

Sara Kiho

# ASUINALUEEN RAVINTEIDEN KESTÄVÄ KIERRÄTYS

Tekniikka ja luonnontieteet  
Kandidaatintyö  
Tammikuu 2019

# TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN YLIOPISTO

Ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma

**KIHO, SARA:** Asuinalueen ravinteiden kestävä kierrätys

Kandidaatintyö, 21 sivua

Tammikuu 2019

Pääaine: Bio- ja ympäristötekniikka

Tarkastaja: Marja Palmroth ja Jukka Rintala

Avainsanat: Ravinteiden kierrätys, paikallinen jätteiden keräys, kuivakäymälä

Ravinteet luovat yhdessä auringonvalon ja veden kanssa pohjan maanviljelylle, sillä kasvit tarvitsevat ravinteita kasvamiseen ja yhteyttämiseen. Kotitalouksissa syntyvistä jätteistä eniten ravinteita sisältävät virtsa, uloste ja biojäte. Nykyisessä keskitetyssä jätteidenkäsittelyjärjestelmässä ravinnepitoiset jätteet kuljetetaan kotitalouksista asuinalueen ulkopuolelle käsiteltäviksi. Virtsa ja uloste kuljetetaan muun jäteveden mukana jätevedenpuhdistamoille ja biojätteet kuljetetaan biojätteen käsittelylaitoksille jalostettaviksi. Ravinnepitoiset jätteet voitaisiin kerätä kotitalouksista, käsitellä ja hyödyntää asuinalueella kaupunkiviljelyssä, jolloin säästettäisiin energiaa ja muita resursseja.

Tässä kirjallisuuskatsauksessa tutkittiin eri vaihtoehtoja ravinnepitoisten jätteiden keräämiseen kotitalouksista, prosessointiin ja paikalliseen hyödyntämiseen. Työn tavoitteena oli myös vertailla keskitettyä ja paikallista jätteiden keräystä. Työssä pohdittiin muun muassa: kerätäänkö kaikki jätteet yhdessä vai erikseen ja käytetäänkö kaikki jätteet ravinteiden tuottoon vai hyödynnetäänkö niitä esimerkiksi biokaasun tuottamisessa. Ravinnepitoisten jätteiden keräyksessä päädyttiin kuivakäymälöillä tai vähän huuhteluvettä käyttävillä käymälöillä keräämiseen, sillä ne eivät laimenna kerättyä jätemassaa huuhteluvedellä ja kuluttavat vähemmän energiaa kuin tavanomaiset vesikäyttöiset käymälät. Kuivakäymälöitä on monen eri tyyppisiä, ja sopivimman käymälätyypin valintaan vaikuttaa, miten jätteet prosessoidaan ja millaisesta kohteesta ne kerätään. Biojätteet voidaan kerätä ja prosessoida erikseen tai yhdessä käymäläjätteiden kanssa.

Keskitetyn ja paikallisen jätteidenkeräyksen vertailussa tarkasteltiin kolmea erilaista järjestelmää: kahta paikallista järjestelmää, ja yhtä keskitettyä järjestelmää. Toisessa paikallisessa järjestelmässä ravinteet kerätään lannoitteiksi virtsasta ja ulosteesta ja toisessa pelkästään virtsasta ja keskitetyssä järjestelmässä virtsa ja uloste kuljetetaan jätevedenpuhdistamolle ja lannoitteina käytetään keinotekoisia lannoitteita. Järjestelmiä vertailtiin muun muassa vaikutuksesta ilmastonmuutokseen ja kadmiumin kulkeutumista viljelymaahan. Keskitetyn järjestelmän energiankulutus ja vaikutuksen ilmastonmuutokseen ovat suurimmat näistä kolmesta järjestelmästä. Työssä myös laskettiin 10 000 asukkaan asuinalueen ravinne- ja energiapotentialit ja pohdittiin, millainen jätteidenkeräysjärjestelmä sopisi parhaiten työn esimerkki asuinalueelle, joka on Hiedanrantaan suunnitteilla oleva asuinalue. Hiedanrantaan valittiin järjestelmä, jossa virtsa ja uloste kerätään vakuumin käymälöillä ja biojäte yhdistetään niihin jätemyllän avulla. Kerätyt jätteet prosessoidaan niin, että saadaan struviittia ja lietettä, jotka voidaan hyödyntää ravinteina, sekä biokaasua.

## SISÄLLYS

1.	Johdanto .....	1
2.	Ravinteet kotitalouksissa.....	3
3.	Ravinteiden keräys kotitalouksista.....	4
3.1.	Keräysmenetelmiä.....	4
3.2.	Kerättyjen jätefraktioiden prosessointi .....	7
3.3.	Ravinteiden paikallinen hyödyntäminen.....	10
4.	Keskitetyn ja paikallisen jätteiden keräyksen vertailua .....	13
5.	Case: Hiedanrantaan suunnitteilla oleva asuinalue .....	17
5.1.	Tietoa asuinalueesta .....	17
5.2.	Asuinalueen ravinne- ja energiapotentiaali.....	17
6.	Yhteenveto ja johtopäätökset .....	19
	Lähteet.....	20

# 1. JOHDANTO

Ensimmäisen viemäriverkoston rakensivat nykyisen Pakistanin alueella 2600–1700 eaa. eläneet Indus-kansat. Myös antiikin roomalaisilla oli laajoja viemäriverkostoja, joista osa on säilynyt tähän päivään asti. (Lofrano ja Brown 2010) Ensimmäinen vesivessa patentoitiin kuitenkin vasta 1700-luvulla (Berndtsson & Hyvönen 2002). Kaksi vuosisataa myöhemmin, 1900-luvulla, veteen pohjautuva sanitaatiojärjestelmä levisi laajalti Eurooppaan (Lofrano ja Brown 2010). Jätevedet johdettiin usein suoraan pintavesistöihin. Pian huomattiin, että pintavesien laatu muuttui jätevesien johtamisen vuoksi ja tarvittiin uusia ratkaisuja. Viemäreiden jälkeen, ennen jätevesien laskua vesistöihin, kehitettiin jätevedenpuhdistamoita, jotka puhdistivat vettä mekaanisesti. Myöhemmin puhdistusprosessiin lisättiin biologisia ja kemiallisia puhdistusmenetelmiä. Nykypäivän jätevedenpuhdistamot tuottavat vettä, jonka vesistökuormitus on pieni. Vaikka jätevedet saadaan kuljetettua pois ja puhdistettua, veteen pohjautuva sanitaatiojärjestelmä ei ole kestävä vaihtoehto ravinteiden kierron kannalta. (Berndtsson & Hyvönen 2002)

Nykyisessä sanitaatiojärjestelmässä veden ja ravinteiden kierrätettävyys hankaloituu, kun vesi kuljettaa ihmisten virtsan ja ulosteen jätevedenpuhdistamoille. Puhdistamoilla käytetään energiaa ja kemikaaleja ravinteiden poistoon jätevedestä. (Berndtsson & Hyvönen 2002) Ravinteista typpi muunnetaan kaasumaiseksi ja fosfori saostetaan veteen liukenemattomaksi yhdisteeksi, mikä rajoittaa sen kierrätysmahdollisuuksia (Davis 2011).

Myös kotitalouksien ravinnepitoiset biojätteet kuljetetaan biojätteen käsittelylaitoksille jalostettaviksi (Särkilähti et al. 2017). Biojätettä ovat kaikki kotitalouksissa syntyvät kompostoituvat jätteet, kuten ruuantähteet ja talouspaperit. Biojäte kerätään erikseen, sillä hapettomissa olosuhteissa sen mätänee ja tuottaa metaania. Metaania ei synny, kun biojätteet kompostoidaan oikein. (Lassila & Tikanoja 2018) Esimerkiksi Helsingin alueella syntyvät biojätteet kuljetetaan Espoon Ämmässuon käsittelylaitokselle, jossa siitä valmistetaan biokaasua ja kompostia. Kompostista tehdään multaa ja biokaasu hyödynnetään sähkön ja lämmön tuotantoon. (Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2018) Keskitetty jätteidenkeräys ja pitkät kuljetusmatkat kuluttavat paljon energiaa ja muita resursseja, esimerkiksi kemikaaleja, mutta eivät juurikaan kierrätä ravinteita. (Särkilähti et al. 2017)

Ihmisten tuottama biojäte, virtsa ja uloste ovat potentiaalinen lähde kasvien ravinteeksi (Berndtsson & Hyvönen 2002). Sen sijaan, että ravinteita sisältävät jätefraktiot kuljetettaisiin jätevedenpuhdistamoille tai biojätteen käsittelylaitoksille, ne voitaisiin kerätä erikseen ja hyödyntää paikallisesti. Tässä työssä keskitytään ravinteista tyypeen (N) ja fosforiin (P). Haasteena on, miten jätteet saadaan kerättyä kotitalouksista ja mitkä jätefraktiot voidaan laadullisesti yhdistää. Tavoitteena tässä työssä on tutkia kirjallisuudesta, kuinka ravinteiden keräys voitaisiin ratkaista, ja miten ratkaisut sopisivat työn kohdealueena olevalle Hiedanrantaan suunnitteilla olevalle asuinalueelle. Työssä myös vertaillaan keskitettyä jätteiden keräystä paikalliseen jätteiden keräykseen ravinteiden kierron näkökulmasta.

Toisessa luvussa käsitellään ravinteiden kiertoa ja ravinteita kotitalouksien eri jätteissä. Kolmannessa luvussa käsitellään erilaisia vaihtoehtoja ravinteiden keräykseen kotitalouksista ja niiden käsittelyyn ja pohditaan, miten erilaiset jätefraktiot voitaisiin yhdistää. Luvussa myös esitellään ravinteiden hyödyntämismahdollisuuksia asuinalueella. Neljännessä luvussa vertaillaan keskitettyä ja paikallista ravinteidenkeräysjärjestelmää. Viidennessä luvussa pohditaan paikallista ravinnekiertoa Hiedanrantaan suunnitteilla olevalle asuinalueelle. Kuudes luku kokoaa yhteen työn tärkeimmät havainnot sekä johtopäätökset.

## 2. RAVINTEET KOTITALOUKSISSA

Ravinteet luovat yhdessä veden ja auringon energian kanssa pohjan maataloustuotannolle (Berdtsen & Hyvönen 2002). Luonnossa fosfori saadaan maaperästä ja typpi ilmakehästä. Ravinteet vapautuvat luonnossa takaisin kiertoon, kun eloperäinen aines hajoo. Ihmisten toiminta voi muuttaa luonnon ravinnekiertoa. Esimerkiksi ravinteita ei vapaudu yhtä paljon kiertoon, kun ruoka- ja viljelykasvit korjataan. (Aho et al. 2015) Raakafosfaatti, josta valmistetaan fosforilannoitteita, on listattu Euroopan unionin kriittisten raaka-aineiden listalle. Sen tuonnin riippuvuusaste on 88 % (12 % tarvittavasta fosforista tulee EU:n alueen ulkopuolelta) ja 17 % käytetystä fosforista kierrätetään. (European Commission 2017) Typeä sidotaan ilmakehästä ammoniakiksi Haber–Bosch prosessilla, joka on hyvin energiaintensiivinen prosessi. Ammoniakista valmistetaan mm. tyypilannoitteita. Ammoniakkin valmistus kattaa 2 % koko maailman energiankulutuksesta ja 1,6 % hiilidioksidipäästöistä. (Liu 2014)

Suomessa vuonna 2016 kotitaloudet tuottivat yhteensä 1 792 000 tonnia jätteitä (SVT 2016). Suomen väkiluku oli vuonna 2016 5 503 297 (SVT 2017), jolloin jätteitä syntyi noin 325,6 kg/hlö/a eli noin 900 g/hlö/d. Taulukossa 1 on koottuna kotitalouden jätteistä biojätteen, virtsan, ulosteen ja harmaan veden keskimääräiset tilavuudet sekä keskimääräiset fosfori- ja typpimäärät, jotka yksi henkilö tuottaa yhdessä vuorokaudessa. Harmaalla vedellä tarkoitetaan wc-vesiä lukuun ottamatta kaikkia kotitalouksissa syntyviä jätevesiä. Harmaita vesiä syntyy Suomessa keskimäärin 115 l/hlö/d (RIL 124-2-2004). Niiden tyyppipitoisuus on keskimäärin 26,3 mg/l ja fosforipitoisuus 7,2 mg/L (Hernandez Leal et al. 2011). Näiden tietojen avulla harmaan veden ravinnepitoisuudet on muutettu taulukkoon 1 yksikköön g/hlö/d.

*Taulukko 1: Kotitalouden jätteiden keskimääräiset ravinnepitoisuudet ja tilavuudet.*

	Yksikkö	Biojäte	Virtsa	Uloste	Harmaavesi	Yhteensä
Tilavuus	L/hlö/d	0,2 <sup>c</sup>	1,3 <sup>c</sup>	0,13 <sup>c</sup>	115 <sup>a</sup>	116,63
Kokonaisfosfori	g/hlö/d	0,2 <sup>c</sup>	1,1 <sup>c</sup>	0,5 <sup>c</sup>	0,83 <sup>b</sup>	2,63
Kokonaistyyppi	g/hlö/d	1,4 <sup>c</sup>	10,2 <sup>c</sup>	1,4 <sup>c</sup>	3,0 <sup>b</sup>	16

<sup>a</sup> RIL 124-2-2004, s. 240, <sup>b</sup> Hernández Leal et al. (2011), <sup>c</sup> Wielemaker et al. (2018)

Jätteiden tilavuudesta lähes 99 % on harmaata vettä, virtsan osuus on noin 1 % ja biojätteen ja ulosteen osuudet 0,1–0,2 % (Taulukko 1). Vaikka harmaata vettä muodostuu eniten, se sisältää suhteessa tilavuuteensa selvästi vähiten typeä ja fosforia verrattuna virtsaan, ulosteen ja biojätteeseen. Virtsa sisältää kyseisistä jätteistä eniten ravinteita: noin 42 % fosforista ja noin 64 % typestä on virtsassa (Taulukko 1).

## 3. RAVINTEIDEN KERÄYS KOTITALOUKSISTA

Tässä luvussa tarkastellaan eri vaihtoehtoja ravinteiden keräämiseen kotitalouksista ja eri jätefraktioiden yhdistämistä. Luvussa myös tarkastellaan eri jätejakeiden prosessointia ja esitetään ravinteiden hyödyntämismahdollisuuksia asuinalueella.

### 3.1. Ravinteiden keräysmenetelmiä

Ravinteiden keräys kotitalouksista suoritetaan uusien sanitaatiojärjestelmien ja biojätteen keräämisen avulla. Uudet sanitaatiojärjestelmät sisältävät ravinnepitoisten jätefraktioiden keräyksen, kuljetuksen ja hyödyntämisen. (Wielemaker et al. 2018) Tarkoituksena on kerätä ravinteet ja maanparannusaineet laimentamatta niitä harmaalla vedellä, vähentää energiankulutusta ja tarjota vaihtoehtoja jätteiden hallintaan (Berdtsso & Hyvönen 2002; Wielemaker et al. 2018). Esimerkiksi kuivakäymälä ja erotteleva sanitaatiojärjestelmä voisivat toimia uutena sanitaatiojärjestelmänä (Berdtsso & Hyvönen 2002). Erottelevassa sanitaatiojärjestelmässä kotitalouksien käymäläjäte ja harmaavesi kerätään erikseen, koska niillä on erilaiset käsittelyvaiheet ja hyödyntämismahdollisuudet (Berdtsso & Hyvönen 2002; Särkilähti et al. 2017). Virtsa sisältää eniten ravinteita (Taulukko 1), mutta sillä on pieni energiapotentiaali, joten se voidaan myös kerätä erikseen (Särkilähti et al. 2017). Uusi sanitaatiojärjestelmä vaatii muutoksia jätteiden kuljetukseen ja laitteistoon, esimerkiksi uudenlaisia käymälöitä (Berdtsso & Hyvönen 2002). Vesikäyttöiset käymälät kuluttavat enemmän energiaa ja niiden käyttökustannukset ovat suuremmat, kuin kuivakäymälöillä (Anand & Apul 2011). Seuraavissa kappaleissa kerrotaan yleisesti kuivakäymälöistä ja tarkemmin kompostoivista käymälöistä, vakuumikäymälöistä ja erottelevista käymälöistä.

Kuivakäymälät ovat yksi vaihtoehto uudeksi sanitaatiojärjestelmäksi. Kuivakäymälöissä asukkaiden käymäläjätteet voidaan kerätä ilman vettä, pienellä määrällä huuhteluvettä (noin 0,47 L per huuhtelu) tai biohajoavalla saippuavaahdolla (noin 0,17 L per huuhtelu). Kuivakäymälä voi olla myös sähköinen, jolloin käymäläjätteet voidaan kerätä vakuumin avulla. (Anand & Apul 2014)

Kompostoivissa käymälöissä on kaksi keskeistä osaa: wc-istuin ja kompostointisäiliö (Anand & Apul 2014). Wc-istuin on yhdistetty kompostoivaan säiliöön, jossa käymäläjätteet prosessoidaan (Berdtsso & Hyvönen 2002; Anand & Apul 2014). Kompostoivissa käymälöissä on myös usein hajujen vähentämiseen venttiili, joka johtaa ilmaa huoneesta säiliöön, ja ilmanvaihtoputki, joka johtaa ulkoa ilmaa säiliöön.

Kompostointisäiliössä on usein putki viemäriin, jonka kautta liialliset syntyvät nesteet johdetaan pois ja luokkujä, joiden kautta komposti voidaan tyhjentää. Kompostoivissa käymälöissä säiliön sisällä voi olla yksi tai useampia kammioita. Useamman kammion käymälässä tuore jätemassa ei sekoitu kompostoituu jätemassaan, kuten yksikkämioisessa käymälässä tapahtuu. Sähköisessä käymälässä järjestelmässä voi olla lämmittävä osa, jonka avulla pidetään sopivaa lämpötilaa yllä ja ylimääräiset nesteet haihdutetaan. (Anand & Apul 2014)

Vakuumikäymälä, joka käyttää vähän huuhteluvettä (esimerkiksi 0,5 L per huuhtelu) voisi myös toimia uutena sanitaatiojärjestelmänä. Käymäläjätteet kerätään vakuumijärjestelmän avulla muusta jätevedestä erikseen. (Spångberg et al. 2014) Vakuumin ansiosta käymäläjätteet liikkuvat helpommin putkissa (Anand & Apul 2014). Jätteet johdetaan putkien välityksellä paikallisiin jätevesisäiliöihin, jotka sijaitsevat esimerkiksi viljelymaan lähellä. Jätevesisäiliöitä täytetään ja tyhjenetään vuorotellen siten, että käymäläjätteitä pystytään keräämään, säilömään ja käyttämään yhtä aikaa. Jokainen jätevesisäiliö tyhjenetään esimerkiksi kaksi kertaa vuodessa. (Spångberg et al. 2014)

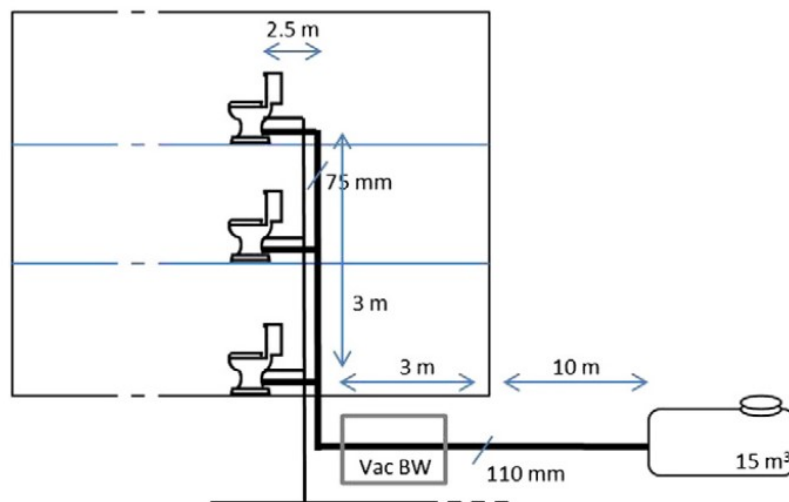
Virtsa ja uloste voidaan myös kerätä erikseen erottelevalla vakuumikäymälällä (Spångberg et al. 2014) käyttämällä erottelevaa wc-istuinta (Kuva 1). Virtsa kerätään istuimen etuosalla erikseen ja ulosteet istuimen takaosan avulla. (Anand & Apul 2014) Käymälä kuluttaa huuhteluvettä noin 0,4 L/hlö/d virtsalle ja noin 3,9 L/hlö/d ulosteelle. Noin 25 % virtsasta kulkeutuu ulosteen mukaan ja 75 % saadaan kerättyä erikseen. Erikseen kerätty virtsa johdetaan säiliöihin, joista jokainen tyhjäetään esimerkiksi kerran vuodessa. Virtsa pitää säilöä hygienisoinnin takia vähintään 6 kuukautta ennen sen käyttöä lannoitteena. Säiliöitä täytetään ja tyhjenetään samaan tapaan kuin vakuumikäymälää käyttävässä järjestelmässä. (Spångberg et al. 2014)





*Kuva 1: Esimerkki erottelevasta wc-istuimesta (Anand & Apul 2014).*

Vakuumikäymälässä ja erottelevassa vakuumikäymälässä jätteet kerätään kotitalouksista asutuksen lähelle säiliöön (Kuva 2). Jätteet kerätään vakuumijärjestelmän avulla, joka on sijoitettu jätevesisäiliön läheisyyteen, mutta ei ole yhteydessä suoraan säiliöön. Asuntoihin tulee kaksi putkea: yksi jätteiden kuljetukseen ja toinen huuhteluveden kuljetukseen. Wc-istuimet sijoitetaan päällekkäin eri kerroksissa. (Spångberg et al. 2014)



*Kuva 2: Vakuumijärjestelmä kolmikerroksisessa talossa. Paksumpi musta viiva esittää jätteiden kuljetus putkia ja ohuempi musta viiva huuhteluveden kuljetusputkia. "Vac BW" on vakuumijärjestelmä. Mitat ovat esimerkki, kuinka järjestelmä voisi sijoittua kolmikerroksiseen taloon. (Spångberg et al. 2014)*

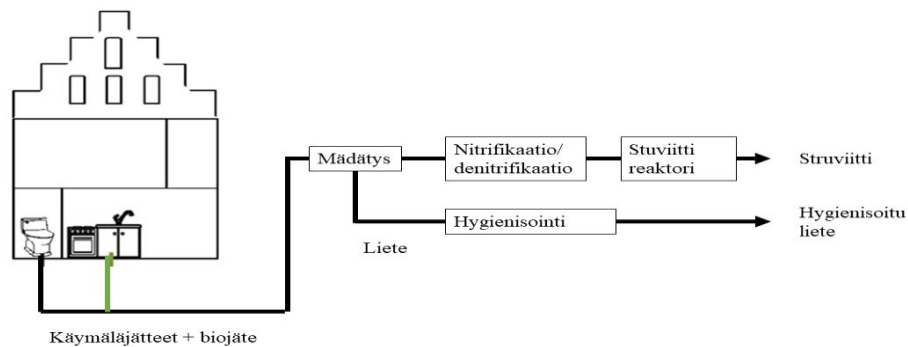
Biojätteiden keräysmenetelmät kotitalouksista riippuu niiden halutusta hyödyntämistavasta. Ne voidaan kerätä kotitalouksista käymäläjätteiden sekaan jätemyllin avulla, jolloin ne prosessoidaan samalla tavalla. Biojätteet voidaan

vaihtoehtoisesti kerätä erikseen, jos ne halutaan hyödyntää esimerkiksi kompostina. (Wielemaker et al. 2018)

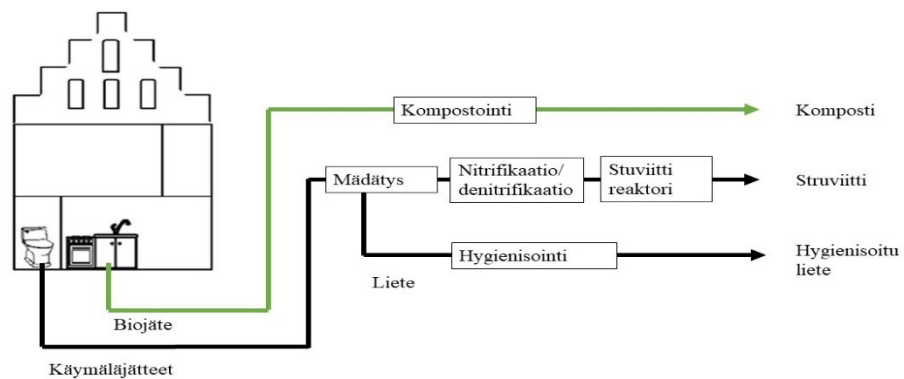
### 3.2. Kerättyjen jätefraktioiden prosessointi

Kotitalouksien eri jätefraktiot voidaan kerätä ja prosessoida eri tavoilla. Seuraavaksi vertaillaan neljää erilaista järjestelmää, joilla eri jätteet voidaan kerätä, yhdistää ja prosessoida (Kuvat 3 ja 4). Järjestelmät sisältävät samoja käsittelyvaiheita, mutta keräyslaitteet eroavat toisistaan. Kahdessa järjestelmässä käytetään vakuumikäymälöitä, joissa huuhteluun käytetään 1 L vettä (järjestelmät 1 ja 2) ja kahdessa muussa järjestelmässä käytetään erottelevia vakuumikäymälöitä, joissa huuhteluun käytetään 0,2 L vettä (järjestelmät 3 ja 4). Biojäte kerätään jätemyllyn avulla käymäläjätteiden sekaan (järjestelmät 1 ja 3) tai biojätteet kerätään erikseen (järjestelmät 2 ja 4). (Wielemaker et al. 2018)

Järjestelmä 1

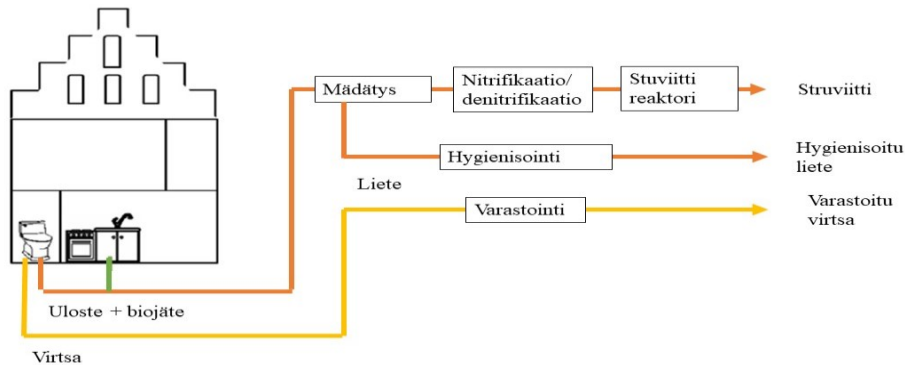


Järjestelmä 2

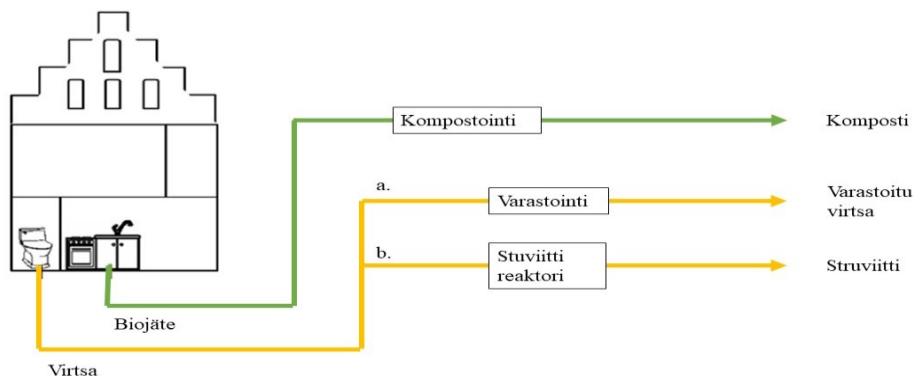


**Kuva 3:** Keräysjärjestelmät, joissa käymäläjätteet kerätään yhdessä, toisessa biojäte kerätään käymäläjätteiden kanssa (järjestelmä1) ja toisessa biojäte kerätään erikseen (järjestelmä 2) (muokattu lähteestä Wielemaker et al. 2018).

Järjestelmä 3



Järjestelmä 4



**Kuva 4:** Keräysjärjestelmät, joissa virtsa kerätään erikseen. Toisessa järjestelmässä biojäte kerätään ulosteen kanssa (järjestelmä 3) ja toisessa ulostetta ei kerätä ja biojäte kerätään erikseen (järjestelmä 4) (muokattu lähteestä Wielemaker et al. 2018).

Kun käymäläjätteet ja biojätteet kerätään yhteen (Kuva 3, järjestelmä 1), jätefraktion ensimmäinen käsittelyvaihe (Kuvassa 3 mädätys) on anaerobinen UASB-reaktori (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor), jossa tapahtuu mädätys sekä liete ja neste erotetaan toisistaan (Chong et al. 2012; Wielemaker et al. 2018). Reaktorissa jätteistä syntyy 10 L CH<sub>4</sub>/hlö/d metaania. Erotettu liete johdetaan termiseen hygienesointiin. Lietteen typpipitoisuus oletetaan samaksi, kuin puhdistamo lietteessä ja fosforipitoisuus yhtä suuri kuin kompostissa. Muu jätemassa UASB:sta jatkaa OLAND-prosessiin (Oxygen-limited autotrophic nitrification and denitrification), jossa nitrifikaatiolla ja denitrifikaatiolla poistetaan vedestä typpeä. (Wielemaker et al. 2018) Viimeisenä käsittelyvaiheena on struviittireaktori, josta saadaan struviittia eli ammoniummagnesiumfosfaattia (NH<sub>4</sub>MgPO<sub>4</sub>) saostamalla, kun reaktoriin lisätään magnesiumkloridia (MgCl<sub>2</sub>) (Wang et al. 2015; Wielemaker et al. 2018). Struviitissa on typpeä ja fosforia suhteessa 1:1, koska virtsa sisältää typpeä ja fosforia suhteessa 20:1, vain 3 % typpeä voidaan hyödyntää struviitin valmistuksessa. Loput typpeä jää

efluenttiin. Järjestelmällä saadaan struviittia ja hygienisoitua lietettä. (Wielemaker et al. 2018)

Järjestelmässä, jossa biojäte kerätään erikseen käymäläjätteistä (Kuva 3, järjestelmä 2), käymäläjätteillä on samat käsittelyvaiheet kuin järjestelmässä, jossa ne kerätään erikseen (järjestelmä 1). Erikseen kerätyt biojätteet kompostoidaan, jolloin järjestelmästä saadaan struviitin ja hygienisoidun lietteen lisäksi kompostia. Biojätteet kompostoidaan aumoissa, jolloin pystytään säätämään lämpötilaa, kosteutta ja pH:ta syöttämällä ilmaa kompostin läpi. (Wielemaker et al. 2018)

Järjestelmässä, jossa virtsa kerätään erikseen ja varastoidaan (Kuva 4, järjestelmä 3), uloste ja biojäte kerätään yhdessä ja käsitellään samalla tavalla, kuin järjestelmässä, jossa kaikki jätteet kerätään yhdessä (järjestelmä 1). Järjestelmällä saadaan lietteen ja struviitin lisäksi varastoitua virtsaa. (Wielemaker et al. 2018)

Keräysjärjestelmässä (Kuva 4, järjestelmä 4), jossa biojäte kerätään erikseen ja ulostetta ei kerätä ravinteiden kierrätystä varten, vaan se johdetaan jätevedenpuhdistamolle. Biojätteet käsitellään myös kompostoimalla, jolloin saadaan kompostia. Virtsa kerätään erikseen, sen käsittelylle on kaksi eri vaihtoehtoa. Virta voidaan varastoida (järjestelmä 4 a), jolloin saadaan varastoitua virtsaa, tai johtaa struviitti reaktoriin (järjestelmä 4 b), jolloin saadaan struviittia. Varastoinnissa virtsa kerätään tiivistettyyn säiliöön kaasumaisen ammoniakkin ( $\text{NH}_3$ ) häviöiden välttämiseksi. Typen häviöt vuositasona ovat 0,02 kg  $\text{NH}_3$  tuhatta asukasta kohti. Virtsan varastoinnilla jätefraktioista saadaan suurempi osa tuestä kerättyä verrattuna muihin käsittelytapoihin. Virtsaa säilötään 6 kuukautta tai kauemmin hygienisoinnin takia. (Wielemaker et al. 2018)

### **3.3. Ravinteiden paikallinen hyödyntäminen**

Neljän erilaisen järjestelmän (järjestelmät 1-4) omavaraisuusasteet typen ja fosforin suhteen on laskettu, kun kerätyt ravinteet käytetään yhdellä hehtaarilla kaupunkiviljelyä (Taulukko 2). Omavaraisuusaste (SSI, Self-Sufficiency Index) on laskettu kierrätettyjen ravinteiden määrän suhteella optimoituun ravinteiden tarpeeseen. Omavaraisuusastetta laskiessa on oletettu fosforin omavaraisuusasteeksi 100%, josta on laskettu asukkaiden määrä, joka tarvitaan tuottamaan riittävä määrä ravinteita yhden hehtaarin alueelle kyseisellä omavaraisuusasteella. Sen jälkeen on laskettu saadun typen omavaraisuusaste. (Wielemaker et al. 2018)

**Taulukko 2:** Keräysjärjestelmien omavaraisuusasteet typen ja fosforin suhteen maanviljelyssä. Järjestelmät on kuvattu niistä saatavilla tuotteilla. (Wielemaker et al. 2018)

	Struviitti, liete	Komposti, struviitti, liete	Struviitti, liete, virtsa	Komposti, virtsa	Komposti, struviitti
Tarvittava asukkaiden määrä	11	11,7	26,2	226,4	19,5
Syntyvä typpi [kg/ha]	52,5	55,0	124,4	737,9	63,5
Syntyvä fosfori [kg/ha]	7,6	7,9	18,2	80,6	7,0
Omavaraisuusaste hitaasti vapautuva typpi [%]	17	17	14	30	19
Omavaraisuusaste hitaasti vapautuva fosfori [%]	100	100	100	100	100
Omavaraisuusaste nopeasti vapautuva typpi [%]	(ei tuota)	(ei tuota)	79	79	(ei määritetty)
Omavaraisuusaste nopeasti vapautuva fosfori [%]	(ei tuota)	(ei tuota)	100	100	(ei määritetty)

Paras omavaraisuusaste hitaasti vapautuvalle typelle saadaan, kun biojätteet kerätään erikseen ja virtsa säilötään (järjestelmä 4a), mutta se vaatii 10 kertaa enemmän asukkaita/hehtaari, kuin esimerkiksi virtsan erillään ulosteesta ja biojätteestä keräämisessä (järjestelmä 3). Muuten hitaasti vapautuvan typen omavaraisuusasteet olivat lähellä toisiaan. Nopeasti vapautuvalle typelle ja fosforille saatiin määritettyä omavaraisuusasteet vain, kun virtsa kerättiin erikseen biojätteestä ja ulosteesta (järjestelmä 3) ja kun virtsa ja biojätteet kerättiin erikseen (järjestelmä 4 a). (Wielemaker et al. 2018)

Kotitalouksista kerätyistä jätteistä saadaan prosessoitua erilaisia ravinteiksi kelpavia materiaaleja. Kaikkia jätefraktioita (biojäte, virtsa ja uloste) voidaan käyttää ravinteiden lähteenä tai esimerkiksi pelkästään virtsaa voidaan käyttää lannoitteena ja uloste voidaan kuljettaa jätevedenpuhdistamolle tai esimerkiksi käyttää biokaasun tuottoon mädättämällä se muun muassa biojätteiden kanssa (Spångberg et al. 2014; Särkilähti et al. 2017).

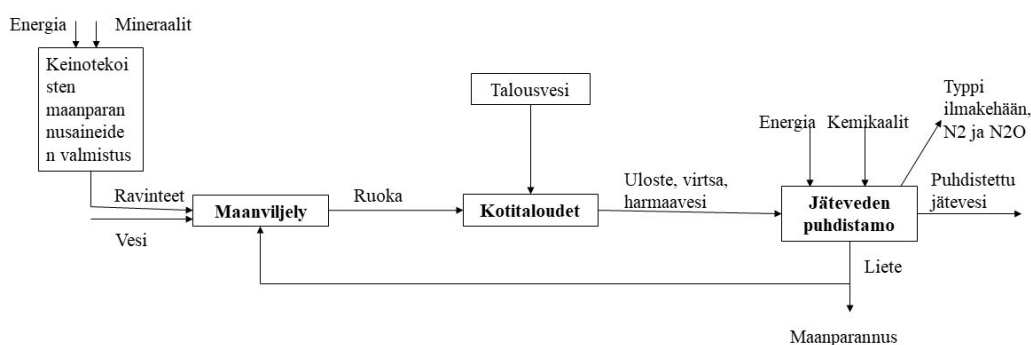
Kaupungeissa asuinalueella voidaan harjoittaa kaupunkiviljelyä. Sillä tarkoitetaan paikallista ruuan tuottoa kaupungeissa. (Wielemaker et al. 2016) Kaupunkiviljelyä voidaan toteuttaa monella tavalla, esimerkiksi viherkatot, koti-, koulu ja yhteisöpuutarhat ja siirtolapuutarhat ovat kaupunkiviljelyn muotoja. Kaupunkiviljelyä voi harjoittaa monessa mittakaavassa, parvekkeella viljelystä suuriin maatiloihin. (Ferreira et al. 2018)

Jätteidenkeräysmenetelmän valinta riippuu kohteesta ja siitä, mitä kerätyistä jätteistä halutaan valmistaa. Esimerkiksi kerrostaloista ravinnepitoiset jätteet voitaisiin kerätä yhteen vakuumikäymälällä ja biojätteet voitaisiin kerätä käymäläjätteiden sekaan jätemyllyn avulla tai kerätä erikseen ja kompostoida. Omakotitaloissa sanitaatiojärjestelmänä voisi toimia esimerkiksi kompostoiva kuivakäymälä, ja asukkaat voisivat käyttää kerätyt ravinnepitoiset jätteet esimerkiksi omalla kasvimaalla lannoitteena. Biojätteet voitaisiin kerätä erikseen, kompostoida ja komposti käyttää lannoitteena esimerkiksi puistoissa.

## 4. KESKITETYN JA PAIKALLISEN JÄTTEIDEN KERÄYKSEN JA KÄSITTELYN VERTAILUA

Tässä luvussa vertaillaan keskitettyä ja paikallista jätteiden keräystä ravinteiden kierron näkökulmasta. Luvussa myös vertaillaan kolmea erilaista jätteiden keräysjärjestelmää muun muassa verraten vaikutuksia ilmastonmuutokseen ja kadmium kulkeutumisella viljelymaahan.

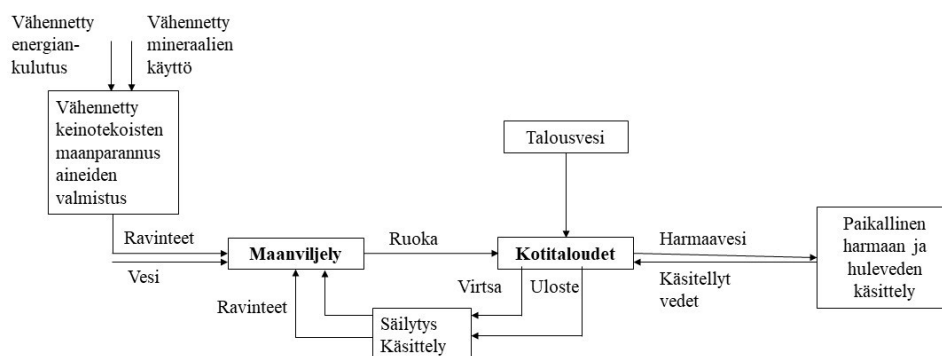
Nykyisessä keskitetyssä sanitaatiojärjestelmässä ravinteet kulkevat niiden valmistuksesta maanviljelyyn ja kotitalouksien kautta jätevedenpuhdistamoille, joissa ne poistetaan kierrosta (Kuva 5). Ravinteet valmistetaan mineraaleista ja niitä käytetään maataloudessa ruuantuotantoon. Maatalous tuottaa kotitalouksille ruokaa ja syntyvät jätteet kulkeutuvat talousveden laimentamina jätevedenpuhdistamolle. Puhdistamolla kemikaalien ja energian avulla vedestä poistetaan lietettä, joka voi sisältää raskasmetalleja ja haitallisia yhdisteitä. Lopulta lietettä käytetään maanparannusaineena ja lannoitteena, ja puhdistettu vesi johdetaan pintavesistöihin. (Berdtsso & Hyvönen 2002)



*Kuva 5: Ravinteiden lineaarinen kierto kaupunkiympäristön läpi (muokattu lähteestä Berdtsso & Hyvönen 2002).*

Ravinteiden kierrätystä kaupunkiympäristössä voitaisiin tehostaa uudella sanitaatiojärjestelmällä (Kuva 6). Uusilla sanitaatiojärjestelmillä jätteiden kuljetus

pyritään minimoimaan, jolloin paikallinen jätteiden keräys, käsittely ja hyödyntäminen ovat päämäärä. (Wielemaker et al. 2018) Uudessa järjestelmässä ravinteita sisältäviä jätteitä ei sekoiteta harmaan veden kanssa tai kuljeteta jätevedenpuhdistamolle, kuten ensimmäisessä järjestelmässä, vaan eri jätefraktiot kerätään erikseen, käsitellään paikallisesti ja hyödynnetään maataloudessa. (Berdtsso & Hyvönen 2002) Esimerkiksi virtsasta voitaisiin kerätä ravinteet ja anaerobisessa mädätyksessä käsiteltävät jätteet voitaisiin käyttää viljelyssä kasvien energiaksi. Mädätyksessä syntyvää biokaasua voidaan käyttää paikallisesti esimerkiksi kotitalouksien kaasuliesissä tai ajoneuvojen polttoaineena tai se voitaisiin johtaa kaasuvekkoon. (Särkilähti et al. 2017) Keskitettyyn järjestelmään verrattaessa paikallisessa järjestelmässä keinotekoisia maanparannusaineita tuotetaan vähemmän, sillä virtsasta ja ulosteesta saadut ravinteet kierrätetään maanviljelyn käyttöön, jolloin keinotekoisien maanparannusaineiden tarve vähenee. (Berdtsso & Hyvönen 2002) Myös harmaat vedet käsitellään paikallisesti ja puhdistettu vesi käytetään mahdollisesti uudelleen esimerkiksi kasvihuoneiden kasteluvetenä tai käymälöiden huuhteluvetenä (Berdtsso & Hyvönen 2002; Särkilähti et al. 2017).



**Kuva 6:** Ravinteiden kierrätystä kaupunkiympäristössä (muokattu lähteestä Berdtsso & Hyvönen 2002).

Spångberg et al. (2014) tutkimuksessaan vertaili kolmen eri sanitaatiojärjestelmän käyttöä Tukholmassa, Ruotsissa. Paikallinen järjestelmä, jossa ravinteet kierrätetään virtsasta ja ulosteesta lannoitteeksi (käymäläjätejärjestelmä). Ravinteiden keräykseen käytetään vakuumikäymälää, joka käyttää 0,5 L huuhteluvettä. Kerätyt ravinteet hyödynnetään paikallisesti maanviljelyssä. Keskitetyssä järjestelmässä virtsa ja uloste johdetaan jätevedenpuhdistamolle ja lannoitteina käytetään keinotekoisia lannoitteita



(keskitettyjärjestelmä). Toisessa paikallisessa järjestelmässä vain virtsasta kerätään ravinteet lannoitteeksi paikalliseen käyttöön ja uloste johdetaan jäteveden puhdistamolle muiden jätevesien mukana (virtsaajärjestelmä). Ravinteiden keräämiseen käytetään erotteluvaa vakuumikäymälää, joka kerää noin 75 % virtsasta erikseen. Paikallisissa järjestelmissä kerätyt jätteet johdetaan säiliöihin. Tutkimuksessa oletettiin paikallisten järjestelmien asentamisen kolmikerroksiseen taloon, jonka jokaisessa kerroksessa on kolme asuntoa ja jokaisessa asunnossa kaksi asukasta, eli yhteensä 18 asukasta per järjestelmä. (Spångberg et al. 2014)

Käymäläjätteissä tyyppiä on suhteessa fosforiin noin 7:1 (Taulukko 1). Tutkimuksessa verrattiin järjestelmien energian kulutusta ja vaikutuksia ilmaston lämpenemiseen GWP:n (global warming potential) avulla eli suhteutettuna hiilidioksidin vaikutukseen ilmaston lämpenemiseen. GWP:n laskemisessa on käytetty sadan vuoden vaikutusta. Järjestelmiä verrattiin myös rehevöitymis- ( $\text{PO}_4^{3-}$ , fosfaattiekvivalentti) ja happamoitumispotentiaalien ( $\text{SO}_2^-$ , sulfaattiekvivalentti) avulla sekä kadmiumin kulkeutumisessa viljelymaahan. Rehevöitymispotentiaalilla kuvataan vaikutuksia rehevöitymiseen suhteutettuna fosfaatin vaikutuksiin ja happamoitumispotentiaalilla vaikutuksia happamoitumiseen suhteutettuna sulfaatin vaikutuksiin. Arvot on koottu jokaiselle järjestelmälle taulukkoon 4. Paikallisten järjestelmien kohdalla on otettu huomioon, että järjestelmän osia ja työkoneita vaihdetaan tietyn väliajoin. (Spångberg et al. 2014)

**Taulukko 4:** Järjestelmien 1-3 GWP, rehevöitymis- ja happamoitumispotentiaalit, sekä kadmiumin kulkeutuminen viljelymaahan (Spångberg et al. 2014).

Järjestelmä	Energian- kulutus [MJ/1kgN]	GWP [kg CO <sub>2</sub> - eq/1kgN]	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> [g PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> - eq/1kgN]	SO <sub>2</sub> <sup>-</sup> [kg SO <sub>2</sub> - eq/1kgN]	Kadmium [mg Cd/ 1kgN]
Käymäläjätteet	59	9,9	73	0,33	1,7
Keskitetty	219	16	5	0,04	0,5
Virtsa	67	9,5	46	0,21	0,2

Käymäläjätejärjestelmä kuluttaa vähiten energiaa, virtsaajärjestelmä kuluttaa 8 MJ/1kgN enemmän, ja keskitettyjärjestelmä kuluttaa lähes 4 kertaa enemmän energiaa kuin käymäläjätejärjestelmä (Taulukko 4). Tutkimuksen mukaan käymäläjätejärjestelmässä eniten energiaa kulutti järjestelmän asentaminen. Myös virtsaajärjestelmässä järjestelmän asentaminen kulutti toiseksi eniten energiaa jäteveden puhdistuksen jälkeen. Keskitetyssä järjestelmässä 78 % energiankulutuksesta syntyi jätevedenpuhdistamisesta. (Spångberg et al. 2014)

Keskitetyn järjestelmän vaikutukset ilmaston lämpenemiseen (GWP) ovat lähes 2 kertaa suuremmat, kuin paikallisilla järjestelmillä (Taulukko 4). Tutkimuksen mukaan paikallisissa järjestelmissä suurin vaikutus GWP-arvoon oli lannoitteiden levittämisen

jälkeen tapahtuva dityppioksidin ( $N_2O$ ) emissio. Toiseksi suurin tekijä paikallisissa järjestelmissä oli tutkimuksen mukaan keräysjärjestelmät. Keskitetyssä järjestelmässä noin 48 % GWP-arvosta muodostui jätevedenpuhdistamisesta ja dityppioksidin emissio aiheutti noin 30 % GWP-arvosta. (Spångberg et al. 2014)

Rehevöitymispotentiaali ovat paikallisissa järjestelmissä on noin 90 % prosenttia suuremmat, kuin keskitetyssä järjestelmässä (Taulukko 4). Suuremman rehevöitymispotentiaaloin aiheuttavat lannoitteiden levittäminen ja varastoinnissa tapahtuva ammoniakkin emissio. Käymäläjätejärjestelmällä on suurempi rehevöitymispotentiaali kuin virtsajärjestelmällä, koska varastointiaika on pidempi käymäläjätteillä kuin pelkällä virtsalla. Happamoitumispotentiaalit ovat paikallisilla järjestelmillä myös suurempia ammoniakkin emission takia. (Spångberg et al. 2014)

Kadmiumin kulkeutuminen viljelymaahan on pienin virtsajärjestelmällä ja yli 1 mg Cd/1kgN suurempi käymäläjätejärjestelmällä kuin muilla järjestelmällä (Taulukko 4). Suurempi kadmiumin määrä johtuu lähes kokonaan ulosteesta. Keskitetyn järjestelmän kadmiumin määrä johtuu pelkästään raakafosfaatista. Virtsajärjestelmällä kadmiumin määrä syntyy lähes kokonaan raakafosfaatista ja pieni osa virtsasta. (Spångberg et al. 2014)

Ravinteiden kierron näkökulmasta paikalliset järjestelmät ovat paremmat, sillä keskitetyssä järjestelmässä ravinteiden kierto on vähäisempää, keskitetty järjestelmä kuluttaa myös enemmän energiaa ja sen vaikutukset ilmastonmuutokseen ovat suuremmat. Järjestelmä, jossa virtsasta kerätään ravinteet ja uloste kuljetetaan jätevedenpuhdistamolle, kuluttaa enemmän energiaa kuin järjestelmä, jossa virtsa ja uloste käytetään lannoitteena, mutta GWP:n, rehevöitymisen, happamoitumisen ja kadmiumin johtumisen arvot ovat paremmat. Erot paikallisten järjestelmien arvojen välillä ovat kuitenkin pieniä, ja ravinteiden kierron näkökulmasta järjestelmä, jossa sekä virtsa ja uloste kierrätetään, on parempi, sillä suurempi osa ravinnepitoisista jätteistä käytetään lannoitteena. Biojätteet voitaisiin kerätä käymäläjätteiden sekaan, tällöin kerätyt jätteet voitaisiin prosessoida yhdessä.

## **5. CASE: HIEDANRANTAAN SUUNNITTEILLA OLEVA ASUINALUE**

Tässä luvussa sovelletaan työn teoriaa Hiedanrantaan suunnitella olevan asuinalueen avulla. Luvussa kerrotaan ensin Hiedanrannasta. Asuinalueelle mietitään sopivaa keräysjärjestelmää ja lopuksi tarkastellaan ravinne- ja energiapotentiaaleja.

### **5.1. Tietoa asuinalueesta**

Hiedanranta on länsi-Tampereella sijaitseva kaupunginosa, jonka Tampereen kaupunki hankki vuonna 2014. Hiedanranta on entinen teollisuusalue. Sinne suunnitellaan koteja 25 000 asukkaalle ja työpaikkoja 10 000 työntekijälle. Alueen rakentaminen on suunniteltu aloitettavan vuonna 2020. Ja alueen on arvioitu valmistuvan vuoteen 2045 mennessä. (Tampereen kaupunki)

Hiedanrannasta tavoitellaan uutta älykästä ja kestävästä kaupunginosaa, jossa hyödynnetään uusia digitaalisia ratkaisuja. Älykäs kaupunkikehitys, kokeilut, resurssitehokkuus ja kiertotalous ovat keskeisessä roolissa kaupunginosan suunnittelussa. (Tampereen kaupunki)

### **5.2. Asuinalueen ravinne- ja energiapotentiaali**

Asuinalueella ravinnepitoiset jätteet voitaisiin kerätä vakuumikäymälöillä ja biojätteet voidaan yhdistää niihin jätemyllyn avulla. Kerätyt jätteet voitaisiin prosessoida UASB-reaktorissa, jossa syntyy metaania ja lietteestä erotetaan neste. Erotettu liete hygienisoidaan termisesti ja muu jätemassa johdetaan OLAND-prosessiin. Viimeisenä käsittelyvaiheena olisi struviitti-reaktori. Saadut tuotteet (liete ja struviitti) käytettäisiin asuinalueella ravinteina esimerkiksi viljelyssä. (Wielemaker et al. 2018)

Lasketaan ravinne- ja energiapotentiaalien laskeminen asuinalueella 10 000 asukkaalle, sillä Hiedanrannan asuinalue valmistuu kokonaan vasta vuoteen 2045 mennessä. Lasketaan (Taulukon 1 pohjalta), kuinka paljon 10 000 asukasta tuottaa ravinnepitoisia jätteitä (biojäte, virtsa ja uloste) vuorokaudessa ja vuodessa (Taulukko 5) ja kuinka paljon jätteet sisältävät ravinteita.

**Taulukko 5:** 10 000 asukkaan vuorokaudessa ja vuodessa tuottama ravinnepitoisten jätteiden määrä ja ravinteiden määrä niissä (Taulukko 1).

	Yksikkö	Biojäte	Virtsa	Uloste	Yhteensä
Tilavuus	m <sup>3</sup> /10 000hlö/d	2	13	1,3	16,3
	m <sup>3</sup> /10 000hlö/a	730	4 745	475	5 950
Kokonaisfosfori	kg/10 000hlö/d	2	11	5	18
	kg/10 000hlö/a	730	4 015	1 825	6 570
Kokonaistypä	kg/10 000hlö/d	14	102	14	130
	kg/10 000hlö/a	5 110	37 230	5 110	47 450

10 000 asukkaan asuinalueella syntyy ravinnepitoisia jätteitä yhteensä 16,3 m<sup>3</sup>/d, joka tarkoittaa 5 950 m<sup>3</sup>/a. Jätteissä on fosforia yhteensä 18 kg/d eli 6 570 kg/a ja typpeä yhteensä 130 kg/d eli 47 450 kg/a. (Taulukko 5) Syntyvien jätteiden määrä on todellisuudessa pienempi, sillä ihmiset viettävät päivästänsä noin 65 % kotona, jolloin noin 65 % lasketuista jätemassoista syntyy kotitalouksissa (Spångberg et al. 2014), mutta Hiedanrantaan on myös suunnitteilla työpaikkoja, mikä lisää jätemassojen suuruutta.

Jätteiden prosessoinnissa UASB-reaktorissa syntyy biokaasua anaerobisissa olosuhteissa. Biokaasua syntyy 10 L CH<sub>4</sub>/hlö/d. (Wielemaker et al. 2018) 10 000 asukkaan jätteet tuottaisivat 100 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/d, joka on 36 500 m<sup>3</sup>/a. Tuotettua biokaasua voitaisiin käyttää paikallisesti sähkön- ja lämmöntuottoon tai ajoneuvojen polttoaineena (Scarlat et al. 2018). Esimerkiksi autolla, joka kuluttaa 3,3 kg/100 km (Gasum) eli 4,60 m<sup>3</sup>/100km (metaanin tiheys normaalitilassa on 0,717 kg/m<sup>3</sup> (Tekniikan kaavasto)) pystyisi ajamaan noin 2 174 km 10 000 asukkaan jätteiden yhdessä päivässä tuottamalla metaanilla.

## 6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä tarkasteltiin ravinnepitoisten jätteiden keräystä kotitalouksista ja niiden paikallista prosessointia ja hyödyntämistä. Ravinteiden kierrätys on tärkeää, sillä typen sitominen ilmakehästä kuluttaa paljon energiaa, ja fosfori on kriittinen raaka-aine. Kotitalouksien jätteistä biojäte, virtsa ja uloste sisältävät eniten ravinteita. Yksi asukas tuottaa biojätettä keskimäärin 0,2 l/d, virtsaa keskimäärin 1,3 l/d ja ulostetta keskimäärin 0,13 l/d. Näistä kolmesta jätteestä virtsassa on eniten ravinteita, noin 70 % tyyppistä ja noin 60 % fosforista.

Ravinnepitoisten jätteiden keräämisessä päädyttiin kuivakäymälöihin ja vähän huuhteluvettä käyttäviin käymälöihin, sillä ne kuluttavat vähemmän energiaa eivätkä laimenna kerättyä jätemassaa huuhteluviedellä. Biojätteet Sopivimman kuivakäymälätyypin valinta riippuu siitä, millaiseen taloon se halutaan asentaa ja miten jätteet prosessoidaan. Kerrostaloissa vakuumikäymälöillä saadaan jätteet paremmin kerättyä, kuin painovoiman avulla. Virtsa ja uloste voidaan myös kuljettaa prosessointiin vakuumijärjestelmän avulla.

Jätteiden prosessointi vaikuttaa siihen kerätäänkö biojäte, virtsa ja uloste yhdessä vai erikseen. Koska virtsa sisältää eniten ravinteita ja sen energiapotentiaali on pieni verrattuna biojätteeseen ja ulosteeseen, se voidaan kerätä erikseen ja hyödyntää ravinteiden kierrätyksessä. Biojäte ja uloste taas voidaan prosessoida esimerkiksi struviitiksi ja lietteeksi, jolloin voidaan saada myös biokaasua lannoitteiden lisäksi. Kerätyt ja prosessoidut jätteet (esimerkiksi liete ja struviitti) voidaan käyttää paikallisesti ruuan tuottoon eli kaupunkiviljelyssä. Sitä voidaan toteuttaa monella tavalla ja eri mittakaavoissa. Biokaasua voitaisiin hyödyntää esimerkiksi ajoneuvojen polttoaineena.

Case-kappaleessa laskettiin 10 000 asukkaan asuinalueelle ravinne- ja energiapotentiaalit kirjallisuuden perusteella. Esimerkki alueena käytettiin Hiedanrantaan suunnitteilla olevaa asuinalueella. Asuinalueelle valittiin keräys- ja prosessointimenetelmät niin, että ravinteiden kierrätyksen lisäksi asuinalueella tuotetaan biokaasua. Virtsa ja uloste kerätään vakuumikäymälöillä ja biojätteet yhdistetään niihin jätemyllyn avulla. Kerätyt jätteet prosessoidaan UASB-reaktorissa, josta liete jatkaa hygienisointiin ja muu jätemassa jatkaa OLAND-prosessiin. OLAND-prosessin jälkeen on vielä struviitti-reaktori. Vuodessa 10 000 asukasta tuottaa 5 950 m<sup>3</sup> ravinnepitoisia jätteitä. Tyyppä jätteissä on 47 450 kg ja fosforia 6 570 kg.

## LÄHTEET

Aho, M., Pursula T., Saario M., Miller, T., Kumpulainen, A., Päällysaho, M., Kontiokari, V., Autio, M., Hillgren, A., Descombes, L. ja Gaia Consulting (2015), Sitran selvityksiä 99: Ravinteiden kierron taloudellinen arvo ja mahdollisuudet Suomelle.

Anand, C. and Apul D. S. (2011), Economic and environmental analysis of standard, high efficiency, rainwater flushed, and composting toilets, *Journal of Environmental Management*, Vol. 92(3), pp. 419-428.

Anand, C. K. and Apul D. S. (2014), Composting toilets as a sustainable alternative to urban sanitation – A review, *Waste Management*, Vol. 34(2), pp. 329-343.

Berndtsson, J. C. and Hyvönen, I. (2002), Are there sustainable alternatives to water-based sanitation system? Practical illustrations and policy issues, *Water Policy*, Vol. 4, pp. 515-530.

Biojätteen kierrätys (2018), Lassila & Tikanoja, Viitattu 18.01.2019. Saatavissa: <https://www.lt.fi/fi/henkiloasiakkaat/kodin-lajittelu-ja-kierratys/kodin-lajitteluohjeet/biojate>

Biojätteen käsittely (2018), Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Viitattu 28.11.2018. Saatavissa: [www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/jatehuolto/jatteenkasittelykeskus/biojate/Sivut/default.aspx](http://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/jatehuolto/jatteenkasittelykeskus/biojate/Sivut/default.aspx)

Chong, S., Sen, T. K., Kayaalp A. and Ang H. M. (2012), The performance enhancements of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors for domestic sludge treatment – A State-of-the-art review, *Water Research*, Vol. 46, pp. 3434-3470.

Davis, M. L. (2011) *Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice*, McGraw-Hill, 853 s.

Gao, M., Zhang, L., Florentino A. P. and Liu Y. (2019), Performance of anaerobic treatment of blackwater collected from different toilet flushing systems: Can we achieve

both energy recovery and water conservation?, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 365, pp. 44-52.

Gasum, SEAT-kaasuautot, Viitattu 18.01.2019. Saatavissa:

<https://www.gasum.com/yksityisille/valitse-kaasuauto/kaasuautomallit/seat/>

European Commission (2017), *Study on the review of the list of Critical Raw Materials*, Bryssel, 93 s.

Ferreira, A. J. D., Guilherme, R. I. M. M., Ferreira C. S. S. and de Oliveira, M. de F. M. L. (2018), Urban agriculture, a tool towards more resilient urban communities?, *Current Opinion in Environmental Science & Health*, Vol. 5, pp. 93-97.

Hernández Leal, L., Temmink, H., Zeeman, G. and Buisman C.J.N. (2011), Characterization and anaerobic biodegradability of grey water, *Desalination*, Vol. 270 pp. 111–115.

Karttunen, E. (2004), RIL 124-2-2004 Vesihuolto 2, Suomen Rakennusinsinöörien liitto.

Liu, H (2014), Ammonia synthesis catalyst 100 years: Practice, enlightenment and challenge, *Chinese Journal of Catalysis*, Vol. 35(10), pp. 1619-1640.

Lofrano, G. and Brown J. (2010), Wastewater management through the ages: A history of mankind, *Science of The Total Environment*, Vol. 408, pp. 5254-5264.

Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S. ja Öistämö, J. (2008), *Tekniikan kaavasto, Tammertekniikka*, 208 s.

Scarlat, N., Dallemand, J. F. and Fahl, F. (2018), Biogas: Developments and perspectives in Europe, *Renewable Energy*, Vol. 129, pp.457-472.

Spångberg, J., Tidåker, P. and Jönsson, H. (2014), Environmental impact of recycling nutrients in human excreta to agriculture compared with enhanced wastewater treatment, *Science of The Total Environment*, Vol. 493, pp. 209-219.

Suomen virallinen tilasto (SVT) (2016) Jätetilasto, ISSN=1798-3339, Liitetaulukko 1. Jätteiden synty 2016, 1000 tonnia. Helsinki: Tilastokeskus, viitattu: 14.12.2018.

Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/jate/2016/jate\\_2016\\_2018-08-31\\_tau\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/jate/2016/jate_2016_2018-08-31_tau_001_fi.html)

Suomen virallinen tilasto (SVT) (2017) Väestön ennakkotilasto, ISSN=1798-8381, Helsinki: Tilastokeskus, viitattu: 14.12.2018.

Saantavissa: [http://www.stat.fi/til/vamuu/2017/12/vamuu\\_2017\\_12\\_2018-02-15\\_tie\\_001\\_fi.html?ad=notify](http://www.stat.fi/til/vamuu/2017/12/vamuu_2017_12_2018-02-15_tie_001_fi.html?ad=notify)

Särkilahti, M., Kinnunen, V., Kettunen, R., Jokinen, A. and Rintala, J. (2017), Replacing centralised waste and sanitation infrastructure with local treatment and nutrient recycling: Expert opinions in the context of urban planning, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 118, pp. 195-204.

Tampereen kaupunki (2017), Hiedanranta Rakennussuunnitelma. Viitattu 18.12.2018.

Saatavissa:

[https://www.tampere.fi/tiedostot/h/Pq7B5MCph/20171207\\_Hiedanranta\\_Structural\\_Plan\\_Booklet\\_Updated\\_30Mt.pdf](https://www.tampere.fi/tiedostot/h/Pq7B5MCph/20171207_Hiedanranta_Structural_Plan_Booklet_Updated_30Mt.pdf)

Wang, X., Zhang, X., Wang, Y., Du, Y., Feng H. and Xu T. (2015), Simultaneous recovery of ammonium and phosphorus via the integration of electro dialysis with struvite reactor, *Journal of Membrane Science*, Vol. 490, pp. 65-71.

Wielemaker, R. C., Weijma, J. and Zeeman, G. (2018), Harvest to harvest: Recovering nutrients with New Sanitation systems for reuse in Urban Agriculture, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 128, pp. 426-437.