



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

LAURA VIITANEN  
ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET LENTOASEMIEN HU-  
LLESIJÄRJESTELMIIN JA LIUKKAUDENTORJUNTAAN SEKÄ  
VAIKUTUKSIIN VARAUTUMINEN

Diplomityö

Tarkastaja: professori Jukka Rintala

Tarkastaja ja aihe hyväksytty Luon-  
nontieteiden tiedekuntaneuvoston  
kokouksessa 12. elokuuta 2015

## TIIVISTELMÄ

**LAURA VIITANEN:** Ilmastonmuutoksen vaikutukset lentoasemien hulevesijärjestelmiin ja liukkaudentorjuntaan sekä vaikutuksiin varautuminen

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 70 sivua, 5 liitesivua

Lokakuu 2015

Ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma

Pääaine: Vesi- ja jätehuoltotekniikka

Tarkastaja: professori Jukka Rintala

Ohjaajat: Heikki Heinijoki (Finavia Oyj), Perttu Hyöty (Sito Oy)

Avainsanat: hulevesi, ilmastonmuutos, lentoasemat, liukkaudentorjunta

Tässä työssä tarkasteltiin ilmastonmuutoksen vaikutuksia lentoasemien hulevesijärjestelmiin ja liukkaudentorjuntaan. Tarkastelun pohjaksi laadittiin kirjallisuuskatsaus maa- ilman- ja Euroopan laajuisten sekä pohjoismaisten ilmailun kattojärjestöjen varautumisesta ilmastonmuutokseen. Lisäksi perehdyttiin VTT:n, Liikenne- ja viestintäministeriön sekä Ilmatieteen laitoksen laatiin ilmastonmuutosennusteisiin.

Ilmastonmuutoksen myötä sadannan on arvioitu kasvavan 2060-lukuun mennessä Suomessa noin 15 %. Sadannan kasvun myötä kiitoteiden kuivatusjärjestelmät altistuvat entistä kovemmalle kuormituksella ja liukkaudentorjuntatarvetta lisäävien nollakelien yleistymisen myötä myös liukkaudentorjunta-aineiden kulutus voi kasvaa. Nollakelit tulevat ensin lisääntymään koko maassa, mutta kuluvan vuosisadan puolivälin jälkeen tarve voi vähentyä Etelä-Suomessa. Nykyiset liukkaudentorjuntamenetelmät ovat todennäköisesti toimivia myös tulevaisuudessa.

Työn soveltavassa osassa tarkasteltiin Oulun ja Tampere-Pirkkalan lentoasemien hulevesiverkostojen välityskapasiteetin riittävyyttä, kun hulevesimäärät lisääntyvät ilmastonmuutoksen myötä. Lentoasemien hulevesiverkostoista laadittiin hulevesimallit, joiden avulla tutkittiin hulevesiverkostojen toimivuutta erilaisilla sateilla ja tunnistettiin nykyisen verkoston ongelmakohdat. Lisäksi huleveden kulkeutumista mahdollisesti tulvivien hulevesikaivojen ympäristössä tutkittiin lentoasema-alueista laadittujen korkeusmallien avulla.

Mallinnuksen tulosten mukaan Oulun ja Tampere-Pirkkalan lentoasemien hulevesiverkostot toimivat kapasiteettinsa äärirajoilla ja hulevesiverkostoissa esiintyy tulvimista kerran viidessä vuodessa esiintyvällä 30 minuutin sateella. Tulvavesi ei kuitenkaan kerääntynyt kiitoteille vaan valuu reunakaistaa pitkin kohti purkupistettä.

Lentoasemien hulevesiverkostojen kapasiteettiä suositellaan lisättävän peruskorjausten yhteydessä. Tilanne on todennäköisesti sama muillakin verkostolentoasemilla, koska ne on suunniteltu samoilla suunnitteluperiaatteilla. Kapasiteettiä voidaan lisätä putkikokoa kasvattamalla tai lisäämällä hulevesiverkostoon ylivuotoreittejä.

Suomen lentoasemilla kannattanee ottaa mallia Ruotsin ja Norjan ilmailun kattojärjestöjen toimista ilmastonmuutokseen varautumiseen liittyen. Swedavia ja Avinor ovat arvioineet kattavasti ilmastonmuutoksen aiheuttamat riskit lentoasemilleen ja kehittänyt tapoja vaikutuksiin varautumiseen.

## ABSTRACT

**LAURA VIITANEN:** Impacts of climate change on stormwater drainage systems of airports and de-icing of runways and adaptation to the impacts

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 70 pages, 5 Appendix pages

October 2015

Master's Degree Programme in Environmental and Energy Technology

Major: Waste and Water Engineering

Examiner: Professor Jukka Rintala

Instructors: Head of airport engineering Heikki Heinijoki, director of water services Perttu Hyöty

Keywords: stormwater, climate change, airport, runway de-icing

This master's thesis report is about the effects of climate change to airport stormwater drainage systems and runway de-icing and about adaptation to the effects. The report begins with the literature review where studies of international and Nordic aviation organizations are presented. Climate change predictions of Technical Research Centre of Finland, Ministry of Transportation and Communication and Finnish Meteorological Institute were also presented.

According to climate change estimations, precipitation will increase about 15 % in Finland by 2060. Thus, stormwater processes will expose to greater stress. Temperatures around 0 °C will appear more often rising the consumption of de-icing chemicals. At first, the frequency of temperatures around 0 °C will increase in whole country but starting from 2050 they may become rarer in Southern Finland. Probably present-day de-icing methods are appropriate also in the future.

The capacity of the stormwater drainage systems of Tampere-Pirkkala airport and Oulu airport were tested with two stormwater models. The models were run with two different rain profiles leading us to the most problematic points of the storm water processes. After the flooding storm water wells were localized, the ways of the flooding water were detected by elevation models.

According to the results from the stormwater models, the capacity of the stormwater drainage systems should be increased. This should be done while the airports are under repair.

The orderer is encouraged to take advantage of the adaptation studies made in Swedish and Norwegian airports. Swedish aviation authority Swedavia has participated in nation vulnerability analysis and Norwegian aviation authority Avinor has made a climate risk assessment.

## ALKUSANAT

Tämä raportti on Finavian tilaama diplomityö ilmastonmuutoksen vaikutuksista lentoasemien hulevesijärjestelmään ja liukkaudentorjuntaan. Diplomityön on laatinut Sito Oy:n nuorempi suunnittelija Laura Viitanen, joka opiskelee vesi- ja jätehuoltotekniikkaa Tampereen teknillisessä yliopistossa. Diplomityöprojektin ohjausryhmään kuuluivat Finavian liikennealuepalveluiden päällikkö Heikki Heinijoki, ympäristöjohtaja Mikko Viinikainen, ympäristöasiantuntija Tuija Hänninen ja suunnittelupäällikkö Markku Aaltonen. Sito Oy:ssä työn ohjaamisesta vastasi palvelualuepäällikkö Perttu Hyöty ja yliopiston ohjaajana sekä tarkastajana toimi professori Jukka Rintala.

Haluan kiittää koko ohjausryhmää saamistani kommentteista ja avusta diplomityöprojektin aikana. Lisäksi haluan kiittää perhettäni ja ystäviäni saamastani tuesta.

Vantaalla, 21.10.2015

Laura Viitanen

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
2.	TAUSTA.....	3
2.1	Kansainvälinen ilmastonmuutos- ja ilmailututkimus.....	3
2.1.1	Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli ja ilmastonmuutoksen vaikutukset ilmailuun .....	3
2.1.2	Ilmastonmuutoksen vaikutuksiin varautuminen siviili-ilmailun kattojärjestössä .....	4
2.1.3	Sään ääri-ilmiöiden vaikutukset Euroopan liikenneverkostoihin ....	5
2.1.4	Ilmastonmuutoksen vaikutukset ilmailuun verrokkimaissa ja Euroopassa .....	11
2.2	Ilmastonmuutosennusteet ja niiden vaikutukset Suomessa.....	23
2.2.1	Lämpötilojen ja sademäärien muutokset.....	24
2.2.2	Sulamis-jäätymissykli .....	29
2.3	Hulevesijärjestelmät ja liukkaudentorjunta lentoasemilla.....	29
2.3.1	Hulevesien hallinta lentoasemilla .....	30
2.3.2	Liukkaudentorjunta lentoasemilla.....	32
3.	AINEISTO JA MENETELMÄT .....	44
3.1	Kohdelentoasemat .....	44
3.2	Hulevesijärjestelmät kohdelentoasemilla .....	45
3.3	Liukkaudentorjuntamenetelmät kohdelentoasemilla.....	46
3.4	Hulevesimallien muodostus ja soveltaminen .....	47
3.4.1	Tampere-Pirkkalan lentoaseman hulevesiverkoston mallinnus.....	49
3.4.2	Oulun lentoaseman hulevesiverkoston mallinnus.....	51
4.	TULOKSET .....	55
4.1	Tampere-Pirkkalan hulevesijärjestelmän toimivuus .....	55
4.2	Oulun lentoaseman hulevesijärjestelmän toimivuus.....	59
5.	TULOSTEN TARKASTELU .....	64
6.	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	66
7.	LÄHTEET.....	67
	LIITE 1 TAMPERE-PIRKKALAN LENTOASEMAN HULEVESIMALLIN RAKENNE JA TARKASTELLUT PUTKIOSUUDET .....	71
	LIITE 2 OULUN LENTOASEMAN HULEVESIMALLIN RAKENNE JA TARKASTELLUT PUTKIOSUUDET .....	72
	LIITE 3 OULU LENTOASEMAN HULEVESIMALLI: PUTKIOSUUDET 3, 4 JA 8 PITUUSLEIKKAUKSET JA KORKEUSMALLIT.....	0

## KUVALUETTELO

<b>Kuva 1.</b>	<i>Euroopan ilmastoalueet (Leviäkangas &amp; Saarikivi 2012)</i> .....	6
<b>Kuva 2.</b>	<i>Merkittävimmät sään ääri-ilmiot Euroopan eri osissa ja ääri- ilmion vaikutuksista kärsivät liikennemuodot (Leviäkangas et al. 2011)</i> .....	7
<b>Kuva 3.</b>	<i>Ilmastomallien keskiarvot, ylä- ja alarajat vuosittaisessa rankkasateiden esiintyvyyden muutoksessa 2011-2040, A: 30 mm, B: 100 mm ja C: 150 mm päiväsadannan suhteen (Vajda et al. 2011)</i> .....	8
<b>Kuva 4.</b>	<i>Ilmastomallien keskiarvo, ylä- ja alarajat vuosittaisessa rankkasatepäivien määrän muutoksessa 2041-2070, A: 30 mm, B: 100 mm ja C: 150 mm päiväsadanta (Vajda et al. 2011)</i> .....	9
<b>Kuva 5.</b>	<i>Ilmastomallien keskiarvo, ylä- ja alaraja vuosittaisessa pakkaspäivien esiintyvyyden muutoksessa 2011-2040, A. 0 °C, B: -7 °C ja C: -20 °C (Vajda et al. 2011)</i> .....	10
<b>Kuva 6.</b>	<i>Ilmastomallien keskiarvo, ylä- ja alarajat vuosittaisesta pakkaspäivien määrän muutoksesta 2041-2070, A: 0 °C, B: -7 °C, C: -20 °C. (Leviäkangas &amp; Saarikivi 2012)</i> .....	10
<b>Kuva 7.</b>	<i>Kaksoiskaivojärjestelmä kiitotien reunakaistalla</i> .....	32
<b>Kuva 8.</b>	<i>Liukkaudentorjunta-aineiden käyttömäärät Finavian lentoasemilla. Nestemäisten liukkaudentorjunta-aineiden osalta on taulukkoon merkitty niiden kuivapaino eli 50 m-% liuoksesta. (Finavia 2015a)</i> .....	35
<b>Kuva 9.</b>	<i>Liukkaudentorjuntakemikaalien levityskertojen prosentuaalinen jakauma eri lämpötilaväleillä Tampere-Pirkkalan lentoasemalla talvikausina 2007/2008 - 2013/2014</i> .....	36
<b>Kuva 10.</b>	<i>Liukkaudentorjuntakemikaalien prosentuaalinen jakauma eri lämpötilaväleillä Oulun lentoasemalla talvikausina 2008/2009 - 2014/2015, talvikauden 2009/2010 tiedot puuttuvat</i> .....	36
<b>Kuva 11.</b>	<i>Liukkaudentorjunta-aineiden käyttömäärät eri lämpötilaväleillä Tampere-Pirkkalan lentoasemalla, talvikausina 2008/2009- 2013/2014</i> .....	38
<b>Kuva 12.</b>	<i>Liukkaudentorjunta-aineiden käyttömäärät eri lämpötilaväleillä Oulun lentoasemalla talvikausina 2007/2008 - 2014/2015, talvikauden 2009/2010 tiedot puuttuvat</i> .....	38
<b>Kuva 13.</b>	<i>Levitetyn kemikaalin määrän vaikutus jäätymispisteeseen eri pinnan kosteuksilla (Heinijoki 2014)</i> .....	39
<b>Kuva 14.</b>	<i>Tampere-Pirkkalan lentoaseman valuma-aluejako ja hulevesiverkosto</i> .....	49
<b>Kuva 15.</b>	<i>Tampere-Pirkkalan lentoaseman hulevesimallin rakenne ja tarkastellut putkiosuudet, sininen alue kuvaa pientä (25 l/s)</i>	

	<i>hulevesivaluntaa ja punainen suurta (100 l/s); sinisten putkiosuuksien tilavuuskapasiteetistä on vallitsevalla ajanhetkellä 0-25 % käytössä, punaisten putkiosuuksien kapasiteetti on täysin käytössä. ....</i>	50
<b>Kuva 16.</b>	<i>Korkeusmalli Tampere-Pirkkalan lentoaseman alueesta, väriskaala vihreästä ruskeaan: vihreä 122-116 m, ruskea 102-98 m.....</i>	51
<b>Kuva 17.</b>	<i>Oulun lentoaseman osavaluma-alueet ja hulevesiverkosto.....</i>	52
<b>Kuva 18.</b>	<i>Oulun lentoaseman hulevesimallin rakenne ja tarkastellut putkiosuudet.....</i>	53
<b>Kuva 19.</b>	<i>Korkeusmalli Oulun lentoaseman alueesta, väriskaala ruskeasta vihreään: ruskea 20-17 m, vihreä 10-8 m.....</i>	54
<b>Kuva 20.</b>	<i>Pituusleikkaus putkiosuudesta 2, sade: 1/5a, 30 min.....</i>	56
<b>Kuva 21.</b>	<i>Pituusleikkaus putkiosuudesta 1, sade: 1/5a, 30 min.....</i>	56
<b>Kuva 22.</b>	<i>Pituusleikkaus putkiosuudesta 3, sade: 1/5a, 30 min; lukusuunta oikealta vasemmalle .....</i>	57
<b>Kuva 23.</b>	<i>Pituusleikkaus putkiosuudesta 3, sade: 1/10a, 30 min.....</i>	57
<b>Kuva 24.</b>	<i>Korkeusmallikuva putkiosuudesta 1 .....</i>	58
<b>Kuva 25.</b>	<i>Tampere-Pirkkalan lentoaseman hulevesiverkoston pituuskaltevuudet; sininen 0-0,1 % pituuskaltevuus, turkoosi 0,11-0,5 %, vihreä 0,51-1,5 %, keltainen 1,51-2,00 ja punainen yli 2,00 %.....</i>	59
<b>Kuva 26.</b>	<i>Pituusleikkaus putkiosuudesta 5, sade: 1/5a, 30 min.....</i>	60
<b>Kuva 27.</b>	<i>Korkeusmalli putkiosuudesta 5.....</i>	60
<b>Kuva 28.</b>	<i>Pituusleikkaus putkiosuudesta 6, sade: 1/5a,30 min.....</i>	61
<b>Kuva 29.</b>	<i>Pituusleikkaus putkiosuudesta 7, sade: 1/5a, 30 min.....</i>	61
<b>Kuva 30.</b>	<i>Korkeusmalli Oulun lentoaseman putkiosuuksista 6 ja 7.....</i>	62
<b>Kuva 31.</b>	<i>Oulun lentoaseman hulevesiputkien pituuskaltevuudet.....</i>	63

# 1. JOHDANTO

Ilmastonmuutos vaikuttaa Suomen lentoasemien toimintaan monien vaikutuksien kautta. Sademäärät lisääntyvät ja liukkaudentorjuntaa edellyttävien nollakelien paikallinen esiintyvyys muuttuu. Erityisesti lyhytkestoisten rankkasateiden intensiteetti kasvaa, mikä tulee huomioida lentoasemien hulevesiverkoston ja tulvareittien kapasiteetissä (Makkonen & Tikanmäki 2008). Hulevedellä tarkoitetaan sateen tai sulamisen myötä pinnoilla valuvaa vettä, joka virtaa viemäriin. Aluetta, jolta kaikki pohja- ja pintavedet virtaavat samaan paikkaan, kutsutaan valuma-alueeksi. Ilmastonmuutos tulee myös nostamaan lämpötiloja ja muuttamaan tuuliolosuhteita

Ilmastonmuutosta ei voida enää estää, joten sen vaikutuksiin suositellaan varauduttavan (MMM 2014). Ennakoiva varautuminen tulee useimmiten reagoivaa vahinkojen korjaamista edullisemmaksi suoraan ja välillisesti. Lentoasemilla välilliset kustannukset kohoavat nopeasti, jos lentoliikenne häiriintyy kiitotielle kerääntyvän veden tai kiitotien liukkauden vuoksi. Erityisesti sumu, lumi ja tuuli voivat haitata lentokoneiden nousua ja laskeutumista. Kapasiteettinsa ylärajoilla toimivat lentoasemat ovat tässä suhteessa haavoittuvaisimpia, koska muutamien koneiden myöhästyminen vaikuttaa myös muiden koneiden aikatauluihin. Sään vaikutus ilmailuun tulee voimistumaan tulevaisuudessa, niin ilmastonmuutoksen vuoksi kuin myös lentoliikenteen yleistymisen myötä. (Leviäkangas & Saarikivi 2012)

Vuotuinen kokonaissademäärän on arvioitu kasvavan Suomessa 8-20 % ilmastoskenaariosta riippuen. Skenaariot poikkeavat toisistaan kasvihuonekaasupäästöjen laskemisenusteiltaan. Mitä tehokkaammin päästöjä saadaan vähennettyä, sitä pienemmät vaikutukset ilmastonmuutoksella on. Sademäärät tulevat lisääntymään enemmän talvella kuin kesällä. Kesäsateet lisääntyvät Pohjois-Suomessa Etelä-Suomea enemmän. (Ruosteenoja 2013)

Kuuden tunnin ja viiden vuorokauden aikana kertyvien sateiden maksimivoimakkuus kasvaa yleisesti Suomessa noin 50 %, mikä tulee huomioida hulevesiverkoston ja tulvareittien mitoituksessa. Jäätymis-sulamissyklit, jotka aiheuttavat liukkaudentorjuntatarvetta, tulevat yleistymään Pohjois-Suomessa ja harventumaan Etelä-Suomessa. (Makkonen & Tikanmäki 2008)

Suomessa hulevesiviemärin tekninen käyttöikä voi olla 50-100 vuotta, mutta suunnittelu tehdään 20-40 vuoden ajanjaksolle. Tämä johtuu ympäristön maankäytön epävarmuudesta. Maankäyttö vaikuttaa merkittävästi hulevesivirtaamiin, koska rakennetun ympäristön huonosti vettä läpäisevät pinnat kasvattavat hulevesivirtaamia paikallisesti.



Maankäytön muutosten lisäksi ilmastonmuutoksen vaikutukset sadantaan tulee huomioida. Jotta hulevesien aiheuttamien riskien ja kustannusten suhde olisi paras mahdollinen, suunnittelussa tulee käyttää paikallisia ilmastonmuutosennusteita. (Britschingi et al. 2012) Ilmastonmuutosennusteet koostuvat kasvihuonekaasuskenaarioista ja ilmastomalleista. (Jylhä et al. 2009)

Tämän työn tavoitteena on laatia kirjallisuuskatsaus eri organisaatioiden julkaisuista, jotka käsittelevät ilmastonmuutoksen vaikutuksia ilmailuun ja vaikutuksiin varautumisesta. Kirjallisuuskatsauksessa esitellään myös Suomen eri osien ilmastonmuutosennusteita. Ilmastonmuutoksen vaikutuksista keskitytään hulevesiin ja liukkaudentorjuntaan. Soveltavassa osuudessa tarkastellaan Oulun ja Tampere-Pirkkalan lentoasemien hulevesijärjestelmän ja liukkaudentorjuntamenetelmien soveltuvuutta vuoden 2060 ilmasto-oloihin.

## 2. TAUSTA

Tässä luvussa esitellään muun muassa kansainvälisiä, pohjoismaisia ja kotimaisia ilmastomuutostutkimuksia, joissa on laadittu ilmastomuutosennusteita ja kehitetty varautumiskeinoja ilmastomuutoksen vaikutuksiin. Lisäksi luvussa esitellään Suomen lentoasemien yleisiä hulevesienhallinta- sekä liukkaudentorjuntamenetelmiä.

### 2.1 Kansainvälinen ilmastomuutos- ja ilmailututkimus

Tässä luvussa kerrotaan ensin kansainvälisten tahojen arvioita ilmastomuutoksen vaikutuksista ilmailuun ja vaikutuksiin sopeutumisesta. Mukaan valikoitiin maailmanlaajuisen ilmastomuutostutkimuksen julkaisija IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change) ja ilmailun maailman kattojärjestö ICAO (International Civil Aviation Organization). Ensimmäisen alaluvun lopussa esitellään ilmastomuutostutkimuksen tuloksia Euroopassa ja toisessa alaluvussa keskitytään verrokkimaiden havaitsemiin ilmastomuutosriskeihin sekä niihin sopeutumiseen.

#### 2.1.1 Hallitustenvälinen ilmastomuutospaneeli ja ilmastomuutoksen vaikutukset ilmailuun

Yhdistyneiden kansakuntien ympäristöohjelma UNEP (United Nations Environment Programme) ja Maailman Ilmatieteen Järjestö WMO (World Meteorological Organization) perustivat vuonna 1998 Hallitustenvälisen ilmastomuutospaneelin eli IPCC:n. Sen tehtävänä on arvioida ja tarkastaa viimeisin tieteellinen, tekninen ja sosio-ekonominen tieto, joka auttaa ymmärtämään ilmastomuutosta. Ilmastomuutostietoa kootaan päätöksentekijöiden työn tueksi. Viimeisin tieto ilmastomuutoksesta kootaan arviointiraportteihin. IPCC ei tee tutkimusta eikä mittauksia, vaan keskittyy tiedon kokoamiseen ja kattavan vertaisarvioinnin järjestämiseen. Vertaisarvioinnilla parannetaan julkaisujen luotettavuutta ja riippumattomuutta. (IPCC 2015)

IPCC julkaisi vuonna 2014 viidennen arviointiraporttinsa *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Sen mukaan Euroopassa tullaan havaitsemaan paikallista vaihtelua ilmastomuutoksen vaikutuksien suhteen. Lämpötilat tulevat nousemaan koko Euroopassa ja sadanta Pohjois-Euroopassa. Ääri-ilmiöt kuten korkeat lämpötilat, kuivuus ja rankkasateet tulevat yleistymään selvästi. Pohjois- ja Keski-Euroopassa myös kovat tuulet tulevat yleistymään talvisin. Etelä-Euroopassa yleistyvät ja voimistuvat lämpöaallot tulevat vaikuttamaan haitallisesti ja laaja-alaisesti esimerkiksi liikenteeseen, terveyteen ja teollisuuteen. (Kovats et al. 2014)

Viidennen arviointiraportin mukaan liikenteen ja erityisesti lentoliikenteen haavoittuvuutta pitää tutkia enemmän. Haavoittuvuuteen vaikuttavat ilmastotekijöiden lisäksi muutkin tekijät kuten matkustajamäärien muutokset, lentoasemien kapasiteetti ja lentoliikenteen kysyntä. Lentoliikenteen epätasällisuuden odotetaan yleistyvän tulevaisuuden lämpötila- ja tuulisuusmuutosten myötä. (Kovats et al. 2014)

### **2.1.2 Ilmastonmuutoksen vaikutuksiin varautuminen siviili-ilmailun kattojärjestössä**

Maailmanlaajuinen siviili-ilmailun kattojärjestö *International Civil Aviation Organization* (ICAO) on Yhdistyneiden Kansakuntien alainen yhteistyöjärjestö. Vuonna 1944 perustettu yhteistyöjärjestö laatii 191 jäsenmaansa ja globaalien ilmailuorganisaatioiden kanssa standardeja ja suositeltuja toimintatapoja (Standards and Recommended Practices, SARPs), jotka ovat lähtökohtana kansallisten ilmailumääräysten laadinnassa. (ICAO 2015)

Ympäristönsuojelu on yksi ICAO:n strategisista tavoitteista. Siihen liittyy ilmailualalla useita tekijöitä, joista ilmastonmuutos on yksi. ICAO on laatinut alue- ja maakohtaisia toimintasuunnitelmia ilmastonmuutoksen estämiseksi ja hillitsemiseksi. Toimintasuunnitelmat keskittyvät hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen. (ICAO 2015)

Vuonna 2007 julkaistun IPCC:n raportin myötä myös ICAO on kiinnittänyt entistä enemmän huomiota päästöjen vähentämisen lisäksi myös ilmastonmuutokseen sopeutumiseen. ICAO:n julkaisuissa on todettu, ettei päästöjen vähentäminen ole riittävä keino ilmastonmuutokseen varautumisessa, vaan lisäksi tulee kehittää keinoja sopeutumiseen. ICAO:n ympäristönsuojeluohjelma kuitenkin keskittyy edelleen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen, lentomelun hallinnan ja ilmanlaadun parantamisen ohella. (ICAO 2015a; ICAO 2015b)

ICAO julkaisee kolmen vuoden välein ympäristöraportin, jossa kerrotaan organisaation ja sen sidosryhmien työstä kestävästä ilmailun hyväksi. Vuonna 2013 julkaistussa, uusimmassa ympäristöraportissa kerrotaan ICAO:n ympäristönsuojeluhankkeiden etenemisestä ja esitellään ideoita sekä ratkaisuja ilmailuun ja ympäristöön liittyen. Pääosassa uusimmassa ympäristöraportissa ovat kansalliset toimintasuunnitelmat kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi ja toimet ilmailun ympäristövaikutusten vähentämiseksi. Sopeutumistoimille on kuitenkin oma lukunsa. (Swedavia 2015)

Ympäristöraportin sopeutumisluvussa käsitellään havaittuja ilmatoriskejä, niihin varautumista ja varautumisen rahoittamista sekä aikataulua. ICAO:n ja WMO:n mukaan hälyttävimmät riskit ilmastonmuutokseen ja ilmailuun liittyen ovat sosioeettiset vaikutukset kuten tartuntatautien leviäminen lentoliikenteen myötä, polttoaineiden käytön ja jakelun kestävyys sekä operatiiviset riskit ja onnettomuudet. Lentoliikenne on ollut merkittävässä asemassa sikainfluenssa- ja SARS-pandemioissa. On epäselvää, miten vaih-

toehtoisten polttoaineiden hinta ja saatavuus vaikuttavat ilmailun kasvupotentiaalin kestävyteen. Polttoaineiden jakelu on usein riippuvaista tieverkostosta ja polttoaineen kulutus voi lisääntyä tulevaisuudessa. Lentoreiteillä yleistynyt turbulenssi voi muuttaa lentoreittejä, mikä voi lisätä polttoaineen kulutusta. (Swedavia 2015)

Operatiiviset riskit ja onnettomuudet liittyvät ilmastonmuutoksen vaikutuksiin lentoliikenteen tehokkuuteen ja luotettavuuteen. Pohjois-Amerikan ilmailuhallinto *Federal Aviation Administration* (FAA) on todennut 70 % viivästyksistä johtuvan säästä. Kaksi kolmasosaa näistä viivästyksistä voitaisiin välttää, jos säätiedotukset olisivat parempia.. (Kulesa 2003) Luotettavampi säätieto mahdollistaisi täsmällisemmän lentoreittien suunnittelun ja sen seurauksena parantaisi asiakkaiden palvelutasoa. Tulevaisuudessa haitallisten sääilmiöiden taajuus ja kesto tulevat lisääntymään, mikä lisää täsmällisempien sääennusteiden tarvetta.(Kulesa 2003; ICAO 2010) Erityisesti varoitusjärjestelmää pitäisi parantaa. (Swedavia 2015)

### **2.1.3 Sään ääri-ilmiöiden vaikutukset Euroopan liikenneverkostoihin**

Euroopan Komission rahoittama tutkimushanke EWENT (*Extreme Weather Impacts on European Networks of Transport*) tarkasteli sään ääri-ilmiöiden vaikutuksia Euroopan liikenneverkostoihin. Tutkimuksen lähestymistapa oli riskienhallintamalli, jossa ensin tunnistettiin haitalliset sääilmiöt, määritettiin niiden esiintyvyyden todennäköisyys, arvioitiin sääilmiön haitalliset vaikutukset sekä niistä aiheutuvat kustannukset ja lopulta arvioitiin sääilmiön aiheuttaman riskin suuruus. Viimeisessä vaiheessa kehitettiin tapoja pienentää sääilmiöiden aiheuttamia riskejä ja sopeutua sääilmiöihin. Nämä vaiheet on jaettu tutkimuksessa työpaketteihin, joiden tulokset on koottu omiin raportteihinsa. (Leviäkangas & Saarikivi 2012)

EWENT-hankkeessa keskityttiin sääilmiöistä kovaan tuuleen, voimakkaaseen lumisaateeseen, lumimyrskyihin, rankkasateisiin, kylmiin jaksoihin ja lämpöaaltoihin. Sääilmiöiden esiintyvyyksien ja vaikutuksen arviointia varten Eurooppa jaettiin kuuteen osaan nykyisten ilmasto-olojen perusteella. Aluejako on esitetty kuvassa 1. (Leviäkangas & Saarikivi 2012)

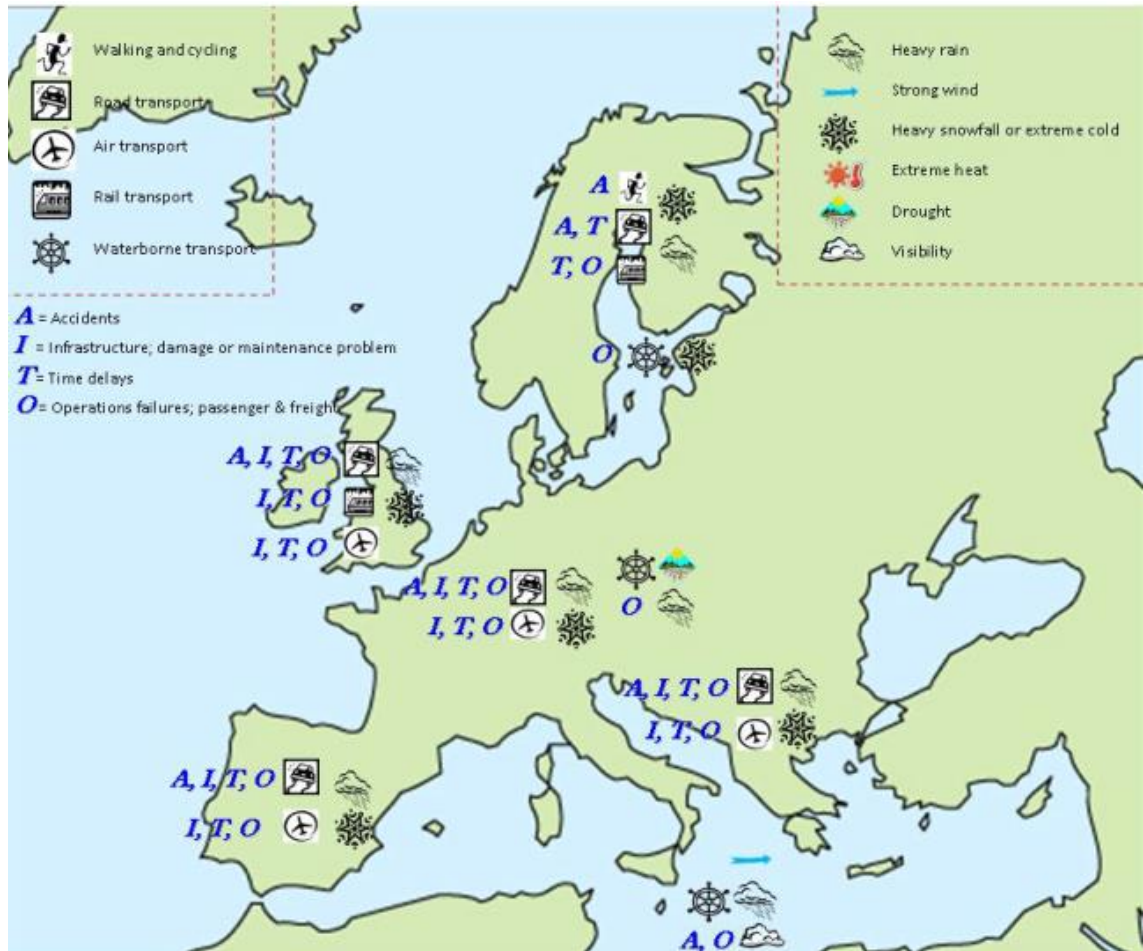


**Kuva 1.** Euroopan ilmastoalueet (Leviäkangas & Saarikivi 2012)

Suomi kuuluu ilmastoaluejaossa Pohjois-Euroopan alueeseen. Norja ja Ruotsi kuuluvat Pohjois-Euroopan ilmastoalueen lisäksi vuoristoalueeseen.

Sään ääri-ilmiöiden esiintyvyyttä ja vaikutusten kohdentumista liikennetyypeittäin on havainnollistettu kuvassa 2 (Leviäkangas et al. 2011). Pohjois-Euroopassa merkittävimmät ilmatoriskit liittyvät rankan lumisateen, äärimmäisen kylmyyden tai rankan vesisateen aiheuttamiin vaikutuksiin. Pohjois-Euroopassa kevytliikenne kärsii tapaturmavaarasta, tieliikenne tapaturma- ja viivästymisriskeistä ja raideliikenne viivästymisestä sekä operatiivisista riskeistä. Kaikilla muilla alueilla infrastruktuuriin, viemäreihin ja kunnossapitoon kohdistuu rankkasateista tai voimakkaista lumisateista aiheutuvia riskejä. Useilla alueilla on infrastruktuuriin, viivästyksiin ja operatiiviseen toimintaan liittyviä riskejä, jotka vaikuttavat lentoliikenteeseen. (Leviäkangas & Saarikivi 2012)

Sateella on sääilmiöistä haitallisin vaikutus liikennemuotoihin. Vähäinenkin mutta toistuva sade ja hulevesitulvat kuluttavat teiden ja ratapenkereiden tuki- ja pintarakenteita. Liikennemuodosta tieliikenne on haavoittuvaisin. EWENT-hankkeen tulosten mukaan tulevaisuudessa lentoliikenteellä saatetaan korvata tiekuljetuksia, jos tieyhteydet ovat epäkunnossa sään ääri-ilmiöiden takia. (Leviäkangas & Saarikivi 2012)



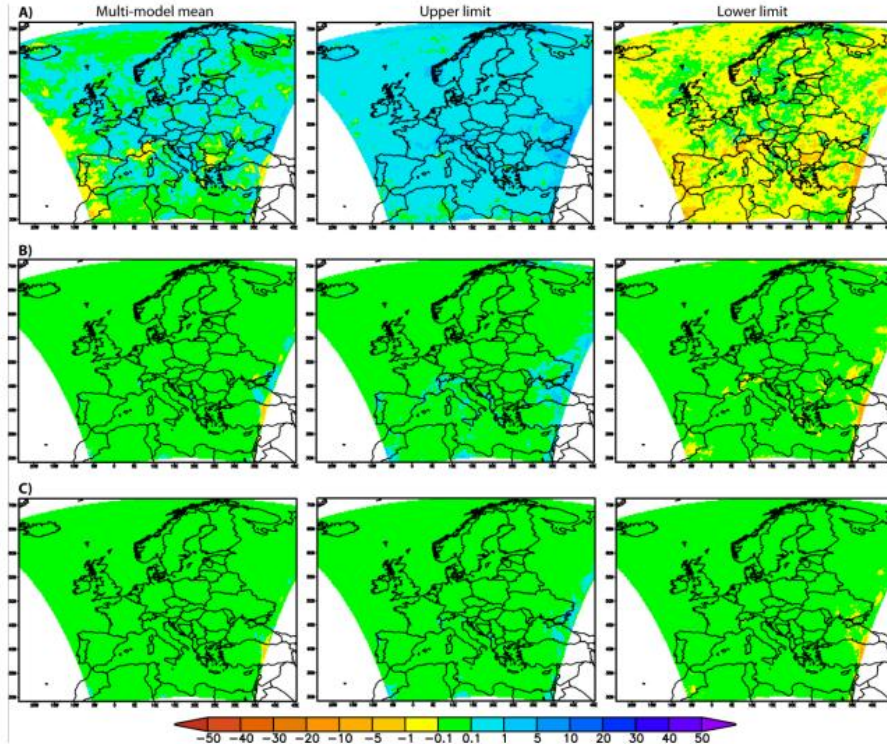
**Kuva 2.** Merkittävimmät sään ääri-ilmiöt Euroopan eri osissa ja ääri-ilmiön vaikutuksista kärsivät liikennemuodot (Leviäkangas et al. 2011)

EWENT-hankkeessa koottiin yhteen historiatietoa sään ääri-ilmiöiden esiintyvyydestä eri tietokannoista. Tietokantoina olivat E-OBS European high resolution land-only gridded dataset, joka perustuu päivittäisen keski-, minimi- ja maksimilämpötilojen sekä sadannan tilastointiin Euroopan sääasemilla vuosina 1971-2000. Toinen tietokanta oli ERA-Interim reanalysis dataset, johon on koottu European Centre for Medium-range Weather Forecasting -laitoksen kokoamaa tietoa atmosfäärin tilasta.

Historiatietoja verrattiin ENSEMBLES 2004-2009 -projektissa kehitettyjen ilmastonmuutosmallien tuloksiin, jolloin saatiin laadittua muutosennusteita. ENSEMBLES-projektissa tehtiin kuusi korkean resoluution ( $25 \times 25 \text{ km}^2$ ) ilmastomallia. Ilmastomallien ajoissa käytettiin A1B (keski, ei vähentämistä) -päästöskenaariota ilmastonmuutoksen ennustamiseen ajanjaksoille 2011-2040 ja 2041-2070. Verrokiajanjaksona oli 1971-2000. Perusteena A1B-päästöskenaariolla valinnalle oli oletus, että päästöjen määrään liittyvä epävarmuus vaikuttaa ilmastomallin tuloksiin vasta vuoden 2050 jälkeen.

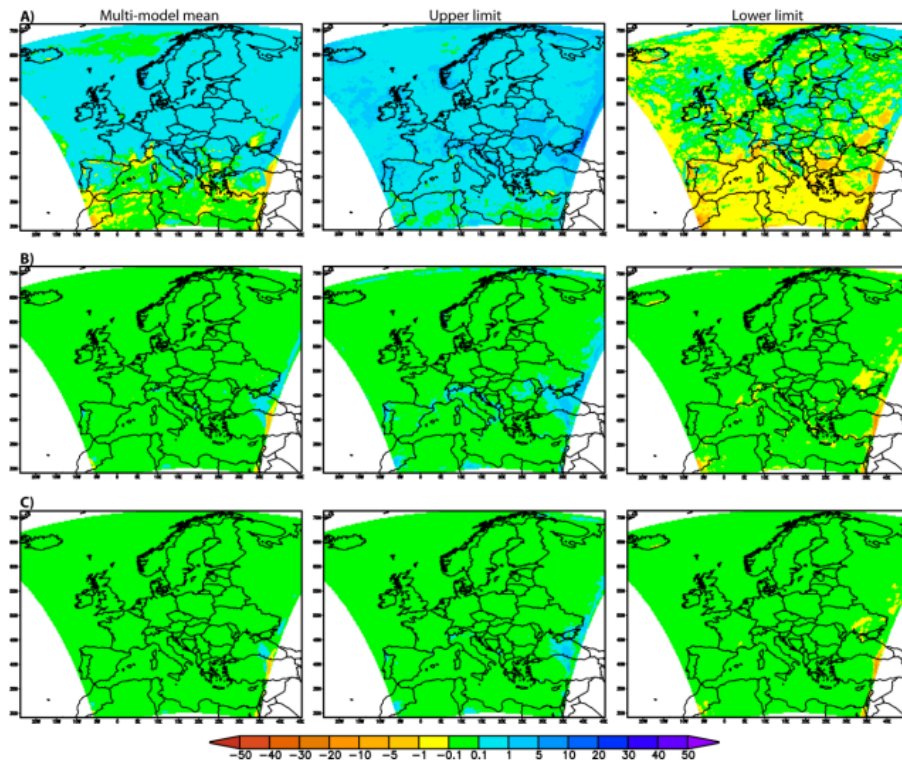
Ilmastomallien ja historiatietojen perusteella laadittiin ilmastonmuutosennusteita, jotka ovat kuuden ilmastomallin tulosten keskiarvoja ja lisäksi arvioitiin eri sääilmiöiden

muutoksiin liittyvät ylä- ja alarajat. Ylärajat ilmaisevat ”positiivisimman” vaikutuksen, kuten kuinka paljon hellepäivät voivat korkeintaan yleistyä, ja alarajat ”negatiivisimman vaikutuksen”, kuten hellepäivien suurimman vähenemän. Ilmastomuutosennusteet sääilmiöittäin ovat kuvissa 3-7.



**Kuva 3.** Ilmastomallien keskiarvot, ylä- ja alarajat vuosittaisessa rannkasateiden esiintyvyyden muutoksessa 2011-2040, A: 30 mm, B: 100 mm ja C: 150 mm päiväsadannan suhteen (Vajda et al. 2011)

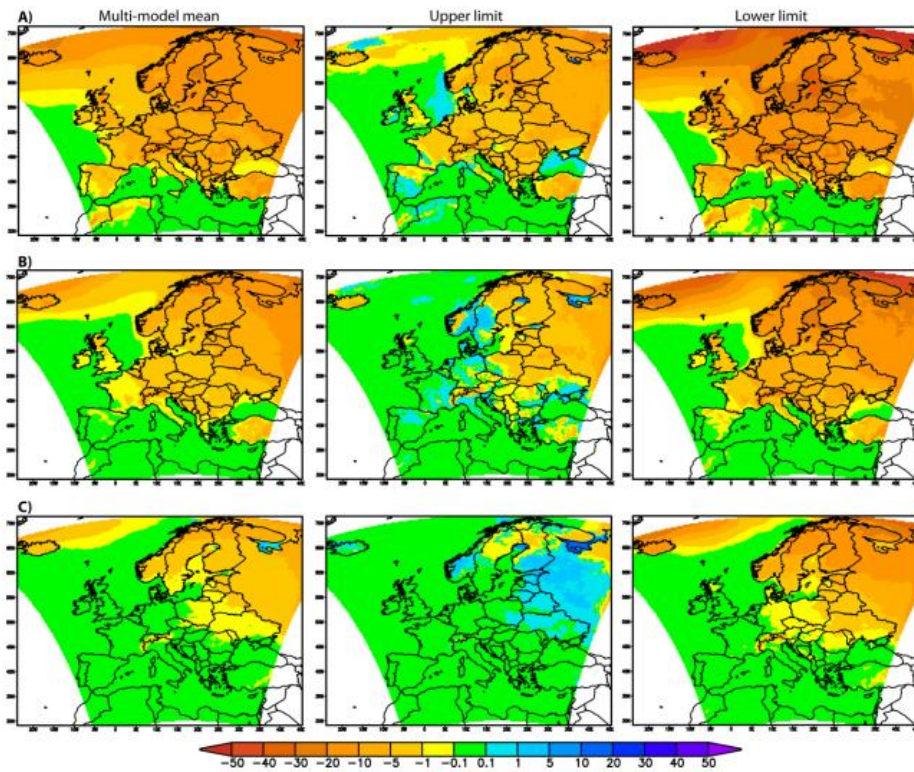
Kuvista 3 ja 4 nähdään, että rannkasatepäivät (>30mm/d) tulevat ensin yleistymään kaikkialla Euroopassa päivällä vuodessa ja myöhemmin 1-5 päivää vuodessa kaikkialla muualla paitsi Välimeren alueella. Erittäin rannkojen sateiden (> 100mm/d) esiintyvyyden on ennustettu vähenevän 2011-2040 ja pysyvän muuttumattomana 2041-2070 ajanjaksoon 1971-2000 verrattuna. Tulosten laskennassa käytetyt kuusi ilmastomallia eivät antaneet yhteneviä ennusteita rannkasateiden esiintyvyyden muutoksesta. Tämä on nähtävissä ylä- ja alarajakuvien erilaisuudesta. Eroavaisuudet johtunevat ilmastomallien välisistä eroista. (Vajda et al. 2011)



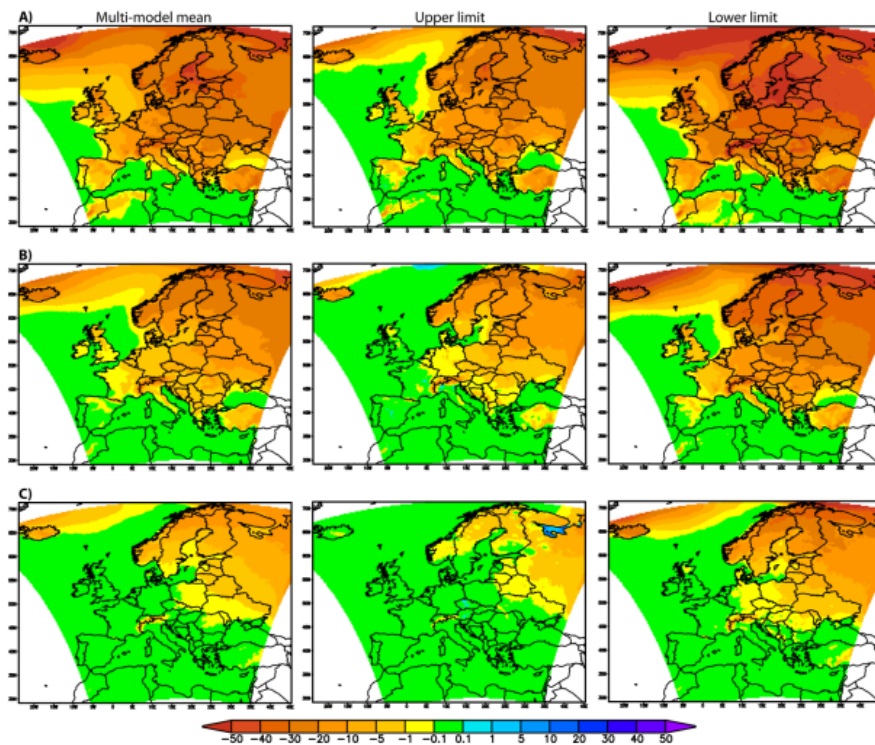
**Kuva 4.** Ilmastomallien keskiarvo, ylä- ja alarajat vuosittaisessa rakkasadepäivien määrän muutoksessa 2041-2070, A: 30 mm, B: 100 mm ja C: 150 mm päiväsadanta (Vajda et al. 2011)

Kuvista 5 ja 6 nähdään, että pakkaspäivien määrä tulee ensin vähentymään maltillisemmin (2011-2040 noin 10 d/a) ja myöhemmin runsaasti (2041-2070 noin 20 d/a). Vähenneminen on suurinta molempina tarkastelujaksoina Pohjois-Euroopassa. Vuoteen 2070 mennessä pakkaspäivien vähenemä Pohjois-Euroopassa voi olla jopa 20-30 päivää vuodessa. Vähenemä pienenee etelää kohti, missä se on 1-5 päivää vuodessa. Pakkaspäivien esiintyvyys Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa vuonna 2050 tulee todennäköisesti olemaan sama kuin Puolan ja Ukrainan alueilla nykyisin. (Vajda et al. 2011)





**Kuva 5.** Ilmastomallien keskiarvo, ylä- ja alaraja vuosittaisessa pakkaspäivien esiintyvyyden muutoksessa 2011-2040, A: 0 °C, B: -7 °C ja C: -20 °C (Vajda et al. 2011)



**Kuva 6.** Ilmastomallien keskiarvo, ylä- ja alarajat vuosittaisesta pakkaspäivien määrän muutoksesta 2041-2070, A: 0 °C, B: -7 °C, C: -20 °C. (Leviäkangas & Saarikivi 2012)

EWENT-hankkeen raporteissa (*Vajda et al. 2011*) ja (*Leviäkangas & Saarikivi 2012*) on esitelty vastaavat kuvasarjat ilmastonmuutosennusteista lumisateen, lumimyrskyjen, kovan tuulen ja hellepäivien esiintyvyyden muutoksista. Ennustetun ilmastonmuutoksen vaikutuksia ilmailuun ja vaikutuksiin varautumistapoja on esitelty tämän diplomityön kappaleessa 2.1.2 Ilmastonmuutoksen vaikutukset ilmailuun verrokkimaissa.

## **2.1.4 Ilmastonmuutoksen vaikutukset ilmailuun verrokkimaissa ja Euroopassa**

Tässä luvussa esitellään ja verrataan toisiinsa ennustettuja ilmastonmuutoksen vaikutuksia ilmailuun USA:ssa, Euroopassa, Norjassa ja Ruotsissa. Verrokkimaat valittiin samankaltaisen ilmaston perusteella. Ennustetut vaikutukset ja varautumiskeinot on koottu taulukkoon 1. Taulukossa ”x” tarkoittaa, että samalla rivillä lukeva riski on tunnistettu kyseisessä valtiossa tai maanosassa. Kaikki yhdestä ilmastonmuutoksen vaikutuksesta aiheutuvat riskit ovat taulukossa allekkain.

Taulukko sisältää vain kullakin alueella tunnistetut ilmatoriskit. Se, ettei alueella ole lähteiden mukaan tunnistettu riskiä ei tarkoita sitä, ettei sitä voisi olla. Samoin taulukkoon on koottu vain otos alueilla tunnistetuista ilmatoriskeistä. Laajoilla alueilla ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat usein ristikkäisiä. Erityisesti keskilämpötilan muutos aiheuttaa eri alueilla hyvin erilaisia vaikutuksia.

Sadanta lisääntyy ja keskilämpötila nousee kaikilla tarkastelualueilla (taulukko 1). Sadannan lisääntyminen voi aiheuttaa kaikkialla hulevesitulvia hulevesiverkoston riittämättömän kapasiteetin takia. Yleisesti suunniteltuja toimenpiteitä sadantaan varautumiseksi on haavoittuvaisten toimintojen suojaaminen ja hulevesiverkoston rakennustavan kehittäminen. Myös vesistöjen pinnankorkeuden nousu aiheuttaa ongelmia hulevesiverkostolle monissa paikoissa. Hulevesi ei virtaa ulos verkostosta, jos sen alapuolisen vesistön pinnankorkeus nousee riittävästi. Varautumismenetelmät purkuvesistön pinnan nousuun vaihtelevat, mutta useat niistä pyrkivät suojaamaan olemassa olevia rakenteita kaivamalla lisää ojia tai korottamalla kriittisiä rakenteita.

Liukkaudentorjuntatarvetta lisäävät nollakelit pääasiassa vähenevät, mutta tarkastelualueiden pohjoisosissa ne voivat myös yleistyä. Sama paikallinen ilmiö koskee lumisateen määrää. Liukkaudentorjuntaan ja lumenpoistoon varaudutaan samoilla talvikunnossapidon keinoilla kuin nykyisinkin. Ympäristölupien raja-arvot voivat muodostua ongelmiksi lentoasemilla, joilla liukkaudentorjuntatarve lisääntyy merkittävästi.

**Taulukko 1** Ilmastonmuutoksen vaikutukset ilmailuun ja niihin varautuminen verrokkimaissa, Euroopassa ja Suomessa

Ilmastonmuutoksen vaikutus	Aiheutuva riski	USA	Toimenpiteet	Eurooppa	Toimenpiteet	Ruotsi	Toimenpiteet	Norja	Toimenpiteet	Suomi
Sadannan kasvu	Lentokenttärakenteiden (kiitotiet, hulevesiviemärit, asematasot) tulviminen	x	Olemassa olevien ja haavoittuvaisten rakenteiden suojaus; Kohdennettu kunnossapito; Parempi maankäyttö tulvavesialueilla; Katu- ja viemärisuunnittelun kehitys	x	Toiminnan vikasiedon ja joustavuuden lisäys; Sääpalveluiden hyödyntämisen kehittäminen; Koulutus	x	Hulevesijärjestelmän nykytilan selvitys	x	Teknisten tilojen sijoittaminen toiseen kerrokseen tietyillä lentoasemilla; Sulkemisehdot kiitoteille ja turva-alueille; Pituus- ja poikittaiskaltevuuden kasvatusta kiitoteillä ja suoja-alueilla; Yhteistyö paikallisten tie- ja kuljetusorganisaatioiden kanssa	x
	Kiitoteiden kantavuuden heikentyminen					x	Jatkuva kunnossapito, rakennusvaatimusten muuttaminen	x	Rakennus-, materiaali- ja suunnittelustandardit uusien kiitoteiden rakentamiseen; Tutkavalvonta kiitotien alaisen maan siirtymien havaitsemiseen	
	Kemikaalipäästöt vesistöihin viemäreiden tulviessa					x	Ureapitoisten vesien puhdistusjärjestelmän kehittäminen	x	Putkistojen visuaalinen valvonta; Säännöllinen putkistojen kunnan tarkastus; Poikkeamailmoitusten toimitus tietokantaan ja arvio jatkotoimenpiteiden tarpeesta	
	Sumun yleistyminen	x	Siirtyminen mittarilentosäännöistä näkölentosääntöihin; Ilma-alusten porrastus							
	Muita riskejä	x				x				



Ilmatonmuutoksen vaikutus	Aiheutuva riski	USA	Toimenpiteet	Eurooppa	Toimenpiteet	Ruotsi	Toimenpiteet	Norja	Toimenpiteet	Suomi
Pohjaveden korkeuden muutos	Kemikaalien vähentyvä hajoaminen maaperässä							x	Kokooma-allas jäänestokemikaaleille; Kemikaalien kokoomiskäytännöt rakennuksille, joissa käsitellään kemikaaleja; Varautumissuunnitelma ja materiaalit sen toteuttamiseen; Jäänpoistoalue, Ympäristöystävällisemmät kemikaalit; Lupamääräykset hajoamiskapasiteetin mukaan; Ympäristömerkityt kemikaalit; Kemikaalien käytön seuranta	
Nollakelin yleistyminen	Liukkaudentorjuntatarpeen kasvu	x Osassa maata				x Pohjois-Ruotsissa		x Pohjois-Norjassa	Talvikunnossapito	x
	Jäänesto- ja poistotarpeen kasvu					x Pohjois-Ruotsissa			Talvikunnossapito	
Voimakas tuuli	Haasteet lentoonlähdössä ja laskeutumisessa			x	Paikallinen riskinarviointi; Toiminnan vikasiedon ja joustavuuden lisäys	x				
Konvektion yleistyminen	Ukonilmojen yleistyminen: viivästykset, ilmatilan tai lentoasemien sulkeminen	x		x	Toiminnan vikasiedon ja joustavuuden lisäys; Lentokoneiden säähavainnointilaitteiden kehitys; Sääennusteiden hyödyntämisen parannus; Koulutus					



Ilmastonmuutoksen vaikutus	Aiheutuva riski	USA	Toimenpiteet	Eurooppa	Toimenpiteet	Ruotsi	Toimenpiteet	Norja	Toimenpiteet	Suomi
Lumisateen yleistyminen	Lumenpoistotarpeen lisääntyminen							x	Kokeneen henkilökunnan ja kaluston uudelleensijoitus	
	Näkyvyyden heikentyminen					x		x		
	Sähkökatkot					x				
	Kiitotievalaistuksen peittyminen							x	Jatkuva valvonta ja lumenpoisto	
Lumisateen harvinaistuminen	Lumenpoistotarpeen vähentyminen	x								
Lähteet		(Baglin 2012)	(Eurocontrol 2013; Leviäkangas & Saarikivi 2012)	(SOU 2007)	(Bardalen A. et al. 2010; Larsen 2015)	(Salanne et al. 2010)				

Alueilla, joilla keskilämpötila nousee korkeaksi kiitoteiden pituusvaatimukset voivat muuttua. Myös lentomelu lisääntyy, jos laskeutumis- ja lentoonlähtömatkat pitenevät. (Eurocontrol 2013; Baglin 2012; Leviäkangas & Saarikivi 2012)

Ilmastonmuutokseen sopeutumisessa sääennusteiden luotettavuus ja saavutettavuus ovat avainasemassa. Ilmailusääennusteiden laadinnassa pyritään hyödyntämään tehokkaampia valvonta- ja mittausjärjestelmiä. Ilmastonmuutoksen myötä on tärkeää kyetä ennustamaan ilmailulle erityisen haitalliset säätilat ja tiedottamaan niistä niin, että kaikki ilmatilankäyttäjät pystyvät suunnittelemaan toimintansa ennusteen mukaan. (Heinijoki 2015)

Ilmastonmuutoksen vaikutuksista ilmailuun Suomessa on julkaistu vain vähän tutkimustuloksia. Liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) julkaisussa *Ilmastonmuutos ja tavara-liikenne* (Salanne et al. 2010) on mainittu liukkaudentorjuntatarpeen kasvavan ja lumenpoistotarpeen vähenevän. Keinoja ilmastonmuutoksen vaikutuksiin varautumiseen ei ole eritelty. LVM:n tutkimushanke on esitelty tarkemmin luvussa 3.

Maa- ja aluekohtaisia ilmastonmuutosennusteita, niiden vaikutuksia ja vaikutuksiin varautumiskeinoja on esitelty tarkemmin seuraavissa alaluvuissa.

#### **2.1.4.1 Yhdysvallat**

Amerikan ilmailuhallinnon (Federal Aviation Administration FAA) alainen Transportation Research Board julkaisi vuonna 2012 tutkimusraportin, jossa esitellään ilmastonmuutoksen aiheuttamia riskejä Amerikan lentoasemille. Riskejä tunnistettiin ja arvioitiin kirjallisuuskatsauksella ja lentoasemille suunnatulla kyselytutkimuksella. Kirjallisuuskatsauksella ja haastatteluilla kartoitettiin myös sopeutumismenetelmiä ja sietokykyä (resilience) lisääviä tekijöitä. Kyselytutkimuksen tavoitteena oli selvittää lentoasemien valmius selviytyä sään aiheuttamista häiriöistä, ilmastonmuutoksen aiheuttamista riskeistä ja toimintatavat näiden asioiden hallintaan. Kyselytutkimukseen osallistui 16 lentoasemaa. Vastausten perusteella laadittiin tapausesimerkkejä, jotka havainnollistavat ilmastonmuutoksen aiheuttamia riskejä lentoasemille maan eri osissa ja lentoasemien toimintatapoja riskien hallitsemiseksi. Kyselytutkimuksessa kartoitettiin myös syitä, jotka edistävät ilmastonmuutoksen vaikutuksiin varautumista. Yleisimmin mainittuja syitä olivat:

- Voimakkaat sääilmiöt ja niihin liittyvät kustannukset
- Lisääntynyt tietoisuus kestäväen toiminnan periaatteista ja kasvihuonekaasujen vähennysmenetelmistä
- Tekniikan ammattilaisten laatima sopeutumismalliohjeistus (”Model adaptation guidance prepared by a professional society in a technical field”)
- Korkeimman johdon näkyvä sitoutuminen
- Organisaation sisäisten esimiesten näkyvä sitoutuminen
- Henkilöstön ammatillinen sitoutuminen



- Osallistuminen osavaltion, alueellisen ja paikallisen sopeutumissuunnitelman laatimiseen
- Liittovaltion tuet ja suunnitteluviitekehykset

FAA tunnisti ja arvioi lukuisia eri ilmastotekijöiden muutoksien aiheuttamia riskejä ilmailulle. Eniten riskejä aiheuttavat lämpötilan ja sadannan muutokset. Tutkimuksessa ei ole arvioitu riskien merkityksellisyyttä toisiinsa nähden, koska yksittäisen riskin suuruus vaihtelee merkittävästi eri alueilla. Maanlaajuiset riskienarvioinnit tarvitsevat tuekseen paikallisia ilmastoriskinarvioita. Amerikassa on laadittu paljon osavaltiokohtaisia ilmastomuutosennusteita, joissa on tarkasteltu ilmastomuutoksen vaikutuksia liikenteeseen, mutta ilmailuun keskittyviä ilmastomuutosriskiarvioita on vähemmän. (Baglin 2012)

Ilmastomuutosennusteet pohjautuvat lukuisten julkaisujen tuloksiin eikä raportissa ole mainittu vaikutuskohtaisesti, milloin vaikutuksen odotetaan esiintyvän. Vaikutusten yhteneväisyyden perusteella voidaan olettaa, että ennusteet on laadittu ajanjaksolle 2050-2100.

Kyselytutkimuksen mukaan ilmastomuutoksesta ja sen vaikutuksista on runsaasti tietoa, mutta tietoa ei ole sovellettu lentoasemien toimintaympäristöön. Kyselytutkimukseen vastanneet nostivat esille muun muassa seuraavia aiheita:

- Ilmastoennusteet lentoasemien tarpeisiin: näkyvyyden muutokset, sadantatyyppi (precipitation mix), tuulen suunnat
- Lentoasemien toimintaan kohdistuvien ilmastovaikutusten syvällisempi ymmärtäminen
- Suurempi varmuus merenpinnan korkeuden muutoksista, jotta varautumismenetelmät voidaan suunnitella paremmin
- Vuosittainen, selväsanainen raportti ilmastomuutostutkimuksen edistymisestä ja tulosten tulkinnasta
- Samanlaisille ilmastomuutoksen vaikutuksille altistuvien lentoasemien yhteistyön koordinointi

#### **2.1.4.2 Eurooppa**

Eurocontrol on 41 eurooppalaisen jäsenmaan muodostama organisaatio, joka tukee jäsenmaidensa turvallisen, tehokkaan ja ympäristöystävällisen ilmailun kehittämistä (Eurocontrol 2015). Eurocontrol julkaisee noin neljän vuoden välein *Challenges of Growth* -raportin, johon kootaan tietoa päätöksentekijöille pitkäjänteisen ilmailun kehittämisen tueksi. Ilmastomuutoksen vaikutuksia ilmailuun on esitelty vuoden 2008 raportissa ja sopeutumiskeinoja vuoden 2013 raportissa. Eurocontrolin soveltamat ilmastomuutosennusteet (Füssel & Jol 2012) ovat Euroopan ympäristökeskuksen julkaisemia.

Ilmastomuutoksen vaikutukset ilmailuun tulevat vaihtelevaan eri puolilla Eurooppaa. Pohjois-Euroopassa lämpötila tulee nousemaan enemmän kuin Euroopassa keskimäärin, routasyvyys pienenee ja talvet muuttuvat sateisemmiksi. Keski- ja Itä-Euroopassa hel-

teet yleistyvät ja kesäsateet vähenevät. Lämpötilat nousevat pohjoisessa enemmän talvella ja etelässä enemmän kesällä kuin muina vuodenaikoina. Lämpimien jaksojen esiintyvyyden on ennustettu yleistyvän ja pitenevän.

Merkittävimmät ilmastonmuutoksen vaikutukset ilmailuun tulevat Eurocontrolin mukaan liittymään lisääntyvään kuumuuteen ja kosteuteen Välimeren alueella, mikä muuttaa ilmailun kysynnän määrää ja sijaintia. Lisäksi myrskyt yleistyvät ja kovenevat ympäri Eurooppaa sekä merenpinnan keskikorkeus nousee rannikkoalueilla. Myös lunta sataa useammin etenkin Pohjois-Euroopassa. Vaikutukset kohdentuvat erityisesti infrastruktuuriin, operaatioihin ja operaatiokustannuksiin. (Eurocontrol 2013)

Turismi todennäköisesti vähenee Välimeren alueella, jos kesäkuukausien lämpötilat nousevat. Tällöin kesäturismi siirtynee pohjoisemmaksi ja Välimerellä turistisesonki siirtyy kesäkuukausien ulkopuolelle. Korkeat lämpötilat voivat myös sulattaa kiitoteiden ja asematasojen pintoja. Lämpötilan merkittävän kohoamisen on ennustettu vaikuttavan turismiin ja kiitoteiden pintoihin 2000-luvun puolivälistä alkaen. (Eurocontrol 2013)

Rankkasateiden yleistyminen voi johtaa kiitoteiden ja rullausteiden tulvimiseen, jos niiden kuivatusjärjestelmien välityskyky ei riitä. Lisäksi kylmän sään aikana sadevesiviemärit voivat jäätyä, niin että ne tukkiutuvat. Rankkasateiden on ennustettu yleistyvän merkittävästi jo seuraavan kymmenen vuoden aikana. (Eurocontrol 2013)

Sadannan kasvun myötä myös lumisateita esiintyy useammin lentoasemilla, jotka eivät ole varautuneet lumisateisiin yhtä kattavasti kuin Skandinavian lentoasemat. Lumisateen aiheuttaman haitan suuruus on suoraan verrannollinen lentoaseman käyttöasteeseen. Mitä kiireisempi lentoasema on, sitä enemmän lumisateen aiheuttamat viivästyksen häiritsevät lentoliikennettä. Luonnollisesti myös lumen määrä vaikuttaa lumisateen haitallisuuteen. (Eurocontrol 2013)

Luvussa 2.1.3 esitellyn EWENT-hankkeen mukaan sumuisuus tulee vähenemään monin paikoin Euroopassa. Näkyvyyden parantuminen mahdollistaa lento-operaatioiden tiheämmän porrastuksen, mikä lisää lentoaseman kapasiteettiä. Tutkimusraportissa ei kerrota, mistä sumuisuuden väheneminen johtuu, minkä vuoksi vaikutusta ei ole kirjattu taulukkoon 1.

Varautumistoimenpiteitä suunniteltaessa tulee päättää, mikä on riittävä varautumistaso. Lentoaseman suhteen voidaan päättää, että se varautuu esimerkiksi 80 % sään ääri-ilmiöistä ja muulloin lentoasema suljetaan. (Eurocontrol 2013)

Eurocontrol toteutti kyselytutkimuksen saadakseen tietoa Euroopan ilmailutoimijoiden odotuksista ilmastonmuutoksen vaikutuksien suhteen, heidän kiinnostuneisuudestaan vaikutuksiin varautumista kohtaan ja suunnitelluista sekä käynnissä olevista sopeutumistoimenpiteistä. Kyselyyn vastanneet ilmailuorganisaatioiden edustajat odottavat ilmastonmuutoksen lisäävän sään ääri-ilmiöitä, kasvattavan sadantaa ja nostavan lämpöti-

loja. Kyselyyn vastanneista henkilöistä 86 % piti varautumistoimia tarpeellisena, mutta kuitenkin vain 48 % kertoi sopeutumistoimien aloitetun edustamallaan lentoasemalla. Syyksi sille, ettei varautumistoimenpiteitä ole ryhdytty suunnittelemaan, mainittiin tiedonpuute. (Eurocontrol 2013)

Ilmastonmuutokseen sopeutumistoimenpiteitä suunniteltaessa tulisi tähdätä lentoaseman kokonaisvaltaiseen toiminnan sietokyvyn ja kestävyuden (resilience) parantamiseen. Ilmastoennusteiden mukaan varautumistarve voi vaikuttaa etäiseltä, mutta on kustannustehokkaampaa kehittää toimintaa jatkuvasti tulevaisuuden ilmasto-oloihin sopivaksi kuin reagoida viime hetkellä. Sopeutumistoimenpiteitä tulee suunnitella yhdessä Euroopan tai globaalin lentoasemaverkoston kanssa, koska liikenneketjussa kokonaisuus ratkaisee.

Sopeutumistoimenpiteiden suunnittelu voidaan jakaa neljään vaiheeseen: tutkimus, riskinarviointi, yhteistyö ja käyttöönotto. Jokaisesta vaiheesta on kerrottu Eurocontrolin raportissa (Eurocontrol 2013) tarkemmin, mutta tiivistettynä tutkimusvaiheessa tunnistetaan ja arvioidaan mahdolliset ilmastonmuutoksen vaikutukset ja sopeutumiskeinot vaikutuksiin. Riskinarvioinnissa tunnistettujen vaikutusten esiintyvyyden taajuus ja merkittävyys arvioidaan. Tulosten perusteella laaditaan toimintasuunnitelma, jolla riskit saatetaan hyväksyttävälle tasolle. Yhteistyövaiheessa tutkimustuloksia jaetaan sidosryhmien kanssa. Käyttöönottovaiheessa koulutus ja toimenpiteiden kohdentaminen ovat avainasemassa. Käyttöönotossa on suositeltavaa panostaa toimenpiteisiin, jotka voidaan toteuttaa muiden parannus- ja kunnostustöiden yhteydessä.

#### **2.1.4.3 Norja**

Norjassa ilmasto tulee muuttumaan huomattavasti tällä vuosisadalla. Keskilämpötila nousee 2,3-4,6 °C ja muutos on suurin talvella sekä Pohjois-Norjassa. Vähiten keskilämpötila nousee kesällä ja maan länsiosissa. Sadanta kasvaa 5-30 %, mutta paikallinen vaihtelevuus on merkittävää. Maanlaajuinen keskiarvo sadannanmuutokselle on 20 % kasvu syksyllä, talvella ja keväällä. Kesällä sadannanmuutoksen keskiarvo on 10 %. Edellä mainitut ilmastonmuutosennusteet on Norjan Ympäristöministeriön julkaisusta *Adapting to changing climate* (Bardalen et al. 2010). Ilmastonmuutosennusteet perustuvat Norway Climate Centerin *Klima i Norge 2100* –hankkeessa laadittuihin ilmastonmuutosmalleihin ja kolmeen eri kasvihuonekaasupäästöskenaarioon. Baedalem et al.:in (2010) julkaisu analysoi koko Norjan ja yhteiskunnan haavoittuvaisuutta. Ilmailua on käsitelty omassa luvussaan muiden liikennemuotojen ohella.

Suosittelusten mukaan Norjassa ilmastonmuutoksen vaikutuksiin varaudutaan pahimman ennusteen mukaan, mutta panostetaan päästöjen minimointiin, niin ettei keskilämpötila nouse yli kahta Celsius-astetta. Eri alojen suunnittelijoita kannustetaan huomioimaan ilmastonmuutokseen varautuminen työssään. Norjassa on havaittu, että ilmastonmuutokseen varautuminen on hyvin todennäköisesti taloudellisesti kannattavampaa kuin syntyneiden vahinkojen korjaaminen. (Bardalen et al. 2010)

Ilmailun suurimmat haasteet ilmastonmuutoksen vaikutuksiin liittyen ovat lisääntyvä liukkaudentorjuntatarve ja kiito- sekä rullausteiden kuivatus. Lisääntyvä sadanta kasvattaa paikoin myös lumisateen määrää, mikä lisää auraustarvetta. Vastaavasti toisissa paikoissa liukkaudentorjunta- ja auraustarve vähenevät. (Bardalen et al. 2010)

Norjan ilmailuhallinto Avinor on laatimassa omaa riskiarviotaan ilmastonmuutoksen vaikutuksista lentoasemien toimintaan. Avinorin vanhemman johtavan neuvonantajan Olav Mosvald Larsenin haastattelun mukaan valtaosa tunnistetuista riskeistä liittyvät sadannan kasvuun ja keskilämpötilan muutokseen. Tunnistetut riskit ja varautumiskeinot ovat luvun 2.1.4 taulukossa 1.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset pyritään huomioimaan lentoasemien suunnittelutyössä ja uusia järjestelmiä esimerkiksi lumisateen ja sumun aiheuttamaan huonoon näkyvyyteen varautumiseksi kehitetään jatkuvasti. Muita kehitysprojekteja ovat kiitotieolosuhdeiden mittaus- ja ilmoituspalvelun kehitys sekä navigaatio- ja lähestymisteknologian kehitys. Osa varautumisjärjestelmistä on jo otettu käyttöön. Avinorin internet-sivuilla on esimerkiksi säätietopalvelu, josta käyttäjät saavat tietoa tuuligradieniteista (wind shear) ja varoituksia turbulenssista. (Bardalen. et al. 2010; Larsen 2015)

#### **2.1.4.4 Ruotsi**

Ruotsin Ilmailuhallitus *Lyftfartsverket (LFV)* ja Ilmailuvirasto *Luftfartsstyrelsen* julkaisivat vuonna 2007 haavoittuvuusanalyysin ilmastonmuutoksen vaikutuksista lentoasemien toimintaan. LVF on ilmailun valvontaviranomainen, joka vastaa valtion lentopaikkojen kunnosta ja kehityksestä siviili-ilmailun osalta sekä lennonvarmistuksesta ja lennonjohtajien koulutuksesta. Ilmailuvirasto vastaa siviili-ilmailun turvallisuudesta, kustannustehokkuudesta ja ympäristöystävällisyydestä. (SOU 2007) Nykyisin LFV on korvattu valtion omistamalla Swedavia-yhtiöllä, joka omistaa 10 lentoasemaa. (Swedavia 2015) Ruotsissa on yhteensä 41 lentoasemaa ja –paikkaa, joilla on säännöllistä lentoliikennettä. (Flygtorget 2015)

Haavoittuvuusanalyysin tavoitteena oli esitellä ilmastonmuutoksen ilmastollisia vaikutuksia, seuraamuksia lentoaseman toiminnalle ja niiden aiheuttamia kustannuksia. Haavoittuvuusanalyysi on liitteenä Ruotsin valtiollisen tutkimuskeskuksen (Statens Offentliga Utredningar) julkaisussa *Klimat- och sårbarhetsutredningens slutbetänkande*. Haavoittuvuusanalyysi perustuu SMHI:n (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, Ruotsin ilmatieteen ja hydrologian laitos) laatimiin ilmastoskenaarioihin. (SOU 2007:60)

SMHI:n ilmastoskenaarioiden mukaan sään ääri-ilmiöt kuten lumimyrskyt, voimakkaat rankkasateet ja ukkosmyrskyt tulevat lisääntymään Ruotsissa. Nämä aiheuttavat haasteita lentoasemien kunnossapidolle ja tekniikalle. Ilmasto tulee myös lämpenemään. Esimerkiksi viimeisen pakkasyön on ennustettu siirtyvän maaliskuun lopusta helmikuun loppuun vuoteen 2040 mennessä. Lämpenemisellä on positiivisia vaikutuksia, kuten

lentokoneiden jäänestoaineiden ja kiitoteiden liukkaudentorjunta-aineiden vähenevä tarve. Lämpötilan vaihtelu nollan asteen ympärillä aiheuttaa jäänesto- ja liukkaudentorjuntatarvetta. SMHI:n ilmastoskenaarioiden mukaan nollakelit yleistyvät pohjoisessa ja harventuvat etelässä. Tämä vähentää liukkaudentorjuntakemikaalien käyttömääriä suurilla lentoasemilla kuten Tukholman Arlandalla ja Göteborgin Landvetterillä. Keski-Ruotsissa Mellannorlandin alueella käyttömäärät voivat hieman nousta. Jäänestokemikaalien käytöstä voidaan todennäköisesti luopua kolmella suurimmalla lentoasemalla keskilämpötilan kohoamisen ansiosta. Tämän ansiosta liukkaudentorjunta- ja jäänestokemikaalien kokonaiskäyttömäärä tulee laskemaan. (SOU 2007)

Keskilämpötilan nousulla on myös haitallisia vaikutuksia. Korkea lämpötila heikentää asfalttipintojen kantavuutta. Asfaltin kimmomoduuli laskee lämpötilan nousun myötä, mikä heikentää materiaalin lujuutta. Kohonnut keskilämpötila alentaa myös routasyvyttä, mikä periaatteessa mahdollistaa ohuempien rakennekerrosten käytön teiden rakentamisessa, mutta kimmomoduulin laskun, routasyvyden pienenemisen ja sadannan kasvamisen yhteisvaikutuksen arvioidaan edellyttävän pinnoitekerrosten kasvattamista. (SOU 2007)

Muita ilmastomuutoksen vaikutuksia lentoasemien toimintaan Ruotsissa ovat lisääntyvät tulvat, rankkasateet ja ukonilmat. Hulevesitulvat ja sateet voivat johtaa veden kerääntymiseen rullaus- ja kiitoteille. Huleveden aiheuttama rasitus voi aiheuttaa vuotoja huonokuntoisten putkien liitoksiin hulevesiverkostossa. (SOU 2007)

Ukkonen voi aiheuttaa katkoksia sähkönjakeluun ja myrskytuulet ongelmia laskeutuville ja lentoon lähteville lentokoneille. Lisäksi muuttuvat routaolosuhteet voivat muuttaa lentoaseman pintojen kantavuutta. Haavoittuvuusanalyysissä on arvioitu myös sivutuulen ja sumun vaikutuksia lentoasemien toimintaan. (SOU 2007)

Ruotsin haavoittuvimmat kentät ovat haavoittuvuusanalyysin mukaan Arlanda, Landvetter ja Luleå, koska niillä on paljon liikennettä, jota on vaikea siirtää muille lentopaikoille. Muuttuvat ilmasto-olosuhteet aiheuttavat suurimmalla todennäköisyydellä tulvaongelmia ja vaikutuksia lentoasemateknologiaan Sundsvall-Härnösandin, Kalmarin ja Göteborg-Säven lentoasemilla. (SOU 2007)

Sundsvall-Härnösandin lentoasema sijaitsee Indalsälven-joen suulla. Jos tulvat yleistyvät joella, lentoasema altistuu merkittäville eroosioriskeille. Kalmarin lentoasemalla käytetään kiitoteiden liukkaudentorjunnassa ureaa. Jos merenpinnan korkeus nousee Kalmarin alueella noin 70 cm, lentoaseman vedenpuhdistustekniikka ei toimi ja tällöin ureaa voi ajautua Itämereen. Urean sisältämää typpeä poistetaan hulevedestä kosteikossa nimeltä *Kalmar Dämme*. Kosteikon puhdistusvaikutus perustuu pääasiassa denitri-fioivien bakteerien toimintaan. (SOU 2007)

Haavoittuvuusanalyysin mukaan Lfv ei näe tarvetta sopeuttaa järjestelmiään ilmastomuutoksen vaikutuksiin ennen vuotta 2020. Vuoteen 2050 mennessä ei myöskään

odoteta muutostarpeita ilmastosta johtuen. Kunnossapito sopeutuu vallitsevaan säähän päivittäin. LFV noudattaa jatkuvan parantamisen periaatetta.

Hulevesiviemärit edellyttävät kuitenkin toimenpiteitä jo lyhyellä aikavälillä, koska hulevesiverkosto on huonossa kunnossa. Suurin osa Ruotsin lentoasemista on rakennettu 1930-1960 luvuilla. Hulevesiverkostoissa on sisäisiä kulumia, ikääntymisestä johtuvaa haurastumista ja kuormitusvaurioita yläpuolisesta rasituksesta. Hulevesiviemärit tulee tarkistaa, koska sadannan on ennustettu kasvavan runsaasti ja tulvat voivat yleistyä erityisesti Ruotsin pohjois- ja länsiosissa. Kaakkoisosissa tulvien on ennustettu vähenevän. Haavoittuvuusanalyysin mukaan lentoasemien hulevesiverkosto kaipaa voimakkaasti kunnostusta. Taloudellisesti ja toiminnallisesti parhaimpana kunnostustoimenpiteenä pidetään hulevesiverkoston saneerausta auki kaivamatta, jolloin vanhat putket pinnoitetaan sisäpuolelta. Verkoston välityskyky voi tällöin hieman kasvaa, koska virtausvastus putkissa pienenee.

Kasvava sadanta vaikuttaa myös routaolosuhteisiin ja tulvat voivat aiheuttaa eroosiota. Päälystettyjen teiden kantavuuden on arvioitu heikkenevän niin, että haavoittuvuusanalyysissä suositellaan pinnoitteiden paksuntamista noin 7-9 % eli noin 1-2 cm vuoteen 2080 mennessä. (SOU 2007:60)

Sundsvall-Härnösandin lentoasemalla tulee eroosiosuojausta lisätä, jos Indalsälven-joen tulvat lisääntyvät. Kalmar Dämmen kosteikon tilavuus on jo nyt riittämätön, kun sateet aiheuttavat suuria virtaamia. Myös merenpinnan korkeuden nousu nostaa kosteikon pinnankorkeutta. Jos vedenpinta kosteikossa nousee huomattavasti yli 40 cm, lentoaseman on rakennettava hulevesiverkostoon sulkuja ja patoja.

## 2.2 Ilmastonmuutosennusteet ja niiden vaikutukset Suomessa

Tässä luvussa esitellään ensin yleisesti neljän eri organisaation tutkimushankkeita, jotka liittyvät ilmastonmuutosennusteisiin Suomessa, ja verrataan sitten eri tutkimushankkeiden tuloksia toisiinsa. Lopuksi pohditaan tulosten merkitystä lentoasemien hulevesijärjestelmän sekä liukkaudentorjunnan kannalta.

VTT:n julkaisussa *Ilmastonmuutoksen huomioiminen kaavoituksessa* (Wahlgren et al. 2008) käsiteltiin kuuden eri puolella Suomea sijaitsevan paikkakunnan varautumista ilmastonmuutoksen vaikutuksiin kaavoituksen avulla. Julkaisun ilmastonmuutosennusteet perustuvat neljään analyysiin, joiden taustalla on globaali ilmakehä/merilaskentamalli ja Pohjoismaiden aluetta kuvaava Ruotsin ilmatieteen laitoksen tarkempi alueellinen ilmastomalli RCAO (Rossby Centre's coupled atmosphere-ocean model). Globaalia ilmastomallia ajettiin IPCC:n A2- ja B2-skenaarioiden tiedoilla, jotka antavat erilaisen ennusteen kasvihuonekaasujen määrästä seuraavan 100 vuoden aikana. Alueelliseen RCAO-malliin sovellettiin kahden globaalin mallin (Hadley Centre ja Max Planck Institute) tuloksia. Näiden neljän analyysin perusteella tuloksista on laskettu

keskiarvo, josta käytetään nimitystä ”paras ennuste”. Tulokset on laskettu kuudelle tutkimuspaikkakunnalle erikseen. Laskentapisteen kuvaavat 50km\*50km alueita. Julkaisussa analysoidaan vuosien 1961-1990 vertailuajon tuloksia ennusteajon 2071-2100 tuloksiin. Ääriarvot on rajattu koskemaan kerran 50 vuodessa tapahtuvia sääilmiöitä.

Liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) tutkimuksessa (Salanne et al. 2010) laadittiin ilmastonmuutosennusteista koko Suomen alueelle ja pohdittiin niiden vaikutuksia Suomen liikennejärjestelmään. LVM:n julkaisussa *Ilmastonmuutos ja tavaraliikenne* on esitelty ilmastonmuutoksen ja ilmastonmuutoksen hillintätoimien vaikutuksia tavaraliikenteeseen. Julkaisun tulokset perustuvat vuosille 2030 ja 2050 laadittuihin ilmastoskenaarioihin, kansainväliseen kirjallisuuskatsaukseen, asiantuntijatyöpajaan sekä ilmastomuutoskyselyyn, joka suunnattiin kuljetusalan yrityksille, asiakkaille ja viranomaisille. Ilmastoskenaariot on laadittu Ilmatieteen laitoksen ACCLIM I -hankkeessa. Hankkeen nimellä viitataan englanninkielisiin sanoihin ”acclimate” ja ”acclimatize”, jotka merkitsevät nopeaa mukautumista muuttuvaan ilmastoon. (Jylhä et al. 2009)

Kolmas tarkasteltava tutkimus on SETUKLIM- eli Sektoritutkimusohjelman ilmastoskenaariot – hanke. Hankkeen tavoitteena on tuottaa tietoa ilmastonmuutoksesta, ilmastovaihtelevuudesta sekä tarjota muutosarvioita ja asiantuntijapalveluita ilmastomuutostutkimuksia varten. SETUKLIM-hankkeen raportissa *Maailmanlaajuisiin ilmastomalleihin perustuvia lämpötila- ja sademääräskenaarioita* (Ruosteenoja 2013) on esitelty ilmastonmuutosskenaarioita, jotka perustuvat 28 ilmastomalliin. Ilmastomallista saatuja ennustetuloksia ajanjaksolle 2020-2099 verrattiin vuosien 1971-2000 keskilämpötiloihin ja -sademääriin. Ilmastomalleja ajettiin neljällä eri kasvihuonekaasuskenaariolla, jotka erosivat toisistaan päästöjen vähentämisen onnistumisen kannalta. Ilmastomuutosskenaarioiden maantieteellinen kohdealue oli koko Suomi sekä Pohjois- ja Etelä-Suomi.

Suomen ympäristökeskus julkaisi vuonna 2008 Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU) –hankkeen raportin (Aaltonen et al. 2008), jossa esiteltiin uudet sateentoistuvuusikäyrät. Sadejakaumat Suomen eri aluilla perustuivat vuosina 2000-2005 tehtyihin säätutkavaintoihin. Uusien sadetilastojen ja 19 maailmanlaajuisen ilmastomallin perusteella ennustettiin ilmastonmuutoksen vaikutuksia sadantaan 30 vuoden jaksoissa aikavälillä 2010-2099. Mallinnustulokset kohdentuvat koko Suomen alueelle.

### **2.2.1 Lämpötilojen ja sademäärien muutokset**

Tässä kappaleessa käsitellään luvun alussa esiteltyjen tutkimushankkeiden päätulokset keskilämpötilan ja sadannan muutoksiin liittyen sekä verrataan tuloksia toisiinsa. Tutkimushankkeiden tulokset vuosittaisen sademäärän keskiarvon ja keskilämpötilan muutosten osalta ovat taulukossa 2.

Ilmasto tulee Suomessa muuttumaan lämpimämmäksi ja sateisemmaksi (Salanne et al. 2010; Ruosteenoja 2013; Wahlgren et al. 2008). Erityisesti rankkasateet yleistyvät ja voimistuvat. Swedavian haavoittuvuusanalyysin mukaan lähellä merenpinnan tasoa tai sen alapuolella sijaitsevien lentoasemien toiminta voi vaarantua, jos tulviminen lisääntyy. Kasvava sadanta asettaa haasteita lentoasemien käytettävyydelle, koska sadevesi voi kerääntyä rullaukselle ja lisätä kunnossapitotarvetta. Lentoasemien sulkeminen vaikuttaa matkustajaliikenteeseen ja myös postinjakelu sekä tavaraliikenne voivat häiriintyä. (SOU 2007:60)



**Taulukko 2** Vuosittaisen sademäärän keskiarvo ja keskilämpötilan muutoks eri tutkimushankkeissa

SUURE	KAUSI	ALUE	LVM	SETUKLIM	VTT	RATU
keskilämpötilan muutos °C	2030-2040 talvi	Etelä-Suomi	2	2,0-2,5	-	-
		Pohjois-Suomi	2,4	2,1-2,7	-	
	2030-2040 kesä	Etelä-Suomi	1	1,5	-	-
		Pohjois-Suomi	1,1	1,5	-	
	2050-2070 talvi	Etelä-Suomi	3.2-4.3	3,4-3,8	-	-
		Pohjois-Suomi	3.8-5.0	3,9-4,1	-	
	2050-2070 kesä	Etelä-Suomi	1,4 <sup>1</sup>	2,2-2,3	-	-
		Pohjois-Suomi	1,8 <sup>1</sup>	2,2-2,3	-	
	2071-2100	Helsinki			4	-
		Uusimaa, rannikko			4	-
		Uusimaa, sisämaa			4	-
		Kokkola			4	-
		Kuopio			4	-
	Sodankylä			4	-	
sademäärän muutos %	2030-2040 talvi	Etelä-Suomi	6	5,5-8	-	6-8
		Pohjois-Suomi	8	6,5-8,5	-	
	2030-2040 kesä	Etelä-Suomi	3	1-6,5	-	3-6
		Pohjois-Suomi	5	5-6,5	-	
	2050-2070 talvi	Etelä-Suomi	11-14	11-14	-	12-17
		Pohjois-Suomi	13-18	12-13	-	
	2050-2070 kesä	Etelä-Suomi	4-7	3-7,5	-	6-9
		Pohjois-Suomi	7 <sup>1</sup>	7,0-12	-	
	2071-2100	Helsinki			15	Koko Suomi talvi 18- 30
		Uusimaa, rannikko			15	
		Uusimaa, sisämaa			20	
		Kokkola			25	Koko Suomi kesä 11- 13
		Kuopio			15	
Sodankylä				15		

<sup>1</sup>Luku raportista *Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten* (Jylhä et al. 2009)

Eri tutkimusten tulokset ovat samansuuntaisia. Erot LVM:n ja SETUKLIM-tutkimusten tulosten välillä ovat korkeintaan 1,1 °C keskilämpötilojen osalta ja 3,5 prosenttiyksikköä sademäärän muutosten osalta. RATU-hankkeen sadannanmuutostulosten vaihteluväli on 2-5 prosenttiyksikköä, mutta LVM- ja SETUKLIM-tutkimusten tulokset osuvat samalle vaihteluvälille. On kuitenkin huomioitava, että LVM:n tutkimuksen tulokset ovat vuosikymmenille 2030 ja 2050, SETUKLIM-julkaisun tulokset vuosikymmenille 2040 sekä 2070 ja RATU-tulokset aikajaksoille 2010-2039, 2040-2069 ja 2070-2099, joten tulokset eivät ole täysin vertailukelpoisia. VTT:n tulokset ja RATU-tulokset ovat vertailukelpoisia tarkasteluajan suhteen, mutta maantieteellinen tarkastelualue on eri eikä VTT:n tutkimuksessa ole eritelty ennusteita talven ja kesän osalta. Tulokset ovat kuitenkin samansuuntaisia. RATU:n aikajakson 2070-2099 tuloksista etenkin talven muutosennusteiden vaihteluväli on laaja, mutta VTT:n tulokset sijoittuvat vaihteluvälin sisälle. Laaja vaihteluväli johtuu siitä, että tulokset perustuvat kolmen eri kasvihuonekaasupäästöskenaarion soveltamiseen. Mitä enemmän kasvihuonekaasupäästöt lisääntyvät, sitä enemmän sadanta muuttuu. Eri ilmastomalleihin perustuvia muutosennusteita verrattaessa toisiinsa, on kiinnitettävä huomiota siihen, että eri ilmastomallien reunaehdot poikkeavat usein toisistaan esimerkiksi käytettävien laskentamenetelmien osalta (Jylhä et al. 2009).

Keskilämpötilan ja sademäärän muutokset ovat pääsääntöisesti pohjoisessa suurempia kuin etelässä. Sademäärän muutoksessa on tarkasteltujen tutkimusten osalta suurempi varianssi kuin lämpötilan muutoksessa, koska sademäärän muutosten ennustamista vaikeuttaa sademäärien voimakas luontainen vaihtelu (Jylhä et al. 2009). Tulosten perusteella keskilämpötila ja sademäärä nousevat talvella enemmän kuin kesällä. Vaihtelu talven ja kesän välillä on pienempää, jos kasvihuonekaasupäästöjä saadaan vähennettyä enemmän. (Ruosteenoja 2013; Salanne et al. 2010)

Keskilämpötilan muutos (+4 °C) on samansuuruinen kaikilla VTT:n tutkimuksen tutkimuspaikkakunnilla. Näin ollen voidaan olettaa, että paikalliset ilmastotekijät kuten suuret vesistöt ja korkeuserot tasoittavat ilmastomuutoksen aiheuttamaa lämpötilan muutosta. Neljän °C muutos keskilämpötilassa on linjassa muiden tutkimuksen tulosten kanssa etenkin talven ennusteiden suhteen.

Talvi- ja kesäkauden muutosennusteita ei ole eritelty tuloksissa, mikä selittänee osaltaan suuret eroavaisuudet muiden tutkimusten vuosien 2050-2070 kesäajan ennusteisiin. Ennuste ulottuu vuoteen 2099 asti eli lähes 30-50 vuotta pidemmälle kuin muut ennusteet. LVM:n mukaan Suomen keskilämpötila nousee maailman keskiarvoa nopeammin: aluksi 0,4-0,5 °C vuosikymmenessä.

Suurimmat lämpötilamuutokset koskevat minimilämpötiloja. Ne muuttuvat Etelä-Suomessa enemmän (Helsinki 16 °C, Uusimaa rannikko 16 °C ja sisämaa 11 °C) kuin Itä- ja Pohjois-Suomessa (Kuopio 8 °C, Sodankylä 5 °C). (Wahlgren et al. 2008; Salanne et al. 2010)

VTT:n tutkimuksen päätulokset ovat taulukossa 3.

**Taulukko 3** Arvioitu ilmastonmuutos tutkimuspaikkakunnilla (Wahlgren et al. 2008)

	Helsinki	Uusimaa, rannikko	Uusimaa, sisämaa	Kokkola	Kuopio	Sodankylä
Vuoden keskilämpötila °C	4	4	4	4	4	4
Maksimilämpötila °C	4	4	5	5	5	3
Minimilämpötila °C	16	16	11	12	8	5
Sulamis-jäätymissyklit %	-40	-40	-30	-25	0	15
Vuoden keskituulennopeus %	2	2	0	0	3	2
Maksimituulennopeus %	15	15	5	-5	-10	9
Vuoden sademäärä %	15	15	20	25	15	15
6 tunnin sademaksimi %	0	0	5	40	14	35
5 vuorokauden sademaksimi %	15	15	30	55	56	55
6 tunnin lumisademaksimi %	0	0	-5	30	1	19
Lumipeitteen maksimiviesiarvo %	-50	-55	-50	-35	-37	-3
Lumipeitteen kesto aika vrk	-70	-70	-70	-60	-45	-40
Meren jääpeitteen kesto aika vrk	-120	-120		-80		

Vuoden sademäärä tulee lisääntymään tutkimuspaikkakunnista eniten Kokkolassa (25 %). Muillakin paikkakunnilla vuoden sademäärä kasvaa, Uudellamaalla sisämaassa 20 % ja muilla tutkimuspaikkakunnilla 15 %. Sademaksimien muutokset painottuvat ennusteen mukaan Kokkolaan, Kuopioon ja Sodankylään. Kuuden tunnin sademaksimin prosentuaalinen muutos on Kokkolassa peräti 40 % ja Sodankylässäkin 35 %. Etelä-Suomessa kuuden tunnin sademaksimin muutos on vain 0-5 %. Viiden vuorokauden sademaksimi kasvaa kaikilla tutkimuspaikkakunnilla. Suurin muutos on Kuopiossa 56 % ja Kokkolassa sekä Sodankylässä 55 %. Etelässä Helsingin ja Uudenmaan rannikon ennusteet (15 %) poikkeavat Uudenmaan sisämaan ennusteesta (30 %).

Länsi-rannikolla sijaitseva Kokkola erottuu muista tutkimuspaikkakunnista kuuden tunnin lumisademaksimillaan 30 %. Sodankylässä muutos on 19 % mutta etelässä muutos jää välille -5 – 1 %. Länsi-rannikolla ja Pohjois-Suomessa lumenaurauksentarve tulee siis kasvamaan ja etelässä säilymään likimain ennallaan.

VTT:n raportissa ”Ilmastonmuutoksen huomioiminen kaavoituksessa” ei analysoida syitä, jotka vaikuttavat ilmaston erilaiseen muuttumiseen tutkimuspaikkakunnilla. Yleisesti voidaan kuitenkin olettaa, että erot johtuvat paikallisesta maantieteestä. Vesistöt ja maaston korkeus vaikuttavat alueelliseen ilmastoon merkittävästi. Esimerkiksi meren läheisyys vaikuttaa rannikkoalueiden lämpötiloihin nostavasti. (Kersola & Pirinen 2009)

Raportissa ei tarkastella analyysin tulosten luotettavuutta ja tuloksia sovellettaessa on myös huomioitava, että tutkimuksen tarkastelu aika ulottui vuoteen 2100 eikä tutkimusraportissa oteta kantaa, kuinka nopeasti muutokset ilmenevät. Mallin perusteella saatuja tuloksia on haastavaa soveltaa laajasti diplomityössä, koska lähdeaineistossa tulokset on ilmoitettu vain tutkimuspaikkakuntien osalta. Tutkimusraportissa ei oteta kantaa tuloksien sovellettavuudesta tutkimuspaikkakuntien ulkopuolella.

## 2.2.2 Sulamis-jäätymissykli

Liukkaudentorjuntaa edellyttävät nollakelit yleistyvät Pohjois-Suomessa, kun talven keskilämpötila ja vuorokauden alin lämpötila kasvavat huomattavasti. Toisaalta nollapiste päivien - eli vuorokausien, joiden ylin lämpötila on nollan yläpuolella ja alin lämpötila nollan alapuolella, määrä pääsääntöisesti vähenee tai pysyy muuttumattomana. Nollakelit tulevat todennäköisesti yleistymään ensin koko maassa ja harvinaistumaan maan eteläosissa 2050-luvulta alkaen. Itämeren jääpeite tulee vähenemään ja keskiveden korkeus nousemaan. (Salanne et al. 2010) Nollakelien yleistyminen ja avoimet vesistöt lentoasemien lähetyvillä lisäävät liukkaudentorjuntatarvetta (Heinijoki 2014). Myös sateen aiheuttama pintojen kosteus lisää liukkaudentorjuntatarvetta ja sademäärien lisääntyessä kiitoteiden kuivatusjärjestelmät saattavat olla ajoittain riittämättömiä. (Ruosteenoja 2013)

Sulamis-jäätymissyklin muutos on merkittävä etenkin etelässä, koska Helsingissä ja Uudenmaan rannikolla muutos on -40 %. Sodankylässä sulamis-jäätymissyklin ennustetaan yleistyvän 15 %. Nollakelit yleistyvät, kun lämpötila nousee 1-2 °C. Erityisesti Itä- ja Keski-Suomessa sekä Lapissa nollakelit yleistyvät myös sydäntalvella. Voimakaimman lämpenemisen skenaarion mukaan nollakelien väheneminen alkaa Etelä-Suomessa jo 2050-luvulla. Lapissa pakkaspäivät vähenevät vähemmän kuin muualla. (Wahlgren et al. 2008; Salanne et al. 2010)

Sulamis-jäätymissykliä väheneminen helpottaa lentoasemien kunnossapidon toimintaa, koska liukkaudentorjuntaa ei tehdä yhtä usein kuin aikaisemmin. Sodankylässä liukkaudentorjuntatarve tulee todennäköisesti lisääntymään, koska sulamis-jäätymissykliä on ennustettu yleistyvän. Sulamis-jäätymissyklin yleisyyteen vaikuttavat monet tekijät kuten minimi- ja keskilämpötila, sateisuus ja sateen olomuoto. Myös tuuli vaikuttaa pintojen jäätymiseen. (Wahlgren et al. 2008)

## 2.3 Hulevesijärjestelmät ja liukkaudentorjunta lentoasemilla

Lentoasema-alueet koostuvat maaliikenne- ja kenttäalueesta. Lentoaseman maaliikennealueella tarkoitetaan maaliikenneyhteyksiä ja pysäköintialueita. Suomessa Finavia vastaa lentoasema-alueen sisäisten katuyhteyksien rakentamisesta ja kunnossapidosta. Lentoaseman tieyhteyksistä päätieverkkoon vastaa Liikennevirasto (ent. Tiehallinto). Kenttäalueet muodostuvat asematasoista ja liikennealueista. Finavia vastaa asematasoilla maaliikenteen ohjauksesta ja opastaa asematasoilla liikkuvia ja pysäköiviä lentokoneita. Liikennealue koostuu kiito- ja rullausteista, joiden turvallisuudesta ja liukkaudentorjunnasta Finavia vastaa. (Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto 2008)

### 2.3.1 Hulevesien hallinta lentoasemilla

Hulevesiin liittyvä lainsäädäntö oli 31.8.2014 asti osa vesihuoltolakia, mutta nyt hulevesistä säädetään maankäyttö- ja rakennuslaissa. Vesihuoltolakia sovelletaan hulevesiin nykyisin vain, jos hulevedet ja perustusten kuivatusvedet johdetaan vesihuoltolaitoksen hulevesiviemäriin. Finavian lentoasemilla suurin osa hulevesistä johdetaan avo-ojiin, mutta glykolipitoinen vesi toimitetaan jätevedenpuhdistamolle, joten sen käsittelyyn sovelletaan vesihuoltolakia. Paikoin hulevettä johdetaan myös vesihuoltolaitoksen hulevesiviemäriin.

Päällystetyille pinnoille kuten rullaus- ja kiitoteille sekä asematasoille kerääntyvä hulevesi vaikuttaa lentoaseman toimintaan monella tapaa. Vesi pienentää pinnan ja lentokoneen renkaiden välistä kitkaa, mikä heikentää liikenneturvallisuutta. Suuret virtaukset aiheuttavat eroosiota ja vesi voi myös imeytyä maahan, jolloin siitä tulee pehmeää. Pitkään jatkuva sadannan kasvaminen voi nostaa pohjaveden tasoa. Vesikylläisen maan kantavuus on usein kuivaa maata heikompi. (SOU 2007:60)

Hulevesien aiheuttamia vaikutuksia voidaan ennaltaehkäistä tehokkaalla kuivatuksella. Kiitotiet on rakennettu niin, että hulevesi valuu kiitotien reunoille pinnan kaatojen takia. Reunoilta hulevedet kerätään kouruilla tai hulevesikaivoilla ja johdetaan hulevesiviemäriin tai joissain tapauksissa avo-ojiin. Hulevesiviemäreillä ja avo-øjilla vedet johdetaan huleveden purkupisteisiin lentoasema-alueen ulkopuolelle. Laadultaan heikkoja hulevesiä voidaan kerätä erillään muista vesistä ja johtaa käsiteltäväksi jätevedenpuhdistamolle.

Hulevesiviemäri voi tukkeutua hulevesiverkoston kertyvästä kiintoaineksesta, kuten hiekasta, tai hulevesiverkoston liitosten sortumisen seurauksena. Tukkeuma aiheuttaa yläpuolisen verkosto-osuuden muuttumisen paineelliseksi, mikä johtaa hulevesien tulvimiseen kaivojen kautta maanpinnalle tai jopa kiinteistöihin. Hulevesiputket voivat tukkeutua, jos verkostoon kertyy kiintoainesta kaivojen kautta tai jos putket ja liitokset eivät ole tiiviitä. Rikkoutuneiden putkien ja liitosten kautta verkostoon voi päästä esimerkiksi hiekkaa tai muuta maa-aineista.

Suurentunut sadanta ja pintavesien vedenpinnan nousu voivat aiheuttaa tulvia lentoasemilla, jotka sijaitsevat lähellä vesistöjä. Tulvat aiheuttavat eroosiota, joka voi vaurioittaa teitä, luiskia ja siltarakenteita. Tulvatilanteissa kiinteät hulevesijärjestelmät eivät riitä veden johtamiseen pois lentoasemalta. Tällöin tarvitaan tilapäisratkaisuja kuten siirrettäviä pumppuja. Tulvan muodostumista voidaan myös ennaltaehkäistä esimerkiksi hiekkasäkkimuureilla ja rakentamalla tulvareittejä, kuten painanteita.

Tulvariskille alttiita lentoasemia ovat Vaasa ja Pori. Tulvakarttapalvelun tulvakarttojen mukaan yksikään Finavian lentoasema ei ole merkittävän tulvariskin uhkaama. On kuitenkin huomioitava, että Maarianhaminan alueelle ei ole laadittu vesistö- eikä meritul-

vakarttaa. (Tulvakeskus 2015) Vaasan lentoasemalla on tulva-aikaan havaittu sadevesiviemärien vedenpinnankorkeuden nousevan, kun joki, johon sadevesiviemärit laskevat, on tulvinut. Kerran tämä on johtanut merkittävään eroosioon ja sortumaan kiitotiellä (Lampi 2015).

Finavian lentoasemien hulevesiverkostot on rakennettu pääosin 1950-70-luvuilla. Hulevesiverkostot reunustavat kiitoteiden, rullausteiden, asematasojen ja rakennusten reunoja. Laajoilla kentillä on hulevesikaivoja myös keskemällä. Hulevesiputket ovat pääasiassa betonisia, koska ne kestävät paremmin tärinää, niiden asentaminen on maarakennustöiden kannalta helpompaa ja kustannukset ovat edullisempia kuin muoviputkien. Yli 30 vuotta vanhoissa hulevesiverkostoissa muoviputkia on käytetty lähinnä hulevesiverkoston latvaosissa, putkissa joiden sisähalkaisija on alle 160 millimetriä. Uudemmissa verkoston osissa muoviputkea on käytetty yleisesti alle 600 mm putkissa. (Viitala 2015)

Hulevesi pyritään johtamaan aina gravitaatiolla eli viettoviemäriin. Viettoviemäriin kustannukset ovat hulevesien pumppaamiseen paineviemäriä pitkin verrattuna huomattavasti edullisemmat ja hyvin rakennetun viettoviemäriin käyttövarmuus on paineviemäriä parempi, koska viettoviemäriin toimivuus ei riipu pumppujen toiminnasta. Viettoviemäriin rakentamisessa on oleellista, että pienemmät putket vievät hulevettä suurempiin putkiin, jotta putket vetävät eikä synny takaisinvirtausta. Putkilla tulee olla riittävän suuri pituuskaltevuus. Suositeltava minimipituuskaltevuus Kuntaliiton Hulevesioppaan (Britschingi et al. 2012) mukaan on 0,1 - 0,45 % putken halkaisijasta riippuen. Mitä suurempi halkaisija, sitä pienempi on suositeltu minimipituuskaltevuus. Hulevesiputkille on määritelty myös maksimipituuskaltevuudet. Liian suuri pituuskaltevuus aiheuttaa suuren virtausnopeuden, joka puolestaan aiheuttaa putkien tarpeetonta kulumista. Lisäksi suuri virtausnopeus voi aiheuttaa eroosiota purkupisteen maastossa. Tarpeettoman kulumisen ja eroosion välttämiseksi virtausnopeuden ei tulisi olla suurempi kuin 5 m/s. (Britschingi et al. 2012)

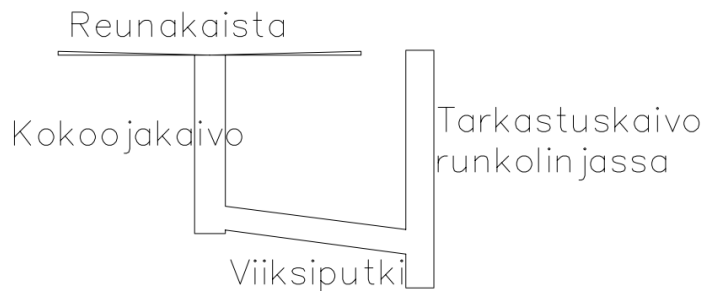
Kiitoteiden pituuskaltevuuksista on säädetty ilmailumääräyksessä AGA M3-5. Ilmailumääräyksen mukaan pituuskaltevuuden tulee olla pienempi kuin 2 %. Pituuskaltevuuden tulee olla sitä pienempi, mitä pidemmästä ja leveämmästä kiitotiestä on kyse.

Kiito- ja rullausteiden hulevedet ohjataan hulevesikaivoihin kiitotien asfaltoitua reunakaistaa pitkin. Hulevesikaivot sijaitsevat reunakaistan keskellä. Reunakaistan kiitotien puoleisen reunan poikittaiskallistus on 2,5 % kiitotiestä pois päin ja ulkoreunan kallistus samoin 2,5 % vastakkaiseen suuntaan. Reunakaistan leveys verkostolentoasemilla on viisi metriä. (Viitala 2015)

Suuri osa Oulun ja Tampere-Pirkkalan hulevesikaivoista on Finavialta saadun kartta-aineiston mukaan varustettu sakkapesällä. Sakkapesä vähentää kiintoaineiden pääsyä hulevesiverkoston hulevesikaivojen kautta. Kiintoaineiden vähäisyys putkistossa pie-

nentää pituuskaltevuustarvetta. Hulevesiviemäreiden suurten virtaamien ja vähäisen kiintoainespitoisuuden takia verkosto huuhtoutuu hyvin. (Britschingi et al. 2012)

Oulun ja Tampere-Pirkkalan lentoasemilla on paikoin käytössä kaksoiskaivojärjestelmä (kuva 7), jossa hulevesi tulee runkolinjaan erillisen kokoojakaivon kautta. Kansiritilällä varustetusta kokoojakaivosta hulevesi virtaa viiksiputkea pitkin tarkastuskaivoon, joka on osa runkolinjaa. Kokoojakaivoja on runsaasti kiitoteiden reunakaistoilla. Rullausteiden reunoilla ja asematasoilla on yleisempää johtaa hulevedet ritiläkaivon kautta suoraan runkolinjaan. (Viitala 2015)



**Kuva 7.** Kaksoiskaivojärjestelmä kiitotien reunakaistalla

Lentoasemien hulevesiviemärit on mitoitettu suunnitteluvaiheessa 1950-1970-luvuilla ”Lentoasemien kuivatusohjeet” -julkaisun mukaisesti (Viitek Oy 1979). Julkaisun viimeinen painos on vuodelta 1979. Kuivatusohjeen mukaan hulevesiverkostot on mitoitettu kerran kahdessa vuodessa esiintyvän sateen varalle. Yleisesti hulevesiverkostojen mitoitussade valitaan sen mukaan, kuinka suuri tulvariski otetaan ja resurssien mukaan. Suurempien putkien kapasiteetti riittää harvemmin esiintyvälle sateelle, mutta putkikoon suurentaminen kasvattaa rakennuskustannuksia. Ilmastonmuutoksen myötä kasvavia sademääriä tulee verrata aiemmin käytössä olleisiin mitoitussateisiin.

Hulevesien hallinnasta on annettu määräyksiä lentoasemien ympäristöluvuissa. Lupamääräykset ovat hyvin yhteneviä eri lentoasemilla. Määräyksillä pyritään siihen, ettei esimerkiksi lentoasemien polttoöljysäiliöistä tai paloharjoittelualueelta pääse haitallisia aineita ympäristöön hulevesien välityksellä. Lisäksi ympäristöluvuissa kerrotaan sallitut hulevesien purkupisteet ja annetaan määräyksiä hulevesien laadunvalvonnasta.

### 2.3.2 Liukkaudentorjunta lentoasemilla

Trafin (ent. Lentoturvallisuushallinnon) antama ilmailumääräys AGA M3-10 Lumenpoisto ja liukkaudentorjunta määrittelee lentoaseman pitäjän velvollisuudet lumenpoistoon ja liukkaudentorjuntaan liittyen. Liukkaudentorjunnan tavoitteena on jäättömän

pinnan aikaansaaminen koko käytössä olevalle kiitotieleveydelle. (Ilmailumääräys AGA M3-10)

Ilmailumääräys velvoittaa määrittämään kiitotien kitkan, kun on syytä olettaa sen muuttuneen. Lentoaseman on järjestettävä riittävän tehokas seuranta, jotta nopeatkin olosuhteiden muutokset ovat havaittavissa. Kiitotieolosuhteita seurataan pintalämpömittareilla tai liukkausvaroitussjärjestelmällä. Talvikaudella kitka mitataan tarvittaessa ja kiitotien osasta riippuen vähintään 6-24 tunnin välein. Rullausteiden ja asematasojen kitka mitataan vähintään kerran vuorokaudessa. Lentoaseman pitäjän tulee antaa lentoasemalle ohjeet edellä mainittujen velvollisuuksien täyttämistä. (Ilmailumääräys AGA M3-10)

Liukkaudentorjuntaan voidaan käyttää mekaanisia menetelmiä, liukkaudentorjunta-aineita ja hiekkaa. Lentoaseman kunnossapitoyksikkö vastaa liukkaudentorjunnasta lentoliikenne- ja maa-alueilla. Finavian lentoasemien ensisijaisia liukkaudentorjuntamenetelmiä ovat mekaaninen harjaus ja auraus. Mekaaninen liukkaudentorjunta ja lumenpoisto suoritetaan pääsääntöisesti aura-harjapuhallinlaitteyhdistelmällä. Kiito- ja rullausteiltä tien reunaan harjattu tai aurattu lumi siirretään välittömästi suurteholingolla suoja-kaistan ulkopuolelle. Liukkaudentorjuntaa suoritetaan myös rullausteilla ja toisinaan myös asematasoilla. (Kettunen & Laaksonen 2010)

Liukkaudentorjuntamenetelmistä on annettu määräyksiä lentoasemien ympäristöluvuissa. Määräykset ovat pääsääntöisesti yhteneviä eri lentoasemien suhteen. Määräykset sisältävät muun muassa seuraavat virkkeet (Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto 2008; Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2007):

*”Liukkaudentorjunnassa on käytettävä aina ensisijaisesti mahdollisuuksien mukaan mekaanisia keinoja, kuten aurausta ja harjausta.”*

*”Lentoturvallisuuden vaatiessa liukkaudentorjuntaa on siinä käytettävä ympäristölle mahdollisimman vähän haittaa tai pilaantumisen vaaraa aiheuttavia kemikaaleja. Kenttäalueella liukkaudentorjunnassa käytettävien kemikaalien valinta ja käyttö lentoturvallisuus ja sääolosuhteet huomioon ottaen sekä kenttäalueelta tulevien hulevesien johtaminen ja käsittely on järjestettävä siten, että liukkaudentorjunta-aineiden aiheuttama ravinne- ja happea kuluttava kuormitus pohja- ja pintavesiin on mahdollisimman pieni.”*

*”Ensisijaisesti on käytettävä formiaatteja tai asetaatteja tai muita vastaavia kemikaaleja, joiden aiheuttama ravinnekuormitus tai hapenkulutus on samantasoinen kuin formiaateilla tai asetaateilla. Liukkaudentorjuntaa voidaan käyttää myös betaiinia tai muuta ympäristökuormitukseltaan vastaavaa kemikaalia. Runsaasti typpeä sisältävien kemikaalien, kuten urean, käyttö liukkaudentorjunta-aineena on kielletty.”*

*”Toiminnanharjoittajan on seurattava uusia markkinoille tulevia lentoliikenteen liukkaudentorjuntaan käytettäviä kemikaaleja. Uudet ympäristölle haitattomat kemikaalit*



*tulee ottaa käyttöön, jos se on lentoturvallisuus, kustannukset ja kansainväliset sertifikaatit huomioon ottaen on mahdollista.”*

*”Finavian on raportoitava vuosittain ympäristöviranomaisille edellistä vuotta koskeva raportti, jossa kerrotaan mm. liukkaudentorjunta-aineiden kuukausittaiset käyttömäärät sekä liukkaudentorjunta- ja jäänestoaaineista aiheutuneet teoreettiset päästöt vesiin päästökohteittain.”*

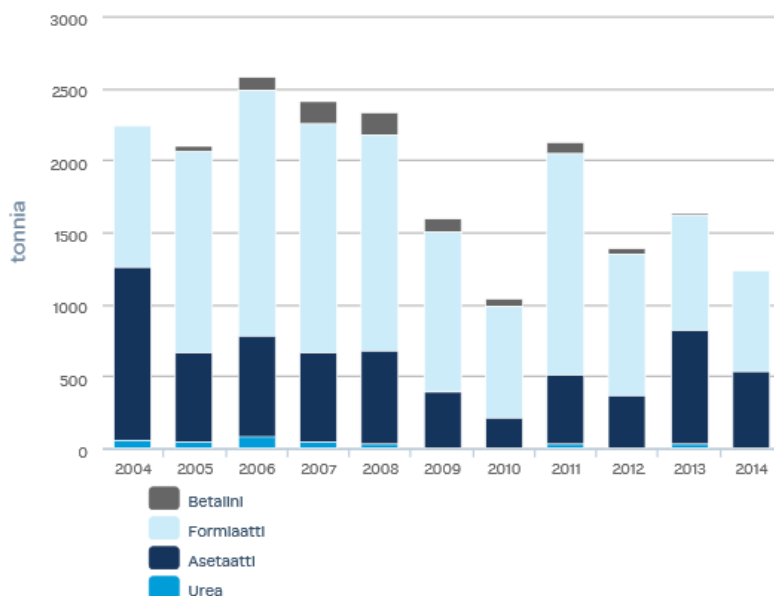
Jos mekaaniset liukkaudentorjuntamenetelmät eivät riitä lentoturvallisuuden takaamiseen, käytetään kemikaaleja jään ja kuuran poistoon sekä ennakoivaan liukkaudentorjuntaan estämään kosteuden jäätymistä. (Finavia 2014). Finavian lentoasemilla yleisimmin käytettäviä liukkaudentorjuntakemikaaleja ovat asetaatit ja formiaatit (Finavia 2014). Ohuen jään ja kuuran poistoon käytetään kaliumasetaatti- tai formiaattiliuosta. Paksumpaan kerrokseen tarvitaan natriumasetaatti- tai -formiaattirakeita. Rakeiden käytön jälkeen kiitotie tulee aurata tai harjata. Useimmiten nestemäinen liuos riittää tavoitteen saavuttamiseen. Liukkaudentorjuntakemikaalien kokonaiskäyttömäärästä 80 % on nestemäisiä liuoksia. (Finavia 2014) Valtaosa liukkaudentorjuntakemikaaleista käytetään kiitoteillä (Kettunen & Laaksonen 2010).

Hiekkaa ei pääsääntöisesti käytetä kiitoteiden liukkaudentorjuntaan Finavian lentoasemilla pääasiakkaiden pyynnöstä, koska se voi vaurioittaa lentokalustoa ja sen vaikutus on useilla keleillä hyvin rajallinen. (Heinijoki 2015). Ilmailumääräys sallii urean käytön, mutta siitä on ympäristövaikutusten takia luovuttu. Urean käyttö on kielletty Finavian sisäisellä ohjeella vuodesta 2000 lähtien lentoasemilla, joilla se aiheuttaa haittaa pohjavedelle. (Finavia 2014) Nykyisin myös ympäristölupamääräykset kieltävät urean käytön lentoasemilla Rovaniemen lentoasemaa lukuun ottamatta. Rovaniemellä urean käyttö on sallittu tietyin rajoituksin. Vähiten ympäristökuormitusta aiheuttaa nestemäinen formiaatti ja useat lentoasemat ovatkin siirtyneet käyttämään sitä. (Finavia 2014)

Asetaattien ja formiaattien merkittävin ympäristövaikutus on niiden biologisissa hajoamisessa kuluva happi. Asetaattien ja formiaattien biologinen hapenkulutus on 0,2-0,7 g-O<sub>2</sub>/g. Formiaatin hapenkulutus on noin puolet pienempi kuin asetaatin. (Finavia 2014) Ilmailumääräyksen mukaan liukkaudentorjuntakemikaalien tulee olla kemikaalia koskevan SAE Aerospace Material Specification –standardin tai vastaavan yhteiseurooppalaisen standardin mukaisia.

Edellä esiteltyjen mekaanisten ja kemiallisten liukkaudentorjuntamenetelmien lisäksi Finavia on tarkistellut myös muita menetelmiä. Kiitotien sulattaminen on mahdollista maarakenteeseen sijoitetulla lämmityslaitteistolla, mutta sen investointi- ja käyttökustannukset ovat suuret. Toinen vaihtoehto on kiitotien pinnan kuivaaminen imuriautolla. Vaihtoehtoisten menetelmien on kuitenkin todettu olevan kapasiteetiltään heikkoja, kuluttavan runsaasti polttoainetta ja vaurioittavan päällysteitä.

Lisäksi Finavia on testannut talvikaudesta 2005-2006 lähtien betaiinin käyttöä Tampere-Pirkkalan, Kuopion ja Kauhavan lentoasemilla. Betaiinin käyttöä on testattu sotilasilmaluksissa havaittujen materiaalivaikutusten johdosta ja asiakkaiden esityksestä. (Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto 2008; Finavia 2015a) Betaiini-pohjainen liukkaudentorjuntakemikaali Betafrost aiheuttaa 0,06 g/g typpikuorman (vrt. urea 0,466 g/g) ja sen BOD7-kerroin on 0,720 g-O<sub>2</sub>/g. Betaiinin aiheuttamat ympäristövaikutukset ovat formiaattia suuremmat, mutta sen vaikutusten lentokoneiden materiaaleihin arvioidaan olevan vähäisemmät. Betaiinin toimivuutta ja ympäristövaikutuksia tutkitaan Jyväskylässä. (Finavia 2015a) Liukkaudentorjuntakemikaalien käyttömäärät vuosilta 2004-2014 on esitetty kuvassa 8.

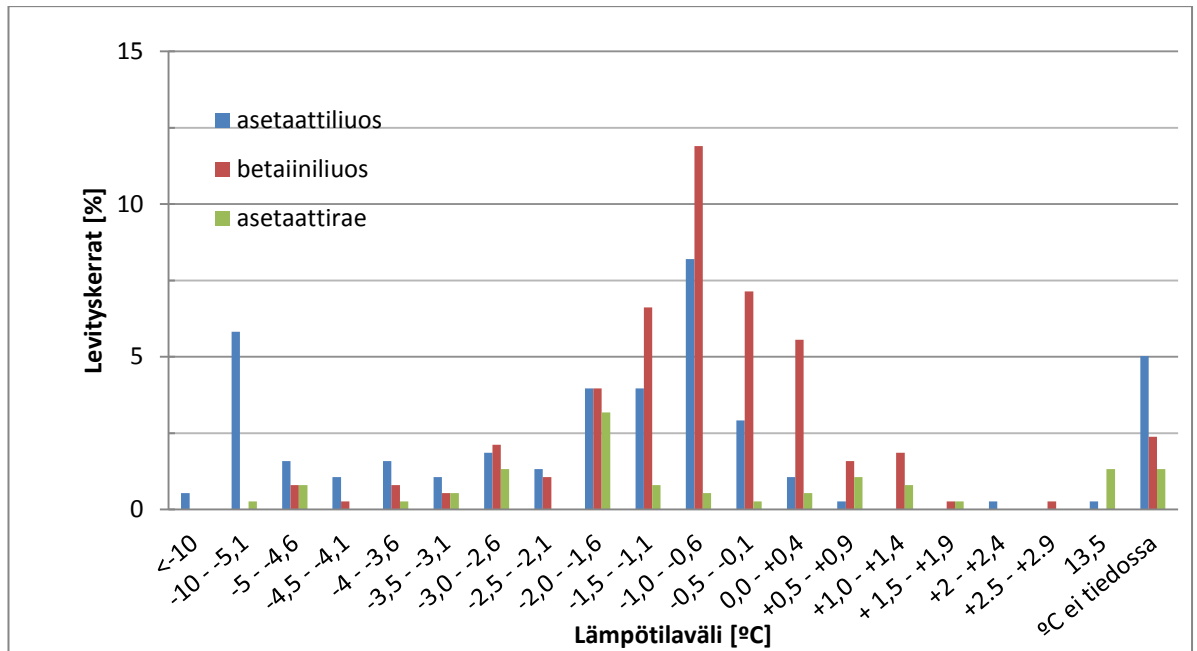


**Kuva 8.** Liukkaudentorjunta-aineiden käyttömäärät Finavian lentoasemilla. Nestemäisten liukkaudentorjunta-aineiden osalta on taulukkoon merkitty niiden kuitupaino eli 50 m-% liuksesta. (Finavia 2015a)

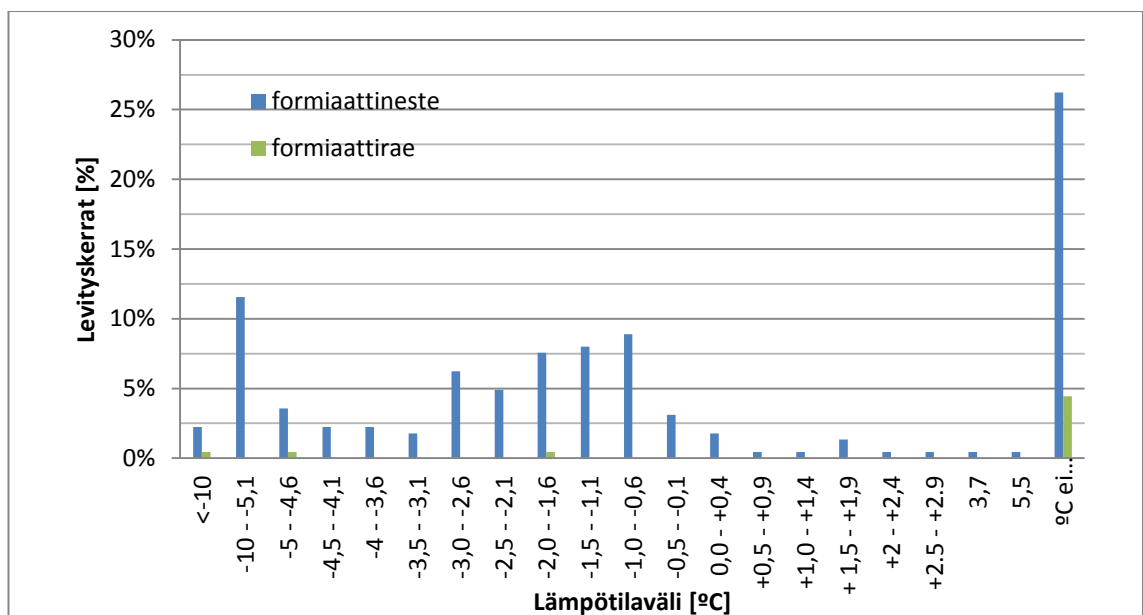
Vähäsateinen kevät laski liukkaudentorjuntakemikaalien käyttötarvetta Helsinki-Vantaan lentoasemalla vuonna 2014. Käyttötarpeen lasku näkyy selvästi kuvassa 3, koska suurimmalla lentoasemalla käytetään noin puolet kemikaalien kokonaismäärästä. (Finavia 2015a) Kuvasta nähdään myös, että liukkaudentorjunta-aineiden käyttö vaihtelee runsaasti vuodesta toiseen.

### 2.3.2.1 Liukkaudentorjunta-aineiden käyttö eri lämpötiloissa

Liukkaudentorjunta-aineiden käyttö riippuu voimakkaasti käsiteltävän pinnan lämpötilasta. Levityskertojen jakaumaa eri lämpötilaväleillä on havainnollistettu kuvissa 9 ja 10. Tampere-Pirkkalan levityskertatiedot kuvassa 9 ovat talvikausilta 2007/2008-2013/2014 ja Oulun levityskertatiedot on koottu kuvaan 10 talvikausilta 2008/2009-2014/2015. Tietoja Oulun lentoaseman liukkaudentorjuntakemikaalien käyttömääristä ja levityskerroista ei ollut saatavissa talvikaudelta 2009/2010.



**Kuva 9.** Liukkaudentorjuntakemikaalien levityskertojen prosentuaalinen jakauma eri lämpötilaväleillä Tampere-Pirkkalan lentoasemalla talvikausina 2007/2008 - 2013/2014



**Kuva 10.** Liukkaudentorjuntakemikaalien prosentuaalinen jakauma eri lämpötilaväleillä Oulun lentoasemalla talvikausina 2008/2009 - 2014/2015, talvikauden 2009/2010 tiedot puuttuvat

Tampere-Pirkkalan ja Oulun lentoasemien levityskertajakaumat eri lämpötilaväleillä poikkeavat jonkin verran toisistaan. Lentoasemien tietoja on kuitenkin haastavaa verrata, koska niillä käytetään eri kemikaaleja: Tampere-Pirkkalassa asetaattia ja betaiinia, Oulussa formiaattia. Lisäksi tarkasteltavat talvikaudet ovat osittain erilaiset Tampere-

Pirkkalan ja Oulun osalta. Tampere-Pirkkalassa tarkastelussa perustui seitsemään peräkkäiseen talvikauteen ja Oulussa kuuteen, joista viisi viimeistä oli peräkkäisiä. Myös ilmasto poikkeaa paikkakuntien välillä merkittävästi ja erityisesti Oulussa meren läheisyys vaikuttaa liukkaudentorjuntaan Tampere-Pirkkalan lähivesistöjä enemmän.

Tampere-Pirkkalassa eniten betaiini- ja asetaattiliuosten levityskertoja on selvästi ollut lämpötilavälillä -1,0 - -0,6 °C. Asetaattiraetta on käytetty vähän muihin liukkaudentorjuntakemikaaleihin verrattuna. Sen osuus on vain 13,2 % (46 levityskertaa) koko tarkastelukauden levityskerroista, kun asetaattiliuoksen osuus on 40,7 % (154 levityskertaa) ja betaiiniliuoksen 47,1 % (178 levityskertaa). Yhteensä levityskertoja oli Tampere-Pirkkalassa seitsemän talvikauden aikana 378.

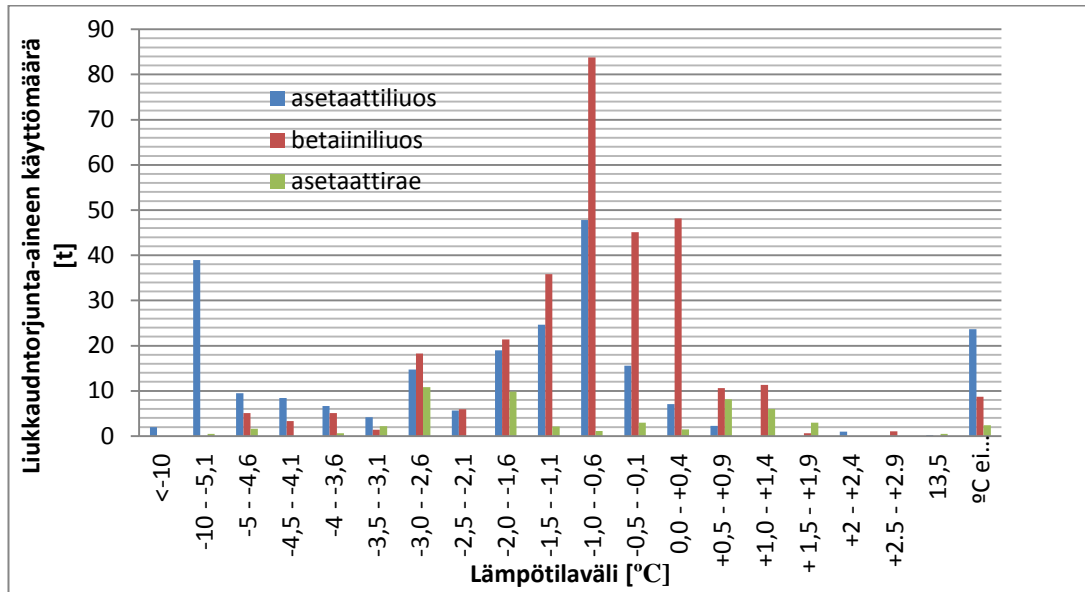
Myös Oulussa levityskertoja on ollut eniten lämpötilavälillä -1,0 - -0,6 °C, jos huomioidaan vain 0,4 °C lämpötilavälit (kuva 10). Formiaattinesteen levityskertojen osuus koko kuuden talvikauden levityskerroista oli 94,2 % (212 levityskertaa) ja formiaattirakeiden 5,8 % (13 levityskertaa). Yhteensä Oulun lentoasemalla levityskertoja oli 225.

Lämpötilaväli -10,0 - -5,1 °C erottuu sekä Oulun että Tampere-Pirkkalan lentoasemien levityskertajakaumasta. Kyseinen lämpötilaväli on 4,9 °C, joten sitä ei voi suoraan verrata 0,4 °C lämpötilaväliden levityskertoihin. °C

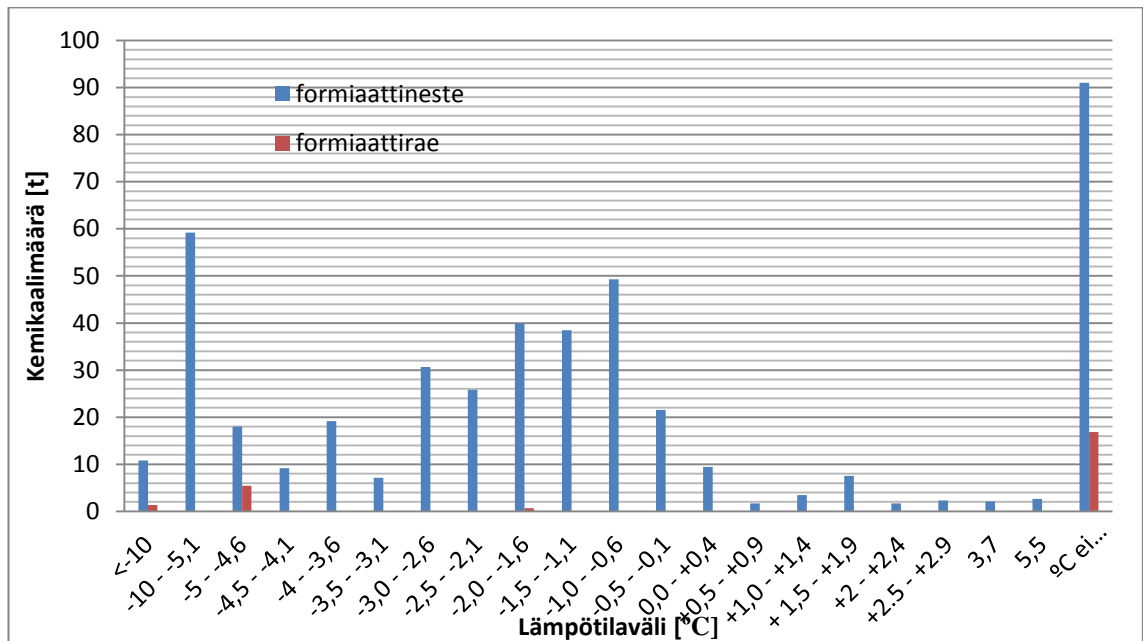
Erityisesti Oulun lentoaseman levityskertakuvaajasta erottuu kohta ” °C ei tiedossa”. Tarkastelluista levityskertamerkinnoista puuttui tieto pinnan lämpötilasta liukkaudentorjuntakemikaalin levityshetkellä 30,7 %:n osalta. Tämä alentaa eri lämpötilaväliden levityskertajakauman luotettavuutta. Tampere-Pirkkalan tilastoista puuttui pinnan lämpötila levityshetkellä 8,7 %:n osalta. Oulun lentoasemalla on käytössä Vaisalan Navigator-ohjelma, joka tallentaa sääasemien mittamaa dataa viiden minuutin välein. Levityskertamerkinnoista puuttuvat lämpötilat on mahdollista hakea Vaisalan Navigator-ohjelmasta. Oulun lentoasemalla levityskertatietojen tarkasta käsin kirjaamisesta on osittain luovuttu, koska tiedot on saatavissa automaattisesta järjestelmästä (Lindroth 2015) . Tulevaisuudessa otetaan käyttöön kunnossapidon sähköinen päiväkirja, joka tulee nopeuttamaan liukkaudentorjunta-aineiden käytön tilastointia ja analysointia. (Heinijoki 2015)

Betaiiniliuosta on käytetty Tampere-Pirkkalan lentoasemalla vain viitenä talvikautena (2008/2009-2011/2012). Tämä näkyy asetaattiliuoksen levityskertojen lukumäärässä. Kun betaiini- ja asetaattiliuoksia käytettiin rinnakkain talvikausina 2008/2009-2011/2012 asetaattiliuosta levitettiin keskimäärin 20,6 kertaa. Kun talvikausina 2012/2013 – 2013/2014 ainut nestemäinen liukkaudentorjunta-aine oli asetaattiliuos, sitä levitettiin keskimäärin 46,5 kertaa talvikaudessa. On kuitenkin huomioitava, että kahden talvikauden tarkastelujakso on hyvin lyhyt, joten pitkän aikavälin keskiarvo voi poiketa tästä tuloksesta huomattavasti. Oulussa formiaattiliuosta levitettiin tarkasteluai- kana keskimäärin 35,3 kertaa talvikaudessa ja formiaattirakeita 2,2 kertaa.

Liukkaudentorjunta-aineiden käyttömäärät eri lämpötilaväleillä Tampere-Pirkkalan ja Oulun lentoasemilla ovat kuvissa 11 ja 12.



**Kuva 11.** Liukkaudentorjunta-aineiden käyttömäärät eri lämpötilaväleillä Tampere-Pirkkalan lentoasemalla, talvikausina 2008/2009-2013/2014



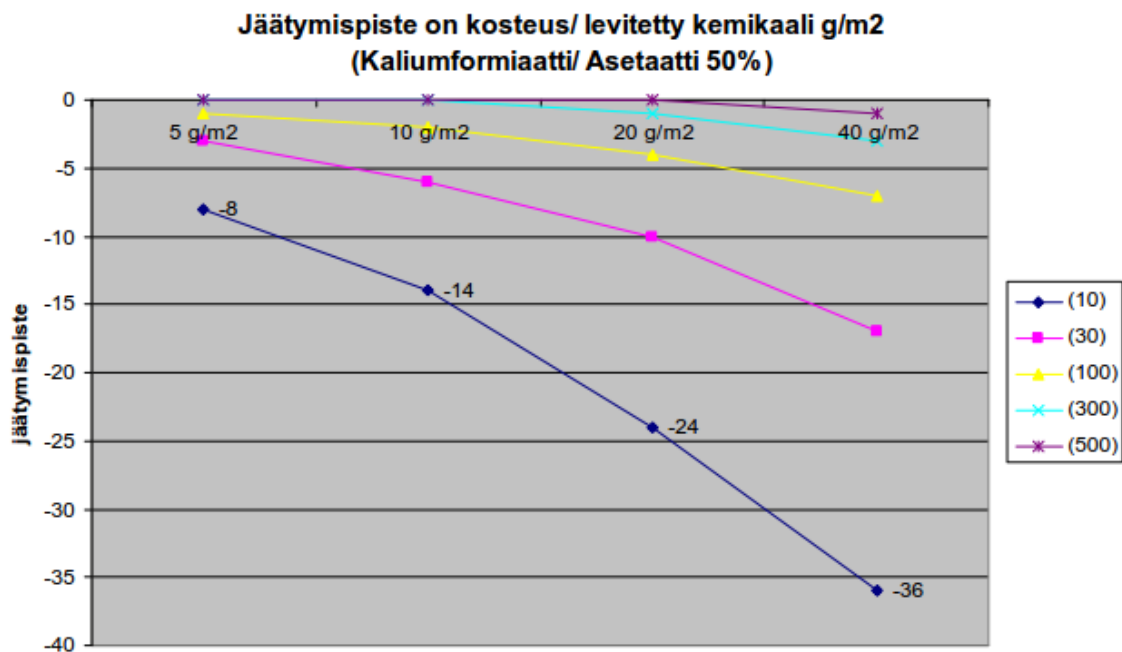
**Kuva 12.** Liukkaudentorjunta-aineiden käyttömäärät eri lämpötilaväleillä Oulun lentoasemalla talvikausina 2007/2008 - 2014/2015, talvikauden 2009/2010 tiedot puuttuvat

Liukkaudentorjunta-aineiden käyttömäärät ovat riippuvaisia levityskertojen lukumääristä. Käyttömäärä on sitä suurempi, mitä useammin aineita on levitetty. Tampere-Pirkkalan lentoasemaa koskevat kuvaajat ovat profiililtaan samanlaisia keskenään. Suurimmat ja pienimmät arvot ovat samoilla lämpötilaväleillä kummassakin kuvaajassa.

Oulun kuvaajista nähdään, että lämpötilavälillä -10 - -5,1 °C formiaattiliuosta levitetään enemmän kuin pienemmällä pakkasella tai nollan tuntumassa.

Tampere-Pirkkalan lentoasemalla betaiini- ja asetaattiliuoksen rinnakkain käytössä betaiinia käytettiin keskimäärin 1718 kg/levityskerta ja asetaattiliuosta 1530 kg/levityskerta. Betaiinin käytön loputtua kahden talvikauden tietojen perusteella lasketuksi keskiarvoksi saadaan 1676 kg/levityskerta. Tarkastellut massat ovat puhtaan kemikaalin kuivapainon osuus liuksesta. Asetaatti- ja betaiiniliuksista 50 % on vettä ja 50 % liuotettua asetaattia tai betaiinia.

Pinnan lämpötilan lisäksi liukkaudentorjunta-aineiden käyttömäärä riippuu pinnan kosteudesta. Mitä kosteampi pinta, sitä korkeampi on sen jäätympiste. Jäätympisteeseen riippuvuutta pinnan kosteudesta ja eri kemikaalimäärien vaikutuksesta jäätympisteeseen on havainnollistettu kuvassa 13.



**Kuva 13.** Levitetyn kemikaalin määrän vaikutus jäätympisteeseen eri pinnan kosteuksilla (Heinijoki 2014)

Kuvaajasta nähdään, että kosteudeltaan 300-500 g/m<sup>2</sup> olevan pinnan jäätympiste on hyvin korkea -2,5 – -0,5 °C, vaikka nestemäistä kaliumformiaattia tai -asetaattia levitetäisiin pinnalle 40 g/m<sup>2</sup>. Kuivempien pintojen kuvaajat laskevat selvästi jyrkemmin, kun kemikaalia levitetään suurempi määrä neliometriä kohden. Näin ollen kuivaamalla pintaa mekaanisesti harjaamalla voidaan vähentää liukkaudentorjuntakemikaalien käyttötarvetta. Lisäksi kuvaajan perusteella voidaan todeta, että tulevaisuudessa, kun sateet yleistyvät ja lämpötila on useammin lähellä nollaa Celsius-astetta, harjaustarve ja liukkaudentorjunta-aineiden kulutus tulevat lisääntymään.

### 2.3.2.2 Lentoasemien kelinseurantajärjestelmät

Tässä kappaleessa esitellään Suomen lentoasemien käyttämiä sääpalveluita ja verrataan niiden ominaisuuksia nykyisiin sekä tulevaisuuden tarpeisiin. Tiedonsaantia varten haastateltiin Finavian liikennealuepalveluiden päällikkö Heikki Heinijokea ja tutustuttiin Ilmatieteen laitoksen sääpalveluun. Tulevaisuuden tarpeita on ennustettu Ilmatieteen laitoksen Finn Trip –hankkeen tulosten avulla.

Lentoasemien toiminnan kannalta on tärkeää ennakoida kaikki säähäiriötilanteet, kuten myrskyt ja rankkasateet. Päivittäisessä kunnossapitotoiminnassa on talvikaudella oleellista ennakoida etenkin pintojen jäätyismahdollisuus. Ilmastonmuutoksen myötä sääpalveluiden ja sään havainnoinnin merkitys korostuu. Ennakoinnissa avainasemassa ovat käyttäjille sopivat ja riittävän tarkat sääpalvelut.

Finavia ostaa sääpalveluita kesäisin yhdeltä ja talvisin kahdelta sääpalveluiden tuottajalta. Sääpalveluilla pyritään varautumaan tuleviin sääoloihin ja analysoidaan sään historiatietoja. Säätiedoilla parannetaan lentoturvallisuutta ja toiminnan taloudellisuutta sekä ympäristöystävällisyyttä. Sää tiedot otetaan huomioon esimerkiksi silloin, kun päätetään liukkaudentorjuntamenetelmien käytöstä. Säätiedoilla varaudutaan liukkauden lisäksi muuttuviin ja poikkeaviin tuuliolosuhteisiin, sateisiin ja lämpötiloihin. Sään historiatietojen avulla voidaan esimerkiksi optimoida liukkaudentorjuntamenetelmiä.

Finavian kaikilla lentoasemilla oli kesällä 2015 käytössä Ilmatieteen laitoksen selainpohjainen sääpalvelu, jossa sää tiedot on jaoteltu Suomen ja Skandinavian tarkkuus-tasoille. Palvelun kautta voi hakea sade- ja lämpötilaennusteet 27 lentoasemalle. Joukossa on myös lentoasemia, jotka eivät ole Finavian omistuksessa. Lentoasemakohtaisen sääennusteen aika-askelvaihtoehdot ovat yksi ja kolme tuntia. Ennusteessa on eritelty ilman ja pintojen lämpötilat, kastepiste, sademäärä ja tuulen suunta sekä nopeus. Lisäksi molempien aika-askelvaihtoehtojen tarkkuudella on saatavissa tiedot sateen todennäköisyydestä ja olomuodosta, pilvisyydestä ja kelistä. Kelityyppejä ovat mm. kuiva ja märkä keli. Ala- ja keskipilvien määrästä on saatavana myös tutkakuvaennusteet, joissa Suomi on jaettu kolmeen osaan Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomeen. Lentoasemien lisäksi sääpalvelusta on saatavissa lukuisien tieasemien sääennusteet ja havainnot.

Sääennuste- ja historiatietopalveluiden lisäksi lentoasemilla tarkkaillaan vallitsevaa säätilaa. Vallitsevan säätilan tarkkailu suoritetaan silmämääräisen arvioinnin lisäksi lentoasemien sääasemien avulla. Sääasemista saadaan tietoa muun muassa lentoaseman eri osien ilman lämpötilasta ja kosteudesta, pintalämpötilasta, kastepistelämpötilasta ja jäätympistelämpötilasta. Lisäksi sääasemat analysoivat mittauspaikkansa sadeluokan, säätilan ja kelitilanteen.

Sääasemien toiminta perustuu erilaisiin mittareihin. Lentoasemilla on kiitoteihin asennettuja antureita, joilla selvitetään liukkaudentorjuntatoimenpiteiden vaikutus jäätympistelämpötilaan eli jäätympistepisteen alenema. Pinta-antureiden toiminta perustuu pinnan

kemikaaliseoksen sähkönjohtavuuden muutoksen mittaamiseen ja aktiivipinta-antureiden toiminta anturielementin jäädyttämiseen alle vallitsevan kiitotien pintalämpötilan. Valtaosa lentoasemien kiitotieantureista on toiminnaltaan sähkönjohtavuuteen perustuvia.

Muutamalla lentoasemalla on käytetty liukkaudentorjunta-aineita, jotka eivät johda sähköä, joten näillä lentoasemilla liukkaudentorjunta-aineiden aikaansaaman jäätymisspisteen alenemisen seurantaan soveltuvat vain pinta-anturit, joiden toiminta perustuu anturielementin jäädyttämiseen.

Osalla lentoasemista on ollut käytössä joko Ilmatieteen laitoksen ja YIT:n tai Forecan ja Destian toteuttama kelipalvelu. Kelipalvelun henkilöstö tarkkailee paikallisia sääennusteita lentoaseman lähetyvillä ja ilmoittaa havainnoista lentoasemalle, jos ne ovat oleellisia lentoaseman toiminnan kannalta. Aiemmin kelipalvelua hyödynsi 14 Finavian lentoasemaa, mutta kokeilujakson jälkeen osa lentoasemista luopui palvelusta, koska ennusteiden ei koettu tulevan riittävän ajoissa. Osa lentoasemista on kuitenkin pitänyt palvelua tarpeellisena sen paikallisuuden ansiosta ja jatkanut sen tilaamista.

Tampere-Pirkkalan kunnossapidon mukaan onnistunut säätilan ennustaminen ja tarkkailu lentoasemalla perustuu ennen kaikkea pitkään kokemukseen. Ostetut ennuste- ja havaintopalvelut sekä mittalaitteistot ovat hyvä lisä päätöksenteon tueksi, mutta liukkaudentorjuntatyössä syntyvä kokemus on kuitenkin kaikkein merkittävimmissä asemassa. Lisäksi tulee huomioida, ettei mikään palvelu kerro, mitä toimenpiteitä vallitseva tai ennustettu keli edellyttää. Ennusteita ja havaintoja tulkitaan kunnossapidossa ryhmän kesken ja samoin ryhmä pohtii, mitä toimenpiteitä tulee tehdä. Vuoro esimies on kuitenkin vastuussa päätöksistä. (Vieri 2015)

Nykyiset sääpalvelut ovat melko hyviä, mutta lentoaseman toiminnan kannalta ennusteiden olisi hyvä olla vielä paikallisempia ja tarkempia. Kunnossapidon toiminnan kannalta on ensisijaisen tärkeää tietää talvisin, milloin sade tai lämpötilan muutos nollan ympäristössä alkaa ja missä muodossa sade tulee. Tampere-Pirkkala käytti aiemmin kelipalvelua eli paikallisennusteiden soittopalvelua, mutta siitä luovittiin, koska ennusteet tulivat lentoaseman toiminnan kannalta myöhässä. (Vieri 2015)

Oulun lentoaseman kunnossapidon kokemukset sääennustepalveluista ovat samansuuntaisia Tampere-Pirkkalan kokemusten kanssa. Kunnossapidon henkilökunta on pääsääntöisesti onnistunut ennustamaan sään ja kelin muutokset kokemuksen avulla ennen kuin eri sääpalveluiden ennusteet kertovat saman. Ulkopuolisista palveluista on kuitenkin todettu olevan erityistä hyötyä jäätävien sateiden ennustamisessa. (Lindroth 2015)

Helsinki-Vantaan lentoasemalla on käytössä useita sääpalveluita, joista yksi on Meteogroup-yrityksen palvelu RoadCast. RoadCast muodostaa lyhyen aikavälin tarkkoja sääennusteita (nowcasts) ennustetiedon ja lentoasemalla havaittujen sääparametrien perusteella. Nowcast-ennusteet ovat lentoasematoiminnassa erittäin hyödyllisiä. Niiden avul-



la lentoturvallisuus ja toiminnan optimointi on vielä korkeatasoisempaa kuin ilman nowcast-ennusteita. Nowcast-ennusteet helpottavat kunnossapitohenkilöstön päätöksentekoa ja lisäävät heidän tilannetietoisuuttaan.

Meteogroupin palvelu on toistaiseksi käytössä vain Helsinki-Vantaan lentoasemalla. Meteogroupin palvelussa on erityisen hyvä käyttöliittymä kunnossapitohenkilöstön tarpeisiin. RoadCast-palvelusta näkee yhdellä silmäyksellä runsaasti parametrejä ja osa parametreista on värikoodattu, mikä helpottaa säätietojen tulkintaa huomattavasti. (Heinijoki 2015)

Helsinki-Vantaan lentoasemalle laadittiin säämallin vuonna 2013. Mallin tavoitteena on havainnollistaa sääolosuhteiden vaikutusta liukkaudentorjunta-aineiden käyttöön Helsinki-Vantaan lentoasemalla ja suodattaa sääolosuhteiden vaihteluita liukkaudentorjunta-aineiden käyttötilastoista. Mallin avulla voidaan selvittää jälkikäteen, kuinka hyvin liukkaudentorjunta-aineiden käytön optimoinnissa onnistuttiin. Kun sääolosuhteiden vaihtelu suodatetaan liukkaudentorjuntakemikaalien käyttötilastoista, voidaan arvioida, miten käyttömäärät ovat kehittyneet vuositasolla. (Malmivuo 2013)

Finavia harkitsee säämallin kehittämistä myös Rovaniemen, Kuopion, Tampere-Pirkkalan, Vaasan, Turun ja Jyväskylän lentoasemille. Verkostolentoasemien säämallit valmistuvat aikaisintaan vuoden 2015 lopussa. Jos säämalli saadaan laadittua useille lentoasemille, voidaan vertailla, miten Suomen eri lentoasemilla on onnistuttu liukkaudentorjunta-aineiden optimoinnissa. (Heinijoki 2015)

Säämallien ja sään historiatietojen avulla voidaan kehittää talvi-indeksi, joka perustuu yksittäisen talvikauden tietojen vertaamiseen pitkäaikavälin keskiarvoihin. Talvi-indeksillä arvioidaan, kuinka vaikea tai helppo kulunut talvikausi oli muihin talvikausiin nähden. Vertailtavista tiedoista suodatetaan sääolosuhteiden vaihtelun lisäksi muita eri lentoasemien ja talvikausien tietojen vertailua häiritseviä tekijöitä, kuten aukioloaikojen ja liikennemäärien vaikutus.

Finntrip-hankkeen mukaan tutkateknologia tulee tulevaisuudessa olemaan merkittävässä asemassa lähiajan sääennusteiden (nowcasts ja short-term forecast) laadinnassa. Pitkän aikavälin sääennusteet ovat parantuneet päivällä joka vuosikymmen viimeisen kahdenkymmen vuoden ajan. Hyvän sääpalvelun palveluketju etenee seuraavasti (Nurmi et al. 2014):

- Meteorologinen tieto on tarkkaa
- Tieto on käyttäjän kannalta oikeaa
- Käyttäjä pääsee käsiksi tietoon
- Käyttäjä ymmärtää tiedon pätevästi
- Käyttäjä reagoi tietoon tehokkaasti
- Reagointi auttaa välttämään sään haitallisia vaikutuksia ja parantaa toimintaa

Tieliikenteen merkittävimmät tavoitteet sääpalveluiden kehittämisessä ovat yllättävien tilanteiden välttäminen ja poistaminen, säätiedon saatavuus ja käyttäjän oikea reagointi saamaansa tietoon (Nurmi et al. 2014). Lentoasemien sääpalvelutarpeet ovat samoja kuin edellä kuvatut Ilmatieteen laitoksen hyvän palveluketjun vaiheet. Meteogroupin palvelu vastaa lentoasemien kunnossapitohenkilöstön tarpeita hyvin ja Heinijoki toivookin, että kotimaiset sääpalveluiden tuottajat kehittäisivät omia tuotteitaan samaan suuntaan.

## 3. AINEISTO JA MENETELMÄT

Tässä luvussa esitellään Tampere-Pirkkalan ja Oulun lentoasemien hulevesijärjestelmät ja liukkaudentorjuntamenetelmät. Lisäksi luvussa kuvataan, kuinka kohdelentoasemien hulevesijärjestelmiä mallinnettiin tietokoneohjelmalla.

### 3.1 Kohdelentoasemat

Tampere-Pirkkalan lentoasema valmistui vuonna 1979. Se sijaitsee Pirkkalan kunnassa. Lentoasemalla on yksi 2700 metriä pitkä ja 45 metriä leveä kiitotie. (Finavia 2015b) Lentoasemalla on siviili-ilmailun lisäksi sotilaslentoliikennettä. Lentoaseman kokonaispinta-ala on noin 1000 hehtaaria, josta 600 hehtaaria on Satakunnan Lennoston käytössä.

Lentoaseman matkustajamäärä vuonna 2014 oli 412 609 henkilöä, 11,6 % vähemmän kuin vuonna 2013. Muiden Finavian lentoasemien matkustajamääriin verrattuna Tampere-Pirkkala oli neljänneksi vilkkain. Liikenneilmailun laskeutumisten määrä oli vuonna 2014 hieman alle 4000, 9,1 % vähemmän kuin vuonna 2013. (Finavia 2015d)

Lentoaseman kehitystavoitteena on olla Suomen toiseksi vilkkain lentoasema vuonna 2040. Matkustajamäärän arvioidaan olevan silloin 5 miljoonaa ja siviili-ilmailun operatiivimäärän 60 000 vuodessa. Vuonna 2040 on mahdollisesti rakennettu toinen kiitotie. (Linnanto 2014)

Tampere-Pirkkalan lentoasemalla on vuonna 2007 Länsi-Suomen Ympäristölupaviraston myöntämä ympäristölupa, jota Vaasan hallinto-oikeus täydensi päätöksellään vuonna 2009. Hallinto-oikeuden täydentävä päätös liittyi propyleeniglykolin käyttöselvityksen laatimiseen.

Oulun lentoasema aloitti toimintansa vuonna 1953. Lentoasema sijaitsee entisen Oulunsalon kunnan alueella noin 11 kilometrin päässä Oulun kaupungin keskustasta lounaaseen. Lentoasemalla on yksi 2500 metriä pitkä kiitotie. Sen leveys on 60 metriä ja pinta-ala on 15 hehtaaria. Sivukiitotie poistettiin käytöstä 2000-luvun alussa ja se toimii nykyisin pienkoneiden asematasona. Kenttäalueen (kiitotie, rullaustiet, asematasot) pinta-ala on 32,3 hehtaaria. (Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto 2008)

Oulun lentoasema on matkustajamäärältään Suomen toiseksi vilkkain lentoasema Helsinki-Vantaan lentoaseman jälkeen. Matkustajamäärä vuonna 2014 oli 960 547 henkilöä, mikä on 9,5 % enemmän kuin vuonna 2013. Liikenneilmailun laskeutumisten mää-

rä vuonna 2014 oli 5258, 1,8 % vähemmän kuin vuonna 2013. (Finavia 2015d) Finavia on arvioinut 2000-luvun alussa lentoaseman toiminnan kasvavan, niin että liikenneilmailun laskeutumisten määrä vuonna 2020 olisi 14 700. (Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto 2008)

Siviili-ilmailun lisäksi Oulun lentoasemalla on sotilasilmailua. Yksi Lapin Lennoston tukikohdista sijaitsee Oulun lentoasemalla. Ilmavoimien toiminta Oulussa on pääasiassa kausittaista leirityyppistä toimintaa. (Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto 2008)

Oulun lentoasema sijaitsee harjualueella, joka kuuluu Salonselän I-luokan pohjavesialueeseen. Harjualue on hiekkavaltaista mutta osa alueen itäisestä alueesta on hienon heikosti vettä läpäisevän sedimentin peitossa. (Kettunen & Laaksonen 2010))

Pohjois-Suomen Ympäristölupavirasto myönsi Oulun lentoasemalle ympäristöluvan vuonna 2008. Ympäristöluvassa on annetut määräykset hulevesiin ja liukkaudentorjuntaan liittyen ovat laajalti yhtenevät luvussa 4 esiteltyjen lupamääräysten kanssa. Ympäristölupaa on haettu nykyiselle ja vuoteen 2020 saakka ennustettavissa olevalle tulevaisuuden toiminnalle. Lupa on voimassa toistaiseksi, mutta lupamääräysten tarkistamisesta tulee tehdä hakemus vuoden 2018 loppuun mennessä.

### **3.2 Hulevesijärjestelmät kohdelentoasemilla**

Tampere-Pirkkalan lentoasema sijaitsee kallioiden ja mäkien ympäröimällä ylänköalueella, jolta valumavedet virtaavat kolmeen suuntaan. Lentoaseman hulevedet laskevat kolmea reittiä pitkin Pyhäjärveen. Pohjoisosien vedet laskevat Juoksijanojaa pitkin Kotolahteen, idässä Sikojärven ja -joen sekä Isolammin kautta Kirkkonniitynlahteen ja etelässä Hahmojärven kautta Säijänselkään. (Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2007)

Tampere-Pirkkalan lentoasemalle laadittiin hulevesiselvitys vuonna 2010. Hulevesiselvityksen tavoitteena oli selvittää hulevesien hallintamenetelmät ja mahdollisuudet vähentää liukkaudentorjunta- sekä jäänesto- ja poistokemikaalien aiheuttamaa ympäristökuormitusta. Hulevesiselvitys tehtiin lentoaseman ympäristöluvan velvoittamana. Hulevesiselvityksen toimenpide-ehdotukset liittyvät hulevesien laadunhallintaan. (Kettunen et al. 2010)

Tampere-Pirkkalan lentoaseman hulevesijärjestelmät ovat toimineet lentoasemalla pääasiassa hyvin. Kiitotien länsipuolella osa ojista on hänen mukaansa vetänyt aiemmin huonosti, koska ojat ovat päättyneet kallioseinämaan. Kalliota louhittiin kesällä 2015, jotta vesi saatiin virtaamaan ojissa paremmin. (Aaltonen 2015)

Oulun lentoasemalla on noin 12 km hulevesiverkostoa. Hulevesiverkosto koostuu pääosin betoniputkista. Hulevesiverkostosta sade- ja sulamisvedet johdetaan kuuteen purkupisteeseen. Lentoaseman pohjoispuolelta hulevedet johdetaan Pasko-ojaa pitkin Kempeleenlahteen. Pasko-ojaan laskee hulevesiverkostosta neljä purkupistettä. Lisäksi

pääkiitotien kaakkoispäässä on purkupiste, joka laskee avo-ojan kautta Liminganlahteen. Sivukiitotien lounaispäässä on purkupiste, josta vesi virtaa maastoon. (Kettunen & Laaksonen 2010) Oulun lentoaseman ympäristöluvan määräyksien mukaan jokainen purkupuutki on varustettu rakenteella, joka mahdollistaa edustavan vesinäytteen ottamisen.

Oulun lentoaseman hulevesiverkosto on kuvattu viimeksi vuonna 2013 ja sitä ennen vuosina 1987, 1990 ja 2002. Lentoasemalle on tehty hulevesiselvitys vuonna 2010 ja -kartoitus vuonna 2007. Kartoituksessa hulevesiverkoston kaivojen sijainnit ja korkotasot määritettiin mittauksilla. Vuoden 2010 hulevesiselvitys ja vuoden 2013 kuvaukset tehtiin lentoaseman ympäristöluvan velvoittamina. Hulevesiselvityksen tavoitteena oli selvittää, kuinka liukkaudentorjuntakemikaaleja sisältäviä hulevesiä voidaan kerätä ja käsitellä. (*Selvityksessä laskettu laskennallinen valunta vuositasona*) (Kettunen & Laaksonen 2010) Ympäristölupamääräyksessä varattiin myös oikeus antaa uusia määräyksiä liukkaudentorjuntakemikaaleista aiheutuvan ympäristöhaitan rajoittamiseksi. Hulevesiverkoston kuvauksilla selvitettiin verkoston kuntoa ja paikallistettiin vuotokohdat, jotka tulee korjata pohjaveden pilaantumisuhan välttämiseksi.

Oulun lentoasemalla ei ole ollut merkittäviä ongelmia hulevesiin liittyen. Osa vanhoista hulevesiverkoston betonirummuista on vaihdettu niiden heikon kunnon tai huonojen kaatojen vuoksi. Asfaltoitujen alueiden ulkopuolella on ollut muutamia painumia, jotka on korjattu verkoston korjaustöiden yhteydessä kesällä 2014 ja 2015. Lisäksi muutamiin hulevesikaivojen reunoilla on esiintynyt pinnan kantavuutta paikallisesti heikentäviä vuotoja. Vuotokohdat on saatu korjattua nopeasti havainnon jälkeen. Lentoasemalla ei ole esiintynyt huleveden kerääntymistä maanpinnalle. (Lindroth 2015)

### 3.3 Liukkaudentorjuntamenetelmät kohdelentoasemilla

Tampere-Pirkkalan lentoasemalla on käytetty vuodesta 1994 kelinseurantajärjestelmää, joka koostuu kolmesta mittauspisteestä kiitoradan päissä ja keskellä sekä niihin liitetystä tietojärjestelmästä. (Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2007) Tampere-Pirkkalan lentoasemalla käytetään samoja liukkaudentorjuntamenetelmiä kuin muillakin Finavian lentoasemilla. Ensisijaisesti hyödynnetään mekaanisia menetelmiä aurausta ja harjausta harja-puhallin-yhdistelmällä. Mikäli lentoturvallisuus edellyttää kemikaalien käyttöä, käytetään asetaattinestettä tai -rakeita. Talvikausina 2007/2008-2011/2012 käytettiin asetaatin rinnalla myös betaiinia.

Tampere-Pirkkalan lentoaseman nykyiset liukkaudentorjuntamenetelmät ovat toimivia. Harjauksen, aurauksen ja liukkaudentorjuntakemikaalien avulla lentoliikennealueen kitkatasot on saatu pidettyä turvallisina kohtuullisin resurssein. Lentoasemalla on keskusteltu kemikaalien levitinlaitteen mallin muutoksesta, kun kaluston uusinta on seuraavan kerran ajankohtainen. Nykyisin asetaattineste ja -rakeet levitetään samalla laitteella. Uuden levityslaitteen toivotaan olevan tarkoitettu vain nesteen levittämiseen,

koska asetaattineste on ensisijainen liukkaudentorjunta-aine. Vain nesteen levittämiseen tarkoitettussa levityslaitteessa puomiston rakenne eroaa rinnakkaiskäyttöön soveltuvan levityslaitteen puomistosta, niin että sen toimivuus on parempi. Jatkossa rinnakkaiskäyttöön soveltuvaa laitetta voitaisiin käyttää ensisijaisesti asetaattirakeiden levittämiseen ja samalla se toimisi varakalustona nesteen levittämiseen tarkoitettulle levityslaitteelle. (Aaltonen 2015)

Oulun lentoaseman ympäristöluvassa on todettu, että vuoden 2020 liukkaudentorjunta-aineiden kulutusta on hyvin vaikeaa ennustaa. Liukkaudentorjunnan kerrotaan riippuvan suhteessa paljon enemmän keleistä kuin liikennemäärästä. Kelien suhteen talvikausi 2004-2005 on ollut erityisen vaikea ja silloin liukkaudentorjunta-aineiden käyttö oli runsasta.

Oulun lentoaseman käytetyt liukkaudentorjuntamenetelmät ovat olleet toimivia (Lindroth 2015). Lentoasemalla käytetään nestemäistä formiaattia ja toisinaan myös formiaattirakeita.

### **3.4 Hulevesimallien muodostus ja soveltaminen**

Tampere-Pirkkalan ja Oulun lentoasemien hulevesiverkostoista laadittiin hulevesimalli Finavialta saatujen lähtöaineistojen ja Maanmittauslaitoksen avoimien karttamateriaalien avulla. Hulevesimalli laadittiin käyttäen USA:n ympäristönsuojeluviraston SWMM-mallinnusohjelmaa, joka on yksi maailman käytetyimmistä hulevesimallinnusohjelmistoista. (EPA 2015)

Hulevesiverkostot käytiin verkostokarttojen avulla läpi putki putkelta ja kaivo kaivolta. Tarkastelussa kiinnitettiin erityisesti huomiota putkikokoihin sekä putkien ja kaivojen korkoihin. Hulevesiverkoston toimivuuden kannalta on tärkeää, että putkikoot kasvavat linjan alusta purkupistettä kohti. Jos suurempi putki on liitetty verkostossa alempana olevaan pienempään putkeen, on riskinä, ettei pienemmän putken välityskapasiteetti riitä, jolloin putkiosuus muuttuu paineelliseksi aiheuttaen padotusta tai virtausta väärään suuntaan. Toinen vaihtoehto putkikoon kasvattamiselle verkostossa alaspäin mentäessä on kaltevuuden kasvattaminen. Putkien kaltevuus on kuitenkin pitkälti riippuvainen maanpinnan kaltevuudesta, joten sen kasvattaminen ei ole yhtä yksinkertaista kuin putkikoon. Verkoston suunnitteluvaiheessa voidaan selvittää teknistaloudellisella tarkastelulla, onko verkoston toimivuuden takaamiseksi suositeltavampaa kasvattaa putkikokoa vai kaltevuutta.

Hulevesiputkien korkoja tarkasteltiin, jotta nähtiin, viettävätkö ne alajuoksua kohti. Hulevesikaivojen osalta tarkastettiin, että kaivoon laskevien putkien päät olivat korkeammalla kuin kaivosta lähtevän putken vesijuoksu. Lisäksi tarkastettiin, että kaivojen pohjat olivat kaikkien vesijuoksujen alapuolella ja kannet yläpuolella.

Putkien ja kaivojen korkojen määrittämisessä hyödynnettiin eri lähtöaineistoja ristiin. Tämä voi aiheuttaa virheitä verkostokoosteisiin, joihin kerättiin kaikkien putkien ja kaivojen korot lentoasemittain erikseen. Virheet aiheutuvat siitä, että eri lähtöaineistot perustuivat eri mittauksiin ja saman kohteen mittaustulos voi vaihdella mittauskerrasta riippuen.

Verkostokarttatarkastelun jälkeen lentoaseman alue jaettiin valuma-alueisiin. Valuma-aluejako tehtiin ensin karkeammalla tasolla niin, että jokaisella valuma-alueella oli oma purkupisteensä. Tämän jälkeen valuma-aluejakoa tarkennettiin jakamalla purkupistekohtaiset valuma-alueet pienempiin osavaluma-alueisiin. Osavaluma-alueiden pinta-alat määritettiin Qgis-ohjelmalla ja ilmakuvista määritettiin eri maastotyyppien pinta-alaosuudet valuma-alueittain. Pinta-alojen määrittäminen ilmakuvasta on suhteellisen epätarkka maastotyyppiosuuksien määrittämismenetelmä, mutta sen katsottiin olevan työn laajuuteen nähden riittävä. Maastotyypit, joihin lentoaseman alue jaettiin, olivat nurmi, asfaltti ja katto. Eri maastotyypit poikkeavat toisistaan vedenläpäisyominaisuuksiltaan.

Hulevesiverkostosta ja valuma-aluejaosta muodostettiin hulevesimalli Storm Water Management Model –ohjelmalla (SWMM). Hulevesimallilla simuloitiin nykyisen hulevesiverkoston toimivuutta erilaisilla sateilla. Simuloinnissa tunnistettiin verkoston pulonkaulakohdat. Avo-ojat määritettiin siten, että ne toimivat osana hydraulista mallia, mutta niiden toimintaa ei tarkemmin tarkastelu. Avo-ojien kapasiteetti on suuri putkiosuuksiin verrattuna eivätkä ne näin ollen todennäköisesti vaikuta haitallisesti hulevesiverkoston toimivuuteen.

Mallinnus aloitettiin tarkastelemalla hulevesiverkoston toimivuutta erikestoilla kerran viidessä vuodessa toistuvilla sateilla. Mallinnettavan sateen kestoaikaa vaihtelemalla etsittiin sadetapahtuma, joka aiheuttaa suurimman virtaaman verkoston eri osissa. Vaikeimmimman sateen kestoaika on riippuvainen tarkastelupisteen valuma-alueen koosta. Valuma-alueiden vaikutus kumuloituu pitkällä sateilla verkoston loppupäässä, kun taas verkostojen latvoilla virtaamat ovat suurimmillaan lyhytkestoilla sateilla. Mallinnuksessa käytetyt sadetiedot ovat Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU) –hankkeessa julkaistuja tilastoista.

Nykytilan lisäksi hulevesiverkostojen toimivuutta tarkasteltiin ilmastonmuutoksen vaikutusten kannalta. Luvussa 2.2 esiteltyjen eri tutkimushankkeiden ennusteiden perusteella sadanta tulee lisääntymään 2060-lukun mennessä Etelä-Suomessa talvella 11-14 % ja kesällä 6-7 %. Pohjois-Suomessa vastaava muutos on talvella 12-15 % ja kesällä 7-9 %. Ilmastonmuutoksen vaikutusta hulevesiverkostojen toimivuuteen tutkittiin ajamalla hulevesimallit nykyisin kerran kymmenessä vuodessa toistuvalla sateella, mikä vastaa sadannan kasvua noin 20 prosentilla. Jos sadanta lisääntyy 20 %, nykyisin kerran kymmenessä vuodessa toistuva sade yleistyy niin, että se toistuu kerran viidessä vuodessa. (Aaltonen et al. 2008)

### 3.4.1 Tampere-Pirkkalan lentoaseman hulevesiverkoston mallinnus

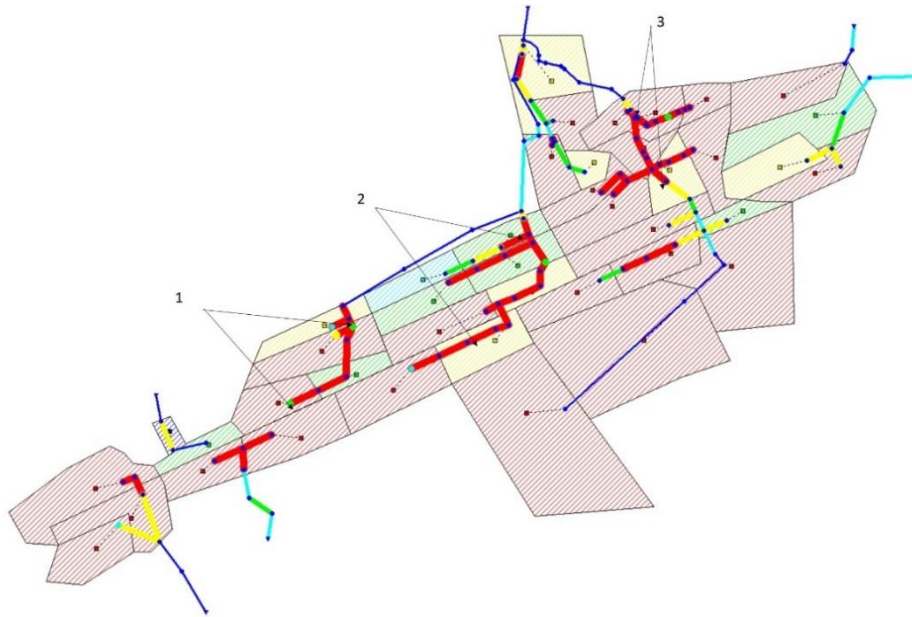
Tampere-Pirkkalan lentoasema ja sitä ympäröivät alueet jaettiin maastonmuotojen mukaan 42 osavaluma-alueeseen. Valuma-aluejako ja hulevesiverkosto näkyvät kuvassa 14.



***Kuva 14.** Tampere-Pirkkalan lentoaseman valuma-aluejako ja hulevesiverkosto*

Hulevesimallin muodostusta varten myös lentoaseman ulkopuoliset alueet, joilta virtaa hulevettä lentoaseman hulevesiverkostoon, on sisällytetty valuma-aluejakoon. Hulevesimallin rakenne ja tarkastellut putkiosuudet ovat kuvassa 15 (ja liitteessä 1).



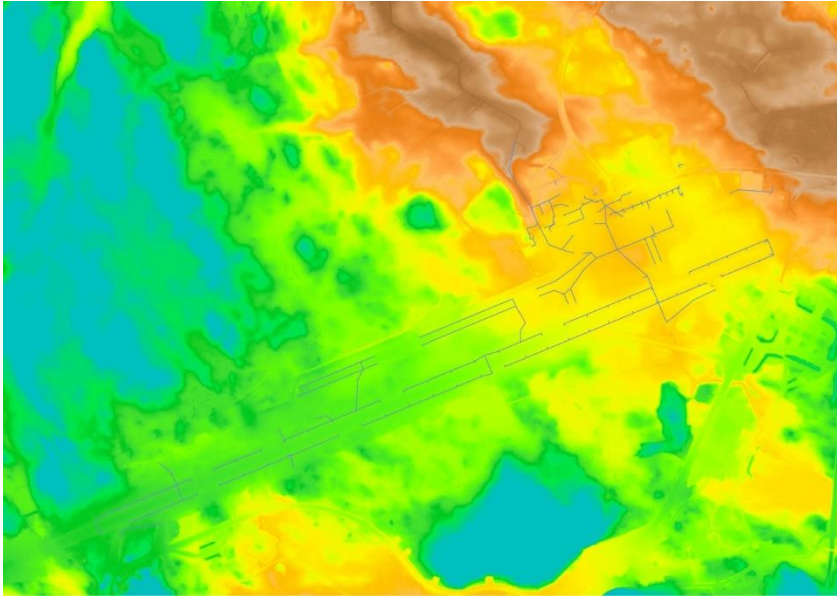


**Kuva 15.** Tampere-Pirkkalan lentoaseman hulevesimallin rakenne ja tarkastellut putkiosuudet, sininen alue kuvaa pientä (25 l/s) hulevesivaluntaa ja punainen suurta (100 l/s); sinisten putkiosuuksien tilavuuskapasiteetista on vallitsevalla ajanhetkellä 0-25 % käytössä, punaisten putkiosuuksien kapasiteetti on täysin käytössä.

Putkiosuudet valittiin pituutensa ja sijaintinsa perusteella, niin että kaikki yli viisi tarkastuskaivoa sisältävät hulevesiverkoston runkolinjat ovat tarkastelussa mukana. Avo-ojat jätettiin suuren kapasiteettinsa vuoksi tarkasteltavien putkiosuuksien ulkopuolelle. Kuva 15 on hulevesimallista hetkeltä, kun kerran viidessä vuodessa toistuva sade on kestänyt 30 minuuttia. Havainnekuvassa valuma-alueet on väritetty hetkellisen hulevesivalunnan arvon mukaan. Asfalttialuilla hulevesivalunta on suurempaa kuin pinnoitamattomilla metsä- ja nurmialueilla. Jokainen osavaluma-alue on liitetty hulevesiverkostoon yksittäisen hulevesikaivon kautta. Hulevesikaivot näkyvät mallikuvassa pisteinä. Niiden väri muuttuu hulevesimallissa sen mukaan, kuinka paljon ne tulvivat.

Hulevesimallinnuksessa paikannettiin hulevesiverkoston ongelmakohtat, kapasiteettinsa ääriarjoilla olevat putkiosuudet ja tulvivat kaivot. Ongelmakohtien paikantamisessa hyödynnettiin putkien ja kaivojen värikoodausta sekä pituusleikkauksia. Pituusleikkauksista näkee, millä ajanhetkellä hulevesi tulvii tietyistä hulevesikaivosta maanpinnalle. Käytännössä hulevesimalli ei kuitenkaan vastaa täysin todellisuutta, koska esimerkiksi osavaluma-alueiden valumakertoimet ja muut sadanta-valunta-tapahtumaan vaikuttavat tekijät, kuten painannesäilyntä ja virtausvastus, ovat arvioita ja maastonmuotoja on yksinkertaistettu.

Tulvivien kaivojen aiheuttamien ongelmien vakavuuden arvioimiseksi lentoasema-alueesta muodostettiin korkeusmalli (kuva 16).



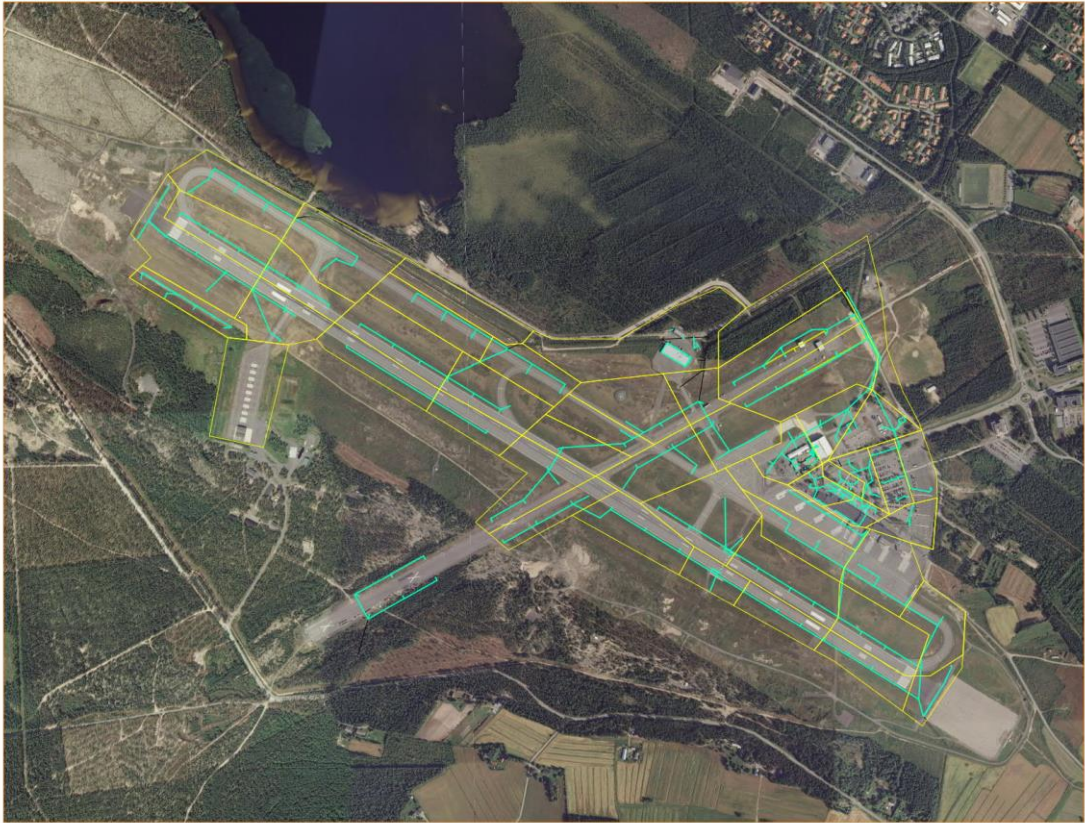
*Kuva 16. Korkeusmalli Tampere-Pirkkalan lentoaseman alueesta, väriskaala vihreästä ruskeaan: vihreä 122-116 m, ruskea 102-98 m*

Korkeusmallista nähdään tulvivan kaivon ympäristön painanteet, joihin tulvavesi voi kertyä ilman vaikutuksia lentoaseman toiminnalle.

Tampere-Pirkkalan hulevesimallin tarkastelusateen pituudeksi valittiin 30 minuuttia, koska 30 minuutin kerran viidessä vuodessa toistuvalla sateella hulevesiverkoston toimivuudessa havaittiin merkittäviä ongelmia. Lyhemmillä sateilla hulevesiverkosto toimi tyydyttävästi.

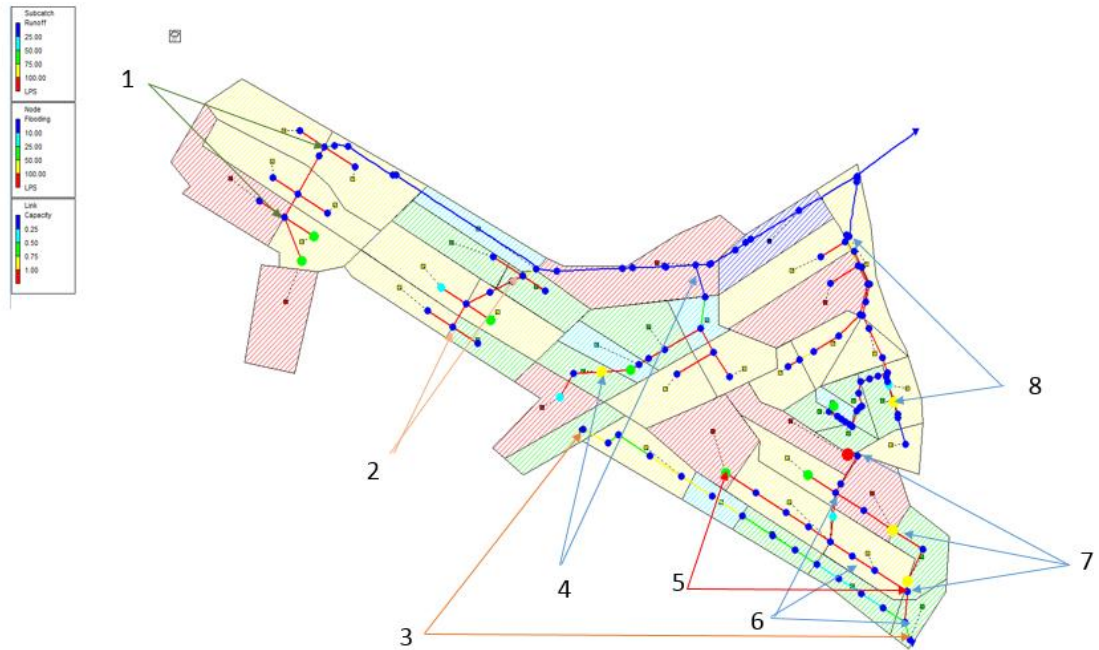
### **3.4.2 Oulun lentoaseman hulevesiverkoston mallinnus**

Oulun lentoaseman alue jaettiin maastonmuotojen mukaan 49 osavaluma-alueeseen (kuva 17).



***Kuva 17. Oulun lentoaseman osavaluma-alueet ja hulevesiverkosto***

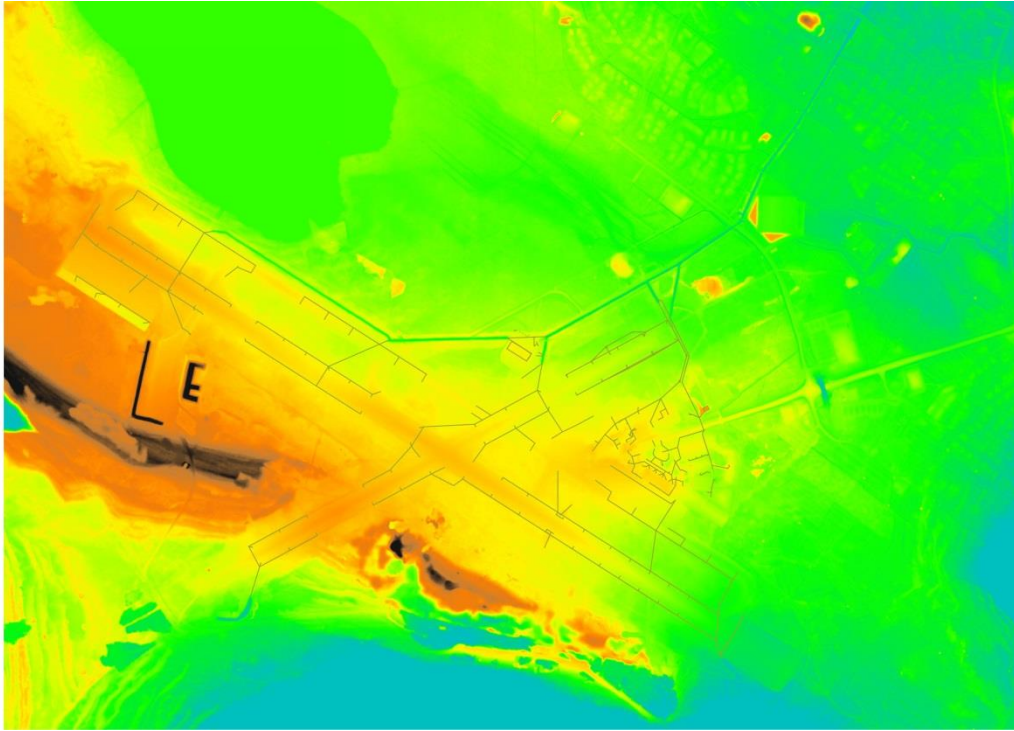
Osavaluma-alueiden ja verkostotietojen avulla muodostettiin SWMM-hulevesimalli (kuva 18 ja liite 2). Lisäksi kuvaa on merkitty mallinnuksessa tarkastellut putkiosuudet. Oulun lentoaseman hulevesimallin symbolit ja värikoodaus on yhtenevät Tampere-Pirkkalan symbolien ja värikoodauksen kanssa. Mallikuva havainnollistaa hulevesiverkoston toimivuutta, kun kerran viidessä vuodessa toistuva sade on kestänyt 25 minuuttia.



*Kuva 18. Oulun lentoaseman hulevesimallin rakenne ja tarkastellut putkiosuudet*

Oulun hulevesiverkoston toimivuutta analysoitiin tarkistelemalla putkien ja kaivojen kapasiteetin ja tulvimisen muutoksia sekä laatimalla pituusleikkauksia putkiosuuksista, jotka on osoitettu nuolilla ja numeroitu kuvassa 18. Tarkisteltavat putkiosuudet valittiin, niin että pisimmistä ja eniten kuormittuneista putkiosuuksista laadittiin pituusleikkaus useilla eri sateilla. Myös avo-ojat olivat mukana mallissa, mutta ne jätettiin tarkasteltavien putkiosuuksien ulkopuolelle.

Tulvaveden valuntareittien selvittämiseksi lentoaseman alueesta laadittiin korkeusmalli (kuva 19). Korkeusmallin avulla voidaan tarkastella, kuinka vakavan ongelman tulviva hulevesikaivo aiheuttaa.



*Kuva 19. Korkeusmalli Oulun lentoaseman alueesta, väriskaala ruskeasta vihreään:  
ruskea 20-17 m, vihreä 10-8 m*

Tarkastelusateen kestoksi valittiin 30 minuuttia, koska hulevesiverkoston toiminnan todettiin olevan äärirajoilla kerran viidessä vuodessa toistuvan sateen kestäessä 30 minuuttia. Yleisemmillä ja lyhytkestoisemmilla sateilla hulevesimallin tuloksissa ei havaittu viitteitä ongelmakohtista.

## 4. TULOKSET

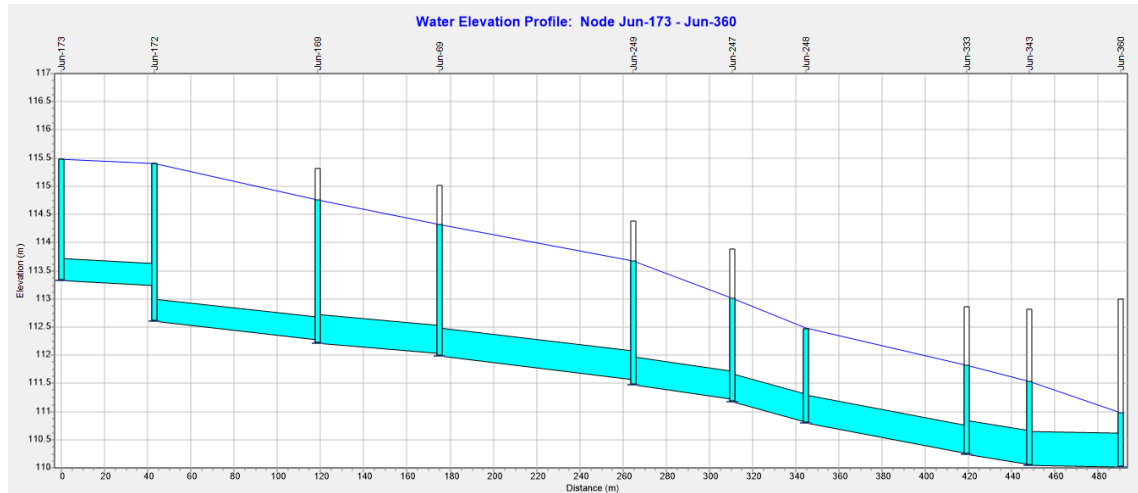
Tässä luvussa esitellään hulevesimallien tulokset eli putkilinjat, joiden tulvaherkkyys on merkittävä. Tulokset on esitetty pituusleikkaus- ja korkeusmallikuvien avulla. Tuloksissa keskitytään hulevesiverkoston toimivuuteen nykyisin kerran viidessä vuodessa toistuvalla 30 minuutin sateella, koska hulevesiverkoston ongelmakohtien havaittiin pysyvän samoina mallinnuksessa käytettyjen tulevaisuudessa yleistyvien rankkasateiden aikana. Tulevaisuuden rankkasateiden vaikutusta hulevesiverkoston toimivuuteen mallinnettiin nykyisin kerran kymmenessä vuodessa toistuvan sateen avulla. Alalukujen loppuissa analysoidaan myös hulevesiverkoston pituuskaltevuuksia ja virtausnopeuksia.

### 4.1 Tampere-Pirkkalan hulevesijärjestelmän toimivuus

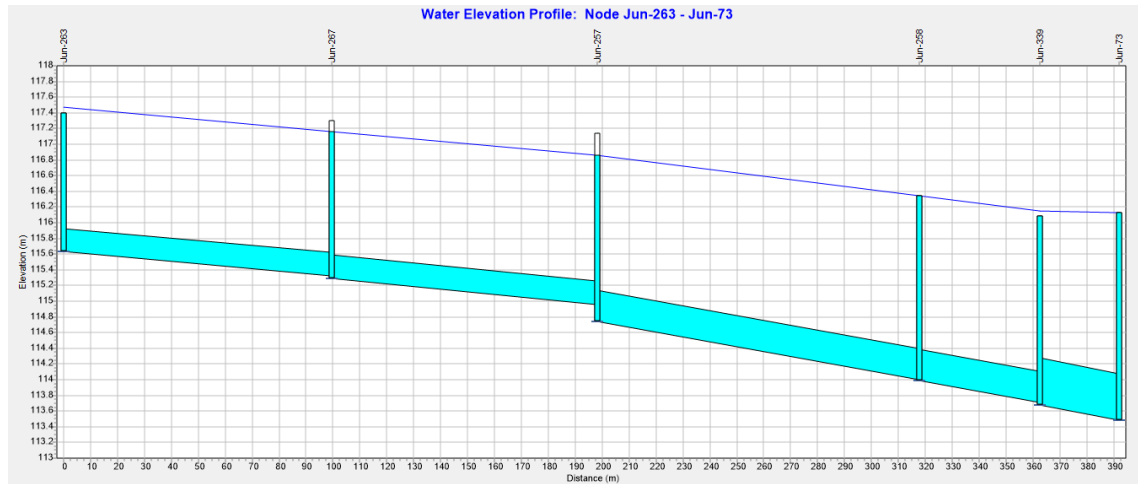
Tampere-Pirkkalan lentoaseman hulevesiverkoston toimivuutta analysoitiin toistumistaajuudeltaan vaihtelevilla 30 minuutin sateilla. Putkiosuuksien ja hulevesikaivojen kapasiteettia ja tulvimista tarkkailtiin mallinnusajojen aikana ja osuuksista, joilla esiintyi ongelmia, laadittiin pituusleikkauksia.

Pituusleikkauksessa näkyvät kaivot (kapeat pystysuorat palkit) ja hulevesiputket (leveät palkit vasemmalta oikealle). Pituusleikkauksen y-akselina on korkeusasema merenpinnantasoon nähden ja x-akselina etäisyys ensimmäisestä kaivosta. Ohut sininen viiva kuvaa verkoston painetasoa. Jos painetasoviiva on kaivon kannen eli maanpinnan yläpuolella, kaivo tulvii.

Kerran viidessä vuodessa toistuvalla puolen tunnin sateella hulevesiverkoston kapasiteetti on valtaosin täysin käytössä ja osa hulevesikaivoista voi tulvia. Esimerkiksi putkiosuus 2 (kuva 20) on kapasiteettinsa puolesta täysin käytössä ja kolmen hulevesikaivon painetaso on maanpinnan tasossa. Putkiosuudella 2 painetaso säilyy korkeana noin 20 minuuttia. Myös putkiosuudella 1 (kuva 21) voi esiintyä hulevesitulvia kerran viidessä vuodessa esiintyvällä 30 minuutin sateella.



**Kuva 20.** Pituusleikkaus putkiosuudesta 2, sade: 1/5a, 30 min

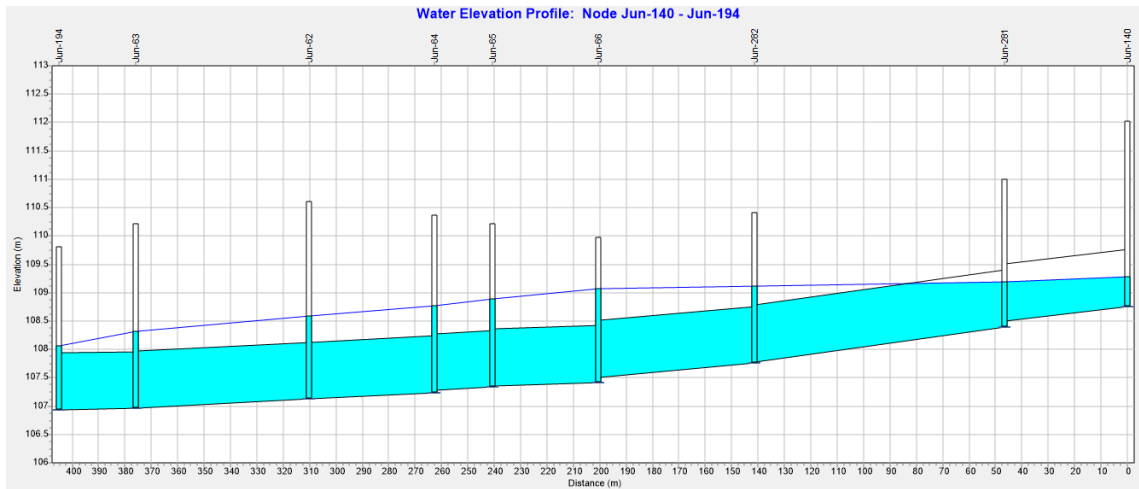


**Kuva 21.** Pituusleikkaus putkiosuudesta 1, sade: 1/5a, 30 min

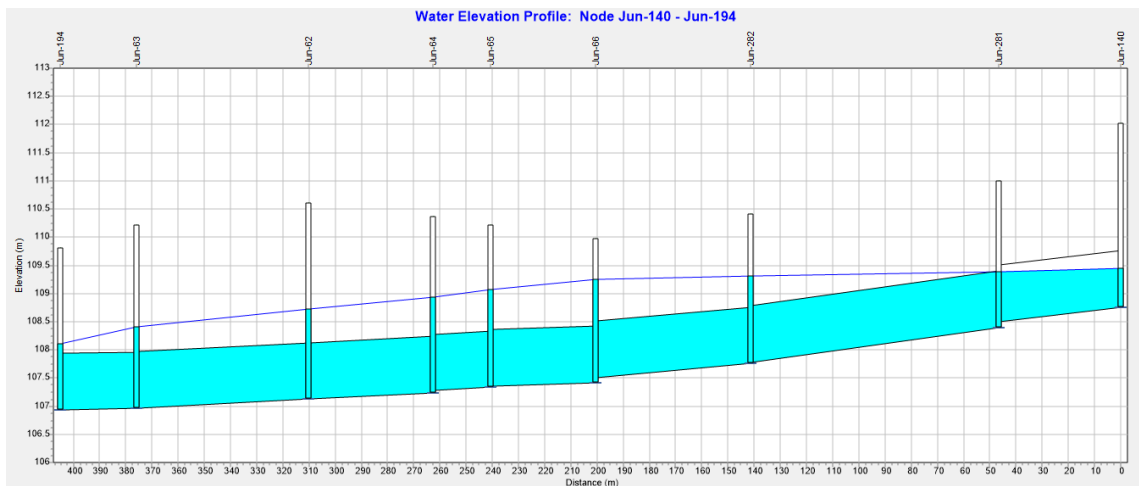
Putkiosuuden 1 alajuoksulla on hulevesikaivo, johon laskee kaksi putkea, mikä lisää tulvimista. Tämän hulevesikaivon kansi on myös alempana kuin virtaussuunnassa alapuolella olevan hulevesikaivon kansi. Tulviminen alkaa, kun sade on kestänyt 18 minuuttia ja päättyy noin 30 minuuttia sateen päättymisen jälkeen eli tulviminen kestää yhteensä noin 42 minuuttia.

Putkiosuus 3 koostuu halkaisijaltaan 1000 mm betoniputkista. Suurella putkella on huomattava kapasiteetti, mikä ehkäisee kapasiteetin täyttymistä ja hulevesikaivojen tulvimista. Putkiosuudella 3 ei esiinny hulevesikaivojen tulvimista kerran viidessä vuodessa toistuvalla 30 minuutin sateella (kuva 22), mutta tälläkin putkiosuudella kapasiteetti on lähes täysin käytössä.

Suuren putkikoon vuoksi putkiosuutta 3 tarkasteltiin myös kerran 10 vuodessa toistuvalla puolen tunnin sateella (kuva 23). Pituusleikkauksesta nähdään, ettei putkiosuus 3 tulvi edes kerran 10 vuodessa toistuvalla 30 minuutin sateella.



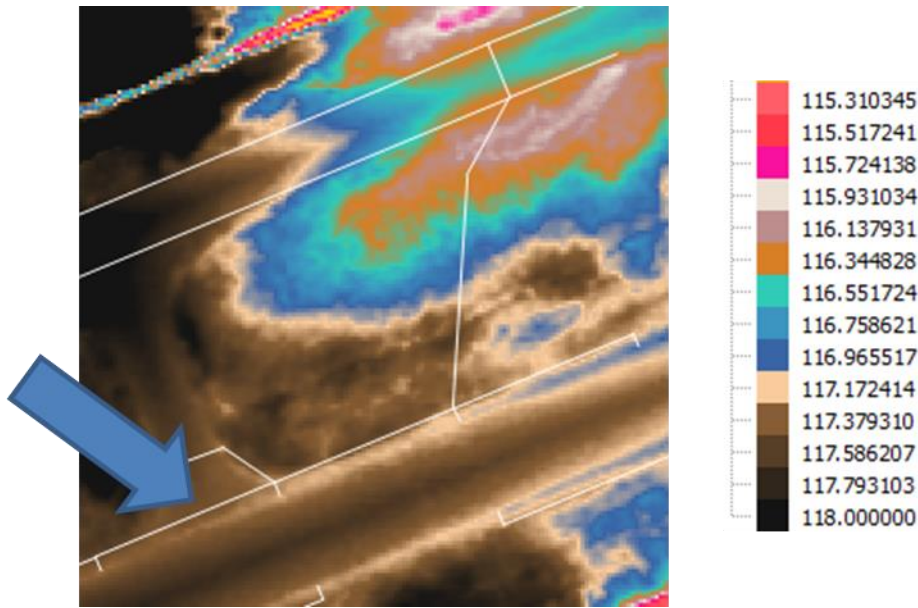
**Kuva 22.** Pituusleikkaus putkiosuudesta 3, sade: 1/5a, 30 min; lukusuunta oikealta vasemmalle



**Kuva 23.** Pituusleikkaus putkiosuudesta 3, sade: 1/10a, 30 min

Putkiosuudella 1 maastonmuodot viettävät pääsääntöisesti kohti pohjoista eli pois kiitotieltä (kuva 24). Kiitotien reunakaistalla nuolen osoittamassa kohdassa hulevesi kertyy tulviessaan kuvassa vaaleana näkyvään kouruun.



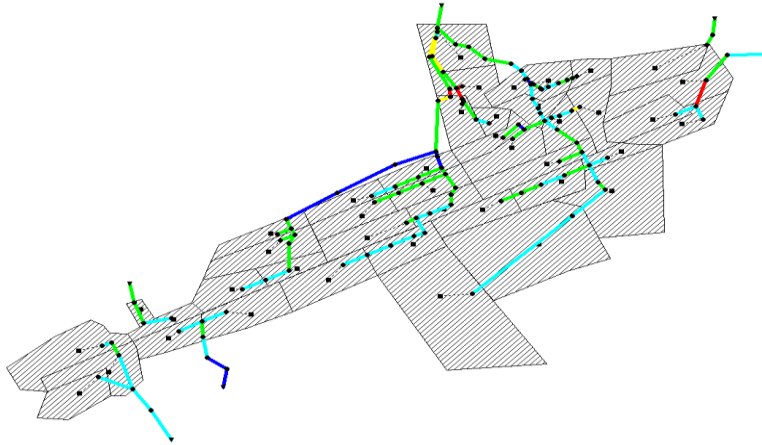


**Kuva 24.** Korkeusmallikuva putkiosuudesta 1

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia hulevesiverkoston toimivuuteen tarkasteltiin kerran kymmenessä vuodessa toistuvan 30 minuutin sateen avulla. Hulevesiverkoston ongelmakohdat olivat samoja kuin kerran viidessä vuodessa toistuvalla 30 minuutin sateella. Verkoston kapasiteetti täyttyi yhtä nopeasti (15 min) ja tulviminen kesti putkiosuudella 1 noin 45 minuuttia. Putkiosuudella 2 painetaso oli hulevesikaivoissa lähellä maanpintaa noin 20 minuutin ajan.

Hulevesiverkoston toimivuuteen voidaan vaikuttaa putken halkaisijan lisäksi putkien pituuskaltevuuksilla eli kaadoilla. Mitä suurempi kaato on, sitä nopeammin vesi virtaa putkea pitkin kasvattaen kapasiteettiä.

Tampere-Pirkkalan lentoaseman hulevesiverkoston putkista suurin osa on 0,11-0,5 % tai 0,51-1,5 % kaadossa (kuva 25). Tampere-Pirkkalan hulevesiputkista valtaosa on halkaisijaltaan alle 600 mm, mutta koillis-itäosassa on myös 1000 mm runkolinja. Hulevesioppaan mukaan halkaisijaltaan 200-600 mm hulevesiputkien pituuskaltevuuden tulisi olla vähintään 0,16-0,45. Näin ollen Tampere-Pirkkalan lentoaseman hulevesiputkien pituuskaltevuudet ovat suositusten mukaisia.



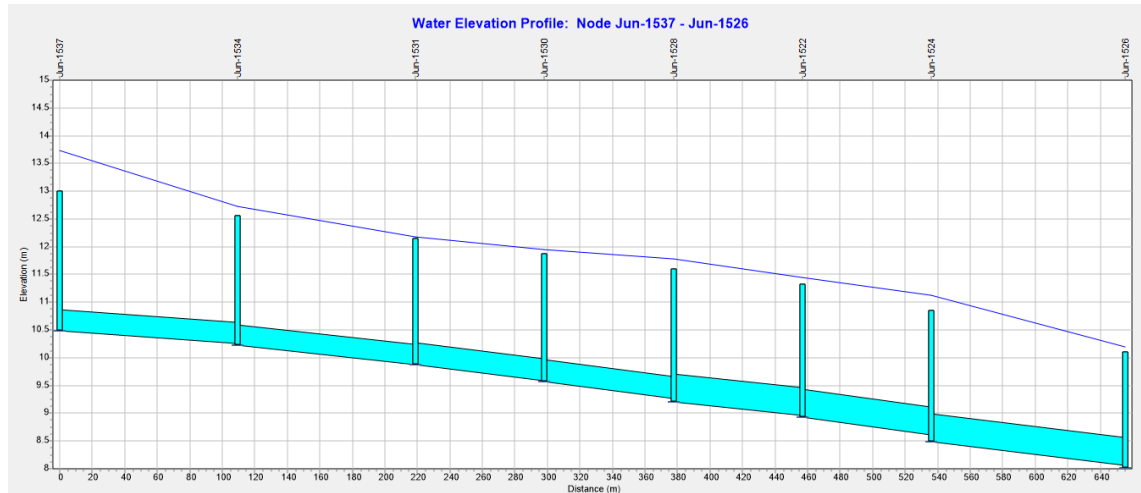
**Kuva 25.** Tampere-Pirkkalan lentoaseman hulevesiverkoston pituuskaltevuudet; sininen 0-0,1 % pituuskaltevuus, turkoosi 0,11-0,5 %, vihreä 0,51-1,5 %, keltainen 1,51-2,00 ja punainen yli 2,00 %

Hulevesimallin avulla tarkasteltiin myös virtausnopeuksia hulevesiverkostossa. Tampere-Pirkkalan lentoasemalla kerran viidessä vuodessa toistuvalla 30 minuutin sateella kaikkien putkiosuuksien virtausnopeudet ovat alle 3 m/s, mikä on huomattavasti vähemmän kuin Hulevesioppaan suositteleman maksimivirtausnopeus 5 m/s.

## 4.2 Oulun lentoaseman hulevesijärjestelmän toimivuus

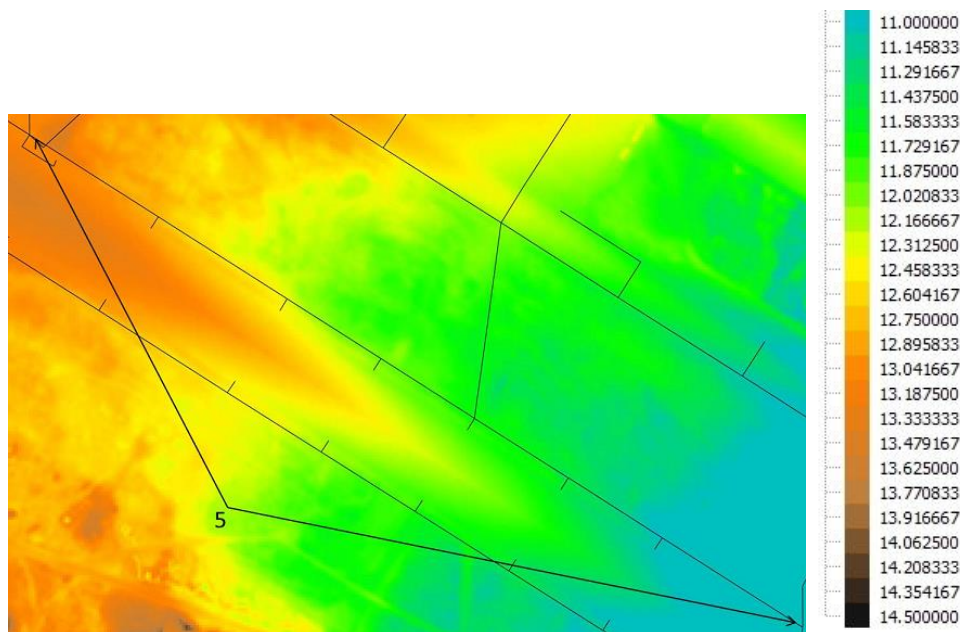
Oulun lentoaseman hulevesiverkostoa analysoitiin toistumistaajuudeltaan vaihtelevilla 30 minuutin sateilla. Tässä kappaleessa esitellään pituusleikkaukset ja korkeusmallit putkiosuuksilta, joilla havaittiin merkittävimmät tulvavaarat. Muiden putkiosuuksien pituusleikkaukset ja korkeusmallit on koottu liitteeseen 3. Kappaleen lopussa tarkastellaan myös hulevesiputkien pituuskaltevuuksia.

Kuvaan 18 merkityn putkiosuuden 5 pituusleikkaus kerran viidessä vuodessa toistuvan 30 minuutin sateen päättyessä on kuvassa 26.



**Kuva 26.** Pituusleikkaus putkiosuudesta 5, sade: 1/5a, 30 min

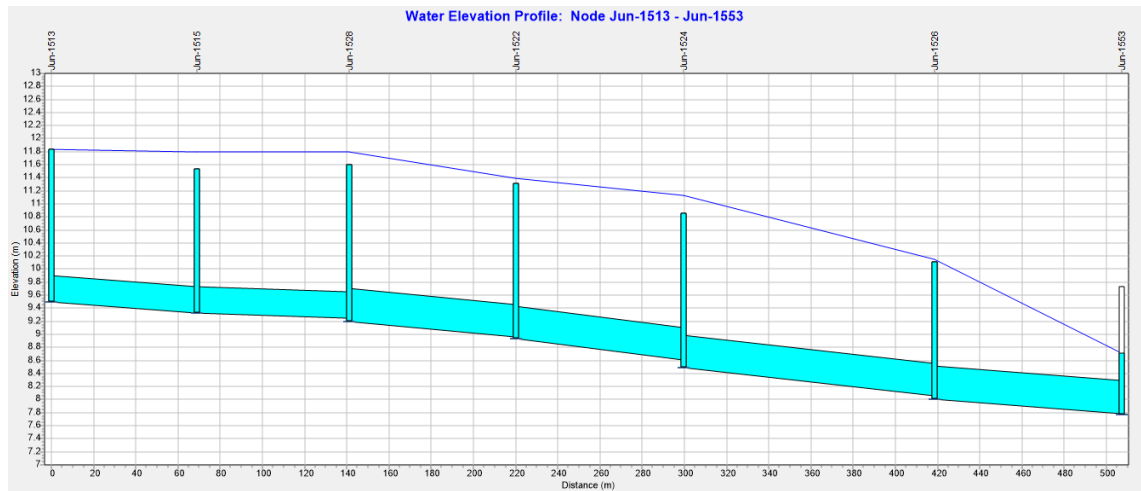
Useat hulevesikaivot tulvivat (kuva 26). Erityisesti pituusleikkauksen ensimmäinen hulevesikaivo tulvii voimakkaasti. Tulvaveden kulkeutumista tarkasteltiin korkeusmallilla (kuva 27).



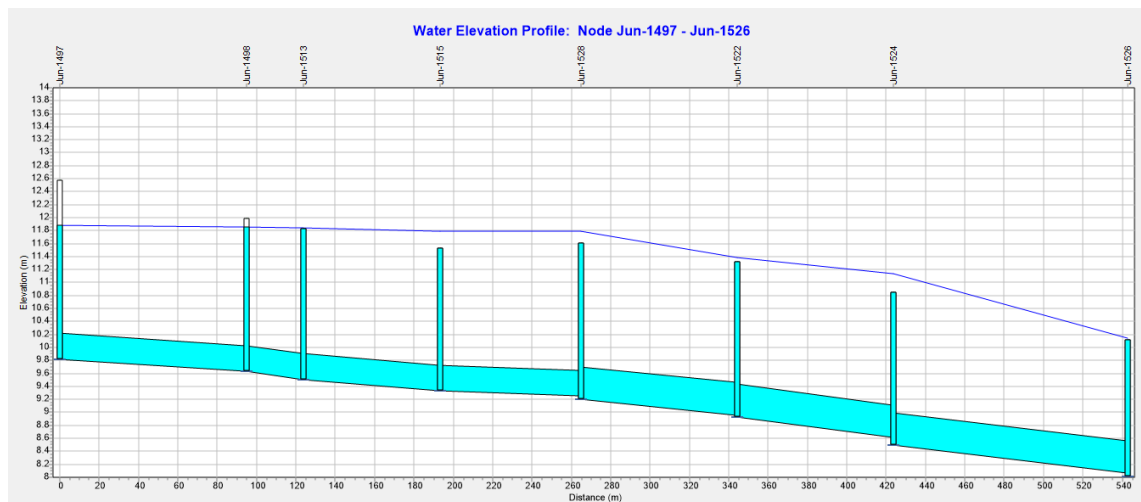
**Kuva 27.** Korkeusmalli putkiosuudesta 5

Pinnanmuodot laskevat putkilinjan mukaisesti kaakkoon, joten myös tulvavesi valuu kiitotien reunakaistaa pitkin kaakkoon (kuva 27). Tulviminen kestää putkiosuudella noin tunnin.

Putkiosuudella 6 putket ovat täynnä ja useat hulevesikaivot tulvivat (kuva 28). Tulvivan huleveden kerääntymistä lentoaseman alueelle putkiosuudella 6 on tarkasteltu korkeusmallilla yhdessä putkiosuuden 7 kanssa (kuva 30). Putkiosuuden 7 kapasiteetti on myös täysin käytössä ja ainakin neljä hulevesikaivoista tulvii (kuva 29). Tulviminen kestää putkiosuuksilla 6 ja 7 noin tunnin painottuen sateen päättymisen jälkeiseen aikaan.

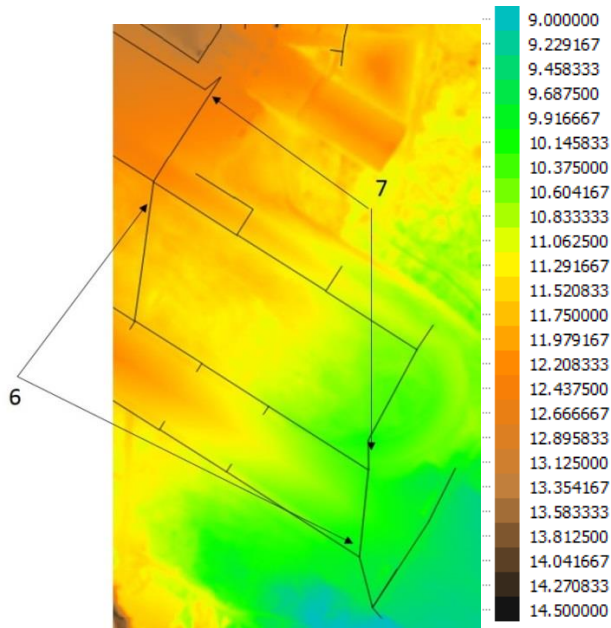


**Kuva 28.** Pituusleikkaus putkiosuudesta 6, sade: 1/5a, 30 min



**Kuva 29.** Pituusleikkaus putkiosuudesta 7, sade: 1/5a, 30 min

Korkeusmallin mukaan maastonmuodot viettävät putkiosuuksilla 6 ja 7 kohti kaakkoa, missä sijaitsee myös putkiosuuksien yhteinen purkupiste (kuva 30). Maaston viettävyyden ansiosta hulevesikaivoista tulviva vesi ei todennäköisesti muodosta pitkäaikaisia lätäköitä kiitotielle, mutta reunakaistaa pitkin voi virrata vettä.



**Kuva 30.** Korkeusmalli Oulun lentoaseman putkiosuuksista 6 ja 7

Kuvassa 18 näkyy punainen eli tulviva kaivo putkiosuuden 7 ensimmäisenä kaivona. Tämä kaivo jätettiin pois putkiosuuden pituusleikkauksesta, koska hulevesimallin luotettavuus on kyseisessä kohdassa huono. Kyseiseen hulevesikaivoon on hulevesimallissa linkitetty pitkänmallinen osavaluma-alue, jonka sisältämiä alemman hierarkiatason hulevesikaivoja ei ole sisällytetty hulevesimalliin.

Myös putkiosuuksilla 3 ja 4 esiintyy tulvimista. Putkiosuuksien pituusleikkaukset ja korkeusmallit ovat liitteessä 3. Korkeusmallien mukaan tulviva vesi ei lätköidy kiitotielle vaan virtaa reunakaistaa pitkin kohti verkosto-osuuden purkupistettä tai kerääntyy nurmialueelle. Putkiosuudella 3 tulviminen kestää noin 30 minuuttia painottuen sateen päättymisen jälkeiseen aikaan ja putkiosuudella 4 jopa 60 minuuttia.

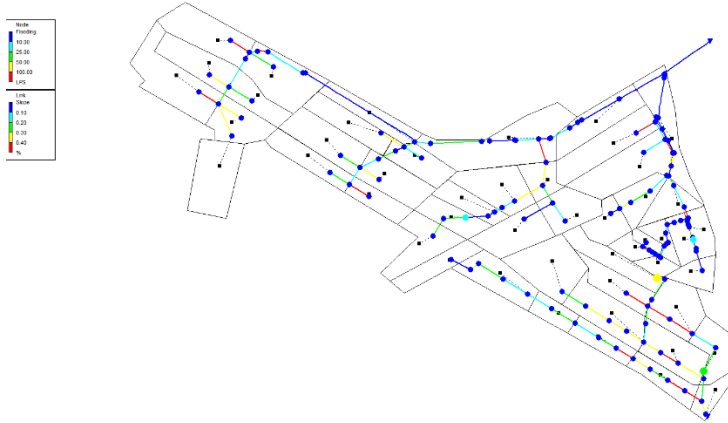
Putkiosuuksien 1 ja 2 pituusleikkauksien mukaan kyseisillä putkiosuuksilla putkien kapasiteetti on täynnä, mutta tulvimista ei esiinny kerran viidessä vuodessa toistuvalla 30 minuutin sateella.

Putkiosuuden 8 yläjuoksulla putkikoko on 180-300 mm ja alajuoksulla 550 mm. Kartta-aineiston mukaan 300 mm:n ja 550 mm:n putkien välissä on 180 mm:n putki, joka aiheuttaa padotusta yläjuoksulle. Putkiosuuden 8 pituusleikkaus ja korkeusmalli ovat liitteessä 3. Korkeusmallista nähdään, että tulvavesi valuu maantieltä terminaalille johtavan tien reunassa olevaa painannetta pitkin kohti koillista. Tulvavesi ei todennäköisesti jää putkiosuutta ympäröiville asfalttipinnoille. Tulviminen kestää noin tunnin.

Ilmastonmuutoksen vaikutusta hulevesiverkoston toimivuuteen tarkasteltiin kerran kymmenessä vuodessa toistuvan 30 minuutin sateen avulla. Hulevesiverkoston ongelmakohdat olivat samoja kuin kerran viidessä vuodessa esiintyvällä 30 minuutin sateella.

Putkien kapasiteetti täyttyi samaan aikaan kuin yleisemmällä sateella mutta tulviminen oli voimakkaampaa ja kesti noin puoli tuntia pidempään.

Hulevesiverkoston toimivuuteen voidaan vaikuttaa myös putkien pituuskaltevuuksilla eli kaadoilla. Mitä suurempi kaato on, sitä nopeammin vesi virtaa putkea pitkin. Oulun lentoaseman hulevesiverkoston kaatoja on havainnollistettu kuvassa 31.



**Kuva 31.** Oulun lentoaseman hulevesiputkien pituuskaltevuudet

Putken sininen väri tarkoittaa kaaton olevan 0-0,1 %, turkoosi 0,11-0,2 %, vihreä 0,21-0,3 %, keltainen 0,31–0,4 % ja punainen yli 0,41 %. Suurin osa Oulun lentoaseman hulevesiputkien kaadoista on alle 0,4 %. Hulevesiputkien yleisin halkaisija on kartta-aineiston perusteella 200-600 mm, jolloin minimipituuskaltevuus tulee Hulevesioppaan mukaan olla 0,45-0,16 %.

Hulevesimallin avulla tarkasteltiin myös virtausnopeuksia hulevesiverkostossa. Oulun lentoasemalla kerran viidessä vuodessa toistuvalla 30 minuutin sateella kaikkien putkiosuuksien virtausnopeudet ovat alle 2,5 m/s, mikä on puolet Hulevesioppaan suosittelemasta maksimivirtausnopeudesta 5 m/s (Britschingi et al. 2012).

## 5. TULOSTEN TARKASTELU

Oulun ja Tampere-Pirkkalan lentoasemien hulevesiverkostot toimivat kapasiteettinsa ääriarajoilla kerran viidessä vuodessa toistuvalla 30 minuutin sateella. Molempien lentoasemien hulevesi- ja tarkastuskaivoissa painetaso nousee monin paikoin yli maanpinnan tason eli kaivot tulvivat. Tulvavesi ei kuitenkaan kerääny kiitoteille vaan virtaa reuna-kaistaa pitkin kohti purkupistettä.

Tampere-Pirkkalan lentoasemalla merkittävin hulevesitulvariski on putkiosuudella 1 (liite 1). Korkeusmallin mukaan tulvavesi virtaa kuitenkin pois kiitotieltä.

Oulun lentoasemalla merkittävin ongelma-alue on lentoaseman kaakkoisosa eli putkiosuudet 6 ja 7 (liite 2). Siellä putkien kapasiteetti on täysin käytössä ja painetaso nousee jo kerran viidessä vuodessa toistuvalla 30 minuutin sateella yli kaivonkansien korkeusaseman.. Myös putkiosuuksien 4 ja 8 tulvaherkkyys on merkittävä. Kaikilla tulva-alueilla hulevesi kuitenkin virtaa pois päin kiitotiestä.

Molemmilla lentoasemilla hulevesiverkoston putkien kaadot ja virtausnopeudet putkissa ovat Hulevesioppaassa suositeltujen raja-arvojen mukaisia.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksesta kasvava sadanta altistaa Oulun ja Tampere-Pirkkalan lentoasemien hulevesiverkostot entistä kovemmalle kuormitukselle. Oulussa tulvimisai-ka pitenee noin 30 minuuttia ja tulvat voimistuvat. Tampere-Pirkkalan lentoasemalla tulvimisajassa ja voimakkuudessa ei tapahtunut muutosta.

Hulevesimallien avulla tavoitettiin niille asetetut tavoitteet. Hulevesiverkoston toimivuutta saatiin mallinnettua nykytilanteessa ja tulevaisuuden sateiden vaikutuksen alai-sena. Hulevesimallit rakennettiin laadukkaasti kartta-aineiston perusteella, joten hule-vesimallien rakenne vastaa hyvin todellisuutta. Näin ollen kohdelentoasemien hule-vesiverkoston tulvapaikat ja kapasiteettinsa ylärajoilla toimivat putkiosuudet tunnistet-tiin melko luotettavasti. Suurimmat virhelähteet liittyvät sadanta-valunta-tapahtuman arvioituihin tekijöihin kuten valuntakertoimiin ja painannesäilyntään.

Myös Ruotsin ja Norjan ilmailualan kattojärjestöt pitävät ilmastonmuutoksen aiheutta-maa sadannan kasvua vakavana riskinä. Entistä suurempi sadanta edellyttää entistä suu-rempaa kapasiteettia kiitoteiden kuivatusjärjestelmiltä. Ruotsissa pidetään tarpeellisena hulevesiverkoston saneerausta, joka on esitetty tehtävän pinnoittamalla vanhat putket sisäpuolelta. (SOU 2007; Bardalem et al. 2010)

Finavian kannattaneen ottaa mallia ilmastonmuutokseen varautumisesta Ruotsin ja Norjan ilmailualan kattojärjestöjen toimista. Swedavia osallistui kansalliseen haavoittuvuusanalyysiin, jossa arvioitiin ilmastonmuutoksen aiheuttamat riskit ja niihin varautumiskeinot lentoasemakohtaisesti (SOU 2007). Avinor on arvioinut kattavasti lentoasemiinsa kohdistuvia ilmastonmuutoksen aiheuttamia riskejä ja kehittänyt niihin varautumiskeinot (Larsen 2015, Bardelem et al. 2010).



## 6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Ilmastonmuutos tulee lisäämään sademääriä etenkin talvella ja nostamaan keskilämpötilaa (kts. luku 2.2). Sadannan lisääntymisen myötä lentoasemien hulevesijärjestelmät altistuvat entistä kovemmalle kuormituksella ja keskilämpötilan nousu muuttaa liukkaudentorjuntatarvetta.

Oulun ja Tampere-Pirkkalan lentoasemien hulevesimallien perusteella lentoasemien hulevesiverkostot toimivat ääri rajoillaan nykyisin kerran viidessä vuodessa toistuvalla sateella ja useilla putkiosuuksilla havaittiin merkittävää tulvimista. Hulevesiverkoston kapasiteetin voidaan olettaa olevan riittämätön nykytilanteen ja tulevaisuuden sademäärien kannalta myös muilla verkostolentoasemilla, koska kaikkien lentoasemien hulevesijärjestelmien suunnittelu on tehty samojen ohjeiden avulla (Lentoasemien kuivatusohjeet, Viatek Oy) (Viitala 2015). Verkostolentoasemien tulvaherkkyyttä voidaan arvioida karkeasti laatimalla lentoaseman alueesta tarkka korkeusmalli. Tarkempi tulvapaikkojen kartoittaminen edellyttää hulevesimallin laatimista.

Hulevesiverkostojen toimivuutta suositellaan parannettavan peruskorjauksien yhteydessä hulevesiverkostojen kapasiteettiä lisäämällä. Parannustoimien suunnittelussa tulee keskittyä hulevesiverkoston toimivuuteen kokonaisuutena. Kapasiteettiä voidaan lisätä esimerkiksi putkikokoja kasvattamalla tai lisäämällä nykyiseen verkostoon ylivuotoreittejä. Muutostöissä on huomioitava ympäristölupamääräykset hulevesien purkureiteistä. Havaintoihin perustuvan mitoitussäänteen valinnassa tulee huomioida ilmastonmuutoksen sadantaa lisäävä vaikutus. Hulevesijärjestelmän toimivuutta kokonaisuutena voidaan arvioida hulevesimallinnuksen avulla. Parannustoimien suunnittelun alkuvaiheessa tulee linjata, mikä on hulevesiverkoston toimivuuden tavoitetaso sateen intensiteetti ja harvinaisuus huomioiden.

Liukkaudentorjuntatarvetta lisäävät nollakelit yleistyvät ilmastonmuutoksen aiheuttaman keskilämpötilan nousun myötä. Nollakelit yleistyvät ensin koko massa 2050-luvulle asti, minkä jälkeen ne voivat harvinaistua Etelä-Suomessa. Suomen lentoasemien nykyiset liukkaudentorjuntamenetelmät ovat todennäköisesti riittäviä myös vuosisadan loppupuolella.

## 7. LÄHTEET

Aaltonen, J., Hohti, H., Jylhä, K., Karvonen, T., Kilpeläinen T., Koistinen, J., Kotro J., Kuitunen, T., Ollila, M., Parvio, A., Pulkkinen, S., Silander, J., Tiihonen, T., Tuomenvirta, H. & Vajda, A. 2008. Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU). Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 31/2008.

Aaltonen O., Tampere-Pirkkalan lentoaseman kunnossapitopäällikkö, Finavia Oyj. Haastattelu 13.8.2015.

Baglin, C. 2012. Airport Climate Adaptation and Resilience A Synthesis of Airport Practice. Washington, D.C., Transportation Research Board. Airport Cooperative Research Program 33.

Bardalen A., Gjaerum, I., Hovelsrud, G.K., Nyeggen, E., Petkovic, G., Aanestad, J., Dalen, L., Hanssen-Bauer, I., Karlsen, J., Ottesen, P., Sundby, S., Drange, H., Hisdal, H., Lasrssen S. A., Pedersen, S., Vennemo, H. 2010. Adapting to a changing climate. Oslo, Minity of the Environment. Official Norwegian Reports 2010:10.

Britschingi, R., Eitsi, E., Hegerlund, T., Hakoniemi, R., Halminen, J., Helenius, T., Hyöty, P., Jormola, J., Koponen, E., Kuusisto, E., Kärppä, P., Laakkonen, P., Nevalainen, A. 2012. Hulevesiopas. Helsinki, Suomen Kuntaliitto.

EPA Storm Water Management Model (SWMM). United States Environmental Protection Agency. 2015 [viitattu 2015/10/9]. Saatavissa: <http://www2.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>.

Eurocontrol. 2013. Task 8: Climate Change Risk and Resilience. In: Anonymous (ed.). Challenges of Growth 2013.

Eurocontrol What we do. Eurocontrol. 2015 [viitattu 2015/09/30]. Saatavissa: <http://www.eurocontrol.int/articles/our-role>.

Finavia 2015a. Vuosikertomus 2014. [viitattu 2015/04/12]. Saatavissa: <http://vuosikertomus.finavia.fi/fi/2013/vastuullisuus/vastuullisuustietoa/ymparistotietoa/vesi-ja-maaperapaastot/>.

Finavia 2015b. Tampere-Pirkkalan lentoasema lyhyesti. [viitattu 2015/10/11]. Saatavissa: <http://www.finavia.fi/fi/tampere-pirkkala/lyhyesti/>.

Finavia 2015c. Oulun lentoasema lyhyesti. [viitattu: 2015/03/15]. Saatavissa: <https://www.finavia.fi/fi/oulu/lyhyesti/>

Finavia 2015d. Liikennetilastot 2014. [viitattu: 2015/03/15]. Saatavissa: <http://www.finavia.fi/fi/tietoa-finaviasta/tilastot/2014/>

Finavia Liukkaudentorjunnan ja jäänestön aiheuttamat vesi- ja maaperäpäästöt. Finavia. 2014 [viitattu 2015/10/11]. Saatavissa:

<http://vuosikertomus.finavia.fi/fi/2013/vastuullisuus/vastuullisuustietoa/ymparistotietoa/vesi-ja-maaperapaastot/>.

Flygtorget Flygplatser. Flygtorget. 2015 [viitattu 2015/10/11]. Saatavissa:

<http://www.flygtorget.se/Fakta/Flygplatser/Default.aspx>.

Füssel, H. & Jol, A. 2012. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. EEA, Copenhagen, European Environment Agency. EEA Report 12/2012.

Heinijoki, H. Liikennealuepalveluiden päällikkö, Finavia Oyj, Vantaa. Haastattelu 1.7.2015.

Heinijoki, H. 2014. LIITE. Talvikunnossapito. Kiitotiekemikaalien käyttö. In: Heinijoki, H. (ed.). Kenttätoimialan kunnossapito-ohjeisto (KeKO). 1st ed. Finavia.

ICAO 2015a. About ICAO. International Civil Aviation Organization. 2015 [viitattu 2015/08/21]. Saatavissa: <http://www.icao.int/about-icao/Pages/default.aspx>.

ICAO 2015b. Climate Change: Adaptation. International Civil Aviation Organization. 2015 [viitattu 2015/08/21]. Saatavissa: <http://www.icao.int/environmental-protection/Pages/adaptation.aspx>.

ICAO. 2010. Chapter 6 Adaptation. In: Anonymous (ed.). ICAO Environmental Report.

IPCC Organization. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2015 [viitattu 2015/10/11]. Saatavissa: <https://ipcc.ch/organization/organization.shtml>.

Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S. & Seitola, T. 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutusmitutkimuksia varten. Helsinki, Ilmatieteen laitos. ACCLIM-hankkeen raportti 2009:4.

Kersola, J. & Pirinen, P. 2009. Suomen maakuntien ilmasto. Helsinki, Ilmatieteen laitos. Raportteja 2009:8.

Kettunen, R., Keskitalo, P., Laaksonen, T. & Lavapuro, M. 2010. Tampere-Pirkkalan lentoaseman hulevesiselvitys. Tampere, Tritonet Oy. 09185.

Kettunen, R. & Laaksonen, T. 2010. Oulun lentoaseman hulevesiselvitys. Tampere, Finavia Oyj.

Kovats, R.S., Valentini, R., Bouwer, L.M., Georgopoulou, E., Jacob, D., Martin, E., Rounsevell, M. & Soussana, J.-. 2014. 23 Europe. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability  
Part B: Regional Aspects 5..

- Kulesa, G. 2003. Weather and Aviation: How Does Weather Affect the Safety and Operations of Airports and Aviation, and How Does FAA Work to manage Weather-related Effects? Federal Aviation Administration. The Potential Impacts of Climate Change on Transportation .
- Lampi, P. Lentoaseman päällikkö, Finavia Oyj, Vaasa. Haastattelu 5.5.2015.
- Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto 2007. Lupapäätös, Tampere-Pirkkalan lentoasema. Länsi-Suomen Ympäristölupavirasto. Ympäristölupa 36/2007/2.
- Larsen, O. M. Vanhempi johtava neuvonantaja, Avinor. Haastattelu 23.4.2015.
- Leviäkangas, P. & Saarikivi, P. 2012. D6: European Extreme Weather Risk Management -Needs, Opportunities, Costs and Recommendations. In: Anonymous (ed.). Extreme weather impacts on European networks of transport. EWENT.
- Leviäkangas, P., Tuominen, A., Molarius, R., Kojo, H., Schabel, J. & Toivonen, S. and many others 2011. Extreme weather impacts on transport systems. VTT. Vtt Working Papers 168. 102 p.
- Lindroth, S. Kunnossapitopäällikkö, Finavia Oyj, Oulu. Haastattelu 15.4.2015.
- Linnanto, T. 2014. Tampere-Pirkkalan lentoaseman melutilannevisio vuodelle 2040. Saatavissa: <http://maakuntakaava2040.pirkanmaa.fi/sites/default/files/Lentomeluvisio.pdf>, Finavia Oyj. Tausta-aineisto Pirkanmaan maakuntakaavan 2040.
- Makkonen, L. & Tikanmäki, M. 2008. Poikkeukselliset luonnonilmiöt ja rakennettu ympäristö muuttuvassa ilmastossa. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. VTT-R-10419-08.
- Malmivuo, M. 2013. Sääolosuhteiden vaikutus liukkaudentorjunta-aineiden käyttöön Helsinki-Vantaan lentokentällä. Finavia.
- MMM 2014. Kansallinen ilmastonmuutokseen sopeutumissuunnitelma 2022. 1st ed. Maa- ja metsätalousministeriö.
- Nurmi, V., Pilli-Sihvola, K., Perrels, A. & Harjanne, A. 2014. Innovation in weather services as a tool for adaptation in road transport. 2014/12/10. Ilmatieteen laitos.
- Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto 2008. Oulun lentoaseman ympäristölupa, Oulunsalo. Pohjois-Suomen ympäristölupatoimisto. Ympäristölupapäätös .
- Ruosteenoja, K. 2013. Maailmanlaajuisiin ilmastomalleihin perustuvia lämpötila- ja sademääräskenaarioita. SETUKLIM-hanke.
- Salanne, I., Byring, B., Valli, R., Tikkanen, M., Peltonen, P., Haapala, J., Jylhä, K., Tolonen-Kivimäki, O. & Tuomenvirta, H. 2010. Ilmastonmuutos ja tavaraliikenne. 1st ed. Liikenne- ja viestintäministeriö.

SOU. 2007. Redovisning av sårbarhetsanalys inom flygsektorn. In: Ryman, J. & Jonforsen, H. (ed.). Bilagadel B till Klimat- och sårbarhetsutredningens slutbetänkande SOU 2007: Statens offentliga utredninga.

Swedavia Swedavia's ten airports. Swedavia. 2015 [viitattu 2015/10/11]. Saatavissa: <https://www.swedavia.com/about-swedavia>.

Tulvakeskus Tulvakarttapalvelu. Tulvakeskus. 2015 [viitattu 2015/09/15]. Saatavissa: <http://paikkatieto.ymparisto.fi/tulvakartat/SL/Viewer.html?Viewer=Tulvakarttapalvelu>.

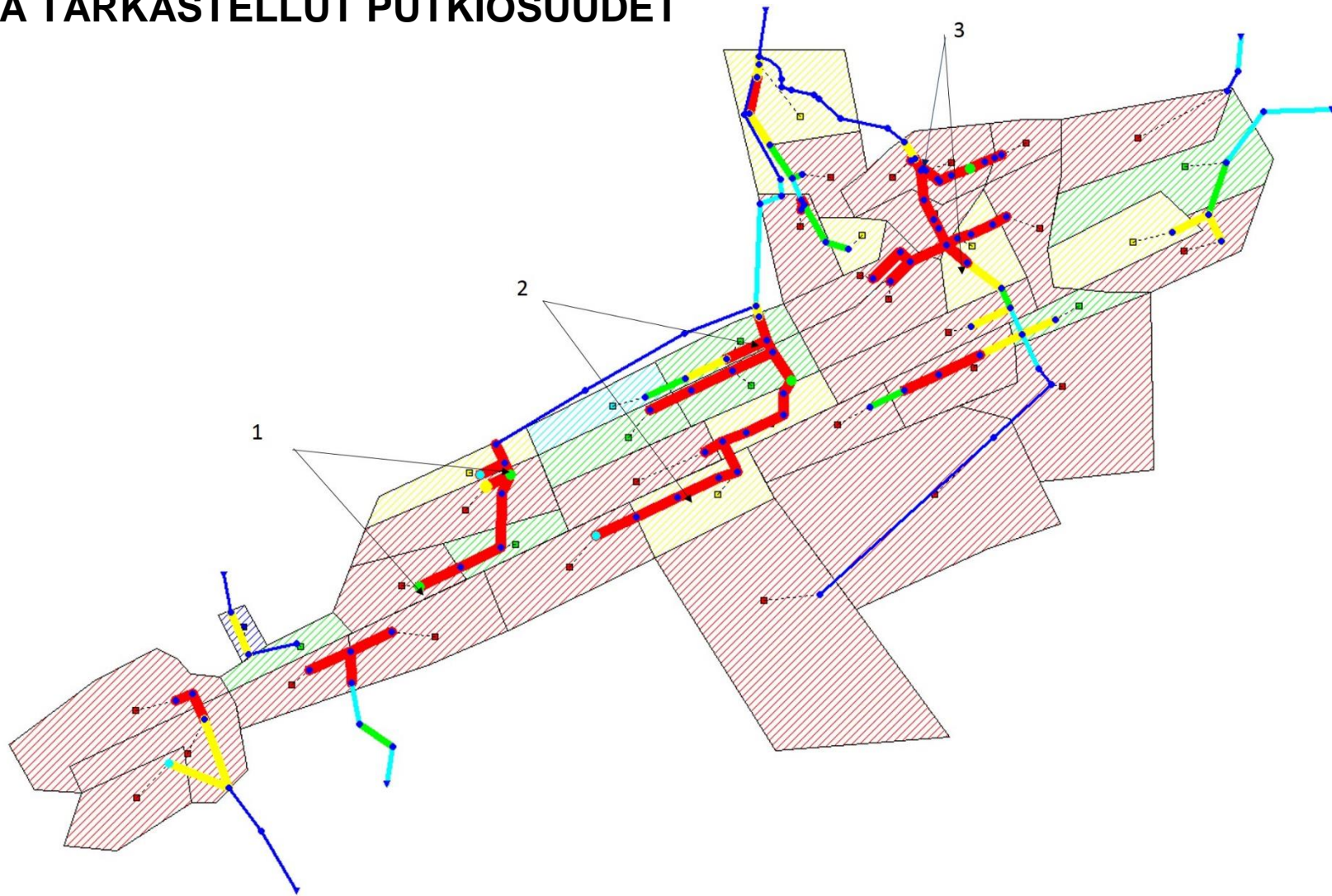
Vajda, A., Tuomenvirta, H., Jokinen, P., Luomaranta, A., Makkonen, L., Tikanmäki, M., Groenemeijer, P., Saarivikivi, P., Michaelides, S., Papadakis, M., Tymvios, F. & Athanasatos, S. 2011. Probabilities of adverse weather affecting transport in Europe: climatology and scenarios up to the 2050s. Helsinki, Ilmatieteen laitos. 2011:09.

Vieri, P. Vuoro-esimies, Finavia Oyj, Tampere-Pirkkala. Haastattelu 13.8.2015.

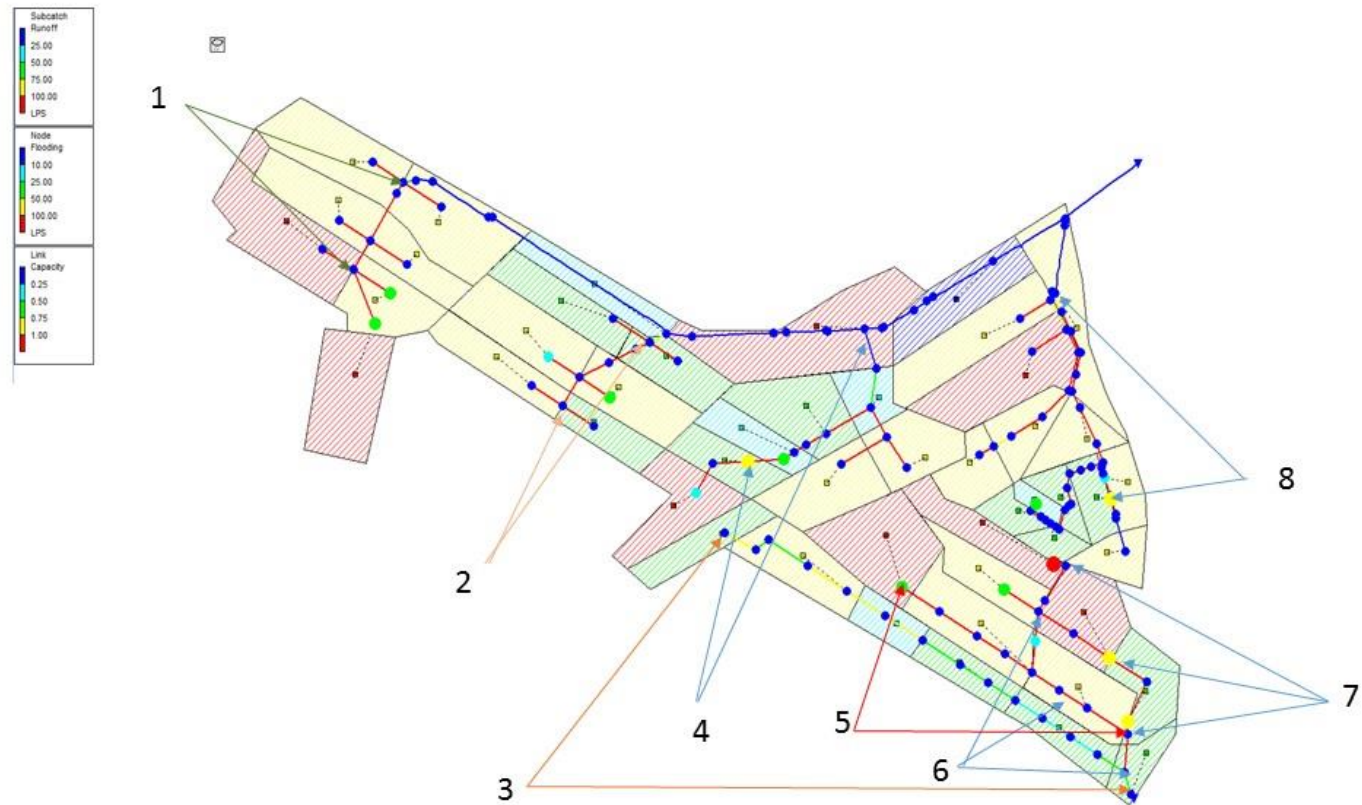
Viitala, M. Suunnittelupäällikkö (eläkkeellä), Finavia Oyj. Haastattelu 30.6.2015.

Wahlgren, I., Kuismanen, K. & Makkonen, L. 2008. Ilmastonmuutoksen huomioiminen kaavoituksessa -tapauskohtaisia tarkasteluja. VTT. Tutkimusraportti VTT-R-03986-08.

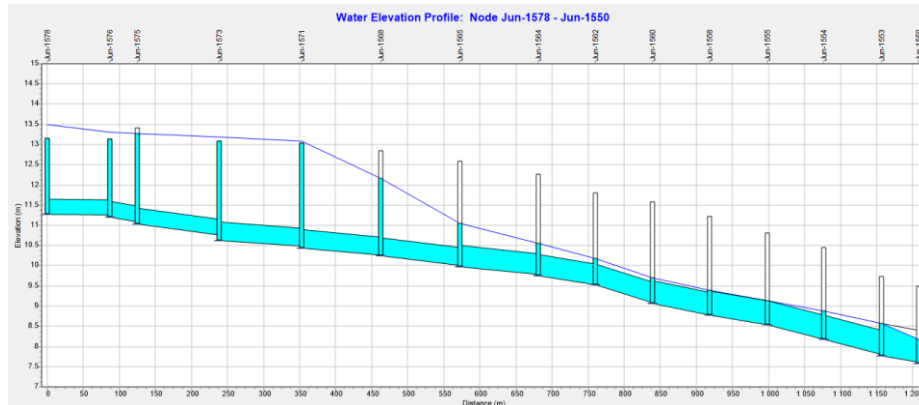
# LIITE 1 TAMPERE-PIRKKALAN LENTOASEMAN HULEVESIMALLIN RAKENNE JA TARKASTELLUT PUTKIOSUUDET



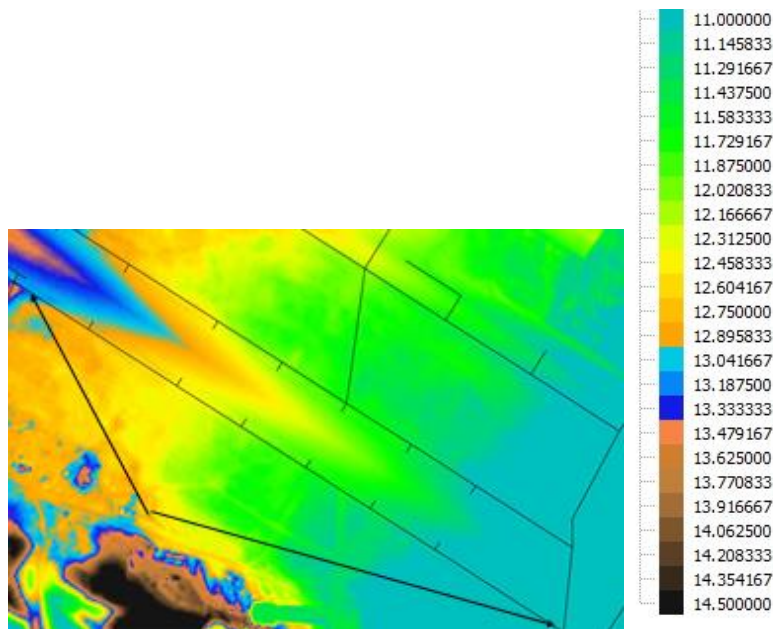
## LIITE 2 OULUN LENTOASEMAN HULEVESIMALLIN RAKENNE JA TARKASTELLUT PUTKIOSUUED



## LIITE 3 OULU LENTOASEMAN HULEVESIMALLI: PUTKIOSUUDET 3, 4 JA 8 PITUUSLEIKKAUK- SET JA KORKEUSMALLIT

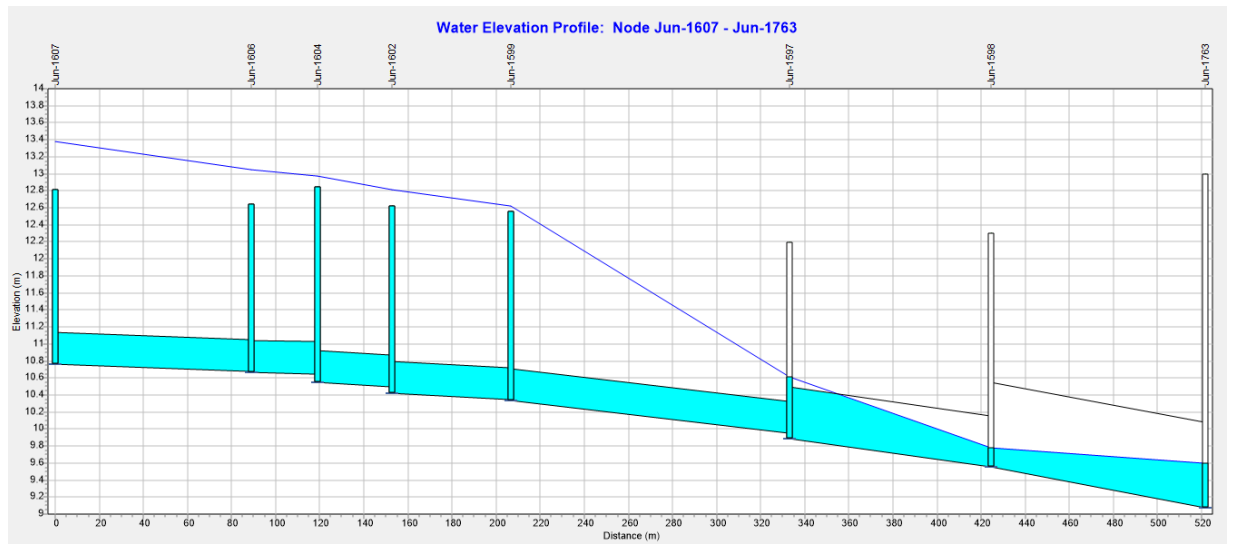


*Kuva 1 Pituusleikkaus putkiosuudesta 3, sade: 1/5a, 30 min*

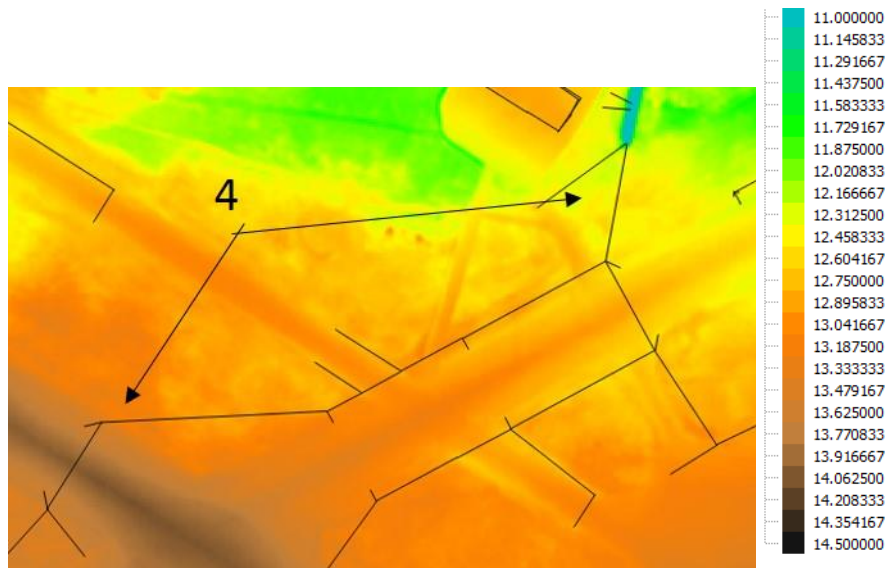


*Kuva 2 Korkeusmalli putkiosuudesta 3*

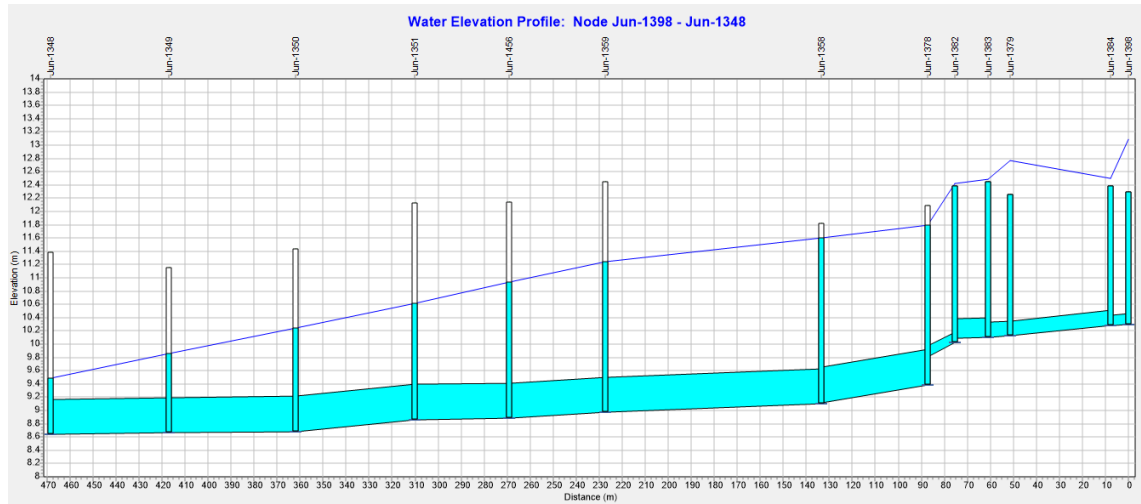




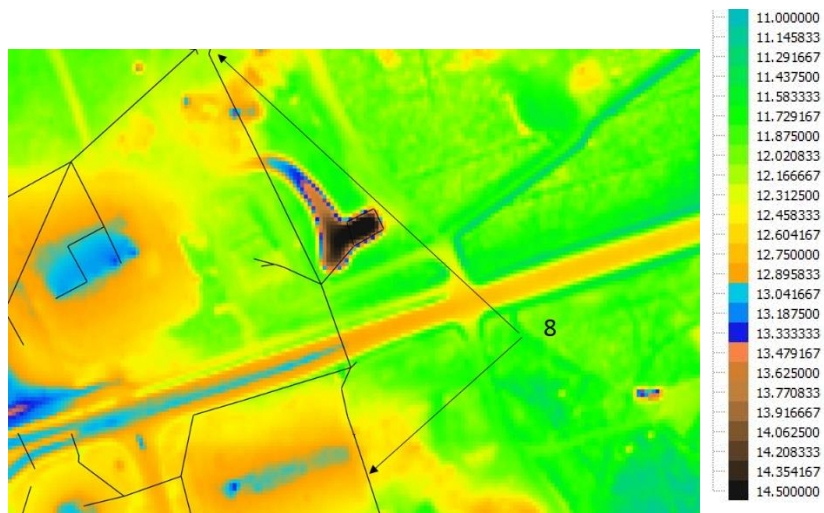
**Kuva 3** Pituusleikkaus putkiosuudesta 4, sade: 1/5a, 30 min



**Kuva 4** Korkeusmalli putkiosuudesta 4



*Kuva 5 Pituusleikkaus putkiosuudesta 8, sade: 1/5a, 30 min*



*Kuva 6 Korkeusmalli putkiosuudesta 8*