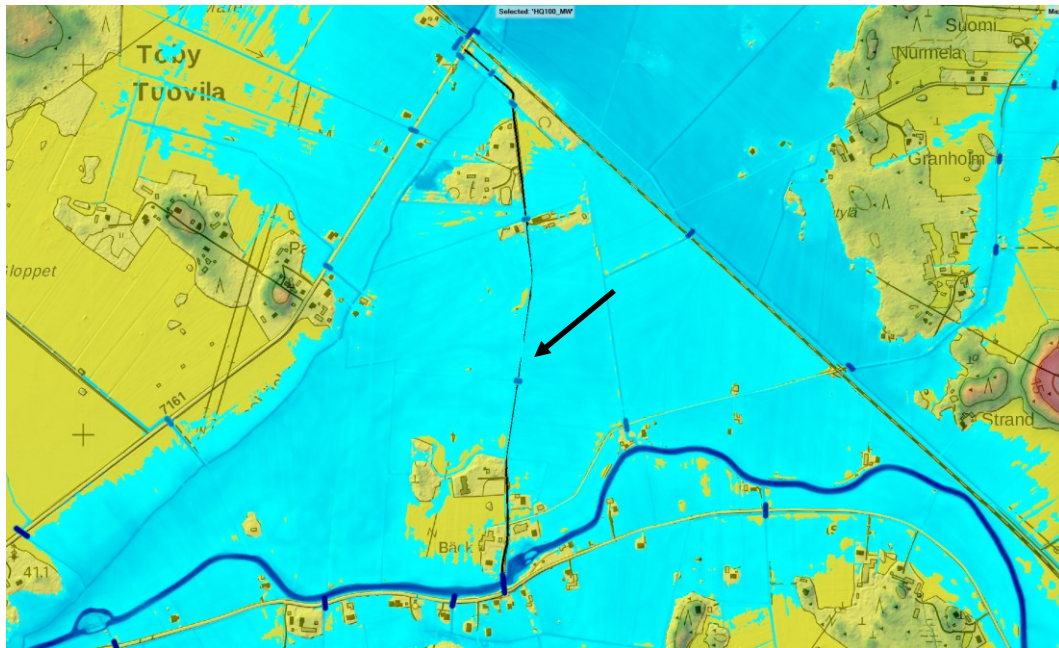
**Kuva 26.** Teitä on korotettu 50 cm. Lentokentäntie pysyy kuivana. Korotus ei ole riittävä Vaxlaxintiellä. Maastoon on lisätty uoman silta-aukko (nuoli).

## 9.8 Asematie, Mustasaari

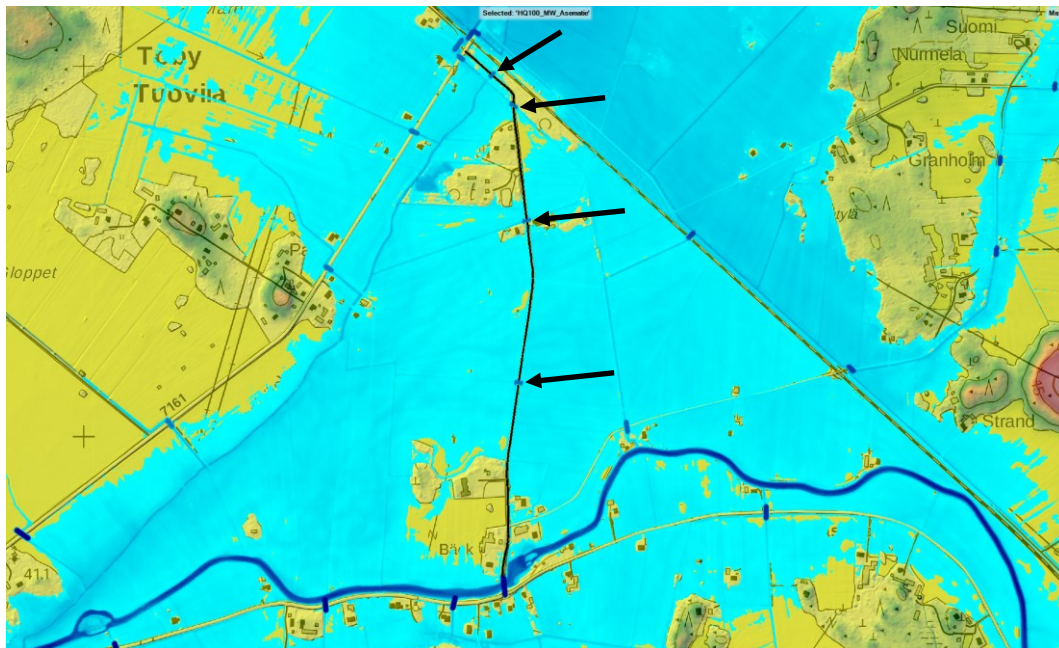
Asematie on noin 1,5 km pituinen soratie, joka yhdistää Karkkimalantien ja Tuovilantien. Tie halkaisee laajaa peltoaukeaa ja on tulvan kannalta haasteellisessa paikassa, sillä alueelle leviää sekä Laihianjoen tulvavesi, että Kyrönjoesta riittäväällä virtaamalla purkautuva tulvavesi. 1/100 a toistuva tulva nousee tielle paikoin noin 600 metrin matkalla, jolloin tiellä on mallin mukaan enimmillään noin 20 cm vettä.

Korotettiin Asematietä 30 cm. Asematie kulkee poikittain Laihianjoen virtaussuuntaan nähden ja odotetusti tien korottaminen nostaa tulvavedenkorkeuksia Asematien, junaradan ja Laihianjoen rajaamalla alueella, joka on jo lähtötilanteessa lähes täysin tulvan peittämänä 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Epävarmuutta tulvamallinnukseen aiheuttaa Asematien todellisten rumpukokojen puuttuminen. Mallin aukot eivät aiheuta padotusta. Toisaalta jo tällöin Asematie patoaa alueella vettä melko reilusti. Asematien itäpuolella on alimpien kastumiskorkeusmittausten perusteella 1/100 a toistuvuuden tulvalla kastuvia rakennuksia. Tulva siirtyy lähemmäs rakennuksia ja tulvavedenkorkeudet nousevat keskimäärin noin 5 cm tien itäpuolella. Lännessä kulkevan Näverbackvägen sijaitsee tulvien kannalta hankalassa paikassa. Tietä uhkaa etelän suunnasta Laihianjoen tulviminen sekä pohjoisen suunnasta tuleva Kyrönjoen bifurkaation tulvavesi. Asematien korottaminen heikentää Näverbackvägenin tilannetta.

**Asematien liikennöitävyys harvinaisilla tulvilla säilyy, kun tietä korotetaan 30 cm. Laihianjoen virtaukseen nähden poikittain kulkevan Asematien korottaminen nostaa tulvavedenkorkeutta tien itäpuolella. Tien korottaminen siirtää tulvaa lähemmäs Asematien ja Näverbackvägenin varren rakennuksia. Tarkennusta tulokseen saataisiin, mikäli Asematien todelliset rumpukoot lisättäisiin malliin. Oletus on, että tulvavedenkorkeus nousee tällöin reilummin Asematien itäpuolella.**



**Kuva 27.** Asematie 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Laihianjoen ja Kyrönjoen bifurkaation tulvavesi virtaa idän suunnasta ja nousee tien yli.



**Kuva 28.** Asematietä korotettiin 30 cm, jolloin tulvan nousu tielle estyy. Tie nostaa tulvavedenkorkeutta itäpuolellaan noin 5 cm. Asematien rumpuaukot ovat määritetty niin suuriksi, etteivät ne padota vettä lainkaan (nuolet). Tulvan voidaan olettaa nousevan reilummin todellisuudessa.

### 9.9 Näverbackvägen, Mustasaari

Näverbackvägen on noin 2 km pituinen soratie, joka kulkee puoliksi Laihianjoella Seinäjoki-Vaasa-radnan eteläpuolella ja puoliksi Kyrönjoen vaikutusalueella radnan pohjoispuolella. 1/100 a toistuvuuden tulvalla tie on lähes kauttaaltaan tulvaveden peitossa. Etelässä tie jää puristuksiin Laihianjoen suunnalta tulevan ja Kyrönjoelta tulevan virtauksen väliin. Tiellä on vettä noin 25–30 cm harvinaisella, 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Vesipinta on korkeammalla Laihianjoen puolella etelässä, joten Näverbackvägenillä tierumpujen riittävällä määrällä ja mitoituksella voitaisiin mahdollisesti helpottaa joenpuoleisten rakennusten asemaa jo nykytilanteessa. Junaradan pohjoispuolen osuudella vesisyvyys tiellä on paikoin noin 35 cm 1/100 a toistuvuuden tulvalla.

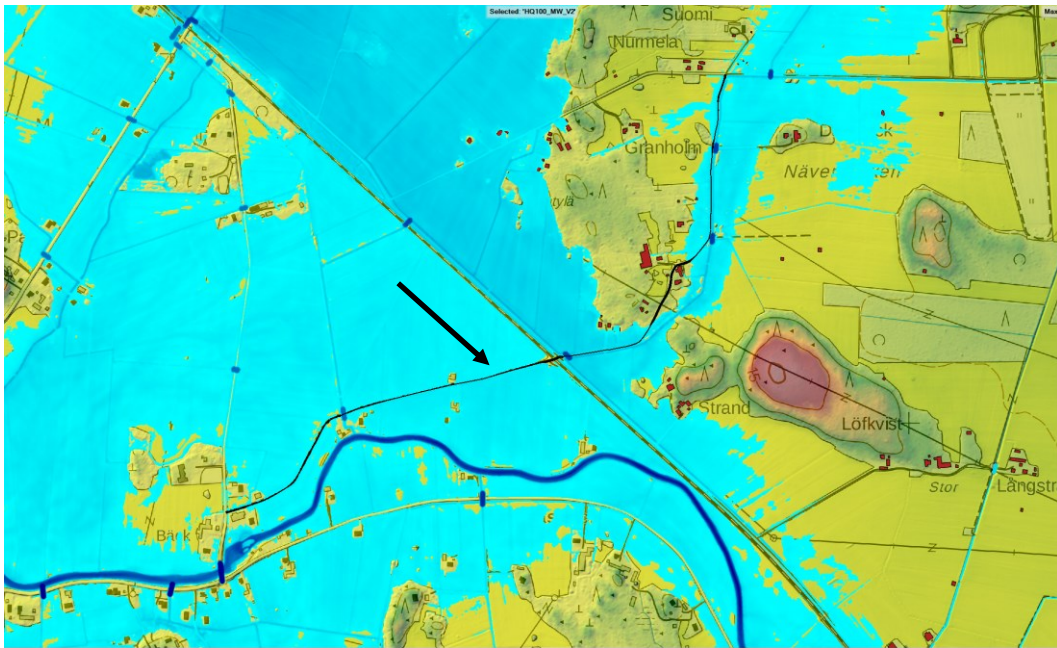
Korotettiin tietä 40 cm. Junaradan pohjoispuolella täytettiin erästä notkelmaa hieman reilummin, 50 cm. Näverbackvägen pysyy kuivana ja liikennöitävänä koko matkaltaan tien korottamisen jälkeen. Junaradan pohjoispuolella tien korotus rajoittaa Kyrönjoelta tulvivan veden Näverbackvägenin itäpuolelle. Yhdelle kiinteistölle johtava kulkutie säilyy tulvan peittämänä, tulvavedenpinnan noustessa hieman tien itäpuolella. Tien länsipuolella olevien rakennusten kannalta tulvatilanne puolestaan helpottuu, kun tulva ei yllä sinne enää yhtä laajalti.

Junaradan eteläpuolella tien korottaminen pahentaa tulvan vaikutuksia. Tulvavedenpinta nousee merkittävästi Laihianjoen puolella Näverbackvägeniä. Tienvarren kastuvien rakennusten tulvariski kasvaa edelleen. Tien korotus nostaa vedenkorkeutta Karkkimalantielläkin, jossa tulva-alue leviää selkeästi ja uhkaa rakennuksia.

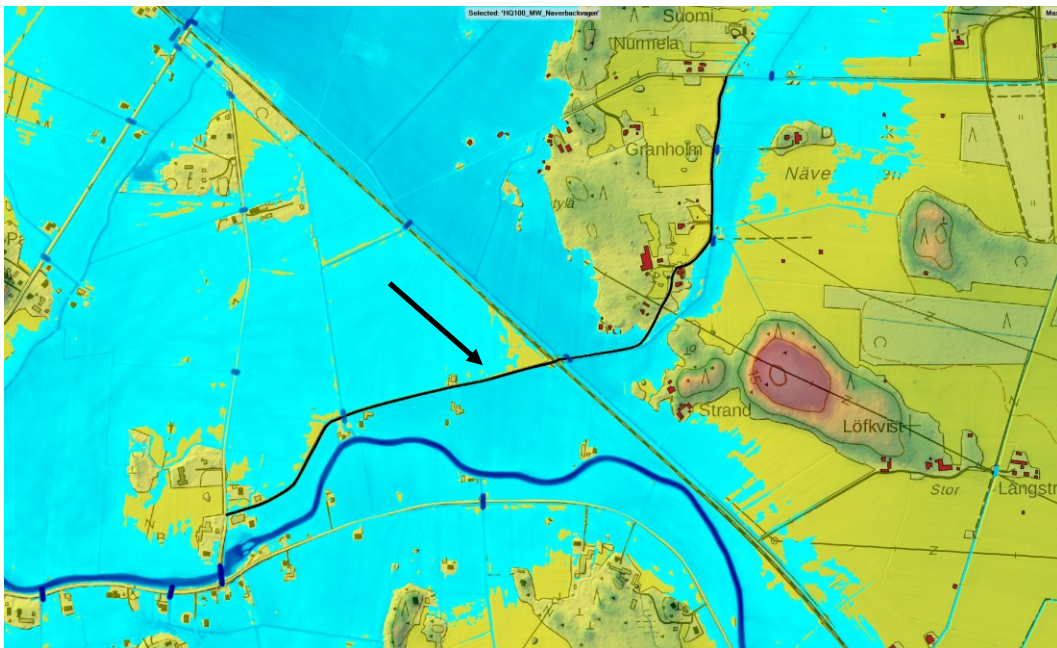
Junaradan eteläpuolella Näverbackvägenin pohjoisen ja eteläisen puolen maksimivedenpinnoissa on tien korotuksen jälkeen jopa puolen metrin ero. Pohjoispuolelle vettä päätyy aiempaa vähemmän, kun tulvavesi ei enää ylitä Näverbackvägeniä. Tien yksi aukko ei riitä tasaamaan tulvavettä pohjoiseen. Tien pohjoispuolella, Asematien varressa tulvavedenpinta puolestaan laskee noin 7 cm.

Näverbackvägen pysyy kuivana koko matkaltaan 40 cm korottamisella. Paikoin joudutaan täyttämään 50 cm, jotta tasausta saadaan nostettua riittävästi syvänteissä. Näverbackvägenin junaradan pohjoispuolella kulkevaa osuutta voitaisiin luultavasti korottaa ja näin parantaa tien liikennöitävyyttä tulvilla. Tulva siirtyisi tien patoamana itään päin pellolle, vähentäen alueen rakennusten tulvariskiä.

Junaradan eteläpuoleisen Näverbackvägenin osuuden korottaminen padottaa merkittävästi etelässä Laihinjoen suunnassa. Tienvarren kastuvien rakennusten tilanne heikkenee entuudestaan, kun Laihianjoen puolella tietä vedenpinta nousee jopa 20 cm. Vedenpintojen korkeusero tien eri puolilla kasvaa, ollen jopa noin 50 cm, kun tien ainoa aukko ei riitä siirtämään vettä tien pohjoispuolelle.



**Kuva 29.** Näverbackvägen 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Tulva peittää tietä lähes kauttaaltaan.



**Kuva 30.** Näverbackvägen 40 cm korottamisen jälkeen. Junaradan pohjoispuolella korottaminen mahdollistaa tulvanaikaisen liikennöinnin, vähentäen rakennusten tulvariskiä. Radan eteläpuolella korotus patoaa tulvaa haitallisesti.

### 9.10 Tuovilantie junaradan pohjoispuolella, Mustasaari

Kyrönjoen bifurkaatioalueella sijaitsevalla Tuovilantien pohjoisella tienosalla tulvamallinnus osoittaa todella vaikeaa tilannetta keskimäärin kerran 100 vuodessa toistuvalla tulvalla. Noin 1,6 kilometrin matkalla tietä peittää vähintään noin 55 cm vesipatja. Syvimmillään vettä on jopa 85 cm. Pohjoiseen kuljettaessa viimeiset noin 1,4 km helpottavat hieman, sillä tiellä on enää keskimäärin noin 25 cm vettä. Tiellä voisi olla syytä miettiä varautumista hieman pienempiin tulviin, sillä harvinaisen 1/100 a toistuvan tulvan torjunta johtaa todella suureen tien korottamiseen. Tien kohotessa, myös tiealue levenee merkittävästi, kun ojaluisikat siirtyvät kauemmas tien keskilinjalta riittävän luiskan kaltevuuden aikaansaamiseksi. Tontti- ja tieliittymiin tulee myös suuret korotukset. Keskimäärin kerran 50 vuodessa toistuvalla tulvalla tielle nousee enimmillään noin 30 cm vettä, 1,6 km metrin osuudella. Pohjoiseen kuljettaessa tien viimeiset 1,4 km säilyvät kuivana ja liikennöitävänä. Tarkasteltiin 1/100 a ja 1/50 a toistuvuuden tulviin varautumista.

Korotettiin Tuovilantien tasausta koko matkaltaan tasolle N2000 +6,90 metriä jotta voitaisiin torjua tulvamallin mukainen 1/100 a toistuvuuden tulvan maksimitulvavedenkorkeus N2000 +6,75 m ja säilyttää tie liikennöitävänä. Tien tasauksen reippaalla, lähes metrin korottamisella ei vaikuta olevan tulvatilannetta pahentavia vaikutuksia. Tulvavedenkorkeudet jopa hieman laskevat tien molemmin puolin. Junaradan eteläpuolelle taas päättyy hieman aikaisempaa enemmän vettä. Tien liikennöitävyys säilyy jopa 1/100 a toistuvuuden tulvalla.

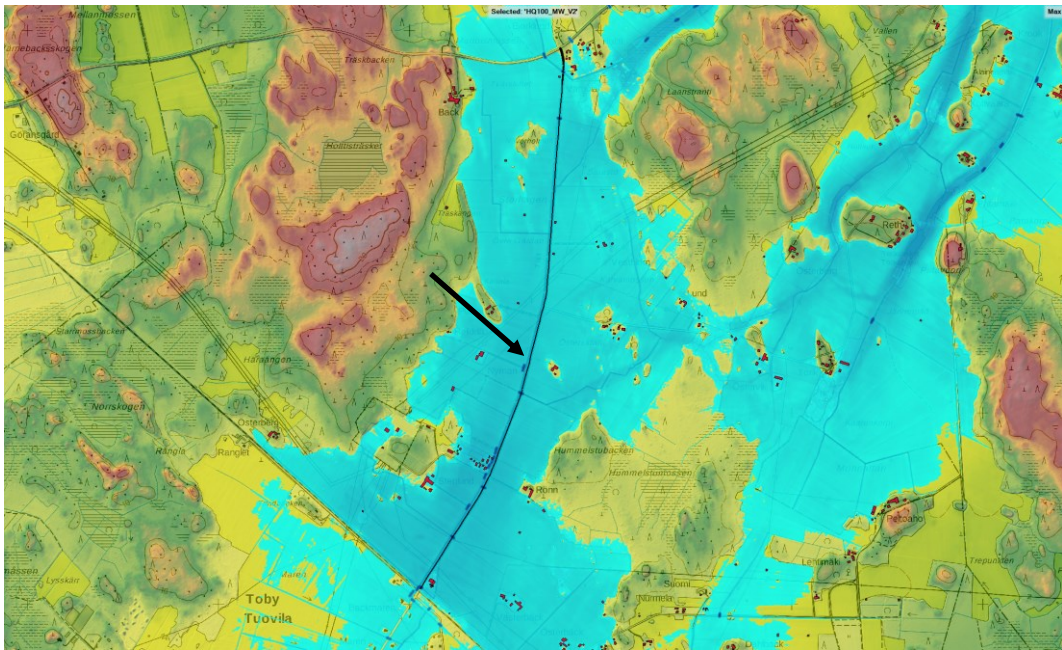
Virtaus Tuovilantietä kohden tulee kahdesta Kyrönjoen tulvaveden haarasta. Virtaus suuntautuu pohjoisesta etelään tien myötäisesti tien molemmin puolin, ja tämän vuoksi vesi ei patoudu haitallisesti tietä vasten reilusta korotuksesta huolimatta. Tien itäpuolen virtaus siirtyy tien keskivaiheella kolmesta rumpuaukosta tien länsipuolelle. Tässä on hieman epävarmuutta, sillä aukot eivät aiheuta padotusta. Virtausmallinnukseen on lisätty tien pohjois- ja eteläosan todelliset silta- ja rumpuaukkokoot. Tien keskivaiheen kolmen ei-padottavan aukon on siis luultavasti arvioitu kuvastavan riittävällä tarkkuudella tulvan käytöstä.

Kohonnut tiepenkere vaikuttaa tulosten perusteella ohjaavan tulvaveden virtausta tehokkaammin etelään, kun tulva ei enää pääse leviämään tielle. Tästä syystä voi arvella johtuvan radan eteläpuolelle kohdassa Maren ja Backmaren taapahtuvan keskimäärin 2 cm vedenpinnan nousun, kun vastaavasti radan pohjoispuolella vedenpinnan lasku on saman verran.

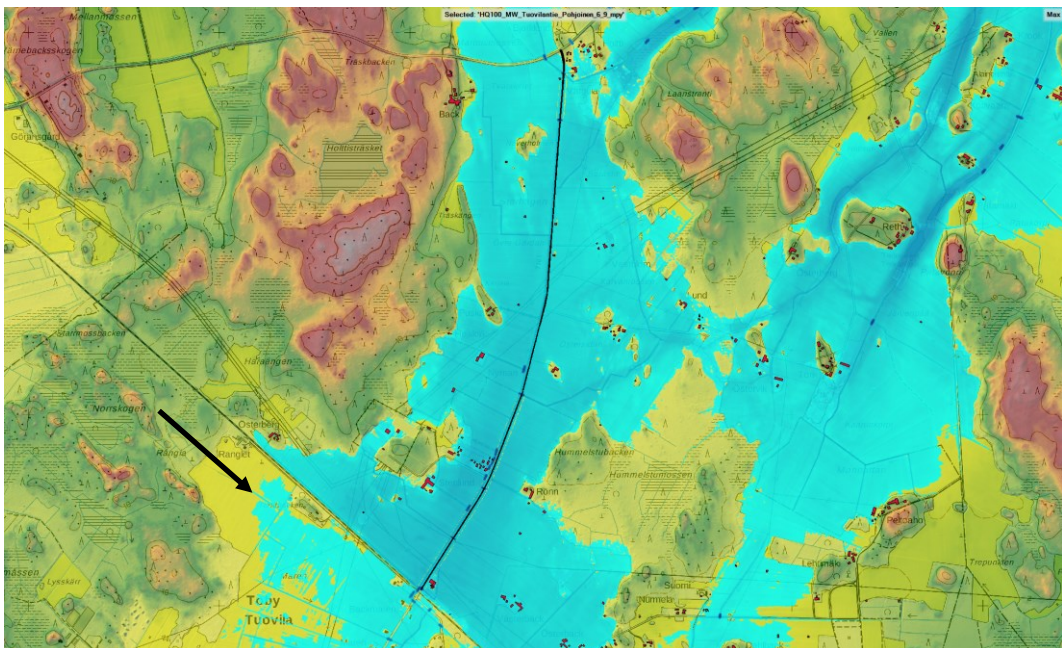
Korotettiin seuraavaksi Tuovilantien tasausta tasolle N2000 +6,40, jolla voitaisiin estää veden nousu tielle keskimäärin kerran 50 vuodessa toistuvalla tulvalla. Tulva peittää tietä tällöin junaradalta Torrvikvägenille saakka noin 1600 metrin matkalla. Tiellä on vettä syvimmillään noin 30 cm. Tien liikennöinti säilyy korotuksen ansiosta, eikä tästä pienemmästäkään tasauksen nostosta vaikuta aiheutuvan tulvaa pahentavia vaikutuksia. Tuovilantien varressa tulvavedenkorkeudet laskevat jälleen noin 2 cm. Tiepenger ohjanee virtausta tehokkaammin junaradan eteläpuolelle, jossa vastaavasti maksimivedenkorkeudet kasvavat noin 2 cm, selkeimmin pelolla kohdassa Mossabäcken.

**Tuovilantien reilu tasauksen nostaminen tasolle N2000 +6,90 m mahdollistaisi tien liikennöinnin 1/100 a toistuvuuden tulvilla mallinnuksen perusteella. Tiepenkere ei aiheuta tulvan nousua, sillä virtaus kulkee tien suuntaisesti. Paikoin noin metrin tien korottamisesta aiheutuu tiealueen leventymistä, kun ojaluisia täytyisi kasvattaa. Myös Tuovilantiehen liittyviä teitä joudutaan korottamaan melko paljon lyhyeltä matkalta. Liikennemääriensä perusteella Tuovilantien tieyhteyden tulvanaikaisen liikennöinnin varmistaminen voisi olla perusteltua.**

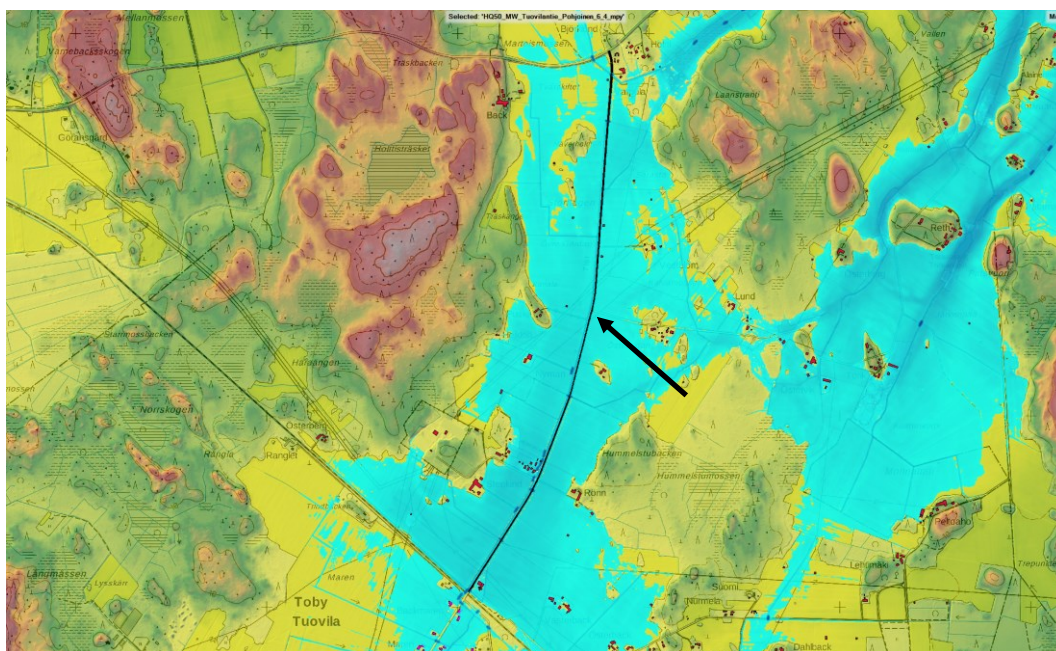
**Hieman pienemmällä tasauksen nostamisella tasolle, jolla torjutaan 1/50 a toistuvuuden tulvan nousu tielle, ei myöskään aiheudu haitallista tulvan muutosta. Liikennöinti tiellä säilyy ja korotustarvetta on koko 3 km osuuden sijaan vain noin 1,6 km matkalla junaradalta pohjoiseen.**



**Kuva 31.** Tulvatilanne 1/100 a toistuvuuden tulvalla on lohduon Tuovilantiellä ja bifurkaatioalueella. Tie on kauttaaltaan tulvan peittämä ja sitä peittää paikoin jopa 85 cm kerros vettä.



**Kuva 32.** Nostamalla Tuovilantien tasausta korkoon N2000 + 6,9 m estetään tulvan nouseminen tielle täysin. Tulvatilanne on lähes identtinen nykytilanteen kanssa. Maksimivedenkorkeudet Tuovilantien varressa laskevat keskimäärin noin 2 cm. Junaradan eteläpuolelle päätyy hieman enemmän vettä. (nuoli)



**Kuva 33.** Tuovilantie 1/50 a toistuvuuden tulvalla tien korotuksen jälkeen. Noin puolet tieosuudesta kastuu nykytilanteessa. Korotettiin Tuovilantietä noin puoli metriä korkoon N2000 +6,40 m, jolloin korotustarvetta on vain etelästä Torrviävägenille saakka. (nuoli) Korottamalla tien liikennöitävyys säilyy 1/50 a tulvalla.

### 9.11 Torrviävägen, Mustasaari

Torrviävägen on noin 4 km pituinen sorapintainen yksityistie, joka kulkee Tuovilantien ja Vähäkyröntien välissä. Sijaintinsa vuoksi Torrviävägenin tulvien aikainen tilanne on todella vaikea. Kyrönjoen bifurkaation haara virtaa tien rinnalla ja sen poikki. Tiellä on paljon korkeuseroja, joiden vuoksi tietä ei saada korotettua muiden tutkittujen tavoin vain ajamalla tielle tasaiset rakennekerrokset. Tien eteläpään eräässä notkelmassa tien päällä voi olla jopa 1,20 m vettä kymmenien metrien matkalla. Kerran 50 vuodessa toistuvan tulvan aikana tilanne ei juuri muutu, sillä tiellä on vettä edelleen paikoin yli metrin verran. Suuria täyttöjä tulee tehdä useampia, jotta tulvan nousu tielle estetään täysin.

Tielle ei ole lisätty aukkoja virtausmallissa. Luultavammin tarvetta ei ole ollut, sillä tulva ylittää tiet nopeasti maaston syvennyksissä. Tehtiin tien korotuskin ilman aukkoja, tällöin tien korottaminen patoaa bifurkaation haaran vedet virtaamaan tien itäpuolella. Parempi tulos olisi saatu, mikäli tien alittavat rummut olisi voitu

lisätä ja ainakin osa virtauksesta olisi päätynyt todellista reittiä pitkin tien länsipuolelle. Korotettiin tietä kauttaaltaan 50 cm, ja lisäksi tien notkelmat täytettiin 10–15 cm nykyistä tulvavedenpintaa korkeammalle. Tämä vaatii paikoin suuria, lähes 1,5 metrin täyttöjä.

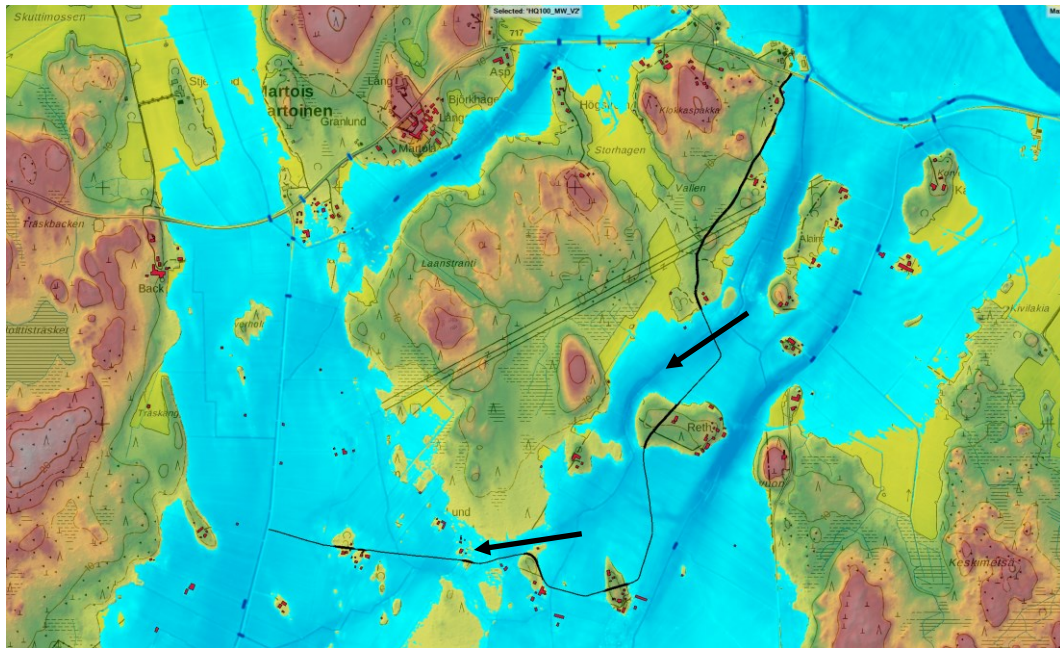
Riittävän suurella tien korottamisella Torrvikvägen pysyy liikennöitävänä 1/100 a toistuvuuden tulvalla, lukuun ottamatta lännessä Tuovilantiehen liittyvää noin 300 metrin matkaa, jota ei korotettu, jotta korotus tasoittuu Tuovilantielle liittyessään. Jotta liikennöinti Tuovilantien kautta onnistuisi, tulisi myös sitä korottaa vastavasti. Liikennöinti Torrvikvägenillä onnistuukin tässä tilanteessa vain pohjoiseen Vähäkyröntien suuntaan.

Kyrönjoesta virtaava tulva kiertää Torrvikvägenin itäpuolelta. Pelloille kohdassa Huttsor ja Österberg tulvii pohjoisen sijaan lännessä, kun virtaus pohjoisesta on estetty tietä korottamalla, eikä rumpua paikkaan ole lisätty. Pellolle päätyy nykytilannetta huomattavasti vähemmän vettä. Maksimivedenpinnat Torrvikvägenin sekä idässä tien rinnalla kulkevan Monnattarintien välissä nousevat hieman, keskimäärin noin 2 cm. Rakennukset näiden kahden tien välissä sijaitsevat maaston korkeimmissa paikoissa saarekkeissa, eikä tulva vaikuta uhkaavan niitä nykytilannetta pahemmin.

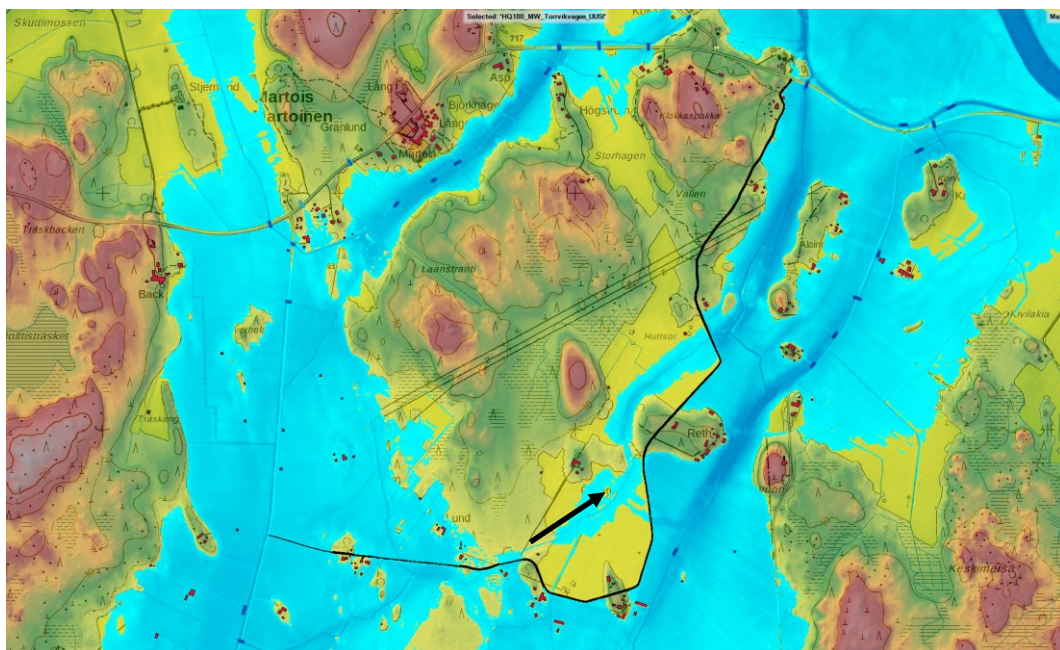
Mallinnuksen perusteella tulvavedenkorkeudet laskevat merkittävästi Torrvikvägenin länsipäässä ja Tuovilantien molemmin puolin. Maksimivedenkorkeudet Tuovilantien varressa aina etelään radalle saakka laskevat noin 8 cm. Torrvikvägenin korotuksen ansiosta tulva virtaa Laihianjokea kohden vahvemmin idänpuoleista bifurkaation haaraa pitkin, tasaten haarojen virtausta ja helpottaen hieman tulvan haitallisuutta lännessä. Koska radan eteläpuolellakaan maksimivedenkorkeudet eivät muutu, voidaan päätellä, että Torrvikvägenin korottamisella olisi pääosin suotuisa vaikutus bifurkaatioalueella.

**Torrvikvägen kulkee haasteellisessa paikassa Kyrönjoen bifurkaation varrella. Liikennöinnin varmistaminen 1/100 a toistuvuuden tulvalla vaatii paikoin tien**

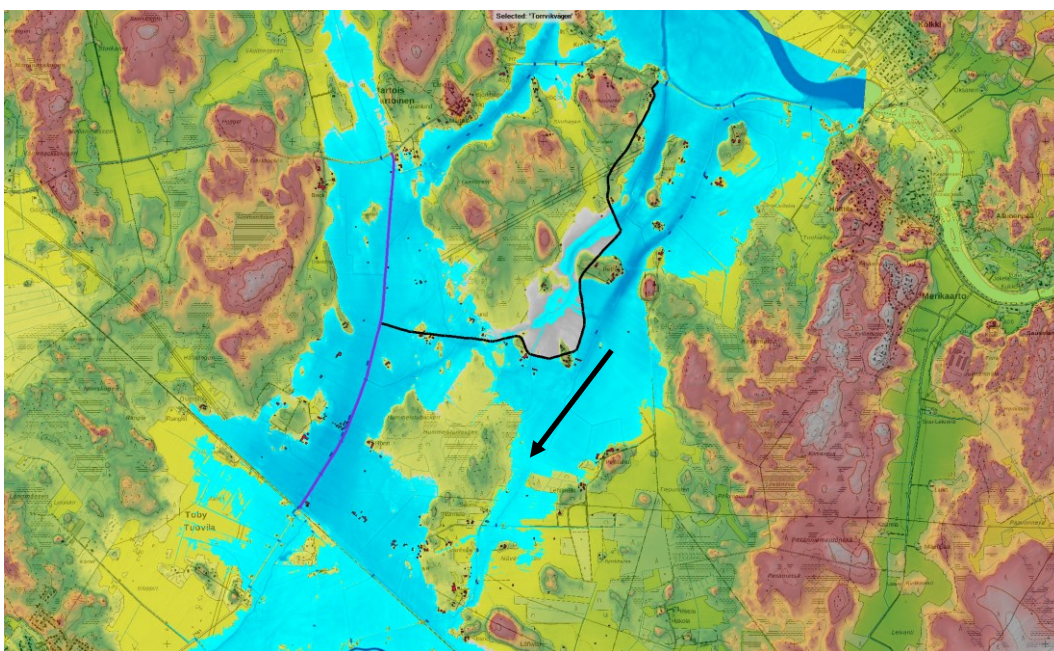
reilua korottamista. Tien korottaminen liikennöinnin säilyttämiseksi harvinaisilla tulvilla olisi kustannuksiltaan suuri hanke. Tulvan suuntaaminen tiepenkeen avulla itäpuolelle laskee maksimitulvavedenkorkeuksia Tuovilantiellä, junaradan myötä kulkevilla Rånglavägenillä ja Långstrandvägenillä sekä Villvallintien eteläpäässä. Rumpuaukkojen lisääminen Torrvikvägenin alittaviin ojiin tarkoittaisi mallinnusta, jolloin tulvan virtausreitti olisi realistisempi.



**Kuva 34.** Torrvikvägen 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Liikennöinti tiellä estyy lukuun ottamatta tien pohjoisinta osaa. Bifurkaation virtaus ylittää tien ja kulkee länteen (nuolet).



**Kuva 35.** Torrvikvägeniä korotettu riittävästi estämään 1/100 a toistuvan tulvan nousu tielle. Rummut puuttuvat mallista, ja pelloille (nuoli) virtaa vettä etelästä pohjoisen sijaan. Tie patooa Kyrönjoelta tulevan virtauksen täysin itäpuolelleen.



**Kuva 36.** Harmaana nähdään nykytilanteen mukainen tulva ja sinisenä tien korotuksen jälkeinen tulvan laajuus. Länteen Tuovilantietä (purppura) kohti virrannut vesi muuttaa kulkuaan etelään Torriviävägenin patoamana. (nuoli)

### 9.12 Monnattarintie, Vaasa ja Villvallvägen, Mustasaari

Monnattarintietä ja Villvallvägeniä tarkastellaan ja korotetaan yhdessä, sillä tie on yhtenäinen, ja ainoastaan tien nimi vaihtuu kuntarajalla. Monnattarintiellä on mittaa noin 2,7 km ja Villvallvägenillä puolestaan noin 2,9 km. Pohjoisempi Monnattarintie kulkee Torriviävägenin rinnalla Kyrönjoen bifurkaation haara myöden etelään. Eteläisempi Villvallvägen kääntyy kulkemaan länttä kohden, siten että tulvavesi virtaa tien poikki.

Monnattarintien pohjoispäässä tie peittyy tulvavedestä noin 1200 metrin matkalla. Tiellä on enimmillään 80 cm vettä. Villvallvägen peittyy vedellä eteläpäästään noin 500 metrin matkalla, ja tiellä on enimmillään noin 75 cm vettä. Tulva ylittää Villvallvägenin myös lyhyemmällä tienosuudella, jossa tulvavesi virtaa uoma myöden tien poikki etelään junarataa kohden. Tässä paikassa tulisi huolehtia rummun/rumpujen riittävästä mitoituksesta tienkorotuksen yhteydessä. Villvallvägen pysyy kuitenkin kuivana jopa 1/50 a toistuvuuden tulvalla, lukuun ottamatta aivan eteläisintä päätään noin sadan metrin matkalla.

Läheisen Torrvikvägenin tavoin, teitä tulisi korottaa melko reilusti, jotta torjuttaisiin 1/100 a toistuvuuden tulva. Villvallvägenin korotus ei mahdollista kulkua etelään Långstrandvägenille, joka jää edelleen tulvan peittämäksi. Junaradan viertä kulkevan Långstrandvägenin korotusmahdollisuudet ovat rajalliset, sillä tie on radan huoltotie, joka muodostaa radan kanssa yhteisen ratapenkan.

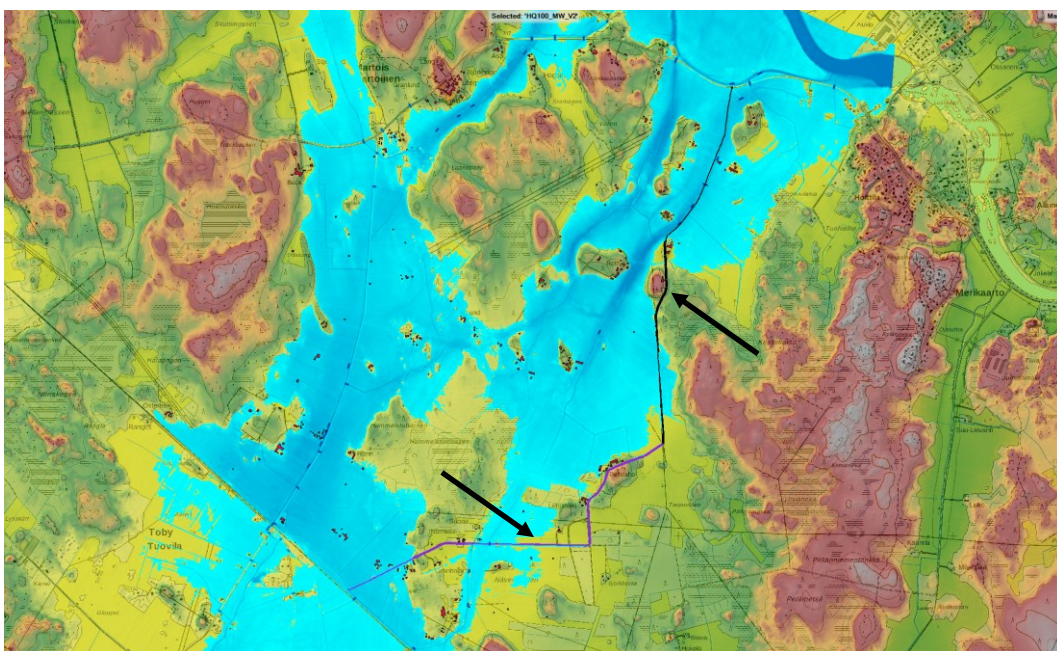
Teitä korotettiin kauttaaltaan 40 cm ja suurempia korotuksia vaativat paikat täytettiin noin 15 cm nykyistä tulvavedenpintaa korkeammalle, jolloin korotusta tuli paikoin vajaan metrin verran. Pohjoisessa Monnattarintien korottaminen vähentää Kyrönjoelta tulevaa virtaamaa etelän suuntaan, ja laskee maksimitulvavedenkorkeuksia Villvallvägenin ja myös Tuovilantien varressa. Villvallvägenin eteläpäässä vedenkorkeudet laskevat noin 4 cm, eikä Villvallvägenin korotukseen vaikuta aiheuttavan padotusta. Villvallvägenin Långstrandvägenille liittyvä eteläpää kastuu odotusten mukaisesti ilman Långstrandvägenin vastaavaa korottamista. Liikennöinti Villvallvägenin eteläisimmältä kiinteistöltä pohjoisen suuntaan Vähäkyläntielle kuitenkin varmistettaisiin harvinaisilla tulvilla.

Vaikka virtaamat Monnattarintien korottamisen vaikutuksesta etelään vähenevät, ei Monnattarintie patoa pohjoispäässään Kyrönjoelta tulevaa virtausta juuri ollenkaan. Monnattarintien ja Villvallvägenin korottaminen, niin että virtaus kulkee teiden aukoista tien ylittämisen sijaan, viivyttää tulvan etenemistä, mutta ei aiheuta padotusta. Tienkorotus ei aiheuta muutosta lähialueen rakennusten tulvariskiä.

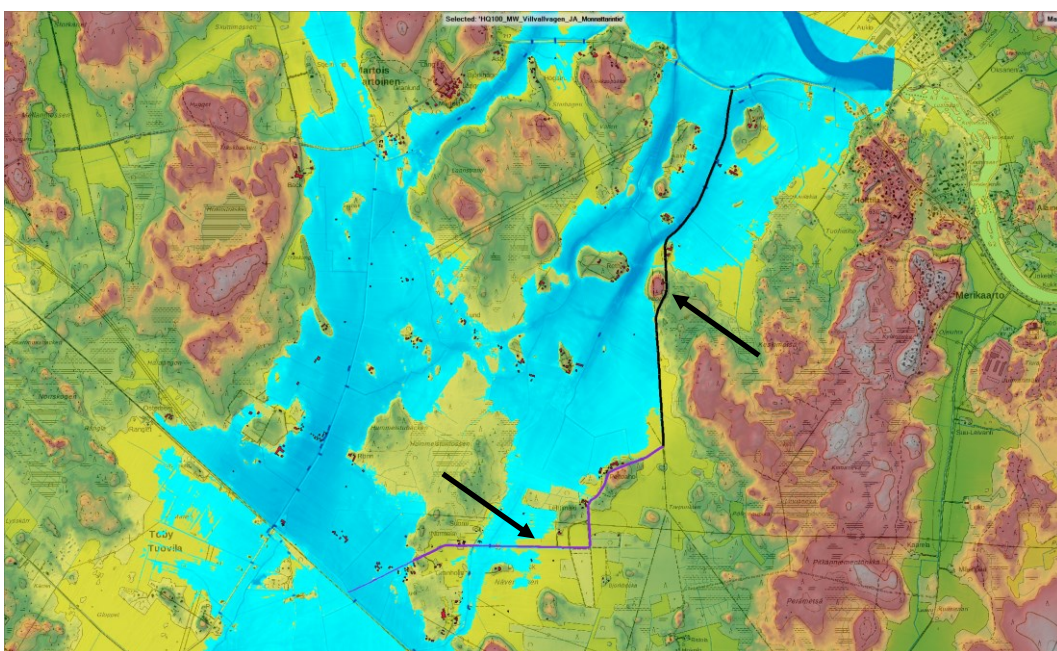
Torrvikvägenin korottamisen tavoin, laskee Monnattarintien korottaminen maksimivedenkorkeuksia bifurkaatioalueen puoleisen Tuovilantien varrella. Maksimivedenkorkeudet laskevat Tuovilantien varrella noin 4 cm. Torrvikvägenin korottaminen ohjasi Tuovilantien suuntaan vähemmän tulvavesiä, kun virtaus kääntyi etelän suuntaan. Monnattarintien korottaminen taas ei vaikuta virtauksen suuntaan, vaan vaikuttaa hidastavan virtausta, niin että maksimivedenkorkeudet junaradan pohjoispuolella laskevat hieman. Radan eteläpuolella tilanne pysyy nykyisenkaltaisena.

Monnattarintien ja Villvallvägenin korottamisella on mallin mukaan maksimitulvavedenkorkeuksia laskeva vaikutus 1/100 a toistuvuuden tulvilla aina Tuovilantielle ja Seinäjoki-Vaasa radalle saakka. Liikennöinnin varmistamiseksi joudutaan tekemään suuria korotuksia, varsinkin Monnattarintien pohjoispäässä 1,2 km matkalla, jossa korotustarvetta on paikoin vajaan metrin verran. Villvallvägenin korottaminen mahdollistaa liikennöinnin vain pohjoisen suuntaan, sillä etelässä radanvarren Långstrandvägen peittyy täysin 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Jälleen varsinkin Monnattarintien todellisten aukkokokojen puute aiheuttaa epävarmuutta mallinnustulokseen.

Huomionarvoista on, että Villvallvägen pysyy kuivana 1/50 a toistuvuuden tulvalla, eikä tien korotukselle ole tarvetta vielä tällöin. Monnattarintiellä voisi olla järkevää varautua yleisemmän 1/20 a toistuvuuden tulvan torjumiseen kevyemmällä, noin 50 cm korottamisella.



**Kuva 37.** Monnattarintie ja Villvallvägen (purppura) 1/100 a toistuvuuden tulvalla. Monnattarintie katkeaa pohjoisessa ja Villvallvägen eteläpäässä.



**Kuva 38.** Teiden korotuksen jälkeen liikennöinti pohjoisen suuntaan mahdollistuu 1/100 a toistuvuuden tulvilla. Villvallvantieltä (purppura) ei voida kulkea etelään, jossa radan viertä kulkeva Långstrandvägen on kokonaan tulvan peittämä.

## 10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työskentelyn aikana vastaan tuli epävarmuutta tienkorotusten mallinnuksiin aiheuttavia seikkoja Laihianjoen virtausmallinnuksessa. Kun virtausmallinnusta tutkittiin pienempien teiden osalta, havaittiin että virtausmallinnuksen maastoa on syytä tarkentaa tierumpujen osalta. Kaikkia pienempiä rumpuja ei ole huomioitu tai ne on määritetty todellista suuremmaksi virtausmallinnuksessa. Toisaalta syynä tähän on tulvakartoitetun ja mallinnetun alueen laajuus ja aineiston rajoitteet. Työskentelyssä sovellettiin olemassa olevaa virtausmallinnusta sellaisenaan, ainoastaan teiden pintaa korottamalla. Tarvittaessa myös todelliset rumpukoot on mahdollista lisätä tarkentamaan mallinnustuloksia.

Työskentelyssä tien korotuksiin lisättiin virtausmallin alkuperäiset aukot, jotka ovat niin suuria, etteivät ne aiheuta padotusta millään virtaamalla. Työskentelyssä saatujen tulosten perusteella virtaukseen nähden poikittaisten teiden ei-padottavat aukot saattavat vaikuttaa mallinnustuloksiin enemmän epätarkkuutta aiheuttaen kuin virtauksen myötäisesti kulkevien teiden ei-padottavat aukot. Ylipäänsä havaittiin, että joen tai tulvan virtaussuuntaan nähden poikittain kulkevat tiet aiheuttavat useammin haitallista padotusta, kuin virtauksen suuntaan kulkevat tiet. Tämä olisi syytä huomioida, mikäli esimerkiksi joen virtaukseen nähden poikittaisia tonttien kulkuteitä korotetaan tulvien vuoksi.

Valtion ylläpitämien teiden tierummut ovat saatavilla vapaasti ladattavana paikkatietoaineistona. Tiedoista selviää rumpujen sijainti, pituus ja halkaisija. Rumpujen korkeusasema täytyy silti selvittää maastomittauksilla. Yksityisteiden rumputietoja ei ole saatavilla paikkatietoaineistona. Rumpujen mittauksia tehtiinkin selvityksen teillä. Mittaustuloksia ei ehditty soveltaa työn tuloksiin, mutta näitä rumputietoja voidaan käyttää hyödyksi, mikäli nyt saatuja tuloksia on tarpeen myöhemmin tarkentaa tai rumputietoja tarvitaan muissa yhteyksissä.

Kyrönjoen bifurkaatioalueen tiet ovat huomattavassa tulvavaarassa ja katkeavat monin paikoin suurilla tulvilla. Mäkinen maasto syvänteineen ja korkealle nouseva

tulvavesi johtavat monin paikoin siihen, että sorateiden tasausta tulisi nostaa melko kevyitä kelirikkokorjausmenetelmiä rajummin toimenpitein, jotta tulvan aikainen liikennöinti varmistetaan. Tien tulvan aikainen liikennöinti voidaan aina saavuttaa riittävän suurella korottamisella, mutta tien korottamisella on myös taloudelliset ja tekniset rajoitteensa, jotka tulee huomioida. Keskimäärin kerran sadassa vuodessa toistuvan tulvan torjunta teitä suuresti korottamalla ei luultavasti ole monin paikoin taloudellisesti perusteltua. Suuriakin korotuksia kuitenkin tutkittiin, jotta bifurkaatioalueen liikennöintiin voitaisiin löytää parannuskeinoja.

Haastavinta tässä työssä on ollut tienkorotusten aiheuttamien muutosten arviointi. Tien korottamisella on usein vaikutuksia pitkällä matkalla joen ylä- tai alavirtaan, joten tarvetta on ollut tarkastella tulvaa korotetun tien lähialuetta kauemmas. Selkeimmin tien korottaminen on voitu arvioida haitalliseksi, jos korotus on nostanut tulvavedenpintaa merkittävästi jollakin alueella jossa on myös runsaasti asuinrakennuksia. Toisaalta muutamankin sentin tulvavedenpinnan nousu voi olla merkittävä suurelle alueelle jakaantuessaan, joten on täytynyt miettiä tarkasti voiko tien korotusta tällöin suosittaa.

Tämän työn tekeminen on ollut haastavaa, mutta samalla hyvin opettavaista. Lyhyessä ajassa olen tutustunut sovelluksiin, joilla voidaan mallintaa tulvien ja virtausten käytöstä. Olen oppinut muun muassa muokkaamaan ja analysoimaan virtausmallinnusta Scalgo Live- ja HEC-RAS-ohjelmien avulla. Työskentelyn aikana olen saanut hyvän käsityksen virtaus- ja tulvamallinnusohjelmien mahdollisuuksista sekä niiden rajoitteista. Oppimani perusteella tulvariskien hallintaa on järkevää tehdä virtausmallinnuksia avuksi käyttäen, sillä mallintamisen avulla on mahdollista arvioida tulviin vaikuttavia toimenpiteitä hyvällä tarkkuudella. Ohjelmistojen, menetelmien ja aineistojen kehittyessä virtausmallinnusten tarkkuus paranee entisestään ja niitä voitaneen soveltaa monin uusin tavoin. Hydraulisen mallintamisen avulla voidaan löytää tehokkaita keinoja tulvien hallintaan ja sen avulla pystytään myös välttämään huonoja ratkaisuja.



Käkränen, O. 2019. Vaasan edustan merialueen vedenlaatutarkkailu vuonna 2018. KVVY Tutkimus Oy. Viitattu 17.10.2022. [https://www.ymparisto.fi/download/VSA\\_Merialue\\_2018OK080519pdf/%7B9BD0B95F-18E0-493B-BE2B-4D35C09D0471%7D/153796](https://www.ymparisto.fi/download/VSA_Merialue_2018OK080519pdf/%7B9BD0B95F-18E0-493B-BE2B-4D35C09D0471%7D/153796)

Laihianjoen tulvariskien hallinnan yleissuunnitelma. 2006. Suomen salaojakeskus Oy. Julkaisematon.

Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2016–2021. 2015. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus. Viitattu 17.10.2022. <https://vesi.fi/aineistopankki/laihianjoen-vesistoalueen-tulvariskien-hallintasuunnitelma-vuosille-2016-2021/>

Laihianjoen vesistöalueen tulvariskien hallintasuunnitelma vuosille 2022–2027. 2021. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus. Viitattu 7.3.2022. <https://vesi.fi/aineistopankki/laihianjoen-vesistoalueen-tulvariskien-hallintasuunnitelma-vuosille-2022-2027/>

Liikennemääräkartat. Väylävirasto. Viitattu 29.5.2022. <https://vayla.fi/vaylista/aineistot/kartat/liikennemaarakartat>

Maa- ja metsätalousministeriö. Tulvariskien hallintasuunnitelmat auttavat varautumaan ilmastonmuutokseen. Viitattu 7.3.2022. <https://mmm.fi/-/tulvariskien-hallintasuunnitelmat-auttavat-varautumaan-ilmastonmuutokseen>

Paunila & Rautamäki. 1999. Eteläisen Kaupunginselän ja sen valuma-alueiden ympäristöyleissuunnitelma. Pohjanmaan liitto, Länsi-Suomen ympäristökeskus, Vaasan kaupunki, Mustasaaren kunta, Laihian kunta.

Snellman, R. ja Sane, M. 2016. Avoin data tuo 2D-virtausmallit käden ulottuville. Vesitalous-lehti 2/2016. Viitattu 31.3.2022. [https://vesitalous.fi/wp-content/uploads/2016/03/VT1602\\_lowres.pdf](https://vesitalous.fi/wp-content/uploads/2016/03/VT1602_lowres.pdf)

Suomen tulvariskilainsäädäntö. Vesi.fi. Viitattu 19.10.2022. <https://www.vesi.fi/vesitieto/tulvariskilainsaadanto/>

Tierakenteen suunnittelu. 2018. Väylävirasto. Viitattu 3.6.2022. <https://www.doria.fi/handle/10024/164750>

Tulvakartoitus. Ympäristö.fi. Viitattu 30.5.2022. [www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Tulviin\\_varautuminen/Tulvariskien\\_hallinta/Tulvariskien\\_hallinnan\\_suunnittelu/Tulvakartoitus](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Tulviin_varautuminen/Tulvariskien_hallinta/Tulvariskien_hallinnan_suunnittelu/Tulvakartoitus)

Tulvakeskuksen tulvakarttapalvelu. Viitattu 8.11.2022. <https://www.vesi.fi/vesitieto/tulvakarttapalvelu/>

Tulvariskialueet. Vesi.fi. Viitattu 24.10.2022. <https://www.vesi.fi/vesitieto/tulvariskialueet/>

Tulvariskien alustava arviointi Laihianjoen vesistöalueella. 2011. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus. Viitattu 7.9.2022. [https://www.i9.ymparisto.fi/i9/fi//tulvariskit\\_alueella/EPOELY/Tulvariskien%20alustava%20arviointi%20Laihianjoki.pdf](https://www.i9.ymparisto.fi/i9/fi//tulvariskit_alueella/EPOELY/Tulvariskien%20alustava%20arviointi%20Laihianjoki.pdf)

Tulvariskien hallinta. Vesi.fi. Viitattu 19.10.2022. <https://www.vesi.fi/vesitieto/tulvariskien-hallinta/>

Tulvariskissä olevien rakennusten tarkempien kastumiskorkeuksien selvitys Laihianjoella. 2021. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus. Viitattu 23.6.2022. [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/185566/Raportti\\_Laihianjoen\\_tarkemmat\\_mittaukset\\_muok\\_19072022\\_2.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/185566/Raportti_Laihianjoen_tarkemmat_mittaukset_muok_19072022_2.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

Tulvasanasto. Ympäristö.fi. Viitattu 14.10.2022. [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Tulviin\\_varautuminen/Tulvasanasto](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Tulviin_varautuminen/Tulvasanasto)

Vesisanasto. Vesi.fi. Viitattu 14.10.2022. <https://www.vesi.fi/sanasto/>

What is ArcMap? Esri. Viitattu 29.4.2022. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/map/main/what-is-arcmap-.htm>

Åström, H. 2020. Ilmastonkestävä kaupunki ja nouseva tulvariski – Kokemuksia ja ajatuksia Tanskasta. Rakennustekniikka-lehti 1/2020. Viitattu 29.4.2022. [https://www.ril.fi/media/2020/rakennustekniikka/rt\\_1-2020\\_verkko.pdf](https://www.ril.fi/media/2020/rakennustekniikka/rt_1-2020_verkko.pdf)