

Loppuraportti

Porvoon kaupungin vesijärjestelmien ilmastonmuutoksen riskien ja sopeutumistoimien arviointi

Gaia Consulting Oy
Jussi Nikula, Mikko Halonen, Riikka Lehti
Heinäkuu.2008

Ilmastonmuutoksen sopeutumistutkimusohjelma (ISTO), tutkimushanke:
Maankäyttö ja kuntatekninen suunnittelu tulvariskien hallinnassa (pr. nro 310952)

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	5
1.1 Hankkeen taustaa ja tavoitteet.....	5
1.2 Työn toteutus ja menetelmät.....	6
2. ILMASTONMUUTOKSEN VAIKUTUKSET JA ILMASTORISKIT PORVOOSSA	7
2.1 Globaali ilmastomuutos	7
2.2 Ilmastomuutoksen vaikutuksista Suomessa	8
2.3 Ilmastomuutoksen riskit Porvoon vesijärjestelmien tarkastelussa.....	11
3. PORVOON VESIJÄRJESTELMIEN KUVAUS SEKÄ KESKEISET TOIMINNOT JA OSAT.....	12
4. RISKIEN TUNNISTAMINEN JA PRIORISOINTI.....	15
5. SOPEUTUMISTOIMIEN TUNNISTAMINEN SUURIMMILLE RISKEILLE JA SOPEUTUMISTOIMIEN ARVIOINTI.....	23
6. JOHTOPÄÄTÖKSET	25
Lähteet:.....	28
LIITE 1 Hankkeen työpajat sekä hankkeeseen osallistuneet asiantuntijat.	29
LIITE 2 Maan kohoaminen ja merenpinnan korkeus.....	30
LIITE 3 Itä-Uudenmaan yleispiirteinen meritulvakartta HW1/200.....	33
LIITE 4 Porvoon vesijärjestelmien priorisoitu riskilista.....	34
LIITE 5. Riskikohtaiset sopeutumistoimet ja sopeutumistoimien arvioidut kustannukset	38

Tiivistelmä

Ilmastomuutoksen vaikutukset tulevat lähivuosikymmeninä voimistumaan ja edellyttävät hillintätoimenpiteiden lisäksi myös systemaattisia ja ennakoivia sopeutumistoimia kaikilta toimijoilta yhteiskunnissa. Varautuakseen entistä paremmin ilmastomuutoksen vaikutuksiin 2000 luvulla (merkiten mm. keskilämpötilan nousua, keskimääräisten sademäärien kasvua, muutoksia äärevissä sääilmiöissä sekä tulvissa), Porvoon kaupunki toteutti Maa- ja metsätalousministeriön osarahoituksella keväällä 2008 hankkeen, jossa tarkasteltiin ilmastomuutoksen riskejä ja sopeutumistoimia kaupungin vesijärjestelmien näkökulmasta.

Hyödyntäen ilmastoriskien tunnistamisen ja päätöksenteon tueksi kehitettyä Ilmasto-KIHA – menetelmää, hankkeessa tunnistettiin yli 20 kaupungin talousvesijärjestelmään, jätevesijärjestelmään sekä hulevesijärjestelmän kohdistuvaa ilmastoriskiä, joiden ympäristö-, henkilö- ja taloudellisia vaikutuksia arvioitiin tiiviissä yhteistyössä Porvoon asiantuntijoiden kanssa.

Kussakin järjestelmässä voidaan tunnistaa osia ja osajärjestelmiä, jotka ovat erityisen haavoittuvaisia ilmastoriskeille. Jätevesipuolella priorisoidut riskit kohdistuvat kaikkiin pääpumppaamoihin sekä kokoojaviemäreihin. Talousvesijärjestelmässä riskit kohdistuvat niin pohjavesilähteisiin, kaivoihin kuin verkoston automaation valvontaan. Hulevesipuolella hulevesikaivojen lisäksi tunnistettiin avorakenteita sekä hulevesiverkoston ja sekaviemäriverkoston osia, joihin kohdistuu merkittäviä ilmastoriskejä. Näiden kolmen osajärjestelmän lisäksi tarkastelu paljasti myös ns. yhteisiin järjestelmiin (erityisesti sähköjärjestelmät, kommunikaatio) kohdistuvia ilmastoriskejä.

Koskien jätevesijärjestelmää, poikkeukselliset meritulvat muodostavat keskeisen riskin, jolle tunnistettiin mm. tulvavalleihin, pumppauskalustoon sekä sähkösyötön vesitiiviyyteen liittyviä sopeutumistoimenpiteitä.

Talousvesijärjestelmän osalta laatuksiteerit täyttävän talousveden toimittaminen kuluttajille ilmastomuutoksen kiihtyessä tulee edellyttämään entistä tiiviimpää laadun seurantaa, kaivojen tilapäisiä sulkemisia ja/tai tilapäisten vedenottopaikkojen rakentamista. Pitkälle aikavälillä myös seudullisen yhteistyön tiivistäminen on syytä harkita, antaen mahdollisuuden - niin ilmastomuutoksen kuin muiden riskien aiheuttamissa - ongelmatilanteissa käyttäa useampia raakavesilähteitä ja mahdollisesti siirtää talousvettä tarpeen mukaan.

Koskien hulevesijärjestelmää havaittuihin ilmastomuutoksen riskeihin voidaan sopeutua mm. varmistamalla riittävät resurssit säätieloihin perustuvaan ennakoivaan kunnossapitoon. Hulevesien hallinnan ja ilmastoriskien vähentämisen kannalta maankäytön suunnittelun, vesihuoltolaitoksen ja kuntatekniikan yhteissuunnittelu nousee keskeiseksi sopeutumiskeinoksi, jonka avulla voidaan vaikuttaa hulevesien määrään ja luoda edellytyksiä hulevesien viivyttämiseen. Kokonaisuutena ilmastoriskien hallinnan yhteydessä on jatkossa kiinnitettävä erityistä huomiota sähkönsaannin ja varavoiman turvaamiseksi.

Hankkeessa tunnistetut sopeutumistoimet tarjoavat hyvin konkreettisia mahdollisuuksia Porvoon toimijoille priorisoitujen ilmastoriskien hallitsemiseksi. Pääosa toimenpiteistä on kustannuksiltaan maltillisia (kokoluokkaa < 10 000 €.). Eräät kalliimmista toimenpiteistä on mahdollista integroida jo suunnitelmissa oleviin investointeihin tai saneeraustöihin, luoden kustannustehokkaan keinon samanaikaisesti parantaa Porvoon vesijärjestelmien ilmastoriskien kestävyttä – myös suhteessa nykyilmaston vaihteluihin. Hankkeessa nousi myös esiin



kaupunkirakenteen kehittymisen ja maankäytön muutosten vaikutukset vesihuollon riskeihin. Esimerkiksi sen sijaan, että nojaututtaisiin tavanomaisiin vesihuoltoteknisiin ratkaisuihin vesiongelmien edessä, voi olla mahdollista löytää kustannustehokkaampia sopeutumiskeinoja vesihuollon, maankäytön suunnittelun ja kuntatekniikan yhteistoiminnasta.

Hyödyntämällä menetelmää jatkossa itse ja päivittämällä uusimpien tutkimustulosten perusteella eri ilmastovaikutusten voimakkuutta ja/tai nopeutta, Porvoon edustajat voivat ennakoivasti vähentää ilmastoriskiä – tuottaen nopeasti ja käytännönläheisesti uutta tietoa päätöksentekonsa pohjaksi. Porvoon tapauksessa voidaan suositella jatkossa erityisesti meren pinnan nousuun ja meritulviin liittyvien riskikuvien systemaattista päivittämistä.

Porvoossa toteutetun hankkeen fokuksessa olivat nimenomaan vesijärjestelmiin kohdistuvat ilmastoriskit. Hankkeen kokemukset ja tulokset voivat luoda laajemminkin pohjaa ilmastoriskien tunnistamiselle ja integroimiselle eri sektoreita (esim. liikenne- ja energiainfrastruktuurit, kaupunkirakenne) koskevaan päätöksentekoon Porvoossa, samoin kuin muualla Suomessa.

1. Johdanto

1.1 Hankkeen taustaa ja tavoitteet

Tulevina vuosina yhteiskunnat joutuvat sopeutumaan muuttuvaan ilmastoon monin eri tavoin. Viimeisimmät kansalliset ja kansainväliset tutkimustulokset (mm. FINADAPT, IPCC, ISTO)¹ vahvistavat näkemyksen siitä, että riippumatta siitä, kuinka paljon päästöt kasvavat tai vähenevät tulevina vuosina, yhteiskunnat joutuvat joka tapauksessa sopeutumaan muuttuvaan ilmastoon tulevina vuosikymmeninä. Sopeutumista tullaan tarvitsemaan yhteiskuntien kaikilla tasoilla; se voi olla suunniteltua tai autonomista, lyhyt- tai pitkäjänteistä, sen toteuttaminen voi edellyttää esimerkiksi teknologisia muutoksia, muutoksia suunnittelu- ja käyttäytymismalleissa tai erinäisiä poliittisia toimenpiteitä.

Suuri osa käytännön sopeutumistoimista tullaan toteuttamaan paikallisella tasolla ja tämä tulee edellyttämään päätöksentekoa tukevan osaamisen vahvistamista eri tavoin. Paikallisella tasolla kuntien on kyettävä tunnistamaan ilmastomuutoksen riskit ja löytämään oikeat toimenpiteet ilmatoriskien hallintaan sekä ilmastomuutokseen sopeutumiseen. Pitkäkestoinen kuivuus Suomessa kesällä 2006, rankkasadetulvat Porissa kesällä 2007 sekä useat alueellisesti merkittäviä vaikutuksia aiheuttaneet myrskyt ovat vain muutamia esimerkkejä tilanteista, joiden odotetaan lisääntyvän Suomessa muuttuvan ilmaston myötä.

Varautukseen entistä paremmin ilmastomuutoksen vaikutuksiin 2000 luvulla, Porvoon kaupunki toteutti keväällä 2008 hankkeen, jossa tarkasteltiin ilmastomuutoksen riskejä ja sopeutumistoimia vesijärjestelmien näkökulmasta. Hankkeen tavoitteena on auttaa Porvoota tunnistamaan ilmastomuutoksen riskit ja tukea päätöksentekoprosesseissaan valitsemaan optimaaliset sopeutumiskeinot. Tämän saavuttamiseksi:

- Hankkeessa arvioidaan ilmastomuutostutkimuksen viimeisimmän tiedon valossa ilmastomuutoksen riskejä Porvoon kaupungin vesijärjestelmiin
- Tunnistetaan vaihtoehtoisia sopeutumistoimia vesihuollon, kuntatekniikan ja maankäytön suunnittelun sektoreilla
- Arvioidaan sopeutumiskeinojen soveltuvuutta ja kustannustehokkuutta nykyilmaston vaihtelujen ja tulevan ilmastomuutoksen näkökulmasta.

Tarkastelun kohteena ovat kaupungin vesijärjestelmät, joiden katsotaan sisältävän talousvesijärjestelmän, jätevesijärjestelmän ja hulevesijärjestelmän. Hulevesijärjestelmään kuuluvat olennaisesti sadevesiviemäreiden lisäksi sadeveden pintavalunnan muodostumiseen vaikuttavat maankäytön suunnittelun ratkaisut sekä avorakenteet, kuten puistot, kadut ja pientareet. Hankkeen avulla on tunnistettu ilmatoriskejä niin Porvoon talousvesi, jätevesi kuin myös hulevesijärjestelmissä ja vaihtoehtoisia keinoja sopeutua ilmastomuutokseen todennäköisiin vaikutuksiin.

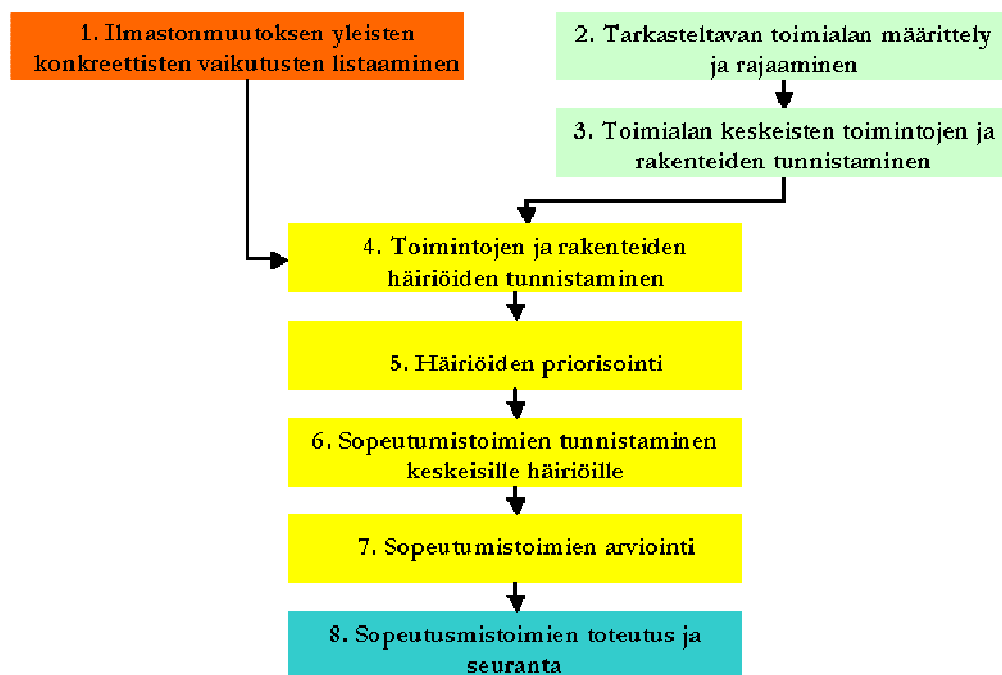
Tarkastelun aikajänteeksi valittiin keskipitkä aikaväli, eli aikajänne vuosisadan puoliväliin, jolle viimeisin ilmastotutkimus kykenee nostamaan esiin ennakoituja muutoksia, niin lämpötilan,

¹ Katso esim. Carter, T.R. 2007 (ed.). Suomen kyky sopeutua ilmastomuutokseen: FINADAPT (Suomen Ympäristö1/2007) ja IPCC (2007). Intergovernmental Panel on Climate Change, Fourth Assessment Report WMO, Geneva. 2007 tai ISTO tutkimusohjelman eri hankkeiden tulokset.
<http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/ymparisto/ilmastopolitiikka/sopeutumistutkimusohjelma.html>

sateisuuden kuin äärevien sääilmiöiden muutoksissa. Porvoolaisten toimijoiden kannalta valittu tarkasteluajakäänne noin vuoteen 2050 voi tarjota konkreettista tukea vesisektorin investointi- ja maankäytön suunnittelun ja päätöksenteon tueksi.

1.2 Työn toteutus ja menetelmät

Gaia Consulting Oy toteutti työn keväällä 2008 tiiviissä yhteistyössä Porvoon kunnan keskeisten sidosryhmien ja asiantuntijoiden kanssa.² Työssä hyödynnettiin kansallisen ilmastomuutoksen sopeutumisen tutkimusohjelman (ISTO) puitteissa 2006–2007 kehitettyä Ilmasto-KIHA³ menetelmää⁴, joka tarjoaa konkreettisen ja systemaattisen keinon integroida ilmastomuutoksen viimeisin tutkimustieto paikallisen tason päätöksentekoon.



Kuva 1. Hankkeen aikana toteutettavat menetelmän vaiheet 1-7.

Kyseessä on käytännön työkalu tehokkaaseen ryhmätyöpohjaiseen riskinarviointiin, jossa järjestelmää analysoidaan sille asetettujen keskeisten tehtävien kautta. Kuvassa 1 on esitetty Ilmasto- KIHA menetelmä, sekä sen keskeiset toteutuksen vaiheet. Tässä hankkeessa toteutettiin vaiheet 1-7, jotka luovat edellytyksiä tehokkaiden sopeutumistoimien valintaan, toteutukseen ja seurantaan.

Hankkeessa tuloksena Porvoon kunnan vesihuoltoon kohdistuvat keskeiset ilmastomuutoksen riskit on tunnistettu ja systemaattisesti kirjattu, vaihtoehtoisia sopeutumistoimia tunnistettu sekä toimien soveltuvuus ja kustannustehokkuus arvioitu ja

² Katso Liite 1. Hankkeen työpajat sekä hankkeeseen osallistuneet Porvoolaiset asiantuntijat.

³ KIHA = kriittisten infrastruktuurien haavoittuvuuden analysointi.

⁴ Ilmasto-KIHA. Menetelmäkehitys ilmastoriskien arviointiin ja sopeutumistoimien priorisointiin, Mikko Halonen, Jussi Nikula, Iivo Vehviläinen, Tuomas Raivio & Mari Hjelt, Loppuraportti 2007. (Ilmastomuutoksen sopeutumistutkimusohjelman tutkimushanke: Maankäyttö ja kuntatekninen suunnittelu tulvariskien hallinnassa, pr. nro 310952)

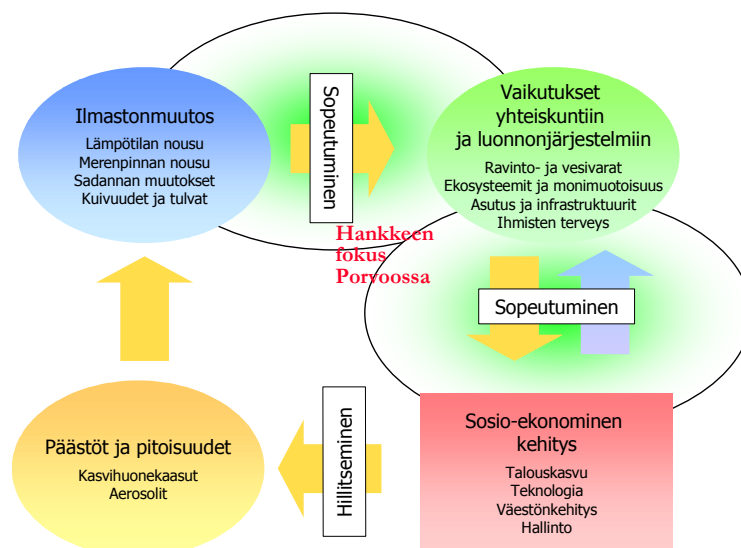
raportoitu. Hankkeen tulokset ovat suoraan Porvoon kunnan asiantuntijoiden ja sidosryhmien käytössä ja niitä voidaan hyödyntää päätöksenteossa koskien mm. vesihuollon ja hulevesien riskien hallintaa ja esim. arvioitaessa vesihuollon eri investointivaihtoehtoja ilmastonäkökulmasta. Menetelmän läpivienti luo hankkeeseen osallistuville organisaatioille viimeisimpään tietoon perustuvan ymmärryksen ilmastonmuutoksen vaikutuksista vesihuoltosektorilla – tätä osaamista on mahdollista jatkossa hyödyntää myös muita kunnan ilmastohaasteita arvioitaessa.

Hankkeen tulokset palvelevat myös laajemmin suomalaista sopeutumisosaamista, ja näin ollen ISTO tutkimusohjelman tavoitteiden mukaisesti ⁵ vahvistetaan kansallista sopeutumisen osaamis pohjaa Suomessa ja tarjotaan esimerkkejä käytännön työkaluista myös muille paikallisen tason toimijoille päätöksenteon tueksi.

2. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja ilmatoriskit Porvoossa

2.1 Globaali ilmastonmuutos

Ilmastonmuutoksen perussy on ilmahan kasvanut kasvihuonekaasupitoisuus ihmistoiminnan seurauksena. Lämpötila on noussut viimeisen sadan vuoden aikana 0,74°C. Globaalisti 15 lämpimintä vuotta koettu viimeisen 20 vuoden aikana. Vuoteen 2100 mennessä voidaan maailmanlaajuisesti odottaa mm. lämpötilan jatkavan nousuaan keskimäärin 4°C (mm. päästöjen kehityksestä ja ilmahan herkkyydestä riippuen 1,1-6,4°C), merenpinnan jatkavan keskimäärin nousuaan noin 0,5 metriä (olettaen mm. ettei merkittäviä jäätiköiden sulamisia tai muita kerrannaisvaikutuksia esiinny), merkittäviä sateisuuden muutoksia sekä äärevien sääilmiöiden lisääntymistä (alla kuva 2 ilmastonmuutoksen vaikutusketjuista).



Lähde: IPCC, 2001

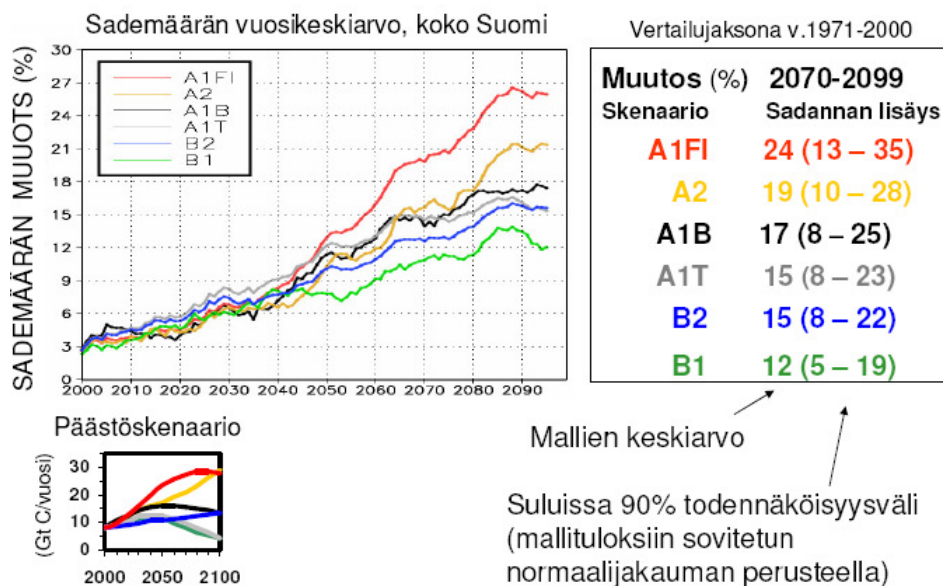
⁵ Hankkeen lopputuloksista raportoidaan myös ilmastonmuutokseen sopeutumisen tutkimusohjelman puitteissa ja näin (hankkeen osarahoittajan eli Maa- ja metsätalousministeriön toiveiden mukaisesti) vahvistetaan kansallista sopeutumisen osaamis pohjaa Suomessa ja tarjotaan esimerkkejä käytännön työkaluista paikallisille toimijoille päätöksenteon tueksi.

Kuva 2. Ilmastonmuutoksen vaikutusketjut (IPCC, 2001) sekä tämän hankkeen fokus, jossa keskitytään Porvoon vesijärjestelmien keinoihin sopeutua ilmastonmuutoksen jo käynnissä oleviin vaikutuksiin sekä tulevien vuosikymmenten mahdollisiin vaikutuksiin.

2.2 Ilmastonmuutoksen vaikutuksista Suomessa

Ilmastonmuutoksen vaikutukset tulevat näkymään seuraavina vuosikymmeninä niin globaalissa ilmastojärjestelmässä kuin alueellisissa ilastoissa. Tässä hankkeessa on hyödynnetty viimeisintä tutkimustietoa Suomen ilmaston muutoksista, joiden avulla on tarkasteltu ilmaston perusmuuttujien, kuten lämpötila ja sademäärät, lisäksi myös mahdollisia muutoksia mm. äärevissä sää-ilmiöissä sekä tulvissa, jotka voivat olla keskeisiä ilmastoriskin aiheuttajia Porvoossa.

Esim. FINADAPT tutkimuksessa sekä tämän jälkeen tehdyissä uusimmissa tutkimuksissa (mm. ACCLIM⁶, RATU⁷) on arvioitu lämpötilan ja sateisuuksien muutoksia Suomessa. Yhteenveto sademäärien muutoksista ACCLIM hankkeen eri skenaarioissa on esitetty kuvassa 3 alla.

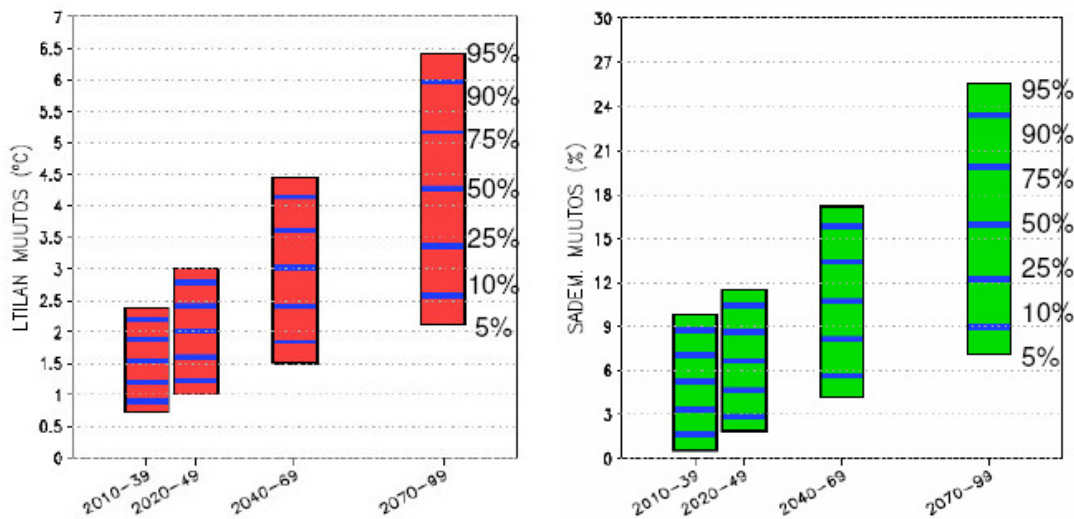


Kuva 3. Arviot kasvavista sademääristä Suomessa eri skenaarioissa. Mm. ilmastojärjestelmän viiveistä johtuen päästöskenaarioiden merkittävät erot näkyvät vasta vuosisadan toisella puoliskolla (lähde: ACCLIM).

Kuvassa 4 on koottuna viimeisimmät arviot sekä lämpötilan että sateisuuksien muutoksista, ottaen huomioon myös eri lopputulemien todennäköisyyden. Lähtökohtaisesti skenaarioihin ei sisälly todennäköisyyksiä mutta päätöksenteon kannalta voi olla hyödyllistä kuvata skenaarioihin liittyviä epävarmuuksia todennäköisyysjakauman avulla.

⁶ Sään ääri-ilmiöt nykyilmastossa ja uusiimpiin mallikokeisiin perustuvat arviot ilmastonmuutoksesta sopeutumistutkimuksia varten (ilmatieteen laitos, Helsingin Yliopisto). Hankkeen kotisivut osoitteessa: http://www.ilmatieteenlaitos.fi/organisaatio/yhteys_92.html

⁷ Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU), <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=137437&lan=fi>



Kuva 4. Arviot Suomessa lämpötilan ja sateisuuden muutoksista Suomessa, eri todennäköisyydet huomiodien⁸. Tässä hankkeessa tarkastelujakson fokus on aikavälillä 2020-2049 (lähde: ACCLIM).

Viimeisimmät tutkimustulokset antavat näille perusmuuttujille myös kuukausijakauman mutta kokonaisuutena voidaan sanoa että eniten lämpenevät talvet, vähiten kesät. Pohjois-Suomessa lämpötila nousee ja sademäärä lisääntyy hiukan nopeammin kuin etelässä.

Porvoon osalta tarkastelussa on näiden perusmuuttujien lisäksi pyritty tunnistamaan poikkeuksellisiin sääilmiöihin (kuten rankkasateet, kuivuudet, poikkeuksellisen korkea/matala lämpötila) sekä tulviin (jokitulvat, rankkasadetulvat ja meritulvat) liittyviä ilmastoriskejä. Tällä hetkellä tutkimustiedot eivät vielä anna yksiselitteistä vastausta tuulisuuden ja ukkosen muutoksiin Suomessa⁹. Kaikki keskeiset muuttujat ja hankkeessa niistä käytetyt määritelmät on kuvattu taulukossa 1.

Rankkasateet tulevat voimistumaan Suomessa, sekä kesäkuukausina että talvikuukausina. Suomen ympäristökeskuksen ja Ilmatieteen laitoksen laatimien mallien mukaan suuret sateet lisääntyisivät 35 - 65 prosenttia vuosisadan loppuun mennessä. Keskimääräiset kesäkauden rankimmat vuorokausisateet kasvavat 10–30% ja kuuden tunnin sateet vähintään saman verran, karkeasti arvioiden noin 15–40%.¹⁰ On myös todennäköistä että sateettomien kausien pituus saattaa kasvaa, varsinkin Etelä-Suomessa jolla on osaltaan vaikutuksia jokien tulvimiseen¹¹ Sen sijaan mallit poikkeavat kuitenkin siinä yleistävätkö kaiken kaikkiaan kesän sadepäivät ja kestävätkö poutajaksot pitempään vai jäävätkö ne lyhyemmiksi. Lämpötilojen

⁸ Muutosten todennäköisyyden prosenttipisteiden laskemisessa on otettu yhtä aikaa huomioon päästöskenaarioiden erot, mallien herkkyyden erilaisuus ja ilmaston luontainen vaihtelu.

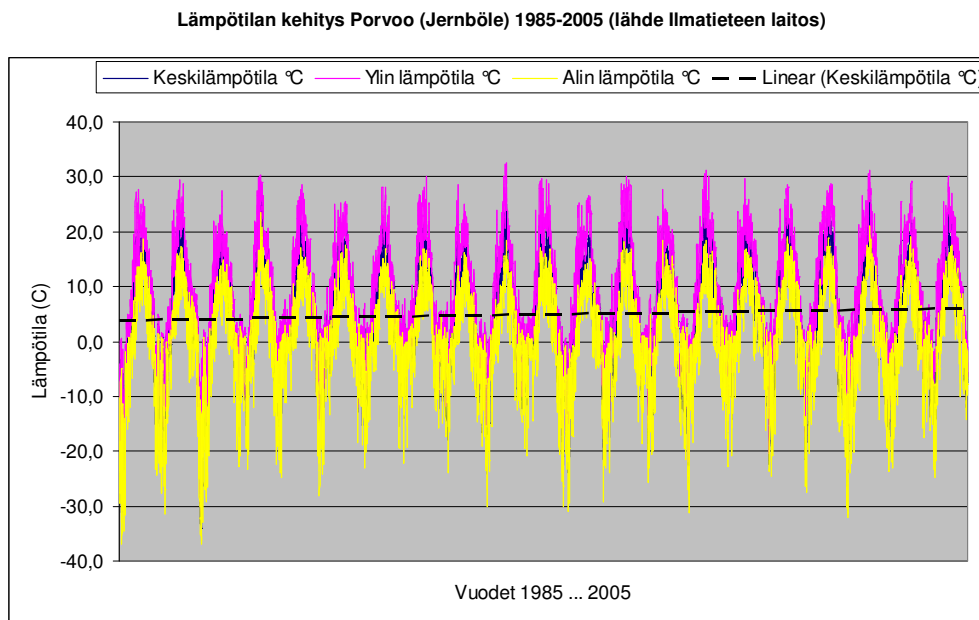
⁹ Esim. Porvoon Emäsalon mittausasemalta, havaintojaksolla 1984-2007 on mitattu 61 myrskypäivää, joka on 2,5 (~3) myrskypäivää vuodessa ottaen kuitenkin huomioon, että tuulisuuden vaihtelu on suurta. 1999 Emäsaloon asennettu mittausautomaatti, josta lähtien maksimituuli ja puuskatietoa -> Maksimituulia, jotka 21m/s tai yli (= 10 min keskiarvosta) mitattu jaksolla 1999-2007 24 päivää joka on 2.7/vuosi. Tuulen yksittäiset puuskat, jotka saavuttavat 21m/s tai yli on vuosilta 1999-2007 mitattu 209 krt, joka on keskimäärin 23 vuodessa. Vaihtelu suurta ja yhdenkin päivän aikana voi tapahtua monta puuskaa. Puuskahavaintoja siis huomattavasti enemmän kuin mittauksia myrskytuulen saavuttaneesta keskituulesta. Puuskat yleensä aiheuttavat vahinkoja. Suurin mitattu puuska: 31.1m/s 23.12.2004. Lähde Ilmatieteen laitos.

¹⁰ RATU hankkeessa rankkojen kesäsateiden muuttumista arvioitiin tarkastelemalla toukokuuskuun suurimman vuorokausisateen 30vuotiskeskivertu muuttumista jaksosta 1961-1990 jaksoon 2071-2100 alueellisten ilmastomalliajojen perusteella. Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU), 2008.

¹¹ ACCLIM http://www.ilmatieteenlaitos.fi/organisaatio/yhteys_92.html

kohoaminen kiihdyttää siten haihduntaa (kuivuttaen maaperää) ja toisaalta rankkasateet lisääntyvät. Näin ollen vuoroin kuivuus ja vuoroin rankkasateet voivat vaivata vaikka kesän kokonaissademäärä ja sadepäivien yleisyys ei muuttuisi.

Äärilämpötilojen ja keskilämpötilojen muutosten välillä on tutkimusten perusteella lähes lineaarinen yhteys. Jo pienehkö ilmaston lämpeneminen lisää huomattavasti korkeiden lämpötilojen esiintymistodennäköisyyttä. Sen sijaan pakkaspäivien ja kovien pakkashuippujen lukumäärä tulee laskemaan. Kuvassa 5 on esitetty lämpötilan kehitys Porvoossa aikajänteellä 1985–2005 joka toimii arvioidun ilmastonmuutoksen vertailukohtana työn aikana. Maan roudan ja kosteuden muutokset ovat erittäin haasteellisia simuloida ilmastomalleissa. Joka tapauksessa roudan (ja kuurantumisen) määrä tulee vähenemään tällä vuosisadalla ja saattaa johtaa mm. runsaampaan puiden kaatumiseen myrskyissä ja muihin rakenteellisiin vaurioihin.



Kuva 5. Lämpötilan kehitys Porvoo (Jernböle) 1985-2005 (lähde Ilmatieteen laitos)

Porvoon suhteen on erittäin tärkeää ottaa huomioon viimeisimmät tutkimustulokset meren pinnan nousun vaikutuksista. Meritulvat Suomen rannikolla muodostuvat usein tuulen, ilmanpaineen sekä Itämeren heilahtelun yhteisvaikutuksesta. Tämän hetken arvioin mukaan (IPCC, 2007) merenpinta tulee nousemaan globaalisti noin 18-59 cm 2000-luvulla. Itämeren rannalla suositellaan varauduttavaksi kerran 200 vuodessa esiintyviin tulviin lisättynä vähintään 30 cm aaltoiluaralla.¹²

Tässä tarkastelussa on tärkeää huomioida myös maan nouseminen. Itämeren merenpinnan kokonaisnousun ennustetaan olevan samaa suuruusluokkaa kuin valtamerillä. Suomenlahdella

¹² Liitteessä 3 on esitelty Itä-Uudenmaan meritulvakartta HMW1/200. Merialueilla alin suositeltava rakentamiskorkeus on esitetty määritettäväksi keskimäärin kerran 200 vuodessa esiintyvän tulvan suuruuden mukaan. Alinta suositeltavaa rakentamiskorkeutta määritettäessä on otettava huomioon paikkakohtainen aaltoiluvara ja rannan jyrkkyys. Lisäksi on otettava huomioon paikkakohtainen jään työntymisen rannoille ja jyrkillä rannoilla aaltojen pärskeet. Gudrun-talvimyrskyn aikaan vuonna 2005 meriveden pinta nousi Helsingissä 150 cm keskimääräistä korkeammalle ja se lainehti jo kauppatorin tasolla. Porvoossa vedenpinta nousi 20 cm korkeammalle ja tulvi keskustaan. Rannikkoalueiden alimpia suositeltavia rakentamiskorkeuksia ei voi kuitenkaan suoraan käyttää jokien suistoalueella eikä jokien alaosalla. Suistoalueet on tarkasteltava erikseen, koska suistoissa merivedenkorkeus ja joen virtaama yhdessä vaikuttavat suurimpiin vedenkorkeuksiin.



tämä merkitsee sitä, että maanpinnan kohoaminen kumoaisi keskimääräisen merenpinnan nousun. Pohjanlahdella ja Perämerellä merenpinnan lasku hidastuisi vähitellen. Porvoon tasolla maanpinnan nousun on arvioitu jatkuvan 2000-luvulla noin 2-3 mm/vuosi, eli keskimäärin samalla tasolla kuin 1900-luvulla (katso Liite 2 Maan kohoaminen ja merenpinnan korkeus).

2.3 Ilmastonmuutoksen riskit Porvoon vesijärjestelmien tarkastelussa

Perustuen käytettävissä oleviin tutkimustuloksiin ja pyrkien systemaattisesti huomioimaan eri skenaarioiden ääritapaukset, ns. yläskenaariot pahimpien mahdollisten tulevaisuuden uhkakuvien tunnistamiseksi, ilmastonmuutoksen vaikutukset ja konkreettiset tekijät on koottu yhteen riskitarkastelun tueksi (taulukko 1). Aiheuttajalista viimeisteltiin yhteistyössä Porvoon edustajien kanssa ottaen huomioon nykyilmasto ja jo olemassa olevat kokemukset ilmaston luontaisesta vaihtelusta Porvoon seudulla (katso esim. kuva 5).

Taulukko 1. Aiheuttajalista, eli ilmastonmuutoksen vaikutukset ja konkreettiset muuttujat Porvoon vesijärjestelmien ilmastoriskien ja sopeutumistoimien tarkastelussa vuoteen 2050.

Ilmastonmuutos - ilmasto 2020-2049*				
lämpötilamuutokset	sateisuuden muutokset	tuulisuuden ja myrskyisyyden muutokset		
Keskilämpötilan nousu 1,3 - 2,5 C	Keskimääräisen sademäärän kasvu 4 - 9 %	Muutoksen suunnasta tai voimakkuudesta ei yhtenäistä tieteellistä näkemystä tuulisuuden ja myrskyisyyden osalta	Konkreettinen tekijä	Viitteelliset arvot
X			Kova hellejakso	25 C / 2 vko
X			Kova pakkasjakso	- 25 C / 2 vko
X	X		Kuivuus / vähäsateinen pitkä kausi	n. 80 mm / 3 kk, alle 50 % keskiarvosta, esim. kesä-elokuu 2006
	X	X	Rankkasade	Yli 25 mm / h
	X	X	Voimakas rankkasade	Noin 50 mm / h
	X		Voimakassateinen jakso	Noin 300 mm / kk
X		X	Meritulva	N60 + 1,50 m
X		X	Voimakas meritulva	N60 + 2,50 m, 1/200 v **
	X		Voimakas jokitulva	Porvoonjoen noin 1/100 vuodessa esiintyvä tulva on Strömsbergin kohdalla n. 145 m ³ /s***
			Muita huomioitavia tekijöitä	
		X	myrskytuuli	10 min keskiarvo noin 21 m/s
		X	voimakas myrskytuuli	puuskahuiput yli 30 m/s
		X	Ukkonen/salamointi	
X	X		Lumipeitteen muutokset	lumen kinostuminen, vähäinen lumipeite talvella tms.
X	X	X	Em. tekijöiden yhtäaikainen esiintyminen (esim. meritulva ja rankkasade)	

* Keskilämpötilan ja keskimääräisen sademäärien muutoksien vertailukohtana jakso 1971–2000. Skenaario perustuu ACCLIM hankkeessa, useisiin eri malliajoihin perustuviin skenaarioihin (ylä-, keski- ja alaskenaarioilla). Skenaariot antavat lämpötilan ja sademäärien muutoksille myös kuukausittaiset arviot ja arviot vuodenajoittain.



** Porvoon osalta 1/200 meritulvan taso määritelty interpoloimalla Helsingin (N60 + 2,30m) ja Haminan (N60+ 2,65m välillä) 1/200 meritulville arvioiduista tasoista. (tällä hetkellä esim. Loviisalle interpoloitu vastaava taso on N60 + 2,55m).¹³

***] Porvoonjoen noin 1/100 vuodessa esiintyvä tulva on Strömsbergin kohdalla n 145 m³/s, Vuosina 1991–1998 suurin havaittu virtaama oli 109 m³/s 10.4.21994. Ilolanjoen Ilolan sillan kohdalla 17.4.2008 toteutetulla vuoden ennustejaksolla vedenpinnan maksimiarvo on 7,43 metriä.

Luonnollisesti muutosarvioiden suuruuteen ja todennäköisyyteen vaikuttavat tulevien kasvihuonekaasupäästöjen määrä, ilmaston herkkyyys kasvihuonekaasujen pitoisuuksille, luontainen vaihtelu sekä ilmastomallittamiseen liittyvät epävarmuustekijät.. Tutkimustiedon antamat arviot Suomen osalta eivät tuota merkittäviä eroja esim. eteläisen ja pohjoisen Suomen välille. Merkittäviä käytännön eroja ilmastomuutoksen riskien kannalta syntyy usein yhteiskunnallisista, rakenteellisista ja maantieteellisistä eroavaisuuksista eri alueiden ja talouden sektoreiden välillä. Esim. tiivistyvä kaupunkirakenne tai valitut teknologiset ratkaisut saattavat voimistaa ilmastomuutoksen vaikutusta ja siten merkittävästi lisätä ilmastomuutoksen kautta syntyviä riskejä.

3. Porvoon vesijärjestelmien kuvaus sekä keskeiset toiminnot ja osat

Edeltävässä luvussa 2 luotiin katsaus ilmastomuutoksen vaikutuksiin Porvoossa sekä tunnistettiin konkreettisia tekijöitä, aiheuttajia¹⁴, Ilmasto-KIHA -menetelmän ensimmäisen vaiheen mukaisesti. Työn seuraavassa vaiheessa määriteltiin ja rajattiin tarkasteltava toimiala tai järjestelmä sekä tunnistettiin tämän järjestelmän keskeiset toiminnot ja rakenteet (Ilmasto-KIHA menetelmän työvaiheiden 2 ja 3 mukaisesti, katso kuva 1)

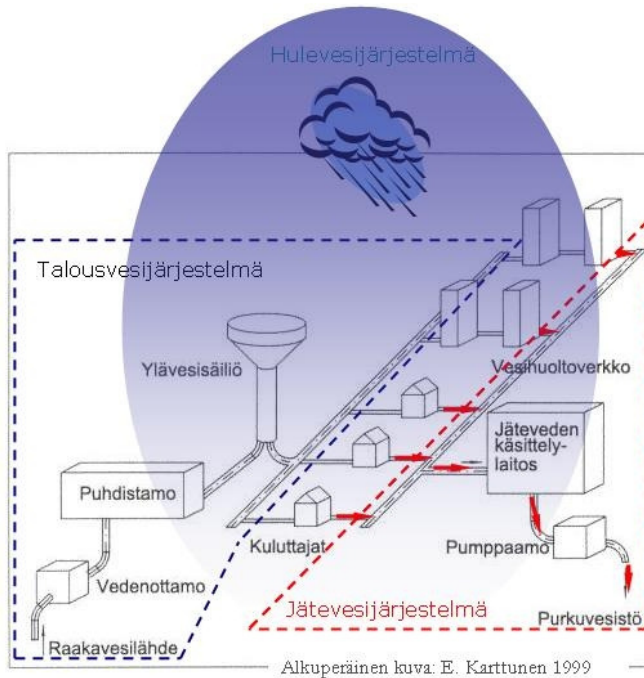
Tarkastelun kohteena olivat siis Porvoon kaupungin vesijärjestelmät, joka järjestelmän yleiskuvauksen tasolla määriteltiin tarkemmin seuraavasti:

”Tarkastelu kohdistetaan Porvoon kaupungin (taajamien) vesijärjestelmiin, jonka katsotaan koostuvan talousvesihuoltojärjestelmästä, jätevesihuoltojärjestelmästä ja hulevesijärjestelmästä”

Vesijärjestelmien yleiskuvaa sekä osajärjestelmiä on kuvattu seuraavassa kuvassa (kuva 6).

¹³ On olemassa ilmiöitä, joissa voi ilmaston lämpenemisen myötä tapahtua muutoksia, jotka voivat edelleen laukaista äärimmäisiä tai epälineaarisia ilmastomuutoksia. Esim. Grönlannin mannerjäätikön sulaminen, joka saattaa aikaansaada paikallinen ilman lämpötilan muutos +1-2°C aiheuttane merenpinnan korkeuden muutoksen +2...7 m mutta tiedeyhteisön mukaan muutos tapahtuisi erittäin pitkällä aikajänteellä, eli > 300v. Vastaavasti Länsi-Antarktiksen mannerjäätikön sulaminen, paikallisen ilman lämpötilan +3-5°C muutoksesta aiheuttaen merenpinnan korkeuden nousun +5 m samalla aikajänteellä. Katso esim: Lenton et al. 2008.

¹⁴ Aiheuttajan määritelmänä pidettiin seuraavaa: ”Tilanne tai tapahtuma, joka voi aiheuttaa vikaantumisen yhdessä tai useammassa järjestelmän kriittisessä osassa” ja vikaantumisen määritelmä oli puolestaan seuraava: ”Järjestelmä ei pysty suoriutumaan tehtävistään (häiriötila), jolloin aiheutuu taloudellisia, henkilö- ja/tai ympäristövahinkoja”



Kuva 5. Vesijärjestelmien yleiskuva ja osajärjestelmät

Osajärjestelmät ja niiden tehtävät määriteltiin seuraavalla tavalla:

Talousvesijärjestelmä

- **Rajaus.** Talousvesijärjestelmä koostuu raakaveden otosta pohja- ja/tai pintavesiesiintymästä, puhdistuksesta, pumppauksesta ja säilytyksestä sekä johtamisesta vesijohtoa pitkin kuluttajille kiinteistöliittymään asti
- **Tehtävä.** Järjestelmän päätehtävä on toimittaa kuluttajille laatukriteerit täyttävää talousvettä

Jätevesijärjestelmä

- **Rajaus.** Jätevesijärjestelmä koostuu jätevesien viemäroinnistä, johtamisesta puhdistamolle, puhdistuksesta ja puhdistettujen jätevesien laskemisesta vastaanottavaan vesistöön
- **Tehtävä.** Järjestelmän päätehtävä on taata jätevesien asianmukainen viemärointi ja puhdistus siten, ettei kiinteistöille, ihmisille tai ympäristölle aiheudu haittaa

Hulevesijärjestelmä

- **Rajaus.** Hulevesijärjestelmällä tarkoitetaan hulevesien johtamiseen tarkoitettujen oja- ja viemärijärjestelmien lisäksi hulevesien muodostumiseen, poisjohtamiseen ja purkamiseen vaikuttavaa muuta fyysistä ympäristöä kuten luonnollisia purkautumisuomia, avo-ojia, pinnoitettuja alueita (talojen katot, tiet, parkkialueet), vettä pidättäviä ja imeyttäviä alueita (puistot, viipymäaltaat, viheralueet), sekä maastonmuotoja
- **Tehtävä.** Järjestelmän päätehtävä on hulevesien hallinta ja poisjohtaminen siten, ettei ihmisille, infrastruktuurille tai ympäristölle aiheudu haittaa

Mahdollisten pienten vikaantumisten rajaamiseksi ulos tarkastelusta määriteltiin myös se, mitä järjestelmän merkittäväällä häiriöllä tarkoitetaan. Häiriöllä tarkoitetaan tilaa, jossa



- talousveden toimitus asiakkaille katkeaa ennalta varoittamatta tai talousveden laatu ei täytä vaatimuksia
- jätevedenpuhdistamon ympäristöluvassa määritellyt päästötasot ylittyvät tai
- talousvesi-, jätevesi- tai hulevesijärjestelmässä esiintyvä muu virhe aiheuttaa taloudellisia vahinkoja vähintään 10 000 €:n arvosta, henkilövahinkoja vähintään lääkärintarkastusta vaativalla tasolla, tai lähiympäristön pilaantumista

Tässä esitetyt määrittely ja rajaukset toimivat hankkeessa lähtökohtana ilmastoriskien järjestelmällisessä tarkastelussa. Järjestelmällinen tarkastelun kannalta keskeinen elementti on järjestelmien osien tunnistaminen. Seuraavassa taulukossa (taulukko 2) on esitetty osajärjestelmien tunnistetut osat.

Taulukko 2 Porvoon vesijärjestelmien osalista

TALOUSVESIJÄRJESTELMÄ Vedenottamo (teko)pohjavesilähde kaivot pumppaamo Käsittely suodatus ph:n säätö desinfiointi Vedenjakelujärjestelmä putket (katuvesijohdot, tonttijohdot, muut?) venttiilit (sulku-, ilmanpoisto-, tyhjennys- ja paineenalennusventtiilit?) palopostit vesipostit laitteiden sijaintia osoittavat merkkikilvet vesimäärä- ja paineenmittauslaitteet vesisäiliöt (ylä- ja alavesivarastot) paineenkorotus/säätöasemat JÄTEVESIJÄRJESTELMÄ Viemäröinti tonttijohdot katuviemärit kokoojaviemärit pumppaamot paineviemärit tarkastuskaivot ja -putket hulevesikaivot (sekaviemäri) Jäteveden puhdistamo välppäys rasvan ja hiekan erotus kemikalisointi etuselkeytys ilmastus jälkiselkeytys lietteen käsittely Puhdistetun jäteveden johtaminen vesistöön putki	HULEVESIJÄRJESTELMÄ Huleveden johtaminen avorakenteilla (katot, tontit, kadut, viheralueet, luonnolliset uomat) avorakenteet Huleveden pidättäminen tonteilla pidättäminen yms. Kerääminen hulevesikaivot hulevesiviemärit sekaviemärit avouomat Huleveden imeyttäminen imeyttäminen tonteilla kosteikot Huleveden johtaminen vastaanottavaan vesistöön putki avo-oja pumppaamot (alikuluisia) MUUT INFRASTRUKTUURIT sähkö tietoliikenneyhteydet ja viestintäjärjestelmät kulkuyhteydet (tiet)
---	---

4. Riskien tunnistaminen ja priorisointi

Hankkeen seuraavassa vaiheessa fokus suunnattiin häiriöiden¹⁵ tunnistamiseen ja priorisointiin riskikäsitteen avulla (Ilmasto-KIHA menetelmän vaiheet 4 ja 5). Riski muodostuu vikaantumisen vaikutusten ja todennäköisyyden tulosta. Toisin sanoen, jokaisen tunnistetun vikaantumisen kohdalla arvioidut vaikutukset taloudellisesta, ympäristö- ja henkilövahinkonäkökulmasta lasketaan yhteen ja kerrotaan todennäköisyydellä. Nämä muodostavat riskin, jota on käytetty perusteena vikaantumisten priorisointiin.

Järjestelmän häiriöt tunnistettiin käymällä järjestelmällisesti läpi järjestelmän osat ja vertaamalla niitä ilmastomuutoksen voimistamiin konkreettisiin aiheuttajiin. Ensimmäisessä vaiheessa tarkasteltiin sitä, millaisen vikaantumisen kukin aiheuttaja voisi kussakin järjestelmän osassa aiheuttaa. Toisessa vaiheessa arvioitiin vikaantumisen vaikutuksia taloudelliselta (kaupungin talouden näkökulmasta), henkilövahinkojen ja ympäristövahinkojen näkökulmasta.

Seuraavassa taulukossa (taulukko 3) on esitetty vaikutusluokat, joiden kautta vikaantumisten erityyppisiä (talous, henkilö, ympäristö) vaikutuksia arvioitiin. Vaikutusluokkien alustava määrittely tehtiin työn käynnistyessä mutta viimeisteltiin iteratiivisesti ja tarkentaen työn aikana. Näin ollen varmistetaan että erilaisten häiriötilanteiden riskeille saadaan kussakin tarkastelussa tarvittavaa erottuvuutta¹⁶.

Taulukko 3 Vaikutusluokan määrittely

Vaikutusluokan määrittely			
	Taloudelliset vaikutukset	Ympäristövaikutukset	Henkilövaikutukset
1 pieni	alle 10 k€	Haitta pienellä alueella, palautuminen ei vaadi erityistoimenpiteitä	Lääkärissä käynti, lyhyt sairasloma muutamalle
2 kohtalainen	10-100 k€	Haitta pienellä alueella, palautuminen vaatii toimenpiteitä	Pidempi sairasloma/sairaalahoit oa muutamalle tai edellinen usealle
3 suuri	100-1000 k€	Ympäristön turmeltuminen lähialueella (< 1 ha), mittavia toimenpiteitä palautumiselle	Pysyvä haitta muutamalle tai edellinen usealle
4 erittäin suuri	1-10 M€	Ympäristön turmeltuminen laajalta alueelta (> 1 ha) 2-10 v ajaksi, mittavia toimenpiteitä palautumiselle	Kuolemantapauksia tai edellinen usealle
5 katastrofaalinen	yli 10 M€	Ympäristön turmeltuminen laajalta alueelta (> 1 ha) yli 10 v ajaksi tai pohjaveden pilaantuminen, mittavia toimenpiteitä palautumiselle	Useita kuolemantapauksia

Vikaantumisia tunnistettiin ja arvioitiin luvussa 2.3 esitettyjen konkreettisten säätelijöiden kautta sekä toisaalta myös säätelijöille herkkien yhteisten infrastruktuurien kautta, kuten

¹⁵ Puhuttaessa järjestelmän häiriöstä tarkoitetaan konkreettisemmin jonkin osan vikaantumista. Tekstissä järjestelmän häiriötä ja vikaantumista käytetään osittain synonyymeinä.

¹⁶ Jos esimerkiksi taloudellisten vaikutusten luokkavälit ovat liian suuria, asettuu suurin osa häiriötilanteiden vaikutuksista tiettyyn luokkaan, jolloin luokan alarajan lähellä olevat häiriötilanteet eivät erotu luokan ylärajan lähellä olevista tilanteista.



esimerkiksi sähkön saanti ja liikenneyhteydet. Vikaantumisen todennäköisyys vastaa siten vikaantumisen aiheuttajan, eli kyseisen säätelijän, esiintymistodennäköisyyttä. Seuraavassa taulukossa (taulukko 4) on esitetty hankkeessa käytetty todennäköisyysluokittelu.

Taulukko4. Vikaantumisen esiintymisen todennäköisyysluokittelu

Tn-luokka	
1	alle 1/100 v
2	1/20-1/100 v
3	1/3-1/20 v
4	1/1-1/3 v
5	yli 1/v

Riskien tunnistamista ja arviointia koskevaan työhön osallistui Porvoon kaupungin maankäytön suunnittelun ja kuntatekniikan sekä Porvoon Veden asiantuntijoita (katso Liite 1). Työryhmän keskustelun kautta syntyi priorisoitu lista yli 20:sta ilmastomuutoksen riskeistä Porvoon vesijärjestelmissä, joista taulukossa 5 on esitetty 16 priorisoitua riskiä. Listassa riskikohtainen todennäköisyys on arvioitu aiheuttajan esiintymistiheyden perusteella Gaian asiantuntijoiden toimesta vertaamalla aiheuttajalistassa (taulukko 1) esitettyjä viitteellisiä arvoja koettuihin ja ilmastoskenaarioiden perusteella odotettavissa oleviin arvoihin. Taloudelliset, henkilö- ja ympäristövaikutukset on arvioitu Porvoon kaupungin ja Porvoon Veden asiantuntijoiden toimesta. Riskisumma muodostuu todennäköisyyden ja vaikutussumman tulosta.

Tarkasteltaessa aiheuttajia, voidaan todeta että kokonaisuudessa keskilämpötilan asteittainen nouseminen (noin 1,3-2,5C) tai sademäärien keskimääräinen kasvu (noin 4-9%) vuosisadan puoliväliin mennessä ei välttämättä ole vesijärjestelmän kannalta kriittinen tekijä¹⁷. Näihin erottamattomasti liittyvä merkittävämpi tekijä on äärevien sääilmiöiden lisääntyminen (mm. voimakas rankkasade, voimakasateinen jakso, voimakas myrskytuuli, kuivuus), joille vesijärjestelmä on huomattavasti haavoittuvaisempi. Tulvat, erityisesti meritulvat muodostavat erään keskeisen riskitekijän Porvoossa jo nykyilmastossa ja voidaan arvioida ilmastomuutoksen lisäävän tämän riskitekijän merkittävyyttä.

Tarkasteltaessa hankkeessa priorisoituja riskejä voidaan todeta että kaikkiin vesijärjestelmän osiin kohdistuu tulevaisuudessa voimistuvia ilmastoriskejä – mikään yksittäinen kolmesta osajärjestelmästä (talousvesijärjestelmä, hulevesijärjestelmä tai jätevesijärjestelmä) ei siten nouse esiin muita merkittävämpänä riskien pääkohteena. Jätevesipuolella priorisoidut riskit kohdistuvat kaikkiin pääpumppaamoihin sekä kokoojaviemäriin. Talousvesijärjestelmässä riskit kohdistuvat niin pohjavesilähteisiin, kaivoihin kuin verkoston automaation valvontaan. Hulevesipuolella hulevesikaivojen lisäksi tunnistettiin avorakenteita sekä putkia, joihin kohdistuu priorisoituja ilmastoriskejä. Kaikki tunnistetut riskit (ml. todennäköisyydet ja vaikutukset luokittain) on esitetty kootusti Liitteessä 4.¹⁸

¹⁷ Muilla sektoreilla, esim. metsä ja maataloudessa tai energiasektorilla keskilämpötilan nouse tai keskimääräisen sademäärän kasvu saattaa laukaista merkittäviä muutoksia esim. kasvuolosuhteissa ja lajistoissa tai tuotannontekijöissä ja rakenteissa.

¹⁸ Riskien vaikutuksia tarkasteltiin edellä mainitun lailla taloudellisesta, ympäristö- ja henkilövahinkonäkökulmasta. Riskitarkastelun aikana todettiin joidenkin vikaantumisten aiheuttavan (useat talousvesijärjestelmän riskit) katkoja talousvesihuoltoon siten, että henkilövahinkoja ei synny, mutta kaupungin asukkaiden arki voi vaikeutua huomattavasti talousveden toimituksen katketessa. Nämä vaikutukset eivät ole suoranaisia taloudellisia, ympäristö- tai henkilövahinkoriskejä vaan enemmänkin vesihuoltotoiminnan laatuindikaattoreita, joten niitä ei sisällytetty riskinarviointiin. Vastaavasti jossain erityistilanteissa tapahtuva puhdistamattomien jätevesien lyhytaikainen johtaminen jokeen tai mereen ei aiheuttanut käytetyllä luokittelulla



Näiden kolmen osajärjestelmän lisäksi tarkastelu paljastaa myös ns. yhteisiin järjestelmiin (erityisesti sähköjärjestelmät, kommunikaatio) kohdistuvia ilmastoriskejä. Näin ollen sopeutumistoimissakaan ei voida päähuomiota kiinnittää vain yhteen osajärjestelmään vaan ratkaisujen on otettava huomioon vesijärjestelmän riskit kokonaisuudessaan (katso luku 5). Taulukossa 5 esitetyt priorisoidut riskit (kohteet 1-16), on kootusti esitetty taulukkoa seuraavilla kartoilla 1-3.



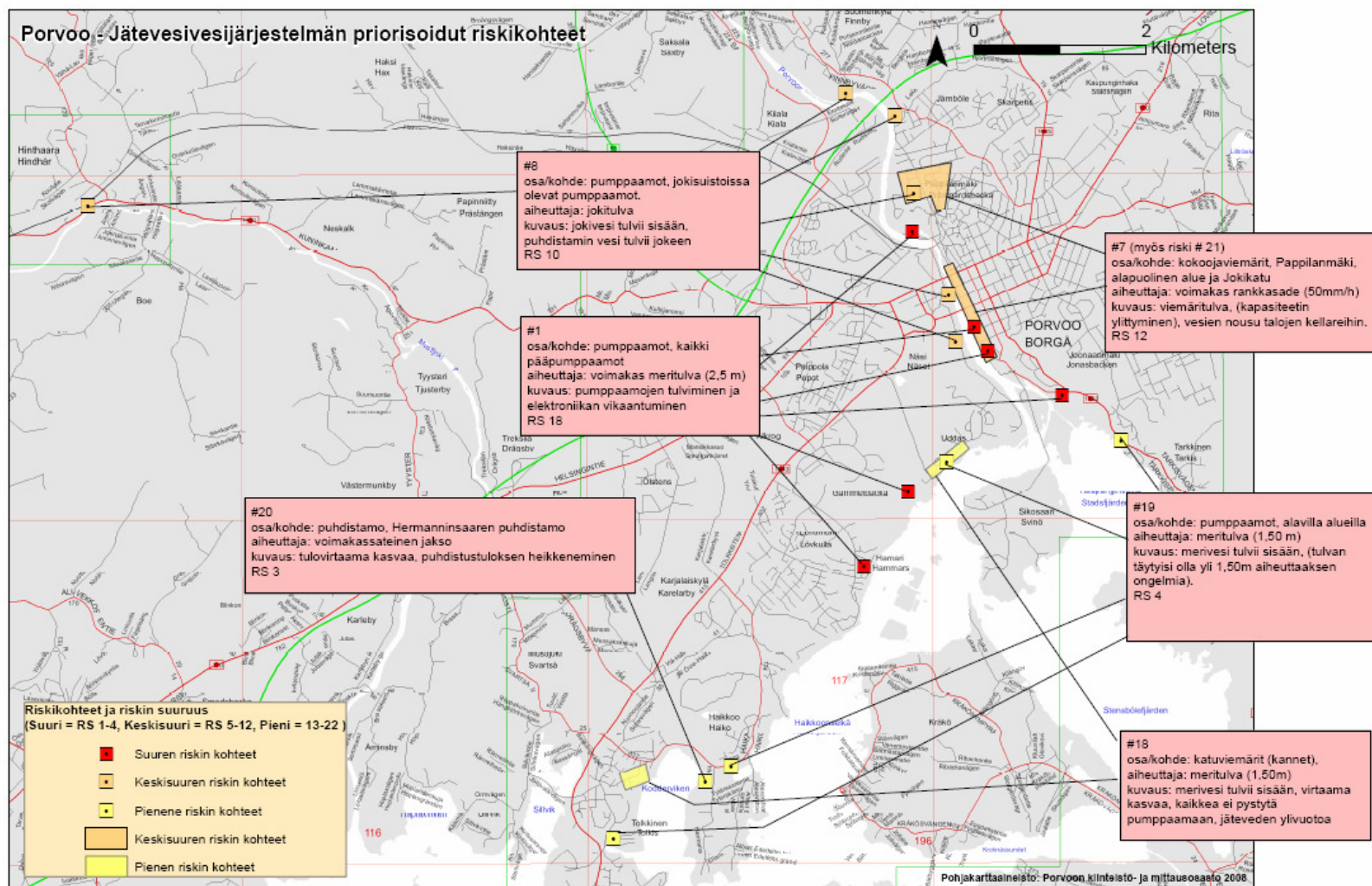
Taulukko 5. Porvoon vesijärjestelmien priorisoitu riskilista

vikaantumisen nro	järjestelmä	OSA	AIHEUTTAJA	KUVAUS	ENSISIJAINEN KOHDE	riskisumma
1	jätevesi-järjestelmä	pumppaamot	voimakas meritulva (2,50)	elektroniikka vikaantuu, pumppaamot pysähtyvät ja tulvivat (sisään)	kaikki pääpumppaamot	18
2	talousvesi-järjestelmä	pohjavesilähde	voimakassateinen jakso ja rankkasade (25 mm/h)	(hulevesi) pintaveden pääsy pohjavesilähteeseen ja lähteen lyhytkestoinen pilaantuminen	kaikissa pohjavesilähteissä	16
3	talousvesi-järjestelmä	pohjavesilähde	voimakassateinen jakso	(joki)pintaveden pääsy pohjavesilähteeseen ja lähteen lyhytkestoinen pilaantuminen	Kerkkoon pellolla oleva kaivo, mahdolliset muut kaivot	16
4	talousvesi-järjestelmä	pohjavesilähde	voimakas meritulva (2,50m)	meritulvien nousu harjua vasten ja meriveden suotautuminen pohjaveteen (jo lyhytaikainen 1,70 m tulva aiheutti muutoksia veden sameuteen ja happipitoisuuteen muttei vielä vaikuttanut muuten)	Sannaisten vedenotto, korkeusasemaa, kaivoalue 3,5-4 metrin korkeudella, pelto merelle päin on noin 1 metrin korkeudella, ranta nousee kaivoa kohti, mikä on kriittinen kohta/korkeus/aika sille, että merivesi suotautuu pohjaveteen. Laatu muuttuu, mutta palautuu itsestään jonkin ajan kuluessa	16
5	yhteiset järjestelmät	sähkö	voimakas myrskytuuli	Ilmastus pysähtyy, 4-5 tunnin päästä bakteerikanta heikkenee, välppäys loppuu jolloin altaiisiin pääsee kiintoainesta	qv-puhdistamo	15
6	hulevesi-järjestelmä	hulevesikaivot	rankkasade (25 mm/h)	lehtikeli, rankkasade kuljettaa lehtiä/soraa tms., mikä tukkii kaivojen kannet, syntyy tulva. (voi viedä pihan mukanaan tai tulvia sisään)	Useita mahdollisia. Ongelma korostuu paikoissa, joissa katujen muodot ovat notkelmanomaisia ja taloja vieressä	12
7	jätevesi-järjestelmä	kokoajaviemärit(sekaviemärit)	voimakas rankkasade (50 mm/h)	viemäritulva (kapasiteetin ylittyminen), vesien nouseminen talojen kellareihin	Pappilanmäki ja sen alapuolinen osa, pappilanpelto. Jokikadun alue. Mahdollisesti lisäksi muut alavat alueet, verkoston alaosa ja alimmat paikat	12
8	jätevesi-järjestelmä	pumppaamot	jokitulva (ei vaikutuksia toistaiseksi koetuilla tulvilla. jääpatojen aiheuttama tulviminen voi aiheuttaa myös)	jokivesi tulvii sisään, puhdistamaton vesi tulvii jokeen	jokisuistossa olevat pumppaamot ja esim. Hinthaara (nämä ovat suurelta osin samat kuin meren pinnan noususta kärsivät pääpumppaamot)	10

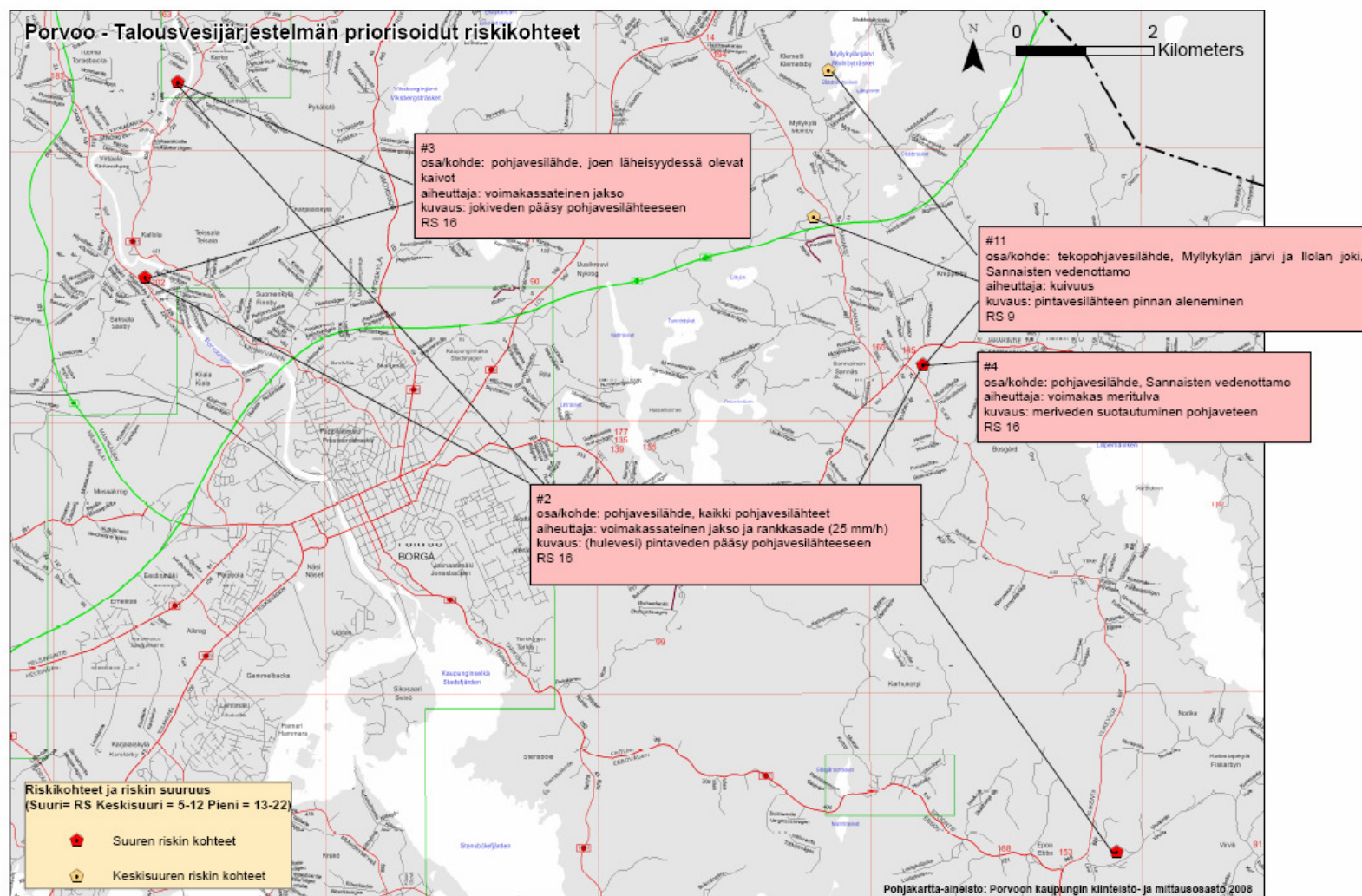


9	hulevesi-järjestelmä	hulevesikaivot	rankkasade (50 mm/h)	lehtikeli, rankkasade kuljettaa lehtiä/soraa tms., mikä tukkii kaivojen kannet, syntyy tulva. (voi viedä pihan mukanaan tai tulvia sisään)	Useita mahdollisia. Ongelma korostuu paikoissa, joissa katujen muodot ovat notkelmanomaisia ja taloja vieressä	10
10	hulevesi-järjestelmä	avorakenteet	rankkasade / voimakassateinen jakso	Avorakenteiden muodostama kokonaisuus. Alue ei kuivatu kunnolla. Matalat ojat ja sokkelit. Talot ei kuivatu kunnolla. Alueen korkeusvaihtelu noin metrin sisällä. Alueen kiinteistöjen järjestelmät eivät oikein kunnossa.	Gammelbacka ja Hamari	9
11	talousvesi-järjestelmä	(teko)pohjavesilähde	kuivuus	pintavesilähteen (Myllykylän järvi) pinnan aleneminen säännöstelyrajan alapuolelle, vedenotto estyy ja samalla joen pinnan laskusta johtuva pohjaveden purkautuminen jokeen, joka edelleen alentaa pohjaveden pintaa	Myllykylän järvi ja Ilolanjoki, Sannaisten vedenottamo	9
12	yhteiset järjestelmät	sähkö	kova hellejakso tai ukkonen	Verkoston automaatio/valvonta, elektroniiikan vikaantuminen kuumuudesta tai salaman vaikutuksesta	kaikki laitokset ja pumppaamot	8
13	hulevesi-järjestelmä	Putki (vastaanottavaan vesistöön)	rankkasade (25 mm/h) + joen pinnan/merenpinnanousu noin 1,20 metriin	Verkostosta tulee paljon vettä. Vastapaine joesta. Kapasiteetti ei riitä jokeen johtamiseen. Vesi nousee kaivon kansista Jokikadulle.	Jokikatu	6
14	jätevesi-järjestelmä	kokoojaviemärit(sekaviemärit)	voimakas rankkasade (50 mm/h)	viemäritulva (kapasiteetin ylittyminen)	Alavat alueet, verkoston alaosa ja alimmat paikat	6
15	yhteiset järjestelmät	sähkö	voimakas myrskytuuli	vedenottamoiden sähkökatko 12-24h, vedenottamot pysähtyvät, vesi loppuu noin 8 tunnin katkoksen jälkeen, mutta Linnanmäen vesi riittää, joka tosin laadultaan huonompaa	kaikki vedenottamot Linnanmäkeä lukuun ottamatta	6
16	yhteiset järjestelmät	sähkö	voimakas myrskytuuli	Askolan paineviemärin pumppaamojen sähkökatko 12-24h	Askolan paineviemärin pumppaamojen sähkökatko 12-24h	6
17	yhteiset järjestelmät	sähkö	meritulva (2,5m)	matalalla sijaitsevien jv-pumppaamojen sähkökatko useammaksi päiväksi	matalalla sijaitsevat jv-pumppaamot	6

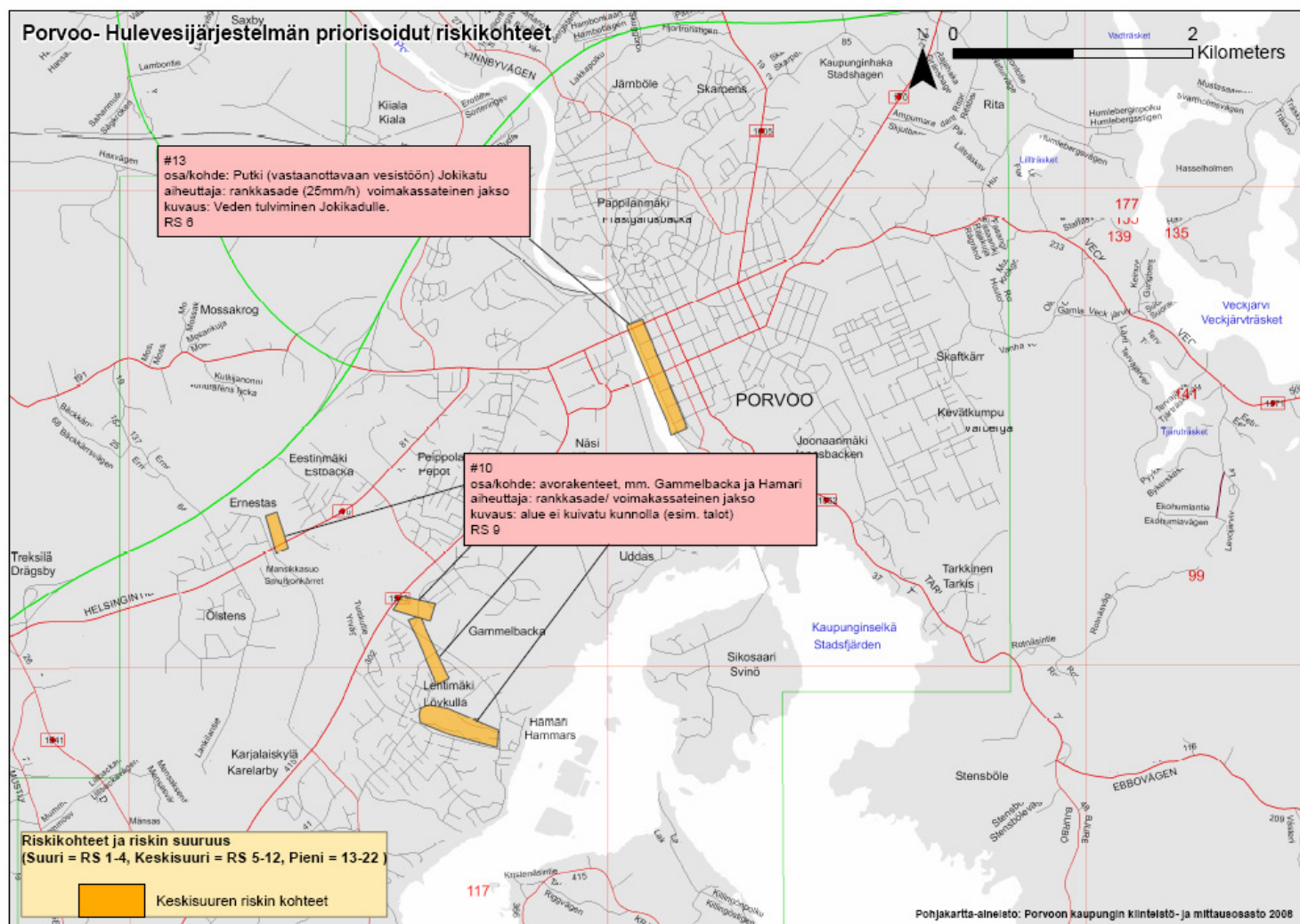
Kartta 1. Jätevesijärjestelmän priorisoidut riskikohteet.



Kartta 2. Talousvesijärjestelmän priorisoidut riskikohteet.



Kartta 3. Hulevesijärjestelmän priorisoidut riskikohteet.



5. Sopeutumistoimien tunnistaminen suurimmille riskeille ja sopeutumistoimien arviointi

Perustuen hankkeessa tuotettuun priorisoituun riskilistaan, työn viimeisessä vaiheessa tunnistettiin sopeutumistoimia suurimmille riskeille sekä arvioitiin näiden toimien toteutettavuutta (Ilmasto-KIHA menetelmän vaiheet 6 ja 7). Vaihe toteutettiin työpajatyöskentelyllä Porvoon kaupungin ja Porvoon Veden asiantuntijoiden toimesta Gaian asiantuntijoiden ohjauksessa.

Sopeutuminen voi tapahtua monilla eri tavoilla ja sen toteuttaminen voi edellyttää esim. teknologisia muutoksia, muutoksia suunnittelu- ja käyttämismalleissa tai erinäisiä politiikkatoimenpiteitä. Työpajassa tunnistettiin riskikohtaisia sopeutumistoimia keskittyen suurimpien riskien pienentämiseen tai poistamiseen. Riskikohtaisia sopeutumistoimia tunnistettaessa käytettiin hyväksi seuraavaa tarkistuslistaa, jossa on tyypitelty sopeutumistoimia.

- Rakenteen parantaminen (esim. rakenteiden mitoitus, tiivistämiset, erilaiset tekniset parannukset, suunnitteluvaiheen parannukset)
- Kahdentaminen (esim. laitteet)
- Hajauttaminen (esim. laitteiden tai toiminnan hajautus; hulevesien pidättämisen hajautus valuma-alueelle)
- Varatoiminnot (esim. varalaitteet, sopimuksin urakoitsijoilta tms. varatut resurssit)
- Valvonta ja suojaukset (esim. järjestelmän kaukovalvonta)
- Osaamisen parantaminen (esim. tulvariskiosaamisen lisääminen toimijoiden keskuudessa)
- Ulkoinen tiedottaminen (esim. rakentajien opastaminen jne.)
- Huollon tehostaminen (esim. lehtikelin kaivojen kansien puhtaanapito tms.)

Lisäksi hyödynnettiin Vesihuollon erityistilanteet ja niihin varautumien -julkaisun¹⁹ keskeisiä sopeutumislinjauksia:

- Viemäriin johdettavien hulevesien vähentäminen
 - o Vettä läpäisemättömien pintojen minimointi, yhtenäisten läpäisemättömien pintojen välttäminen, kasvillisuuden säilyttäminen, luonnonuomien säilyttäminen, imeyttäminen
- Hulevesien huippuvirtaamien tasaaminen
 - o Imeytyskaistat ja -altaat, viivytysaltaat, painanteet ja suodatinkaistat.
- Hulevesiverkoston ennaltaehkäisevät kunnossapitotoimet
 - o Viemäriinjojen tarkkailu, välppien ja ylivuotorakenteiden tarkkailu, linjojen huuhtelu, lumen ja jään poistaminen, hulevesiviemärikaivojen kansistoilta sekä muu puhdistus ja esteiden poisto
- Asukkaiden/kiinteistönhaltijoiden tilanteen mukaiset torjuntatoimet
 - o Kiinteistön viemäreiden tukkiminen, lattiakaivojen takaisinvirtauksen estämisen, pumppujen hankinta ja käyttö, ja tilapäisten suojausrakenteiden rakentaminen
- Jätevesiviemäreiden ylivuotojen tulppaus

¹⁹ Vikman, Hannu ja Anna Arosilta (toim.) 2006. Vesihuollon erityistilanteet ja niihin varautuminen, ympäristöopas 128. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=50713&lan=fi>

Riskikohtaiset sopeutumistoimet ja sopeutumistoimien arvioidut kustannukset on esitetty koko laajuudessaan Liitteessä 5. Seuraavassa on nostettu esiin muutamien keskeisimpien riskien sopeutumistoimet sekä yleiset sopeutumistoimet, joilla on merkitystä useammille riskeille

Koskien jätevesijärjestelmää, poikkeukselliset meritulvat muodostavat keskeisen riskin. Hankkeessa tunnistettiin mm. seuraavia sopeutumistoimia jätevesijärjestelmän pääpumppaamojen suojaamiseksi meritulvaa vastaan:

- Sähkösyötöt ym. vesitiiviiksi 2,5 metriin asti, sähköpuoli tulee suojatuksi. Tämä ei estä tulvimista, mutta lyhentää tulvatilanteen aiheuttaman häiriön tulvan keston mittaiseksi säästäessä laitteet vaikeammalta vikaantumiselta. Alustava kustannusarvio 100 - 300 k€.
- Tulvavallien rakentaminen tai koko pumppaamon nostaminen ylemmäksi. Saneerattavat pumppaamot nostetaan ylemmäksi. Haasteena tässä toimenpiteessä on ympäristöön sopeuttaminen. Kaikkien pumppaamoiden kohdalla toimenpidettä on mahdotonta tehdä, mutta yksittäisten kohdalla saneeraus tai uudelleen rakentaminen maksaa noin 50 - 100 000 €. Tulevaisuuden saneerauksien yhteydessä on huomioitava tulvariskit, jolloin suojaamisesta ei suuria lisäkustannuksia.
- Tilapäinen hiekkasäkkimuuri ja pumppauskalusto. Tämän toteuttaminen on suunniteltava tarkemmin, niin välineet ja tekijät. Kustannukset alustavan arvion mukaan noin 100 000 €

Koskien talousvesijärjestelmää, ilmastonmuutoksen vaikutukset pohjavesilähteisiin muodostavat erään priorisoidun riskin, mutta kustannukset riskin vähentämiseksi näyttävät olevan huomattavasti alhaisemmat kuin esim. jätevesipuolella. Hankkeessa tunnistettiin mm. seuraavia sopeutumistoimia:

- Kaivon tilapäinen ottaminen pois käytöstä. Ei ylimääräisiä kustannuksia.
- Kloorauksen käyttöönotto, jos pilaantumista havaitaan. Voimakassateisen jakson aikana tiivistetty vesinäytteiden otto ja tiedotus. Kustannukset kokoluokkaa noin 10 000 €.
- Suojavallin rakentaminen tai tilapäiset vedenottoaikojen rakentaminen tarpeen mukaan. Kustannusarvio noin 100 000 €.
- Merkittävänä tulevaisuuden toimenpiteenä tuotiin esille alueellisen talousvesijärjestelmän toteutettavuuden selvittäminen ja mahdollinen toteuttaminen. Yhteishankkeella voidaan muun muassa monipuolistaa vedenhankinnan lähteitä ja vähentää siten mahdollisten vikaantumisten aiheuttamia vaikutuksia.

Koskien hulevesijärjestelmää havaittuihin ilmastonmuutoksen riskeihin voidaan sopeutua mm. varmistamalla kunnossapidon tehokkuus ja säätietoihin perustuva ennakoiva toteutus. Kustannusten osalta kyseeseen tulevat suhteellisen halvat toimenpiteet. Hulevesien hallinnan ja ilmatoriskien vähentämisen kannalta maankäytön suunnittelun, vesihuoltotekniikan sekä kuntatekniikan yhteistyö nousee keskeiseksi sopeutumiskeinoksi, jonka avulla voidaan vaikuttaa hulevesien määrään ja luoda edellytyksiä hulevesien viivyttämiseen. Porvoossa yhteistyö vaikuttaa olevan jo hyvällä tasolla, mutta hulevesikokonaisuuden hallintaan liittyviä tiedonvaihdon ja yhteissuunnittelun prosesseja on edelleen mahdollista kehittää²⁰.

²⁰ Esimerkin hulevesien hallinnan yhteissuunnittelua vahvistavasta keinosta, hulevesien hallinnan yleissuunnitelmasta, on esitetty seuraavassa: Lonka ja Nikula (2008), s. 49
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=281185&lan=fi>

Kokonaisuutena ilmatoriskien hallinnan yhteydessä on myös kiinnitettävä erityistä huomiota sähkönsaannin ja varavoiman turvaamiseksi. Käytännössä tämä voi edellyttää oma dieselgeneraattorin hankkimista, jota olisi mahdollista tarvittaessa poikkeustilanteissa hyödyntää myös vedenottamoilla. Lisäksi on huomioitava hulevesiolosuhteita muutettaessa se, mitä vesilaissa määrätään toisen ojaan johdettavista vesistä. Vesilaista voi johtua, että mahdollisesti tiivispintaisten uusien alueiden vaikutukset hulevesivirtaamiin ja siten alapuolisten ojien vesiolosuhteisiin johtaa muutoksen aiheuttajan velvollisuuteen korvata mahdolliset vahingot tai vastata tarvittavien parannusten kustannuksista²¹.

6. Johtopäätökset

Ilmastomuutoksen vaikutukset tulevat lähivuosikymmeninä voimistumaan ja edellyttävät hillintätoimenpiteiden lisäksi myös ennakoivia sopeutumistoimia. Suuri osa käytännön sopeutumistoimista tullaan toteuttamaan paikallisella tasolla ja tämä tulee edellyttämään päätöksetöntekoa tukevan osaamisen vahvistamista eri tavoin

Tässä hankkeessa on tarkasteltu Porvoon vesijärjestelmiin kohdistuvia riskejä, nykyisen ilmaston luontaisen vaihtelevuuden myötä riskejä mutta erityisesti ottaen huomioon arvioidut muutokset ilmastossa ja sen keskeisissä muuttujissa vuosisadan puoliväliin mennessä. Vuoteen 2050 mennessä arvioidaan keskilämpötilan Suomessa nouseva 1,3 -2,5 C astetta ja keskimääräisten sademäärien kasvavan 4-9 %. Ilmastomuutoksen kiihtyminen tulee näkymään myös mm. rankkasateiden ja kuivien kausien muutoksissa, äärevien sääilmiöiden yleistymisessä. Erityinen haaste Porvoon osalta tulee myös olemaan merenpinnan tason muutos, joka yhdessä muiden ilmastomuuttajien kanssa voi vaikuttaa meritulvien voimakkuuteen ja toistuvuuteen.

Hyödyntäen kansallisen ilmastomuutoksen sopeutumisen tutkimusohjelman (ISTO) puitteissa 2006–2007 kehitettyä Ilmasto-KIHA -menetelmää tunnistettiin kyseisten ilmatoriskien vaikutuksia kaupungin talousvesijärjestelmään, jätevesijärjestelmään sekä hulevesijärjestelmään. Kussakin järjestelmässä voidaan tunnistaa osia ja osajärjestelmiä, jotka ovat erityisen haavoittuvaisia ilmatoriskeille. Kaiken kaikkiaan tunnistettiin yhteensä 23 riskiä, joiden ympäristö, taloudellisia sekä henkilöriskejä arvioitiin tiiviissä yhteistyössä Porvoon asiantuntijoiden kanssa.

Jätevesipuolella priorisoidut riskit kohdistuvat kaikkiin pääpumppaamoihin sekä kokoojaviemäreihin. Talousvesijärjestelmässä riskit kohdistuvat niin pohjavesilähteisiin, kaivoihin kuin verkoston automaation valvontaan. Hulevesipuolella hulevesikaivojen lisäksi tunnistettiin avorakenteita sekä putkia, joihin kohdistuu priorisoituja ilmatoriskejä.

Mikään yksittäinen kolmesta osajärjestelmästä (talousvesijärjestelmä, hulevesijärjestelmä tai jätevesijärjestelmä) ei nouse hankkeessa esiin, yksittäisenä muita merkittävämpänä riskien pääkohteena. Kolmen osajärjestelmän lisäksi tarkastelu paljasti myös ns. yhteisiin järjestelmiin (erityisesti sähköjärjestelmät, kommunikaatio) kohdistuvia ilmatoriskejä. Näin ollen sopeutumistoimissakaan ei voida päähuomiota kiinnittää vain yhteen osajärjestelmään vaan ratkaisujen on otettava huomioon vesijärjestelmän riskit kokonaisuudessaan.

²¹ Vesilaki 264/1961 ja Lonka ja Nikula (2008), s. 26
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=281185&lan=fi>



Koskien jätevesijärjestelmää, poikkeukselliset meritulvat muodostavat keskeisen riskin, jolle tunnistettiin mm. tulvavalleihin, pumppauskalustoon sekä sähkösyötön vesitiiviyyteen liittyviä sopeutumistoimenpiteitä. Talousvesijärjestelmän osalta laatuksiteerit täyttävän talousveden toimittaminen kuluttajille ilmastomuutoksen kiihtyessä tulee edellyttämään entistä tiiviimpää laadun seuranta, kaivojen tilapäisiä sulkemisia ja/tai tilapäisten vedenottoaikkajen rakentamista. Koskien hulevesijärjestelmää havaittuihin ilmastomuutoksen riskeihin voidaan sopeutua mm. varmistamalla riittävät resurssit säätiötoihin perustuvaan ennakoivaan kunnossapitoon. Hulevesien hallinnan ja ilmastoriskien vähentämisen kannalta maankäytön suunnittelun, vesihuoltolaitoksen ja teknisen toimen yhteistyö nousee keskeiseksi sopeutumiskeinoksi, jonka avulla voidaan vaikuttaa hulevesien määrään ja luoda edellytyksiä hulevesien viivyttämiseen. Hulevesien tulvimisriskien vähentämiseksi tämä yhteistyö on erittäin tärkeää paitsi muuttuvan ilmaston mukanaan tuomien sääilmiöiden vuoksi myös taajaman hulevesiolosuhteita muuttavan tiivistyvän kaupunkirakenteen vuoksi. Kokonaisuutena ilmastoriskien hallinnan yhteydessä on jatkossa kiinnitettävä erityistä huomiota sähkönsaannin ja varavoiman turvaamiseksi.

Tässä hankkeessa tunnistetut sopeutumistoimet tarjoavat hyvin konkreettisia suosituksia Porvoon toimijoille priorisoitujen riskien hallitsemiseksi. Pääosa toimenpiteistä on kustannuksiltaan erittäin maltillisia (kokoluokkaa < 10 000 €.). Eräät kalliimmista toimenpiteistä on mahdollista integroida jo suunnitelmissa oleviin investointeihin TAI saneeraustöihin, luoden kustannustehokkaan keinon samanaikaisesti parantaa Porvoon vesijärjestelmien ilmastoriskien kestävyyttä.

Hankkeen perusteella voidaan todeta että yhteistyö vesijärjestelmän ilmastoriskien kannalta keskeisten toimijoiden välillä Porvoossa on hyvällä tasolla ja yksittäisiä ilmastoriskejä on jo aiemmin tunnistettu. Hankkeen välittömänä lisäarvona on ollut tuoda viimeisimmän ilmastotutkimuksen tulokset konkreettisella tasolla tarkasteltavaksi ja luoda siten pohjaa systemaattiselle ja kokonaisvaltaiselle ilmastoriskien tunnistamiselle sekä vaihtoehtoisten sopeutumistoimien arvioimiselle Porvoossa. Jo olemassa oleva hyvä yhteistyö hankkeeseen osallistuneiden Porvoon toimijoiden välillä mahdollisti riskien hallinnan tarkastelun ei pelkästään teknisenä riskianalyysinä, vaan eri toimijoiden yhteistoiminnan, toimintojen koordinoimisen ja tiedonkulun kehittämistarpeet huomioon ottavana tarkasteluna.

Monet tunnistetuista sopeutumistoimista voidaan nyt ottaa ennakoivasti huomioon maankäytössä ja esim. tulevien vesihuoltojärjestelmän saneerausten yhteydessä, ja näin ollen voidaan aikaansaada huomattavia kustannussäästöjä erillistoimenpiteisiin verrattuna (ks. luku 5). Hankkeessa nousi myös esiin kaupunkirakenteen kehittymisen ja maankäytön muutosten vaikutukset (mm. tiivistyvän kaupunkirakenteen vaikutukset) vesihuollon riskeihin. Esimerkiksi sen sijaan, että nojaututtaisiin tavanomaisiin vesihuoltoteknisiin ratkaisuihin vesiongelmien edessä, voi olla mahdollista löytää kustannustehokkaampia sopeutumiskeinoja vesihuollon, maankäytön suunnittelun ja kuntatekniikan yhteistoiminnasta. Samalla voidaan todeta, että varautuminen ilmastomuutoksen tulevien vuosikymmenten vaikutuksiin voi vahvistaa Porvoon kykyä sopeutua paremmin nykyilmaston vaihteluihin.

Hyödyntämällä menetelmää jatkossa itse ja päivittämällä uusimpien tutkimustulosten perusteella eri ilmastovaikutusten voimakkuutta ja/tai nopeutta, Porvoon edustajat voivat ennakoivasti vähentää ilmastoriskiä – tuottaen nopeasti ja käytännönläheisesti uutta tietoa päätöksentekonsa pohjaksi. Porvoon tapauksessa voidaan suositella jatkossa erityisesti meren pinnan nousuun ja meritulviin liittyvien riskikuvien systemaattista päivittämistä. Kansainvälinen ja kansallinen tutkimus tuottaa jatkuvasti uutta lisämateriaalia



ilmastonmuutoksen vaikutuksista merenpinnana tasoon, joka on yksi keskeinen huomioitava asia Porvoon kaupungin tulevaisuuden suunnittelussa.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksiin, muutosten voimakkuuteen ja nopeuteen liittyvät epävarmuudet tuovat lisähaasteen päätöksentekijöille, jotka joutuvat jatkossa ottaman huomioon ilmastonmuutoksen aiheuttamat uudet riskitekijät, joilla on vaikutuksia lähes kaikilla sektoreilla (mm. liikenne- ja energiainfrastruktuurit, kaupunkirakenne). Porvoossa toteutetun hankkeen fokuksessa olivat vesijärjestelmiin kohdistuvat ilmastoriskit mutta hankkeen tulokset voivat luoda laajemminkin pohjaa ilmastoriskien tunnistamiselle ja integroimiselle eri sektoreita koskevaan päätöksentekoon Porvoossa, samoin kuin muualla Suomessa.



Lähteet:

ACCLIM-hanke (meneillään) Sään ääri-ilmiöt nykyilmastossa ja uusimpiin mallikokeisiin perustuvat arviot ilmastomuutoksesta sopeutumistutkimuksia varten. Ilmatieteenlaitos ja Helsingin Yliopisto <http://www.ilmatieteenlaitos.fi/organisaatio/yhteys_92.html>

Carter, T.R. (toim.) (2007) Suomen kyky sopeutua ilmastomuutokseen: FINADAPT – Yhteenveto päättäjille (Suomen Ympäristö 1/2007) /Assessing the Adaptive Capacity of the Finnish Environment and Society Under a Changing Climate. SYKE/Finnish Environment Institute, Helsinki.

Geodeettinen laitos (2007) N2000 valtakunnallinen korkeusjärjestelmä. Korkeusjärjestelmät N2000 E2051 7/2007. Geodeettisen laitoksen julkaisu 136.

Halonen, M. Nikula, J. Vehviläinen, I. Raivio, T. & Hjelt M. (2007) Ilmasto-KIHA. Menetelmäkehitys ilmastoriskien arviointiin ja sopeutumistoimien priorisointiin. Loppuraportti.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007) IPCC Fourth Assessment Report WMO, Geneva.

IPCC (2007). Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers.

Johansson, M. M., Kahma, K. K., Boman, H. and Launiainen, J. (2004) Scenarios for sea level on the Finnish coast. Boreal Environmental Research 9: 153–166.
<<http://www.borenv.net/BER/pdfs/ber9/ber9-153.pdf>>

Karttunen, E. (1999) Vesihuoltotekniikan perusteet. Opetushallitus ja RIL, Helsinki.

Koivula H. (ei päivystä) Maankohoamisen tutkimusta satelliittipaikannuksen. Geodeettinen laitos. avulla. <http://spaceweb.oulu.fi/geofys03/pdf/No12_koivula_maankohoamisen_tutkimusta.pdf>

Kuvat L2.1 ja L2.2:
<http://www.fimr.fi/fi/tutkimus/meren_liikkeet/figure_finsken/fi_FI/keskiveden-vaihtelut/>

Lenton, T. M., H. Held, E. Kriegler, J. W. Hall, W. Lucht, S. Rahmstorf and H. J. Schellnhuber (2008) Tipping Elements in the Earth System, Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 105, 6: 1786-1793.

Lonka ja Nikula (2008). Maankäyttö ja kuntatekninen suunnittelu taajamien tulvariskien hallinnassa, Kaakkois-Suomen ympäristökeskuksen raportteja 1/2008,
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=281185&lan=fi>

Maanmittauslaitos (2007) Tietoa maasta. Maanmittauslaitoksen asiakaslehti 3/2007.

Merentutkimuslaitos (2008) Veden korkeuden pitkäaikaismuutokset.
<http://www.fimr.fi/fi/tutkimus/projektit/fi_FI/figure_finsken/>

Suomen ympäristökeskus (SYKE) (2008) Rankkasateet ja taajamatulvat (RATU) Suomen Ympäristö, SYKEN julkaisusarja. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=137437&lan=fi>>

Vikman H. & Arosilta A. (toim.) (2006) Vesihuollon erityistilanteet ja niihin varautuminen. Maa- ja metsätalousministeriö, Huoltovarmuuskeskus, Suomen ympäristökeskus, Helsinki.

LIITE 1 Hankkeen työpajat sekä hankkeeseen osallistuneet asiantuntijat.

Hanke toteutettiin maalikuu-kesäkuu 2008 välisenä aikana. Hankkeen aloitus sekä loppupalaverien lisäksi hankkeessa järjestettiin kaksi työpajaa, (14.4.2008 sekä 19.5.2008) jotka muodostavat Ilmasto-KIHA menetelmän soveltamisen, ryhmätyöpohjaiseen riskinarvioinnin ytimen (taulukko L1.1, hankkeen aikataulu)

Taulukko L1.1 Työvaiheiden aikataulu 2008

Työvaihe	maalis	huhti	touko	kesä
1: Työsuunnitelman tarkentaminen				
2: Kartoitus ilmastoriskeistä, riskien priorisointi				
3: Vaihtoehtojen sopeutumistien tunnistaminen ja				
4: Loppuraportointi				
tapaamiset: J = jory, T=työpaja	J	T	T	J

Työpajat valmisteltiin konsultin toimesta siten että Porvoon edustajille toimitettiin etukäteismateriaalia, joka työpajassa käsiteltiin ja kokouksen jälkeen toimitettiin osallistujille kommentoitavaksi ja tarkastettavaksi.

Työpaja I. Kartoitus ilmastoriskeistä, riskien priorisointi 14.4.2008

Työpajassa I käsitellyt pääteemat:

- Ilmasto-KIHA menetelmän yksityiskohtainen kuvaus (työvaiheet, määritelmät, rajaukset jne.)
- Ilmastonmuutoksen vaikutuksiin perustuva aiheuttajalista
- Vesijärjestelmien yksityiskohtainen kuvaus (järjestelmien yleiskuvaus ja tehtävät, osajärjestelmien rajausta ja tehtävät, osajärjestelmien keskeiset toiminnot, rakenteet ja kriittiset osat)
- Vikaantumisen seurauksien arviointi (vaikutusluokkien määrittely: taloudelliset, ympäristölliset ja henkilövaikutukset)

Työpaja II. Sopeutumistien tunnistaminen keskeisille ilmastonmuutoksen aiheuttamille häiriöille ja tunnistettujen sopeutumistien arviointi 19.5.2008

Työpajassa II käsitellyt pääteemat:

- Työpajassa I tunnistetun riskilistan verifiointi
- Vaihtoehtojen sopeutumistien tunnistaminen
- Sopeutumistien vertailu (vaikutukset, kustannukset/hyödyt)

Hankkeeseen osallistuneet Porvoon edustajat:

- Anne Rihtniemi-Rauh, kaavoittaja
- Maija-Riitta Kontio, yleiskaavoittaja
- Pekka Mikkola, kaavoittaja
- Mats Blomberg, Porvoon vesi, vesihuoltosinööri
- Klas Andersson, Porvoon vesi, verkostosuunnittelija
- Karl-Gustav Björkell, Porvoon vesi, johtaja
- Risto Lindblad, kaupunginsinööri
- Kari Hällström, katuosasto, suunnittelupäällikkö
- Hanna Linna-Varis, katuosasto, liikenneinsinööri
- Aki Tamminen, maanmittausteknikko (kartta-aineistot)

LIITE 2 Maan kohoaminen ja merenpinnan korkeus

Maankohoaminen

Maanpinnankorkeus muuttuu Suomessa maankohoamisen seurauksena, mikä vaikuttaa korkeusarvoihin sekä merenpinnankorkeuteen maanpintaan nähden. Maankohoaminen johtuu jääkaudenaikaisesta maan painumisesta jäätikön alla, jonka jälkeen jäätikön sulaessa n. 20000 vuotta sitten maanpinta alkoi kohota. Hitainta kohoaminen on Suomenlahden rannikolla ja nopeinta Perämerellä mistä jäätikkö sulii Suomessa viimeisenä. Maankohoamisen yksikkö on yleisesti mm/vuosi, joka mitataan suhteessa meren pintaan etenkin jos ollaan kiinnostuneita rannikkoalueista. Porvoossa maankohoaminen valtameren pinnan suhteen on noin 1.9 mm/ vuosi ja geodin suhteen noin 3.6 mm/vuosi (Merentutkimuslaitos, 2008). Yhä yleisemmin maankohoamista määritetään GPS-mittauksilla ja perinteisesti vaaitsemalla sekä mareografien avulla. Vaaitukset antavat maannousueroja geoidiin nähden (geoidi on merenpinnan kuvitteellinen jatke mannerten kohdalla) ja mareografihavainnot maannousun keskimerenpintaan nähden (Koivula, ei päiväystä).

Suomen kolme korkeusjärjestelmää sekä tuleva N2000 korkeusjärjestelmä

Suomessa maanpinnan korkeusarvot on taltioitu kansallisiin korkeusjärjestelmiin, (taulukko L2.1) joiden arvot on määritelty Helsingin keskivedenpinnan suhteen (Maanmittauslaitos, 2007). Maankohoamisesta johtuen Suomessa on tehty useita korkeusjärjestelmiä, joista yleisimmin käytössä kunnilla ja kansallisilla toimijoilla on tällä hetkellä N60. Korkeusjärjestelmän rakentamiseksi on käytetty tarkkavaaitusta, jolla seurataan korkeuksia, maankohoamista ja kohoamisnopeutta (taulukko L2.1). Suomen uusi korkeusjärjestelmä on N2000 ja sen tarkkavaaitus saatiin lopullisesti valmiiksi vuonna 2006 (Maanmittauslaitos 2007). Sen käyttöön ollaan siirtymässä lähitulevaisuudessa.

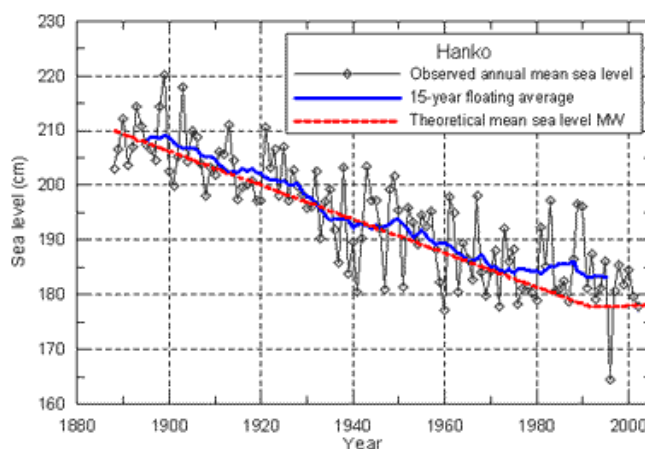
Taulukko L2.1 Korkeusjärjestelmät Suomessa (Geodeettinen laitos, 2007)

Tarkkavaaitukset ja korkeusjärjestelmät Suomessa			
Tarkkavaaitus	1. tarkkavaaitus 1892 – 1910:	2. tarkkavaaitus 1935 – 1975:	3. tarkkavaaitus 1978 – 2004:
Korkeusjärjestelmä	NN-Korkeusjärjestelmä (normaalinnolla)	N43- ja N60- Korkeusjärjestelmä	N2000- Korkeusjärjestelmä
Yleiskuvaus	Ensimmäinen valtakunnallinen korkeusjärjestelmä. Tie- ja vesirakennuslaitoksen toimesta.	N43 luotiin toisen tarkkavaaituksen aikana väliaikaiseksi järjestelmäksi Etelä-Suomeen. N60 otettiin käyttöön 2. vaaituksen valmistuttua.	Eurooppalaisen korkeusjärjestelmän yhtenäistämisen suomalaistoteutus. Vaaitusverkko on liitetty naapurimaiden verkkoihin (Norja, Ruotsi) sekä merenpintaan rannikkojen mareografien kautta
Käyttö	Käytössä vielä joissain kunnissa	N60 käytössä kunnilla yleisimmin (myös Porvoossa) N43 käytössä joissain kunnissa	Käyttöön lähivuosina
Mittaus	Mittaus mareografein rannikon ja Helsingin keskiveden suhteen	N60 Korkeudet vuoden 1960 mukaisia. Mitataan merenpinnankorkeuden keskiarvosta (geoidista). Noudattaa paremmin geoidia kuin NN tai 43N	Mittaukset vuoden 2000 mukaisia. Ero N60:een tulee olemaan n.13-43cm 40 vuoden maannoususta johtuen. GPS-mittauksia voidaan muuntaa käytettäväksi N2000:een

Merenpinnankorkeus

Kolme tärkeintä merenpinnankorkeuden pitkäaikaiskeskiarvoon (keskivesi, Mean Water) vaikuttavaa muuttujaa Suomen rannikolla ovat maankohoaminen, globaali valtameren pinnan muutos sekä Itämeren kokonaisvesimäärän vaihtelu eli vesibalanssi. Pitkäaikainen havaintosarja vuosilta 1887–2002 (Johansson et. al 2004, Merentutkimuslaitos 2008) osoittaa, että meriveden pinta on Itämeren Suomen rannikolla lineaarisesti laskenut suhteessa

rantaviivaan (Kuva L2.1 esimerkki tilastosta Hangossa). Trendin suuruus vaihtelee rannikon eri osissa johtuen maankohoamisnopeuksista sekä globaalista merenpinnan muutoksista (Merentutkimuslaitos, 2008). 1900-luvun kahden viimeisen vuosikymmenen aikana keskiarvot eivät kuitenkaan noudattaneet samaa lineaarisuutta, vaan keskiarvo on ollut korkeampi. Syynä viime aikojen poikkeamaan ovat muutokset Itämeren vesibalanssissa, joka voi kokonaisuudessa vaihdella jopa 370km^3 vuodessa, mikä käytännössä vastaa 1 metrin vedenkorkeusmuutosta. Tämä vaihtelu ei kokonaan tasoitu vuosi- eikä edes vuosikymmentasolla. Koska Itämeri on lähes suljettu merialue (semi-enclosed), pääasiallinen kokonaisvesitilavuuteen vaikuttava tekijä on veden vaihto Tanskan salmien kautta, johon vaikuttavat lähinnä sääolosuhteet - ilmanpaine ja tuulisuus - salmien alueella. Muilla tekijöillä, kuten jokivirtaamalla, sademäärällä ja suolaisuuden tai keskilämpötilan muutoksilla on vähäisempi vaikutus.” (Merentutkimuslaitos, 2008) Kuitenkin Porvoon kohdalla jokivirtaaman ja merenpinnan muutosten yhteis- ja erillisvaikutusta paikallisten tulvariskien kannalta on tärkeä pohtia. Porvoon merivedenkorkeuden tulevaisuuden estimointiin voi suuntaa antavasti käyttää tilastoja Helsingistä ja Haminasta siihen saakka, kun uusia tutkimustuloksia näiden kahden muuttujan suhteen on alueelta saatavilla.



Kuva L2.1. Veden korkeuden vuosikeskiarvotilasto Hangossa. Sisältää myös keskiveden (MW) (Merentutkimuslaitos, 2008).

Lyhytaikaisvaihtelu

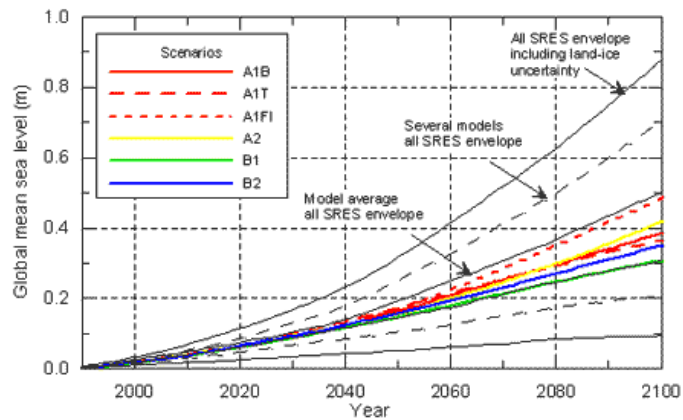
Merentutkimuslaitoksen mukaan ”Lyhytaikaisvaihteluiden taustatekijät eivät ole selvillä yhtä tarkasti kuin keskiveden tapauksessa. Tästä syystä skenaarioita niille ei voida laskea vastaavalla tavalla. Yksinkertainen tapa tulevaisuuden vaihtelujen estimointiin on 1900-luvun lineaarisen trendin ekstrapolointi eteenpäin. Kuten vuosimaksimien käyrän viime aikojen laskusta voi päätellä, tämä saattaa johtaa selkeään yliarviointiin korkeiden vedenkorkeusarvojen todennäköisyyksien suhteen” (Merentutkimuslaitos, 2008). Veden korkeuserot johtuen esimerkiksi säätekijöistä ja jokivirtaamasta yhteisvaikuttajina merenpinnan muutosten yhteydessä on kuitenkin tärkeää huomioida lyhyellä tarkastelujaksolla etenkin paikallisella kuten Porvoon tasolla.

2000-luvun skenaariot merenpinnan muutoksille

Merentutkimuslaitos on tehnyt Suomen rannikkoa koskevan sarjan merenpinnannousun skenaarioita 2000-luvulle. Tärkeimpiä huomioita Porvoon kannalta skenaarioissa on, että maannousu on hidasta Porvoon alueella ja merenpinnan keskikorkeuden muutos saavuttaa



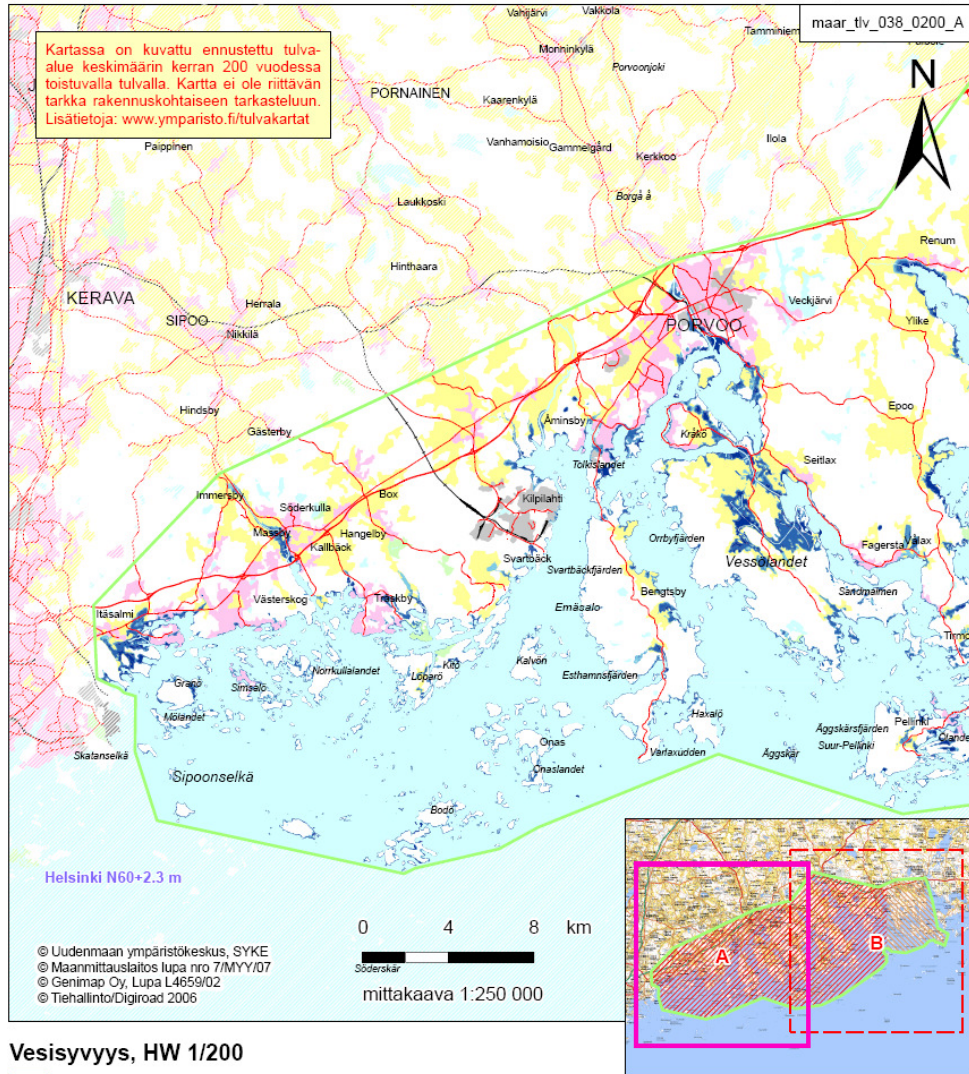
maankohoamista. Kuitenkaan mitään selkeää merenpinnan kohoamista verrattuna rantaviivaan ei ole todettu eli suhteellinen maankohoaminen säilyisi edelleen positiivisena merenpintaan nähden ainakin 2050 asti, jonne saakka tämä hanke yltää. Arviointiin on käytetty IPCC:n SRES ilmastoskenaarioita (kuva L2.2), jotka ottavat huomioon eri kasvihuonekaasupäästömäärät, sekä niiden vaikutuksen ilmakehän koostumukseen ja ilmastoon. Skenaarioista on jätetty pois yksittäistapaukset esimerkiksi napajäätiköiden sulamisesta kerralla. Tällaiset tapaukset vaikuttaisivat suuresti tuloksiin, mutta eivät ole todennäköisiä varsinkaan seuraavan 40 vuoden aikana.



Kuva L2.2 Valtameren pinnankorkeuden skenaariot vuosille 1990-2100, IPCC. Skenaariot A1B, A1T, A1FI, A2, B1 ja B2 edustavat erilaisia emissioskenaarioita IPCC:n kolmannen arviointiraportin mukaan (Merentutkimuslaitos, 2008).

LIITE 3 Itä-Uudenmaan yleispiirteinen meritulvakartta HW1/200

Itä-Uudenmaan yleispiirteinen meritulvavaarakartta HW 1/200 (osa A, läntinen)



Vesisyvyys, HW 1/200

0...0,5 m	taajama
0,5...1 m	teollisuus
1...2 m	loma-asunnot
2...3 m	pelto
3... m	lentokenttä / satama
vesistö	

Indeksi- ja korkeusaineistokartta

	tulvavaarakartoitetun alueen raja
	MML:n korkeusmalli: 10 m
	MML:n maastotietokannan korkeuskäyrät

Sijainti:	Itä-Uusimaa (Suomenlahden rannikkoalue)	Vedenkorkeudet:	Helsinki: N60+2,30 m Loviisa: N60+2,55 m (interpoloitu) Hamina: N60+2,65 m
Tulvakarttatyyppi:	Yleispiirteinen tulvavaarakartta	Vedenkorkeus-havaintoasemat:	Helsinki ja Hamina (www.vedenkorkeus.fi)
Toistuvuusajaka, skenaario:	HW 1/200, merenpinnan nousu	Vedenkorkeuksien määrittäysperuste:	Alimmat suositellavat rakennuskorkeudet Pohjanlahden, Saaristomeren ja Suomenlahden rannikoilla (Merentutkimuslaitos 1998)
Esitysmittakaava:	1:250 000	Laatija:	UUS/TL
Korkeusaineiston kuvaus:	MML:n 10 m korkeusmalli ja maastotietokannan korkeuskäyrät		
Päiväys:	28.6.2007		



LIITE 4 Porvoon vesijärjestelmien priorisoitu riskilista

vikaantumis- en nro	järjestelmä	OSA	AIHEUTTAJA	KUVAUS	ENSISIJAINEN KOHDE	tn	ta- lous	ympä- ristö	henkilö	riski- summa
1	jätevesi- järjestelmä	pumppaamot	voimakas meritulva (2,50)	elektroniikka vikaantuu, pumppaamot pysähtyvät ja tulvivat (sisään)	kaikki pääpumppaamot	2	4	3	2	18
2	talousvesi- järjestelmä	pohjavesilähde	voimakassateinen jakso ja rankkasade (25 mm/h)	(hulevesi) pintaveden pääsy pohjavesilähteeseen ja lähteen lyhytkestoinen pilaantuminen	kaikissa pohjavesilähteissä	2	3	2	3	16
3	talousvesi- järjestelmä	pohjavesilähde	voimakassateinen jakso	(joki)pintaveden pääsy pohjavesilähteeseen ja lähteen lyhytkestoinen pilaantuminen	Kerkkoon pellolla oleva kaivo, mahdolliset muut kaivot	2	3	2	3	16
4	talousvesi- järjestelmä	pohjavesilähde	voimakas meritulva (2,50m)	meritulvien nousu harjua vasten ja meriveden suotautuminen pohjaveteen (jo lyhytaikainen 1,70 m tulva aiheutti muutoksia veden sameuteen ja happipitoisuuteen muttei vielä vaikuttanut muuten)	Sannaisten vedenottamo, kaivoalue 3,5-4 metrin korkeudella, pelto merelle päin on noin 1 metrin korkeudella, ranta nousee kaivoa kohti, mikä on kriittinen kohta/korkeus/aika sille, että merivesi suotautuu pohjaveteen. Laatu muuttuu, mutta palautuu itsestään jonkin ajan kuluessa	2	4	4	0	16



5	yhteiset järjestelmät	sähkö	voimakas myrskytuuli	Ilmastus pysähtyy, 4-5 tunnin päästä bakteerikanta heikkenee, välppäys loppuu jolloin altaisiin pääsee kiintoainesta	ju-puhdistamo	3	2	3		15
6	hulevesi-järjestelmä	hulevesikaivot	rankkasade (25 mm/h)	lehtikeli, rankkasade kuljettaa lehtiä/soraa tms., mikä tukkii kaivojen kannet, syntyy tulva. (voi viedä pihan mukanaan tai tulvia sisään)	Useita mahdollisia. Ongelma korostuu paikoissa, joissa katujen muodot ovat notkelmanomaisia ja taloja vieressä	3	2	2	0	12
7	jätevesi-järjestelmä	kokoajaviemärit(sekaviemärit)	voimakas rankkasade (50 mm/h)	viemäritulva (kapasiteetin ylittyminen), vesien nouseminen talojen kellareihin	Pappilanmäki ja sen alapuolinen osa, pappilanpelto. Jokikadun alue. Mahdollisesti lisäksi muut alavat alueet, verkoston alaosa ja alimmat paikat	2	3	1	2	12
8	jätevesi-järjestelmä	pumppaamot	jokitulva (ei vaikutuksia toistaiseksi koetuilla tulvilla, harvinainen tulva voi aiheuttaa. Jääpatojen aiheuttama tulviminen voi aiheuttaa myös)	jokivesi tulvii sisään, puhdistamaton vesi tulvii jokeen	jokisuistossa olevat pumppaamot ja esim. Hinthaara (nämä ovat suurelta osin samat kuin meren pinnan noususta kärsivät pääpumppaamot)	2	2	2	1	10
9	hulevesi-järjestelmä	hulevesikaivot	rankkasade (50 mm/h)	lehtikeli, rankkasade kuljettaa lehtiä/soraa tms, mikä tukkii kaivojen kannet, syntyy tulva. (voi viedä pihan mukanaan tai tulvia sisään)	Useita mahdollisia. Ongelma korostuu paikoissa, joissa katujen muodot ovat notkelmanomaisia ja taloja vieressä	2	3	2	0	10

10	hulevesi-järjestelmä	avorakenteet	rankkasade / voimakassateinen jakso	Avorakenteiden muodostama kokonaisuus. Alue ei kuivatu kunnolla. Matalat ojat ja sokkelit. Talot ei kuivatu kunnolla. Alueen korkeusvaihtelu noin metrin sisällä. Alueen kiinteistöjen järjestelmät eivät oikein kunnossa.	Gammelbacka ja Hamari	3	3	0	0	9
11	talousvesi-järjestelmä	(teko)pohjavesilä hde	kuivuus	pintavesilähteen (Myllykylän järvi) pinnan aleneminen säännöstelyrajan alapuolelle, vedenotto estyy ja samalla joen pinnan laskusta johtuva pohjaveden purkautuminen jokeen, joka edelleen alentaa pohjaveden pintaa	Myllykylän järvi ja Ilolanjoki, Sannaisten vedenottamo	3	3	0	0	9
12	yhteiset järjestelmät	sähkö	kova hellejakso tai ukkonen	Verkoston automaatio/valvonta, elektronikan vikaantuminen kuumuudesta tai salaman vaikutuksesta	kaikki laitokset ja pumppaamot	4	2	0	0	8
13	hulevesi-järjestelmä	Putki (vastaanottavaan vesistöön)	rankkasade (25 mm/h) + joen pinnan/merenpinna nousu noin 1,20 metriin	Verkostosta tulee paljon vettä. Vastapaine joesta. Kapasiteetti ei riitä jokeen johtamiseen. Vesi nousee kaivon kansista Jokikadulle.	Jokikatu	2	3	0	0	6
14	jätevesi-järjestelmä	kokoajaviemärit(sekaviemärit)	voimakas rankkasade (50 mm/h)	viemäritulva (kapasiteetin ylittyminen)	Alavat alueet, verkoston alaosa ja alimmat paikat	2	3	0	0	6



15	yhteiset järjestelmät	sähkö	voimakas myrskytuuli	vedenottamoiden sähkökatko 12-24h, vedenottamot pysähtyvät, vesi loppuu noin 8 tunnin katkoksen jälkeen, mutta Linnanmäen vesi riittää, joka tosin laadultaan huonompaa	kaikki vedenottamot Linnanmäkeä lukuun ottamatta	3	2	0	0	6
16	yhteiset järjestelmät	sähkö	voimakas myrskytuuli	Askolan paineviemärin pumppaamojen sähkökatko 12-24h	Askolan paineviemärin pumppaamojen sähkökatko 12-24h	3	0	2	0	6
17	yhteiset järjestelmät	sähkö	meritulva (2,5m)	matalalla sijaitsevien jv-pumppaamojen sähkökatko useammaksi päiväksi	matalalla sijaitsevat jv-pumppaamot	2	0	2	1	6
18	jätevesi-järjestelmä	katuviemärit (kannet)	meritulva (1,50 m)	merivesi tulvii sisään, virtaama kasvaa, kaikkea ei pystytty pumppaamaan, jäteveden ylivuotoa mereen	matalla sijaitseva verkosto ja sen vuoto sisäänpäin	4	0	1	0	4
19	jätevesi-järjestelmä	pumppaamot	meritulva (1,50 m)	merivesi tulvii sisään (1,50 metriä ei vielä aiheuta mitään, mutta vähän korkeampi saattaa aiheuttaa)	Gammelbackan pumppaamon kansi 2,15m, Hamarilla 1,70 tulva oli ovella.	4	0	1	0	4
20	jätevesi-järjestelmä	puhdistamo	voimakassateinen jakso	tulovirtaama kasvaa, puhdistustuloksen heikkeneminen	Hermanninsaaren puhdistamo	3	0	1	0	3
21	jätevesi-järjestelmä	kokoojaviemärit(sekaviemärit)	rankkasade (25 mm/h)	viemäritulva (kapasiteetin ylittyminen), vesien nouseminen talojen kellareihin	Pappilanmäki ja sen alapuolinen osa, pappilanpelto. Jokikadun alue.	3	1	0	0	3
22	talousvesi-järjestelmä	putket (tonttijohdot)	kova pakkasjakso, lumipeitteen väheneminen	putkien jäätyminen		2	1	0	0	2



LIITE 5. Riskikohtaiset sopeutumistoimet ja sopeutumistoimien arvioidut kustannukset

vikaantumis en nro	järjestelmä	OSA	sopeutumistoimi #1		sopeutumistoimi #2		sopeutumistoimi #3	
			sopeutumistoimen kuvaus	sopeutumistoimen arvioidut kustannukset	sopeutumistoimen kuvaus	sopeutumistoimen arvioidut kustannukset	sopeutumistoimen kuvaus	sopeutumistoimen arvioidut kustannukset
1	jätevesijärjestelmä	pumppaamot	sähkösyötöt ym. vesitiiviiksi 2,5 metriin asti, sähköpuoli tulee suojatuksi. Tämä ei estä tulvimista	n. 100 000 - 300 000 €	Tulvavallit tai koko pumppaamon nostaminen ylemmäksi. Saneerattavat nostetaan ylemmäksi. Ongelmana ympäristöön sopeuttaminen	Kaikkien kohdalla mahdotonta tehdä, yksittäisten kohdalla saneeraus tai uudelleen rakentaminen noin 50 000 - 100 000 €	Tilapäinen hiekkasäkkimuuri, pumppaus. (tämän toteuttaminen on suunniteltava, välineet & tekijät)	vaatii organisoitumisen, kustannukset noin 100 000 €.
2	talousvesijärjestelmä	pohjavesilähde	Riittävä seuranta, eli tiivistetty näytteenotto (ks. seuraava) (kaivot rakennettu jo siten, että hulevedet eivät valu sinne, kyse enemmän huleveden imeytymisestä)		kloorauksen käyttöönotto, jos pilaantumista havaitaan. Voimakassateisen jakson aikana vesinäytteiden otto päivittäin. Voidaan kloorata jo ennakoivasti	tiivistetty näytteenotto näytteen otto n. 10 000 €.		



3	talous vesijärj estelm ä	pohjavesi lähde	Kaivon ottaminen pois käytöstä tarpeen mukaan, muista kaivoista saadaan korvaavaa vettä, valmiuden synnyttäminen	jälkihoitokustannukset noin 10 000 €	Tilapäinen maaavalli/hiekkasäkki tarpeen mukaan, valmiuden synnyttäminen	n. 10 000 €		
4	talous vesijärj estelm ä	pohjavesi lähde	Kaivoalueelle rakennetaan suojavallia, Porvoo omistaa pellon kaivoalueella, sinne voidaan rakentaa (ollut jo suunnitelmissa)	n. 100 000 €	Pitkällä tähtäimellä tarkasteltava vedenhankinnan mahdollisuutta muualta. Alueellinen yhteistyö, jolla vähennetään riskejä			
5	yhteis et järjest elmät	sähkö	Oma dieselgeneraattori (tästä puhuttu jo valmiussuunnittelussa, tätä voitaisiin käyttää myös vedenottoa varten)	n. 200 000 €	yhteistyö sähkölaitoksen kanssa, korjaustyön priorisointi putsarin kohdalla		sähkölaitoksen jakelujärjestelmän kahdennus puhdistamolle	

6	huleve sijärjes telmä	hulevesik aivot	Kunnossapidon varmistaminen, kadunpitäjän vastuulla. (myös rummut ja avo-ojat). Nyt olemassa 24h päivystys. Seurataan säättiedotuksia ja varaudutaan. Nykyiset resurssit liian vähäiset, mitoitettu yleisesti tuleviin tilanteisiin. Urakoitsijoita jo käytössä.	Osa nykyistä toimintaa. Lisäresurssitarve yms. N. 10 000 €	Pullonkaulojen tunnistaminen ja poistaminen. Rakennustapaohjeissa voidaan puuttua kovien pintojen määrään, huippuvirtaamien pienentäminen (varastoaltaat, vaihtoehtoiset reitit). Katu- ja puistosuunnittelun mahdollisuudet.	Saneerauksen ja lisäsuunnittelun yhteydessä tehtävä työ.	tulevilla kaava-alueilla mietittävä avouoma varareitiksi, sekä olemassa olevilla alueilla tulvareittien avaaminen	
7	jäteve sijärjes telmä	kokoojavi emärit(se kaviemär it)	Sekaviemäreiden muuttaminen hiljalleen erillisviemäröinniksi saneerausten myötä	tapahtuu osana yleistä saneerausta, 5 milj. (seur. 10 v aikana)	Sadevesien sekaviemäriin johtamisen vähentäminen.		Pidättävät rakenteet pihoilla (tai maan alla/tynnyreissä tms.).	
8	jäteve sijärjes telmä	pumppaa mot	sähkötyöt ym. vesitiiviiksi X metriin asti, sähköpuoli tulee suojatuksi. Tämä ei estä tulvimista	10 000 €.				



9	huleve sijärjes telmä	hulevesik aivot	Ks. vikaantumiseen nro 6 kohdistuvat sopeutumistoimet	Ks. vikaantumiseen nro 6 kohdistuvat sopeutumistoimet	Ks. vikaantumiseen nro 6 kohdistuvat sopeutumistoimet	Ks. vikaantumiseen nro 6 kohdistuvat sopeutumistoimet	Ks. vikaantumiseen nro 6 kohdistuvat sopeutumistoimet
10	huleve sijärjes telmä	avoraken teet	Oja ennen Gammelbackaa ja Hamaria on kaupungin pellolla, sinne voisi maisemoida tulvaniityn. Mahtuisi paljon vettä. Siinä tilaa ja kaupungin omistama. Paikka tulvaongelma-alueen yläpuolella.	n. 50 000 - 100 000 €, maisemarakentaminen paikalla ei kovin kallista	Pellolla kulkevan pitkä ojan voisi tehdä kosteikkotyypiseksi kuten Kiialan pelloilla. Siinä aika vähän kaupungin maita.	n. 50 000 €	
11	talous vesijärj estelmä	(teko)poh javesiläh de	Tilapäiset vedenottoaikkojen rakentaminen tarpeen mukaan	n. 100 000 €	Ihmisten vedenkäyttöön vaikuttaminen, tiedotus/kiellot vedenkäytön vähentämiseksi (nurmikoiden kastelut, auton pesu)	max. 10 000 €	



12	yhteiset järjestelmät	sähkö	käyttötavan muutos, automaation ohittaminen, vaatii käsiajoa		Ukkosessa yleisimmin rikkoontuvien osien varaosien varasto ja huolto		elektroniikan suunnittelu ukkosenkestäväksi, ylijännitesuojat ym.	
13	huleve sijärjestelmä	Putki (vastaanottavaan vesistöön)	Veden pidättäminen ylempänä. (tähän ei löydetty selkeitä sopivia kohteita tai ratkaisuja)		Jos kyseessä vain hulevesitilanne, niin purku jokeen on vielä parannettavissa	200 000 €	Kiinteistönomistajien opastaminen varautumiseen. (monella on jo tulvapumput, jokitulva on toistuva ongelma)	max. 10 000 €
14	jäteve sijärjestelmä	kokoojaviemärit (se kaviemärit)	Ks. vikaantumiseen nro 7 kohdistuvat sopeutumistoimet	Ks. vikaantumiseen nro 7 kohdistuvat sopeutumistoimet	Ks. vikaantumiseen nro 7 kohdistuvat sopeutumistoimet	Ks. vikaantumiseen nro 7 kohdistuvat sopeutumistoimet	Ks. vikaantumiseen nro 7 kohdistuvat sopeutumistoimet	Ks. vikaantumiseen nro 7 kohdistuvat sopeutumistoimet
15	yhteiset järjestelmät	sähkö	Oma dieselgeneraattori (tästä puhuttu jo valmiussuunnittelussa, tätä voitaisiin käyttää myös vedenottamoilla)	n. 200 000 €	muut samoja kuin edellä			
16	yhteiset järjestelmät	sähkö	oma sähkögeneraattori (toiset kohteet kuitenkin ensisijaisia)					



17	yhteiset järjestelmät	sähkö	oma sähkögeneraattori (toiset kohteet kuitenkin ensisijaisia)					
18	jäteve-sijärjestelmä	katuviemärit (kannet)	ei toimenpiteitä					
19	jäteve-sijärjestelmä	pumppaamo	ei toimenpiteitä					
20	jäteve-sijärjestelmä	puhdistamo	viemäriverkoston saneeraus osana normaalia toimintaa					
21	jäteve-sijärjestelmä	kokoojaviemärit (sekaviemärit)	viemäriverkoston saneeraus osana normaalia toimintaa (sekaviemäreistä erillisviemäreiksi)					
22	talousvesijärjestelmä	putket (tonttijohdot)	sulatetaan					

