

30.1.2018

OULUN KAUPUNKI, YHDYSKUNTA- JA YMPÄRISTÖPALVELUT

Maankohoaminen Oulujoen suistossa



© Oulun kaupunki

Yhteystiedot

Elektroniikkatie 13
FI-90590 OULU
Finland
Kotipaikka Vantaa, Finland
Y-tunnus 0625905-6
Puh. +358 10 3311
www.poyry.fi

Pöyry Finland Oy

Minna Mäki-Asiala

Annika Ansala

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	5
1.1	Lähtöaineisto	6
2	ILMASTONMUUTOS	7
2.1	Ilmastonmuutoksen etenemisen seuraukset	7
2.2	Ilmastonmuutosta hidastavat tekijät	9
2.3	Ilmastonmuutoksen skenaariot	10
2.3.1	SRES -päästöskenaariot	10
2.3.2	RCP -skenaariot.....	10
2.3.3	Skenaarioiden yhteneväisyydet	11
2.4	Tarkasteltavat ilmastonmuutoksen skenaariot	12
2.5	Ilmastonmuutos Pohjois-Pohjanmaalla ja Oulussa.....	13
2.5.1	Nykyilmasto.....	13
2.5.2	Tuleva ilmasto	13
3	MAANKOHOAMINEN	16
3.1	Jääkausi	16
3.2	Maankohoaminen Oulun alueella	17
3.2.1	Maankohoamisen mittaaminen Oulun alueella	17
3.2.2	Teoreettinen keskivesi.....	18
3.2.3	Rantaviivan siirtyminen ja muutokset rantavyöhykkeessä.....	20
3.2.4	Arviot keskivedenkorkeudesta vuoteen 2100.....	24
4	ILMASTONMUUTOKSEN JA MAANKOHOAMISEN TUOMAT HAASTEET JA HYÖDYT	28
5	DALO -PROJEKTI.....	32
5.1	Tulosten vertailu	33
6	YHTEENVETO	34

KUVALUETTELO

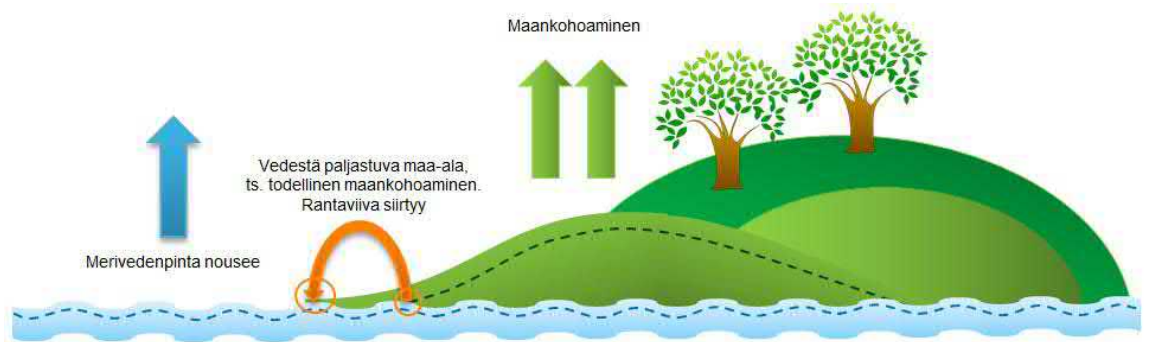
Kuva 1 Merenpinnan nousun ja maankohoaminen = todellinen maankohoaminen. Merivesipinnan nousu tasoittaa maankohoamista Oulun alueella.	5
Kuva 2 Suistokaupunkivisio. Alustava suunnittelualue. (Oulun kaupunki)	6
Kuva 3 Sateliittikuva pohjoisnavasta syyskuussa 2017. Kuvassa jääpeitä on saavuttanut vuosittaisen minimin. Keltaisella viivalla esitetään 30 vuotista keskimääräistä jääpeitteen minimiä vuodesta 1981 lähtien. (https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/online.jpg)	8
Kuva 4 Auringon säteilyn kulku. Puhtaan ilman pilvessä on vähemmän pienhiukkasia, jolloin säteilyä heijastuu vähemmän takaisin. Saastuneen ilman pilvessä on enemmän hiukkasia ja säteily takaisin on suurempaa. Saastuneen pilven elinikä on pidempi, sillä pienhiukkaset eivät kasva helposti sadepisariksi.	9
Kuva 5 Kaikki skenaariot olettavat päästöjen kasvavan seuraavien vuosikymmenien aikana. Kuvaajasta näkyy hiilidioksidin kokonaiskonsentraatio (partikkelia per miljoona) jokaiselle päästöskenaariolle. SRES skenaariot on esitetty katkoviivalla ja uudet RCP skenaariot yhtenäisellä viivalla. Väreillä on pyritty kuvaamaan samankaltaiset päästöt. Harmaalla on kuvattu mitatut hiilidioksidi päästöt. (https://cig.uw.edu/learn/climate-change/)	12
Kuva 6 Oulujoen suistoalueen lämpötilahavainnot vuosien 1970-2017 aikana sekä ennusteet vuosille 2018-2100. Lähteenä on käytetty Ilmatieteenlaitoksen dataa.	14
Kuva 7 Lämpötilan muutos Oulussa eri tarkasteluun valituilla ilmastonmuutosskenaarioilla.	14
Kuva 8 Oulujoen suistoalueen sadantahavainnot vuosien 1970-2017 aikana sekä ennusteet vuosille 2018-2100. Lähteenä on käytetty Ilmatieteenlaitoksen dataa. Suuret ja pienet päästöt sekä niiden keskiarvot on kuvattu sadantana mm/kk. Vuosisadantaa ja sen kasvua on kuvattu mm/v.	15
Kuva 9 Vaaituksen avulla määritelty maannoususopeus (mm/v). Pisteet ovat määrittämissä käytettyjä mareografi –pisteiden sijainteja. (Saarinen, 2005, Tarkkavaaituksilla määritetty vuosittainen maannousu Suomen alueella, Geodeettinen laitos)	17
Kuva 10 Maankohoama teoreettisen keskiveden mukaan vuosina 1920-2017 sekä ennuste kohoamisesta vuosien 2018-2100 aikana. Arvot vastaavat todellista maankohoamista.	19
Kuva 11 Teoreettinen keskivesi Oulussa sekä keskiveden muutosskenaariot perustuen ilmastonmuutosskenaarioihin. Korkeudessa on otettu huomioon jäätiköistä aiheutuva maannousu.	20
Kuva 12 Maankohoamiseen ja merivesipinnan nousuun vaikuttavat tekijät	22
Kuva 13 Oulujoen suistoalueen saaria. Kuvassa A on esitetty kartta saarista vuonna 2017 ja kuvassa B vuonna 1952. (Paikkatietoikkuna ja http://timomeriluoto.kapsi.fi)	23
Kuva 14 Keskivedenkorkeus Oulujoen suistossa vuonna 2100. Vaaleansinisellä on esitetty RCP8.5 skenaario (suuret päästöt), jolloin keskivedenkorkeus on noin +0,07 (N2000). Tummansinisellä on esitetty RCP4.5 skenaario (pienet päästöt), jolloin keskivedenkorkeus on noin -0,13 (N2000).	24
Kuva 15 Keskivedenkorkeuden minimi (-0,46 N2000) Oulujoen suistossa vuonna 2100 (vaalean sininen rasteri). Tumman sinisellä on esitetty keskimääräinen vedenkorkeus -0,03 N2000 vuonna 2100.	25
Kuva 16 Keskivedenkorkeuden maksimi (+0,49 N2000) Oulujoen suistossa vuonna 2100 (tumman sininen rasteri). Vaalean sinisellä on esitetty keskimääräinen vedenkorkeus -0,03 N2000 vuonna 2100.	25
Kuva 17 Vuoden 2100 alivesi, kun keskimääräinen keskivedenkorkeus on -0,03 (N2000). Alin korkeus on -1,34 (N2000).	26
Kuva 18 Sedimentaatioalueet Oulujoen suistossa vihreällä, sekä ihmisen muokkaamat ranta-alueet punaisella. Oranssilla ilmakuviin perusteella havaittu maankohoama vuosina 1999-2009 ja sinisellä maankohoama vuosina 2009-2017.	27
Kuva 19 Vasemmalla Kiulukankaan keskuspuiston hulevesien viivytysallas. (Oulun Kiulukankaan asemakaava, Plaana). Oikealla ortokuva alueesta.	29
Kuva 20 Vasemmalla Kivikkokankaan Mustikkakankaanpuiston hulevesien viivytysallas. (Oulun Kivikkokankaan asemakaava, Linja Arkkitehdit). Oikealla ortokuva alueesta.	29
Kuva 21 Kerran 1/250 vuodessa toistuva meritulva Oulujoen suistoalueella. (Tulvakarttapalvelu)	30
Kuva 22 Rakentamiskorkeus suositukset Oulun alueella kerran 250 vuodessa toistuvalla meritulvalla. Loiva ranta, jolloin min. aaltoiluvara 30 cm. Pyyhkäisy matka 1 km.	31

LIITELUETTELO

- Liite 1 Kartta: Teoreettinen keskivedenkorkeus vuoteen 2100 mennessä pienillä ja suurilla päästöillä
- Liite 2 Kartta: Teoreettinen keskivedenkorkeus alimmillaan vuoteen 2100 asti ilmastonmuutoksen epävarmuudet huomioiden
- Liite 3 Kartta: Teoreettinen keskivedenkorkeus ylimmillään vuoteen 2100 asti ilmastonmuutoksen epävarmuudet huomioiden
- Liite 4 Kartta: Teoreettinen keskivedenkorkeus aliveden aikana vuoteen 2100 asti
- Liite 5 Kartta: Arvioidut veden alta paljastuvat maa-alueet
- Liite 6 Havainnekuva: Arvioidut sedimentaatioalueet

1 JOHDANTO

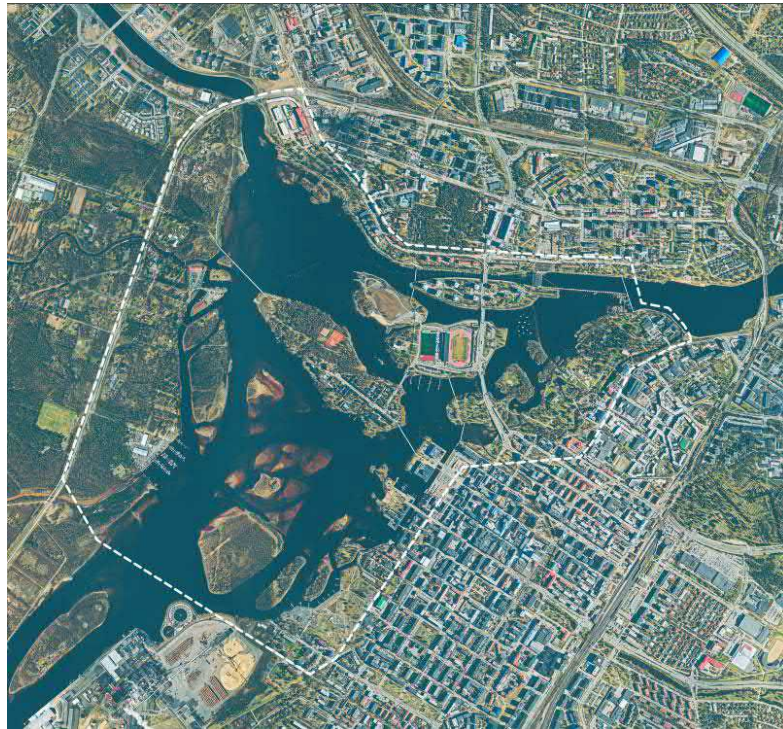
Tämän selvityksen tarkoitus on tarkastella maankohoamista Oulujoen suistoalueella vuoteen 2100 asti. On tutkittu, että maa kohoaa Perämerellä jopa noin 90 cm sadassa vuodessa. Merenpinnan samanaikainen kohoaminen kuitenkin tasoittaa maanpinnan kohoamista tai tarkemmin vedestä paljastuvaa maa-alaa (myöhemmin **todellinen maankohoaminen**) (Kuva 1). Selvityksessä tuodaan esille ilmastonmuutoksen ja sen eri skenaarioiden välillinen vaikutus maankohoamiseen ja pyritään luomaan kuva todellisesta maankohoamisesta Oulujoen suistoalueella vuoteen 2100 saakka.



Kuva 1 Merenpinnan nousu ja maankohoaminen = todellinen maankohoaminen. Merivesipinnan nousu tasoittaa maankohoamista Oulun alueella.

Oulujoki laskee mereen Oulujärvestä, joka sijaitsee noin 100 km päässä joen suistoalueesta. Oulujärveen laskee vesiä aina itärajalta asti (Hyrynsalmen ja Sotkamon reitit). Oulujoki on säännöstelty joki, jolloin virtaus alueella ei ole luontainen. Ennen joen valjastamista energiatuotantoon, sai joki vapaasti kerrostaa suistoon hiekkaa ja lietettä noin 2000 vuoden ajan. Suisto on tyyppillisesti vain hieman keskimääräisen meriveden korkeuden yläpuolella.

Oulujokisuisto muodostuu Hartaan- ja Rommakonselästä sekä niitä ympäröivistä saarista (Kuva 2). Alue on maisemallisesti, toiminnallisesti ja kaupunkirakenteellisesti merkittävä osa Oulun kaupunkia. Suistoalue on muuttunut merkittävästi kaupungin historian aikana niin luontaisten muutosten (mm. maankohoaminen) kuin rakentamisen seurauksena. Kaupunki kasvaa edelleen tulevaisuudessa. Suistokaupunkivision tarkoituksena on tarkastella Oulujoen suistoaluetta kokonaisuutena, joka palvelisi asukkaita niin asutuksen, toiminnallisuuden, palveluiden ja virkistysmahdollisuuksien osalta. Aluetta suunniteltaessa halutaan ottaa huomioon tärkeät vesipeilit, luonnonympäristö sekä kulttuuriympäristö- ja maisema-arvot.



Kuva 2 Suistokaupunkivisio. Alustava suunnittelualue. (Oulun kaupunki)

Tässä selvityksessä tarkastellaan suistokaupunkivisio suunnittelualuetta, eli työssä keskitytään Koskikeskuksen, Hartaanselän ja Rommakonselän alueisiin saarineen ja rantoineen. Alueeseen on myös otettu tarkasteluun Tuiran ja Hietasaaren rantavyöhykkeet. Lisäksi selvityksessä tarkastellaan 1990 – luvun lopulla laaditun DALO -projektin tuloksia ja verrataan niitä tämän työn tuloksiin, sekä arvioidaan DALO – projektin tulosten soveltuvuutta maankohoamisen arvioimiseksi vuoteen 2100 asti.

1.1 Lähtöaineisto

Selvityksessä käytettiin lähtöaineistona Oulun kaupungin toimittamaa suistoalueesta tehtyä syvyyskäyrästä ja rantaviivaa sekä laserkeilausaineistoa ja ilmakuvia. Syvyyskäyrästä on tuottanut Kemijoki Oy vuonna 1999 ja Oulun kaupunki on muuttanut aineiston vastaamaan nykyistä N2000 -korkeusjärjestelmää. Vuoden 2017 laserkeilausaineisto oli automaattiluokiteltua. Lähtöaineiston osalta havaittiin epävarmuuksia pohjan nykytilan ja syvyyskäyrästä välillä. Laserkeilausaineiston tarkemman luokittelun puuttuessa maanpinnan pisteverkostoa digitointiin ilmakuvien perusteella. Rantaviivan digitoinnissa käytettiin apuna ilmakuvia niiltä osin kun puutteita ja muutoksia havaittiin. Näiden epävarmuuksien vuoksi tuotettuja kuvia ei voi käyttää suunnittelun pohjana muissa töissä, vaan ainoastaan muutosten havainnollistamiseksi.

Maankohoamisen ja merivesipinnan korkeuden määrittelyyn lähtötietoina on käytetty Ilmatieteenlaitoksen avointa dataa. Lisäksi aiheesta on tehty laaja kirjallisuuskatsaus, jossa on perehdytty lukuisiin julkaisuihin liittyen ilmastonmuutoksen ja merivesipinnanmuutoksien määrittämiseen sekä maankohoamiseen Oulun ja Perämeren alueella.

2 ILMASTONMUUTOS

Ilmastonmuutos tarkoittaa ihmisen toiminnasta johtuvaa, ilmakehän lisääntyvästä kasvihuonekaasupitoisuudesta, erityisesti hiilidioksidista (CO₂), aiheutuvaa maailmanlaajuisia ilmaston lämpenemistä. Muita kasvihuonekaasuja ovat metaani (CH₄), di-typpioksidi (N₂O), Otsoni (O₃) ja vesihöyry (H₂O). Kaikille kasvihuonekaasuille tyypillistä on niiden molekyylien kyky muuttaa saamansa energia uudelleen säteilyksi.

Päästöjen kasvaminen entisestään nykytasosta tarkoittaa vuosisadan loppuun mennessä ilmaston lämpenemistä noin 2-6 °C. Ilmastonmuutos vaikuttaa lämpötilan lisäksi myös sateisiin. Sadanta jakautuu yhä epätasaisemmin, jolloin kuivuus ja tulvat lisääntyvät vaikka itse sademäärät eivät radikaalisti muuttuisikaan. Yleispiirteisesti voidaan todeta ilmaston ääriolosuhteiden muutoksien lisääntyvän ilmastonmuutoksen edetessä. (1) (2)

2.1 Ilmastonmuutoksen etenemisen seuraukset

Viimeisen reilun sadan vuoden aikana maapallon ilmasto on lämmennyt vajaan asteen. Keskimäärin maapallon keskilämpötila on noussut 0,12 astetta vuosikymmenessä. Keskilämpötilan nousu ei ole ollut tasaista. Lämpötila on välillä noussut nopeampaa ja välillä se on hidastunut. Maailman laajuisesti koleat päivät, kylmät yöt ja pakkasjaksot ovat harvinaistuneet, kun taas kuumia päiviä, lämpimiä öitä ja hellekausia esiintyy entistä useammin. (2) (3)

Ilmastonmuutos näkyy myös valtamerien pintojen nousuna ja vesien lämpenemisenä, ts. merivedessä tapahtuu lämpölaajenemista. Lisäksi manner- ja vuorijäätiköt sekä pohjoinen merijää vähenevät.

Mannerjäätiköiden (Grönlanti ja Etelämanner) massa on kutistunut ja keskimääräinen sulamisvauhti on moninkertaistunut viimeisen kolmenkymmenen vuoden aikana (Kuva 3). Pohjoisella jäämerellä jääpeitteen laajuus on pienentynyt noin 4 % vuosikymmenessä, mutta vastaavasti Eteläisellä jäämerellä jääpeite on laajentunut noin 1,5 % vuosikymmenessä viimeisen kolmen vuosikymmenen aikana. Vuorijäätiköt ovat yleisesti vähentyneet viimeisen 40 vuoden aikana. (4)



Kuva 3 Sateliittikuva pohjoisnavasta syyskuussa 2017. Kuvassa jääpeite on saavuttanut vuosittaisen minimin. Keltaisella viivalla esitetään 30 vuotista keskimääräistä jääpeitteen minimiä vuodesta 1981 lähtien. (<https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/online.jpg>)

Pohjoisessa ikeroudan peittämällä alueilla maan pintakerrosten lämpötila on kolmenkymmenen vuodenaikana noussut paikoin jopa 2–3 astetta. Pohjois-Venäjällä ikeroudan peittämän alueen pinta-alan on havaittu pienentyneen ja routakerroksen ohentuneen. (1) (2) (4)

Pohjoisella pallonpuoliskolla myös lumipeitteen laajuus maa-alueilla on supistunut rajusti, etenkin keväisin. Viimeisen viidenkymmenen vuoden aikana suhteellisesti ottaen suurin muutos on tapahtunut kesäkuussa, jolloin keskimääräisen lumipeitteen laajuus on kutistunut puoleen viidenkymmenen vuoden takaisesta. (1) (2) (5)

Viimeisen 40 vuoden aikana valtamerien ylimmät kerrokset ovat lämmenneet noin 700 metrin syvyyteen saakka. Määrällisesti eniten on lämmennyt valtameren pintaosa, joka on noin 75 cm syvyyteen ulottuva vesikerros. Viimeisen vuosikymmenen aikana kerroksen lämpötila on noussut lähes puoli astetta. Suurin osa ilmastojärjestelmän sisältämästä lämpöenergiasta on varastoitunut meriin. (1) (2) (5)

Viimeisen viidenkymmenvuoden aikana tapahtunut merenpinnan nousu on johtunut pääasiassa vuoristojäätiköiden sulamisesta ja meriveden lämpölaajenemisesta. Viimeisen sadan vuoden aikana merivedenpinta on noussut maailmanlaajuisesti keskimäärin noin 19 cm. (1) (2)

Sademäärien muutokset ovat olleet maailmanlaajuisia, esimerkiksi Pohjois-Euroopassa sademäärät ovat lisääntyneet ja vastaavasti välimeren alueella ne ovat vähentyneet. Sateet ovat jakautuneet siis entistä epätasaisemmin ilmaston lämpenemisen myötä. Lisäksi ääriolosuhteet, kuten rankkasateet ovat lisääntyneet monilla alueilla ja vastaavasti entistä ankarammat kuivat kaudet ovat lisääntyneet jo valmiiksi kuivuutta kärsivillä alueilla. Sademäärät eivät välttämättä ole kasvaneet merkittävästi, mutta sateiden ajankohdat ja kestot ovat muuttuneet (1) (2) (4)

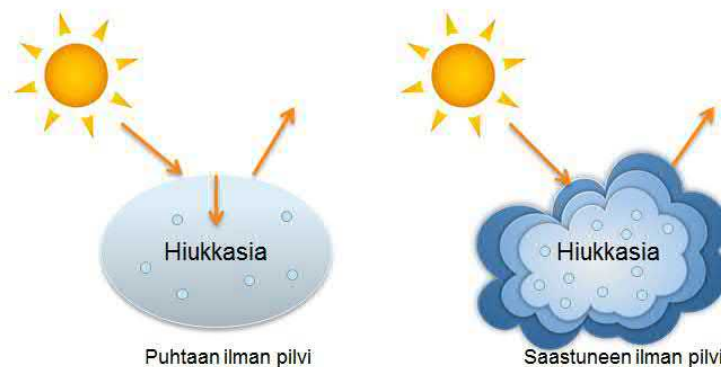
Ilmastonmuutoksen etenemiseen vaikuttavat pitkälti myös muutokset maailman talouden rakenteessa ja sen jakautumisessa. Kuluttava yhteiskunta vaatii myös ympäristöltään enemmän, mikä näkyy mm. päästöinä ja sitä kautta ilmaston kuormittamisena.

2.2 Ilmastonmuutosta hidastavat tekijät

Ilmastonmuutosta tarkasteltaessa tulee huomioida myös muutosta hidastavat tekijät. Muutosta hidastavia tekijöitä on pääsääntöisesti kaksi; vuoristojäätiköt ja pienhiukkaset.

Vaikka ilmasto lämpenee ja sen seurauksena vuoristojäätiköt sulavat niin samalla kuitenkin sateiden lisääntyessä vuoristojäätiköt voivat jopa kasvaa, mikä hillitsee ilmastonmuutosta, sillä suurin osa sateista tulee edelleen alas lumena.

Fossiilisten polttoaineiden käyttö vapauttaa ilmakehään rikki- ja typpiyhdisteitä, jotka ilmakehässä muuttuvat pienhiukkasiksi (Kuva 4), jotka ovat kiinteitä tai nestemäisiä ilman epäpuhtauksia. Pienhiukkasia ei voi paljain silmin erottaa, mutta suurkaupungeissa esiintyvät savusumut koostuvat pienhiukkasista. Hiukkasia on ilmakehässä niin ihmisen vaikutuksesta kuin luonnostaan.



Kuva 4 Auringon säteilyn kulku. Puhtaan ilman pilvessä on vähemmän pienhiukkasia, jolloin säteilyä heijastuu vähemmän takaisin. Saastuneen ilman pilvessä on enemmän hiukkasia ja säteily takaisin on suurempaa. Saastuneen pilven elinikä on pidempi, sillä pienhiukkaset eivät kasva helposti sadepisariksi.

Nämä pienhiukkaset osaltaan viilentävät ilmastoa. Hiukkaset ovat jarruttaneet ilmaston lämpenemistä, jolloin kasvihuonekaasujen lisääntyminen on jäänyt vaikutukseltaan pienemmäksi. Hiukkaset viipyvät ilmakehässä keskimäärin muutamia viikkoja, joten niiden pitkäaikainen vaikutus on olematon. Tulevaisuudessa niiden merkitys vähenee, sillä pienhiukkaspäästöt eivät tule tutkimusten mukaan merkittävästi enää kasvamaan ja vastaavasti kasvihuonekaasut pysyvät ilmastossa kymmeniä vuosia. (6)

2.3 Ilmastonmuutoksen skenaariot

2.3.1 SRES -päästöskenaariot

Ilmastonmuutosta on yleisesti kuvattu ja tutkittu SRES päästöskenaarioiden avulla. Kyseiset skenaariot ovat kansainvälisen ilmastonmuutospaneelin (IPCC) luomia. Ilmastonmuutosskenaarioiden pohjana ovat IPCC:n esittämät vaihtoehtoiset arviot taloudellisesta, teknologisesta ja yhteiskunnallisesta kehityksessä maapallolla tämän vuosisadan aikana. Riippuen siitä, oletetaanko tulevaisuudessa painotettavan taloudellista kasvua vai ympäristön hyvinvointia ja toisaalta globalisaatiota vai alueellista eriytymistä, päädytään erilaisiin arvioihin mm. talouden, energiantuotantoteknologian, maankäytön ja väkiluvun kehityksessä. (2)

SRES päästöskenaarioilla pyritään arvioimaan muutoksia ilmakehän koostumuksessa, säteilypakotteen muutoksia ilmastossa, muutoksia globaalissa keskilämpötilassa sekä skenaarioita maailmanlaajuisessa keskivedenkorkeudessa. Jokainen skenaario olettaa ilman hiilidioksidipitoisuuden kasvavan lähivuosisikymmeninä lähes samaa tahtia, mutta lähestyttäessä vuotta 2100 eroavaisuudet alkavat näkyä. Päästöskenaarioita on yhteensä kuusi; A1B, A1T, A1FI, A2, B1 ja B2. (2) (21)

A1 skenaario kuvaa suurta taloudellista kasvua yhdentyvässä maailmassa, jossa teknologian kehittyminen on huipussaan. Kyseinen malli on jaettu kolmeen eri skenaarioon riippuen energialähteestä:

- **A1FI**; Energialähteenä fossiiliset polttoaineet, suuret päästöt
- **A1T**; Uusiutuvat energialähteet
- **A1B**; Yhdistelmä uusiutuvasta ja fossiilisesta energialähteestä

A2 skenaario kuvaa epätasaisesti jakautunutta maailmaa, jossa talouskehitys on alueellisesti suuntautunut ja teknologian muutos on hidasta ja sirpaleista. Alueelliset tuloerot säilyvät suurina. Päästöt melko suurina.

B1 skenaario kuvaa talouden rakenteen nopeaa muutosta kohti palvelu- ja informaatiotaloutta. Päästöt lähtevät laskuun vuosisadan puolivälin vaiheilla. Keskitytään tulo- ja kehityserojen tasoittumiseen.

B2 skenaario kuvaa maailmaa, jossa painotetaan paikallisia ratkaisuja taloudellisen, sosiaalisen ja ympäristön kestävyuden määrittelyssä. Alueelliset erot säilyvät suurina. Hitaasti lisääntyvät päästöt.

2.3.2 RCP -skenaariot

Viime vuosina on kehitetty uudentyypisiä kasvihuonekaasuskenaarioita, jotka ottavat huomioon myös vuoden 2000 jälkeen toteutuneet päästöt. Uusimpia kasvihuonekaasuskenaarioita kutsutaan nimellä **RCP-skenaariot** (representative concentration pathways eli pitoisuuksien kehityskulun skenaariot). Suomea koskevat uusimmat arviot tulevasta ilmastosta perustuvat 28 maailmanlaajuisella ilmastomallilla tehtyihin laskelmiin.

Mallituloksia esitetään useammalle kasvihuonekaasuskenaariolle. Se, kuinka paljon ilmasto muuttuu eli mikä tulevaa kehitystä kuvaavista kehityspoluista eli skenaarioista toteutuu, riippuu kasvihuonekaasujen maailmanlaajuisten päästöjen määrästä. (1)(2)

Eri skenaarioissa kasvihuonekaasujen maailmanlaajuisten päästöjen oletetaan kehittyvän seuraavasti:

RCP8.5-skenaario: kasvihuonekaasupäästöjen kasvu jatkuu nopeana tulevaisuudessakin.

RCP6.0-skenaario: päästöt pysyvät aluksi suunnilleen nykyisellä tasollaan, mutta ovat myöhemmin tällä vuosisadalla melko suuria.

RPC4.5-skenaario: päästöt kasvavat aluksi hieman, mutta kääntyvät laskuun vuoden 2040 tienoilla.

RPC2.6-skenaario: päästöt kääntyvät jyrkkään laskuun jo vuoden 2020 jälkeen ja ovat vuosisatamme lopulla lähellä nollatasoa. (1)(2)(11)

Pitoisuuksien muutokset ovat maapallon kannalta häiriöitä, näitä häiriöitä kutsutaan **säteilypakotteiksi**. Päästömäärät johtavat erilaisille pitoisuuksien kehityskuluille, jonka vuoksi skenaarioita merkitään numeroin, missä numeroarvo viittaa säteilypakotteen suuruuteen (W/m^2). (21)

Säteilypakotteella tarkoitetaan ilmastotieteessä käytettyä suuretta, joka kuvaa saapuvan ja poistuvan säteilyn välistä eroa. Positiivinen säteilypakote tarkoittaa ilmastoa lämmittävää vaikutusta, negatiivinen puolestaan viilentävää.

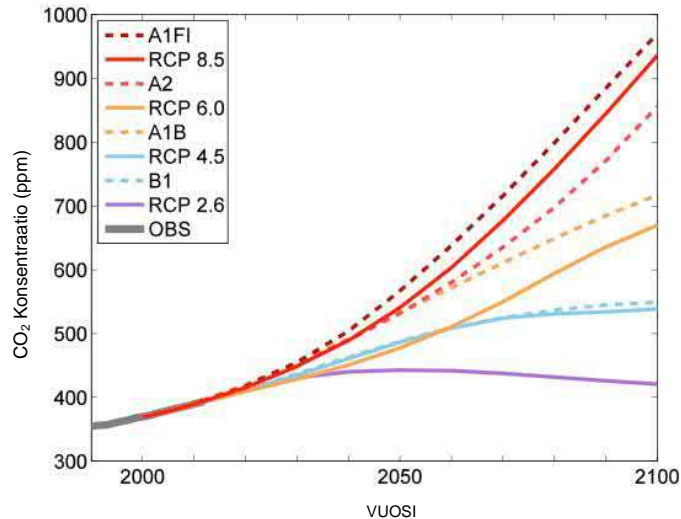
RPC2.6 → **2.6 W/m^2**

Jokainen skenaario edustaa suurta joukkoa erilaisia päästöskenaarioita, sillä on olemassa useita päästöjen ja pitoisuuksien kehityskulkuja, jotka voisivat tuottaa samansuuruisen säteilypakotteen vuosisadan lopulla. Tässä työssä tarkastellaan keskimääräisiä skenaarioita, eikä oteta tarkemmin kantaa skenaarioiden sisällä oleviin omiin kehityskulkuihin.

Ilmastomuutosennusteissa annetaan arvio, kuinka paljon lämpötila, sademäärä tai joku muu ilmastosuure muuttuu perusjaksoon eli vuosien 1981–2010 keskiarvoon verrattuna. Arviot ulottuvat vuoden 2100 tienoille. Uudet mallitulokset näyttävät Suomen kesien lämpenevän jonkin verran aiempia arvioita enemmän, mutta sen sijaan sademäärän muutosarviot eivät ole juuri muuttuneet entisistä. (6) (7)

2.3.3 Skenaarioiden yhteneväisyydet

SRES – päästöskenaarioita sekä RCP -skenaarioita on vertailtu Kuva 5. Kuvaajassa on vertailtu kunkin skenaarion hiilidioksidin konsentraatiota. Konsentraatioiden välinen ero on suurimmillaan vuonna 2050 noin 110 ppm ja vuonna 2100 noin 530 ppm.



Kuva 5 Kaikki skenaariot olettavat päästöjen kasvavan seuraavien vuosikymmenien aikana. Kuvaajasta näkyy hiilidioksidin kokonaiskonsentraatio (partikkelia per miljoona) jokaiselle päästöskenaariolle. SRES skenaariot on esitetty katkoviivalla ja uudet RCP skenaariot yhtenäisellä viivalla. Väreillä on pyritty kuvaamaan samankaltaiset päästöt. Harmaalla on kuvattu mitatut hiilidioksidi päästöt. (<https://cig.uw.edu/learn/climate-change/>)

Edellä kuvatuista skenaarioista kaksi toisistaan eniten eroavaa skenaariota ovat A1FI, joka vastaa parhaiten uutta skenaariota RCP8.5 sekä RCP2.6 skenaario, jolla vastaavasti ei ole aiemmissa SRES – päästöskenaarioissa vastaavuutta. RCP2.6 on skenaarioista kaikkein epätodennäköisin ja vaatisi, että kasvihuonekaasupäästöt lähtisivät heti laskuun, mikä ei käytännössä ole mahdollista.

2.4 Tarkasteltavat ilmastonmuutoksen skenaariot

Tässä työssä on otettu tarkempaan tarkasteluun kaksi eri ilmastonmuutosskenaariota. Valituista skenaarioista ensimmäinen, RCP8.5 – skenaario, edustaa kasvavia kasvihuonekaasupäästöjä. Myöhemmin tätä skenaariota kuvataan termillä ”suuret päästöt”. Skenaariota tukee myös IPCC:n skenaario A1FI. Toiseksi skenaarioksi valittiin RCP4.5, joka kuvaa kasvihuonekaasupäästöjen kääntymistä hiljalleen laskuun puolivuosisadan vaihteessa. RCP4.5 kuvaa parhaiten IPCC skenaariota B1. Skenaariosta puhutaan myöhemmin ”pieninä päästöinä”. RCP2.6 jätettiin tarkastelu ulkopuolelle, koska se on erittäin epätodennäköinen vaihtoehto.

Päästöskenaarioita (SRES - skenaariot) on käytetty laajasti erilaisissa tutkimuksissa ja julkaisuissa koskien meren keskiveden korkeutta ja sen muutoksia. Tulevaisuudessa kuitenkin pyritään käyttämään pitoisuuksien kehityskulun skenaarioita ilmastonmuutoksen tarkastelussa, mistä syystä tässä työssä on keskitytty RCP – skenaarioihin.

Ilmastonmuutosta tarkasteltaessa on keskitytty 30-vuotiskausiin, jolloin tulokset olisivat mahdollisimman lähellä toteutuvaa. Esimerkiksi kymmenvuotiskausien todelliset keskilämpötilat voivat helposti heitellä ennakoituista ainakin asteen verran ylös- tai alaspäin. Yksittäisten vuosien vaihtelu on vieläkin suurempaa ja aiheuttaa entistä suuremman epävarmuuden tarkasteltaessa tuloksia.

2.5 Ilmastonmuutos Pohjois-Pohjanmaalla ja Oulussa

Ilmastonmuutos näkyy Pohjois-Pohjanmaan ja Oulun alueella eritoten leutoina vähälumisempina talvina, jossa sateet tulevat yhä enenevässä määrin vetenä. Lämpötilan kohoaminen on Suomen mittakaavassa havaittavissa erityisesti tällä alueella.

2.5.1 Nykyilmasto

Perämeri vaikuttaa vahvasti Oulun alueen ilmastoon lämmittämällä sitä syksyisin ja viilentämällä keväisin ja alkukesäisin. Ilmastollisesti alue kuuluu **keskiboreaaliseen ilmastovyöhykkeeseen**.

***Keskiboreaalinen ilmastovyöhyke** on soiden vyöhyke. Keskiboreaalissa on runsaasti soita ja puusto on vähäisempää kuin eteläboreaalissa. Yöpakkasia voi esiintyä tavallisissa maastoissakin pitkin kesää. Lämpötilan vuorokaudensisäinen vaihtelu on suurempi kuin muualla Suomessa.*

Vuoden keskilämpötila on Oulun alueella +1,5...+2,5 astetta. Yleisesti Oulun alueella tammikuussa keskilämpötila on noin -10 astetta. Lämpötila voi kuitenkin vaihdella talvikuukausina suuresti ollen jopa +10 asteen tietämillä. Lämpötilaeroihin vaikuttavat voimakkaasti tuulet. Heinäkuussa keskilämpötila on yleensä Oulussa noin +15 astetta ja hellepäiviä on keskimäärin 8. Kesällä voi kuitenkin esiintyä myös hallaa.

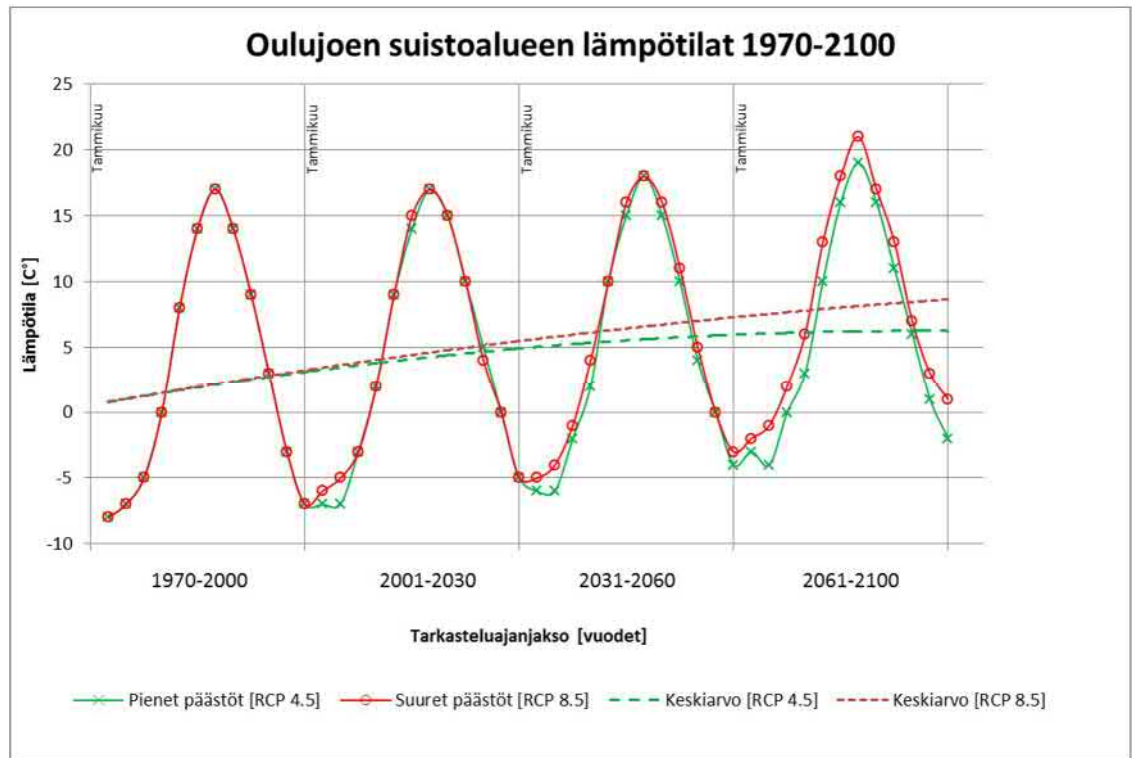
Vuotuinen sademäärä Oulussa on noin 500 millimetriä. Vähäsateisin kuukausi on tyypillisimmin huhtikuu, ja vastaavasti sateisin kuukausi on yleensä elokuu. Rannikko on vähälumisinta aluetta Oulussa. Alkupalvien suojasäät verottavat lumipeitettä rannikolla jonkin verran. Maaliskuussa lumisyvyys on tyypillisesti paksuimmillaan ollen noin 30–50 cm. Yhtenäisen lumipeitteen aika on noin 5 kk. Perämeri vaikuttaa vuodenaikojen vaihtumiseen rannikolla. Oulun rannikolla terminen kasvukausi alkaa ennen toukokuun puoltaväliä ja kestää aina lokakuun ensimmäisiin viikkoihin asti, jolloin kasvukauden pituus on noin 160–170 päivää.

2.5.2 Tuleva ilmasto

Ilmastonmuutoksen seurauksena Suomen lämpötilat nousevat, sademäärät kasvavat, lumipeiteaika lyhenee ja myös routaa on aiempaa vähemmän. Lisäksi Itämeren pinta nousee ja jääpeite kutistuu. Ennusteiden mukaan ilmasto näyttää muuttuvan enemmän talvella kuin kesällä.

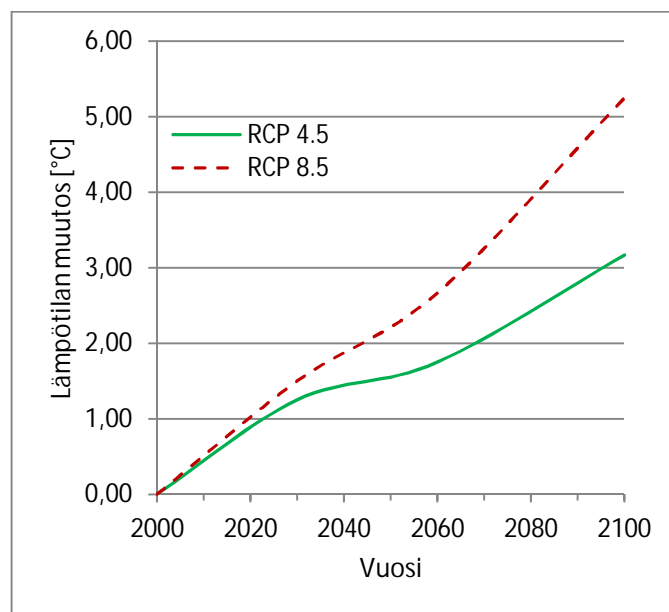
Lämpötila tulee nousemaan ja muutos on havaittavissa etenkin Pohjois-Suomessa. Ilmastonmuutoksen myötä lämpötilanmuutos vaikuttaa eniten talvilämpötiloihin, jotka kohoavat enemmän suhteessa kesälämpötiloihin. Lämpötilamuutoksissa yleistyvät hellejaksot, jotka samalla myös pitenevät kestoiltaan. Lisäksi korkeimmat lämpötilat tulevat kohoamaan entisestään ja vastaavasti alhaisimmat lämpötilat vähenevät. Tämä johtaa Oulun alueella mm. kasvukauden pidentymiseen kauden lämpötilan kohotessa ja lämpimien päivien lisääntyessä.

Ohessa (Kuva 6) on kuvattuna lämpötilojen muutoksia Oulujoen suistoalueella vuosien 1970–2100 aikana. Tarkastelu on tehty 30 vuoden aikasarjoissa.



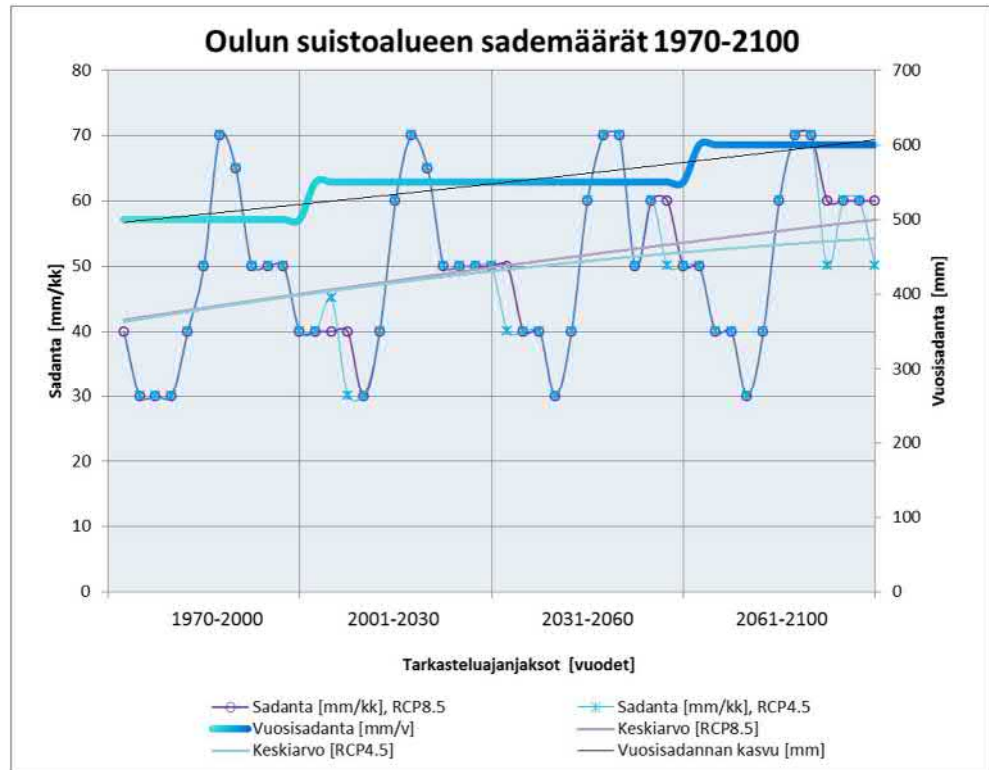
Kuva 6 Oulujoen suistoalueen lämpötilahavainnot vuosien 1970-2017 aikana sekä ennusteet vuosille 2018-2100. Lähteenä on käytetty Ilmatieteenlaitoksen dataa.

Kuvaajassa on otettu tarkasteluun ilmastonmuutoskenaariot RSP8.5 (suuret päästöt) sekä RCP4.5 (pienet päästöt) havainnollistamaan tulevia lämpötilamuutoksia. Lämpötilanmuutoskuvaajasta voidaan päätellä keskilämpötilan kohoavan seuraavan 80 vuoden aikana noin 1,5 – 4,0 astetta ilmastonmuutoksen skenaarion riippuen (Kuva 7).



Kuva 7 Lämpötilan muutos Oulussa eri tarkasteluun valituilla ilmastonmuutoskenaarioilla.

Sademäärät tulevat lisääntymään ilmastonmuutoksen myötä. Ilmaston lämpeneminen johtaa myös siihen, että sateet tulevat yhä useimmiten vetenä. Ääriolosuhteet lisääntyvät myös sateissa. Rankkasateiden esiintyvyys kesäaikaan yleistyy entisestään ja vastapainona kesällä kuivien kausien määrä kasvaa. Sadanta itsessään määrällisesti ei muutu paljoa, mutta sateiden esiintyminen muuttuu. Sateiden yhteydessä myös myrskytuulet voimistuvat rannikolla etenkin ilmastonmuutos skenaario RCP8.5 mukaan. Oheisessa kuvaajassa on esitetty sadannan muutoksia Oulujoen suiston alueella.



Kuva 8 Oulujoen suistoalueen sadantahavainnot vuosien 1970-2017 aikana sekä ennusteet vuosille 2018-2100. Lähteenä on käytetty Ilmatieteenlaitoksen dataa. Suuret ja pienet päästöt sekä niiden keskiarvot on kuvattu sadantana mm/kk. Vuosisadantaa ja sen kasvua on kuvattu mm/v.

Kuvaajassa on otettu tarkasteluun ilmastonmuutosskenaariot RSP8.5 (suuret päästöt) sekä RCP4.5 (pienet päästöt) havainnollistamaan tulevia muutoksia sadannassa. Kuvaajasta voidaan päätellä sadannan pysyvän suunnilleen ennallaan tulevan 80 vuoden aikana. Vuosisadanta tulee kuitenkin kasvamaan noin 50 mm.

Ilmastonmuutoksella on vaikutusta myös lumipeitteeseen, routaan ja jääpeitteen paksuuteen. Ilmastonlämpenemisen myötä lumipeiteaika lyhenee arviolta nykyisestä 120–150 päivästä/vuosi jopa 69 päivää/vuosi vuoteen 2100 mennessä. Mikäli tarkastellaan pienien päästöjen ilmastonmuutosskenaariota, ei muutoksia lumipeitteessä ole havaittavissa. Lämpötilan noustessa lumen vesiarvo ja paksuus vähenevät. Lauhat ja sateiset talvet johtavat siihen, että maaperä pysyy märkänä ja sen kantavuus huononee sekä routaa esiintyy entistä harvemmin.

3 MAANKOHOAMINEN

Fennoskandiassa rannan siirtymiseen vaikuttaa niin ikään **glasioisostaattinen** maannousu ja **eustaattinen** maanpinnan kohoaminen. Puhutaan yleisesti rannan siirtymisestä, joka tässä tapauksessa tarkoittaa maan paljastumista veden alta. Merenpinnan korkeuden suhteellinen vaihtelu määrittelee rantaviivan sijainnin.

***Glasioisostaattinen** maannousu tarkoittaa jääkauden aikaisesta jäätiköstä aiheutuvaa maannousua. **Eustaattinen** maannousu tarkoittaa valtamerien pinnan noususta ja laskusta johtuvaa muutosta.*

Maankohoamista tarkastellessa on hyvä ymmärtää rannansiirtymistä ja sen ympärillä olevia käsitteitä:

***Transgressio** on maan jäämistä nousevan vedenpinnan peittoon.*

***Regressio** on sitä, että maa valtaa alaa vedeltä vedenpinnan laskiessa.*

Transgressiota ja regressiota on tapahtunut lukuisia kertoja Itämeren kehityksen aikana. Viimeisin ja ehkä parhaiten tunnettu vaihe on litorinatransgressio, jota on kuvattu tarkemmin kappaleessa 3.1. Oulun alueella rannan siirtymistä aiheuttaa myös jokien kuljettama ja kasaama liete kuorma.

***Litorinatransgressio** on merenpinnan kohoamista.*

Maankohoamista tarkastellaan merenkorkeusmittareiden, mareografien ja vesiasteikkojen avulla. Lisäksi Suomessa maankohoamista on seurattu myös toistettujen tarkkuusvaaitusten avulla.

Toistaiseksi merennousu on pienempää kuin Suomen rannikon maannousu ja tämä näkyy selvästi etenkin Pohjanlahdella.

3.1 Jääkausi

Noin 20 000 vuotta sitten jäätikkö oli laajimmillaan **Fennoskandiassa**. Perämeren ja pohjanlahden kohdalla jäätikön paksuus oli jopa 3,7 km, keskimääräisen paksuuden ollessa noin 2,5 km. Jäämassan painosta johtuen maankuori painui lommolle. Ilmaston lämpenemisen myötä jäätikkö alkoi vetäytyä sykleittäin, mikä käynnisti maankohoamisen Fennoskandian alueella. Maankohoamisessa maankuori palautuu isostaattiseen tasapainotilaan.

***Fennoskandia** on maantieteellinen alue, johon kuuluvat Skandinaavien niemimaa, Suomi, Itä-Karjala ja Kuola. Fennoskandia on niemi, joka on erotettuna mantereesta merillä.*

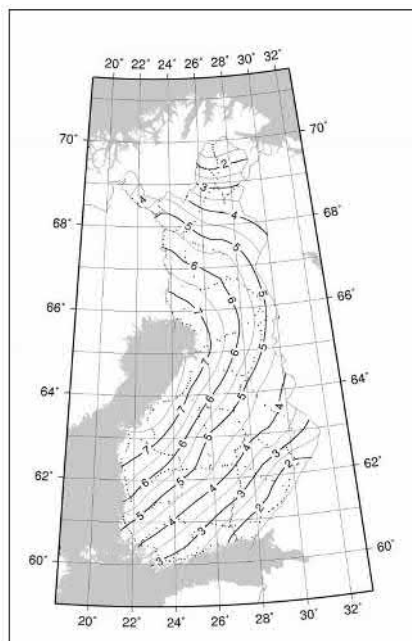
Jäätikön sulaessa ja vetäytyessä Perämeren alueella on ollut niin järvi- kuin merivaiheita. Viimeisin merivaihe, Litorinameri, alkoi noin 9000 vuotta sitten. Jäätiköiden sulamisesta johtuen merivettä pääsi virtaamaan Tanskan salmen kautta Itämereen. Mannerjää katosi lopullisesti Suomen alueelta noin 9000 vuotta sitten. Litorinamerivaiheessa maa kohosi Oulun alueella yli 10 m sadassa vuodessa. Maa on kohonnut Perämerellä kaikkiaan noin 600–700 m Litorinamerivaiheesta lähtien. Maankohoaminen on aikaa myöten hidastunut ollen nykyisin keskimäärin noin metrin sadassa vuodessa.

3.2 Maankohoaminen Oulun alueella

Teoreettinen keskivesi on ennuste vedenkorkeuden pitkäaikaisesta keskiarvosta. Siinä on otettu huomioon maan kohoaminen, maailmanlaajuinen merenpinnan nousu ja Itämeren kokonaisvesimäärän muutokset. Edellä mainitut tekijät vaikuttavat siihen, että teoreettinen keskivesi ei aina muutu vakionopeudella vuodesta toiseen.

3.2.1 Maankohoamisen mittaaminen Oulun alueella

Meriveden korkeutta mitataan mareografilla. Jokaisella mareografilla on oma referenssitaso, jonka suhteen korkeutta mitataan. Referenssitaso on kiinteä suhteessa geodeettisiin korkeusjärjestelmiin (Esim. NN, N60, N2000). Mareografi on mitannut Oulussa merivedenkorkeuksia aina vuodesta 1922 lähtien. Vuonna 1989 mareografilla havaittu maankohoaminen Oulun alueella oli noin 6,9 mm/v. Alla on kuvattuna (Kuva 9) vaaituksen avulla määritetty keskimääräinen maankohoaminen. Arvossa ei oteta huomioon merivedenkorkeuden tai tuulien tuomia muutoksia.



Kuva 9 Vaaituksen avulla määritetty maannoususopeus (mm/v). Pisteet ovat määrittämissä käytettyjä mareografi –pisteiden sijainteja. (Saarinen, 2005, Tarkkavaaituksilla määritetty vuosittainen maannousu Suomen alueella, Geodeettinen laitos)

Absoluuttinen maankohoaminen on eri tutkimusten mukaan Oulun alueella $8,37 \pm 0,37$ mm/v ja relatiivinen maankohoaminen $6,87 \pm 0,54$ mm/v. Uusimpien julkaisuiden perusteella maankohoamisen arvona voidaan käyttää $9,30 \pm 0,74$ mm/v, kun vedenkorkeuksista on vähennetty valtameren pinnan muutokset sekä tuulisuuden aiheuttama muutos merivesipinnassa. Meriveden korkeuvaihtelu on 5...95 % hajonnalla (todennäköisyydellä) $0,23$ mm/v... $2,77$ mm/v. Voidaankin olettaa, että keskimääräinen meriveden korkeuden muutos on noin $1,5$ mm/v. Satelliittikuvien perusteella viime aikoina valtamerenpinta on noussut jopa 3 mm vuodessa. (17) (36)

Absoluuttinen maankohoaminen on maan keskipisteestä mitattu maankohoaminen.

Relatiivinen maankohoaminen ottaa huomioon myös maailmanlaajuisen keskimääräisen meriveden korkeuden muutoksen.

Tarkkuusvaaituksia on Suomessa tehty kolme reilun sadan vuoden aikana. Ensimmäinen tarkkuusvaaitus tehtiin vuosina 1892-1910 korkeusjärjestelmällä NN. Toinen tarkkuusvaaitus tehtiin vuosina 1935-1975 korkeusjärjestelmällä N43. Toisessa tarkkuusvaaituksessa ei otettu huomioon maankohoamista mittausajalla. Viimeisin tarkkuusvaaitus on vuosilta 1978-2006, johon perustuu N2000 korkeusjärjestelmä. N2000 –järjestelmän korkeudet poikkeavat 13 - 43 cm Suomen aiemmasta N60 korkeusjärjestelmästä. Ero johtuu lähinnä maankohoamisesta.

Geostrofinen tuuli tulee huomioida tarkasteltaessa maankohoamista ja meriveden korkeutta Pohjanlahdella. Tuulen vaikutus pitkäaikaiseen keskiarvoon meriveden korkeudessa voi olla jopa 90% . Tuuli on aiheuttanut vuosien 1961-2000 aikana noin 23 cm vaihtelun merivesipinnan korkeudessa. Arviolta tuulen vaikutus vuonna 2100 tulee olemaan 19 ... 40 cm, ollen keskimäärin 30 cm. Alueelliset tuulet nostavat vesipintaa Suomessa arviolta 6 - 7 cm vuoteen 2100 mennessä.

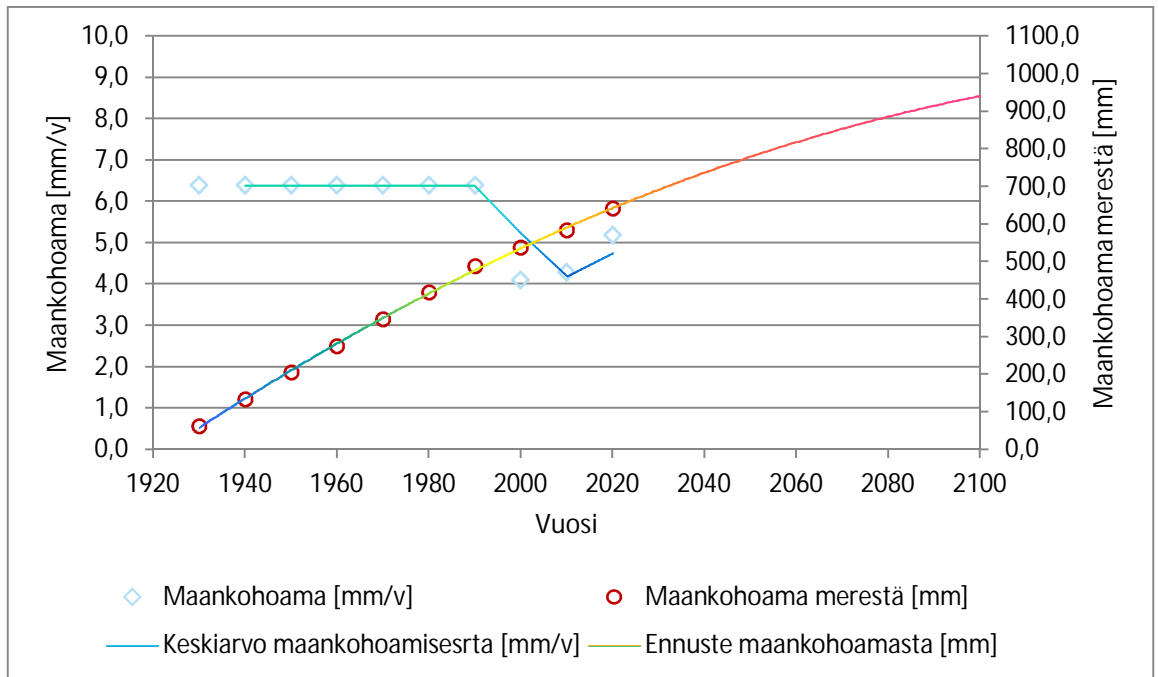
Geostrofinen tuuli syntyy lämpötilaeroista johtuvasta paine-erosta, joka laittaa ilmavirtauksen liikkeelle. Tällöin ilma virtaa korkeamman paineen alueelta matalamman paineen alueelle. Mitä suurempi ilmanpaine-ero, sitä suurempi tuulen nopeus.

3.2.2 Teoreettinen keskivesi

Oulun alueella teoreettinen keskiveden muutos on ollut vuosien 1920-1990 aikana keskimäärin $6,4$ mm/v. Viimeisen kolmenkymmenen vuoden aikana nousu on hidastunut jääden $4,1$ - $5,2$ mm/v. Voidaankin todeta teoreettisen keskiveden muutoksen olevan viimeisen sadan vuoden aikana keskimäärin $6,4$ mm/v. Kaikkinensa muutosta on tapahtunut noin 643 mm vuosien 1920-2017 aikana.

Aineiston pohjalta voidaan luoda kuvaaja ennustamaan teoreettisen keskiveden muutosta seuraavan 100 vuoden aikana (Kuva 10). Tutkimusten mukaan teoreettisen keskiveden muutos Oulun alueella on -66 ... $+28$ cm vuodesta 2000 vuoteen 2100, keskiarvon ollessa -24 cm. Teoreettisen keskiveden korkeuden vaihtelu tulisi olemaan vuonna 2100 $-46,0$... $+49,0$ cm

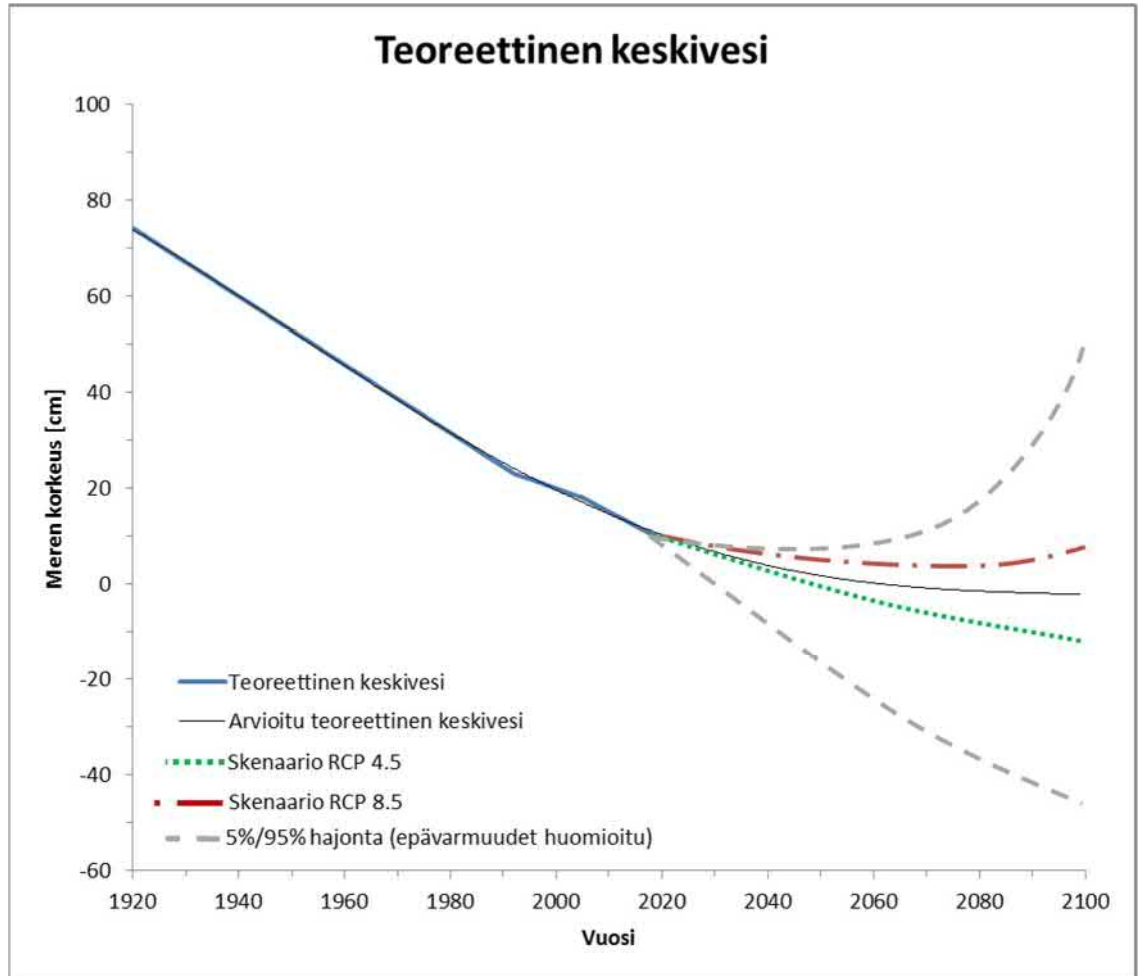
(N2000), keskiarvon ollessa -3,00 cm (N2000). Suomessa odotetaan merivedennousun olevan pienempi kuin maailmalla, ollen 5...95% hajonnalla 24 – 115 cm. (36)



Kuva 10 Maankohoama teoreettisen keskiveden mukaan vuosina 1920-2017 sekä ennuste kohoamisesta vuosien 2018-2100 aikana. Arvot vastaavat todellista maankohoamista.

Kuvaajasta voidaan päätellä todellisen maankohoamisen hidastuvan entisestään tulevaisuudessa. Tätä selittäisivät myös merenpinnan korkeuden muutokset, jotka johtuvat jäätiköiden hupenemisesta. Vuodesta 1920 vuoteen 2100 todellinen maanpinnan nousu tulisi kaikinensa olemaan noin 950 mm, mikä tarkoittaa noin 300 mm muutosta verrattuna nykyiseen. Tätä tukevat myös lukuisat tutkimukset, joissa odotetaan keskiverron todellisen maankohoamisen (ts. merenpinta laskee) Oulun alueella olevan noin 24...30 cm luokkaa vuoteen 2100 mennessä.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat nähtävillä parhaiten tarkasteltaessa teoreettista keskivettä Oulun alueella. Kuva 11 on esitettyä tässä työssä tarkasteltavat ilmastonmuutosskenaariot, sekä niiden mahdollinen vaikutus teoreettiseen keskivedenkorkeuteen. Lisäksi kuvaajassa on esitetty 5% ja 95% minimi- ja maksimiskenaariot, jotka kuvaavat ennusteen epätarkkuutta. Esimerkkinä epätarkkuuksista voidaan mainita mm. jäätiköiden laajuus tulevaisuudessa, sekä jäätiköiden käyttäytymisen ennustaminen ja mallintaminen. Kuten voidaan huomata, on skenaarioiden RCP8.5 ja RCP4.5 välinen ero merivesipinnan korkeudessa noin 20 cm luokkaa. Teoreettista keskivettä pyritään aina kuvaamaan lineaarisesti, mutta todellisuudessa sen tarkkuus ei ole riittävä tulkittaessa meriveden muutoksia.



Kuva 11 Teoreettinen keskivesi Oulussa sekä keskiveden muutoskenaariot perustuen ilmastonmuutoskenaarioihin. Korkeudessa on otettu huomioon jäätiköistä aiheutuva maannousu.

3.2.3 Rantaviivan siirtyminen ja muutokset rantavyöhykkeessä

Laskentojen, tulosten ja mallinnusten avulla voidaan siis todeta maankohoamisen ja merivesipinnan muutoksen olevan Oulun alueella maltillisempaa kuin mitä yleisesti oletetaan. Valtamerien merivesipintojen muutokset eivät suoraan näy Perämeren alueella, vaan niiden vaikutus voi jäädä jopa 20 % oletettua pienemmäksi Oulun korkeudella.

Kuva 12 on kuvattuna erilaisia tekijöitä, jotka vaikuttavat rantaviivan siirtymiseen ja muutoksiin rantavyöhykkeessä. Tekijät voidaan karkeasti jakaa neljään eri kategoriaan:

1) Luonnonmukainen muutos

- a. Eroosio, joka on maaperän kulumista veden, tuulen, mekaanisen kulutuksen tai jonkin muun maaperää kuluttavan tekijän tähden.
- b. Sedimentaatio, joka on ilmassa tai vedessä olevan aineksen laskeutuminen ja kerrostuminen maanpinnalle tai veden pohjaan.
- c. Rehevöityminen, joka on kasvien liiallista ravinnesaantia ja sen seurauksena ranta- sekä vesikasvillisuus ja kasviplankton runsastuvat.

2) Ilmastonmuutos

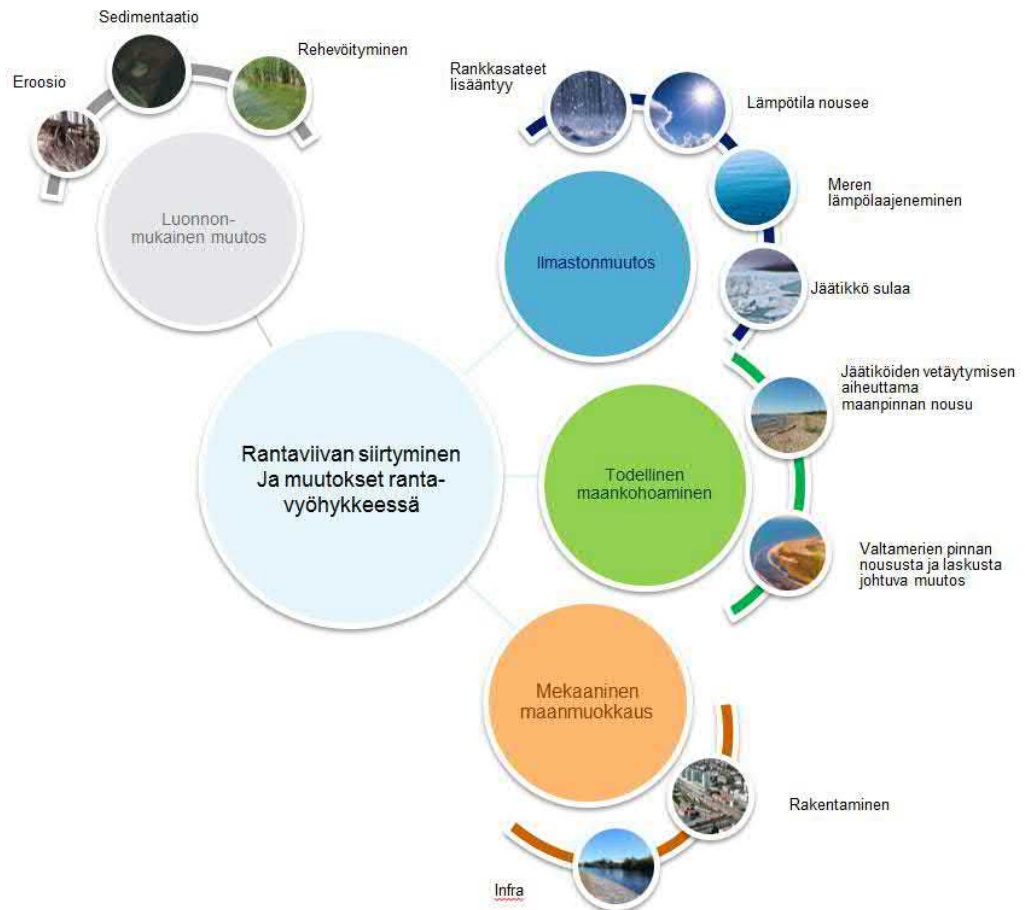
- a. Rankkasateiden lisääntyminen, joka johtaa tulvimiseen ja vesipintojen nousuun. Lisää mm. eroosiota.
- b. Lämpötilan nousu, mikä johtaa leudompiin talviin ja sateiden tuloon vetenä yhä enenevässä määrin.
- c. Meren lämpölaajeneminen, jonka seurauksena merivesipinta nousee. Seurausta myös lämpötilan noususta.
- d. Jäätiköiden sulaminen, mikä nostaa valtamerien pintaa.

3) Todellinen maankohoaminen

- a. Glasioisostaattinen nousu. Jäätiköiden sulamisen jälkeinen maanpinnannousu, joka on keskimäärin Oulun alueella n. 8 mm/v.
- b. Eustaattinen maannousu, joka on valtamerien pinnan noususta ja laskusta johtuva muutos, joka on Oulun alueella keskimäärin 1,5 mm/v.

4) Mekaaninen maanmuokkaus

- a. Rakentaminen, joka johtaa suurempiin pintavaluntoihin (asfaltoinnit ym.) ja vähentää veden imeytymistä suoraan maaperään.
- b. Infra, jolla tässä tapauksessa tarkoitetaan maanmuokkausta ranta-alueiden läheisyydessä, putkistoja ym.

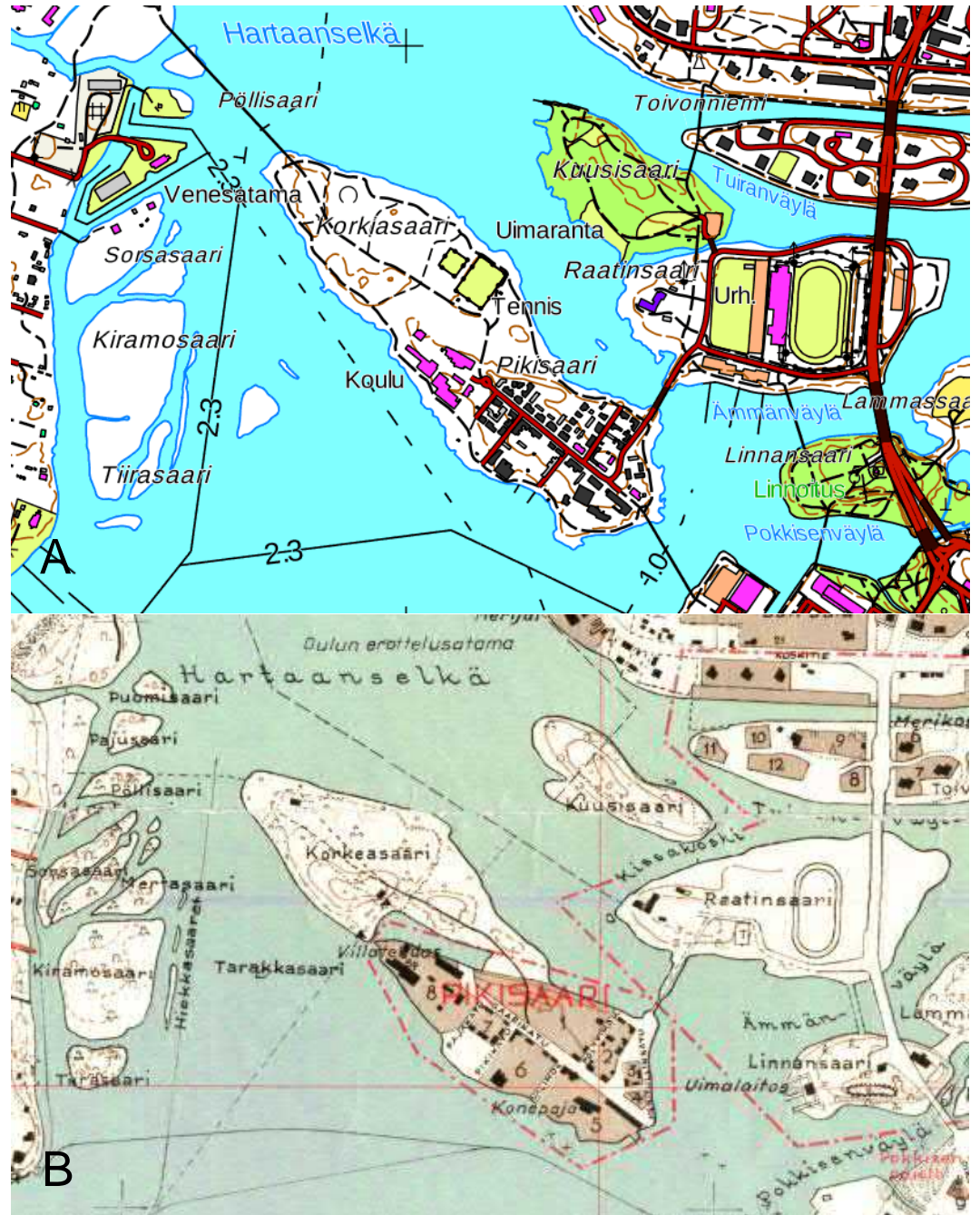


Kuva 12 Maankohoamiseen ja merivesipinnan nousuun vaikuttavat tekijät

Alla olevissa kuvissa on Oulun suistoaluetta eri vuosikymmeninä. Vasemmanpuoleinen kuva on vuodelta 1947 ja oikeanpuoleinen kuva vuodelta 2017. Perämerellä meri tulee vetäytymään entistä hitaammin tulevien vuosien aikana. Muutoksia on nähtävissä etenkin saarien läheisyydessä. Kuvat ovat Oulun Kaupungilta Karttatieltä saatuja ortokuvia.



Kuvista näkee kuinka esimerkiksi saaret Oulun alueella ovat muuttaneet muotoaan viimeisen vajaan 70 vuoden aikana. Kuvia tarkastellessa täytyy myös huomioida vedenpinnan korkeus kuvien ottamisen ajankohtana ja ihmisen maanmuokkaamisesta johtuvat toimet. Alla olevassa kuvasarjassa tarkastellaan lähemmin alueella olevien saarien muutoksia vuosien 1952 ja 2017 välillä.



Kuva 13 Oulujoen suistoalueen saaria. Kuvassa A on esitetty kartta saarista vuonna 2017 ja kuvassa B vuonna 1952. (Paikkatietoikkuna ja <http://timomeriluoto.kapsi.fi>)

Kuvasarjasta havaitaan muutokset etenkin Pöllisaarella, Sorsasaarella ja Kiramosaarella, jotka ovat kasvattaneet pinta-alaansa luontaisesti. Alueella esiintyy pienialaisesti tulvametsää, joille on ominaista jokisedimentin kertyminen. Saarten pinta-alan kasvu ei tosin johdu

pelkästään maankohoamisesta. Ilmastonmuutos on vaikuttanut myös välillisesti maapinta-alan kasvuun. Ilmastonmuutos luo suotuisimmat olosuhteet myös rantakasvillisuudelle ja rantojen umpeenkasvamiselle. Nopeasti hajoava kasvimassa painuu hajotessaan pohjaan ja lisää kerrostuvien aineiden määrää pohjalla. Lisäksi joki kuljettaa hienoainesta mukanaan ja suistoalueella virtausten heiketessä tapahtuu runsasta aineksen kasaantumista.

3.2.4 Arviot keskivedenkorkeudesta vuoteen 2100

Osana tätä selvitystä mallinnettiin maankohoamista sekä merivesipinnan muutoksia vuoteen 2100 asti Oulujoen suiston alueella. Mallinnuksessa käytettiin arvioitua todellista maankohoamista, joka tilastollisten analyysien ja lukuisten kirjallisten julkaisuiden mukaan olisi vuoteen 2100 mennessä noin 24...30 cm. Lisäksi tarkasteltiin vedenkorkeuden muutoksia 5 % ja 95% hajonnalla, jolloin pystyttiin esittämään ääripäät merivesipinnan muutoksissa. Hajonnassa on huomioitu ennustamisen epävarmuudet, esimerkiksi jäätiköiden käyttäytyminen. Merivesipinnan muutoksia voitiin tutkia niin pienien päästöjen (RCP4.5) kuin suurien päästöjenkin (RCP8.5) osalta. Kuva 14 on esitetty keskivedenkorkeus vuonna 2100 tarkasteltavien skenaarioiden osalta. Alla olevat kuvat ovat tarkemmin esitettyinä liitteissä 1-6.



Kuva 14 Keskivedenkorkeus Oulujoen suistossa vuonna 2100. Vaaleansinisellä on esitettyä RCP8.5 skenaario (suuret päästöt), jolloin keskivedenkorkeus on noin +0,07 (N2000). Tummansinisellä on esitettyä RCP4.5 skenaario (pienet päästöt), jolloin keskivedenkorkeus on noin -0,13 (N2000).

Lisäksi tuotiin esille ilmastonmuutosskenaarioiden epävarmuuksia, jolloin vesipinnan muutokset voivat olla odotettua suurempia. Näitä epävarmuuksia esitettiin 5% ja 95% hajonnalla (Kuva 15 ja Kuva 16). Tällöin minimi ja maksimi keskivedenkorkeuksien välinen ero olisi noin 95 cm.

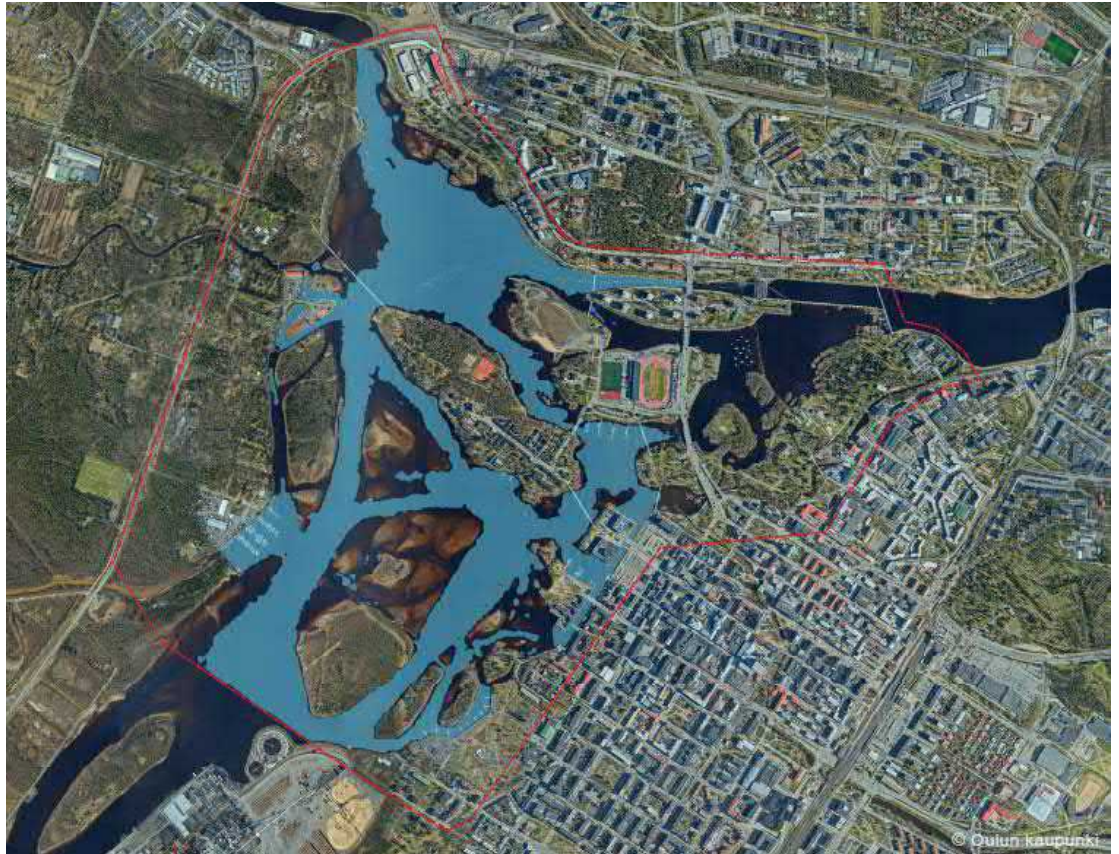


Kuva 15 Keskivedenkorkeuden minimi (-0,46 N2000) Oulujoen suistossa vuonna 2100 (vaalean sininen rasteri). Tumman sinisellä on esitetty keskimääräinen vedenkorkeus -0,03 N2000 vuonna 2100.



Kuva 16 Keskivedenkorkeuden maksimi (+0,49 N2000) Oulujoen suistossa vuonna 2100 (tumman sininen rasteri). Vaalean sinisellä on esitetty keskimääräinen vedenkorkeus -0,03 N2000 vuonna 2100.

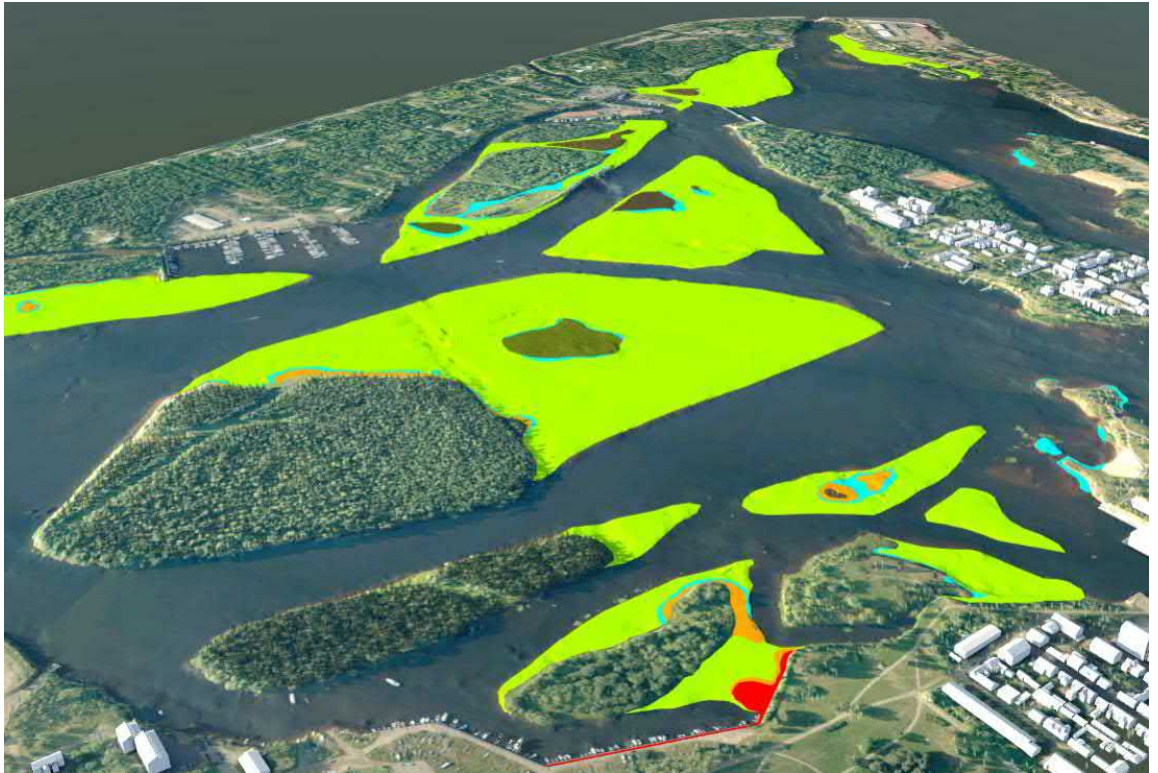
Yhtenä suistokaupunkivision tarkoituksena on tarkastella alueen vesipeilejä ja niiden säilyttämistä. Kuva 17 on esitettyinä vuoden 2100 keskimääräisen keskivedenkorkeuden mukaan laskettu alivesi (NW). Alivesi on määritetty tässä tapauksessa siten, että vuoden 2017 keskiveden ja aliveden välinen erotus on laskettu ja siirretty vuodelle 2100. Vuoden 2017 keskiveden ja aliveden välinen ero on 131 cm, jolloin vuoden 2100 aliveden korkeudeksi muodostui -1,34 (N2000).



Kuva 17 Vuoden 2100 alivesi, kun keskimääräinen keskivedenkorkeus on -0,03 (N2000). Alin korkeus on -1,34 (N2000).

Oulujoen suistoalueella on pitkään tapahtunut sedimentoitumista. Sedimentaatio on yksi suistoaluetta muokkaavista tekijöistä. Kuva 18 esitetty sedimentaatiolle alttiit alueet, jotka tulevaisuudessa ovat maankohoamisalueita. Alueen pienet lähekkäin olevat saaret (mm. Kiramosaari, Tiirasaari ja Sorsasaari) voivat yhdistyä jo sedimentaation vuoksi. Sedimentaation ja maankohoamisen myötä merivedestä kohoaa hiljalleen hiekkasärkkiä, joista muodostuu uusia saaria.

Selvityksessä sedimentaatiota on arvioitu vuosien 1999–2017 ilmakuviin perusteella. Sedimentaatioon ja alueella tapahtuvaan virtaukseen ei tässä työssä tarkemmin otettu kantaa, sillä se olisi vaatinut merenpohjan viistokaikuluotauksen sekä tarkemman tutkimuksen alueen virtauksista. Nyt käytettävissä olleet pohjan syvyyskäyrät ovat peräisin 1990- luvulta, joten ne eivät ole riittäviä kuvaamaan nykyhetkeä ja yli 20 vuoden aikana jo tapahtuneita muutoksia alueella.



Kuva 18 Sedimentaatioalueet Oulujoen suistossa vihreällä, sekä ihmisen muokkaamat ranta-alueet punaisella. Oranssilla ilmakuviin perusteella havaittu maankohoama vuosina 1999-2009 ja sinisellä maankohoama vuosina 2009-2017.

4

ILMASTONMUUTOKSEN JA MAANKOHOAMISEN TUOMAT HAASTEET JA HYÖDYT

Maankäytön suunnittelulla ja rakentamisen ohjauksella voidaan vähentää ilmastonmuutoksen vaikutuksia rakennetuilla alueilla, sopeutua muuttuvaan ilmastoon ja taata kuntalaisten hyvinvointi. Maankäytön suunnittelussa tulisi ottaa huomioon tulevaisuuden tuomat haasteet rakentamiselle sekä miettiä nyt tehtävät ratkaisut palvelemaan yhdyskuntarakennetta myös tulevaisuudessa.

Tulvavaara-alueiden suunnitteluun tulisi tulevaisuudessa kiinnittää enenevässä määrin huomiota. Lisäksi maaperän ominaisuudet olisi hyvä kartoittaa kattavasti. Varautuminen muuttuvaan ilmastoon ajoissa suunnittelun avulla vähentää korjaus- ja muutostöiden tarvetta tulevaisuudessa. Tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen edetessä tulee kiinnittää huomiota mm. lämpötilan nousuun, lumisateisiin, rankkasateisiin, tulvimiseen sekä tuuliolosuhteiden muutoksiin. Alla on esitettyinä muutoksen tuomia haasteita ja hyötyjä.

Lämpötilan nousu

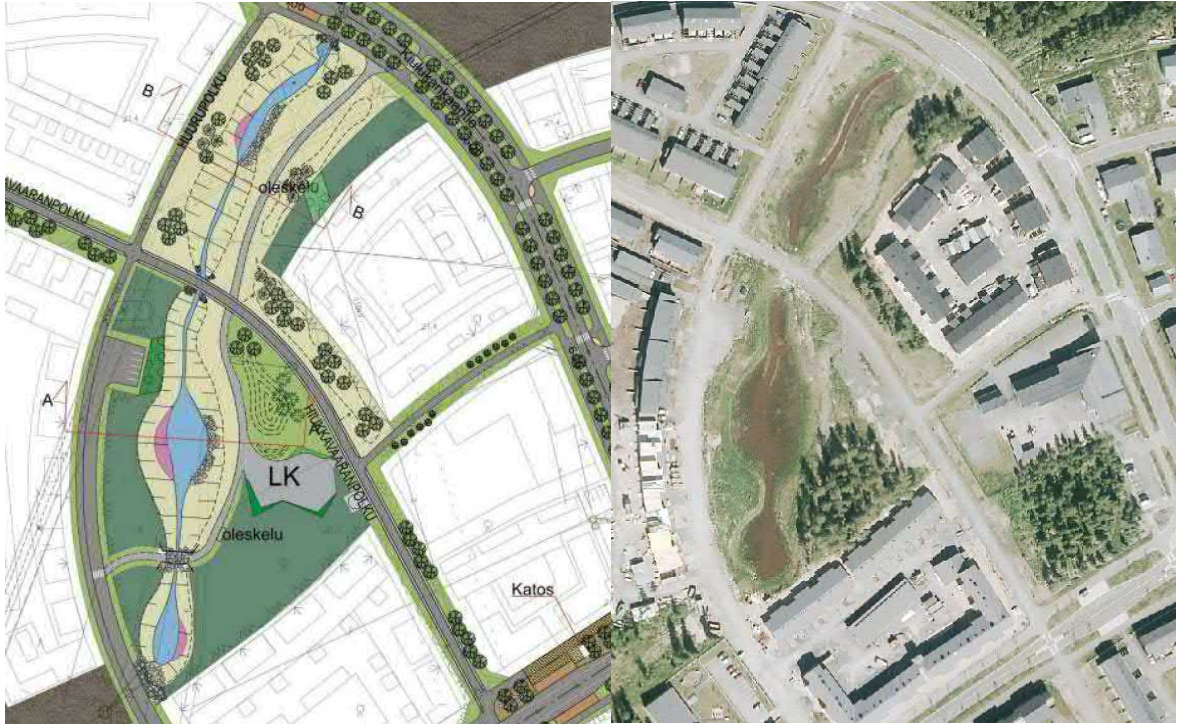
On arvioitu, että ilmaston lämpeneminen vähentäisi roudan syvyyttä Oulun alueella noin 0,5...1,0 metrillä. Roudan syvyyden pieneneminen vähentää sulamisvaiheen pituutta ja lieventää kelirikkoa teillä.

Lämpötilan nousun myötä kuivat kesät lisäävät talousvedenkäyttöä. Kasvillisuuden kasteluun kuluu yhä enemmän vettä, jolloin veden saannissa esiintyy piikkejä taajamissa. Pitkällä tähtäimellä lisääntynyt vedenotto voi heikentää jopa talousvedenlaatua. Viheralueiden suunnittelulla voidaan ennakoida kastelutarvetta ym. Kuiville alueille voidaan valita sitä hetkellisesti kestävää kasvillisuutta.

Sademäärän kasvu ja lumisateet

Sademäärän kasvu vuositasolla on vuoteen 2100 mennessä Oulun alueella noin 50 millimetriä. Sademäärän kasvu painottuu pääasiassa talvikuukausille, jolloin lumisateet tulevat yhä useammin alas vetenä.

Mitoitussateiden kasvu tulisi jo nyt ottaa huomioon sadevesiviemäreitä mitoitettaessa. Mitoituksen kasvaessa 30...60 % tulisi sadevesiviemäreiden putkikokoa kasvattaa 10...20 %. Tiivistä rakennetuilla alueille tulisi putkikokojen kasvattamisen lisäksi tehostaa alueella vesien viivytystä ja imeyttämistä. Oulussa uusille asutusalueille (Kuva 19 & Kuva 20) on rakennettu hyvin hulevesien viivytysalueita. Oikein suunniteltuina viivytysalueet/-altaat voivat lisätä myös alueen viihtyvyyttä.



Kuva 19 Vasemmalla Kiulukankaan keskuspuiston hulevesien viivytysallas. (Oulun Kiulukankaan asemakaava, Plaana). Oikealla ortokuva alueesta.



Kuva 20 Vasemmalla Kivikkokankaan Mustikkakankaanpuiston hulevesien viivytysallas. (Oulun Kivikkokankaan asemakaava, Linja Arkkitehdit). Oikealla ortokuva alueesta.

Tutkimusten mukaan talvet lyhenevät ja lauhtuvat, jolloin auras-kustannukset vähenevät. Toisaalta liukkaus voi lisääntyä tammi-helmikuussa, jolloin kyseiset kustannukset kasvaisivat, ja teiden kunnossapidonkustannukset pysyvät samana verrattuna nykyiseen. Teiden liukkaudentorjunnan tarve lisääntyy talvisateiden ja talvien lauhtumisen myötä. Tämä tarkoittaa suolan ja hiekan käytön kasvua. Sulamis- ja jäätymisvaihtelut lisäävät putkien ja rumpujen ajoittaista jäätymistä, mikä voi aiheuttaa sadevesien tulvimista katu- ja tiealueille.

Tuulisuus

On arvioitu, että tuulen nopeudet kasvavat Oulun rannikkoalueilla talviaikaan noin 9-20 % nykyisestä. Myrskysäillä vedenpinta voi nousta merkittävästi ja aiheuttaa tulvimista alavilla alueilla.

Myrskytuuli ja lumisade yhdessä voivat haitata liikennettä ja aiheuttaa vaaratilanteita. Kovassa tullessa lumi voi kinostua teille hyvinkin nopeaa ja aurauskaluston käyttö lisääntyy.

Tuulisuudesta johtuen matalilla rannoilla aaltoiluvara on 30...100 cm riippuen tuulen pyyhkäisymatkasta (1-10 km). Pärskeitä ei myöskään pääse syntymään yhtä helposti kuin jyrkillä rannoilla. Jyrkillä rannoilla aaltoiluvaran tulee olla suurempi, noin 90...290 cm.

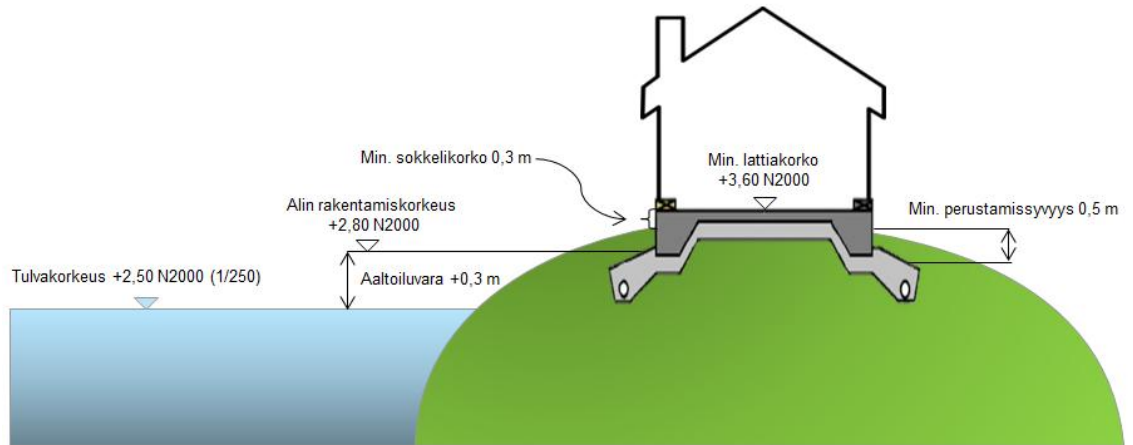
Tulviminen ja merenpinnan nousu

Tulvariskit tulee ottaa huomioon sekä kaavoituksessa, että rakentamisessa. Kaavoituksessa uusi rakentaminen sijoitetaan tulvavaara-alueiden ulkopuolelle ja tulvariskeihin varaudutaan määrittelemällä alimmat sallitut rakennuskorkeudet. Rakennusten korkeusasema olisi hyvä määrittää kerran 250 vuodessa aiheutuvan tulvan mukaan tulevaisuutta ajatellen. Kuva 21 on esitetty Oulujoen suistoalueella 1/250 vuodessa toistuva tulva, jolloin merivesi on korkeudella +2,50 (N2000).



Kuva 21 Kerran 1/250 vuodessa toistuva meritulva Oulujoen suistoalueella. (Tulvakarttapalvelu)

Yleisesti Oulussa on käytetty rakennusten korkeusasemien mitoituksessa 1/100 vuodessa toistuvaa meritulvaa. Nykyisin rakentamiskorkeus tulisi määritellä 1/250 vuodessa toistuvalla meritulvalla. Kyseinen korkeusasema palvelisi osaltaan yhdyskuntasuunnittelun tarvetta myös pidemmälle kuin vuoteen 2100 asti. Kuva 22 on esitettyinä esimerkki Oulun alueen rakentamiskorkeudesta 1/250 vuodessa toistuvalla meritulvalla. Rannikolla tulvariskialueilla rakennettaessa tulisi veden nousu kapillaarisesti maasta rakennukseen katkaistava rakenteellisesti tulvavaran yläpuolella.



Kuva 22 Rakentamiskorkeussuositukset Oulun alueella kerran 250 vuodessa toistuvalla meritulvalla. Loiva ranta, jolloin min. aaltoiluvara 30 cm. Pyyhkäisy matka 1 km.

Tulvat voivat aiheuttaa vahinkoja asuntojen kellareille ja teiden alikuluille, lisäksi ne voivat rikkoa mm. tierakenteita. Merialueilla tulvariskiä lisää tuulisuuden kasvu tulevaisuudessa.

Pohjavesi

Ilmaston lämpeneminen tulee nostamaan pohjavedenpinnan korkeutta sademäärien kasvaessa. Pohjaveden tasoa kuitenkin tasoittavat kuivat kesät, jolloin pinta lähtee laskuun. Pohjavesipinnan nousun myötä maaperän kosteus lisääntyy, jolloin maaperän kantavuus alenee.

Kuivat kesät aiheuttavat pohjaveden alenemisen savipohjaisilla mailla ja maan kuivumisen johdosta maapohja painuu. Pohjavedenpinnan tarkkailulla voidaan tarkastella pohjavedenpinnan korkeudessa tapahtuneita muutoksia ja koittaa varautua mahdollisiin painumaeroihin.

Talvella maapohjan ollessa jäässä sateiden lisääntyessä pohjavedenpinta ei välttämättä suoranaisesti nouse, sillä maa ei pysty imemään vettä ja se valuu viemäreihin ja uomiin.

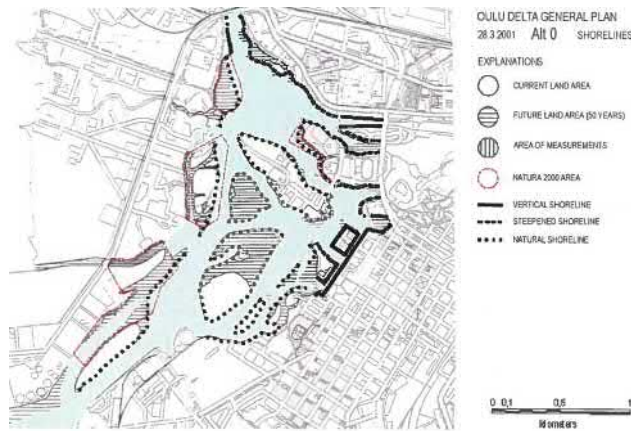
Oulun alueella esiintyy sulfidisia silttejä. Maan kuivuminen ja kasvava veden huuhtova vaikutus talvella lisäävät happamoitumista. Tämä lisää mm. betonin ja teräksen korroosioriskiä. Oulussa hapettumista on jo tapahtunut sillä maankohoaminen ja pohjaveden suhteellinen lasku ovat mahdollistaneet hapettumisen.

5

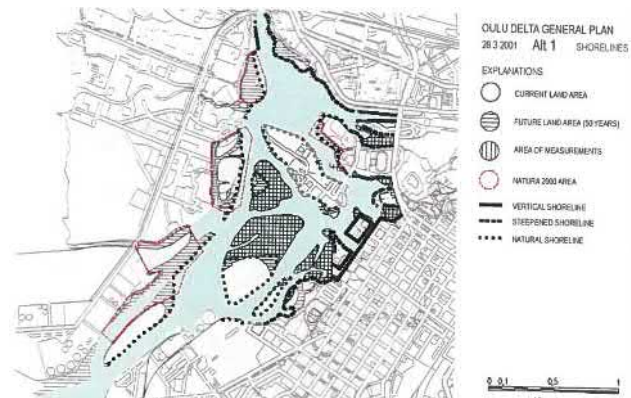
DALO -PROJEKTI

Deltaregionerna av Luleå och Oulu –projekti (myöhemmin DALO –projekti) on toteutettu 1990-luvun lopulla. Tarkoituksena oli kehittää mallinnusprosessi ja suunnitteluperuste rantavyöhykealueen maannousun mallintamiseen. Työtä oli toteuttamassa monialainen työryhmä. Projektin yhteydessä mitattiin merenpohja suistoalueelta. Työssä mallinnettiin myös sedimentaatiota sekä veden laatua. Työssä tarkasteltiin kolmea erillistä vesialuemallia. Mallien välillä oli eroa vesisyvytydessä, vesialueiden koossa sekä uusien paljastuvien alueiden sijainneissa.

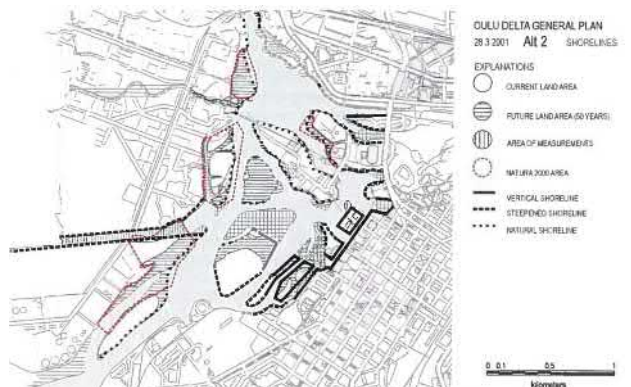
- 1) Vaihtoehto 0 à alueella ei tehdä merkittäviä muutoksia, mm. Hevossaaren koko tulisi kaksinkertaistumaan 50 vuoden aikana luonnollisen maankohoamisen seurauksena.



- 2) Vaihtoehto 1 à Nykyisten vesipeilien määrä säilyy



- 3) Vaihtoehto 2 à Alueetta muokataan voimakkaasti.



DALO – projektin mallinnuksessa ei ole otettu huomioon ilmastonmuutosta.

Työssä lähtöoletuksena oli 7-8 mm vuosittainen maannousu. Vedenkorkeuden ollessa matalalla maata paljastuu enemmän. Ilmiö on tyypillinen **delta – alueille**.

***Delta** on suisto, joka on usein viuhkanmuotoinen alue, jossa joki laskee mereen. Delta voi olla myös nykyisten tai entisten jäätikköjokien suistoa.*

Maankohoaminen delta-alueilla tulee muokkaamaan useiden rantakaupunkien ympäristöä. Muutokset tulevat näkymään mm. vesialueissa, maisemassa ja urbaanissa sekä luonnonympäristössä. DALO –projektissa Oulun delta-alue valittiin pilottikohteeksi ja maankohoamisen vaikutuksia pyrittiin arvioimaan sekä mallintamaan vuoteen 2050 asti. Tulosten toivottiin helpottavan maankäytön suunnittelua.

Vuonna 2050 merivedenkorkeus Oulujoen suistoalueella olisi työssä esitetyn aineiston mukaisesti -0,137 N2000. Lisäksi työssä esitettiin Merikoskesta purettavan vesimäärän perusteella seuraavia tuloksia yhdessä merivesikorkeuden muutoksien kanssa vuodelle 2050:

- Matala purkautuminen (59 m³/s) ja korkea merivesi +0,998 N2000
- Korkea purkautuminen (450 m³/s) ja matala merivesi -0,967 N2000

5.1 Tulosten vertailu

DALO –projektin tuloksia vertailtiin tämän työn tulosten kanssa niin teoreettisen esityksen kuin kartografisen esityksen pohjalta. Vertailussa tulee kuitenkin huomioida, että DALO –projektissa ei huomioitu ilmastonmuutoksen aiheuttamia muutoksia. Lisäksi DALO:n aineisto ulottuu vuoteen 2050 asti ja vastaavasti tässä työssä tarkastellaan muutoksia alueella vuoteen 2100 asti.

DALO –projektissa merivedenkorkeudelle oli saatavissa vuoteen 2050 asti melkein kahden metrin vaihtelu, -0,967...+0,998 N2000. Vastaavasti tässä työssä esitetty merivesipinnan vaihtelu vuonna 2100 on luokkaa -0,46...+0,49 N2000

Näin ollen voidaan todeta, että tulokset eivät ole täysin vertailukelpoisia. DALO –projektissa ei ole otettu huomioon ilmastonmuutosta ja sen vaikutusta merivesipinnan korkeuteen. Vastaavasti tässä työssä ei ole tarkastelu Merikoskesta purettavia vesimääriä.

6

YHTEENVETO

Tässä selvityksessä on tarkasteltu Oulujoen suistoaluetta ja siinä tapahtuvaa maankohoamista sekä ilmastonmuutoksen vaikutusta alueen ympäristöön vuoteen 2100 asti. Työn tarkoituksena oli saada tietoa suistoalueen muutoksista laadittavan suistokaupunkivision taustatiedoksi. Työ nivoutuu osaksi Oulun kaupungin Suistokaupunkivisiota.

Ilmastonmuutos vaikuttaa vesipinnan korkeuteen ja siinä tapahtuviin muutoksiin yhä enemmän tulevaisuudessa. Kasvihuonekaasut lisäävät ilmastonmuutosta. Selvityksessä on verrattu kahden eri ilmastonmuutosskenaarion vaikutusta Oulujoen suistoalueeseen. Tarkasteluun valittiin pieniä päästöjä kuvaava RCP4.5 skenaario ja suuria päästöjä kuvaava RCP8.5 skenaario.

Ilmastonmuutoksesta riippuen vuoden keskilämpötilat tulevat kohoamaan seuraavan 80 vuoden aikana keskimäärin noin 3...5 °C. Lämpötilan muutoksella on vaikutusta jäätiköiden sulamiseen, joiden käyttäytyminen vastaavasti heijastuu valtamerien pinnankorkeuksiin. Sadannan kasvu on keskimäärin 50 mm/vuodessa. Ilmastonmuutoksen myötä ilmaston ääriolosuhteet (mm. rankkasateet, kova tuuli) tulevat yleistymään.

Selvityksessä tarkasteltiin maankohoamista ja merivesipinnanmuutoksia niin tilastollisen analyysin kuin kirjallisten julkaisuiden pohjalta. Oulujoen suiston alueella maankohoaminen on suistoalueella $9,30 \pm 0,74$ mm/v. Luvussa on otettu huomioon valtameren pinnan muutokset, jotka on vähennetty mitatuista tuloksista, sekä tuulisuuden aiheuttama muutos merivesipinnassa. Tutkimusten mukaan meren teoreettinen keskivedenkorkeus Oulujoen suistoalueella tulisi olemaan vuonna 2100 -46,0 cm ...+49,0 cm (N2000), keskiarvon ollessa -3,00 cm (N2000). Skenaarioista riippuen maata tulisi paljastumaan Oulunjoen suistoalueella noin 24–30 cm (todellinen maankohoaminen).

Ilmastonmuutoksella on vaikutusta myös rakennettuun ympäristöön mm. rakennusten alimpien lattiatasojen määrittämisessä, tuulikuormien huomioon ottamisessa, rakenteiden kestävydessä, putkistojen ja viemäreiden mitoituksessa. Muuttuvaan ilmastoon olisi hyvä varautua ennalta kaupunkisuunnittelussa ja kaavoituksessa.

LÄHTEET

- [1] Hallitustenvälinen ilmastomuutospaneeli (IPCC). 2013. Ilmastomuutos v. 2013: Luonnontieteellinen perusta. Yhteenveto päätöksentekijöille suomeksi. Ensimmäisen työryhmän osuus IPCC:n 5. arviointiraportissa. Ilmatieteen laitos, Helsinki. 34 s.
[s.http://ilmatieteenlaitos.fi/documents/30106/42362/ipcc5-yhteenveto-suomennos.pdf/4332dffb-da72-41c9-a23d-24215c5cbbac](http://ilmatieteenlaitos.fi/documents/30106/42362/ipcc5-yhteenveto-suomennos.pdf/4332dffb-da72-41c9-a23d-24215c5cbbac)
- [2] IPCC. 2013. Summary for Policymakers. In: IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P. M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom & New York, NY, USA: 3–29.
http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf
- [3] Hartmann, D. L., Klein Tank, A. M. G., Rusticucci, M., Alexander, L. V., Brönnimann, S., Charabi, Y., Dentener, F. J., Dlugokencky, E. J., Easterling, D. R., Kaplan, A., Soden, B. J., Thorne, P. W., Wild, M. & Zhai, P. M. 2013. Observations: Atmosphere and Surface (Executive Summary, 2.4 Changes in Temperature, 2.5 Changes in Hydrological Cycle, 2.6 Changes in Extreme Events). In: IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P. M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: 159–254.
- [4] 2013. Observations: Cryosphere (Executive Summary, FAQ 4.1, 4.1 Introduction, 4.2 Sea Ice, 4.3 Glaciers, 4.4 Ice Sheets, 4.5 Seasonal Snow, 4.7 Frozen ground, 4.8 Synthesis). In: IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P. M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: 317–382.
http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter04_FINAL.pdf
- [5] 2013. Observations: Ocean (Executive Summary, 3.2 Changes in Ocean Temperature and Heat Content, 3.8 Ocean Biogeochemical Changes, Including Anthropogenic Ocean Acidification, Box 3.2, FAQ 3.3, 3.9 Synthesis). In: IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P. M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom & New York, NY, USA. 255–317. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter03_FINAL.pdf
- [6] Forster et al., 2007: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-4.html
- [7] Kersalo, J. & Pirinen, P. 2009. Suomen maakuntien ilmasto. Ilmatieteen laitos, Helsinki. Ilmatieteen laitoksen raportteja 2009:8. 185 s.
[s.https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/15734/2009nro%208.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/15734/2009nro%208.pdf?sequence=1)
- [8] Pirinen, P., Simola, H., Aalto, J., Kaukoranta, J-P., Karlsson, P., Ruuhela, R. 2012. Tilastoja Suomen ilmastosta 1981–2010. (Climatological statistics of Finland 1981–2010) Ilmatieteen laitos, Helsinki. Ilmatieteen laitoksen raportteja 2012:1. 83 s.
[s.https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/35880/Tilastoja_Suomen_ilmastosta_1981_2010.pdf?sequence=4](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/35880/Tilastoja_Suomen_ilmastosta_1981_2010.pdf?sequence=4)

- [9] Ruosteenoja, K., Jylhä, K & Kämäräinen, M. 2016. Climate projections for Finland under the RCP forcing scenarios. *Geophysica*, Volume 51, Issue 1: 17–50. http://www.geophysica.fi/pdf/geophysica_2016_51_1-2_017_ruosteenoja.pdf
- [10] Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Kämäräinen, M. & Pirinen, P. 2016. Terminen kasvukausi lämpenevässä ilmastossa. *Terra*, 128:1: 3–15. <http://en.ilmatieteenlaitos.fi/documents/31422/83635880/Ruosteenoja+Terminen+kasvukausi+%C3%A4mpenev%C3%A4ss%C3%A4%20ilmastossa+2016/5cd98a30-cab8-421d-970b-432ceb67fed>
- [11] Ruosteenoja, K. 2013. Maailmanlaajuisiin ilmastomalleihin perustuvia lämpötila- ja sademääräskenaarioita. Sektoritutkimusohjelman ilmastoskenaariot (SETUKLIM) 1. osahanke. Ilmatieteen laitos. 15 s. http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=c4c5bf12-655e-467a-9ee0-f06d8145aaa6&groupId=30106
- [12] Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J. & Fronzek, S. 2012. Ilmasto. Julkaisussa: Ruuhela, R. (toim.) 2012. Miten väistämättömään ilmastomuutokseen voidaan varautua? - yhteenveto suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki. MMM:n julkaisuja 6/2011: 16–23. http://mmm.fi/documents/1410837/1721026/MMM_julkaisu_2012_6.pdf/c01a813c-8538-4efab29e-4844d723c0af
- [13] Ilmatieteen laitos. 2011. ACCLIM II-hankkeen lyhyt loppuraportti 2011. Ilmatieteen laitos, Helsinki. http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=f72ce783-0bae-4468-b67e-8e280bec1452&groupId=30106
- [14] Ruosteenoja, K. 2013. Ilmastomalleihin perustuvia arvioita tuulen keskimääräisen nopeuden muuttumisesta – ei selvää muutossignaalia Suomen lähialueilla. Sektoritutkimusohjelman ilmastoskenaariot (SETUKLIM) 1. osahanke. Ilmatieteen laitos. 5 s. http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=057c1e9d-a666-4478-a7ab-248244345188&groupId=30106
- [15] Groenemeijer, P., Vajda, A., Lehtonen, I., Kämäräinen, M., Venäläinen, A., Gregow, H., Becker, N., Nissen, K., Ulbrich, U., Morales Nápoles, O., Paprotny, D. & Púčik, T. 2016. Present and future probability of meteorological and hydrological hazards in Europe. Rain project, D2.5 (Hydro-)meteorological hazard probability in Europe. 165 p. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:906c812d-bb49-408a-aeed-f1a900ad8725?collection=research>
- [16] Gregow, H., Laaksonen, A. & Alper, M. E. 2017. Increasing large scale windstorm damage in Western, Central and Northern European forests, 1951–2010. *Scientific Reports* 7, Article number: 46397. 7 p. <http://dx.doi.org/10.1038/srep46397>
- [17] Johansson, M. M., Pellikka, H., Kahma, K. K. & Ruosteenoja, K. 2012. Global sea level rise scenarios adapted to the Finnish coast. *Journal of Marine Systems*, in press. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/45229/johansson_thesis.pdf?sequence=1
- [18] Luomaranta, A., Haapala, J., Gregow, H., Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Laaksonen, A. 2010. Itämeren jääpeitteen muutokset vuoteen 2050 mennessä. Ilmatieteen laitos, Helsinki. Ilmatieteen laitoksen raportteja 2010:4. 23 s. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/24433/2010nro4.pdf?sequence=1>
- [19] Berghäll, J. & Pesu, M. 2008. Ilmastomuutos ja kulttuuriympäristö. Tunnistetut vaikutukset ja haasteet Suomessa. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto, Helsinki. Suomen ympäristö 44/2008, Rakennettu ympäristö. 34 s. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38358/SY44_2008_Ilmastomuutos_ja_kulttuuriymparisto.pdf?sequence=1

- [20] Saarelainen, S. & Makkonen, L. 2007. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen tienpidossa. Esiselvitys. Tiehallinnon selvityksiä 04/2007. Helsinki 2007.
<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/139344/4549tie.pdf?sequence=1>
- [21] Tiehallinto 2009. Ilmastonmuutoksen vaikutus tiestön hoitoon ja ylläpitoon. Tiehallinnon selvityksiä 8/2009. https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf2/3201122-v-ilmastonmuutoksen_vaikutus_kunnossapitoon.pdf
- [22] Salli, R., Lintusaari, M., Tiikkaja, H. ja Pöllänen, M. 2008. Keliolosuhteet ja henkilöautoliikenteen riskit. Tampereen teknillinen yliopisto, tiedonhallinnan ja logistiikan laitos. Liikenne ja kuljetusjärjestelmät. Tutkimusraportti 68. Tampere 2008.
<http://www.tut.fi/verne/aineisto/keliriskit.pdf>
- [23] Jääskeläinen, S. 2010. Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan ilmastopoliittinen ohjelma 2009 – 2020. Seuranta 2010. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 28/2010. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/78252/Ohjelmia_ja_strategi_oita_2-2009.pdf?sequence=1&isAllowed=1
- [24] Ala-Outinen, T. Harmaajärvi, I., Kivikoski, H., Kouhia, I., Makkonen, L., Saarelainen, S., Tuhola, M., & Törnqvist, J. 2004. Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön. VTT, Espoo. VTT Tiedotteita 2227. 83 + 6 s.<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2227.pdf>
- [25] Suomalainen, M., Vehviläinen, B., Veijalainen, N., Lepistö, A. & Mäkinen, R. 2006. Effects on the hydrological cycle – inland waters. In: Silander, J., Vehviläinen, B., Niemi, J., Arosilta, A., Dubrovin, T., Jormola, J., Keskisarja, V., Keto, A., Lepistö, A., Mäkinen, R., Ollila, M., Pajula, H., Pitkänen, H., Sammalkorpi, I., Suomalainen, M. & Veijalainen, N. 2006. Climate change adaptation for hydrology and water resources. FINADAPT Working Paper 6. Finnish Environment Institute, Helsinki. Finnish Environment Institute Mimeographs 336: 5–13. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41044/SYKEmo_336.pdf?sequence=1
- [26] Wahlgren, I., Kuismanen, K. & Makkonen, L. 2008. Ilmastonmuutoksen huomioiminen kaavoituksessa – tapauskohtaisia tarkasteluja. VTT, Espoo. Tutkimusraportti Nro VTT-R-03986-08. 173 s.http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/VTT_Ilmastonmuutos_kaavoitus_Loppuraportti.pdf
- [27] Maa- ja metsätalousministeriö. 2014. Kansallinen ilmastonmuutokseen sopeuttamissuunnitelma 2022. Maa- ja metsätalousministeriö, Helsinki. Valtioneuvoston periaatepäätös 20.11. 2014. 39 s.
http://mmm.fi/documents/1410837/1516663/2014_5_Ilmastonmuutos.pdf/1716aa76-8005-4626-bae0-b91f3b0c6396
- [28] Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S. & Seitola, T. 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. ACCLIM-hankkeen raportti 2009. Ilmatieteen laitos, Helsinki. Raportteja 2009:4. 102 s. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/15711/2009nro4.pdf?sequence>
- [29] Saarelainen, S. 2006. Climate change and risks to the built environment. FINADAPT Working Paper 9. Finnish Environment Institute, Helsinki. Finnish Environment Institute Mimeographs 339. 22 p. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41051/SYKEmo_339.pdf?sequence=1
- [30] Ala-Outinen, T. et al. 2004. Ilmastonmuutoksen vaikutukset rakennettuun ympäristöön. VTT Tiedotteita 2227.<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2227.pdf>
- [31] EU:n tulvadirektiivi (2007/60/EY). <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A52015DC0120>
- [32] Ollila, M. (toim.) 2002. Ylimmät vedenkorkeudet ja sortumariskit ranta-alueille rakennettaessa. Suositus alimmista rakentamiskorkeuksista. Ympäristöopas 52,

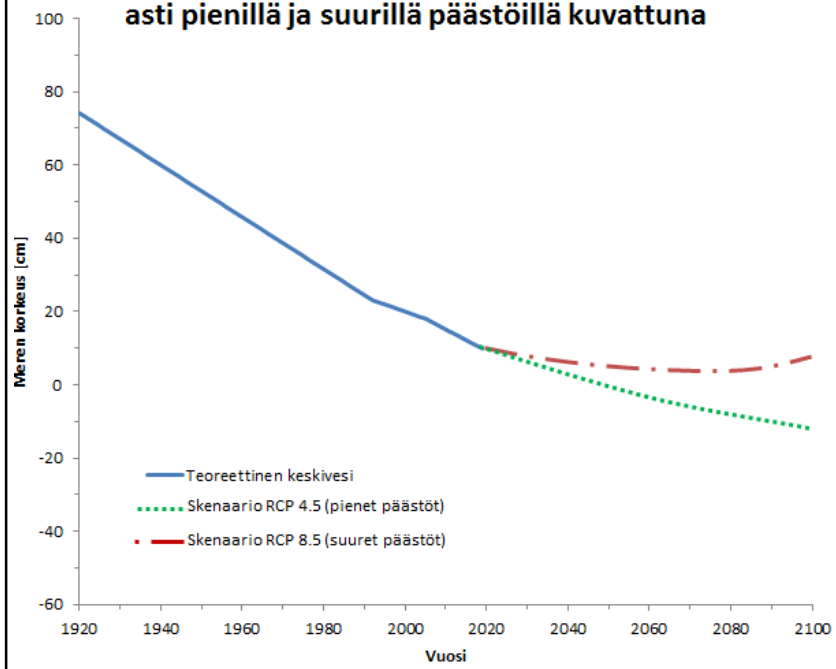
- Rakentaminen. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41088/Ymp%C3%A4rist%C3%B6pas_52.pdf?sequence=1
- [33] Peltonen, L., Haanpää, S. & Lehtonen, S. 2005. The challenge of climate change adaptation in urban planning. FINADAPT Working Paper 13, Finnish Environment Institute Mimeographs 343, Helsinki, 44 p.
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41059/SYKEmo_343.pdf?sequence=1
- [34] Sairinen, R., Manninen, M., Peltonen, L., Wiik, M. 2006. Ympäristöterveys yhdyskuntasuunnittelussa. Näkökulmia hyvinvointia edistävään ympäristöön. Suomen ympäristö 13/2006.
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38731/SY_13_2006.pdf?sequence=3
- [35] Ympäristöministeriö. 2008. Ilmastonmuutokseen sopeutuminen ympäristöhallinnon toimialalla. Toimintaohjelma ilmastonmuutoksen kansallisen sopeutumisstrategian toteuttamiseksi. Ympäristöministeriön raportteja 20/2008. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/41447/YMra20_2008.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- [36] Johansson, M. M., Kahma, K. K., Boman, H. & Launiainen, J. 2004. Scenarios for sea level on the Finnish coast. Boreal Environment research 9:153-166. Helsinki

Arvioidut teoreettisen keskiveden korkeudet vuonna 2100

SELITE

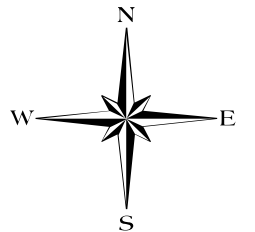
- Aluerajaus
- Keskiveden korkeus pienillä päästöillä
- Keskiveden korkeus suurilla päästöillä

Teoreettinen keskivedenkorkuus vuoteen 2100 asti pienillä ja suurilla päästöillä kuvattuna



© Oulun kaupunki

0 250 500 1 000 Metriä



Tilaja sekä suunnitelukohteen nimi ja osoite:

OULUN KAUPUNKI

Yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut

Selvitys maankohoamisesta Oulujoen suiston alueella



Pöyry Finland Oy
Elektroniikkatie 13, 90590 OULU
Puh. 010 3311
etunimi.sukunimi@poyry.com
www.poyry.fi

Mittakaava:

1:15 000

Työn ja piirustuksen No.

101007826-001

1

Koordinaatisto ETRS-GK26, Korkeusjärjestelmä N2000

Piirtänyt:

Annika Ansala

Tarkastanut:

Minna Mäki-Asiala

Pvm:

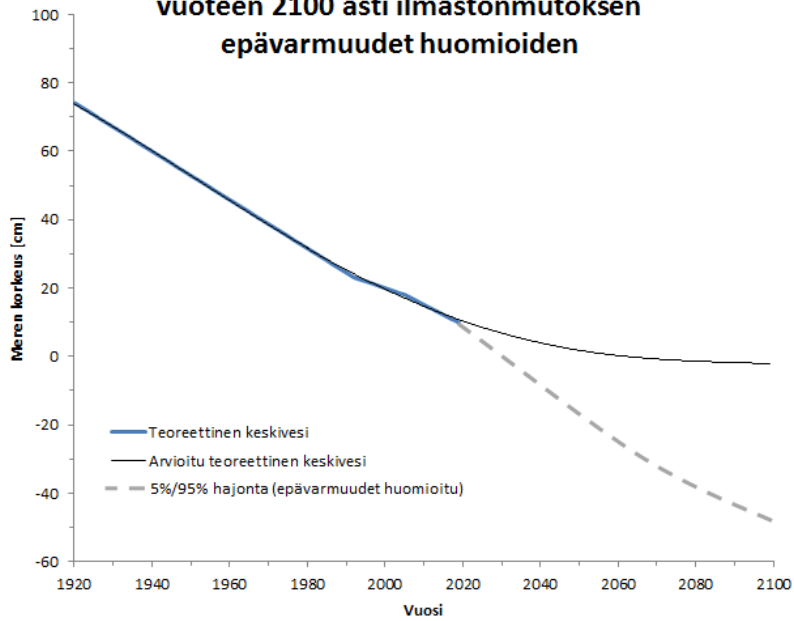
26.1.2018

Arvioidut teoreettisen keskiveden korkeudet vuonna 2100

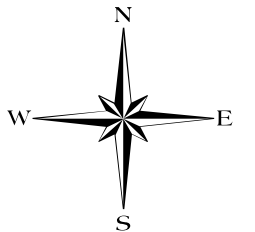
SELITE

- Aluerajaus
- Alin keskiveden korkeus ilmastonmuutoksen epävarmuudet huomioiden
- Keskimääräinen keskiveden korkeus

Teoreettinen keskivedenkorkuus alimmillaan vuoteen 2100 asti ilmastonmuutoksen epävarmuudet huomioiden



0 250 500 1 000 Metriä



Tilaja sekä suunnitelukohteen nimi ja osoite:

OULUN KAUPUNKI

Yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut

Selvitys maankohoamisesta Oulujoen suiston alueella



Pöyry Finland Oy
Elektroniikkatie 13, 90590 OULU
Puh. 010 3311
etunimi.sukunimi@poyry.com
www.poyry.fi

Mittakaava:

1:15 000

Työn ja piirustuksen No.

101007826-001

2

Koordinaatisto ETRS-GK26, Korkeusjärjestelmä N2000

Piirtänyt:

Annika Ansala

Tarkastanut:

Minna Mäki-Asiala

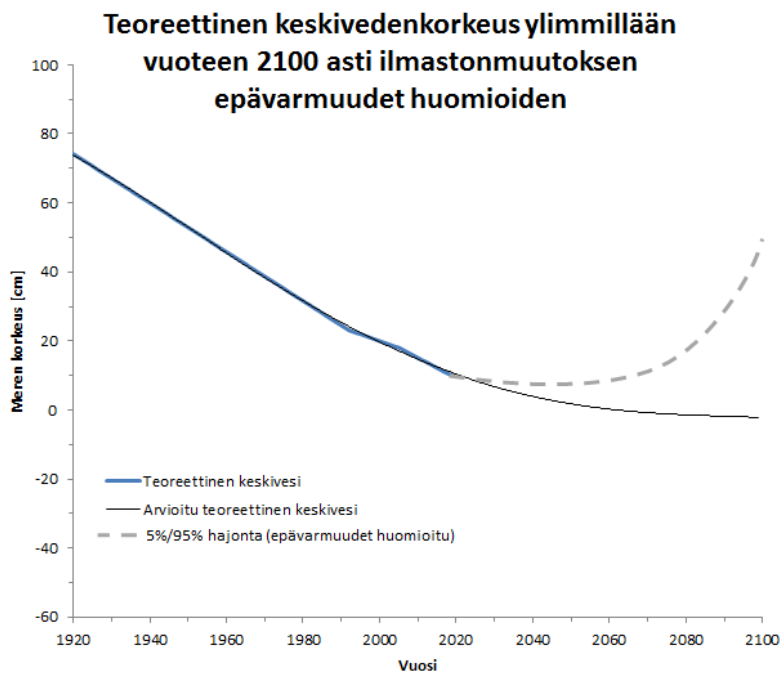
Pvm:

26.1.2018

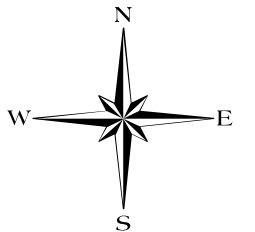
Arvioidun teoreettisen keskiveden korkeudet vuonna 2100

SELITE

- Aluerajaus
- Keskimääräinen keskiveden korkeus
- Ylin keskiveden korkeus ilmastonmuutoksen epävarmuudet huomioiden



0 250 500 1 000 Metriä



Tilaja sekä suunnitelukohteen nimi ja osoite:

OULUN KAUPUNKI

Yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut

Selvitys maankohoamisesta Oulujoen suiston alueella



Pöyry Finland Oy
Elektroniikkatie 13, 90590 OULU
Puh. 010 3311
etunimi.sukunimi@poyry.com
www.poyry.fi

Mittakaava:

1:15 000

Työn ja piirustuksen No.

101007826-001

3

Koordinaatisto ETRS-GK26, Korkeusjärjestelmä N2000

Piirtänyt:

Annika Ansala

Tarkastanut:

Minna Mäki-Asiala

Pvm:

26.1.2018

Arvioidun teoreettisen keskiveden korkeudet vuonna 2100

SELITE

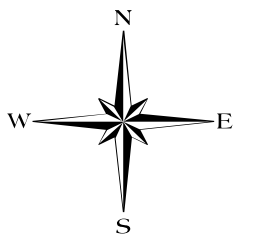
 Aluerajaus

 Alivesi

Alivesi on määritelty käyttämällä vuoden 2017 keskiveden ja alimman vedenkorkeuden välistä korkeuseroa. Vesipintojen välinen erotus vähennettiin vuoden 2100 keskimääräisestä keskiveden korkeudesta. Vuonna 2017 aliveden ja keskiveden välinen ero oli 1.31 metriä.



0 250 500 1 000 Metriä



Tilaaja sekä suunnitelukohteen nimi ja osoite:

OULUN KAUPUNKI

Yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut

Selvitys maankohoamisesta Oulujoen suiston alueella



Pöyry Finland Oy
Elektroniikkatie 13, 90590 OULU
Puh. 010 3311
etunimi.sukunimi@poyry.com
www.poyry.fi

Mittakaava:

1:15 000

Työn ja piirustuksen No.

101007826-001

4

Koordinaatisto ETRS-GK26, Korkeusjärjestelmä N2000

Piirtänyt:

Annika Ansala

Tarkastanut:

Minna Mäki-Asiala

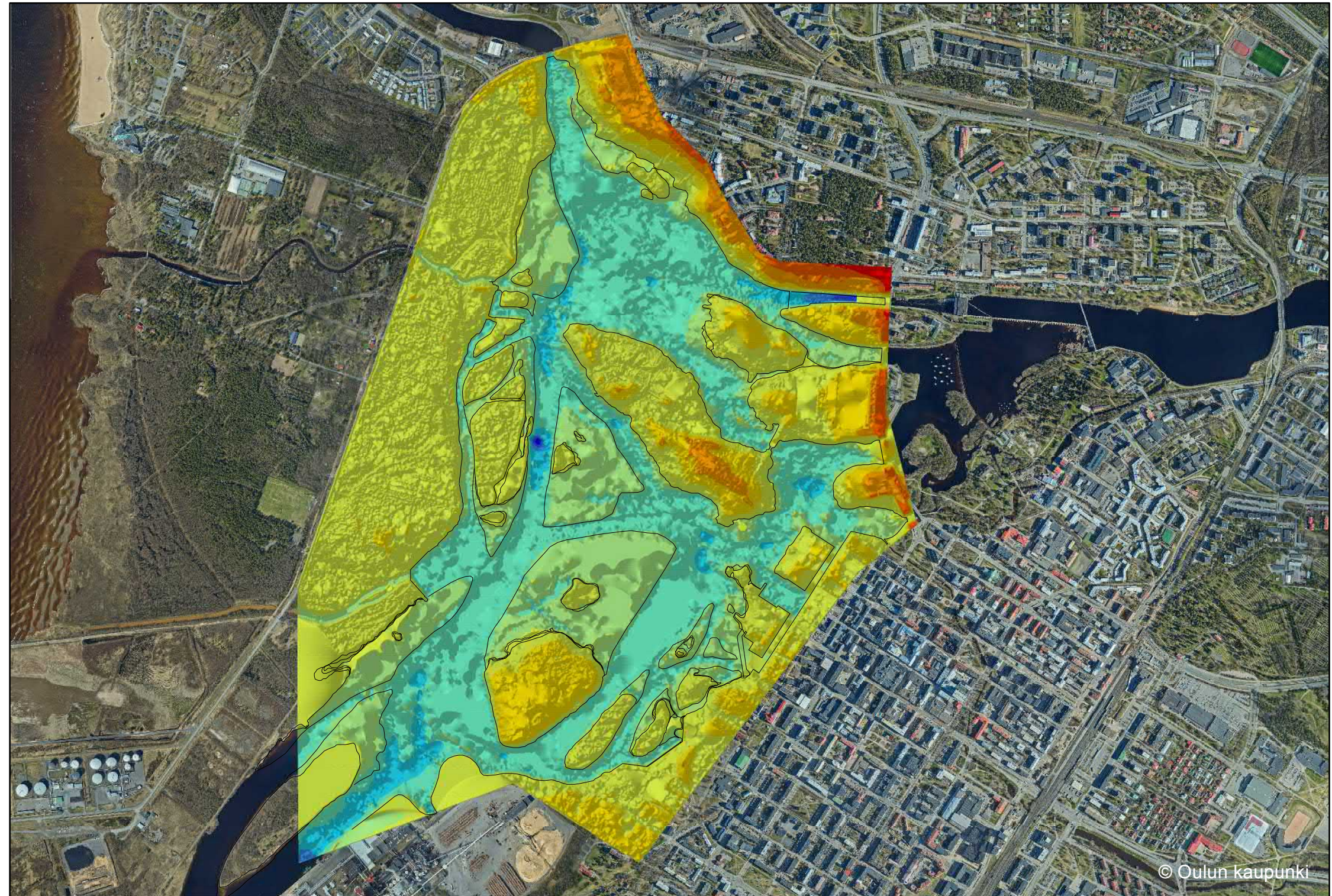
Pvm:

26.1.2018

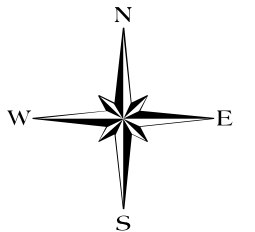
Maankohoaminen ja sedimentaatio

Sedimentaatioalueet on arvioitu vuosien 1999-2017 ilmakuvien perusteella. Maankohoamista on mallinnettu vuoden 1999 (Kemijoki Oy) syvyyskäyrästä ja vuoden 2017 (Oulun kaupunki) käsittelemättömän laserkeilausaineiston avulla. Mallinnuksessa ei ole otettu kantaa alueella tapahtuvaan virtaukseen.

 Veden alta hiljalleen paljastuva maa-alue



0 250 500 1 000 Metriä



Tilaja sekä suunnitelukohteen nimi ja osoite:

OULUN KAUPUNKI

Yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut

Selvitys maankohoamisesta Oulujoen suiston alueella



Pöyry Finland Oy
Elektroniikkatie 13, 90590 OULU
Puh. 010 3311
etunimi.sukunimi@poyry.com
www.poyry.fi

Mittakaava:

1:15 000

Työn ja piirustuksen No.

101007826-001

5

Koordinaatisto ETRS-GK26, Korkeusjärjestelmä N2000

Piirtänyt:

Annika Ansala

Tarkastanut:





Minna Mäki-Asiala

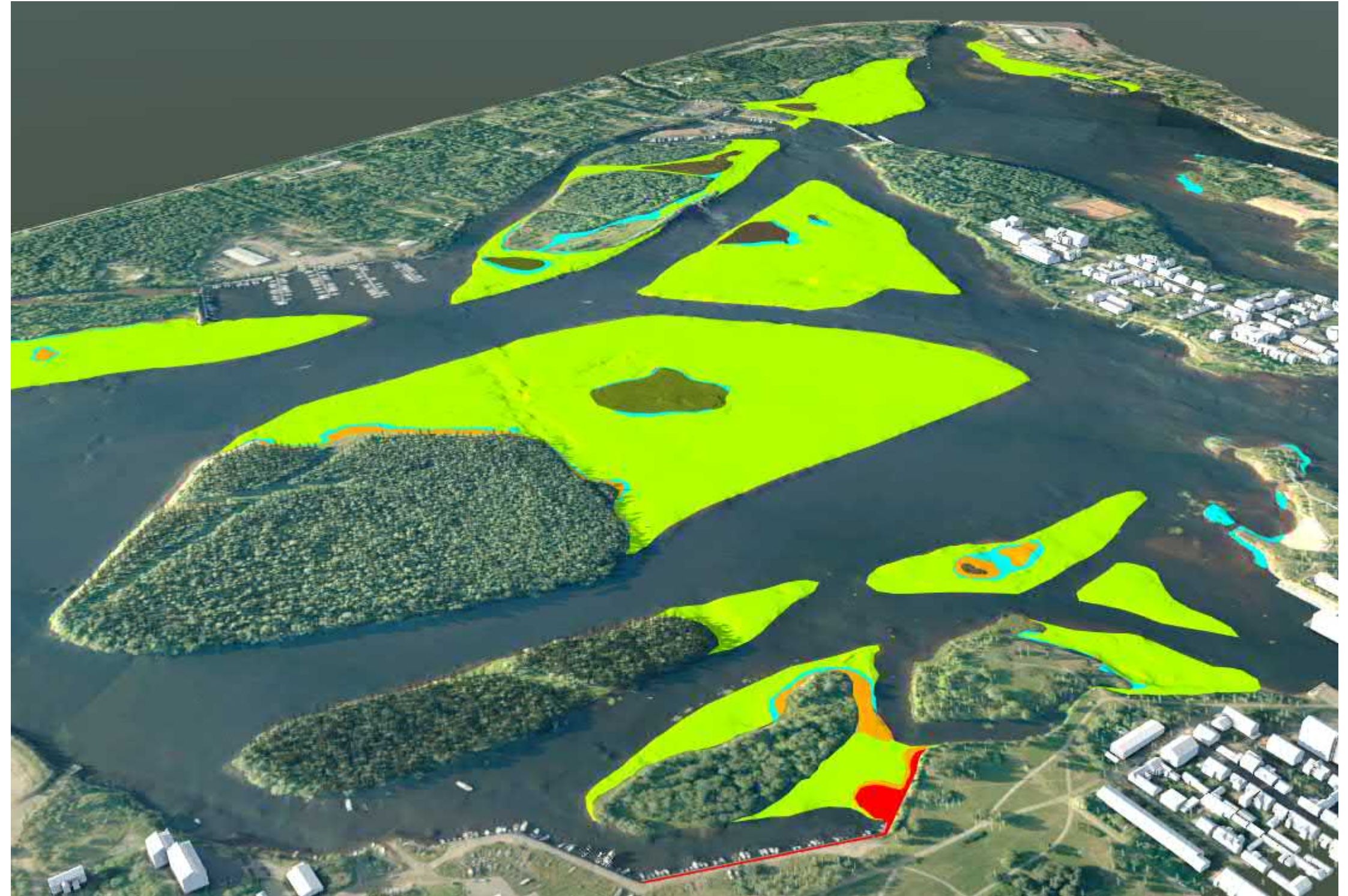
Pvm:

26.1.2018

Maankohoaminen ja sedimentaatio

Sedimentaatioalueet on arvioitu vuosien 1999-2017 ilmakuviin perusteella. Maankohoamista on mallinnettu vuoden 1999 (Kemijoki Oy) syvyyskäyrästä ja vuoden 2017 (Oulun kaupunki) käsittelemättömän laserkeilausaineiston avulla. Mallinnuksessa ei ole otettu kantaa alueella tapahtuvaan virtaukseen.

-  Arvioidut sedimentaatioalueet
-  Havaitut sedimentaatioalueet 1999-2009
-  Havaitut sedimentaatioalueet 2009-2017
-  Ihmisen muokkaamat ranta-alueet



Tilaaja sekä suunnitelukohteen nimi ja osoite:

OULUN KAUPUNKI

Yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut
Selvitys maankohoamisesta Oulujoen suiston alueella



Pöyry Finland Oy
Elektroniikkatie 13, 90590 OULU
Puh. 010 3311
etunimi.sukunimi@poyry.com
www.poyry.fi

Mittakaava:

Työn ja piirustuksen No.
101007826-001
6

Koordinaatisto ETRS-GK26, Korkeusjärjestelmä N2000

Piirtänyt:
Annika Ansala

Tarkastanut:
Minna Mäki-Asiala

Pvm:
26.1.2018