

# Vesihuollon kiertotalouden edistäminen kaupunkiympäristössä

Erottelevan sanitaation mahdollisuudet

Suvi Lehtoranta, Riikka Malila, Tiiti Kämäri,  
Annika Johansson, Maarit Särkilahti, Eeva-Liisa Viskari





Suomen ympäristökeskuksen raportteja 6 / 2021

# Vesihuollon kiertotalouden edistäminen kaupunkiympäristössä

Erottelevan sanitaation mahdollisuudet

**Suvi Lehtoranta, Riikka Malila, Tiiti Kämäri,  
Annika Johansson, Maarit Särkilahti, Eeva-Liisa Viskari**



Suomen ympäristökeskuksen raportteja 6 | 2020  
Suomen ympäristökeskus  
Kulutuksen ja tuotannon keskus

Kirjoittajat: Suvi Lehtoranta<sup>1)</sup>, Riikka Malila<sup>4)</sup>, Tiiti Kämäri<sup>2)</sup>, Annika Johansson<sup>1)</sup>,  
Maarit Särkilahti<sup>3)</sup>, Eeva-Liisa Viskari<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Suomen ympäristökeskus

<sup>2)</sup> Tampereen ammattikorkeakoulu

<sup>3)</sup> Tampereen kaupunki

<sup>4)</sup> Ympäristöministeriö 1.8.2020 alkaen

Vastaava erikoistoimittaja: Ari Nissinen

Rahoittaja/toimeksiantaja: Ympäristöministeriö

Julkaisija ja kustantaja: Suomen ympäristökeskus (SYKE)

Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki, puh. 0295 251 000, syke.fi

Taitto: Suvi Lehtoranta

Kannen kuva: Hiedanranta, Tampere. Näkymä keskusaukiolle. Schauman & Nordgren Architects,  
Mandaworks, Arkkitehtitoimisto NOAN, Jolma Arkkitehdit, TUPA Architecture.

Julkaisu on saatavana veloitusetta internetistä: [www.syke.fi/julkaisut](http://www.syke.fi/julkaisut) | [helda.helsinki.fi/syke](http://helda.helsinki.fi/syke).

Julkaisu on myös ostettavissa painettuna SYKEN verkkokaupasta: [syke.omapumu.com](http://syke.omapumu.com)

ISBN 978-952-11-5356-3 (PDF)

ISBN 978-952-11-5355-6 (nid.)

ISSN 1796-1726 (verkkoj.)

ISSN 1796-1718 (pain.)

Julkaisuvuosi: 2021

## Tiivistelmä

### Vesihuollon kiertotalouden edistäminen kaupunkiympäristössä

Ravinteiden tehokas kierrättäminen on tärkeässä asemassa siirryttäessä kohti kiertotaloutta ja kestävämpää ruokajärjestelmää ja myös kaupunkien tulisi olla yhä näkyvämpi osa kiertotaloutta ja ravinteiden kierrätystä. Uusien ratkaisujen kehittämistä ja käyttöönottoa tukee myös kaupunkien kiinnostus profiloitua kestävä kehityksen edelläkävijöiksi. Kaupungeissa ravinteiden kierrättäminen voi tarkoittaa esimerkiksi ravinneviisasta sanitaatiota, kuten mustien vesien erottelua ja käsittelyä erillään muista jätevesistä. Näin voidaan tuottaa nykyjärjestelmää vähemmän haitta-aineita ja enemmän ravinteita sisältäviä ravintetuotteita, sekä mahdollistaa energian paikallista tuotantoa.

Tampereen kaupungin koordinoimassa ravinnekiertoa edistävässä NutriCity-hankkeessa on selvitetty mahdollisuutta soveltaa erottelevaa sanitaatiota ja ravinteita talteen ottavia teknisiä ratkaisuja Hiedanrannan uudella asuinalueella superkorttelimittakaavassa. NutriCity-hankkeessa on mm. pilotoitu erilaisia käymälävaihtoehtoja Hiedanrannan Kartanolla ja Kuivaamolla, tehty käyttäjäkyselyitä niiden käytöstä, testattu tekniikoita käymäläjätevesijakeiden jatkojalostamiseen ja tutkittu erilliskerätyn virtsan käsittelyvaihtoehtoja todellisessa ympäristössä. Tässä raportissa esitetty toimintamalli on suunnattu kaupungeille ja kunnille työkaluksi edistämään ravinteita kierrättäviä sanitaatoratkaisuja uusilla kaupunkiasumisen alueilla sekä soveltuvien osien myös saneerattavissa kohteissa.

Hankkeessa saadut kokemukset osoittavat, että vallalla olevien liiketoiminta- ja palvelumallien murtaminen on haasteellista. Muutos haastaa nykyiset organisaatiot kehittämään toimintaansa ja löytämään uusia yhteistyökumppaneita ja toimintatapoja, joille lainsäädäntö voi asettaa rajoitteita. Kiertotalouden toteutus kaupungeissa vaatii eri sektoreiden yhteistyön kehittämistä ja uusien toimintatapojen luomista sekä mm. suunnittelijoiden koulutusta. Strategisten tavoitteiden ja käytännön suunnittelun ja toteutuksen välillä on kuilu, joka hankaloittaa tavoitteiden saavuttamista.

Kaupunkisuunnittelua sekä kaupunkien investointeja tulisi hyödyntää yhä enemmän kokeilu- ja kehittämisympäristöinä. Kansainväliset esimerkit osoittavat, että kokeilut pienemmän mittaluokan erottelevan sanitaation kohteissa ovat mahdollistaneet siirtymisen suurempiin mittaluokkien suunnitteluun ja toteutukseen. Ravinteiden kierrätykseen perustuvien erottelevien järjestelmien koetaan edistävän kokonaisuutena kestävä tulevaisuutta ja edelläkävijyyttä. Kaupunkialueilla tällaiset ratkaisut voisivat tulla kyseeseen etenkin uusilla asuinalueilla tai saneerattavissa kohteissa, jolloin erottelevan sanitaation kytkentä osaksi asumisen hiilijalanjälkeä vähentäviin toimiin olisi keskeistä. Rakentamista tulisi ohjata kokonaisvaltaisesti kestävämpään suuntaan, jossa ravinteiden kierrätys on yksi osa-alue, joka on vahvasti kytketty muihin osa-alueisiin, kuten energian tuotantoon ja kulutukseen alueella.

Ravinnekiertoa tukevat sanitaatoratkaisut edellyttävät jätevesien keräystä ja käsittelyä koskevien teknisten muutosten lisäksi myös lainsäädännöllisiä muutoksia. Erottelevalla sanitaatiolla voidaan tuottaa kokonaan uusia ihmisperäisiä kierrätysravinteita, joiden hyödyntäminen tulisi olla tietyin reunaehdoin sallittua.

**Asiasanat:** Ravinteiden kierrätys, kiertotalous, kaupungit, sanitaatio, toimintamalli

## Sammandrag

### Främja den cirkulära ekonomin för vattenförsörjning i stadsmiljön

Effektiv återvinning av näringsämnen spelar en viktig roll i övergången till en cirkulär ekonomi och ett mer hållbart livsmedelssystem, och städernas roll bör också bli en alltmer framträdande del av cirkulär ekonomi och återvinning av näringsämnen. Utvecklingen och implementeringen av nya lösningar stöds också av städernas intresse att profilera sig som pionjärer för hållbar utveckling. I städer kan återvinning av näringsämnen till exempel betyda näringsämne- kloka sanitetslösningar, såsom att separera och behandla svartvatten separat från annat avloppsvatten. Detta gör det möjligt att producera näringsämnen med färre föroreningar och mer näringsämnen än nuvarande system och tillåta produktion av energi lokalt.

NutriCity-projektet, som samordnas av staden Tammerfors och främjar återvinning av näringsämnen, har undersökt möjligheten att tillämpa sanitetsteknologier baserade på källseparation och tekniska lösningar för återvinning av näringsämnen i det nya bostadsområdet Hiedanranta i superblockskala. Nutricity-projektet har t.ex. testade olika sanitets system alternativ vid Hiedanranta herrgård och torkanläggning, genomförde undersökningar om deras användning, testade tekniker för vidare behandling av sanitets avloppsfraktioner och undersökte källsorterad urin behandlingsalternativ i en verklig miljö. Den driftsmodell som presenteras i denna rapport riktar sig till städer och kommuner som ett verktyg för att främja återvinning av näringsämnen i nya stadsbostadsområden och i förekommande fall även i områden som renoveras.

Erfarenheterna från projektet visar att det är en utmaning att bryta de rådande affärs- och servicemodellerna. Förändringen utmanar befintliga organisationer att utveckla sin verksamhet och hitta nya partners och metoder som kan begränsas av lagstiftningen. Genomförandet av cirkulär ekonomi i städer kräver utveckling av samarbete mellan olika sektorer och skapande av nya sätt att arbeta, liksom t.ex. utbildning av designers. Det finns ett gap mellan strategiska mål och praktisk planering och implementering, vilket gör det svårt att uppnå målen.

Stadsplanering och stadsinvesteringar bör i allt högre grad användas som experiment- och utvecklingsmiljöer. Internationella exempel visar att experiment på mindre källseparerande sanitets platser har möjliggjort en övergång till större skala design och implementering. Separationssystem baserade på återvinning av näringsämnen ses som bidragande till en hållbar framtid och banbrytande som helhet. I stadsområden kan sådana lösningar vara särskilt relevanta i nya bostadsområden eller områden som renoveras, i vilket fall integrering av källseparerande sanitet i åtgärder för att minska koldioxidavtrycket i bostäder skulle vara en nyckel. Byggandet bör styras holistiskt i en mer hållbar riktning, med återvinning av näringsämnen som ett område som är starkt kopplat till andra områden som lokal energiproduktion och konsumtion.

Förutom tekniska förändringar i insamling och behandling av avloppsvatten kräver sanitetslösningar som stöder återvinning av näringsämnen också lagändringar. Källseparerande sanitet kan producera helt nya återvunna näringsämnen av mänskligt ursprung, vars användning bör tillåtas under vissa gränsförhållanden.

**Nyckelord:** Återvinning av näringsämnen, cirkulär ekonomi, städer, sanitet, driftsmodell

## Abstract

### **Promoting the circular economy of water supply in the urban environment**

Efficient nutrient recovery plays an important role in the transition to a circular economy and a more sustainable food system, and the role of cities should also become an increasingly prominent part of the circular economy and nutrient recovery. The development and implementation of new solutions is also supported by the interest of cities in profiling themselves as pioneers for sustainable development. In cities, e.g. nutrient recovery can mean nutrient-wise sanitation, such as separating and treating black water separately from other wastewater. This makes it possible to produce more nutrient-rich products with fewer pollutants than in current system and enable energy production locally.

The Nutricity project which is coordinated by the City of Tampere and promotes nutrient recovery, has explored the possibility of applying sanitary technologies based on source separation and technical solutions for nutrient recovery in the new Hiedanranta residential area on a super-block scale. The project has e.g. piloted various sanitation system alternatives at Hiedanranta Manor and Drying Plant, conducted surveys on their use, tested techniques for further processing of sanitation wastewater fractions and researched source-separated urine treatment options in a real environment. The operating model presented in this report is aimed at cities and municipalities as a tool to promote nutrient recycling in new urban housing areas and, where applicable, also in areas under renovation.

The experience gained from the project shows that it is a challenge to break the current business and service models. The change challenges existing organizations to develop their operations and find new partners and practices that can be limited by legislation. The implementation of circular economy in cities requires the development of co-operation between different sectors and the creation of new ways of working, as well as e.g. training of designers. There is a gap between strategic goals and practical planning and implementation, which makes it difficult to achieve the goals.

Urban planning as well as urban investments should be increasingly used as experimental and development environments. International examples show that experiments in smaller-scale source-separating sanitation sites have enabled a shift to larger-scale design and implementation. Source-separation systems based on nutrient recovery are seen as contributing to a sustainable future and pioneering as a whole. In urban areas, such solutions could be particularly relevant in new residential areas or areas undergoing renovation, in which case the integration of source-separating sanitation into measures to reduce the carbon footprint of housing would be a key. Construction should be guided holistically in a more sustainable direction, with nutrient recovery as an area that is strongly linked to other areas such as local energy production and consumption.

In addition to technical changes in wastewater collection and treatment, sanitation solutions that support nutrient recovery also require legislative changes. Source-separating sanitation can produce completely new recycled nutrients of human origin, the utilization of which should be allowed under certain boundary conditions.

**Keywords:** Nutrient recycling, circular economy, cities, sanitation, operating model

## Esipuhe

Miten ravinnekiertoa tukeva sanitaatio toteutetaan Hiedanrannassa ja urbaanissa kaupunkiympäristössä ylipäätään? Miten siirrytään kohti kiertotaloutta tukevaa mallia ja toimintaympäristöä? Muun muassa näihin kysymyksiin pyrittiin vastaamaan NutriCity-hankkeessa (2017-2020). NutriCityn on rahoittanut Ympäristöministeriön ravinteiden kierrätyksen edistämistä ja Saaristomeren tilan parantamista koskeva ohjelma (RAKI 2). Hankkeen koordinaattorina on toiminut Tampereen kaupunki tutkimuspartnereinaan Tampereen Ammattikorkeakoulu ja Suomen ympäristökeskus.

Tässä loppuraportissa on esitetty toimintamalli, jonka avulla kaupunkialueilla syntyvät ravinneperäiset jätevesijakeet voidaan hallita ja hyödyntää resurssi- ja energiatehokkaasti. Toimintamallia voidaan hyödyntää uusien asuinalueiden lisäksi myös vanhojen asuinalueiden ja -rakennusten putkiremonttien ja viemäriverkostojen saneerausten yhteydessä. Muutos kohti kiertotaloutta on sosio-tekniinen, eli sekä teknisten ratkaisujen että niitä ylläpitävien instituutioiden odotetaan muuttuvan.

Hankkeen ohjausryhmään ovat osallistuneet Hiedanrannan hankekehitysjohtaja Reijo Väliharju, Tampereen Veden toimitusjohtaja Petri Jokela ja Ympäristöministeriön erityisasiantuntija Kati Vaajasaaari (myöhemmin Sirje Sten) (varalla Arja Nykänen), Pirkanmaan ELY-keskuksen erikoistutkija Amer Bilaletdin (varalla Irina Simola) ja Tampereen kaupungin ympäristönsuojelupäällikkö Harri Willberg (varalla Sanna Markkanen). Kiitämme ohjausryhmää arvokkaasta keskustelutuesta ja kommentteista työn eri vaiheissa.

Hankkeen aikana on järjestetty työpajoja yhdessä CICAT-hankkeen kanssa sekä muita keskusteluita sidosryhmien kanssa. Erityiset kiitokset seuraaville henkilöille aktiivisesta yhteistyöstä sekä kommentteista ja asiantuntija-arvioista projektin aikana: Reijo Väliharju (Hiedanrannan Kehitys Oy), Riikka Rahkonen (Tampereen kaupunki), Maria Åkerman (Tampereen kaupunki), Pekka Heinonen (Tampereen kaupunki), Karoliina Tuukkanen (Tampereen kaupunki), Petri Jokela (Tampereen vesi), Esa Nummela (Pirkanmaan jätehuolto), Tuomo Joensuu (TAU), Ari Jokinen (TAU), Marika Kokko (TAU), Eveliina Saari (TTL), Laura Seppänen (TTL), Katriina Alhola (SYKE), Mikko Attila (SYKE), Riina Antikainen (SYKE), Tuuli Myllymaa (SYKE), Hanna Salmenperä (SYKE) ja Mari Korhonen.

Pilottien käytännön toteutuksesta suuri kiitos kuuluu rakennushankkeen suunnittelijoille ja toteuttajille sekä uusien tekniikoiden kehittäjille: Rami Mäkinen (Insinööritoimisto Erkki Leskinen Oy), Jaakko Vainio ja Eero Heiskanen (Bravida), Jouko Toivonen (Tampereen Tilapalvelut Oy), Ari Järvensivu (Realia), Juho Kaljunen ja Anna Mikola (Aalto-yliopisto), Prithvi Simha, Björn Vinnerås, Caroline Karlsson ja Jenna Senecal-Smith (SLU), Alexandre Matikainen (Evac Oy), Elina Bak (TAMK), Raini Kiukas ja Ville Viilonoja (DTS) ja Antti Nuottajärvi (TAU).

Ammattikorkeakouluopiskelijoita Mari Korhonen (XAMK), Jani Haikonen ja Marisanna Vepsä (TAMK) kiitämme uuden sanitaation reunaehto- ja tutkimisesta.

Helsingissä tammikuussa 2021

Raportin kirjoittajat



# Sisällys

<b>1 Johdanto</b> .....	8
<b>2 Erottelevan sanitaation edistäminen kaupunkiympäristössä</b> .....	10
2.1 Poliittiset ohjauskeinot ja kokeilujen edistäminen .....	10
2.2 Riskinhallinta ja vastuut .....	12
2.3 Markkinavuoropuhelu ja innovaatiokumppanuus .....	13
2.4 Erottelevan sanitaation edistäminen kaavoituksen keinoin .....	13
2.5 Reunaehdot vesi- ja jätehuollossa.....	16
2.6 Yhteenveto .....	17
<b>3 Ravinteiden kierrättämistä tukevat sanitaatoratkaisut</b> .....	20
3.1 Käymäläjätevesien ja biojätteen keräysjärjestelmät .....	21
3.2 Käymäläjätevesijakeiden käsittelymenetelmät .....	24
3.3 Lopputuotteiden hyödyntämisen lainsäädännölliset reunaehdot .....	29
<b>4 Ravinteiden kierrätyksen referenssikohteet ja kokeilut rakentamisessa</b> .....	31
4.1 Kansainvälisiä esimerkkejä ravinnekierrätyksen kokeiluista rakentamisessa .....	31
4.2 Erottelevat käymäläkokeilut Suomessa – NutriCity pilotkokeet.....	37
<b>5 Esimerkkitapaus: Vaihtoehtoisia toteutusmalleja Tampereen Hiedanrantaan</b> .....	52
5.1 Toteutusvaihtoehdot Hiedanrantaan .....	53
5.2 Ravinteiden talteenoton operointimallit .....	59
<b>6 Johtopäätökset</b> .....	62
<b>Lähteet</b> .....	64
<b>Liite 1. Pilottikokeiden analyysien menetelmätiedot nimi</b> .....	70

# 1 Johdanto

Suomi tavoittelee hiilineutraalia kiertotaloutta ja asemaa ravinteiden kierrätyksen mallimaana. Ravinteiden tehokas kierrättäminen on tärkeässä asemassa siirryttäessä kohti kiertotaloutta ja kestävämpää ruokajärjestelmää. Kaupungit ovat kulutus-, tuotanto- ja innovaatiokeskittymiä, joilla tulisi olla yhä näkyvämpi rooli kiertotaloudessa ja ravinteiden kierrätyksessä. Tässä raportissa esitetty toimintamalli on suunnattu kaupungeille ja kunnille työkaluksi edistämään ravinteita kierrättäviä sanitaatoratkaisuja uusilla kaupunkiasumisen alueilla sekä soveltuvin osin myös saneerattavissa kohteissa.

Sitran vuonna 2019 julkaisemassa päivitettyssä kiertotalouden tiekartassa kuntien ja kaupunkien rooli kiertotalouden edistämässä on edesauttaa uusien ratkaisujen käyttöönottoa: *”Kunnat ja kaupungit voivat toimia kiertotalouden kiihdyttämöinä aktiivimalla alueen toimijoita, toteuttamalla kiertotalouden mukaisia julkisia hankintoja ja kannustamalla alueen elinkeinoelämää ja asukkaita kiertotalouden mukaisiin toimiin. Kiertotalouden toimintamallien kehittämiseen tarvitaan uudenlaisia kumppanuuksia ja kunnat voivat edesauttaa niiden muodostumista. Kunnat voivat hankintojen kautta tarjota yrityksille testialustoja kiertotaloutta tukevien ratkaisujen kehittämiseksi. Kuntien rooli maankäytön suunnittelijana, tilaajana, asiakkaana, rakennuttajana ja lupaviranomaisena antaa mahdollisuudet vauhdittaa kiertotalousyhteiskunnan syntymistä.”* (Sitra 2019)

Ravinteiden tehokas kierrättäminen on keskeistä siirryttäessä kohti kiertotaloutta ja kestävämpää ruokajärjestelmää. Suomi pyrkii ravinteiden kierrättämisen esimerkkialueeksi vuoden 2010 Itämeri-huippukokouksessa tehdyn lupauksen mukaisesti (Työryhmämuistio MMM 2011). Ravinteiden kierrätyksen toimenpideohjelman mukaan tavoitteena on, että mm. jätevesilietteiden ravinteet hyödynnetään pääosin lannoitteena vuonna 2030 (Ympäristöministeriö 2019). Ravinteiden kierrättäminen vähentää uusiutumattomien luonnonvarojen kulutusta ja alentaa ruuantuotannon hiilijalanjälkeä sekä vähentää huuhtoutumia vesistöihin. Lisäksi kierrätysravinteiden kautta palautuu hiiltä takaisin maaperään.

Kaupunkien lineaariset materiaalivirrat, kuten jätevesien kuljettaminen ja käsittely, ovat osa kokonaisuutta, jossa ravinteet tulisi saada suljettuun kiertoon ja hyötykäyttöön. Kaupungeissa nojataan nykyisin keskitettyyn sanitaatioon, joka alkaa vesikäymälöistä ja johtaa putkiverkoston kautta keskuspuhdistamolle, jossa jätevedet käsitellään yleensä biologiskemiallisesti. Nykyiset sanitaatiojärjestelmät on kehitetty aikanaan kaupunkiympäristön puhtaanapitoon ja kaupunkilaisten terveyden suojelemiseksi. Kaupungistuminen, resurssiniukkuus ja ekologisen elämäntavan tavoittelu ovat kuitenkin muuttaneet ajattelutapoja ja kestävyuden määritelmää viime vuosina. Kansainväliset ja kansalliset kiertotaloustavoitteet sekä ympäristöpolitiikka luovat kaupungeille paineita muuttaa nykyistä resurssveja tuhlaavaa järjestelmää kohti kiertotaloutta. Myös yhdyskuntajätevesilietteen sijoittamiseen liittyvät haasteet luovat tarpeen etsiä uusia ratkaisuja.

Erotteleva sanitaatio (eli käymäläjätevesien erottelu ja käsittely erillään muista jätevesistä) mahdollistaa ravinteiden talteenoton nykyistä keskitettyä järjestelmää tehokkaammin. Ravinteiden talteenotto on teknisesti helpompaa erotelluista jakeista, kun ravinnerikkaita käymäläjätevesiä ei ole laimennettu ja sekoitettu muihin jätevesiin. Jätevedenpuhdistamoilla ravinteiden talteenotto on teknisesti haastavampaa, sillä prosessi perustuu nykyisellään ravinteiden poistamiseen, jolloin ne joko haihdutetaan ilmakehään (aiheuttaen mm. kasvihuonekaasupäästöjä) tai sidotaan niukkaliukoiseen ja kasveille heikosti käytökelpoiseen muotoon. Erilaisten jätevesien käsittely yhdessä keskitetyssä järjestelmässä aiheuttaa haasteita myös lopputuotteen turvallisuudelle käytölle. Erottelevan sanitaation avulla ravinteita saadaan paitsi enemmän myös puhtaampana talteen kuin keskitetyssä ratkaisussa.

Erottelevan sanitaation toteuttaminen kaupungeissa ottaa vasta ensimmäisiä askeliaan Suomessa, eikä sitä ole vielä laajasti tunnustettu kiertotaloutta, materiaalitehokkuutta ja vähähiilisyttä koskevissa

asumisen ja rakentamisen selvityksissä ja ohjeistuksissa. Selvitykset keskittyvät pääasiassa energiankulutuksen vähentämiseen, vähähiilisiin rakennusmateriaaleihin sekä materiaalien tehokkaaseen käyttöön ja jätteen synnyn ehkäisyyn. Erilaisin asumisen ja rakentamisen ratkaisuin voitaisiin kuitenkin vähentää merkittävästi jätevesistä ja niiden käsittelystä aiheutuvaa ympäristökuormitusta (Malila & Lehtoranta 2018). Uusien ratkaisujen selvittäminen ja vieminen rakentamiseen ja aluesuunnitteluun edellyttää päätöksentekijöiltä voimakasta tahtotilaa ja kykyä luoda uudenlaisia käytäntöjä ja toimintatapoja.

Tampereen kaupungin Hiedanrannan alue toimii tällä hetkellä monenlaisten kehittämis- ja pilotti-hankkeiden testausalustana ja sinne suunnitellaan uutta älykästä ja kestäväää kaupunginosaa. Se on ainutlaatuinen testiympäristö myös jätevesien ravinteiden keräyksen ja käsittelyn kokeiluille, sillä alueella ei ole kunnallista viemärointiä. Tampereen kaupungin koordinoimassa ravinnekiertoa edistävässä Nutri-City-hankkeessa on selvitetty mahdollisuutta soveltaa erottelevaa sanitaatiota ja ravinteita talteen ottavia teknisiä ratkaisuja Hiedanrannan uudella asuinalueella ns. superkorttelimittakaavassa. Superkortteli on Dwellers in Agile Cities (DAC) -hankkeessa kehitetty monimuotoinen ja yhteisöllinen kortteli (Dwellers in Agile Cities 2020<sup>1</sup>), jonka ideaa Hiedanrannan kehitysalustan eri hankkeet ja toimijat ovat yhteiskehittäneet myös kiertotalouden suuntaan. NutriCity-hankkeessa on mm. pilotoitu erilaisia käymälä-vaihtoehtoja Hiedanrannan Kartanolla ja Kuivaamolla, tehty käyttäjäkyselyitä niiden käytöstä, testattu tekniikoita käymäläjätevesijakeiden jatkojalostamiseen ja tutkittu erilliskerätyn virtsan käsittelyvaihtoehtoja todellisessa kaupunkiympäristössä.

Tähän raporttiin on koottu NutriCity-hankkeessa tuotettua tietoa erottelevan sanitaation toteuttamisesta kaupunkien uudisrakentamisessa. Raportissa esitetään ohjauskeinoja ravinteita kierrättävän sanitaation edistämiseen, teknisiä ratkaisuja ja toteutusmalleja, sekä niiden arviointia. Lisäksi raporttiin on koottu kuvauksia kansainvälisistä referenssikohteista ja esitelty hankkeessa toteutettujen pilot-kokeiden tuloksia (käymälät ja ravinteiden talteenottomenetelmät). Raportin lopussa esitetään esimerkin tavoin Tampereen Hiedanrantaan soveltuvia toteutusmalleja ja niiden vertailua.

---

<sup>1</sup> <https://www.agilecities.fi/>

## 2 Erottelevan sanitaation edistäminen kaupunkiympäristössä

Kunnat ja kaupungit ovat keskeisessä asemassa uusien kiertotalousratkaisujen käyttöönotossa ja testaamisessa. Uusilla ratkaisuilla on parhaat edellytykset toteutua, kun tavoitteet asetetaan riittävän konkreettisesti ja ne muodostetaan hyvässä yhteistyössä suunnittelun varhaisessa vaiheessa. Siirtyminen keskitetystä sanitaatiosta paikallisiin ratkaisuihin vaatii päättäjien sitoutumista, uusien toimintatapojen omaksumista ja vuorovaikutteista yhteistyötä asiantuntijoiden ja sidosryhmien kanssa.

### 2.1 Poliittiset ohjaukset ja kokeilujen edistäminen

Poliittiset ohjaukset vaikuttavat kaupunkien ja kuntien strategian luomiseen ja sitä kautta ohjaavat toimintaa kaupunkirakentamisessa. Esimerkiksi Euroopan komission 2015 hyväksymä kiertotalouspaketti sisälsi kiertotalouden toimintasuunnitelman ja käynnisti EU-laajuisen muutosprosessin kohti kiertotaloutta. Huhtikuussa 2018 hyväksyttiin päivitetty kiertotalouspaketti, joka asettaa tavoitteet kierrätykselle ja kaatopaikoille päätyvän jätteen määrälle. Ravinteiden kierrätyksessä Suomi pyrkii ravinteiden kierrättämisen esimerkkialueeksi (Työryhmämuistio MMM 2011:5).

Pääministeri Sanna Marinin hallitusohjelmassa (Valtioneuvosto 2019) on asetettu tavoitteeksi vahvistaa Suomen roolia kiertotalouden edelläkävijänä. Sen myötä pyritään hillitsemään luonnonvarojen ylikulutusta ja ilmastonmuutosta, suojellaan luonnon monimuotoisuutta, luodaan uudenlaista työtä ja vahvistetaan talouden kilpailukykyä. Hallitusohjelmassa on myös erikseen mainittu kiertotalouden vahvistaminen ravinteiden kierron osalta. Lisäksi ohjelman mukaan käyttöön otetaan työkaluja innovatiivisten hankintojen riskien jakamiseksi ja pyritään vauhdittamaan kestäviä ja innovatiivisia hankintoja koskevien hyvien käytäntöjen yleistymistä (KEINO-osaamisverkosto 2021). Parhailtaan on myös tekeillä kiertotalouden strategisen ohjelman laatiminen Suomelle vuoteen 2035 asti (Ympäristöministeriö 2020).

Kunnat ja kaupungit ovat keskeisessä asemassa uusien kiertotalousratkaisujen käyttöönotossa ja testaamisessa, ja tulevaisuudessa niiden rooli innovaatioyhteisöinä ja -kohteina korostuu (Sitra 2019, Halme & Niinikoski 2019, Kortesoja ym. 2017). Jo Sipilän hallituksen (2015-2019) kaupunkiohjelmassa kaupunkien asema innovaatioympäristöjen ja kestävien kaupunkiratkaisujen kehitysalustoina ja -ympäristöinä tunnistettiin ja kokeilukulttuuria ryhdyttiin edistämään kärkihankkeena. Työtä on jatkettu Sanna Marinin hallituskaudella (2019-) ja kansallinen kaupunkistrategia valmistuu vuonna 2020.

Ilmasto- ja kestävyystavoitteet ovat esillä yhä useamman kunnan ja kaupungin strategiassa. Isot kaupunkikehityshankkeet aiheuttavat kilpailua kaupunkien välille ja kunnianhimoiset tavoitteet tulisi lunastaa tavoitteiden toteutumiseksi. Esimerkiksi Circwaste-hankkeessa (joka kuuluu EU LIFE IP -ohjelmaan) tavoitteena on luotsata Suomea kohti kiertotaloutta ja toteuttaa valtakunnallista jätesuunnitelmaa lähes 20 pilottihankkeen kautta tarjoamalla asiantuntijatukea ja tuottamalla alueellisia kiertotalouskartoja. Canemure-hankkeessa (EU LIFE IP) edistetään ilmastonmuutoksen hillinnän käytännön toimia sekä järjestetään koulutusta, luodaan yhteistyöverkostoja ja levitetään hyviä käytäntöjä koko Suomeen. Ilmastonmuutoksen hillinnän edelläkävijöiden vuonna 2008 alkanut hiilineutraalit kunnat-verkosto (HINKU-verkosto 2021) kokoaa yhteen kunnianhimoisiin päästövähennyksiin sitoutuneet kunnat, ilmastoystävällisiä tuotteita ja palveluita tarjoavat yritykset sekä energia- ja ilmastoalan asiantuntijat. Edelläkävijäkuntien FISU-verkosto (Finnish Sustainable Communities 2021) tavoittelee hiilineutraalisuuden lisäksi jätteettömyyttä ja globaalisti kestäväää kulutusta vuoteen 2050 mennessä.

Vaikuttavien toimien käyttöönotto kunnissa ja kaupungeissa edellyttää muutoksia nykyisissä käytännöissä ja rohkeutta kokeilla uusia ratkaisuja. Kokeiluja voidaan käyttää paremman tietopohjan luomi-

seen ja kokemusperäisten ratkaisujen kehittämiseen. Ne voivat muuttaa vakiintuneita rakenteita ja käytäntöjä suuremmin ja tehokkaammin kuin selvitykset ja suunnitelmat (Antikainen ym. 2016.) Kaupunkien ja kuntien päätöksentekoa ohjaavat kuitenkin voimakkaasti sen hetkiset toimintamallit ja päätöksentekokulttuuri ja niistä luopuminen on haasteellista ja uusien tapojen omaksuminen vie aikaa, koska kaupunkien rakenteet ja toimet on rakennettu tukemaan nykyistä toimintatapaa (Antikainen ym. 2019). Pitkän elinkaaren kaupunki-infrastruktuurin, kuten jätevesiverkoston, uudistaminen on hidas prosessi, joka vaatii sekä teknisten ratkaisujen että niitä ohjaavien instituutioiden muutosta (Frantzeskaki & Loozbach 2010). Energiasektorin kokemusten mukaan systeeminen muutos kestävämpiin ratkaisuihin kestää vuosikymmeniä (Grubler ym. 2016).

Kokeiluiden odotetaan tuovan ketteryttä ja uusia kestävämpiä ratkaisuja kaupunkikehitykseen. Kokeilut voivat muuttaa diskurssia, teknologiaa, rakennettua ympäristöä ja infrastruktuuria, instituutioita, liiketoimintamalleja, markkinoita ja kansalaisten/kuluttajien käyttäytymistä (Kivimaa ym. 2017). Kokeiluista voidaan oppia laajemmin - mikä toimii missä, miten ja miksi? Tai sitten paikallisemmin, jolloin kokeiluihin osallistuville syntyy uutta osaamista ja verkostoja. Suomalaisessa innokkaassa mutta hajanaisessa kokeilukulttuurissa oppiminen jää usein osallistujien tasolle (Heiskanen ym. 2017). Toisaalta pienissä kokeiluissa ei voidakaan olettaa muutettavan isoja linjoja, jotka vaativat kansallisia tai jopa globaaleja muutoksia. Sen sijaan kokeilujen voidaan odottaa osoittavan mitä pitäisi muuttaa, miten se voidaan muuttaa, ja mitkä ovat eri toimijoiden roolit (Frantzeskaki ym. 2018).

Kokeilujen muutosvoimaa tukee joustava organisaatio, joka mahdollistaa eri toimijoiden osallistumisen (Bulkeley & Castán Broto 2013). Onnistuneiden kokeilujen ja uusien toimintatapojen omaksumisen taustalla ovat usein innostuneet ja aktiiviset osallistujat, osaavat tekijät, sitoutuneet yhteistyökumppanit sekä kiinnostus aihetta kohtaan (Antikainen ym. 2019). Kokeiluilla kehittämisen onnistuminen riippuu virallisesta ja epävirallisesta tulkinnasta kaupungin vastuulle kuuluvista toiminnoista (Kronsell & Mukhtal-Landgren 2018). Uudet sanitaatoratkaisut ovat juuri tällaisia toimintoja, joiden kohdalla rajoja vedetään. Miten kaupunki ml. jäte- ja vesihuollon toimijat suhtautuvat niihin ja minkälaisia rooleja uusille ja vanhoille toimijoille muodostuu.

Kokeilujen toteuttamisen haasteet liittyvät projektinhallintaan, rohkeuteen tehdä nopeita suunnanmuutoksia ja päätöksiä tarvittaessa. Etenkin virkamies- ja päätöksentekokulttuurin muutos vaatii paljon aikaa ja määrätietoista johtamista. Myös monet hallinnon ja rahoituksen rutiinit ohjaavat ja sitovat liikaa kokeilujen toteutusta ja rohkean kokeilun sijaan pysytään ennemmin tavanomaisessa kehittämisessä. (Antikainen ym. 2019). Kokeilujen ongelmana on myös lyhytjänteisyys (Munck af Rosenschöld & Wolf 2017) ja se, että vakiintuneiden instituutioiden ulkopuolisina kokeilut eivät muuta vallitsevia rakenteita (Bulkeley & Castán Broto 2013). Käytännössä kokeilujen vaikutuksesta kaupunki-infrastruktuurin kestävyysmuutoksessa ei ole vielä juurikaan näyttöä (Naess & Vogel 2012).

Rahoitusta tulisi myös varata kokeilujen seuraavaan vaiheeseen eli laajempaan pilotointiin, jotta uudet ratkaisut ja opit kokeiluista voisivat levitä ja tulla pysyviksi käytännöiksi (Antikainen ym. 2019). Suomessa erottelevia sanitaatoratkaisuja ja käymäläjätevesien ravinteiden kierrättämistä on tutkittu ja kehitetty erilaisissa pienen mittakaavan kokeiluissa ja piloteissa mm. Tampereen Hiedanrannassa (ks. pilot-kokeet, kappale 4) sekä tutkittu useissa hankkeissa (mm. Biourea, Mortti, Leväsieppari, KIVI-REKI, HIERAKKA). Toistaiseksi ratkaisuja ei kuitenkaan ole laajemmin pilotoitu ja otettu käyttöön Suomessa.

Uusilla kokeiluilla ja vaikuttavien toimien käyttöön otolla ja uusilla kokeiluilla on parhaat edellytykset toteutua, kun tavoitteet asetetaan riittävän konkreettisesti ja ne muodostetaan hyvässä yhteistyössä suunnittelun varhaisessa vaiheessa. Yhteisten tavoitteiden taakse tulee saada mahdollisimman laaja osaaminen ja keskittyä tulosten ja vaikutusten ohjaamiseen. Suunnittelun alkuvaiheessa on keskeistä, että kaupungin päättävä elin on sitoutunut tavoitteisiin ja toimii aktiivisesti niiden toteuttamisen edistämiseksi. Aiheen lähestyminen laajalla osaajajoukolla, tietotarpeiden tunnistaminen ja selvitysten teettäminen sekä avoin tiedotus ja osallistaminen ovat avainasemassa hankkeen menestymiseen. (Alhola ym. 2019, Halme & Niinikoski 2019)

Vuorovaikutteisen yhteistyön lisäksi voidaan asettaa velvoittavia toimia jättäen kuitenkin toiminnanharjoittajille väljyyttä ratkaista käytännön toteutukset (Alhola ym. 2019). On kuitenkin huomioitava, että liian tiukkojen kriteerien asettamiseen sekä ylhäältä alaspäin suuntautuvaan ohjaamiseen liittyy riskejä. Liian tiukat kriteerit esimerkiksi kaavoitusvaiheessa voivat pahimmassa tapauksessa johtaa siihen, ettei alueelle saada kriteereihin sitoutuvaa rakennusurakoitsijaa.

## 2.2 Riskinhallinta ja vastuut

Uusien toiminta- ja ratkaisumallien kokeilemiseen liittyy lähtökohtaisesti aina epävarmuus ja sen mukanaan tuoma epäonnistumisen mahdollisuus (Antikainen ym. 2019). Uusien ratkaisujen läpivieminen vaatii riskinottokykyä, rohkeutta ja kykyä kohdata mahdolliset epäonnistumiset.

Rakentamiseen liittyvissä kokeiluissa huolena voi olla projektin tavoitteisiin sitoutuneiden rakennuttajien ja teknisten osaajien löytäminen. Liian tiukkojen vaatimusten vuoksi riski rakennuttajayritysten kiinnostuksen menetyksestä voi muodostua suureksi ja pahimmassa tapauksessa rakennuttajaa hankkeelle ei saada. Tämän ongelman välttämiseksi tulisi jo suunnittelun alkuvaiheessa ottaa mukaan myös mahdolliset rakennuttajat ja toteuttaa markkinavuoropuhelua (katso kappale 2.3) riskin vähentämiseksi. Jos kaupunki aluesuunnittelussaan määrittää, että uudella asuinalueella ei ole liittymisvelvollisuutta kunnalliseen viemäriverkostoon käymäläjätevesien osalta, on hyvä olla tieto siitä, että esimerkiksi erottelevan sanitaation rakentamiseen löytyy kiinnostuneita urakoitsijoita.

Riskianalyyysien avulla riskejä voidaan tunnistaa, analysoida ja arvioida sekä arvioida riskin toteutumisen todennäköisyyttä ja vakavuutta. Ulkopuolisen riskirahoituksen kautta voidaan rahoittaa etenkin toiminnan kehitysvaihetta. Riskejä voidaan hallita ja jakaa myös tilaajan ja toimittajan välisillä sopimuksilla, joiden avulla voidaan sopia riskien jaosta ja tulokseen sidotusta tavoitteesta. Riskien hallintakeinoja- ja malleja on esitelty tarkemmin mm. Bergman ym. (2018).

Innovaatioiden syntymistä voidaan tukea ja niihin liittyvää riskinottoa voidaan lieventää taloudellisen tuen avulla (Bergman ym. 2018). Esimerkiksi Business Finlandilla on käytössään Innovatiiviset Julkiset Hankinnat (IJH) -rahoitusinstrumentti, josta voi hakea rahoitusta innovatiivisten julkisten hankintojen suunnitteluun ja valmisteluun. Valmistelutyön tulee liittyä palveluiden ja toiminnan uudistamiseen, joka edistää myös markkinoita ja uutta liiketoimintaa. Myös Sitra rahoittaa innovatiivisten julkisten hankintojen suunnittelu- ja asiantuntijatyötä Suomessa. Lisäksi erilaisten julkisrahoitteisten hankkeiden avulla voidaan tuottaa asiantuntijatietoa kaupungin tarpeisiin. Tärkeää kuitenkin on, että hankkeistaminen on hyvin johdettua ja tukee yhteisiä tavoitteita hyvää hankkeiden välistä vuorovaikutusta unohtamatta. Taloudellista tukea innovatiivisen ratkaisun varsinaisiin hankintakustannuksiin ei toistaiseksi ole saatavilla ja asiaa on pohdittu laajemmin mm. Bergman ym. (2018) selvityksessä.

Uusien ratkaisujen läpivienti saattaa hidastua tai heikentyä erilaisten vastuunjakokysymysten vuoksi. Esimerkiksi lupaviranomaisten pidättyvyys uusien kokeiluiden suhteen voi hankaloittaa tai hidastaa prosessin edistämistä. Lupaviranomaista ei kuitenkaan voi lähtökohtaisesti syyttää mahdollisesta epäonnistumisesta, sillä viranomainen antaa toiminnalle lupamääräykset ympäristönsuojelun näkökulmasta. Epäonnistumisen kohdatessa toiminnanharjoittaja on ensisijaisesti vastuussa, mutta viimekädessä vastuu on kuitenkin tilaajalla. Kokeilujen suunnittelussa tulee muistaa, ettei viranomaistoiminnassa tai muussa julkisen vallan käytössä voida poiketa lain vaatimuksista, ellei tästä ole lailla säädetty (Oikeusministeriö 2017).

Erottelevaan ja ravinnekiertoa tukevaan sanitaatioon liittyy lyhyen aikavälin riskejä tekniikan toimivuudesta, ravinteiden kierrätyksen säädöksistä, kierrätysravinteiden kysynnästä, haitallisista aineista, vastuutahoista ja hyväksyttävyydestä. Sanitaatiopilotin skaalaus asuintalon/korttelin/kaupunginosan mitatakaavaan on iso askel, josta yksittäisen (kunnallis)tekniikan suunnittelijan tai suunnittelun tilaajan ei voida olettaa yksin ottavan vastuuta. Siirtyminen keskitetystä sanitaatiosta paikallisiin ratkaisuihin vaatii päättäjien sitoutumista, myös riskien osalta.

## 2.3 Markkinavuoropuhelu ja innovaatiokumppanuus

Ennen velvoittavien ehtojen asettamista esimerkiksi kaavoituksen tai tontinluovutusehtojen kautta, on hyvä järjestää markkinavuoropuhelu toimijoiden ja sidosryhmien kanssa. Markkinavuoropuhelun avulla voidaan selvittää rakennuttajien ja muiden sidosryhmien kuten esimerkiksi loppukäyttäjien kiinnostusta erottelevaa sanitaatiota kohtaan ja selvittää mahdollisia ravinnekierrätyksen toimijoita ja palvelun tarjoajia. Markkinavuoropuhelu on erittäin tärkeä osa prosessia innovatiivisten julkisten hankintojen näkökulmasta (Bergman ym. 2018, Antikainen ym. 2016, Alhola ym. 2017). Vuoropuhelulla voidaan esimerkiksi selvittää, millä ehdoilla suunnitellut toimet voidaan toteuttaa ja ovatko ne sopivia sidottaviksi esimerkiksi tontinluovutuskilpailuun. Samalla saadaan tietoa tilaajan tarpeista ja voidaan kehittää palveluita niihin sopivammiksi. Markkinavuoropuhelun lisäksi esimerkiksi idea-, haaste- tai innovaatiokilpailun kautta voidaan hakea ideoita toteutettavaan ratkaisuun ja kartoittaa alan toimijoita.

Jos kaupunki on vahvasti sitoutunut kiertotaloustavoitteisiin, se voi tarjota ns. toiminta-alustan paikalliselle käsittelyjärjestelmälle esimerkiksi vesihuoltolaitoksen toimesta (ks. operointimallit kappale 5.2). Hankinnan kilpailutuksessa voidaan käyttää innovaatiokumppanuutta tai innovatiivisen hankinnan määrittelyä teknologian hankkimiselle, jos ratkaisua ei ole markkinoilla valmiina. Innovatiivinen julkinen hankinta on ”uuden tai merkittävästi parannetun tuotteen tai palvelun hankinta, jolla parannetaan julkisten palveluiden tuottavuutta, laatua, kestävyyttä ja/tai vaikuttavuutta” (Valovirta ym. 2017). Innovatiivinen hankinta voidaan toteuttaa erilaisilla hankintamenettelyillä. Tärkeää on, että hankinnan kohde määritetään laatutekijöiden, toiminnallisten vaatimusten, suorituskyvyn ja vaikuttavuuden kautta (Valovirta ym. 2017). Innovaatiokumppanuus on uusi ja toistaiseksi varsin vähäisesti käytetty hankintamenettely. Sitä koskeva sääntely astui voimaan vuoden 2017 alusta uuden hankintalain voimaantullessa. Innovaatiokumppanuus on julkisen hankintamenettelyn muoto, jossa tilataan ensimmäisessä vaiheessa kehitystyötä, joka tähtää sellaiseen tuotteeseen tai palvelukonseptiin, jota ei sellaisenaan löydy markkinoilta. Toimittajan edellytetään siis kehittävän ideoansa tai konseptiaan innovaatiokumppanuuden aikana sellaiseksi, että se lopulta vastaa mahdollisimman hyvin hankintayksikön tarpeisiin. Kehitysvaiheen jälkeen kehityksen kohteena olleita tuotteita tai palveluita ei tarvitse erikseen kilpailuttaa. (Aho 2017).

Markkinavuoropuhelun järjestäminen on koettu hyödylliseksi myös innovaatiokumppanuuden toteuttamisessa. Markkinavuoropuhelussa voidaan keskustella jo ennen varsinaisen hankintamenettelyn aloittamista mahdollisten kumppanien kanssa innovaatiokumppanuuskonseptista ja siten helpottaa varsinaista innovaatiokumppanuusprosessia. Innovaatiokumppanuus antaa mahdollisuuden yhteiseen kehittämiseen ja jättää tilaa erilaisille ratkaisuille. Innovaatiokumppanuusmenettely vaatii jo kehitysvaiheessa hankintayksiköltä sitoutumista sekä taloudellisia resursseja. (Bergman ym. 2018, Halonen 2019)

## 2.4 Erottelevan sanitaation edistäminen kaavoituksen keinoin

Erottelevan sanitaation tai alueellisen ravinnekierron edistämisestä kaavoituksella ei toistaiseksi ole käytännön selvityksiä ja kokemuksia. Monia kiertotalous- tai ilmastotavoitteiden tukemiseen tarkoitettuja selvityksiä voidaan kuitenkin soveltaa myös ravinteiden kierrättämiseen (mm. Lylykangas ym. 2013). Kokemukset ja opit esimerkiksi vähähiilisestä rakentamisesta ovat hyödyllisiä suunniteltaessa uusia ravinteita talteen ottavia rakentamisen ratkaisuja. Tässä kappaleessa aineistona on hyödynnetty NutriCity-hankkeen aikana järjestettyjä keskusteluita ja työpajoja Tampereen kaupungin Hiedanrannan kehittämisestä ja kaavoituksesta vastaavien henkilöiden kanssa.

Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999) ohjaa kaavoitusta ja asemakaavoitus on osa maankäytön suunnittelun kokonaisuutta. Asemakaavaa laadittaessa tulee siten huomioida myös muut kaavahierarkian tasot (Valtakunnalliset alueiden käyttötavoitteet -> Maakuntakaava -> Yleiskaava -> Asemakaava). Laadittava asemakaava ei saa olla ristiriidassa lainsäädännön kanssa ja sen tulee mahdollistaa myös muiden ohjauskeinojen, kuten rakentamismääräysten toteutuminen. Ravinteiden kierrätys ja erotteleva

sanitaatio tulisi huomioida kaikilla kaavoituksen tasoilla, jotta tavoitteen vaikuttavuus voidaan taata. Vaikuttavuus on tehokkaampaa, kun aluekohtaista kiertotalous- ja ravinteiden kierrätysstrategiaa toteutetaan johdonmukaisesti rakentamismääräyksissä, tontinluovutusehdoissa ja kunnan antamissa rakentamisen ohjeissa.

Kansalliset kiertotaloussitoumukset ja -tavoitteet eivät sido kaavoituksesta vastaavaa kuntaa juridisesti, mutta auttavat asettamaan aluekohtaisia tavoitteita, joihin kaavoituksella voidaan pyrkiä vastaamaan. Kaupunkien kehittämistyön ja kaavoituksen samanaikainen edistäminen voi kuitenkin hankaloittaa roolien jakoa, joten selkeiden linjanvetojen tulisi tapahtua ennen kaavoituksen aloittamista. Kaavoitusvaiheessa ravinteiden kierrättäminen erottelevalla sanitaatiolla tulee olla hyvissä ajoin mukana valmistelussa. On tärkeää arvioida ravinnekiertoa tukevien vaihtoehtoisten ratkaisujen vaikutuksia esimerkiksi päästö- ja kustannusarvioinnein. Niiden avulla voidaan tukea suunnittelua ja arvioida toimien vaikuttavuutta. Arviointeihin olisi hyvä kytkeä kaikki ne tekijät, joihin kaavasunnittelulla voidaan vaikuttaa ja joiden suuruus voidaan arvioida riittävän tarkasti. Laskelmia ja arviointeja tulee tarkentaa suunnittelun edetessä ja rajata vaihtoehtoja erilaisten kriteerien valossa.

Ylemmän kaavataso roolina on luoda lähtökohdat seuraavan kaavataso valinnoille ja siten myös ravinteiden kierrätykselle. Yleiskaavalla ohjataan alueiden käyttöä yleispiirteisesti ja kerrotaan tavoittelun kehityksen periaatteet, esimerkiksi tietyllä alueella tavoitteena oleva ravinteiden kierrätys. Näitä periaatteita konkretisoidaan tarkemmalla suunnittelutasolla ensisijaisesti asemakaavassa ja mahdollisesti myös tontinluovutusehdoissa, antamalla täsmällisempiä rakentamista ohjaavia määräyksiä. Viitesuunnitelmalla (toimijan näkemys kaavoitettavan tontin tai alueen toteutusratkaisuksi) voidaan selvittää periaatteen erilaisia konkreettisia toteuttamisvaihtoehtoja ja ratkaisun vaikutuksia. Kokonaista korttelikokonaisuutta koskevaa viitesuunnitelmaa kutsutaan myös korttelisuunnitelmaksi. Viitesuunnitelmassa voidaan tarkemmin eritellä esimerkiksi kortteleiden vaatimuksia erottelevan sanitaation osalta.

Konkreettisia ohjeita ja suosituksia voidaan antaa myös rakentamistapaohjeissa eli asemakaavan liiteasiakirjana tai tiettyä kaupunginosaa koskevana erillisenä asiakirjana laaditussa ohjeessa, joilla voidaan täsmentää asemakaavan sisältöä. Ne eivät kuitenkaan sido rakentajaa kaavamääräysten tavoin, mutta sitovuutta voidaan lisätä asettamalla ne tontinluovutusehdoissa sitovavaksi ehdoksi. Kunta voi asettaa erottelevaa sanitaatiota koskevia vaatimuksia rakennustapaohjeiden kautta, jos ne ovat olleet mukana kaavassa koko kaavoitusprosessin ajan. Tampereella rakentamistapaohjeen sitovuutta on pyritty lisäämään kuljettamalla ne mukana koko kaavaproessin ajan ja määrittämällä ne kaavan liitteeksi (Rahkonen 2020).

Tontinluovutusehdoissa tai -ohjeissa määritellään kriteerit tonttien luovutukselle tietyjen ehtojen mukaisesti. Yleisimmän eli hintaan perustuvan tarjouskilpailun ohella tontinluovutuksen ehtoina voi olla esimerkiksi hiilijalanjälkeen, energiatehokkuuteen sekä kiertotalouteen liittyviä vaatimuksia (Kallioniemi ym. 2014; Karhu 2019). Tontinluovutusehtojen ohella myös maankäyttösopimukseen voidaan kirjata määräyksiä sellaisista asioista, joita asemakaavassa ei voi määrätä. Kunta voi ohjata maan omistajana velvollisuutta erotella ja käsitellä käymäläjätevedet erillään muista jätevesistä tontinluovutusehtojen tai luovutuskilpailujen pisteytyksen kautta. Esimerkiksi Porvoossa, Tampereella ja Vaasassa on jo käytetty elinkaari päästöjä ohjauksena tontinluovutuskilpailuissa (Bionova 2017).

Kaavahierarkian eri tasoilla tehtävillä ratkaisuilla voidaan edistää yhteistä päämäärää johdonmukaisesti, jolloin kommunikaation merkitys kaavatasojen rajapinnoissa korostuu. Näkemys ravinteiden kierrätyksestä on tärkeää välittää asemakaavoituksesta myös rakennussuunnittelijalle ja rakennuksen käyttäjille saakka, jotta saavutetaan paras mahdollinen vaikuttavuus.

Myös kumppanuuskaavoitus on yksi tapa kaavoituksen toteuttamiseen ja siinä kaavoitettavan kohteen todennäköinen rakentaja ja/tai rakennuttaja on tiedossa jo kaavahankkeeseen ryhtyessä ja asemakaava laaditaan näiden tahojen kanssa tiiviissä yhteistyössä. Kumppanuuskaavoituksessa viitesuunnitelmien laatimisesta vastaa useimmiten rakennusliikkeen palkkaama arkkitehti, jolloin kaavan viitesuunnittelu palvelee samalla kohteen toteutussuunnittelun luonnosvaiheena. Kaavoitusprosessin



hallinnasta vastaa kuitenkin aina kunta. Kumppanuuskaavoitus edellyttää kunnan ja rakennuttajatahon välistä kaavoitussopimusta/yhteistoimintasopimusta. (Häkämies 2017)

### **Esimerkkinä energiatehokas rakentaminen Porvoon Skaftkärrissä**

Porvoossa Skaftkärrissä käynnistettiin vuonna 2008 kaavoituksen energiatehokkuuden edistämiseen tähtäävä pilottihanke. Kaavoituksen vaikuttamiskeinoja energiatehokkuuteen on tarkasteltu Sitran (2012) raportissa. Raportissa todetaan, että kaavoituksella voidaan merkittävästi vaikuttaa alueiden energiatehokkuuteen.

Yhteistyö kaavoittajien ja asiantuntijoiden välillä todettiin välttämättömäksi tavoitteen toteuttamiseksi ja projektiin onnistumisen kannalta. Asiantuntijoiden ja osallistujien mukaan ottaminen jo kaavoituksen alkuvaiheessa on tärkeää. Riittävä osaaminen ja osajien sitoutuminen tavoitteiden saavuttamiseksi olivat edellytyksiä onnistuneelle lopputulokselle. Myös toteutuspuolen (kuntatekniikka, tontinluovutus, rakennusvalvonta, vesilaitos ja energialaitos) tiivis mukanaolo jo kaavoitusvaiheessa toi lisää asiantuntemusta projektin käyttöön. Näin voitiin varmistaa, että energiatehokkuustavoitteet siirtyvät tehokkaasti myös käytäntöön. Asiantuntijoiden lisäksi kaavoitukseen vaikutti alueen asukaskyselyn tuloksena ilmoittautunut ryhmä, joka osallistui hankkeen jatkosuunnitteluun. Ryhmästä muodostui siten 'sparrausryhmä' edistämään asemakaavatyötä, ja tämän sparrausryhmän avulla saatiin laajaa vuorovaikutusta sekä sidosryhmien ja kaupunkilaisten ideoita ja ajatuksia mukaan hankkeen suunnitteluun.

Päästölaskelmia ja niistä tehtyjä johtopäätöksiä hyödynnettiin jo suunnitteluperiaatteiden määrittelyssä, joiden pohjalta laadittiin kaavarunko. Porvoon Skaftkärrin tapauksessa vaihtoehtoja arvioitiin perusteellisesti sekä teetettiin tavanomaista enemmän selvityksiä vaihtoehtojen ominaisuuksista ja vaikutuksista. Sitran (2012) raportissa todettiin, että päästölaskelmia tarvitaan kaavoituksen tueksi ja esim. energia- ja päästövaikutusten sekä kustannusten arviointi tulisi sisällyttää kaikilla kaavatasoilla kaavaprosessiin. Perusteellisten päästöarviointien ja kustannuslaskelmien tuottaminen ei kuitenkaan ole mahdollista kaikissa asemakaavahankkeissa. Tästä syystä kaavoittajien käyttöön tarvittaisiin yksinkertaisia arviointityökaluja.

Tavoitteiden toteutumisen kannalta pidettiin tärkeänä, että jo kaavan laatimisen aikana suunniteltiin asemakaavan ja kaavamääräysten, rakentamistapaohjeiden, tontinluovutusehtojen ja rakennuslupamennettelyn roolit ohjauksessa. Jos kaupunki omistaa maan, voidaan alueella käyttää tontinluovutusehtoja tavoitteiden saavuttamiseksi. Rakennusvalvonnan tulee olla aktiivinen neuvoja ja tiedottaja sekä ohjata rakentamista ennakkoiden, jotta asetetut tavoitteet toteutuvat.

Kaavoitusvaiheessa suunnittelua tarkennettiin ja täydennettiin selvitysten ja palautteen pohjalta. Asemakaavaluonnoksessa pyrittiin ratkaisuihin, jotka eivät sulje pois uusia energiatehokkuutta parantavia mahdollisuuksia, ja vaihtoehtoja luotiin useita. Kaavarunko ja tarkentuneet tavoitteet loivat selkeät lähtökohdat asemakaavavaihtoehtojen tekemiselle. Vaihtoehtoja arvioitiin ja teetettiin selvityksiä vaihtoehtojen ominaisuuksista ja vaikutuksista. Palautteen saamisen jälkeen tuotettiin asemakaavaehdotus, jonka vaikutuksia arvioitiin samoin periaattein kuin asemakaavaluonnosta. Kaavaehdotusvaiheessa laadittiin aluetta koskevat rakentamistapaohjeet, missä korostui energiatehokkuuden huomioiminen rakennussuunnittelussa ja rakentamisessa. Ohjeissa eriteltiin, miten energiatehokkuutta edistetään suunnittelu- ja rakennusprosessin eri vaiheissa sekä selvennetään asemakaavan, rakennustapaohjeiden, tontinluovutusehtojen ja rakennusvalvonnan keskinäisiä suhteita ja työnjakoa. Rakentamistapaohjeissa myös määriteltiin rakentajaa velvoittavia kohtia sekä annettiin suosituksia energiatehokkuuden parantamiseksi. Velvoittavilla ohjeilla pyrittiin varmistamaan alueelle asetettujen tavoitteiden toteutuminen.

## 2.5 Reunaehdot vesi- ja jätehuollossa

Vesihuoltolain (119/2001, 81/2014) mukaan kunnan tulee kehittää vesihuoltoa alueellaan yhdyskuntakehitystä vastaavasti yhteistyössä alueensa vesihuoltolaitosten, laitoksille vettä toimittavien ja niiden jätevesiä käsittelevien sekä muiden kuntien kanssa sekä osallistua vesihuollon alueelliseen yleissuunniteluun (5 §). Kunnan alueella vesihuoltolaitosten toiminta-alueiden tulee kattaa alueet, joilla kiinteistöjen liittäminen vesihuoltolaitoksen vesijohtoon tai jätevesiviemäriin on tarpeen toteutuneen tai suunnitellun yhdyskuntakehityksen vuoksi (7 §). Kunta hyväksyy vesihuoltolaitoksen toiminta-alueen ja sen tulee hyväksyessään määrittää, vesihuollon tarpeet huomioon ottaen, ne alueet, jotka on saatettava vesihuoltolaitoksen jätevesiviemäriverkoston piiriin (8 §). Vesihuoltolaitoksen toiminta-alueella oleva kiinteistö on liitettävä laitoksen vesijohtoon ja jätevesiviemäriin (10 §). Kunnan ympäristönsuojeluviranomainen voi hakemuksesta myöntää toistaiseksi voimassa olevan tai määräaikaisen vapautuksen 10 §:ssä tarkoitettua kiinteistön liittämismuutoksen edellyttäen mm. että, vapauttaminen ei vaaranna vesihuollon taloudellista ja asianmukaista hoitamista vesihuoltolaitoksen toiminta-alueella ja että kiinteistön jätevesien johtaminen ja käsittely voidaan järjestää ympäristönsuojelulaissa säädettyjen vaatimusten mukaisesti (11 §).

Tyypillisesti alueellinen vesihuoltolaitos vastaa vesihuollosta kunnan alueella ja toimittaa kiinteistöille talousveden sekä vastaa jätevesien poisjohtamisesta ja käsittelystä. Asiakkaat tekevät vesihuoltolaitoksen kanssa liittymis- ja käyttösopimuksen ja vesihuoltolaitos laskuttaa asiakasta sopimuksen perusteella. Sekä talous- että jätevesi laskutetaan yleensä kulutetun talousvesimäärän mukaan. Asiakkaan ja vesihuoltolaitoksen välinen rajapinta on ns. liityntäpiste, josta eteenpäin jätevedenpuhdistamolle johdettavat verkostot ja niiden ylläpitäminen ovat vesihuoltolaitoksen vastuulla. Vastaavasti kiinteistöltä liityntäpisteelle johdettavat verkostot ovat asiakkaan vastuulla.

Vesihuoltolaki ei sisällä vaatimuksia tai mainintoja jätevesien syntypaikkaerottelusta eli käymäläjätevesien ja pesuvesien erikseen käsittelystä. Mikäli kiinteistöillä sovelletaan syntypaikkaerottelua ja esimerkiksi käymäläjätevedet käsitellään erikseen paikallisesti ravinteiden talteen ottamiseksi ja pelkät pesuvedet johdetaan vesihuoltolaitoksen viemäriverkostoon, ei tämä sinällään aiheuta toimenpiteitä vesihuoltolain kannalta. Tämä ei myöskään aiheuta vesihuoltolain 11 §:n mainitsemaa tarvetta hakea vapautusta kiinteistön liittämismuutoksen verkostoon. Käytännössä verkostoon johdettavat jätevedet, eli pesuvedet, ovat puhtaampia ja sisältävät vähemmän orgaanista ainesta ja ravinteita kuin verkostoon tavallisesti johdettavat kiinteistön jätevedet. Vesihuoltolaitoksen kannalta on hyvä, että etenkin puhdistamoille johdetun fosforin kuormitus alenee. Pesuvesien lisäksi verkostoon voi olla tarvetta johdattaa myös paikallisesta käymäläjätevesien käsittelystä syntyviä ns. rejektivesiä, mutta kokonaiskuormitus on silti pienempi verrattuna tavanomaiseen tilanteeseen. Vaikka verkostoon johdettava jätevesikuormitus laskee, ei vesihuoltolaitoksella ole velvollisuutta alentaa taksaperusteita laimeamman jäteveden takia. Se voi kuitenkin halutessaan tukea ravinteiden kiertoa taksaperusteita muuttamalla tai jopa osallistua paikallisen käsittelyn käyttöön ja ylläpitoon (ks. luku 5.2 operointimalleista). (Jokela 2020)

Jätehuollon osalta kunnan on voimassa olevan jätelain (646/2011) mukaan järjestettävä asumisessa syntyvän jätteen, myös biojätteen, käsittely. Nykyinen jätelaki estää jätejakeiden sekoittamisen syntypaikalla, joka voi hankaloittaa biojätteen ja käymäläjätteen yhteiskeräystä. Jos jätejakeiden sekoittaminen toisiinsa syntypaikalla on ympäristösyistä perusteltua, niin hyväksyntää toiminnalle on mahdollista hakea. Koska käytännössä biojätehuolto kuuluu kuntien vastuulle ja jätevesilietteiden jätehuolto kiinteistöjen omalle vastuulle, poikkeavasta järjestelystä on keskusteltava kunnan jäteviranomaisen, paikallisen jätehuoltoyhtiön ja vesihuoltolaitoksen kanssa. Kuntavastuun sisällä on mahdollista sopia biojätteen keskittetystä, paikallisesta tai muusta käsittelystä, mutta saavutettavien ravinne- ja ilmastohyötyjen lisäksi on huomioitava myös toteutettavan järjestelyn kustannustehokkuus. (Nummela 2020, Salmenperä 2020)

Nykyisin biojätteen keräyksessä on alueellisia eroja toimintatavoissa, mutta joissain kunnissa kotikompostin haltijan tulee ilmoittaa omasta kompostoinnistaan jätehuoltoyhtiöön vapautuakseen biojätteen erilliskeräysvelvoitteesta. Jos vastaava ilmoitusmenettely olisi mahdollinen biojätteen paikallisessa

hyödyntämisessä, se ei silloin vähentäisi jätteen kierrätystavoitteita. Biojätteen ja käymäläjätteen yhteiskeräyksestä ja käsittelystä tarvitaan vielä lisää selvityksiä. Toisaalta taas biojätteen ja käymäläjätteen yhteiskäsittelyssä muodostuvalle seokselle ei ole toistaiseksi valmista jäteluokkaa. Luokittelu ratkaisee, kuuluuko seos yhdyskuntajätteisiin ja mikä taho on vastuussa sen käsittelystä.

Yhdyskunnissa on arvioitu muodostuvan biojätettä noin 0,8 miljoonaa tonnia vuodessa, josta tällä hetkellä saadaan kierrätettäväksi noin kolmasosa (Salmenperä ym. 2016). Biojätteen keräysmäärä tulisi saada lisättyä valtakunnallisessa jätesuunnitelmassa asetetun tavoitteen mukaiseksi eli 60 %:iin vuonna 2023 (Laaksonen ym. 2018) sekä jätedirektiivin kierrätystavoitteiden mukaisesti vielä sitäkin korkeammaksi. Jotta biojätteen ravinteet katsotaan kierrätetyksi, tulee myös lopputuote käyttää lannoitevalmisteenä. Biojätteen keräys esimerkiksi asuntokohtaisesti voi lisätä biojätteen talteenottoastetta ja helpottaa kiristyvien keräystavoitteiden saavuttamista, mutta etenkin yhteiskeräys käymäläjätteen kanssa saattaa edellyttää erillistä tulkintaa ja hyväksyntää EU:n komissiolta.

Rakentamisen hiilijalanjälkihajaus tulee tulevaisuudessa vaikuttamaan uudisrakentamisessa asetettavien päästökattojen myötä. Rakennuksen hiilijalanjäljen arviointi ei nykyisellään tule huomioimaan esimerkiksi asukkaan energian säästötoimia. Ravinnetuotteen jätevesien erilliskeräys ja käsittely vähentää asumisen hiilijalanjälkeä, mutta voi nostaa rakentamisen hiilijalanjälkeä, jos ravinnetehokkaan ratkaisun toteuttaminen vaatii vallitsevaan käytäntöön verrattuna enemmän raaka-aineita ja/tai energiaa. Ravinnetehokkaat ratkaisut voivat kuitenkin mahdollistaa paikallisen energian tuottamisen, jolloin vaikutus näkyy talon energiatehokkuusluvun myötä rakennusten hiilijalanjäljessä. Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta tarkennetaan, että ympäristössä olevasta energiasta tuotetulla energialla tarkoitetaan rakennukseen kuuluvalla laitteistolla paikan päällä tai rakennuksen lähellä auringosta, tuulesta, maasta, ilmasta tai vedestä tuotettua lämpö- tai sähköenergiaa (Ympäristöministeriö 2017).

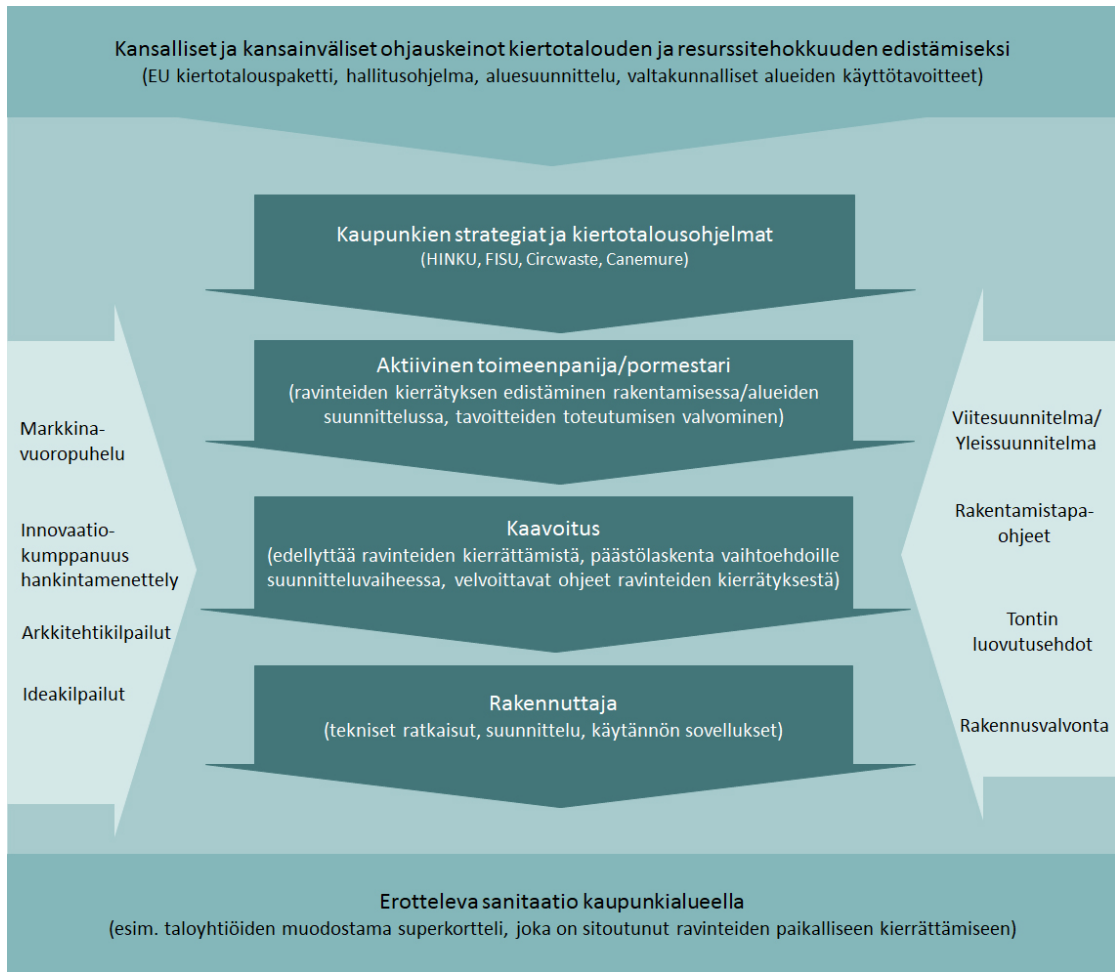
## 2.6 Yhteenveto

Tähän yhteenvetoon on koottu edellä esitettyjen kappaleiden pohjalta tekijöitä, joiden avulla voidaan vaikuttaa uusien ravinteita kierrättävien sanitaatoratkaisujen toteuttamiseen rakentamisessa. Tunnistetut tekijät ja niiden alle kootut keskeiset toimet tai roolit on pyritty kuvaamaan alla Taulukossa 1. Lisäksi eri tekijöiden välisiä suhteita ja vuorovaikutusta on havainnollistettu Kuvassa 1.

**Taulukko 1. Huomioitavia tekijöitä ravinteita kierrättävän sanitaation toteutuksesta kaupungeissa.**

Keskeiset tekijät	Roolien ja toimien kuvaus
<b>Päätäjät</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>asetetaan tavoite ravinteiden kierrätykselle</li> <li>sitoutuminen tavoitteisiin</li> <li>määritetään tarvittavat selvitystarpeet</li> <li>asiantuntijaresurssien tarpeen tunnistaminen</li> <li>tavoitteiden säilyttäminen suunnittelussa koko prosessin ajan</li> <li>muutoksen johtaminen neuvottelukeinoin</li> <li>viestintä on keskeistä</li> <li>yhteistyö vesi- ja jätehuollon, sekä muiden paikallisten toimijoiden, yritysten ja ravinnekierrätyksen asiantuntijoiden kanssa</li> </ul>
<b>Arvioivan tiedon tuottaminen päätöksenteon tueksi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>vaihtoehtoisten ratkaisujen päästö- ja kustannusarvoitien teettäminen ja niiden tarkentaminen suunnittelun edetessä</li> <li>arviointikriteerien hyödyntäminen vaihtoehtojen arvioinnissa (ravinteiden talteenottopotentiali ja käyttökelpoisuus, taloudelliset vaikutukset, ympäristövaikutukset, toteuttamiskelpoisuus, asumisviihtyvyys, sosiaaliset vaikutukset)</li> </ul>
<b>Riskien hallinta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>vastuu on kaupungilla/kunnalla</li> <li>riskien tunnistaminen, analysointi ja arviointi</li> <li>ulkopuolinen riskirahoitus</li> <li>hankintasopimuksella varautuminen</li> <li>vastuu uuden ratkaisun käyttöönotosta kollektiivisemmaksi</li> </ul>

Keskeiset tekijät	Roolien ja toimien kuvaus
<b>Markkinavuoropuhelu sidosryhmien kanssa ja hankintaprosessi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• selvitetään rakennuttajien ja muiden sidosryhmien kiinnostusta toteuttaa erottelevaa sanitaatiota ja sitoutua tavoitteisiin</li> <li>• alueellisten ravinnekierrätyksen toimijoiden ja palvelun tarjoajien kartoittaminen ja alustavat keskustelut hankintamenettelyä ajatellen</li> <li>• hankintayksikön sitoutuminen ja riittävät resurssit menettelyyn</li> <li>• ratkaisun kehittäminen alueelliseen tarpeeseen yhteistyössä</li> </ul>
<b>Kaavoitus- ja suunnittelutyö</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ravinteiden kierrättäminen hyvissä ajoin mukana suunnittelussa</li> <li>• huomioitava kunnallistekniikan suunnittelussa, aluevarauksissa ja talotekniikan suunnittelussa</li> <li>• kaavoituksen keinojen hyödyntäminen ravinteita kierrättävien ratkaisujen edistämiseksi kuntaan parhaiten soveltuvalla tavalla (esim. asemakaava, rakentamistapaohjeet, tontinluovutusehdot)</li> <li>• vaihtoehtoisten ratkaisujen tuottaminen rinnakkain ja tarkentaminen kaavoituksen edetessä</li> <li>• mahdollisten vesi- ja jätehuollon reunaehtojen huomioiminen</li> <li>• kaavoittajien, asiantuntijoiden ja toteuttajaosapuolten välinen yhteistyö</li> </ul>
<b>Velvoittavat toimet rakentamisessa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ravinnekierrätystä tukevien ratkaisujen velvoitteet rakentamistapaohjeisiin</li> <li>• tontinluovutusehtojen kriteerien hyödyntäminen (esim. rakentamistapaohjeiden velvoittaminen sitoviksi)</li> <li>• rakennusvalvonta aktiivisena neuvojana</li> </ul>
<b>Kaupungin osallistaminen ja toiminta-alustan tarjoaminen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kaupunki voi tarjota toiminta-alustan (esim. paikallinen tekninen ratkaisu jätevesien käsittelyyn)</li> <li>• kiinteistöjen sitoutuminen alustan käyttöön määritetään tontinluovutusehdoissa</li> <li>• markkinavuoropuhelun avulla tulee ensin varmistaa, että toimijat ovat valmiita sitoutumaan toiminta-alustan käyttöön</li> <li>• innovatiivinen hankinta tai innovaatiokumppanuusmenettely</li> <li>• jos erottelevat sanitaatoratkaisut yleistyvät ja palvelun- ja teknologian tarjoajat lisääntyvät, kaupunki voi edellyttää kaavassa toimia ilman toiminta-alustan tarjoamista</li> </ul>
<b>Rahoituksen tuki</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• esim. Business Finlandin rahoitus innovatiivisten julkisten hankintojen suunnitteluun ja valmisteluun</li> <li>• asiantuntijatiedon tuottaminen julkisrahoitteisilla hankkeilla, tukevat hyvin johdettuina yhteisiä tavoitteita</li> </ul>
<b>Vaikuttavuuden seuraaminen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• seurataan tavoitteiden toteutumista</li> <li>• tarkennetaan päästölaskentaa</li> <li>• tuotetaan tietoa</li> </ul>



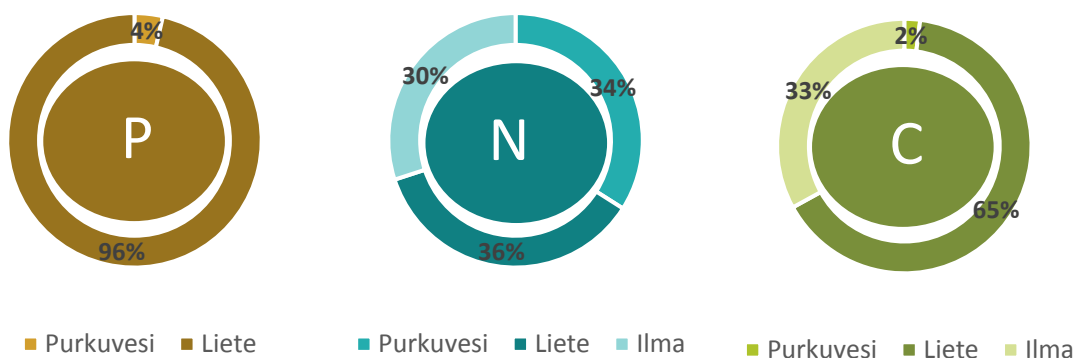
Kuva 1. Prosessin eteneminen ja eri tekijöiden välinen vuorovaikutus.

### 3 Ravinteiden kierrättämistä tukevat sanitaatoratkaisut

Erotteleva sanitaatio, jossa WC- ja pesuvedet kerätään ja käsitellään omina jakeinaan, mahdollistaa nykyistä tehokkaamman ja haitta-aineettomamman ravinteiden talteenoton ja -kierron. Kaupunkialueilla tällaiset ratkaisut voisivat tulla kyseeseen etenkin uusilla asuinalueilla tai saneerattavissa kohteissa.

Suomessa muodostuu vuosittain jopa yli 20 miljoonaa kiloa typpeä ja 3 miljoonaa kiloa fosforia käymäläjätteissä (Rose ym. 2015, Valtioneuvoston asetus 157/2017). Nykyisessä jätevesienkäsittelyssä hukataan arvokkaita ravinteita haihduttamalla typpeä ilmaan ja saostamalla fosforia heikosti kasveille käyttökelpoiseen muotoon. Keskimäärin noin kolmannes typestä johdetaan purkuveden mukana vesistöön, kolmannes haihtuu ilmaan (mm. voimakkaana kasvihuonekaasuna, dityppioksidina) ja noin kolmannes päätyy lietteeseen (Kuva 2) (Lehtoranta ym. 2020). Liete käsitellään yleensä mädättämällä, jonka jälkeen mädätteestä erotettu typpipitoinen rejektivesi kierrätetään usein takaisin jätevedenkäsittelyprosessiin. Jäteveden käsittely puhdistamalla kuluttaa paljon energiaa (mm. ilmastus) ja kemikaaleja (mm. fosforin saostaminen) (Lehtoranta ym. 2020). Kuivattua lietettä voidaan jatkokäsitellä esimerkiksi kompostoimalla, jolloin typpeä menetetään lisää. Sitoutunutta fosforia ja typpeä sekä orgaanista ainesta sisältävä jätevesilietteestä jalostettu lopputuote voidaan hyödyntää maanparannusaineena (Ruokavirasto 2019).

Ravinnepitoinen käymäläjätteen sekoittaminen ja laimentaminen mm. pesuvesiin ja muihin yhdyskuntien jätevesiin tekee ravinteiden talteenoton jätevedenpuhdistamalla teknisesti haastavaksi. Erilaisten jätevesien käsittely yhdessä lisää myös haitta-aineiden kirjoa. Puhdistamolietteen käyttöön ja hyväksyttävyyteen liittyy tästä syystä haasteita ja uusia ravinteet puhtaammin talteen ottavia menetelmiä tarvitaan tulevaisuudessa (Lehtoranta ym. 2021). Lietepohjaisten mädätteiden ja kompostien suorat vaikutukset ihmisiin on kuitenkin todettu vähäisiksi. Sen sijaan vaikutuksia maaperään ja sen eliöstöön ei tunneta riittävästi (mm. Lieri ja PProduct-hankeet, mm. Ylivainio ym. 2020). Lietepohjaisten lopputuotteiden käyttö maataloudessa ei ole kuitenkaan viime vuosina merkittävästi vähentynyt (Konola & Toivikko 2019), vaikka tietoisuus niiden sisältämistä mahdollisista haitta-aineista on lisääntynyt. Koska mädätetyn ja kompostoidun jätevesilietteen lannoitusteho on vähäinen, sitä lisätään peltomaihin pääosin lietteen sisältämän orgaanisen aineksen vuoksi.



Kuva 2. Ravinteiden ja hiilen keskimääräinen jakautuminen eri jakeisiin jätevedenpuhdistamolla ennen jatkokäsittelyä.

Erotteleva sanitaatio, jossa WC- ja pesuvedet kerätään ja käsitellään omina jakeinaan, mahdollistaa nykyistä tehokkaamman ja haitta-aineettomamman ravinteiden talteenoton ja -kierron. Kaupunkialueilla tällaiset ratkaisut voisivat tulla kyseeseen etenkin uusilla asuinalueilla tai saneerattavissa kohteissa.

Käymäläjätteiden erottelu muista jätevesistä mahdollistaa ravinteiden talteenoton teknisesti helpommin, kun ravinteita ei laimenneta suureen määrään vettä ja ne ovat väkevämpiä pitoisuuksina. Esimerkiksi pelkästään virtsan erottelulla voitaisiin jätevedestä saada erilleen ja hyötykäyttöön ravinnerikkaampi osa, sillä suurin osa käymäläjätteen tyyppistä ja fosforista päätyy virtsaan.

Käymäläjätevesien (mustat vedet) erottelu muista jätevesistä puolestaan mahdollistaisi bio- ja käymäläjätteiden yhteiskäsittelyn esimerkiksi paikallisessa biokaasulaitoksessa tuottaen energiaa ja lannoitevalmisteita.

Erottelevilla sanitaatoratkaisuilla talteen otetut ravinteet voidaan hyödyntää mm. maataloudessa (edellyttää lannoitevalmisteen hyväksymistä ja tyyppinimen myöntämistä, kappale 3.3) ja siten vähentää mineraalityppi- ja fosforilannoitteiden käyttöä. Mineraalilannoitteiden tuotanto rasittaa ympäristöä ja aiheuttaa päästöjä ilmaan, vesiin ja maaperään (Basosi ym. 2014). Joidenkin arvioiden mukaan mineraalilannoitteet aiheuttavat noin 0,8 % maailman kasvihuonekaasupäästöistä (Brentrup 2009). Maailman fosforivarannot ovat myös ehtyvä luonnonvara (Cordell ym. 2011), joten fosforin talteen ottamiseen ja kierrättämiseen tulisi kiinnittää erityistä huomiota.

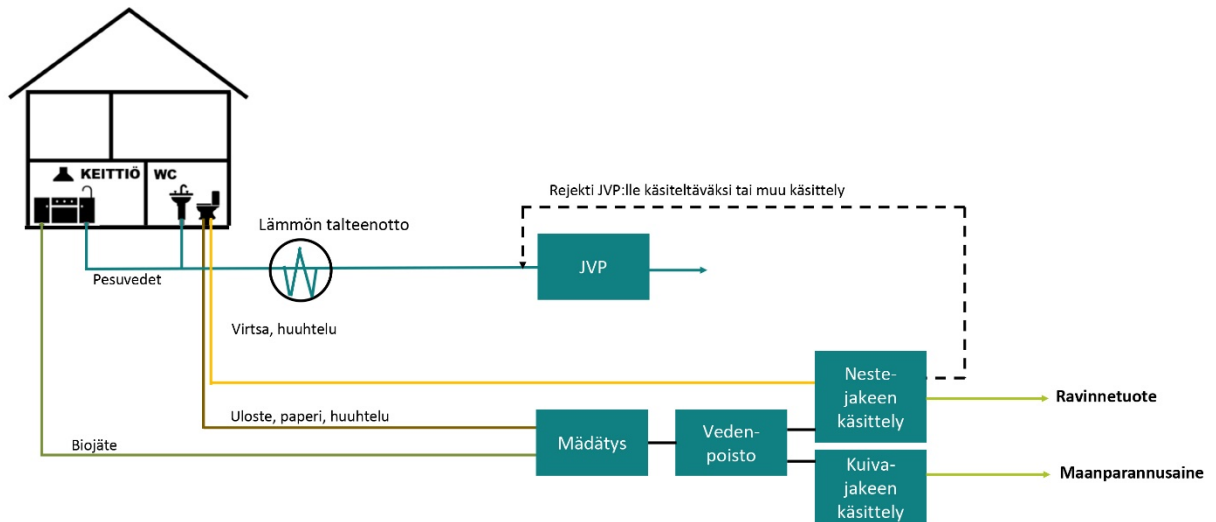
Erottelevalla sanitaatiolla on useita hyötyjä moninkertaisen ravinteiden talteenottopotentiaalini lisäksi. Sen ilmastovaikutus on arvioiden mukaan alle kolmannes keskitettyyn ratkaisuun verrattuna ja lisäksi se vähentää jätevedenpuhdistamon kuormitusta ja samalla purkuvesien mukana suoraan vesistöön päätyviä rehevöittäviä päästöjä. (Malila & Lehtoranta 2018)

### 3.1 Käymäläjätevesien ja biojätteen keräysjärjestelmät

#### Käymäläjätevedet

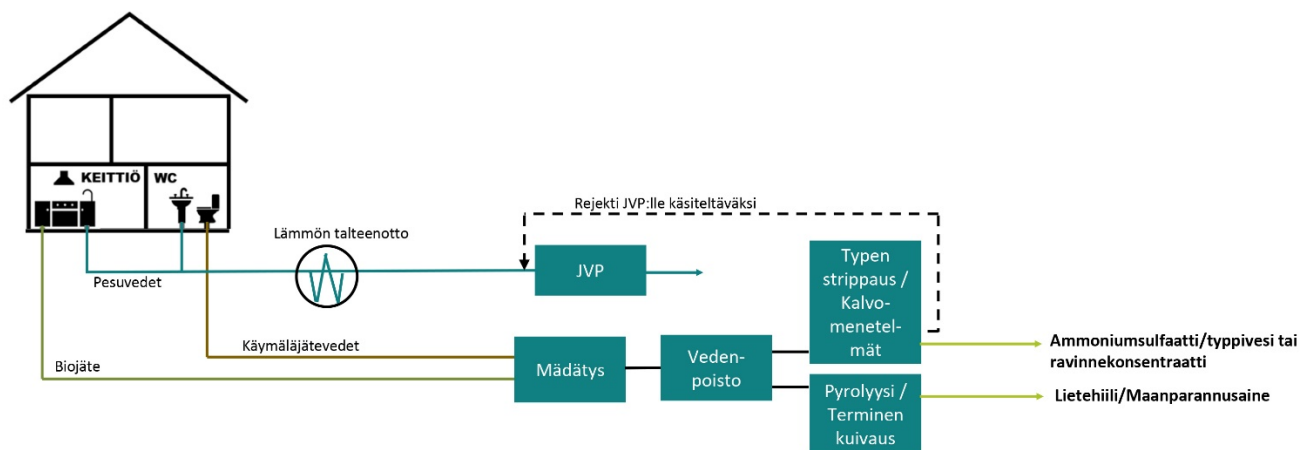
Käymäläjätevesien syntypaikkaerottelu voidaan toteuttaa joko virtsan erottelevilla käymälätyypeillä tai keräämällä kaikki käymäläjätevedet yhtenä jakeena. Keräystapa voi olla molemmissa tyypeissä joko paineeton tai paineellinen (esim. alipainekäymälät). Käymäläjätevedet erotellaan harmaista jätevesistä, jotka ohjataan jätevedenpuhdistamolle (JVP) käsiteltäväksi.

Virtsan erottelevissa käymälöissä virtsa kerätään käymäläistuimen etuosasta erillistä putkistoa pitkin ja muut käymälävedet huuhdotaan tavalliseen tapaan ja johdetaan erillään muista jätevesistä tai muiden jätevesien kanssa käsiteltäväksi. Virtsan erottelevat käymälät voivat toimia myös paineella. Kun virtsa erotellaan käymäläjätevesistä (Kuva 3), muodostuu kaksi käsiteltävää ravinnepitoista jätettä; virtsa ja ulostejae huuhteluveteen. Keräys- ja käsittelyjärjestelmä on siten monivaiheisempi ja putkistoja tarvitaan enemmän. Virtsan erottelevia käymälöitä on Suomessa toistaiseksi vasta vähän markkinoilla, eikä niistä ja niiden soveltumisesta kerrostalokäyttöön ole vielä juurikaan kokemuksia. Käytännössä virtsalle tulee rakentaa oma erillinen viettoviemäri. Virtsan erottelevissa järjestelmissä haasteeksi saattaa muodostua putkistojen tukkeutuminen, jos virtsaa saostuu struviittina putkistoihin. Tästä syystä kaadot tulee olla riittävät ja viemäri tulee suunnitella helposti puhdistettavaksi. Struviitin muodostumista putkistoon voidaan pyrkiä ehkäisemään mekaanisella puhdistuksella ja säännöllisellä kemikaalipuhdistuksella. Virtsaa voi hyödyntää vanhennettuna sellaisenaan, mutta sen tilavuutta pienentävät jalostustekniikat ovat vielä osin kehittymättömiä. (Korhonen 2020).



Kuva 3. Esimerkki virtsan erottelevasta käymäläjärjestelmästä. JVP tarkoittaa jätevedenpuhdistamaa.

Ei-erottelevilla käymälöillä (Kuva 4) tarkoitetaan tässä yhteydessä niitä käymälätyyppejä, joissa kaikki käymäläjätevedet kerätään samaan jakeeseen. Alipainekäymälässä käymälävedet kerätään alipainetta ja pientä vesimäärää hyödyntäen erillään muista jätevesistä. Harmaat jätevedet ohjataan jätevedenpuhdistamolle käsiteltäväksi. Järjestelmä on yksinkertaisempi virtsan erotteluun verrattuna, sillä käsiteltävät jakeet voidaan käsitellä samassa järjestelmässä ja tarjolla olevat tekniset ratkaisut jätevesien erotteluun ovat valmiimpia. Yksinkertaisimmillaan ei-erottelevana käymälänä voitaisiin hyödyntää mahdollisimman pienellä huuhtelumäärällä toimivaa tavanomaista vesikäymälää (tai vähävetistä käymälää), joka toimisi viettoviemäriperiaatteella. Kun käymäläjätevedet erotellaan harmaista vesistä alipainekäymälällä, tulee käymäläjätevesille ja mahdollisille biojätteille rakentaa oma erillinen alipaineputkikäräysjärjestelmä. Tekniikka on varsin kehittynyttä ja sitä hyödynnetään paljon mm. laivoissa, junissa ja lentokoneissa. Tukkeumat ovat kuitenkin mahdollisia ja järjestelmää suositellaan puhdistettavan kemikaaleilla säännöllisesti. Alipaineviemärijärjestelmä vaatii sähköä toimikseen ja sen toiminta tulee varmistaa myös sähkökatkojen aikana. (Korhonen 2020)

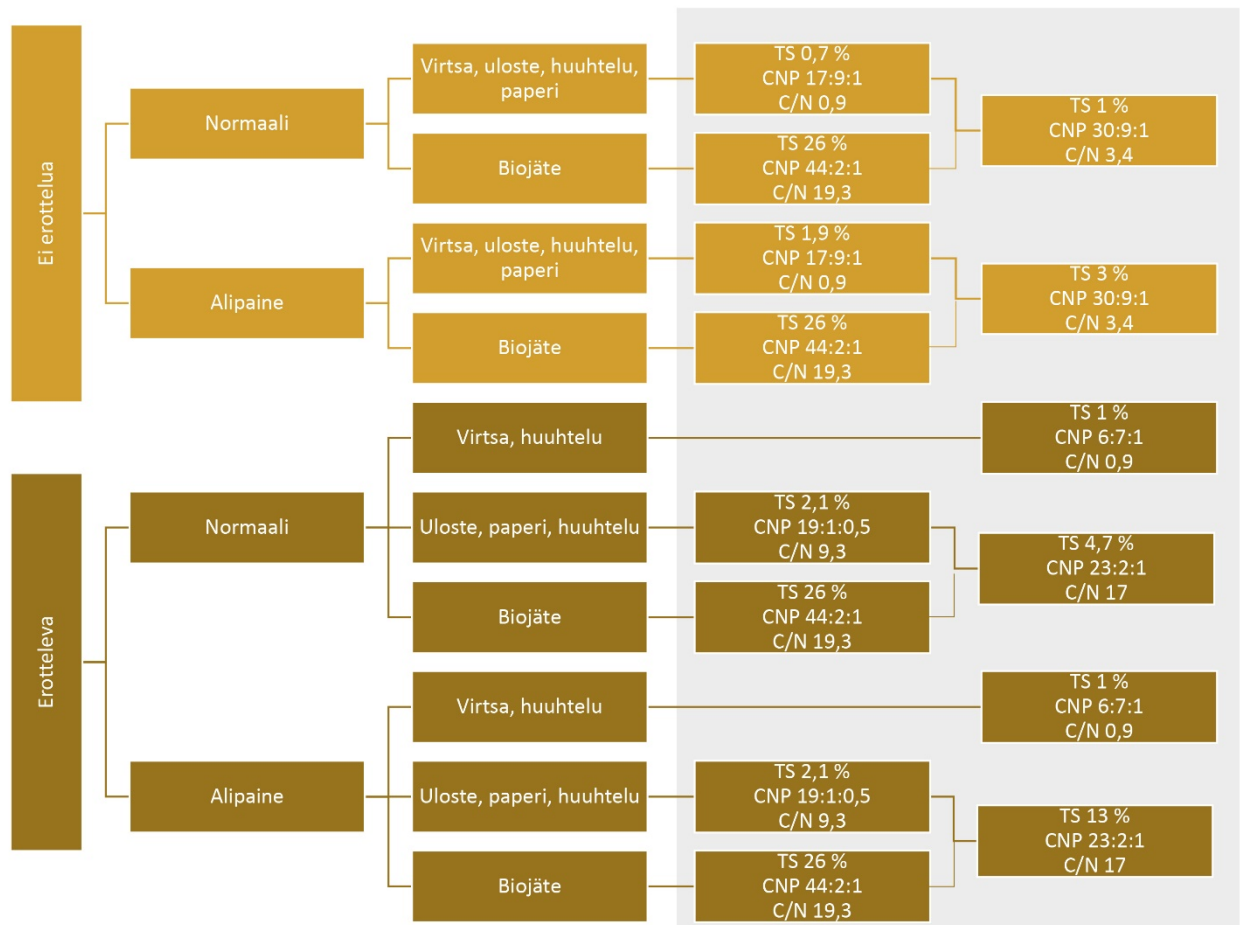


Kuva 4. Esimerkki ei-erottelevasta käymäläjärjestelmästä. JVP tarkoittaa jätevedenpuhdistamaa.

Käymälätyypin valinta vaikuttaa muodostuvan jäteveden kuiva-ainepitoisuuteen ja siten sen kulkeamiseen putkistossa sekä jatkokäsittelyn mahdollisuuksiin (Kuva 5). Jatkokäsittelystä esimerkiksi mädätyksen kannalta optimaalinen hiili/typpi -suhde on 20–30:1. C/N-suhteen ollessa välillä 10–15 ammoniakkipitoisuudet kasvavat niin suuriksi, että ne voivat inhiboida mädätysprosessin toimintaa.



Ravintesuhteiden perusteella syötteet siis hyötyvät hiililisästä ja käymäläjätteen sekä biojätteen yhteiskäsittelystä.



Kuva 5. Taustalaskelmat erottelevan ja ei-erottelevan normaalin- ja alipainekäymäläjärjestelmän käsiteltävien jakeiden kuiva-ainepitoisuuksista, hiili (C)-, typpi (N) ja fosfori (P)- pitoisuuksista sekä typpi-hiilisuhteista. (HSY 2016, Rose ym. 2015, Valtioneuvoston asetus 527/2014, Ruiken ym. 2013).

## Biojäte

Kun käymäläjätevedet kerätään erillään taloudessa muodostuvista pesuvesistä (harmaat vedet), voi olla hyödyllistä käsitellä kotitalouksissa muodostuva biojäte yhdessä käymäläjätevesien kanssa (kuvat 3, 4 ja 5). Biojäte voidaan kerätä esimerkiksi alipaineistetulla imukeräysjärjestelmällä, mutta ennen mädätystä biojäte tulee esikäsitellä mekaanisesti hienontamalla. Asuntokohtaisten jätemyllyjen avulla biojäte voidaan murskata ja johtaa samaan viemäriin käymäläjätevesien kanssa helpottaen jatkokäsittelyä biokaasulaitoksella. Biojätteen sekoittaminen ja johtaminen yhdessä käymäläjätteen kanssa vaatii kuitenkin erillistä hyväksyntää (ks. kappale 2.5).

## Harmaan veden lämmön talteenotto

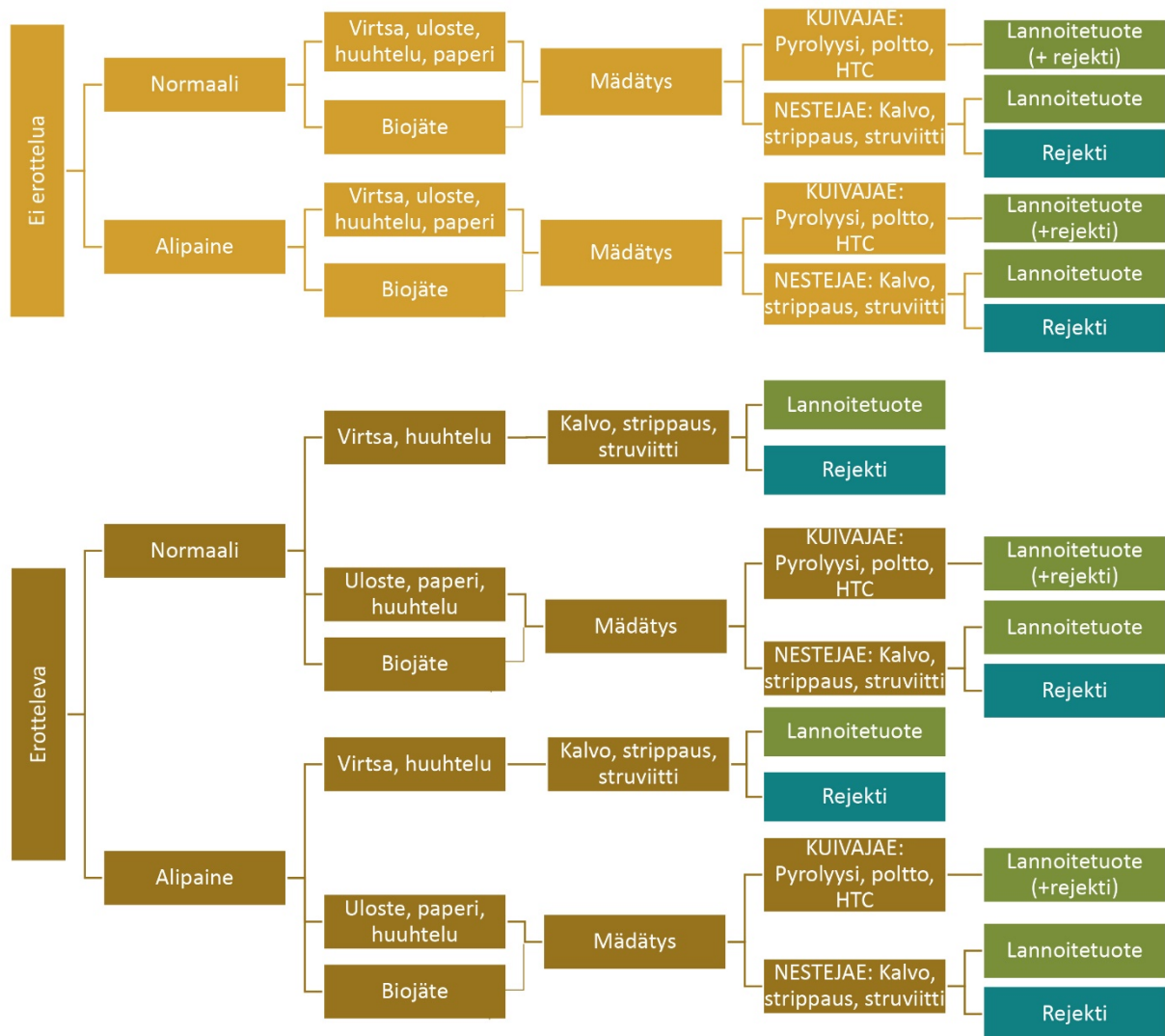
Harmaat vedet sisältävät vain murto-osan käymäläjätevesien sisältämistä ravinteista, alle kymmenyksen typpeä ja noin viidesosan fosforia (Rose ym. 2015, Valtioneuvoston asetus 157/2017). Ne sisältävät kuitenkin paljon energiaa, koska asuinrakennusten lämpimän käyttöveden määrä on keskimäärin 40 % veden kokonaiskulutuksesta (Motiva 2020) ja käyttöveden lämmitys kuluttaa keskimäärin noin 15 % asuinrakennusten kokonaisenergiankulutuksesta (Tilastokeskus 2019). Uusissa taloissa tämä osuus on

jopa suurempi, koska parantuneen energiatehokkuuden takia tilojen lämmitykseen kuluvan energian osuus on pienempi. Jäteveden hukkalämmön talteenotto onkin kustannustehokas tapa pienentää kiinteistön energiankulutusta ja siitä on tulossa osa energia- ja kustannustehokasta rakentamista, jolla voidaan pienentää niin rakentamiskustannuksia kuin rakennuksen käytönaikaisiakin energiakustannuksia erittäin tehokkaasti.

Viemäriin johdettavan jäteveden lämpöenergiasta voidaan saada talteen noin 30 – 70 % (Esim. Wasenco 2021) ja se voidaan käyttää uudelleen esimerkiksi käyttöveden tai kiinteistön lämmitykseen. Jäteveden lämmön talteenotolla ei ole käytännössä vaikutusta jätevedenpuhdistamoiden toimintaan, koska verkostoon johdettavan jäteveden lämpötila ei laske liian alhaiseksi jätevedenpuhdistusprosessien kannalta. Esimerkiksi Tampereella jäteveden lämmön talteenottoa ei ole erityisesti säädelty, mutta sopimuksissa voidaan määritellä, että lämpöä saa ottaa talteen, kunhan se ei vaikeuta puhdistamon toimintaa (Jokela 2020).

### **3.2 Käymäläjätevesijakeiden käsittelymenetelmät**

Käsittelyjärjestelmillä eroteltavat jätejakeet voidaan käsitellä useilla erilaisilla menetelmillä, joista potentiaalisimmat on esitetty Kuvassa 6. Mustien vesien mädätys voidaan toteuttaa erilaisin tekniikoin sellaisenaan tai yhdessä biojätteen tai muiden syötteiden kanssa. Mädätyksessä muodostuva kuivajae voidaan joko kuljettaa kompostoitavaksi tai käsitellä termisin menetelmin, jolloin kuivajakeen tilavuus pienenee. Mädätyksen nestejakeelle ja erotellulle virtsalle voidaan soveltaa samoja käsittelymenetelmiä ravinteiden talteen ottamiseksi ja tilavuuden pienentämiseksi.



Kuva 6. Vaihtoehtoisia käsittelyketjuja erottelevissa ja ei-erottelevissa käymäläjärjestelmissä.

## Mustien vesien käsittelyyn soveltuvat käsittelymenetelmät

Mädätys eli biokaasuprosessi perustuu orgaanisen massan mikrobiologiseen hajotukseen hapettomissa, eli anaerobisissa olosuhteissa. Mädätyksessä muodostuu biokaasua, joka sisältää metaania ja hiilidioksidia, sekä mädätysjäännöstä, joka sisältää kaikki prosessin syötteenä toimivien raaka-aineiden ravinteet. Biokaasuprosessi voidaan toteuttaa joko meso- (35-40 °C) tai termofiilisisä (50-55 °C) olosuhteissa. Termofiilinen prosessi mahdollistaa materiaalin hygienisoinnin, eli soveltuu siten paremmin käymäläjätteen mädätykseen.

Mädätys voidaan jakaa kahteen päätyyppiin; kuiva- ja märkämädätykseen. Märkämädätykseen soveltuvat kuiva-ainepitoisuukseltaan alhaisemmat syötteen (alle 15 %) ja kuivamädätykseen soveltuvien syötteiden kuiva-ainepitoisuus tulisi olla välillä 20-40 %. Märkäprosessit ovat teknikaltaan vakiintuneempia menetelmiä ja niiden käytöstä on saatavilla jo runsaasti kokemuksia. Ne ovat yleensä aina jatkuvatoimisia prosesseja, joissa syötettä syötetään prosessiin ja vastaavasti myös poistetaan tasaisesti. Näin kaasun tuotto on jatkuvaa. Kuivamädätystekniikkaa käytetään esim. biojätteen mädätyksessä yhä enenevässä määrin. Kuivamädätystä voidaan toteuttaa joko panostoimisesti tai jatkuvatoimisessa laitoksessa. Panostoimisessa mädätyksessä kaasun tuotto on epätasaisempaa. Tasaisen hajoamisen ja siten tasalaatuisen mädätteen tuottaminen on kuivamädätyksessä märkämädätystä haastavampaa.

Prosessin lopputuotteena muodostuva mädäte vaatii usein vedenerotuksen ennen jatkokäyttöön ohjaamista, jolloin mädäte erottuu kiinteään (kuivajae) ja nestemäiseen jakeeseen (nestejake). Käytetty kuivaustekniikka vaikuttaa siihen, kuinka ravinteet ja orgaaninen aine käytännössä jakaantuvat neste- ja kuivajakeen välillä. Suurin osa mädätteen sisältämästä fosforista sekä orgaaniseen ainekseen sitoutuneesta kokonaistypestä päätyy kuitenkin kiinteään kuivajakeeseen. Nestejakeeseen päätyy osa fosforista sekä suurin osa liukoisesta tyyppistä. Se on mahdollista käyttää sellaisenaan tai jalostaa väkevämmäksi ravinnetuotteeksi esimerkiksi strippauksen tai kalvosuodatuksen avulla. Kuivajae muodostuu massamääräisesti huomattavasti vähemmän (10-20 % syötteen massasta) kuin nestejake (80-90 % syötteen massasta). Separointia voidaan tehostaa erilaisilla apuaineilla, kuten polymeereillä. Yleisimmät separointitekniikat ovat ruuvipuristin, suotonauha sekä linkous. Esimerkiksi lingolla separoidessa saadaan lähes fosforivapaata nestejakea, kun taas ruuviseparoinnilla fosforia päätyy enemmän nestejakeeseen.

Teollisuuden ja yhdyskuntien jätevedet käsitellään yleisesti aerobisella aktiivilieteprosessilla, jossa muodostuu ylijäämälietettä. Biokaasuteknologiaa käytetään ylijäämälietteen stabiloinnissa, mutta jätevesiä voidaan käsitellä myös sellaisenaan anaerobisesti. Jätevesien anaerobikäsittelyssä kuiva-ainepitoisuus voi olla jopa 1-2 %. Jätevesien biokaasutuksessa käytettävä reaktortyyppi poikkeaa kiinteiden materiaalien käsittelyyn käytettävistä reaktoreista. Jätevesille soveltuvia anaerobisia reaktoreita on kahta perustyyppiä; täyteaineellisia eli kantoaineellisia reaktoreita ja täyteaineettomia reaktoreita. Kantoaineellisissa reaktoreissa kantoaineen pinnalle ja/tai väleihin muodostuu biomassaa (biofilmi). Tällaisia ovat esim. suodin- ja leijupetireaktorit. Täyteaineettomissa reaktoreissa muodostuu flokkulanttien avulla lieteflokkeja tai -granuloita, joiden pinnalle kasvaa biofilmi. Flokit pysyvät reaktorissa (esim. lietepatja-reaktori, Upflow Anaerobic Sludge Blanket UASB) tai ne voidaan selkeyttää erillisessä selkeyttimessä ja palauttaa takaisin prosessiin (kontaktiprosessi). (Kymäläinen & Pakarinen 2015.)

## Erilliskerätylle virtsalle ja mädätteen nestejakeelle soveltuvat käsittelymenetelmät

Erilliskerätylle virtsalle ja mädätteen nestejakeelle voidaan soveltaa samanlaisia tekniikoita ravinteiden väkevoittämiseksi. Jätevedenpuhdistamoilla mädätteen nestejake kierrätetään nykyisin usein takaisin prosessiin. Se sisältää kuitenkin paljon ravinteita ja ne voitaisiin ottaa talteen tehokkaammin erilaisia tekniikoita hyödyntäen. Ravinteiden väkevoittaminen on keskeistä, jos nestejakea ei voida hyödyntää sellaisenaan lähialueella. Kaupunkiympäristössä nestejakeen hyödyntäminen sellaisenaan on epätodennäköistä ja ravinteita konsentroivia tekniikoita tarvitaan. Konsentroidussa muodostuu usein hyvin vähäravinteinen tai jopa puhdas sivuvirta, joka voidaan ohjata ympäristöön, mutta kaupunkiympäristössä se saattaa vaatia käsittelyn yleensä suurehkon tilavuutensa takia. MORTTI-hankkeen loppuraportissa (Malila ym. 2019) on esitelty tarkemmin erityisesti virtsan käsittelyyn soveltuvia tekniikoita.

### Kalvotekniikat

Kalvotekniikat perustuvat huokoiseen puoliläpäisevään kalvoon. Kalvosuodatus tekniikasta on useita erilaisia sovelluksia ja markkinoilla on lukematon määrä erilaisia kalvoja. Kalvoilla erotus tapahtuu perustuen paine-, lämpötila-, konsentraatio- tai sähköpotentiaalieroihin. Käsiteltävä neste jakautuu kahteen osaan: kalvon tulopuolelle jäävään retentaattiin ja sen läpäisevään permeaattiin eli puhdistettuun/käsiteltyyn jakeeseen. Kalvotekniikat voidaan jakaa karkeasti neljään: ultrasuodatus, mikrosuodatus, nanosuodatus sekä käänteisosmoosi. Ultra- ja mikrosuodatuksessa huokoisen kalvon erotusalue on noin 0,01-0,1 µm. Nanosuodatuksessa ja käänteisosmoosissa käsittelyssä erotetaan liukoisia yhdisteitä (esim. NH<sub>4</sub>-N) kiinteän kalvon läpi. Käänteisosmoosi tuottaa virusvapaan lopputuotteen. Kalvotekniikoilla voidaan optimoida erotusta usean eri tekijän suhteen. Puhdas vesi (50-80 % alkuperäisestä nestemäärästä) voidaan johtaa ympäristöön tai hyödyntää esimerkiksi pesuvedenä.

Käytännössä kalvotekniikoiden toimivuus edellyttää varsin kiintoainevapaata nestejakea. Mädätteen nestejake tulee siten esikäsitellä ennen kalvolle ohjaamista, esimerkiksi suodattamalla. Kalvot tuk-

keutuvat herkästi ja saattavat vaatia pesua usein. Kalvotekniikat kuluttavat energiaa, pH:n säätökemikaaleja sekä kalvojen pesuaineita. Ravinnekonsentraatti sisältää pääosin liukoista tyypeä sekä pienen määrän fosforia. Kalvomenetelmät eivät varsinaisesti poista mahdollisia epäpuhtauksia, vaan syötteen mahdolliset haitalliset aineet voivat konsentroitua ravinnekonsentraattiin. Kalvomenetelmiä kehitettäessä olisikin syytä selvittää, voidaanko haitallisia aineita erotella ravinnekonsentraatista erilaisia kalvoja käyttämällä.

### **NP Harvest**

NP Harvest -menetelmässä hyödynnetään puoliläpäisevää kalvoa ravinteiden talteenottoon. Menetelmä soveltuu nestemäisten jätejakeiden ravinteiden talteenottoon ja se voidaan skaalata erilaisiin sovelluskohteisiin. Menetelmässä ammoniumtyppi muutetaan ammoniakiksi nostamalla pH:ta kalsiumhydroksidin avulla, jonka jälkeen ammoniakki erotetaan puoliläpäisevän kalvon läpi ja saostetaan ammoniumsulfaattiksi kierrättämällä rikkihappoa ammoniakkiliuoksessa. Prosessissa alkuvaiheessa fosfori saostuu kalsiumsuolan avulla. Tyypeä on mahdollista saada talteen jopa 99 % ja fosforista 90 – 99 %. Menetelmä on vielä kehitysvaiheessa, mutta sitä on testattu hankkeen aikana useille eri syötteille, mm. mädätyksen rejektivesille, jätevedelle ja virtsalle (ks. kappale 4). Menetelmän etuna on hyvä ravinteiden talteenotto-kyky, mutta mahdollisena haittana voi olla korkean pH:n omaava sivuvirta, jota syntyy lähes yhtä paljon kuin käsiteltävää syötettä (Pradhan ym. 2019; Aalto-yliopisto 2018).

### **Strippaus**

Tyypeä voidaan ottaa kemiallisesti talteen strippaamalla. Menetelmässä ammoniumtyppi saadaan haihtumaan nestejakeesta kaasumaiseen muotoon lämpötilasäädön, pH:n ja ilmapuhalluksen avulla. Kaasumainen ammoniakki voidaan ottaa talteen pesemällä se esimerkiksi rikkihappoon, jolloin muodostuu ammoniumsulfaattia. Typpi voidaan myös pestä veteen, jolloin lopputuotteena syntyy ammoniakkivettä. Stripattavan nestejakeen kiintoainepitoisuus tulee olla alhainen prosessin toimivuuden varmistamiseksi, sillä stripperi voi tukkeutua ja likaantua herkästi. Prosessi kuluttaa energiaa ja pH:n säätökemikaaleja ja adsorptiokemikaalia. Puhtaan tyypituotteen lisäksi prosessissa muodostuu fosforia ja reagoimatonta tyypeä sisältävää laimeaa rejektiä, johon päätyy syötteen sisältämät haitta-aineet. Laitoksen investointikulut ovat varsin merkittävät ja siten tekniikkaa soveltuukin parhaimmillaan suuren mittakaavan laitoksiin.

### **Struviittisaostus**

Struviittisaostustus on pääosin fosforin talteenottotekniikka. Struviittia eli magnesiumammoniumfosfaattia muodostuu, jos fosforin, ammoniumtyypin ja magnesiumin ionipitoisuudet sekä ympäristön olosuhteet ovat sopivia. Usein struviitin muodostusta varten vaaditaan myös magnesiumin (Mg) lisäys, joka voi aiheuttaa prosessin kustannuksista jopa 75 %. Prosessi on yksinkertainen; saostuskemikaali lisätään nesteeseen, sekoitetaan ja annetaan saostua. Saostunut struviittisakka voidaan erottaa nesteestä esimerkiksi suodattamalla. Menetelmän etuna on prosessin yksinkertaisuus ja helppo hallittavuus. Struviitti on tasalaatuista tuotetta ja siitä on mahdollista valmistaa myös kaupallisia ravinnevalmisteita. Myös fosforin talteenotto-prosentti on hyvä, n. 93 % (Sakthivel ym. 2012), mutta tyypin talteenotto on vain alle 4 %. Menetelmän haasteena on myös se, että jäljelle jäävä nestejake pitää käsitellä ennen sen purkamista ympäristöön. Struviitti soveltuu hidasliukoiseksi fosforilannoitteeksi.

### **Alkalinen haihdutus/Sanitation 360**

Alkalisessa haihdutusmenetelmässä erilliskerätty virtsa johdetaan kantoaineeseen, kuten puutuhkaan, joka nostaa virtsan pH:n ammoniakkin haihtumisen vähentämiseksi (Senecal & Vinnerås 2017; Simha ym. 2018a; Simha ym. 2020). Lämpimän ilmapuuhalluksen avulla haihdutetaan neste, jolloin lopputuotteeksi muodostuu jauhemainen ravinnerikas lopputuote. Alkalisella haihdutuksella voidaan saada talteen jopa

64-90 % typestä sekä 100 % fosforista ja virtsan massa vähenee jopa 95 %. Lisäksi prosessissa muodostuu kondensioivettä, joka voidaan johtaa maaperään tai tarvittaessa jatkokäsitellä (Senecal & Vinnerås 2017). Menetelmä on kehitetty Ruotsin maataloustieteellisessä yliopistossa (SLU) ja sitä on pilotoitu myös Suomessa NutriCity- sekä MORTTI-hankkeissa (Malila ym. 2019) (ks. kappale 4). Tekniikka vaatii vielä jatkokehitystä mm. automatisoinnissa ja erilaisten mittakaavojen sovelluksissa.

## **Mädätteen kuivajakeen käsittelymenetelmät**

Kuivatulle mädätteelle eli kuivajakeelle voidaan soveltaa useita erilaisia tekniikoita jätevesien ravinteiden väkevöimiseksi/konsentroidumiseksi (Lehtoranta ym. 2020). Ravinteiden väkevöittäminen on keskeistä, jos kuivajakeen massaa halutaan pienentää kuljetettavuuden parantamiseksi tai helpottaa sen käsiteltävyyttä. NORMA-hankkeen loppuraportissa (Lehtoranta ym. 2020) on esitelty tarkemmin erityisesti jätevesilietteilte soveltuvia käsittelytekniikoita.

### **Mikroterminen menetelmä (DTS menetelmä)**

Tampereen Hiedanrannassa toimivan DTS Oy:n (Digi Toilets System) kehittämällä mikrotermisellä menetelmällä tuotetaan kuivakäymälöistä kerätystä ulosteesta maanparannusainesta. Menetelmä on kompostoinnin kaltainen koneellinen prosessi ja sitä on kokeiltu myös eläinperäisiin kuiva- ja lietalantoihin sekä jätevedenpuhdistamolietteisiin. Menetelmässä hyödynnetään maaperämikrobeja optimaalisissa kasvuolosuhteissa, jossa osa orgaanisista ravinteista mineralisoituu. Valmis lopputuote, ”Hietsun musta” on hygienisoitu ja lähes hajuton ja se muistuttaa ravinnearvoltaan kananlantaa. DTS Oy on saanut Ruokavirastolta laitoshyväksynnän valmistusprosessille, eli kompostoinnille ja rakeistukselle. (DTS Oy; Malila ym. 2019)

### **Terminen kuivaus ja pelletöinti/rakeistus**

Termisessä kuivauksessa lietettä kuivataan lämmön avulla, jolloin vesi haihtuu lietteestä ja solunsisäinen vesi poistuu (Lehtoranta ym. 2020). Termisesti kuivatussa lietteessä fosfori sekä suurin osa lietteen orgaanisesta aineesta säilyy sekä kuivauslämpötilasta riippuen osa typestä. Mitä suurempi lämpötila, sitä suurempi osa typestä haihtuu ammoniakkinä (Werther & Ogada 1999; Vesilaitosyhdistys 2013). Termisesti kuivattu jätevesiliete on hyväksytty lannoitevalmisteiden tyyppinimiluetteloon tyyppinimellä 3A2/5 Kuivarae tai -jauhe.

### **Poltto**

Poltto on hapellisissa olosuhteissa noin 850 – 950 °C:ssa tapahtuvaa termistä käsittelyä, jossa mädätteen kuivajakeen orgaaninen aines hapettuu haihtuviksi yhdisteiksi. Polttoa edeltää usein terminen kuivaus. Poltto pienentää tehokkaasti mädätteen tilavuutta ja massaa, ja vain noin 10 % syötteestä jää jäljelle tuhkana. Tuhkan fosforipitoisuus vaihtelee 5–10 % välillä ja sisältää myös syötteenä käytetyn kuivajakeen sisältämät raskasmetallit ja muut epäorgaaniset haitta-aineet. Poltossa menetetään orgaaninen aines sekä typpi. Suomessa lainsäädäntö ei hyväksy tuhkan käyttöä maanparannusaineena tai lannoitevalmisteena sellaisenaan, mutta metsälannoituksessa tuhkaa voidaan hyödyntää.

### **Pyrolyysi**

Pyrolyysissä käsitellään biomassaa hapettomissa olosuhteissa korkeassa lämpötilassa (noin 350-700°C:ssa). Lopputuotteina syntyy biohiiltä ja kaasuja, joista osa kondensoituu bioöljyksi. Prosessin lämpötila, viipymäaika ja käytetty biomassa vaikuttavat lopputuotteiden välisiin suhteisiin sekä niiden laatuun. Kuumemmassa lämpötilassa muodostuu vähemmän biohiiltä ja suurempi osa biomassasta kaasuuntuu. Pyrolyysi kuluttaa energiaa, mutta prosessissa kaasuuntuva osuus orgaanisesta aineesta voidaan käyttää prosessin energianlähteeksi, jolloin se voi olla kokonaisenergiataloudellisesti tarkasteltuna

omavarainen. Muodostunut biohiili voidaan hyödyntää maanparannuskäytössä. Biomassan kuivaaminen kuluttaa paljon energiaa, joten syöte on kuivattava ennen käsittelyä. Lietehiilen hiili on varsin pysyvässä muodossa, mutta sen laatuun vaikuttaa merkittävästi käytetty syöte ja prosessilämpötila. EU:n End of waste- säännösten mukaisesti pyrolyysi rinnastetaan polton tavoin jätteen hävittämiseksi kierrättämisen sijaan.

### **Nestepyrolyysi / Märkähiilto (HTC)**

Nestepyrolyysi tai märkähiilto (Hydrothermal carbonization, HTC) on prosessi, jossa märkää biomassaa lämmitetään korkeassa paineessa (20-35 bar) noin 180-250°C lämpötilassa vaihtelevan ajan. Syötettä ei tarvitse esikuivata, vaan se voi olla kuiva-ainepitoisuudeltaan noin 8-15 %. Lopputuote on prosessista poistuessaan märkää, ja käyttötarkoituksesta riippuen vaatii kuivausta. Lopputuotteena syntyy fosforipitoista hiilijaetta, jatkokäsittelyä vaativaa nestejaetta sekä vähän kaasua. Menetelmä ei ole vielä vakiintunut tekniikkaa.

## **3.3 Lopputuotteiden hyödyntämisen lainsäädännölliset reunaehdot**

Ravinnekiertoa tukevat sanitaatoratkaisut edellyttävät jätevesien keräystä ja käsittelyä koskevien teknisten muutosten lisäksi myös lainsäädännöllisiä muutoksia. Erottelevalla sanitaatiolla voidaan tuottaa kokonaan uusia ihmisperäisiä kierrätysravinteita, joiden hyödyntäminen tulisi olla tietyin reunaehdoin sallittua. Yhtenä lähestymistapana kierrätyslannoitteiden käytön edistämiseksi onkin esitetty, että jatkossa käyttö tulisi perustua enemmän lopputuotteen ominaisuuksiin, kuin raaka-aineen alkuperään (Kinnunen & Pirkkamaa 2020).

Lannoitteiden valmistusta ja käyttöä säädelään lainsäädännöllä (Lannoitevalmistelaki (539/2006), Lannoitevalmisteasetus (24/2011), Nitraattiasetus (1250/2014)) ja lietteiden käyttöä rajoitetaan lisäksi maatalouden ympäristötukijärjestelmällä. Lannoitevalmistelaki ja -asetukset sisältävät mm. erilaisia käsittelyvaatimuksia sekä raja-arvoja esim. haitallisille metalleille ja vaatimuksia hygienialle. Markkinoille tulevan lannoitevalmisteen tulee kuulua joko kansalliseen lannoitevalmisteiden tyyppinimiluetteloon tai EY-lannoitteiden osalta lannoitetyyppien luetteloon. Orgaaniselle lannoitevalmisteelle voidaan hakea tyyppinimeä Ruokavirastosta, jos valmisteelle ei löydy tyyppinimeä luettelosta. Ruokavirasto on lannoitevalmisteiden valvova viranomainen Suomessa ja ylläpitää lannoitevalmisteeksi soveltuvien tuotteiden tyyppinimiluetteloa.

Nykyinen lainsäädäntö on murrosvaiheessa, sillä heinäkuussa 2022 soveltamisen piiriin tuleva EU:n uusi lannoitevalmisteasetus (2019/1009) säätelee jatkossa epäorgaanisten lannoitevalmisteiden lisäksi myös orgaanisia lannoitevalmisteita. Vuonna 2020 Suomessa käynnistettiin kansallinen lannoitelainsäädännön uudistus, jonka tavoitteena on päivittää säädöksiä sekä toimeenpanna uusi EU-lannoitevalmisteasetus. Uudistuksen tavoitteena on mm. samantarvoistaa pitkälle jalostettuja lopputuotteita neitseellisen raaka-aineen kanssa.

Lannoitevalmisteeksi luetaan tuote, joka sisältää kasvin kasvua edistäviä ravinteita riittävästi tai sen muut ominaisuudet parantavat kasvien kasvua tai kasvuolosuhteita. Lannoitevalmisteisiin sisältyvät lannoitteiden lisäksi kalkitusaineet, maanparannusaineet, kasvualustat ja mikrobivalmisteet. Lannoitevalmiste ei saa aiheuttaa haittaa tai vaaraa ihmisille, eläimille, kasveille tai ympäristölle. Lannoitevalmisteina käytetään monia teollisuuden sivutuotteita ja jätteitä. Näitä ovat mm. puun ja turpeen polton tuhkat, jäte- ja sivutuotekalkin, jätevedenpuhdistamoiden liete ja elintarviketeollisuuden sivutuote- ja jätejakeet. Osa sivutuotteista vaatii käsittelyä ennen lannoitevalmisteeksi soveltumista.

Biojätteille ja jätevesilietteille soveltuvia tyyppinimiä löytyy mm. orgaanisista maanparannusaineista. Sen sijaan ihmisperäisiä raaka-aineita ei tunnusteta nykyllä lainsäädännössä lannoitteiden valmistuksen raaka-aineiksi. Esimerkiksi Digi Toilet Systems Oy:n Hietsun musta sai ihmisperäisenä jätöksenä Ruokaviraston hyväksynnän maanparannusaineeksi ensimmäisenä Euroopassa vuonna 2019. Näin ollen joitakin ihmisperäisiä tuotteita voidaan kuitenkin jo käyttää maanparannusaineina.

Virtsalla ei ole omaa tyyppinimeä eikä sitä siten toistaiseksi hyväksytä lannoitevalmisteeksi. Jotta uudet ihmisperäiset kierrätysravinteet voidaan hyödyntää tehokkaasti, tarvitaan lainsäädännöllisiä muutoksia. WHO:n ohjeiden mukaan virtsa on turvallista lannoitetta kuuden kuukauden varastoinnin jälkeen mille tahansa viljelykasville, kunhan se käsitellään oikein. Vain kuukaudenkin kestoisen varastointi virtsalle riittää, jos virtsalla lannoitetaan sellaisia ravintokasveja, joita ei syödä raakana (WHO 2006).

Virtsan käyttö lannoitevalmisteena herättää ennakkoluuloja lähinnä lääkeaine- ja hormonijäämien aiheuttamien mahdollisten riskien vuoksi. Lääkejäämien ei ole kuitenkaan havaittu kertyvän merkittävästi kasveihin ja maaperään, mutta lisää pitkäaikaisseurantatutkimuksia tarvitaan (Viskari ym. 2017, Winker ym. 2010). Virtsaa ja siitä jalostettuja lannoitetuotteita ja niiden sisältämiä haitallisia aineita on tutkittu Suomessa NutriCity-hankkeen lisäksi mm. Biourea- ja MORTTI-hankkeissa (Viskari ym. 2017, Malila ym. 2019). Vaikka haitallisia yhdisteitä on löydetty, varsinaista riskiä lannoitekäytölle ei kuitenkaan ole todettu.

Virtsan lisäksi varsinaisen jätevesilietteen käyttöön kohdistuu rajoituksia. Esimerkiksi mädätysjännöksestä erotettua nestejätettä ei saa käyttää lannoitteena, jos jätevesilietteen osuus raaka-aineista on yli 10 %. Puhdistamolietepohjaisen mädätteen käyttö maanparannusaineena on myös herättänyt epäilyjä viime vuosien aikana. Jätevedenpuhdistamoille päätyy erilaisia jätevesiä ja sen myötä myös laaja kirjo erilaisia haitta-aineita. Erottelevan sanitaation avulla haitta-aineita on kuitenkin mahdollista vähentää, kun ihmisperäisiä jätteitä ei käsitellä yhdessä esimerkiksi teollisuus- ja sairaalajätevesien kanssa. Lisäksi ravinteiden käyttökelpoisuus säilyy erottelevan sanitaation myötä parempana. Myös kotitalouksien biojäte vaatii hygienisointia, ennen kuin biojäteperäisiä tuotteita voidaan käyttää lannoitteina.



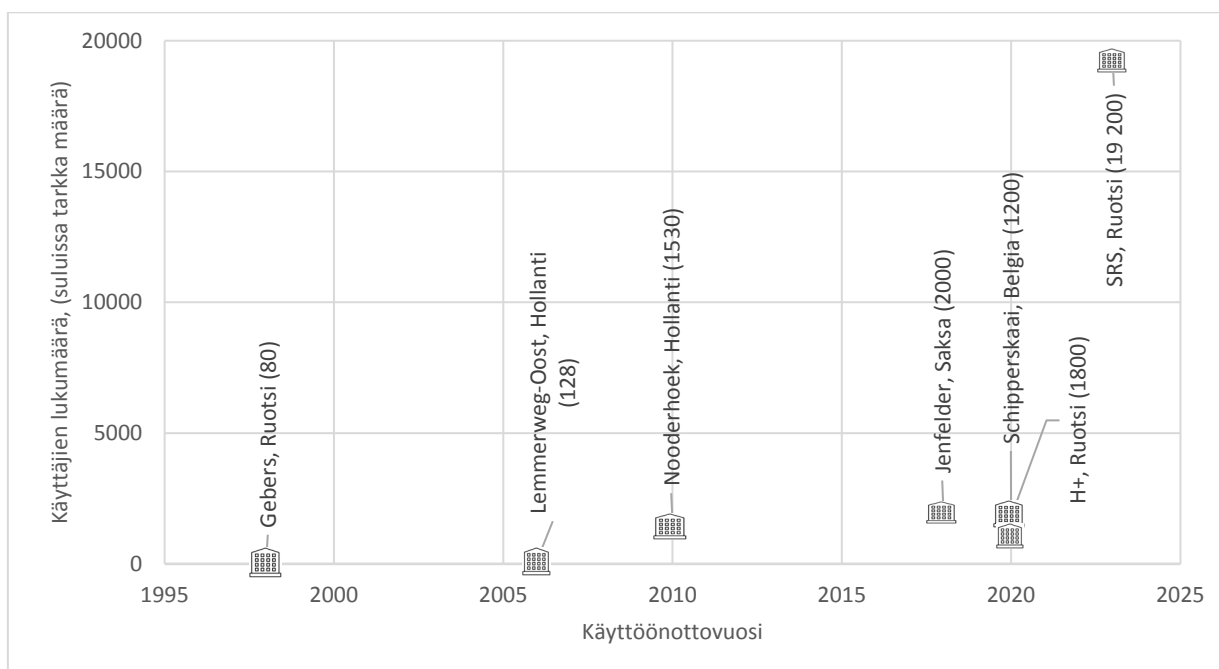
## 4 Ravinteiden kierrätyksen referenssikohteet ja kokeilut rakentamisessa

Kotitalouksien jätevesien erottelevista järjestelmistä on kertynyt kokemuksia niin kansainvälisesti kuin kansallisestikin. Suomessa toteutetut kokeilut ovat olleet pienemmän mittakaavan toimintaa verrattuna esimerkiksi Ruotsissa tai Saksassa viime vuosina toteutettuihin laajoihin sovelluksiin.

### 4.1 Kansainvälisiä esimerkkejä ravinnekierrätyksen kokeiluista rakentamisessa

Kotitalouksien jätevesiä erottelevista järjestelmistä on kertynyt jo laajasti kokemuksia maailmalta useamman vuosikymmenen ajan. Vanhimmat järjestelmät perustuvat virtsan erotteluun, mutta viime vuosien aikana kehitys on suuntautunut alipainekäymäläverkostojen hyödyntämiseen. Esimerkiksi Ruotsissa kuivakäymälöitä on haja-asutusalueella korvattu 90-luvun alusta lähtien virtsan erotteluun perustuvilla järjestelmillä, ja nyt uusia kehittyneempiä erottelevia järjestelmiä rakennetaan kaupunkeihin. Ruotsin lisäksi myös Saksassa on toteutettu lukuisia pilottikohteita (Hegger ym. 2006).

Tässä kappaleessa esitellään tuloksia kirjallisuuskatsauksesta, jossa keskityttiin kaupunkikohteissa pilotoituihin tai suunniteltuihin erotteleviin sanitaatoratkaisuihin. Katsauksessa käytiin läpi lähes 30 eri kohdetta, joista valittiin lähempään tarkasteluun seitsemän. Kaikki valitut kohteet sijaitsevat Euroopassa; osa on vanhoja, joiden käytöstä on saatavilla kokempohjaista tietoa, ja osa on juuri käyttöönotettuja tai suunnitteilla olevia suuremman mittaluokan kohteita. Kohteet esitellään aikajärjestyksessä, aloitusajankohdan mukaisesti järjestettynä vanhimmasta hankkeesta uusimpaan (Kuva 7 ja Taulukko 2).



Kuva 7. Tarkasteluun valitut kansainväliset esimerkkikohteet, niiden käyttäjämäärä ja käyttöönottovuosi.

**Taulukko 2. Kohteissa käytössä olevat järjestelmät, hankkeen käynnistävät tekijät ja vastuutahot.**

Sijainti	Järjestelmä ja hyödyntämisprosessit	Hankkeen käynnistävät tekijät	Vastuutahot
<b>Gebers, Orhem, Ruotsi</b>	Erotteleva kuivakäymälä. Harmaat jätevedet paikalliseen jätevedenpuhdistuslaitokseen. Uloste kompostoidaan biojätteen kanssa ja virtsa varastoidaan. Kaikki hyödynnetään maanparannuksessa.	Ystävien ja naapureiden idea yhteisöllisestä ja ympäristötietoisesta asumista.	Asukkaat vastaavat ulostesäiliöiden tyhjennyksen ja kompostoinnin. Yksityinen yritys hoitaa virtsasäiliöiden tyhjennyksen.
<b>Lemmerweg-Oost, Sneek, Hollanti</b>	Alipainekäymälät ja yhdessä asunnossa biojätemylyt. Mustien jätevesien ja biojätteen mädätys. Biokaasu hyödynnetään laitoksen energiana ja asuntojen lämmityksessä. Mädäte separoidaan ja jakeet hyödynnetään NPK-lannoitevalmisteina maataloudessa.	Pilottikohde osana monitieteistä tutkimusohjelmaa. Toteuttajina yliopistoja, yrityksiä ja kuntia.	Kunta on vastuussa jätevesien hallinnoinnista ja vesilaitos jätevesien puhdistamisesta.
<b>Noorderhoek, Sneek, Hollanti</b>	Alipainekäymälät ja asuntokohtaiset biojätemylyt. Mustien jätevesien ja biojätteen mädätys. Biokaasu hyödynnetään talojen ja veden lämmityksessä. Fosforin ja typen talteenotto mädätteestä. Fosfori otetaan talteen struviittina.	Kansalliset tavoitteet, yliopistoyhteistyö ja asuntoyhdistys.	Asuntoyhdistys hallinnoi kodin ja tontin rajan sisäisiä asennuksia, kunta on vastuussa julkisista tiloista ja yritys käsittelyjärjestelmästä.
<b>Jenfelder Au, Hampuri, Saksa</b>	Alipainekäymälät ja painovoimaan perustuva järjestelmä harmaille jätevesille. Mustien jätevesien mädätys. Biokaasu hyödynnetään alueella lämpö- ja sähköenergiana. Mädätteen hyödyntämistä ei käsitelty hankkeessa. Harmaat jätevedet jätevedenpuhdistamon kautta käymälän huuhteluvodeksi tai puutarhan kasteluvodeksi.	Kaupungin ympäristötavoitteet ja suunnitelmat. Yliopistoyhteistyö ja esimerkkikohde.	Kaupungin vesihuoltolaitos on vastuussa jätevesien hallinnasta ja kaupungin puhtaanapilaitos jätehuollosta.
<b>Schipperskaai, Ghent, Belgia</b>	Alipainekäymälät ja yhteiset biojätemylyt. Painovoimaan perustuva järjestelmä harmaille jätevesille. Mustien jätevesien, biojätteen ja harmaista jätevesistä erotetun lietteen mädätys. Biokaasu hyödynnetään alueen lämpöenergiana. Typen ja fosforin talteenotto. Fosfori otetaan talteen struviittina ja fosforihapon tuottamista tutkitaan. Puhdistetun harmaan jäteveden myyminen.	Paikalliset ja kansalliset ilmastotavoitteet. Pilottikohde.	Osuuskunta, jossa asukkaiden on mahdollista olla osallisina.
<b>Tukholma, Ruotsi</b>	Alipainekäymälät ja biojätemylyt. Biojätteen mädätys ja biokaasulla korvataan fossiilisia liikennepolttoaineita. Mädäte hyödynnetään maanviljelyssä. Lämmön talteenotto harmaista jätevesistä.	Paikalliset tavoitteet ja esimerkkikohde.	Lainsäädännöllisesti vielä epäselvää; vesilaitos on vastuussa jätevesijärjestelmästä ja biokaasulaitoksesta ja jätehuolto taas biojätteestä.
<b>Helsingborg, Ruotsi</b>	Alipainekäymälät ja jätemylyt. Mustien jätevesien ja biojätteen mädätys. Biokaasu hyödynnetään joko liikennepolttoaineena tai sähköenergiana alueen katuvalaistuksessa. Fosfori ja typi otetaan talteen mädätteestä struviittina ja ammoniumsulfaattina ja hyödynnetään lannoitevalmisteissa.	Alueen profilointi ja hankkeelle asetut korkeat tavoitteet.	Vielä selvityksessä, mutta kunnalliset jäte-, vesi- tai/ ja energiaviranomaiset.

## Gebers, Ruotsi

Gebersissä toteutettu ratkaisu otettiin käyttöön vuonna 1998, ja sillä on 80 käyttäjää. Pilotti alkoi, kun vuonna 1998 asennettiin korjausrakentamisen yhteydessä Orhemissä sijaitsevan rakennuksen 32 asuntoon erottelevat kuivakäymälät, joissa virtsa ja uloste kulkeutuvat kellarissa oleviin erillisiin säiliöihin. Virtsa-säiliöt tyhjenetään 2-3 kertaa vuodessa yksityisen yrityksen toimesta ja kuljetetaan 30 kilometrin päässä sijaitsevalle maatilalle, jossa ne varastoidaan ja hyödynnetään lannoitteena (Druitt 2009). Ulostesäiliöiden hallinta kuuluu jokaiselle kotitaloudelle erikseen (Kvarnström ym. 2006). Säiliöt tyhjenetään yhteiseen tiiviiseen kompostointisäiliöön kompostoitumaan 5-6 vuodeksi yhdessä orgaanisen kotitalousjätteen kanssa ja hyödynnetään maanparannusaineena (Druitt 2009) tai lannoitteena rehupelloilla (Krantz 2005). Harmaita jätevesiä ei käsitellä paikan päällä, vaan ne menevät viemäriverkostoa pitkin paikalliselle jätevedenpuhdistuslaitokselle käsiteltäväksi (Kvarnström ym. 2006, Druitt 2009). Rakennuksen yhteiskäyttötiloissa on kolme tavanomaista käymälää (Krantz 2005).

Hankkeen käynnisti ystävien ja naapurien perustama organisaatio nimeltä EKBO (Ekologisk och Kollektivt Boende i Orhem) ja se perustuu heidän näkemykseensä yhteisöllisestä ja ympäristötietoisesta asumisesta. Hanke suunniteltiin ja toteutettiin EKBO:n ja HSB:n (Hyresgästernas Sparkasse- och Byggnadsförening) yhteistyönä. EKBO omistaa kiinteistön ja sen jäsenet tekivät suurimman osan korjausrakennustöistä. Urakoitsijoita käytettiin mm. sähkö-, putki- ja ilmastointitöihin. HSB rahoitti ja tarjosi rakennusalan osaamista hankkeessa. Hankkeen onnistuminen edellytti motivoituneita ja joustavia tekijöitä sekä tiivistä yhteistyötä viranomaisten, yritysten, tulevien asukkaiden ja konsultointipalvelujen välillä. (Druitt 2009)

Käymälöihin suhtaudutaan pääosin positiivisesti, eikä niitä haasteista, mm. sähkökatkoksen aikaisista hajuhaitoista ja välillä ilmestyvistä kärpäsisistä huolimatta toivota muutettavan alkuperäisiksi. Käymälät koetaan hiljaisiksi, hajuttomiksi ja ne tukevat ajatusta ekologisesta elämäntavasta (Krantz 2005). Ulostesäiliöiden tyhjentäminen on koettu haastavaksi etenkin iäkkäämpien asukkaiden keskuudessa, jolloin tyhjentäminen on suoritettu yhteisön vapaaehtoisten toimin. Tiedottaminen kuivakäymälän oikeasta käyttötavasta on koettu tärkeäksi sen toimivuuden ja jakeiden hyödynnettävyyden kannalta (Kvarnström ym. 2006). Järjestelmä on yhä tänä päivänä toiminnassa (Johansson 2020).

## Lemmerweg-Oost, Sneek, Hollanti

Lemmerweg-Oostissa sijaitseva kohde on otettu käyttöön vuonna 2006 ja käyttäjien lukumäärä on 128. Se on monitieteinen asiantuntijoiden johtama pilottihanke, jossa 32:een uudisrakennettuun taloon ja yhteen toimistorakennukseen asennettiin alipainekäymälät ja yhteen huoneistoon alipainejärjestelmään yhdistetty biojätemylly.

Mustat jätevedet ja biojäte johdetaan termofiiliseen mädätysprosessiin (UASB-reaktori) ja biokaasu hyödynnetään laitoksen energiana ja asuntojen lämmityksessä. Neste- ja kuivajae hyödynnetään lannoitteina. Harmaat jätevedet johdetaan paikalliselle jätevedenpuhdistamolle käsiteltäväksi. Jätevesien hallinta on kunnan vastuulla ja vesivirasto (Water Board) vastaa syntyneiden jakeiden käsittelystä (Gomez ym. 2020). Alipainekäymälät voidaan tarvittaessa kytkeä tavanomaiseen viemärijärjestelmään, joka jätettiin varalta paikoilleen.

Hankkeen tarkoituksena oli saada kokemusta laajemman mittakaavan toteutuksille. Hankkeen kaksi aikaisempaa yritystä epäonnistuivat mm. hankeosapuolten riittämättömän tuen vuoksi, joka johtui osaltaan luottamuspulasta sekä epävarmuudesta kuka järjestelmää hallinnoisi hankkeen päätyttyä. Aiemmista projekteista poiketen projektiryhmä haluttiin pitää pienenä, ennen aikaista mediahuomiota pyrittiin välttämään ja projektissa panostettiin osapuolten välisen luottamuksen ylläpitoon. (Hegger ym. 2006; Hegger 2007). Projekti käynnistettiin vuonna 2001 ja Lemmerweg-Oostin kohde vuonna 2004 yliopiston, yritysten ja kuntien yhteenliittymän toimesta ja sitä rahoittivat eri ministeriöiden välinen ohjelma EET (Economie Ecologie Technologie). (Hegger 2007; Blanken ym. 2019). Hankkeen onnistumista edesauttoivat edeltävät kokemukset, verkostoituminen ja osapuolten välinen yhteisymmärrys projektin

tavoitteista. Kunnan sekä molempien mukana olleiden asuntoyhteisöjen kiinnostus projektia kohtaan koski mahdollisuutta luoda kuva edistyksellisestä kunnasta/asuntoyhteisöstä, joka myötävaikuttaa kestävä kehityksen edistämistä. Kohde on ollut mukana EU:n Horizon hankkeessa vuodesta 2017 (Run4Life 2017-2021), jossa sitä kehitetään edelleen mm. vaihtamalla alipainekäymälät pienemmällä vesimäärällä toimiviksi. (Gomez ym. 2020)

Projektin osapuolet arvioivat asukkaiden kokevan järjestelmän suurimmaksi eduksi sen vettä säästävän ominaisuuden ja vesilaskun pienenemisen (n. 50 euroa vuodessa). Asukkaat kuitenkin nostavat rahallisen säästön sijaan tärkeimmiksi asioiksi järjestelmän edustavan tulevaisuutta ja olevan ympäristöinnovaatio. Osa asukkaista kokee alipainekäymälöiden vetämisestä kuuluvan äänen häiritseväksi. (Hegger ym. 2006; Hegger 2007)

## Noorderhoek, Sneek, Hollanti

Sneekissä sijaitsevan Noorderhoekin kaupunginosan kunnostusta koskeva hanke käynnistettiin vuonna 2008. Siinä 232:een uudisrakennettuun asuntoon asennettiin alipainekäymälät ja jätemyllyt, joista mustat jätevedet yhdessä hienonnetun biojätteen kanssa ohjautuvat biokaasulaitokselle. Järjestelmä otettiin käyttöön vuonna 2010. Järjestelmä suunniteltiin käsittelemään 550 asukkaan jätevedet mutta sen kapasiteetti ylittäisi 1530 asukkaan jätevesien käsittelyyn (Stowa 2018). Biokaasu hyödynnetään talojen ja veden lämmityksessä. Harmaat jätevedet johdetaan paikalliselle jätevedenpuhdistamolle käsiteltäväksi. Järjestelmän hallinta ja ylläpito on kolmen osapuolen vastuulla; asuntoyhdistykselle kuuluu tontin sisäiset asennukset, kunta omistaa ja hallinnoi viemärijärjestelmää julkisella alueella ja yksityinen yritys hallinnoi käsittelyasennusta. Asuntoyhdistys ja kunta ovat ulkoistaneet toiminnan kolmansille osapuolille.

Hanke toteutettiin yritysten, yliopiston, kunnan ja asuntoyhdistyksen yhteistyöllä. Tavoitteena oli saada kyseisestä järjestelmästä lisää tietoa ja käytännön kokemusta. Hankkeen toteutumista tuki 2000-luvun alussa vesiviranomaisista koostuvan asiantuntijakeskuksen (STOWA) käynnistämä hanke jätevesien hallintamenetelmien laajentamiseksi. Asuntoyhdistys vaikutti myös ratkaisevasti hankkeen onnistumiseen ja sen toiminta asukkaiden yhteyspisteinä ja tiedon jakajana on yhä tärkeä.

Vuonna 2017 asukkaille suunnatussa kyselyssä vastanneista kaksi kolmasosaa mainitsee alipainekäymälän huuhtoutumisessa ongelmia, jotka johtuivat mm. huolto-/virtakatkoksesta tai tukkeutumasta. 81 % vastanneista kokee alipainekäymälän vetämisestä aiheutuvan äänen häiritseväksi ja ongelman tunnistaminen ja huomioiminen on koettu tärkeäksi. Ääntä voidaan vähentää teknisillä säädöillä, jotka toteutetaan tulevissa rakennettavissa taloissa. 20 % vastanneista kokee huuhtelun riittämättömäksi, 8 % taas vessan epäpuhtaaksi ja 30 % sen puhdistamisen vaikeaksi. Puolet vastanneista on kokenut jätemyllyn toiminnassa ongelmia ja syynä ovat olleet joko liian suuret täyttömäärät tai sinne kuulumattomat esineet. 54 % asukkaista kokee järjestelmästä saatavilla olevan tiedon kattavaksi, kun taas 5 % toivoisi kattavampaa tietoa etenkin ongelmia ja puhdistusta koskien. Kuitenkin asukkaat ovat yleisesti tyytyväisiä käytössä olevaan järjestelmään ja ylpeitä siitä. Järjestelmää pidetään innovatiivisena, ainutlaatuisena, modernina ja esimerkkinä tuleville vastaaville hankkeille.

Uusille asukkaille suositellaan jaettavaksi kattavasti tietoa järjestelmän oikeista käyttötavoista. Järjestelmän teknisessä toteutuksessa ja asennuksessa tulee ottaa huomioon projektin kehittäjien, asentajien ja tekniikoiden vielä varsin rajallinen kokemus alipainejärjestelmien suunnittelussa ja rakentamisessa ja siksi tiivis yhteistyö osien toimittajien kanssa on tärkeää. (Stowa 2014)

## Jenfelder Au, Hampuri, Saksa

Entisten armeijan kasarmien uudisrakentamisen yhteydessä (2013-2018) asennettiin 650 asuntoon (2000 käyttäjää) alipainekäymälät ja painovoimaan perustuva järjestelmä harmaille jätevesille. Järjestelmä otettiin käyttöön vuonna 2018. Mustat jätevedet johdetaan paikalliseen biokaasulaitokseen ja biokaasu hyödynnetään alueella lämpö- ja sähköenergiana. Mädätteen hyödyntämistä lannoitteena ei selvitetty,

koska mineraalilannoitteiden alhaisen hinnan johdosta sillä ei nähty olevan potentiaalia kilpailla lannoitemarkkinoilla (Augustin ym. 2014). Harmaat jätevedet johdetaan paikalliselle jätevedenpuhdistamolle käsiteltäväksi ja käsitelty vesi on suunniteltu hyödynnettävän joko käymälöiden huuhteluvetenä tai puutarhanhoidossa. Kaupungin vesihuoltolaitos on vastuussa jätevesien hallinnasta ja kaupungin puhtaanapitolaitos jätehuollosta. Biojätettä koskeva järjestelmä ei suunnitelmista huolimatta toteutunut, koska hankkeessa ei ollut osallisena mm. lainsäädännöllisistä ja organisaatioeroihin liittyvistä syistä käsitelystä vastaavaa yritystä. (Skambraks ym. 2017)

Alipainekäymälöiden rakentaminen oli haaste verkoston rakennus-, suunnittelu- ja lakiosastolle. Osaksi kokemuksen puutteesta ja kohteesta johtuen järjestelmä rakennettiin kattavan suunnittelun ja koekulun tuloksena ja osa järjestelmän osista jouduttiin tekemään mittatilaustyönä. Jätevesien kuljettaminen uuden tekniikan avulla vaati jätevesilainsäädäntöön muutosta (Augustin ym. 2014).

Hanke toteutettiin paikallisten ympäristötavoitteiden saavuttamiseksi osana kaupungin kehityssuunnitelmaa ja kestävästä kaupunkirakentamisen esimerkkikohteeksi. Hanke on osa kunnallisen vesihuoltolaitoksen vuonna 2007 perustamaa jätevesien erottelua koskevaa ohjelmaa Hamburg Water Cycle (HWC). Kohde toteutettiin yhteistyössä yliopiston, alueviranomaisen, muiden kuntien ja valtion omistaman kiinteistöhuoltoyrityksen kanssa. Hanke sai taloudellista tukea kunnalta ja EU:lta (EU Life-hanke). Suunnittelua ja rakennusta tuki muut käynnissä olevat tutkimushankkeet Saksassa ja EU:ssa. (Skambraks ym. 2017)

## Schipperskaai, Ghent, Belgia

Entisen teollisuusalueen uudisrakentamisen yhteydessä alueen rakennuksiin, joista 430 on asuntoja, asennetaan alipainekäymälät, yhteiskäyttöiset biojätemyllyt ja painovoimaan perustuva järjestelmä harmaille jätevesille (mitoitettu 1200 käyttäjälle). Järjestelmä otettiin käyttöön vuonna 2020. Mustat jätevedet ja biojäte käsitellään biokaasulaitoksella (UASB-reaktori) ja biokaasu hyödynnetään alueen lämpöenergiana. Fosfori otetaan talteen struviittina ja mahdollisuutta fosforihapon tuottamiseen tutkitaan. Harmaat jätevedet käsitellään paikallisesti membraanibioreaktorissa (MBR). Prosessissa syntyvä liete ohjataan biokaasulaitokselle, käsitelty jätevesi hyödynnetään pesuaineteollisuuden prosesseissa ja lämpö otetaan talteen ja hyödynnetään alueen lämmitysverkostossa.

Projektin yhteydessä perustetulla osuuskuntaryityksellä (DuCoop), on kaupungin kanssa sopimus alueen lämpöverkoston, vedenpuhdistuksen ja muun tekniikan rakentamisesta ja hallinnasta. Lämmön talteenotto ja käsitellyn harmaanveden myyminen paikalliselle teollisuudelle alentaa osakkaiden vesi- ja lämmityskustannuksia. (Run4Life, Nieuwe Dokken)

Schipperskaai on pilottikohde, jota rahoittaa EU:n Horizon hanke (Run4Life 2017-2021) ja paikallinen valtion energialaitos (Nereus Project 2018). Hanke liittyy paikalliseen ja kansalliseen ilmaston toimintasuunnitelmaan ja tavoitteeseen kestävästä kaupungista. Hankkeen toteutumista tukevat rahoituksen lisäksi järjestelmän pienemmät hallintakustannukset ja markkinoitavat tuotteet. Hankkeessa ovat osallisina kaupungin kehitysvirasto, yliopistot, paikallinen osuuskunta, alueen vesilaitos ja yksityisiä rakennus-, kehitys- ja sijoitusyhtiöitä. (Skambraks ym. 2017, Gomez ym. 2020)

## Stockholm Royal Seaport (SRS), Tukholma, Ruotsi

Tukholman kaupunginvaltuusto päätti vuonna 2009, että Tukholman kuninkaallisesta merisatama-alueesta (SRS) tulee seuraava ympäristöystävällinen kaupunginosa ja malli kestäväälle kaupunkisuunnittelulle ja vuonna 2011 kaupungissa tehtiin poliittinen päätös erottelevien jätevesijärjestelmien puolesta. Alipainekäymälöiden ja jätemyllöjen asentamista suunnitellaan alueelle tuleviin 8 000 asuntoon ja noin 19 200 asukkaalle. Arvioitu käyttöönottovuosi on 2023. Mustien jätevesien käsittely tehdään joko paikallisesti tai alueellisesti ja lopputuotteet hyödynnettäisiin lannoitteina korvaten mineraalilannoitteiden käyttöä. Biojäte johdetaan erillistä viemärijärjestelmää pitkin keräyssäiliöön ja kuljetetaan kuorma-au-

toilla jo olemassa olevaan vesilaitoksen hallinnoimaan biokaasulaitokseen. Biokaasulla korvataan fossiilisia liikennepolttoaineita ja biokaasuprosessissa syntyvä mädäte hyödynnetään maanviljelyssä. Harmaista jätevesistä otetaan lämpö talteen ja ne käsitellään paikallisella jätevedenpuhdistamolla. (Lennartsson & Kvarnström 2017). Vuonna 2020 järjestelmän täytäntöönpanosta ei vielä ole tehty päätöstä (Kvarnström 2020).

Vuonna 2009 Tukholman kaupunki ja Clinton Climate Initiative (CCI) allekirjoittivat pöytäkirjan, jossa kaupunki sitoutui perustamaan SRS:n ilmastokestävän kaupunkisuunnittelun malliksi tukemaan standardien kehittämistä (Lennartsson & Salmhofer 2016). Erottelevan jätevesijärjestelmän käyttöönottoa ajavat kiinnostus biokaasun tuotantoon, ravinteiden tehokkaampiin kierrätysmahdollisuuksiin sekä lämmön talteenottoon. Alueelle on asetettu tavoite olla fossiilivapaa vuoteen 2030 mennessä. (Lennartsson ym. 2019). Hankkeeseen liittyvä tutkimus on saanut rahoitusta maailman suurista kaupungeista koostuvalta järjestöltä Carbon Neutral Cities Alliance:lta (CNCA).

Hankkeen edistymistä ja täytäntöönpanoa ovat hidastaneet mm. yhteisen näkemyksen puute, epäselvät roolit ja vastuualueet sekä vesilaitoksen vähäinen panostus hankkeelle (Lennartsson ym. 2017). Vesilaitokselta on puuttunut omistajuusdirektiivin kautta tehty luovutus sopimus ja paikka ohjausryhmässä ennen vuotta 2017, jotta se olisi voinut osallistua alusta alkaen täysimääräisesti hankkeen toteuttamiseen. Hanketta ei ole sisällytetty kaupungin talousarvioihin ja hankkeen toteuttamiselta on puuttunut vastuutaho. Tämä on johtanut tilanteeseen, jossa hankkeen eteneminen ja täytäntöönpano on ollut jopa yksittäisten henkilöiden vastuulla. Haasteita on ollut myös järjestelmän hallinnointiin liittyvien vastuu- tahojen määrittämisessä ja rahoituksessa, eli millä perusteella maksuja voidaan lain mukaan periä. Biojätteen hallinnointi kuuluu jätelain piiriin ja jäteveden hallinnointi jätevesihuoltolain piiriin, mutta erotetut mustat jätevedet voivat taas kuulua kumpaankin lainsäädäntöön. (Lennartsson & Kvarnström 2017). Viime vuosina vesilaitos on tehnyt yhteistyönä Tukholman kaupungin viranomaisten ja Helsingborgin H+ hankkeen kanssa tutkimuksia, joissa otetaan huomioon oikeudelliset, organisatoriset, tekniset toteuttavuus- ja optimointimahdollisuudet sekä taloudelliset näkökulmat. Selvitykset ovat tuoneet hankkeen osapuolille yhteistä näkemystä hankkeen toteuttamiseksi. (Lennartsson ym. 2019)

## H+, Helsingborg, Ruotsi

Entisen sataman ja teollisuusalueen H+ uudisrakentaminen Helsingborgissa alkoi vuonna 2017 ja alueen yhteen osaan rakennetaan 320 asuntoa ja liikehuoneistoja, joissa on jätevesiä erotteleva järjestelmä. Järjestelmän käyttöönotto vuosi oli 2020, ja se on mitoitettu 1800 käyttäjälle. Tiloihin asennetaan alipainekäymälät ja erilliseen alipaineverkostoon yhdistetyt biojätemyllit. Mustat jätevedet ja biojäte johdetaan biokaasulaitokselle (UASB-reaktoriin) ja biokaasu hyödynnetään joko liikennepolttoaineena tai sähköenergiana alueen katuvalaistuksessa. Fosfori ja typpi otetaan talteen mädätteestä struviittina ja ammoniumsulfaattina ja hyödynnetään lannoitevalmisteissa. Kansallisten liettä koskevien sertifikaattien ja EU:n end-of-waste loppuprosessin ansiosta hygienisoidusta mädätteestä voidaan valmistaa maanviljelyssä hyödynnettäviä lannoitteita, kuten pellettejä tai räätälöityjä rakeita. Harmaat jätevedet johdetaan paikalliseen jätevedenpuhdistamoon ja puhdistetun veden hyötykäyttämähallittuuksia selvitetään. (Run4Life, Oceanhamnen)

Helsingborgin kaupunki teki vuonna 2013 päätöksen jätevesiä erottelevan järjestelmän toteuttamiseksi. Kaupungilla on korkeat ympäristötavoitteet ja H+ aluetta suunniteltiin malliksi kestäväälle kaupungille. Jätevesien ja biojätteen erottelevan järjestelmän valintaan ovat vaikuttaneet ravinteiden kierrätystä ja biokaasun tuotannon lisäämistä koskevat tavoitteet. (Skambraks ym. 2017)

Hankkeen edistymistä ovat tukeneet yhteinen näkemys, vahva johtaminen, osapuolten välinen tiivis yhteistyö ja innovatiivinen lähestymistapa sekä hankkeessa että kaupungin hallinnossa (Lennartsson ym. 2019). Hankkeessa on panostettu kunnallisen jäte-, vesi- ja energiaviranomaisten yhteistyöhön ja yhteisen näkemyksen luomiseen koskien mm. lainmukaisuutta, ylläpitoa ja kustannusten jakautumista viran-

omaistahojen kesken (Skambraks ym. 2017). H+ hankkeen suunnittelusta ja toteutuksesta vastaa vesilaitos (NSVA) yhteistyössä muissa Run4Life esimerkkikohteissa mukana olleiden LEAF:n (säätio, joka tukee tiedonjakoa kestävästä tekniikoista) ja DESAH:n (yritys, joka kehittää ja toteuttaa kestäviä tekniikoita) kanssa, jotta hankkeessa voidaan hyödyntää tehokkaasti muissa kohteissa saatuja tuloksia ja kokemuksia. (Gomez ym.2020). Hankkeen rahoituksesta neljäsosa tulee kansallisesta rahastosta.

## Yhteenveto

Kansainväliset esimerkkikohteet ja niistä saadut kokemukset ovat tärkeitä uusia hankkeita suunniteltaessa. Menestyneet hankkeet voivat vähentää tulevien hankkeiden osalta tekniikkaan, kustannuksiin ja lainsäädäntöön liittyviä epävarmuuksia ja siten tukea tulevien hankkeiden toteutumista (Skambraks ym. 2017). Pienemmän mittaluokan kohteet ovat mahdollistaneet siirtymisen suurempiin mittaluokkiin, joiden kohdalla voidaan pilotoinnin sijaan puhua jo konseptin käyttöönotosta (Bisschops ym. 2019).

Tässä kappaleessa esitellyissä kohteissa on pääosin käytössä alipainekäymälät ja biojätemyllyt. Jätteet käsitellään biokaasulaitoksella ja biokaasu hyödynnetään sähkö- tai lämpöenergiana tai korvaamaan fossiilisia liikennepolttoaineita. Hankkeissa edistetään ravinnekierrätystä hyödyntämällä mädätteestä talteen otettu fosfori ja typpi maataloudessa. Ravinteiden kierrätystä ei pidetä ainoana kantavana tekijänä hankkeiden toteuttamiselle, vaan järjestelmän koetaan edistävän kokonaisuutena kestävästä tulevaisuudesta ja edelläkävijyyttä niin hanketoimijoiden kuin asukkaidenkin näkökulmasta.

Esimerkkikohteiden toteutumista ovat tukeneet hankkeille asetetut selkeät tavoitteet ja vastuutahot sekä motivoituneet osapuolet ja heidän välinen tiivis yhteistyö. Useat hankkeet ovat saaneet rahoitusta EU:n Horizon-rahoituksesta ja toimivat siten myös yhteistyössä kokonaisuutta kehittäen. Käyttäjät ovat olleet pääsääntöisesti tyytyväisiä käytössä oleviin ratkaisuihin, mutta alipainekäymäläverkoston aiheuttamiin äänihaittojen vähentämiseen tulee jatkossa kiinnittää enemmän huomiota. Kaupungit ja alueelliset vesihuoltolaitokset ovat olleet merkittävässä roolissa useissa kohteissa ja ottaneet vastuun järjestelmien toimivuudesta ja käsittelymenetelmistä. Useassa tapauksessa järjestelmän avulla saavutetut kustannushyödyt koituvat suoraan asukkaiden hyödyksi, mutta sitäkin tärkeämpänä on saatettu pitää edelläkävijän roolin asemaa.

## 4.2 Erottelevat käymäläkokeilut Suomessa – NutriCity pilotkokeet

NutriCity-hankkeessa testattiin erottelevia sanitaatoratkaisuja kaupunkiympäristössä, Hiedanrannassa Tampereella. Jopa 100 henkilöä käyttää päivittäin kaupungin kokoustitiloja, eri toimijoille vuokrattuja tiloja ja kahvilaa. Hiedanrannan kartanon vesikäymälät yhtä lukuun ottamatta vaihdettiin erotteleviin käymälöihin. Kartanolle asennettiin neljä alipainekäymälää, virtsan erotteleva vesikäymälä ja vedetön urinaali. Erottelevat käymälät ovat pysyvästi käytössä kartanolla. Keräysjärjestelmät toteutettiin niin, että virtsaa ja mustaa vettä voi kerätä erilleen erilaisiin käsittelykokeisiin ja jos käsittelykokeita ei ole käynnissä, voidaan virtsa ja musta vesi johtaa viemäriin. Alueella sijaitsee myös kulttuuritila Kuivaamo, jossa käytössä oli valmiiksi virtsanerottelevat kuivakäymälät.

Virtsaa käsiteltiin NutriCity-projektissa kahdella laitteistolla: NPHarvest ja Sanitation360®. NPHarvest on Aalto-yliopiston ja sen yhteistyökumppaneiden hanke, jossa tutkitaan ravinteiden talteenoton mahdollisuuksia ja teknologiaa nestemäisistä jätevirroista. Hankkeessa on kehitetty laitteistoa, jonka toimintaperiaate on ammoniakkin strippaus ja talteenotto hydrofobisen kalvon avulla sekä fosforin saostus. Sanitation 360® on Sveriges Lantbruksuniversitetista (SLU) ponnistava yritys, joka on kehittänyt alkaliseen hydrolyysiin perustuvaa virtsankäsittelylaitteistoa. Laitteiston toimintaperiaate on se, että tuore virtsa johdetaan tuhka-kalkkipedille, jossa sen pH nousee välittömästi korkeaksi. Tällöin virtsan urea pysyy ureamuodossa, jolloin neste voidaan haihduttaa lämpöpuhaltimien avulla pois. Virtsan ravinteet ja valtaosin myös typpi jää tällöin kiinteään muotoon tuhka-kalkkiseokseen.

Tässä kappaleessa esitellään NutriCity-hankkeen aikana toteutetut käymäläkokeilut, testatut käsittelymenetelmät sekä käyttäjäkyselytutkimuksen tulokset. Kappaleessa esitellään myös pilottikoikeista saatujen lopputuotteiden laatu ja ravinnearvot. Kuten jo aiemmin raportissa on mainittu niin virtsan käyttö lannoitevalmisteena herättää ennakkoluuloja lähinnä lääkeaine- ja hormonijäämien aiheuttamien mahdollisten riskien vuoksi. Tässäkin pilottikokeessa analysoitiin molemmilla menetelmillä tuotettujen lopputuotteiden sisältämät haitta-aineet sisältäen lääkeaine- ja hormonijäämät. Virtsaasta jalostettuja lopputuotteita ei voi verrata jätevesiin tai puhdistamolietteilisiin, koska vain osa haitta-aineista päätyy virtsaan. Virtsaasta jalostettuja lannoitustuotteita ja niiden sisältämiä haitallisia aineita on tutkittu Suomessa mm. Biourea- ja MORTTI -hankkeissa (Viskari ym. 2017, Malila ym. 2019). Tyypillisimmin havaitut haitta-aineet ovat aiemmissa kokeiluissa olleet lääkeaineista tulehduskipu- ja särky-lääkkeet, betasalpaajat ja verenpainelääkkeet, ja muista haitta-aineista hormonit, fenolit ja ftalaatit.

Maa- ja metsätalousministeriön lannoitevalmistelaki (2011) ei ole asettanut kaikille haitta-aineille raja-arvoja, joten pilottikokeen tulokset eivät ota kantaa menetelmien lopputuotteiden turvallisuuteen tai käyttökelpoisuuteen lannoitteeksi tai lannoitteen raaka-aineeksi haitta-aineiden osalta. Lisäksi on huomioitava, että riskit haitta-aineiden kertymiselle maaperään saattavat kasvaa lannoitusmäärien ja -kertojen myötä (Ylivainio ym. 2020). Haitta-aineiden vaikutukset riippuvat siis myös lopputuotteen käytöstä, kuinka toistuvasta tai mille alalle ja missä määrin lannoitetta levitetään, eikä lopputuotteiden toimivuutta lannoitteena ole tässä hankkeessa tutkittu tai arvioitu.

## Virtsan alkalisen haihdutusmenetelmän pilotointi

Ruotsissa kehitettyä alkaliseen haihdutukseen perustuvaa Sanitation360® -menetelmää testattiin Lielahden kartanossa Tampereen Hiedanrannassa kuusi kuukautta jatkuvatoimisesti. Koska oli tiedossa, että menetelmällä on potentiaalia käsitellä suuriakin määriä virtsaa, haluttiin menetelmää kokeilla Lielahden kartanon erottelevissa käymälöissä syntyvän virtsan käsittelyyn. Pilottia toteutettiin yhdessä menetelmää kehittäneen Ruotsin maataloustieteellisen yliopiston eli SLU:n tutkijaryhmän ja Sanitation360 -yrityksen kanssa.

Ruotsissa tehdyissä laboratoriomittakaavan tutkimuksissa menetelmällä on saavutettu lopputuotteelle 10 % typpipitoisuus, 1 % fosforipitoisuus ja 4 % kaliumpitoisuus (Simha ym. 2020) ja menetelmällä voidaan erilliskerätystä virtsasta pidättää noin 70 % virtsan sisältämästä typestä ja jopa 100 % virtsan sisältämästä fosforista ja kaliumista. (Simha ym. 2018).

NutriCity-hankkeen pilottikokeissa järjestelmä asennettiin Lielahden kartanon kellariin (Kuva 7), mihin kerättiin virtsaa kartanon miesten vedettömästä kuivaurinaalista sekä erottelevan huuhtelukäymälän istuimesta. Kuivaurinaali ja erotteleva huuhtelukäymälä sijaitsivat kartanon ensimmäisessä kerroksessa, josta virtsa ohjattiin putkiston läpi kellariin sijoitettuun käsittelylaitteistoon. Käsittely-yksikköön kuului viisi peräkkäin kytkettyä tuhka-kalkkiseoslaatikkoa (Kuva 8 ja 9). Tuhka-kalkkiseoslaatikoissa virtsa imeytyy tuhka-kalkkiseokseen ja muodostuu vesihöyryä, joka poistetaan kuhunkin laatikkoon sijoitetulla lämpöpuhaltimella. Tuhkassa virtsan pH nousee yli kymmeneen, jolloin virtsan typpi pysyy ureamuodossa, eikä haihdu vesihöyryn mukana (Malila ym. 2019, Simha ym. 2018b). Menetelmässä käytetty tuhka-kalkkiseos oli maatalon puupellettivoimalaitoksesta peräisin olevaa puutuhkaa (Simha 2020).





Kuva 7. Erottelevat käymälät, joista virtsa ohjattiin Sanitation 360®-menetelmään. Kuvat: Inka Honkala, TAMK.



Kuva 8. Vasemmalla Sanitation 360® pilottikokeilun alussa ja oikealla tuhka-kalkkiseosta sisältäneet laatikot käsittelyn lopulla. Kuvat: Prithvi Simha/SLU.

Menetelmän käyttökapasiteetti mitoitettiin käsittelemään päivittäin 25 litraa virtsaa. Erottelevien käymälöiden virtsa ohjattiin Sanitation 360® -käsittelyyn heinäkuun alusta tammikuun loppuun. Käsitteystä kerättiin TAMKin ja hankehenkilökunnan toimesta heinä-syyskuun aikana neljä näytettä tuhka-kalkkiseoksesta, johon virtsa johdettiin. Myös SLU:n tutkijaryhmä keräsi näytteitä koko pilottijakson ajan. Näytteenottokertoina laitteistoa myös huollettiin tarpeen tullen. Taustanäyte tuhka-kalkkiseoksesta otettiin 23.7. ja virtsaa sisältävästä tuhka-kalkkiseoksesta otettiin näytteet 23.7., 13.8., 17.9. ja 24.9. vuonna 2019. Näytteitä otettiin tuhka-kalkkilaatikkorivin kahdesta ensimmäisestä laatikosta, koska näihin virtsa kertyi. Viimeisenä näytteenottopäivänä, 24.9. havaittiin hankehenkilökunnan toimesta mene-

telmän tulvineen. Oletettavasti erottelevasta vesihuuhtelevasta käymälästä on päässyt huuhteluvettä virtsan lisäksi putkistoon ja tuhkaan imeytyvä aines eli veden ja virtsan seos oli ylittänyt menetelmälle asetetun päiväkapasiteetin eli 25 litraa.

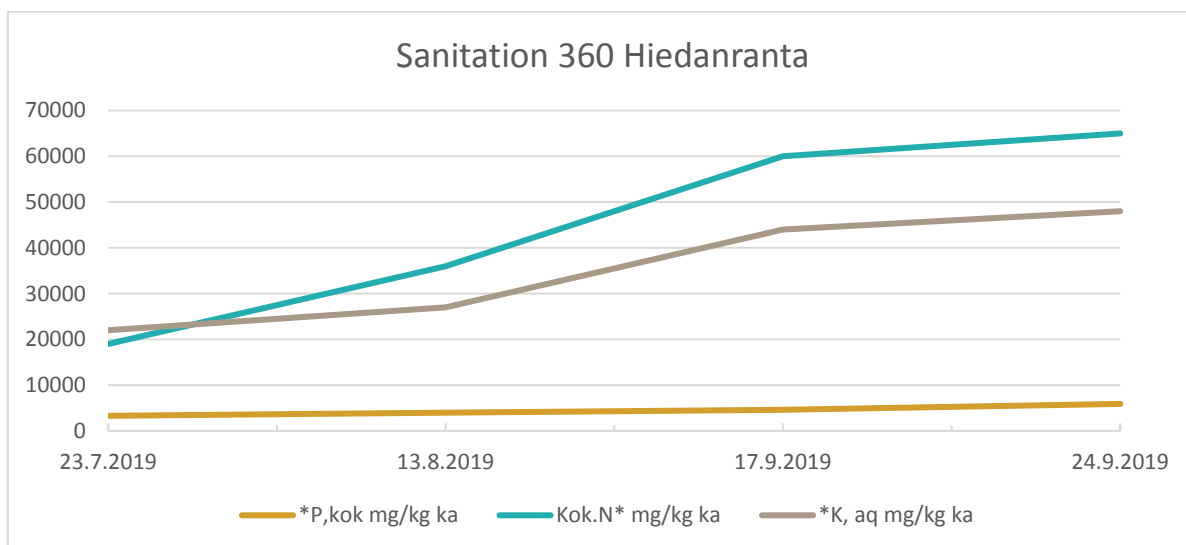


Kuva 9. Sanitation 360 ®-pilotti Kartanon kellaritiloissa. Kuvaaja: Prithvi Simha/SLU.

Näytteitä otettiin niin lopputuotteesta eli tuhka-kalkkiseoksesta, johon virtsan ravinteet oli imeytetty, kuin tuhka-kalkkiseoksesta ennen virtsan imeytystä (taustanäyte) eli kokeen alkua. Näytteet otettiin tuhka-kalkkiseoksen pintakerroksesta. Kolmen 50 ml osanäytteistä koottiin kokoomanäyte analysoitavaksi. Näytteistä määritettiin typen, fosforin ja kaliumin pitoisuudet, muiden hivenaineiden ja haitallisten metallien, kloridin pitoisuus, mikrobiologinen laatu eli *E. colin* ja *Salmonellan* esiintyminen lannoitevalmisteita koskevan asetuksen mukaisesti (Maa- ja metsätalousministeriö 2011) sekä yhteensä yli 207 orgaanista haitta-ainetta, sisältäen lääkeaineet ja hormonit. Analyysien metodit ja toteuttajat löytyvät Liitteestä 1. Tuhkan sisältämien haitta-aineiden analysointi on haastavampaa kuin nestemäisen jakeen, koska haitta-aineanalyyseja ei ole tuhkalle samassa määrin saatavilla. Esimerkiksi NPHarvestin nestemäisille näytteille teetettiin yhteensä 336 erilaista haitta-aineanalyysia.

Aikajanasta (Kuva 10) havaitaan, että kokonaistypen, -fosforin ja kaliumin pitoisuudet tuhkassa nousivat pilotin aikana. Käsittelykokeen tarkastelujakson lopulla lopputuotteen ravinnepitoisuudet olivat 7 % typpeä, 1 % fosforia ja 5 % kaliumia. Lopputuotteen ravinnepitoisuuden voidaan todeta olevan vastaavalla tasolla, kuin kuluttajakaupasta saatavilla yleisimmillä puutarhalannoitteilla. Tuloksia tukevat myös aiemmat tutkimukset (Simha ym. 2020), joissa lopputuotteen ravinnepitoisuudet ovat olleet samaa suuruusluokkaa.

24.9. havaittu tulva, jossa erottelevasta huuhtelukäymälästä (Kuva 7, oikea kuva) oli päätyneet huuhteluvettä virtsan lisäksi menetelmään, näkyy tuloksissa myös loivenevana käyränä. Ravinnepitoisuuksien kumulatiivinen kasvu hidastuu 24.9. otetussa näytteessä, joten voidaan olettaa, että virtsa on tässä vaiheessa käsittelykoetta laimentunut vedellä, kuten edellisessä kappaleessa on kerrottu.



Kuva 10. Typen, fosforin ja kaliumin pitoisuuksien (mg/kg ka) kehitys Sanitation360 -menetelmän pilottikokeen aikana.

Lopputuotteen (ravinnetuhka) sisältämien haitallisten metallien pitoisuudet eivät pilottikokeessa ylittäneet Maa- ja metsätalousministeriön lannoitevalmisteille annetun asetuksen (2011) enimmäispitoisuuksia maa- ja puutarhatalouskäytössä. Käsittelypilotissa kadmiumpitoisuus oli aiempiin tutkimuksiin verrattuna alhaisempi (Malila ym. 2019), joka selittyy mahdollisesti aiempia kokeita runsaammalla käyttöasteella sekä menetelmän tuhka-kalkkiseoksen mitoituksen muutoksilla. Kuten Taulukosta 3 nähdään, kadmiumille asetettu enimmäispitoisuus maa- ja puutarhataloudessa ylittyy tuhka-kalkkiseoksessa. Virtsan johtaminen tuhka-kalkkiseokseen kuitenkin laskee kadmiumin pitoisuutta testijakson aikana.

Kadmium ei ole alkuaineena vesiliukoinen, mutta koska jotkin kadmiumyhdisteistä voivat olla vesiliukoisia (Työterveyslaitos 2020a), olisi menetelmästä haihtuva neste kerättävä talteen ja tutkittava sen sisältämät ravinnepitoisuudet ja haitta-aineet. Myös muiden metallien pitoisuudet laskevat käsittelyssä. Taustanäytteiden ja käsittelyssä otettujen näytteiden metallipitoisuuksien pieneneminen käsittelyn alkamisaikana on havaittu myös aiemmissä kokeissa (Malila ym. 2019). Toistuvan ilmiön selitykseksi myös haihtuva neste olisi tutkittava, jotta voitaisiin sulkea pois näytteenotosta tai näytteen käsittelystä seuraavat epäluotettavuudet tulosten tulkintaan.

Lisäksi virtsan myötä lopputuotteen kloridipitoisuus kasvaa. Koska kloorin tiedetään tunnetusti heikentävän kasveissa ja erityisesti juurissa nitraattitypen ottoa, on kloridin poistamista lopputuotteesta tarpeen tutkia.

**Taulukko 3. Sanitation 360-näytteiden analyysitulokset, eli ravinteiden ja raskasmetallien pitoisuudet. Pitoisuudet on ilmoitettu kuiva-ainetta (ka) kohti.**

Näytteen ottopäivä		Tuhka, taustanäyte	23.7.2019	13.8.2019	17.9.2019	24.9.2019	MMMa 24/11*
Tilavuuspaino	g/l	704	895	960	1600	1650	
Kuiva-aine (ka)	g /kg	992	686	723	698	805	
Kokonaistyyppi	mg/kg ka	600	19000	36000	60000	65000	
Kokonaisfosfori	mg/kg ka	9800	3300	4000	4600	5900	
Kalium	mg/kg ka	73000	22000	27000	44000	48000	
Nikkeli	mg/kg ka	5	2,3	2	1,6	<1,5	100/150
Kalsium	g/kg ka	220	330	260	220	200	
Boori	mg/kg ka	280	58	53	47	<40	
Kromi	mg/kg ka	15	8,6	7,8	5,7	5,9	300/300
Sinkki	mg/kg ka	300	62	71	48	44	1500/4500
Antimoni	mg/kg ka	0,8	0,2	0,26	0,16	0,17	
Vanadiini	mg/kg ka	8,7	6,6	5,7	4,5	3,7	
Arseeni	mg/kg ka	0,94	1,2	1	0,94	0,87	25/40
Lyijy	mg/kg ka	6,1	1,5	1,6	1,2	1	100/150
Molybdeeni	mg/kg ka	2,4	0,98	0,92	0,84	0,89	
Kadmium	mg/kg ka	7,1	1,4	1,4	0,94	0,82	1,5/25
Koboltti	mg/kg ka	4,9	1,7	1,6	1,2	1,1	
Kupari	mg/kg ka	120	33	30	41	20	600/700
Liukoinen kloridi	mg/l tp	540	7800	18000	46000	53000	
Rauta	g/kg ka	5,9	2,3	2,5	1,4	1,5	
Mangaani	mg/kg ka	14000	2900	2400	1800	1600	
Rikki	g/kg ka	3,1	2,1	3,5	5,8	7,1	
Elohopea	mg/kg ka	<0,1	<0,2	<0,3	<0,4	<0,5	1,0/1,0
Magnesium	g/kg ka	45	12	11	8,8	7,7	
E Coli	pmy/g	<10					
Salmonella	/25g	Ei todettu	Ei todettu	Ei todettu	Ei todettu	Ei todettu	

\*) Maa- ja metsätalousministeriön lannoitevalmisteille annetun asetuksen (2011) enimmäispitoisuudet maa- ja puutarhatalouskäytössä/metsälannoituksessa.

Sanitation 360®-käsittelykokeen lopputuotteesta analysoitiin myös orgaaniset haitta-aineet, mukaan lukien alkyylifenolit ja etoksylaatit, dioksiinit ja furaanit, dioksiinien kaltaiset PCB:t, hormonit, lääkeaineet, PCB- ja PAH-yhdisteet ja perfluoratut yhdisteet. Näytteet lopputuotteesta otettiin kokeen päätteeksi laatikoista kerätystä tuhkasta. Analyysien metodit ja toteuttajat löytyvät Liitteestä 1.

Yhteensä 203 orgaanista haitta-ainetta analysoitiin ja 12 haitta-ainetta havaittiin (Taulukko 4). Havaituista haitta-aineista yksi oli estroni-hormoni. Lisäksi havaittiin 10 erilaista lääkeainetta, jotka suurimmaksi osaksi olivat särky- ja tulehduskipulääkkeitä (diklofenaakki, ibuprofeeni, ketoprofeeni, naprokseeni, parasetamoli). Lisäksi havaittiin betasalpaajia (bisopropli, metopropoli, propanololi) ja yhtä mielialäläkettä (karbamatsepsiini) sekä kofeiinia. Estroni on luonnollinen hormoni ja myös hormoni 17 $\beta$ -estradiolin hajoamistuote (Vesilaitosyhdistys 2016), jota on yleisesti havaittu jätevesissä (Äystö ym. 2014). US EPA:n (United States Environmental Protection Agency) priorisoimien 16 PAH-yhdisteen (polysykliset aromaattiset hiilivedyt) summa (Keiths 2015) ylitti analyysin määrittämisarvon. PAH-yhdisteitä on lähes kaikkialla ympäristössämme epätäydellisen palamisen seurauksena ja tuhkassa on aiemminkin havaittu PAH-pitoisuuksien ylittäviä raja-arvoja (Enell ym. 2008).

**Taulukko 4. Sanitation 360-näytteiden analyysitulokset, orgaaniset haitta-aineet. Pitoisuudet on ilmoitettu kuiva-ainetta (ka) kohti.**

		Näyte 1	Näyte 2	Keski-arvo
<b>Kuiva-ainepitoisuus</b>		88	86	87
<b>Hormonit</b>				
Estroni	mg/kg ka	0,012	0,013	0,0125
<b>Lääkeaineet</b>				
Bisoprololi ( $\beta$ -Adrenergics)	mg/kg ka	0,20	0,22	0,21
Diklofenaakki	mg/kg ka	0,013	0,012	0,0125
Ibuprofeeni	mg/kg ka	36	29	32,5
Karbamatsepiini	mg/kg ka	0,051	0,051	0,051
Ketoprofeeni	mg/kg ka	2,6	3,0	2,8
Kofeiini	mg/kg ka	9,3	12	10,65
Metoprololi	mg/kg ka	0,16	0,18	0,17
Naprokseeni	mg/kg ka	0,26	0,34	0,3
Parasetamoli	mg/kg ka	0,59	0,59	0,59
Propanololi	mg/kg ka	0,13	0,15	0,14
<b>PAH EPA 16 yhdisteet</b>				
Summa 16 EPA-PAH (upper bound)	mg/kg ka	0,48	0,48	0,48

## Virtsan käsittelypilotit NPharvest -menetelmällä

NPharvest on Aalto-yliopistolla kehitetty menetelmä typen ja fosforin talteenottoon erilaisista neste-mäisistä jätejakeista. Menetelmässä jäteveden sisältämä ammoniumtppi ( $\text{NH}_{4+}$ ) muunnetaan kalsiumhydroksidin  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  avulla kaasumaiseksi ammoniakiksi ( $\text{NH}_3$ ). Ammoniakki erotetaan jakeesta strip-paamalla puolilämpäisevän kalvon läpi. Ammonium sitoutuu menetelmään syötettävään rikkihappoon, jolloin syntyy ammoniumsulfaattia. Lisäksi menetelmään syötetyn jakeen fosfori saostuu prosessi kalsiumsuolan avulla fosforisakaksi (Aalto-yliopisto 2018) Tässä pilottikokeessa (Kuva 11) tutkittiin ammoniumsulfaatin (lopputuote) laatua.



Kuva 11. NPHarvest -pilotti Hiedanrannan Kuivaamolla. Kuvaja: Inka Honkala/TAMK.

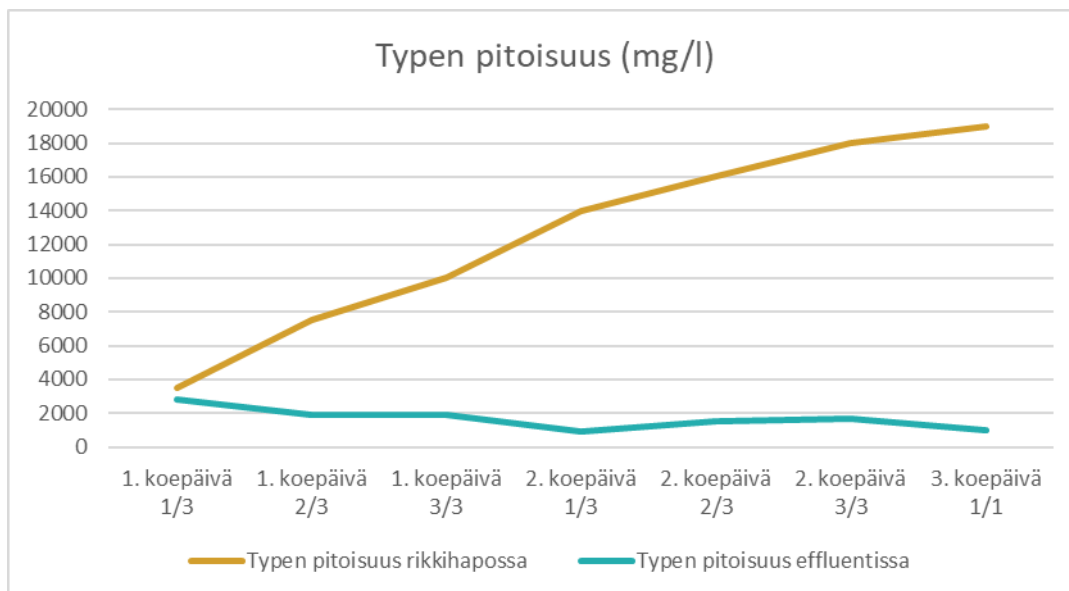
Käsittelykokeessa käytettiin syötteenä virtsaa, joka oli kerätty Kuivaamolla sijaitsevista virtsan erottelevista kuivakäymälöistä kahteen erilliseen konttiin. Virtsaa oli yhteensä 1650 litraa ja sitä oli säilöetty IBC-konteissa yli 6 kuukauden ajan ennen käsittelyä. NPHarvestilla tehdyssä käsittelykokeessa kerätty virtsa pumpattiin NPHarvest -laitteiston lävitse kolmen päivän ajan. Virtsan pH:ta säädettiin ajon aikana. Säättöön käytettiin kalsiumhydroksidia ja sen lisäyksen jälkeen virtsan pH oli 10,5. Käsittelylaitteistoon pumpattiin virtsaa noin 100-150 litraa tunnissa ja menetelmästä poistui samassa suhteessa laimenevaa nestettä, effluenttia.

Käsittelykoetta valvottiin päivisin 08-17 välisinä aikoina, jolloin iltaisin ja öisin menetelmään jo pumpattu virtsa kiersi käsittelykokeessa pidempään. Uutta virtsaa ei öisin pumpattu laitteistoon eikä laitteistosta myöskään ajettu ulos effluenttia. Strippaukseen käytettävän rikkihapon (2 mol) määrä oli käsittelykokeessa vakio. Käsittelyssä käytettiin yhteensä 80 litraa happoa. Täten menetelmässä kiertävän rikkihapon typpipitoisuus kasvaa, kuten Kuvasta 12 voidaan nähdä. Samanaikaisesti effluentin typpipitoisuus laskee, koska typpi poistuu virtsasta ja strippataan rikkihappoon prosessin aikana.

Käsittelykokeen aikana otettiin seitsemän näytettä. Näytteet otettiin koekäsittelystä poistuvasta effluentista sekä koekäsittelyssä kiertävästä rikkihaposta (Kuva 12). Lisäksi näytteet otettiin menetelmään syötetystä virtsasta (Virtsa 1 ja Virtsa 2 Taulukossa 5 ja 6) sekä koekäsittelyn lopputuotteesta (Lopputuote Taulukossa 5 ja 6) eli tyypeä absorboineesta rikkihaposta ravinteiden, mikrobiologisen laadun sekä lääke- ja haitta-aineiden analysointia varten. Näytteistä määritettiin typen, fosforin ja kaliumin pitoisuudet, muiden hivenaineiden ja haitallisten metallien, kloridin pitoisuus, mikrobiologinen laatu eli *E. coli* ja *Salmonellan* esiintyminen lannoitevalmisteita koskevan asetuksen mukaisesti (Maa- ja metsätalousministeriö 2011) sekä yhteensä 336 orgaanista lääke- ja haitta-ainetta (fenoliset yhdisteet, ftalaatit, alkyylifenolit ja etoksylaatit, PCF-yhdisteet, torjunta-ainejäämät, lääkeaineet ja hormonit). Analyysien menetelmät ja toteuttajat löytyvät listattuna Liitteestä 1.

Erilliskerätty virtsa analysoitiin ennen koekäsittelyä ja sen typpipitoisuus oli 3,0-3,2 g N/l. Käsittelykokeen jälkeen lopputuotteen typpipitoisuus oli 21 g/l eli noin seitsenkertainen virtsaan verrattuna. Käsittelykokeessa NPHarvest-menetelmän tehokkuus vaihteli 10-70 % välillä. Tehokkaimmillaan menetelmän ajo oli öisin, jolloin menetelmään ei syötetty uutta virtsaa, vaan laitteisto kierrätti virtsaa toistuvasti. Nämä pitkäkestoisemmat ja virtsaa kierrättävät kokeen vaiheet näkyvät kuvassa 12 (näytteet 2.

koepäivä 1/3 ja 3. koepäivä 1/1) aamulla otetuissa näytteissä matalampina typpipitoisuuksina. Pidempi viipymä menetelmässä saa aikaan paremman tehokkuuden typen strippaamisessa. Keskimäärin menetelmän teho oli noin 60 %. Koska menetelmässä käytetään väkevää rikkihappoa, on menetelmästä saatu lopputuote hapan eli pH-arvo on alle 2.



Kuva 12. Typen pitoisuus NPharvest -koekäsittelyssä.

Fosforisakasta ei saatu pilotin teknisen toteutuksen vuoksi näytettä, mutta fosforin on todettu samalla menetelmällä kerääntyvän fosforisakkaan kalsiumfosfaatiksi (Pradhan ym. 2019).

Kloridit ovat usein virtsaperäisten lannoitteiden ongelma. Virtsassa on paljon klorideja ja kloori tunnetusti heikentää kasveissa nitraattitypen ottoa ja täten myös kasvien kasvu heikkenee. Tässä käsittelykokeessa virtsan kloridipitoisuus oli kahdessa kontissa 1 400 ja 1 600 mg/l. Käsittelykokeen tulosten perusteella kloori ei läpäise NPharvest -menetelmän hydrofobista kalvoa, vaan poistuu menetelmästä effluentin mukana, jolloin lopputuotteen kloridipitoisuus on vain 12 mg/l eli alle 1 % virtsan sisältämästä kloorista (Taulukko 5).

**Taulukko 5. NPharvest -käsittelykokeessa käsitellyn virtsan (kaksi näytettä erillisistä säilytyskonteista) ja käsittelyn lopputuotteen ravinnepitoisuudet ja haitallisten metallien pitoisuudet sekä mikrobiologinen laatu.**

Näytteen nimi		Virtsa 1	Virtsa 2	Lopputuote
pH		-	-	>2
<b>Typpi</b>	mg/l	3200	3000	21000
<b>Fosfori</b>	mg/l	160	160	0,079
<b>Kalium</b>	mg/l	0,95	0,9	4,1
<b>Kalsium</b>	mg/l	13	13	23
<b>Boori</b>	µg/l	390	260	<100
<b>Kupari</b>	mg/l	0,09	<0,01	0,52
<b>Kloridi</b>	mg/l	1600	1400	12
<b>Molybdeeni</b>	µg/l	0,012	0,014	0,094
<b>Rauta</b>	mg/l	0,057	0,033	2,3
<b>Magnesium</b>	mg/l	0,48	0,33	2,1

Näytteen nimi		Virtsa 1	Virtsa 2	Lopputuote
Mangaani	mg/l	<0,005	<0,005	0,062
Rikki	mg/l	260	240	35000
Sinkki	mg/l	0,12	0,12	2
Antimoni	µg/l	<0,0005		1,3
Arseeni	mg/l	0,0067	0,011	0,017
Elohopea	mg/l	<0,00001	0,000018	-
Kadmium	mg/l	<0,0001	<0,0001	0,00026
Koboltti	mg/l	<0,005	<0,005	0,002
Kromi	mg/l	<0,005	<0,005	0,59
Lyijy	mg/l	<0,0004	<0,0004	0,12
Nikkeli	mg/l	<0,01	<0,01	0,31
Vanadiini	mg/l	<,0002	<,0002	0,0024
Salmonella	/25g	Ei todettu	Ei todettu	Ei todettu
E.coli	pmy/g	<10	<10	

Kontteihin varastoidusta virtsasta (Virtsa 1 ja Virtsa 2 Taulukossa 6) ja NPHarvest -käsittelystä saadusta lopputuotteesta (Lopputuote Taulukossa 6) otetuista näytteistä analysoitiin 126 eri lääkeainetta, kahdeksan hormonia ja 202 eri orgaanista haittaainetta, kuten kloorifenoleita, muita fenolisia yhdisteitä, alkyylifenoleita ja etoksylaatteja sekä torjuntaaineita, ftalaatteja ja perfluorattuja yhdisteitä. Analyysihin (yhteensä 336) käytetyt menetelmät ja toteuttajat löytyvät Liitteestä 1.

Virtsanäytteistä havaittiin kaikkiaan 27 eri lääkeainetta ja kolmea eri hormonia (Taulukko 6). Virtsasta löydettyjä lääkeaineita olivat mm. tulehduskipu- ja särkylääkkeet (ibuprofeeni, naprokseeni ja parasetamoli) sekä allergialääkkeitä (desloratadiini, setiritsiini), antibiootti (tetrasykliini), sekä myös erilaisia mielialalääkkeitä (ketiapiini, lamotrigiini). Lisäksi virtsassa oli kofeiinia. Lääkeaineiden lisäksi virtsanäytteistä havaittiin kahta erilaista ftalaattia, neljää erilaista fenolista yhdistettä ja yhtä torjunta-ainejäämää. Yhteensä virtsanäytteissä havaittiin 37 erilaista orgaanista haitta-ainetta.

Virtsan sisältämistä haitta-aineista vain pieni osa läpäisi NPHarvest -menetelmän kalvon ja päätyi lopputuotteeseen. Fenolisia yhdisteitä ja kofeiinia (yhteensä viisi haitta-ainetta), havaittiin lopputuotteessa määritysrajan ylittäviä pitoisuuksia. Muiden 32 virtsasta löydetyn haitta-aineiden osalta pitoisuus lopputuotteessa oli määritysrajan alittava.

Lopputuotteesta löytyneitä fenolisia yhdisteitä olivat pyrokatekoli, 3-metyylifenoli, 4-metyylifenoli ja fenoli. Pyrokatekolin, 3-metyylifenolin ja fenolin pitoisuudet olivat lopputuotteessa myös virtsanäytettä alhaisempia. NP Harvest -menetelmän kalvo vähentää myös lopputuotteen fenolisia yhdisteitä, muttei poista niitä kokonaisuudessaan.

Aiemmissa tutkimuksissa on todettu, että virtsassa esiintyy fenolia ja sen hajoamistuotteina mm. pyrokatekolia luonnostaan ja sen pitoisuudet voivat olla useita kymmeniä mg/l (Malila ym. 2019). Fenolia käytetään fenolihartsien, maalien, elintarvikkeiden lisäaineiden, räjähdysaineiden ja kumien valmistukseen. (Työterveyslaitos 2017). Fenoli imeytyy nopeasti elimistöön hengitysteitse, ihon kautta ja nieltynä (Baranowska-Dutkiewicz. 1981). Tässäkin kokeessa fenolin pitoisuus lopputuotteessa pysyi Työterveyslaitoksen asettaman toimenpideraja-arvon alapuolella. Raja-arvon alapuolella pysyminen yleensä tarkoittaa, että altistumisesta ei aiheudu vakavia terveyshaittoja (Työterveyslaitos, 2020b) Lisäksi fenoli hajoaa maaperässä biologisesti aerobisissa olosuhteissa ja puoliintuu noin viikossa ja nopean hajoamisen myötä se ei yleensä aiheuta vahinkoa pohjavedelle (Työterveyslaitos, OVA-ohje, 2017)

Aiemmissa tutkimuksissa (Malila ym. 2019) on löytynyt myös tässä käsittelykokeessa havaittuja ftalaatteja, di-isobutyyliftalaattia ja dibutyyliftalaattia, joita käytetään yleisesti muovin pehmentiminä,



teollisuuskemikaaleissa, kuten liuottimissa ja voiteluaineissa, tekstiiliteollisuuden lisäaineina, torjunta-aineissa ja kosmetiikassa, kuten deodoranteissa, hajuvesissä ja hiuslakoissa.

**Taulukko 6. NPHarvest -käsittelykokeessa käsitellyn virtsan (kaksi näytettä erillisistä säilytyskosteista) ja käsittelyn lopputuotteen (ammoniumsulfaatti) haitta-aineet.**

	Pitoisuus	Virtsa 1	Virtsa 2	Lopputuote
<b>Ftalaatit</b>				
Di-isobutyyliftalaatti	µl/l	0,93	0,84	<0,50
Dibutyyliftalaatti	µl/l	1,6	2,0	<0,50
<b>Hormonit</b>				
Estrioli	µl/l	12	0,65	<0,50
Estroni	µl/l	2,7	<0,50	<0,50
Progesteroni	µl/l	3,0	<0,10	<0,10
<b>Muut Fenoliset yhdisteet</b>				
1,2-dihydroksibentseeni (pyrokatekoli)	µl/l	520	220	28
3-Metyylifenoli	µl/l	41	<25	6,2
4-Metyylifenoli	µl/l	<25	58	360
Fenoli	µl/l	7100	310	1400
<b>Lääkeaineet</b>				
4-Asetamidoantipyriini	µl/l	11	6,1	<1,0
4-Formyyliaminoantipyriini	µl/l	4,4	<2,0	<2,0
Bentsotriatsoli	µl/l	15	<4,0	<4,0
Betsafibraatti	µl/l	0,83	<0,50	<0,50
Bisoprololi	µl/l	1,2	2,4	<1,0
Desloratadiini	µl/l	0,53	<0,50	<0,50
Diklofenaakki	µl/l	4,0	2,0	<0,50
Furosemiidi	µl/l	5,6	<5,0	<5,0
Ibuprofeeni	µl/l	2400	1900	<5,0
Ketiapiini	µl/l	1,3	2,7	<0,50
Ketoprofeeni	µl/l	93	<0,50	<0,50
Kofeiini	µl/l	2500	2300	4,6
Ksylometatsoliini	µl/l	0,41	<0,20	<0,10
Lamotrigiini	µl/l	5,2	1,5	<0,50
Losartaani	µl/l	4,9	4,2	<0,50
Metoprololi	µl/l	<0,50	4,5	<0,50
Mirtatsapiini	µl/l	1,4	<0,50	<0,50
Naprokseeni	µl/l	850	170	<1,0
Parasetamoli	µl/l	160	130	<5,0
Propanololi	µl/l	18	2,7	<1,0
Setiritsiini	µl/l	160	47	<0,50
Sitalopraami	µl/l	7,8	5,0	<1,0
Sulfameratsiini	µl/l	8,3	4,9	<1,0
Tetrasykliini	µl/l	7,4	7,0	<1,0
Tramadoli	µl/l	35	1,3	<0,50
Trimetoprim	µl/l	12	<0,10	<0,10
Venlafaksiini	µl/l	29	4,5	<0,50
<b>Torjunta-ainejäämät</b>				
2,4-Dikloorifenoli µg/l	µl/l	<0,50	0,56	<0,050

### Käyttäjäkokeemukset erottelevista käymälöistä

NutriCity-hankkeessa selvitettiin myös käyttäjien kokemuksia erottelevista käymälöistä opinnäytetyönä tehdyn (Haikonen 2019) kyselyn avulla. Kyselyssä kerättiin vastaajilta tietoa heidän suhtautumisestaan

vaihtoehtoiseen käymälätekniikkaan ja ravinnekiertoon ja erityisesti ihmisperäisten ravinteiden hyödyntämistä ruoantuotannossa. Kahdentoista kysymyksen kysely toteutettiin verkossa, Tampereen kaupungin verkkosivuilla. Osa vastauksista annettiin monivalintana ja osa vapaamuotoisena tekstinä. Yksittäisiä vastauksia kyselyyn tuli yhteensä 233 kappaletta ja vastaukset annettiin 20.3.2019 - 20.8.2019 välisenä aikana.

Kyselyssä tiedusteltiin, minkä tyyppisen käymäläratkaisun vastaaja olisi valmis ottamaan käyttöön omassa kodissaan. Selkeästi suosituimmat vaihtoehdot olivat virtsan erotteleva wc, vastaajien nykyinen wc ja virtsan erotteleva kuivakäymälä. Vastaajista kolme neljästä olivat jopa valmiita investoimaan omassa kodissaan suurempia investointikustannuksia vaihtoehtoiseen ja ravinteita kierrättävään käymälään.

Tulosten perusteella ihmisten suhtautuminen ihmisperäisten ravinteiden käyttöön on pääosin myönteinen. Ihmiset ovat valmiita käyttämään erilaista käymälätekniikkaa ja suurin osa hyväksyy vaihtoehtoisen käymälän mahdolliset lisäkulut. Vastaajien suhtautuminen ihmisperäisten ravinteiden hyödyntämiseen ruoantuotannossa on kyselyn perusteella hyväksyvää. Vain 9 % vastanneista suhtautuvat aiheeseen kielteisesti. Kielteisesti suhtautuvista vastaajista yli 70 % oli suurimmaksi osaksi huolissaan mahdollisista lääke-/haitta-aineista tai he kokivat ajatuksen ällöttäväksi. Loput kielteisesti suhtautuneista kaipasivat aiheesta vielä lisää tietoa.

Kysyttäessä vastaajan ostohalukkuutta tuotteita kohtaan, joiden lannoituksessa on hyödynnetty ihmisperäisiä ravinteita, vain 5 % ei ostaisi tuotetta. Tuotteisiin liittyviin epäluuloihin todettiin opinnäytetyössä syiksi pääasiassa pelko lannoitteisiin liittyvistä terveysriskeistä tai ajatuksen vastenmielisyys. Loput 95 % vastanneista olisivat kuitenkin valmiita ostamaan ihmisperäisiä ravinteita sisältäviä lannoitevalmisteita. Vastaajista alle puolet olivat jossain määrin huolissaan lannoitevalmisteiden hormoni- ja lääkejäämistä ja toivoivat lisää tutkimusta aiheesta tai tuotteen turvallisuuden takaavaa sertifikaattia. Haikonen korostaa opinnäytetyössään, että tuotteen hinnan merkitystä ostopäätökseen ei kyselyssä arvioitu.

Haikonen (2019) kuitenkin toteaa, että mikäli kierrätysravinteista saataisiin kuluttajille selkeää ja yksiselitteistä tietoa, ihmiset olisivat valmiita kyselyn perusteella kierrätysravinteilla kasvatettuja tuotteita käyttämään. Tutkimuksessa myös korostetaan, että kyselyn otantaa tulisi laajentaa ja monipuolistaa, jotta tuloksien luotettavuutta voitaisiin parantaa. Kyselyn vastausten määrä on verrattain suppea ja vastausten hankinnassa käytettyjen kanavien vuoksi voidaan olettaa vastaajaryhmän olevan verrattain yksimielisiä ja asiaan jo perehtyneistä. Vastaukset kyselyyn kerättiin pääasiassa mainostamalla kyselyä hankkeen osakumppanin Ekokumppanien Facebook-sivulla ja jalkautumalla Tampereella järjestetyssä Ympäristötori-tapahtumassa.

## Menetelmien toimivuus Hiedanrannassa

NutriCity-hankkeessa selvitettiin, miten pilotoitavat menetelmät toimivat Hiedanrannassa LVI-asentajien, pilotointia ylläpitävien hanketyöntekijöiden, siivoojien ja kartanon henkilökunnan näkökulmasta. Selvitys toteutettiin haastattelututkimuksena. Selvitykseen saatiin kolmen henkilön haastattelut. Osa haastatteluun pyydetystä henkilöstä oli estyneitä. Haastattelujakso toteutettiin touko-syyskuussa 2020, jolloin vallitsevan pandemiatilanteen vuoksi osa asennukseen osallistuneista ja käymälöitä siivoavista henkilöistä olivat huonosti tavoitettavissa.

Haastatteluun vastasivat kaksi tutkimukseen osallistunutta henkilöä, jotka vastasivat pilottikokeiden ja menetelmien käytännön järjestelyistä (tutkimusinsinööri ja laboratorioharjoittelija), sekä kartanon piha- ja puistoalueiden kunnossapidosta vastaava henkilö. Haastateltavien havainnot menetelmien toimivuudesta perustuvat tarkastelujakson aikaisiin tapahtumiin sekä omaan arvioon. Haastateltavat kokivat Sanitation360® -menetelmän toimineen Hiedanrannassa melko hyvin, vaikka haasteilta ei kuitenkaan vältytty. Kartanon ylempiin kerroksiin ohjautui ulkoa tulevan tuloilman sijasta kellarista korvausilmaa, joka toi mukanaan hajuhaittoja. Ongelma saatiin kuitenkin ratkaistua tiivistämällä kellaritilan ovi.

Menetelmän käytössä täytyy myös huomioida putken päässä olevan käymälän käyttö. Jos käymälän istuimiin tulee toimintahäiriö, voi se heijastua myös menetelmän toimivuuteen. Tästä syystä esimerkiksi tarkastelujakson aikana putkistoon päätyi vettä virtsan lisäksi, mikä laimensi menetelmään johdettua virtsaa. Lisäksi käymälöiden siivoamiseen oli määrätty tietyt kemikaalit, jotta menetelmään päätyvä pesuvesi ei vaikuta lopputuotteeseen. Kemikaalien käyttö edellytti siivoajilta suojavälineiden käyttöä ja tuotti täten tavallisesta työrutiinista poikkeavaa lisätyötä. Itse menetelmän tarkkailu myös oli pilottikoetta valvojen hanketyöntekijöiden mielestä hankalaa, mutta parani kun laitteistoa kehitettiin niin, että tuhkalaatikoihin näki ”ikkunan” kautta.

Tutkimusteknisistä syistä NPHarvest menetelmän käyttö Hiedanrannassa osoittautui hankkeen aikana hankalaksi ja hankkeen aikataulujen puitteissa menetelmää ei voitu testata jatkuvasyöttöisenä. Tilassa, jonne menetelmä asennettiin, ei ollut mm. riittävää ilmanvaihtoa eikä lattiakaivoa, jotka olisivat pilotoinnin toteuttamisen edellytyksiä. Lisäksi pilottilaitteiston kokoaminen ja käyttö osoittautuvat haastavaksi, johon jatkossa tulee varata menetelmää käyttäneen henkilön työaikaa ja osaamista. Aikatauluhaasteiden vuoksi NPHarvest -menetelmän ajo toteutettiin virtsasäiliöistä kolmipäiväisenä ajona, jolloin ajon retentioaika jäi lyhyeksi ja menetelmää ei päästy testaamaan jatkuvasyöttöisenä.

Kartanon tiloihin asennetuista alipainekäymälöistä havaittiin joitain alkuvaiheen ongelmia (toimimaton huuhtelupainike ja ilmavuoto säiliössä), jotka työllistivät huoltohenkilökuntaa. Ongelmat olivat kuitenkin ratkaistavissa ja alipainekäymälöiden käyttö oli alkuhaasteiden jälkeen haastateltavien mukaan sujuvaa. Vaikka huoltohenkilökunnan näkökulmasta alipainekäymälöihin käytetty työmäärä oli vielä maltillinen, tulee mahdollisen lisätyön välttämiseksi käymälöihin tuoda infotaulut ja kattavat ohjeet, jotta istuimen käyttäjät ymmärtävät alipaine- ja erottelevien käymälöiden edellyttävän tavallisesta poikkeavaa istuimen käyttöä. Alipaine ja erottelevien käymälöiden istuimissa esim. wc-paperi aiheuttaa tukoksia, jos paperia päätyy virtsan keräämiseen tarkoitettuun istuimen osaan. Huolellisella opastuksella ongelmatilanteet olisivat pitkälti ehkäistävissä.

Hankeessa toteutettiin pienen mittakaavan pilottikokeita, mutta kun haastateltavilta kysyttiin voisiko menetelmällä käytettävyyden näkökulmasta saavuttaa heidän mielestään vielä isomman käyttökapasiteetin, olivat haastateltavien suhtautumiset positiivisia. Käyttö ja huolto ei ollut kenenkään mielestä niin hankalaa, etteikö skaalautuvuutta voisi kokeilla, mutta tällöin käyttöön tulisi ottaa esim. virtsan välivarastoja, joista virtsaa ohjattaisiin tasaisella virtausnopeudella kontrolloidusti ja automaattikkaa hyödyntäen järjestelmään.

## Johtopäätökset käymäläkokeiluista

Projektin keskeinen saavutus oli erottelevien käymälöiden toteutus kaupunkiympäristöön. Suunnittelu- ja rakennustöihin osallistuneet sekä käymälöitä käyttävät ja huoltavat henkilöt oppivat uutta ravinnekierrosta ja erottelevasta sanitaatiosta sekä kehittivät uusia työmenetelmiä ja loivat verkostoja. Uudella tavalla tekeminen vei myös paljon resursseja, kun piti selvittää ja luoda uusia ratkaisuja.

Pilottikokeisiin osallistuneiden hanketyöntekijöiden ja alueen ylläpidosta vastaavien henkilöiden haastattelujen perusteella pilotit teettivät siedettävän määrän lisätyötä, joka ei haastateltavien mielestä ole este pilottien mahdolliselle skaalaamiselle tai tuleville kokeiluille. Pilotteihin liittyvät tekniset haasteet olivat aina huolto- tai hankehenkilökunnan ratkaistavissa, mutta osa haasteista olisi vältetty käymälöiden käyttäjien paremmalla käyttöön ohjeistamisella. Koska uudenlaisten käymälöiden käyttö edellyttää käyttäjältään ennen kaikkea toimintatapojen muutosta, tulee vastaavissa piloteissa ja projekteissa osallistaa myös käyttäjät osaksi kehitystyötä. Käyttäjäkyselyn perusteella kuluttajien suhtautuminen erotteleviin käymälöihin on myönteistä ja kiinnostus ravinteiden talteenottoa kohtaan on kasvavaa.

Alkaliseen haihdutusmenetelmään (Sanitation 360) perustuvan virtsan käsittelykokeen lopputuotteen ravinnepitoisuudet olivat 7 % typpeä, 1 % fosforia ja 5 % kaliumia ja pitoisuudet vastaavat kuluttajakaupasta saatavien puutarhalannoitteiden pitoisuuksia. Lisäksi pilottikokeilun lopputuote ei ylitä lannoitekäytölle asetettuja haitallisten metallien enimmäispitoisuuksia.

Menetelmien lopputuotteista analysoitiin lisäksi orgaaniset haitta-aineet. Haitta-aineanalyysijä tosin saatiin NPHarvest -menetelmän lopputuotteesta analysoitua enemmän (336) kuin Sanitation 360 -menetelmän lopputuotteesta (203), koska tuhkan analysointiin tarjolla olevia menetelmiä on vähemmän. Lopputuotteista havaittiin yhteensä viittä (5) orgaanista haitta-ainetta (NPHarvest) ja 12 orgaanista haitta-ainetta (Sanitation 360). Ainoa molempien menetelmien lopputuotteista havaittu haitta-aine oli kofeiini. Suomessa jätevesilietepohjaisista lietevalmisteista ja puhdistamolieteteistä otettuihin näytteisiin verrattuna (Ylivainio ym. 2020) pilottien lopputuotteiden sisältämien haitta-aineiden kirjo on suppea, mikä selittyy osittain virtsan ja kiinteän ulosteen syntypaikkaerottelulla.

Virtsassa havaitut haitta-aineet, kuten lääkeainejäämät, eivät pilottikokeessa läpäisseet NPHarvestin puoliläpäisevää kalvoa ja täten nestemäiseen ravinnelopputuotteen haitta-ainepitoisuudet ovat pieniä virtsaan verrattuna. Ei ole kuitenkaan poissuljettua, etteivätkö haitta-aineet kertyisi menetelmän toiseen lopputuotteeseen, fosforisakkaan. Sekä typpipitoisen lannoitteen että fosforisakan käyttökelpoisuutta lannoitteena tulee vielä tutkia. NPHarvest – menetelmän koeajon tehokkuus jäi verrattain alhaiseksi, mutta mahdollisissa jatkotutkimuksissa menetelmää tulisi testata hitaammalla pumppaustahdilla, joka paremmin vastaisi pilottikäymälän jatkuvasyöttöistä toteutusta. Tällöin typen talteenotto-kyky voisi olla NutriCity-hankkeessa toteutettua käsittelykoetta korkeampi, koska virtsan viipymäaika prosessissa on pidempi. NPHarvest-menetelmässä lopputuotteeseen ei tulosten perusteella vaikuta kertyvän kloridia, mikä on mahdollisen lannoitekäytön kannalta hyvä tulos. Menetelmän lopputuote on siis typpipitoinen, mutta haitta-ainepitoisuuksiltaan alhainen liuos, jonka pH on kuitenkin rikkihapon myötä huomattavan matala. Lopputuotteen käyttö lannoitteena sellaisenaan edellyttäne pH nostoa (ammoniakin haihtumisen estämiseksi) tai laimeaa sekoitussuhdetta esim. veteen tai tuotteen käyttöä lannoitteen raaka-aineena. Pilottikokeiden menetelmien vertailu ja hyötyarviointi on koottu Taulukkoon 7.

**Taulukko 7. Pilottikokeiden menetelmien vertailu ja hyötyarviointi.**

Menetelmä	Lopputuotteen ravinnepitoisuus	Lopputuotteen käytettävyys lannoitteena	Menetelmän toimivuus
<b>Sanitation360®</b>	+ Lopputuotteen ravinnepitoisuus (NPK) on 7-1-5, mikä vastaa kuluttajakaupesta saatavien lannoite-tuotteiden ravinnearvoja.	+ Tuhkan sisältämien haitallisten metallien pitoisuudet eivät ylitä MMM:n lannoitevalmisteille annetun asetuksen enimmäispitoisuuksia maa- ja puutarhatalouskäytössä. - Kloridipitoisuus on korkea.	-/+ Menetelmän toimivuus on riippuvaista käymälän käyttäjien toiminnasta. Ongelmat ovat jossain määrin vältettävissä riittävällä ohjeistuksella käymälöissä. - Menetelmän käyttö edellyttää jonkin verran enemmän tarkkailua ja huoltotoimenpiteitä tavanomaiseen järjestelmään verrattuna. - Menetelmästä syntyy hajuhaittoja, joiden ratkaisemiseksi laitteiston sijoittaminen kiinteistöön tulee miettiä huolellisesti.
<b>NPHarvest</b>	+ Lopputuotteen typpipitoisuus 21 g/l	+ Menetelmä suodattaa kloridin virtsasta ja typpipitoisen lopputuotteen kloridipitoisuus on vain 1% virtsan kloridipitoisuudesta. + Menetelmän myötä haitta-aineiden pitoisuus typpipitoisessa lopputuotteessa pienenee usean haitta-aineen kohdalla. - Haitta-aineiden päätyminen fosforisakkaan on vielä epäselvää. - Typpipitoinen lopputuote on erittäin hapan (>2 pH) ja sen käyttö lannoitteena edellyttää laimennusta tai sekoittamista.	- Menetelmä monimutkainen ja teknisesti vaativa. Käyttö ja huolto edellyttää asiantuntijuutta ja riittävä osaamista. - Menetelmän edellytyksenä tilassa oltava lattiakaivo ja riittävä ilmasto. + Pilottiin verrattuna menetelmä toiminee paremmin jatkuvasyöttöisenä ja putkistoon kytkettynä, jolloin virtsan viipymäaika menetelmässä on pidempi.

## Mustien jätevesien mädätys ja ravinteiden talteenotto

Tampereen yliopiston diplomitoissa on viime aikoina tutkittu mustien vesien mädätystä sekä ravinteiden talteenottoa mädätteestä lupaavin tuloksin. Kokeet on tehty Hiedanrannan Kartanon alipainekäymälöistä kerätystä mustasta vedestä. Kelola (2021) tutki diplomityössään mustien vesien ja biojätteen mädätystä 2 m<sup>3</sup> täyssekoitteisessa CSTR-reaktorissa (Continuous stirred-tank reactor, sekoitussäiliöreaktori). Reaktorilla ajettiin puolijatkuvatoimisesti ja viipymänä oli keskimäärin 25 päivää. Kokeessa todettiin jakeiden soveltuvan hyvin biokaasun tuottoon sekä yhdessä että erikseen. Mustan veden korkean typpipitoisuuden ei todettu inhiboivan prosessia.

Paloniitty (2020) selvitti diplomityössään ravinteiden talteenottoa biojätteen ja mustien jätevesien mädätteen nestejakeesta. Diplomityössä tutkituista ravinteiden talteenottomenetelmistä strippauksen ja käänteisosmoosin (kalvosuodatus) yhdistelmällä saavutettiin paras talteenotto, mutta vaihtoehto oli käyttökustannuksiltaan kallein. Struviitin saostuksen ja strippauksen yhdistelmä oli käyttökustannuksiltaan edullisin, ja menetelmät yhdistämällä saadaan talteen sekä fosforia että typpeä. Käyttökustannuksia nostavat kemikaalien käyttö ja energian kulutus.

## 5 Esimerkkitapaus: Vaihtoehtoisia toteutusmalleja Tampereen Hiedanrantaan

Tampereen Hiedanrantaan suunnitteilla olevaan kestäväan ja älykkääseen kaupunginosaan on kartoitettu ravinneviisaita jätevesiratkaisuja laajassa sidosryhmäyhteistyössä. Teknisten ratkaisujen lisäksi käyttöönotto edellyttää järjestelmän rakentamista ja ylläpitoa koskevan vastuunjaon selkeyttämistä.

Hiedanrannan alue on Tampereen kaupungin omistama entinen Metsä-Boardin teollisuusalue Näsijärven rannalla. Hiedanrantaan suunnitellaan uutta älykästä, kestäväää sekä resurssitehokasta kaupunginosaa. Alueen suunnittelu aloitettiin vuonna 2016 kansainvälisellä ideakilpailulla. Suunnittelua on jatkettu voittajiksi valittujen kahden suunnitelman pohjalta. Yleissuunnitelman laatiminen alkoi keväällä 2017 yhdessä kaupunkilaisten kanssa työpajoissa, joissa kehitettiin muun muassa kortteleita, asumista, yhteisöllisyyttä ja työn tekemisen uusia tapoja tulevaisuuden kaupungissa. Yleissuunnitelman mukaan alueelle sijoittuu noin 21 000 asukasta sekä 8 000 työpaikkaa. Asemakaavoituksen on arvioitu alkavan vuoden 2020 lopulla ja keväällä 2021 odotetaan Hiedanrannan energia- ja ravinnekierron yleissuunnitelman valmistuvan. Koko alueen kehitystyön arvioidaan valmistuvan vuoteen 2050 mennessä. Hiedanrannan alueen kehittämistä vastaa vastikään perustettu Tampereen kaupungin omistama Hiedanrannan Kehitys Oy.

Yhtenä selvityksen alla olevista teemoista Hiedanrannassa on ollut jätevesien ravinteiden tehokkaampi hallinta erottelevia ratkaisuja hyödyntäen. Tampereen kaupunki teetti esiselvityksen erottelevista sanitaatoratkaisuista, jossa todettiin erottelevien ratkaisujen olevan elinkaarisilta kustannuksiltaan nykyisiä järjestelmiä kalliimpia, etenkin investoinnin osalta. Käyttökuluissa ei todettu merkittäviä eroja tarkasteltujen vaihtoehtojen välillä. Kustannusten arviointia hankaloittaa se, että kierrätyslannoitteiden markkinat ovat toistaiseksi kehittymättömät. (Malila & Lehtoranta 2018.)

NutriCity-hankkeen aikana jätevesien ravinteiden tehokkaampaa hallintaa on edistetty tiiviissä yhteistyössä kaupungin eri toimijoiden, Hiedanranta Kehitys Oy:n, kaavoituksen, vesi- ja jätehuollon ja tutkijoiden kanssa. Toimintamallin laatiminen laajassa sidosryhmäyhteistyössä on edistänyt mm. tietoisuutta uusista ratkaisuista ja edistänyt niiden käyttöönottoa pitkällä aikavälillä. Sidoryhmäyhteistyön ja asiantuntijaosaamisen pohjalta on muodostettu kaupunkiympäristöön soveltuvia vaihtoehtoisia ravinteita kierrättäviä teknisiä ratkaisumalleja sekä arvioitu niiden soveltuvuutta Hiedanrantaan.

Urbanin ravinnekierron toimintamallin laadinnassa on havaittu T&K-projektien ja kaupunkisuunnittelun instituutioiden välinen kuilu. Kokeiluista oppimisen prosessi on koettu puutteelliseksi. Toisaalta monet kaupunkisuunnittelijat ovat kiinnostuneita uusista ratkaisuista, mutta niiden vieminen käytännön toteutukseen on haastavaa: käsittelytekniikka ei ole kypsää, kierrätyslannoitteiden käyttöä ohjaava lainsäädäntö on puutteellista, hallinto- tai operointimalli puuttuu ja terveysriskit arveluttavat. Teknisten ratkaisujen muutoksen lisäksi tärkeää on hallinnon kehittyminen ja joustavuus. Vastuita uusien ratkaisujen käyttöönotossa ja järjestelmän ylläpidossa tulisi selkeyttää. Keskeistä kuitenkin on kaupungin tahtotila suunnitella ravinneviisasta vesihuoltoa Hiedanrannan alueelle, joka toimii varsinaisena ajurina ravinneviisaan vesihuollon suunnittelussa ja käyttöönotossa.

Tässä kappaleessa esitellään NutriCity-hankkeessa tuotettuja Hiedanrantaan soveltuvia vaihtoehtoisia teknisiä ratkaisuja ja niiden operointimalleja sekä arviointia ja päätökseen tekoon vaikuttavia kriteereitä.

## 5.1 Toteutusvaihtoehdot Hiedanrantaan

Hankkeen aikana tehtyjen käymälä- ja tekniikkakokeilujen (ks. kappale 4), eri tahojen kanssa käytyjen keskustelujen sekä kirjallisuudesta saatujen kokemusten perusteella hahmoteltiin mahdollisia vaihtoehtoja Hiedanrannan erottelevan sanitaatiojärjestelmän toteutukselle. Lähtökohdat varteenotettaville toteutusvaihtoehdoille perustuivat ennalta asetettuihin tavoitteisiin ja hankkeen aikana esille nousseisiin kriteereihin ja reunaehtoihin.

### Tavoitteet:

- Jätevesien ravinteiden kierrättäminen erilliskeräystä hyödyntäen
- Laadukkaiden, ravinnerikkaiden ja hyväksyttävien lopputuotteiden tuottaminen
- Valittavien teknisten ratkaisujen tulee soveltua kaupunkiympäristöön ja niiden käytön tulee olla asukkaille yhtä vaivatonta kuin tavanomaisten ratkaisujen

### Hankkeen aika esille nousseet kriteerit ja reunaehdot:

- Alhaisemman jalostusasteen prosessointitekniikat rajattiin tarkastelun ulkopuolelle, koska suuren ja laimean nestemäärän varastointi alueella on hankalaa ja johtaa lisäantyneeseen rekkaliikenteeseen. Korkeamman jalostusasteen lopputuotteet ovat ravinnetpitoisuuksiltaan väkevempiä ja niiden varastointi ja käyttö on helpompaa kaupunkiympäristössä.
- Toteutusta päätettiin tarkastella kahdessa mittakaavassa, suuressa ja pienessä superkorttelissa. Yleisesti ottaen teknisten ratkaisujen kustannustehokkuus on paremmin saavutettavissa suuremmissa yksiköissä. Prosessin hallinta saattaa olla myös helpompaa suuremmissa yksiköissä, jolloin ne tuottavat myös tasalaatuisempia lopputuotteita. Pienen mittakaavan etuna voi olla mahdollisten riskien parempi hallinta.
- Käymälätyyppien osalta virtsan erottelevat käymäläjärjestelmät rajattiin tarkastelun ulkopuolelle, koska ne ovat etenkin kerrostalomittakaavaan sovellettuna vielä kehittyvää tekniikkaa. Lisäksi järjestelmä on monimutkaisempi useiden käsiteltävien jakeiden myötä ja keräysputkistoihin liittyvä tukkeutumisriski suuri.

### Muodostetut vaihtoehdot

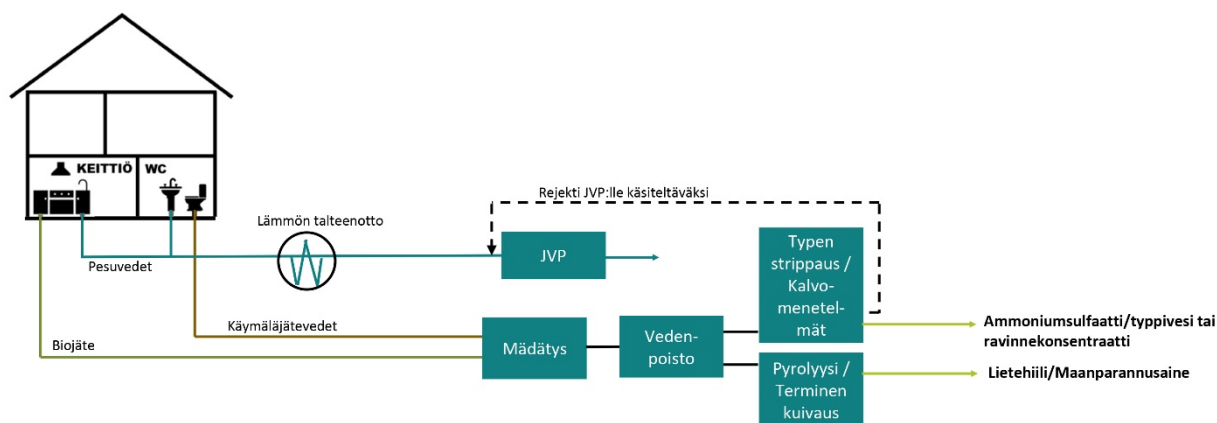
Seuraavassa on esitetty kahdessa eri mittakaavassa olevat vaihtoehdot Hiedanrantaan soveltuvista ratkaisuista ja niissä muodostuvat ravinteiden määrät (Kuva 13 ja 14 sekä Taulukot 8 ja 9). Molemmissa mittakaavoissa, suuressa ja pienessä superkorttelissa käymäläjätevedet ja mahdollinen biojäte käsitellään ensin mädättämällä (esim. UASB-reaktori). Samalla tuotetaan biokaasua ja syötteen tyyppien saatu vuus kasveille paranee. Tuotettu biokaasu hyödynnetään ensisijaisesti mädätyksen ja jatkojalostusprosessointien energianlähteenä ja mahdollinen ylijäämä esimerkiksi rakennusten lämmittämiseen. Liikennepolttoaineen tuottaminen on myös mahdollista, joskin tekniikka on kallista eikä suurempikaan superkorttelimittakaava välttämättä ole kustannustehokkuussyistä järkevä.

Kokonaisratkaisun kannalta tärkeää on huomata, että mädätteestä separoitua kuivajaetta muodostuu huomattavasti massamääräisesti vähemmän kuin nestejaetta. Ravinteista kuivajakeeseen päätyy suurin osa fosforista ja nestejakeeseen puolestaan päätyy suurin osa liukoisesta (kasveille välittömästi käytökelpoisesta) tyypeistä.

Suuren mittakaavan järjestelmä (2000-4000 käyttäjää) vertautuu mittakaavaltaan pientä kaupunkia vastaavaksi kokonaisuudeksi. Esitetyn mittakaavan järjestelmää voidaan siten hyödyntää myös pienen kaupungin vesihuollon suunnittelussa.

### Suuri superkortteli, 4–9 korttelin kokonaisuus (n. 2 000–4 000 asukasta)

- Käymäläjärjestelmä perustuu mustien vesien erilliseen viemärointiin joko tavanomaisella mahdollisimman vähän vettä kuluttavalla vesikäymälällä tai alipainekäymälällä. Valittu käymäläratkaisu vaikuttaa valittavaan jätevesien mädätystekniikkaan.
- Biojätteet voidaan käsitellä yhdessä käymälävesien kanssa tai kerätä keskitetysti käsiteltäväksi. Jos biojäte kerätään yhdessä käymälävesien kanssa ja johdetaan samaa putkistoa käyttäen mädätykseen, tulee biojäte esikäsitellä esim. kiinteistökohtaisilla jätemyllyillä. Vaihtoehtoisesti erilliskerättyä biojätettä voidaan käsitellä yhdessä käymäläjätevesien kanssa, mutta biojäte tulee hienontaa mädätyksen toimivuuden takaamiseksi.
- Käymäläjätevesien tai käymäläjätevesien ja biojätteen yhteiskäsittelyyn soveltuu esimerkiksi UASB-tekniikka. Mädätys saattaa vaatia hiilipitoisen materiaalin lisäämistä (esim. nollakuitu), etenkin siinä tapauksessa, jos biojätettä ei ohjata yhteiskäsittelyyn käymäläjäteen kanssa.
- Kuivajakeen käsittelyssä voidaan hyödyntää lähialueella jo olevia tekniikoita kustannusten säästämiseksi. Esim. alueella toimivaa pyrolyysilaitosta (puu + mädätteen kuivajakeen yhteiskäsittely vaatii lisäselvittelyä) tai termistä kuivausta ja rakeistusta.
- Nestejakeen käsittelyssä voidaan hyödyntää valmiita tekniikoita tai lupaavia uusia tekniikoita. Sopivia tekniikoita superkorttelimittakaavaan ovat strippaus tai erilaiset kalvomenetelmät.
- Superkorttelimittakaavassa ravinteita voidaan saada talteen lopputuotteisiin noin 60-75 % tyypeistä ja noin 70 % fosforista, valitusta tekniikasta riippuen.



Kuva 13. Suuren superkorttelin kuvaus.

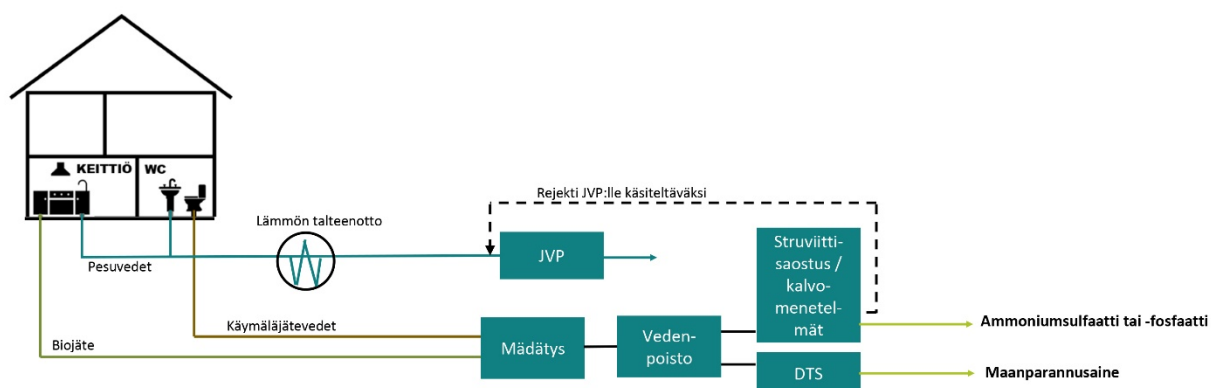
Taulukko 8. Suuressa superkorttelimittakaavassa muodostuva virtaama, orgaanisen aineen ja ravinteiden määrä (laskelmat 4 000 asukkaalle / 67 % käyttöaste).

Jae	TS %	Virtaama m3/vrk tai t/vrk	Fosfori kg/vrk	Typpi kg/vrk	Orgaaninen aine/hiili kg/vrk
Virtsa	3	3,8	2,5	29,7	25,8
Uloste	25	0,34	1,5	4,6	42,2
Biojäte	26	0,56	0,4	0,9	17,9
WC-paperi	90	0,04	0	0	32,6
Huuhteluviedet	0	5,4 - 32,2	0	0	0
Yhteensä			4,4 = 1,6 P t/a	35,2 = 12,8 N t/a	118,5 = 43,3 C t/a



### Pieni superkortteli (enintään 500 asukasta)

- Käymäläjärjestelmä perustuu mustien vesien erilliseen viemärointiin joko tavanomaisella mahdollisimman vähän vettä kuluttavalla vesikäymälällä tai alipainekäymälällä. Valittu käymäläratkaisu vaikuttaa valittavaan jätevesien mädätystekniikkaan.
- Biojätteet voidaan käsitellä yhdessä käymälävesien kanssa tai kerätä keskitetysti käsiteltäväksi. Jos biojäte kerätään yhdessä käymälävesien kanssa ja johdetaan samaa putkistoa käyttäen mädätykseen, tulee biojäte esikäsitellä esim. kiinteistökohtaisilla jätemylyillä. Vaihtoehtoisesti erilliskerättyä biojätettä voidaan käsitellä yhdessä käymäläjätevesien kanssa, mutta biojäte tulee hienontaa mädätyksen toimivuuden takaamiseksi.
- Käymäläjätevesien tai käymäläjätevesien ja biojätteen käsittelyyn soveltuu esimerkiksi UASB-tekniikka. Mädätys saattaa vaatia hiilipitoisen materiaalin lisäämistä (esim. nollakuitu), etenkin siinä tapauksessa, jos biojätettä ei ohjata yhteiskäsittelyyn käymäläjätteen kanssa.
- Kuivajakeen käsittelyssä voidaan hyödyntää alueella jo olevia tekniikoita kustannusten säästämiseksi, esim. DTS-menetelmää.
- Pienen mittakaavaan sopivia tekniikoita ovat esim. struviittisaostus ja erilaiset kalvomenetelmät.
- Pienen superkorttelimittakaavassa ravinteita voidaan saada talteen lopputuotteisiin noin 60-70 % typestä (kalvomenetelmä) ja 70-80 % fosforista (DTS + struviittisaostus), valitusta tekniikasta riippuen.



Kuva 14. Pienen superkorttelin kuvaus.

**Taulukko 9. Pienessä superkorttelimittakaavassa muodostuva virtaama, orgaanisen aineen ja ravinteiden määrä (laskelmat 500 asukkaalle / 67 % käyttöaste).**

Jae	TS %	Virtaama m <sup>3</sup> /vrk tai t/vrk	Fosfori kg/vrk	Typpi kg/vrk	Orgaaninen aine/hiili kg/vrk
Virtsa	3	0,5	0,3	3,7	3,2
Uloste	25	0,04	0,2	0,6	5,3
Biojäte	26	0,07	0,1	0,1	2,2
WC-paperi	90	0,01	0	0	4,1
Huuhteluviedet	0	0,7-4,0	0	0	0
Yhteensä			0,6 = 0,2 P t/a	4,4 = 1,6 N t/a	14,8 = 5,4 C t/a

## Käsittelymenetelmien vertailua

Hiedanrantaan soveltuvia neste- ja kuivajakeen käsittelymenetelmiä on vertailtu Taulukoissa 10 ja 11. Kuivajakeen käsittelyyn soveltuvia menetelmiä ovat alueella tai lähiympäristössä jo olemassa olevat tekniikat (menetelmien vertailu Taulukossa 11). Sen sijaan nestejakeen käsittely paikan päällä vaatii investointia uuteen tekniikkaan (menetelmien vertailu Taulukossa 10). Käsittelymenetelmien valinnassa tulee kiinnittää huomiota erityisesti tekniikoiden välisiin eroihin, mm. lopputuotteen käyttökelpoisuuteen ja tekniikan toimintavarmuuteen.

Valitusta mittakaavasta ja tekniikasta riippuen myös tuotetut ravinnepäätteet ja niiden määrä ovat erilaisia. Osa tekniikoista vaatii esimerkiksi kemikaalilisää ja osa tuottaa valmiita käyttökelpoisia ravinnepäätteitä. Lopputuotteen käyttötarkoitus on tärkeää ottaa huomioon tekniikkaa valittaessa. Etenkin kuivajakeen mahdollisena käyttökohteena voisi olla Hiedanrannan tai Tampereen seudun viherrakentaminen. Tuotettujen ravinnepäätteiden määrä riippuu valitusta mittakaavasta. Mahdolliset väliavarastoinnit elinkaaren eri vaiheissa voivat aiheuttaa esimerkiksi ammoniumtyypen haihtumista ammoniakkinä, joka aiheuttaa myös hajuhaittaa ravinnepäätteen lisäksi. Hävikkien minimoimiseksi onkin tärkeää suunnitella koko ketju huolellisesti.

Menetelmien huollon tarve voi vaihdella ja etenkin nestejakeen käsittelyssä usein edellytetään lähes kiintoainevapaata jaetta järjestelmän ongelmien välttämiseksi. Esim. kalvojen tukkeutumista voidaan välttää, jos nestejake esisuodatetaan ennen kalvokäsittelyä. Tulee myös huomioida, että etenkin nestejakeen käsittelymenetelmissä muodostuu usein mahdollisesti käsittelyä vaativaa reaktiivisvirtaa, joka tulee ohjata jätevedenpuhdistamolle käsiteltäväksi. Reaktiivisvirta sisältää vähemmän ravinteita, kuin normaalisti jätevedenpuhdistamolle ohjattava jätevesi, sillä osa ravinteista on jo saatu talteen.

Käsittelymenetelmät vaikuttavat myös lopputuotteisiin päätyviin haitta-ainejäämiin. Haitta-aineiden kirjo riippuu siitä, kuinka paljon niitä järjestelmään lähtökohtaisesti päätyy. Erottelevassa sanitaatiossa haitta-aineita päätyy kuitenkin kokonaisuudessaan vähemmän lopputuotteeseen, kuin jätevedenpuhdistamolla. Ne voivat olla kuitenkin erilaisessa muodossa ja konsentroituina lopputuotteissa, riippuen valituista käsittelymenetelmistä. Tutkimustietoa haitta-aineiden vaikutuksista (ja erilaisten käsittelymenetelmien vaikutuksesta niihin) tarvitaan, jotta voidaan arvioida kattavammin niihin liittyvät riskit. Toisaalta tulee ottaa huomioon, että myös puhdistamoliete sisältää haitallisia aineita ja sen käyttö maanparannusaineena on sallittua. Estettä käymäläjätteestä tuotettujen maanparannus ja ravinnepäätteiden käytölle ei siten varsinaisesti ole, mutta niiden käyttö saattaa vaatia uuden tyyppinimen hakemista Ruokavirastolta (katso kpl. 3.3).

Käymäläjätteiden käsittelyn eri vaiheissa hajuhaitat ovat mahdollisia. Hajuhaittojen ehkäisy on asuin- ja työympäristönsuojelun ja hyväksyttävyyden kannalta tärkeää. Tekniikoiden vaikutuksia hajuhaittojen ehkäisyyn tulisi siten arvioida tarkemmin. Huomiota tulisi lisäksi kiinnittää tekniikoiden ylläpitoon kuluvaan työhön sekä mahdolliseen automatisointiin.

**Taulukko 10. Nestejakeen käsittelymenetelmien vertailua. Vertailussa on hyödynnetty mm. Paavola ym. 2019 teknologiataulukkoa sekä kirjallisuutta ja asiantuntija-arvioita.**

	<b>Strippaus</b>	<b>Kalvotekniikat</b>	<b>NP-harvest</b>	<b>Struviittisaostus</b>
<b>Ravinteiden talteenotto</b>	+ Typen talteenottomenetelmä, lopputuotteena esim. ammoniumsulfaatti tai ammoniumvesi + Valmis ja helppokäyttöinen lopputuote - Ei fosforin talteenottoa?	+ Ottaa talteen sekä typen että fosforin - Konsentroidu lopputuote sisältää epäpuhtauksia	+ Typen ja fosforin talteenottomenetelmä (kalvomenetelmään perustuva), lopputuotteena esim. ammoniumsulfaatti- tai fosfaatti - Fosforin saostaminen sakkaan kehitysasteella	+ Fosforin talteenottomenetelmä, lopputuotteena struviitti - Alhainen typen talteenotto (n. 5 %) +/- Hidasliukoinen fosforilannoite (voi olla hyväksi korkean P-luvun alueilla)
<b>Tekniikan kypsyys ja soveltuvuus (TRL, Technical Readiness Level 1-10)</b>	+ Valmis tekniikka, sovelluksia käytössä myös Suomessa - Suuren mittakaavan ratkaisu, pienemmän mittakaavan ratkaisut kehitteillä - Stripperin liikaantuminen, vaatii kiintoainevapaan syötteen	+ Tekniikasta useita erilaisia sovelluksia, kokeiluja myös Suomessa - Kalvojen tukkeumaherkkyys, vaatii kiintoainevapaan syötteen - Prosessin hallinnassa haastavuus	- Ei kaupallisia sovelluksia, kehitteillä oleva prosessi - Etenkin fosforin talteenotto vaatii kehittämistä - Tukkeutumisherkkä kiintoainepitoisilla syötteillä, vaatii esikäsittelyn	+ Valmis tekniikka, paljon sovelluksia käytössä etenkin maailmalla + Yksinkertainen prosessi + Erilaiset mittakaavat mahdollisia
<b>Kustannukset</b>	- Korkeat investointikustannukset - Sähkön ja kemikaalien kulutus	- Korkeat investointikustannukset - Kuluttaa sähköä	- Ei tietoa kustannuksista, ei kaupallisia sovelluksia - Sähkön ja kemikaalien kulutus	+ Todennäköisesti edullisin kokonaisratkaisu - Saostuskemikaalien kulutus
<b>Haitta-aineet</b>	+ Varsin puhdas lopputuote + Hygienisoiva vaikutus, jos stripperiä kuumennetaan tai pH:ta nostetaan	- Lopputuotteeseen konsentroiduu myös haitta-aineita + Virusvapaa lopputuote, jos viimeisenä käsitteilynä RO-kalvo	+ Ammoniumsuoja on varsin puhdas lopputuote - Haitta-aineiden pääytymisestä mm. fosforisakkaan tarvitaan lisää tietoa	- Patogeenejä voi tarttua kiteisiin, haitta-aineiden konsentroitumisesta tarvitaan enemmän tietoa
<b>Rejektivesien käsittelytarve</b>	- Laimea rejektivesi vaatii käsittelyn puhdistamalla	- Rejektivedet voivat vaatia käsittelyä etenkin kaupunkiympäristössä	- Korkean pH:n omaava rejektivesi vaatii käsittelyä etenkin kaupunkiympäristössä + Vähentää mahdollisesti kalkitsemistarvetta puhdistamalla	- Rejektivesissä vielä paljon etenkin tyypeä, vaatii käsittelyn esim. puhdistamalla
<b>Muuta</b>		- Kalvojen pesutarve	- Kalvojen pesutarve	

**Taulukko 11. Kuivajakeen käsittelymenetelmien vertailua. Vertailussa on hyödynnetty mm. Paavola ym. (2019) teknologiataulukkoa sekä kirjallisuutta ja asiantuntija-arvioita.**

	<b>Terminen kuivaus + pelletöinti/rakeistus</b>	<b>Pyrolyysi</b>	<b>HTC (Hydrothermal carbonisation)</b>	<b>Mikroterminen menetelmä (DTS-menetelmä)</b>
<b>Ravinteiden talteenotto</b>	+ Fosforipitoinen maanparannusrae (valmis tyyppinimi kuivarae) - Suuri osa typestä menetetään kuivauksessa	+ Fosfori ja hiili jäävät lopputuotteeseen, lisäksi pieni määrä orgaanista tyypeä + Syötteen massa vähenee merkittävästi - typpi menetetään	+ Fosfori ja hiili jäävät hiilijakeeseen, lisäksi muodostuu orgaanista ainesta ja tyypeä sisältävä nestejake - Nestejake vaatii jatkokäsittelyä	+ Hygieniavaatimukset täyttävä fosforipitoinen maanparannusaine, Hietsun musta
<b>Tekniikan kypsyys ja soveltuvuus, TRL (TRL, Technical Readiness Level 1-10)</b>	+ Valmis tekniikka (TRL 9), useita laitoksia Suomessa - Laitosmittakaavan ratkaisu, pienemmän mittakaavan sovelluksia kehitteillä	+ Valmis tekniikka, joitakin laitoksia Suomessa - Useita eri prosessivariaatioita, yhteiskäsittely esim. puubiomassan kanssa	- Kehitysasteella oleva tekniikka (TRL 7), muutamia laitoksia maailmalla	+ Valmis tekniikka, yksi laitos Suomessa - Edellyttää kompostointia jonkin muun massan kanssa
<b>Kustannukset</b>	- Korkea ylläpitokustannus suuren energiankulutuksen vuoksi	- Korkea investointikustannus - Kannattavampi suuressa mittakaavassa	- Korkea ylläpitokustannus suuren energiankulutuksen vuoksi	- Kuluttaa energiaa
<b>Haitta-aineet</b>	- Haitta-aineet konsentroituvat pellettiin/rakeeseen + Hygienisoiva vaikutus	- Raskasmetallien konsentroituminen hiilijakeeseen + Suuri osa haitta-aineista tuhoutuu prosessissa	+ Osa haitta-aineista hajoaa prosessissa	- Haitta-aineet konsentroituvat lopputuotteeseen + Osa haitta-aineista hajota prosessin aikana
<b>Rejektivesien käsittelytarve</b>	- Lauhdevesi/rejektivesi vaatii käsittelyn		- Tuottaa paljon jätevettä	
<b>Muuta</b>	- Vaatii poistokaasujen käsittelyn - Mahdolliset hajuhaitat + Poistokaasuista ja lauhdevedestä typen talteenotto mahdollista	- Lietteiden ja käymäläjätteiden pyrolyysi vaatii oman käsittelyn, joka on erillinen muista käsiteltävistä jakeista		- Vaatii tyyppinimen päivityksen

Vaihtoehtoisten tekniikoiden arvioinnissa voidaan tunnistaa erilaisia kriteereitä (Taulukko 12), joiden avulla voidaan arvottaa eri vaihtoehtoja ja siten helpottaa päätöksen tekoa. Jos päätöksenteossa halutaan painottaa esimerkiksi toteuttamiskelpoisuutta, tulee tekniseksi ratkaisuksi valita siten teknisesti kypsä, hyvän resilienssin omaava ja vähäiset tekniset riskit omaava vaihtoehto. Ravinteiden talteenoton tehokkuus voi siten jäädä painoarvoltaan vähäisemmäksi.

**Taulukko 12. Kriteerejä vaihtoehtoisten toteutusmallien arviointiin.**

Kriteerit	Mittarit
<b>Ravinteiden talteenottopotentiali ja käyttökelpoisuus</b>	ravinteiden liukoisuus haitta-aineet levitettävyyshelpokäyttöisyys hyödynnettävyys urbaani ruoantuotanto
<b>Taloudelliset vaikutukset</b>	säästöt (ravinteet, energia yms.) kustannukset kunnalle/rakentajalle/asukkaalle (investointikustannukset, käyttökustannukset) asuntojen arvo asuinalueen imago menetetty tonttima
<b>Ympäristövaikutukset</b>	hiilijalanjälki rehevöityminen uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö vedenkulutus
<b>Toteuttamiskelpoisuus</b>	hyväksyttävyyss käytettävyyss tekninen kypsyys (TRD) resilienssi teknologiaan liittyvät riskit lainsäädännön reunaehdot operoinnin vastuutahot
<b>Asumisviihtyvyys</b>	melu haju päästöt käytön helppous ajan käyttö
<b>Sosiaaliset vaikutukset</b>	yhteisöllisyys edelläkävijyyss ympäristötietoisuuden lisääntyminen

## 5.2 Ravinteiden talteenoton operointimallit

Kun kaupungeissa rakennetaan ja otetaan käyttöön uudenlaisia ratkaisuja, ei valmiita malleja ja toimintatapoja ole olemassa, vaan pitää luoda uusia käytäntöjä. Ravinteita talteen ottava erottelava sanitaatijärjestelmä sisältää tavanomaisesta rakennustekniikasta poikkeavia putkistoja, laitteita ja teknisistä järjestelmiä, jotka vaativat toimiakseen käyttöä ja ylläpitoa. Järjestelmän suunnittelu- ja rakentamisvaiheen jälkeen tarvitaan jokin taho, joka huolehtii järjestelmän toimivuudesta sekä sen käytöstä ja ylläpidosta. Järjestelmän operointimalleja voi olla erilaisia, joissa vastuut toiminnoista vaihtelevat.

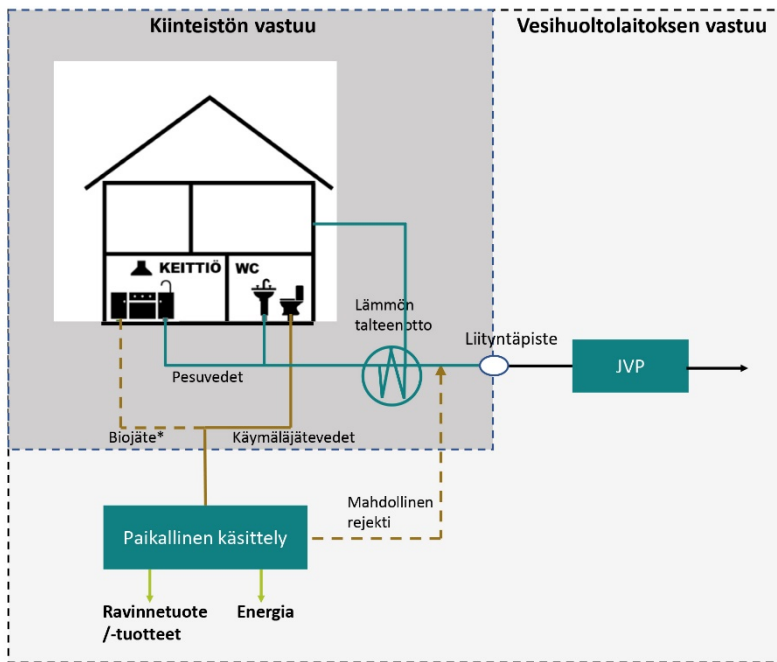
Jo suunnitteluvaiheessa kaupunki voi ottaa ohjaavan roolin myös järjestelmän operointimallin luomisessa esimerkiksi perustamalla erillisen yhtiön tai säätiön asiaa eteenpäin viemään. Tämän tahon tehtävänä voi olla lisäksi mm. erilaisten selvitysten tuottaminen, asian eteenpäin vieminen kaupungin päätöksenteossa, osallistuminen markkinavuoropuheluun sekä teknisen toteutuksen suunnitteluun osallistuminen ja teknisen toteutuksen valinta.

Kun ravinteita talteen ottava erotteleva sanitaatiojärjestelmä rakentuu, on vastuu siitä ja sen toimivuudesta ainakin aluksi kaupungilla etenkin, jos kyseessä on kaupungin tarjoama toiminta-alusta tai pilottikohde. Myös rakentaja ottaa riskin ja kantaa vastuun rakentamiensa talojen myynnin osalta, jos ne edustavat uudenlaisia ratkaisuja. Asuinalueen valmistumisen myötä vastuu järjestelmän hallinnasta ja ylläpidosta voidaan jättää kaupungin vastuulle (esim. vesihuoltolaitos) tai siirtää kokonaan tai osittain taloyhtiöiden hallintaan. Mikäli toimintaa on pyörittänyt suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa kaupungin perustama taho, niin se voi siirtää/myydä järjestelmän operoimiseen liittyvät toiminnot taloyhtiöille. Se voi myös toimia ns. palvelun tarjoajana ja myydä taloyhtiöille järjestelmän tarvitsemia käyttö- ja ylläpitopalveluita.

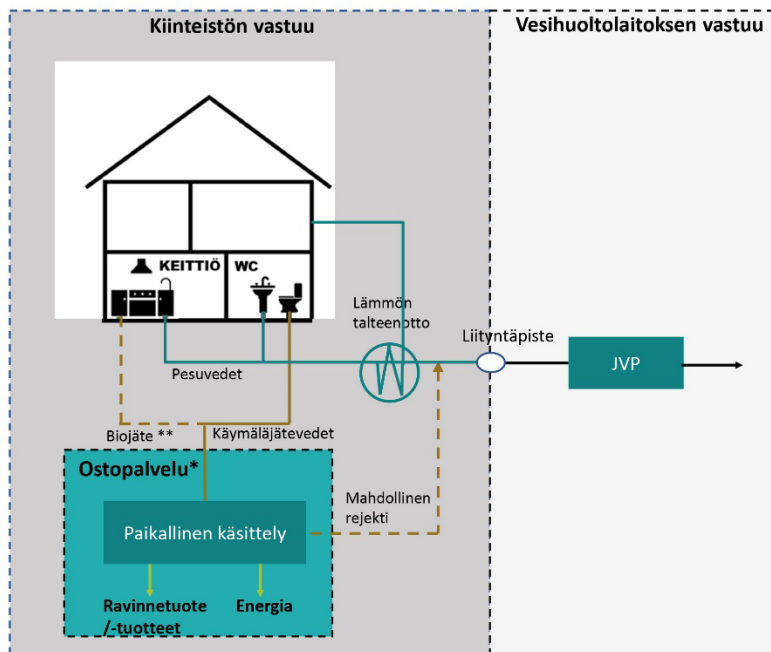
Jos taloyhtiöt hankkivat paikallisen sanitaatiojärjestelmään liittyvät käyttö- ja ylläpitopalvelut itse ostopalveluna, vastuuta siirtyy enemmän taloyhtiöille ja asukkaiden vaikutusmahdollisuudet paranevat. Ostopalveluita voivat tarjota kaupungin perustaman tahon lisäksi kaupungin vesi- tai jätehuoltolaitos tai yksityiset yritykset (huoltoyritykset, LVI-alalla toimivat yritykset yms.).

Kun toiminta on käynnissä ja alkuvaiheeseen liittyvät muuttujat on saatu ratkaistua, vastuu järjestelmästä pitäisi lopulta olla taloyhtiöiden ja asukkaiden vastuulla, samalla tapaa kuin muiden kiinteistöhuoltoon liittyvien palveluiden osalta. Sovittaessa kunta/kaupunki voi osallistua vastuun kantamiseen myös alkuvaiheen jälkeen, mutta tällöinkin kustannusvastuu on todennäköisesti taloyhtiöillä ja asukkailla eli he maksavat järjestelmän pyörittämiseen vaativat ylläpitokustannukset, vastaavasti kuin normaalit jätevesien käsittelyyn liittyvät kustannukset.

Kuvassa 15 on hahmoteltu kaksi erilaista operointimallia paikallisen sanitaation käyttöön ja ylläpitoon.



\* Biojätteen keräys on kunnan vastuulla. Biojätteen paikalliselle hyödyntämiselle ei ole esteitä. Käymäläjäteiden paikallinen käsittely on myös mahdollista ilman yhteiskäsittelyä biojätteen kanssa.



\* Kiinteistö hankkii paikallisen käsittelyn ostopalveluna. Ostopalveluita voivat tarjota esimerkiksi kunnan/kaupungin alla toimiva taho tai ulkopuolinen yrittäjä (huoltoyhtiö tai muu alalla toimiva yritys).  
 \*\* Biojätteen keräys on kunnan vastuulla. Biojätteen paikalliselle hyödyntämiselle ei ole esteitä. Käymäläjäteiden paikallinen käsittely on myös mahdollista ilman yhteiskäsittelyä biojätteen kanssa.

Kuva 15. Operointimalleja ravinteita kierrättävän sanitaation käyttöön ja ylläpitoon. Ylempässä kuvassa vastuu paikallisesta käsittelyjärjestelmästä on vesihuoltolaitoksen vastuulla. Alemmassa kuvassa paikallinen käsittely on kiinteistön vastuulla.

## 6 Johtopäätökset

Suomi tavoittelee hiilineutraalia kiertotaloutta ja ravinteiden kierrätyksen mallimaan asemaa. Kansainväliset ja kansalliset kiertotaloustavoitteet sekä ympäristöpolitiikka luovat kaupungeille paineita muuttaa nykyistä resursseja tuhlaavaa järjestelmää kohti kiertotaloutta. Kunnianhimoiset tavoitteet voidaan lunastaa vain vaikuttavilla ja oikein kohdennetuilla toimilla. Uusien ratkaisujen kehittämistä ja käyttöönottoa tukee myös kaupunkien kiinnostus profiloitua kestävä kehityksen edelläkävijöiksi.

Ravinteiden tehokas kierrättäminen on tärkeässä asemassa siirryttäessä kohti kiertotaloutta ja kestävämpää ruokajärjestelmää ja myös kaupunkien roolin tulisi olla yhä näkyvämpi osa kiertotaloutta ja ravinteiden kierrätystä. Kaupungeissa ravinteiden kierrättäminen voi tarkoittaa esimerkiksi ravinneviisasta sanitaatiota, kuten mustien vesien erottelua ja käsittelyä erillään muista jätevesistä. Näin voidaan tuottaa nykyjärjestelmää vähemmän haitta-aineita ja enemmän ravinteita sisältäviä ravinnetuotteita, sekä mahdollistaa energian tuottaminen paikallisesti. Kierrätysravinteiden käyttö voi vähentää ehtyvänä luonnonvarana pidetyn neitseellisen fosforin sekä energiaintensiivisesti tuotettujen typpilannoitteiden tuotantoa. Alipainekäymälä vähentää myös puhtaan veden kulutusta tavanomaiseen käymälään verrattuna.

Kaupunkisuunnittelua sekä kaupunkien investointeja tulee hyödyntää yhä enemmän kokeilu- ja kehittämisympäristöinä. Vaikka Suomessa erottelevia sanitaatoratkaisuja ei vielä ole käytössä, muualla Euroopassa (kuten Ruotsissa, Hollannissa ja Saksassa) paikallisia järjestelmiä jo käytetään ja uusia suuren mittakaavan järjestelmiä on suunnitteilla. Kaupungit ja alueelliset vesihuoltolaitokset ovat ottaneet vastuun järjestelmien toimivuudesta ja käsittelymenetelmistä. Kansainvälisten esimerkkien perusteella sanitaatioalan kokeiluilla näyttää olevan vaikutusta kaupunkien laajempaankin kestävyysmuutokseen.

NutriCity-hankkeessa tehdyt pilot-kokeet osoittavat, että opit rohkeista kokeiluista ovat olleet arvokkaita kaikille toteutukseen osallistuville osapuolille ja vastaavia kokeiluja tarvitaan myös jatkossa uusien rakentamisen ratkaisujen kehittämisessä. Vaikka hankkeen toteuttaman käyttäjäkyselyn ja haastatteluaineiston perusteella ihmisten suhtautuminen vaihtoehtoisiin käymäläratkaisuihin on pääosin myönteistä, niin vastaavissa kokeiluissa tulee kuitenkin huomioida paremmin käyttäjien osallistaminen ja opastaminen. Uudenlaisten käymälöiden käyttö edellyttää käyttäjältään ennen kaikkea toimintatapojen muutosta, joka on myös menetelmien toimivuuden ja ravinteiden kierrätyksen onnistumisen näkökulmasta olennaista.

Hankkeessa saadut kokemukset osoittavat, että vallalla olevien liiketoiminta- ja palvelumallien murtaminen on haasteellista. Muutos haastaa nykyiset organisaatiot kehittämään toimintaansa ja löytämään uusia yhteistyökumppaneita ja toimintatapoja, joille lainsäädäntö voi tosin vielä asettaa rajoitteita. Kiertotalouden toteutus kaupungeissa vaatii eri sektoreiden yhteistyön kehittämistä ja uusien toimintatapojen luomista sekä mm. suunnittelijoiden koulutusta. Strategisten tavoitteiden ja käytännön suunnittelun ja toteutuksen välillä on nyt vielä kuilu, joka hankaloittaa tavoitteiden saavuttamista. Siirtyminen strategiasta käytäntöön edellyttää käytännön suunnittelun ja strategisten tavoitteiden tiivistä kytkeä sekä hyvää vuorovaikutusta ja yhteistyötä. Kaupunkien ja yritysten yhteistyöllä voitaisiin kehittää uusia ratkaisuja ja siten myös varmistaa yritysten mahdollisuudet tarjota uusia ratkaisuja kehittyville markkinoille.

Ravinteiden kierrätystä, ilmastotavoitteita, kiertotaloutta ja vähähiilistä rakentamista edistetään kansallisesti omina kokonaisuuksinaan, vaikka ne linkittyvät voimakkaasti toisiinsa. Tämä hankaloittaa esimerkiksi jätevesien ravinteiden kierrättämisen edistämistä, sillä kokonaisuuksien välillä ei ole vahvaa kytkeä. Nykyinen sanitaatiojärjestelmä ei tue kiertotaloutta, sillä se ei perustu arvokkaiden ravinteiden ja orgaanisen aineksen talteenottoon vaan niiden poistamiseen. Erotteleva sanitaatio, jossa käymäläjätevedet kerätään erillään pesuvesistä, mahdollistaisi nykyistä tehokkaamman ja haitta-aineettomamman ravinteiden talteenoton ja -kierron. Samaan aikaan se alentaisi jätevedenkäsittelyn



ilmastovaikutuksia. Kaupunkialueilla tällaiset ratkaisut voisivat tulla kyseeseen etenkin uusilla asuinalueilla tai saneerattavissa kohteissa, jolloin erottelevan sanitaation kytkentä osaksi asumisen hiilijalanjälkeä vähentäviä toimia olisi mahdollista ja tärkeää.

Kansainvälisesti katsottuna erotteleva sanitaatio ei ole vielä jalkautunut suurimpien rakennuttajien käytäntöihin ja toimintaan ja sen edistämiseen sitoutuneet henkilöt jäävät usein sivuun päätöksenteosta. Vaarana on, että erotteleva sanitaatio jää silloin ns. puuhastelun tasolle. Uusien paikallisten järjestelmien edistäminen ja kehittäminen on haasteellista, kun olemassa on teknisesti toimintavarma ja totuttu vanha järjestelmä. Paikallisuus on kuitenkin noussut omaan arvoonsa viime aikoina, kun isot keskitetyt järjestelmät ovat näyttäneet haavoittuvuutensa horjuvassa maailmantilanteessa. Jotta skaalaus pienen mittakaavan kokeiluista suureen valtavirtaan onnistuisi ja lyhyen aikavälin toimivuusriskin lisäksi pystyttäisiin tarkastelemaan pitkän aikavälin riskejä jopa globaalin ruokaketjun tasolla, pitäisi vastuunjako ja riskinhallintaa kunnallistekniikan suunnittelussa kehittää entistä kollektiivisemmäksi ja läpinäkyvämmäksi.

Kansainväliset esimerkit osoittavat, että erottelevan sanitaation toteuttamisessa edelläkävijän asema on ollut moottoreina toimiville kunnille ja kaupungeille tavoitellumpaa kuin kustannushyötyjen saavuttaminen. Järjestelmän investointeihin on saatu tukea erilaisista kansainvälisistä ja kansallisista rahoitusmekanismeista ja käytöstä aiheutuvia kustannussäästöjä (mm. alhaisempi vedenkulutus) on kohdistettu asukkaiden eduksi. Järjestelmän rakentaminen pääosin yritysten varaan voi olla haasteellista niin kauan, kun kierrätysravinteiden markkinat ovat toistaiseksi kehittymättömiä.

Jotta jätevesien ravinteiden kierrättäminen voi tulevaisuudessa ottaa vaikuttavia askelia Suomessa, tulee lopputuotteiden turvallisuus, hyväksyttävyyys sekä laatu taata. Myös harmaiden vesien lämmön talteenottoa sekä talteen otettujen ravinteiden käyttökohdetta alueellisesti tulisi selvittää. Olennaista on myös, että rakentamista ohjataan kokonaisvaltaisesti kestävämpään suuntaan, jossa ravinteiden kierrätys on yksi osa-alue, joka on vahvasti kytketty muihin osa-alueisiin, kuten energian tuotantoon ja asumisen hiilijalanjälkeen.

## Lähteet

- Aalto-yliopisto 2018. NPharvest – tietoa projektista, tekninen prosessi. Saatavilla osoitteessa: <https://www.aalto.fi/fi/npharvest/tietoja-projektista> [Vierailtu 26.8.2020]
- Aho, T. 2017. Innovaatiokumppanuus. Kehitystyö osana julkista hankintaa. Käsikirja. Tekes, Helsinki. Saatavilla osoitteessa: <https://www.businessfinland.fi/globalassets/julkaisut/innovaatiokumppanuus-kasikirja.pdf> [Vierailtu 14.1.2021]
- Alhola K. & Kaljonen M. 2017. Kestävät julkiset hankinnat – nykytila ja kehittämisehdotuksia. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 32/2017. Saatavilla osoitteessa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/228340/SY-KEra\\_32\\_2017.pdf?sequence=4](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/228340/SY-KEra_32_2017.pdf?sequence=4)
- Alhola, K., Sankelo, P., Antikainen, R., Helonheimo, T., Kaljonen, M., Karjalainen, L., Linjama, J., Lounasheimo, J., Peltomaa, J., Pesu, J., Sederholm, C. & Tainio, P. 2019. Vähähiilisyys ja kiertotalous julkisissa hankinnoissa - Kiihdyttämö – hankkeen tulokset, opit ja kokemukset. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 45/2019. Saatavilla osoitteessa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/306901/SYKEra\\_45\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/306901/SYKEra_45_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Alhola, K., Saramäki, K., Manninen, K., Lehtoranta, S., Pursimo, J., Judl, J., Linjama, J., Pietiläinen, O.-P., Huuhtanen, J. & Tainio, P. 2016. Cleantech julkisissa hankinnoissa. Cleantech Hankintamappi -hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 10/2016. Saatavilla osoitteessa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/161081/SY-KEra\\_10\\_2016.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/161081/SY-KEra_10_2016.pdf?sequence=1)
- Antikainen, R., Salo, M., Alhola, K., Berg, A. & Kivimaa, P. 2016. Ekoinnovaatioita ekosysteemeistä – pienten yritysten ja julkisten toimijoiden rooli. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 25/2016. Saatavilla osoitteessa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/163950/SYKEra\\_25\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/163950/SYKEra_25_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Antikainen, R., Kangas, H-K., Alhola, K., Stenval, J., Leponiemi, U., Pekkola, E., Rannisto, P-H. & Poskela, J. 2019. Kokeilu-kulttuuri Suomessa – nykytilanne ja kehittämistarpeet. Valtionneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2/2019. Saatavilla osoitteessa: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161281/2-2019-KOKSU\\_raportti.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161281/2-2019-KOKSU_raportti.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [Vierailtu 14.1.2021]
- Augustin, K., Skambraks, A.-K., Li, Z., Giese, T., Rakelmann, U., Meinzingler, F., Schonlau, H. & Gunner, C. 2014. Towards sustainable sanitation- the HAMBURG WATER Cycle in the settlement Jenfelder Au. Water Science & Technology: Water Supply. IWA Publishing 2014.
- Baranowska-Dutkiewicz, B. 1981. Skin Absorption of Phenol from Aqueous Solutions in Men, International Archives of Occupational and Environmental Health 49, 99-104. Saatavilla osoitteessa: <https://doi.org/10.1007/BF00377662>
- Basosi, R., Spinelli, D., Fierro, A. & Jez, S. 2014. Mineral Nitrogen Fertilizers: Environmental Impact of Production and Use. Teoksessa: López-Valdez, F., Fernandez-Luqueno, F. (toim.), Fertilizers: Components, Uses in Agriculture and Environmental Impacts. Nova Science Publishers.
- Bergman, I-M., Halonen, K-M., Kestilä, I., Lahti, E., Ojala, E., Pyykkönen, J., Sammalmaa, J. & Urho, M. 2018. Innovatiiviset menettelyt biotalouden ja puhtaiden ratkaisujen hankinnoissa. Valtionneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 62/2018. Saatavilla osoitteessa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161084/62-2018-Innovatiiviset%20menettelyt%20biotalouden%20ja%20puhtaiden%20ratkaisujen%20hankinnoissa.pdf> [Vierailtu 14.1.2021]
- Bisschops, I., Kjerstadius, H., Meulman, B. & van Eekert, M. 2019. Integrated nutrient recovery from source-separated domestic wastewaters for application as fertilisers. Current Opinion in Environmental Sustainability 40, 7-13. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.06.010>.
- Blanken, M., Verweij, C. & Mulder, K. 2019. Why novel sanitary systems are hardly introduced? Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. 7(1):13-27. <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d6.0214>
- Brentrup, F. 2009. The impact of mineral fertilizers on the carbon footprint of crop production. The Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI. University of California, USA.
- Bionova Oy. 2017. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. Bionova Oy 29.6.2017. Saatavilla osoitteessa: [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjäljen-huomioimiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-%7B4B3172BC\\_4F20\\_43AB\\_AA62\\_A09DA890AE6D%7D-129197.pdf/f339dfd3-aa84-fb03-29aa-f6377253ce68/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjäljen-huomioimiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-%7B4B3172BC\\_4F20\\_43AB\\_AA62\\_A09DA890AE6D%7D-129197.pdf?t=1603260765618](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjäljen-huomioimiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-%7B4B3172BC_4F20_43AB_AA62_A09DA890AE6D%7D-129197.pdf/f339dfd3-aa84-fb03-29aa-f6377253ce68/Tiekartta-rakennuksen-elinkaaren-hiilijalanjäljen-huomioimiseksi-rakentamisen-ohjauksessa-%7B4B3172BC_4F20_43AB_AA62_A09DA890AE6D%7D-129197.pdf?t=1603260765618) [Vierailtu 14.1.2021]
- Bulkeley, H., & Castán Broto, V. 2013. Government by experiment? Global cities and the governing of climate change. Transactions of the Institute of British Geographers, 38(3), 361-375. Saatavilla osoitteessa: <https://doi.org/10.1111/j.1475-5661.2012.00535.x>

- Cordell, D., Rosemarin, A., Schröder, J. J. & Smit, A. L. 2011. Towards global phosphorus security: A systems framework for phosphorus recovery and reuse options. *Chemosphere* 84(6): 747–758.
- Druitt, M. (toim.) 2009. The Swedish Eco-Sanitation Experience Case studies of successful projects implementing alternative techniques for wastewater treatment in Sweden. Coalition Clean Baltic, Sweden. Saatavilla osoitteessa: [https://ccb.se/wp-content/uploads/2014/06/CCB\\_SwedishEconSanExperience\\_FINAL.pdf](https://ccb.se/wp-content/uploads/2014/06/CCB_SwedishEconSanExperience_FINAL.pdf) [Vierailtu 12.1.2021]
- DTS Oy. Yrityksen internet-sivut. Saatavilla osoitteessa: <https://www.dts.fi/dts-menetelma/> [Vierailtu 28.9.2020]
- Dwellers in Agile Cities. 2020. Saatavilla osoitteessa: <https://www.agilecities.fi/> [Vierailtu 12.1.2021]
- Enell, A., Fuhrman, F., Lundin, I., Warfvinge, P. & Thelin, G. 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbons in ash: Determination of total and leachable concentrations. *Environmental Pollution* 152, Issue 2, 285-292. Saatavilla osoitteessa: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.055>
- Finnish Sustainable Communities 2021 (FISU-verkosto). Saatavilla osoitteessa: [https://www.fisunetwork.fi/fi-FI/Tietoa\\_Fi-susta](https://www.fisunetwork.fi/fi-FI/Tietoa_Fi-susta) [Vierailtu 14.1.2021]
- Frantzeskaki, N., & Loorbach, D. 2010. Towards governing infrasystem transitions. *Technological Forecasting & Social Change*, 77(8), 1292–1301. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.05.004>
- Frantzeskaki, N., Steenbergen, F., & Stedman, R. 2018. Sense of place and experimentation in urban sustainability transitions: the Resilience Lab in Carnisse, Rotterdam, The Netherlands. *Sustainability Science*, 13(4), 1045–1059. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0562-5>
- Gomez, C., Medina, B., Sabucedo, J.M., Smith, D. & Obed, J. 2020. Recovery and utilization of nutrients 4 low impact fertilizer. Run4Life. European Union Horizon 2020. Saatavilla osoitteessa: <https://run4life-project.eu/wp-content/uploads/2020/06/Run4Life-Deliverable-6.1-Initial-Mapping-of-Stakeholder-and-Expectations.pdf> [Vierailtu 18.1.2021]
- Grubler, A., Wilson, C., & Nemet, G. 2016. Apples, oranges, and consistent comparisons of the temporal dynamics of energy transitions. *Energy Research & Social Science*, 22(C), 18–25. Saatavilla osoitteessa: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.08.015>
- Haikonen, J. 2019. Asenteet vaihtoehtoista käymäläteknikkaa ja ihmisperäisiä ravinteita kohtaan, case: Hiedanranta. Opinnäytetyö, Master Degree in Energy and Environmental Engineering, TAMK. Saatavilla osoitteessa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/265311> [Vierailtu 20.1.2021]
- Halme, K. & Niinikoski, M-L. 2019. Taloutta ja yhteiskuntaa uudistava innovaatiopolitiikka. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 7/2019. Saatavilla osoitteessa: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161407/TEM\\_7\\_2019\\_Taloutta\\_ja\\_yhteiskuntaa.pdf](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161407/TEM_7_2019_Taloutta_ja_yhteiskuntaa.pdf) [Vierailtu 14.1.2021]
- Halonen, K-M. 2019. Innovatiiviset menettelyt julkisissa hankinnoissa. KEINO Mikä innovaatiokumppanuus? -seminaari 14.2.2019. Lapin yliopisto. Saatavilla osoitteessa: [https://www.hankintakeino.fi/sites/default/files/media/file/Innovatiiviset%20menettelyt%20julkisissa%20hankinnoissa%20esitys\\_Kirsi-Maria%20Halonen.pdf](https://www.hankintakeino.fi/sites/default/files/media/file/Innovatiiviset%20menettelyt%20julkisissa%20hankinnoissa%20esitys_Kirsi-Maria%20Halonen.pdf) [Vierailtu 14.1.2021]
- Hegger, D., Van Vliet, B., Spaargaren, G. 2006. Decentralized Sanitation and Reuse in Dutch Society: Social Opportunities and Risks. Final report for the EET-DESAR project. Wageningen University. Environmental Policy Group.
- Hegger, D. 2007. Greening Sanitary Systems: An End-user Perspectives. PhD-Thesis Wageningen University. ISBN 978-90-8504-711-7
- Heiskanen, E., Hyvönen, K., Laakso, S., Laitila, P., Matschoss, K., & Mikkonen, I. 2017. Adoption and Use of Low-Carbon Technologies: Lessons from 100 Finnish Pilot Studies, Field Experiments and Demonstrations. *Sustainability*, 9(5). Saatavilla osoitteessa: <https://doi.org/10.3390/su9050847>
- Hinku-verkosto 2021 (hiilineutraalitekunnat-verkosto). Saatavilla osoitteessa: <https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Hinku> [Vierailtu 14.1.2021]
- HSY 2016. Pääkaupunkiseudun seka- ja biojätteen koostumus vuonna 2015 - Kotitalouksien ja palvelutoimialojen sekajätteen sekä Ämmässuolla käsiteltävän biojätteen koostumustutkimus. Saatavilla osoitteessa: [http://kivo.fi/wp-content/uploads/HSY\\_2016.pdf](http://kivo.fi/wp-content/uploads/HSY_2016.pdf) [Vierailtu 20.1.2021]
- Häkämies, S. 2017. Markkinavuoropuhelu – Mitä se on ja miten siinä onnistutaan? Green Net Finland. Saatavilla osoitteessa: [https://gnf.fi/wp-content/uploads/2016/04/Markkinavuoropuhelu\\_selvitys\\_julkaistu.pdf](https://gnf.fi/wp-content/uploads/2016/04/Markkinavuoropuhelu_selvitys_julkaistu.pdf) [Vierailtu 14.1.2021]
- Jätelaki 646/2011, annettu Helsingissä 17 päivänä kesäkuuta 2011. Saatavilla osoitteessa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110646>
- Kallioniemi, L., Vasu, E. 2014. Avoimen ja joustavan asemakaavan käytännöt. Oulun kaupunkisuunnittelu. Sarja A 216. Saatavilla osoitteessa: [https://www.ouka.fi/c/document\\_library/get\\_file?uuid=c3878cf6-484f-45f3-95b6-ff6e09f25aab&groupId=139863](https://www.ouka.fi/c/document_library/get_file?uuid=c3878cf6-484f-45f3-95b6-ff6e09f25aab&groupId=139863) [Vierailtu 14.1.2021]

- Karhu, J. 2019. Kiertotaloutta tukevat tontinluovutusehdot -ohjeita sovellettaviksi tontinluovutuksiin, tontinluovutuskilpailuihin ja tontin myyntiin. Esitys saatavilla: [https://figbc.fi/wp-content/uploads/sites/4/2019/06/20190315-tontinluovutusehdot\\_toimenpide1\\_v3-1.pdf](https://figbc.fi/wp-content/uploads/sites/4/2019/06/20190315-tontinluovutusehdot_toimenpide1_v3-1.pdf) [Vierailtu 14.1.2021]
- KEINO-osaamisverkosto 2020 (Kestävien ja innovatiivisten julkisten hankintojen verkostomainen osaamiskeskus). Saatavilla osoitteessa: <https://www.hankintakeino.fi> [Vierailtu 14.1.2021]
- Keith, L. 2015. The Source of U.S. EPA's Sixteen PAH Priority Pollutants. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 35:2-4, 147-160.
- Kelola, A. 2021. Mustien vesien ja biojätteen hyödyntäminen biokaasuprosessissa. Diplomityö, julkaisematon käsikirjoitus. Tampereen yliopisto
- Kinnunen, R. & Pirkkamaa, J. 2020. Lainsäädäntö ja rahoitus orgaanisten jätteiden, lietteiden ja sivutuotteiden peltoikäytön hyödyntämisessä. 21.8.2020. Winto Better World Oy & T:mi Taitosuuli. Forssa. Saatavilla osoitteessa: [https://bio-kierto.fi/wp-content/uploads/2020/10/Raportti-2.10.2020\\_FINAL.pdf](https://bio-kierto.fi/wp-content/uploads/2020/10/Raportti-2.10.2020_FINAL.pdf) [Vierailtu 15.1.2021]
- Kivimaa, P., Hildén, M., Huitema, D., Jordan, A., & Newig, J. 2017. Experiments in climate governance – A systematic review of research on energy and built environment transitions. *Journal of Cleaner Production*, 169(C), 17–29. Saatavilla osoitteessa: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.027>
- Konola, I. & Toivikko, S. 2019. Yhdyskuntalietteen käsittelyn ja hyödyntämisen nykytilannekatsaus. Suomen vesilaitosyhdistys, Helsinki. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 57. 27 s. ISBN 978-952-6697-53-6. Saatavilla osoitteessa: [https://www.vvy.fi/site/assets/files/3078/yhdyskuntalietteen\\_ka\\_sittelyn\\_ja\\_hyo\\_dynta\\_misen\\_nykytilannekatsaus\\_vvy\\_nr\\_57.pdf](https://www.vvy.fi/site/assets/files/3078/yhdyskuntalietteen_ka_sittelyn_ja_hyo_dynta_misen_nykytilannekatsaus_vvy_nr_57.pdf) [Vierailtu 15.1.2021]
- Korhonen, M. 2020. Selvitys ravinnekiertoa tukevien paikallisten sanitaatoratkaisujen talotekniikan ja logistiikan vaatimuksesta. NutriCity-hanke. Opinnäytetyö, Talotekniikka. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Saatavilla osoitteessa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/343580/Korhonen\\_Mari.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/343580/Korhonen_Mari.pdf?sequence=2&isAllowed=y) [Vierailtu 15.1.2021]
- Kortesoja, A., Hjelt, M., Miller, T., Palomäki, S. & Sepponen, S. 2017. Kaupunkien uusi rooli innovaatioiden edistämässä - INKA-ohjelman loppuarviointi. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 40/2017. Saatavilla osoitteessa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/160339> [Vierailtu 14.1.2021]
- Krantz, H. 2005. Matter that matters. A study of household routines in a process of changing water and sanitation arrangements. Department of Water and Environmental Studies. Linköping University.
- Kronsell, A. & Mukhtar-Landgren, D. 2018. Experimental governance: the role of municipalities in urban living labs. *European Planning Studies*, 26(5), 988-1007. Saatavilla osoitteessa: <https://doi.org/10.1080/09654313.2018.1435631>
- Kvarnström, E., Emilsson, K., Richert Stintzing, A., Johansson, M., Jönsson, H., af Petersens, E., Schöningg, C., Christensen, J., Hellström, D., Qvarnström, L., Ridderstolpe, P. & Drangert, J.-O. 2006. Urine diversion: one step towards sustainable sanitation. Stockholm Environment Institute, Stockholm. Saatavilla osoitteessa <https://www.sei.org/publications/urine-diversion-one-step-towards-sustainable-sanitation/> [Vierailtu 14.1.2021]
- Kymäläinen, M & Pakarinen, O. 2015. Biokaasuteknologiat: Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMKin julkaisuja 17/2015. Hämeen ammattikorkeakoulu.
- Laaksonen, J., Salmenperä, H., Sten, S., Dahlbo, H., Merilehto, K. & Sahimaa, O. 2018. Kierrätyksestä kiertotalouteen. Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2023. Suomen ympäristö 01/2018. Ympäristöministeriö. Saatavilla osoitteessa: [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160441/SY\\_01\\_18\\_FI\\_Kierratyksesta\\_kiertotalouteen.pdf](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160441/SY_01_18_FI_Kierratyksesta_kiertotalouteen.pdf) [Vierailtu 14.1.2021]
- Lehtoranta, S., Malila, R. Fjäder, P., Laukka, V., Mustajoki, J. & Äystö, L. 2021. Jätevesien ravinteet kiertoon turvallisesti ja tehokkaasti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja XX/2021. Julkaisematon käsikirjoitus.
- Lennartsson, M. & Kvarnström, E. 2017. Food and Energy in a Circular Economy, 2017. Final Report. Stockholm June 20, 2017. <https://carbonneutralcities.org/wp-content/uploads/2018/05/Food-and-Energy-in-the-Circular-Economy.pdf> [Vierailtu 18.1.2021]
- Lennartsson, M., Kvarnström, E., McConville, J. & Hagman, M. 2017. Planning and implementation of source-separating wastewater systems. The Importance of Policies and People. MACRO- Mat I Cirkulära Robusta system. [http://www.macrosystem.se/wp-content/uploads/2017/10/SRS\\_H\\_planningandimplement\\_liggande.pdf](http://www.macrosystem.se/wp-content/uploads/2017/10/SRS_H_planningandimplement_liggande.pdf) [Vierailtu 18.1.2021]
- Lennartsson, M., McConville, J., Kvarnström, E., Hagman, M. & Kjerstadius, H. 2019. Investments in innovative, urban sanitation- Decision-making processes in Sweden. *Water Alternatives* 12(2): 588-608.
- Lennartsson, M. & Salmhofer, C. 2016. The Stockholm Royal Seaport Roadmap. The Journey has Begun. Developed according to the CCI framework. Version 2016-05-17. Stockholm Stad. <https://insynsverige.se/documentHandler.ashx?did=1846181> [Vierailtu 18.1.2021]

- Lylykangas, K., Lahti, P. & Vainio, T. 2013. Ilmastotavoitteita toteuttava asemakaavoitus. Aalto-yliopisto, arkkitehtuurin laitos. Helsinki. Aalto-yliopiston julkaisusarja TIEDE + TEKNOLOGIA 13/2013125s. Saatavilla osoitteessa: <https://www.sitra.fi/julkaisut/ilmastotavoitteita-toteuttava-asemakaavoitus/> [Vierailtu 14.1.2021]
- Maa- ja metsätalousministeriö (MMM) 2011. Maa- ja metsätalousministeriön asetus (MMM) 24/ 2011. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista.
- Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, annettu Helsingissä 5 päivänä helmikuuta 1999. Saatavilla osoitteessa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1999/19990132>
- Malila, R., Viskari, E-L. & Kallio, J. 2019. Virtsan ravinteet kiertoon – MORTTI-hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 49/2019. Saatavilla osoitteessa: <http://hdl.handle.net/10138/307654>
- Malila, R. & Lehtoranta, S. 2018. Hiedanranta-LCA Vaihtoehtoisten sanitaatio- ja viemärintiratkaisujen ympäristövaikutusten ja kustannusten arviointi. Suomen ympäristökeskus. Saatavilla osoitteessa: [https://www.tampere.fi/tiedos-tot/h/yWvLgYrhD/Hiedanrannan\\_viemarointivaihtoehtojen\\_vertailu\\_NETTIIN.pdf](https://www.tampere.fi/tiedos-tot/h/yWvLgYrhD/Hiedanrannan_viemarointivaihtoehtojen_vertailu_NETTIIN.pdf) [Vierailtu 22.6.2020]
- Motiva. 2020. Vesimaksut. Saatavilla osoitteessa: [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/taloyhtiöt/energiaekspertitointiminta/lahtotilanteeseen\\_tutustuminen/vesimaksut](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiöt/energiaekspertitointiminta/lahtotilanteeseen_tutustuminen/vesimaksut) [Päivitetty 28.5.2020]
- Munck af Rosenschöld, & Wolf, S. A. 2017. Toward projectified environmental governance? Environment and Planning A, 49(2), 273-292. <https://doi.org/10.1177/0308518X16674210>
- Naess, P. & Vogel, N. 2012. Sustainable urban development and the multi-level transition perspective. Environmental Innovation and Societal Transitions, 4, 36-50. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2012.07.001>
- Nereus Project 2018. Democase Ghent. Saatavilla osoitteessa: <https://www.nereus-project.eu/democases/democase-ghent/> [Vierailtu 18.1.2021]
- Oikeusministeriö 2017. Opas kokeilulakien valmistelun tueksi. <http://kokeiluohje.finlex.fi/> [Vierailtu 28.9.2020]
- Paavola, T., Lehtoranta, S., Luostarinen, S. & Grönroos J. 2019. Teknologiataulukko. Saatavilla osoitteessa: <https://www.agri-symbioosi.fi/teknologiat2>. [Vierailtu 28.9.2020.]
- Paloniitty, P. 2020. Ravinteiden talteenotto biokaasureaktorin mädätteestä. Diplomityö. Tampereen yliopisto, Biotekniikan tutkinto-ohjelma. Saatavilla osoitteessa: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/123169/PaloniittyPanu.pdf?sequence=2&isAllowed=y> [Vierailtu 20.1.2021]
- Pradhan, S.K, Mikola, A., Heinonen-Tanski, H. & Vahala, R.2019. Recovery of nitrogen and phosphorus from human urine using membrane and precipitation process, Journal of Environmental Management, Volume 247, sivut 596-602, ISSN 0301-4797. Saatavilla osoitteessa: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.046> [Vierailtu 15.1.2021]
- Rose, C., Parker, A., Jefferson, B., Cartmell, E. 2015. The Characterization of Feces and Urine: A Review of the Literature to Inform Advanced Treatment Technology. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 45:17, 1827-1879. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10643389.2014.1000761> [Vierailtu 14.1.2021]
- Ruiken, C. J., Breuer, G., Klaversma, E., Santiago, T., van Loosdrecht, M. C. M. 2013. Sieving wastewater – Cellulose recovery, economic and energy evaluation. Water Research 47: 43-48.
- Run4Life, Nieuwe Dokken, Ghent (BE). Saatavilla osoitteessa: <https://run4life-project.eu/demosites/ghent-be/> [Vierailtu 18.1.2021]
- Run4Life, Oceanhamnen, Helsingborg (SE). Saatavilla osoitteessa: <https://run4life-project.eu/demosites/helsingborg-se/> [Vierailtu 18.1.2021]
- Ruokavirasto. 2019. Jätevesilietteiden käyttö lannoitevalmisteena. Saatavilla osoitteessa: <https://www.ruokavirasto.fi/yritykset/rehu--ja-lannoiteala/lannoitevalmisteet/laatuvaatimukset/kierratysravinteet/jatevesilietteet/> [Päivitetty 5.2.2019]
- Sakthivel, S.R., Tilley, E., Udert, K.M. 2012. Wood ash as a magnesium source for phosphorus recovery from source-separated urine. Science of The Total Environment 419(2012), 68–75. Saatavilla osoitteessa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.12.065>
- Salmenperä, H., Sahimaa, O., Kautto, P., Haavisto, T. & Dahlbo, H. 2016. Kohdennetut keinot kierrätyksen kasvuun. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 53/2016. Saatavilla osoitteessa: [https://tietokayttoon.fi/documents/10616/2009122/53\\_2016+Kohdennetut+keinot+kierr%C3%A4tyksen+kasvuun.pdf/e883402b-13dc-4d69-8126-953c80cc1b8f/53\\_2016+Kohdennetut+keinot+kierr%C3%A4tyksen+kasvuun.pdf.pdf?version=1.0](https://tietokayttoon.fi/documents/10616/2009122/53_2016+Kohdennetut+keinot+kierr%C3%A4tyksen+kasvuun.pdf/e883402b-13dc-4d69-8126-953c80cc1b8f/53_2016+Kohdennetut+keinot+kierr%C3%A4tyksen+kasvuun.pdf.pdf?version=1.0) [Vierailtu 14.1.2021]
- Senecal, J. & Vinnerås, B. 2017. Urea stabilization and concentration for urine-diverting dry toilets: Urine dehydration in ash. Science of The Total Environment 586. Saatavilla osoitteessa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.038>

- Simha, P., Lalander, C., Nordin, A. & Vinnerås, B. 2020. Alkaline dehydration of source-separated fresh human urine: Preliminary insights into using different dehydration temperature and media. *Science of The Total Environment*, 733. Saatavilla osoitteessa: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139313>.
- Simha, P., Senecal, J., Nordin, A., Lalander, C. & Vinnerås, B. 2018a. Alkaline dehydration of anion-exchanged human urine: Volume reduction, nutrient recovery and process optimization. *Water Research*, 142: 325-336. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.06.001>.
- Simha, P., Zabaniotou, A., Ganesapillai, M. 2018b. Continuous urea-nitrogen recycling from human urine: A step towards creating a human excreta based bio-economy. *Journal of Cleaner Production*. 172, 4152-4161. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.062>
- Sitra 2012. Asemakaavuprosessin kehittäminen energiätehokkuuden näkökulmasta - Skaftkärr, Porvoo Toukokuoren asemakaavoitus. Pasi Rajala, Perttu Pulkka, Sampo Perttula, Hilikka Jokela, Maija-Riitta Kontio. Porvoon kaupunki, Sitra, Posintra, Porvoon Energia Oy, Pöyry Finland Oy. Julkaisija, Sitra. <https://media.sitra.fi/2012/10/12131729/asekaavaprosessinkehittaminenenergiatehokkuudennimissa.pdf> [Vierailtu 27.04.2020]
- Sitra 2019. Kriittinen siirto - kiertotalouden tiekartta 2.0, Kunta mahdollistaa tärkeät siirrot kiertotaloudessa
- Skambraks, A.-K., Kjerstadius, H., Meier, M., Davidsson, Å., Wuttke, M. & Giese, T. 2017. Source separation sewage systems as a trend in urban wastewater management: Drivers for the implementation of pilot areas in Northern Europe. *Sustainable Cities and Society* 28, 287-296. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.09.013>
- Stowa 2014. Evaluatie Nieuwe Sanitatie Noorderhoek Sneek. Rapport. Saatavilla osoitteessa: <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202014/STOWA%202014-38.pdf> [Vierailtu 18.1.2021]
- Stowa 2018. Evaluatie nieuwe sanitatie Noorderhoek/Watershoon 2. Rapport 63. Saatavilla osoitteessa: <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202018/STOWA%202018-63%20ONS%20Noorderhoek.pdf> [Vierailtu 18.1.2021]
- Tilastokeskus. 2019. Asumisen energiankulutus [http://www.stat.fi/til/asen/2018/asen\\_2018\\_2019-11-21\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/asen/2018/asen_2018_2019-11-21_tie_001_fi.html) [Päivitetty 18.6.2020]
- Työryhmämuistio MMM 2011:5. Suomesta ravinteiden kierrätyksen mallimaa. Helsinki 2011. [https://mmm.fi/documents/1410837/1724539/trm2011\\_5.pdf/6ce8eaf4-63d0-4f1d-9379-60ff6896214d](https://mmm.fi/documents/1410837/1724539/trm2011_5.pdf/6ce8eaf4-63d0-4f1d-9379-60ff6896214d) [Vierailtu 28.9.2020]
- Työterveyslaitos 2017. OVA-ohje; fenoli. Saatavilla osoitteessa: <https://www.ttl.fi/ova/fenoli.html> [Vierailtu 21.11.2020]
- Työterveyslaitos 2020a. Biomonitorointi; analyysit ja näytteenotto-ohjeet; kadmium. Saatavilla osoitteessa: <https://www.ttl.fi/wp-content/uploads/2016/11/Kadmium.pdf> [Vierailtu 21.11.2020]
- Työterveyslaitos 2020b. Biomonitorointi; analyysit ja näytteenotto-ohjeet; fenoli. Saatavilla osoitteessa: <https://www.ttl.fi/wp-content/uploads/2016/11/Fenoli.pdf> [Vierailtu 21.11.2020]
- Valtioneuvoston asetus 157/2017. Valtioneuvoston asetus talousjätevesien käsittelystä viemäriverkostojen ulkopuolisilla alueilla, annettu Helsingissä 16 päivänä maaliskuuta 2017. Saatavilla osoitteessa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170157>
- Valovirta, V. Alhola, K., Leväsluoto, J., Nissinen, A., Oksanen, J., Pelkonen, A. & Turtonen, A. 2017. Innovatiiviset julkiset hankinnat – määrittely, mahdollisuudet ja mittaaminen. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 82/2017. Saatavilla osoitteessa: [http://tietokayttoon.fi/documents/10616/3866814/82\\_Innohankinnat+Teas+Loppuraportti1912.pdf/8fb7aaef-e317-4b46-be23-f3506287637f?version=1.0](http://tietokayttoon.fi/documents/10616/3866814/82_Innohankinnat+Teas+Loppuraportti1912.pdf/8fb7aaef-e317-4b46-be23-f3506287637f?version=1.0) [Vierailtu 14.1.2021]
- Valtioneuvosto 2019. Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ohjelma 10.12.2019. OSALLISTAVA JA OSAAVA SUOMI – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. Valtioneuvoston julkaisuja 2019:31. Helsinki 2019. <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161931> [Vierailtu 14.1.2021]
- Vesilaitosyhdistys 2013. Puhdistamolietteen käyttö maataloudessa. 50 s. [https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/puhdistamolieteopas\\_201320032014s.pdf](https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/puhdistamolieteopas_201320032014s.pdf) [Vierailtu 18.1.2021]
- Vesilaitosyhdistys 2016. Teknis-taloudellinen tarkastelu jätevesien käsittelyn tehostamisesta Suomessa. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 42. [https://www.vvy.fi/site/assets/files/1666/jatevedenkasittelyn\\_teknis-taloudellinen\\_selvitys\\_21042016.pdf](https://www.vvy.fi/site/assets/files/1666/jatevedenkasittelyn_teknis-taloudellinen_selvitys_21042016.pdf) [Vierailtu 20.1.2021]
- Viskari, E.-L., Vilpas, R., Lehtoranta, S., Pakula, S., Tuukkanen, K. 2017. Erilliskerätyn virtsan lannoitepotentiaali, kokeelliset tutkimukset ja elinkaaritarkastelu, BIOUREA-hankkeen loppuraportti. Saatavilla osoitteessa: [https://huussi.net/wp-content/uploads/2020/10/Liite-1-BIOUREA\\_loppuraportti-FINAL.pdf](https://huussi.net/wp-content/uploads/2020/10/Liite-1-BIOUREA_loppuraportti-FINAL.pdf) [Vierailtu 18.1.2021]
- Wasenco 2021. Jäteveden lämmön talteenotto. Saatavilla osoitteessa: <http://wasenco.com/jateveden-lammon-talteenotto/> [Vierailtu 18.1.2021]

- Werther J. & Ogada T. 1999. Sewage Sludge Combustion. Progress in Energy and Combustion Science 25: 55–116. Saatavilla osoitteessa: [https://doi.org/10.1016/S0360-1285\(98\)00020-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1285(98)00020-3)
- WHO 2006. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater - Volume 4. Excreta and greywater use in agriculture. World Health Organisation.
- Winker, M., Vinnerås, B., Muskolus, A., Arnold, U., Clemens, J. 2009. Fertilizer products from new sanitation systems: Their potential values and risks. Bioresource Technol. 100(18): 4090-4096. Saatavilla osoitteessa: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.03.024>
- Ylivainio, K., Äystö, L., Fjäder, P., Suominen, K., Lehti, A., Perkola, A., Ranta, J., Meriläinen, P., Välttilä, V. & Turtola, E. 2020. Jätevesilietteen pitkäkestoinen fosforilannoitusvaikutus ja yhteys ympäristö- ja ruokaturvallisuuteen: Jätevesilietteen potentiaali kasvintuotannossa ja vaikutukset ympäristöön ja elintarviketurvallisuuteen (PProduct) -hankkeen loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 55/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 120 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-018-2> [Vierailtu 18.1.2021]
- Ympäristöministeriö 2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>
- Ympäristöministeriö 2019. Ravinteiden kierrätyksen toimenpideohjelma 2019-2030. ”Kokeiluista tuloksiin – ravinteiden kierrätyksestä arkea”. Ravinteiden kierrätyksen seurantaryhmä. [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ravinteiden-kierrätyksen-toimenpideohjelma-2019-2030-allekirjoitettu-D7F9043A\\_0090\\_4785\\_B029\\_9C119B566BDD-146284.pdf/3896ea79-abd4-8d86-7b1f-6e615e6fe054/Ravinteiden-kierrätyksen-toimenpideohjelma-2019-2030-allekirjoitettu-D7F9043A\\_0090\\_4785\\_B029\\_9C119B566BDD-146284.pdf?t=1603260574640](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ravinteiden-kierrätyksen-toimenpideohjelma-2019-2030-allekirjoitettu-D7F9043A_0090_4785_B029_9C119B566BDD-146284.pdf/3896ea79-abd4-8d86-7b1f-6e615e6fe054/Ravinteiden-kierrätyksen-toimenpideohjelma-2019-2030-allekirjoitettu-D7F9043A_0090_4785_B029_9C119B566BDD-146284.pdf?t=1603260574640) [Vierailtu 14.1.2021]
- Ympäristöministeriö 2020. Kiertotalouden strateginen ohjelma. <https://www.ym.fi/kiertotalousohjelma> [Vierailtu 28.9.2020]
- Äystö, L., Mehtonen, J. & Kalevi, K. 2014. Kartoitus lääkeaineista yhdyskuntajätevedessä ja pintavedessä. Kulutuksen ja tuotannon keskus, Suomen ympäristökeskus. Saatavilla osoitteessa: <https://www.ymparisto.fi/download/nome/%7B0ED77EEB-6108-43F6-A327-4B84B6880177%7D/153903> [Vierailtu 20.1.2021]

## Suulliset tiedonannot

- Jokela, P. 2020. Toimitusjohtaja. Tampereen vesi. Suullinen tiedonanto jätevesien käsittelystä 12.6.2020.
- Johansson, M. 2020. Ecoloop, Ruotsi. Puhelinkeskustelu Ruotsissa toteutetuista ravinnekierron ratkaisuksista. 21.8.2020.
- Kvarnström, E. RISE Research Institutes of Sweden. Puhelinkeskustelu Ruotsissa toteutetuista ravinnekierron ratkaisuksista. 19.8.2020.
- Nummela, E. 2020. Kehityspäällikkö. Pirkanmaan jätehuolto. Suullinen tiedonanto jätehuollosta. 25.6.2020.
- Rahkonen, R. 2020. Projektiarkkitehti. Tampereen kaupunki. Sähköpostikeskustelu kaavoituksesta. 15.9.2020.
- Salmenperä, H. 2020. Erikoistutkija. Suomen ympäristökeskus. Sähköpostikeskustelu jätteenkäsittelystä 2.7.2020.
- Simha, P. 2020. Tohtorikoulutettava, Ruotsin maataloustieteellinen yliopisto (SLU), Uppsala. Suullinen tiedonanto alkalisessa haihdutusmenetelmässä käytetyn tuhkan alkuperästä 10.6.2020.

## Liite 1. Pilottikokeiden analyysien menetelmätiedot

Tämän liitteen taulukoissa on esitelty pilottikokeista otettujen näyteanalyysien menetelmätiedot seuraavasti:

<i>Pilottikoe (Sanitation 360 tai NPHarvest), näytematriisi ja analyysipaketti</i>					
<i>Analyysien tekijä eli analyysit toteuttanut tutkimuslaitos</i>					
<i>Parametrit; nimi (CAS-numero)</i>	<i>Menetelmän/tu- loksen mit- tausepävarmuus</i>	<i>(Menetelmän määrittäjä)</i>	<i>(Määrittäjä- yksikkö)</i>	<i>(Akkreditoitu)</i>	<i>Menetelmä</i>

<b>Menetelmätiedot, Sanitation 360, tuhka-kalkiseosnäytteiden orgaaniset haitta-aineet</b>					
Analyysien tekijä: Eurofins Environment Testing Finland (Lahti)					
<b>Parametrin nimi, CAS-numero (Chemical Abstract Service)</b>	Menetelmän mittaus- epävarmuus	Menetelmän määrittäjä	Määrittäjä- yksikkö	Akkreditoitu	Menetelmä
<b>Kuiva-ainepitoisuus</b>	5%(<30%) 1,5%(>30%) )	3		Kyllä	SFS 3008; SFS-ISO 11465; SFS-EN 15934
<b>Alkyyliifenolit ja etoksyalaattit</b>					
4-n-Nonyylifenoli, 104-40-5	40%	0,005	mg/kg ka	Kyllä	ISO/TS 13907 mod., ASTM D7485-16 mod., LC-MS/MS
4-Nonyylifenoli, 84852-15-3	40%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	ISO/TS 13907 mod., ASTM D7485-16 mod., LC-MS/MS
4-Nonyylifenolidietoksyyliaatti (isomeerien seos), 20427-84-3	40%	0,001	mg/kg ka	Kyllä	ISO/TS 13907 mod., ASTM D7485-16 mod., LC-MS/MS
4-Nonyylifenoliheksaeto ksy- laatti (isomeerien seos), 27177-01-1	40%	0,005	mg/kg ka	Kyllä	ISO/TS 13907 mod., ASTM D7485-16 mod., LC-MS/MS
4-Nonyylifenolimonoeto ksy- laatti (isomeerien seos), 104- 35-8	40%	0,005	mg/kg ka	Kyllä	ISO/TS 13907 mod., ASTM D7485-16 mod., LC-MS/MS
4-Nonyylifenolipentaeto ksy- laatti (isomeerien seos), 26264-02-8	40%	0,005	mg/kg ka	Kyllä	ISO/TS 13907 mod., ASTM D7485-16 mod., LC-MS/MS
4-Nonyylifenolitetraetok- syalaatti (isomeerien seos), 7311-27-5	40%	0,005	mg/kg ka	Kyllä	ISO/TS 13907 mod., ASTM D7485-16 mod., LC-MS/MS
4-Nonyylifenolitrietoksyyliaatti (isomeerien seos), 51437-95-7	40%	0,005	mg/kg ka	Kyllä	ISO/TS 13907 mod., ASTM D7485-16 mod., LC-MS/MS
4-tert-Oktyylifenoli, 140-66-9	40%	0,005	mg/kg ka	Kyllä	ISO/TS 13907 mod., ASTM D7485-16 mod., LC-MS/MS
4-tert-Oktyylifenolidieto ksy- laatti, 2315-61-9	40%	0,001	mg/kg ka	Kyllä	ISO/TS 13907 mod., ASTM D7485-16 mod., LC-MS/MS
4-tert-Oktyylifenolimono etoksyalaatti, 2315-67-5	40%	0,005	mg/kg ka	Kyllä	ISO/TS 13907 mod., ASTM D7485-16 mod., LC-MS/MS
4-tert-Oktyylifenolitrietoksy- laatti, 2315-62-0	40%	0,005	mg/kg ka	Kyllä	ISO/TS 13907 mod., ASTM D7485-16 mod., LC-MS/MS
<b>Dioksiinit ja furaanit (PCDD/F)</b>					
2,3,7,8-TetraCDD, 1746-01-6	35%	1	pg/g ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
1,2,3,7,8-PentaCDD, 40321-76-4	35%	2	pg/g ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
1,2,3,4,7,8-HeksaCDD, 39227-28-6	35%	2	pg/g ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
1,2,3,6,7,8-HeksaCDD, 57653-85-7	35%	2	pg/g ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190



1,2,3,7,8,9-HeksaCDD, 19408-74-3	35%	2	pg/g ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCD D, 35822-46-9	35%	4	pg/g ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
OktaCDD, 3268-87-9	35%	8	pg/g ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
2,3,7,8-TetraCDF, 51207-31-9	35%	1	pg/g ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
1,2,3,7,8-PentaCDF, 57117-41-6	35%	2	pg/g ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
2,3,4,7,8-PentaCDF, 57117-31-4	35%	2	pg/g ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
1,2,3,4,7,8-HeksaCDF, 70648-26-9	35%	2	pg/g ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
1,2,3,6,7,8-HeksaCDF, 57117-44-9	35%	2	pg/g ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
2,3,4,6,7,8-HeksaCDF, 60851-34-5	35%	2	pg/g ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
1,2,3,7,8,9-HeksaCDF, 72918-21-9	35%	2	pg/g ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF , 67562-39-4	35%	4	pg/g ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF , 55673-89-7	35%	4	pg/g ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
OktaCDF, 39001-02-0	35%	8	pg/g ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
I-TEQ (NATO/CCMS) alaraja			mg/kg ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
I-TEQ (NATO/CCMS) sis. 1/2 LOQ		0,0000021	mg/kg ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
I-TEQ (NATO/CCMS) yläraja		0,0000041	mg/kg ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
WHO 1998-PCDD/F TEQ alaraja			mg/kg ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
WHO(1998)-PCDD/F TEQ incl. 1/2 LOQ		0,0000026	mg/kg ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
WHO 1998-PCDD/F TEQ yläraja		0,0000051	mg/kg ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
WHO(2005)-PCDD/F TEQ alaraja			mg/kg ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
WHO(2005)-PCDD/F TEQ sis. 1/2 LOQ		0,0000023	mg/kg ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
WHO(2005)-PCDD/F TEQ yläraja		0,0000047	mg/kg ka	Kyllä	EPA 1613; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
<b>Dioksiinien kaltaiset PCB:t</b>					
PCB 77, 32598-13-3	35%	4	pg/g ka	Kyllä	EPA 1668; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
PCB 81, 70362-50-4	35%	4	pg/g ka	Kyllä	EPA 1668; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
PCB 105, 32598-14-4	35%	4	pg/g ka	Kyllä	EPA 1668; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
PCB 114, 74472-37-0	35%	4	pg/g ka	Kyllä	EPA 1668; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
PCB 118, 31508-00-6	35%	4	pg/g ka	Kyllä	EPA 1668; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
PCB 123, 65510-44-3	35%	4	pg/g ka	Kyllä	EPA 1668; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
PCB 126, 57465-28-8	35%	4	pg/g ka	Kyllä	EPA 1668; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
PCB 156, 38380-08-4	35%	4	pg/g ka	Kyllä	EPA 1668; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
PCB 157, 69782-90-7	35%	4	pg/g ka	Kyllä	EPA 1668; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
PCB 167, 52663-72-6	35%	4	pg/g ka	Kyllä	EPA 1668; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
PCB 169, 32774-16-6	35%	4	pg/g ka	Kyllä	EPA 1668; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
PCB 189, 39635-31-9	35%	4	pg/g ka	Kyllä	EPA 1668; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190

WHO(2005)-PCB TEQ alaraja			mg/kg ka	Kyllä	EPA 1668; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
WHO(2005)-PCB TEQ sis. 1/2 LOQ		0,00000026	mg/kg ka	Kyllä	EPA 1668; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
WHO(2005)-PCB TEQ yläraja		0,00000052	mg/kg ka	Kyllä	EPA 1668; SFS-ISO 13914; SFS-EN 16190
<b>Hormonit</b>					
Estradioli (17β-Estradioli), 50-28-2		0,001	mg/kg ka	Kyllä	EPA 539 mod.
Estrioli, 50-27-1		0,005	mg/kg ka	Kyllä	EPA 539 mod.
Estroni, 53-16-7		0,001	mg/kg ka	Kyllä	EPA 539 mod.
Etinyliestradioli, 57-63-6		0,001	mg/kg ka	Kyllä	EPA 539 mod.
Progesteroni, 57-83-0		0,001	mg/kg ka	Kyllä	EPA 539 mod.
Testosteroni, 58-22-0		0,001	mg/kg ka	Kyllä	EPA 539 mod.
Noretisteroni, 68-22-4	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 539 mod.
<b>Lääkeaineet</b>					
Atenololi, 29122-68-7	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Beklometasoni, 4419-39-0	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Betsafibraatti, 41859-67-0	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Bisoprololi (β-Adrenergics), 66722-44-9	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Diklofenaakki, 15307-86-5	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Doksisykliini, 564-25-0	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Enalapriili, 75847-73-3	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Entakaponi, 130929-57-6	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Felodipiini, 72509-76-3	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Fenbendatsoli, 43210-67-9	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Flubendatsoli, 31430-15-6	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Fluoksetiini, 54910-89-3	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Furosemiidi, 54-31-9	40%	0,01	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Gemifibrotsiili, 25812-30-0	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Hydroklooritiatsidi, 58-93-5	40%	0,005	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Hydrokortisoni, 50-23-7	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Ibuprofeeni, 15687-27-1	40%	0,01	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Ifosfamidi, 3778-73-2	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Iopamidoli, 60166-93-0	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Iopromidi, 73334-07-3	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Ivermektiini, 70288-86-7	40%	0,01	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Karbamatsepiini, 298-46-4	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Ketokonatsoli, 65277-42-1	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Ketoprofeeni, 22071-15-4	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Klenbuteroli, 37148-27-9	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694

Klofibrihappo, 882-09-7	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Kofeiini, 58-08-2	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Metoprololi, 37350-58-6	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Metotreksaatti, 59-05-2	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Metronidatsoli, 443-48-1	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Metyyliprednisoloni, 83-43-2	40%	0,005	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Naprokseeni, 22204-53-1	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Norfloksasiini, 70458-96-7	40%	0,01	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Ofloksasiini, 82419-36-1	40%	0,01	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Oksitetrasykliini, 79-57-2	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Parasetamoli, 103-90-2	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Paroksetiini, 61869-08-7	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Penisilliini G -bentsatiini, 1538-09-6	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Propanololi, 525-66-6	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Salbutamoli (albuteroli), 18559-94-9	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Simvastatiini, 79902-63-9	40%	0,1	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Siprofloksasiini, 85721-33-1	40%	0,01	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Sitalopraami, 59729-33-8	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Sotaloli, 3930-20-9	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Sulfametoksatsoli, 723-46-6	40%	0,01	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Syklofosfamidi, 50-18-0	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Terbutaliini, 23031-25-6	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Tetrasykliini, 60-54-8	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Trimetoprim, 738-70-5	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Tylosiini, 1401-69-0	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
Varfariini, 81-81-2	40%	0,001	mg/kg ka	Ei	EPA 1694
<b>PCB 7 yhdisteet</b>					
PCB 28, 7012-37-5	25%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15308, SFS-EN 16167
PCB 52, 35693-99-3	16%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15308, SFS-EN 16167
PCB 101, 37680-73-2	27%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15308, SFS-EN 16167
PCB 118, 31508-00-6	34%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15308, SFS-EN 16167
PCB 138, 35065-28-2	22%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15308, SFS-EN 16167
PCB 153, 35065-27-1	18%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15308, SFS-EN 16167
PCB 180, 35065-29-3	14%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15308, SFS-EN 16167
PCB-7 summa (upper bound)		0,07	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15308, SFS-EN 16167
<b>PAH EPA 16 yhdisteet</b>					
Asenafteni, 83-32-9	38%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527

Ase-naftyleeni, 208-96-8	30%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Antraseeni, 120-12-7	25%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Bentso(a)antraseeni, 56-55-3	18%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Bentso(b,j)fluoranteeni (CAS:205-99-2/205-82-3), 205-82-3 / 205-82-3	34%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Bentso(k)fluoranteeni, 207-08-9	41%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Bentso(a)pyreeni, 50-32-8	27%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Bentso(g,h,i)peryleeni, 191-24-2	32%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Dibentso(a,h)antraseeni, 53-70-3	27%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Fenantreeni, 85-01-8	27%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Fluoreeni, 86-73-7	23%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Fluoranteeni, 206-44-0	23%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Kryseeni, 218-01-9	42%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Indeno(1,2,3-cd)pyreeni, 193-39-5	22%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Naftaleeni, 91-20-3	35%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Pyreeni, 129-00-0	24%	0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Summa 16 EPA-PAH (upper bound)		0,16	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
<b>PAH laajennos</b>					
1,2-dimetyyli-naftaleeni, 573-98-8		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
1,3-, 1,7- ja 1,6-dimetyyli-naftaleeni (CAS: 575-41)		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
1,4-, 1,5- and 2,3-dimetyyli-naftaleeni (CAS: 571-5)		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
1,4,6,7-tetrametyyli-naftaleeni, 13764-18-6		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
1,8-dimetyyli-naftaleeni, 569-41-5		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
1-metyyli-antraseeni, 610-48-0		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
1-metyyli-naftaleeni, 90-12-0		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
1-metyylipyreeni, 2381-21-7		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
2,6- ja 2,7-dimetyyli-naftaleeni		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
2-metyyli-naftaleeni, 91-57-6		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
3,6-dimetyylifenantreeni, 1576-67-6		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
5-metyyliryseeni, 3697-24-3		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Bentso(c)fluoreeni, 205-12-9		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Bentso(e)pyreeni, 192-97-2		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Bifenyyli, 92-52-4		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Dibentso(a,e)pyreeni, 192-65-4		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Dibentso(a,h)pyreeni, 189-64-0		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Dibentso(a,i)pyreeni, 189-55-9		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527

Dibentso(a,l)pyreeni, 191-30-0		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Dibentsotiofeeni, 132-65-0		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Koroneeni, 191-07-1		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Peryleeni, 198-55-0		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
Syklopenta(c,d)pyreeni, 27208-37-3		0,01	mg/kg ka	Kyllä	SFS-EN 15527
<b>Perfluoratut yhdisteet (PFC)</b>					
Perfluorononaanisulfon aatti (PFNS), 68259-12-1	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533
Perfluoropentaanisulfon aatti (PFPeS), 2706-91-4	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533
Perfluorotetradekaaniha ppo (PFTA), 376-06-7	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533
Perfluorotridekaanihapp o (PFTrDA), 72629-94-8	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533
Perfluorobutaanihappo (PFBA), 375-22-4	31%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533
Perfluoropentaanihappo (PFPeA), 2706-90-3	31%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533
Perfluoroheksaanihapp o (PFHxA), 307-24-4	31%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533
Perfluoroheptaanihappo (PFHpA), 375-85-9	31%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533
Perfluoro-oktaanihappo (PFOA), 335-67-1	30%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533
Perfluorinonaanihappo (PFNA), 375-95-1	31%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533
Perfluorodekaanihappo (PFDA), 335-76-2	29%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533
Perfluoroheksadekaani happo (PFHxDA), 67905-19-5	46%	0,001	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533
Perfluoro-oktaanidekaa nihappo (PFODA), 16517-11-6	47%	0,001	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533
Perfluoro-oktaanisulfon aatti (PFOS), lineaarisen j, 1763-23-1	29%	0,0001	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533
Perfluoroundekaanihap po (PFUnA), 2058-94-8	29%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533
Perfluorodekaanihap po (PFDoA), 307-55-1	23%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533
Perfluorobutaanisulfona atti (PFBS), 375-73-5	30%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533
Perfluorodekaanisulf onaatii (PFDoS), 79780-39-5	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533
Perfluoroheksaanisulfo naatti (PFHxS), lineaarisen, 355-46-4	30%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533
Perfluoroheptaanisulfon aatti (PFHpS), 375-92-8	40%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533

Perfluorodekaanisulfon aatti (PFDS), 335-77-3	24%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod.; EPA 533
1H,1H,2H,2H-Perfluoro hexanesulfonaatti (4:2 FTS), 757124-72-4	40%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod.; EPA 533
1H,1H,2H,2H-Perfluoro-oktaanisulfonaatti (6:2 FTS), 27619-97-2	40%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod.; EPA 533
1H,1H,2H,2H-Perfluoro dekaanisulfonaatti (8:2 FTS), 39108-34-4	40%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod.; EPA 533
11-Kloorieikosafuoro-3-oksooundekaani-1-sulfon aatt, 763051-92-9	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	CEN/TS 15968, mod.; ISO 25101 Mod.; DIN 38414-14, mod.; ASTM D7968-17a, mod.; EPA 533
4,8-Diokso-3H-perfluoro nonaanihappo (ADONA), 919005-14-4	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	CEN/TS 15968, mod.; ISO 25101 Mod.; DIN 38414-14, mod.; ASTM D7968-17a, mod.; EPA 533
5H-Perfluoropentaani ppo (5H-PFPeA), 376-72-7	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	CEN/TS 15968, mod.; ISO 25101 Mod.; DIN 38414-14, mod.; ASTM D7968-17a, mod.; EPA 533
7H-Dodekafluoriheptaa ni-happo (HPFHpA), 1546-95-8	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	CEN/TS 15968, mod.; ISO 25101 Mod.; DIN 38414-14, mod.; ASTM D7968-17a, mod.; EPA 533
9H-Perfluorononaani ppo (9H-PFNA), 76-21-1	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	CEN/TS 15968, mod.; ISO 25101 Mod.; DIN 38414-14, mod.; ASTM D7968-17a, mod.; EPA 533
9-klooriheksadekafluoro -3-oksononaani-1-sulfo naatt, 756426-58-1	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	CEN/TS 15968, mod.; ISO 25101 Mod.; DIN 38414-14, mod.; ASTM D7968-17a, mod.; EPA 533
Bis(1H,1H,2H,2H-perfluoro-dekyyli)fosfaatti (8:2 D, 678-41-1)	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	CEN/TS 15968, mod.; ISO 25101 Mod.; DIN 38414-14, mod.; ASTM D7968-17a, mod.; EPA 533
Bis(1H,1H,2H,2H-perfluoro-oktyyli)fosfaatti (6:2 D, 57677-95-9)	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	CEN/TS 15968, mod.; ISO 25101 Mod.; DIN 38414-14, mod.; ASTM D7968-17a, mod.; EPA 533
Etyyliperfluoro-1-oktaan isulfonamidoetikahapp o (E, 2991-50-6)	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	CEN/TS 15968, mod.; ISO 25101 Mod.; DIN 38414-14, mod.; ASTM D7968-17a, mod.; EPA 533
Metyyliperfluoro-1-okta anisulfonamidoetikahapp o (, 2355-31-9)	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	CEN/TS 15968, mod.; ISO 25101 Mod.; DIN 38414-14, mod.; ASTM D7968-17a, mod.; EPA 533
Perfluori-3,7-dimetyyli o ktaanihappo, 172155-07-6	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	CEN/TS 15968, mod.; ISO 25101 Mod.; DIN 38414-14, mod.; ASTM D7968-17a, mod.; EPA 533
Perfluoro(2-etoksietaa ni)sulfonaatti (PFEESA), 113507-82-7	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	CEN/TS 15968, mod.; ISO 25101 Mod.; DIN 38414-14, mod.; ASTM D7968-17a, mod.; EPA 533
Perfluoro-1-oktaanisulfo namidoetikahappo (FOSAA), 2806-24-8	49%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	CEN/TS 15968, mod.; ISO 25101 Mod.; DIN 38414-14, mod.; ASTM D7968-17a, mod.; EPA 533
Perfluoro-2,5,8-trimetyyli-3,6,9-triokso-dodekaanihapp o (HF, 65294-16-8)	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	CEN/TS 15968, mod.; ISO 25101 Mod.; DIN 38414-14, mod.; ASTM D7968-17a, mod.; EPA 533
Perfluoro-2,5-dimetyyli-3,6-dioksononaanihapp o (HF, 13252-14-7)	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	CEN/TS 15968, mod.; ISO 25101 Mod.; DIN 38414-14, mod.; ASTM D7968-17a, mod.; EPA 533
Perfluoro-2-metyyli-3-oksoheksaani-happo (HFPO-DA), 13252-13-6	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	CEN/TS 15968, mod.; ISO 25101 Mod.; DIN 38414-14, mod.; ASTM D7968-17a, mod.; EPA 533
Perfluoro-3,6-dioksoheptaanihappo (NFDHA/3,6-OPFHp, 151772-58-6)	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	CEN/TS 15968, mod.; ISO 25101 Mod.; DIN 38414-14, mod.; ASTM D7968-17a, mod.; EPA 533
Perfluoro-3-metoksipropani-happo (PFMPA/PF4OPeA), 377-73-1	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	CEN/TS 15968, mod.; ISO 25101 Mod.; DIN 38414-14, mod.; ASTM D7968-17a, mod.; EPA 533
Perfluoro-4-etyyliisokloheksaanisulfonaatti (PFECHS, 335-24-0)	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	CEN/TS 15968, mod.; ISO 25101 Mod.; DIN 38414-14, mod.; ASTM D7968-17a, mod.; EPA 533
Perfluoro-4-metoksibutanihappo (PFMBA/PF5OHxA), 863090-89-5	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	CEN/TS 15968, mod.; ISO 25101 Mod.; DIN 38414-14, mod.; ASTM D7968-17a, mod.; EPA 533

Perfluorioktaanisulfona midi (PFOSA), 754-91-6	40%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533
Perfluorobutaanisulfona midi (PFBSA), 30334-69-1	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533
Perfluoro-1-heksaanisul fona-midi (FHxSA), 41997-13-1	45%	0,0005	mg/kg ka	Kyllä	DIN 38414-14, mod. ; ASTM D7968-17a, mod.; ISO 25101 Mod.; CEN/TS 15968, mod. ; EPA 533

Menetelmätiedot, Sanitation 360, tuhka-kalkkiseosnäytteiden ravinteet, mikrobiologinen laatu ja raskasmetallit		
Analyysien tekijä KVVY Tutkimus Oy (Tampere)		
Parametrin nimi	Tuloksen epävarmuus	Menetelmä
Antimoni (kiinteä, kuningasvesi)	±30%	SFS-EN ISO 17294-1;2006 ja SFS-EN ISO 17294-2;2016
*Arseeni (kiinteä, kuningasvesi)	±25%	SFS-EN ISO 17294-1;2006 ja SFS-EN ISO 17294-2;2016
*Kadmium (kiinteä, kuningasvesi)	±0,03 mg/kg ka	SFS-EN ISO 17294-1;2006 ja SFS-EN ISO 17294-2;2016
*Koboltti (kiinteä, kuningasvesi)	±30%	SFS-EN ISO 17294-1;2006 ja SFS-EN ISO 17294-2;2016
*Lyijy (kiinteä, kuningasvesi)	±30%	SFS-EN ISO 17294-1;2006 ja SFS-EN ISO 17294-2;2016
*Molybdeeni (liete,kuningasvesi)	±0,06 mg/kg ka	SFS-EN ISO 17294-1;2006 ja SFS-EN ISO 17294-2;2016
*Vanadiini (kiinteä, kuningasvesi)	±0,06 mg/kg ka	SFS-EN ISO 17294-1;2006 ja SFS-EN ISO 17294-2;2016
*Salmonella		NMKL 71:1999
Uutto maanparannusaineet		SFS-EN 13654, 2002
*Nikkeli (kiinteä, kuningasvesi)	±0,75 mg/kg ka	SFS-EN ISO 11885, 2009 (AQ haj. + ICP-OES)
*Kromi (kiinteä, kuningasvesi)	±30%	SFS-EN ISO 11885, 2009 (AQ haj. + ICP-OES)
*Sinkki (kiinteä, kuningasvesi)	±0,75 mg/kg ka	SFS-EN ISO 11885, 2009 (AQ haj. + ICP-OES)
Boori (kiinteä, kuningasvesi)		SFS-EN ISO 11885, 2009 (AQ haj. + ICP-OES)
*Kalsium (kiinteä, kuningasvesi)	±30%	SFS-EN ISO 11885, 2009 (AQ haj. + ICP-OES)
*Kupari (kiinteä, kuningasvesi)	±0,5 mg/kg ka	SFS-EN ISO 11885, 2009 (AQ haj. + ICP-OES)
Rauta (kiinteä, kuningasvesi)		SFS-EN ISO 11885, 2009 (AQ haj. + ICP-OES)
*Kalium (kiinteä, kuningasvesi)	±35%	SFS-EN ISO 11885, 2009 (AQ haj. + ICP-OES)
Kuningasvesihajotus kiinteä		SFS-EN 16174,2012; SFS-EN 13650,2002;ISO 12914,2012
Mangaani (kiinteä, kuningasvesi)		SFS-EN ISO 11885, 2009 (AQ haj. + ICP-OES)
Rikki (kiinteä, kuningasvesi)		SFS-EN ISO 11885, 2009 (AQ haj. + ICP-OES)
*Fosfori (kiinteä, kuningasvesi)	±30%	SFS-EN ISO 11885, 2009 (AQ haj. + ICP-OES)
*E. coli	Määrittämissrajien alitus	Sis. Men. Perustuu NMKL 125:2005
Laboratoriotilavuuspaino		SFS-EN 13040:2008
Liukoinen kloridi		Sis. Men. KVVY LA92 SFS-EN 13652_2002, SFS-EN ISO 10304-1:09
*Kokonaistyyppi	±0,2 g/kg ka	SFS-EN 13654-2
*Kuiva-aine	±10%	SFS 3008:1990
*Analysikosteus	±25%	SFS-EN 15934:2012 Method A
*Elohopea, Hg	Määrittämissrajien alitus	EPA 7473,2007
Magnesium (kiinteä, kuningasvesi)		SFS-EN ISO 11885, 2009 (AQ haj. + ICP-OES)

Menetelmätiedot, NPHarvest, näytteiden orgaaniset haitta-aineet				
Analysien tekijä Eurofins Environment Testing Finland (Lahti)				
Parametrin nimi, CAS-numero (Chemical Abstract Service)	Menetelmän mitausepävarmuus	Menetelmän määrittärajaja	Määrittärajajan yksikkö	Menetelmä
<b>Alkyyliifenolit ja etoksylaattit</b>				
4-n-Nonyyliifenoli, 104-40-5	36 %	0,01	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2 mod., ASTM D7485-16
4-Nonyyliifenoli, 84852-15-3	26 %	0,05	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2 mod., ASTM D7485-16
4-Nonyyliifenolidietoksylaatti (isomeerien seos), 20427-84-3	40 %	0,01	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2 mod., ASTM D7485-16
4-Nonyyliifenoliheksaetoksylaatti (isomeerien seos), 27177-01-1	37 %	0,05	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2 mod., ASTM D7485-16
4-Nonyyliifenolimonoetoksylaatti (isomeerien seos), 104-35-8	28 %	0,05	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2 mod., ASTM D7485-16
4-Nonyyliifenolipentaetoksylaatti (isomeerien seos), 26264-02-8	41 %	0,05	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2 mod., ASTM D7485-16
4-Nonyyliifenolitetraetoksylaatti (isomeerien seos), 7311-27-5	42 %	0,05	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2 mod., ASTM D7485-16
4-Nonyyliifenolitrietoksylaatti (isomeerien seos), 51437-95-7	31 %	0,01	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2 mod., ASTM D7485-16
4-tert-Oktyyliifenoli, 140-66-9	36 %	0,01	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2 mod., ASTM D7485-16
4-tert-Oktyyliifenolidietoksilaatti, 2315-61-9	20 %	0,01	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2 mod., ASTM D7485-16
4-tert-Oktyyliifenolimonoetoksilaatti, 2315-67-5	40 %	0,05	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2 mod., ASTM D7485-16
4-tert-Oktyyliifenolitrieto ksylaatti, 2315-62-0	40 %	0,05	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2 mod., ASTM D7485-16
<b>Ftalaattit</b>				
Dimetyyliiftalaatti (DMP), 131-11-3	22 %	0,02	µg/l	SFS-EN ISO 18856 mod.
Dietyyliiftalaatti, 84-66-2	18 %	0,05	µg/l	SFS-EN ISO 18856 mod.
Di-isobutyliiftalaatti (DiBP), 84-69-5	26 %	0,05	µg/l	SFS-EN ISO 18856 mod.
Dibutyliiftalaatti, 84-74-2	22 %	0,05	µg/l	SFS-EN ISO 18856 mod.
Dipentyliiftalaatti, 131-18-0	16 %	0,01	µg/l	SFS-EN ISO 18856 mod.
Diheksyyliiftalaatti (DHXP), 84-75-3	30 %	0,01	µg/l	SFS-EN ISO 18856 mod.
Butyylibentsyyliiftalaatti, 85-68-7	19 %	0,02	µg/l	SFS-EN ISO 18856 mod.
Dietyyliheksyyliiftalaatti (DEHP), 117-81-7	38 %	0,3	µg/l	SFS-EN ISO 18856 mod.
Di-n-oktyyliiftalaatti (DNOP), 117-84-0	40 %	0,01	µg/l	SFS-EN ISO 18856 mod.
Di-isononyliiftalaatti (DINP), 68515-48-0	28 %	1	µg/l	SFS-EN ISO 18856 mod.
Di-isodekyliiftalaatti (DIDP), 68515-49-1	40 %	1	µg/l	SFS-EN ISO 18856 mod.
<b>HBCDD ja TBBPA</b>				
alfa-HBCDD, 134237-50-6	29 %	0,00069	µg/l	SFS EN 16694 mod., EPA 1614 mod.
beta-HBCDD, 134237-51-7	29 %	0,00035	µg/l	SFS EN 16694 mod., EPA 1614 mod.
gamma-HBCDD, 134237-52-8	29 %	0,00046	µg/l	SFS EN 16694 mod., EPA 1614 mod.



Heksabromisyklododekaani, HBCDD (alfa,beeta,gamma), 3194-55-6	29 %	0,0015	µg/l	SFS EN 16694 mod., EPA 1614 mod.
Tetrabromibisfenoli-A (TBBPA), 79-94-7	28 %	0,0015	µg/l	SFS EN 16694 mod., EPA 1614 mod.
<b>Hormonit</b>				
Estradioli (17β-Estradioli), 50-28-2	28 %	0,005	µg/l	EPA 539
Estrioli, 50-27-1	30 %	0,005	µg/l	EPA 539
Estroni, 53-16-7	27 %	0,005	µg/l	EPA 539
Etinyyliestradioli, 57-63-6	35 %	0,001	µg/l	EPA 539
Progesteroni, 57-83-0	21 %	0,001	µg/l	EPA 539
Testosteroni, 58-22-0	45 %	0,001	µg/l	EPA 539
Levonorgestreeli, 797-63-7	35 %	0,01	µg/l	EPA 539
Noretisteroni, 68-22-4	40 %	0,02	µg/l	EPA 539
<b>Kloorifenolit</b>				
2,3,4,5-Tetrakloorifenoli, 4901-51-3	28 %	0,02	µg/l	ISO 17495 mod.; SFS-EN ISO 18857-2
2,3,4,6-Tetrakloorifenoli, 58-90-2	30 %	0,02	µg/l	ISO 17495 mod.; SFS-EN ISO 18857-2
2,3,4-Trikloorifenoli, 15950-66-0	30 %	0,02	µg/l	ISO 17495 mod.; SFS-EN ISO 18857-2
2,3,5,6-Tetrakloorifenoli, 935-95-5	28 %	0,02	µg/l	ISO 17495 mod.; SFS-EN ISO 18857-2
2,3,5-Trikloorifenoli, 933-78-8	27 %	0,02	µg/l	ISO 17495 mod.; SFS-EN ISO 18857-2
2,3,6-Trikloorifenoli, 933-75-5	25 %	0,02	µg/l	ISO 17495 mod.; SFS-EN ISO 18857-2
2,3-Dikloorifenoli, 576-24-9	24 %	0,02	µg/l	ISO 17495 mod.; SFS-EN ISO 18857-2
2,4,5-Trikloorifenoli, 95-95-4	29 %	0,02	µg/l	ISO 17495 mod.; SFS-EN ISO 18857-2
2,4,6-Trikloorifenoli, 88-06-2	28 %	0,02	µg/l	ISO 17495 mod.; SFS-EN ISO 18857-2
2,4-Dikloorifenoli, 120-83-2	21 %	0,02	µg/l	ISO 17495 mod.; SFS-EN ISO 18857-2
2,5- ja 2,6-dikloorifenoli	21 %	0,02	µg/l	ISO 17495 mod.; SFS-EN ISO 18857-2
2-Kloorifenoli, 95-57-8	30 %	0,01	µg/l	ISO 17495 mod.; SFS-EN ISO 18857-2
3,4,5-Trikloorifenoli, 609-19-8	24 %	0,02	µg/l	ISO 17495 mod.; SFS-EN ISO 18857-2
3,4-Dikloorifenoli, 95-77-2	40 %	0,02	µg/l	ISO 17495 mod.; SFS-EN ISO 18857-2
3,5-Dikloorifenoli, 591-35-5	27 %	0,02	µg/l	ISO 17495 mod.; SFS-EN ISO 18857-2
3-Kloorifenoli, 108-43-0	29 %	0,01	µg/l	ISO 17495 mod.; SFS-EN ISO 18857-2
4-Kloorifenoli, 106-48-9	29 %	0,01	µg/l	ISO 17495 mod.; SFS-EN ISO 18857-2
Pentakloorifenoli, 87-86-5	21 %	0,02	µg/l	ISO 17495 mod.; SFS-EN ISO 18857-2
<b>Muut Fenoliset yhdisteet</b>				
1,2-dihydroksibentseeni (pyrokatekoli), 120-80-9	47 %	0,25	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
1-Naftoli, 90-15-3	46 %	0,02	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
2,3,5-Trimetyylifenoli, 697-82-5	32 %	0,05	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
2,3,6-Trimetyylifenoli, 2416-94-6	41 %	0,25	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
2,3-Dimetyylifenoli, 526-75-0	36 %	0,25	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
2,3-dinitrofenoli, 66-56-8	45 %	0,25	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
2,4,6-Trimetyylifenoli, 527-60-6	44 %	0,25	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.

2,4/3,5-dimetyylifenoli	31 %	0,25	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
2,5-Dimetyylifenoli, 95-87-4	34 %	0,05	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
2,5-dinitrofenoli, 329-71-5	37 %	0,25	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
2,6-Dimetyylifenoli, 576-26-1	40 %	0,05	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
2,6-di-tert-butyylifenoli, 128-39-2	46 %	0,1	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
2-Metyylifenoli, 95-48-7	38 %	0,25	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
2-naftoli, 135-19-3	38 %	0,02	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
2-nitrofenoli, 88-75-5	36 %	0,1	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
3,4,5-Trimetyylifenoli, 527-54-8	43 %	0,05	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
3,4-Dimetyylifenoli, 95-65-8	36 %	0,05	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
3,4-dinitrofenoli, 577-71-9	45 %	0,25	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
3-Metyylifenoli, 108-39-4	40 %	0,25	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
3-nitrofenoli, 554-84-7	29 %	0,1	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
4-Etyylifenoli, 123-07-9	40 %	0,05	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
4-Kloori-2-Metyylifenoli, 1570-64-5	29 %	0,05	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
4-Kloori-3-metyylifenoli, 59-50-7	25 %	0,05	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
4-Metyylifenoli, 106-44-5	37 %	0,25	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
4-Nitrofenoli, 100-02-7	46 %	0,25	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
Bisfenoli A, 80-05-7	31 %	0,1	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
Bisfenoli F, 620-92-8	44 %	0,02	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
Fenoli, 108-95-2	41 %	0,25	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
Hydrokinoni, 123-31-9	46 %	0,5	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
m-Etyylifenoli, 620-17-7	39 %	0,05	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
Resorsinoli, 108-46-3	41 %	0,05	µg/l	SFS-EN ISO 18857-2; ISO 17495 mod.
<b>Lääkeaineet</b>				
4-Asetamidoantipyriini, 83-15-8	42 %	0,01	µg/l	EPA 1694
4-Formyyliaminoantipyriini, 1672-58-8	42 %	0,02	µg/l	EPA 1694
5-metyylibentsotriatsoli, 136-85-6	55 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Amiloridi, 2016-88-8	23 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Amiodaroni, 1951-25-3	53 %	0,02	µg/l	EPA 1694
Amlodipiini, 88150-42-9	54 %	0,2	µg/l	EPA 1694
Amoksisilliini, 26787-78-0	44 %	0,1	µg/l	EPA 1694
Ampisilliini, 69-53-4	32 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Asetanilidi, 103-84-4	38 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Atenololi, 29122-68-7	37 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Atorvastatiini, 134523-00-5	44 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Atsatiopriini, 446-86-6	25 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Atsitromysiini, 83905-01-5	47 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Beklometasoni, 4419-39-0	51 %	0,005	µg/l	EPA 1694

Bendroflumetiatsidi, 73-48-3	54 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Bentsotriatsoli, 95-14-7	45 %	0,04	µg/l	EPA 1694
Betsafibraatti, 41859-67-0	38 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Bisoprololi (β-Adrenergics), 66722-44-9	52 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Bromokriptiini, 25614-03-3	48 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Budesonidi, 51333-22-3	24 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Buspironi, 36505-84-7	50 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Dapsoni, 80-08-0	42 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Desloratadiini, 100643-71-8	41 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Diatritsoaatti (Amidotritsoaatti), 117-96-4	42 %	0,02	µg/l	EPA 1694
Diklofenaakki, 15307-86-5	46 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Doksisykliini, 564-25-0	51 %	0,02	µg/l	EPA 1694
Enalapriili, 75847-73-3	40 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Enrofloksasiini, 93106-60-6	43 %	0,02	µg/l	EPA 1694
Entakaponi, 130929-57-6	46 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Erytromysiini, 114-07-8	48 %	0,25	µg/l	EPA 1694
Febanteeli, 58306-30-2	49 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Felodipiini, 72509-76-3	55 %	0,05	µg/l	EPA 1694
Fenatsoni, 60-80-0	34 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Fenbendatsoli, 43210-67-9	33 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Flubendatsoli, 31430-15-6	47 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Fluoksetiini, 54910-89-3	26 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Flutamidi, 13311-84-7	39 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Fluvastatiini, 93957-54-1	47 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Fluvoksamiini, 54739-18-3	48 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Furosemiidi, 54-31-9	48 %	0,05	µg/l	EPA 1694
Gemifbrotsiili, 25812-30-0	50 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Glyburidi (Glibenklamidi), 10238-21-8	42 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Hydroklooritiatsidi, 58-93-5	49 %	0,05	µg/l	EPA 1694
Hydrokortisoni, 50-23-7	44 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Ibuprofeeni, 15687-27-1	44 %	0,05	µg/l	EPA 1694
Ifosfamidi, 3778-73-2	36 %	0,02	µg/l	EPA 1694
Iopamidoli, 60166-93-0	48 %	0,02	µg/l	EPA 1694
Iopromidi, 73334-07-3	46 %	0,02	µg/l	EPA 1694
Ipratropium, 60205-81-4	51 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Ivermektiini, 70288-86-7	52 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Karbamatsepiini, 298-46-4	40 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Karvediloli, 72956-09-3	55 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Ketiapiini, 111974-69-7	40 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Ketokonatsoli, 65277-42-1	43 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Ketoprofeeni, 22071-15-4	51 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Klaritromysiini, 81103-11-9	51 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Klenbuteroli, 37148-27-9	25 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Klofibrinohappo, 882-09-7	55 %	0,05	µg/l	EPA 1694

Kloksasilliini, 61-72-3	44 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Klotsapiini, 5786-21-0	28 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Kofeiini, 58-08-2	44 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Ksylometatsoliini, 526-36-3	43 %	0,001	µg/l	EPA 1694
Lamotrigiini, 84057-84-1	48 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Loratadiini, 79794-75-5	33 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Losartaani, 114798-26-4	48 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Meropeneemi, 119478-56-7	47 %	0,05	µg/l	EPA 1694
Metoprololi, 37350-58-6	46 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Metotreksaatti, 59-05-2	39 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Metronidatsoli, 443-48-1	34 %	0,02	µg/l	EPA 1694
Metyyliprednisoloni, 83-43-2	36 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Mianserini, 24219-97-4	43 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Mirtatsapiini, 61337-67-5	43 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Mometasonifuroaatti, 83919-23-7	34 %	0,02	µg/l	EPA 1694
N4-Asetyyliisulfametoksatsoli, 21312-10-7	42 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Naprokseeni, 22204-53-1	39 %	0,01	µg/l	EPA 1694
N-Demetyylierytromysiini, 992-62-1	51 %	0,2	µg/l	EPA 1694
Nelfinaviiri, 159989-64-7	55 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Nitenpyram, 150824-47-8	44 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Norfloksasiini, 70458-96-7	41 %	0,05	µg/l	EPA 1694
Ofloksasiini, 82419-36-1	44 %	0,05	µg/l	EPA 1694
Oksitetrasykliini, 79-57-2	52 %	0,05	µg/l	EPA 1694
Oksymetatsoli, 1491-59-4	51 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Parasetamoli, 103-90-2	47 %	0,02	µg/l	EPA 1694
Paroksetiini, 61869-08-7	40 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Penisilliini G-bentsatiini, 1538-09-6	49 %	0,5	µg/l	EPA 1694
Piperasilliini, 66258-76-2	38 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Pratsikvanteli, 55268-74-1	48 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Primidoni, 125-33-7	41 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Propafenoni, 54063-53-5	42 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Propanololi, 525-66-6	45 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Propyfenatsoni, 479-92-5	42 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Pyranteeli, 15686-83-6	45 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Raloksifeeni, 84449-90-1	28 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Ramipriili, 87333-19-5	33 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Risperidoni, 106266-06-2	38 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Roksitromysiini, 80214-83-1	43 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Salbutamoli (albuteroli), 18559-94-9	55 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Salmeteroli, 89365-50-4	37 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Sertraliini ja norsertraliini	48 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Setiiritsiini, 83881-51-0	45 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Simvastatiini, 79902-63-9	52 %	0,5	µg/l	EPA 1694
Siprofloksasiini, 85721-33-1	38 %	0,05	µg/l	EPA 1694
Sitalopraami, 59729-33-8	50 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Sotaloli, 3930-20-9	46 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Sulfadiatsiini, 68-35-9	33 %	0,01	µg/l	EPA 1694

Sulfamididiini (Sulfametatsiini), 57-68-1	53 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Sulfadoksiini, 2447-57-6	46 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Sulfaguanidiini, 57-67-0	53 %	0,05	µg/l	EPA 1694
Sulfameratsiini, 127-79-7	45 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Sulfametitsoli, 144-82-1	53 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Sulfametoksatsoli, 723-46-6	54 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Sulfatiatsoli, 72-14-0	40 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Syklofosfamidi, 50-18-0	32 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Tamoksifeeni, 10540-29-1	49 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Terbutaliini, 23031-25-6	43 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Tetrasykliini, 60-54-8	46 %	0,01	µg/l	EPA 1694
Toremifeeni, 89778-26-7	49 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Tramadoli, 27203-92-5	51 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Triklorkarbaani, 101-20-2	30 %	0,04	µg/l	EPA 1694
Trimetoprim, 738-70-5	45 %	0,001	µg/l	EPA 1694
Tylosiini, 1401-69-0	46 %	0,02	µg/l	EPA 1694
Varfariini, 81-81-2	40 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Venlafaksiini, 93413-69-5	51 %	0,005	µg/l	EPA 1694
Verapamiili, 52-53-9	36 %	0,005	µg/l	EPA 1694
<b>Perfluoratut yhdisteet (PFC)</b>				
Perfluorobutaanihappo (PFBA), 375-22-4	28 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
Perfluoropentaanihappo (PFPeA), 2706-90-3	21 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
Perfluoroheksaanihappo (PFHxA), 307-24-4	20 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
Perfluoroheptaanihappo (PFHpA), 375-85-9	21 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
Perfluoro-oktaanihappo (PFOA), 335-67-1	22 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
Perfluorinonaanihappo (PFNA), 375-95-1	27 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
Perfluorodekaanihappo (PFDA), 335-76-2	26 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
Perfluoroundekaanihappo (PFUnA), 2058-94-8	30 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
Perfluorododekaanihappo (PFDoA), 307-55-1	29 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
Perfluorotridekaanihappo (PFTrDA), 72629-94-8	40 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
Perfluorotetradekaanihappo (PFTA), 376-06-7	40 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
Perfluoroheksadekaanihappo (PFHxDA), 67905-19-5	40 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
Perfluoro-oktaanidekaanihappo (PFODA), 16517-11-6	40 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
Perfluorobutaanisulfonaatti (PFBS), 375-73-5	23 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
Perfluoropentaanisulfonaatti (PFPeS), 2706-91-4	40 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
Perfluoroheksaanisulfonaatti (PFHxS), 355-46-4	21 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
Perfluoroheptaanisulfonaatti (PFHpS), 375-92-8	27 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
Perfluoro-oktaanisulfonaatti (PFOS), 1763-23-1	24 %	0,0001	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533

Perfluorononaanisulfonaatti (PFNS), 68259-12-1	40 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
Perfluorodekaanisulfonaatti (PFDS), 335-77-3	36 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
Perfluorododekaanisulfonaatti (PFDoS), 79780-39-5	40 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
1H,1H,2H,2H-Perfluorohexanesulfonaatti (4:2 FTS), 757124-72-4	31 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
1H,1H,2H,2H-Perfluorooktaanisulfonaatti (6:2 FTS), 27619-97-2	31 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
1H,1H,2H,2H-Perfluorodekaanisulfonaatti (8:2 FTS), 39108-34-4	37 %	0,0005	µg/l	ISO 25101 Mod.; EPA 533
<b>Torjunta-aine GC monijäämä</b>				
2,4'-DDD, 53-19-0	36 %	0,001	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
2,4'-DDT, 789-02-6	24 %	0,001	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
2,4'-DDE, 3424-82-6	36 %	0,001	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
2,4-Dikloorifenoli, 120-83-2	22 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
4,4'-DDD, 72-54-8	38 %	0,001	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
4,4'-DDE, 72-55-9	39 %	0,001	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
4,4'-DDM, 101-76-8	41 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
4,4'-DDMU, 1022-22-6	36 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
4,4'-DDT, 50-29-3	24 %	0,001	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
4-Kloori-2-Metyylifenoli, 1570-64-5	33 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
4-Kloori-3-metyylifenoli, 59-50-7	35 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Akrinatriini, 101007-06-1	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Aldriini, 309-00-2	37 %	0,0025	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
alfa-Endosulfaani, 959-98-8	35 %	0,0025	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
alfa-HCH, 319-84-6	20 %	0,001	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
alfa-Klordaani, 5103-71-9	33 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Alletriini (-D), 584-79-2	36 %	0,1	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Antrakinoni, 84-65-1	40 %	0,01	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
beta-Endosulfaani, 33213-65-9	39 %	0,0025	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
beta-HCH, 319-85-7	28 %	0,001	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Bifenatsaatti, 149877-41-8	34 %	0,01	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Bifenoksi, 42576-02-3	31 %	0,01	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Bifentriini, 82657-04-3	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
delta-HCH, 319-86-8	28 %	0,001	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Deltametriini, 52918-63-5	39 %	0,01	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Dieldriini, 60-57-1	39 %	0,0025	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Dietyylitoluamidi (DEET), 134-62-3	24 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Diklobeniili, 1194-65-6	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Dikofoli, 115-32-2	37 %	0,001	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Endosulfaanisulfaatti, 1031-07-8	29 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Endriini, 72-20-8	38 %	0,0025	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Endriinaldehydi, 7421-93-4	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Endriiniketoni, 53494-70-5	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Epokskonatsoli, 106325-08-0	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581

Esfenvaleraatti, 66230-04-4	39 %	0,05	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Etofumesaatti, 26225-79-6	27 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Etofumesaatti-2-keto	27 %	0,01	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Etylaani (etyyli-DDD, Per-taani), 72-56-0	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Fenotriini (cis- ja trans-), 26002-80-2	40 %	0,02	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Fenvaleraatti, 51630-58-1	37 %	0,05	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Flusytrinaatti, 70124-77-5	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
gamma-HCH (Lindaani), 58-89-9	21 %	0,001	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
gamma-Klordaani, 5103-74-2	34 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
HCH (heksakloorisykloheksaani), 608-73-1	28 %	0,004	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Heksaklooribentseeni, 118-74-1	35 %	0,01	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Heksaklooributadieeni, 87-68-3	38 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Heptakloori, 76-44-8	38 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Heptaklooriepoksidi (cis), 1024-57-3	38 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Heptaklooriepoksidi (trans), 28044-83-9	35 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Isodriini, 465-73-6	37 %	0,0025	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Kaptaani, 133-06-2	39 %	0,02	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Klooribensidi, 103-17-3	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Klordekoni, 143-50-0	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Klorfensoni, 80-33-1	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Klormefossi, 24934-91-6	36 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Kloroneb, 2675-77-6	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Kloropropylaatti, 5836-10-2	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Klorotaloniili, 1897-45-6	33 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Kvintotseeni, 82-68-8	32 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
lambda-Syhalotriini, 91465-08-6	41 %	0,01	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Mepanipirim, 110235-47-7	36 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Metiokarbi, 2032-65-7	40 %	0,002	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Metoksikloori, -o,p, 30667-99-3	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Metoksikloori, -p,p, 72-43-5	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Metoksiklooriolefiini, p,p', 2132-70-9	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Metolakloori (-s), 87392-12-9	31 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Metyylitriklosaani, 4640-01-1	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Mirex, 2385-85-5	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Nonachlor, trans-, 39765-80-5	31 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Nonakloori, cis-, 5103-73-1	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Oksadiatsoni, 19666-30-9	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Oksiklordaani, 27304-13-8	35 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Pentakloorianisoli, 1825-21-4	33 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Pentaklooribentseeni, 608-93-5	35 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Permetriini, 52645-53-1	31 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581

Piperonylibutoksidi, 51-03-6	43 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Pirimikarbi, 23103-98-2	26 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Prokloratsi, 67747-09-5	40 %	0,2	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Prometryyni, 7287-19-6	14 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Pyrimetaniili, 53112-28-0	29 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Sybutryyni (Irgaroli), 28159-98-0	28 %	0,002	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Syflutriini, 68359-37-5	42 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Sypermetriini, 52315-07-8	34 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Syprodiini, 121552-61-2	35 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Tau-fluvalinaatti, 102851-06-9	37 %	0,05	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Teflutriini, 79538-32-2	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Teknatseeni, 117-18-0	35 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Terbutryyni, 886-50-0	19 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Tetradifoni, 116-29-0	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Tetrametriini, 7696-12-0	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Transflutriini, 118712-89-3	40 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Trifluraliini, 1582-09-8	33 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Triklosaani, 3380-34-5	35 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Vinklotsoliini, 50471-44-8	37 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
β-syflutriini, 1820573-27-0	42 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Permetriini, cis-, 61949-76-6	31 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581
Permetriini, trans-, 61949-77-7	31 %	0,005	µg/l	ISO 10695, ISO/TS 28581

#### Menetelmätiedot, NPHarvest, näytteiden ravinteet, mikrobiologinen laatu ja raskasmetallit

##### Analyysien tekijä KVVY Tutkimus Oy (Tampere)

Parametrin nimi	Tuloksen epävarmuus	Menetelmä
Salmonella		SFS-EN ISO 6579-1:2017
Fosfori		SFS-EN ISO 11885,2009
E. coli	Määrittäjärajan alitus	Sis. Men. Perustuu NMKL 125:2005
Antimoni	±25%	SFS-EN ISO 17294-1:2006 ja SFS-EN ISO 17294-2:2016
Esikäsittely ICP-analytiik.		
Typpihappohajotus vesi		SFS-EN ISO 15587-2,2002
Molybdeeni, (kokonainen)	Määrittäjärajan alitus	SFS-EN ISO 11885,2009, SFS-EN ISO 15587-2,2002
Boori (kokonainen)	±20%	SFS-EN ISO 11885,2009, SFS-EN ISO 15587-2,2002
Magnesium	±10%	SFS-EN ISO 11885, 2009
Kalium	±10%	SFS-EN ISO 11885, 2009
Kalsium	±13%	SFS-EN ISO 11885, 2009
Rikki (kokonainen)	±10%	SFS-EN ISO 11885, 2009, SFS-EN ISO 15587-2, 2002
Fosfori	±15%	SFS-EN ISO 11885, 2009, SFS-EN ISO 15587-2, 2002
Rikki	±10%	SFS-EN ISO 11885, 2009
Typpi	±10%	SFS 5505:1988
Kloridi	±15%	SFS-EN ISO 10304-1:2009
Boori	Määrittäjärajan alitus	SFS-EN ISO 11885, 2009
Molybdeeni (kokonais)	±15%	SFS-EN ISO 17294-1:2006 ja SFS-EN ISO 17294-2:2016



Rauta	±0,004 mg/l	SFS-EN ISO 11885, 2009
Rauta (kokonais)	±14%	SFS-EN ISO 11885, 2009, SFS-EN ISO 15587-2, 2002
Koboltti	±15%	SFS-EN ISO 17294-1;2006 ja SFS-EN ISO 17294-2;2016
Antimoni (kokonais)	Määrittärajän alitus	SFS-EN ISO 17294-1;2006 ja SFS-EN ISO 17294-2;2016
Molybdeeni	±20%	SFS-EN ISO 11885, 2009
Arseeni (kokonais)	±12,5%	SFS-EN ISO 17294-1;2006 ja SFS-EN ISO 17294-2;2016
Arseeni	±15%	SFS-EN ISO 17294-1;2006 ja SFS-EN ISO 17294-2;2016
Elohopea	Määrittärajän alitus	SFS-EN ISO 17852:2008
Kadmium	±15%	SFS-EN ISO 17294-1;2006 ja SFS-EN ISO 17294-2;2016
Kadmium (kokonais)	Määrittärajän alitus	SFS-EN ISO 17294-1;2006 ja SFS-EN ISO 17294-2;2016
Kalsium (kokonais)	±10%	SFS-EN ISO 11885, 2009, SFS-EN ISO 15587-2, 2002
Koboltti (kokonais)	Määrittärajän alitus	SFS-EN ISO 11885, 2009, SFS-EN ISO 15587-2, 2002
Kromi (kokonais)	Määrittärajän alitus	SFS-EN ISO 11885, 2009, SFS-EN ISO 15587-2, 2002
Kromi	±15%	SFS-EN ISO 11885, 2009
Kupari	±15%	SFS-EN ISO 11885, 2009
Kupari (kokonais)	±22%	SFS-EN ISO 11885, 2009, SFS-EN ISO 15587-2, 2002
Kalium (kokonais)	±12%	SFS-EN ISO 11885, 2009, SFS-EN ISO 15587-2, 2002
Lyijy (kokonais)	Määrittärajän alitus	SFS-EN ISO 17294-1;2006 ja SFS-EN ISO 17294-2;2016
Lyijy	±15%	SFS-EN ISO 17294-1;2006 ja SFS-EN ISO 17294-2;2016
Mangaani	±15%	SFS-EN ISO 11885, 2009
Mangaani (kokonais)	±0,0015 mg/l	SFS-EN ISO 11885, 2009, SFS-EN ISO 15587-2, 2002
Magnesium (kokonais)	±10%	SFS-EN ISO 11885, 2009, SFS-EN ISO 15587-2, 2002
Nikkeli (kokonais)	Määrittärajän alitus	SFS-EN ISO 11885, 2009, SFS-EN ISO 15587-2, 2002
Nikkeli	±20%	SFS-EN ISO 11885, 2009
Sinkki	±25%	SFS-EN ISO 11885, 2009
Sinkki (kokonais)	±20%	SFS-EN ISO 11885, 2009 ja SFS-EN ISO 15587-2, 2002
Vanadiini (kokonais)	Määrittärajän alitus	SFS-EN ISO 17294-1;2006 ja SFS-EN ISO 17294-2;2016
Vanadiini	±15%	SFS-EN ISO 17294-1;2006 ja SFS-EN ISO 17294-2;2016







S Y K E

ISBN 978-952-11-5356-3 (PDF)

ISBN 978-952-11-5355-6 (nid.)

ISSN 1796-1726 (verkkoy.)

ISSN 1796-1718 (pain.)