

Kiertotalous vesihuollossa

Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 84

Helsinki 2023

Julkaisun jakelu:

Vesilaitosyhdistys
Ratamestarinkatu 7 B
00520 Helsinki

puh. (09) 868 9010
sähköposti: vvy@vvy.fi
kotisivu www.vvy.fi

ISSN-L 2242-7279
ISSN 2242-7279
ISBN 978-952-6697-83-3

Helsinki 2023

KUVAILEHTI			
<i>Julkaisija</i>	Suomen Vesilaitosyhdistys ry		
<i>Tekijät</i>	AFRY Finland Oy (Henna Tihinen, Maija Ahonen, Essi Huntus, Minna Pirilä, Reijo Kuivamäki, Maija Vilpanen, Jussi Ristimäki, Maija Ijäs, Johanna Herttuainen)		
<i>Julkaisun nimi</i>	Kiertotalous vesihuollossa		
<i>Julkaisusarjan nimi ja numero</i>	Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 84		
<i>Julkaisun teema</i>	Vesihuolto ja kiertotalous		
<i>Saatavuus</i>	Julkaisu on saatavissa Vesilaitosyhdistyksen verkkosivuilta.		
<i>Tiivistelmä</i>	Hankkeessa kerättiin tietoa merkittävimmistä kiertotalouden trendeistä ja muutossuunnista sekä määritettiin toimenpiteitä kiertotalouden edistämiseksi vesihuoltoalalla. Toimenpiteille määritettiin mahdollisuuksien mukaan mittarit, joiden avulla voidaan seurata kiertotalouden kehitystä vesihuoltolaitoksilla. Kiertotaloustoimenpiteet on jaettu tässä hankkeessa neljään teemakokonaisuuteen: materiaali- ja ravinnekierrot, energiankäyttö, prosessien kehittäminen sekä kiertotalousosaamisen ja -yhteistyön kehittäminen. Teemakokonaisuudet tunnistettiin vahvoiksi vesihuollon kiertotaloutta edistäviksi ja toteuttaviksi osa-alueiksi. Teemakokonaisuuksien läpileikkaavaksi teemaksi määriteltiin digitalisaation hyödyntäminen, erityisesti prosessien kehittämisessä. Teemakokonaisuudet toimivat vesihuoltoalan kiertotalousvision ("vesihuoltoala kiertotalouden edelläkävijä vuonna 2030") toimeenpanon kulmakivinä. Kaikilla vesihuollon osa-alueilla, vedenhankinnassa ja vedenkäsittelyssä, talousveden johtamisessa, viemäröinnissä sekä jäteveden ja lietteen käsittelyssä, on mahdollista soveltaa kiertotalouden periaatteita, ja siksi kiertotaloudessa nähdään merkittävästi potentiaalia koko vesihuoltosektorille. Samanlaiset kiertotaloustoimenpiteet eivät kuitenkaan sovellu kaikille vesihuoltolaitoksille. Tästä syystä tarvitaan laitospohjaisia toimenpidesuunnitelmia tai tiekarttoja, joita on hyvä lähteä työstämään tässä hankkeessa esitettyjen taustatietojen ja toimenpiteiden pohjalta.		
<i>Avainsanat</i>	Kiertotalous, vesihuolto		
<i>Rahoittaja/toimeksiantaja</i>	Suomen Vesilaitosyhdistys ry		
	ISBN 978-952-6697-83-3		ISSN 2242-7279
	<i>Sivuja</i> 62	<i>Kieli</i> suomi	<i>luottamuksellisuus</i> julkinen
<i>Julkaisun jakelu</i>	Vesilaitosyhdistys, www.vvy.fi		
	Tekijät vastaavat julkaisun sisällöstä eikä julkaisun sisältöä voida tulkita Vesilaitosyhdistyksen kannanotoksi.		

BESKRIVNINGSBLAG			
<i>Publicerat av</i>	Finlands Vattenverksförening r.f.		
<i>Författare</i>	AFRY Finland Oy (Henna Tihinen, Maija Ahonen, Essi Huntus, Minna Pirilä, Reijo Kuivamäki, Maija Vilpanen, Jussi Ristimäki, Maija Ijäs, Johanna Herttuainen)		
<i>Publikationens titel</i>	Cirkulär ekonomi inom vattentjänsterna		
<i>Publikationsseri- ens titel och nummer</i>	Vattenverksföreningens duplikatserie nr 84		
<i>Publikationens tema</i>	Vattentjänster och cirkulär ekonomi		
<i>Tillgänglighet</i>	Publikationen finns på Vattenverksföreningens webbsida.		
<i>Sammanfattning</i>	Detta projekt samlade information om de för vattentjänstbranschen viktigaste trenderna inom cirkulär ekonomi, samt fastställde åtgärder för att främja cirkulär ekonomi inom vattentjänsterna. För åtgärderna fastställdes även måttal för uppföljning av utvecklingen av cirkulär ekonomi i vattenverken. Åtgärderna för cirkulär ekonomi delades i detta arbete i fyra temahelheter: material- och näringsämneskretslopp, energianvändning, processutveckling, samt kunskaps- och nätverksbyggande. Dessa valda temahelheter identifierades som viktiga delområden för främjandet och verkställandet av cirkulär ekonomi i vattentjänsterna. Ett övergripande tema i alla delområden var utnyttjande av digitalisering, speciellt inom processutvecklingen. Temahelheterna fungerar som grundpelare för verkställandet av vattentjänstbranschens vision för cirkulär ekonomi ("<i>vattentjänstbranschen föregångare inom cirkulär ekonomi år 2030</i>"). Det finns stor potential inom cirkulär ekonomi i vattentjänstbranschen. I branschens alla delområden, vattenförsörjning och -distribution, vattenhantering, avlopp och vattenrening samt hantering av slam, är det möjligt att använda sig av cirkulära principer. Samma lösningar och åtgärder är dock inte lämpliga för alla vattenverk, och därav bör vattenverken ta fram egna åtgärdsprogram eller vägkartor. Bakgrundsinformationen och åtgärdsförslagen som tagits fram i detta projekt kan fungera som stöd i det arbetet.		
<i>Nyckelord</i>	Cirkulär ekonomi; vattentjänster		
<i>Finansiär/ uppdragsgivare</i>	Finlands Vattenverksförening r.f.		
	<i>ISBN</i> 978-952-6697-83-3		<i>ISSN</i> 2242-7279
	<i>Sidantal</i> 62	<i>Språk</i> finska	<i>Konfidentialitet</i> offentlig
<i>Distribution av publikationen</i>	Vattenverksföreningen, www.vvy.fi		
	Författarna är ensamt ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Vattenverksföreningens ståndpunkt.		

Esipuhe

Kiertotalouden merkitys vesihuoltoalalla on tunnistettu laajasti viime aikoina. Vesilaitosyhdistys ry:n (VVY:n) strategiassa vesihuoltoala nähdään bio-, kiertotalouden ja kestävä kehityksen edelläkävijänä vuonna 2030, ja kansallisen vesihuoltouudistuksen visiossa Suomi on hiilineutraali kiertotalouden edelläkävijä vuonna 2030. Käytännössä tämä tarkoittaisi muun muassa sitä, että energia- ja resurssitehokkuuden mahdollisuudet olisivat osa vesihuoltolaitosten strategista kehittämistä.

Vaikka kiertotalous on tunnistettu keskeiseksi osaksi vesihuoltoalaa, ovat vesihuollon kytkennät kiertotalouteen vielä melko jäsentymätön kokonaisuus. Tämän hankkeen tavoitteena oli kerätä tietoa merkittävimmistä kiertotalouden muutospaineista vesihuoltoalalla sekä esittää konkreettisia toimenpiteitä resurssiviisaan ja älykkään kiertotalouden toteuttamiseksi vesihuoltolaitoksilla. Tavoitteena oli myös lisätä toimialan ymmärrystä kiertotaloudesta sekä vesihuoltotoiminnan merkittävydestä sen edistämiseksi.

Hanketta olivat rahoittamassa ja ohjaamassa Vesihuoltolaitosten kehittämisrahaston lisäksi Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy (HS-Vesi), Kuopion Vesi Oy, Kymen Vesi Oy ja Tampereen Vesi. Raportin on laatinut AFRY Finland Oy.

Sisällysluettelo

1	Johdanto	7
1.1	Tausta ja tavoite	7
1.2	Yhtymäkohdat hiilineutraaliuteen ja muihin globaaleihin haasteisiin	8
2	Kiertotalous ja vesihuolto	11
2.1	Kiertotalous	11
2.2	Kiertotaloutta tukeva lainsäädäntö ja ohjauskeinot	12
2.2.1	EU-tason ohjaus	12
2.2.2	Kansallisen tason kehitys ja ohjauskeinot	14
2.3	Kiertotalouden trendit ja muutossuunnat	16
2.4	Kiertotalouden seuranta ja mittaaminen	17
2.5	Kiertotalouden mahdollisuudet vesihuollossa	17
3	Kiertotalouden edistäminen vesihuollossa	20
3.1	Teemakokonaisuudet	20
3.2	Menetelmäkuvaus	21
3.3	Kartoitetut potentiaaliset toimenpiteet ja niiden mittarit	22
3.3.1	Materiaali- ja ravinnekierrat	22
3.3.2	Energiankäyttö	32
3.3.3	Prosessien kehittäminen	34
3.3.4	Kiertotalousosaamisen ja -yhteistyön kehittäminen	39
3.3.5	Toimenpiteiden vaikuttavuus	45
4	Hankkeen vaikuttavuusarviointi	46
4.1	Vesihuollon kiertotalouden edistämisen vaikuttavuus YK:n kestävän kehityksen tavoitteisiin	46
4.2	Vesihuollon kiertotalousympäristön PESTLE-analyysi	48
5	Yhteenveto ja johtopäätökset	50
6	Keskeiset termit ja sanasto	54
7	Hankkeeseen osallistuneet tahot	56
8	Lähteet	57

1 JOHDANTO

1.1 TAUSTA JA TAVOITE

Luonnonvarojen hupeneminen ja ilmastonmuutos pakottavat yhteiskunnan siirtymään kohti kiertotaloutta yhä useammalla sektorilla. Kiertotalous ei ainoastaan tehosta luonnonvarojen käyttöä, vaan se myös tukee ilmastotavoitteiden saavuttamista sekä luonnon monimuotoisuuden parantamista. Vesihuoltolaitokset ovat toteuttaneet yhdyskuntien kiertotalouteen liittyviä tavoitteita vesistökuormituksen vähentämisen osalta jo pitkään. Tavoitteet ilmastokriisin, luontokadon ja luonnonvarojen ylikulutuksen hillitsemiseksi aiheuttavat kuitenkin lisää odotuksia myös vesihuoltoalalle.

Kiertotalouden merkitys vesihuoltoalalla onkin viime vuosien aikana tunnistettu laajasti. Esimerkiksi kansallisessa vesihuoltouudistuksen ohjelmassa todetaan, että vesihuoltolaitoksilla on mahdollisuus olla kiertotalouden ratkaisuihin keskeisiä toimijoita (Maa- ja metsätalousministeriö 2021). Suomen Vesilaitosyhdistys ry:n (VVY) laatimassa strategiassa ja kansallisen vesihuoltouudistuksen visiossa kiertotaloudelle on määritetty vahva rooli: strategiassa vesihuoltoala nähdään bio- ja kiertotalouden sekä kestävä kehityksen edelläkävijänä vuonna 2030 (Suomen Vesilaitosyhdistys ry 2021a). Tämän lisäksi kansallisen vesihuoltouudistuksen visiossa vesihuoltoala on hiilineutraali kiertotalouden edelläkävijä vuonna 2030. Käytännön tasolla kiertotalouden edelläkävijyys tarkoittaisi esimerkiksi sitä, että energia- ja resurssitehokkuuden mahdollisuudet olisivat osa vesihuoltolaitosten strategista kehittämistä. Lisäksi on ymmärretty, että kiertotalouteen liittyvät ratkaisut voivat kasvattaa toimialan näkyvyyttä ja arvostusta niin kotimaassa kuin kansainvälisestikin.

Vesihuollon hiilineutraalisuuden edistämiseksi kiertotalous on yksi tärkeimmistä työkaluista. Hiilineutraalissa kiertotaloudessa pyritään olemaan tuottamatta nettohiilidioksidipäästöjä kiertotalouden mukaisen suunnittelun, uudelleenkäytön ja jakamisen avulla. Kiertotalous ei siis ole tavoite, vaan toimintamalli ja työkalu muun muassa hiilineutraaluiden ja luonnonvarojen kestävä käytön edistämiseksi. Vesihuoltoalan siirtyminen kohti hiilineutraalia kiertotaloutta tukee monien YK:n kestävä kehityksen tavoitteiden saavuttamista.

Tämä työ on laadittu vesihuollon kiertotalouden edistämiseksi. Tavoitteena on, että vesihuoltolaitokset saavat lisää tietoa merkittävimmistä kiertotalouden muutospainesta, ymmärtävät paremmin vesihuoltolaitostoiminnan merkittävyyden kiertotalouden edistämiseksi sekä saavat konkreettisia ehdotuksia toimenpiteistä kiertotalouden edistämiseksi omassa toiminnassaan. Kiertotalouden edistämiseen liittyviä mahdollisuuksia sekä toimenpide-ehdotuksia on käsitelty aihealueittain. Näiden ehdotetaan toimivan kiertotalousvision ("*vesihuoltoala kiertotalouden edelläkävijä vuonna 2030*") toimeenpanon teemakokonaisuuksina vesihuollossa:

1. Materiaali- ja ravinnekierrot
2. Energiankäyttö
3. Prosessien kehittäminen
4. Kiertotalousosaamisen ja -yhteistyön kehittäminen

Kiertotalouden teemakokonaisuuksien lisäksi läpileikkaavana teemana nähdään digitalisaation hyödyntäminen erityisesti prosessien kehittämisessä ja optimoinnissa. Kiertotalouden teemakokonaisuuksista, läpileikkaavasta teemasta ja niiden sisältämistä toimenpide-ehdotuksista vesihuoltoon kerrotaan tarkemmin kolmannessa luvussa.

Ilmasto ja kiertotalous ovat toisiinsa vahvasti liittyviä teemoja ja ne osaltaan myös täydentävät toisiaan, esimerkiksi kiertotaloutta voi hyödyntää yhtenä työkaluna ilmastotavoitteiden saavuttamisessa. Vesilaitosyhdistys on toteuttanut myös Vesihuollon ilmastotyökalut -hankkeen, jossa on tarkemmin paneuduttu vesihuollon ilmastonäkökulmiin. Työn on laatinut AFRY Finland Oy. Tässä raportissa sivutaan joiltain osin myös ilmastonäkökulmia.

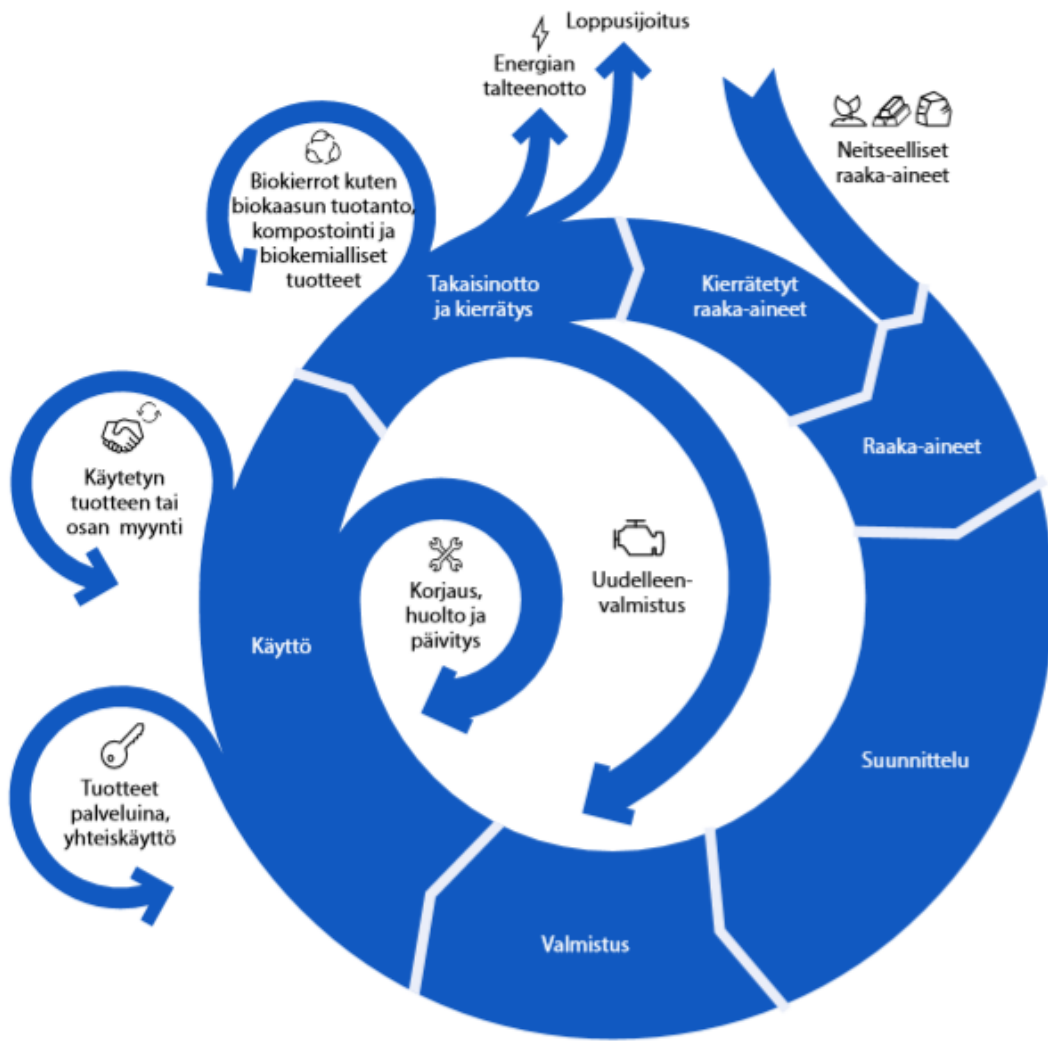
1.2 YHTYMÄKOHDAT HIILINEUTRAALIUTEEN JA MUIHIN GLOBAALEIHIN HAASTEISIIN

Luonnonvarojen kestävä käyttö, väestön kasvu, ilmastomuutos, luonnon monimuotoisuuden hupeneminen ja ekosysteemien heikkeneminen ovat haasteita, joihin kiertotaloudella sekä kiertotalouden mukaisten liiketoimintamallien avulla voidaan vastata. Kiertotaloudella on useita yhtymäkohtia niin hiilineutraaliuteen kuin muihinkin globaaleihin haasteisiin ja se toimii yhtenä merkittävimmistä työkaluista, jonka avulla on mahdollista ehkäistä maailmamme keskeisiä kestävyysongelmia. Viime vuosikymmenen aikana maailman kestävyysongelmien suuret mittasuhteet on tunnistettu ja työ ongelmien ratkaisemiseksi on aloitettu. Kestävyysongelmien ratkaisemiseksi ja luonnonvarojen saatavuuden varmistamiseksi on määritelty YK:n kestävä kehityksen tavoitteet vuodelle 2030. 17 tavoitetta sisältää ympäristöllisen, sosiaalisen ja taloudellisen kestävyuden. (Kuva 1-1). (Suomen YK-liitto 2022)



Kuva 1-1 YK:n kestävän kehityksen tavoitteet vuodelle 2030 muodostavat toisiaan tukevan kokonaisuuden (Suomen YK-liitto 2023).

Globaalien haasteiden ehkäisemiseksi työtä tehdään monilla eri tasoilla niin kansainvälisesti, kansallisesti ja kuin alueellisestikin. On laadittu sekä kiertotalouden tiekarttoja että hiilineutraaliustiekarttoja, ja asetettu erilaisia tavoitteita muun muassa maailman resurs-sien säästämiseksi ja säilyttämiseksi. Hiilineutraalisuus ja kiertotalous ovat kaksi täysin eri asiaa, mutta molempia hyödynnetään globaalien haasteiden ratkaisemisessa. Hiili-neutraalisuudella pyritään siihen, että yhteiskunnan, tuotteen tai systeemin hiilijalanjälki on sen koko elinkaaren ajalla nolla, eli kaikki tuotetut hiilidioksidipäästöt saadaan sidot-tua (Sitra 2018). Kiertotaloudessa ei mitata tai lasketa toiminnasta aiheutuneita päästöjä, vaan kiertotalouden peruseriaatteen pohjautuvat resurssien kiertoon (Kuva 1-2). Eli kier-totalouden ydin on huoltaa, uudelleenkäyttää ja uudelleenvalmistaa tuotteita jo olemassa olevista resursseista.



Kuva 1-2 Kiertotalouden toimintatapoja ja eri osa-alueita (Valtioneuvosto 2021).

Ihmisen toiminta on jo pitkään aiheuttanut luonnon monimuotoisuuden hupenemista ja ekosysteemien köyhtymistä. Luonnonvarojen ylikulutus on ongelma, joka edistää monimuotoisuuden hupenemista ja ekosysteemien köyhtymistä. Jotta luonnonvarojen ylikulutus saataisiin loppumaan, hyödynnetään jo käytössä olevia resursseja mahdollisimman paljon ja monipuolisesti, sekä tuotetaan uudelleenkäytettäviä tuotteita ja materiaaleja. Eli toisin sanoen, hyödynnetään kiertotalouden perusperiaatteita ja toimitaan kiertotalouden liiketoimintamallien mukaisesti.

2 KIERTOTALOUS JA VESIHUOLTO

2.1 KIERTOTALOUS

Kiertotalous on talousmalli, jossa materiaaleihin sitoutunut arvo säilytetään mahdollisimman pitkään käytössä. Kiertotaloudessa kulutus perustuu omistamisen ohella palveluiden käyttämiseen, jakamiseen, vuokraamiseen ja kierrättämiseen. Kiertotaloudessa talouskasvu ei ole riippuvainen luonnonvarojen kulutuksesta.

Kiertotalous auttaa sopeutumaan viiteen keskeiseen toimintaympäristön muutokseen: ilmastokriisiin ja luontokatoon, sääntelyn ja politiikan muutokseen, muuttuvaan kuluttamiseen, muutoksiin teknologiassa ja datassa sekä talouden suunnan muutoksiin. Kiertotalouden merkitys sääntelyssä ja politiikassa tulee kasvamaan tulevaisuudessa. Kiertotalous auttaa sopeutumaan myös muuttuvaan kuluttamiseen, sillä asiakkaat hakevat (ja arvostavat) kestäviä vaihtoehtoja enenevässä määrin. Uudet teknologiat mahdollistavat kiertotaloutta tukevien liiketoimintamallien toteuttamisen. Kiertotalouden investoinnit ja rahoitus lisääntyvät sekä julkisella että yksityisellä sektorilla.

Kiertotalous on uusi talouden toimintatapa, joka tuottaa taloudellista hyvinvointia maapallon kantokyvyn rajoissa. Se hyödyntää digitalisaatiota tehokkaasti ja uudistaa yhteiskunnan rakenteita ja toimintamalleja. Kiertotalous on keino vähentää luonnonvarojen käyttöä. Kiertotalouden edistämisessä on tärkeää toimintamallien uudistaminen eri toimijoiden välillä ekosysteemissä siten, että arvoketjun tai eri sektoreiden toimijat löytävät toisensa muun muassa uusien ratkaisujen kehittämiseksi. (Valtioneuvosto 2021)

Kiertotaloudessa on tunnistettu kolme periaatetta (Ellen MacArthur Foundation 2013), joiden toteuttaminen ja edistäminen vaativat uudenlaisia liiketoimintamalleja (Kuva 2-1):

1. Jätteiden ja pilaantumisen poistaminen suunnittelun keinoin,
2. Tuotteiden ja materiaalien pitäminen käytössä mahdollisimman pitkään ja mahdollisimman korkealla arvolla ja
3. Luonnon uudistaminen.

Ensimmäisessä ja toisessa periaatteessa avainroolissa on prosessien, tuotteiden ja materiaalien suunnittelu siten, että ne eivät tuota jätettä tai ympäristöpäästöjä ja että ne ovat kestäviä, joka mahdollistaa niiden pysymisen käytössä. Vesihuoltosektorille tämä voisi tarkoittaa esimerkiksi verkostojen ja laitosten suunnittelua siten, että jätettä syntyy mahdollisimman vähän tai se on hyödynnettävissä muualla materiaalina tai raaka-aineena. Eliniän pidentämisessä kiertotalouden mukaista olisi esimerkiksi olemassa olevan infrastruktuurin hyödyntäminen mahdollisimman pitkään.

Kolmannen periaatteen, luonnon systeemien uudistamisen, toteutumisiksi tulisi toimia aktiivisesti ympäristön tilan ja biodiversiteetin parantamiseksi. Tämä voisi tarkoittaa esimerkiksi vesistöjen tilan ennallistamista tai vesistöön laskettavien puhdistettujen jätevesien korkeaa laatua, jolloin vesistövaikutuksia ei synny.

Lisäksi kiertotaloudessa on tunnistettu viisi selkeää liiketoimintamallia, jotka on myös esitelty seuraavassa kuvassa (Kuva 2-1). Kiertotalouden mukainen liiketoiminta voi koostua yhdestä liiketoimintamallista tai eri mallien yhdistelmästä.



Kuva 2-1 Kiertotalouden liiketoimintamallit (muokattu lähteistä: Ellen MacArthur Foundation, 2013; Accenture, 2014; Sitra 2020).

Kiertotalous tukee vesihuollon järjestämistä taloudellisesti, ympäristöllisesti ja sosiaalisesti kestävästi. Vesihuollossa kiertotaloutta voidaan toteuttaa suunnittelun avulla, jossa otetaan huomioon esimerkiksi käytetyt materiaalit ja energia, materiaalien sivuvirtojen hyödyntäminen sekä kunnossapidolliset näkökulmat. Kiertotalouden pääperiaatteet sekä liiketoimintamallit voidaan ottaa huomioon vesihuollon kaikissa vaiheissa.

2.2 KIERTOTALOUTTA TUKEVA LAINSÄÄDÄNTÖ JA OHJAUSKEINOT

EU ja jäsenvaltiot ohjaavat alueensa toimijoita kiertotalouden mukaiseen toimintaan käyttäen ohjauskeinoja EU:n direktiivejä sekä kansallisia lakeja ja asetuksia. Muita vaikuttamiskeinoja ovat erilaiset suunnitelmat, ohjeet ja strategiat, joita on laadittu kiertotalouteen liittyen useita. Kiertotalous näkyykin vahvasti yhä useamman tahon toiminnassa.

2.2.1 EU-tason ohjaus

EU:n ensimmäinen kiertotaloussuunnitelma julkaistiin 2015 (Euroopan komissio 2015), jonka johdosta lainsäädäntö on kehittynyt. Euroopan komissio antoi vuonna 2020 tiedonannon uudesta kiertotaloussuunnitelmasta osana Euroopan vihreän kehityksen ohjelmaa (Euroopan komissio 2020a). Euroopan komission uudessa kiertotaloussuunnitelmassa kerrotaan komission helpottavan veden uudelleenkäyttöä ja vesitehokkuutta

myös teollisissa prosesseissa. Komissio laatii integroidun ravinnehuoltosuunnitelman, jotta voidaan varmistaa ravinteiden kestävämpi käyttö ja edistää talteen otettujen ravinteiden markkinoita. Komissio julkaisi 26.10.2022 ehdotusluonnoksen uudesta yhdyskuntajätevesidirektiivistä. Komissio harkitsee myös puhdistamolietteestä annettujen direktiivien uudelleentarkastelua. (Euroopan komissio 2020b)

Tällä hetkellä EU-tasolla on suunnitteilla monia uudistuksia, jotka vaikuttavat kiertotalouden käyttöönottoon, kuten ympäristötalouden toimintasuunnitelma, yritysten kestävä hallintotapaa koskeva lainsäädäntö, ilmasto- ja energiasäädösten uudistus, teollisuuden päästöjä koskevien EU:n sääntöjen päivitys, jätteiden siirtoja koskevien EU:n sääntöjen tarkistaminen, pakolliset ympäristöä säästävien julkisten hankintojen kriteerit ja tavoitteet alakohtaisessa lainsäädännössä, sekä kestävä tuotepolitiikan aloite. (Sitra 2022)

Suomen vesihuoltoon vaikuttavia tavoitteita on sekä Euroopan tasolla että globaalisti. Näistä keskeisimpiä ovat ohjelmat tai direktiivit, jotka Suomi on ratifioinut tai joihin Suomi on sitoutunut YK:n ja EU:n jäsenvaltiona. Tällaisia ovat esimerkiksi Vesivaroja ja terveyttä koskeva pöytäkirja (ratifioitu 3.3.2005), Euroopan unionin juomavesidirektiivi 98/83/EY ja juomavesidirektiivin uudistus 2020 (2020/2184) sekä Yhdyskuntajätevesidirektiivi 91/271/ETY. Uuden juomavesidirektiivin yhtenä tavoitteena on edistää kiertotaloutta vähentämällä energiankulutusta ja hukaveden määrää. Hanaveden luotettavuuden ja saatavuuden parantaminen vähentää myös pulloveden käytöstä syntyvän muovijätteen määrää. (European Commission 2023) Yhdyskuntajätevesidirektiivistä julkaistiin 26.10.2022 uusimpien standardien vaatimukset täyttävä ehdotus uudeksi yhdyskuntajätevesidirektiiviksi. Uuden yhdyskuntajätevesidirektiivin tavoitteena on vähentää energian käyttöä, saastumista ja kasvihuonekaasupäästöjä sekä parantaa sanitaatiopalveluiden saatavuutta. (European Commission 2022) Myös YK:n kestävä kehityksen tavoiteohjelman Agenda 2030 kuudennen tavoitteen, puhdas vesi ja sanitaatio, alatavoitteet on sisällytetty Vesivaroja ja terveyttä koskevan pöytäkirjan tavoitteisiin. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2019) Lisäksi on Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU 2020/741) veden uudelleenkäytön vähimmäisvaatimuksista, sillä EU:n vesivaroihin kohdistuu yhä enemmän painetta ja se voi mahdollisesti johtaa veden niukkuuteen ja veden laadun heikkenemiseen. EU pyrkii siis asetuksen myötä vahvistamaan käsitellyn jäteveden uudelleenkäyttöä maataloudessa sekä rajoittamaan vedenottoa pintavesimuodostumista ja -pohjavesimuodostumista. Kuitenkin Suomessa tilanne on joihinkin EU:n maihin hyvin erilainen veden saatavuuden osalta, joten on linjattu, ettei Suomessa asetuksen mukaisesti uudelleen käytetä vettä.

Euroopan komission (2019) vihreän kehityksen ohjelma Green Deal on kattava toimintapidekokonaisuus, jolla tähdätään hiilineutraaliuteen vuoteen 2050 mennessä. Siihen kuuluu kattava joukko erilaisia lainsäädäntömuutoksia sekä tarkempia toimintaohjelmia. Näistä yksi merkittävästi kiertotaloutta edistävä on EU:n uusi kiertotalouden toimintasuunnitelma (Euroopan komissio 2020b). Toimintasuunnitelman tavoitteena on

pienentää EU:n kulutusjalanjälkeä ja kaksinkertaistaa uusiomateriaalien käyttö EU:ssa sekä vauhdittaa samalla talouskasvua. Keskiössä on luoda yhtenäinen kestävän tuotepolitiikan viitekehys, jonka muodostavat kestävien tuotteiden suunnittelu, kuluttajien huomioon ottaminen ja kiertotalous tuotantoprosesseissa. (Euroopan komissio 2021)

EU on kehittänyt kestävän rahoituksen luokittelujärjestelmän, taksonomian, (2020/852), jonka avulla toiminnot luokitellaan kestäviksi. Taksonomialla selvennetään vihreiden investointien kestävyysyhtenäistä luokittelua, joilla pyritään edistämään kestävää liiketoimintaa. Tällä hetkellä EU taksonomia koskee isoja pörssiyrityksiä ja rahoituslaitoksia. Taksonomiassa on osin jo selkeitä tavoitteita vesisektorille, vaikka ne eivät olekaan velvoittavia suomalaisille vesihuoltolaitoksille. Taksonomia-asetuksella on määriteltä kuu- denlaisia ympäristötavoitteita: 1) ilmastomuutoksen hillintä; 2) ilmastomuutokseen so- peutuminen; 3) vesivarojen ja merten luonnonvarojen kestävä käyttö ja suoje- lu; 4) siirty- minen kiertotalouteen; 5) ympäristön pilaantumisen ehkäiseminen ja vähentäminen; 6) biologisen monimuotoisuuden ja ekosysteemien suoje- lu ja ennallistaminen.

Myös hiilitulit tulevat mukauttamaan EU:n taloutta kestävämpään suuntaan. EU julkaisi vuonna 2020 myös biodiversiteettistrategiansa vuoteen 2030, Pellolta pöytä- -strategia sekä ilmastotavoitesuunnitelma 2030. Vuonna 2021 lisättiin asetus EU:n uusien päästö- tavoitteiden sisällyttämiseksi lakiin. (Sitra 2022)

2.2.2 Kansallisen tason kehitys ja ohjauskeinot

Useat Suomen kansallisen tason ohjauskeinot pohjautuvat EU:n laatimiin linjauksiin kier- totaloustoimista (Valtioneuvosto 2021). Hallitusohjelman (Valtioneuvosto 2019) tavoit- teena on edistää Suomen roolia kiertotalouden edelläkävijänä. Ohjelmassa on eritoten korostettu kiertotalouden roolia ravinteiden kierrätyksessä. (Valtioneuvosto 2019) Suo- men kansainvälisessä vesistrategiassa mainitaan myöskin tavoitteeksi kiertotalouden ratkaisuihin panostaminen teollisuuden ja yhdyskuntien jätevesien hallinnassa. Tärkeim- miksi keinoiksi tämän tavoitteen saavuttamiseksi on mainittu ennakoivat varotoimenpi- teet ja veden tehokas käyttö. (Maa- ja metsätalousministeriö 2018)

Valtioneuvosto teki periaatepäätöksen kiertotalouden strategisesta ohjelmasta keväällä 2021. Tavoitteena on muutos, jolla kiertotaloudesta luodaan talouden uusi perusta vuo- teen 2035 mennessä. Vaikka materiaalien kierrätys on yksi tärkeä osa kiertotaloutta, uudessa toimintaohjelmassa keskitytään ennen kaikkea arvoketjujen aiemmissa vai- heissa tapahtuvaan vaikuttamiseen, kuten tuotesuunnitteluun. Muita kiertotaloutta tuke- via ohjelmia ovat esimerkiksi Energia- ja ilmastostrategia ja Biokaasuohjelma. (Valtio- neuvosto 2021)

Suomessa vesihuollon lainsäädännössä on kiertotaloutta tukevia periaatteita. Esimer- kiksi vesihuoltolaissa (119/2001) todetaan vesihuoltolaitoksilla olevan selvilläolo- sekä tarkkailuvelvollisuus, jonka mukaan vesihuoltolaitoksen on oltava selvillä käyttämänsä

raakaveden määrään tai laatuun kohdistuvista riskeistä sekä laitteistonsa kunnosta. Tässä tarkoituksessa vesihuoltolaitoksen on tarkkailtava käyttämänsä raakaveden määrää ja laatua, laitteistonsa kuntoa sekä vuotovesien määrää laitoksen vesijohto- ja viemäriverkostoissa. Uuden juomavesidirektiivin toimeenpanemiseksi vesihuoltolain nojalla annettiin tammikuussa 2023 uusi asetus vesihuollon tietojärjestelmästä ja tiedottamisesta (6/2023). Tämä asetus edellyttää vesihuoltolaitoksia raportoimaan aiempaa tarkemmin talous- ja viemäriverkoston vuotovesiä sekä vesihuollon energian kulutusta ja tuotantoa kuvaavia tietoja sekä tiedottamaan asiakkaille vedenkulutuksesta. Talousvesiasetukseen (2/2023) tehty muutos edellyttää lisäksi tiedottamaan vedenkäyttäjää vastuullisesta vedenkäytöstä valtakunnallisessa verkkopalvelussa. Maankäyttö- ja rakennuslailla (132/1999) säädetään hulevesien hallinnasta, imeyttämisestä ja erillisviemäroinnistä. Valtioneuvoston asetuksessa ympäristönsuojelusta (713/2014) säädetään jätevesien asianmukaisesta esikäsittelystä, ennen kuin jätevesi johdetaan verkostoon muun muassa ympäristön kannalta hyväksyttävän käsittelyn varmistamiseksi. Valtioneuvoston päätös yleisestä viemäristä ja eräiltä teollisuudenaloilta vesiin johdettavien jätevesien sekä teollisuudesta yleiseen viemäriin johdettavien jätevesien käsittelystä (365/1994) edistää puhdistamolietteen hyödyntämistä asettamalla raamit viemäriin johdettaville jätevesille. EU:n kiertotaloussuunnitelman myötä Suomeen on tulossa tiukentuvia kierrätysvaatimuksia sekä muutoksia lannoitteita koskevaan lainsäädäntöön. Esimerkiksi Suomen jätelaki (646/2011) on jo uudistunut ja sen myötä muun muassa jäteperäisten materiaalien käyttömahdollisuudet tuotanto- tai kulutushyödykkeenä helpottuvat. (Bröckl et al. 2021)

Suomi julkaisi ensimmäisenä valtiona maailmassa kiertotalouden tiekartan ”Kierrolla kärkeen – Suomen tiekartta kiertotalouteen 2016–2025” (Sitra 2016). Tiekartasta on keväällä 2019 julkaistu päivitys kiertotalouden tiekartta 2.0 (Sitra 2019). Päivityksen tavoitteena oli nostaa tavoitteiden ja kunnianhimon tasoa, vahvistaa kansainvälistä edelläkävijyyttä sekä täydentää tiekarttaa uusilla kiertotaloutta edistävillä toimenpiteillä.

Kiertotalouden toteutumista ohjataan myös ympäristöministeriön Green Deal -sopimuksilla (Ympäristöministeriö 2022a). Ympäristöministeriö on solminut yhdyskuntajäteveden puhdistamisen Green Deal -sopimuksen, jolla pyritään vähentämään yhdyskuntien jätevesistä ympäristöön aiheutuvien ravinteiden ja haitallisten aineiden kuormitusta. Kyseisessä sopimuksessa vesihuoltolaitos voi sitoutua kehittämään omaa toimintaansa ravinteiden kierrättämisen tehostamiseksi. (Sitoumus2050 2022)

Vesihuollon kiertotalouden kannalta oleellisia ovat myös lait ja asetukset, jotka ohjaavat esimerkiksi lannoitteiden valmistamista ja jätevesiä. Uusi lannoitelaki (711/2022) on tullut voimaan 16.7.2022. Lannoitelain uudistuksen myötä saadaan yhdenmukaistettua EU:n asetuksen ja kansallisen lainsäädännön toimintatapoja. Lisäksi EU:n kiertotalouspaketin tavoitteena on edistää orgaanisten kierrätysravinteiden markkinoita. Lannoitelain uudistuksen myötä valmistelussa on myös maa- ja metsätalousministeriön asetukset

lannoitevalmisteiden valmistukseen ja laatuun sekä lannoitevalmisteista annettavaan tietoon ja toiminnan järjestämiseen. (Valtioneuvosto 2022) Lisäksi Ympäristöministeriön ravinteiden kierrätyksen toimenpideohjelman (2019–2030) mukaan pyrkimyksenä on hyödyntää jätevesilietteiden ravinteet pääosin lannoitteina vuoteen 2030 mennessä.

2.3 KIERTOTALOUDEN TRENDIT JA MUUTOSSUUNNAT

Globaalissa mittakaavassa kiertotalouden ratkaisulla pyritään hakemaan vastauksia myös puhtaan makean veden riittävyyteen liittyviin ongelmiin. Tarve ongelmien ratkaisulle on todellinen, sillä esimerkiksi Arupin, Ellen MacArthur -säätiön ja Antea Groupin raportin (2019) mukaan puhtaan makean veden tarve ylittää globaalilla tasolla vesivarat reilusti jo vuonna 2030, mikäli ratkaisuja ei löydetä. Vettä tarvitaan paitsi juomavedeksi, kasteluvedeksi ja elintarviketeollisuuteen.

Kiertotalouden periaatteiden mukaisesti vettä tulisi ottaa yhteiskunnan käyttöön vain vesivarojen uusiutumisen sallimissa rajoissa ja käyttää vettä säästeliäästi. Veden käsittelyssä tulisi optimoida energian ja kemikaalien käyttöä, ja veteen liuenneet aineet, kuten typpi ja fosfori, tulisi ottaa talteen, jotta ne voidaan palauttaa edelleen kiertoon. Veden kierrätystä ja uudelleenkäyttöä tulisi edistää ja vesiekosysteemeihin kohdistuvia paineita hillitä hyödyntämällä ensisijaisesti jo käyttöön otettuja luonnonvaroja. (Arup, Ellen MacArthur Foundation, Antea Group 2019; SYKE 2017)

Suomen ympäristökeskuksen raportin (2017) mukaan edellä kuvattua vesiviisasta kiertotaloutta voitaisiin edistää integroimalla vesi, vesistökuormitus ja vesiekosysteemit nykyistä paremmin erilaisiin tuotannon ja kulutuksen kestävyyttä arvioiviin tarkasteluihin. Nämä tarkastelut ja niiden tulosten mittaaminen ja seuranta valtakunnallisesti ja organisaatiotasolla korostaisivat veden yhtäläistä roolia muiden luonnonvarojen, ja esimerkiksi energian käytön tehokkuuden, kanssa.

Vesiviisaan kiertotalouden edistäminen edellyttää myös kokonaisvaltaista ja tavoitteellista politiikkaohjausta (SYKE 2017). EU-lainsäädäntö tuo mukanaan yhä tiukempia vaatimuksia liittyen esimerkiksi energiatehokkuuteen sekä ravinteiden kierrättämiseen. Esimerkiksi yhdyskuntajätevesidirektiivi on tarkistuksen alaisena vesien hyvän tilan, ihmisten terveyden, ympäristönsuojelun sekä kustannustehokkaamman yhdyskuntajätevesien käsittelyn edistämiseksi edelleen.

Kiertotalouden toteutuminen edellyttää perusteellista ja avointa yhteistyötä, ja siksi toimivien kiertotalousyhteistyökumppanuuksien löytäminen yli sektorirajojen on tärkeää. Vesihuollon toimijoiden yhteistyö esimerkiksi energia- ja jätesektorin kanssa voi kehittää toimialaa eteenpäin. Kansallisen vesihuoltouudistuksen ohjelmassa tärkeäksi nostetaan myös julkisen sektorin ja tutkimuksen välistä yhteistyötä sekä yhteistyön tiivistämistä vesihuoltolaitosten välillä. Ohjelmassa todetaan tarpeelliseksi selvittää keinoja myös vesihuollon alueellisen yhteistyön ja rakennemuutoksen edistämiseksi kohti tarkoituksenmukaisempaa laitosrakennetta. Tavoitteena on, että vesihuoltolaitoksilla olisi paremmat

edellytykset järjestää toimintaansa pitkäjänteisesti sekä varmistaa henkilö- ja taloudellisten resurssien riittävyys. (Maa- ja metsätalousministeriö 2021) Henkilö- ja taloudellisten resurssien riittävyydellä on tärkeä merkitys myös kiertotalouteen liittyvien toimenpiteiden edistämiseksi.

Osana kansallista vesihuoltouudistusta tarkistetaan vesihuoltolainsäädäntöä, mikä voi osaltaan edistää vesihuoltoalan kiertotaloutta. Lainsäädäntöä tarkistetaan esimerkiksi uudesta juomavesidirektiivistä (2020/2184) tulevien vaatimusten osalta, hyvän vesihuollon kriteeristön käyttöönoton osalta, vesihuoltolaitosten investointisuunnitteluvetoisuuden osalta sekä hulevesikysymysten osalta (Maa- ja metsätalousministeriö 2021).

2.4 KIERTOTALOUDEN SEURANTA JA MITTAAMINEN

Lainsäädäntö vaatii sekä julkisilta että yksityisiltä toimijoilta toimenpiteitä ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi, hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi ja kiertotalouden edistämiseksi. Työkaluna näiden edellä mainittujen toimenpiteiden seurannassa voidaan käyttää kiertotalouden mittaamista. Kiertotalouden mittaamisen avulla on mahdollista varmistaa lainsäädännön asettamien vaatimusten toteutuminen ja seurata kokonaisvaltaista kiertotalouskehitystä. Kiertotalouden mittaamisen avulla saadaan määriteltyä toimenpiteet ja priorisoitua ne yrityksen, julkisen toimijan tai tuotteen kiertotalouden kehittämiseksi.

Kiertotaloustavoitteiden saavuttamiseksi tehtyjä toimenpiteitä ja kiertotalouden kehitystä on seurattava, jotta voidaan varmistua edistymisestä ja tunnistettua uusia mahdollisia kehitysalueita kiertotalouden kasvattamiseksi. Esimerkkejä kiertotalouden mahdollisista mittareista vesihuoltoalalla ovat:

- Uusiutuvan energian osuus tuotannossa ja jakelussa (%)
- Osuus materiaaleista, joissa on otettu huomioon kierrätettävyys / korjattavuus
- Neitseellisten raaka-aineiden määrä (kg tai %)
- Kaatopaikalle päätyvä jäte (kg tai %)
- Ilmasto- ja muut ympäristöpäästöt, esim. hiilijalanjälki sekä NO_x-päästöt.

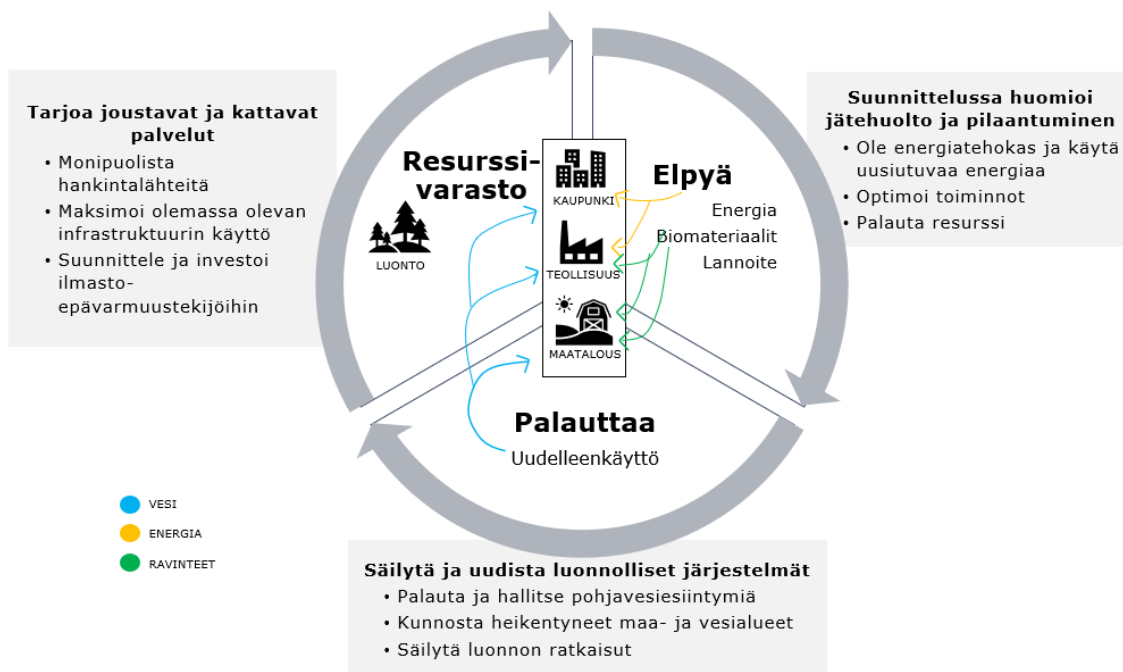
2.5 KIERTOTALOUDEN MAHDOLLISUUDET VESIHUOLLOSSA

Kiertotalous tarjoaa vesihuollolle mahdollisuuden tunnistaa koko vesihuollon kiertotalouden potentiaali kaikissa vesihuollon vaiheissa veden hankinnasta sen vapauttamiseen takaisin ekosysteemiin. Vesi pitäisi nähdä arvokkaana resurssina ja raaka-aineena, energian lähteenä sekä arvoaineiden kuten ravinteiden kantajana läpi koko vesihuoltoketjun.

Vesihuollon vaiheilla tarkoitetaan raakaveden hankintaa, talousveden käsittelyä, vedenjakelua, jätevesiviemärintiä, jätevedenpuhdistusta, lietteen käsittelyä sekä käsitellyn jäteveden johtamista takaisin vesistöön. Lisäksi monet vesihuoltolaitokset huolehtivat

yhdessä kunnan kanssa hulevesiviemäröinnistä. Esimerkiksi, talousvedenhankinnassa- ja puhdistuksessa tulee huomioida ekosysteemistä otettavan veden määrä suhteessa vesivarantoihin. Vedenoton ei pitäisi ylittää vesivarojen uusiutumishopeutta. Myös vesihukkaan tulee kiinnittää huomiota jo arvoketjun alkupäässä. (SYKE 2017)

Tulevaisuudessa vesihuollon on pystyttävä toimimaan joustavasti ja luotettavasti erilaisista ulkoisista haasteista huolimatta, ja kiertotalouden avulla voidaan parantaa myös vesihuollon resilienssiä. (Delgado A, et al. 2021) Kuvassa 2–3 on esitettyä veden kytkenä kiertotalouteen ja resilienssiin. Vesihuolto linkittyy jokaiseen kuvassa esitettyyn vaiheeseen: veden jakelu, talteenotto ja kierrättäminen sekä kunnostaminen ja kuvasta on nähtävissä myös vesihuollolle soveltuvia kiertotaloustavoitteita, kuten energiatehokkuus ja uusiutuvan energian käyttö tai luontopositiivisten ratkaisujen/menetelmien hyödyntäminen.



Kuva 2-2 Vesi, kiertotalous ja resilienssi (Water in Circular Economy and Resilience). (Mukaillen Delgado A, et al. 2021)

Hyvän vesihuollon kriteerit

Kansallisessa vesihuoltouudistuksen ohjelmassa todetaan tarve ottaa käyttöön hyvän vesihuollon kriteerit (Maa- ja metsätalousministeriö 2021). Hyvät vesihuollon kriteerit on määriteltä kolmelle eri osa-alueelle: vesihuollon tulisi olla turvallinen ja toimintavarma, kustannustehokas ja organisoitu sekä kestävä ja kehittyvä. Eniten risteämäkohtia kiertotalouden ja hyvän vesihuollon kriteereissä on kestävän ja kehittyvän vesihuollon alueelta. Näissä kriteereissä otetaan huomioon esimerkiksi jätevesiverkoston vuotovesiprosentti, sekaviemäröinnin minimointi, vesistöjen kuormituksen minimointi sekä

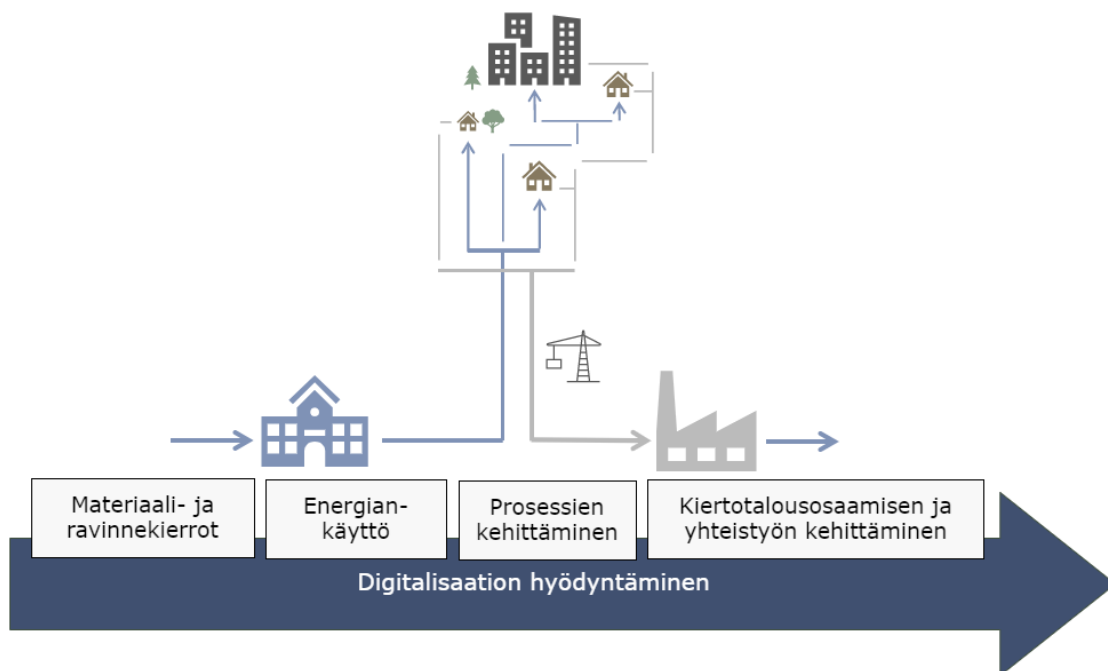
suunnitelmallinen vuotovesien vähentäminen. Vesihuoltolaitosten tulisi myös mitata ja seurata energiankulutustaan ja laatia vuosittainen ympäristötilinpäätös. Myös elinkaari-kustannusten ja hiilijalanjäljen laskentaan, energiatehokkuuden ja -omavaraisuuden parantamiseen, hukkalämmön hyödyntämiseen sekä hiilineutraaliuteen kiinnitetään huomiota kestävän ja kehittyvän vesihuollon kriteereissä. Vesihuollon kriteerejä tullaan muokkaamaan tarpeen mukaan lainsäädännön ja muiden kansallisten ohjeistusten kehittyessä ja uudistuessa. (Suomen Vesilaitosyhdistys ry 2021c)

Myös turvallisen ja toimintavarman vesihuollon kriteereissä on liittymäkohtia kiertotalouteen, kuten vaatimukset raakaveden laatuun sopeutettavasta vedenkäsittelyprosessista sekä laskuttamattoman talousveden osuudesta. Kustannustehokkaan ja organisoidun vesihuollon kriteereissä taas on esitetty vaatimuksia mahdollisuudesta kouluttaa henkilöstöä havaitun tarpeen mukaan, omaisuuden hallinnan, operoinnin sekä kunnossapidon suunnitelmallisuudesta, rakenteiden ja laitteiden suunnitellusta huollosta, hankintojen suunnitelmallisuudesta sekä hyödykkeiden kulutuksen seuraamisesta. (Suomen Vesilaitosyhdistys ry 2021c) Kiertotalouden periaatteet siis tukevat myös hyvän vesihuollon kriteerejä sekä toisin päin.

3 KIERTOTALOUDEN EDISTÄMINEN VESIHUOLLOSSA

3.1 TEEMAKOKONAISUUDET

Vesihuollon kiertotalouden edistämiseksi sekä kiertotalousvision ”vesihuoltoala kiertotalouden edelläkävijä vuonna 2030” saavuttamiseksi tarvitaan tulevaisuudessa yhä enemmän toimenpiteitä. Koko vesihuollon arvoketjuun liittyvistä kiertotaloustoimenpiteistä ja merkittävimmistä mahdollisuuksista on muotoiltu seuraavat teemakokonaisuudet; materiaali- ja ravinnekierron, energiankäyttö, prosessien kehittäminen, sekä kiertotalousosaamisen ja yhteistyön kehittäminen. Teemakokonaisuudet toimivat kiertotalousvision toimeenpanon kulmakivinä (Kuva 3-1).

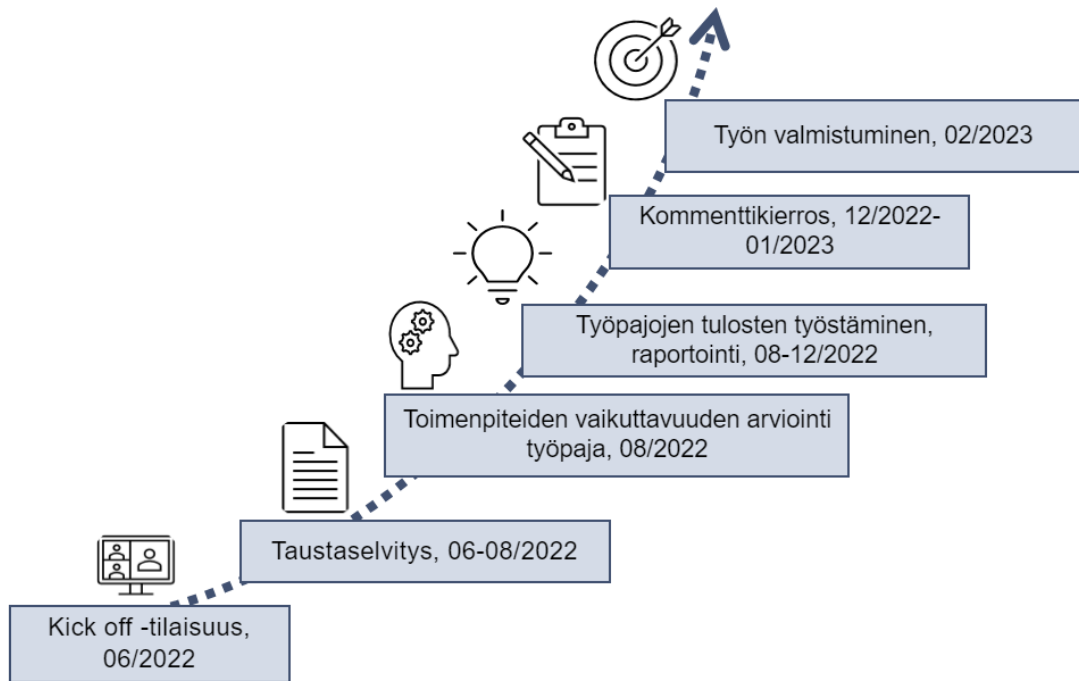


Kuva 3-1. Kiertotalousvision toimeenpanon teemakokonaisuudet sekä läpileikkaavana teemana digitalisaatio.

Kiertotalousvision toimeenpanon teemakokonaisuudet ovat muodostuneet hankkeen aikana toteutettujen työpajojen tulosten sekä hankkeeseen osallistuneiden tahojen ja asiantuntijoiden näkemysten lopputuloksena. Teemakokonaisuudet tunnistettiin vahvoiksi vesihuollon kiertotaloutta edistäviksi ja toteuttaviksi osa-alueiksi. Kiertotalousvision toimeenpanon teemakokonaisuuksien läpileikkaavaksi teemaksi määriteltiin digitalisaation hyödyntäminen, erityisesti prosessien kehittämisessä. Digitalisaation on havaittu tuovan uusia mahdollisuuksia monilla eri sektoreilla kiertotalouden edistämisessä, eikä vesihuolto ole poikkeus. Digitalisaation hyödyntäminen nähdään läpileikkaavana teemana, sillä se toimii yhtenä työkaluna kaikkien edellä mainittujen teemakokonaisuuksien ohella kiertotalousvision toimeenpanon edistäjänä.

3.2 MENETELMÄKUVAUS

Hanke toteutettiin yhteistyössä Suomen Vesilaitosyhdistys ry:n sekä neljän vesihuoltolaitoksen (Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy, Kuopion Vesi Oy, Kymen Vesi Oy ja Tampereen Vesi) kanssa. Luvussa 7 on listattu työhön osallistuneet vesihuoltolaitokset sekä työn ohjausryhmä. Hankkeen työvaiheet on esitetty kuvassa 3–2. Työ toteutettiin aikavälillä 06/2022–02/2023.



Kuva 3-2. Työn toteutuksen työvaiheet.

Työn laatimisen alussa järjestettiin hankkeen Kick off -tilaisuus. Siinä tarkennettiin vesihuollon eri vaiheiden (vedenhankinta, vedenkäsittely, vedenjakelu, viemärointi, jäteveden käsittely sekä hallinto, talous ja henkilöstö) osatavoitteita, joiden avulla laitokset voivat saavuttaa Vesilaitosyhdistyksen strategian mukaisen vision vuoteen 2030 mennessä. Tilaisuus sisälsi työpajaosuuden, jossa koostettiin yhdessä ohjausryhmän kanssa vesihuollon eri vaiheille toimenpide-ehdotuksia. Tämän jälkeen työn taustaksi kartoitettiin toimialan kiertotalouden nykytila sekä määritettiin vesihuoltolaitoksiin ulkopuolelta kohdistuvat muutospaineeet. Konsultti työsti toimenpide-ehdotuksia, jotta seuraavan ohjausryhmäkokouksen työpajaosuudessa saatiin arvioitua toimenpide-ehdotusten vaikuttavuutta.

Toimenpide-ehdotusten vaikuttavuuden arvioinnin jälkeen vaikuttavuudeltaan merkittäviksi arvioidut toimenpiteet taulukoitiin ja ryhmiteltiin. Tämän perusteella konsultti muodosti taulukoiduista toimenpiteistä kiertotalousvision toimeenpanon teemakokonaisuudet. Toimenpiteet päädyttiin taulukoimaan ja ryhmittelemään teemakokonaisuuksien mukaisesti, sillä vesihuollon eri vaiheiden mukaisessa jäsentelytavassa useat toimenpiteet

toistuivat. Teemakokonaisuuksien mukaisella jaottelulla on myös selkeästi nähtävissä se, kuinka laajasti jo tällä hetkellä on tunnistettu eri teemoilla olevan mahdollisia toimenpiteitä vesihuollon kiertotalouden kehittämisessä. Taulukoinnin jälkeen AFRYn vesihuollon asiantuntijoiden kanssa tarkasteltiin taulukoituja toimenpiteitä ja määritettiin niille mittarit sekä seurantatapa. Tämän jälkeen koko raporttia vielä jatkotyöstettiin, jonka jälkeen raportti toimitettiin ohjausryhmälle kommentoitavaksi. Kommenttikierroksen jälkeen AFRYn asiantuntijat viimeistelivät raportin.

3.3 KARTOITETUT POTENTIAALISET TOIMENPITEET JA NIIDEN MITTARIT

3.3.1 Materiaali- ja ravinnekierrot

Vesihuoltolaitosten toiminnasta syntyy merkittäviä materiaali- ja ravinnevirtoja. Materiaali- ja ravinnekierrot ovat kiertotalouden toteutumisen kannalta avainasemassa sekä resurssi- että energiatehokkuuden edistämisessä. Taulukossa 3–1 on esitetty materiaali- ja ravinnekierroihin liittyen potentiaalisia toimenpiteitä ja niiden seurannan mittareita, joita vesihuoltolaitokset voivat ottaa käyttöön kiertotalouden edistämiseksi.

Taulukko 3-1. Kiertotalouden edistämisen toimenpiteitä vesihuollossa ja niiden seurannan mittareita materiaali- ja ravinnekierroihin liittyen

Toimenpide	Mittari / seuranta
– Kiertotalouden mukaiset materiaalivalinnat rakentamisessa ja saneerauksessa (muun muassa verkostot, laitokset, maa-massat)	– Kiertotalouden mukaisten materiaalien osuus (%)
– Kaivamattomien tekniikoiden hyödyntäminen	– Kaivamattomien tekniikoiden hyödyntäminen suhteessa aukikaivuutekniikkaan
– Jätevesien ravinteiden (typpi ja fosfori) talteenotto ja hyödyntäminen esimerkiksi maataloudessa ja teollisuudessa – Jalostetut lannoitevalmisteet	– Talteenottosaanto – Myytyjen ravinteiden määrä – Säästettyjen ostoravinteiden määrä – Lannoitekäyttöön sopivan lietteen osuus – Lannoitteena käytetyn lietteen osuus – Myydyn lannoitetuotteen määrä
– Prosessikemikaalien talteenotto ja uudelleenkäyttö (esim. saostuskemikaali)	– Ostokemikaalin määrä
– Biokaasun tuotanto ja hyödyntäminen sekä mädätejäännöksen hyötykäyttö	– Tuotettu sähkö- ja lämpöenergia – Mädätykseen ohjatun lietteen osuus
– Teollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen prosessikemikaaleina – Uusiutuvista raaka-aineista valmistettujen kemikaalin (esim. biopohjainen flokkauskemikaali) hyödyntäminen	– Hyödynnettyjen sivuvirtojen määrä tai säästettyjen primäärikemikaalien määrä – Uusiutuvista raaka-aineista valmistettujen kemikaalien määrä
– Teollisuuden jätevesien hiilen hyödyntäminen typenpoistossa ja lisähiilikemikaalien (esim. metanoli) korvaaminen	– Vähennemä ulkoisen lisähiilikemikaalin syöttömäärässä

- Erottelevan sanitaation mahdollisuuksien hyödyntäminen	- Erottelevan sanitaation ratkaisujen määrä
- Aktiivihiilen laadun huomioiminen (kivi-/biopohjainen hiili) - Aktiivihiilen regenerointikäytännöt - Käytetyn aktiivihiilen hyödyntäminen uudelleen esim. biohiilenä maataloudessa	- Elinkaaritarkastelu, jonka perusteella luodaan mittareita (esimerkki mittarista on esimerkiksi eri aktiivihiililaatujen lämmityspotentiaali engl. <i>Global Warming Potential</i> , Vilén 2021)
- Kiertotalouden huomioiminen kemiallisten haitta-aineiden poistossa pintavesilaitoksilla (aktiivihiili vs. kalvotekniikat)	- Esim. hiilijalanjäljen vertailu suunnittelu- vaiheessa - Haitta-aineiden mittaukset - Saanto-%
- Puhdistetun jäteveden uudelleenkäyttö (esim. kasteluvetenä)	- Esim. vähenemä kasteluvetenä käytetyn talousveden kulutuksessa
- Kalkkikivisuodatinten huuhteluveden käyttö kasteluvetenä, esim. viheralueilla (kalkkipitoinen vesi toimii samalla maanparannusaineena)	- Prosessiveden hyötykäyttö-%
- Prosessiveden käytön optimointi, esim. hiekkasuodatetun veden käyttö selkeytyslaitaiden pesuissa talousveden sijaan	- Prosessiveden kulutus
- Laituskoneistojen liisaus / kierrätettävä laitos konseptit - Tuote palveluna -konseptien hyödyntäminen	- Liisattujen/vuokrattujen laitteistojen määrä

Materiaalikiertojen ensisijainen tarkoitus on ehkäistä ja vähentää kulutusta sekä jätteen määrää. Myös jätehuollon etusijajärjestyksen mukaisesti on ensisijaisesti minimoitava jätteen määrää ja haitallisuutta, lisättävä jätteen uusiokäyttöä materiaalina ja hyödyntämistä raaka-aineena, jätteen ohjaamista toissijaisesti energiahyödyntämiseen ja viimeisenä loppusijoitettavaksi. Tehokkaiden materiaalikiertojen avulla materiaalit (kuten liete) saadaan ohjattua uudelleen hyödynnettäväksi ja pidettyä jo olemassa olevia resursseja kierrossa mahdollisimman pitkään. (Motiva 2022a & 2022b). Materiaalikierrat ja jätteen määrän minimointi liittyvät myös tiivistä vesihuollon rakentamiseen, kuten esimerkiksi kaivamattomien tekniikoiden hyödyntämiseen, maamassojen uudelleenkäyttöön ja kierrätettäviin materiaalivalintoihin.

Ravinteiden (kuten typpi ja fosfori) kierrättäminen ja tehokas hyödyntäminen varmistaa välttämättömien ja hyödyllisten ravinteiden kiertämisen ekosysteemissä niin etteivät ne valu hukkaan. Ravinnekierto myös auttaa vähentämään päästöjä sekä luo uusia ansaintamahdollisuuksia.

Nykyisissä yhdyskuntajätevesien käsittelyprosesseissa fosfori sidotaan niukkaliukoisessa muodossa lietteeseen, mihin päättyy myös tyyppästä alle kymmenesosa. Loput tyyppästä haihtuu ilmaan (aiheuttaen myös kasvihuonekaasupäästöjä N₂O-muodossa) ja johtuu purkuveden mukana vesistöön. Puhdistusprosessin sivutuotteena muodostuvasta lietteestä noin 50 % hyödynnetään maataloudessa ja noin 40–45 %

viherrakentamisessa (Suomen Vesilaitosyhdistys ry 2021b). Suomen maatalouden käyttämästä fosforilannoituksesta (n. 32 300 t/a) kuitenkin nykyisellään vain 5 % ja typpilannoitteesta 2 % on peräisin kierrätysravinteita sisältävistä lannoitevalmisteista (ml. puhdistamolietepohjaiset maanparannusaineet) (SYKE 2021). Vesihuoltosektorilla on siis edelleen potentiaalia kasvattaa ravinteiden kierrätyksen osuutta.

Esimerkiksi lietteenkäsittelyssä kiertotaloutta edistäviä ratkaisuja ovat biokaasun tuotanto ja hyödyntäminen, kompostin hyödyntäminen ja jatkojalostaminen sekä lietteen hyödyntäminen lannoitevalmisteenä. Mikäli lietettä ei muussa muodossa kyetä hyötykäyttämään, lietteen sisältämä hiili on mahdollista hyödyntää pyrolyysin avulla. Tällöin jäteveden ravinteet ovat kuitenkin heikommin hyödynnettävissä. Ympäristöministeriö on kohdennanut rahoitusta vuodesta 2020 lähtien Raki – eli ravinteet kiertoon -ohjelman puitteissa erityisesti hankkeille, joissa hyödynnetään yhdyskuntien jätevesien ja lietteiden ravinteita ja/tai luodaan eri toimijoiden välisiä ravinteiden kierrätyksen yhteistyöverkosto (Maa- ja metsätalousministeriö 2022b). Puhdistamolietettä hyödynnettäessä liete on käsiteltävä ennen hyötykäyttöä siten, että se täyttää laatu- ja hygieniakriteerit (Motiva 2022).

Kiertotaloudellisesta potentiaalista huolimatta jätevedestä ja lietteestä prosessoitujen, ei maanparannusaineen muodossa olevien ravinteiden markkinat eivät ole vielä kehittyneet. Markkinoiden edistämiseksi haasteita tuovat muun muassa huono hintakilpailukyky suhteessa mineraalilannoitteisiin, prosessoitujen kierrätyslannoitteiden tuotannon kannattavuus sekä kehitystarpeet valmistusteknologiassa ja tuotteiden optimoinnissa. (Ravinnekierto2030 2022; SYKE 2017) Kierrätyslannoitteiden kysyntään on odotettavissa muutos lähitulevaisuudessa, kun primäärilannoitteiden saatavuus vähenee ja tuotannolla on liiketoiminnallisesti kannattavia edellytyksiä.

Veden- ja jätevedenpuhdistuksessa muodostuville muille jätteille on haastavampaa löytää hyötykäyttöä. Vedenpuhdistuksessa muodostuvan rautasakan hyödyntämisestä jätevedenpuhdistamoilla on tutkittu. HSY:llä on testattu rautasakan regenerointia, mutta testien perusteella saostuskemikaalia on vaikea saada hyödynnettyä. Nykyään lähes kaikki talousveden tuotannossa muodostuva liete johdetaan viemäriin ja siten jätevedenpuhdistukseen. (Huoltovarmuusorganisaatio 2020) Jätevedenkäsittelyssä syntyville muille jätteille kuin lietteelle (esim. välpejäte, hiekka) ei ole uudelleenkäyttökohteita.

Kiertotalouksesimerkki: Kiertotalouden mukaiset materiaalivalinnat rakentamisessa ja saneerauksessa

Rakentamisen materiaalivirrat vaikuttavat merkittävästi sekä luontoon että ilmastoon. On arvioitu, että rakentamisessa ja rakennuksissa käytetään noin 50 % maapallon luonnonvaroista. Globaalisti rakennussektori tuottaa noin 35 % kasvihuonekaasupäästöistä ja 30 % jätteestä. Kiertotalous luo rakentamiseen paljon mahdollisuuksia hillitä ilmastonmuutosta ja ehkäistä luonnon monimuotoisuuden köyhtymistä. (Ympäristöministeriö 2023).

Tapoja ilmastonmuutoksen hillitsemiseen ja luonnon monimuotoisuuden köyhtymisen estämiseen ovat esimerkiksi kiertotalouden mukaiset materiaalivalinnat vesihuoltoverkostojen rakentamisessa ja saneerauksessa. Markkinoille on viime aikoina tullut esimerkiksi uusiutuvia ja biopohjaisia raaka-aineita sekä kierrätysmateriaaleja käyttäen valmistettuja putkia. (Pipelife, Uponor 2022).

Kiertotaloutta voidaan hyödyntää rakentamisessa myös materiaalivirtojen hallinnan kautta. Luonnon kiviaineeksi voidaan korvata uusiomateriaaleilla maarakentamisessa, mikä säästää neitseellisiä luonnonvaroja. Tällaisia uusiomateriaaleja ovat muun muassa ylijäämämaista ja teollisuuden sivutuotteista saatavat materiaalit. (Uma4 2018) Kiertotalouden periaatteiden mukaisia rakennusmateriaaleja ovat esimerkiksi uusiokiviainekset (betonin ja tiilen kierrätyksen lopputuotteena syntyvä betonimurske) sekä kierrätyskiviaineksesta valmistettu valmisbetoni. (Uma4 2022).

Uusiomateriaalien laatuvaatimusten osalta infra-alan yleiset laatuvaatimukset eli InfraRYL on vielä puutteellinen, vaikka viimeisten vuosien aikana sinne on lisätty muutamia uusiomateriaaleja ja uusiomateriaalien käyttöön liittyvää ohjetekstiä. Puutteellisuus johtuu ennen kaikkea siitä, että uusiomateriaaleista ei ole olemassa vielä riittävän pitkäaikaisia käyttökokemuksia infrarakentamisesta. (Torniainen ja Sikiö 2018) Torniainen ja Sikiön (2018) mukaan myöskin materiaalituottajien vastuulla oleva tuotteistaminen on vielä kesken. Liikenneviraston tekemän selvityksen mukaan uusiomateriaalien käyttöä hidastaa myös esimerkiksi lupaprosessien pitkä kesto ja työläys uusiomateriaaleja käytettäessä, uusiomateriaalien korkeampi hinta ja heikompi saatavuus (Torniainen ja Sikiö 2018).

Taulukko 3-2 Kiertotalouden mukaisten materiaalien käyttö rakennuksessa ja saneerauksessa, positiiviset vaikutukset ja huomioitavat haasteet

Positiiviset vaikutukset	Huomioitavat haasteet
- Tuotteiden hiilijalanjälki pienenee - Tuotteiden käytettävyys samaa tasoa uusiutumattomista materiaaleista valmistettuihin tuotteisiin verrattuna	- Lainsäädäntö kieltää kierrätysbetonin käytön betonin raaka-aineena ilman viranomaisen lupaa - Uusiomateriaalista valmistetut putket voivat olla kalliimpia kuin perinteiset - Uusiomateriaalien käytöstä ei ole vielä riittävän pitkäaikaista kokemusta infrarakentamisessa - Kierrätysmateriaalien mahdolliset vaikutukset talousveden laatuun pitää selvittää, jos niitä käytetään suoraan kontaktissa talousveteen tai siten, että mahdollisia haitallisia aineita voisi päästä kulkeutumaan talousveteen

Kiertotalousesimerkki: Ravinteiden kierrätys

Jäteveden sisältämää typpeä ja fosforia kohtaan on kasvavaa kiinnostusta yhteiskunnan ruokaturvan ja huoltovarmuuden parantamiseksi. Jätevedenpuhdistamot on suunniteltu vähentämään yhdyskuntien suoraa kuormitusta vesistöön eikä ottamaan jäteveden ravinteita talteen. Siten nykytilanteessa suuri osa jäteveden sisältämästä typestä muunnetaan typenpoistossa typpikaasuksi eikä sitä siten saada nykyprosesseissa talteen. Fosforista suuri osa sitoutuu puhdistamolietteeseen, josta jalostetaan kierrätyslannoitevalmisteita. (Pietola ym. 2022) Lietteestä 90 % menee hyötykäyttöön, ja lietteestä 50 % hyödynnetään maataloudessa kierrätyslannoitteena (Suomen Vesilaitosyhdistys ry 2021b). Fosfori ei kuitenkaan ole kasveille optimaalisesti hyödynnettävässä muodossa, koska se on puhdistamolla saostettu vedestä kemiallisesti.

Fosforin talteenottoon on kehitetty monia tekniikoita, jotka perustuvat pääosin struviitin hyödyntämiseen tai lietteen poltossa muodostuvan tuhkan hyödyntämiseen. Suomessa nämä menetelmät eivät ole käyttökelpoisia, koska puhdistamoilla ei ole käytössä biologista fosforinpoistoa tai lietteen polttoa. Näiden tekniikoiden tuotteille ei myöskään ole muualla Euroopassa muodostunut kunnollisia markkinoita ja tuotteita on ollut vaikea saada hyötykäyttöön.

HSY:n kehittämässä RAVITA-prosessissa fosfori otetaan talteen suoraan jätevedestä, toisin kuin muissa kehitetyissä fosforin talteenottotekniikoissa. RAVITA-prosessissa jäteveden fosfori otetaan talteen aivan puhdistusprosessin lopussa jälkisaostamalla ja kerätään talteen esimerkiksi kiekkosuodattamalla. Erotetusta sakasta erotetaan fosfori ja saostuskemikaali ja saadaan tuotteeksi fosforihappoa, jota voidaan hyödyntää lannoite-teollisuuden raaka-aineena tai monilla muilla teollisuuden aloilla, kuten esim. paperitehtaiden jätevedenpuhdistamon lisäravinteena. Prosessin etuna on, että myös saostuskemikaali otetaan talteen ja kierrätetään takaisin puhdistusprosessiin. Prosessilla saadaan talteen jopa yli 60 % jäteveden fosforista. (HSY 2022a) RAVITA-prosessi on toistaiseksi pilotointivaiheessa.

Typen talteenotto on kustannustehokkainta typpirikkaista vesijakeista kuten mädättämön rejektivedestä. Typen talteenotto rejektivedestä vähentää myös jätevedenpuhdistamon sisäistä kuormitusta ja lisää siten puhdistuskapasiteettia. Typpeä voidaan ottaa ammoniakkiveden muodossa talteen strippausprosessilla. Gasumin Topinojan biokaasulaitoksella on käytössä rejektiveden haihdutus ja strippaus. Ammoniakkivettä voidaan hyödyntää teollisuudessa esim. paperiteollisuuden vedenpuhdistuksessa tai teollisuuden tuotantolaitosten savukaasujen typenoksidien poistossa. (Gasum 2020) Ammoniakkivettä voidaan käyttää myös epäorgaanisena lannoitevalmisteena.

Aalto-yliopistossa on kehitetty NPHarvest-prosessia, jolla voidaan kerätä typpeä ja fosforia nestemäisistä jätteistä kuten mädättämörejektistä. Menetelmässä fosfori

saostetaan jäteperäisellä kalkkituotteella, minkä jälkeen typpi otetaan talteen kalvon avulla. Lopputuotteena muodostuu lannoitteeksi soveltuvia tuotteita kuten ammoniumsulfaattiliuosta. (Aalto-yliopisto 2021) Menetelmä on toistaiseksi pilotointivaiheessa.

Taulukko 3-3. Ravinteiden kierrätyksen positiiviset vaikutukset ja huomioitavat haasteet

Positiiviset vaikutukset	Huomioitavat haasteet
– Yhteiskunnan ruokaturvan ja huoltovarmuuden parantuminen, jos jäteveden ravinteita saadaan nykyistä enemmän kierrätettyä – Väkilannoitteiden käytön väheneminen – Typen talteenotolle typpirikkaista jakeista (esim. mädättämön rejekti) on valmiita tekniikoita	– Fosforin talteenotto suomalaisilla puhdistamoille haastavaa, koska menetelmät kehitetty struviitin tai lietetuhkan hyödyntämiseen (pois lukien RAVITA) – Kierrätysravinteiden markkinat eivät ole vielä kovin kehittyneet – Puhdistamolietteen sisältämien haitta-aineiden mahdolliset ympäristövaikutukset huomioitava

Kiertotalousesimerkki: Teollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen

Teollisuuden sivutuotteena syntyvää kalsiittia (CaCO_3) käytetään useilla jätevedenpuhdistamoilla korvaamaan neitseellisten alkalointikemikaalien käyttöä. Jyväskylän Seudun puhdistamo Oy alkoi käyttää vuonna 2022 alkalointikemikaalina Äänekosken biotuotehtaan sivutuotteena muodostuvaa kalsiittia. Kiertotalouskalsiitilla korvataan ulkomailta tuotava neitseellinen sooda. (JS-Puhdistamo 2021)

Porin vanhan titaanidioksiditehtaan sivutuotteena syntynyttä ferrosulfaattia on 1970-luvulta lähtien käytetty veden- ja jätevedenpuhdistuksen saostuskemikaalina joko suoraan tai jalostettuna ferrisulfaatiksi. Tehtaan toiminnan loputtua ferrosulfaattia kerätään tehtaan toiminnan aikana tuotetusta ja varastoidusta jätteestä. (Pelkonen 2019) Ferrosulfaattia on kertynyt Porin tehtaan läjitysalueelle niin paljon, että sitä on arvioitu riittävän vesikemikaalien raaka-aineeksi jopa 15–20 vuodeksi (Lilja 2019). Läjitetyn ferrosulfaatin tai siitä valmistetun ferrisulfaatin käyttäminen vähentää merkittävästi neitseellisten saostuskemikaalien käyttömääriä, kun verrataan alumiinipohjaisiin saostuskemikaaleihin.

Sivuvirtojen hyötykäytössä tulee ottaa huomioon myös mahdolliset sivuvirroissa esiintyvät haitta-aineet ja niiden asiallinen käsittely.

Taulukko 3-4. Teollisuuden sivuvirtojen hyödyntämiseen liittyvät positiiviset vaikutukset ja huomioitavat haasteet

Positiiviset vaikutukset	Huomioitavat haasteet
– Vähennetään neitseellisten prosessikemikaalien kulutusta – Lähiseudulla syntyvien jakeiden käyttö voi lyhentää kemikaalien kuljetusmatkoja	– Joissain teollisuuden sivuvirroissa voi esiintyä haitta-aineita eivätkä ne sovi talousveden tuotannossa käytettäväksi

Kiertotalousesimerkki: Erottelevan sanitaation mahdollisuuksien hyödyntäminen

Tampereen Hiedanrannassa selvitettiin erottelevan sanitaation mahdollisuuksia sekä ravinteiden talteenoton teknisiä ratkaisuja NutriCity-hankeessa. Erottelevalla sanitaatiolla pyritään ravinteiden tehokkaampaan ja haitta-aineettomampaan kierrätykseen, kun WC- ja pesuvedet kerätään toisistaan erillisinä jakeina. (SYKE 2020)

Erottelevaa sanitaatiota voidaan hyödyntää esimerkiksi käymäläjätevesien ja biojätteen keräysjärjestelmien avulla. Käymäläjätevesiä voidaan erotella virtsan erottelevilla käymälätyypeillä tai keräämällä kaikki käymäläjätevedet (ts. mustat jätevedet) yhtenä jakeena, erillään harmaista jätevesistä (mm. suihku- ja tiskivedet). Käymälöinä voidaan käyttää paineettomia käymälöitä tai alipainekäymälöitä. Virtsan erottelevissa käymälätyypeissä on oltava virtsalle ja ulosteelle omat putkistonsa, minkä vuoksi tämän tyyppinen käymälätyyppi on monimutkaisempi kuin erottelematon käymälä. Pelkkää virtsaa sisältävissä putkistoissa on haasteena virtsan struviinin saostuminen putkistoon. Ei-erottelevissa käymälätyypeissä kaikki käymäläjätevedet kerätään yhtenä jakeena ja käsitellään erillään harmaista jätevesistä. Alipaineisia ei-erottelevia käymälätyyppejä on laajasti käytössä laivoissa ja junissa. (SYKE 2020)

NutriCity-hankkeessa todettiin, että vaikka pilottikokeet onnistuivat hyvin, erotteleva sanitaatio voi olla haasteellista toteuttaa suuressa mittakaavassa nykyisten liiketoiminta- ja palvelumallien ollessa vallassa. Siirtyminen strategisesta suunnittelusta käytännön toteutuksen on haastavaa, sillä kiertotalouden toteuttaminen vaatii runsaasti yhteistyötä kaupungin eri sektoreiden välillä, uusia toimintatapoja sekä suunnittelijoiden koulutusta. Myös ravinteiden kierrätys, ilmastotavoitteet, vähähiilinen rakentaminen ja kiertotalous tulisi kytkeä vahvemmin toisiinsa jätevesien ravinteiden kierrättämisen mahdollistamiseksi. (SYKE 2020)

Taulukko 3-5. Erottelevan sanitaation hyödyntämisen positiiviset vaikutukset ja huomioitavat haasteet

Positiiviset vaikutukset	Huomioitavat haasteet
- Ravinteet saadaan tehokkaammin käyttöön	- Suuren mittakaavan toteutus voi olla haasteellista nykyisten liiketoiminta- ja palvelumallien vuoksi - Virtsanerotuksessa haasteena saostumat putkistossa

Kiertotalousesimerkki: Aktiivihiilen valinta ominaisuuksien ja raaka-aineen mukaan

Suomessa aktiivihiiltä käytetään pääasiassa talousveden tuotannossa sekä teollisuuden veden käsittelyssä. Tulevaisuudessa myös jätevedenpuhdistamoilla tullaan käyttämään

aktiivihiihlä haitta-aineiden poiston prosesseissa. Talousveden tuotannossa aktiivihiihllä saadaan poistettua vedestä orgaanista ainesta ja kemiallisia haitta-aineita.

Aktiivihiihi on yleisnimitys hiihlä sisältäville adsorptiomateriaaleille, joilla on huokoinen rakenne ja yleensä erittäin suuri sisäinen pinta-ala (n. 300–4000 m²/g) (Ruthven 2011). Aktiivihiihlä valmistetaan perinteisesti pääasiassa kivihiilestä, mutta myös uusiutuvia ja kierrätettyjä raaka-aineita (esimerkiksi kookospähkinän kuoret, puupohjaiset materiaalit) on mahdollista hyödyntää aktiivihiihien tuotannossa. Vilén (2021) mainitsee lisäksi viime vuosina tehdyt lukuisat tutkimukset, joissa on tutkittu näiden tyyppisten aktiivihiihiraaka-aineiden lisäksi maatalouden, teollisuuden ja metsätalouden jäännöstuotteiden käyttökelpoisuutta raaka-aineina. Alkuperästä huolimatta aktiivihiihien tulee täyttää standardin SFS-EN 12915-1 mukaiset laatuvaatimukset.

Aktiivihiihien ominaisuudet poikkeavat hieman riippuen siitä, mitä raaka-ainetta niissä on käytetty sekä minkälaisella prosessilla (kemiallinen tai fysikaalinen aktivointi) ne on valmistettu. Aktiivihiihien merkittäviä laatuominaisuuksia ovat mm. kovuus, aktiivihiihien ominaispinta-ala, huokoskoko ja partikkelikokojakauma. Aktiivihiihien käyttö perustuu adsorptioon, jossa vesiliuoksessa olevat haitta-aineet kiinnittyvät aktiivihiihien pintaan ja huokosiin. Aktiivihiihiliuodatuksen tavoitteena on, että suodatuksen painehäviö ei kasva liian suureksi, ei-toivottavat yhdisteet adsorboituvat tehokkaasti huokosiin ja hiihi kestää pesuja, kuljetuksia ja regenerointia ilman, että se jauhautuu. Kaupallista aktiivihiihlä on perinteisesti saatavilla pelletteinä, granuleina sekä jauhemaisessa muodossa.

Kivihiili on otollinen raaka-aine aktiivihiihelle, koska sitä on paljon saatavilla ja se on valmiiksi aktiivinen materiaali. Suomessa käytetäänkin pintavedenkäsittelyssä aktiivihiihiliuodatuksessa enimmäkseen kivihiilipohjaista aktiivihiihlä. Bitumihiihi on kivihiililaaduista paras aktiivihiihiraaka-aine sen korkean huokoisuuden ja kovuuden ansiosta. Kivihiili ei ole kuitenkaan ympäristöllisesti kestävin aktiivihiihien raaka-aine, sillä se on uusiutumaton fossiilinen luonnonvara. Kivihiiliaktiivihiihlestä voi myös liueta veteen haitallisia kemikaleja, ja sen huokoskoko voi olla suurehko, mikä voi tehdä erittäin pienten partikkelien suodattamisesta haasteellista. (Carbon Block Technology 2018)

Puupohjainen aktiivihiihi soveltuu hyvin makujen ja hajujen poistamiseen vedestä. Puupohjainen aktiivihiihi on myrkytöntä ja raaka-aineena puu on uusiutuvaa. Puu kasvaa kuitenkin hitaasti ja sille on muita käyttökohteita, minkä vuoksi sillä on heikko saatavuus aktiivihiihien valmistukseen. Puusta valmistettu aktiivihiihi on lisäksi pehmeää, minkä vuoksi se soveltuu huonosti hankauskestävyyttä edellyttävään aktiivihiihiliuodatusprosessiin. (Vilén 2021) Jauhemaisten aktiivihiihien valmistukseen soveltuvat myös pehmeät hiihlähteet, mutta jauhemaista aktiivihiihlä ei voi regeneroida ja se tulee hävittää käytön jälkeen. Myös puupohjaisia sivuvirtoja on mahdollista käyttää aktiivihiihien raaka-aineena, jolloin se ei kilpaile muun puun käyttöpotentiaalin kanssa.

Kookospähkinän kuoresta tehdyn aktiivihillen huokostiheys ja mikro-ontelopinta-ala ovat suuremmat kuin kahdella edeltävällä aktiivihilityypillä. Kookosperäinen aktiivihili pystyy suodattamaan vedestä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, eikä siitä liukene veteen haitta-aineita. Kookospähkinä on myös uusiutuva raaka-aine ja se kasvaa nopeasti. (Carbon Block Technology 2018). Talousvesikäyttöön soveltuvaa kookospohjaista hiiltä on saatavilla markkinoilla. Saatavuus on kuitenkin toistaiseksi heikompaa kuin kivihiilipohjaisella aktiivihilellä, ja käyttöä vähentää lisäksi sen heikommat kierrätysominaisuudet sekä ei niin tehokas orgaanisen aineen poistokyky kuin kivihiilellä (Vilén 2021).

Vuonna 2021 HSY:llä toteutetussa tutkimuksessa laadittiin aktiivihillen tuotannon elinkaariarvio kivihiili-, kookos-, puunkuori- ja turveperäisestä aktiivihilestä, sekä regeneroidusta kivihiiliperäisestä aktiivihilestä. Ympäristövaikutuskategoriaksi valittiin aktiivihillen raaka-aineesta johtuva lämmityspotentiaali (engl. *Global Warming Potential*, GWP). Tutkimuksen johtopäätösten perusteella regeneroidun aktiivihillen lämmityspotentiaali oli pienin ja näin ollen tämän tutkimuksen perusteella suositeltavin raaka-aine aktiivihilelle. Tutkimuksessa ei huomioitu eri aktiivihiltien teknistä soveltuvuutta tai eroja. (Vilén 2021)

Taulukko 3-6. Aktiivihillen laatu raaka-aineen perusteella, positiiviset vaikutukset ja huomioitavat haasteet.

Positiiviset vaikutukset	Huomioitavat haasteet
– Puu- ja kookospähkinäperäinen aktiivihili: uusiutuvia raaka-aineita – Kivihiilipohjainen aktiivihili: hyvä saatavuus, hyvät suodatus- ja kestävyysominaisuudet, hyvä kierrätettävyys	– Kivihiilipohjainen aktiivihili: fossiilinen raaka-aine, haitalliset kemikaalit – Puupohjainen aktiivihili: pehmeä raaka-aine, muut käyttökohteet puulle – Aktiivihillen ominaisuudet vaikuttavat niiden regeneroitavuuteen eli uudelleenaktivointiin

Kiertotalouksesimerkki: Kiertotalouden huomioiminen kemiallisten haitta-aineiden poistossa (aktiivihili vs. kalvotekniikat)

Aktiivihiltä ja erilaisia kalvosuodatusmekanismia käytetään orgaanisen aineksen ja kemiallisten haitta-aineiden poistamiseen pintavesilaitoksilla.

Vedenkäsittelyssä käytetään yleisesti kalvosuodatusmekanismia, joissa puhdistettava vesi puristetaan paineen avulla kalvon läpi. Tällaisia menetelmiä ovat mikrosuodatus, ultra-suodatus, nanosuodatus ja käänteisosmoosi. Kalvon läpi menevää jaetta kutsutaan permeaatiksi ja toisena jakeena muodostuu rejektivesi (retentaatti), eli jae, johon haitta-aineet ovat konsentroituneet. Kalvosuodatuksen suurimpana ongelmana on kalvojen likaantuminen ja tukkeutuminen, jota voidaan ehkäistä veden esikäsittelyllä. Kalvoja voidaan puhdistaa joko kemiallisesti tai mekaanisesti. Mekaaninen puhdistus tapahtuu

vedellä ja paineilmalla. Kemialliseen pesuun siirrytään vasta sitten, kun mekaaninen pesu ei enää puhdistaa kalvoa tarpeeksi, sillä kemiallinen puhdistus lyhentää kalvojen elinikää.

Hankalasti poistettavien orgaanisten haitta-aineiden, kuten hormonien ja torjunta-aineiden, poisto edellyttää yleensä kalvoja, joissa on pieni huokoskoko, esim. nanosuodattusta (huokoskoko 0,001–0,01 µm). Sopivan kalvon löytäminen edellyttää testausta. Nanosuodatuksessa syntyy rejektivettä. Nanosuodatus edellyttää suurta painetta (5...55 bar) eli prosessi on hyvin energiaintensiivinen. Nanosuodatuskalvojen käyttöikä on n. 5–7 vuotta, jonka jälkeen ne tulee vaihtaa uusiin. Orgaanisen aineen poistoon soveltuu myös ultrasuodatus, jossa tarvittava paine (0,2...1 bar) ja energiankulutus on pienempi verrattuna nanosuodatukseseen. Ultrasuodatuksessa kalvojen käyttöikä on jopa yli 10 vuotta. Kalvosuodatuskalvot on tyypillisesti valmistettu polymeereistä, mutta ne voivat olla myös keraamisia. (Huoltovarmuusorganisaatio 2020)

Kalvotekniikoiden käyttö orgaanisen aineksen poistossa vähentää saostuskemikaalien tarvetta verrattuna perinteiseen saostus-suodatus-prosessiin. (Laurell 2020; 2013) Kalvotekniikoita on Ruotsissa verrattu kemialliseen saostusprosessiin orgaanisen aineksen poistossa, ja kalvotekniikoilla on todettu olevan näistä vähäisemmät ilmastovaikutukset. (Lidén 2016)

Aktiivihiiilen toiminta vedenpuhdistuksessa perustuu sen huokoisella pinnalla tapahtuvaan adsorptioon. Vedenpuhdistuksessa käytetään joko jauhemaisena tai rakeisena. Rakeinen aktiivihiihi on säännöllisesti joko vaihdettava uuteen tai regeneroitava, sillä sen pinnan huokokset tukkiutuvat ajan myötä epäpuhtauksista. Regeneroinnin jälkeen aktiivihiihlä voidaan käyttää uudelleen. Ennen vaihtoa tai regenerointia rakeisesta aktiivihiihlästä koostunutta aktiivihiihilipatjaa pystytään pesemään vastavirtahuuhtelulla. (Koppanen 2018) Jauhemaista aktiivihiihlä ei puolestaan voi regeneroida, vaan se on hävitettävä käytön jälkeen laskeutuslietteen tai pesuveden mukana (Huoltovarmuusorganisaatio 2020).

Taulukko 3-7. Kiertotalouden huomioiminen kemiallisten haitta-aineiden poistossa (aktiivihiihi vs. kalvotekniikat), positiiviset vaikutukset ja huomioitavat haasteet.

Positiiviset vaikutukset	Huomioitavat haasteet
– Kalvosuodatusmekaniikassa kalvoja voidaan käyttää uudelleen puhdistuksen jälkeen – Rakeista aktiivihiihlä voidaan uusio-käyttää pesemällä ja regeneroimalla	– Kalvosuodatus: haitta-aineiden poistoon tarvitaan tiukkoja kalvoja, esim. nanosuodattusta, jossa syntyy rejektivesiä n. 10–30 %; sopivan kalvon löytäminen edellyttää pilotointia; kemiallinen puhdistus lyhentää kalvojen elinikää; kalvojen hävittäminen käyttöiän päättyessä – Jauhemainen aktiivihiihi: ei voi uusio-käyttää

	- Granulaarinen aktiivihilli: Edellyttää suodattimia ja hiilen laadun oltava sellainen, että kestää käyttöä ja reaktiivointia sekä poistaa tehokkaasti haitta-aineita - Tarvittavat raaka-aineet ja energia sekä poistettujen haitallisten aineiden loppukäsittely
--	---

Kiertotalouksesimerkki: Laitoskoneistojen liisaus / kierrätettävä laitos -konseptit

Laitoskoneistojen liisaus eli pidempiaikainen vuokraus voi osaltaan edistää vesihuoltolaitosten kiertotaloutta. Liisaus sopisi esimerkiksi hyvin tilanteisiin, joissa laitosten käyttöikä lähenee loppuaan, mutta laitoksen suurempaa saneerausta joudutaan vielä odottamaan. Koneistojen energiatehokkuuden tarkkailu ja huolto voisi kuulua laitetoimittajalle. Huoltopalvelut nähtäisiin myös mahdollisena huoltovarmuutta lisäävänä asiana, mikäli palveluiden riittävyys palveluita käyttävien vesihuoltolaitosten kesken voidaan varmistaa. Käytön jälkeen laitoskoneistot palautuisivat kiertoon.

Vuonna 2019 käynnistyneessä kansainvälissä CIRCulT (Circular Construction In Regenerative Cities) -hankkeessa pyritään kehittämään kiertotalouskriteeristöä rakentamisen hankintojen tueksi. Hankkeessa keskitytään rakennusosien uudelleenkäytön ja kierrätyksen edistämiseen, rakennusten elinkaaren pidentämiseen rakennuksia kunnostamalla sekä käyttötarkoitusta muuttamalla ja rakennusten monikäyttöisyyden ja muunneltavuuden lisäämiseen. Peruskorjaus- ja uudisrakentamiskohteiden hankinnoissa käytönotettaviksi kiertotalouskriteereiksi ehdotetaan esimerkiksi uusien materiaalien irrotettavuutta, kierrätyskelpoisten tuotteiden käyttöä ja uudelleenkäytettyjen rakennusosien käyttövelvoitetta. (HSY 2022b)

3.3.2 Energiankäyttö

Vesihuoltolaitosten toiminta kuluttaa merkittävästi energiaa. Energiaa tarvitaan niin veden tuotantoon, sen jakeluun, viemärointiin kuin jätevedenpuhdistukseen ja lietteen käsittelyynkin. Toisaalta kaikissa edellä mainituissa vaiheissa on myös usein mahdollista parantaa energiatehokkuutta ja näin edistää kiertotalouden toteutumista. Energiatehokkuutta voidaan parantaa esimerkiksi laitoskoneistojen säätöjen optimoinnilla tai tuottamalla energiaa itse esimerkiksi veden potentiaalieron ja lämmön avulla, aurinkovoimalla tai biokaasulaitoksen avulla. Energiankäytön optimointi liittyy läheisesti prosessien kehittämiseen ja optimointiin, joista on kerrottu tarkemmin seuraavassa luvussa. Kiertotalouden edistämisen toimenpiteitä ja niiden seurannan mittareita energian käyttöön liittyen on esitetty taulukossa 3–8.

Taulukko 3-8. Kiertotalouden edistämisen toimenpiteitä vesihuollossa ja niiden seurannan mittareita energian käyttöön liittyen

Toimenpide	Mittari / seuranta
– Energiatalouden optimointi	– Samankokoisten ja -tyyppisten laitosten vertailu – Laitekohtaisen / koko laitoksen energiankulutuksen seuranta
– Lämmöntuotanto jätevedestä – Jäähdytyksen tuotanto jätevedestä – Oma energiantuotanto, esim. aurinkoenergia tai (yhteiskäsittely)biokaasulaitos	– Energiakulutuksen / tuoton seuranta – Oman energiantuotannon tuotantopotentiaalin laskenta – Tuotettu sähkö- ja lämpöenergia
– Uusiutuvan ostoenergian käyttö	– Uusiutuvan energian osuus (%)
– Rakennusten lämmityksen / kuivatuksen optimointi	– Rakennusten lämmitykseen / kuivatukseseen käytetty energia

Kiertotalousoesimerkki: Vesihuoltolaitosten energiatehokkuuden parantamista käsittelevät tietokortit ja käytännön toimia kuvaavat case-esimerkit

Valtion kestävän kehityksen yhtiö Motiva on yhdessä Suomen Vesilaitosyhdistys ry:n ja useiden suomalaisten vesihuoltolaitosten kanssa koonnut tietoa ja kokemuksia energiatehokkuustoimista ja teknisistä ratkaisuista, jotka auttavat vesilaitoksia entistä viisaammiksi ja taloudellisemmiksi energiankäyttäjiksi. Vesihuoltolaitosten ydintoimintojen energiatehokkuuden parantamiseen on laadittu kymmeniä tietokortteja sekä lukuisia esimerkkejä vesilaitoksissa toteutetuista energiatehokkuustoimista. (Motiva 2022c)

Konkreettisina esimerkkeinä vesihuoltolaitoksilla toteutetuista energiatehokkuustoimista ovat esimerkiksi Kurikan Vesihuolto Oy:n vedenjakelujärjestelmän mallinnus, HSY:n Viikinmäen jätevedenpuhdistamolle toteutettu aurinkosähkövoimala sekä niin ikään HSY:llä toteutettu automatisoitu pumppujen energiakatselmus. Kurikan Vesihuolto Oy:ssä toteutettu vedenjakelujärjestelmän mallinnus osoitti lukuisia tapoja tehostaa energiankäyttöä. Mallinnusprojektin yhteydessä löydettyjen ratkaisujen yhteenlasketun energiansäästöpotentiaalin on arvioitu olevan vuosittain noin 200 MWh. (Motiva 2022d)

HSY:n Viikinmäen jätevedenpuhdistamon kattopinnat valjastettiin vuonna 2019 lähes 900 aurinkopaneelilla, joiden yhteenlasketuksi tehoksi arvioitiin noin 257 kWh. Ensimmäisenä käyttöönottovuona taloudelliseksi eduksi arvioitiin noin 26 500 € ja ennustetuksi takaisinmaksuajaksi investoinnille on arvioitu noin 14 vuotta. (Motiva 2022e)

HSY:llä haluttiin selvittää kahden pumppaamon ajotapojen vaikutusta energiankulutukseen. Optimaalisen ratkaisun löytämiseksi tarkasteltiin pumppaamoiden erilaisia ajotilanteista sekä pumppujen sopivuutta prosessiin. Tarkasteluita varten pumppuja ohjaaviin taajuusmuuttajiin asennettiin dataloggerit, joilla voitiin mitata pumpun energiankulutusta ja selvittää tehokkainta ajotapaa sekä pumppujen oikeaa mitoitus. Mittauksen jälkeen

tieto siirretään pilviratkaisuun tiedon analysoimiseksi. Analyysin tuloksena käyttäjä saa arvion pumpun kunnosta ja ehdotukset mahdollisista tarvittavista toimenpiteistä. (Motiva 2022f)

Kiertotalouksesimerkki: Jäteveden lämpöenergian hyödyntäminen

Lukuisilla jätevedenpuhdistamoilla Suomessa otetaan lähtevän jäteveden lämpöä talteen, joko puhdistamon omaan käyttöön tai yhteistyössä paikallisen energiayhtiön kanssa. Esimerkiksi HSY:n Viikinmäen puhdistamolla puhdistetun jäteveden lämpöenergiaa kerätään talteen paikallisen sähköyhtiön toimesta jäteveden lämpöä hyödyntävällä lämpöpumppulaitoksella. Lämpöpumpulla voidaan samanaikaisesti jäähdyttää kaukojäähdytysvettä ja lämmittää kaukolämpövettä. (Helen 2019)

Monilla vesihuoltolaitoksilla otetaan lämpöä talteen jätevedestä siten, että lämmöllä kätetään oman laitoksen lämmitys. Esimerkiksi Oulun Vedellä toteutettiin vuonna 2018 selvitys lämpöenergian hyödyntämisestä. Taskilan jätevedenpuhdistamolle hankittiin lämpöpumppu, joka kattoi suurimman osan (n. 75 %) puhdistamon lämmöntarpeesta. Pumpuysiköiden määrää voidaan jatkossa lisätä. (Motiva 2018b)

Muutoin kuin lämpöenergian osalta puhdistetun jäteveden hyödyntämisestä ei ole juuri-kaan kokemuksia Suomessa.

Taulukko 3-9. Jäteveden lämpöenergian hyödyntämiseen liittyvät positiiviset vaikutukset ja huomioitavat haasteet

Positiiviset vaikutukset	Huomioitavat haasteet
– Lämpöenergian talteenotto	– Jäteveden lämpöenergian talteenottoon liittyy riskejä, mikäli lämpöä otetaan talteen ennen jätevedenpuhdistamoa (samanlaista riskiä ei ole, mikäli lämpöä otetaan talteen käsittelystä jätevedestä)

3.3.3 Prosessien kehittäminen

Kuten materiaali- ja ravinnekiertoilla, myös prosessien kehittämisellä ja optimoinnilla on keskeinen merkitys kiertotaloudessa. Prosessien kehittämisellä voidaan viitata esimerkiksi vedenkäsittelyprosesseissa käytettyjen kemikaalien syötön optimointiin siten, että kemikaaleja ei syötetä prosessiin ”varmuuden vuoksi”, vaan ainoastaan tarvittavan verran, jolloin säästetään sekä kemikaalimäärissä että kustannuksissa. Tilastotietoihin perustuvien ennustavien järjestelmien avulla voidaan säätää esimerkiksi pumppauksia ennakoiden mahdollisia virtaamahuippuja. Tärkeässä osassa prosessien kehittämistä on myös laitteiden oikea mitoitus ja niiden säännöllinen kunnossapito. Lisäksi uudentyyppisten haitta-aineiden (esimerkiksi POP-yhdisteet, lääkeaineet, mikromuovit jne) poistamiseksi tarvitaan tulevaisuudessa uusia vedenkäsittelymenetelmiä, joita voidaan lisätä

esimerkiksi tertiääriseksi käsittelyksi perinteisen vedenkäsittelyprosessin jälkeen. Tällöin myös veden uudelleenkäyttö helpottuu, kun haitta-aineet saadaan tehokkaammin poistettua.

Kiertotalouden edistämisen toimenpiteitä ja niiden seurannan mittareita prosessien kehittämiseen liittyen on esitetty taulukossa 3–10.

Taulukko 3-10. Kiertotalouden edistämisen toimenpiteitä vesihuollossa ja niiden seurannan mittareita prosessien kehittämiseen liittyen

Toimenpide	Mittari / seuranta
– Tehokkaat prosessisäädöt – Kemikaalien syötön optimointi / ostaminen palveluna – Pumppaamoiden luotettavat virtaamati-dot – Jäteveden ilmastuksen optimointi – Prosessin jäteveden tasausmahdollisuuksien hyödyntäminen	– Samankokoisten ja -tyyppisten laitosten vertailu – Ilmastusenergian kulutus, happipitoisuus – Kemikaalien kulutus – Laitekohtaisen / prosessikohtaisen / koko laitoksen energiankulutuksen seuranta – Virtaamaseuranta – Omistusvesimäärien seuranta – Pumppaamoiden energiatehokkuuden tarkastelu – Puhdistustulos ja ohitusten määrä
– Prosessien suunnittelu muunneltaviksi. Esimerkiksi: 1. Suunnitellaan prosessiyksiköiden ohitusmahdollisuus käytettäväksi, kun raakaveden laatu hyvä tai useampilinjainen prosessi, jossa eri käsittely eri laatuksille vesille 2. Ei suunnitella ylisuuria jätevedenpuhdistamoita esim. kun ennustettu väestönkasvu ei olekaan toteutunut tai teollisuutta on lopettanut 3. Ei suunnitella ylisuuria pumppuja tai kompressoreja, jotka vaikeuttavat prosessin ajoa	– Prosessiveden kulutus – Prosessikemikaalien kulutus – Prosessienergian kulutus
– Biologinen fosforin poisto jätevedestä	– Saostuskemikaalin kulutus
– Kemikaalien kuljetusten ja varastoinnin optimointi vesilaitoksen toteuttamana / ostaminen palveluna (toimintavarmuus huomioiden) – Lietekuljetusten optimointi	– Kuljetuskustannusten seuranta
– Lietteiden kuivauksen optimointi	– Kuiva-ainepitoisuuden seuranta
– Jätevesien ja hulevesien eriyttäminen	– Eriytetyt viemärit (km/vuosi)
– Tapauskohtaisesti teollisuuden jätevesikuormituksen vähentäminen päästölähteellä tai hyödyntäminen jätevedenpuhdistamolla – Vaarallisten aineiden poistaminen jo päästölähteellä, jotta mahdollistetaan paremmin lietteiden hyötykäyttö	– Teollisuusjätevesien määrän ja laadun seuranta – Laaditut ja ajantasaiset teollisuusjätevesisopimukset

- Omaisuuden elinkaaren pidentäminen ennakkohuolto-ohjelmalla (sis. aktiivinen ylläpito ja kunnostus, kuten viemäreissä "possutus" tai pumppujen kunnossapito siten, että ne toimivat optimialueellaan)	- Ennakkohuolto-ohjelman laatiminen ja sen toteuttaminen
- Digitaaliset ratkaisut laitoksen elinkaaren pidentämisessä sekä huoltotoimenpiteiden ja tehokkuuden optimoimisessa	- Digitaalisten järjestelmien hyödyntämisen aste
- Verkostojen mallintaminen toimenpiteiden kohdentamiseksi	- Mallinnettujen verkostojen osuus - Kalibrointimittausten määrä
- Kuntoseuranta, korjausten ja saneerausten kohdentaminen sekä oikea-aikaisuus, korjaus vs. saneerauspäätökset - Vesihuoltolaitoksen omaisuustieto on järjestelmällisesti dokumentoitu - Pitkän aikavälin omaisuudenhallintasuunnitelman laadinta - Aluemitäus ja etäluettavat vesimittarit vuotovesien määrittämisen apuna - Kuntotutkimustulosten tiedonhallinta, tietojen analysointi	- Tutkittu verkostopituus vuosittain, tutkittujen venttiilien määrä vuosittain - Pitkän aikavälin omaisuudenhallintasuunnitelma laadittuna - Korjausten määrä - Saneerausten määrä - Vuotovesimäärä eri tilanteissa (ja arvio siitä, mikä osuus vuotovesistä aiheutuu kiinteistöiltä ja mikä verkostosta) - Putkirikkojen ja vuotovesimäärän seuranta - Vesijohtovuodoista aiheutuneet vahingot
- Kaivamattomien tekniikoiden hyödyntäminen	- Kaivamattomien tekniikoiden hyödyntäminen suhteessa aukikaivuutekniikkaan
- Vuotovesimäärien valvonta - Vuodonetsintä ja korjaus	- Vuotovesimäärät (vuotovesimäärää tukisi arvio siitä, mikä osuus vuotovesistä tulee kiinteistöiltä ja mikä verkostosta) - Vuodonetsintätoimenpiteiden määrä - Korjattujen vuotojen määrä
- Reaaliaikaisen vedenkulutuksen ja -paineen seuranta	- Paineitasojen seuranta ja seurannan lisääminen

Erityisesti vesihuoltoverkostoihin liittyviä prosessien kehittämisen kohteita ovat muun muassa vedenjakeluverkoston painetasojen ja vuotojen hallinta, hulevesien eriyttäminen, verkostojen kunnon selvittäminen ja seuranta sekä kohdennetut, oikea-aikaiset korjaukset ja saneeraukset ja tätä kautta vuotovesien määrän ja edelleen vedenjohtamisessa ja käsittelyprosesseissa käytetyn energian vähentäminen.

Viemäriverkostojen huolellisella ja riittävän aikaisessa vaiheessa tehdyllä suunnittelulla voidaan minimoida verkoston rakentamisen ja käytön muodostamia päästöjä sekä optimoida viemärointialue kokonaisuudessaan muun muassa siten, että rakentaminen ja jäteveden johtaminen kuluttavat mahdollisimman vähän energiaa. Käytännössä tämä tarkoittaa mm. kohteiden rakennettavuuden selvittämistä sekä optimointia paineviemärijärjestelmien ja gravitaatiojärjestelmien välillä. Myös saneerausmenetelmän välillä on merkitystä energiakäytön ja päästöjen kannalta. Haapakosken (2022) tekemän selvityksen mukaan pienille putkille (vesijohto DN150, jätevesiviemäri DN300) vähäpäästöisin

saneerausmenetelmä oli pitkäsuojutus ja suurille putkille (vesijohto DN400, jätevesiviemäri DN1000) aukikaivu.

Siirtoviemäreiden saneerauksen yhteydessä voitaisiin myös tarkastella, voidaanko perinteinen uppopumppaamo korvata energiatehokkaammalla paineenkorotuspumppaamalla. Paineviemäreissä myös niin kutsutun ”possutuksen” hyödyntäminen edistää kiertotaloutta. Poistamalla säännöllisesti putkiin kertyneet sakat viemäreiden kapasiteetti säilyy ja energiaa kuluu vähemmän.

Vesihuoltolaitoksen rakennusten, erityisesti pumppaamoiden, lämmitystä voidaan optimoida. Harvemmin käytössä olevien rakennusten lämpötilaa voitaisiin usein laskea, joskin kesäaikaan haasteeksi saattaa muodostua kosteus.

Vesihuollon ilmastopäästöjen vähentämisen toimenpiteitä on esitelty Vesihuollon ilmastotyökalut -hankkeen loppuraportissa (Suomen Vesilaitosyhdistys ry 2023). Jätevedenpuhdistamoiden prosessien kannalta suorat typpioksiduuli- ja metaanipäästöt ovat merkittävässä roolissa. Typpioksiduulipäästöjen ehkäisyssä tärkeässä roolissa ovat ilmastuksen säätö ja mittausten huolto ja ylläpito, sekä ylimääräisen ilmastuksen välttäminen. (Blomberg ja Kuokkanen 2022)

Kiertotalousesimerkki: Biologinen fosforin poisto (bioP)

Biologinen fosforin poisto ei menetelmänä ole Suomessa kovin yleinen, mutta muualla maailmassa on. Menetelmän avulla voidaan poistaa jätevedestä fosforia biologisesti ilman kemiallista saostusta. Menetelmällä ei kuitenkaan tyypillisesti päästä ympärivuotisesti yhtä alhaisiin jäännösfosforipitoisuuksiin (<1 mg P/l) kuin suomalaisilla jätevedenpuhdistamoilla tyypillisesti edellytetään. Biologinen fosforinpoisto edellyttää myös suurempia allastilavuuksia kuin pelkkä typenpoisto, ja jäteveden tulee sisältää riittävästi helposti käyttökelpoista hiilenlähdettä suhteessa fosforiin. Lisäksi osa sidotusta fosforista vapautuu mädätyksessä ja samalla kasvaa riski struviitin aiheuttamiin kunnossapidon haasteisiin. (Huoltovarmuusorganisaatio 2020)

Suomessa biologista fosforin poistoa käytetään osan aikaa vuodesta Huittisten puhdistamolla. Huittisten puhdistamolla olosuhteet biologiselle fosforin poistolle ovat otolliset, sillä alueella toimii useita elintarviketehtaita, joiden jätevedet sisältävät helposti hajoavaa hiiltä. (Huittisten puhdistamo 2022). Biologista fosforinpoistoa voisikin Suomessa käyttää muillakin puhdistamoilla osavuotisesti ja samalla vähentää saostuskemikaalien käyttöä.

Taulukko 3-11. Biologisen fosforin poiston positiiviset vaikutukset ja huomioitavat haasteet

Positiiviset vaikutukset	Huomioitavat haasteet
– Ei tarvitse kemiallista saostusta – Biologisesti poistetun fosforin jalostaminen lannoitteeksi on helpompaa	– Pelkällä bioP:lla ei tyypillisesti saada riittävän alhaisia jäännösfosforin pitoisuuksia

verrattuna kemiallisesti saostetun fosforin jalostamiseen	- Vaatii riittävästi allaskapasiteettia sekä tietyt prosessiolosuhteet ja jäteveden ravinnesuhteet - Osa sidotusta fosforista vapautuu mädätyksessä ja aiheuttaa kunnossapidolle haasteita
---	---

Kiertotalouksesimerkki: Lietekuljetusten optimointi

Hämeen ammattikorkeakoulu HAMK on selvittänyt keskitetyn lietteenkäsittelykonseptin määrityksen osana lietteenkuljetuksen logistiikkaa. Järkki-hankkeessa tuotetaan simulointimalli, jolla selvitetään keskitetyn lietteenkäsittelykonseptin logistista optimoimista. Hankkeessa tehdään myös elinkaarianalyysi lietteenkäsittelystä, mikä kattaa myös liete- kuljetukset. (HAMK 2022)

Hajajätevesilietteet hyötykäyttöön Itä-Lapissa -hankkeessa harvaan asuttujen alueiden sako- ja umpikaivolietteitä käsitellään karjanpidon lopettaneiden tilojen olemassa olevia lietesäiliöitä. Tavoitteena on kasvattaa haja-asutusalueen jätevesien ravinteiden kierrä- tystä sekä ehkäistä alueiden vesistöjen kuormitusta. Keräämällä sako- ja umpikaivoliet- teitä lietesäiliöihin pienennetään alueen jätevedenpuhdistamojen kuormitusta, saadaan käyttöön lannoitetta ja pystytään myös vähentämään lietteiden kuljetuksesta aiheutuvia päästöjä. (Ympäristöministeriö 2021a)

Taulukko 3-12. Lietekuljetusten optimointiin liittyvät positiiviset vaikutukset ja huomioitavat haas- teet

Positiiviset vaikutukset	Huomioitavat haasteet
- Elinkaarianalyysin myötä lietteenkul- jetusta voidaan optimoida - Haja-asutusalueilla tehostetaan ra- vinteiden kierrätystä ja ehkäistään ve- sistöjen kuormitusta, keinolannoitteita säästyy, lietteenkuljetuksen päästöt pienenevät	- Lietteiden kuljetuksen päästöt keski- tetylle lietteenkäsittelylaitokselle

Kiertotalouksesimerkki: Digitaaliset ratkaisut laitoksen elinkaaren pidentämisessä sekä huoltotoimenpiteiden ja tehokkuuden optimoimisessa

Vesilaitoksissa pystytään hyödyntämään digitaalisia ratkaisuja. Esimerkiksi jäteveden- puhdistuslaitosten optimaaliseen hallintaan on tarjolla erilaisia automaatio-, prosessin- ohjaus-, tiedonhallinta- ja energianhallintaratkaisuja. Näin esimerkiksi laitoksen energia- ja kestävyystietoja voidaan kerätä ja tunnistaa kohteita, jotka eivät toimi optimaalisesti. (Schneider Electric 2022) Tällöin pystytään nopeasti tunnistamaan ja puuttumaan kor- jaamista vaativiin kohteisiin laitoksella ja pidentämään siten laitoksen elinikää ja tehok- kuutta. Myös laitoksen turvallisuutta voidaan parantaa digitaalisilla ratkaisuilla.

Tulevaisuudessa myös erilaiset tekoälyyn liittyvät ratkaisut voivat edistää kiertotaloutta vesihuoltolaitoksilla. Esimerkiksi Lahti Aqua Oy:n viemäriverkostoon asennettiin kesällä 2022 14 IoT-pinnanmittauslaitetta. Laitteista saatava tieto siirtyy kaukovalvontajärjestelmään, josta nähdään reaaliajassa, miten viettoviemärit toiminta-alueella toimivat. Laitteiden avulla pyritään ennaltaehkäisemään viemäriverkoston häiriötilanteita. Tekoälyn avulla muutokset pystytään havaitsemaan entistä paremmin, kun tekoäly antaa hälytyksen mahdollisista poikkeamista viemäriverkostossa. Lahti Aquan jätevesipumppaamoiden toimintaa on jo aiemmin analysoitu tekoälyn voimin. Hanke on saanut rahoitusta Ympäristöministeriön vesiensuojelun tehostamisohjelmasta. (Lahti Aqua Oy 2022)

Kiertotalousesimerkki: Lietteen kuivauksen optimointi

Motiva on laatinut osana Energiatehokas vesihuoltolaitos -hanketta (2016–2018) ohjeen energiatehokkaasta lietteen kuivauksesta. Ohje sisältää muisti- ja tarkistuslistan lietteen kuivauksessa huomioitavista seikoista, kuten polymeerin käytöstä, linkojen ohjauksesta ja rejektiveden laadun vaikutuksista lietteen kuivaukseen. Ohjeen mukaan esimerkiksi HSY:n Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla linkojen ominaisenergiankulutusta vertailemalla on huomattu, että lingottavan lietteen kiintoainepitoisuus ei vaikuta merkittävästi lingon ominaisenergiankulutukseen. Energiaa voi säästää nostamalla lingottavan lietteen sakeutta. (Motiva 2018a)

Vuonna 2018 toteutetussa tutkimushankkeessa Turun seudun puhdistamo Oy:lle selvitettiin lietteen linkoukselle sopivat parametrit ja optimoitiin dekantterilinkojen toimintaa. Tutkimuksen tuloksia on tarkoitus hyödyntää kehitettävässä sovelluksessa, joka ohjaa linkojen toimintaa osittain itsenäisesti. (Aarnio 2018)

Kuivempaa lietettä on helpompi käsitellä ja hyödyntää, ja optimaalisemmalla kuivauksella puhdistamo voi säästää lietteen käsittelyn ja kuljetuksen kustannuksissa ja vähentää kuljetuksista aiheutuvia päästöjä (Aarnio 2018). On kuitenkin syytä huomioida, kuinka lietettä mahdollisesti jatkojalostetaan ja mikä on optimaalinen kuivuusaste jatkojalostuksen kannalta, jotta kuivauksessa ei tehdä turhaa työtä ja käytetä näin turhaa energiaa ja kemikaaleja.

3.3.4 Kiertotalousosaamisen ja -yhteistyön kehittäminen

Kiertotalouden toteutumiseen vaikuttaa keskeisesti kiertotalousosaaminen ja kiertotalouteen liittyvä yhteistyö. Vesihuoltolaitoksilla kiertotalousosaamisen ja siihen liittyvän yhteistyön kehittämiseksi hyvä työkalu voi olla esimerkiksi alueellinen kiertotalousstrategia ja -tiekartta. Ennen strategian laadintaa vesihuoltolaitoksilla olisi tarve tunnistaa vesihuoltolaitoksen kiertotalouden nykytila sekä kiertotaloutta tukeva jo löytyvät osaaminen ja toisaalta osaamisen puute. Osaamista tarvitaan muun muassa kiertotalouden periaatteiden tuomisesta osaksi organisaation kulttuuria ja toimintaa (ohjeet, johtaminen,

mittarit, ajattelutavat, myynti ja rahoitus) ja tuotantoprosesseja (tuotteet, operatiivinen toiminta, teknologia, data, yrityskaupat) sekä kiertotalousekosysteemin luomisessa (kumppanuudet, tuotantoketjut, takaisinottojärjestelmä). (SITRA 2022) Lisäksi kiertotalousosaamista voidaan kehittää esimerkiksi vesihuoltoalan verkostojen ja tilaisuuksien (Canemure, Hinku, Circwaste, Vesihuki) kautta, joiden avulla voidaan jakaa hyviksi todettuja käytäntöjä ja tietoa.

Kansallisen vesihuoltouudistuksen ohjelmassa todetaan, että monissa maakunnissa on syntynyt kiertotalouden tai vesiosaamisen ympärille osaamiskeskittymiä, joissa on mukana alueen kuntia, vesi-, energia- ja jätealan toimijoita, muita yrityksiä ja oppilaitoksia (Maa- ja metsätalousministeriö 2021). Suurimmalla osalla Suomen vesihuoltolaitoksista resurssit ovat melko vähäiset, mikä korostaa entisestään paitsi vesihuoltolaitosten välisen yhteistyön myös sektorirajat ylittävän yhteistyön merkitystä. Kiertotalouden edistämisen toimenpiteitä ja niiden seurannan mittareita liittyen kiertotalousosaamisen ja -yhteistyön kehittämiseen on esitetty taulukossa 3–14.

Taulukko 3-13. Kiertotalouden edistämisen toimenpiteitä vesihuollossa ja niiden seurannan mittareita kiertotalousosaamisen ja -yhteistyön kehittämiseen liittyen.

Toimenpide	Mittari / seuranta
– Henkilöstön kiertotalousosaamisen kehittäminen ja koulutus	– Kiertotalouskoulutusten määrä – Koulutettujen toimintatapojen seuranta
– Asenteiden muokkaaminen kiertotalousviestinnällä (esim. tonttijohtojen saneerausajan ajankohdan merkitys ja mitä voi laittaa viemäriin eli ns. ”pyttyviestintä”)	– Kiertotalousviestinnän määrä
– Kiertotalousvision ja -strategian suunnittelu	– Kiertotalousvisio ja -strategia laadittu
– Säännöllinen sisäinen ja ulkoinen kiertotalousviestintä	– Viestinnän määrä
– Kiertotalousyhteistyön lisääminen muiden laitosten kanssa – Pohjavesien suojelu yhdessä muiden tahojen kanssa – Osaamiskeskittymien ja yhteistyöverkostojen luominen (esim. Canemure, Hinku, Circwaste, Vesihuki) hyvien käytäntöjen jakamiseen – Ennakkoluulottoman yhteistyön, partneruuksien ja ekosysteemien luominen yli sektorirajojen – Osallistuminen maakunnalliseen sekä kunnalliseen kiertotaloustyöhön, esimerkiksi kiertotalousstrategiat ja tiekartat	– Yhteiset tutkimushankkeet, selvitykset tai muut yhteistyöprojektit ja niiden tulosten ja suositusten hyödyntäminen – Yhteistyötapaamiset, työpajat ja seminaarit (osallistuminen/järjestäminen) – Yhteishankinnat – Kuntasektorilla yhteistyön käynnistäminen eri hallintokuntien kanssa (esim. kiertotaloustyöryhmä)
– Kiinteä yhteistyö kaavoittajan kanssa järkevien vesihuoltoratkaisujen löytämiseksi jo maankäytön suunnittelussa (mm.	– Kaavojen osuus, joihin vesihuoltolaitos on osallistunut

raakavesien suojelu ja käytettävyys, raakaveden saatavuus ja vedenkäsittelytarve, verkostopituudet, pumppauksen tarve, väliaikaisten ratkaisujen tarve	
– Kiertotalouskriteerit hankinnoissa ja kilpailutuksissa, markkinavuoropuhelut	– Kiertotalouskriteerit otettu osaksi hankintoja ja kilpailutusta
– Palvelullistaminen	– Investointihankkeissa tehtyjen palvelustovaihtoehtojen selvitysten määrä
– Keskitetty jatkojalostus (kehitetty esim. luvussa 3.3.1 mainitussa RAVITA-hankkeessa)	– Yhteistyöhankkeiden määrä
– Kiertotalouden mittareiden määrittelemisen ja seuraaminen	– Kiertotalouden mittarit määritetty ja otettu käyttöön

Kiertotalousesimerkki: Kiertotalouskriteerit hankinnoissa ja kilpailutuksissa

Lietteenkäsittelyn hankinnan ympäristökriteereitä kehitettiin ja käytettiin Turun seudun puhdistamo Oy:lla 2015–2016. Lietteenkäsittelyhankinnan tavoitteena oli hankkia lietteen hyödyntämispalvelu kustannustehokkaasti. Hankkeessa huomioitiin ympäristövaikutukset ja kiertotalous. Samalla luotiin uusi esimerkkimalli lietteenkäsittelypalveluhankinnalle. Kilpailutusvaiheessa tarjouksia vertailtiin pisteyttämällä laadullisia tekijöitä energiataseen ja CO₂-päästöjen perusteella. Hankinnan kehitysvaihe kesti työryhmältä 9 kk ja varsinainen hankintaprosessi kesti lähes vuoden, mutta hankinnan perusteellisen suunnittelun todettiin kannattaneen. (Turun seudun puhdistamo Oy 2017)

CIRCulT (Circular Construction In Regenerative Cities) -hankkeessa tavoitteena on kehittää kiertotalouskriteerejä rakentamisen hankinnan tueksi. Hankeessa järjestettiin sarja keskustelutilaisuuksia, joissa oli mahdollista esittää näkemyksiä tarvittavista kiertotalouskriteereistä liittyen purkuhankkeisiin, peruskorjaushankkeisiin ja uudisrakentamiseen. Hankkeessa on muun muassa pohdittu rakennusosien uudelleenkäytön mahdollisuuksia, rakennusten elinkaaren pidentämisen mahdollisuuksia ja joustavaa rakentamista sekä kehitetty rakentamisen kiertotalousalustaa. Rakentamisen kiertotalousalustaa tulee sisältämään mm. tietoa seudullisista/ kaupunkikohtaisista kiertotalousindikaattoreista sekä rakentamisen kiertotalouswikin. (HSY 2022b)

Kestävien kaupunginosien kumppanuusmalli -hankkeessa (Kieppi) haettiin uusia ratkaisuja kaupunkien ja kaupunginosien kiertotalouden kehittämiseen. Hankkeen toimialueina olivat Espoossa sijaitseva Keran kaupunginosa, Turussa sijaitseva Tiedepuiston alue sekä Tampereella sijaitseva Hiedanrannan kaupunginosa. KIEPPI-hankkeessa tuotettiin kiertotalouden kumppanuusmalli ja pilotoitiin kierto- ja jakamistalouden palveluja yhdessä yritysten kanssa. Kumppanuusmallin on tarkoitus toimia työkaluna siihen, miten kaupungit, yritykset ja tutkimusorganisaatiot pystyisivät tekemään paremmin yhteistyötä kiertotalouden tavoitteiden saavuttamiseksi. (6Aika 2021) Tampereella hankkeen

yhteydessä kehitettiin ensimmäistä kertaa Suomessa kiertotalouden mukaiset hankintakriteerit ja -menettelyt infrarakentamiseen. Hankintakriteerejä testattiin vuonna 2021 alkaneeissa Yliopistokadun saneeraushankinnassa. Hankinnan toteuttajaksi valikoitui kiertotaloustavoitteiltaan kunnianhimoisin ja kokonaistaloudellisesti edullisin palveluntuottaja. Urakoitsijoiden mukaan kriteerit olivat toimivia ja helppokäyttöisiä ja monistettavaksi hyvin myös muihin kohteisiin (Tuukkanen, Halonen 2021)

Taulukko 3-14. Kiertotalouskriteerit hankinnoissa ja kilpailutuksessa, positiiviset vaikutukset ja huomioitavat haasteet

Positiiviset vaikutukset	Huomioitavat haasteet
– Kiertotalouden laaja hyödyntäminen rakennushankkeissa ja jätevedenpuhdistuksessa – Osallistetaan toimijoita jo ennen kilpailutusta mm. markkinavuoropuheluiden kautta	– Uudenlaisten hankemallien muodostaminen on aikaa vievää – Kilpailutuksessa erilaisia prosesseja voi olla haastavaa vertailla. Tähän ratkaisuna: kilpailutuskriteereinä voidaan käyttää myös erilaisia kiertotalouskriteereitä

Kiertotalousesimerkki: Kiertotalousvision ja -strategian suunnittelu

Valtioneuvosto teki vuonna 2021 periaatepäätöksen kiertotalouden strategisesta ohjelmasta, jonka tavoitteena on talouden perustan luominen kiertotalouden ympärille ja Suomen muuttaminen hiilineutraaliksi kiertotalousyhteiskunnaksi vuoteen 2035 mennessä. Ohjelman visio on ”Suomi 2035: Hiilineutraali kiertotalousyhteiskunta on menestyvän taloutemme perusta”, ja sen tavoitteina on muun muassa uusiutumattomien luonnonvarojen kulutuksen vähentäminen sekä materiaalien kiertotalousasteen kaksinkertaistaminen. (Ympäristöministeriö 2021b) Suomen kansallisen kiertotalousohjelman jalkauttamiseksi lukuisat Suomen kunnat ja kaupungit ovat jo laatineet kiertotalousstrategioita ja tiekarttoja. Parhaimmillaan nämä huomioidaan myös kuntastrategiassa. Vesihuollon toimijoiden olisi hyvä pyrkiä kunnalliseen kiertotaloustyöhön mukaan, jotta tavoitteisiin ja toimenpiteisiin saataisiin mukaan myös vesihuollon näkemyksiä sekä lisättyä kaupungin tai kunnan sisäistä yhteistyötä eri toimialojen välillä.

Kunnalliseen kiertotaloustyöhön osallistumisen lisäksi tai vaihtoehtona vesihuollon toimijoiden olisi hyvä miettiä omia oman toiminnan kannalta oleellisia kiertotaloustavoitteita ja toimenpiteitä. Sitran julkaisun (Sitra, 2022) mukaan yrityksillä on kaksi keinoa lähestyä kiertotaloutta:

- 1) Nopeat kokeilut, pilotoinnit ja validointi – Menetelmä kertoo, tuottaako idea lisäarvoa, ovatko asiakkaat valmiita maksamaan siitä, ja onko sinulla kapasiteettia ratkaisun toteuttamiseen.

- 2) Kiertotalous osaksi yrityksen strategiaa – Sisältää kunnianhimoisen vision ja tiekartan (tavoitteet ja toimenpiteet), jonka avulla visiosta voidaan tehdä totta.

Alla on esitetty havainnollistavat esimerkit kierrotalouden tiekarttatyön prosessista (Kuva 3-3), kokonaisuuden koostekuvasta (Kuva 3-4) sekä toimenpidekortista (Taulukko 3-16), joita voi käyttää oman sisäisen kierrotalouden kehitystyön pohjana.



Kuva 3-3 Esimerkkikuva kierrotalouden tiekarttatyön prosessin vaiheistuksesta (AFRYn näkemys).



Kuva 3-4 Esimerkkikuva kierrotalouden tiekartan kokonaisuudesta sisältäen vision, painopistealueet sekä niihin liittyvät tavoitteet ja toimenpiteet (AFRYn näkemys).

Taulukko 3-15. Esimerkki kierrotalouden tiekartan toimenpidekortista potentiaaliselle painopistealueelle.

Painopistealue 1: Resurssikierrat			
Tavoite/päämäärä: Materiaali- ja resurssivirtojen tehokkaampi hyödyntäminen, uudelleenkäyttö ja kierrättäminen			
Toimenpide	Aikataulu	Vastuutaho	Mittari/Seuranta
Toimenpide 1			
Toimenpide 2			
Toimenpide 3			

Hyvän vesihuollon kriteeristöä löytyy monia kiertotalouden mittareiden määrittämiseen liittyviä hyviä käytäntöjä. Vesihuoltolaitoksen toimiessa kestävän ja kehittyvän vesihuollon kriteeristön mukaisesti, tulee laitoksen määrittää ja seurata monia eri kiertotalouteen liittyviä asioita, kuten esimerkiksi jätevesiverkoston vuotovesiprosenttia, sekaviemäröinnin osuutta, energiankulutusta sekä omavaraisuutta. (Suomen Vesilaitosyhdistys ry 2021c)

Kiertotalouksesimerkki: Kiertotalouden oppien jakaminen

Vuosien 2022–2023 tullaan perustamaan vesihukiverkosto osana SYKE:n Vesihuollon hiilineutraalisuuden ja kiertotalouden edistämishanketta (Vesihuki). Hankkeessa koostetaan kokemuksia kiertotaloussratkaisuista ja hiilijalanjälkilaskelmista, sekä luodaan foorumi, jossa laitokset voivat jakaa ajatuksia hiilineutraalista kiertotaloudesta sekä saada vertaistukea. Vesihukiverkosto kokoaa yhteen vesihuoltolaitokset sekä kuntatoimijat. Vesihukiverkostossa osallisten kokemukset ja opit hiilineutraalista kiertotaloudesta pyritään jakamaan myös yleiseen tietoisuuteen esimerkiksi erilaisten tapahtumien avulla. Vesihuki hankkeessa pilottikohteita ovat Kymen Vesi, Kouvolan vesi, Joensuun Vesi Tampereen Vesi. (SYKE 2022)

Muita kiertotaloutta edistäviä verkostoja ja tiedonjakoon tähtääviä hankkeita ovat esimerkiksi Hinku-verkosto, Canemure-hanke ja Circwaste-hanke. Hinku-verkosto on tarkoitettu ilmastonmuutoksen hillinnän edelläkävijöille tiedonjakoon, verkostoitumiseen ja yhteistyöhön (Hiilineutraali Suomi. 2022). Canemure-hankkeessa tuetaan Hinku-verkostoa sekä muun muassa luodaan alueellisia yhteistyöverkkoja sekä asiantuntijaverkostoja hyvien käytäntöjen tiedottamiseksi ja käytäntöön saattamiseksi (Hiilineutraali Suomi. 2021). Circwaste-hankkeen tavoite on ohjata Suomea kohti kiertotaloutta ja toteuttaa kansallista jätesuunnitelmaa. Hankkeen sisältämien eri pilottihankkeiden lisäksi Circwaste-hanke mahdollistaa yhteistyötä eri alueiden sidosryhmien kesken sekä edistää tiedonjakoa tarjoamalla asiantuntijapalveluita kiertotalouteen liittyen. (Materiaalit kierto 2022)

Taulukko 3-16. Kiertotalouden oppien jakamiseen liittyvät positiiviset vaikutukset ja huomioitavat haasteet

Positiiviset vaikutukset	Huomioitavat haasteet
– Kiertotalousskokemusten kokoaminen ja jakaminen verkostolle – Vesihuoltolaitosten ja kuntatoimijoiden yhteinen foorumi tiedonjakoon – Päästölaskentatyökalun hyödyntäminen päästövähennystoimenpiteiden vaikuttavuuden arviointiin	– Päästölaskentatyökalun antamat tulokset eivät ole tarkkoja vaan suuntaa antavia – Hankkeen päättymisen vaikutukset vesihuoltolaitosten ja kuntatoimijoiden foorumin ylläpitoon

3.3.5 Toimenpiteiden vaikuttavuus

Vesihuoltolaitosten palvelu on keskenään lähes identtistä. Palvelujen tuottamisen pääpiirteet ovat myös monessa suhteessa samanlaiset, mutta laitosten käsittelemien vesien ja jätevesien määrät ja laadut vaihteluineen, yhdyskuntarakenne, etäisyydet, maastonmuodot ja maaperä yhdessä käytettävissä olevien vesivarojen ja laitosten historiassa tehtyjen päätösten kanssa vaikuttavat muun muassa siihen, millaiset kiertotaloutta edistävät toimenpiteet ja missä järjestyksessä soveltuvat kullekin vesihuoltolaitokselle. Tämän vuoksi kaikille vesihuoltolaitoksille ei sovellu samanlainen kiertotalouden tiekartta, vaan se on laadittava kunkin laitoksen lähtökohtiin sopivaksi, esimerkiksi tässä raportissa esitettyjen toimenpiteiden pohjalta.

Kokonaisuuden kannalta on tärkeä panostaa erityisesti niihin toimenpiteisiin, joilla on isoin vaikutus kestäväen kehityksen toteutumiseen. Tämän lisäksi kannattaa osallistaa koko henkilöstö eri tehtävissä vesihuoltolaitoksen kiertotaloustavoitteisiin, jotta kiertotalousajattelu näkyy kaikessa tekemisessä ja koko henkilöstön osaaminen on kiertotalouden edistämisen tukena.

Toimenpiteiden fokusoinnin ensivaiheen yksinkertainen peukalosääntö on se, että siellä missä käytetään paljon esimerkiksi energiaa, kemikaaleja, materiaalia tai rahaa kannattaa ottaa ensivaiheessa kehittämisen kohteeksi. Monien asioiden osalta esimerkiksi taloudellinen ajattelu on ohjannut jo nyt kiertotalouden mukaisiin ratkaisuihin, mutta raha ohjaa toimintaa myös kiertotalouden kannalta väärin.

Uutta rakennettaessa tai hankittaessa on luonnollinen hetki harkita mahdollisuutta toteuttaa kiertotaloutta aiempaa paremmin. Soveltuvia tapoja toteuttaa kiertotaloutta voi löytyä vanhan korjaamisesta, laitteen hankkimisesta palveluna, kierrätettyjen raaka-aineiden tai tuotteiden hyödyntämisestä tai koko prosessin uudelleensuunnittelusta kiertotalouden mukaiseksi.

4 HANKKEEN VAIKUTTAVUUSARVIOINTI

4.1 VESIHUOLLON KIERTOTALOUDEN EDISTÄMISEN VAIKUTTAVUUS YK:N KESTÄVÄN KEHITYKSEN TAVOITTEISIIN

Hankkeen vaikuttavuutta YK:n kestävä kehityksen tavoitteiden toteutumisen edistämiseksi arvioitiin hyödyntämällä AFRYn kehittämää Sustainability Scanning -työkalua. Sustainability Scanning -työkalussa käytiin läpi kaikki YK:n kestävä kehityksen tavoitteet alatavoitteineen, ja arvioitiin, millainen vaikuttavuus hankkeella on näiden tavoitteiden toteuttamisen edistämiseksi. Arvioinnin lopputuloksena työkaluun muodostuu koostekuvana ympyräkaavio. Mitä suurempi vaikuttavuus hankkeella on YK:n kestävä kehityksen tavoitteeseen, sitä suurempi palkki ympyräkaavion muodostuu.

Kiertotalous vesihuollossa -hankkeen vaikuttavuusarviointi osoitti, että vaikutuksia oli useisiin YK:n kestävä kehityksen tavoitteisiin. Seuraavassa kuvassa (4-1) on esitetty vaikuttavuusarvioinnin tulokset ja taulukossa (4-1) on esitetty tavoitteet ja tiiviit perustelut vaikutusten arvioinnille.



Kuva 4-1. Kiertotalous vesihuollossa -hankkeen vaikuttavuusarvioinnin tulokset.

Taulukko 4-1. Kestävän kehityksen tavoitteet, joihin vesihuollon kiertotaloustoimenpiteillä on vaikutuksia.

Merkittävät vaikutukset	Selite
Kestävän kehityksen tavoite 6: Puhdas vesi ja sanitaatio	Talousveden saatavuus, sanitaatio, terveysvaikutukset, veden käyttö tuotantolaitoksissa ja prosesseissa, veden elinkaari
Kestävän kehityksen tavoite 12: Vastuullista kuluttamista	Vastuullinen vedenotto ja jätteiden käsittely
Kestävän kehityksen tavoite 14: Vedenalainen elämä	Vastuullinen vedenotto, vesistöpäästöjen minimointi
Kestävän kehityksen tavoite 15: Maanpäällinen elämä	Vaikutukset maankäyttöön, maa- ja vesistöpäästöihin, raakavedenotto
Muut vaikutukset	Selite
Kestävän kehityksen tavoite 3: Terveysttä ja hyvinvointia	Sanitaatio, vesivälitteiset taudit
Kestävän kehityksen tavoite 7: Edullista ja puhdasta energiaa	Lietteestä bioenergiaa/-kaasua, lämmön talteenotto
Kestävän kehityksen tavoite 9: Kestävää teollisuutta, innovaatiota ja infrastruktuureja	Vaikutus infrastruktuuriin, kiertotalousinnovaatiot
Kestävän kehityksen tavoite 11: Kestävät kaupungit ja yhteisöt	Turvallinen ja kestävä vesihuolto
Kestävän kehityksen tavoite 13: Ilmastotekoja	Vaikutus hiilijalanjälkeen
Kestävän kehityksen tavoite 17: Yhteistyö ja kumppanuus	Yhteistyömahdollisuudet
Ei vaikutusta	
Kestävän kehityksen tavoite 1: Ei köyhyyttä	
Kestävän kehityksen tavoite 2: Ei nälkää	
Kestävän kehityksen tavoite 4: Hyvä koulutus	
Kestävän kehityksen tavoite 5: Sukupuolten tasa-arvo	
Kestävän kehityksen tavoite 8: Ihmisarvioista työtä ja talouskasvua	
Kestävän kehityksen tavoite 10: Eriarvoisuuden vähentäminen	
Kestävän kehityksen tavoite 16: Rauha, oikeudenmukaisuus ja hyvä hallinto	

Vesihuollon kiertotalouden edistämisen suurimmat vaikutukset kohdistuvat YK:n tavoitteisiin, joilla pyritään vaikuttamaan veden saantiin ja käyttöön (SDG 6), vastuulliseen kuluttamiseen ja tuotantoon (SDG 12) sekä vesivaroihin (SDG 14) ja maankäyttöön (SDG 15). Vesihuoltolaitokset tekevät asukkaiden puolesta merkittävimmät aloitteet ja ratkaisut koskien yhdyskuntien vesivarojen käyttöä ja niiden vastuullista käyttämistä. Lisäksi myös kestävä maankäyttö on olennaista vesihuoltolaitosten toiminnassa esimerkiksi verkostojen kannalta. Vesihuoltolaitokset vastaavat kokonaisuudessaan talousveden saatavuudesta, sanitaatiosta ja veden elinkaaresta. Talousveden saatavuus on yhteiskunnan toiminnan kannalta merkittävää, sillä vesihuoltolaitokset varmistavat niin yksittäisten ihmisten kuin myös tuotantolaitosten ja -prosessien veden käytön. Vesihuoltolaitoksilla on myös vastuullinen tehtävä varmistua siitä, että vedenhankinta on toteutettu

kestävästi ja että vesivarat ovat riittävät. Veden käsittelyn ja sanitaation avulla varmistetaan, ettei veden käytöstä aiheudu terveysvaikutuksia. Maankäytön kannalta vesihuoltolaitoksilla on olennainen tehtävä varmistua siitä, että vedenjakelussa käytettävät verkostot ovat kunnossa.

Muita vaikutuksia hankkeella nähdään olevan tavoitteisiin, joilla pyritään vaikuttamaan muun muassa terveyteen ja hyvinvointiin, kaupunkien ja yhteisöjen kestävyys- ja yhteistyöhön ja ilmastotekoihin. Terveyteen ja hyvinvointiin liittyen vesihuoltolaitokset ovat merkittävässä asemassa vaikuttaessaan veden puhtauteen ja turvallisuuteen. Vesihuoltolaitokset ovat vastuussa siitä, ettei veden kautta pääse leviämään esimerkiksi vesivälitteisiä tauteja. Vesihuoltolaitokset osaltaan voivat vaikuttaa myös energiantuotantoon ja sen puhtauteen. Jätevedenkäsittelyprosessissa muodostuu lietettä, jota jo nykyhetkelläkin hyödynnetään bioenergian- ja -kaasuntuotannossa. Tällaiset toimintatavat edistävät kiertotaloutta ja luovat kestävämpiä tapoja hyödyntää jo olemassa olevia materiaaleja ja sivuvirtoja. Vesihuoltolaitokset ovat myös olennainen osa kaupunkien infrastruktuuria ja varmistavat kestävä vesihuollon paikallisesti. Vesihuoltolaitokset toimivat jo nykyiselläänkin yhteistyössä eri kaupunkien kanssa, mutta toiminnan kehittämiseksi yhteistyön vahvistaminen ja lisääminen myös muidenkin tahojen ja toimijoiden kanssa voisivat tuoda uusia mahdollisuuksia erityisesti kiertotalousnäkökulmasta.

Vaikuttavuusarvioinnissa hankkeella ei nähty olevan vaikutusta edellisessä taulukossa (Taulukko 4-1) esitettyihin kestävä kehityksen tavoitteisiin. Vesihuoltolaitosten toiminnan keskittyessä pääasiassa veden hankintaan, jakeluun ja käsittelyyn, ei kaikkiin YK:n kestävä kehityksen tavoitteisiin ole hankkeella vaikutusta. YK:n kestävä kehityksen tavoitteiden osalta on syytä myös huomata, että tavoitteet on laadittu globaalilla tasolla, joten tästä syystä kaikki tavoitteet eivät sovellu Suomeen yleiselläkään tasolla. Vesihuollon kiertotalouden edistämisen ei ole havaittu vaikuttavan köyhyyden tai nälänhädän vähentämiseen eikä koulutuksen edistämiseen. Soveltuvia YK:n tavoitteita tai alatavoitteita tämän hankkeen vaikuttavuuden osalta ei tunnistettu olevan myöskään koulutuksen, sukupuolten tasa-arvon, ihmisarvoisen työn tai rauhan, oikeudenmukaisuuden ja hyvän hallinnon tavoitteiden osalta.

4.2 VESIHUOLLON KIERTOTALOUSYMPÄRISTÖN PESTLE-ANALYYSI

PESTLE-analyysin avulla voidaan tarkastella laajasti eri toimintaympäristöissä tapahtuvia muutoksia ja trendejä sisältäen Poliittiset, taloudelliset (Economic), Sosiaaliset, Teknologiset, Lainsäädännölliset ja Ekologiset näkökulmat. Analyysiä käytetään yleensä paljon muun muassa liiketoiminnan kehittämisessä sekä uusien liiketoimintojen etsimisessä, mutta sitä voidaan hyödyntää myös hankkeen vaikuttavuuden arviointiin. Vaikuttavuudessa on kyse arvoketjun loppupäästä, toiminnan ja toimijoiden tuottamista muutoksista, lisäarvosta ja yhteiskunnallisesta hyödystä. Lisäksi vaikuttavuuden arvioinnissa

otetaan huomioon tulosten skaalautuvuus laajemmalle sekä merkittävyys yhteistyön ja kiertotalouden mukaisten ekosysteemien muodostumiseen alueellisesti ja kansallisesti. Taulukossa (Taulukko 4-2) on esitetty PESTLE-analyysissä tarkasteltava sisältö ja siihen on koostettu PESTLE-analyysi hankkeen vaikuttavuudesta analyysin sisältämien näkökulmien kannalta.

Taulukko 4-2. PESTLE-analyysin tulokset

Näkökulma	Tulokset
POLIITTINEN <i>Poliittiset näkökulmat ja tavoitteet</i>	Kiertotaloutta edistetään poliittisilla ohjauskeinoilla ja kannusteilla muun muassa kansallisella ja kansainvälisellä tasolla, joihin kuuluu muun muassa Suomen kansalliset strategiat, EU:n Green Deal -ohjelma ja kiertotalouden toimintasuunnitelma.
TALOUELLINEN <i>Yleinen taloustilanne ja sen kehityssuunta, talouden suhdanteet</i>	Yleinen taloustilanne ja sen kehityssuunta sekä talouden suhdanteet vaikuttavat kiertotalouden edistymiseen. Lisäksi yleisesti taloustilanteeseen vaikuttaa heikentävästi sekä luo epävarmuutta myös globaalit kriisit ja ennustamattomat tapahtumat, kuten COVID-19 ja Venäjän hyökkäys Ukrainaan. Kiertotalouden edistämiseen on saatavilla taloudellisia kannustimia, tukia ja rahoituksia.
SOSIAALINEN <i>Sosiaaliset vaikutteet, trendit, ajatusmallit, käytänteet ja tavat</i>	Kunnan ja yritysten panostus kiertotalouteen tuo sosiaalista vastuullisuusteemaa esille, ja samalla voi vaikuttaa kunnan/yrityksen imagoon ja brändiin positiivisesti. Ihmiset ovat yhä ympäristöietoisempia ja vaativat vastuullisuutta, mutta toisaalta hintatasolla on kuitenkin yhä merkittävä vaikutus markkinoihin. Lisäksi sosiaalisena teema on nähty ns. Nimby-ilmiö ("Not in my backyard"), eli usein kierrätysmateriaalien käyttö esimerkiksi rakentamisessa voi aiheuttaa julkista vastustusta.
TEKNOLOGINEN <i>Teknologian kehitys, ratkaisut, uudet mahdolliset tekniikat</i>	Uusia teknologioita kehitetään jatkuvasti liittyen kiertotalouteen, sivuvirtojen käsittelyyn sekä online-analytiikkaan ja sen kehittymiseen. Jatkuva teknologian kehitys sekä uudet mahdolliset tekniikat ja ratkaisut edistävät kiertotaloutta, esimerkiksi arvoaineiden talteenotto jätevesivirroista ja hukkalämmöntalteenoton kehittymisen. Lisäksi uusia mahdollisuuksia tuovat tekoälyn ja digitalisaation hyödyntäminen operoinnissa, digitaalinen kaksonen sekä etäseuranta ja -ohjaus. Vedenkäsittelymenetelmien kehittyminen erityisesti uudentyypisten haitta-aineiden poistoon mahdollistaen paremmin veden uudelleenkäytön.
LAINSÄÄDÄNTÖ <i>Säädökset, lakien asettamat rajoitteet ja mahdollisuudet</i>	Kiertotalouden kehitystä edistetään lainsäädännöllä, mm. jätelain uudistus, lannoitelaki ja -asetukset, MARA-asetus, End-of-waste, REACH-rekisteröinti, ympäristönsuojelulaki. Lainsäädännön asetukset ja säädökset asettavat kiertotaloustoiminnalle tietyt rajoitteet, mutta myös mahdollistavat kiertotalouden toteutumista.
EKOLOGINEN <i>Ympäristölliset aiheet: ilmastomuutos ja siihen voimakkaasti vaikuttavat tekijät, julkinen keskustelu aiheesta</i>	Kiertotalouden edistämiseen vaikuttaa monet ympäristölliset aiheet, joita ovat mm. vähenevät luonnonvarat, ilmastomuutos ja siihen vaikuttavat tekijät. Lisäksi julkinen keskustelu on nostanut ympäristönäkökulmaa suuresti esille. Kiertotalouden periaatteet ja liiketoimintamallien hyödyntäminen auttavat siirtymisessä kohti hiilineutraalia yhteiskuntaa ja ilmastotavoitteita.

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Kestävyysskriisi on osoittanut, että yhteiskunnan on siirryttävä kohti kestävämpiä talouden toimintamalleja. Maa- ja metsätalousministeriö (2021) ja Suomen Vesilaitosyhdistys ry. (2021) ovat linjanneet, että vesihuollon tulisi siirtyä etujoukoissa kiertotalouden vahvaksi osaajaksi. Käytännön tasolla tämä tarkoittaisi esimerkiksi sitä, että energia- ja resurssitehokkuuden mahdollisuudet olisivat keskeinen osa vesihuoltolaitosten strategista kehittämistä. Vaikka kokonaisuudessaan kiertotaloudessa on kyse perustavanlaatuisesta muutoksesta yhteiskunnan toiminnoissa, ovat vesihuoltolaitokset toteuttaneet kiertotalouteen liittyviä toimenpiteitä – mahdollisesti tietämättäänkin – menestyksellisesti jo pitkään.

Tämä työ on laadittu vesihuollon kiertotalouden edistämiseksi. Tavoitteena on, että vesihuoltolaitokset saavat lisää tietoa merkittävimmistä kiertotalouden muutospaineista ja ymmärtävät paremmin vesihuoltolaitostoiminnan merkittävyyden kiertotalouden edistämiseksi. Merkittävimmät konkreettiset toimenpide-ehdotukset kiertotalouden edistämiseksi vesihuollossa laadittiin seuraavien teemakokonaisuuksien ympärille:

1. Materiaali- ja ravinnekierrot
2. Energiankäyttö
3. Prosessien kehittäminen
4. Kiertotalousosaamisen ja -yhteistyön kehittäminen

Teemakokonaisuuksien läpileikkaavana teemana on digitalisaation hyödyntäminen prosessien kehittämisessä ja optimoinnissa.

Globaalilla tasolla kiertotaloudesta uskotaan löytyvät ratkaisuja vesikriisiin. Nämä ratkaisut kohdistuvat sekä veden määrään (vesiniukkuus, vesivarojen ylikulutus) että laatuun (pinta- ja pohjavesien laadun heikkeneminen). Toisaalta kiertotalouden mukaisista ratkaisuista ei saisi myöskään aiheutua uusia, vesiin, vesivaroihin ja vesiekosysteemeihin kohdistuvia haittoja.

Kaikilla vesihuollon osa-alueilla: vedenhankinnassa ja vedenkäsittelyssä, talousveden johtamisessa, viemäroinnissä sekä jäteveden ja lietteen käsittelyssä on mahdollista soveltaa kiertotalouden periaatteita. Jo talousveden hankinnassa ja käsittelyssä tulee ottaa huomioon ekosysteemistä otettavan veden määrä suhteessa vesivarantoihin. Vedenoton ei pitäisi ylittää vesivarojen uusiutumismopeutta tai heikentää sen laatua. Talousveden käsittelyssä kiertotaloutta voi edistää esimerkiksi hyödyntäen raakaveden potentiaalienergiaa ja talousvesihuollon jätevirtoja materiaalina, kemikaalien syötön optimoinnilla, kalkkiveden korvaamisella kalkkikivisuodatuksella sekä muunneltavien prosessien suunnittelulla. Kiertotalouden kannalta myös vesilähteen laadulla ja sen etäisyydellä kulutukseen on merkitystä. Pintavettä joudutaan käsittelemään pohjavettä ja

tekopohjavettä enemmän. Usein tokikin vettä on otettava sieltä, missä sitä on tarjolla eikä valintaa voida tehdä esimerkiksi pelkän etäisyyden tai käsittelykustannusten vuoksi.

Kiertotaloudessa kaihdetaan materiaalien, ravinteiden ja muidenkin resurssien kertakäyttöisyyttä. Kertakäyttöisyyden sijaan materiaaleja, ravinteita ja muita resursseja pyritään ottamaan tehokkaasti uusiokäyttöön ja vahvistamaan kierrätysmarkkinoita. Materiaali-kiertojen ensisijainen tarkoitus on ehkäistä ja vähentää kulutusta sekä jätteen määrää. Myös jätehuollon etusijajärjestyksen mukaisesti on ensisijaisesti minimoitava jätteen määrää ja haitallisuutta, lisättävä jätteen uusiokäyttöä materiaalina ja hyödyntämistä raaka-aineena, jätteen ohjaamista toissijaisesti energiahyödyntämiseen ja viimeisenä loppusijoitettavaksi. Tämän vuoksi kiertotaloudessa panostetaan innovaatioihin ja investointeihin, jotka vievät jätteettömyyttä eteenpäin.

Materiaali- ja ravinnekiertoilla on suuri merkitys erityisesti vesihuoltorakenteiden suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa sekä jäteveden ja lietteen käsittelyssä. Myös suunnitellulla voidaan vaikuttaa merkittävästi materiaali- ja ravinnekiertoon sekä energiankulutukseen. Viime vuosina markkinoille on tullut uudenlaisia putkimateriaaleja, jotka on valmistettu esimerkiksi uusiutuvia raaka-aineita sekä kierrätysmateriaaleja käyttäen. Materiaaleja valittaessa olisi hyvä ottaa huomioon myös esimerkiksi rakenteiden ja prosessien huollettavuus ja korjattavuus koko niiden elinkaaren ajan sekä käytettävien materiaalien eroteltavuus ja pitkäikäisyys. Rakentamisvaiheessa kiertotaloutta voidaan edistää myös materiaalivirtojen, kuten maamassojen, hallinnan kautta. Neitseellisten maamassojen sijasta voidaan hyödyntää jo käytössä olevaa, kierrätettyä maamassaa tai jostain muusta prosessista jääviä sivuvirtoja, kuten tuhkaa voidaan hyödyntää rakentamisessa. Koska etenkin verkostorakenteiden kestävyys on vesihuollon kannalta keskeistä, tarvittaisiin lisää tutkimusta kierrätysmateriaalien ja maamassojen pitkäikäisyydestä ja kestävyydestä. Tärkeä kysymys koskee myös tapaa jättää vanhat vesihuoltoverkostot maan alle, kun ne korvataan uusilla verkostoilla. Joissain tapauksissa vanhojen verkostojen poistaminen on välttämätöntä, mutta toisaalta energiaa verkostojen poistamiseen saattaa kulu runsaasti.

Vesihuoltoverkostoja rakennetaan pääsääntöisesti kestäväksi hyvin pitkiä aikoja. Ennen pitkään kaikki verkostot tulevat kuitenkin käyttöikänsä päähän, jolloin ne on tarpeen saneerata. Kiertotalouden näkökulmasta tärkeää on arvioida verkostosaneerausten tarpeellisuus ja kohdentaa saneeraus mahdollisimman tarkoituksenmukaisesti ja oikea-aikaisesti.

Jäteveden ja lietteen ravinteiden talteenotolla nähdään olevan nykyistä suurempaa kiertotalouspotentiaalia. Markkinoiden edistämiseksi haasteita tuovat muun muassa huono hintakilpailukyky suhteessa mineraalilannoitteisiin, kierrätyslannoitteiden tuotannon kannattavuus sekä kehitystarpeet valmistusteknologiassa ja tuotteiden optimoinnissa. (Ravinnekierto2030 2022)

Ravinteiden talteenoton lisäksi kiertotaloutta voidaan edistää esikäsittelmällä jätevettä paikoissa, joissa jäteveden laatu on asumajätevesistä poikkeavaa. Useilla teollisuuslaitoksilla onkin jo jäteveden esikäsittelylaitos, jossa haitallisia aineita poistetaan energiatehokkaammin lähellä päästölähdettä. Teollisuuslaitosten lisäksi esikäsittelyä voidaan hyödyntää esimerkiksi sairaaloissa, joissa lääkeaineiden pitoisuus jätevedessä on suuri. Esikäsittelyllä puhdistettavan erityisesti vaarallisten aineiden volyymi vähenee kunnallisilla jätevedenpuhdistamoilla. Esikäsittelylaitoksilla puhdistus- ja talteenottoteknologia voidaan myös paremmin kohdentaa jäteveden erityispiirteiden mukaan sopivaksi. (SYKE 2017)

Kiertotalouden periaatteiden mukaisesti vesi tulisi nähdä arvokkaana resurssina. Jätevesi tulisi pyrkiä palauttamaan kiertoon siten, että siitä olisi mahdollisimman vähän haittaa ympäröivälle ekosysteemille. Ympäristön kannalta käsitelty jätevedet on yleensä parempi purkaa suurempiin vesistöihin, jolloin ravinteiden ja muiden aineiden pitoisuus aiheuttaa vähemmän haittaa ympäristölle. Niillä alueilla, joissa on pulaa vesivarannoista, vaihtoehtona on jätevedenuudelleenkäyttö sille asetettujen vaatimusten mukaisesti. Nykytilanteessa jäteveden uudelleenkäytön ei nähdä olevan merkittävässä roolissa Suomessa, mutta sen merkitys voi lisääntyä tulevaisuudessa. Erilaisia käyttökohteita puhdistetulle jätevedelle ovat mm. käyttö kasteluvetenä, teollisuuden raakavetenä, pesuvetenä, sammutusvetenä, talousveden valmistukseen tai luonnon vesivarantojen täydentämiseen. Veden uudelleenkäyttö voi tarjota vaihtoehtoja olemassa oleville vesivarannoille, ja sitä voidaan käyttää parantamaan vesiturvallisuutta, kestävyyttä ja joustavuutta. (EPA, 2022)

Vesihuoltolaitosten toiminta kuluttaa merkittävästi energiaa, joten toiminnassa on toisaalta myös merkittävää energiatehokkuutta ja näin ollen kiertotaloutta edistävää potentiaalia. Energian käytön optimointi liittyy läheisesti prosessien kehittämiseen ja optimointiin. Energiankulutukseen ja -tehokkuuteen vesihuollossa vaikuttavat muun muassa valitut tekniset ratkaisut, prosessien ajotavat sekä käytettävät kemikaalit ja niiden määrät. On kuitenkin syytä ottaa huomioon, että vesihuollon energiatehokkuuteen vaikuttavat myös monet ulkopuoliset olosuhteet, kuten vesimäärien vaihtelut, vuodenaika ja lämpötila sekä puhdistusvaatimukset, joihin vesihuoltolaitoksilla ei voida juurikaan vaikuttaa. Prosessien optimointi on toisinaan haastavaa eikä vesihuoltolaitosten perustehtävä saisi unohtua energiatehokkuuden parantamisen kustannuksella. Toisin sanoen energiatehokkuus ei saa vaarantaa toimintavarmuutta.

Vesihuoltolaitoksilla, erityisesti jätevedenpuhdistamoilla, voidaan myös tuottaa energiaa. Jäteveden orgaanisesta kuormasta voidaan tuottaa mädättämällä biokaasua kattamaan jopa suurimman osan jätevedenpuhdistamon energiantarpeesta. Lähes 80 % Suomen jätevedenpuhdistamoilla syntyvästä lietteestä mädätetään (Suomen Vesilaitosyhdistys ry. 2021b). Energiaa voidaan tuottaa myös esimerkiksi aurinkovoimaloilla, joita on

lukuisilla suomalaisilla vesihuoltolaitoksilla. Lisäksi lämpöä voidaan ottaa talteen puhdistetusta jätevedestä tai esimerkiksi mädättämöltä tai kompressoreiden poistoilmasta.

Kiertotalousosaamisen ja -yhteistyön kehittäminen on nostettu keskeiseksi teemaksi kansallisen vesihuoltouudistuksen ohjelmassa (Maa- ja metsätalousministeriö 2021). Suomessa on paljon pieniä vesihuoltolaitoksia, joissa resurssit ovat vähäiset, ja siksi yhteistyön kehittäminen niin laitosten välillä kuin yli sektorirajojen on erityisen tärkeää. Yhteistyö olisi tärkeää esimerkiksi tutkimuksen saralla. Kokemuksia olisi arvokasta jakaa myös esimerkiksi kiertotalouskriteerien sisällyttämisestä vesihuoltolaitosten hankintoihin ja kilpailutukseen. Vesihuollossa voisi myös harkita palveluiden kehittämistä, joilla tuetaan asiakkaita vesiasioiden hallinnassa ja vesihukan minimoinnissa erilaisten mittaus- ja datapalvelujen avulla. Kyseisten palvelujen kehitys ja tarjoaminen myös toisille vesihuoltolaitoksille edistäisi pienikokoisten laitosten siirtymistä kohti tehokkaampaa resursien käyttöä, mikä muuten saattaisi olla haastavaa. (SYKE 2017)

Vaikka kansallisen vesihuoltouudistuksen ohjelmassa todetaan, että monissa maakunnissa on syntynyt kiertotalouden tai vesiosaamisen ympärille osaamiskeskittymiä, yhteistyötä saattaa hidastaa kokemusten ja valmiiden mallien vähäinen määrä. Etenkin vähäiset kokemukset riskien ja vastuiden jakamisesta voivat tehdä kiertotalousyhteistyökumppanuuksien vakiinnuttamisesta hankalampaa.

Kiertotalouden mukaisten toimenpiteiden toteutusta ja erilaisia kiertotalousratkaisuja tuottavien yritysten toimintaedellytyksiä on mahdollista edistää ja vauhdittaa politiikkatoimien ja ohjauskeinojen avulla. Monet vesihuoltoon liittyvät toimet ja tavoitteet, kuten ravinteiden kierrätyksen edistäminen, ovat olleet jo pitkään politiikkatavoitteita, ja niiden edistämiseksi on jo olemassa melko paljon erilaisia ohjauskeinoja niin Suomessa kuin EU-tasollakin. Tulevaisuudessa uusiutuva EU-lainsäädäntö, kuten yhdyskuntajätevesi-direktiivi, tuo mukanaan yhä tiukempia vaatimuksia liittyen myös esimerkiksi energiatehokkuuteen.

Kiertotaloudessa nähdään valtavasti potentiaalia koko vesihuoltosektorille. Kaikkien panosta tarvitaan, mutta samanlaiset toimenpiteet eivät sovellu kaikille vesihuoltolaitoksille. Tarvitaan laitoskohtaisia toimenpidesuunnitelmia tai tiekarttoja, joita on hyvä lähteä työstämään esimerkiksi tässä raportissa esitettyjen taustatietojen ja toimenpiteiden pohjalta.

6 KESKEISET TERMIT JA SANASTO

Termi	Selite
Arvoketju	Arvoketju on malli, joka kuvaa arvonmuodostusprosessia. Vesihuollon arvoketjulla tarkoitetaan koko vesihuollon ketjua eri vaiheineen.
Biodiversiteetti	Tarkoittaa elollisen luonnon monimuotoisuutta, joka turvaa elämän edellytykset maapallolla. (Sitra 2022)
Energiatehokkuus	Energiatehokkuus tarkoittaa energian käytön tehokkuuden parantamista siten, että energian ominaiskulutus alenee.
Hiilijalanjälki	Ihmisen toiminnan aiheuttamat ilmastopäästöt. Voidaan määrittää yritykselle, organisaatiolle, toiminnalle tai tuotteelle. Huomioi hiilidioksidipäästöjen lisäksi myös muut merkittävät kasvihuonekaasupäästöt, kuten metaanin ja typpioksiduulin. (Sitra 2022)
Hiilikädenjälki	Tuotteen, prosessin tai palvelun ilmastohyödyt eli päästövähennyspotentiaali käyttäjälle. Sitä voi luoda niin valtio, yritys, yhdistys kuin yksittäinen ihminen. Kun esimerkiksi yritys tuottaa hiilikädenjälkeä asiakkaalleen, asiakas pystyy alentamaan omaa hiilijalanjälkeään. Korostaa myönteisiä päästövaikutuksia tulevaisuudessa, kun taas hiilijalanjälki keskittyy kielteisiin päästövaikutuksiin nyt. (Sitra 2022)
Hiilineutraali	Hiilidioksidipäästöjä tuotetaan vain se määrä, joka saadaan sidottua. Hiilineutraalilla yhteiskunnalla, tuotteella tai systeemillä hiilijalanjälki koko elinkaaren ajalla on nolla. (Sitra 2018)
Hiilineutraali kiertotalous	Hiilineutraalisti toimiva eli nettopäästötön talousjärjestelmä, joka on sopeutunut maapallon kantokykyyn. (Sitra 2022)
Ilmastomuutos	Ihmisen toiminnan seurauksena kasvihuonekaasujen, erityisesti hiilidioksidin, määrä ilmakehässä lisääntyy. Kasvihuonekaasut voimistavat maapallon lämpimänä pitävää kasvihuoneilmiötä, ja ilmasto lämpenee. Lämpeneminen johtaa muutoksiin myös sateissa. Tämä taas lisää ja voimistaa entisestään sään ääri-ilmiöitä, kuten lämpöaaltoja, kuivuutta, tulvia, hurrikaaneja ja metsäpaloja. Lämpenemisen seurauksena lumen ja jään määrä vähenee, merenpinta nousee, kasvi- ja eläinlajien levinneisyys muuttuu. Lisäksi muuttuvat sateet ja sulamisvedet heijastuvat myös makean veden varojen määrään ja laatuun. (Sitra 2022)
Kiertotalous	Talousmalli, joka perustuu omistamisen sijasta palveluiden käyttämiseen kuten jakamiseen, vuokraamiseen ja kierrättämiseen. Kiertotaloudessa ei tuoteta jatkuvasti uutta, vaan tarkoituksena on hyödyntää jo olemassa olevia materiaaleja ja tavaroita. Näin materiaaleihin ja tavaroihin sitoutunut arvo saadaan säilytettyä mahdollisimman pitkään yhteiskunnan käytössä. Kiertotaloudessa talouskasvu ei ole riippuvainen luonnonvarojen kulutuksesta. (Sitra 2018)
Kiertotalousmallin mukaiset materiaalit	Kiertotalousmallin mukaisilla materiaaleilla tarkoitetaan materiaaleja, jotka ovat kierrätettyjä, uusiutuvia tai

	uudelleenkäytettyjä tai mahdollisesti myös kierrätettävissä/uudelleenkäytettävissä. Esimerkkejä materiaaleista ovat kierrätyskiviaineista valmistettu valmisbetoni sekä kierrätettävät muoviputket.
Luontoposiitivisuus	Luontoposiitiivinen vaikutus tarkoittaa tilannetta, jossa ihmistoimien yhteisvaikutus luonnon monimuotoisuuteen on positiivinen eli vahvistaa luonnon hyvinvointia. Siitä käytetään usein myös englanninkielistä nimitystä "Net Positive Impact" (NPI). Luontoposiitiivinen vaikutus saavutetaan, kun luonnolle tuotetut hyödyt ylittävät luonnolle aiheutetut haitat. Sitä voidaan tavoitella yksittäisen hankkeen (esim. rakennushanke) tasolla tai laajemmin, esimerkiksi kokonainen organisaatio voi asettaa tavoitteeseen positiivisen luontojalanjäljen. (Sitra 2022)
Resilienssi	Kyky toimia muuttuvissa olosuhteissa ja kohdata häiriöitä ja kriisejä. Myös kykyä palautua ja toipua kriiseistä ja kehittyä jopa entistä vahvemmiksi kriisin jälkeen. (Sitra 2018)
Resurssitehokkuus	Toimintatapa, jonka avulla pyritään vähentämään ympäristökuormitusta tuotteiden ja palveluiden tuotannossa sekä kulutuksessa raaka-aineista loppukulutuksen kautta uudelleen kiertoon ja lopulta hävittämiseen asti. Tarkoiteetaan siis materiaalien optimaalista käyttöä, hukan vähentämistä ja välttämistä sekä ympäristövahinkojen välttämistä ja luonnonvarojen loppumisen ehkäisemistä. Uutta arvoa pyritään luomaan pienemmistä materiaalisista panoksista. (Sitra 2018)
Ravinnekierto	Maatalouden ja koko ruokaketjun sivuvirrat (lanta, puhdistamoliete, biomassa, biojäte) käsitellään ja hyödynnetään siten, että hyödylliset ravinteet (fosfori, typpi) saadaan otettua takaisin kiertoon ja hyödynnetään esimerkiksi lannoitteena. (Sitra 2018)

7 HANKKEESEEN OSALLISTUNEET TAHOT

Hankkeeseen osallistui Suomen Vesilaitosyhdistys ry:n (VVY) lisäksi neljä vesihuoltolaitosta: HS-Vesi Oy, Kuopion Vesi Oy, Kymen Vesi Oy ja Tampereen Vesi.

Ohjausryhmän jäsenet:

Saijariina Toivikko, VVY
Jukka Meriluoto, HS-Vesi Oy
Jani Väkevä, Kymen Vesi Oy
Emmi-Maria Ukko, Kymen Vesi Oy
Marja Stjerna, Kuopion Vesi Oy
Hanna Reijonen, Kuopion Vesi Oy

Konsultilta hankkeeseen osallistuneet henkilöt:

Minna Pirilä, AFRY Finland Oy
Henna Tihinen, AFRY Finland Oy
Maija Ahonen, AFRY Finland Oy
Essi Huntus, AFRY Finland Oy
Reijo Kuivamäki, AFRY Finland Oy
Maija Vilpanen, AFRY Finland Oy
Jussi Ristimäki, AFRY Finland Oy
Maija Ijäs, AFRY Finland Oy
Johanna Herttuainen, AFRY Finland Oy

8 LÄHTEET

Aalto-yliopisto. 2021. NPHARVEST. Internet-sivu. Viitattu 29.6.2022. Saatavilla: <https://www.aalto.fi/fi/npharvest>

Aarnio, A. 2018. Lietteen linkouksen parametrit ja optimointi. Opinnäytetyö (AMK). Energia ja ympäristötekniikka. 49 s. Saatavilla: https://www.turunseudunpuhdistamo.fi/wp-content/uploads/2019/02/Opinn%C3%A4ytety%C3%B6_Aarnio_Aija-ID-21228.pdf

Arup, Ellen MacArthur Foundation, Antea Group. 2019. Water and circular economy – a whitepaper.

Blomberg, K., Kuokkanen, A. Typpioksiduulipäästöt jätevedenpuhdistuksessa. Vesitalous 3/2022.

Bröckl M., Kiuru H., Heads S., Kämäräinen K., Patronen J., Luoma-aho K., Armila N., Sipilä E., Semkin N. 2021. Jätteenpolton kiertotalous- ja ilmastovaikutuksiin vaikuttaminen eri ohjauskeinoin. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-093-6>

Carbon Block Technology. 2018. Coal vs. Wood vs. Coconut Carbon Filters. Internet-sivu. Viitattu 13.12.2022. Saatavilla: <https://www.carbonblocktech.com/coconut-wood-coal-filters/>

Delgado A., Rodriguez D.J., Amadei C.A., Makino M. 2021. Water in Circular Economy. (WICER) International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. Viitattu 21.12.2022. Saatavilla: <https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/wicer>

EPA 2022. Saatavilla: <https://www.epa.gov/waterreuse/basic-information-about-water-reuse>

Euroopan komissio. 2015. An Ambitious EU Circular Economy Package. Saatavilla: https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/first_circular_economy_action_plan.html

Euroopan komissio. 2019. Euroopan vihreän kehityksen ohjelma, COM/2019/640 final. Viitattu 29.6.2022. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588580774040&uri=CELEX:52019DC0640>

Euroopan komissio. 2020a. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- Ja sosiaalikomitealle ja Euroopan alueiden komitealle – Uusi kiertotalouden toimintasuunnitelma Puhtaamman ja kilpailukykyisemmän Euroopan puolesta.

Euroopan komissio. 2020b. Uusi kiertotalouden toimintasuunnitelma Puhtaamman ja kilpailukykyisemmän Euroopan puolesta

Euroopan komissio. 2021. First circular economy action plan. Viitattu 8.11.2022. Saatavilla: https://ec.europa.eu/environment/topics/circular-economy/first-circular-economy-action-plan_en

Euroopan komissio. 2023. Drinking water. https://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/review_en.html

EU 2020/741. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus veden uudelleenkäytön vähimmäisvaatimuksista.

Gasum. 2020. Innovatiivinen kiertotalous on arkea kaasuratkaisuissa. Viitattu 8.11.2022. Saatavilla: <https://www.gasum.com/ajassa/tulevaisuuden-energia/2020/innovatiivinen-kiertotalous-on-arkea-kaasuratkaisuissa/>.

Haapakoski, J. 2022. Vesihuollon verkostosaneerausten hiilijalanjäljen pienentäminen. Diplomityö. Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta. Tampereen yliopisto. 60 s. Viitattu 31.1.2023. Saatavilla: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/140361/HaapakoskiJuuli.pdf?sequence=2>

HAMK. 2022. Jätevesilietteiden ravinteet keskittäen kiertoon – JÄRKKI. Internet-sivu. Viitattu 14.12.2022. Saatavilla: <https://www.hamk.fi/projektit/jarkki/>

Helen. 2019. Lämpöä auringosta ja jätevedestä Sörnäisissä. Internet-sivu. Viitattu 29.6.2022. Saatavilla: <https://www.helen.fi/helen-oy/vastuullisuus/ajankoh- taista/blogi/2014/lampoa-auringosta-ja-jatevedesta-sornaisissa>

Hiilineutraali Suomi. 2021. Kohti hiilineutraaleja kuntia ja maakuntia – Canemure. Internet-sivu. Viitattu 14.12.2022. Saatavilla: <https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-fi/canemure>

Hiilineutraali Suomi. 2022. Hinku-verkosto. Internet-sivu. Viitattu 14.12.2022. Saatavilla: <https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-fi/hinku>

HSY. 2021. Jätevedenpuhdistus pääkaupunkiseudulla 2020 Viikinmäen ja Suomenojan jätevedenpuhdistamot. HSY:n julkaisuja 3/2021.

HSY. 2022a. Jäteveden ravinteiden ja hiilen kokonaisvaltainen talteenotto (RAHI). Internet-sivu. Viitattu 29.6.2022. Saatavilla: <https://www.hsy.fi/ymparistotieto/projektit-ja-hankkeet/rahi-hanke/>

HSY 2022b. CIRCUIT-hanke. Viitattu 15.12.2022. Saatavilla: <https://www.hsy.fi/ymparistotieto/projektit-ja-hankkeet/circuit-hanke/>

Huittisten Puhdistamo. 2022. Biologinen Fosforin poisto (bio-P). Viitattu 8.11.2022. Saatavilla: <https://huittistenpuhdistamo.fi/puhdistamo/>.

Huoltovarmuusorganisaatio. 2020. Kemiallisen saostuksen huoltovarmuuden parantaminen Suomen vesihuollossa. Saatavilla: https://www.vvy.fi/site/assets/files/3226/kemiallisen_saostuksen_huoltovarmuuden_parantaminen.pdf

JS-Puhdistamo. 2021. Uusi kalsiittiasema rakenteilla Nenäinniemen puhdistamolla. Internet-sivu. Viitattu 23.8.2022. Saatavilla: <https://www.js-puhdistamo.fi/2021/09/23/uusi-kalsiittiasema-rakenteilla-nenainniemen-puhdistamolla/>

Jätelaki 17.6.2011/646

Kaikkonen, P. 2021. Vesihuoltoverkoston saneerausinvestointien priorisointi. Case: Lahti Aqua. Opinnäytetyö. LAB-ammattikorkeakoulu. 114 s. Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/472668/Kaikkonen_Pekka.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Viitattu 16.1.2023.

Lahti Aqua Oy. 2022. Viitattu 20.12.2022. Saatavilla: <https://lahtiaqua.fi/uutiset/tekoaly-analysoimaan-viemariverkostossa-tapahtuvia-mahdollisia-poikkeamia/>

Laurell, Panu. 2013. Retrofitting a water treatment plant with low pressure membranes – Preliminary study on retrofitting Pitkälampi water treatment plant. Opinnäytetyö. Aalto Yliopisto. Saatavilla: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/22208>

Laurell, Panu 2020. Kalvosuodatuspilot upotettavilla ultrasuodatuskalvoilla, loppuraportti. Saatavilla: https://vvy.etapahtuma.fi/eTaika_Tiedostot/5/Hanke/1588/LOPPURAPORTTI_Loppuraportti_VEKA_Kehitt%C3%A4misrahoitus.pdf

Lehtoranta, S., Malila, R., Kämäri, T., Johansson, A., Särkilähti, M. & Viskari, E. 2021. Vesihuollon kiertotalouden edistäminen kaupunkiympäristössä -Eroittävän sanitaation mahdollisuudet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 6/2021.

Lidén, A., Persson, K. (2016), Water, 8, 150, Feasibility Study of Advanced NOM-Reduction by Hollow Fiber Ultrafiltration and Nanofiltration at a Swedish Surface Water Treatment Plant. Saatavilla: <https://www.mdpi.com/2073-4441/8/4/150>

Lilja, T. 2019. Porista lopetettava pigmenttitehdas on ollut tärkeä tekijä vedenpuhdistuksessa. Tekijä. 5.9.2019. Viitattu 13.12.2022. Saatavilla: <https://tekijalehti.fi/2019/09/05/porista-lopetettava-pigmenttitehdas-on-ollut-tarkea-tekija-vedenpuhdistuksessa/>

Maa- ja metsätalousministeriö. 2018. Suomen vesialan kansainvälinen strategia.

Maa- ja metsätalousministeriö. 2021. Kansallisen vesihuoltouudistuksen ohjelma. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2021/7.

Maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999)

Materiaalit kiertoon. 2022. Circwaste-hanke. Internet-sivu. Viitattu 14.12.2022. Saatavilla: <https://www.materiaalikiertoon.fi/fi-fi/circwaste>

Motiva. 2018a. Energiatavara lietteen kuivaus. Saatavilla: https://www.motiva.fi/files/13594/ENERGIATAVARA_LIETTEEN_KUIVAUS.pdf

Motiva. 2018b. Case: Oulun Vesi – puhdistetun jäteveden lämpö talteen. Viitattu 16.1.2023. Saatavilla: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/vesihuoltolaitos/muut_energiatavaroita_kuivaus/lammonalteenotto_vesihuoltolaitoksilla

Motiva. 2022a. Lietteiden jatkojalostus. Viitattu 22.9.2022. Saatavilla: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/vesihuoltolaitos/jateveden_puhdistus/lietteiden_jatkojalostus

Motiva. 2022b. Energiatavara lietteen käsittely ja biokaasun tuotanto. Viitattu 23.9.2022. Saatavilla: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/vesihuoltolaitos/jateveden_puhdistus/lietteiden_kasittely_ja_biokaasun_tuotanto

Motiva. 2022c. Energiatavara vesihuoltolaitos. Viitattu 16.12.2022. Saatavilla: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/vesihuoltolaitos

Motiva. 2022d. Vedenjakelu- ja viemäriverkoston energiatavaruuden mallintaminen. Viitattu 16.12.2022. Saatavilla: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/vesihuoltolaitos/veden_tuotanto_ja_jakelu/verkostojen_energiatavaruuden_mallintaminen

Motiva. 2022e. Aurinkosähkö vesihuoltolaitoksilla. Viitattu 16.12.2022. Saatavilla: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/vesihuoltolaitos/muut_energiatehokkuustoimet/aurinkosahko_vesihuoltolaitoksilla

Motiva. 2022f. Energianhallinta: mittarointi. Viitattu 16.12.2022. Saatavilla: https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/vesihuoltolaitos/muut_energiatehokkuustoimet/energianhallinta_mittarointi

Pelkonen J. 2019. Suomalaisten juomavettä puhdistetaan kaatopaikkajätteellä – Kemira joutui uuteen tilanteeseen pigmenttitehtaan palon takia. YLE. Saatavilla: <https://yle.fi/uutiset/3-10581839>

Pietola, L., Luostarinen, S., Seppälä, T., Lindell, P., Pantsar, M. 2022. Venäjän sodan seuraukset – ratkaisuja maatalouden ravinteiden riittävyyden turvaamiseksi. Luonnos 2.4. Asiantuntijaryhmän työpaperi 19.5.2022. Saatavilla: <https://www.vvy.fi/site/assets/files/6815/asiantuntijaryhma-tyopaperi-27-05-2022.pdf>

Pipelife. 2022. Vastuullisuus. Internet-sivu. Viitattu 13.12.2022. Saatavilla: <https://www.pipelife.fi/tietoa-meista/vastuullisuus.html>

Ravinnekierto2030. 2022. Julkilausuma, Ravinnehävikin minimointi vuoteen 2030 mennessä. Viitattu 23.9.2022. Saatavilla: <https://ravinnekierto2030.fi/>.

Ruthven DM (2001) Adsorption, Fundamentals. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. John Wiley & Sons, Inc. U.S.A.

Schneider Electric. 2022. Jätevedenkäsittely, Laitosten hallinta. Internet-sivu. Viitattu 14.12.2022. Saatavilla: <https://www.se.com/fi/fi/work/solutions/for-business/water/wastewater-treatment-plants-solutions/plant-management.jsp>

Sitoumus2050. 2022. Yhdyskuntajäteveden puhdistamisen green deal -sopimus. https://sitoumus2050.fi/fi_FI/jatevesi#/

Sitra. 2016. Kierrolla kärkeen - Suomen tiekartta kiertotalouteen 2016–2025. Sitran Selvityksiä 117. Saatavilla: <https://media.sitra.fi/2017/02/24032626/Selvityksia117-2.pdf>

Sitra. 2018. Mitä nämä käsitteet tarkoittavat? Kirjoittaja Tuula Sjöstedt. Saatavilla: <https://www.sitra.fi/artikkelit/mita-nama-kasitteet-tarkoittavat/>.

Sitra. 2019. Kriittinen siirto – Suomen kiertotalouden tiekartta 2.0. Saatavilla: <https://www.sitra.fi/hankkeet/kriittinen-siirto-kiertotalouden-tiekartta-2/>

Sitra. 2022. Kestävää kasvua kiertotalouden liiketoimintamalleista -käsikirja yrityksille. Saatavilla: <https://www.sitra.fi/app/uploads/2022/02/kestavaa-kasvua-kiertotalouden-liiketoimintamalleista-2-1.pdf>

Sosiaali- ja terveysministeriö. 2019. Päätös: Vesi ja terveys tavoitteet 2030.

Suomen Vesilaitosyhdistys ry. 2021a. Vesilaitosyhdistyksen strategia: Visio 2030 ja tiekartta 2021–2030. Saatavilla: <https://www.vvy.fi/ajankohtaista/uutiset/vesilaitosyhdistyksen-strategia-visio-2030-ja-tiekartta-2021-2030/>

Suomen Vesilaitosyhdistys ry. 2021b. Yhdyskuntaliikenteen käsittelyn ja hyödyntämisen tilannekatsaus vuosilta 2019–2020. Saatavilla:

https://www.vvy.fi/site/assets/files/4691/yhdyskuntaliikkeen_kasittelyn_ja_hyodyntamisen_nykytilannekatsaus_2021.pdf

Suomen Vesilaitosyhdistys ry. 2021c. Hyvän vesihuollon kriteerit Helsinki. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 65, Suomen Vesilaitosyhdistys ry.

Suomen Vesilaitosyhdistys ry. 2023. Vesihuoltolaitosten ilmastotyökalut. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 83, Suomen Vesilaitosyhdistys ry.

Suomen YK-liitto. 2022. Kestävä kehitys – Agenda 2030. Saatavilla: <https://www.yk-liitto.fi/kestava-kehitys>.

SYKE. 2017. Kohti vesiviisasta kiertotaloutta. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 16/2017.

SYKE. 2019. Vesi.fi. Jätevedenpuhdistamolla tapahtuu. Viitattu 23.9.2022. Saatavilla: <https://www.vesi.fi/vesitieto/jatevedenpuhdistamolla-tapahtuu/>.

SYKE. 2020. Vesihuollon kiertotalouden edistäminen kaupunkiympäristössä, Erottele-
van sanitaation mahdollisuudet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 6/2020. Viitattu 13.12.2022.

SYKE. 2021. Jätevesien ravinteet kiertoon turvallisesti ja tehokkaasti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 18 | 2021. Viitattu 21.12.2022. Saatavilla: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/328632/SYKEra_18_2021_NORMA.pdf

SYKE. 2022. Vesihuollon hiilineutraalisuuden ja kiertotalouden edistäminen (Vesihuki). Internet-sivu. Viitattu 29.6.2022. Saatavilla: <https://www.vesi.fi/pilottikunnat-haussa-vesihuollon-kiertotalouden-ja-hiilineutraalisuustavoitteiden-edistaminen-vesihuki/>

Torniainen S. & Sikiö, M-T. 2018. Uusiomateriaalien käytön ohjeistus ja hankekäytännöt. Kehitystarpeet ja mahdollisuudet tierakentamisessa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 18/2018. 72 s. Viitattu 16.1.2023. Saatavilla: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/152957/lts_2018-18_978-952-317-531-0.pdf?sequence=1

Turun seudun puhdistamo Oy. 2017. Turun seudun puhdistamo Oy:n lietteenkäsittelyhankinta 2015–2016. Viitattu 15.12.2022. Saatavilla: <https://docplayer.fi/47696325-Turun-seudun-puhdistamo-oy-n-lietteenkasittelyhankinta.html>

Tuukkanen, K. & Halonen, T. 2021. 6Aika Kestävien kaupunginosien kumppanuusmalli -hanke. Tulokset ja tuotokset. Viitattu: 16.1.2023. Saatavilla: <https://figbc.fi/wp-content/uploads/sites/4/2021/10/Yliopistonkadun-hankinta.pdf>

Uponor. 2022. Blue is the new green. Internet-sivu. Viitattu 13.12.2022. Saatavilla: <https://www.uponor.com/fi-fi/blue-is-the-new-green>

Uuma4. 2018. Mitä uusiomaarakentaminen on? Internet-sivu. Viitattu 13.12.2022. Saatavilla: <https://www.uusiomaarakentaminen.fi/mit%C3%A4-uusiomaarakentaminen>

Uuma4. 2022. Jämsän Himos-alueen katujen rakenteissa hyödynnetään 9000 tonnia tuhkaa. Internet-sivu. Viitattu 13.12.2022. Saatavilla: <https://www.uusiomaarakentaminen.fi/j%C3%A4ms%C3%A4n-himos-alueen-katujen-rakenteissa-hy%C3%B6dynnet%C3%A4%C3%A4n-9000-tonnia-tuhkaa>

Valtioneuvosto. 2021. Uusi suunta: Ehdotus kiertotalouden strategiseksi ohjelmaksi. VALTIONEUVOSTON JULKAISUJA 2021:1. Saatavilla: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162654>

Valtioneuvosto. 2022. Uusi lannoitelaki voimaan 16.7.2022. Saatavilla: <https://valtioneuvosto.fi/-/1410837/uusi-lannoitelaki-voimaan-16.7.2022>. Viitattu 7.11.2022.

Valtioneuvoston asetus ympäristönsuojelusta (713/2014)

Valtioneuvoston päätös yleisestä viemäristä ja eräiltä teollisuudenaloilta vesiin johdettavien jätevesien sekä teollisuudesta yleiseen viemäriin johdettavien jätevesien käsittelystä (365/1994)

Vesihuoltolaki (119/2001)

Vilén, A. 2021. Environmental impact of activated carbon production from various raw materials. Master's Thesis. Aalto University. School of Engineering. 136 s. Saatavilla: https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/110679/master_Vil%C3%A4n_Anna-Elina_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Ympäristöministeriö. 2023. Rakentamisen kiertotalous. Viitattu 31.1.2023. Saatavilla: <https://ym.fi/rakentamisen-kiertotalous>

Ympäristöministeriö. 2021a. Hajajätevesilietteet hyötykäyttöön Itä-Lapissa. Viitattu 14.12.2022. Saatavilla: <https://www.savukoski.fi/wp-content/uploads/2021/09/hajajatevesilietteet-hyotykayttoon-ita-lapissa.pdf>

Ympäristöministeriö. 2021b. Valtioneuvoston periaatepäätös kiertotalouden strategiasta ohjelmasta. Viitattu 14.12.2022. Saatavilla: <https://valtioneuvosto.fi/paatokset/paatos?decisionId=0900908f8071a6e1>

Ympäristöministeriö. 2022a. Green deal -sopimukset. Internet-sivu. Viitattu 29.6.2022. Saatavilla: <https://ym.fi/green-deal-sopimukset>

Ympäristöministeriö. 2022b. Ravinteiden kierrätyksen edistämistä ja Saaristomeren tilan parantamista koskeva ohjelma. Viitattu 13.12.2022. Saatavilla: <https://ym.fi/ravinteidenkierratys>

6Aika. 2021. Tuloksia: KIEPPI – Kestävien kaupunginosien kumppanuusmalli. Viitattu 16.1.2023. Saatavilla: <https://6aika.fi/tuloksia-kieppi-kestavien-kaupunginosien-kumppanuusmalli/>