

Taloudellisesti ja ympäristön kannalta kestävä vedenkäytön tehostaminen talousvesihuollossa Suomessa

Vesilaitosyhdistyksen
monistesarja nro 60

Helsinki 2020



Julkaisun myynti:

Vesilaitosyhdistys
Ratamestarinkatu 7 B
00520 Helsinki
puh. (09) 868 9010
sähköposti: vy@vy.fi
kotisivu www.vy.fi

ISBN 978-952-6697-56-7(pdf)
ISSN 2242-7279

Helsinki 2020

KUVAILEHTI							
<i>Julkaisija</i>	Suomen Vesilaitosyhdistys ry						
<i>Tekijät</i>	Suomen Vesilaitosyhdistys ry						
<i>Julkaisun nimi</i>	Taloudellisesti ja ympäristön kannalta kestävä vedenkäytön tehostaminen talousvesihuollossa Suomessa						
<i>Julkaisusarjan nimi ja numero</i>	Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 60						
<i>Julkaisun teema</i>							
<i>Saatavuus</i>	Julkaisu on saatavissa Vesilaitosyhdistyksen verkkosivuilta.						
<i>Tiivistelmä</i>	<p>Aalto-yliopiston tekemässä selvityksessä tarkasteltiin vesihuollon vesitehokkuutta Suomessa erityisesti vedenjakelun hukkaveden ja kotitalouksien vedenkulutuksen osalta. Tavoitteena oli selvittää vesitehokkuuden optimitaso ja tehokkaimmat toimenpiteet vedenkäytön tehostamiseksi talousveden jakelussa ja käytössä Suomessa, ottaen huomioon toimenpiteiden taloudelliset ja ympäristövaikutukset. Lähtötietoja vesitehokkuuden arvioimiseksi saatiin Suomen ympäristökeskuksen VEETI-tietokannasta ja kahdelta vesilaitokselta. Vesijohtoverkoston vuotovesiä vähentävinä toimenpiteinä tarkasteltiin saneeraamista, aluemittausa ja paineenalentamista. Aluemittaus oli näistä kolmesta useimmiten kannattavin toimenpide. Saneeraaminen on hyvin kallista verrattuna säästetyn vuotoveden tuotantokustannuksiin.</p> <p>Laskelmien perusteella verkoston vuotovesimäärän vähentäminen on taloudellisesti kannattavampaa kuin vedenkulutuksen vähentäminen. Kasvihuonekaasupäästöjen osalta veden käytön vähentäminen on kuitenkin merkittävästi kannattavampaa, koska veden lämmittämisessä kuluu paljon energiaa. Huoneistokohtainen laskutus on tarkastelluista toimenpiteistä tehokkain vedenkulutuksen vähentämiseksi, mutta myös vesikalusteiden uusiminen tulee jatkossakin pienentämään asutuksen vedenkulutusta.</p> <p>Vaikka vesijohtoverkoston vuotovesien vähentäminen verkostoja saneeraamalla ei ole Suomen vesilaitoksilla vesitehokkuuden näkökulmasta taloudellisesti tai ympäristövaikutuksiltaan kannattavaa, tämä ei poista tarvetta lisätä verkoston saneerausta merkittävästi, jotta elinkaarensa päähän tuleva järjestelmä pysyy toimintakunnossa, eivätkä putkirikot ja häiriöt vesihuoltopalveluisa lisäänty.</p>						
<i>Avainsanat</i>	vesitehokkuus, vuotovedet, vedenkulutus						
<i>Rahoittaja/toimeksiantaja</i>	Suomen Vesilaitosyhdistys ry						
	<table border="1"> <tr> <td colspan="2"><i>ISBN (pdf)</i> 978-952-6697-56-7</td> <td><i>ISSN</i> 2242-7279</td> </tr> <tr> <td><i>Sivuja</i> 49</td> <td><i>Kieli</i> suomi</td> <td><i>luottamuksellisuus</i> julkinen</td> </tr> </table>	<i>ISBN (pdf)</i> 978-952-6697-56-7		<i>ISSN</i> 2242-7279	<i>Sivuja</i> 49	<i>Kieli</i> suomi	<i>luottamuksellisuus</i> julkinen
<i>ISBN (pdf)</i> 978-952-6697-56-7		<i>ISSN</i> 2242-7279					
<i>Sivuja</i> 49	<i>Kieli</i> suomi	<i>luottamuksellisuus</i> julkinen					
<i>Julkaisun jakelu</i>	Vesilaitosyhdistys, www.vvy.fi						
<i>Painopaikka ja -aika</i>	Helsinki 2020						

BESKRIVNINGSLAD			
<i>Publicerat av</i>	Finlands Vattenverksförening r.f.		
<i>Författare</i>	Finlands Vattenverksförening r.f.		
<i>Publikationens titel</i>	Ekonomiskt och miljömässigt hållbar effektivisering av vattenförbrukningen inom vattenförsörjningen i Finland		
<i>Publikationsseriens titel och nummer</i>	Vattenverksföreningens publikationsserie nr 60		
<i>Publikationens tema</i>			
<i>Tillgänglighet</i>	Publikationen finns på Vattenverksföreningens webbsida.		
<i>Sammanfattning</i>	<p>En studie utförd av Aalto-universitetet undersökte vatteneffektiviteten av vattenförsörjningen i Finland, särskilt med avseende på spillvatten från vattendistributionen och hushållens vattenförbrukning. Syftet var att bestämma den optimala nivån av vatteneffektiviteten och de mest effektiva åtgärderna för att förbättra effektiviteten av försörjningen och förbrukningen av hushållsvatten i Finland, med hänsyn till ekonomiska och miljömässiga effekter. Ingångsdata för bedömning av vatteneffektiviteten hämtades från Finlands miljöcentrals VEETI-databas och från två vattenverk. Sanering, områdesmätning och tryckreducering övervägdes som åtgärder för att minska läckage i vattenledningsnät. Av dessa tre var områdesmätning oftast den mest lönsamma åtgärden. Sanering är mycket dyrt jämfört med produktionskostnaderna för sparad spillvatten.</p> <p>Enligt dessa beräkningar är det mer ekonomiskt hållbart att minska mängden spillvatten i nätverken än att minska vattenförbrukningen. När det gäller utsläppen av växthusgaser är det betydligt mer lönsamt att minska vattenförbrukningen eftersom uppvärmning av vatten är energiintensivt. För att minska vattenförbrukningen är lägenhetsspecifik fakturering den mest effektiva av de undersökta åtgärderna, men förnyelse av vattenarmatur kommer också i fortsättningen att minska vattenförbrukningen i bostadsområden.</p> <p>Med tanke på vatteneffektivitet är det varken ekonomiskt eller miljömässigt lönsamt för de finska vattenverken att reducera spillvatten genom sanering av vattenledningsnäten. Trots det, finns det ett behov av att avsevärt öka saneringen av ledningsnät och hålla dem som är i slutet av sin livscykel i funktionsdugligt skick, för att förhindra en ökning av rörbrott och störningar i vattenförsörjningen.</p>		
<i>Nyckelord</i>	vatteneffektivitet, spillvatten, vattenförbrukning		
<i>Finansiär/uppdragsgivare</i>	Finlands Vattenverksförening r.f.		
	<i>ISBN (pdf)</i> 978-952-6697-56-7		<i>ISSN</i> 2242-7279
	<i>Sidantal</i> 49	<i>Språk</i> finska	<i>Konfidentialitet</i> offentlig
<i>Distribution av publikationen</i>	Vattenverksföreningen, www.vvy.fi		
<i>Tryckort och tidpunkt för tryck</i>	Helsingfors 2020		

SISÄLLYSLUETTELO

Termit ja lyhenteet	VI
1. Hankkeen tausta ja tavoitteet	7
2. Vedenkulutus, vuotovesimäärä ja veden uudelleenkäyttö	9
2.1. Vedenkäyttö vesihuollossa Suomessa.....	9
2.2. Vuotavuuden tunnusluvut	11
2.3. Vuotovesiin liittyvät ohjauskeinot vesitehokkuuden edistämiseksi.....	13
2.4. Veden uudelleenkäyttö	15
3. Talousvesihuollon ympäristövaikutukset ja muut ulkoisvaikutukset	16
3.1. Kasvihuonekaasupäästöt.....	16
3.2. Vaikutukset vesivaroihin	18
3.3. Muut yhteiskunnalliset vaikutukset.....	20
4. Vesitehokkuutta parantavien toimenpiteiden kustannus-hyötyanalyysin laskentamenetelmät.....	22
4.1. Aineisto.....	22
4.2. Vuotoveden vähentäminen	23
4.2.1. Minimivuototason ja vuotoveden vähennyspotentiaalin määrittäminen	24
4.2.2. Aluemittaus.....	25
4.2.3. Vesijohtojen saneeraaminen.....	25
4.2.4. Verkostopaineen alentaminen	26
4.2.5. Ympäristövaikutukset.....	27
4.3. Asutuksen vedenkulutuksen vähentäminen	28
4.3.1. Vesikalusteet	28
4.3.2. Vesimittarit ja huoneistokohtainen laskutus	28
4.3.3. Kiinteistökohtainen paineenalennus.....	29
4.3.4. Muut tekijät: hintajousto ja tiedottaminen	30
4.3.5. Ympäristövaikutukset.....	30
5. Tulokset ja tulosten tarkastelu	31
5.1. Vuotoveden vähentäminen	31
5.2. Vedenkulutuksen vähentäminen	33
6. Johtopäätökset.....	35
Lähteet	38
Liite 1. ILI tunnusluku (engl. Infrastructure leakage index)	43
Liite 2. Putkirikkojen aiheuttamat vesiepidemiat.....	45
Liite 3. Keskimääräiset saneerausten ja putkirikkojen kustannukset	46
Liite 4. Epävarmuus- ja herkkyystarkastelu	47

TERMIT JA LYHENTEET

ELL	ELL (engl. Economic Level of Leakage) eli taloudellinen vuototaso on se piste, jossa vuotovesien aiheuttaman kustannuksen sekä vuotojen hallinnan kustannusten summa on alhaisimmillaan
ILI	Vuototasoindeksi (engl. Infrastructure Leakage Index), joka kuvaa mitatun vuotovesimäärän ja lasketun ns. alimman mahdollisen vuotovesimäärän suhdetta
KHK-päästöt	Kasvihuonekaasupäästöt
Laskuttamaton vesi	Verkostoon pumpatun veden ja lasketun veden erotus
Nettonykyarvo	Kuvaa kassan tulo- ja menovirtojen nykyarvojen erotusta
Ominaiskulutus	Vesilaitoksen verkostoon pumpppaama vesi jaettuna asukasmäärällä
Vesihukka	Laskuttamattoman veden määrä vähennettynä hyväksytyllä laskuttamattomalla käytöllä, esimerkiksi laitoksen omalla veden käytöllä. Vuotoveden lisäksi vesihukkaan kuuluu esimerkiksi laittomien liittymien kautta kulutettu vesi. Suomessa vesihukka ja vuotovesi ovat hyvin lähellä toisiaan.
Vuotovesi	Laskuttamattoman veden määrä vähennettynä hyväksytyllä laskuttamattomalla käytöllä. Erikoistapauksena laskuttamattoman veden määrästä voidaan tehdä myös muita vähennyksiä, kts. Vesihukka.

1. HANKKEEN TAUSTA JA TAVOITTEET

Taustaa

Kotitaloudet ovat suurin ja vesihuoltolaitokset toiseksi suurin talousveden kuluttaja toimialoittain tarkasteltuna (Salminen ym. 2017), joten veden käytön tehostamista talousvesihuollossa kannattaa tarkastella ensisijaisesti näillä sektoreilla. Vesihuoltolaitoksilla puhdistetun veden hukka aiheutuu pääasiassa verkostovuodoista, joiden yhteenlaskettu volyymi on Suomessa noin 58 miljoonaa kuutiota vuodessa, joka on noin 15 % tuotetusta talousvedestä (Salminen ym. 2017). Veden hukan vähentäminen on tärkeää veden niukkuuden ja vesistressin ehkäisemiseksi. Vaikka Suomi on maailman vesirikkaimpia maita, meilläkin pohja- ja pintavesien riittävyys aiheuttaa haasteita paikallisesti, kuten vuoden 2018 kuivuus on osoittanut. Euroopassa vesitehokkuus ja erilaiset keinot sen edistämiseksi ovat olleet aktiivisesti esillä keskustelussa ja päätöksenteossa, sillä useat Euroopan maat kärsivät veden niukkuudesta.

Verkostovuotoja ja kotitalouksien vedenkulutusta vähentävät toimenpiteet kuluttavat veden sijasta muita resursseja, kuten energiaa, raaka-aineita ja rahaa. Tämän vuoksi vesihuollon ja yhdyskuntien vesitehokkuuden parantamista kannattaa tarkastella kokonaisvaltaisesti suhteessa siitä saataviin yhteiskunnallisiin ja ympäristöhyötyihin sekä vaihtoehtokustannuksiin. Analyysi ja sen avulla löydettävä vesitehokkuuden optimitaso Suomessa on tärkeää niin vesihuoltolaitosten toiminnan, kansallisen lainsäädännön kuin Euroopan tason lainsäädännönkin kehittämisen kannalta. Vuotoveden määrä ja verkostojen kunto ovat suoraan yhteydessä toisiinsa. Vesitehokkuuden tarkastelu linkittyy siis sitä kautta verkostojen korjausvelkaan, verkostosaneerauksiin ja saneeraamisen resurssitehokkuuteen.

Euroopan komissio julkaisi tammikuussa 2015 raportin *Good Practices on Leakage Management* vesihuoltolaitosten vesitehokkuuden parantamiseksi. Raportissa esitetyt toimenpidesuositukset on suunnattu kaikille EU:n jäsenille, mutta kaikki niistä eivät välttämättä sovi suoraan Suomen olosuhteisiin. Lisäksi syyskuussa 2015 Euroopan komissio julkaisi aloitteen *Maximisation of water reuse in the EU*, jonka tavoitteena on kannustaa tehokkaaseen veden kierrätykseen ja vähentää vesiympäristöön kohdistuvia paineita erityisesti vedenpuutteesta kärsivillä alueilla. Raportit ja aloitteet eivät sisällä velvoittavia määräyksiä, joten tässä hankkeessa haluttiin arvioida talousvesihuollon vesitehokkuuden mahdollisia edistämistapoja Suomessa suhteessa hyötyihin.

Hanke käynnistettiin Vesilaitosyhdistyksen vesilaitosryhmän aloitteesta ja sen rahoittivat Vesihuoltolaitosten kehittämisrahasto sekä hankkeeseen osallistuneet vesihuoltolaitokset Helsingin seudun ympäristöpalvelut (HSY) ja Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy (HS-Vesi). Selvitys toteutettiin Aalto-yliopistossa ja hankkeen projektipäällikkönä toimi vesi- ja ympäristötekniikan tutkimusryhmän tohtorikoulutettava Suvi Ahopelto. Hankkeen ohjausryhmään kuuluivat Riina Liikanen (VVY), Jukka Meriluoto (HS-Vesi), Riku Vahala (Aalto-yliopisto) ja Veli-Pekka Vuorilehto (HSY).

Tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella vesihuollon vesitehokkuutta Suomessa, ja erityisesti seuraavaa kolmea osa-aluetta:

1. Vedenjakelun hukkaveden vähentäminen
2. Vedenkulutuksen pienentäminen
3. Veden uudelleenkäyttö

Vedenjakelun osalta tavoitteena oli selvittää resurssitehokkaimmat vuotojen hallinnan toimenpiteet. Työssä tarkasteltiin toimenpiteiden vaikutuksia sekä vesilaitosten talouden että yhteiskunnan ja ympäristön kannalta.

Vedenkulutuksen osalta tarkasteltiin asutuksen vedenkulutusta, koska se on suurin vettä kuluttava sektori vesihuollossa. Tavoitteena oli arvioida, kuinka paljon kotitalouksien vedenkulutukseen voitaisiin vaikuttaa, ja millaisia kustannuksia ja vaikutuksia siitä syntyisi.

Veden uudelleenkäyttöä arvioitiin yleisellä tasolla kirjallisuusselvityksessä. Tavoitteena oli selvittää uudelleenkäytön ja kierrätyksen sellaisia mahdollisuuksia, jotka voisivat tulla kyseeseen Suomessa. Alun perin tavoitteena oli myös laatia kustannus-hyötylaskelmia veden uudelleenkäytöstä, mutta sitä varten ei löytynyt riittävästi lähtötietoja. Uudelleenkäytön merkitys Suomessa arvioitiin alustavasti vähäiseksi.

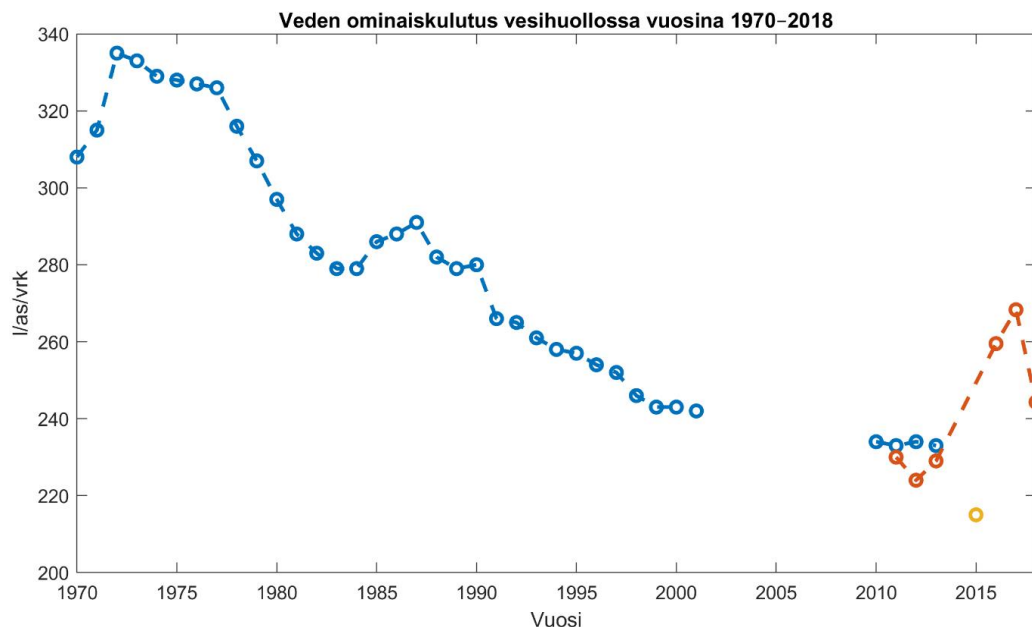
Lähtötietoja vesitehokkuuden arvioimiseksi saatiin Suomen ympäristökeskuksen VEETI-vesihuoltolaitostietokannasta ja kahdelta vesilaitokselta: Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY ja Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy (HS-Vesi).

2. VEDENKULUTUS, VUOTOVESIMÄÄRÄ JA VEDEN UUELLEENKÄYTTÖ

2.1. VEDENKÄYTTÖ VESIHUOLLOSSA SUOMESSA

Kokonaisvedenkulutusta ei ole Suomessa osattu aina ennustaa kovinkaan osuvasti. 1970-luvun puoliväliin asti ajateltiin yhdyskuntien veden käytön kasvavan jatkuvasti. Silloin veden ominaiskulutus, eli vesilaitosten kaikki toimittama vesi asukasta kohden, kääntyi laskuun pääasiassa vuoden 1972 energiakriisin, vuonna 1974 voimaan tulleen jätevesimaksulain sekä näitä seuranneiden vuotovesiselvitysten ja verkostosaneerausten myötä. Samalla veden mittaus parantui ja vesikalusteet kehittyivät. (Katko 2013, 78–82.)

Kuvassa 1 on esitetty vesilaitosten ominaisvedenkulutuksen kehitystä 1970-luvulta nykypäivään. Kuvaan on yhdistetty Suomen ympäristökeskuksen julkaisemia lukuja vuosilta 1970–2013, Vesilaitosyhdistyksen tunnuslukujärjestelmän lukuja muutamalta vuodelta sekä Vesihuollon tietojärjestelmä VEETIstä koottuja tietoja. Vuoden 2010 jälkeen luvut vaihtelevat sen mukaan, onko kyseessä kaikkien laitosten keskimääräinen ominaiskulutus (kaikki verkostoihin pumpattu vesi jaettuna kaikkien laitosten asukasluvun summalla) vai laitospohtaisten ominaiskulutusten keskiarvo. Kaikkien laitosten keskimääräinen ominaiskulutus vastaa käytännössä ominaiskulutuksen asukasmäärällä painotettua keskiarvoa. Suurilla laitoksilla on tyypillisesti pienempiä matalampi veden ominaiskulutus. Tämän vuoksi asukasmäärällä painotettu ominaiskulutuksen keskiarvo on pienempi kuin ei-painotettu keskiarvo. Tämän lisäksi otoksen koko voi vaikuttaa ominaiskulutuksen arvoon.



Kuva 1. Veden ominaiskulutuksen kehitys Suomessa vuosina 1970–2018. Kuvaajaan on yhdistetty Suomen ympäristökeskuksen (Lapinlampi 2015) raportoimia arvoja (sinisellä), Vesilaitosyhdistyksen (2014, 2019a) tunnuslukujärjestelmän lukuja (noin 30–70 laitosta, punaisella, laitosten keskiarvo) sekä VEETI:n (2015) raportoituja lukuja (92 laitosta, keltaisella, asukasluvulla painotettu keskiarvo).

Ominaisvedenkulutus jakaantuu laskutettuun ja laskuttamattomaan osuuteen. Laskuttamattoman veden osuus verkostoon pumpatusta vedestä on ollut Suomessa keskimäärin noin 17–19 % viimeiset 30 vuotta (Taulukko 1). Sekä laskutettua että laskuttamattoman veden määrä per henkilö ovat kuitenkin laskeneet.

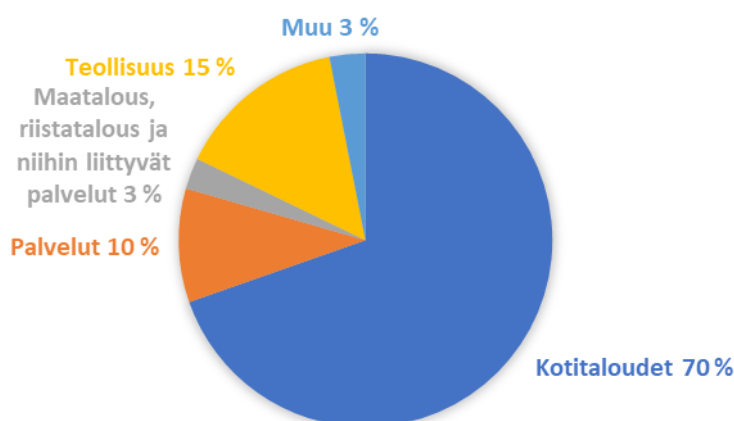
Taulukko 1. Laskuttamattoman veden keskimääräinen osuus verkostoon pumpatusta vedestä sekä kotitalouksien vedenkäyttö Suomessa eri vuosina ja eri arvioiden mukaan.

Vuosi	1985	1996	2013	2015	2018
Laskuttamattoman veden osuus verkostoon pumpatusta vedestä	18 %	18 %	19 % ^a	17 %	17 % ^b
Laskuttamattoman veden määrä asukasta kohden	53 l/as/vrk	44 l/as/vrk	-	37 l/as/vrk	-
Kotitalouksien vedenkäyttö	-	-	128 l/as/vrk ^b	117–123 l/as/vrk ^c	-
Lähde	Kulo (1998)	Kulo (1998)	Vesilaitosyhdistys (2014)	VEETI ^d	Vesilaitosyhdistys (2019a)
Otoskoko (laitosta)	42	52	33	59/92	90

- Laitosten mediaani.
- Laitosten keskiarvo.
- 59 laitoksen keskiarvo. Arvion vaihteluvälin alarajassa on mukana VEETIstä vain laitosten raportoima kotitalouksien vedenkulutus ja ylärajassa on mukana myös vedenkulutus osiosta ”muu laskutettu talousvesi”.
- VEETI eli ympäristöhallinnon vesihuollon tietojärjestelmä.

VEETIin on mahdollista lisätä sektorikohtainen vedenkulutus, joka saatiin poimitua 59 laitokselta. Aineiston perusteella talousvedenkulutus jakaantuu seuraavasti: kotitaloudet 70 %, teollisuus 15 %, palvelut 10 %, maatalous, riistatalous ja niihin liittyvät palvelut 3 % sekä muu tai tilastoimaton käyttö 3 % (Kuva 2). Tämä arvio vastaa melko hyvin kaikesta vedenkäytöstä ns. vesitilinpidon yhteydessä tehtyä arviota (Salminen ym. 2017).

Talousveden kulutuksen jakautuminen eri käyttötarkoituksiin (VEETIstä koottujen tietojen perusteella, 59 laitosta)



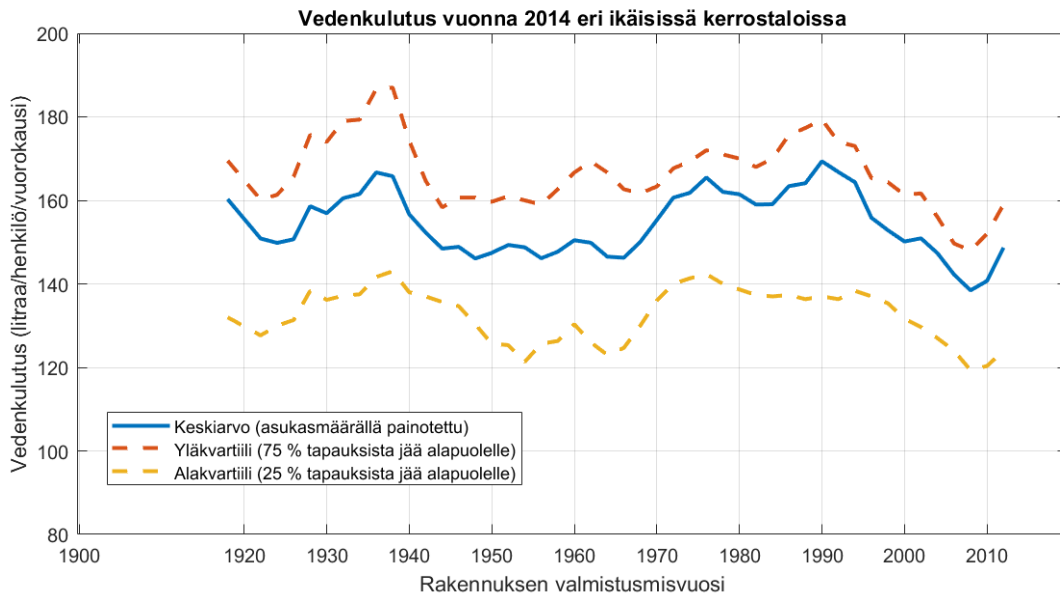
Kuva 2. Vesilaitosten toimittaman talousveden käytön jakaantuminen eri käyttötarkoituksiin vuonna 2015. Aineistossa on mukana 59 laitosta.

Vedenkulutus kotitalouksissa

Motivan^a mukaan kerrostaloissa keskimääräinen vedenkulutus (155 l/hlö/vrk) jakautuu seuraavasti:

- Peseytyminen 60 litraa (39 %)
- WC 40 litraa (26 %)
- Keittiö 35 litraa (22 %)
- Pyykki 20 litraa (13 %)

Kotitalouksissa muun muassa vesikalusteiden ikä vaikuttaa vedenkulutukseen. Kerrostaloissa kulutus on matalinta uusissa tai melko uusissa ja toisaalta jo remontoituissa vanhemmissa rakennuksissa (Kuva 3). Vedenkulutus tulee todennäköisesti edelleen laskemaan ainakin siihen asti, että kaikissa asunnoissa on tällä hetkellä nykyaikaisiksi laskettavat vesikalusteet. Muita vedenkulutukseen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa veden mittarointi ja laskutustapa, siis lähinnä se, maksaako käyttäjä vedestä suoraan kulutuksen perusteella vai ei. Näitä ja muita tekijöitä on käyty läpi tarkemmin kappaleessa 4.3.



Kuva 3. Vedenkulutus (l/hlö/vrk) eri-ikäisissä kerrostaloissa vuonna 2014. Perustuu HSY:n tietoihin.

2.2. VUOTAVUUDEN TUNNUSLUVUT

Vuotovesimäärästä puhutaan usein prosenttiosuutena verkostoon pumpatusta vedestä, koska prosenttiluku on yksiselitteinen ja helppo ymmärtää. Se sopii kuitenkin melko huonosti laitosten väliseen vertailuun tai pitkän aikajakson tarkkailuun. Laitosten väliseen vertailuun sopiikin paremmin vuotovesimäärä suhteessa verkostopituuteen tai liittymien määrään, koska siten saadaan parempi kuva verkoston putkien kunnosta. Esimerkiksi Suomessa verkostopituus suhteessa liittymien määrään vaihtelee paljon. Maaseutumaisissa kunnissa liittymätiheys voi olla noin 4–10 liittymää/km, kun taas kaupungeissa se on pikemminkin luokkaa 20–30 liittymää/km. Siten myös laskutettu vedenkulutus verkostopituutta kohden vaihtelee paljon.

^a https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiöt/energiaeksperttitoiminta/tietoa_energian_ja_vedenkulutuksesta/vedenkulutus_taloyhtiössä

Kansainvälisissä selvityksissä IWA:n^b vuotovesityöryhmän kehittämää ILI-lukua (Infrastructure Leakage Index) on käytetty laitosten väliseen vertailuun. ILI-luku perustuu arvioon niin sanotusta väistämättömästä vuotovesimäärästä (UARL eli Unavoidable Annual Real Losses), jota alemmas ei tavanomaisin toimin ole mahdollista päästä. Tämän hankkeen tarkastelujen perusteella ILI-luku ei kuitenkaan vaikuta sopivan suomalaisille vesilaitoksille. Sen laskentakaava on esitetty liitteessä 1.

Yleisimmät vuotavuuden tunnusluvut ovat

- Vuotovesimäärä suhteessa verkostoon pumpattuun vesimäärään (%)
- Vuotovesimäärä suhteessa verkostopituuteen (m³/km/vrk)
- Vuotovesimäärä suhteessa liittymien määrään (m³/liittymä/vrk)
- ILI-tunnusluku (engl. Infrastructure Leakage Index)

Verkostopituuteen voidaan ottaa mukaan pelkästään laitoksen verkosto tai laitoksen verkosto ja tonttijohdot.

Taulukossa 2 on esitetty esimerkkinä kolme laitosta, joilla on sama vuotoprosentti, mutta erilaiset vuotovesimäärät suhteessa verkostopituuteen. Suurimmalla laitoksella (laitos 1) vuotovesimäärä suhteessa verkostopituuteen on lähes 10-kertaa suurempi kuin pienimmällä laitoksella (laitos 3). Todellisuudessa isoimmalla laitoksella ei ole kuitenkaan 10-kertaa huonompi kuntoinen verkosto, koska sillä on suhteessa isompia putkia kuin pienimmällä. On kuitenkin selvää, että vuotovesiprosentti ei anna täyttä kuvaa näiden laitosten verkostojen suhteellisesta kunnosta.

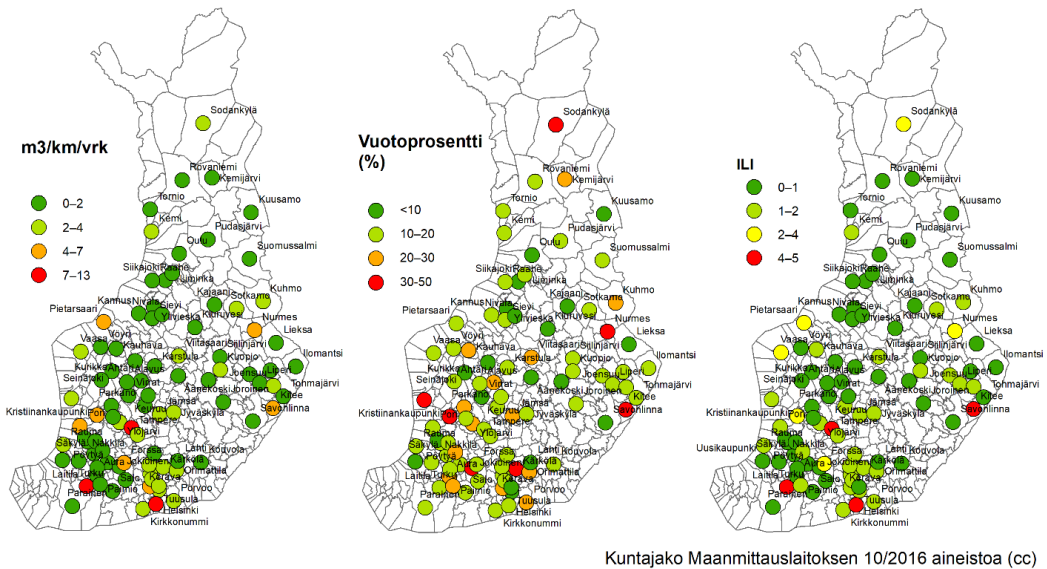
Taulukko 2. Esimerkki kolmen erilaisen laitoksen vuotovesitunnusluvuista. Laitokset on poimittu VEETI-tietokannasta.

	Verkostoon pumpattu vesimäärä (m³/a)	Laskutettu vesimäärä (m³/a)	Verkoston pituus (km)	Liittymätiheys (liittymiä/km)	Vuotovesiprosentti (%)	Vuotovesimäärä (m³/km/vrk)	ILI
Laitos 1	6530000	5200000	760	27	20	4.8	1,7
Laitos 2	2710000	2180000	570	16	20	2.5	1,2
Laitos 3	650000	520000	710	13	20	0.5	0,4

Kuvassa 4 ja taulukossa 3 on esitetty VEETIstä poimitun aineiston perusteella lasketut vuotovesimäärät suomalaisille vesilaitoksille vuodelta 2015. Vuotovesimäärää on arvioitu vähentämällä laskuttamattoman veden määrästä 2 % verkostoon pumpatusta vedestä (laskuttamatonta hyväksytyä käyttöä). Aineistossa on mukana 92 vesilaitosta.

Jokaisessa kokoluokassa vuotovesimäärät ovat keskimäärin erittäin kohtuulliset. Esimerkiksi ruotsalaiseen luokitteluun verrattuna lähes kaikki laitoksista ovat parhaassa kategoriassa, joka on alle 8 m³/km/vrk (Svenskt Vatten 2017). Myös portugalilaisiin raja-arvoihin verrattuna suurin osa (76 %) aineiston laitoksista on parhaassa kategoriassa, eli vuotavuus on alle 3 m³/km/vrk (LNEC ja ERSAR 2013). Myös ILI-arvot ovat hyvin alhaisia yli puolelle laitoksista, alle teoreettisen alimman mahdollisen tason.

^b IWA (International Water Association) on Kansainvälinen vesiyhdistys.



Kuva 4. Vuotavuuden tunnuslukuja 92 laitokselle VEETin vuoden 2015 tietojen perusteella (osalla laitoksista tiedot ovat vuodelta 2016 tai 2017). ILI:n (Infrastructure Leakage Index) laskentakaavat on esitetty liitteessä 1. Vuotoprosentti ja vuotovesimäärä verkostokilometriä kohden (m³/km/vrk) on arvioitu vähentämällä laskuttamattomasta vedestä 2 %.

Taulukko 3. Vuotavuuden tunnuslukuja 92 laitokselle VEETin vuoden 2015 tietojen perusteella (osalla laitoksista tiedot ovat vuodelta 2016 tai 2017). Laitokset on jaettu kokoluokkiin asukasmäärän perusteella. ILI:n (Infrastructure Leakage Index) laskentakaavat on esitetty liitteessä 1. Vuotoprosentti ja vuotovesimäärä verkostokilometriä kohden (m³/km/vrk) on arvioitu vähentämällä laskuttamattomasta vedestä 2 %.

		Liittymien lkm/km	Vuoto- vesi-%	Vuotovesimäärä m ³ /km/vrk	ILI
Kaikki laitokset	Mediaani	13	17	2	0.9
	Vaihteluväli	4–31	4–49	0.1–13	0.2–5.2
Pienet (n=43), alle 10 000 asukasta	Mediaani	11	18	1	0.8
	Vaihteluväli	4–21	4–49	0.1–7	0.1–4.4
Keskikokoiset (n=39), 10 000–60 000 asukasta	Mediaani	16	15	2	0.9
	Vaihteluväli	5–31	6–28	0.3–5	0.2–2.2
Suuret (n=10), yli 60 000 asukasta	Mediaani	18	15	3	1.7
	Vaihteluväli	13–27	6–20	1–13	0.6–5.2

2.3. VUOTOVESIIN LIITTYVÄT OHJAUSKEINOT VESITEHOKKUUDEN EDISTÄMISEKSI

Suomessa ei ole käytössä vuotovesiin tai laajemmin vesitehokkuuteen liittyviä ohjauskeinoja. Useissa Euroopan maissa - joissa on niukemmat vesivarat - on päätetty tarttua vuotovesiongelmaan lainsäädännöllä tai ohjailulla. Jonkinlaisia ohjauskeinoja on käytössä ainakin Tanskassa, Iso-Britanniassa, Portugalissa, Ranskassa, Saksassa, Alankomaissa, Italiassa, Belgiassa, Unkarissa, Puolassa, Tšekin tasavallassa ja Latviassa. Ohjauskeino voi olla muun muassa vesivero, jolla pyritään kannustamaan veden käytön kohtuullisuuteen (Salminen ym. 2017).

Taloudellisten ohjauskeinojen avulla olisi mahdollista sisällyttää hintoihin muun muassa vedenotosta aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Mahdollisia ohjauskeinoja on pohdittu Suomen ympäristökeskuksen Vesiviisas kiertotalous –hankkeen yhteydessä (Salminen ym. 2017, s. 53–60). Keinoja ovat esimerkiksi vedenottovero tai kuluttajille kohdistettu vesivero, joka kannustaisi säästäväisyyteen veden käytössä. Loppusuoralla olevassa Vesiviisaan bio- ja kiertotalouden kannusteet (KIERRE) –hankkeessa^c on muun muassa selvitetty näitä ohjauskeinoja.

Eittämättä maailman matalampia vuotovesiprosentteja löytyy Tanskasta, jossa on pyritty rajoittamaan vuotavuus alle 10 prosenttiin. Tämän rajan ylittäessään vesilaitos joutuu käytännössä maksamaan lisäveroa 6,13 Tanskan kruunua (noin 0,82 euroa) per vuotovesikuutio (Euroopan komissio 2015b). Keskimääräinen laskuttamattoman veden osuus verkostoon pumpatusta vedestä Tanskassa onkin vain 6 % (Miljø- og Fødevareministeriet 2009). Tanskan vesiveroa on taustoitettu laajemmin Vesiviisas kiertotalous -hankkeen loppuraportissa (Salminen ym. 2017).

Myös Englannissa ja Walesissa on rajoitettu vuotovesimääriä melko tehokkaasti ottaen huomioon maiden vesihuoltoinfraan. Englannissa ja Walesissa yksityistettyjä vesilaitoksia valvova viranomaisen Ofwat asettaa laitoksille yksilöityjä vuotovesitavoitteita ns. taloudelliseen vuototasoon^d perustuen. Vaatimuksia on vastikään uudistettu, ja nyt tavoitteena on alentaa vuotovesitasoja 17 prosentilla vuoden 2020 tasosta vuoteen 2025 asti (Plimmer 2019). Uudistukset ovat yhteydessä muihin tavoitteisiin, joita ovat muun muassa veden saastumistapausten ja vesikatkosten vähentäminen. Erään arvion mukaan keskimääräinen vuotovesitaso Iso-Britanniassa on 15 % (Bentley Systems 2011).

Ranskassa on vedenoton maksujen lisäksi määräyksiä, joiden perusteella vesilaitosten täytyy tehdä suunnitelmia vuotovesimäärän vähentämiseksi silloin, kun vuotavuus (tai oikeastaan vesihukka, joka voi sisältää myös mm. varastettua vettä) ylittää tietyn rajan (Pillot ym. 2016). Raja riippuu verkoston ja alueellisten vesivarojen ominaisuuksista ja on ollut 15–35 %. Jos vesilaitos ei noudata määräyksiä, vedenoton maksuja korotetaan. Määräykset koskevat vain tietyn kokorajan ylittäviä laitoksia. Vuonna 2008 keskimääräinen vuotovesimäärä oli 22 % (Agreste 2010). Ranskassa on paljon vesilaitoksia, joten myös vuotovesimäärissä on paljon vaihtelua.

Joissakin maissa pyritään ohjaamaan vesihukan vähentämiseen epäsuoremmin. Esimerkiksi Portugalissa on perustettu kansallinen ohjelma vedenkäytön tehostamiseksi, erityisesti kestävän kehityksen näkökulmasta (Serranito ja Donnelly 2015). Sen mukaiset vesihukan tavoitearvot ovat 20 % kaupungeissa, 35 % maataloudessa ja 15 % teollisuudessa.

Keväällä 2020 voimaan tulevassa uudistetussa EU:n juomavesidirektiivissä tullaan asettamaan jäsenmaille velvoite vesijohtoverkoston vuotovesitasojen rapor-

^c https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Vesiviisaan_bio_ja_kiertotalouden_kannusteet_KIERRE

^d Taloudellinen vuototaso (engl. economic level of leakage, ELL) on se piste, jossa vuotovesien aiheuttaman kustannuksen sekä vuotojen hallinnan kustannusten summa on alhaisimmillaan. Taloudellisen vuototason määrittämisessä voidaan vesilaitokselle koituvien kustannusten lisäksi huomioida myös yhteiskunnalliset ja ympäristökustannukset.

toimisesta ja, mikäli vuotovesiä on enemmän kuin komission määriteltäväksi tuleva taso, kansallisen toimenpidesuunnitelman laatimisesta vuotovesien vähentämiseksi.

2.4. VEDEN UUELLEENKÄYTTÖ

Yhdyskuntajätevettä voidaan kierrättää puhdistusvaatimusten näkökulmasta erilaisiin tarkoituksiin. Vettä voidaan kierrättää muun muassa kasteluvedeksi maatalouteen ja viheralueille, teollisuuden prosessivedeksi, tekopohjavedeksi tai kotitalouskohtaisesti esimerkiksi käymälöiden huuhteluun. Suomessa veden uudelleenkäyttöä on pohdittu muun muassa Suomen ympäristökeskuksen Vesiviisas kiertotalous- hankkeessa (Salminen ym. 2017). Hankkeen loppuraportissa mainitaan kasteluvesikäyttö ja hyödyntäminen tekopohjaveden valmistuksessa keskeisimpinä mahdollisuuksina Suomessa.

Puhdistettua tai osittain puhdistettua jätevettä käytetään yleisimmin sellaisten viljelyskasvien kasteluun, joita ei käytetä ihmisravinnoksi, sekä teollisuuden prosesseissa (Luckmann ym. 2016). Teollisuuden prosesseissa vettä voidaan kierrättää laitosten sisäisissä prosesseissa tai puhdistettua jätevettä voidaan johtaa teollisuuden käyttöön. Esimerkiksi käytössä jäähdytysvetenä on hygienian kannalta vähemmän riskejä. Veden kierrätysmahdollisuudet esimerkiksi elintarvikelaitosten sisäisissä prosesseissa ovat veden laatuun liittyvien riskien vuoksi rajallisia (Meriläinen ym. 2017). Maanviljelyn ja teollisuuden lisäksi yksi mahdollinen puhdistetun jäteveden käyttökohde on tekopohjavedeksi imeyttäminen. Tekopohjavesikäytön osalta meillä kuitenkin on sen valmistukseen sopivia pintavesiä runsaasti, eikä hyödyntäminen siten ole todennäköisesti siksi mielekäästä (Salminen ym. 2017, s.53).

Kasteluvesikäyttö on ollut esillä Euroopan unionissa, joka haluaa tehostaa vesivarojen käyttöä muun muassa ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi. Vuonna 2019 saavutettiin yksimielisyys Euroopan komission ehdotuksesta Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukseksi veden uudelleenkäytön vähimmäisvaatimuksista. Ehdotuksen tavoitteena on edistää yhdyskuntajätevesien uudelleenkäyttö erityisesti maatalouden keinokastelussa. Yhdenmukaisilla vähimmäisvaatimuksilla halutaan varmistaa kaikille tasapuoliset toimintaedellytykset veden uudelleenkäytölle. Vähimmäisvaatimukset koskevat kierrätetyn veden laatua ja seurantaa sekä riskienarviointia. Tällä hetkellä yhdyskuntien jätevesien uudelleen käyttöä maataloudessa ei pidetä Suomessa kovin todennäköisenä toimintatapana.

Kotitalouskohtaisessa veden kierrätyksessä puhutaan usein kaksivesijärjestelmistä. Kulo (1998) kirjoitti edellisessä vesihuoltolaitosten näkökulmasta tehdyssä vedenkulutuksen tarkastelussa kaksivesijärjestelmistä. Niillä tarkoitetaan joko kahden laadultaan erilaisen käyttöveden johtamista käyttökohteeseen tai kiinteistön sisäistä veden kierrättämistä. Tällaisia järjestelmiä on Suomessa toteutettu vain vähän, pääasiassa kokeiluluontoisesti.

Vettä kierrätetään luonnollisesti eniten alueilla, joilla vettä on rajallisesti saatavilla ja vedentarve on korkea. Toistaiseksi kierrätetyn jäteveden määrä suhteessa luonnon vesivaroista otettuun veteen on useimmiten matala, tosin esimerkiksi Kuwaitissa suhde on ollut 35 % ja Israelissa 18 % (Jimenez ja Asano 2008, s. 17). Israelissa yli 70 % jätevedestä käytetään uudelleen, mihin ovat syynä tiheä asutus ja ilmaston kuivuus (Luckmann ym. 2016).

3. TALOUSVESIHUOLLON YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET JA MUUT ULKOISVAIKUTUKSET

Vesitehokkuuden parantamisen yhtenä motiivina ovat suotuisat ympäristövaikutukset, minkä vuoksi niitä tarkasteltiin ja verrattiin vesitehokkuutta parantavien toimenpiteiden kustannuksiin. Tätä varten määritettiin ensin vedentuotannon ja -jakelun aiheuttamien ympäristövaikutusten yleinen taso. Vaikutukset koostuvat energiankulutuksesta ja raaka-aineiden sekä vesivarojen käytöstä. Työssä keskityttiin vedentuotannon ja -jakelun sekä erilaisten toimenpiteiden energiankulutukseen, koska laajan elinkaariarvioinnin tekeminen olisi ollut hankkeen puitteissa liian työlästä ja aikaa vievää. Ympäristövaikutusten lisäksi talousvesihuoltoon liittyy muita yhteiskunnallisia tekijöitä, kuten talousveden toimitusvarmuus. Toimitusvarmuus kattaa palvelun jatkuvuuden ja talousveden laadun.

Laitosten ja verkoston operoinnin energiankulutus on yksi suurimmista yksittäisistä ympäristövaikutuksia aiheuttavista tekijöistä vesihuollossa (Lemos ym. 2013; Slagstad & Brattebø 2014). Suomessa on julkaistu vesihuoltoon liittyviä elinkaari-analyyskejä vain vähän. Tampereella on tehty koko vesihuollon kattava elinkaari-analyysi 20 vuotta sitten (Tenhunen ym. 2000) ja Helsingissä tehtiin elinkaari-analyysi HSY:n vedenpuhdistusprosessista (Salo 2017). Helsingissä laitoksen opeointi aiheutti laitoksen elinkaaren aikana suurimman osan ympäristövaikutuksista, kun analyysissä oli mukana vain vedenpuhdistusprosessi, mutta ei vedenjakelua. Vedentuotannon ja -jakelun kannalta kirjallisuudessa merkittävimpiä tekijöitä ovat olleet suora energiankulutus, verkoston rakentamiseen käytetty energia sekä kemikaalien valmistus (Lemos ym. 2013).

Koska energiankulutus on suurin yksittäinen ympäristövaikutuksia aiheuttava tekijä vedentuotannossa ja -jakelussa, kasvihuonekaasupäästöt ovat merkittävin yksittäinen ympäristövaikutuksia aiheuttava mekanismi. Niiden muodostusta käydään läpi seuraavassa kappaleessa. Kappaleessa 3.2. käydään läpi vesivaroihin kohdistuvien vaikutusten arviointia. Kappaleessa 3.3. pohditaan muita yhteiskunnallisia vaikutuksia, pääasiassa veden saastumisen riskiä.

3.1. KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT

Energian käytön aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt ovat yksi merkittävimmistä päästöistä vedentuotannossa, -jakelussa ja käytössä. Energiaa kuluu toisaalta myös vuotoja vähentävien toimenpiteiden yhteydessä, kuten vuotojen etsimisessä, korjaamisessa ja verkoston saneerausessa. Tässä kappaleessa käsitellään vedentuotannon ja -jakelun KHK-päästöjä. Vuotoveden sekä vedenkulutuksen vähentämisen KHK-päästöjä käsitellään kappaleissa 4.2.5 ja 4.3.5.

Kasvihuonekaasupäästöt ilmoitetaan yleensä hiilidioksidiekvivalenttina, josta käytetään lyhennettä CO₂-ekv. Suoran energiankulutuksen lisäksi päästöihin vaikuttaa energian lähde. KHK-päästölaskelmissa käytetään yleensä päästökerrointa, joka kuvaa keskimääräistä tietyn energianlähteen käytön aiheuttamaa ilmaston lämpenemisvaikutusta hiilidioksidiekvivalenttina. Vedentuotannon ja -jakelun osalta tässä työssä käytettiin Suomen keskimääräisiä sähköntuotannon päästökertoimia.

Vesihuollon osuus suomalaisen keskimääräisistä kulutuksesta syntyvistä kasvihuonekaasupäästöistä on pieni. Keskimäärin kaiken kotitalouksissa tapahtuvan kulutuksen päästöt olivat vuonna 2016 noin 10 900 kg CO₂-ekv/henkilö/a (Nissi-

nen ja Savolainen 2019). Vedentuotantoon ja -jakeluun liittyvän energiankäytön päästöt ovat luokkaa 8–11 kg CO₂-ekv/henkilö/a (Taulukko 4), eli noin prosentin kymmenesosan kaikista kotitalouksien päästöistä.

Suomessa vesihuollon operoinnin aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä^e on arvioitu vuonna 2007, ja silloin niitä syntyi arviolta noin 70–80 kg CO₂-ekv/henkilö/a (Tukiainen 2009). Vedentuotannossa ja -jakelussa kuluvan energian päästöt olivat noin 14 kg CO₂-ekv/henkilö/a. Mukaan ei ole laskettu laitosten ja verkostojen rakentamisessa tai esimerkiksi kemikaalien tuotannossa syntyviä päästöjä, mutta toisaalta myös nykyinen keskimääräinen sähkön päästökerroin on huomattavasti pienempi kuin vuonna 2007 (päästöt per energiayksikkö ovat siis pienemmät nykyään). Vuonna 2007 on käytetty päästökerrointa 250 g CO₂-ekv/kWh, kun nykyinen keskimääräinen sähköntuotannon päästökerroin^f on 126–157 g CO₂-ekv/kWh (Tilastokeskus 2018).

Norjassa on arvioitu vedentuotannon ja -jakelun päästöjä ottaen huomioon myös elinkaaren aikaiset päästöt (esimerkiksi infran rakentaminen). Kaikki vedentuotannon ja -jakelun päästöt olivat 17 kg CO₂-ekv/henkilö/a, josta noin puolet tuli suorasta energiankäytöstä, neljäsosa verkostojen (putkien) rakentamisesta ja loput vedenpuhdistuslaitoksen, vesisäiliöiden ja pumppujen rakentamisesta sekä muista materiaaleista (Slagstad ja Brattebø 2014, Figure 3). Analysoitu laitos oli pintavesilaitos Trondheimissa.

VEETistä kerätyn aineiston perusteella vuonna 2015 suomalaisten pintavesilaitosten keskimääräinen energiankulutus oli 0,97 kWh/m³ ja pohjavesilaitosten 0,78 kWh/m³. Luvuissa on mukana myös vedenjakelu, ja energiankulutus on jaettu verkostoon pumpatulla vesimäärällä. Suurin osa tästä energiasta on peräisin sähköstä. Päästökertoimella 142 g CO₂-ekv/kWh^g laskettuna vedentuotannon ja -jakelun päästöt olivat keskimäärin 9–11 kg CO₂-ekv/henkilö/a.

Veden lämmittämisen päästöiksi kotitalouksissa arvioitiin vuonna 2007 yhteensä noin 1,3–1,4 miljoonaa t CO₂-ekv vuodessa eli noin 250–270 kg CO₂-ekv/henkilö/a (Tukiainen 2009), joka on huomattavasti enemmän kuin talousvesilaitosten ja vedenjakelun päästöt per henkilö. Vuoden 2017 päästökertoimella laskettuna veden lämmittämisen päästöt ovat 142–153 kg CO₂-ekv/henkilö/a.

^e Mukaan on laskettu energiankulutuksen aiheuttamat päästöt ja haihduntapäästöt, mutta ei laitosten ja verkostojen rakentamisessa tai esimerkiksi kemikaalien tuotannossa syntyviä päästöjä.

^f Päästökerroin 126 g CO₂-ekv/kWh on 5 vuoden liukuva keskiarvo vuonna 2017 energiamenetelmällä laskettuna. Päästökerroin 157 g CO₂-ekv/kWh on 5 vuoden liukuva keskiarvo vuonna 2017 hyödynjakomenetelmällä laskettuna. (Tilastokeskus 2018).

^g Keskiarvo energiamenetelmällä ja hyödynjakomenetelmällä lasketuista päästökertoimista.

Taulukko 4. Arvioita kasvihuonekaasupäästöistä eri vuosilta: kotitalouksien päästöt, veden lämmittämisen päästöt, vesihuollon päästöt ja vedentuotannon ja -jakelun päästöt.

Arvio kasvihuonekaasupäästöistä	Lähde	Vuosi	Kasvihuonekaasupäästöt		Päästökerroin [g CO ₂ -ekv/kWh]
			kg CO ₂ -ekv/henkilö/a	kg CO ₂ -ekv/m ³	
Kotitalouksien kulutus	Nissinen ja Savolainen 2019	2016	10 900	-	-
Vesihuolto - Vain energiankulutuksen aiheuttamat ja haihduntapäästöt	Tukiainen 2009	2007	70–80	0,7–0,9	250
Vedentuotanto ja -jakelu - Vain energiankulutuksen päästöt			14	0,16	250
Vedentuotanto ja -jakelu Norjassa - Kaikki elinkaaren aikaiset päästöt	Slagstad ja Brattebø 2014	2010	17	-	-
Vedentuotanto ja -jakelu Norjassa - Vain energiankulutuksen päästöt			8,6	-	-
Vedentuotanto ja -jakelu - Vain energiankulutuksen päästöt - 2007 arvio 2017 päästöker-toimella	Tukiainen 2009, vuoden 2017 päästöker-toimella	2007 / 2017	8	0,09	142
Veden lämmittäminen - 2007 arvio 2017 päästöker-toimella			142–153	-	-
Vedentuotanto ja -jakelu - Vain energiankulutuksen päästöt - Pintavesilaitosten keskiarvo	Laskettu VEETIn aineston perusteella	2015	11	0,14	142
Vedentuotanto ja -jakelu - Vain energiankulutuksen päästöt - Pohjavesilaitosten keskiarvo			9	0,11	142

3.2. VAIKUTUKSET VESIVAROIHIN

Suomessa vesivarojen kokonaismäärä on suuri suhteessa veden käyttöön eikä keskimääräisenä vuonna ole pulaa vedestä. Paikallisesti veden riittävyyden kanssa voi kuitenkin kuivina kausina olla ongelmia. Ahopelto ym. (2019) tutkivat kuivan kauden vaikutusta vesivaroihin simuloimalla. Tulosten perusteella Etelä- ja Lounais-Suomessa olisi ongelmia veden saatavuuden kanssa ankaran kuivuuden aikana (Kuva 5).

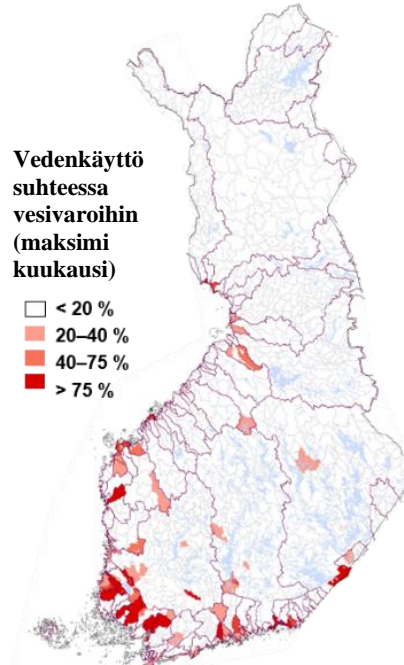
Kuivuuden vaikutuksia erityisesti vesihuoltolaitoksiin on selvitetty myös kyselyillä ainakin vuosina 2003 ja 2019 (Silander ja Järvinen 2004, Vesilaitosyhdistys 2019b). Vuosien 2002–2003 kuivuus aiheutti veden riittävyyso ongelmia kuudesosalle kyselyyn vastanneista laitoksista. Vuosien 2018–2019 kuivuus laski merkittävästi tai poikkeuksellisesti pohjavedenpintoja reilu viidesosalla vastanneista pohjavesilaitoksista. Veden riittävyyso ongelmia raportoitiin eniten pohjavesilaitok-

silta. Pohjavesimuodostumat ovat Suomessa usein pieniä, jolloin kuivuuden vaikutukset voivat ilmetä varsin nopeasti (Silander ja Järvinen 2004, s. 11).

Kuivuuden riskin ja vesivarojen arvon lisääminen taloudellisiin tarkasteluihin on haastavaa. Vesivarojen käytön ympäristövaikutuksia on pyritty arvioimaan kuivuuden tai veden niukkuuden aiheuttamien kustannusten ja riskin ja toisaalta vesivarojen suojelun kustannusten kautta. Myös elinkaarianalyysin kanssa yhteensopiva menetelmä vaikutusten arvioimiseen pintavesilaitoksilla on nykyään olemassa (Boulay ym. 2018).

Yksi vaihtoehto on arvioida häiritsevälle kuivuudelle toistuvuus aika ja arvioida sen kustannuksia. Vuosittainen kustannus kuivuusriskille saataisiin tällöin kertomalla toistuvuus aika (vuosina) arvioituilla kustannuksilla. Esimerkiksi Göteborgissa arvioitiin 50 vuoden toistuvuudella kuivuuden (veden niukkuuden) kustannukseksi niinkin vähän kuin 0,003 euroa/m³ tuotettua vettä/vuosi (Malm ym. 2015).

Euroopan komission (2013, s.30) raportissa on ehdotettu, että vesivarojen suojelun ja parantamisen toteutuneita tai arvioituja kustannuksia voitaisiin käyttää vedenoton ympäristöhinnan määrittämiseksi. Vedenoton ympäristöhinta määriteltäisiin siis sen perusteella, kuinka paljon rahaa kuluu vesistön osalta vesipolitiikan puitedirektiivin vaatimusten täyttämiseksi. Lisäksi yksi vaihtoehto on arvottaa vesivaroja maksuhalukkuustutkimusten avulla. Suomessa on tehty pohjavesien tilan suojelun ja parantamisen maksuhalukkuustutkimus Lappeenrannassa (Mäkinen 2015). Sen perusteella maksuhalukkuus pohjavesien suojelusta on 14–42 euroa vuodessa per henkilö. Keskimääräisellä ominaisvedenkulutuksella maksuhalukkuus olisi siis noin 0,18–0,54 euroa/m³, eli varsin korkea.



Kuva 5. Suurin kuukausittainen WDI-arvo (Water Depletion Index), eli vedenkäyttö suhteessa vesivaroihin, simuloidun kuivan kauden aikana (Ahopelto ym. 2019).

3.3. MUUT YHTEISKUNNALLISET VAIKUTUKSET

Ympäristövaikutusten lisäksi vesitehokkuudella on yhteiskunnallisia vaikutuksia liittyen vesihuollon jatkuvuuteen ja turvallisuuteen sekä infran rakentamisen aiheuttamiin häiriöihin. Nämä ovat sellaisia vaikutuksia, jotka eivät välttämättä vaikuta suoraan vesilaitosten talouteen, mutta ovat silti merkittäviä vesilaitosten toimintaan liittyviä tekijöitä tai riskejä. Näitä muita yhteiskunnallisia vaikutuksia ei otettu huomioon vesitehokkuuden kustannuslaskelmissa, koska joko kustannustietoja ei ollut tai ne olivat liian epävarmoja.

Talousveden toimitusvarmuus

Talousveden toimitusvarmuuden lähtökohtina ovat jatkuva veden saatavuus ja turvallinen laatu. Verkoston toimintavarmuus voidaan määritellä varmuudeksi, jolla vedenjakelupalvelut toteutuvat halutulla palvelutasolla. Lähtökohtaisesti tavoitteena voisi olla esimerkiksi se, että ennakoimattomia vedenjakelun katkoksia tai veden saastumista (tai sen riskiä) putkirikon seurauksena ei tapahdu lainkaan. Katkosten määrään ja laajuuteen vaikuttavat putkirikkojen määrän lisäksi verkoston rakenne. Lisäksi katkoksista ei välttämättä aiheudu asiakkaille suoraan taloudellista vahinkoa, mutta palvelutaso kuitenkin heikkenee. Näiden tekijöiden vuoksi verkoston kuntoa parantavien toimenpiteiden taloudellista vaikutusta talousveden toimitusvarmuuden kannalta on vaikea määrittää.

Ruotsalaisessa tutkimuksessa (Sjöstrand ym. 2019) päädyttiin arvioon, että vedenjakelukatkoksen aiheuttama arvonmenetys on yhteiskunnalle noin 33 euroa/henkilö/päivä ja asukkaille noin 27 euroa/henkilö/päivä, eli yhteensä noin 60 euroa/henkilö/päivä. Tällaisen laskelman lisäksi tarvittaisiin tietoa jakeluhäiriöiden määrää, keston ja laajuuden todennäköisyydestä.

Laitosten omaan toimintaan kohdistuvat vaikutukset on helpompi määrittää. Esimerkiksi putken vian löytäminen ja korjaaminen ennakoivasti voi säästää resursseja sitä kautta, että vältytään kiireellisiltä korjaustoilta virka-ajan ulkopuolella. Myös veden tulvimiselta ympäristöön ja siitä johtuvilta vahingonkorvauksilta voitaisiin mahdollisesti välttyä.

Veden saastuminen putkirikon seurauksena

Putkirikon tai verkoston korjaamisen ja huollon aiheuttama talousveden saastuminen on satunnaista, mutta vaikutukset voivat ulottua suureen joukkoon ihmisiä. Elintarviketurvallisuusviraston (vuoden 2019 alusta osa Ruokavirastoa) keräämien tietojen mukaan vuosina 2001–2016 on ollut 13 putkirikon tai verkoston huoltotyön aiheuttamaa vesiepidemiaa^h, eli keskimäärin yksi tapaus noin neljänä vuotena viidestä (Taulukko 5). Tapausten määrä ei näytä olevan toistaiseksi nousussa. Noin kolmasosa kaikista vesilaitosten vesiepidemioista on johtunut verkoston viasta tai huollosta.

Taulukko 5. Putkirikkojen tai verkoston huoltotöiden aiheuttamat vesiepidemiat vuosina 2001–2016 (Elintarviketurvallisuusvirasto/Ruokavirasto).

Vuosi	2001	2002	2003	2004	2005	2006–2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Tapausten lkm	1	1	1	2	2	-	1	2	-	1	1	1
Sairastuneita yhteensä	50	300	40	138	122	-	6	420	-	33	726	120

^h Talousvesivälitteisessä epidemiasa vähintään kaksi henkilöä on saanut oireita talousvedestä.

Suomessa tapahtui vuonna 2016 keskimäärin neljä putkirikkoa sataa putkistokilometriä kohden (VEETI). Kun Suomen vedenjakeluverkostojen kokonaispituus on noin 107 000 km (Lapinlampi ja Raassina 2002), putkirikkojen kokonaismäärä on arviolta 4280 kpl/vuosi. Tällöin vesiepidemian todennäköisyys on ollut noin 0,02 % per putkirikko.

Vesiepidemioiden aiheuttamista kustannuksista on vain vähän tilastotietoa saatavilla, mutta kahdeksan vesilaitoksella tapahtuneen tapauksen perusteella kustannukset ovat karkeasti ottaen keskimäärin 900 euroa/sairastunut ja sairastuneita on keskimäärin 170 henkeä (Liite 2). Näin laskettuna vesiepidemian aiheuttaman riskin kustannukseksi saadaan noin 30 euroa per putkirikko. Tällainen laskentatapa ei ota huomioon vesiepidemioiden kokonaisriskiä, koska esimerkiksi ihmishengen vaarantumiselle on vaikea asettaa hintaa. Se antaa kuitenkin osviittaa muun muassa siitä, kuinka todennäköisesti verkoston vikaantumiset johtavat vesiepidemiaan. Tässä työssä ei otettu huomioon veden saastumisen riskiä yhtenä kustannustekijöistä, sillä vesihuollon turvallisuuden arvioiminen on pitkälti arvovalinta.

Liikennehäiriöt

Vuonna 2011 arvioitiin putkirikkojen aiheuttaman korjaustyön yhteiskunnallisia kustannuksia muun muassa liikennehäiriöiden osalta (Pöyry 2011). Raportin mukaan korjaustöiden aiheuttaman matka-aikamenetyksen kansantaloudellinen kustannus voi vaihdella sijainnista riippuen sadoista tuhansista euroista merkityksettömään pieneen. Kaikkein vilkasliikenteisimpiä sijainteja on suhteellisen pieni määrä koko Suomen vesijohtoverkostosta, joten liikennehäiriö keskiarvokustannus on todennäköisesti varsin pieni. Lisäksi saneeraamisesta ja muista rakennustöistä katualueella aiheutuu vastaavaa häiriötä, joten kokonaisuuden kannalta liikennehäiriön huomioon ottamisen vaikutus olisi pieni.

4. VESITEHOKKUUTTA PARANTAVIEN TOIMENPITEIDEN KUSTANNUS-HYÖTYANALYYSIN LASKENTAMENETELMÄT

Talovesihuollon vesitehokkuutta parantavia toimenpiteitä arvioitiin vuotoveden sekä asutuksen vedenkulutuksen osalta kustannus-hyötyanalyysillä. Arvioissa otettiin huomioon vedentuotannon kustannukset (yhden lisäkuution tuottaminen), putkirikkojen kustannukset, veden lämmittämisen kustannukset sekä toimenpiteiden kustannukset ja hyödyt. Vuotovesien vähentämisen kustannus-hyötyanalyysi tehtiin VEETIstä kerätylle aineistolle, joka sisälsi 92 vesilaitosta. Vedenkulutuksen vähentämisen kustannus-hyötyanalyysi tehtiin HSY:n aineistolla.

Kustannus-hyötyanalyysissä toimenpiteiden kustannuksille ja hyödyille laskettiin nettonykyarvo (engl. Net Present Value, NPV) kaavalla

$$NPV(r, T) = \sum_{t=1}^T \frac{R_t}{(1+r)^t}, \quad (1)$$

jossa r = diskonttokorko, T = elinkaari vuosina t , ja R_t = kassavirta vuonna t . Kaikissa peruslaskelmissa diskonttokorko oli 3,5 %. Peruslaskelmien lisäksi tehtiin epävarmuusanalyysi, jossa tarkasteltiin diskonttokoron ja muiden muuttujien eri arvojen vaikutusta tuloksiin. Sen menetelmät ja tulokset on esitetty liitteessä 4.

Vuotovesien osalta analyysi sisälsi seuraavat vaiheet (aineistona 92 laitosta):

1. Minimivuototason ja vuotoveden vähennyspotentiaalin määrittäminen
2. Vuotovesimäärän ja putkirikkojen määrän väheneminen toimenpiteillä: aluemitäus, paineenalennus ja saneeraaminen
3. Toimenpiteiden nettonykyarvon laskeminen
4. Arvio kasvihuonekaasupäästöjen vähenemisestä vuotovesimäärän vähenemisen seurauksena
5. Epävarmuus ja herkkyystarkastelu

Vedenkulutuksen osalta analyysi sisälsi seuraavat vaiheet (aineistona HSY:n vedenkulutustietoja):

1. Vedenkulutukseen vaikuttavien tekijöiden määrittäminen
2. Mahdollisten toimenpiteiden kustannusten ja vedenkulutuksen vähenemisen laskeminen
3. Kasvihuonekaasupäästöjen vähenemisen arvioiminen lämpimän ja kylmän veden käytön vähenemisen osalta

Luvuissa 4.1–4.3 on esitetty laskennassa käytetyt lähtötiedot ja kussakin osassa otettiin huomioon otetut tekijät. Laskelmissa ei huomioitu akustisilla menetelmillä toteutetun aktiivisen vuotojen paikallistamisen roolia, koska siihen liittyviä muuttujia ei pystytty arvioimaan.

4.1. AINEISTO

Valtakunnallisessa vuotovesiä koskevassa analyysissä aineistona käytettiin ympäristöhallinnon vuonna 2016 käyttöön ottamaa vesihuollon tietojärjestelmää

(VEETI). Suurin osa VEETI-järjestelmään raportoiduista laitoskohtaisista tiedoista on avoimesti saatavilla ympäristöhallinnon nettisivuilta raportit-palvelunⁱ tai rajapinnan^j kautta. VEETI-tietojärjestelmästä poimittiin tarkasteluun kaikki ne laitokset, jotka olivat syöttäneet analyysissä tarvittavat tiedot vuodelta 2015. Kootussa aineistossa on 92 vesilaitosta. Aineiston vesilaitosten yhteenlaskettu liittyjämäärä on noin 3,5 miljoonaa asukasta, joka kattaa noin 70 % yhteiseen vesijohtoon liittyneistä Suomen asukkaista. VEETIn tietoja on täydennetty jonkin verran eräistä selvityksistä ja raporteista sekä vesilaitosten toimintakertomuksista poimituilla tiedoilla (mm. Järvenpään Vesi 2011, Pöyry 2011, Pietarila 2012, Polvinen 2015, Sweco Ympäristö Oy 2017). Pieni osa tiedoista on vuoden 2015 sijaan vuodelta 2016 tai 2017.

VEETIstä poimittiin seuraavat vuosittaisen laitoskohtaiset tiedot:

- Liittyjien määrä (asukasta)
- Liittymien määrä
- Raakavesityyppi
- Jakeluverkkoon pumpattu vesimäärä
- Laskutettu talousvesimäärä
- Jakeluverkon pituus materiaaluokissa muovi, metalli, asbestisementti ja muut
- Putkirikkojen määrä
- Veden puhdistuksen ja jakelun energiankulutus

Aineiston perusteella pintavesilaitosten keskimääräinen energiankulutus oli 0,97 kWh/m³ ja pohjavesilaitosten 0,78 kWh/m³. Luvuissa on mukana myös vedenjakelu, ja energiankulutus on jaettu verkostoon pumpatulla vesimäärällä. Suurin osa tästä energiasta on peräisin sähköstä. Sähkön hintatilastojen (Energiavirasto 2017) perusteella sähkön kokonaishinta oli vuonna 2015 keskimäärin 0,07–0,12 euroa/kWh. Energiankulutuksen ja sähkön hinnan perusteella yhden kuution tuottaminen ja pumppaaminen kuluttajille maksaa keskimäärin 0,13 euroa/m³ pintavesilaitoksilla ja 0,11 euroa/m³ pohjavesilaitoksilla. Luvuissa on mukana myös arvio kemikaalien kustannuksista (0,02–0,03 euroa/m³). Vedentuotannon kustannuksena on siis huomioitu tuotantokapasiteetin mukaan muuttuvat kustannukset.

Osa laskuttamattomasta vedestä on vesilaitoksen omaa käyttöä tai muuta hyväksyttyä laskuttamatonta käyttöä (esim. sammutusvesi). Laskuttamattoman hyväksytyyn käytön arvioitiin olevan keskimäärin 2 % verkostoon pumpatusta vedestä. Tonttijohtojen keskipituudeksi arvioitiin 22,5 metriä erään aiemman arvion mukaisesti (Ojala 2002).

4.2. VUOTOVEDEN VÄHENTÄMINEN

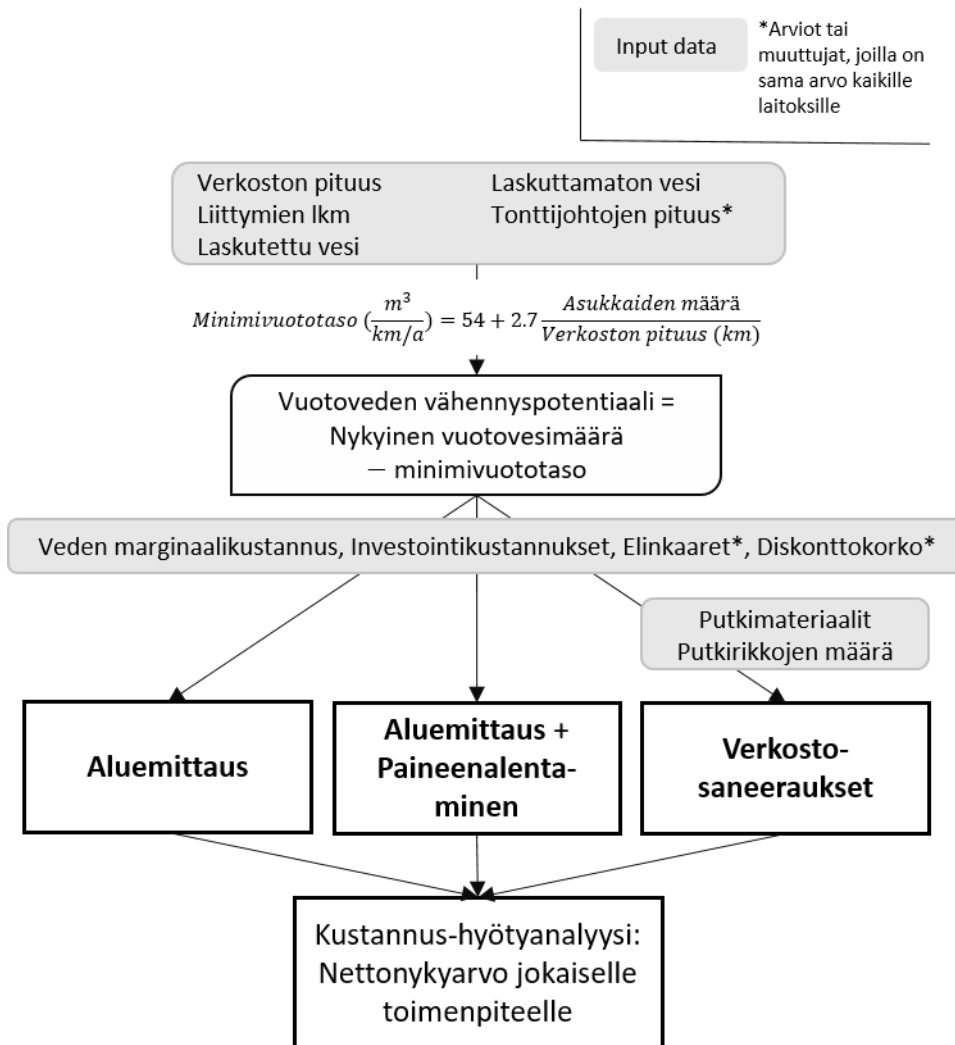
Investointeja vaativien vuotovettä vähentävien toimenpiteiden kannattavuutta arvioitiin kustannus-hyötyanalyysillä (Kuva 6). Näitä toimenpiteitä ovat aluemitäus, verkostopaineen alentaminen aluemittauksen yhteydessä sekä verkostosaaneerukset. Rahamitallisina hyötyinä otettiin huomioon säästöt veden tuotanto- ja pumppauskustannuksissa sekä putkirikkojen vähenemisestä koituvat säästöt. Kustannuksina otettiin huomioon suorat suunnittelu-, rakentamis- ja ylläpitokus-

ⁱ https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ ja_tilastot/Vesihuoltoraportit/Vesihuoltolaitosten_raportit

^j <http://veetirajapinta.ymparisto.fi/v1>

tannukset. Lisäksi arvioitiin karkealla tasolla toimenpiteiden aiheuttamia kasvi-huonekaasupäästöjä.

Toimenpiteiden elinkaarikustannukset ovat keskimääräisiä arvioita. Esimerkiksi aluemittaukselle asetettiin keskimääräiseksi elinkaareksi 20 vuotta, vaikka mitauskaivolla ja itse mittareilla on huomattavan erimittaiset elinkaaret.



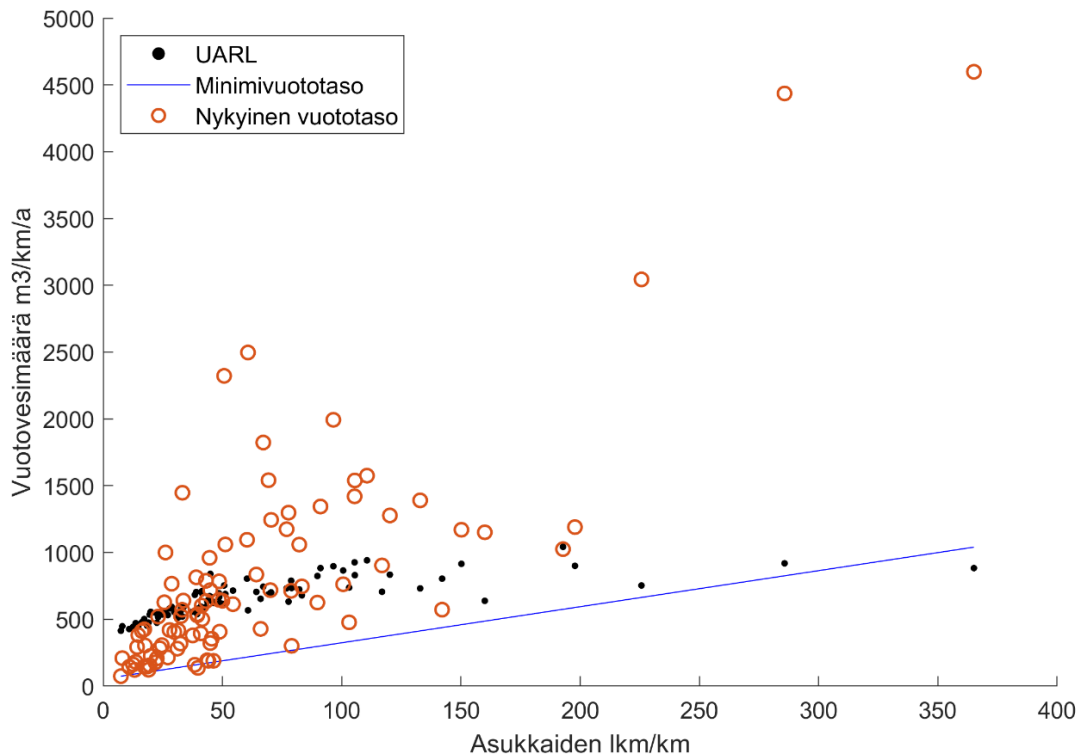
Kuva 6. Vuotovesiä koskevan kustannus-hyötyanalyysin vaiheet ja lähtötiedot.

4.2.1. Minimivuototason ja vuotoveden vähennyspotentiaalin määrittäminen

Ensin jokaiselle laitokselle arvioitiin paras saavutettavissa oleva vuototaso, sillä verkostot vuotavat lähes väistämättä aina jonkin verran. Koska ILI-tunnusluvun määrittämisessä käytetty alin vuotovesimäärä UARL ei kuitenkaan vaikuta olevan sopiva kaikille suomalaisille vesilaitoksille (Liite 1), luonnosteltiin todellisiin vuotovesimääriin perustuen sopivampi minimivuotovesitaso (Kuva 7). Kuvaan on hahmoteltu yhtälö

$$\text{Minimivuototaso } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{km/a}}\right) = 54 + 2.7 \frac{\text{Asukkaiden määrä}}{\text{Verkoston pituus (km)}} \quad (2)$$

Vuotoveden vähennyspotentiaali, siis se osuus vuotovedestä joka olisi mahdollista käytettävissä olevin keinoin vähentää, on nykyisen vuotovesimäärän ja minimivuototason erotus.



Kuva 7. Arvio minimivuototasosta (sininen viiva), nykyinen vuototaso (punainen ympyrä) ja ILI-kaavan mukainen alin vuototaso UARL 92 suomalaiselle vesilaitokselle vuonna 2015 (osalla laitoksista tiedot vuosilta 2016-2017 (muokattu lähteestä Ahopelto ja Vahala 2020).

4.2.2. Aluemittaus

Aluemittauksen nykyarvo laskettiin rakentamiskustannusten ja vuotoveden vähentymisestä koituvan säästön perusteella. Vuotoveden vähentymisestä koituvan hyödyn arvioiminen on vaikeaa. Ainoa kirjallisuudessa esitetty arvio löytyi Göteborgista, jossa laskettiin, että aluemittauksen avulla vuotovesimäärä vähenee 30 % (Malm ym. 2015). Tässä työssä käytettiin lähtöarvona tätä 30 % tehokkuutta, joka määriteltiin niin, että vuotovesimäärä vähenee 30 % vähennyspotentiaalista. Vähennyspotentiaali on nykyisen vuotovesimäärän ja minimivuototason erotus, siis kuvassa 4 punaisten ympyröiden ja sinisen viivan välinen osuus. Epävarmuustarkastelussa käytettiin tehokkuusarvoja välillä 20–100 %.

VEETI-aineistolle laskettiin arvio mittausalueiden määrästä siten, että alueen keskikooksi asetettiin 560 liittymää. Alueen perustamiskustannukseksi arvioitiin yhteensä 48 000 euroa/alue. Jokaiselle alueelle oletettiin keskimäärin 2,7 mitauskaivoa. Elinkaareksi arvioitiin 20 vuotta.

4.2.3. Vesijohtojen saneeraaminen

Saneeraamiselle laskettiin hyötyinä vuotoveden väheneminen sekä putkirikkojen väheneminen. Saneeraamisen kustannukset laskettiin keskimääräisten saneeraus- ja korjauskustannukset perusteella (Liite 3).

Koska saneeraaminen kohdennetaan huonokuntoisimpiin putkiin, VEETIstä saatu laitoskohtainen keskimääräinen putkirikkomäärä muunnettiin vanhojen putkien putkirikkomääräksi taulukon 6 suhdelukujen perusteella. Ensin keskimääräinen putkirikkomäärä jaettiin eri putkimateriaalikategorioille siten, että materiaalikategoriakohtaiset putkirikkomäärät vastaavat keskiarvon mukaista jaottelua. Siis, esimerkiksi metalliputkissa on keskimäärin noin yhdeksänkertainen määrä putkirikkoja muoviputkiin verrattuna. Tämän jälkeen jokaisen ryhmän putkirikkomäärän keskiarvo kerrottiin vielä suhdeluvulla (taulukko 6), joka kuvaa keskiarvon ja vanhojen putkien välistä eroa putkirikkomäärissä. Vuotovesimäärä jaettiin eri putkikategorioille ja eri ikäisille putkille vastaavasti kuin putkirikkomäärät.

Taulukko 6. Arviot putkirikkojen keskimääräisestä määrästä eri ikäisissä putkissa ja eri materiaalityypeissä. Arviot perustuvat HSY:n putkirikkotilastoihin.

Putkien ikäryhmä	Putkirikkojen määrä (kpl/100 km/vuosi)		
	Metalli	Muovi	Muu/Tuntematon
Vanha (yli 40-50 vuotta vanha)	16	10	6
Uusi (alle 15 vuotta vanha)	1	1	0
Keskiarvo	9	1	3.3
Suhdeluku vanhojen putkien ja keskiarvon välillä materiaalityypeittäin	1,8	7,1	1,8

Laskut on tehty saneerausmäärälle 1 % verkostopituudesta. Kustannusten keskiarvoksi saatiin 94–628 euroa/metri, riippuen laitoksen koosta (Liite 3). Putkirikkojen kustannukseksi saatiin keskimäärin 5 500–14 500 euroa/putkirikko (Liite 3), joka sisältää korjauskulut ja mahdolliset vahingonkorvaukset. Putkien elinkaareksi arvioitiin 70 vuotta.

4.2.4. Verkostopaineen alentaminen

Paineenalentamisen hyödyksi laskettiin vuotovesimäärän ja vedenkulutuksen väheneminen sekä kustannukseksi paineenalennusventtiilien asentaminen aluemitäusalueille.

Verkoston paineen alentaminen vaikuttaa suoraan vuotovesimäärään ja jossain määrin myös vedenkulutukseen. Laskelmissa oletettiin VEETI-laitoksille keskimääräiseksi verkostopaineeksi 50 metriä. Paineenalennuksen vaikutus laskettiin keskimääräiselle 5 metrin paineenalennukselle. Paineenalennuksen oletettiin olevan mahdollista siten, että verkosto jaetaan ensin aluemitäusalueisiin, jolloin saadaan aikaiseksi pienehköjä suljettuja alueita, joiden alueella paine voidaan laskea optimaaliselle tasolle. Paineenalennusventtiilin keskihinnaksi valittiin 9 000 euroa (Gomes ym. 2012 perusteella) ja käyttöikäksi 20 vuotta.

Paineenalentamisen vaikutus vuotovesimäärään laskettiin tähän tarkoitukseen usein käytetyllä empiirisellä kaavalla

$$\frac{L_1}{L_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N1}, \quad (3)$$

jossa L_0 ja P_0 ovat vuotovesimäärä ja verkoston paine alussa, L_1 ja P_1 ovat vuotovesimäärä ja verkoston paine paineen muutoksen jälkeen ja $N1$ on empiirinen eksponentti (Lambert 2001), joka saa yleensä arvoja väliltä 0,5–1,5 (Lambert ja Fantozzi 2010). Jäykille materiaaleille voitaisiin käyttää myös yleistä aukkovirtaaman kaavaa, mutta elastisissa materiaaleissa aukon koko voi muuttua paineen muuttuessa (van Zyl ym. 2017). Siksi virtaama aukosta kasvaa paineen

kasvaessa enemmän elastisissa ($N1 = 1,5$) kuin jäykissä materiaaleissa ($N1 = 0,5$).

Vedenkulutuksen osalta taas kaavan 3 $N1$ -eksponentti on pienempi kuin 0,5. Tämä johtuu siitä, että ihmiset sopeuttavat vedenkäyttötapojaan alentuneeseen paineeseen – esimerkiksi viettävät suihkussa hieman aiempaa pidemmän ajan. Kirjallisuudesta ei löytynyt Suomen olosuhteisiin suoraan sopivia mittauksia tai arvioita vedenkulutukseen sopivasta $N1$ -eksponentista, mutta parhaiten osuvaksi arvioitiin Tšekissä toimistotaloissa mitattu $N1 = 0,15$ (Tuhovcak ym. 2018). Eksponentti kuvaa kokonaisvedenkulutuksen muutosta, vaikka kaikki vedenkulutus ei olekaan paineesta riippuvaista. Kodinkoneiden ja wc-istuimien käyttämä vesimäärä ei yleensä riipu paineesta, kun taas suihkupäiden ja hanojen kautta tapahtuva vedenkäyttö jossain määrin riippuu. Paine vaikuttaa siis noin puoleen kotitalouksien vedenkäytöstä.

4.2.5. Ympäristövaikutukset

Vuotoveden aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt (KHK-päästöt) laskettiin käytämällä vedentuotannon ja -jakelun sähköenergiankulutusta suhteessa tuotettuun vesimäärään (kWh/m^3) sekä päästökerrointa $142 \text{ g CO}_2\text{-ekv}/\text{kWh}^k$ (Tilastokeskus 2018). Pintavesilaitosten vedentuotannon ja -jakelun energiankulutuksen KHK-päästöt olivat keskimäärin $0,14 \text{ kg CO}_2\text{-ekv}/\text{m}^3$ ja pohjavesilaitosten $0,11 \text{ kg CO}_2\text{-ekv}/\text{m}^3$. Oletuksena siis on, että tämän verran päästöjä voidaan vähentää vähentämällä vuotovesimäärää.

Toimenpiteiden ympäristövaikutuksina otettiin huomioon suora energiankulutus sekä rakennusmateriaalien valmistuksessa kuluva energia siltä osin kuin tietoa oli saatavilla. Saneerauksessa energiaa kuluu pääasiassa putkien tai saneerausmateriaalien asennuksessa ja niiden valmistuksessa. Kahden lähteen perusteella (Venkatesh 2012, Slagstad & Brattebø 2014)^l arvioitiin saneerauksen dieselin kulutukseksi keskimäärin 1 litra/saneerattu metri. Tilastokeskuksen (2019) polttoaineluokituksen perusteella laskettiin siten dieselin käytöstä aiheutuviksi kertaluontoisiksi KHK-päästöiksi $2,27 \text{ kg CO}_2\text{-ekv}/\text{saneerattu metri}$.

Arvioissa ei ole mukana rakennusmateriaalien, esimerkiksi putkien, valmistamisessa aiheutuneita KHK-päästöjä. Esimerkiksi Venkatesh (2012) arvioi 200 mm PE-putken päästöiksi $26 \text{ kg CO}_2\text{-ekv}/\text{metri}$, joka on huomattavasti enemmän kuin asentamisesta aiheutuvat päästöt. Saneeraaminen tuottaa siis suhteellisen paljon KHK-päästöjä, jotka kuitenkin jakautuvat elinkaarianalyysissä pitkälle ajalle (noin 50 - 100 vuotta). Esimerkiksi Oslossa Venkateshin (2012) arvion mukaan saneerauksesta koituneet KHK-päästöjen vähennykset 10 vuoden ajalta olivat yli neljä kertaa suuremmat kuin sujutussaneerauksessa syntyneet KHK-päästöt, eli saneeraaminen oli päästöjen näkökulmasta kannattavaa.

Pillot ym. (2016) ovat arvioineet aluemittauksen, paineenalentamisen ja vuotojen etsimisen ympäristövaikutuksia elinkaarianalyysillä Ranskassa. Kyseessä olevan artikkelin liitteenä on saatavilla luettelo näihin toimenpiteisiin liittyvistä osista ja niiden kuluttamista raaka-aineista sekä työkalujen ja kuljetuksen kuluttamasta polttoaineesta. Näiden tietojen avulla olisi mahdollista laatia elinkaarianalyysi myös esimerkiksi tässä työssä esitetyille toimenpiteille. Laajan elinkaarianalyysin

^k Käytetty päästökerroin on sähköntuotannon energiamenetelmällä ja hyödynjakomenetelmällä laskettujen, 5 vuoden liukuvien keskiarvojen, keskiarvo vuodelta 2017 (Tilastokeskus 2018).

^l Sujutussaneerauksen ympäristövaikutuksia on tutkittu Oslossa (Venkatesh 2012) ja verkostojen rakentamisen ympäristövaikutuksia Trondheimissa (Slagstad ja Brattebø 2014).

tekeminen olisi ollut kuitenkin tämän hankkeen puitteissa liian työlästä ja aikaa vievää

4.3. ASUTUKSEN VEDENKULUTUKSEN VÄHENTÄMINEN

Asutuksen vedenkulutuksessa on merkittävä potentiaali kokonaisvedenkulutuksen vähentämiseksi. Suomessa ei kuitenkaan ole ollut laajaa vesivarojen niukuudesta johtuvaa tarvetta veden säästämiseksi. Tässä työssä yhdisteltiin tietoa aiemmin tehdyistä vedenkulutustarkasteluista, ja lisäksi tehtiin uusia analyysejä aiemmin esille nousseiden merkittävimpien tekijöiden pohjalta. Analyysejä varten oli käytössä vedenkulutustietoja HSY:ltä.

Asutuksen vedenkulutuksen vähentämisen osalta tarkasteluun otettiin vesikalusteet ja rakennusten ikä, huoneistokohtainen veden mittaus ja laskutus, kiinteistökohtainen paineenalennus sekä muut tekijät, kuten hinnoittelu ja tiedottaminen. Näiden tekijöiden kustannuksia tarkasteltiin ensisijaisesti yhteiskunnan näkökulmasta.

Vesilaitosten näkökulmasta vedenkulutuksen väheneminen säästää jonkin verran veden tuotanto ja pumppauskustannuksista, mutta samalla tulot vesimaksuista pienenevät. Yhteiskunnan näkökulmasta vedenkulutuksen väheneminen säästää veden tuotanto ja pumppauskustannuksia, joiden keskiarvo VEETI-aineistolla oli 0,12 euroa/m³. Lisäksi säästyy veden lämmityksen kustannuksia, mitä arvioitiin vuoden 2016 keskimääräisen lämminvesimaksun, 76 euroa/henkilö/a, avulla (Tilastokeskus 2016). Lämminvesimaksu sisältää yleensä myös lämmitettävän kylmän veden hinnan, jonka vuoksi varsinaisen lämmityksen osuudeksi lämminvesimaksusta arvioitiin 60 %.

Vedenkäytön suhteellisen vähenemisen oletettiin jakautuvan tasaisesti kylmälle ja lämpimälle vedelle siten, että jos vedenkäyttö vähenee 10 %, myös lämpimän veden käyttö vähenee 10 %. Siten myös veden lämmityksestä aiheutuvien KHK-päästöjen oletettiin vähenevän 10 %.

4.3.1. Vesikalusteet

Vesikalusteiden ja vettä käyttävien kodinkoneiden uusiminen alentaa yleensä vedenkäyttöä. Tilastollisesti voitiin tarkastella vesikalusteiden vaikutusta ainoastaan välillisten mittareiden kautta. Yksi tällainen mittari on putkiremontti, jonka yhteydessä uusitaan usein kylpyhuoneita ja vesihanoja, jolloin vedenkulutus voi pienentyä. Lisäksi samassa yhteydessä asennetaan nykyisin huoneistokohtaiset vesimittarit ja tarvittaessa paineenalennusventtiili, jotka myös voivat vähentää vedenkäyttöä.

Tutkimuksessa tarkasteltiin tilastollisesti putkiremonttien vaikutusta vedenkulutukseen. Vuosina 2000–2012 putkiremontoituja kerrostaloja verrattiin saman ikäisiin, remontoimattomiin taloihin. Kustannuksia arvioitiin vesikalusteiden uusimisen kautta. Vesikalusteiden uusimisen elinkaarikustannukseksi arvioitiin noin 32 euroa/hlö/vuosi. Arvio perustuu seuraaviin hinta-arvioihin (per henkilö): suihku ja hanat 800 euroa, pesukone 300 euroa ja wc-istuin 500 euroa, eli yhteensä 1600 euroa. Elinkaareksi arvioitiin 25 vuotta.

4.3.2. Vesimittarit ja huoneistokohtainen laskutus

Toinen merkittävä tekijä vedenkulutuksessa on se, maksetaanko vedestä suoraan kulutuksen perusteella kuten omakotitaloissa vai vesimaksun kautta, joka on yleistä kerrostaloissa. Huoneistokohtaiset vesimittarit ovat olleet pakollisia uudis-

rakennuksissa vuodesta 2011 ja peruskorjatuissa taloissa vuodesta 2013 lähtien. Mittareita ei kuitenkaan ole pakollista käyttää laskutuksessa. Kuningaskuluttaja uutisoi vuonna 2014, että reilu puolet mittaritaloista on hankkinut myös etäluentajärjestelmän. Mittareita voidaan lukea myös ilman järjestelmää, mutta tämä antaa osviittaa siitä, että isoa osaa olemassa olevista mittareista ei käytetä laskutukseen. Esimerkiksi suuri yksityinen vuokranantaja VVO ei vuonna 2014 hyödyntänyt olemassa olevia vesimittareita, koska laskutuksesta koituvat kustannukset ja työmäärä katsottiin hyötyjä suuremmiksi. Tilanne saattaa olla muuttumassa, sillä hallituksen esitysluonnoksessa tammikuussa 2020 uudistetaan muun muassa käyttöveden mittaamista ja laskutusta (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020). Muutos on lähtöisin EU:n energiatehokkuusdirektiivin muutoksesta.

Huoneistokohtaisen laskutuksen vaikutusta vedenkulukseen tutkittiin vertaamalla joukkoa huoneistokohtaisen laskutuksen piirissä olevia rakennuksia joukkoon putkiremontoituja kerrostaloja sekä kaikkien kerrostalojen keskiarvoon. Joukko huoneistokohtaisesti laskutettavia taloja koostui neljästä yksityisomisteisesta rakennuksesta (lähde: Oikotie.fi) sekä 38:sta Helsingin kaupungin asuntojen (HEKA) rakennuksesta. Rakennusvuodet olivat välillä 1961–2013 ja vedenkulutuksen osalta tarkasteltiin vuotta 2014.

Huoneistokohtaisten vesimittareiden investointihinnaksi oletettiin 600 euroa/huoneisto ja elinkaareksi 17 vuotta^m (Ylä-Mononen 2017, s.14, Kuningaskuluttaja 2014), jolloin vuositasolla kustannukseksi tulee 38 euroa/huoneisto/a. Laskutuksen kustannukseksi oletettiin 450 euroa kutakin kerrostaloa kohden vuodessa. Keskimääräisellä asuntojen lukumäärällä kerrostaloa kohden (43 asuntoa, SeutuCD) ja keskimääräisellä asutokunnan keskikoolla (1,98, Tilastokeskus) saatiin laskutuksen kustannukseksi 5,3 euroa/henkilö/a. Yhteensä huoneistokohtaisen vesimittarin ja laskutuksen kustannusarvio on siis 23 euroa/henkilö/a.

4.3.3. Kiinteistökohtainen paineenalennus

Vakiopaineventtiileillä on mahdollista säätää kiinteistön tai huoneiston painetasoa alemmaksi. Vuodesta 2007 lähtien on rakentamismääräyksissä vaadittu paineenalennusventtiilin käyttöä, jos paine päävesimittarin jälkeen ylittää 500 kPa, eli noin 51 metriä (Ympäristöministeriö 2007). Vuoden 1987 määräyksissä vaadittiin paineenalennusventtiiliä, jos paine ylitti 700 kPa (Ympäristöministeriö 1987). Ylimääräisen paineen määrä on täysin tapauskohtaista. Mahdollisesti vuoden 2007 jälkeen rakennetuissa taloissa paineet ovat lähempänä optimaalista, mutta muuten vakiopaineventtiileiden yleisyydestä ja käytöstä ei löytynyt tietoa.

Tapauskohtaisesti käyttöpaikoilla saatavilla olevaa painetta voidaan arvioida verkostomallinnuksella. HSY on julkaissut avointa dataa vesijohtoverkoston ylimääräisestä paineestaⁿ. Ylimääräinen paine on laskettu verkostopaineen ja kiinteistön tarvitseman paineen erotuksena. Verkostopaine on arvioitu mallintamalla, ja se on alin vuorokauden aikana normaalisti esiintyvä paine. Kiinteistön tarvitsema paine on laskettu rakennuksen kattokoron ja maanpinnan korkotiedon avulla. HSY:n alueella ylimääräistä painetta oli tämän datan perusteella keskimäärin 26 metriä (mediaani) ja ylimmillään 100 metriä.

^m Yksi valmistaja arvioi virtausanturin huoltoväliksi noin 15 vuotta ja toinen vesimittarin käyttöikäksi jopa 16 vuotta (Ylä-Mononen 2017, s. 14).

ⁿ <https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/avoindata/Sivut/AvoinData.aspx?dataID=79>

Kiinteistökohtaisen paineenalentamisen vaikutusta ei arvioitu kustannus-hyötyanalyysissä, koska sitä varten ei ollut saatavilla riittävästi tietoa muun muassa vakiopaineventtiilien yleisyydestä ja niiden kustannuksista.

4.3.4. Muut tekijät: hintajousto ja tiedottaminen

Lähitulevaisuudessa verkostosaneerausten määrää täytyy kasvattaa (Berninger ym. 2018), joka voi vaatia taksojen nostoa. Veden hinnan vaikutusta kulutukseen, eli kysynnän hintajoustoa, on vaikea arvioida. Hintajousto (engl. *elasticity of demand*) lasketaan kaavalla

$$E_d = \frac{\text{suhteellinen muutos kysynnässä}}{\text{suhteellinen muutos hinnassa}} \quad (4)$$

Kirjallisuudessa arviot veden hintajoustopista vaihtelevat melko paljon ja siihen vaikuttaa muun muassa veden taksorakenne. Saksassa on arvioitu veden hintajoustopin olevan noin -0,24 (Schleich ja Hillenbrand 2009), joka tarkoittaa, että jos hinta nousee 10 %, kysyntä laskee 2,4 %. Veden käytöllä voi olla myös ristijoustopia energian hinnan kanssa. Eräässä tutkimuksessa energian hinnalla oli suurempi vaikutus kotitalouksien vedenkulutukseen kuin veden hinnalla (Hansen 1996).

Suomessa on 90-luvulla suoritettu seurantatutkimus palautteen ja säästöneuvonnan vaikutuksesta energiankulutukseen (Haakana & Sillanpää 1996, viitattu lähenteessä Kulo 1998). Tutkimukseen sisältyi myös vedenkäyttö. Vaikutukset vedenkulutukseen olivat pienehköjä, eivätkä tilastollisesti merkittäviä. Myös erityistilanteissa, eli kuivien kausien aikana, on joillakin vesilaitoksilla kehoitettu asiakkaita veden säästämiseen. Vaikutus on vaihdellut välillä 0–10 % (Silander ja Järvinen 2004, Vesilaitosyhdistys 2019b). Selvityksissä ei ole raportoitu millaiset säästökehoitukset ovat parhaiten saaneet asiakkaat vähentämään vedenkäyttöä. Parhaiten viestinnällä pystytään yleensä vähentämään veden käyttöä tilanteissa, joissa vesi on todella loppumassa kesken.

4.3.5. Ympäristövaikutukset

Veden käyttöön liittyen energiaa ja sitä kautta kasvihuonekaasupäästöjä syntyy veden tuotannossa ja pumppauksessa (käsitelty kappaleissa 3.1 ja 4.2.5) sekä veden lämmityksessä. Pintavesilaitosten vedentuotannon ja -jakelun energiankulutuksen KHK-päästöt olivat keskimäärin 0,14 kg CO₂-ekv/m³ ja pohjavesilaitosten 0,11 kg CO₂-ekv/m³. Oletuksena siis on, että tämän verran päästöjä voidaan vähentää vähentämällä veden käyttöä (sama kuin vuotovedellä).

Veden lämmittämiseen kuluu suhteellisen paljon energiaa (kts. kappale 3.1). Veden lämmittämisen kasvihuonekaasupäästöjä arvioitiin kertomalla kotitaloussähkön päästöintensiteetti^o 1,7 kg CO₂/euro (Nissinen ja Savolainen 2019) ja 60 % keskimääräisestä lämminvesimaksusta 76 euroa/henkilö/a (Tilastokeskus 2016), jolloin veden lämmittämisen KHK-päästöt ovat 78 kg CO₂-ekv/hlö/a.

Vedenkäytön suhteellisen vähenemisen oletettiin jakautuvan tasaisesti kylmälle ja lämpimälle vedelle siten, että jos vedenkäyttö vähenee 10 %, myös lämpimän veden käyttö vähenee 10 %, ja siten myös veden lämmityksestä aiheutuvat KHK-päästöt vähenevät 10 %.

^o Päästöintensiteetti on päästöt kulutettua euroa kohti.

5. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Taulukkoon 7 on koostettu tuloksia vesitehokkuutta parantavien toimenpiteiden kustannusvaikutuksesta ja niiden aiheuttamasta KHK-päästöjen muutoksesta. Kustannusvaikutus on ilmaistu nettonykyarvona laskutettua vesikuutiota kohti ja siinä on otettu huomioon alun investointikustannus, mahdolliset vuotuiset kustannukset ja nykyarvoon diskontatut säästöt toimenpiteen koko elinkaaren ajalta. KHK-päästöjen muutos kuvaa veden tuotannon ja lämmityksen vähenemisen vaikutusta, koska suurimmalle osalle toimenpiteistä ei pystytty arvioimaan itse toimenpiteen aiheuttamia päästöjä. Taulukossa 7 on esitetty kaikkien laitosten mediaani eri toimenpiteille.

Tulosten perusteella kaikki tarkastellut toimenpiteet aiheuttavat lisäkustannuksia, eli ne eivät ole suoraan taloudellisesti kannattavia. Kannattavin toimenpide on aluemittaus. Eniten KHK-päästöjä voidaan vähentää huoneistokohtaisella laskutuksella, koska vedenkulutusta vähentämällä voidaan vähentää myös lämpimän veden käyttöä.

Toimenpidekohtaisia tuloksia on käsitelty tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

Taulukko 7. Kooste kustannus-hyötylaskelmien tuloksista: toimenpiteiden nettonykyarvo ja kasvihuonekaasupäästöjen väheneminen yksikössä grammaa CO₂-ekv/laskutettu m³/vuosi. KHK-päästöjen osalta laskettiin ainoastaan päästöjen väheneminen, ei toimenpiteiden aiheuttamia päästöjä.

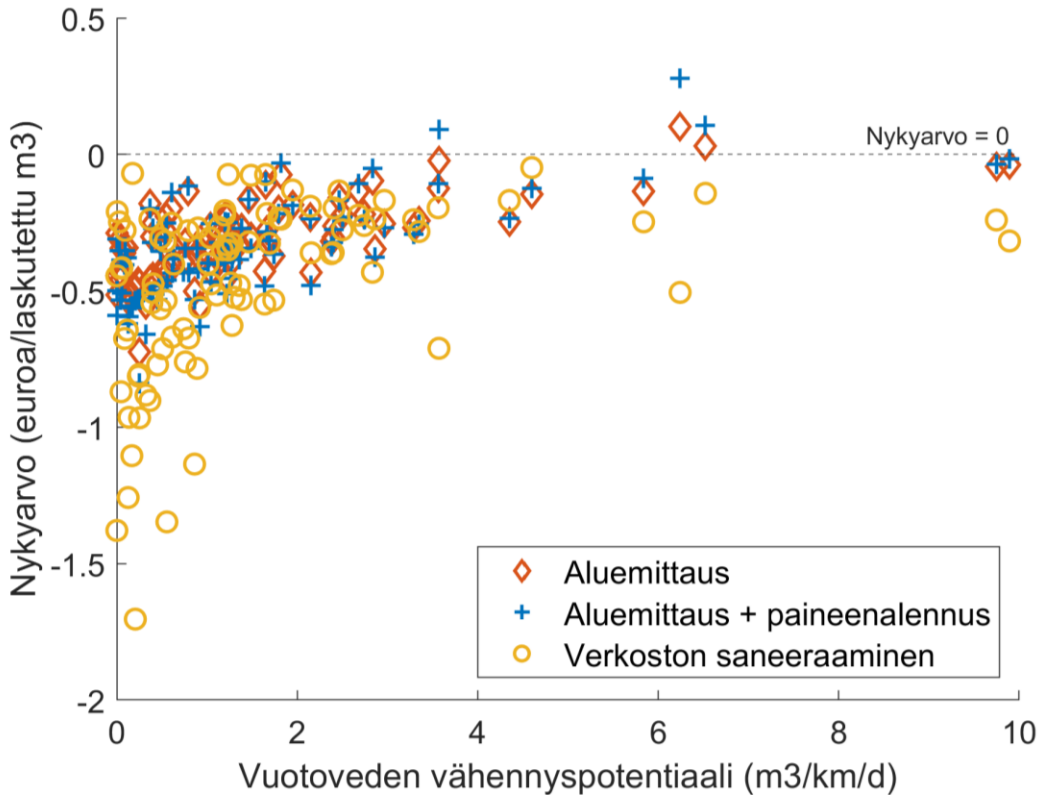
Toimenpide	Kaikkien laitosten mediaani	
	Nettonykyarvo (euroa/laskutettu m ³)	KHK-päästöjen muutos (kg CO ₂ -ekv/laskutettu m ³ /vuosi)
Aluemittaus	-0,32	-0,004
Aluemittaus + paineenalennus	-0,34	-0,008
Vesijohtoverkoston saneeraaminen	-0,36	-0,001
Huoneistokohtainen laskutus ja vesimittarit	-1,34...-1,81	-0,1...-0,2
Vesikalusteiden uusiminen	Alle -2	Vähemmän kuin huoneistokohtaisella laskutuksella

5.1. VUOTOVEDEN VÄHENTÄMINEN

Vuotoveden vähentämisen investointeina tarkasteltiin aluemittausta, paineenalennusta aluemittauksen yhteydessä sekä vesijohtoverkoston saneeraamista. Vain kolmella laitoksella 92:sta oli positiivinen nettonykyarvo jonkin toimenpiteen osalta (Kuva 8).

Kaiken kaikkiaan nettonykyarvot olivat selkeästi negatiivisia. Aluemittauksen mediaani oli -0,32 euroa/laskutettu m³, aluemittauksen ja paineenalennuksen yhdistelmän mediaani -0,34 euroa/laskutettu m³ ja saneerausten mediaani -0,36 euroa/laskutettu m³.

Suurimmalle osalle (55 %) laitoksista aluemittaus yksinään oli näistä kolmesta vaihtoehdosta kannattavin. Saneeraaminen oli toiseksi kannattavin (29 %), ja paineenalennus lisäsi aluemittauksen hyötyjä melko pienelle osalle (15 %) laitoksia. Saneeraamisen osalta suurin osa hyödystä tuli putkirikkojen määrän vähenemisestä.



Kuva 8. Nettonykyarvo toimenpiteille a) aluemittaus, b) aluemittaus + paineenalennus ja c) verkoston saneeraaminen suhteessa vuotoveden vähennyspotentiaaliin. Mukana 92 laitosta (muokattu lähteestä Ahopelto ja Vahala 2020).

Epävarmuudet

Toimenpiteiden kustannusten ja hyötyjen laskemiseksi piti tehdä oletuksia ja arvioita muuttujien arvoista. Näiden arvioiden vaikutusta lopputuloksiin analysoitiin simuloimalla tuloksia erilaisilla lähtötietojen arvoilla. Menetelmä ja tuloksia on esitetty tarkemmin liitteessä 4.

Epävarmuusanalyysissä arvioitujen muuttujien lisäksi jotkin laskelmien ulkopuoliset tekijät aiheuttavat epävarmuutta johtopäätöksiin. Laskelmissa ei esimerkiksi huomioitu kaikkia toimenpiteiden mahdollisia hyötyjä, kuten verkoston toimintavarmuuden parantuminen tai veden kontaminaatoriskin pieneminen. Vuotoveden mahdollisesti aiheuttamaa teknisten järjestelmien ylikapasiteettia ei myöskään huomioitu. Putkirikkojen aiheuttamat yhteiskunnalliset vaikutukset, eli matka-aikojen piteneminen ja vesilaitoksen ulkopuolisten henkilöstöressurssien (esimerkiksi pelastuslaitos) tarve sitä vastoin arvioitiin pieniksi suhteessa muihin kustannuksiin.

Laskelmissa ei myöskään ollut mukana kaikkia mahdollisia vuotovesiä vähentäviä toimenpiteitä, merkittävämpänä vuotojen aktiivinen paikallistaminen. Esimerkiksi akustisilla menetelmillä toteutettu vuotojen haku ei ollut mukana analyysissä, koska siihen liittyviä muuttujia ei onnistuttu arvioimaan.

5.2. VEDENKULUTUKSEN VÄHENTÄMINEN

Vedenkulutuksen vähentämisen vaikutusta arvioitiin kerrostalojen osalta HSY:n vedenkulutustiedoilla.

Vesikalusteet

Vesikalusteiden uusimisen vaikutusta vedenkulutukseen tutkittiin epäsuorasti vertaamalla vuosina 2000–2012 putkiremontoituja kerrostaloja saman ikäisiin, remontoimattomiin taloihin. Ero ryhmien välillä vuonna 2013 oli noin 7 % eli 11 l/hlö/vrk. Putkiremontoiduissa taloissa vedenkulutuksen asukasmäärällä painotettu keskiarvo oli 137 l/hlö/vrk ja remontoimattomissa 148 l/hlö/vrk. Ero on tilastollisesti merkittävä ($p = 0,044$)^p. Taulukossa 8 on esitetty ryhmiin liittyviä tilastollisia tunnuslukuja: otoskoko, sekä rakennusten vedenkulutuksen mediaani, asukasluvulla painotettu keskiarvo ja keskihajonta.

Vesimittarit ja huoneistokohtainen laskutus

Kaikkiin kerrostaloihin verrattuna huoneistokohtaisesti laskutetuissa taloissa vedenkulutus oli vuonna 2014 noin 21 % eli 33 l/hlö/vrk pienempääⁱ (Taulukko 8). Putkiremontoituihin rakennuksiin verrattuna vedenkulutus oli 10 % eli 15 l/hlö/vrk pienempää^q. Käytännössä tämä voisi tarkoittaa sitä, että uusittujen vesikalusteiden vaikutus on 11–18 l/hlö/vrk ja mittaroinnin vaikutus siihen päälle 15 l/hlö/vrk. Pelkkä vesimittarin olemassaolo ei ollut tilastollisesti merkittävä tekijä, luultavasti koska niitä ei käytetä laskutukseen riittävän usein.

Taulukko 8. Vedenkulutus vuonna 2013 putkiremontoiduissa kerrostaloissa, remontoimattomissa kerrostaloissa sekä huoneistokohtaisesti laskutetuissa kerrostaloissa.

	Vuosina 2000–2012 putkiremontoidut kerrostalot	Putkiremonttia ei ole tehty	Huoneistokohtaisesti laskutetut talot
Otoskoko	47	47	42
Rakennusten ikäkausi	1915–1973	1908–1978	1961–2013
Vedenkulutuksen mediaani (l/hlö/vrk)	136	147	121
Asukasmäärällä painotettu keskiarvo (l/hlö/vrk)	137	148	123
Keskihajonta (l/hlö/vrk)	26	23	17

Kustannukset ja vaikutukset KHK-päästöihin laskettiin huoneistokohtaisen laskutuksen osalta vedenkulutuksen vähenemisen arvion vaihteluvälille 15–33 l/hlö/vrk (Taulukko 9). Huoneistokohtainen laskutus lisää tehdyillä oletuksilla kustannuksia 12–17 euroa/hlö/a, kun myös koituvat säästöt on otettu huomioon. KHK-päästöt pienenevät 8–16 kg CO₂-ekv/hlö/a niiden asuntojen osalta, joissa muutos on otettu käyttöön.

^p Kahden riippumattoman otoksen t-testi (yksisuuntainen jakauma ja erisuuret varianssit).

^q Molemmat tulokset olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä ($p < 0,001$) sekä yhden että kahden riippumattoman otoksen t-testeillä (yksisuuntainen jakauma ja erisuuret varianssit).

Taulukko 9. Huoneistokohtaisten vesimittareiden ja laskutuksen vaikutus, kustannukset ja KHK-päästöjen väheneminen kerrostaloissa. Arviot vedenkulutuksen vähenemisen ala- ja ylärajalle.

	Vedenkulutus vähenee 15 l/hlö/vrk	Vedenkulutus vähenee 33 l/hlö/vrk
Veden tuotantokustannusten ja veden lämmityskustannusten pieneneminen	6 euroa/hlö/a	11 euroa/hlö/a
Arvio vesimittareiden investointikustannuksesta ja laskutuskuluista	23 euroa/hlö/a	
KHK-päästöjen pieneneminen	16 kg CO ₂ /hlö/a	8 kg CO ₂ /hlö/a

Vertailua aiempiin tutkimuksiin

Aarnisalonen (2006) diplomityössä putkiremontointi ja vesikalusteiden uusiminen laskivat kohdetalojen vedenkulutusta 10–17 %, joka on enemmän kuin tässä työssä havaittu muutos. Ero voi johtua siitä, että Aarnisalonen tutkimus on 10 vuotta vanhempi ja lisäksi siinä oli mukana paljon pienempi joukko erilaisia kerrostaloja. Todennäköisesti tällä hetkellä keskimääräinen suhteellinen vaikutus on alle 10 %.

Myös muissa selvityksissä on havaittu huoneistokohtaisen laskutuksen suuri vaikuttavuus. Toivanen (2010) vertasi vedenkulutusta yhdessä asunto-osakeyhtiössä ennen ja jälkeen huoneistokohtaisen laskutuksen, jolloin vaikutus oli 9 %. Ylä-Monoson (2017) tutkimuksessa yhteensä kymmenen 70–80-luvuilla rakennetun kohteen rakennuskohtaisesti yhteenlaskettu vedenkulutus (ei huomioitu asukaslukua) väheni keskimäärin jopa 34 % putkiremontin ja huoneistokohtaisen laskutuksen yhteisvaikutuksesta.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Vesitehokkuus-hankkeessa verrattiin eri toimenpiteiden tehokkuutta vedenkäytön tehostamisessa. Lisäksi koottiin tietoa ja trendejä asutuksen vedenkulutukseen vaikuttavista tekijöistä ja hukkaveden määrästä Suomessa, arvioitiin vedentuotannon ja -jakelun kasvihuonekaasupäästöjä sekä arvioitiin niin sanottua taloudellista vesijohtoverkoston vuototasoja. Lopputuloksissa korostuu se, että veden puhdistaminen ja pumppaaminen on varsin edullista verrattuna rakentamista vaativiin vesitehokkuutta lisääviin toimenpiteisiin. Myös kasvihuonekaasupäästöjen osalta potentiaaliset päästövähennykset ovat pienehköjä, paitsi jos pystytään vähentämään myös lämpimän veden käyttöä. Yhdyskuntajäteveden kierrätys ei vaikuta olevan veden säästön kannalta tehokasta Suomessa, koska pääasiassa vesivarjoja on hyvin saatavilla. Hankkeessa ei tarkasteltu jäteveden sisältämien ravinteiden kierrätystä.

Vedenkäyttö talousvesihuollossa on Suomessa melko tehokasta

Suomessa vedenjakelussa valuu hukkaan tällä hetkellä noin 17 % verkostoihin pumpatusta vedestä. Verkostopituutta kohti laskettuna tämä on keskimäärin noin 2 m³/km/vrk ja asukasta kohden laskettuna noin 37 litraa/asukas/vuorokausi. ILI-tunnusluvun mediaani on suomalaisille laitoksille noin 0,9, joka tarkoittaisi optimaalista tilannetta. ILI-tunnusluku tosin ei ole soveltuva kaikille suomalaisille laitoksille. Eurooppalaisiin vesilaitoksiin verrattuna vuotovesimäärät ovat matalalla tai kohtuullisella tasolla. Hyvin tehokasta vedenkäyttöä on yleensä sellaisissa maissa, joissa on tietoisesti panostettu taloudellisilla ohjaukeinoilla tehokkaaseen vedenkäyttöön. Tästä hyvä esimerkki on Tanska, jossa vesilaitokset joutuvat maksamaan lisäveroä vuotovesimäärän ylittäessä 10 %. Vesitehokkuuteen liittyvien mahdollisten ohjaukeinojen osalta tulisi tämän hankkeen tulosten perusteella painottaa tasapuolisuutta erilaisten alueiden ja erilaisia yhdyskuntarakenteita palvelevien laitosten välillä. Mahdollisten tavoitteiden ja raja-arvojen määrittämiseen tarvittaisiin lisää tietoa.

Vedenkäytön ja vuotovesimäärän trendien perusteella ei näytä siltä, että vesitehokkuuden taso olisi Suomessa tällä hetkellä heikkenemässä nykyisestä. Vuotovesimäärät voivat kuitenkin lähteä nousemaan, jos verkoston aktiivisempaan saneeraamiseen ei tartuta. Asukaskohtainen vedenkäyttö todennäköisesti vielä laskee jonkin verran, kun asuntokannan vesikalusteet pikkuhiljaa uudistuvat ja huoneistokohtainen veden laskutus yleistyy kerrostaloissa. Veden laskutukseen saattaa tulla merkittävä muutos, jos hallituksen esitysluonnoksen mukaisesti laskutukseen perustuva lämpimän veden laskutus tulee pakolliseksi uusissa ja saneeratuissa taloyhtiöissä. Kokonaisvedenkulutus todennäköisesti laskee useimmissa kunnissa, mutta voi kasvaa kasvukeskuksissa seuraavien 20 vuoden aikana.

Vuotoveden määrää kuvaavien tunnuslukujen käytössä tulee huomioida laitosten väliset erot

Kokonaiskuvan muodostaminen vuotavuudesta verkostojen kunnan näkökulmasta ei pitäisi perustua yksinomaan vuotoveden suhteelliseen osuuteen verkostoon pumpatusta vedestä. Vuotovesiprosentti ei anna hyvää kuvaa laitosten välisistä eroista, koska verkostojen rakenne on niin erilainen esimerkiksi tiiviisti rakennetussa kaupungissa verrattuna haja-asutusalueisiin. Laskemalla vuotoveden vähennyspotentiaali verkostokilometriä kohden huomattiin, että laitoksen koko, sijainti tai vuotovesiprosentti ei selittänyt vähennyspotentiaalia, eli nämä tekijät

eivät suoraan kuvaa sitä mikä laitoksen vuotovesitaso on suhteessa laitoksen ominaisuuksiin.

Kulutusperusteinen laskutus vähentää todennäköisesti tehokkaimmin asutuksen vedenkäyttöä

Vedenkulutukseen vaikuttavia tekijöitä analysoitiin HSY:n vedenkulutusaineistolla. Tulokset antavat suuntaa siitä, kuinka paljon huoneistokohtainen vedenmittarointi ja laskutus sekä vesikalusteiden uusiminen vaikuttavat vedenkulutukseen kerrostaloissa. Näistä kahdesta huoneistokohtainen laskutus on tehokkaampi keino sekä lisäksi ajankohtaista, koska hallitus on laatinut esitysluonnoksen, joka sisältää keinoja muun muassa kulutusperusteisen veden laskutuksen lisäämiseksi. Eräs huomio oli, että lämpimän veden käytön vähentäminen vähentää kasvihuonekaasupäästöjä moninkertaisesti siihen verrattuna, että vähennetään saman verran vuotovesimäärää.

Talousveden käytön tehostaminen aiheuttaa yleensä lisäkustannuksia – Hyödyt samalla paranevan toimintavarmuuden kautta?

Vesitehokkuutta parantamalla vesilaitokset voivat useimmiten saada suoria kustannussäästöjä vain hyvin tehokkailla toimenpiteillä. Tässä työssä suoritettujen laskelmien perusteella suorat säästöt vuotoveden vähenemisessä ovat yleensä pieniä suhteessa investointeja vaativiin vuotoja suoraan tai epäsuoraan vähentäviin toimenpiteisiin, kuten saneeraaminen, aluemittaus ja paineenalentaminen. Aluemittaus oli näistä kolmesta useimmiten kannattavin toimenpide. Järjestelyt verkostopaineen alentamiseksi eivät tämän analyysin perusteella vaikuta laajasti kannattavalta, vaikka paineenalentamista suositellaan paljon vuotovesiin liittyvässä kansainvälisessä kirjallisuudessa. Toisaalta myös Creaco ja Walski (2017) päätyivät samaan lopputulokseen, että jos laitoksen vuotovesitaso ja veden tuotantokustannus ovat suhteellisen alhaisia, paineenalentaminen ei ole taloudellisesti kannattavaa. Saneeraaminen on hyvin kallista verrattuna säästetyin vuotoveden tuotantokustannuksiin. Vaikka analyysissä arvioitiin myös putkirikkojen vähenemisestä syntyviä säästöjä, ei saneeraaminen silti ollut kannattavaa yhdellekään 92 laitoksesta.

Vuotovesiä koskevassa analyysissä laskettiin aluemittauksen, paineenalentamisen ja saneeraamisen vaikutusta vuotovesimäärään ja putkirikkojen määrään. Toimenpiteillä on kuitenkin myös muita hyötyjä, jotka liittyvät talousvesihuollon jatkuvuuteen ja turvallisuuteen sekä kapasiteettirajaan. Aluemittaus myös parantaa verkoston operatiivista tilannekuvaa ja sen hallintamahdollisuuksia sekä omalta osaltaan tukee vesihuoltolain mukaista selvilläolovelvollisuutta. Saneeraus taas on välttämätöntä verkosto-omaisuuden kunnossapidämiseksi, vaikka puhtaasti vuotoveden vähentämiseksi se ei ole taloudellisesti kannattavaa. Vuotavuus ja saneeraustarve linkittyvät yhteen, koska vuotovesimäärä on yksi verkoston kunnan indikaattoreista. Verkostojen saneerausmääriä tulee lähitulevaisuudessa kasvattaa, jos halutaan säilyttää talousvesihuollon jatkuvuus ja turvallisuus nykyisellä tasolla.

Taloudellisestikin voi olla kannattavaa panostaa vuotavuuden alentamiseen, jos laitoksen puhdistus- tai raakavesikapasiteetti on lähellä maksimirajaa. Isojen kapasiteettia kasvattavien investointien välttämiseksi tai lykkäämiseksi kalliimmatkin vuotovesiä vähentävät toimenpiteet voivat muuttua kannattaviksi. Tulevaisuudessa väestönkasvu voi vaikuttaa kasvukeskuksissa kokonaisvedenkulutusta kasvattavasti, jolloin laitos voi siirtyä lähemmäs nykyisen kapasiteettirajan ylittymistä.

Analyysin perusteella vuotovesimäärän vähentäminen on yhteiskunnankin kannalta taloudellisesti kannattavampaa kuin vedenkulutuksen vähentäminen, kun arvioidaan suoria taloudellisia hyötyjä. Kasvihuonekaasupäästöjen kannalta veden käytön vähentäminen olisi kuitenkin kannattavampaa, koska veden lämmittämiseen kuluu paljon energiaa. Myös Australiassa tehdyssä tutkimuksessa vedenkulutuksen vähentäminen ja veden lämmittämisen energiatehokkuuden parantaminen olivat energiasäästöjen kannalta kustannustehokkaampia toimenpiteitä kuin esimerkiksi vuotovesimäärän vähentäminen (Lam ym. 2017).

Tässä tehtyjen laskelmien rajoitteiden vuoksi esimerkiksi verkoston kunnan tavoitetason määrittämiseen voisi sopia paremmin jokin holistisempi menetelmä. Esimerkiksi Ruotsissa arvioitiin todennäköisyyksiin perustuvan kustannus-hyötymallin avulla vesihuollon järjestämisen yhteiskunnallisia vaikutuksia, kuten esimerkiksi veden turvallisuutta ja veden saannin luotettavuutta (Sjöstrand ym. 2019). Lisäksi tarvittaisiin esimerkiksi elinkaarianalyysiä, jotta voitaisiin verrata erilaisten vedenkulutusta ja vuotovesimäärää vähentävien toimenpiteiden ympäristövaikutuksia vedentuotannon ympäristövaikutuksiin. Vuotovesiä vähentävien toimenpiteiden ympäristövaikutukset ovat todennäköisesti niin merkittäviä, että ne pitäisi ottaa huomioon (Pillot ym. 2016).

LÄHTEET

- Aarnisalo, J. (2006) Vesikalusteiden ja -laitteistojen vaikutus talousveden käyttöön asuinkerrostaloissa. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Espoo. 90+16 s.
- Agreste. (2010) Services d'eau et d'assainissement: une inflexion des tendances? Agreste Primeur 250. ISSN: 2100-1634.
http://www.epsilon.insee.fr/jspui/bitstream/1/85821/1/Point_67.pdf [viitattu 18.11.2019]
- Ahopelto, L., Veijalainen, N., Guillaume, J. H., Keskinen, M., Marttunen, M., & Varis, O. (2019) Can There be Water Scarcity with Abundance of Water? Analyzing Water Stress during a Severe Drought in Finland. *Sustainability*, 11(6), 1548
- Ahopelto, S. & Vahala, R. (2020) Cost-benefit analysis of leakage reduction methods in water supply networks. *Water* 12(1), 195, <https://doi.org/10.3390/w12010195>.
- Belinskij, A. & Saarinen, R. (2019) Selvitys vesihuollon häiriötilanteista: Lainsäädännön mukaisten vaatimusten täyttäminen ja toimenpidesuosituksat. https://valtioneuvosto.fi/documents/1271139/1371613/Vesihuolto_h%C3%A4iri%C3%B6tilanteet_k%C3%A4sikirjoitus_19.6.pdf/19f042c3-00d3-ad69-df56-b1cde6fd1971/Vesihuolto_h%C3%A4iri%C3%B6tilanteet_k%C3%A4sikirjoitus_19.6.pdf.pdf [viitattu 14.1.2020]
- Bentley Systems. (2011) United Utilities Water Teams With Bentley® to Establish New Method for Locating Hard-to-Find Water Leakage Sources. Warrington, UK.
- Berninger, K., Laakso, T., Paatela, H., Virta, S., Rautiainen, J., Virtanen, R., Tynkkyinen, O., Piila, P., Dubovik, M. & Vahala, R. (2018) Tulevaisuuden kestävä vesihuolto –ennakointi, ohjaus ja järjestäminen. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 56/2018.
- Boulay, A. M., Bare, J., Benini, L., Berger, M., Lathuillière, M. J., Manzardo, A., ... & Ridoutt, B. (2018) The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(2), 368-378.
- Creaco, E. & Walski, T. Economic Analysis of Pressure Control for Leakage and Pipe Burst Reduction. *J. Water Resour. Plann. Manage.* 2017, 143, 04017074.
- Energiavirasto. (2017) Sähkön hintatilastot. Saatavilla: <https://www.energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot> [viitattu 10.3.2017]
- Euroopan komissio. (2013) Resource and Economic Efficiency of Water Distribution Networks in the EU. Final report. Prepared by ERM and Solventa.
- Euroopan komissio. (2015a) Good practices on leakage management, Main report. Euroopan unioni. ISBN: 978-92-79-45069-3. DOI: 10.2779/102151.
- Euroopan komissio. (2015b) EU Reference document Good Practices on Leakage Management WFD CIS WG PoM - Case Study document. Euroopan unioni. ISBN 978-92-79-45070-9.

Seuraavat Eviran/Ruokaviraston julkaisut:
Elintarvike- ja vesivälitteiset epidemiat Suomessa vuosina 2014–2016. Ruokaviraston julkaisuja 2/2019.
Elintarvike- ja talousvesivälitteiset epidemiat Suomessa vuosina 2011–2013. Eviran julkaisuja 1/2016.
Ruokamyrkytyksen Suomessa vuonna 2005. Eviran julkaisuja 2/2006.
Ruokamyrkytyksen Suomessa vuonna 2004. Elintarvikeviraston julkaisuja 6/2005.
Ruokamyrkytyksen Suomessa vuonna 2003. Elintarvikeviraston julkaisuja 7/2004.
Ruokamyrkytyksen Suomessa vuonna 2002. Elintarvikeviraston julkaisuja 5/2003.
Ruokamyrkytyksen Suomessa vuonna 2001. Elintarvikeviraston julkaisuja 4/2002.
Julkaisut saatavilla osoitteesta:
<https://www.ruokavirasto.fi/teemat/zoonosikeskus/ruokamyrkytykset/liittyvat-raportit/ruokamyrkytykset-suomessa/> [Viitattu 8.10.2019]

Gomes, R., Sá Marques, A. & Sousa, J. (2012) Identification of the optimal entry points at District Metered Areas and implementation of pressure management. *Urban Water Journal*, 9, 365–384.

Haikonen, P. (2018) Vesijohto- ja jätevesiverkoston saneerausten priorisoinnin kehittäminen. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Teknis-luonnontieteellinen tiedekunta, Kemia ja biotekniikka. Tampere. 70 s.

Hansen, L. G. (1996). Water and energy price impacts on residential water demand in Copenhagen. *Land Economics*, 66-79.

Jimenez, B. & Asano, T. (2008) Water reclamation and reuse around the world. Teoksessa: Jimenez, B. & Asano, T. (Eds.), *Water Reuse an International Survey of Current Practice, Issues and Needs*, IWA Publishing, London, UK, s. 3–26.

Järvenpään Vesi (2011) Järvenpään vesihuoltoverkoston saneerausohjelma 0122 - P11691. https://www.jarvenpaa.fi/jarvenpaa/attachments/text_editor/774.pdf. [viitattu 10.3.2017]

Katko, T. (2013) Hanaa! Suomen vesihuolto – kehitys ja yhteiskunnallinen merkitys. Suomen vesilaitosyhdistys ry. ISBN 978-952-5000-97-9.

Kulo, I. (1998) Vedenkulutuksen väheneminen ja sen vaikutukset vesi- ja viemärlaitostoitintaan. Vesi- ja viemärlaitosyhdistyksen monistesarja Nro 1. Helsinki.

Kuningaskuluttaja. (2014) Tuhannet asuntokohtaiset vesimittarit raksuttavat tyhjää. 20.01.2014. <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2014/01/29/vesimittarien-kulut-syovat-rahalliset-hyodyt> [viitattu 22.1.2020]

Lam, K. L., Kenway, S. J., & Lant, P. A. (2017) City-scale analysis of water-related energy identifies more cost-effective solutions. *Water research*, 109, 287-298.

Lambert, A. (2001) What do we know about pressure/leakage relationships in distribution systems? Teoksessa: Proceedings of the IWA Specialised Conference: System Approach to Leakage Control and Water Distribution Systems Management. Brno, *Tšekin tasavalta*, 2001.

Lambert, A.O., Fantozzi, M. (2010) Recent developments in pressure management. Teoksessa: Proceedings of the Proc., 6th IWA Water Loss reduction Specialist Conf.; Hague, Alankomaat, 2010.

Lapinlampi, T. (2015). Veden ominaiskäyttö 1970–2013. Suomen ympäristökeskus. <https://www.ymparisto.fi/vesihuoltolaitokset>

Lemos, D., Dias, A. C., Gabarrell, X., & Arroja, L. (2013) Environmental assessment of an urban water system. *Journal of Cleaner Production*, 54, 157-165.

LNEC & ERSAR. (2013) Water and waste services quality assessment guide. 2nd generation of the assessment system, Water and Waste Services Regulation Authority (ERSAR), National Laboratory for Civil Engineering (LNEC): Lissabon, Portugal, 2013, p. 71.

Luckmann, J., Grethe, H. & McDonald, S. (2016) When water saving limits recycling: Modelling economy-wide linkages of wastewater use. *Water research*, 88. s. 972–980. DOI: 10.1016/j.watres.2015.11.004.

Malm, A., Moberg, F., Rosén, L. & Pettersson, T.J.R. (2015) Cost-Benefit Analysis and Uncertainty Analysis of Water Loss Reduction Measures: Case Study of the Gothenburg Drinking Water Distribution System. *Water Resources Management*, 29, 5451–5468.

Meriläinen, P., Salminen, J., Britschgi, R., Nystén, T., & Pitkänen, T. (2017) Esiselvitys yhdyskuntien ja ruoantuotannon veden käytön riskien hallinnasta ja mahdollisuuksista. Terveysten ja hyvinvoinnin laitos. Työpaperi 32/2017.

Miljø- og Fødevareministeriet. 2009. Danish Water Solutions to a Developing World under Environmental and Climate Stress. The Danish action plan for promotion of ecoefficient technologies – Danish Lessons. s. 11-14. https://eng.ecoinnovation.dk/media/mst/8051473/Vandloesninger_Globalchallenges_artikel_ny171209.pdf

Mäkinen, M. (toim.). 2015. Lounais-Suomen pohjavesien toimenpideohjelma vuosille 2016–2021. Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesiensuojelu/Vesienhoidon_suunnittelu_ja_yhteistyö/Vesienhoito_ELYkeskuksissa/VarsinaisSuomi_ja_Satakunta/Toimenpideohjelmat [viitattu 9.7.2019]

Nissinen, A. & Savolainen, H. (ed.). (2019) Julkisten hankintojen ja kotitalouksien kulutuksen hiilijalanjälki ja luonnonvarojen käyttö - ENVIMAT-mallinnuksen tuloksia. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 15/2019.

Ojala, M. (2002) Kiinteistöjen tonttivesijohtojen ja -viemäreiden saneeraus, KTVVS-tutkimus 2001; VVY:n monistesarja 9: Helsinki.

Pietarila, V. (2012) Oulun vesihuoltoverkoston saneerausvelan määrittäminen. Opin- näytetyö, Oulun ammattikorkeakoulu.

Pillot, J., Catel, L., Renaud, E., Augeard, B., & Roux, P. (2016) Up to what point is loss reduction environmentally friendly?: The LCA of loss reduction scenarios in drinking water networks. *Water research*, 104, 231-241.

Plimmer, G. (2019) Ofwat imposes tough requirements on water companies. The Financial Times Limited, London 18.7.2019. <https://www.ft.com/content/ff83aeec-a933-11e9-984c-fac8325aaa04> [viitattu 1.1.2020].

Polvinen, H.-L. (2015) Vesiputkien taloudellisesti optimaalinen saneerausajankohta. Diplomityö. Ympäristötekniikan koulutusohjelma, Oulun yliopisto.

Pöyry. 2011. Verkostosaneerausten vaikuttavuuden arviointi, Raportti 67090591.BBP. [viitattu 2.10.2019]

Salminen, J., Tikkanen, S. & Koskiahio, J. (edit.) (2017) Kohti vesiviisasta kiertotaloutta. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 16/2017. ISBN 978-952-11-4840-8.

Salo, H. (2017) A Life Cycle Assessment of Potable Water Treatment Plant. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Espoo. 47+41 s.

Schleich, J., & Hillenbrand, T. (2009) Determinants of residential water demand in Germany. *Ecological economics*, 68(6), 1756-1769.

Serranito, F. S. & Donnelly, A. (eds) (2015) Active Water Loss Control. EPAL, Empresa Portuguesa das Águas Livres S.A., Lisbon. s.13-21. ISBN 978-989-8490-02-5

Silander, J. & Järvinen, E. A. (toim.). (2004) Vuosien 2002–2003 poikkeuksellisen kuivuuden vaikutukset. Suomen ympäristö 731, Suomen ympäristökeskus. Helsinki.

Sjöstrand, K., Lindhe, A., Söderqvist, T., & Rosén, L. (2019) Cost-Benefit Analysis for Supporting Intermunicipal Decisions on Drinking Water Supply. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 145(12), 04019060.

Slagstad, H. & Brattebø, H. (2014) Life cycle assessment of the water and wastewater system in Trondheim, Norway – a case study. *Urban Water J.*, 11, pp. 323–334.

Svenskt Vatten AB. 2017. Hållbarhetsindex för kommunernas VA-verksamhet. Beskrivning av verktygets syfte och konstruktion inför undersökningen 2017.

Sweco Ympäristö Oy. (2017) Vesihuoltoverkoston saneeraustarpeen selvittäminen: Työkaluja varojen kohdentamiseen. Varsinais-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Raportteja 10/2017. ISBN 978-952-314-559-7 (PDF).

Tenhunen, J., Oinonen, J., & Seppälä, J. (2000) Vesihuollon elinkaaritutkimus. Tampereen vesilaitoksen vaikutukset ympäristöön. Suomen ympäristö 434. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.

Tilastokeskus. (2016) Suomen virallinen tilasto (SVT): Kotitalouksien kulutus [verkkójulkaisu]. ISSN=1798-3533. Helsinki: Tilastokeskus.
<http://www.stat.fi/til/ktutk/index.html> [viitattu 9.7.2019]

Tilastokeskus. (2018) Energia 2018- taulukkopalvelu.
https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2018/ [viitattu 16.10.2019]

Tilastokeskus. (2019) Polttoaineluokitus 2019. Helsinki: Tilastokeskus.

Toivanen, L. (2010) Huoneistokohtaiset vesimittarit - Käyttöönnoton vaikutukset asunto-osakeyhtiö Turun Linnakatu 29:ssä. Opinnäytetyö. Palvelujen tuottaminen ja johtaminen, Toimitilapalvelut. Turun ammattikorkeakoulu.

Tuhovcak, L., Suchacek, T. & Rucka, J. (2018) The Dependence of Water Consumption on the Pressure Conditions and Sensitivity Analysis of the Input Parameters. *Proceedings 2018*, 2, 592.

Tukiainen, T. (2009) Vesihuoltolaitosten kasvihuonekaasupäästöt Suomessa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta. Espoo. 150 s.

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2020) Lakiluonnos lämmityksen, jäähdytyksen ja huoneistokohtaisen veden kulutuksen mittaamisesta ja laskutuksesta lausunnolle. Tiedote. 16.1.2020.

van Zyl, J.E., Lambert, A.O. & Collins, R. (2017) Realistic Modeling of Leakage and Intrusion Flows through Leak Openings in Pipes. *J. Hydraul. Eng.*, 143, 04017030.

Venkatesh, G. (2012) Cost-Benefit analysis–leakage reduction by rehabilitating old water pipelines: case study of Oslo (Norway). *Urban Water J* 9(4):277–286

Vesilaitosyhdistys. (2014) Vesihuoltolaitosten tunnuslukujärjestelmän raportti 2013. Suomen vesilaitosyhdistys ry. Helsinki. 80 s. ISBN: 978-952-6697-04-8 (nid.). ISBN: 978-952-6697-05-5 (pdf).

Vesilaitosyhdistys. (2019a) Vesihuoltolaitosten tunnuslukujärjestelmän raportti 2018. Vesilaitosyhdistyksen julkaisusarja nro 72. ISBN 978-952-6697-51-2.

Vesilaitosyhdistys. (2019b) Kesän 2018 kuivuuden vaikutukset vesilaitoksilla. Saatavissa:

https://www.vvy.fi/site/assets/files/2938/vuoden_2018_kuivuuden_vaikutukset_vesihuoltolaitoksilla_raportti.pdf [viitattu 2.12.2019]

Ylä-Mononen, T. (2017) Huoneistokohtainen vedenkulutus ja seuranta. Insinööriyö. Talotekniikan tutkinto-ohjelma, Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Ympäristöministeriö. (1987) Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D1, Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot 1987.

Ympäristöministeriö. (2007) Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D1, Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot 2007.

LIITE 1. ILI TUNNUSLUKU (ENGL. INFRASTRUCTURE LEAKAGE INDEX)

ILI-luku (engl. *Infrastructure Leakage Index*) on yleisesti käytetty mittari laitosten väliseen vertailuun (Euroopan Komissio 2015a). ILI perustuu arvioon ns. väistämättömästä vuotovesimäärästä UARL (engl. *Unavoidable Annual Real Losses*), jota alemmas ei tavanomaisin toimin ole mahdollista päästä. Kaava perustuu oletukseen, että väistämätön vuotovesi jakaantuu 50 metrin keskimääräisellä verkostopaineella eri verkoston osille seuraavasti (Lambert 2009):

- Laitoksen verkosto: 900 l/km/vrk
- Tonttiliittymät: 40 l/liittymä/vrk
- Tonttijohdot: 1250 l/km/vrk

Näistä luvuista on johdettu empiirinen kaava

$$\text{Väistämätön vuotovesi (UARL)} \left(\frac{m^3}{a} \right) = (6,57 \times L + 0,256 \times Nc + 9,13 \times Lt) \times P,$$

jossa L = verkoston kokonaispituus [km],
Nc = tonttiliittymien lukumäärä,
Lt = tonttijohtojen yhteispituus [km] ja
P = keskimääräinen verkostopaine [mvp].

ILI on todellisen vuotovesimäärän ja väistämättömän vuotovesimäärän suhde, siis

$$ILI = \frac{CARL \text{ (Mitattu vuotovesi)}}{UARL \text{ (Väistämätön vuotovesi)}}$$

ILI:n soveltuus suomalaisille vesilaitoksille

Yli puolelle suomalaisista laitoksista (otos VEETIstä, otoskoko 92) ILI arvo on alle 1, jonka ei pitäisi olla yhtälön oletusten perusteella mahdollista. Erityisesti pienillä ja keskikokoisilla laitoksilla oli pieniä ILI-arvoja. Vuotovesiprosenttina ilmaistuna minimivuotovesimäärä UARL oli 14 vesilaitokselle yli 30 % ja jopa yli 50 % yhdelle laitokselle. Tämän perusteella vaikuttaa siltä, että ILI-luku ei sovellu kattavasti erikokoisille suomalaisille vesilaitoksille.

ILI:n raja-arvoja

IWA:n vuotovesityöryhmän vuonna 2005 kehittämät vuotavuuden tason kategoriat ovat Euroopan komission (2015) raportin mukaan käytössä useissa maissa Euroopassa ja muualla (Taulukko 11).

Taulukko 10. IWA:n vuotovesityöryhmän (Water Loss Task Force) vuonna 2005 kehittämät vuotavuuden kategoriat.

ILI	Kategorian kuvaus
< 1.5–2	Vuotojen vähentäminen voi olla taloudellisesti kannattamatonta ellei raakavedestä ole pulaa; kustannustehokkaan vuotojen hallintastrategian muodostaminen vaatii huolellista analyysiä.
2–4	Tuntuville parannuksille on potentiaalia; toimenpiteitä voivat olla paineenhallinta, aktiivinen vuotojen hallinta (vuotojen tunnistaminen ja korjaaminen) ja verkoston parempi kunnossapito.
4–8	Huono tilanne; hyväksyttävää ainoastaan jos raakavettä on runsaasti ja edullisesti saatavilla; toimenpiteitä: vuodon määrän ja alueellisen sijainnin analysointi, vuotojen vähentämisen kaikki toimenpiteet.
>8	Erittäin tehotonta resurssien käyttöä; vuotojen vähentäminen välttämätöntä.

LIITE 2. PUTKIRIKKOJEN AIHEUTTAMAT VESIEPIDEMIAAT

Vesiepidemioiden aiheuttamista kustannuksista ei löytynyt paljon tietoa. Ruotsalaisessa tutkimuksessa (Sjöstrand ym. 2019) arvioitiin yhden vatsataudin keskimääräiseksi kustannukseksi 1350 euroa (14 305 SEK) per sairastunut, kun mukana oli myös arvio sairastuneiden maksuhalukkuudesta sairauden välttämiseksi. Tähän arvioon pitäisi siis lisätä vielä laitokselle häiriötilanteesta koituvat kulut. Taulukkoon 12 on listattu kaikki tiedossa olevat vesilaitosten verkostosta johtuneet vesiepidemiat Suomessa vuosilta 2001–2016 ja 2018. Tiedot on kerätty Ruokaviraston (aiemmin Evira/Elintarvikevirasto) julkaisuista elintarvike- ja talousvesivälitteisistä epidemioista.

Taulukko 11. Putkirikojen aiheuttamat vesiepidemiat vuosina 2001–2016 ja 2018: vesiepidemian johtanut tapahtuma, sairastuneiden lukumäärä ja aiheutuneet kustannukset.

Paikka	Vuosi	Vesiepidemian syy	Sairastuneiden lkm	Kokonaiskustannukset (euroa)	Kustannukset/sairastunut (euroa)	Kustannustietojen lähde
Kangaslampi	2001	Järviveden pääsy vesijohtoverkostoon huolto- ja puhdistustöiden aikana tai jäteveden pääsy vesijohtoverkostoon.	50 (arvio)	-	-	-
Korppoo	2002	Vuoto vesijohtoverkostossa	300 (arvio)	-	-	-
Naantali	2003	Putkisto rikkoutunut	40	-	-	-
Rauma	2004	Putkiremontti	4	-	-	-
Rusko	2004	Verkoston huoltotyö. Vuotavien venttiilien korjaustöiden takia jätevettä pääsi vesijohtoverkoon.	134	-	-	-
Riihimäki	2005	Vuotokorjauksen yhteydessä jätevettä päässyt verkostoveteen.	10	-	-	-
Espoo	2005	Verkoston huoltotyö	112	-	-	-
Helsinki	2011	Putkirikko	6	-	-	-
Siilinjärvi	2012	Verkoston alipaine maanrakennustöissä rikutun putken vuoksi ja maavesien pääsy verkostoon.	225–400	138 000	350–610	Yle (https://yle.fi/uutiset/3-7212299)
Eura/Säkylä	2012	Epäily, että saastuminen johtui vesijohtoverkon korjauksen seurauksena.	20	-	-	-
Espoo	2014	Putkirikko	33	-	-	-
Nurmijärvi	2015	Putkirikko	726	-	-	-
Äänekoski	2016	Putkirikko. Jätevettä pääsi vesijohtoverkostoon ilmastuskaivosta, johon oli virheellisesti asennettu sekä vesijohdon että viemärin ilmausventtiilit. Ongelma oli pitkäkestoinen.	120	340 000	2800	Äänekosken kaupungin talousarvio
Nousiainen	2018	Putkirikko. Vesijohtoverkon vuodon etsintä ja korjaus töiden yhteydessä jätevettä pääsi vesijohtoverkostoon rikkoutuneesta kiinteistön viemäristä.	400	700 000	1750	Belinskij ja Saari-nen (2019)

LIITE 3. KESKIMÄÄRÄISET SANEERAUSTEN JA PUTKIRIKKOJEN KUSTANNUKSET

Saneeraamisen yksikkökustannuksista (euroa/m) kerättiin tietoa julkaistuista suomalaisista lähteistä. Suuremmilla laitoksilla keskimääräiset kustannukset arviointiin kalliimmaksi, koska putket voivat sijaita tiheämmässä kaupunkirakenteessa, jossa saneeraaminen on haastavampaa. Suurempien putkien saneeraaminen voi olla myös kalliimpaa, koska materiaalikulut ovat suuremmat, tarvitaan mahdollisesti isompi kaivanto ja enemmän perustamistöitä sekä vedenjakelun suunnittelua saneeraustöiden aikana. Toisaalta Haikosen (2018, s.56) diplomityön perusteella putkikoko ei vaikuta saneerauksen yksikkökustannukseen ainakaan keskiarvoisilla putkilla. Isommilla laitoksilla voi kuitenkin olla enemmän suuria päävesijohtoja.

Vesijohtojen saneeraamisen keskimääräiset kustannukset olivat 100–570 euroa/metri (Taulukko 13). Kustannustietoja löytyi seitsemältä laitokselta. Putkirikon keskimääräiset kustannukset olivat 5 500–14 500 euroa/putkirikko, riippuen laitoksen koosta. Kustannustietoja löytyi neljältä laitokselta. Kustannushyötylaskelmia varten nämä arviot muutettiin vuoden 2015 arvoon kuluttajahintaindeksin[†] avulla.

Taulukko 12. Arvio saneerausten keskimääräisestä yksikkökustannuksesta seitsemällä vesilaitoksella. Arviot vuosilta 2009-2017.

Sijainti	Vuosi	Kustannusarvio (euroa/metri)	Lähde
Helsinki	1999–2009	570	Pöyry (2011)
Oulu	2011	300	Pietarila (2012)
Järvenpää	2011	110	Järvenpään Vesi (2011)
Kirkkonummi	noin 2015	200	Polvinen (2015)
Rauma	2017	120	Varsinais-Suomen ELY-keskus (2017)
Kankaanpää	2017	100	Varsinais-Suomen ELY-keskus (2017)
Laitila	2017	120	Varsinais-Suomen ELY-keskus (2017)

Taulukko 13. Arvio putkirikon keskimääräisistä kustannuksista neljällä vesilaitoksella. Arviot vuosilta 2009-2015.

Sijainti	Vuosi	Kustannusarvio (euroa/putkirikko)	Lähde
Helsinki	2009	11 000	Pöyry (2011)
Tampere	2009	13 000	Pöyry (2011)
Oulu	2011	7 100	Pietarila (2012)
Myllykylä, Kirkkonummi	noin 2015	4 600	Polvinen (2015)
Hevoshaka, Kirkkonummi	noin 2015	7 400	Polvinen (2015)

[†] Tilastokeskus/Kuluttajahintaindeksi, Findikaattori. <https://findikaattori.fi/fi/table/1>

LIITE 4. EPÄVARMUUS- JA HERKKYYSTARKASTE- LU

Epävarmuustarkastelulla varmistettiin, että tuloksista vedetyt johtopäätökset ovat luotettavia tehdyistä oletuksista huolimatta. Lisäksi herkkyyssanalyysillä tutkittiin sitä, mitkä muuttujat vaikuttavat eniten vuotovesiarvioihin. Taulukossa 14 esitetyt muuttujat arvioitiin epävarmimmiksi.

Epävarmuus ja herkkyyssanalyysin menetelmä

Muuttujille generoitiin niille asetetusta jakaumasta lukuja satunnaisesti ns. Monte Carlo-simulaatioissa, joissa jokaista muuttujaa muutettiin satunnaisesti yhtä aikaa. Jakaumat on esitetty taulukossa 14. Lisäksi yksittäisten muuttujien herkkyyttä arvioitiin muuttamalla niitä yksi kerrallaan vastaavissa simulaatioissa. Epävarmuustarkastelussa ei huomioitu VEETIstä kerättyjen tietojen mahdollista epävarmuutta.

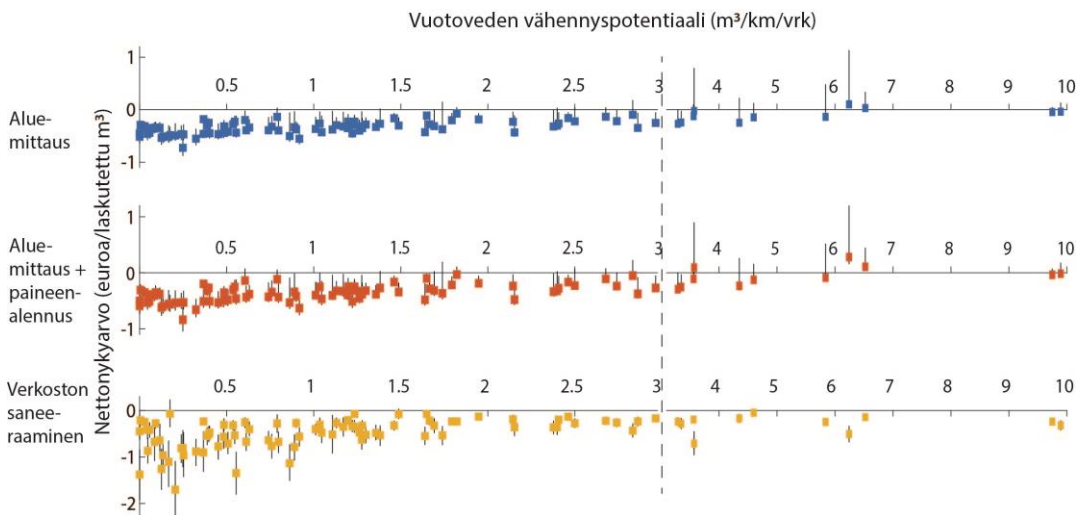
Taulukko 14. Herkkyyssarkastelun muuttujat ja niiden jakaumat.

Muuttuja	Yksikkö	Jakauma	Keskiarvo (μ)	Keskihajonta (σ)	Tasajakauma
Tonttijohtojen pituus	metri	normaalijakauma	22.5	5	-
Laskuttamaton hyväksytty kulutus	% verkostoon pumpatusta vedestä	tasajakauma	2	-	[0.5, 3.5]
Keskimääräinen paine	metri	tasajakauma	50	-	[35, 65]
Diskonttokorko	% vuodessa	normaalijakauma	3.5	0.8	-
Veden tuotantokustannus	euroa/m ³	katkaistu normaalijakauma	vaihtelee (mediaani 0.11)	0.1 μ (min. arvo 0.04)	-
Aluemittauksen tehokkuus	% vuotoveden vähennyspotentiaalista	tasajakauma	30	-	[20, 100]
Aluemittauksen kustannus	euroa/alue	normaalijakauma	48 000	10 000	-
Aluemittauksen elinkaari	vuosi	normaalijakauma	20	2	-
N1 (vuoto-paine-eksponentti)	-	tasajakauma	vaihtelee	-	[0.5, 1.5]
Paineenalennuspotentiaali	metri	tasajakauma	5	-	[1, 10]
Paineenalennuksen kustannus	euroa/venttiili	normaalijakauma	9000	2000	-
Putkirikon kustannus	euro	katkaistu normaalijakauma	5500-14500 (vaihtelee)	0.25 μ (min. arvo 2000)	-

		jakauma	laitoksen koon mukaan)		
Saneeraus kustannus	euroa/metri	katkaistu normaali-jakauma	94-628 (vaihtelee laitoksen koon mukaan)	0.25 μ (min. arvo 50)	-
Putken elinkaari	vuosi	normaali-jakauma	70	15	-

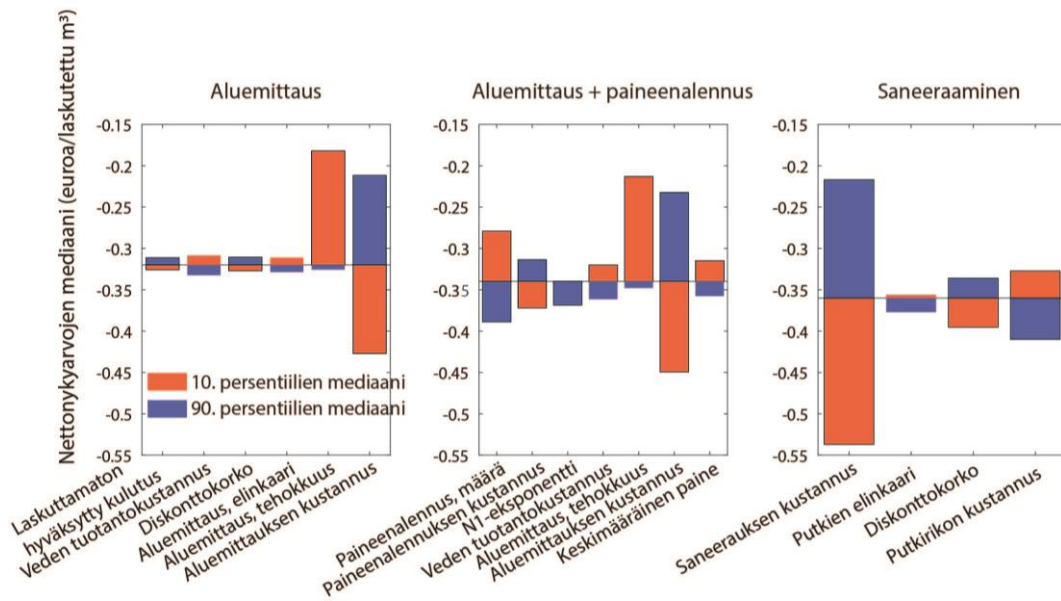
Epävarmuus ja herkkyysanalyysin tulokset

Kuvassa 6 on esitetty laskelmien epävarmuus. Viiva kuvaa tulosten vaihteluväliä välillä 10. persentiili–90. persentiili. 90 % simuloituista tuloksista on suurempia kuin 10. persentiili ja 90 % tuloksista pienempiä kuin 90. persentiili. Simuloituista tuloksista siis 80 % on esitetyllä välillä. Osalle laitoksista tuloksen vaihteluväli on varsin suuri, mutta yleisesti ottaen suurimmalle osalle laitoksista nettonykyarvo on joka tapauksessa negatiivinen.



Kuva 9. Nettonykyarvolaskelmien epävarmuus. Merkki (värillinen neliö) kuvaa perustilanteen tulosta. Viiva kuvaa tulosten vaihteluväliä 10. persentiilistä 90. persentiiliin epävarmuustarkastelussa (muokattu lähteestä Ahopelto ja Vahala 2020).

Yksittäisten muuttujien keskimääräinen vaikutus tuloksiin on esitetty kuvassa 7. Suurin vaikutus oli aluemittauksen ja saneerausten kustannusarviolla. Seuraavaksi eniten vaikutti aluemittauksen tehokkuus vuotovesien vähentäjänä, putkiriikojen kustannus ja paineenalennuspotentiaali.



Kuva 10. Nettonykyarvon mediaani on pylväiden keskikohta, esimerkiksi aluemittaukselle -0,32 euroa/laskutettu m³. Sininen pylvä kuvaava laitospöytäisten tulosten 90. persenttiilien mediaania ja punainen pylvä 10. persenttiilien mediaania (muokattu lähteestä Ahopelto ja Vahala 2020).