



SUOMEN  
ILMASTOPANEELI  
The Finnish Climate  
Change Panel

---

**ILMASTONMUUTOS JA VESIHUOLTO – VARAUTUMINEN  
JA TERVEYSVAIKUTUKSET**

PÄIVI MERILÄINEN, TIMO LANKI, ILKKA MIETTINEN, ANNA-MARIA  
HOKAJÄRVI, ANTTI SIMOLA, PEKKA TIITTANEN JA TARJA YLI-  
TUOMI

**Suomen Ilmastopaneeli**

**Raportti 10/2019**

## ILMASTONMUUTOS JA VESIHUOLTO

**Päivi Meriläinen\*<sup>1</sup>, Timo Lanki<sup>1</sup>, Ilkka Miettinen<sup>1</sup>, Anna-Maria Hokajärvi<sup>1</sup>, Antti Simola<sup>2</sup>, Pekka Tiittanen<sup>1</sup> ja Tarja Yli-Tuomi<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Terveyden ja hyvinvoinnin laitos THL, PL 95, 70701 Kuopio

<sup>2</sup> Valtion taloudellinen tutkimuskeskus VATT, PL 1279, 00101 Helsinki

[\\*paivi.merilainen@thl.fi](mailto:*paivi.merilainen@thl.fi)

## ESIPUHE

Ilmastonmuutos vaikuttaa monin tavoin myös Suomessa säähän ja ilmastoon, esimerkkeinä lämpötilan nouseminen, sateisuuden lisääntyminen, muutokset sään vuodenaikaisvaihtelussa ja äärevien sääilmiöiden yleistyminen. Sään tiedetään vaikuttavan monin tavoin vesihuoltoon. Monet ennustetuista muutoksista voivat aiheuttaa ongelmia talousveden valmistuksessa käytettävän raakaveden laadussa tai vedenjakelussa, ja siten lisätä juomaveden liittyviä terveysriskejä. Suomessa on toistaiseksi kiinnitetty vain vähän huomiota vesihuollon kautta välittyviin ilmastonmuutoksen terveysriskeihin. Ilmastopaneelin rahoittamassa hankkeessa ”Ilmastonmuutos ja vesihuolto: varautuminen ja terveysvaikutukset” (2017 – 2019) pyrittiin muodostamaan kokonaiskuva ilmastonmuutoksen merkityksestä vesihuollolle Suomessa.

Kokonaiskuvan muodostamisessa hyödynnettiin koti- ja ulkomaista kirjallisuutta. Hankkeeseen sisältyi myös vesihuoltolaitoksille suunnattu kyselytutkimus, jonka avulla pyrittiin selvittämään muun muassa sitä, millaisia ongelmia sää aiheuttaa vesihuollolle tällä hetkellä, millaisena ongelmana ilmastonmuutos nähdään, ja miten muutokseen on varauduttu. Lisäksi hankkeessa arvioitiin ekonomisesti vesihuoltoon liittyvien terveyshaittojen ja toisaalta niihin varautumisen aiheuttamia kustannuksia.

Ilmastonmuutoksen hillintätoimet ovat tärkeä osa ilmastonmuutoksen ja vesihuollon kokonaisuutta ja kustannuksia, mutta niitä ei ole käsitelty tässä raportissa. Muuttuva ilmasto vaikuttaa myös raakaveden saatavuuteen sekä jätevesihuoltoon, mutta jätevesihuolto on rajattu tämän hankkeen ulkopuolelle ja saatavuutta on käsitelty vain kyselyaineistoon liittyen. Hankkeen tuottamat tiedot edistävät osaltaan sopeutumista ilmastonmuutokseen vesisektorilla.

Hanketta koordinoi prof. Timo Lanki (THL, Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitos). Päättäjänä THL:ssä toimi erikoistutkija Päivi Meriläinen, ja tutkimusryhmään kuuluivat johtava tutkija Ilkka Miettinen ja erikoistutkija Tarja Yli-Tuomi. Lisäksi kyselytutkimuksen toteutuksessa mukana olivat tutkija Anna-Maria Hokajärvi ja erikoissuunnittelija Pekka Tiittanen. Hankkeeseen osallistui myös Valtion taloudellinen tutkimuskeskus (VATT), jossa tutkimuksesta vastasi johtava tutkija Marita Laukkanen, ja taloudellisen mallintamisen toteutti erikoistutkija Antti Simola. Sää- ja ilmastonmuutostietojen tuottamisesta ja ilmastokenaarioiden mallintamisesta vastasivat Ilmatieteidenlaitoksella ryhmäpäällikkö Antti Mäkelä sekä tutkijat Hadassa Hovestadt ja Kimmo Ruosteenoja.

## SISÄLLYS

1.	JOHDANTO - GLOBAALI NÄKÖKULMA.....	5
2.	VESIHUOLTO SUOMESSA .....	6
2.1.	Vesihuoltotoimijat.....	6
2.2.	Pohjavesi ja tekopohjavesi.....	7
2.3.	Pintavesi .....	7
2.4.	Vedenpuhdistus .....	8
2.5.	Talousveden laadun valvonta .....	8
3.	SÄÄN AIHEUTTAMAT ONGELMAT VESIHUOLLOSSA NYKYISIN .....	9
4.	MUUTTUVA ILMASTO JA VESIHUOLTO .....	11
4.1.	Ilmaston muuttuminen Suomessa.....	11
4.2.	Ilmastoskenaariot Suomelle.....	12
4.3.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset vesihuoltoon .....	14
5.	VESIHUOLTOLAITOSTEN NÄKEMYKSIÄ ILMASTONMUUTOKSESTA .....	17
6.	VESIHUOLTOLAITOSTEN VARAUTUMINEN ILMASTONMUUTOKSEEN.....	19
6.1.	Varautumisen lainsäädännöllinen tausta .....	19
6.2.	Riskinhallintakeinot .....	20
6.3.	Varautumisen taso vesihuoltolaitoksissa .....	22
7.	VARAUTUMISEN JA VESIEPIDEMIOIDEN TALOUDELLISET VAIKUTUKSET .....	24
7.1.	Vesilaitosten investointiaikeet.....	24
7.2.	Sään ja ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa vesihuollon investointeihin.....	25
7.3.	Vesiepidemioiden taloudelliset vaikutukset Suomessa .....	26
7.4.	Esimerkkejä vakavien epidemioiden taloudellisista vaikutuksista .....	27
8.	VESIEPIDEMIAAT JA ILMASTONMUUTOS .....	29
9.	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	33
10.	LÄHTEET .....	35
	LIITTEET .....	1
	Liite 1. Vesilaitoskysely.....	1
	Liite 2. Kyselyn perusjoukko.....	17
	Liite 3. Taloudellisen tarkastelun aineisto ja menetelmät.....	19

## 1. JOHDANTO - GLOBAALI NÄKÖKULMA

Vesiturvallisuuden merkitys yhteiskuntien kokonaisturvallisuudelle tulee kasvamaan entisestään muun muassa ilmastonmuutoksen ja väestönkasvun myötä sekä paikallisella että globaalilla tasolla (Winland-konsortio 2019). Ilmastonmuutos vaikuttaa vesisykliin muuttamalla vesivarojen määrää ja niiden ajallista esiintymistä. Ilmastonmuutoksen onkin arvioitu esimerkiksi lisäävän monilla alueilla kuivuutta sateiden vähentyessä ja haihdunnan lisääntyessä. Tämä johtaa edelleen pinta- ja pohjavesien vähenemiseen ja altistaa ne likaantumisen. Ilmastonmuutos tulee vaikeuttamaan veden saantia erityisesti jo nykyisin ajoittain vesipulasta kärsivillä alueilla. WHO:n arvion mukaan jo vuonna 2025 puolet maailman väestöstä tulee elämään vesistressistä kärsivillä alueilla (WHO 2019).

Veden vähyys aiheuttaa ongelmia erityisesti kehitysmaissa. Kuivuudesta kärsivillä alueilla, esimerkiksi Afrikassa, vedenpuutteesta seuraa pidentyneitä vedenhakumatkoja ja veden pitkä varastointi lisää sairastumisriskiä (Mellor ym. 2012). Veden saatavuusongelmat uhkaavat kaiken kaikkiaan laskea hygieniatasoa, mikä lisää sairastumisriskiä ja lapsikuolleisuutta erityisesti kuivina kausina ja erityisesti köyhimmässä väestönosissa (Tucker ym. 2014). Ilmastonmuutos lisää tätä kautta eriarvoisuutta. On arvioitu, että yli 800 000 ihmistä kuolee vuosittain ripuliin likaisen juomaveden, viemäroinnin puutteen ja huonon käsihygienian vuoksi (Prüss-Ustün ym. 2014; WHO 2019).

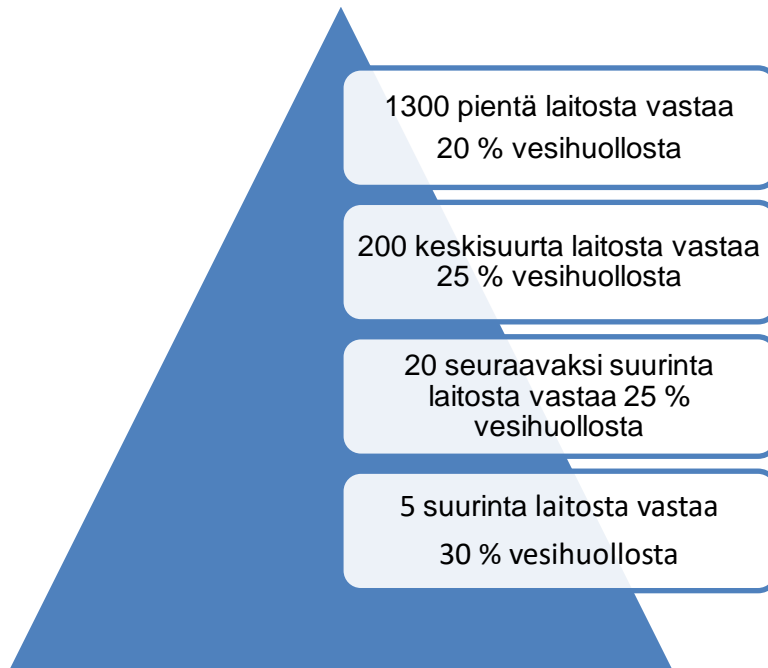
Sadannassa tulee olemaan yhä suurempia alueellisia eroja. Kuivuus ei ole kaikkialla ongelma vaan ongelmia voi aiheuttaa myös lisääntyvä sadanta, mikä johtaa esimerkiksi tulvariskien kasvuun. Toisaalta myrskyt ja merenpinnan nousu voivat pilata makean veden varantoja ja uhata vesiturvallisuutta rannikkoalueilla. Alueilla, joissa sateisuus lisääntyy, juomaveden mikrobiologisen likaantumisen riski kasvaa sateisina kausina (Levy ym. 2009). Esimerkkejä sadekausien ja rankkasateiden aiheuttamista likaantumistapauksista ja tästä johtuvista vesiepidemoista löytyy niin Euroopasta (Nichols ym. 2009), Pohjois-Amerikasta (Curriero ym. 2001; Thomas ym. 2006) kuin Aasiastakin (Sirajul ym. 2007). Heikentyneellä raakaveden laadulla voi olla vaikutusta juomaveden laatuun jopa moderneilla vedenkäsittelymenetelmillä (Cicneros ym. 2014).

Vesihuolto tarvitsee toimiakseen riittävästi hyvälaatuista raakavettä. Raakavettä hankitaan sekä pohja- että pintavesistä, ja ilmastonmuutos tulee vaikuttamaan molempien määrään ja laatuun ja tätä kautta vesihuoltoon myös Suomessa. Suomella on kuitenkin maailmanlaajuisesti tarkastellen hyvät edellytykset sopeutua ilmastonmuutoksen vaikutuksiin johtuen hyvistä taloudellisista ja ilmastollisista lähtökohdista sekä pitkälle järjestäytyneestä yhteiskunnasta.

## 2. VESIHUOLTO SUOMESSA

### 2.1. Vesihuoltotoimijat

Suomessa toimii 1 100 vesihuoltolaitosta, joilla on kunnan vahvistama toiminta-alue (Laitinen 2019). Vesihuoltolaitoksiksi luokiteltavien osuuskuntien tai yhtymien lisäksi Suomessa toimii arviolta 700 vesihuoltotoimintaa harjoittavaa muuta osuuskuntaa tai yhtymää (Laitinen 2019). Vesiosuuskunnat vastaavat 10 %:sta kaikesta Suomessa myydystä talousvedestä ja niiden piirissä on noin 13 % väestöstä. Kuntaliiton selvityksen mukaan viisi suurinta vesihuoltolaitosta myi 30 % kaikesta myydystä talousvedestä (kuva 1) (Kuntaliitto 2007, Luukkonen 2013).



Kuva 1. Vesihuoltolaitosten jakautuminen kokoluokkiin talousveden myynnin mukaan (Kuntaliitto 2007).

Vesihuoltolaitos on palveluntuottaja, joka huolehtii vedenotosta, talousveden valmistamisesta, jakelusta ja/tai jäteveden viemäroinnistä ja puhdistuksesta. Vesihuoltolaitosten raakavedestä noin 65 % on pohjavettä tai tekopohjavettä ja loput 35 % pintavettä. Vesihuoltolaitosten vastuulla olevien vesijohtojen kokonaispituus on noin 107 000 km ja viemäreiden noin 50 000 km. Lisäksi kiinteistöjen vastuulla on arvioitu olevan ainakin 20 000 km tonttijohtoja (Silfvenberg 2017). Suomen talouksista yli 90 prosenttia kuuluu vesijohtoverkoston ja noin 85 prosenttia viemäriverkoston piiriin (RIL 2019).

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksissa määritetään vaatimukset talousveden valvonnalle ja laadulle. Asetusten mukaan suureksi laitokseksi katsotaan sellainen, joka toimittaa vettä vähintään 10 m<sup>3</sup> päivässä tai vähintään 50 henkilön tarpeisiin. Kaikkein suurimpien talousvettä toimittavien laitosten – sellaisten, jotka toimittavat vettä vähintään 1000 m<sup>3</sup> päivässä tai vähintään 5000 käyttäjälle – talousveden laadun ja valvonnan tiedot toimitetaan säännöllisin väliajoin Euroopan komissiolle (Valvira 2017). Suomessa on noin 150 juomavesidirektiivin raportointikriteerit täyttävää suurta laitosta.

## 2.2. Pohjavesi ja tekopohjavesi

Pohjavedellä on vesihuollossa suuri merkitys, sillä luonnontilainen pohjavesi on sekä kemiallisesti että fysikaalisesti tasalaatuista ja veden kemiallinen käsittelytarve on vähäinen. Pohjaveden laatuun ja edelleen käsittelytarpeeseen voivat kuitenkin vaikuttaa luonnon omat epäpuhtaudet kuten fluoridi, arseeni, uraani, rauta ja mangaani. Pohjaveden määrän ajallisiin ja alueellisiin vaihteluihin vaikuttavat sadannan sekä pohjaveden muodostumisen ja purkautumisen väliset vuorovaikutukset. Pohjaveden laatuun vaikuttavat sateet ja kuivat jaksot sekä ihmisen toiminta.

Pääosa pohjavedenottamoista on pieniä vedenottamoita, joista noin 1 000 on sellaisia, jotka toimittavat vettä alle 500 asukkaalle. Vesihuoltolaitoksia, jotka käyttävät raakavetenään pohjavettä ja toimittavat sitä 500–5 000 asukkaalle on noin 230. Ne palvelevat yhteensä noin 550 000 asukasta. Kaikista pohjavesilaitoksista noin 30 on tekopohjavesilaitoksia, ja tämän osuuden arvellaan kasvavan tulevaisuudessa (Vienonen ym. 2012).

Tekopohjavettä muodostuu kun pintavettä imeytetään pohjavesimuodostumaan esimerkiksi allasimeytyksellä tai sadettamalla. Tämän tavoitteena on lisätä pohjavesimuodostumassa olevan veden määrää ja tuottaa pohjaveden kaltaista vettä. Tekopohjavesi on laadultaan pääsääntöisesti pohjaveden kaltaista. Tekopohjavesialueet valitaan niin, ettei siellä ole pohjaveden laatua uhkaavia tekijöitä. Pintavettä voi imeytyä myös rantaimetyksen kautta vesistöstä pohjavesimuodostumaan joko luonnollisesti tai vedenoton seurauksena, jos maaperä on pohjavesimuodostuman vesistöön rajoittuvalla osalla vettä hyvin läpäisevää hiekkaa tai soraa. Rantaimetyksen yhteydessä esiintyy useammin ongelmia veden laadussa kuin tekopohjaveden imeytysalueilla (Vienonen ym. 2012).

Yhdyskuntien lisäksi haja- ja loma-asutuksen vesihuolto perustuu lähes kokonaan pohjaveteen. Oman kaivon varassa haja-asutusalueilla asuu yli puoli miljoonaa suomalaista, ja kaivoja on noin puoli miljoonaa mukaan luettuna loma-asutus. Kaivoista rengaskaivoja on noin 450 000 ja porakaivoja noin 150 000 kpl. Kaivoista yhteisvedenhankinnassa on noin 200 (Vienonen ym. 2012).

## 2.3. Pintavesi

Vedenhankinnan kannalta pintavesien määrän vaihtelulla on vähemmän merkitystä kuin pohjaveden määrän vaihtelulla. Suuri osa yhdyskuntien ja teollisuuden pintavedenotosta kohdistuu niin suuriin vesimuodostumiin, että vedenottomäärät eivät vaikuta merkittävästi vesistön virtaamaan, vedenkorkeuteen tai ekologiseen tilaan. Sen sijaan pintavesien laatu on herkkä ihmistoiminnan aiheuttamille muutoksille, koska Suomen järvet ja jokiuomat ovat keskimäärin matalia.

Jätevesien mukana pintavesiin voi kulkeutua merkittävä määrä mikrobeja, jotka heikentävät veden mikrobiologista laatua. Vesistöihin tulevat päästöt voidaan jaotella kiintoainekseen ja rehevöittäviin ravinteisiin sekä happea kuluttaviin, happamoittaviin ja myrkyllisiin aineisiin. Yhdyskuntien päästöjä on pystytty vähentämään merkittävästi viimeisten vuosikymmenten aikana, mutta maa- ja metsätalouden sekä haja-asutuksen jätevesien aiheuttaman kuormituksen hillitseminen on osoittautunut haastavaksi.

Vedenhankinnassa hyödynnetään yleensä pohjavettä, ja siksi pintavettä käytetään lähinnä niillä alueilla, joilla ei ole riittävästi pohjavettä. Pintavesilaitosten toimittamat vesimäärät ovat suuria ja laitokset sijaitsevat pääosin suurissa kaupungeissa tai rannikolla. Pintavesilaitoksilla tarvitaan raakaveden laadun vuoksi laajamittaisempaa ja tehokkaampaa vedenkäsittelyä kuin pohjavesilaitoksilla (Vienonen ym. 2012).

## 2.4. Vedenpuhdistus

Vesihuoltolaitos vastaa vedenjakelupiirinsä talousveden valmistuksen vaatimasta vedenkäsittelystä, vedenottoaivojen ja vesijohtoverkoston ylläpidosta osana vedenhankintajärjestelmää sekä veden toimittamisesta veden käyttäjille. Isoilla pohjavesilaitoksilla on yleensä monivaiheiset vedenkäsittelyprosessit talousveden mikrobiologisen laadun turvaamiseksi. Pienet pohjavesilaitokset ovatkin yleisin talousvesiepidemioiden alkupaikka (Zacheus ja Miettinen 2011; THL 2018).

Pintavesilaitoksilla raakaveden laadun tarkkailu ja veden käsittely vaatii paljon enemmän huomiota kuin pohjavesilaitoksilla. Pintavesilaitoksilla on käytettävä aina veden desinfiointia veden hygieenisen laadun varmistamiseksi. Yleisin desinfiointimenetelmä on klooraus, mutta UV-säteilytyksen käyttö on lisääntynyt viime vuosina.

## 2.5. Talousveden laadun valvonta

Talousvedeksi kutsutaan vettä, jota käytetään kotitalouksissa juomavetenä, ruoan valmistamiseen ja muihin kotitaloustarkoituksiin kuten yleisen hygienian ylläpitämiseen. (Valvira 2019). Talousveden laatuvaatimukset perustuvat koko EU:n kattavaan direktiiviin: Direktiivi ihmisten käyttöön tarkoitettun veden laadusta (juomavesidirektiivi) (Neuvoston direktiivi 98/83/EY).

Kunnan terveydensuojeluviranomainen valvoo toimitettavan ja käytettävän talousveden laatua säännöllisesti. Terveydensuojelulain 20 §:n mukaan talousvettä toimittavan laitoksen omavalvonnan ja talousveden viranomaisvalvonnan on perustuttava veden terveydelliseen laatuun vaikuttavien riskien arviointiin. Talousvedessä ei saa olla esimerkiksi bakteereita, viruksia tai loisia eikä haitallisia aineita sellaisina määrinä, että niistä voisi aiheutua vaaraa ihmisten terveydelle. Talousveden laatua tutkitaan sitä tiheämmin, mitä enemmän laitos toimittaa vettä. Mikäli talousvesi ei täytä sille asetettuja laatuvaatimuksia ja vedestä voi aiheutua haittaa terveydelle, kunnan terveydensuojeluviranomaisen on yhdessä vettä toimittavan laitoksen tai veden käyttäjän kanssa selvitettävä, mistä veden laadun häiriö johtuu. Terveydensuojeluviranomaisen on määrättävä veden toimittaja korjaamaan tilanne pikaisesti ja annettava veden käyttäjille ohjeet siitä, miten terveyshaitta voidaan ehkäistä (Valvira 2019).

Vuonna 2001 vesihuoltolaki määritteli vesihuollon vastuut selkeästi: kiinteistön omistaja tai haltija vastaa kiinteistön vesihuoltojärjestelmästä, kun taas kunnan on huolehdittava siitä, että toimenpiteisiin ryhdytään vesihuoltopalveluiden saatavuuden turvaamiseksi, jos suurehkon asukasjoukon tarve tai terveydelliset tai ympäristönsuojelulliset syyt sitä vaativat. Laki kattaa siten sekä puhtaan veden että viemäröinnin järjestämisen. Vesihuoltolakia on viimeksi päivitetty vuonna 2014, minkä yhteydessä vahvistettiin etenkin häiriötilanteisiin varautumista. Lakiin kirjattiin mukaan selvilläolovelvollisuus, jonka mukaan vesihuoltolaitoksen on oltava selvillä käyttämänsä laitteiston kunnosta ja raakaveden määrään tai laatuun kohdistuvista riskeistä. Tätä varten vesihuoltolaitoksen on tarkkailtava käyttämänsä raakaveden määrää ja laatua, laitteistonsa kuntoa sekä vuotovesien määrää. Sekä vesihuoltolaki että talousvesiasetus edellyttävät kunnan viranomaisten, pelastusviranomaisten ja vesihuoltolaitosten yhteistyötä ja varautumiseen liittyvien suunnitelmien yhteensovittamista.



### 3. SÄÄN AIHEUTTAMAT ONGELMAT VESIHUOLLOSSA NYKYISIN

Vesihuolto on monin tavoin riippuvainen säästä. Esimerkiksi keväisin lumien sulamisvedet ja kevättulvat vaikuttavat raakaveden laatuun heikentävästi. Kova pakkanen voi aiheuttaa teknisten laitteiden jääymistä. Myrskyt voivat aiheuttaa sähkökatkoja, jolloin pienten vedenottamoiden, joilla ei välttämättä ole varavirtajärjestelmää, toiminta voi keskeytyä. Vesihuollon toimintavarmuus ei saisi heikentyä sääilmiön aiheuttamien ongelmien vuoksi. Tietoa siitä, miten yleisiä säästä aiheutuvat vedenlaatuun liittyvät ongelmat ovat, ei Suomessa kuitenkaan ole ollut saatavilla.

Tämä oli yhtenä syynä siihen, että Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitos toteutti vuonna 2018 talousvettä tuottaville vesihuoltolaitoksille suunnatun kyselyn (liite 1). Kyselyyn vastanneiden vesilaitosten yleiskuvaus löytyy liitteestä 2. Yleisesti ottaen vesilaitoskyselyyn vastanneista valtaosa oli hyvin pieniä toimijoita: alle 100 m<sup>3</sup>/vrk vettä tuottavia laitoksia oli 52 % kyselyyn vastanneista. Pohjavesilaitoksia oli vastanneista 90 %, kun taas pintavesilaitoksia oli 6 % ja tekopohjavesilaitoksia 4 %. Täten tulokset kuvaavat etenkin pienten pohjavesilaitosten näkemystä sään ja ilmastomuutoksen vaikutuksista vesihuoltoon.

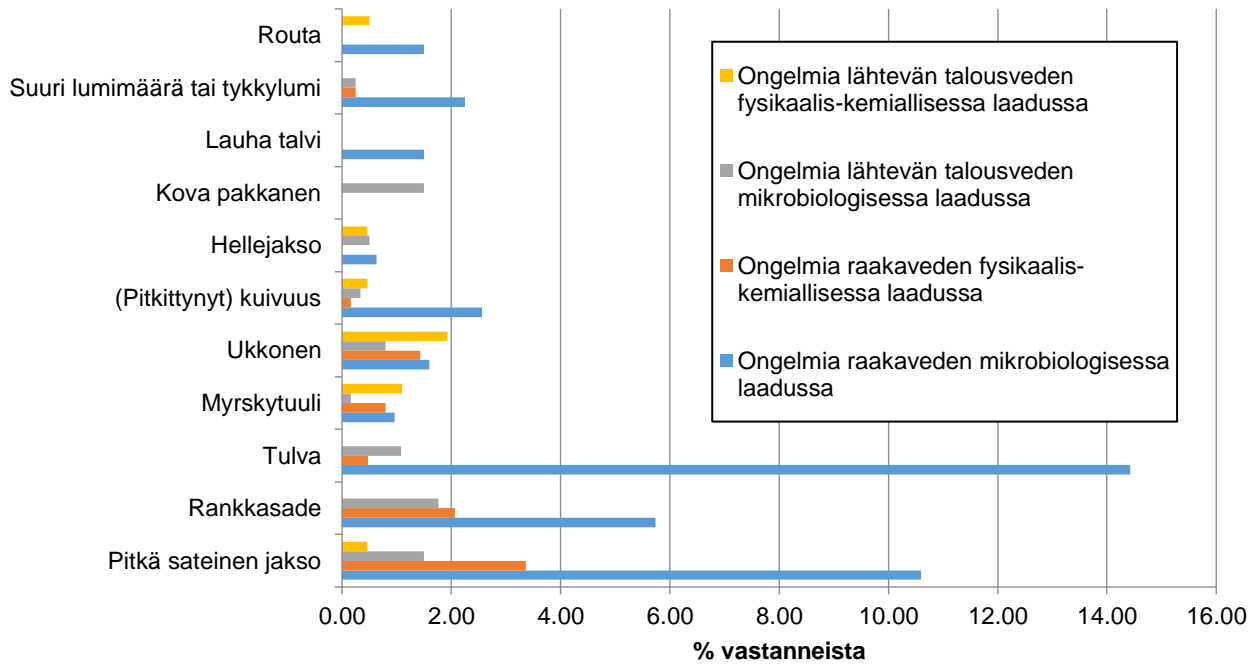
Vesilaitoskyselyn perusteella pohjavesilaitoksilla sää oli aiheuttanut ongelmia useimmiten raakaveden mikrobiologisessa laadussa, kun taas pintavesilaitoksilla eniten ongelmia oli aiheutunut raakaveden fysikaalis-kemiallisessa laadussa. Useimmiten ongelmia edellisen 10 vuoden aikana raakaveden mikrobiologisessa laadussa olivat pohjavesilaitoksilla aiheuttaneet tulvat (14 % vastanneista pohjavesilaitoksista), rankkasade (6 %) ja pitkä sateinen jakso (11 %) (kuva 2). Pintavesilaitoksilla vain kaksi vastaajaa (kaikkiaan 22 vastasi kysymykseen) ilmoitti rankkasateen ja kolme vastaajaa pitkän sateisen jakson aiheuttaneen ongelmia raakaveden mikrobiologisessa laadussa. Kyseiset sääilmiöt olivat aiheuttaneet pintavesilaitoksilla kuitenkin ongelmia raakaveden fysikaalis-kemiallisessa laadussa: 60 % pintavesilaitoksista oli havainnut tulvien aiheuttavan ongelmia, 43 % rankkasateiden ja 62 % pitkän sateisen jakson.

Vedenjakelun turvaaminen on yksi yhteiskunnallisen huoltovarmuuden peruspilareita. Pohjavesilaitoksilla, joista valtaosa on hyvin pieniä, routa (13 %), kova pakkanen (10 %), ukkonen (10 %) ja myrskytuuli (11 %) olivat joskus aiheuttaneet ongelmia vedenjakelussa tai vesijohtoverkostossa (kuva 2). Pintavesilaitoksilla, joita oli vain 6 % vastaajista, routa tai kova pakkanen eivät olleet aiheuttaneet mitään ongelmia. Ukkonen ja myrskytuuli olivat aiheuttaneet ongelmia vain yhdellä vastanneella pintavesilaitoksella (vedenjakelussa tai vesijohtoverkostossa).

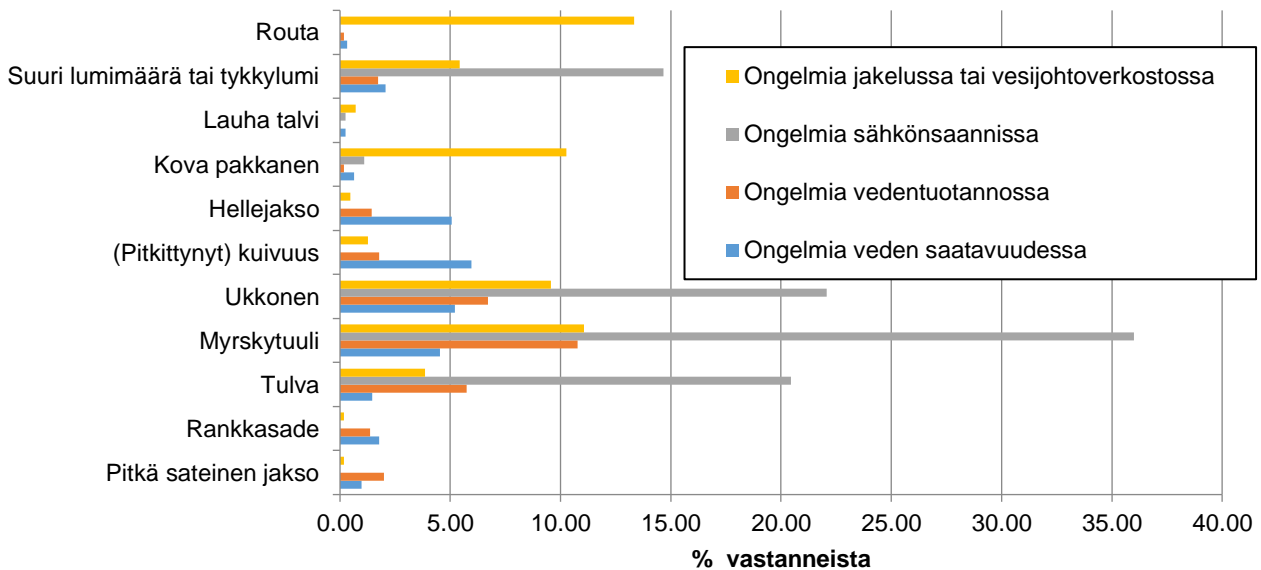
Sähkönsaannin katkeaminen on yksi merkittävä vedentuotantoa uhkaava ongelma. Pohjavesilaitoksilla sähkönsaantia oli vaikeuttanut suuri lumimäärä tai tykkylumi (15 %), ukkonen (22 %), myrskytuuli (36 %) ja tulvat (20 %). Pintavesilaitoksilla sähkönsaantia olivat vaikeuttaneet ukkonen (6 vastaajaa, vastanneita kaikkiaan 22) ja myrskytuuli (5 vastaajaa).

Hellejaksot aiheuttavat kuivuutta, joka voi näkyä sekä pohjavesi- että pintavesivarojen vähentymisenä. Pohjavesilaitoksilla hellejaksot olivat aiheuttaneet ongelmia veden saatavuudessa viidellä prosentilla vastanneista vesilaitoksista, pintavesilaitoksista vastaavasti yksi vastanneista koki hellejaksot ongelmallisiksi veden saatavuuden kannalta (kuva 3).

Vesilaitoskyselyn tulosten perusteella pienillä pohjavesilaitoksilla (vesituotanto 0-100 m<sup>3</sup>/vrk) yleisimmin ongelmia aiheuttaneita sääilmiötä viimeisten kymmenen vuoden aikana olivat lisäksi olleet pitkät sateiset jaksot (11 % vastanneista) ja rankkasade (5 % vastanneista), jotka olivat aiheuttaneet ongelmia raakaveden mikrobiologisessa laadussa.



Kuva 2. Sääilmiöiden aiheuttamien vedenlaadun ongelmien yleisyys pohjavesilaitoksilla viimeisen kymmenen vuoden aikana (N=342).



Kuva 3. Sääilmiöiden aiheuttamien vedentuotannon tai -jakelun ongelmien yleisyys pohjavesilaitoksilla viimeisen kymmenen vuoden aikana (N=342).

## 4. MUUTTUVA ILMASTO JA VESIHUOLTO

### 4.1. Ilmaston muuttuminen Suomessa

Ilmastonmuutos on tunnistettu yhteiskunnan elintärkeitä toimintoja vaarantavaksi tekijäksi Suomen kansallisessa riskinarviossa (Sisäministeriö 2019). Suomen ilmaston ennustetaan muuttuvan tulevaisuudessa (kuva 4), ja tällä tulee olemaan merkittävä vaikutus myös veden laatuun. Rankkasateiden, tulvien, myrskyjen, ukkosten sekä toisaalta kuivuusjaksojen yleistyminen saattaa aiheuttaa vesihuololle ongelmia tulevaisuudessa. Kevät- ja syysateiden yhteydessä esiintyvät tulvat heikentävät raakavesien laatua huuhtoen maatalouden ja urbaanien alueiden mikrobikuormaa suoraan vesistöihin. Myös jätevedenpumppaamoiden ylivuotoriski kasvaa sateisuuden lisääntyessä. Kuivien kesien aikana voi sekä pinta- että pohjavesien laatu heikentyä ja veden määrän muutos aiheuttaa ongelmia vesihuollossa. Vesiturvallisuuden kannalta merkityksellistä on myös se, että vesivälitteisten patogeenien suhteet voivat muuttua vesien lämpötilamuutoksen johdosta (Ilmasto-opas 2018; Tuomenvirta ym. 2018).

Lämpötila	Sademäärä	Lumipeite ja routa	Tuulennopeus
<ul style="list-style-type: none"> <li>• hellejaksot kesällä yleistyvät ja maksimilämpötilat kasvavat</li> <li>• talven keskilämpötila nousee, jolloin kovat pakkasjaksot harvinaistuvat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• rankkasateet voimistuvat ja yleistyvät. Erityisesti talvella Etelä- ja Keski-Suomessa talvitulvat yleistyvät</li> <li>• sademäärä keskimäärin todennäköisesti kasvaa</li> <li>• lumisateet pysyvät samana tai lisääntyvät</li> <li>• Pohjois-Suomessa kevättulvat ovat yleisiä jatkossakin</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lumen määrä vähenee Etelä- ja Keski-Suomessa</li> <li>• vuoden keskilämpötilan kohotessa lumipeiteaika vähenee, jolloin routa voi ulottua syvemmälle maaperässä.</li> <li>• maa on roudassa aiempaa lyhyemmän ajan</li> <li>• lumen vesiarvo pienenee</li> <li>• kevättulvat pienenevät</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• muutoksia paikallisiin myrskyihin ja myrskyreitteihin</li> <li>• myrskyt eivät merkittävästi voimistu</li> <li>• tuulennopeudet kasvavat talvisin Etelä- ja Kaakkois-Suomessa sekä Perämerellä</li> </ul>

Kuva 4. Ilmastonmuutoksen keskeiset vaikutukset Suomessa (Vienonen ym. 2012; Ilmasto-opas 2019).

Veden kierto on oleellisesti riippuvainen lämpötilasta. Ilmaston uskotaan lämpenevän Suomessa vuosisadan loppuun mennessä 2–6 astetta (Ruosteenoja ym. 2016). Korhosen (2002) arvion mukaan vesistöjen pintalämpötila nousee yhdestä kahteen astetta vuoteen 2050 mennessä, erityisesti Etelä-Suomessa. Lämpötilan vaihtelu vaikuttaa veden happitasoon, hapetuspelkistyspotentiaaliin, järvien kerrostuneisuuteen ja veden sekoittumiseen sekä eliöiden kasvuun. Lämpötilan nousu vesistöissä lisää leväkukintoja sekä bakteeri- ja sienipitoisuuksia ja lisää vesien rehevöitymistä. Tämä voi johtaa veden samentumiseen sekä orgaanisen aineksen määrän kasvuun, millä on taas vaikutusta veden puhdistusprosesseihin talousvesiketjussa.

Suomessa sademäärät voivat lisääntyä ilmastonmuutoksen vuoksi vuosisadan loppuun mennessä kesällä 0–20 % ja talvella 1 – 40 % (Jylhä ym. 2009, Ruosteenoja ym. 2016). Sademäärän kasvu lisää vuosivaluntaa sadantaskenaariosta riippuen 0 – 60 % vuosisadan loppuun mennessä (Korhonen 2007). Alueellisia eroja on paljon: esimerkiksi Etelä- ja Keski-Suomen järvisillä vesistöalueilla vuosivalunta voi jonkin verran pienentyä järvihaidunnan lisääntymisen myötä (Korhonen 2007). Sademäärän kasvu on kuitenkin riski vesistöjen laadulle. Lisääntynyt sadanta huuhtoo veteen enemmän ravinteita, taudinaiheuttajamikrobeja ja haitallisia aineita.

Vuosittaisen sademäärän lisäksi ilmastonmuutos vaikuttaa myös yksittäisen sateen voimakkuuteen sekä sateiden jakautumiseen eri vuodenaikoihin. On ennustettu, että etenkin talvisateiden määrä kasvaa ja kesällä rankkasateet voimistuvat. Kohonnut vuosittainen sademäärä yhdessä yksittäisen episodin intensiteetin voimistumisen kanssa lisää vesieroosion määrään sekä johtaa rankkasadetulvien yleistymiseen. Tämä heikentää sekä pintavesien laatua että voi pahimmillaan pilata myös pohjavesiä. Ilmastonmuutos voi lisätä tulvien määrää ja muuttaa niiden esiintymisajankohtaa. Tulvat aiheuttavatkin vesihuollolle ja veden laadulle suuria ja moninaisia haasteita. Jätevesiverkostossa sekaviemäreiden ja pumppaamojen kapasiteetti voi ylittyä vedenpinnan nousun vuoksi, jolloin jätevettä voidaan joutua päästämään suoraan vesistöihin. Lisäksi tulvaveden mukana kulkevat puut, jäät ja muu aines voivat aiheuttaa laitosten pysähtymisiä ja lisätä näin puhdistamattoman jäteveden juoksutustarvetta vesistöihin. Talousveden laadullisia ongelmia aiheutuu myös kun ympäristöstä kulkeutuvat vedet, kuten tulvavedet, sekoittuvat talousveteen. Kaivoihin voi joutua pintavettä niin tulvien aikana kuin keväällä lumien sulaessa. Tulvavesi muodostaa riskin etenkin haja-asutusalueiden vesihuollolle (MMM 2005).

Sekä pinta- että pohjavedet ovat herkkiä pilaantumiselle. Veden laatuongelmia aiheutuu muun muassa ravinnekuormituksesta, alhaisesta happipitoisuudesta, suolaantumisen, happamoitumisen, lämpötilan noususta, eroosiosta, mikrobeista sekä erilaisista kemiallisista yhdisteistä. Esimerkiksi teollisuuden päästöt saastuttavat ja happamoittavat järviä ja maatalouden ravinnevalumat rehevöittävät vesistöjä. Kaikki nämä tekijät yhdessä vaikuttavat talousveden valmistukseen käytettävän raakaveden laatuun veden muodostumisalueella.

Tarkasteltaessa pitkäaikaisia pohjaveden pinnankorkeuksia aiemmilta vuosikymmeniltä Suomessa on havaittu, että keskimääräiset pohjaveden pinnantasot ovat muuttuneet tarkastelujakson aikana (Vienonen ym. 2012). Ilmastoskenaarioiden mukaan muutokset tulevat jatkumaan.

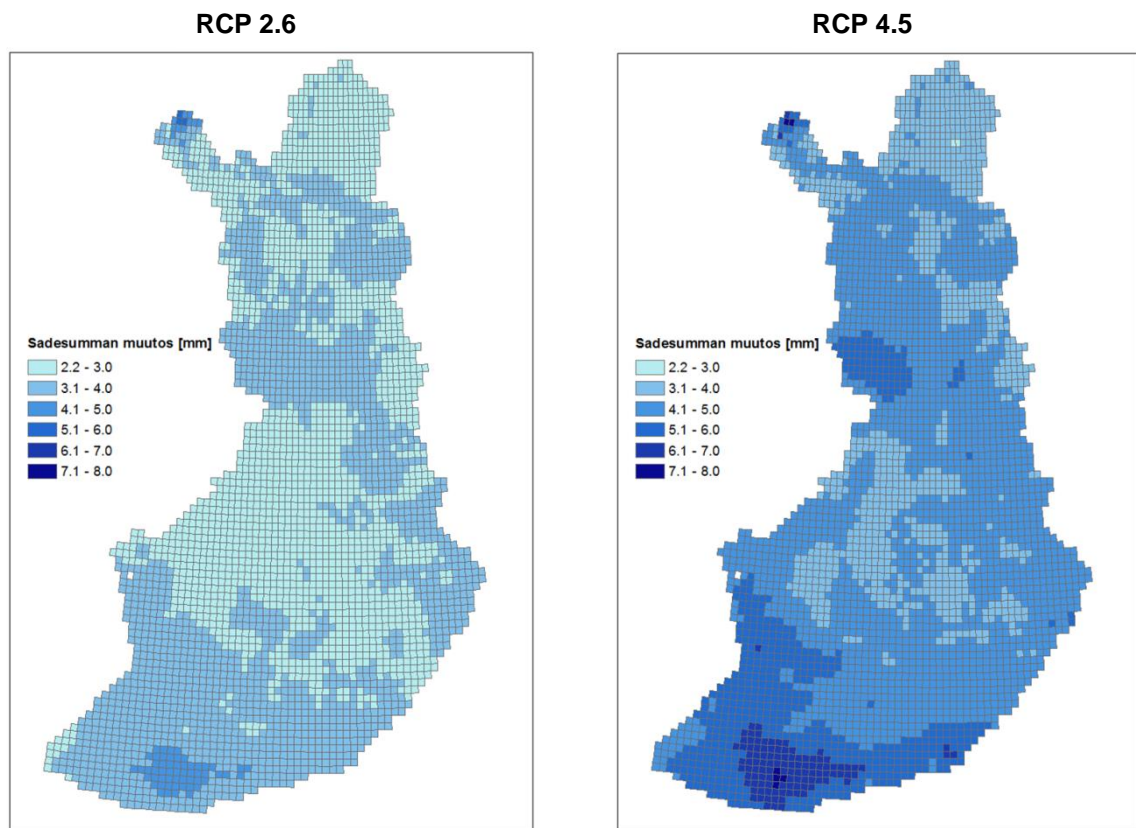
Kuivuus vaikuttaa sekä veden saatavuuteen että laatuun. Ilmaston lämpeneminen voi lisätä kuivien päivien määrää laajoilla alueilla Suomessa. Kuivuus vaikuttaa virtaamiin vähentävästi, jolloin veden laatu heikkenee sisäisen kuormituksen vaikutuksesta. Pohjaveden pinnan laskiessa kuivuuden vuoksi veden rauta- ja mangaanipitoisuudet voivat nousta veden happipitoisuuden muuttuessa. Happikato voi johtaa myös ammoniumin, orgaanisen aineksen, metaanin ja rikkivetykaasujen esiintymiseen, mikä voi aiheuttaa pahaa makua ja hajua veteen (Silander ym. 2006). Alentunut vedenkorkeus yhdessä lisääntyneiden ravinnepitoisuuksien ja suuremman sedimenttimäärän kanssa heikentää sekä pohja- että pintavesien laatua (IPCC 2007). Kuivuus voi lisäksi vaikeuttaa hyvälaatuisen talousveden saantia erityisesti Etelä-Suomessa (MMM 2005).

## 4.2. Ilmastoskenaariot Suomelle

Suomen vuosikeskilämpötila on noussut 1800-luvun puolivälistä lähtien parhaan arvion mukaan 2,3 astetta (Mikkonen ym. 2015). Jotta lämpenemistä ja muita ilmastoilmiöitä voitaisiin ennustaa, on käytettävä erilaisia ilmastoskenaarioita, joissa arvioidaan kasvihuonekaasujen päästöjen määrän tulevaa kehitystä. Päästötietojen perusteella voidaan edelleen päätellä, miten hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen pitoisuudet ilmakehässä muuttuvat tulevaisuudessa ja miten ne vaikuttavat tutkittavaan sääilmioon.

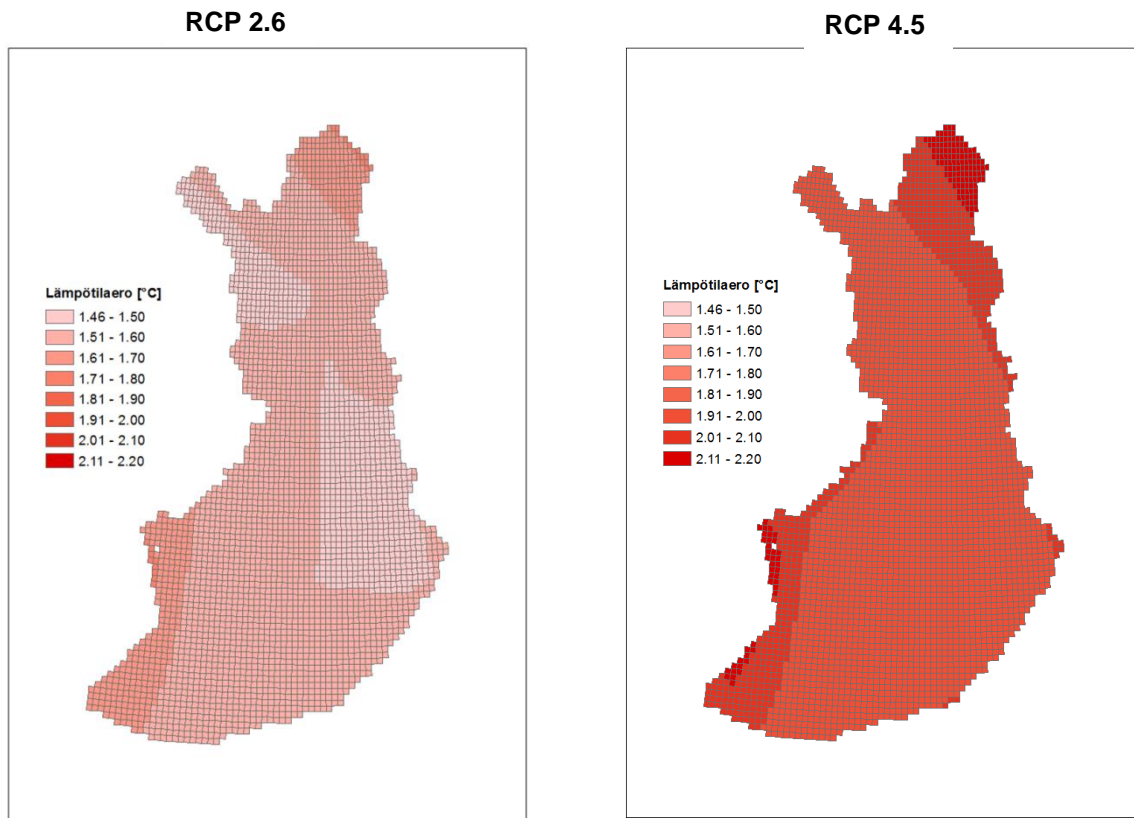
Hallitustenvälisen ilmastopaneelin (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) viidennen arviointiraportin laatimisen yhteydessä tiedeyhteisö on kehittänyt kasvihuonekaasuskenaarioita (IPCC 2007), jotka huomioivat mm. vuoden 2000 jälkeen toteutuneet päästöt. Näitä skenaarioita kutsutaan kasvihuonekaasujen pitoisuuksien mahdollisiksi kehityskuluiksi (representative concentration pathways, RCP). Pitoisuuksien kehityskulut tuottavat vuosisadan loppuun erisuuruisia säteilypakotteita. Yleisimmin nykyään käytettyjä skenaarioita ovat RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5, RCP2.6, joissa numeroarvo viittaa säteilypakotteen suuruuteen (W/m<sup>2</sup>). Ilmastonmuutosennusteissa annetaan arvio, kuinka paljon lämpötila,

sademäärä tai jokin muu ilmastosuure muuttuu perusjaksoon eli vuosien 1981–2010 keskiarvoon verrattuna. Arviot ulottuvat malleissa vuoden 2100 tienoille (Ruosteenoja 2013; Ruosteenoja ym. 2016).



Kuva 5. Sateisuuden (lokakuun keskimääräisen sadesumma, mm) muutos Suomessa vertailukaudesta 1981–2010 vuoteen 2040–2069 RCP2.6 ja RCP4.5 skenaarioissa.

Suomessa ilmastoskenaarioiden avulla on arvioitu mm. lämpötilan ja sateisuuden muutosta vuosisadan loppuun mennessä (Ruosteenoja ym. 2016). Arvioiden perusteella Suomen keskimääräinen lämpötila tulee nousemaan 2–6 astetta. Sateisuus tulee kasvamaan keskimäärin 5–20 %. Nämä ovat kuitenkin vain keskimääräisiä arvioita, sillä sekä lämpötilan että sateisuuden muutoksessa tulee olemaan suuria paikallisia. Ilmatieteenlaitoksen tekemien tarkempien alueellisten mallinnusten mukaan sateisuudessa nähdään suurin muutos Etelä-Suomessa (kuva 5). Lämpötilan muutokset ovat nähtävissä kuvassa 6.



Kuva 6. Lämpötilan (heinäkuun keskimääräinen lämpötila, °C) muutos Suomessa vertailukaudesta 1981–2010 vuoteen 2040–2069 RCP2.6 ja RCP4.5 skenaarioissa.

### 4.3. Ilmastonmuutoksen vaikutukset vesihuoltoon

Vesihuolto tarvitsee toimiakseen riittävästi hyvälaatuista vettä. Raakavettä hankitaan sekä pohja- että pintavesistä, ja ilmastonmuutos tulee vaikuttamaan sekä niiden määrään että laatuun ja tätä kautta vesihuoltoon. Ilmastonmuutos vaikuttaa sään ääri-ilmiöihin kuten rankkasateisiin, tulviin, myrskyihin ja kuivuuteen. Näiden ilmiöiden voimistuminen tulee vaatimaan monin paikoin sopeutumista. Vaikutusten suuruus ja suunta vaihtelevat alueittain ja vuodenajoittain, joten yleistettävyyttä on hankalaa. Esimerkiksi tulvien ja kuivuuden luonnollinen vaihtelu on suurta, joten ilmastonmuutoksen vaikutus niihin näkyy selvemmin vasta pidemmällä aikavälillä. Tällä hetkellä ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät talvivirtaamien kasvuna ja kevättulvien aikaistumisena Etelä- ja Keski-Suomessa, ja vaikutukset lisääntyvät 2000-luvun aikana (Tuomenvirta ym. 2018). Kuvassa 7 on esitetty eri sääilmiöiden ja ilmastonmuutoksen vaikutuksia vesihuoltoon.



Kuva 7. Sääilmiöiden ja ilmastonmuutoksen vaikutukset vesihuoltoon Suomessa.

Ilmastonmuutos vaikuttaa myös tulvarisktiin. Lyhyellä aikavälillä hyydetulvariski lisääntyy, suurten vesistöjen tulvariski kasvaa, ja pienten vesistöjen rankkasadetulvat yleistyvät, samoin kaupunkien hulevesitulvat. Pitkällä aikavälillä Itämeren pinnannousu lisää merivesitulvien riskiä erityisesti Suomenlahden rannikolla. Itämeren pinnannousun arvioidaan olevan hieman (noin 20 %) vähäisempää kuin valtamerillä keskimäärin ja maankohoaminen kompensoi muutosta erityisesti Pohjanlahden rannikolla (Tuomenvirta ym. 2018).

Tärkeimmiksi sää- ja ilmatoriskeitä vesivarasektorilla on tehtyjen tutkimusten ja analyysien pohjalta arvioitu hulevesitulvien kasvaminen, vesistötulvien muutokset, äärisään aiheuttamat riskit vesihuollossa ja kuivuuden lisääntyminen (Tuomenvirta ym. 2018). Hyydetulvien lisääntyminen on jo tapahtunut, ja hyydeongelmat tulevat olemaan yleisiä myös lähitulevaisuudessa (Veijalainen ym. 2012). Hyydetulvien aiheuttamat vahingot ovat yleensä paikallisia ja säännöstellyissä vesistöissä niihin voidaan varautua juoksutus- ja lupamuutoksilla.

Merivesitulvien riski kasvaa vasta kauempana tulevaisuudessa ja riski otetaan nykyään hyvin huomioon kaavoituksessa (Haapala ym. 2012). Merivesitulvien lisääntyminen vaatii kuitenkin jatkuvaa seurantaa ja uutta tutkimusta, koska sen aiheuttamat potentiaaliset vaikutukset voivat olla suuria.

Ilmastonmuutos voi myös lisätä rehevöitymistä ja leväkukintoja, mikä johtuu mm. ravinteiden runsaammasta huuhtoutumisesta ja korkeammista lämpötiloista (Kanoshina ym. 2003). Tämä voi haitata yhdyskuntien vedenottoa ja vesistöjen virkistyskäyttöä (Ilmasto-opas 2018).

Kuivuus aiheuttaa riskejä yhdyskuntien ja kiinteistöjen vesihuollossa. Kesän kuivuus saattaa lisääntyä Etelä- ja Keski-Suomessa, koska kevät aikaistuvat ja muuttuvat vähälumisemmiksi, ja korkeamman lämpötilan takia haihdunta voimistuu (Veijalainen ym. 2012, Vienonen ym. 2012). Harvinaisemmat pitkittyneet kuivuusjaksot voivat johtaa pohjavesikaivojen kuivumiseen tai pohjaveden laadun muutoksiin erityisesti haja-asutusalueilla ja pienten pohjavesimuodostumien alueella (Vienonen ym. 2012).

Ilmastonmuutos lisää myrskytuulien aiheuttamien vahinkojen määrää ja rankkasateiden voimakkuutta, mikä puolestaan lisää vesihuollon toimintahäiriöiden (esim. sähkökatkot) sekä pohja- ja pintaveden pilaantumisen aiheuttamia riskejä.

Tulvavesi, hulevedet, runsaat sateet ja lumen sulamisvesi voivat heikentää yhdyskuntien ja kiinteistökohtaisten vedenottoaivojen veden laatua ja aiheuttaa vesivälitteisiä riskejä terveydelle (Tuomenvirta ym. 2018). Rankkasateet ja tulvat voivat myös johtaa jätevesiverkoston kapasiteetin ylittymiseen ja ylivuotoihin. Jätevesipuhdistamoiden ylivuotojen pitäisi olla aina hallittuja, jotta niistä ei aiheudu haittaa terveydelle tai

ympäristölle (Tuomenvirta ym. 2018). Jos sadanta lisääntyy tulevaisuudessa erityisesti rankkasateiden muodossa eikä vesihuoltoverkoston uusimistahtia kasvateta saneerausvelan kuittaamiseksi, nykyisten järjestelmien kapasiteetti tulee ylittymään yhä useammin. Saneerauksia tarvitaan jo nyt ja lisääntyvissä määrin tulevaisuudessa huonokuntoisen verkoston vuotojen vähentämiseksi, sekaviemäröinnistä eroon pääsemiseksi ja kapasiteetin turvaamiseksi (Berninger ym. 2018). Tämän vuoksi alueellinen vesijohtoverkoston ilmastokestävyuden arviointi on tärkeää.

Tämän raportin kyselytutkimuksessa ei ole käsitelty haja-asutusalueiden tai vapaa-ajan asuntojen yksityiskaivojen ilmastoriskejä. Tulvien, kuivuuden ja sään ääri-ilmiöiden yhteydessä on huomattava, että sää- ja ilmastoriskit koskettavat arviolta 300 000 yksityistaloutta, joiden vedenhankinta on oman kaivon varassa. Tämän lisäksi Suomessa on saman verran kesäasuntoja, jotka ottavat talousvetensä kaivosta. Rengaskaivojen määräksi on arvioitu noin 450 000 ja porakaivojen 160 000 (Hatva ym. 2008). Yksityiskaivojen varassa elävien kotitalouksien varautumistaso on heikko, sillä yleensä käytössä ei ole minkäänlaisia varavoimalähteitä; siten esimerkiksi myrskyjen tai tykkylumen aiheuttamat sähkökatkot voivat aiheuttaa ongelmia. Lisäksi rankkasateet voivat aiheuttaa kaivojen pilaantumista, mihin ei myöskään ole yleensä varauduttu. Kiinteistökohtaisessa vesihuollossa haavoittuvuutta esimerkiksi kuivuuden suhteen voi lisätä oman kaivon varassa olevan väestön ikääntyminen.



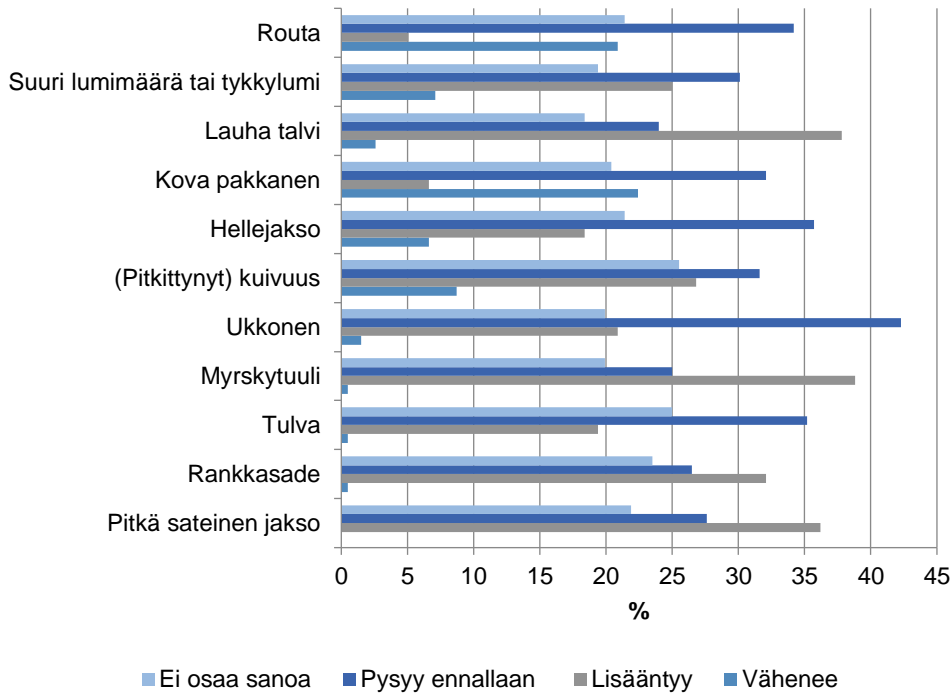
## 5. VESIHUOLTOLAITOSTEN NÄKEMYKSIÄ ILMASTONMUUTOKSESTA

Vesihuoltolaitosten näkemyksistä ilmastonmuutosta koskien ei ole paljoa tutkittua tietoa Suomessa. Suomen ympäristökeskus (SYKE) tutki vuonna 2012 hankkeessaan ”Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja sopeutumistarpeet vesihuollossa” ilmastonmuutoksen vaikutuksia vesihuollossa sekä keinoja sopeutua muutoksiin (Vienonen ym. 2012). Hanke keskittyi lähinnä vesihuoltolaitosten sopeutumiseen, ei niinkään siihen, kokevatko laitokset sää- ja ilmastoriskejä uhkana toiminnassaan. SYKEN raporttiin sisällytetyssä haastattelukierroksessa oli mukana vain 22 vesihuoltolaitosta.

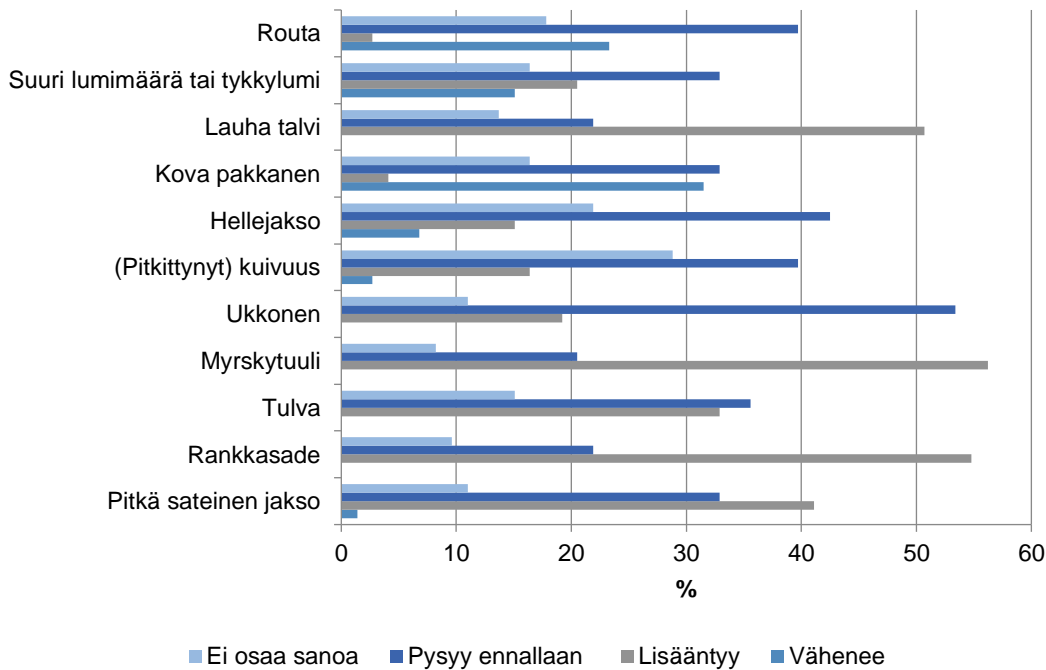
Silfverberg (2017) totesi raportissaan ”Vesihuollon suuntaviivat 2020-luvulle” ilmastonmuutoksen olevan yksi tärkeimmistä vesihuoltoon vaikuttavista muutostrendeistä. Silfverberg toteaa raportissaan erityisesti sään ääri-ilmiöiden voimistumisen vaikuttavan jo nyt raakavesien laatuun sekä lisäävän tulva- ja kuivuusriskejä. Silfverbergin mukaan ilmastonmuutokseen sopeutumisesta on tullut tärkeä osa varautumista ja toisaalta kaikessa yhteiskunnan toiminnassa on vähennettävä kasvihuonekaasujen päästöjä. Tämän katsotaan olevan haaste myös vesihuoltosektorilla, jossa on mahdollisuuksia parantaa energiatehokkuutta. Sitran 1,5 asteen elämäntavat -raportissa käy ilmi (Lettenmeier ym. 2019), että pohjoisesta sijainnistamme huolimatta vesi kattaa vain yhden prosentin suomalaisten hiilijalanjäljestä. Esimerkiksi Japanissa veden osuus asumisen hiilijalanjäljestä on neljä prosenttia. Ilmastonmuutoksen voimistuessa tulevaisuuden vesivarojen turvaamisen on todettu olevan keskeinen vesihuollon painopiste (Meriläinen ym. 2017).

Kyselytutkimukseen vastanneista vesihuoltolaitoksista peräti 86 % koki ilmaston olevan muuttumassa maailmanlaajuisesti. Lisäksi 88 % vastanneista vesihuoltolaitoksista koki ihmistoiminnan muuttavan ilmastoa. Kysyttäessä Suomen sää- ja ilmastoriskeistä, 39 % vesihuoltolaitoksista, joista suurin osa oli pieniä pohjavesilaitoksia, koki ilmastonmuutoksen uhkaavan vesiturvallisuutta Suomessa. Kysyttäessä omaan vesihuoltolaitokseen kohdistuvista ilmastouhkista, vain 9 % vesihuoltolaitoksista koki ilmastonmuutoksen uhkaavan oman laitoksen vesiturvallisuutta, kun taas 75 % ei kokenut ilmastonmuutoksen aiheuttavan uhkaa. Kuitenkin 34 % vastanneista vesihuoltolaitoksista arvioi ilmastonmuutoksella olevan vaikutusta omaan vedenhankintaan vuoteen 2050 mennessä, mikä aiheuttaisi lisäselvitystarpeita vesihuoltolaitoksella. Vain kuusi prosenttia vastanneista vesihuoltolaitoksista arveli, että ilmastonmuutoksella olisi myös myönteisiä vaikutuksia, kun taas 34 % koki, ettei ilmastonmuutoksesta seuraisi myönteisiä vaikutuksia. Loput eivät vastanneet kysymykseen lainkaan. Laitosten luottamuksen siihen, ettei ilmastonmuutos ole uhkana omalle toiminnalle, voidaan arvella selittyvän luottamuksella oman vesihuoltolaitoksen hyvään varautumistasoon tai mahdollisilla tietopuutteilla sää- ja ilmastoriskeistä.

Hyvin pienistä pohjavesilaitoksista (vedentuotanto alle 100 m<sup>3</sup>/vrk) 22 % uskoi kovien pakkasten ja 20 % roudan vähenevän seuraavien 10 vuoden aikana. Pienistä pintavesilaitoksista (veden tuotanto 100 – 999 m<sup>3</sup>/vrk) yksi ja keskisuurista (veden tuotanto 1 000 – 9 999 m<sup>3</sup>/vrk) neljä arvelivat kovien pakkasten vähenevän seuraavan vuosikymmenen aikana. Yli 30 % hyvin pienistä pohjavesilaitoksista uskoi pitkien sateisten jaksojen, rankkasateiden, myrskytuulien ja lauhojen talvien lisääntyvän jatkossa, ja yli 20 % uskoi ukkosten, pitkittyneen kuivuuden ja suurten lumimäärien yleistyvän seuraavien 10 vuoden aikana (kuva 8). Hyvin pienistä, pienistä ja suurista (veden tuotanto 10 000 m<sup>3</sup>/vrk tai enemmän) pintavesilaitoksista vain yksi vastaaja arvioi yllämainittujen sääilmiöiden yleistyvän seuraavien 10 vuoden aikana.



a)



b)

Kuva 8. Sääilmiöiden yleisyyden muutos seuraavan 10 vuoden aikana a) hyvin pienillä (vedentuotanto alle  $100 \text{ m}^3/\text{vrk}$ ) ja b) pienillä (vedentuotanto  $100 - 999 \text{ m}^3/\text{vrk}$ ) pohjavesilaitoksilla.

## 6. VESIHUOLTOLAITOSTEN VARAUTUMINEN ILMASTONMUUTOKSEEN

### 6.1. Varautumisen lainsäädännöllinen tausta

Lainsäädäntö edellyttää vesihuoltolaitoksilta kattavaa riskienhallintaa ja varautumista sekä järjestelmällistä varautumisen suunnittelua. Varautumisen tavoitteena on vesihuoltolaitoksen toimintakyvyn ylläpito ja häiriötilanteiden kielteisten vaikutusten vähentäminen. Vesihuoltolaki (119/2001) ohjaa vesihuoltolaitosten toimintaa ja vuonna 2014 vesihuoltolaissa tarkennettiin vesihuoltolaitosten häiriötilanteisiin varautumista. Vesihuoltolain mukaan vesihuoltolaitos laatii ja pitää ajan tasalla suunnitelman häiriötilanteisiin varautumisesta sekä ryhtyy sen perusteella tarvittaessa toimenpiteisiin. Ilmastonmuutosta ei ole erikseen mainittu vesihuoltolaissa, mutta sää- ja ilmatoriskien voidaan ajatella sisältyvän häiriötilanteisiin.

Vesihuoltolaitoksen opas häiriötilanteisiin varautumiseen (Vesihuoltopooli 2016) ohjeistaa vesihuoltolaitoksia varmistamaan vesihuoltopalveluiden mahdollisimman suuren toimintavarmuuden kaikissa tilanteissa. Oppaassa kuvataan varautuminen prosessina ja korostetaan, että sen ylläpitäminen ja kehittäminen on jatkuvaa toimintaa. Ilmastonmuutosta ei ole mainittu oppaassa, mutta sään aiheuttamista ilmiöistä mm. tulvat ja myrskyt ovat mainittuina.

Vesihuollon toimintavarmuutta uhkaavia häiriötilanteita ovat mm. laiterikot, myrskyt, sähkökatkot, tietoliikennekatkokset, tulvat, tulipalot tai muut onnettomuudet. Moniin näistä voivat vaikuttaa vallitsevat sääolot, erityisesti sään ääri-ilmiöt. Vesihuoltolaitoksen on näissäkin tilanteissa tuotettava vesihuoltopalvelut ilman häiriöitä ja ryhdyttävä mahdollisimman nopeasti tilanteen edellyttämiin toimenpiteisiin (Vesihuoltopooli 2016).

Vesihuoltolaitoksilta edellytetään erilaisia suunnitelmia, joihin tulee sisällyttää sääilmiöihin varautumista. Vesihuoltolain 2014 uudistuksen yhtenä keskeisenä tavoitteena oli parantaa vesihuoltolaitosten riskien hallintaa ja varmistaa vesihuoltopalveluiden saatavuus. Vesihuoltolaissa mainituilla häiriötilanteilla tarkoitetaan myös tilannetta, jonka voi aiheuttaa luonnononnettomuus tai äärimmäinen sääolosuhde. Lisäksi maankäyttö ja rakennuslaissa on selkeytetty esimerkiksi hulevesisäätelyn ja hulevesien kokonaishallinnan suhteen tavoitteena aiempaa parempi varautuminen sään ja vesiolojen muuttumiseen sekä sään ääri-ilmiöiden lisääntymiseen.

#### 1. Varautumissuunnitelma

Varautumissuunnitelma laaditaan normaaliolojen häiriötilanteita ja valmiuslaissa (1552/2011) tarkoitettuja poikkeustilanteita varten. Suunnitelman laativat vesihuoltolaitokset. Valmiuslain mukainen velvoite koskee kuntaa ja siten vain kuntien vesihuoltolaitoksia. Varautumissuunnitelma sisältää erityislainsäädännössä määritellyt suunnittelovelvoitteet ja riskien tunnistamisen, haittojen ennaltaehkäisyn ja niiden vaikutusten vähentämisen sekä toiminnan erityistilanteissa.

#### 2. Valmiussuunnitelma

Valmiussuunnitelman laatiminen on valtion viranomaisten, valtion liikelaitosten ja kuntien velvollisuus. Suunnitelman avulla ja poikkeavissa oloissa tapahtuvan toiminnan etukäteisvalmisteluun sekä muilla toimenpiteillä ne pystyvät varmistamaan tehtävien mahdollisimman hyvän hoitamisen myös normaalista poikkeavissa oloissa (Valmiuslaki 2011, 12 §.). Valmiussuunnitelman avulla varaudutaan normaaliolojen häiriötilanteisiin, suuronnettomuuksiin ja poikkeusoloihin.

#### 3. Erityistilannesuunnitelma

Erityistilannesuunnitelma laaditaan talousveden laadun turvaamiseksi ja sen laatiminen ja ajan tasalla pitäminen kuuluvat kunnan terveydensuojeluviranomaiselle. Suunnitelma on osa kunnan valmius- ja varotoimenpiteitä. Erityistilannesuunnitelma tehdään yhteistyössä terveydensuojeluviranomaisen ja muiden

viranomaisten, talousvettä toimittavan laitoksen ja sille vettä toimittavan laitoksen sekä muiden asianomaisten laitosten kanssa (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 2015, 12 §.).

#### 4. Pohjavesialueen suojelusuunnitelma

Pohjavesialueen suojelusuunnitelman avulla pyritään turvaamaan pohjavesivarojen säilyminen käyttökelpoisina rajoittamatta kuitenkaan tarpeettomasti muuta maankäyttöä. Suojelusuunnitelmaan kuuluu pohjavesialueen hydrogeologisten ominaisuuksien selvittäminen, riskitekijöiden kartoittaminen sekä toimenpidesuosituksen laatiminen alueella jo oleville ja sinne mahdollisesti tuleville riskitekijöille. Suunnitelman tavoitteena on myös pohjaveden laadun tarkkailun tehostaminen sekä pohjavesivahinkojen ja -onnettomuuksien varalta suunniteltuihin toimenpiteisiin varautuminen. Suojelusuunnitelman laativat tai laadittavat kunnat ja muut vedenottajat (Rintala ym. 2007).

#### 5. Häiriötilannesuunnitelma

Kunnan terveydensuojeluviranomaisen on laadittava ja pidettävä ajan tasalla häiriötilannesuunnitelma talousveden laadun turvaamiseksi. Suunnitelma on osa terveydensuojelulaissa tarkoitettua varautumista yhteistyössä muiden viranomaisten, talousvettä toimittavan laitoksen ja sille vettä toimittavan laitoksen kanssa sekä sellaisten laitosten kanssa, joiden toiminnasta voi aiheutua raakaveden tai talousveden saastumisen vaaraa tai joiden toiminnalle talousveden laadulla on erityisen suuri merkitys. Ohjeistus kuvaa selkeästi ja konkreettisesti sen, mitä talousveden laadun kannalta oleellisissa, ennalta tunnistetuissa häiriötilanteissa kukin toimija tekee ja mistä vastaa.

#### 6. Talousveden toimenpideohjelma - Water Safety Plan

Turvallisen talousveden takaamiseksi on sosiaali- ja terveysministeriön johdolla laadittu toimenpideohjelma (WSP, Water Safety Plan). Ohjelman tarkoituksena on tunnistaa koko vedentuotannon toimintaympäristöön ja vedentuotantoketjuun liittyvät riskit ja hallita riskejä talousveden laadun turvaamiseksi. WSP pohjautuu Maailman terveysjärjestön (WHO) suositteluun malliin.

##### 6.2. Riskinhallintakeinot

Muuttuviin sää- ja ilmasto-oloihin on varauduttava ajoissa. Viime vuosien helleaallot, kuivuusjaksot ja rankkasateet ovat muistuttaneet siitä, että Suomessakin säähän liittyvät ilmiöt voivat aiheuttaa mittavia taloudellisia ja yhteiskunnallisia vaikutuksia. Ilmastonmuutos muuttaa nykyisiä uhkia ja aiheuttaa vähitellen kehittyviä uusia riskejä yhteiskunnalle ja luonnolle. Näihin riskeihin on varauduttava ja sopeuduttava, myös vesihuollossa. Riskien tehokas hallinta lisää yhteiskunnan hyvinvointia ja turvallisuutta. Ilmastonmuutoksen vesihuollolle aiheuttamat riskit eivät tule jakautumaan maantieteellisesti tasaisesti Suomessa. Esimerkiksi kuivuuden aiheuttamien haittojen riski on suurin Etelä- ja Lounais-Suomessa järvien vähyyden ja pohjavesiesiintymien hajanaisuuden sekä vesivarojen suuren hyödyntämistason vuoksi.

Vesihuollon varautumisessa ilmastonmuutokseen on keskeisintä, että vesihuoltolaitosten osaaminen ja voimavarat riittävät yleistyvien häiriötilanteiden ehkäisyyn ja niiden ratkaisemiseen. Varautumissuunnitelmat tulisikin laatia yhteistyössä viranomaisten kanssa ja tilanteita tulisi harjoitella säännöllisesti yhdessä kunnan toimijoiden kanssa ja kunnan alueella toimivien vesihuoltolaitosten kanssa (Hanski ja Silfverberg 2019).

Tärkeimmät keinot tulviin liittyvässä riskienhallinnassa ovat tulvariskien ottaminen huomioon kaavoituksessa, alueelliset ennusteet ja varoitukset, tulvalainsäädännön mukaiset tulvakartat ja hallintasuunnitelmat sekä joustavat säännöstelyluvut ja –käytännöt. Lisäksi asukkaiden ja toimijoiden tulvatietoisuudella ja omatoimisella varautumisella on suuri merkitys (Tuomenvirta ym. 2018).

Kuivuuden suhteen tärkeimmät keinot varautumisessa ovat tiedottaminen sekä ennusteiden ja säännöstelyn käytäntöjen parantaminen. Teollisuudessa ja yhdyskuntien vesihuollossa ilmastonmuutoksen riskejä voidaan pienentää parantamalla varautumista muun muassa kartoittamalla varavesilähteitä ja rakentamalla siirtolinjoja sekä laatimalla varautumissuunnitelmia kuivuuden varalle (Tuomenvirta ym. 2018).

Vaikka ilmastonmuutoksesta puhutaan paljon, on ilmastotieto vielä monilta osin puutteellista, eikä sitä käytetä johdonmukaisesti päätöksenteossa. Suomessa ei ole vielä vesihuoltolaitoksille suunnattua ilmasto-ohjelmaa, jossa laitokset saisivat kootusti tietoa sää- ja ilmastoriskeistä sekä niihin varautumisesta. Suomessa merkittävät ja kalliit vesihuollon häiriötilanteet ovat osaksi johtuneet inhimillisistä virheistä ja osaksi taas poikkeuksellisista sääolosuhteista, kuten myrskyistä, rankkasateista ja kuivuudesta. Monet talousvettä toimittavat vesihuoltolaitokset ovat varautuneet häiriötilanteisiin erilaisilla suunnitelmilla, erityistilanteissa toimimista harjoittelemalla ja teknistä varustelutasoa nostamalla. Vesihuoltolaitoksilla on kuitenkin edelleen parannettavaa häiriötilanteisiin sopeutumisessa. Vienonen ym. (2012) tutkimuksessa todettiin keskeisimmiksi ilmastonmuutokseen sopeutumiskeinoiksi seuraavat:

- Vedenottokaivojen oikeanlainen sijoittaminen ja rakentaminen siten, että rankkasateiden tai tulvien aikana valumavesiä tai pintavesiä ei pääse suoraan kaivoon.
- Erityisesti pienten vesimuodostumien antoisuuden arviointi kuivina kausina.
- Viemäriverkostojen mitoituksen tarkistaminen, vuoto- ja hulevesien viemäreihin pääsyn ehkäiseminen sekä sekaviemäroinnistä luopuminen.
- Varavoiman saatavuuden varmistaminen vesihuoltolaitoksilla ja kriittisillä pumpaamoilla sähkökatkojen varalta.
- Uusien jätevesipumpaamojen sijoittaminen pohjavesialueiden ja tulvavaara-alueiden ulkopuolelle.

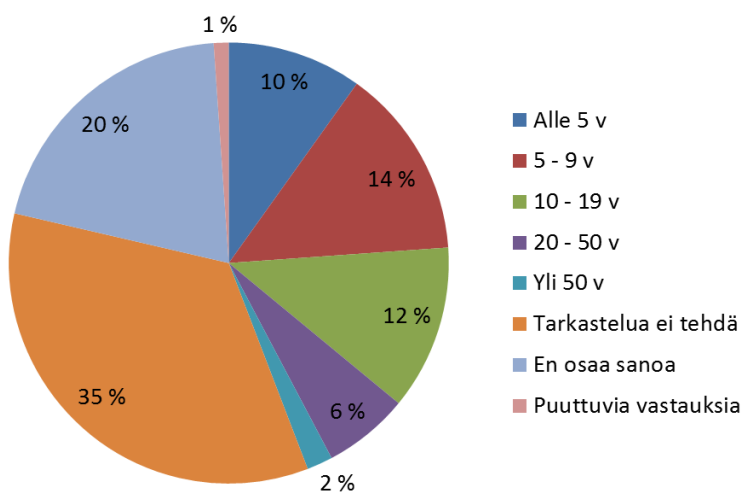
Tämän lisäksi raportissa todettiin, että ilmastonmuutos voi lisätä vedenkäsittelytarvetta vesihuoltolaitoksilla ja erityisesti pienten laitosten tulisi myös varautua nostamalla desinfiointivalmiutta esimerkiksi UV-käsittelyn avulla. Vesihuoltolaitoksilla tulisi olla nykyistä paremmat tiedot raakavesimuodostumista ja sää- ja ilmastoriskeistä niihin liittyen. Tietoa voi saada esimerkiksi pohjavesimuodostuman geologisista rakenneselvityksistä, ympäristöhallinnon pohjavesitietojärjestelmästä (POVET) ja pohjavesimalleista. Raportissa korostettiin erilaisten suunnitelmien, vesihuoltolaitosten välisen yhteistyön, hyvän maankäytön, riittävän vedenkäsittelyn sekä tietojärjestelmien ja mallinnusten hyödyntämistä, jotta vesihuoltolaitokset voisivat tehostaa sopeutumistaan ilmastonmuutoksen vaikutuksiin (Vienonen ym. 2012).

Vesihuollon varautuminen ilmastonmuutokseen edellyttää, että vesilaitoksen puhdistusjärjestelmät mitoitetaan niin, että laitokset voivat sopeutua esimerkiksi sateisuuden muutoksiin. Lisäksi riskien hallinnan tulee perustua tietoon kriittisistä ilmastoparametreista huomioiden alueelliset sää- ja ilmastoennusteet. Tulevaisuuden kestävä vesihuollon ydinkysymyksiä onkin pitkän aikavälin ennakointi toimintaympäristön, teknologian ja EU-lainsäädännön muuttuessa (Hanski ja Silfverberg 2019).

Ilmastonmuutoksen ennustetaan pahentavan kuivuutta myös Suomessa. Kuivuuteen voidaan varautua, jolloin vaikutukset vesihuollossa pienyvät. Winland-konsortion (2019b) mukaan kuivuuteen varautumisen toimenpiteet voidaan jakaa ennakoiviin ja kuivuuden aikana tehtäviin toimenpiteisiin. Winland-hankkeen Policy Brief VII:ssa (Winland 2019b) ehdotetaan, että kustannustehokkuuden vuoksi tulisi panostaa sellaisiin toimiin, jotka tuottavat hyötyä myös muulloin kuin kuivana kautena, esimerkkinä varavesilähteiden kartoittaminen. Lisäksi suomalaisen vesihuollon kuivuudenhallinnassa tulisi siirtyä kriisinhallinnasta hallintasuunnitelmiin.

### 6.3. Varautumisen taso vesihuoltolaitoksissa

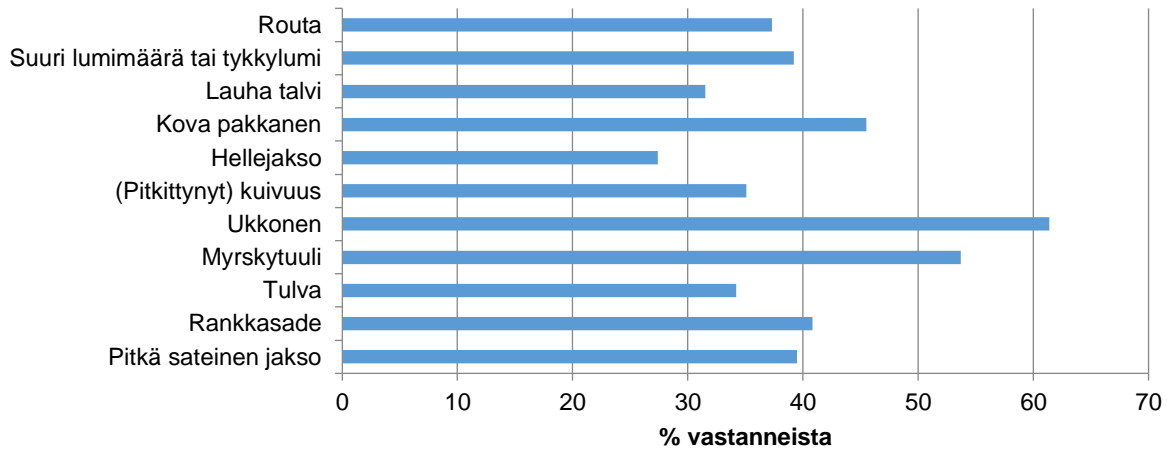
Sää- ja ilmatoriskejä tulee arvioida sekä lyhyellä että pitkällä aikajänteellä. Kuvassa 9 on nähtävissä, millä aikajänteellä vesihuoltolaitokset tarkastelevat sää- ja ilmatoriskejään vesilaitoskyselyn perusteella. Useimmiten aikajänne on 5-9 vuotta. Omassa toiminnassaan vesihuoltolaitokset hyödyntävät erityisesti sääennusteita (66 %), pakkasvaroituksia (27 %) ja tuuli- ja myrskyvaroituksia (50 %). Lisätietoa toivottaisiin erityisesti paikkakuntaakohtaisista ilmastoennusteista (30 %), mutta myös muut tietolähteet olivat hyvin tasaisesti haluttuja.



Kuva 9. Sää- ja ilmatorisken tarkastelun aikajänne vesihuoltolaitoksilla (N=342).

Yli puolet vesihuoltolaitoksista oli varautunut ukkos- ja myrskytuulen aiheuttamiin ongelmiin kyselytutkimuksen perusteella (kuva 10). Osaan sääilmiöiden aiheuttamista ongelmista oli varauduttu melko heikosti, sillä merkittävällä osalla vesilaitoksista varautumista ei ollut lainkaan hellejaksoihin (55 % vastanneista), pitkittyneeseen kuivuuteen (52 % vastanneista), lauhaan talveen (51 % vastanneista) ja tulviin (50 % vastanneista). Pintavesilaitoksilla 44 % vastanneista oli varautunut tulviin, 37% pitkittyneeseen kuivuuteen ja 42 % hellejaksoihin. Pohjavesilaitoksista 42% vastanneista oli varautunut pitkiin sateisiin jaksoihin, 37% tulviin ja pitkittyneeseen kuivuuteen ja 46 % routaan.

Vesilaitoskyselyn perusteella lähes kaikki vesilaitokset (94 %) kokivat, että heidän vesilaitoksensa pystyy vastaamaan säävaihteluiden asettamiin haasteisiin tällä hetkellä riittävästi. Pohjavesilaitoksista 6 % ei kokenut pystyvänsä vastaamaan säävaihteluiden haasteisiin riittävästi, kun taas pintavesilaitoksista vain 3 % oli tätä mieltä. Kyselyyn vastanneista vesilaitoksista 63 % (pintavesilaitoksista 49 % ja pohjavesilaitoksista 69 %) arvioi, ettei ilmastonmuutos aiheuta lisäselvitystarpeita omalla vesilaitoksella. Vesihuollon sietokyvyn (resilienssi) suhteen 71 % vastanneista (pintavesilaitoksilla 61 % ja pohjavesilaitoksilla 71 %) vesilaitoksista koki, että vesilaitoksen valmius reagoida ilmastonmuutoksen aiheuttamiin muutoksiin on riittävä.



Kuva 10. Vesihuoltolaitoksien varautuminen sääilmiöiden aiheuttamiin mahdollisiin ongelmiin (N=378).

Kysyttäessä sääilmiöiden sijaan erilaisiin poikkeustilanteisiin varautumisesta (taulukko 1), pohjavesihuoltolaitokset olivat varautuneet omassa toiminnassaan hyvin sähkökatkoihin (69 % vastanneista), luultavimmin varavoiman avulla. Vastanneista vesihuoltolaitoksista 43 % oli varautunut pohjaveden muuttuvaan korkeuteen, 49 % pohjaveden muuttuvaan laatuun ja 45 % pohjaveden muuttuvaan määrään.

Taulukko 1. Pohjavesilaitosten varautuminen erilaisiin poikkeustilanteisiin (N=348).

Poikkeustilanne	N	%
Sähkökatkos	240	69
Tulvariski	86	25
Pintaveden korkeuden muutos	87	25
Pintaveden laadun muutos	68	20
Pohjaveden korkeuden muutos	149	43
Pohjaveden laadun muutos	172	49
Pohjaveden määrän muutos	156	45
Vuodot viemäriverkostossa	119	34
Vuodot jätevedenpumppaamalla	88	25

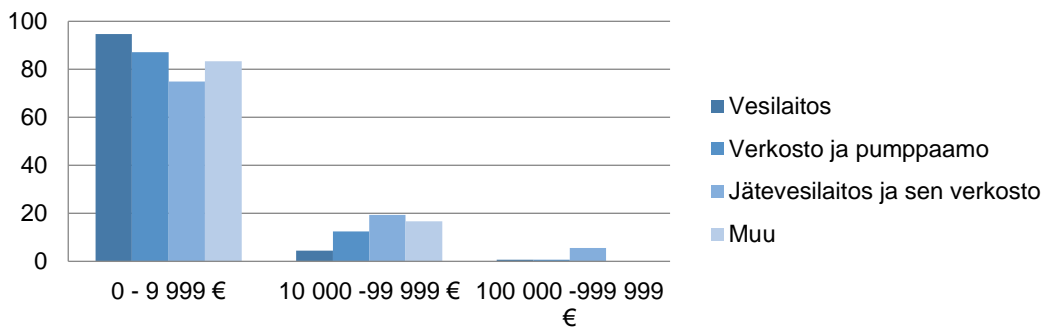
Vesilaitokset olivat varautuneet riskitilanteisiin erityisesti vesihuollon yleissuunnitelmalla (50 %) ja vesilaitoksen varautumissuunnitelmalla (52 %). Näissä ei kuitenkaan edellytetä suoraan ilmastonmuutoksen huomioimista eikä lainsäädäntö vielä velvoita siihen, joten ainoastaan 10 % vastanneiden yleissuunnitelmista ja 15 % vastanneiden varautumissuunnitelmista sisälsi huomioita ilmastonmuutoksesta. Riskien arviointi- ja hallintasuunnitelmissa (Water safety plan, WSP) vain 13 %:ssa oli huomioitu ilmastonmuutos. Kyselyyn vastanneista pohjavesilaitoksista 37 %:lta puuttui vesihuollon yleissuunnitelmaa, 29 %:lta varautumissuunnitelmaa ja 50 %:lta riskinhallintasuunnitelmaa. Vastaavasti pintavesilaitoksilla 40 %:lta vastanneista puuttui yleissuunnitelmaa, vain 13 %:lta varautumissuunnitelmaa ja 23 %:lta riskinhallintasuunnitelmaa.

## 7. VARAUTUMISEN JA VESIEPIDEMIOIDEN TALOUDELLISET VAIKUTUKSET

### 7.1. Vesilaitosten investointiaikeet

Vesilaitokset joutuvat tekemään suuria investointeja lähitulevaisuudessa vesisektorin kasvavan saneerausvelan vuoksi. Vesijohtoverkostoja on Suomessa yhteensä noin 100 000 km ja on arvioitu, että vesijohtoverkostoista noin 6 % ja viemäriverkostosta 12 % on erittäin huonossa kunnossa (RIL 2019). Tämän lisäksi vesilaitosten puhdistusprosessien tekniikka ja laitteistot vanhenevat, ja niitä täytyy sekä päivittää että uusia. Tämän vuoksi on vaikeaa arvioida, miten paljon vesilaitosten investointitarpeet tulevat riippumaan nimenomaan ilmastonmuutoksen aiheuttamista riskeistä ja niihin varautumisesta. On kuitenkin selvää, että investointien yhteydessä on taloudellisesti järkevää katsoa tulevaisuuteen ja huomioida tulevia sää- ja ilmastoriskejä. Häiriöttömän toiminnan kannalta onkin olennaista, että vesihuoltolaitos on tunnistanut investointitarpeensa ja että laitoksella on kartoitettu esimerkiksi vesihuollon tunnuslukujen avulla verkoston kunto sekä siihen liittyvät riskit (Berninger ym. 2018)

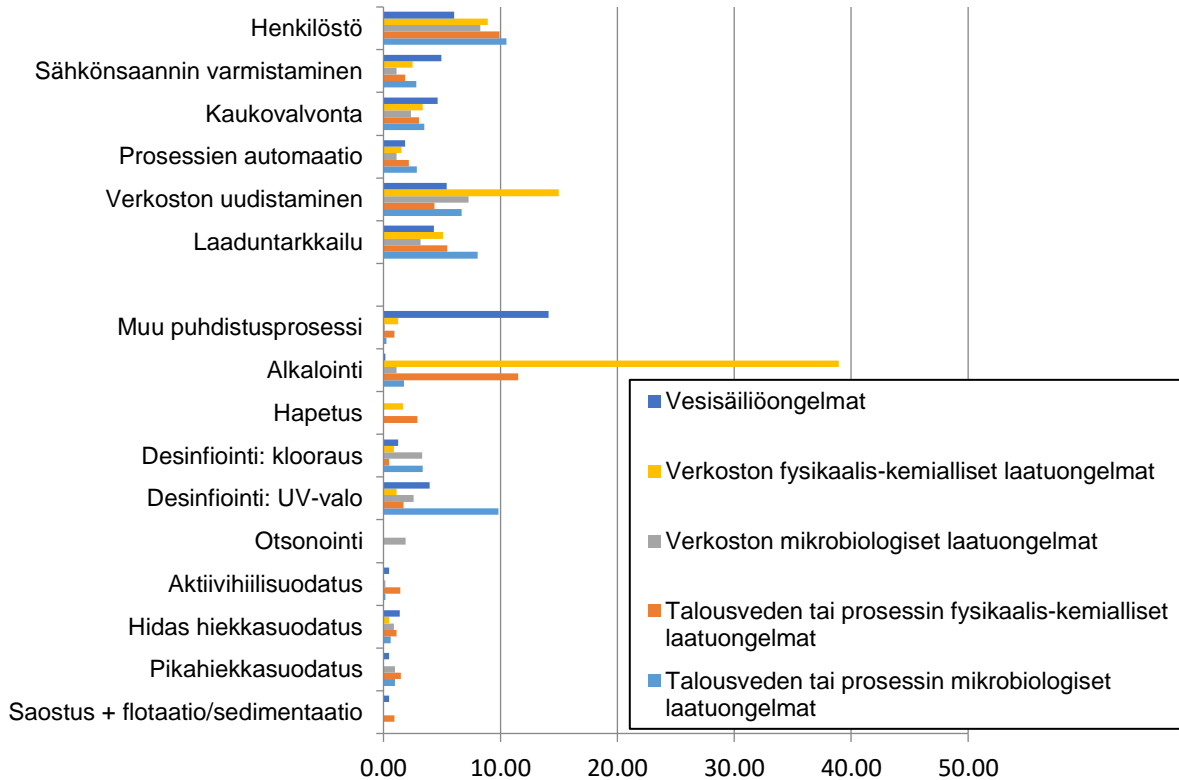
Vesilaitoskyselyyn vastanneista suurin osa oli pieniä vesilaitoksia, joten on luonnollista, että tulosten perusteella myös pienimmät investoinnit ovat yleisimpiä (kuva 11).



Kuva 11. Vesilaitosten keskimääräiset vuosittaiset investoinnit (€ per vastannut vesihuoltolaitos) edellisten 10 vuoden aikana (N=378).

Kyselytutkimuksen perusteella pohjavesilaitokset aikovat investoida seuraavien 10 vuoden aikana erityisesti alkalointiin verkoston fysikaalis-kemiallisten laatuongelmien vuoksi (kuva 12). Alkalointi on tarpeellista veden syövyttävyyden vähentämiseksi, sillä Suomen pintavedet ovat yleisesti happamia (Ahonen ym. 2008). Investoinnit alkalointiin voivat myös tarkoittaa vesilaitosten siirtymistä lipeän käytöstä kalkkikivisuodatukseen.





Kuva 12. Investointiaikomusten yleisyys talousveden laatuun ja verkostoon liittyvien ongelmien vuoksi seuraavien kymmenen vuoden aikana pohjavesilaitoksissa.

## 7.2. Sään ja ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa vesihuollon investointeihin

Sää- ja ilmatoriskit tuovat vain yhden lisäpaineen investoinneille vesilaitoksissa ja on epäselvää, miten suurta roolia ne näyttelevät kokonaisuudessa. Lisääntyvä sateisuus tuo joka tapauksessa lisäpainetta vesihuoltolaitosten puhdistusprosesseille erityisesti pintavesilaitoksissa. Lisäksi pohjavesilaitosten tulee varautua mahdollisiin ongelmatilanteisiin ylläpitämällä veden desinfiointivalmiutta. Kuivuuden vuoksi on myös mietittävä vaihtoehtoisia raakavesilähteitä. Lisäksi jätevesilaitosten tulee huomioida kasvava sateisuus omissa prosesseissaan erityisesti hulevesijärjestelmän suhteen.

Taulukossa 2 on esitetty eri puhdistusprosessien arvioituja/suuntaa-antavia investointihintoja. Erityisesti desinfiointitekniikat ovat tärkeitä veden mikrobiologisen laadun takaamiseksi (Hokajärvi ym. 2018), sillä desinfiointi poistaa vedestä ihmiselle haitalliset mikrobit tehokkaimmin. Desinfiointijärjestelmät eivät myöskään ole laitoksen kalleimpia investointeja, joten desinfiointijärjestelmiä parantamalla vesiturvallisuutta voidaan parantaa kustannustehokkaasti. Monivaiheinen puhdistusprosessi takaa veden turvallisuuden kuluttajille myös ongelmatilanteissa. Suuret vesihuoltolaitokset ovatkin yleensä panostaneet omiin puhdistustekniikkoihinsa rakentamalla monivaiheisen prosessin.

Taulukko 2. Yleisimpien talousveden puhdistusprosessien investointikuluja (Hämäläinen ym. 2018).

Puhdistusprosessi	Investointikulut (€) min	Investointikulut (€) Max
<b>Hidas hiekkasuodatus</b>	710 000	710 000
<b>Aktiivihiihliisuodatus</b>	650 000	3 800 000
<b>Desinfiointi: Otsonointi</b>	420	740 000
<b>Desinfiointi: UV-valo</b>	27 000	200 000
<b>Desinfiointi: klooraus</b>	68 000	120 000
<b>Hapetus (kemiallinen tai ilmastus)</b>	6 500 000	6 500 000

Kyselytutkimuksen perusteella pyrittiin arvioimaan, kuinka moni laitos aikoo investoida johonkin puhdistusprosessiin (hiekkasuodatus, aktiivihiihliisuodatus tai UV-desinfiointi) lähinnä sään aiheuttamien ongelmien vuoksi. Vastaajien liian vähäisen määrän vuoksi ei kuitenkaan ollut mahdollista muodostaa luotettavaa tilannearviota nimenomaan ilmastonmuutoksen aiheuttamista investointiaikeista vesihuoltolaitoksilla.

Muuttuva ilmasto vaikuttaa sekä talousveden saatavuuteen ja laatuun että jätevesihuoltoon. Veden puhdistukseen liittyvien toimenpiteiden lisäksi vesisektorin sopeutumisessa olisi huomioita myös se, miten vesihuoltolaitoksia johdetaan: ovatko palvelusta perittävät maksut oikean suuruisia, tehdäänkö investointeja riittävästi, suunnitellaanko laitoksen toimintaa pitkällä tähtäimellä huomioiden ilmatoriskit, onko osaamis pohja riittävä ja onko toiminnot resursoitu oikein. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia vesihuoltoon ja sopeutumistoimien riittävyttä olisi hyvä arvioida kansallisesti säännöllisin väliajoin. Tämä voitaisiin toteuttaa esimerkiksi seuraamalla vesiepidemioiden lukumäärää, sään aiheuttamien ongelmatilanteiden esiintyvyyttä ja investointeja puhdistusprosesseihin sekä jakeluverkostoon.

### 7.3. Vesiepidemioiden taloudelliset vaikutukset Suomessa

Arvioimme vesiepidemioiden aiheuttamia taloudellisia kustannuksia empiirisen analyysin ja muutaman esimerkkitapauksen avulla. Empiirisellä analyysillä pyrittiin löytämään tilastollisia riippuvuussuhteita sairastapausten ja alueen taloudellisen toiminnan välillä. Koska sairastapausten määrä on pieni, ei tällä menetelmällä pystytty tuottamaan kovinkaan selkeää kuvaa ongelmasta. Esimerkkitapauksiin perustuvilla laskelmilla tätä kuvaa pystyttiin jonkun verran täydentämään. Laskelmat antavat karkean arvion vesien puhdistukseen tehtävien investointien kannattavuudesta. Analyysissä käytetty aineisto ja menetelmät on kuvattu liitteessä 3.

Sairastumisen vaikutusta arvioitiin kolmeen taloudelliseen muuttujaan: kuntien verotuloihin, kuntien valtiolta saamiin avustuksiin sekä sosiaali- ja terveydenhoidon kustannuksiin. Kuntien saamat verotulot mittaavat kunnan taloudellista toimeliaisuutta, avustukset mahdollisia valtiolta saatuja epidemioiden hoitoon saatuja resursseja sekä sosiaali- ja terveydenhuollon kustannukset terveydenhoidon lisääntyneitä taakkaa epidemioiden aikana. Laskelmat tehtiin sekä absoluuttisina määrinä (esim. sairastuneiden määrä ja kunnan keräämät verotulot) että osuuksina (sairastuneiden osuus koko väestöstä ja kerätyt verotulot asukasta kohden).

Analyyseissä ei löydetty tilastollista yhteyttä taloudellisten muuttujien ja sairastumisten välillä, kun tarkasteltiin absoluuttisia määriä. Toisin sanoen epidemiat, sillä tasolla kun niitä nykyisin keskimäärin esiintyy, eivät näy talouden tuottavuudessa eivätkä siten vaikuta kuntien saamiin verotuloihin. Talouden tuottavuuteen vaikuttaa merkittävästi epidemian laajuus sekä kunnan koko. Taloudellinen toiminta pystyy siis kohtamaan tämän kokoluokan shokit ilman tuotantomenetyksiä. Myöskään valtiolta saadut avustukset eivät ole riippuvaisia epidemioista, eikä kuntien sosiaali- ja terveydenhuollon menoissa voida nähdä muutoksia epidemioiden vuoksi.

Sen sijaan, kun tarkasteltiin taloudellisia muuttujia asukasta kohden, sairastumisilla havaittiin tilastollisesti merkittävä vaikutus. Verotulot asukasta kohden nousivat sairastapausten myötä, kun taas vaikutus tulonsiirtoihin ja sosiaali- ja terveydenhuollon menoihin oli laskeva. Vaikutusten suunta on epäintuitiivinen, sillä sairastumisten voisi olettaa heikentävän työn tuottavuutta ja sitä kautta kertyneitä verotuloja. Valtion avustusten ja sosiaali- ja terveydenhuollon menojen voisi olettaa kasvavan asukasta kohden ainakin suurimpien kriisien kunnissa. Tämän vuoksi on paikallaan tarkastella lähemmin, kuinka sairastumiset vaikuttavat asukasmääriin, jotka määrittelevät osaltaan asukasta kohden lasketut muuttujat.

Epidemioiden vaikutukset ikäjakaumiin voivat tarjota yhden selitysmahdollisuuden yllättäville kertoimille. Epidemioilla havaittiin tilastollisesti merkittävä vaikutus vanhusväestön osuuteen, joka oli negatiivinen. Lasten osuuteen ei havaittu merkittävää vaikutusta, kun taas muille ikäryhmille (7–64 -vuotiaat) havaittiin positiivinen vaikutus. Plasebo-testi osoittaa kuitenkin, että tämä ei ole kausaalisuhte eli epidemiat eivät vaikuta vanhusten osuuteen, vaan pikemminkin vanhuksat näyttäisivät olevan herkempiä sairastumaan epidemian sattuessa. Testissä toistettiin ikäjakaumien regressiot siten että selitettävänä muuttujana käytettiin edeltävän vuoden ikäjakaumia. Vaikka empiirinen analyysi ei havaitse merkittäviä taloudellisia vaikutuksia, vahvistaa se käsitystä vanhusten herkemmästä sairastuvuudesta. Regressio-mallien tulostaulut ovat mukana liitteinä (liite 3).

#### 7.4. Esimerkkejä vakavien epidemioiden taloudellisista vaikutuksista

Hämäläinen ym. (2018) selvittivät käytettävissä olevien juomavesien puhdistustekniikoiden investointikustannuksia (taulukko 2). Pystyimme vertaamaan laskemiamme sairastapausten kokonaiskustannuksia näihin investointikustannuksiin. Vertailussa täytyy huomioida, että investoinnilla on käyttöikä, jonka arvioimme olevan 20 vuotta. Lisäksi pitää huomioida, että epidemioita tapahtuu harvoin eikä täydellinen varautuminen ole välttämättä taloudellisessa mielessä järkevää. Oletimme myös, että investoinnit eivät merkittävästi muuta vesienpuhdistuksen käyttökustannuksia. Lisäksi oletimme, että työvoiman ulkopuolella olevien sairastuminen on yhteiskunnalle yhtä suuri kustannus kuin työvoiman sairastuminen. Tämä oletus ei ole täysin realistinen, mutta kuitenkin realistisempi kuin vaihtoehtoinen oletus, jossa työvoiman ulkopuolella olevien sairastumista ei lasketa yhteiskunnalliseksi kustannukseksi ollenkaan.

Esimerkkitapauksille tehtyjen kustannuslaskelmien (taulukko 3) perusteella investointikustannukset ovat kaikissa tapauksissa alhaisemmat kuin epidemiasta aiheutuneet kustannukset. Saimme investoinnin tuottoasteelle vaihteluväliksi 80 – 6 200, jolloin investoitu euro tuottaa 80 – 6 200 € siinä tapauksessa, että epidemia sattuu joka tapauksessa, jos investointia ei tehdä. Toisin sanoen investointi on kannattava, jos suuren epidemian todennäköisyys tiettyä vuonna on välillä 1/80 ja 1/6200 eli 0,016 % – 1,25 %.

*Taulukko 3. Kustannuslaskelmat (€) juomavesiepidemioiden esimerkkitapauksille.*

Vuosi	Kunta	Sairastuneita	Taudinaiheuttaja	Kustannus yhteensä (min.)	Kustannus yhteensä (max.)	Investointi (min.)	Investointi (max.)	Tuottoaste (min.)	Tuottoaste (max.)
1998	Keuruu	2000	norovirus	800 000	3 040 000	27 000	200 000	80	2 252
1998	Haukipudas	2200	kampylobakteeri	880 000	3 344 000	68 000	120 000	147	984
2000	Nurmes	5500	norovirus	2 200 000	8 360 000	27 000	200 000	220	6 193
2007	Nokia	8000	kampylobakteeri	3 200 000	12 160 000	68 000	120 000	533	3 576

## 8. VESIEPIDEMIAAT JA ILMASTONMUUTOS

### 8.1. Vesiepidemiat Suomessa ja muualla

Makean veden mikrobiologinen likaantuminen on maailmanlaajuinen ongelma, joka aiheuttaa vesivälitteisiä epidemioita ja mm. ripulitautien leviämistä (WHO 2011). Ilmastonmuutos on liitetty vesien laadun heikkenemiseen (Hofstra 2009). Vuosittain vesivälitteisiin tauteihin kuolee 800 000 ihmistä, joista suurin osa kehitysmaiden lapsia (Prüss-Ustün ym. 2014). Länsimaissa kuolemantapaukset ovat hyvin harvinaisia vesivälitteisten epidemioiden yhteydessä, mutta kuitenkin mahdollisia herkkien ikäryhmien (lapset ja vanhukset) tai erityisen haitallisten mikrobien (esim. legionella-bakteeri) yhteydessä (McClung ym. 2017).

Suomessa esiintyy tyypillisesti 2–10 vesiepidemiaa vuosittain. Ne johtuvat tauteja aiheuttavien mikrobien pääsystä talousveteen ja veden puutteellisesta desinfiointista vesihuoltolaitoksilla (THL 2018). Suurin osa vesiepidemioista on aiheutunut mikrobien saastuttamista pohjavesistä pienillä vedenottamoilla. Vaikka suurin osa vesiepidemioista on liittynyt yksityiskaivojen ja yhteisöjen tai vesiosuuskuntien ylläpitämien pohjavedenottamoiden veden käyttöön, on valtaosa sairastuneista henkilöistä kuulunut kunnallisten vesihuoltolaitosten piiriin, koska kunnalliset vesihuoltolaitokset ovat tyypillisesti isompia ja niissä tapahtuneet vesiepidemiat sairastuttavat siten suuremman ihmisjoukon. Pohjavesiesiintymiä ovat saastuttaneet pintavalumat (tulvat, rankkasateet, lumien sulaminen) ja jäteveden pääsy pohjaveteen. Useimmiten vesiepidemioita on rankkasateiden yhteydessä tai keväällä lumien sulaessa maan ollessa vielä roudassa, jolloin pintavalumien todennäköisyys on suurimmillaan. Kesäaikaan vesiepidemioita on esiintynyt tyypillisesti leiri- ja lomakeskuksissa, joissa on toimintaa ja veden kulutusta ainoastaan kesäisin (THL 2018; Miettinen ym. 2019).

Vesiepidemioihin liittyvät suolistoperäiset taudinaiheuttajamikrobit ovat peräisin ihmisten tai eläinten ulosteista. Norovirukset ja kampylobakteerit ovat yleisin vesiepidemioiden aiheuttaja (Zacheus ja Miettinen 2011). Etenkin norovirukset säilyvät varsin pitkiä aikoja luonnossa, kulkeutuvat maaperässä ja vesistöissä hyvin, ja niiden taudinaiheuttamiskyky on suuri. Norovirusten aiheuttamia vesivälitteisiä epidemioita esiintyy nykyään liki kaikkina vuodenaikoina, eniten kuitenkin keväällä. Kampylobakteeriepideemioiden esiintyminen ajoittuu suurimmalta osalta loppukesään ja alkusyksyyn, jolloin väestössä esiintyy runsaimmin kampylobakteerinfektioita. Yhdyskuntien jätevesien lisäksi kampylobakteereita päätyy luonnonvesiin myös eläinten ulosteiden välityksellä (THL 2018).

Suomessa ruoka- ja vesivälitteisten epidemioiden ilmoitusvelvollisuus tuli voimaan vuonna 1997, mikä on tehostanut epidemioiden raportointia. Vesiepidemian selvittämisestä, rajoittamisesta ja pysäyttämisestä vastaa kunnan terveydensuojeluviranomainen, joka tekee vesiepidemiaepäilyä koskevan ilmoituksen sähköisesti elintarvike- ja vesivälitteisten ruokamyrkytys-epidemioiden ilmoitus- ja raportointijärjestelmään (RYMY). Tämä on oleellinen osa vesiepidemian selvitystyön käynnistämistä. Selvityksen tavoitteena on yhdistää vesiepidemia tiettyyn taudinaiheuttajaan. Vesiepidemian pysäyttämiseksi on ryhdyttävä toimenpiteisiin heti vesiepidemiaepäilyn herätessä, vaikka täyttä varmuutta talousveden välityksellä leviävästä epidemiasta ei mikrobianalyyseiden tulosten puuttuessa ole vielä olemassa.

### 8.2. Juomaveden mikrobiologisen laadun indikaattorit

Indikaattorimikrobeilla pyritään osoittamaan suolistoperäisten taudinaiheuttajien esiintyminen talousvedessä laadunvalvonnan yhteydessä. Hyvän indikaattorimikrobin ominaisuuksiin kuuluu, että se esiintyy runsaana siellä missä taudinaiheuttajamikrobitkin, se ei lisäännä suoliston ulkopuolella, ja kestää ympäristöolosuhteita ja desinfiointia vähintään yhtä hyvin kuin taudinaiheuttaja (Pitkänen, 2004). Indikaattorimikrobeja tarvitaan, koska mahdollisesti vedessä olevat taudinaiheuttajat esiintyvät yleensä pieninä pitoisuuksina (Hokajärvi ym. 2008). Lisäksi taudinaiheuttajamikrobeja varten kehitetyt menetelmät ovat usein hyvin kalliita ja analyysien teko vie paljon aikaa. Indikaattorimikrobeille kehitetyt menetelmät taas ovat yksinkertaisia, vakiintuneita ja

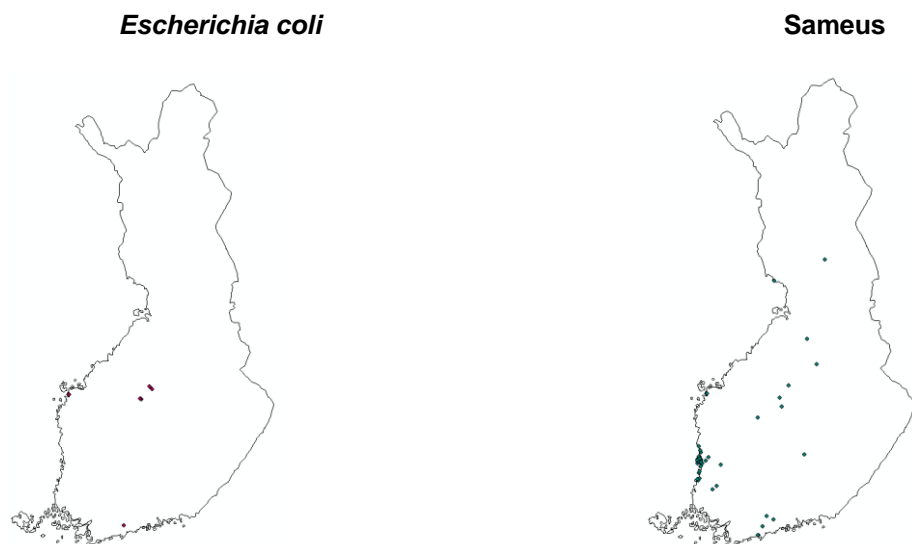
melko edullisia (Edberg ym., 2000). Perinteisten indikaattoreiden heikkoutena on alhainen korrelaatio taudinaiheuttajamikrobeihin (Wu ym. 2011).

Talouden veden laadun seurannasta on määräykset sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 1352/2015. Mikrobiologisista muuttujista jatkuvassa seurannassa ovat *Escherichia coli* ja suolistoperäiset enterokokit, joita kumpaakaan ei saa löytyä 100 ml:sta tutkittavaa vettä.

On kuitenkin edelleen epäselvää tieteellisen näytön perusteella, miten hyvin *Escherichia coli* ja ihmiselle haitallisten mikrobin pitoisuudet korreloivat keskenään (Edberg ym., 2000; Payment ja Locas 2011; Wu ym. 2011). *Escherichia coli* -bakteeria esiintyy kaikkien nisäkkäiden ulosteissa. Tämän vuoksi *Escherichia coli* indikoi ulosteperäistä saastumista hyvin, ja lisäksi sitä on helppo viljellä ja analysoida näytteestä, joten sitä käytetään laajalti mikrobiologisen laadun indikaattorina (USEPA 1984; Lata ym. 2009). Ulosteessa ei kuitenkaan aina ole ihmiselle haitallisia mikrobeja samassa suhteessa mitä *Escherichia coli*, siksi *Escherichia coli* läsnäolo kertoo ainoastaan sen, että vesi on saastunut ulosteperäisesti.

Sameus on helposti mitattava fysikaalinen muuttuja, joka on yhdistetty rankkasateiden jälkeiseen pintavesien laadun muuttumiseen Hurst ym. 2004. Sameutta on myös käytetty tutkimuksissa indikoimaan juomaveden saastumista tai laadun muutosta (Swartz ym. 2000). Samoissa tutkimuksissa veden sameus on yhdistetty lisääntyneeseen infektiorisktiin (Swartz ym. 2000). Sameus heikentää myös esim. UV-desinfiointin tehoa, jolloin talousveden laatu voi heikentyä.

Sopeutumistoimien mitoittamiseksi olisi tärkeää pystyä tuottamaan tulevaisuuskenaarioita vedenlaadun muutoksille ja edelleen sairastumistapauksille. Tämän hankkeen yhteydessä selvitettiin Hertta-tietokannasta saatavia vedenlaatu-tietoja ja kävi ilmi, että pintavesien *Escherichia coli* määritysten pieni määrä (220 mittausta 0–2 m syvyydestä järvistä) ei mahdollista koko Suomen kattavan laskennallisen arvion tekemistä luonnonvesien mikrobiologisesta laadusta ja tämän muuttumisesta ilmastonmuutoksen edetessä (Kuva 13). Myöskään sameuden suhteen mittaustiheys ei ollut riittävä (4987 mittausta, 0–2 m syvyydestä järvistä) laskennallisiin arvioihin. Sameusmittauksia oli kohtuullisesti, mutta mittauspisteet eivät jakautuneet ajallisesti ja maantieteellisesti niin, että sameus olisi voitu yhdistää yksittäisen vesihuoltolaitoksen vedenmuodostumisalueen muutoksiin.



Kuva 13. *Escherichia coli* ja sameuden mittauspisteet 2007-2017 Suomen järvissä Hertta-tietokannasta haettuna (17.8.2018). Hakuehtoina oli lisäksi näytteenottosyvyys 0-2 m. Näytemäärä *Escherichia coli*lle oli 220 mittausta ja sameudelle 4987 mittausta.

### 8.3. Vesiepidemiat, sää ja ilmastonmuutos

Ilmastonmuutoksen vahvistamista sään ääri-ilmiöistä esimerkiksi rankkasateet on yhdistetty talousvesiepidemiatapauksiin. Rankkasateet voivat lisätä pinta- ja pohjavesien likaantumista huuhtoessaan ympäristön epäpuhtauksia maanpinnalta kohti pintavesiä ja vedenottoaivoja. Talousvesiepidemioiden ja suolistoinfektioitausten esiintyminen on yhdistetty rankkasateisiin sekä Pohjoismaissa että muualla maailmassa (Swartz ym. 2000, Bush ym. 2014, Guzman Herrador ym. 2016, Uejio ym. 2017 Gleasin ja Fagliano 2017). Esimerkiksi Uudessa-Seelannissa kampylobakteerin aiheuttama 5500 asukkaan juomavesiepidemia johtui paikallisen vedenottamon vedenmuodostumisalueen likaantumisesta rankkasateen jälkeen. Tapaus herätti laajan keskustelun juomaveden pilaantumisen vaikutuksista paikalliseen väestöön, talouteen ja jopa turismiin (NZ Government 2017). Curriero ym. (2001) havaitsivat Yhdysvalloissa pidemmän aikavälin tutkimuksessa selvän yhteyden sateisuuden ja vesivälitteisten tautien välillä. Toisaalta Guzman ym. (2015) tutkivat Pohjois-Amerikan ja Aasian juomavesivälitteisiä epidemioita eivätkä löytäneet selvää yhteyttä lisääntyneen sateisuuden ja infektioiden väliltä. Kaiken kaikkiaan on kuitenkin selvää, että voimakkaiden sateiden vaikutus sekä raakaveden mikrobiologiseen laatuun että edelleen valmiin talousveden laatuun aiheuttaa terveysriskin, johon on kiinnitettävä entistä enemmän huomiota jatkossa ilmaston muuttuessa.

Vesivälitteisten epidemioiden yhteys paitsi runsaasiin sateisiin myös korkeisiin lämpötiloihin on todettu tieteellisessä kirjallisuudessa sekä Pohjoismaissa, muualla Euroopassa että maailmalla (Hunter 2003, Hedlund ym. 2014; Torveni ym. 2014; Levy ym. 2016; Uejio ym. 2017). Esimerkiksi Young ym. (2015) havaitsivat kryptosporidiumin ja Giardian pitoisuuksien nousua pintavesissä sään ääri-ilmiöiden yhteydessä. Ainoastaan arktisilta alueilta ei ole vielä tarpeeksi tieteellistä näyttöä sään ja ilmaston vaikutuksista vesivälitteisiin tauteihin (Hedlund ym. 2014). Toisaalta pohjoismaisessa tutkimuksessa havaittiin yhteys kohonneen lämpötilan, sateisuuden ja enteristen infektioiden välillä, joskin huomattavan viivejakson jälkeen (Guzman ym. 2017).

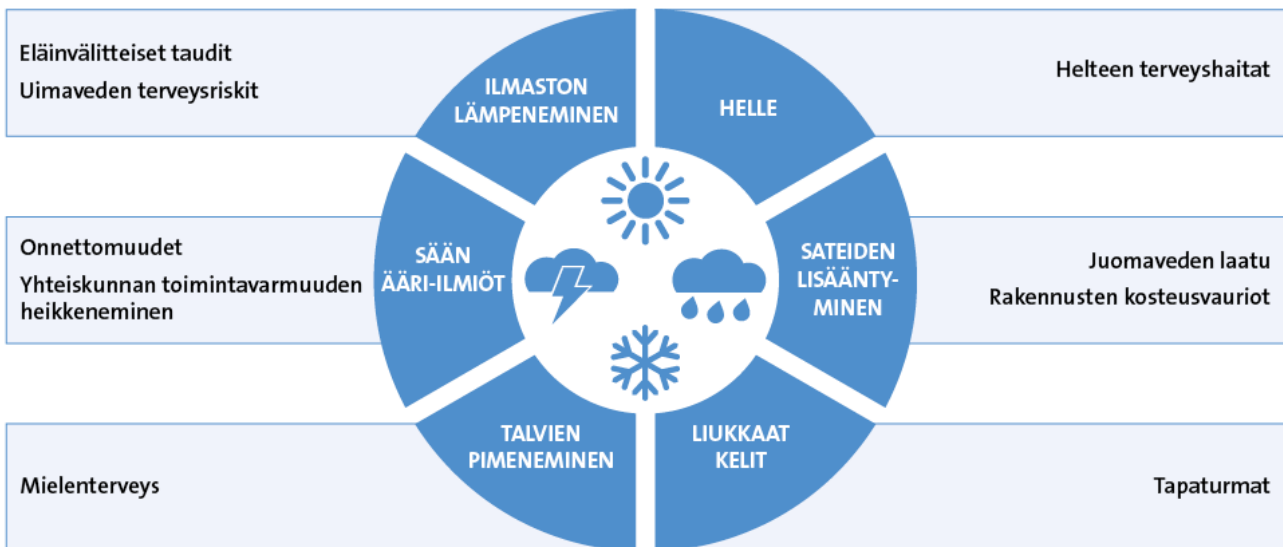
Vesiepidemioiden oletetaan yleistyvän ilmastonmuutoksen myötä. Hydrodynaamisten mallien avulla on ennustettu, että esimerkiksi Norjassa *E. coli* pitoisuudet tulevat kolminkertaistumaan pintavesissä vuoteen 2075 mennessä keväisin ja syksyisin nykytilanteeseen verrattuna (Mohammed ym. 2019). Syitä epidemiariskin kasvuun on monia. Esimerkiksi kampylobakteerit ja salmonella hyötyvät leudoista talvista, jolloin ne siirtyvät ja säilyvät helpommin (Yun ym. 2016). Norovirus on levittäytynyt ihmiskontaktien kautta ympäri Suomea, ja on päätyntä jätevesien kautta myös vesiympäristöön. Norovirusepidemioiden on havaittu lisääntyvän sateisuuden kasvun myötä (Bruggink and Marshall 2010). Tulvat ja rankkasateet on yhdistetty alankomaisessa tutkimuksessa kampylobakteerin, giardia-alkueläimen, kryptosporidiumin, sekä noro- ja enterovirusten korkeisiin pitoisuuksiin (de Man ym. 2014). Tämän perusteella lisääntyvät tulvat tulevat myös lisäämään infektoriskiä. Pohjaveden mikrobiologisen likaantumisen riski kasvaa, mikäli pohjavedenpinta nousee poikkeuksellisen korkealle ja veden suotautumisaika lyhenee. Lisäksi talven routa-ajan lyheneminen lisää pohjavesien likaantumisaikaa. Likaantumisvaara on suurin hiekka- ja sora- ja soramailla, jotka läpäisevät veden lisäksi hyvin myös mikrobeja.

Vesiepidemiat ovat Suomessa melko harvinainen sekä yleensä paikallinen terveysriski, vaikka esimerkiksi norovirukset voivat levitä sekundaari-infektioina. Vesiepidemian sattuessa se koskettaa vain kyseisen vedenjakeluverkoston piirissä asuvia ihmisiä. Veden likaantuminen aiheuttaa yleensä vain suolistoinfektioita, jotka eivät vaaranna perusterveiden ihmisten henkeä. Ikääntyvä väestö ja toisaalta lapset ovat kuitenkin herkempiä infektiolle ja vaikutukset näissä ikäryhmissä voivat olla vakavampia. Vaikka vesivälitteisistä epidemioista tulee sairastumisien myötä tavallisesti vain vähäisiä terveydenhuollon kustannuksia kansallisella tasolla, voivat kustannukset olla kuntatasolla merkittäviä (luku 6.4). Ilmastonmuutos voi lisätä vesivälitteisten epidemioiden riskiä merkittävästi.

Talous- ja jätevesilaitokset joutuvat ottamaan huomioon investoinneissaan jo nyt raakaveden laadun muutokset ja vedenjakeluverkoston kunnon heikentymisen, mikä lisää putkirikkoja ja talousveden likaantumistapauksia (Miettinen ym. 2019). Vesihuoltolaitosten on taattava talousveden turvallisuus

lainsäädännön vaatimuksesta ja siksi vesihuoltolaitosten on otettava huomioon myös ilmastonmuutoksen tuomat paineet toiminnassaan ja suunnitelmissaan

Maailmanlaajuinen ilmaston lämpeneminen näkyy ja tuntuu myös Suomessa. Ilmastonmuutoksen edetessä lämpötilat nousevat Suomessa edelleen, sademäärät kasvavat etenkin talvisin, jolloin sateet tulevat entistä useammin vetenä, ja rankkasateet voivat voimistua kesäisin. Kansallisen ilmasto- ja sääriskien arvion mukaan ilmastonmuutoksen tärkeimpiä terveysvaikutuksia Suomessa ovat helteiden aiheuttamat terveyshaitat, vesivälitteisten epidemioiden ja vektorivälitteisten tautien lisääntyminen, liukastumistapaturmat sekä rakennusten kosteusvaurioihin liittyvät sisäilmaongelmat (Tuomenvirta ym. 2018) (kuva 14). Vesiepidemiat on nostettu tälle listalle, koska ne voivat sairastuttaa suuria määriä ihmisiä ja niihin varautuminen voi vaatia suuria investointeja.



Kuva 14. Ilmastonmuutoksen tärkeimmät terveysvaikutukset Suomessa (THL 2019).



## 9. JOHTOPÄÄTÖKSET

Johtopäätökset perustuvat hankkeessa toteutettuun vesihuoltolaitoksille suunnattuun kyselyyn, taloudellisiin analyysihin sekä koti- ja ulkomaiseen kirjallisuuteen. Suurin osa kyselyyn vastanneista oli pieniä pohjavesilaitoksia, mikä pitää huomioida tuloksia tulkittaessa

Sään ääri-ilmiöt aiheuttavat Suomessa toistuvasti ongelmia vesihuoltolaitoksilla niin raakaveden laadun kuin vedentuotannon jatkuvuudenkin suhteen. Laatuongelmia aiheuttavat useimmiten tulvat, pitkät sateiset jaksot ja rankkasateet. Myös kuivuus voi aiheuttaa sekä veden saatavuus- että laatuongelmia. Ongelmia sähkösaannissa ja sitä kautta veden tuotannossa ja jakelussa aiheuttavat erityisesti myrskytuulet, ukkonen ja tulvat. Muita vedentuotantoa häiritseviä tekijöitä ovat esimerkiksi hellejaksot ja routa.

Ilmastonmuutoksen myötä keskimääräinen lämpötila ja sademäärä nousevat Suomessa. Muutoksessa on kuitenkin alueellisia eroja ja se vaikuttaa pohja- ja pintavesilaitoksiin eri tavoin. Vesihuollolle haasteita asettaa erityisesti se, että monien jo nykyisin ongelmia aiheuttavien sään ääri-ilmiöiden kuten rankkasateiden on ennustettu yleistyvän. Toisaalta kovat pakkaset tulevat vähenemään.

Vesilaitostoimijat ovat hyvin tietoisia ilmastonmuutoksesta ja ihmistoiminnan vaikutuksesta siihen. Hyvin harva toimija kokee ilmastonmuutoksen uhkaavan oman laitoksen vesiturvallisuutta, sen sijaan yleisellä tasolla muutosta pidetään vesiturvallisuuden uhkana Suomessa.

Vesihuolto on Suomessa tarkkaan säädelyä ja vesihuoltolaitoksilta edellytetään kattavaa riskienhallintaa ja varautumista poikkeustilanteisiin. Vesiturvallisuuden heikkeneminen ei ole hyväksyttävää, joten vesihuoltolaitokset joutuvat väistämättä ottamaan toiminnassaan huomioon myös sään asettamat haasteet ja sopeutumaan muuttuvaan ilmastoon. Sopeutumiskeinoja on monia, esimerkkeinä vedenkäsittelyn tehostaminen, desinfiointivalmiuden parantaminen, varavoiman saatavuuden lisääminen ja vedenottokaivojen uudelleen sijoittaminen.

Vesihuoltolaitokset kokevat pystyvänsä vastamaan nykyisin riittävästi säävaihteluiden aiheuttamiin haasteisiin. Erityisesti on varauduttu sähkökatkoihin. Toisaalta puolet laitoksista ei ollut varautunut esimerkiksi pitkittyneeseen kuivuuteen tai tulviin. Varautumissuunnitelmia oli vain osalla laitoksista, ja ilmaston muuttuminen on niissä huomioitu harvoin. Joka kolmannessa laitoksessa sää- ja ilmastoriskejä ei oltu tarkastelu lainkaan.

Varautuminen aiheuttaa kustannuksia erityisesti tarvittavien investointien muodossa. Ilmastonmuutoksen liittyviä investointeja on kuitenkin vaikea erottaa muista laitoksen investoinneista liittyen vedentuotantoon ja jakeluun. Vesihuoltolaitoksilla on arvioitu olevan Suomessa runsaasti saneerausvelkaa koskien erityisesti huonokuntoisia vesijohtoverkostoja. Toisaalta myös puhdistusprosessien tekniikka vanhenee. Suurin osa Suomen vesihuoltolaitoksista on kuitenkin pieniä, ja vastaavasti keskimäärin suunnitellut investoinnit ovat vähäisiä seuraavan kymmenen vuoden aikana.

Suomessa oli vuosina 1998–2018 yhteensä 72 vesiepidemiaa ja 218 erityyppistä ongelmatilannetta, jotka liittyivät raakavesien likaantumiseen (Miettinen ym. 2019). Epidemioiden kansantaloudellinen merkitys on kokonaisuudessaan pieni, mutta yksittäisille kunnille vaikutukset voivat olla merkittäviä. Suurimmissa epidemioissa sairastuneita on ollut tuhansia ja sairauspoissaoloista aiheutuneet kustannukset arviolta jopa useita miljoonia euroja. Investoinnit vesihuoltolaitosten tekniikkaan ovat näissä tapauksissa suhteessa pieni menoerä. Luonnollisesti lisäinvestointien avullakaan ei voida aina poistaa inhimillisen virheen vaikutuksia. Kansallinen tavoite vesiepidemioissa sairastuneiden määrälle Suomessa on 0,01 % koko väestöstä (STM 2008).

Äärimmäisten sääilmiöiden ennustettu yleistymisen ja esimerkiksi talviolosuhteiden muuttuminen uhkaavat lisätä vesiepidemioiden riskiä Suomessa. Suomen vesisektorilla on hyvät edellytykset sopeutua muutokseen. Sää- ja ilmastoriskit laitoksen toiminnalle tulisi kuitenkin tiedostaa ja ottaa huomioon

riskinhallintasuunnitelmissa. Sopeutuminen vaatii toisaalta myös investointeja. Samalla yleinen vesijohtoverkoston saneerausvelka on riski vesiturvallisuuudelle myös ilmastonmuutoksen yhteydessä. Haasteellisinta sopeutuminen on pienimmissä laitoksissa, joissa myös resurssit ovat vähäisimmät.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia vesihuoltoon ja sopeutumistoimien riittävyttä olisi hyvä arvioida kansallisesti säännöllisin väliajoin. Toisaalta ilmastonmuutoksen aiheuttamia muutoksia raakaveden laadussa ja sitä kautta epidemiariskissä on vaikea ennustaa Suomessa niin kauan kuin saatavilla ei ole seurantatietoa vedenlaadun fysikaalis-kemiallisista ja mikrobiologisista indikaattoreista edustavilta vesialueilta. Hankkeessa ei erikseen arvioitu ilmastonmuutoksen vaikutuksia yksityiskaivojen varassa olevien talouksien vesihuoltoon. Ilmastoriskejä pitäisi arvioida ja seurata jatkossa myös tältä osin.

## 10. LÄHTEET

- Berninger K, Laakso T, Paatela H, Virta S, Rautiainen J, Virtanen R, Tynkkynen O, Piila N, Dubovik M ja Vahala R. 2018. Tulevaisuuden kestävä vesihuolto – ennakointi, ohjaus ja järjestäminen. Valtioneuvoston selvitys ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 56/2018. 139 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-607-2>
- Bruggink LD, Marshall JA. 2010. The incidence of norovirus-associated gastroenteritis outbreaks in Victoria, Australia (2002–2007) and their relationship with rainfall. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 7:2822–2827.
- Cisneros, JBE, Oki T, Arnell NW, Benito G, Cogley JG, Döll P, Jiang T, Mwakalila SS, 2014. Freshwater resources. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 229-269.
- Curriero FC, Patz JA, Rose JB, Lele S. 2001. The association between extreme precipitation and waterborne disease outbreaks in the United States, 1948-1994. *Am J Public Health.* 91(8):1194-9.
- de Man H, van den Berg HH, Leenen EJ, Schijven JF, Schets FM, van der Vliet JC, van Knapen F, de Roda Husman AM. 2014. Quantitative assessment of infection risk from exposure to waterborne pathogens in urban floodwater. *Water Res.* 1: 48:90-9.
- Edberg, S.C., Rice, E.W., Karlin, R.J. ja Allen M.J. 2000. Escherichia coli: the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology* 88: 106-116.
- Guzman Herrador BR, de Blasio BF, MacDonald E, Nichols G, Sudre B, Vold L, Semenza JC, Nygård K. 2015. Analytical studies assessing the association between extreme precipitation or temperature and drinking water-related waterborne infections: a review. *Environ Health.* 27:14-29.
- Haapala, J. & Johansson, M. 2012. Itämeri. Julkaisussa: Ruuhela, R. (toim.) 2012. Miten väistämättömään ilmastonmuutokseen voidaan varautua? – yhteenveto suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 6/2011: 24–27. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-453-682-0>
- Halonen JI, Kivimäki M. et al. 2012. Waterborne outbreak of gastroenteritis: effects on sick leaves and cost of lost workdays." *PLoS One* 7(3): e33307.
- Hanski M ja Silfverberg P. 2019. Vesihuolto tarvitsee hallittua uudistamista. *Vesitalous* 3/2019.
- Hatva T, Lapinlampi T ja Vienonen S. 2008. Kaivon paikka –Selvitykset ja tutkimukset kiinteistön kaivon paikan määrittämiseksi. *Ympäristöopas 2008*. Suomen ympäristökeskus ja Edita. ISBN 978-952-11-3199-8. 150 s.
- Hedlund C, Blomstedt Y, Schumann B. 2014. Association of climatic factors with infectious diseases in the Arctic and subarctic region – a systematic review. *Glob Health Action.* 7:24161.
- Hokajärvi A-M, Pitkänen T, Torvinen E, Miettinen IT. 2008. Suolistoperäisten taudinaiheuttajamikrobien esiintyminen luonnonvesissä Kirjallisuuskatsaus terveystarpeista ja niiden suuruuteen vaikuttavista tekijöistä. *Kansanterveyslaitoksen julkaisuja B 1/2008*.
- Hofstra N. 2011. Quantifying the impact of climate change on enteric waterborne pathogen concentrations in surface water. *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, 3 (6): 471-479.

Hurst AM, Edwards MJ, Chipps M, Jefferson B, Parsons SA. 2004. The impact of rainstorm events on coagulation and clarifier performance in potable water treatment. *Sci. Total Environ.* 321: 219–230.

Ilmasto-opas 2019. Ilmasto-opas. Viitattu 14.5.2019. <https://ilmasto-opas.fi/fi/>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P. J. & Hanson, C. E., Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK: 173–210.  
[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg2/en/ch3.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch3.html)

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2018. *Special report: Global warming of 1.5 °C*. Viitattu 24.4.2019.

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://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/julkaisusarja/2012/67Wke725j/MMM\\_julkaisu\\_2012\\_6.pdf](http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/julkaisusarja/2012/67Wke725j/MMM_julkaisu_2012_6.pdf)

Kanoshina I, Lips U, Leppänen JM. 2003. The influence of weather conditions (temperature and wind) on cyanobacterial bloom development in the Gulf of Finland (Baltic Sea). *Harmful algae*, Volume 2, Issue 1: 29–41. [http://dx.doi.org/10.1016/S1568-9883\(02\)00085-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1568-9883(02)00085-9)

Korhonen J. 2002. Suomen vesistöjen lämpötilaolot 1900-luvulla. Osa II. Viitattu 15.3.2019. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/40478>

Kuntaliitto. 2007. Kunnat ja vesihuolto huomisen Suomessa. Kuntaliiton kannanotto.

Laitinen, J. 2019. Suullinen tiedonanto 3.12.2019.

Lata P, S. Ram, M. Agrawal, R. Shanker 2009. Enterococci in river Ganga surface waters: propensity of species distribution, dissemination of antimicrobial-resistance and virulence-markers among species along landscape *BMC Microbiol.*, 9 (1) (2009), pp. 140-147.

Lettenmeier M, Akenji L, Toivio V, Koide R ja Amellina A. 2019. 1,5 asteen elämäntavat. Miten voimme pienentää hiilijalanjälkemme ilmastotavoitteiden mukaiseksi? Sitran selvityksiä 148.

Levy K, Woster AP, Goldstein RS, Carlton EJ. 2016. Untangling the impacts of climate change on waterborne diseases: A systematic review of relationships between diarrheal diseases and temperature, rainfall, flooding, and drought. *Environ. Sci. Technol.* 2016, 50, 4905–4922

Luukkonen H. 2013. Vesiosuuskunnat, kuntien vesihuoltolaitokset ja kunnat. Suomen Kuntaliitto.

Maa- ja metsätalousministeriö. 2005. Ilmastomuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia. Viitattu 28.4.2019. [https://mmm.fi/documents/1410837/1721050/MMMjulkaisu2005\\_1.pdf/7dd5b555-20f0-44a5-ab1b-880425432c8a/MMMjulkaisu2005\\_1.pdf.pdf](https://mmm.fi/documents/1410837/1721050/MMMjulkaisu2005_1.pdf/7dd5b555-20f0-44a5-ab1b-880425432c8a/MMMjulkaisu2005_1.pdf.pdf)

Maa- ja metsätalousministeriö (MMM) 2019. Vesihuollon tilastoja. Viitattu 20.1.2019. [https://mmm.fi/vesi/vesihuolto\\_tilastot](https://mmm.fi/vesi/vesihuolto_tilastot)

Mellor JE, Smith JA, Learmonth GP, Netshandama VO, Dillingham RA. 2012 Modeling the complexities of water, hygiene, and health in Limpopo Province, South Africa. *Environ Sci Technol.* 46(24):13512–13520.

- Meriläinen P, Salminen J, Britchgi R, Nystén T, Pitkänen T. 2017. Esiselvitys yhdyskuntien ja ruoantuotannon veden käytön riskien hallinnasta ja mahdollisuuksista. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. Työpöytäpaperi 32/2017.
- Miettinen I, Zacheus O, Pitkänen T. 2019. Talusvesien mikrobiologisia uhkia – havaintoja 20 vuoden ajalta. Vesitalous 3/2019.
- Miettinen I. 2019. Suomessa esiintyneissä vesiepidemioissa sairastuneiden ihmisten lukumäärät vuosina 1997-2018. Julkaisematon Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen aineisto.
- Mikkonen S, Laine M, Mäkelä HM, Gregow H, Tuomenvirta H, Lahtinen M, Laaksonen A. 2015. Trends in the average temperature in Finland, 1847–2013. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment 29: 1521-1529. <http://dx.doi.org/10.1007/s00477-014-0992-2>
- Mohammed H, Longva A, Seidu R. 2019. Impact of Climate Forecasts on the Microbial Quality of a Drinking Water Source in Norway Using Hydrodynamic Modeling. Water 11: 527.
- Nichols G, Lane C, Asgari N, Verlander NQ, Charlett A. 2009. Rainfall and outbreaks of drinking water related disease and in England and Wales. J Water Health. 7(1):1-8.
- Payment P, Locas A. 2011. Pathogens in water: value and limits of correlation with microbial indicators. Groundwater 49:4–11.
- Pitkänen T. 2004. Talusveden mikrobiologiset määrittäykset. Ympäristö ja terveys 6: 39-43.
- Prüss-Ustün A, Bartram J, Clasen T, Colford JM Jr, Cumming O, Curtis V, Bonjour S, Dangour AD, De France J, Fewtrell L, Freeman MC, Gordon B, Hunter PR, Johnston RB, Mathers C, Mäusezahl D, Medlicott K, Neira M, Stocks M, Wolf J, Cairncross S. 2014. Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene in low- and middle-income settings: a retrospective analysis of data from 145 countries. Trop Med Int Health. 19(8):894-905.
- 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. (Ilmastonmuutokseen sopeutuminen hydrologiassa ja vesivarojen hallinnassa. Tiivistelmä suomeksi.) FINADAPT Working Paper 6, Finnish Environment Institute Mimeo 336, Helsinki. 52 p. <http://hdl.handle.net/10138/41044>
- Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto (Valvira) 2017. Talusvesi. Viitattu 13.5.2019. <https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/talusvesi>.
- Sosiaali- ja terveysministeriö 2008. STM:n päätös maasta toiseen ulottuvien vesistöjen ja kansainvälisten järvien suojelusta ja käytöstä tehdyn vuoden 1992 yleissopimuksen vesivaroja ja terveyttä koskevan pöytäkirjan edellyttämistä kansallisista tavoitteista ja tavoitepäivämääristä. Viitattu 5.7.2019. <https://stm.fi/documents/1271139/1371655/STM+p%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s+maasta+toiseen+ulottuvien+vesist%C3%B6jen+ja+kansainv%C3%A4listen+j%C3%A4rvien+suojelusta+ja+k%C3%A4yt%C3%B6st%C3%A4+tehdyn+vuoden+1992+yleissopimuksen+vesivaroja+ja+terveytt%C3%A4+koskevasta+p%C3%B6yt%C3%A4kirjasta.pdf/2528d7b0-a3b0-4129-bf07-b56529ba5abc/STM+p%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s+maasta+toiseen+ulottuvien+vesist%C3%B6jen+ja+kansainv%C3%A4listen+j%C3%A4rvien+suojelusta+ja+k%C3%A4yt%C3%B6st%C3%A4+tehdyn+vuoden+1992+yleissopimuksen+vesivaroja+ja+terveytt%C3%A4+koskevasta+p%C3%B6yt%C3%A4kirjasta.pdf.pdf>
- RIL 2019. Rakennetun ympäristön tila (ROTI) 2019. Suomen rakennusinsinöörien liitto.
- 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](http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=c4c5bf12-655e-467a-9ee0-f06d8145aaa6&groupId=30106)

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](http://www.geophysica.fi/pdf/geophysica_2016_51_1-2_017_ruosteenoja.pdf)

Silfverberg P. 2017. Vesihuollon suuntaviivat 2020-luvulle. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 44, Suomen Vesilaitosyhdistys ry.

Sirajul Islam M, Brooks A, Kabir MS, Jahid IK, Shafiqul Islam M, Goswami D, Nair GB, Larson C, Yukiko W, Luby S. 2007. Faecal contamination of drinking water sources of Dhaka city during the 2004 flood in Bangladesh and use of disinfectants for water treatment. *J Appl Microbiol.* 103(1):80-7.

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL) 2018. Taustatietoa vesiepidemioista. Viitattu 20.5.2019. <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/vesi/vesiepidemiat/taustatietoa>.

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL) 2019. Ilmastonmuutos. Viitattu 20.5.2019. <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ilmasto-ja-saa/ilmastonmuutos>

Thomas MK, et al. 2006. A role of high-impact weather events in waterborne disease outbreaks in Canada, 1975–2001. *International Journal of Environmental Health Research* 16: 167–180.

Tornevi A, Bergstedt O, Forsberg B. 2014. Precipitation Effects on Microbial Pollution in a River: Lag Structures and Seasonal Effect Modification. *PLoS ONE* 2014, 9, e98546.

Tucker J, MacDonald A, Coulter L, Calow R. 2014 Household water use, poverty and seasonality: Wealth effects, labour constraints, and minimal consumption in Ethiopia. *Water Resources and Rural Development*, 3. 27-47.

Tuomenvirta H, Haavisto R, Hildén M, Lanki T, Luhtala S, Meriläinen P, Mäkinen K, Parjanne A, Peltonen-Sainio P, Pilli-Sihvola K, Pöyry J, Sorvali J, Veijalainen N. 2018. Sää- ja ilmastoriskit Suomessa - Kansallinen arvio. Valtioneuvoston kanslia. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 43/2018. 107 s.

Uejio CK, Christenson M, Moran C, Gorelik M. 2017. Drinking-water treatment, climate change, and childhood gastrointestinal illness projections for northern Wisconsin (USA) communities drinking untreated groundwater. *Hydrogeol J* 25: 969. <https://doi.org/10.1007/s10040-016-1521-9>.

US EPA 1984. Drinking water criteria document for turbidity. Washington, DC: Drinking Water Research Division, Office of Research and Development.

Veijalainen N, Jakkila J, Nurmi T, Vehviläinen B, Marttunen M, Aaltonen J. 2012. Suomen vesivarat ja ilmastonmuutos – vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen. WaterAdapt-projektin loppuraportti. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristö 16/2011, Luonnonvarat. 138 s. Viitattu 20.5.2019. <http://hdl.handle.net/10138/38789>

Vienonen S, Rintala J, Orvomaa M, Santala E, Maunula M. 2012. Ilmastonmuutoksen vaikutukset ja sopeutumistarpeet vesihuollossa. *Suomen ympäristö* 24 / 2012.

Winland-konsortio 2019a. Vesiturvallisuuden kokonaiskuva haltuun. Winland-hankkeen Policy Brief IV. Viitattu 15.9.2019 [https://winlandtutkimus.fi/wp-content/uploads/2019/02/winland\\_policy\\_brief\\_vesiturvallisuus\\_digi-1.pdf](https://winlandtutkimus.fi/wp-content/uploads/2019/02/winland_policy_brief_vesiturvallisuus_digi-1.pdf)

Winland-konsortio 2019b. Kuivuus koettelee myös Suomea. Olemmeko tarpeeksi varautuneita? Winland-hankkeen Policy Brief VII. Viitattu 15.9.2019 <https://winlandtutkimus.fi/wp-content/uploads/2019/05/kuivuusbriiffi.pdf>

World Health Organization (WHO), 2011. Guidelines for drinking-water quality. 4 th ed. WHO, Geneva. WHO and UNCCC, 2017. Climate and health country profile -Italy. [apps.who.int/iris/bitstream/10665/260380/1/WHO-FWC-PHE-EPE-15.52-eng.pdf?ua=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/10665/260380/1/WHO-FWC-PHE-EPE-15.52-eng.pdf?ua=1)

World Health Organization (WHO), 2019. Factsheet on drinking water. Viitattu 15.9.2019 <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Wu J, Long SC, Das D, Dorner SM. 2011. Are microbial indicators and pathogens correlated? A statistical analysis of 40 years of research. J. Water Health 9:265–278.

Yun J, Greiner M, Höller C, Messelhäusser U, Rampp A, Klein G. 2016. Association between the ambient temperature and the occurrence of human Salmonella and Campylobacter infections. Sci Rep. 6:28442.

Zacheus O. 2010. Talousveden valvonta ja laatu vuonna 2008: Yhteenveto viranomaisvalvonnan tuloksista. Terveystieteiden tutkimuskeskus 18/2010. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201205085417>

Zacheus O, Miettinen IT. 2011. Increased information on waterborne outbreaks through efficient notification system enforces actions towards safe drinking water. Journal of Water and Health, 9, 763-772.

## LIITTEET

### Liite 1. VESILAITOSKYSELY



TERVEYDEN JA  
HYVINVOINNIN LAITOS

# VESILAITOSKYSELY 2018

## TÄYTTÖOHJEET

Lukekaa ensin koko kysymys huolellisesti. Osassa kysymyksiä on tarkempia vastausohjeita. Vastatkaa merkitsemällä rasti oikean tai sopivimman vaihtoehdon mukaiseen ruutuun  tai kirjoittamalla kysytty tieto sille varattuun tilaan. Käyttäkää mieluiten kuulakärkikynää tai lyijykynää, mutta ei lyijytäyttekynää.

Mikäli vahingossa teette merkinnän väärään ruutuun, niin mustatkaa väärä ruutu kokonaan  ja merkitkää rasti oikeaan ruutuun.

Valitkaa kunkin kysymyksen kohdalla vain yksi parhaiten sopiva vaihtoehto, ellei kysymyksen kohdalla erikseen mainita, että useita vaihtoehtoja voi valita.

Vastatkaa kysymyksiin niiltä osin kuin ne soveltuvat toimintaanne (esim. pelkästään vedenjakelua harjoittavan laitoksen ei tarvitse vastata vedentuotantoa koskeviin kysymyksiin). Mikäli vesilaitoksellanne on useita eri vedenottamoita, valitkaa vastatessanne kaikki soveltuvat vaihtoehdot esim. huomioiden kaikki uhkat eri vedenottamoiden osalta. Mikäli organisaatioonne kuuluu useampia vesilaitoksia, vastatkaa kysymyksiin koskien suurinta vesilaitosta.

Kyselyn yhteystiedot on saatu kuntien terveydensuojelun valvontayksiköiltä sekä Suomen Vesihuolto-  
osuuskunnat ry:ltä.



## VASTAAJAN TAUSTATIEDOT

### 1. Mikä on asemanne organisaatiossa?

- 1  Teknistä henkilökuntaa (tekninen avustaja, teknikko)
- 2  Tekninen asiantuntija (käyttömestari, käyttöinsinööri, työnjohtaja)
- 3  Keskijohto (laatupäällikkö, tuotantopäällikkö, käyttöpäällikkö, verkostopäällikkö, suunnittelupäällikkö)
- 4  Ylin johto (hallituksen puheenjohtaja, toimitusjohtaja)
- 5  Muu

### 2. Mikä on koulutuksenne? Merkitkää ylin suorittamanne koulutus.

- 1  Kansakoulu tai peruskoulu
- 2  Keskikoulu
- 3  Ammattikoulu tai vastaava
- 4  Lukio
- 5  Opistotutkinto
- 6  Ammattikorkeakoulututkinto
- 7  Akateeminen tutkinto

### 3. Miten kauan olette toimineet organisaatiossanne nykyisessä toimessa?

- 1  Alle vuoden
- 2  1 - 4 vuotta
- 3  5 - 9 vuotta
- 4  10 - 19 vuotta
- 5  20 vuotta tai enemmän

### 4. Minkä ikäinen olette?

- 1  18 - 29
- 2  30 - 39
- 3  40 - 49
- 4  50 - 59
- 5  60 vuotta tai enemmän

5. Mikä on vesilaitoksen nimi? \_\_\_\_\_

6. Mikä on vesilaitoksen Y-tunnus?

								-	
--	--	--	--	--	--	--	--	---	--

7. Onko vesilaitoksellanne oma vedentuotanto, oletteko vedenjakelija vai molempia?

- 1  Oma tuotanto ja jakelija  
2  Oma tuotanto  
3  Veden jakelija  
4  Joku muu, mikä? \_\_\_\_\_

8. Onko vesilaitoksenne

- 1  Kunnallinen vesilaitos  
2  Kunnallinen liikelaitos  
3  Osakeyhtiö  
4  Vesiosuuskunta  
5  Muu, mikä? \_\_\_\_\_

9. Miten paljon vesilaitoksenne toimittaa vettä vuorokaudessa (m<sup>3</sup>/vrk)?

- 1  Alle 100 m<sup>3</sup>  
2  100 - 999 m<sup>3</sup>  
3  1 000 - 9 999 m<sup>3</sup>  
4  10 000 m<sup>3</sup> tai enemmän

10. Kuinka monta henkilöä käyttää vesilaitoksenne toimittamaa vettä?

- 1  Alle 100  
2  100 - 999  
3  1 000 - 9 999  
4  10 000 - 99 999  
5  100 000 tai enemmän

11. Mikä on vesilaitoksenne raakavesilähde?

*Valitkaa useampi, jos monta erityyppistä raakavesilähdettä.*

- 1  Pintavesi  
2  Pohjavesi  
3  Tekopohjavesi

**12. Mikä on vesilaitoksenne tärkein raakavesilähde?**

- 1  Pintavesi  
2  Pohjavesi  
3  Tekopohjavesi

**13. Kuinka monta prosenttia pääraakavesilähteenne kattaa kokonaisvedentuotannostanne?**

--	--	--

 %

**14. Kuinka monta vedenottamoa pääasiallisella vedenjakelualueellanne on?**

- 1  Yksi  
2  Kaksi  
3  Kolme  
4  Enemmän kuin kolme

**15. Mitä prosesseja vedenpuhdistusmenetelmäänne kuuluu?**

*Voitte valita useita vaihtoehtoja.*

- 1  Saostus + flotaatio/sedimentaatio  
2  Pikahiekkasuodatus  
3  Hidas hiekkasuodatus  
4  Aktiivihiekkisuodatus  
5  Desinfointi: Otsonointi  
6  Desinfointi: UV-valo  
7  Desinfointi: klooraus  
8  Hapetus (kemiallinen tai ilmastus)  
9  Alkalointi  
10  Muu prosessi, mikä? \_\_\_\_\_

**16. Mikä on kuluttajien maksama talousveden vedenkäyttömaksunne kuutiometriä kohti?**

- 1  Alle 1 €
- 2  1 - 1,99 €
- 3  2 - 5 €
- 4  Yli 5 €

**17. Miten paljon keskimäärin olette investoineet vuosittain vesilaitoksellanne seuraaviin kohteisiin (ajatelkaa edellistä 10 vuotta)?**

	0 - 9 999 €	10 000 - 99 999 €	100 000 - 999 999 €	1 000 000 € tai enemmän
a) Vesilaitos	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
b) Verkosto ja pumppaamot	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
c) Jätevesilaitos ja sen verkosto	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
d) Muu, mikä?	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>

**18. Koetteko, että vesilaitoksenne on voinut investoida riittävän määrän vuosittain?**

- 1  Ei
- 2  Kyllä

**19. Onko vesilaitoksellanne tiedossa tavanomaista suurempia investointeja seuraavan 10 vuoden aikana?**

- 1  Ei
- 2  Kyllä

**20. Mihin puhdistusprosesseihin ja toimenpiteisiin aiotte investoida seuraavien raakaveden liittyvien ongelmien vuoksi seuraavan 10 vuoden aikana? *Voitte valita useita vaihtoehtoja.***

	Raakaveden mikrobiologiset laatuongelmat	Raakaveden fysikaalis-kemialliset laatuongelmat	Raakaveden saatavuus
a) Uudet raakavesilähteet	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
b) Laaduntarkkailu	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
c) Raakaveden yhdysputki	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
d) Prosessien automaatio	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
e) Kaukovalvonta	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
f) Sähkösaannin varmistaminen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>

**21. Mihin puhdistusprosesseihin ja toimenpiteisiin aiotte investoida seuraavien talousvedeen tai verkostoon liittyvien ongelmien vuoksi seuraavan 10 vuoden aikana?**

*Voitte valita useita vaihtoehtoja.*

	Talousveden tai prosessin mikrobiologiset laatuongelmat	Talousveden tai prosessin fysikaalis-kemialliset laatuongelmat	Verkoston mikrobiologiset laatuongelmat	Verkoston fysikaalis-kemialliset laatuongelmat	Vesisäiliö-ongelmat
a) Saostus + flotaatio/sedimentaatio	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
b) Pikahiekkasuodatus	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
c) Hidas hiekkasuodatus	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
d) Aktiivihiekkasuodatus	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
e) Desinfointi: Otsonointi	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
f) Desinfointi: UV-valo	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
g) Desinfointi: klooraus	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
h) Hapetus (kemiallinen tai ilmastus)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
i) Alkalointi	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
j) Muu puhdistusprosessi	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
k) Laaduntarkkailu	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
l) Verkoston uudistaminen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
m) Prosessien automaatio	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
n) Kaukovalvonta	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
o) Sähkösaannin varmistaminen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
p) Henkilöstö (riittävyys, osaaminen)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>

**22. Mihin puhdistusprosesseihin ja toimenpiteisiin aiotte investoida tekniikan vanhenemisen vuoksi seuraavan 10 vuoden aikana? Voitte valita useita vaihtoehtoja.**

- |   |  |
|---|--|
| 1 <input type="checkbox"/> Saostus + flotaatio/sedimentaatio  | 9 <input type="checkbox"/> Alkalointi                  |
| 2 <input type="checkbox"/> Pikahiekkasuodatus                 | 10 <input type="checkbox"/> Muu puhdistusprosessi      |
| 3 <input type="checkbox"/> Hidas hiekkasuodatus               | 11 <input type="checkbox"/> Uudet raakavesilähteet     |
| 4 <input type="checkbox"/> Aktiivihiekkasuodatus              | 12 <input type="checkbox"/> Laaduntarkkailu            |
| 5 <input type="checkbox"/> Desinfointi: Otsonointi            | 13 <input type="checkbox"/> Verkoston uudistaminen     |
| 6 <input type="checkbox"/> Desinfointi: UV-valo               | 14 <input type="checkbox"/> Prosessien automaatio      |
| 7 <input type="checkbox"/> Desinfointi: klooraus              | 15 <input type="checkbox"/> Kaukovalvonta              |
| 8 <input type="checkbox"/> Hapetus (kemiallinen tai ilmastus) | 16 <input type="checkbox"/> Sähkösaannin varmistaminen |

**23. Onko teillä ollut seuraavia ongelmia vesilaitoksellanne edellisen 10 vuoden aikana?**

	Ei	Kyllä, kerran	Kyllä, useamman kerran
a) Raakaveden riittämättömyys	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
b) Raakaveden mikrobiologinen likaantuminen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
c) Raakaveden fysikaalis-kemiallinen likaantuminen (esim. sameus, pH)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
d) Sinilevää tai sinilevätoksiineja raakavedessä	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
e) Puhdistusprosessin ongelmat (esim. tekninen vika, puhdistusprosessin riittämättömyys)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
f) Veden poikkeava mikrobiologinen laatu laitokselta lähtevässä vedessä	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
g) Veden poikkeava fysikaalis-kemiallinen laatu laitokselta lähtevässä vedessä	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
h) Veden poikkeava mikrobiologinen laatu verkostossa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
i) Veden poikkeava fysikaalis-kemiallinen laatu verkostossa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
j) Verkoston putkirikko	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>

**24. Arvioikaa, mitkä seuraavista ongelmista ovat riskinä vesilaitoksenne toiminnassa seuraavien 10 vuoden aikana?**

	Ei	Kyllä
a) Raakaveden riittämättömyys	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
b) Raakaveden mikrobiologinen likaantuminen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
c) Raakaveden fysikaalis-kemiallinen likaantuminen (esim. sameus, pH)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
d) Sinilevää tai sinilevätoksiineja raakavedessä	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
e) Puhdistusprosessin ongelmat (esim. tekninen vika, puhdistusprosessin riittämättömyys)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
f) Veden poikkeava mikrobiologinen laatu laitokselta lähtevässä vedessä	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
g) Veden poikkeava fysikaalis-kemiallinen laatu laitokselta lähtevässä vedessä	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
h) Veden poikkeava mikrobiologinen laatu verkostossa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
i) Veden poikkeava fysikaalis-kemiallinen laatu verkostossa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
j) Verkoston putkirikko	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>

**25. Ovatko alla mainitut sääilmiöt aiheuttaneet seuraavia ongelmia vesilaitoksellanne raaka- tai talousveden laadussa edellisen 10 vuoden aikana? Voitte valita useita vaihtoehtoja.**

	Ongelmia raakaveden mikrobiologisessa laadussa	Ongelmia raakaveden fysikaalis-kemiallisessa laadussa	Ongelmia lähtevän talousveden mikrobiologisessa laadussa	Ongelmia lähtevän talousveden fysikaalis-kemiallisessa laadussa
a) Pitkä sateinen jakso	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
b) Rankkasade	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
c) Tulva	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
d) Myrskytuuli	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
e) Ukkonen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
f) (Pitkittänyt) kuivuus	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
g) Hellejakso	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
h) Kova pakkanen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
i) Lauha talvi	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
j) Suuri lumimäärä tai tykkylumi	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
k) Routa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>

**26. Ovatko alla mainitut sääilmiöt aiheuttaneet seuraavia ongelmia vesilaitoksellanne edellisen 10 vuoden aikana? Voitte valita useita vaihtoehtoja.**

	Ongelmia veden saatavuudessa	Ongelmia vedentuotannossa	Ongelmia sähkönsaannissa	Ongelmia jakelussa tai vesijohto-verkostossa
a) Pitkä sateinen jakso	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
b) Rankkasade	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
c) Tulva	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
d) Myrskytuuli	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
e) Ukkonen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
f) (Pitkittänyt) kuivuus	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
g) Hellejakso	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
h) Kova pakkanen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
i) Lauha talvi	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
j) Suuri lumimäärä tai tykkylumi	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
k) Routa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>

**27. Arveletteko, että alla mainitut sääilmiöt aiheuttavat seuraavia ongelmia vesilaitoksellanne raakaveden ja talousveden laadussa seuraavien 10 vuoden aikana? Voitte valita useita vaihtoehtoja.**

	Ongelmia raakaveden mikrobiologisessa laadussa	Ongelmia raakaveden fysikaalis-kemiallisessa laadussa	Ongelmia lähtevän talousveden mikrobiologisessa laadussa	Ongelmia lähtevän talousveden fysikaalis-kemiallisessa laadussa
a) Pitkä sateinen jakso	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
b) Rankkasade	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
c) Tulva	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
d) Myrskytuuli	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
e) Ukkonen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
f) (Pitkittänyt) kuivuus	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
g) Hellejakso	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
h) Kova pakkanen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
i) Lauha talvi	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
j) Suuri lumimäärä tai tykkylumi	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
k) Routa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>

**28. Arveletteko, että alla mainitut sääilmiöt aiheuttavat seuraavia ongelmia vesilaitoksellanne seuraavien 10 vuoden aikana? Voitte valita useita vaihtoehtoja.**

	Ongelmia veden saataavuudessa	Ongelmia vedentuotannossa tai laitoksen toiminnassa	Ongelmia sähkönsaannissa	Ongelmia jakelussa tai vesijohto-verkostossa
a) Pitkä sateinen jakso	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
b) Rankkasade	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
c) Tulva	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
d) Myrskytuuli	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
e) Ukkonen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
f) (Pitkittänyt) kuivuus	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
g) Hellejakso	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
h) Kova pakkanen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
i) Lauha talvi	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
j) Suuri lumimäärä tai tykkylumi	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
k) Routa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>



**Kysymykset 29-34 koskevat vain vesilaitoksia, jotka käyttävät vedentuotannossaan pohja- tai tekopohjavettä. Muut voivat siirtyä suoraan kysymykseen 35.**

**29. Sijaitseeko jokin vedenottoaivoistanne lähellä vesistöä nk. tulvavaara-alueella?**

- 1  Ei  
2  Kyllä

**30. Onko vedenottamoalueelle aiemmissa tulvatilanteissa kulkeutunut pintavettä?**

- 1  Ei  
2  Kyllä  
3  En tiedä

**31. Minkä ikäisiä vedenottoaivonne ovat? Jos kaivoja on useampi, arvioikaa keskimääräinen ikä.**

- 1  Alle vuosi  
2  1 - 4 vuotta  
3  5 - 9 vuotta  
4  10 - 19 vuotta  
5  20 vuotta tai enemmän

**32. Millaisessa kunnossa vedenottoaivonne ovat oman arvionne mukaan?**

- 1  Hyvässä  
2  Kohtuullisessa  
3  Huonossa

**33. Sijaitseeko jokin vedenottoaivoistanne paikassa, jossa pintavesien kulkeutuminen kaivoon on mahdollista rankkasateiden yhteydessä?**

- 1  Ei  
2  Kyllä  
3  En tiedä

**34. Onko vedenottoaivoihinne aiemmin kulkeutunut pintavesiä?**

- 1  Ei  
2  Kyllä  
3  En tiedä

**35. Miten uskotte seuraavien sääilmiöiden esiintyvyyden muuttuvan seuraavien 10 vuoden aikana?**

	Vähenevät	Lisääntyvät	Pysyvät ennallaan	En osaa sanoa
a) Pitkä sateinen jakso	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
b) Rankkasade	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
c) Tulva	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
d) Myrskytuuli	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
e) Ukkonen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
f) (Pitkittänyt) kuivuus	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
g) Hellejakso	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
h) Kova pakkanen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
i) Lauha talvi	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
j) Suuri lumimäärä tai tykkylumi	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
k) Routa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>

**36. Onko seuraavien sääilmiöiden aiheuttamiin mahdollisiin ongelmiin jo varauduttu vesilaitoksellanne?**

	Ei	Kyllä
a) Pitkä sateinen jakso	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
b) Rankkasade	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
c) Tulva	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
d) Myrskytuuli	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
e) Ukkonen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
f) (Pitkittänyt) kuivuus	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
g) Hellejakso	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
h) Kova pakkanen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
i) Lauha talvi	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
j) Suuri lumimäärä tai tykkylumi	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
k) Routa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>

**37. Mihin seuraavista sääilmiöistä arvelette ilmastonmuutoksen vaikuttavan Suomessa?**

*Voitte valita useita vaihtoehtoja.*

	Seuraavan 10 vuoden aikana	Seuraavan 30 vuoden aikana
a) Pitkä sateinen jakso	<sub>1</sub> <input type="checkbox"/>	<sub>2</sub> <input type="checkbox"/>
b) Rankkasade	<sub>1</sub> <input type="checkbox"/>	<sub>2</sub> <input type="checkbox"/>
c) Tulva	<sub>1</sub> <input type="checkbox"/>	<sub>2</sub> <input type="checkbox"/>
d) Myrskytuuli	<sub>1</sub> <input type="checkbox"/>	<sub>2</sub> <input type="checkbox"/>
e) Ukkonen	<sub>1</sub> <input type="checkbox"/>	<sub>2</sub> <input type="checkbox"/>
f) (Pitkittynyt) kuivuus	<sub>1</sub> <input type="checkbox"/>	<sub>2</sub> <input type="checkbox"/>
g) Hellejakso	<sub>1</sub> <input type="checkbox"/>	<sub>2</sub> <input type="checkbox"/>
h) Kova pakkanen	<sub>1</sub> <input type="checkbox"/>	<sub>2</sub> <input type="checkbox"/>
i) Lauha talvi	<sub>1</sub> <input type="checkbox"/>	<sub>2</sub> <input type="checkbox"/>
j) Suuri lumimäärä tai tykkylumi	<sub>1</sub> <input type="checkbox"/>	<sub>2</sub> <input type="checkbox"/>
k) Routa	<sub>1</sub> <input type="checkbox"/>	<sub>2</sub> <input type="checkbox"/>

**38. Koetteko, että vesilaitoksenne pystyy vastaamaan säänvaihteluiden asettamiin haasteisiin tällä hetkellä riittävästi?**

- <sub>1</sub>  Ei  
<sub>2</sub>  Kyllä

**39. Koetteko, että ilmastonmuutos uhkaa vesiturvallisuutta omassa laitoksessanne?**

- <sub>1</sub>  Ei  
<sub>2</sub>  Kyllä  
<sub>3</sub>  En osaa sanoa

**40. Koetteko, että ilmastonmuutos uhkaa vesiturvallisuutta Suomessa yleisesti ottaen?**

- <sub>1</sub>  Ei  
<sub>2</sub>  Kyllä  
<sub>3</sub>  En osaa sanoa

**41. Uskotteko ilmaston olevan muuttumassa maailmanlaajuisesti?**

- <sub>1</sub>  Ei  
<sub>2</sub>  Kyllä

**42. Uskotteko ihmistoiminnan muuttavan ilmastoa?**

- 1  Ei  
2  Kyllä

**43. Arvioitteko ilmastomuutoksella olevan vaikutusta vedenhankintaan vuoteen 2050 mennessä?**

- 1  Ei  
2  Kyllä

**44. Arvioitteko, että ilmastomuutos aiheuttaa lisäselvitystarpeita vesilaitoksellanne?**

- 1  Ei  
2  Kyllä

**45. Onko vesilaitoksenne sietokyky ilmastomuutoksen aiheuttamille muutoksille mielestänne riittävä?**

- 1  Ei  
2  Kyllä  
3  En osaa sanoa

**46. Seuraako ilmastomuutoksesta vesilaitoksellenne mielestänne myönteisiä vaikutuksia?**

- 1  Ei  
2  Kyllä  
3  En osaa sanoa

**VARAUTUMINEN HÄIRIÖTILANTEISIIN VEDENTUOTANNOSSA**

**Kysymykset 47 - 52 koskevat vain vesilaitoksia, joilla on omaa vedentuotantoa. Muut voivat siirtyä suoraan kysymykseen 53.**

**47. Miten olette varautunut pitkittyneeseen kuivuuteen? *Voitte valita useita vaihtoehtoja.***

- 1  Varautumis- tai toimenpidesuunnitelmat  
2  Vaihtoehtoinen raakavesilähde/varavedenottamo  
3  Yhdysvesijohto  
4  Muut tekniset ratkaisut  
5  Ei mitenkään

**48. Miten olette varautunut tulvatilanteisiin? Voitte valita useita vaihtoehtoja.**

- 1  Suunnitelmat (esim. vesilaitoksen varautumissuunnitelma)  
2  Vaihtoehtoinen vesilähde  
3  Tulvaeste  
4  Desinfiointivalmius  
5  Muut tekniset ratkaisut  
6  Ei mitenkään

**49. Onko vedentuotantonne joskus keskeytynyt poikkeustilanteen johdosta?**

- 1  Ei  
2  Kyllä, viimeisen 10 vuoden aikana  
3  Kyllä, yli 10 vuotta sitten

**50. Onko raakaveden käsittelytarpeenne joskus lisääntynyt väliaikaisesti tai pysyvästi poikkeustilanteen johdosta?**

- 1  Ei  
2  Kyllä, viimeisen 10 vuoden aikana  
3  Kyllä, yli 10 vuotta sitten

**51. Onko käytössänne varavesilähdettä (esim. varavedenottamo, yhdysputki toiselle laitokselle), jos nykyinen päävedenottamo joudutaan ottamaan väliaikaisesti tai pysyvästi pois käytöstä?**

- 1  Ei  
2  Kyllä

**52. Onko vedentuotannossanne varauduttu seuraaviin poikkeustilanteisiin?**

	Ei	Kyllä
a) Sähkökatkokset (esim. hälytysjärjestelmien avulla tai varavoimakoneilla)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
b) Tulvariski	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
c) Pintaveden korkeus	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
d) Pintaveden laatu	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
e) Pohjaveden korkeus	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
f) Pohjaveden laatu	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
g) Pohjaveden määrä	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
h) Vuodot viemäriverkostossa	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
i) Vuodot jätevedenpumppaamalla	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>

SUUNNITELMAT

**53. Onko vesilaitoksellanne tai vedenottamoalueillanne voimassa jokin seuraavista suunnitelmista, ja onko ilmastonmuutos huomioitu näissä?**

	Ei	Kyllä, ilmastonmuutosta ei ole huomioitu	Kyllä, ilmastonmuutos on huomioitu
a) Pohjavesialueen suojelusuunnitelma	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
b) Vesihuollon yleissuunnitelma	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
c) Vesilaitoksen varautumissuunnitelma	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
d) Riskien arviointi ja hallinta (Water safety plan)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
e) Erityistilannesuunnitelma	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
f) Jokin muu	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>

**54. Millä aikajänteellä tarkastelette sää- ja ilmastoriskejä?**

- 1  Alle 5 v  
 2  5 - 9 v  
 3  10 - 19 v  
 4  20 - 50 v  
 5  Yli 50 v  
 6  Tarkastelua ei tehdä  
 7  En osaa sanoa

**55. Millaisia sää- ja ilmastotietoja hyödynnätte omassa toiminnassanne? Voitte valita useita vaihtoehtoja.**

- 1  Sääennusteet  
 2  Tulvaennusteet (esim. Tulvakeskuksen tiedotteet, ympäristöhallinnon tulvakartat)  
 3  Hellevaroitukset  
 4  Pakkasvaroitukset  
 5  Lumivaroitukset  
 6  Tuuli- tai myrskyvaroitukset  
 7  Pitkän aikavälin sääennusteet (1-2 kk)  
 8  LUOVA-vaaratiedotteet  
 9  Tutkimuslaitosten aineistot (esim. säätilastot, hydrologiset tiedot)  
 10  IPCC:n ilmastonmuutoskenaariot

**56. Mitä tietoa sää- ja ilmastoriskeistä tarvitsitte lisää vesilaitoksenne toiminnan kehittämiseksi?**

*Voitte valita useita vaihtoehtoja.*

- 1  Pitkän aikavälin sääennusteet (1 - 2 kk)
- 2  Lyhyen aikavälin ilmastoskenaariot (5 - 10 vuotta)
- 3  Pitkän aikavälin ilmastoskenaariot (10 - 20 vuotta)
- 4  Paikkakuntaakohtaisia ilmastoennusteita
- 5  Muuta, mitä? \_\_\_\_\_

**57. Vastasitteko kyselyyn yksin?**

- 1  En, käytin muiden apua
- 2  Kyllä

**58. Vastauspäivämäärä (pp.kk.vvvv)**

		.			.				
--	--	---	--	--	---	--	--	--	--

Jos haluatte, voitte vielä kirjoittaa alle kommentteja kyselyn aihepiiriin liittyen.

**Kiitos vastauksistanne!**

**Palauttakaa tämä lomake oheisessa valmiiksi maksetussa kirjekuoressa.**

## Liite 2. KYSELYN PERUSJOUKKO

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL) toteutti vuonna 2018 vesilaitoskyselyn koko Suomen kattavalla alueella pois lukien Ahvenanmaan. Kyselyn tavoitteena oli selvittää, miten talousvettä toimittavat vesihuoltolaitokset ovat varautuneet tai aikovat varautua ilmastonmuutoksen aiheuttamiin uhkiin. Samalla haluttiin selvittää, miten vesihuoltolaitokset kokevat sää- ja ilmastoriskien aiheuttamat uhkat ja millaisia investointeja vesihuoltolaitokset aikovat tehdä tulevaisuudessa.

Vesihuoltolaitosten yhteystiedot hankittiin sekä aluehallintovirastoilta että Suomen vesihuolto-osuuskunta OY:ltä. Kysely lähetettiin yhteensä 1912 talousvettä toimittavalle vesihuoltolaitokselle sekä vesiosuuskunnalle ensimmäisessä vaiheessa sähköisenä verkkokyselynä ja toisessa vaiheessa vastaamatta jättäneille paperikyselynä. MMM:n mukaan Suomessa on virallisia vesihuoltolaitoksia noin 1500 (MMM 2019), joihin lukeutuu mukaan ne vesiosuuskunnat, jotka liittyneenä 50 asukasta tai sen vuorokaudessa kuluttama vesimäärä tai tuottama jätevesimäärä on vähintään 10 m<sup>3</sup>, ja joiden toimintaa ohjaa Vesihuoltolaki 119/2001. Edellistä pienemmät pienet (jakelumäärä alle 10m<sup>3</sup>/vrk ja liittyjiä alle 50 henkilöä) vesiosuuskunnat eivät ole vesihuoltolain määrittelemiä vesihuoltolaitoksia, vaan niihin sovelletaan talousvettä toimittamaan laitokseen seuraavaa asetusta (Talousvesiasetus pienille talousvettä toimittaville laitoksille 401/2001). Uusin arvio vesilaitosten lukumäärästä Suomessa on 1 100 vesihuoltolaitosta (kunnan vahvistama toiminta-alue) (Laitinen 2019). Vesihuoltolaitoksiksi luokiteltavien osuuskuntien tai yhtymien lisäksi Suomessa toimii arviolta 700 vesihuoltotoimintaa harjoittavaa muuta osuuskuntaa tai yhtymää (Laitinen 2019).

Vastauksia tuli yhteensä 695 vastausprosentin ollessa 34 %. Raportissa esitetyissä tuloksissa on huomioitu vain vedentuottajat (N=365), ei pelkät vedenjakelijat (N=281) tai muut (N=29). Aineistoa analysoitiin pääasiassa tarkastelemalla suhteellisia osuuksia.

Taulukko 1. Kyselyyn vastanneiden vesihuoltolaitosten jakautuminen vedentuottajiin, vedenjakelijoihin tai molempiin.

*Taulukko 1. Kyselyyn vastanneiden vesihuoltolaitosten jakautuminen vedentuottajiin, vedenjakelijoihin tai molempiin.*

	N	%
Oma tuotanto ja jakelija	338	48,6
Oma tuotanto	27	3,9
Veden jakelija	281	40,4
Joku muu	29	3,3
Puuttuu	20	2,9
Yhteensä	695	100,0

*Taulukko 2. Kyselyyn vastanneiden vesihuoltolaitosten jakautuminen yhtiömuodon perusteella.*

	N	%
Kunnallinen vesihuoltolaitos	55	7,9
Kunnallinen liikelaitos	30	4,3
Osakeyhtiö	68	9,8
Vesiosuuskunta	480	69,1
Muu	41	5,9
Puuttuu	21	3,0
Yhteensä	695	100,0



Taulukko 3. Kyselyyn vastanneiden vesihuoltolaitosten jakautuminen vedentuotantomäärän (m<sup>3</sup>/vrk) perusteella.

	N	%
Alle 100 m <sup>3</sup>	452	65,0
100 – 999 m <sup>3</sup>	106	15,3
1 000 – 9 999 m <sup>3</sup>	78	11,2
10 000 m <sup>3</sup> tai enemmän	16	2,3
Muu	2	0,3
Puuttuu	41	5,9
Yhteensä	695	100,0

Taulukko 4. Kyselyyn vastanneiden vesihuoltolaitosten jakautuminen asiakasmäärän perusteella.

	N	%
Alle 100 m <sup>3</sup>	273	39,3
100 – 999 m <sup>3</sup>	255	36,7
1 000 – 9 999 m <sup>3</sup>	92	13,2
10 000 – 99 999 m <sup>3</sup>	43	6,2
100 000 m <sup>3</sup> tai enemmän	6	0,9
Puuttuu	26	3,7
Yhteensä	695	100,0

Taulukko 5. Kyselyyn vastanneiden vesihuoltolaitosten jakautuminen raakavesilähteen perusteella (vain vedentuottajat).

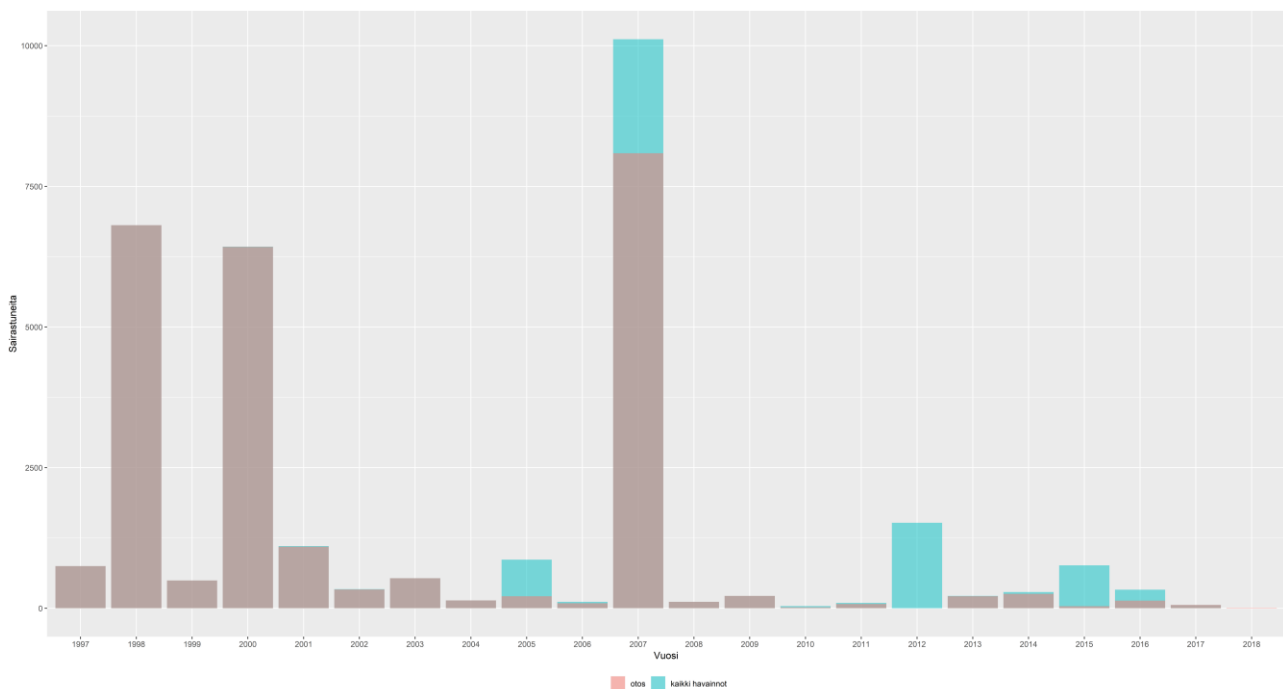
	N	%
Pintavesi	22	6
Pohjavesi	348	95,6
Tekopohjavesi	14	3,8

### Liite 3. TALOUDELLISEN TARKASTELUN AINEISTO JA MENETELMÄT

#### Aineisto

Molemmat lähestymistavat hyödyntävät Ilkka Miettisen keräämää aineistoa, joka pitää sisällään Suomessa todetut vesiepidemiatapaukset vuosina 1997–2018. Aineistosta ilmenee paikkakunta, jossa epidemia havaittiin; epäilty/todennettu taudinaiheuttaja; sairastuneiden lukumäärä sekä muita tietoja. Kustannusvaikutusten määrittämiseksi aineistoon yhdistettiin kunnallisen tason taloudellisia muuttujia kuten verotulot, valtiolta saadut tulonsiirrot sekä sosiaali- ja terveydenhoidon kustannukset. Lisäksi aineistoa täydennettiin demografisilla tiedoilla kuntien väkimääristä ja niiden ikärakenteista. Täydentävä aineisto on saatu Tilastokeskuksen kokoamista kuntien tilinpäätöstiedoista sekä väestörakenneaineistosta, ja se kattaa vuodet 1998–2017. Tällöin vuosien 1997 ja 2018 epidemiahavainnot jäävät analyysin ulkopuolelle. Aikasarjan aikana on tapahtunut useita kuntaliitoksia. Jotta aineistot voitiin yhdistää johdonmukaisesti empiiristä analyysia varten, kaikki havainnot aggregoitiin nykyisiin kuntiin, joita on yhteensä 311. Tämä myös mahdollisti koko aikasarjan kattavan väestörakenneaineiston käytön.

Aineistossa on mukana yhteensä 102 epidemiatapausta, joista 21 jouduttiin luottamuksellisuuden vuoksi jättämään analyysin ulkopuolelle. Näin ollen tästä tehdyt huomiot perustuvat 81 epidemiatapaukseen, joita oli sattunut 71 eri kunnassa. Sairastuneiden oletettiin olevan kyseisen kunnan asukkaita. Käytetty kuntaluokittelu perustuu kyseisen tilastovuoden kuntajakoon. Yhteensä sairastuneita oli 31336, joista 26108 analyysissä käytetyssä otoksessa. Kuva 1 havainnollistaa vuosittaisia sairastumistapauksia ja otoksessa olevien havaintojen jakautumista eri vuosille.



Kuva 1. Sairastuneiden lukumäärät vuosittain (koko aineisto sekä käytetty otos, 1997–2018).

Sairastuneita on havaitulla aikavälillä ollut keskimäärin 0,04 % kuntien väkimäärästä, ja niitä on sattunut keskimäärin 4,9 tapausta vuodessa eli epidemiat ovat olleet melko harvinaisia. Sattuneissa epidemioissa on ollut keskimäärin 322 sairastunutta. Kuvasta 1 voi myös nähdä, että suurin osa tapauksista sijoittuu muutamalle vuodelle (1998, 2000 ja 2007), jolloin on sattunut muutamia suurilukuisia sairastumistapauksia.

## Menetelmät

Empiirisessä analyysissä arvioimme sairastumistapausten taloudellisia vaikutuksia ekonometrisen regressiomenetelmän avulla. Pohjimmiltaan menetelmässä on kyse siitä, että pyritään tilastollisesti estimoimaan kerroin, jonka avulla sairastuneiden määrästä voidaan arvioida taloudellisten seurausten suuruusluokka. Sairastuneiden määrä vaikuttaa suoraan sairastuneiden työpanokseen laskevasti. Sairastuneiden määrä voi kuitenkin yksinään olla epätäydellinen mittari todellisista taloudellisista kustannuksista, sillä se ei pidä sisällään kaikkia vaikutuksia. Sen lisäksi että työntekijöiden työpanosta menetetään, sairastuneiden lasten vanhemmat joutuvat usein olemaan poissa töistä. On myös mahdollista, että työn tuottavuus voi laskea myös niillä työntekijöillä, jotka eivät jää pois töistä sairastumisensa vuoksi. Terveinä säilyvät työntekijät voivat myös paikata sairastuneiden työpanosta, jolloin työn tuottavuus ei täysimääräisesti heikkene sairastumisen vuoksi. Koska syy- ja seuraussuhteiden ketju sairastuneiden määrästä todellisiin taloudellisiin vaikutuksiin on monimutkainen, voi tilastollisilla menetelmillä havaittu kerroin sairastuneiden määrän ja taloudellisten mittarien olla vain hyödyllinen ensiarvio vaikutusten suuruudesta. Sen sijaan työvoiman ulkopuolella olevien sairastuminen jää tässä lähestymistavassa kokonaan arvottamatta, kun tutkitaan sairastumisten vaikutuksia taloudellista toimeliaisuutta mittaaviin muuttujiin. Näitä vaikutuksia pystytään käyttämässämme menetelmässä huomioon vain rajoitetusti esimerkiksi arvioimalla epidemioiden vaikutuksia haavoittuvimpien väestönryhmien kuten lasten ja vanhusten osuuksiin.

Arvioimme sairastumisen vaikutusta kolmeen taloudelliseen muuttujaan: kuntien verotuloihin, kuntien valtiolta saamiin avustuksiin sekä sosiaali- ja terveydenhoidon kustannuksiin. Kuntien saamat verotulot mittaavat kunnan taloudellista toimeliaisuutta, avustukset mahdollisia valtiolta saatuja epidemioiden hoitoon saatuja resursseja sekä sosiaalikustannukset terveydenhoidon lisääntyntä taakkaa epidemioiden aikana. Laskelmat tehtiin sekä absoluuttisina määrinä (esim. sairastuneiden määrä ja kunnan keräämät verotulot) että osuuksina (sairastuneiden osuus koko väestöstä ja kerätyt verotulot asukasta kohden).

Esimerkitapauksiksi valikoimme epidemiat, joissa oli eniten sairastuneita. Tapauksia, joissa sairastuneita oli vähintään 1000 henkeä, oli aineistossa viisi tapausta: Keuruu 1998 (2000 sairastunutta), Haukipudas 1998 (2200), Nurmes 2000 (5500), Vihti 2001 (1000) sekä Nokia 2007 (8000). Nokian tapaus on käsitelty jo tarkemmin ainakin tutkimuksessa Halonen ym. (2012), jonka vuoksi suoritimme laskelmat neljälle muulle tapaukselle.

Arvioimme kokonaiskustannukset kaavalla

$$K_{tot} = n_{SAIRASTUNEET} * KESTO * K_{päivä}$$

jossa  $K_{tot}$  on epidemian kokonaiskustannukset (€/epidemia),  $n_{SAIRASTUNEET}$  on sairastuneiden lukumäärä,  $KESTO$  on sairastumisen vuoksi menetetyt työpäivät sairastunutta kohden ja  $K_{päivä}$  on arvioitu työntajalle koitua kustannus poissalosta per sairauspoissaolopäivä. Sairastuneiden lukumäärä saadaan edellä kuvatusta aineistosta. Sairastumisen kestolle käytämme arviona vaihteluväliä 2–4 päivää, joiden avulla voimme määrittää vähimmäis- ja enimmäisarvion kustannuksista. Käytämme yhden sairauspoissaolopäivän kustannuksen arviona Halonen ym. (2012) käyttämiä lukuja Nokialle 2007, joissa vähimmäiskustannuksena arvioitiin 200 €/päivä palvelusektorilla, ja enimmäiskustannuksena 380 €/päivä valtion työntekijöillä. Halonen ym. (2012) painottivat arvioitaan kunnan työvoiman toimialoittaisilla jakaumilla. Tämä lähestymistapa ei täysin tullut kyseeseen laskemassamme arviossa, sillä tilastot kuntien työvoiman jakautumisesta toimialoittain ovat saatavilla ainoastaan vuodesta 2007 alkaen eli useita vuosia tarkasteltavien epidemioiden jälkeen. Tällöin myös Haukiputaan kunta oli jo lakannut olemasta. Toimialarakenteessa havaittavat erot sen sijaan sisältyvät laskemaamme enimmäis- ja vähimmäiskustannusten vaihteluväliin. Näillä tiedoilla voitiin laskea karkea vaihteluväli sairauspoissaolojen enimmäis- ja vähimmäiskustannuksille.