

Mari Korhonen

**SELVITYS RAVINNEKIERTOJA TUKE-
VIEN PAIKALLISTEN SANITAATORAT-
KAISUJEN TALOTEKNIIKAN JA LOGIS-
TIIKAN VAATIMUKSISTA**

NutriCity-hanke

Opinnäytetyö
Talotekniikka

2020



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Mari Korhonen	Insinööri(AMK)	Toukokuu 2020
Opinnäytetyön nimi		63 sivua 0 liitesivua
Selvitys ravinnerkiertoa tukevien paikallisten sanitaatoratkaisujen talotekniikan ja logistiikan vaatimuksista		
Toimeksiantaja		
Tampereen kaupunki, NutriCity-hanke		
Ohjaaja		
Johanna Arola		
Tiivistelmä		
<p>Työn tavoitteena oli esittää vaihtoehtoinen lähestymistapa sanitaatio- ja biojätekeräysjärjestelmien suunnitteluun ja toteuttamiseen, jossa painotetaan ravinnerikkaiden jätejakeiden syntypaikkaerottelua helpottamaan niiden jatkokäsittelyä ja hyödyntämistä lannoitteena ja energiana. Toimeksiantaja oli Tampereen kaupungin koordinoima NutriCity-projekti, ja opinnäytetyön tuloksia hyödynnetään Tampereen Hiedanrannan suunnittelussa.</p> <p>Opinnäytetyössä vertailtiin neljää erilaista sanitaatiojärjestelmää, joihin yhdistettiin biojätteidensä jätemyllykeräys. Vertailu järjestelmille toteutettiin talotekniikan, käytännön toimivuuden ja ravinnerierron ja energiahyötykäytön näkökulmasta. Lisäksi tarkastelussa käytettiin oletusta, että ravinnerikkaat jätevesijakeet johdetaan biokaasulaitokselle käsiteltäväksi.</p> <p>Työssä käydään läpi ensin taustaa Hiedanrannan kaupunkisuunnittelusta ja NutriCity-projektista. Sen jälkeen selvitetään bio- ja käymäläläjätteiden keräystä ja käsittelyä, lannoite- ja energiahyötykäyttöä, näihin liittyviä laitteistoja sekä talotekniikkaa. Työn lopussa esitetään vertailun tulokset ja johtopäätökset.</p> <p>Vertailun sanitaatiovaihtoehdot olivat perinteinen vesikäymälä, alipainekäymälä, erotteleva vähävetinen käymälä ja erotteleva alipainekäymälä. Vertailun perusteella parhaimmat sanitaatiojärjestelmät toimivuuden, ravinnerierron ja energiahyötykäytön perusteella olivat perinteinen vesikäymälä ja alipainekäymälä, joiden jätevedet kerätään yhdessä biojätteidensä kanssa, mutta erikseen muista kotitalouksien jätevesistä.</p> <p>Mikäli käymälävesille rakennetaan erillinen keräysputkisto, sitä on kannattavaa käyttää myös biojätteidensä keräykseen. Erottelevat vesikäymälämallit osoittautuivat vertailun perusteella toiminnaltaan haastaviksi kerrostaloympäristössä.</p>		
Asiasanat		
erotteleva käymälä, alipaine WC, ravinnerkierto, jätemylly, biokaasu		

Author (authors)	Degree	Time
Mari Korhonen	Bachelor of Engineering	May 2020
Thesis title		
Report on the requirements of building services and logistics in local sanitation solutions that support nutrient cycling		63 pages 0 pages of appendices
Commissioned by		
City of Tampere, NutriCity project		
Supervisor		
Johanna Arola		
Abstract		
<p>The aim of the thesis was to present an alternative approach to the design and implementation of sanitation and biowaste recycling systems, which emphasise the sorting of nutrient-rich waste components at their source in order to facilitate their further processing and utilisation as fertilisers and energy. The client was the NutriCity project coordinated by the City of Tampere, and the results of the thesis were utilised in the design of Hiedanranta in Tampere.</p>		
<p>The thesis compared four different sanitation systems which were combined with the collection of biowaste. The comparison of systems was implemented from the perspectives of building services, practical functionality as well as nutrient cycling and energy utilisation. In addition to this, the review used the assumption that nutrient-rich wastewater components are directed to a biogas plant for processing.</p>		
<p>The thesis starts by reviewing the background of the Hiedanranta's urban planning and the NutriCity project. Thereafter, the collection and processing of biowaste and sewage waste, the utilisation of fertilisers and energy, as well as relevant the equipment and building services are reviewed. At the end of the thesis, the results and conclusions of the comparison are presented.</p>		
<p>The sanitation options of the comparison included a traditional flush toilet, a vacuum toilet, a separating low-flush toilet and a separating vacuum toilet. On the basis of the comparison, the best sanitation systems in terms of functionality, nutrient cycling and energy utilisation were the traditional flush toilet and the vacuum toilet, in which the wastewater is collected together with the biowaste but separately from other household wastewater.</p>		
<p>If a separate collection pipe is built for toilet wastewater, it is beneficial to be used for the collection of biowaste too. On the basis of the comparison, the operation of separating flush toilet models proved to be challenging in apartment building environments.</p>		
Keywords		
separating toilet, vacuum toilet, nutrient cycling, food waste disposal unit, biogas		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	KIERTOTALOUS JA KAUPUNKISUUNNITTELU.....	8
2.1	Tampereen Hiedanranta.....	9
2.2	NutriCity-hanke.....	11
3	KOTITALOUKSIEN RAVINNEPITOISET JÄTTEET JA NIIDEN HYÖDYNTÄMINEN NYKYTILASSA	12
3.1	Jätevedet.....	12
3.1.1	Käymäläjäte	14
3.1.2	Jätevesien käsittely.....	15
3.2	Biojäte.....	16
3.2.1	Biojätteen määrä.....	16
3.2.2	Biojätteen keräys ja käsittely.....	17
3.3	Jätevesilietteiden ja biojätteiden lannoitehyötykäyttö.....	18
3.3.1	Lannoitelainsäädäntö ja tuotteistaminen lannoitteeksi	19
3.3.2	Lannoitetuotteistamisen haasteet	20
3.3.3	Erilliskerätyn virtsan jalostaminen hyötykäyttöön.....	22
3.4	Energiahyötykäyttö	23
3.4.1	Biojätteiden ja lietteiden poltto	23
3.4.2	Biokaasun tuottaminen	24
3.4.3	Bio- ja käymäläjätteen metaanintuottopotentiaali.....	25
4	KÄYMÄLÄ- JA BIOJÄTTEIDEN KERÄYSJÄRJESTELMÄT.....	26
4.1	Sanitaatiojärjestelmät	26
4.1.1	Vesikäymälä	26
4.1.2	Kuivakäymälä	26
4.1.3	Erotteleva käymälä	27
4.1.4	Alipainekäymälä.....	28

4.2	Jätevesien viemärointi kerrostaloissa	31
4.2.1	Viettoviemärin suunnittelu kerrostalossa.....	32
4.2.2	Alipaineputkiston suunnittelu ja mitoitus	34
4.3	Biojätteen keräys	37
4.3.1	Kotitalouksien biojätteen keräys jätemyllyllä	37
4.3.2	Biojätteiden keräyksessä käytettävän viemärin suunnittelu	41
4.4	Jätevesien johtaminen käsittelyyn	41
5	SANITAATIOJÄRJESTELMIEN JA BIOJÄTTEEN KERÄYKSEN VERTAILU	44
5.1	Biojätteiden ja käymäläjätteiden yhteiskeräys ja käsittely.....	45
5.2	Vaihtoehto 1 a – Perinteinen vesikäymälä.....	46
5.3	Vaihtoehto 1 b – Perinteinen vesikäymälä omalla keräysputkistolla	47
5.4	Vaihtoehto 2 – Alipainekäymälä.....	47
5.5	Vaihtoehto 3 – Erotteleva vähävetinen käymälä	48
5.6	Vaihtoehto 4 – Erotteleva alipainekäymälä	49
6	TULOKSET.....	50
7	POHDINTA	56
	LÄHTEET.....	57

KUVALUETTELO

Kuva 1. Hiedanrannan alustava yleissuunnitelma 2018	10
Kuva 2. Erilaisia superkorttelijakoja	11
Kuva 3. Jätevesien muodostuminen kotitalouksissa	13
Kuva 4. Puhdistamattoman jäteveden eri jakeiden (uloste, virtsa muu) keskimääräiset kuormitusosuudet taloudessa, jossa on vesikäymälä ja tavanomainen varustetaso	14
Kuva 5. Vuoden 2018 lietteen käsittelymenetelmien osuudet ja hyötykäyttötapojen suhteelliset osuudet lietteen kokonaismäärästä	16
Kuva 6. Erotteleva vesihuuhtelukäymälä ja alipainekäymälä	28
Kuva 7. Jatkuvan alipaineen järjestelmä	30
Kuva 8. Alipainekäymälä, jossa alipaine muodostetaan pumpulla tarvittaessa	30
Kuva 9. Leikkauskuva vesijohtojen ja painovoimaisen viemärin sijoittumisesta kerrostalossa	32
Kuva 10. WC-istuimen liittäminen viemäriin	34
Kuva 11. Vaaka- ja pystykeräysputket kannattaa pitää mahdollisimman lyhyenä	35
Kuva 12. Huoltoluukut on suositeltavaa sijoittaa kuljetustaskun yhteyteen ...	36
Kuva 13. Yhdysputkien sijoittaminen tyhjiöyksikön yhteyteen	37
Kuva 14. Jätemylly keittiöjätteelle.....	38
Kuva 15. Evacin ruokajätteen alipainekeräysjärjestelmä.....	40
Kuva 16. Flovacin keräyskaivo ja alipaineventtiili	43
Kuva 17. Perinteisessä vesikäymäläjärjestelmässä kaikki jätevedet johdetaan jätevedenpuhdistamolle käsiteltäväksi	46
Kuva 18. Käymäläjätevedet ja biojätteet johdetaan yhdessä käsiteltäväksi biokaasulaitokseen.....	47
Kuva 19. Alipainekäymäläjärjestelmässä biojätteet kerätään ja käsitellään yhdessä käymäläjätevesien kanssa	47
Kuva 20. Keräysjärjestelmässä VE 3 erotellaan virtsa muista jätevesistä	48
Kuva 21. Erottelevassa alipainekäymälässä kerätään keltaiset ja ruskeat jätevedet erikseen	49

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Vähimmäisputkikoot eri putkimateriaaleille	35
Taulukko 2. Jätemylyjen vertailua.....	39
Taulukko 3. Eri järjestelmien käsittely-, energiantuotanto- ja ravinnekiertomahdollisuudet.....	51
Taulukko 4. Järjestelmien vertailua	53

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on selvitys ravinnekiertoa tukevien paikallisten sanitaatio- ja biojätteen jätemyllykeräysratkaisujen talotekniikan ja logistiikan vaatimuksista. Työn toimeksiantaja on Tampereen kaupungin koordinoima NutriCity-projekti, ja opinnäytetyön tuloksia hyödynnetään Tampereen Hiedanrannan suunnittelussa. Työssä vertaillaan alueelle sopivia erilaisia sanitaatiovaihtoehtoja ja pohditaan biojätteen keräyksen toteuttamista jätemyllyn avustuksella. Työn tavoitteena on esittää vaihtoehtoinen lähestymistapa sanitaatio- ja biojätejärjestelmien suunnitteluun ja toteuttamiseen, jossa painotetaan ravinnerikkaiden jätejakeiden syntyipaikkaerottelua helpottamaan niiden jatkokäsittelyä ja hyödyntämistä lannoitteena ja energiana.

Talousveden käyttäminen käymäläjätteiden huuhteluun kuluttaa hyvälaatuista vettä. Jätevesien käsittelyprosessit eivät pysty poistamaan ravinteita täysin. Vesien rehevöityminen ja pilaantuminen aiheuttavat tulevaisuudessa haasteita. Nykyisten fosforivarantojen käyttö lannoitteena ei ole kestävää ja typpilannoitteiden valmistaminen kuluttaa paljon energiaa. Jätevesien ja biojätteiden käsittely on nykyisillä toimintatavoilla monimutkaista ja käsiteltyjen jakeiden tuotteistaminen lannoitteeksi on haastavaa.

Opinnäytetyössä pohditaan, olisiko näitä prosesseja mahdollista tehdä jo lähtökohtaisesti toisin, jotta mm. jätteiden käsittely olisi järkevämmiin toteutettavissa, ravinteiden kierto ja energiahyötykäyttö olisi helpompaa ja taloudellisempaa. Tarkastelun kohteena on erityisesti erottelava sanitaatio ja jätevesilietteiden ja biojätteiden yhteiskeräys, paikallinen käsittely ja hyödyntäminen.

NutriCity-hankkeen tavoitteet, oma kiinnostus ja toive lopputyön aiheesta kohetasivat. Näistä lähtökohdista sai tämä lopputyö alkunsa.

2 KIERTOTALOUS JA KAUPUNKISUUNNITTELU

Kiertotalouden tavoitteena on säästää luonnonvaroja ja hyödyntää raaka-aineet ja materiaalit tehokkaasti ja kestävästi. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että raaka-aineet ja materiaalit pysyvät pitkään talouden käytössä, materiaalien arvo

säilyy ja haittavaikutukset ympäristölle vähenevät (Seppälä ym. 2016, 10). Kiertotaloudessa jätteet ja ylijäämämateriaalit ovat raaka-ainetta muille.

Luonnon kiertokulun tarkoitus on, että ravinteet kiertävät takaisin kasvien käyttöön ja tätä kautta takaisin myös ihmisten ja eläinten käyttöön. Nykyisellä toiminnalla mm. käymäläjätteiden ja biojätteiden sisältämät ravinteet päätyvät luonnon kannalta väärin paikkoihin ja aiheuttavat pahimmillaan maaperän ja vesistöjen pilaantumista, sekä vesistöjen rehevöitymistä.

Biojätteiden ja käymäläjätteiden keräyksessä ja käsittelyssä sekä toteutetaan ravinteiden kiertoa että tuotetaan uusiutuvaa puhdasta energiaa. Jotta tämä saataisiin toteutettua parhaalla mahdollisella tavalla, kiertotalousajattelu tulisi ottaa huomioon jo asuinalueiden suunnitteluvaiheessa. Opinnäytetyöhön liittyvää Tampereen Hiedanrannan aluetta ollaankin suunnittelemassa kiertotalouden toteutumisen näkökulmasta, ja Hiedanrantaan kytkeytyvä NutriCity-hanke edistää ravinnekiertoa kaupunkiympäristössä.

2.1 Tampereen Hiedanranta

Hiedanranta sijaitsee Tampereella keskustan läheisyydessä. Se on historiallinen kartano- ja tehdasmiljööalue.

Tällä hetkellä Hiedanrannan kartanon ja sellutehtaan alueen rakennukset ovat kaupunkilaisten käytössä. Alueella on muun muassa musiikki- ja taidetapahtumia, sirkustoimintaa, betoninen sisäskeittihalli, kaupunkiviljelyä, liikuntatoimintaa, kuntouttavaa työtoimintaa ja avointa työpajatoimintaa (Väliaikainen Hiedanranta 2018). Alueella on lisäksi useita yrittäjiä. Hiedanrannassa on 1000 asiakaspaikkainen kulttuuritila Kuivaamo, jossa sanitaatio on toteutettu paikan päälle rakennetuilla erottelevilla kuivakäymälöillä.

Hiedanrantaan suunnitellaan uutta kaupunginosaa, jossa suunnittelun visiona on kestävä ja älykäs kaupunginosa, joka toimii myös kehittämisen alustana älykkyyttä ja kestävyyttä sekä kiertotalouden ratkaisuja edistäville kokeiluille ja hankkeille. Hiedanrannassa on tulevaisuudessa koteja 25 000 asukkaalle ja 10 000 työpaikkaa (Tampereen kaupunki 2019).

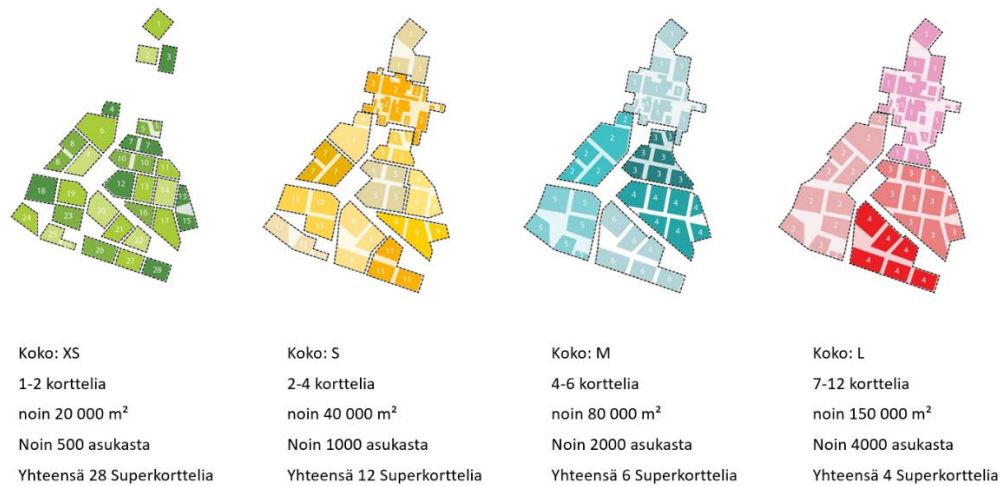
Hiedanrannan suunnittelu aloitettiin vuonna 2016 kansainvälisellä ideakilpailulla (Kansainvälinen ideakilpailu s.a). Yleissuunnitelman ensimmäinen vaihe, rakennesuunnitelma, valmistui 2017 (Tampereen kaupunki 2017). Alustava yleissuunnitelma valmistui 2018 (kuva 1).



Kuva 1. Hiedanrannan alustava yleissuunnitelma 2018 (Hiedanranta alustava yleissuunnitelma 2018)

Hiedanrannan kansainvälisen ideakilpailun jatkoksi järjestettiin työpajoja (Ideakilpailun jatkot 2017, 3), joissa nousi esiin idea superkorteista. Superkorteissa voitaisiin huolehtia yhteisöllisesti mm. kaupunkitilasta (viihtyisyys, yhteiskäyttöaukiot), infrasta, palveluista sekä liikenteestä (esimerkiksi asukas-pysäköinti ja yhteiskäyttöautot). Superkorttelijako voidaan toteuttaa eri tavoilla ja eri toiminnoille sopinevat erilaiset mittakaavat.

Kuvassa 2 on kuvattu mahdollisia korttelijakoja.



Kuva 2. Erilaisia superkorttelijakoja (Nordic Superblock yhteenveto 2019)

Lopputyön tuloksia tullaan hyödyntämään jatkossa Hiedanrannan superkorttelialueen sanitaatiojärjestelmän suunnittelussa. Kiertotalouden ja sanitaatiojärjestelmän rakentamisen kannalta oletettavasti kustannustehokkain vaihtoehto on mahdollisimman suuri, eli kyseisistä superkorttelivaihtoehdoista koko L.

2.2 NutriCity-hanke

Tulevaisuuden kestävyttä ja kiertotaloutta edistävän kaupunginosan suunnittelu on poikinnut useita Hiedanrantaa koskevia hankkeita, joista NutriCity on yksi.

NutriCity, Hiedanranta urbaanin ravinnekierron suunnannäyttäjänä, -hanke on ympäristöministeriön rahoittama Tampereen kaupungin, Tampereen ammattikorkeakoulun ja Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) ravinnekiertohanke. Hankkeen tavoitteena on laatia kiertotalousmalli, jossa tärkeänä osana on ravinteiden (fosfori ja typpi) kierrätys jätevirroista takaisin hyötykäyttöön. NutriCityyn liittyvät kokeilut kohdistuvat Tampereen Hiedanrannan alueelle.

SYKE on tehnyt jo ennen NutriCity-hanketta keväällä 2018 elinkaari- ja kustannustarkastelun Tampereen Hiedanrannan alueelle soveltuvien vaihtoehtoisten sanitaatoratkaisujen ympäristövaikutuksista (Vilpas & Lehtoranta 2018). Opin- näytetyö kytkeytyy osittain SYKE:n elinkaariarviointiin. Elinkaariarvioinnin yhtey-

dessä tehty ravinnetaselaskelma osoitti, että ravinteet saadaan erottelevilla ratkaisuilla moninkertaisesti talteen verrattuna nykyään käytettävään keskitettyyn jätevedenpuhdistukseen.

Hiedanrannan alueella sijaitsevalla Lielahden kartanolla on syksystä 2019 lähtien pilotoitu NutriCity-hankkeeseen liittyen alipainekäymälöitä, virtsan erottelevia vesikäymälöitä sekä vedetöntä urinaalia. Hankkeessa tehdään lisäksi virtsan käsittelykokeita pitkälle kehitetyillä menetelmillä. Tavoitteena on tuottaa peltoon, lannoitetuotantoon tai muuhun soveltuvaan loppukäyttöön kelpaavia tuotteita ja raaka-aineita.

NutriCity-hankkeen tulosten perusteella luodaan toimintamalli ravinnepitoisten jätevesijakeiden resurssi- ja energiatehokkaalle hallinnalle ja hyödyntämiselle kaupungeissa.

3 KOTITALOUKSIEN RAVINNEPITOISET JÄTTEET JA NIIDEN HYÖDYNTÄMINEN NYKYTILASSA

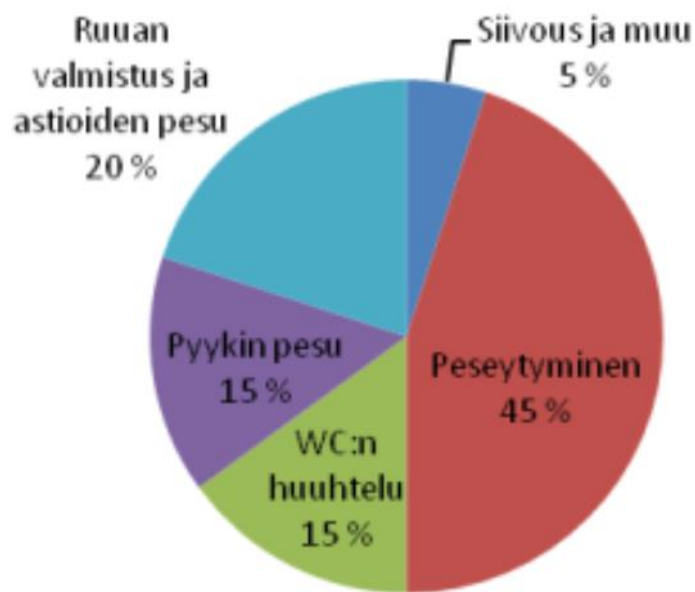
Kotitalouden helposti biohajoavia orgaanisia jätteitä ovat elintarvike- ja keittiöjäte eli biojäte sekä jätevesilietteet. Kotitaloudessa syntyy myös muita biohajoavia jätteitä, esimerkiksi paperi- ja kartonkijätteitä, puujätteitä ja luonnonkuituisia tekstiilijätteitä.

Orgaaninen aines voi hajota joko anaerobisesti (mätänemällä) tai aerobisesti (kompostoitumalla). Hajoaminen tapahtuu pieneliötoiminnalla, kun hajoamiselle on hyvät toimintaolosuhteet. Biojäte ja jätevesilietteet ovat hyvää raaka-ainetta niin biokaasulaitokselle kuin lannoitevalmistukseen.

3.1 Jätevedet

Kotitalouksissa jätevedet muodostuvat pesuvesistä ja käymäläjätevesistä.

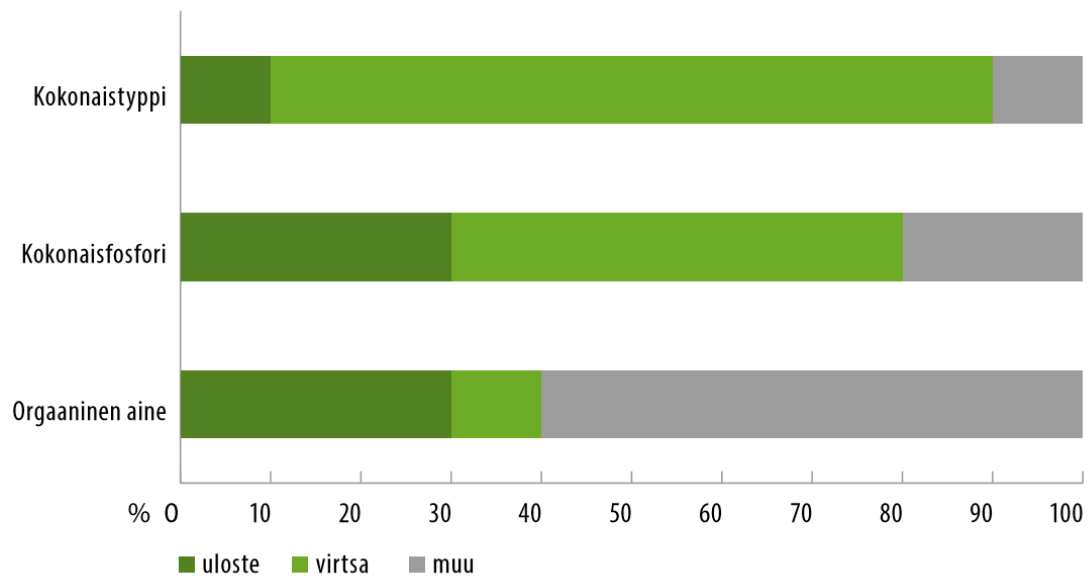
Kotitalouksissa käytettävä vesimäärä vaihtelee välillä 50 - 250 litraa asukasta kohti vuorokaudessa. Keskimääräinen vedenkäyttö on vajaa 150 litraa (Ympäristö.fi 2013). Kuvassa 3 on esitetty jätevesien muodostuminen kotitalouksissa.



Kuva 3. Jätevesien muodostuminen kotitalouksissa (Ymparisto.fi 2013)

Jätevesissä on muun muassa ulosteperäisiä bakteereita, viruksia, puhdistusaine-, kemikaali- ja lääkeainejäämiä, hormoneja sekä vesistöjä rehevöittäviä ravinteita ja happea kuluttavia aineita. (Ympäristöopas 2017, 13.)

Vesikäymälästä tulee valtaosa tavallisen kotitalouden jätevesien sisältämästä fosforista ja typestä sekä vajaa puolet orgaanisesta aineesta. Kuvassa 4 on esitetty ulosteen, virtsan ja muun jäteveden kuormitusosuudet.



Kuva 4. Puhdistamattoman jäteveden eri jakeiden (uloste, virtsa muu) keskimääräiset kuormitusosuudet taloudessa, jossa on vesikäymälä ja tavanomainen varustetaso (Ympäristöopas 2017, 14)

3.1.1 Käymäläjäte

Aikuisen ihmisen vuorokaudessa tuottaman virtsan määrä on keskimäärin 1,5 litraa. Virtsa syntyy vuositasolla noin 500 l ja kiinteitä ulosteita noin 50 kg (RT 69-11177, 2).

Käymäläjätteet sisältävät ravinteita. Virtsassa on erityisesti fosforia, typpeä ja kaliumia. Virtsan osuus kotitalouksien jätevesistä on tilavuudeltaan alle yksi prosentti. Kotitalouden jätevesien kuormituksesta kuitenkin typestä 80% ja fosforista 50% aiheutuu virtsasta (Ympäristöopas 2017, 20). Virtsassa esiintyy myös epäpuhtauksia, kuten lääkeaineiden jäämiä ja hormoneja (RT 69-11177, 2.). Myös mikrobeja voi esiintyä, erityisesti jos virtsa kontaminoituu ulosteen kanssa (RT 69-11177, 2).

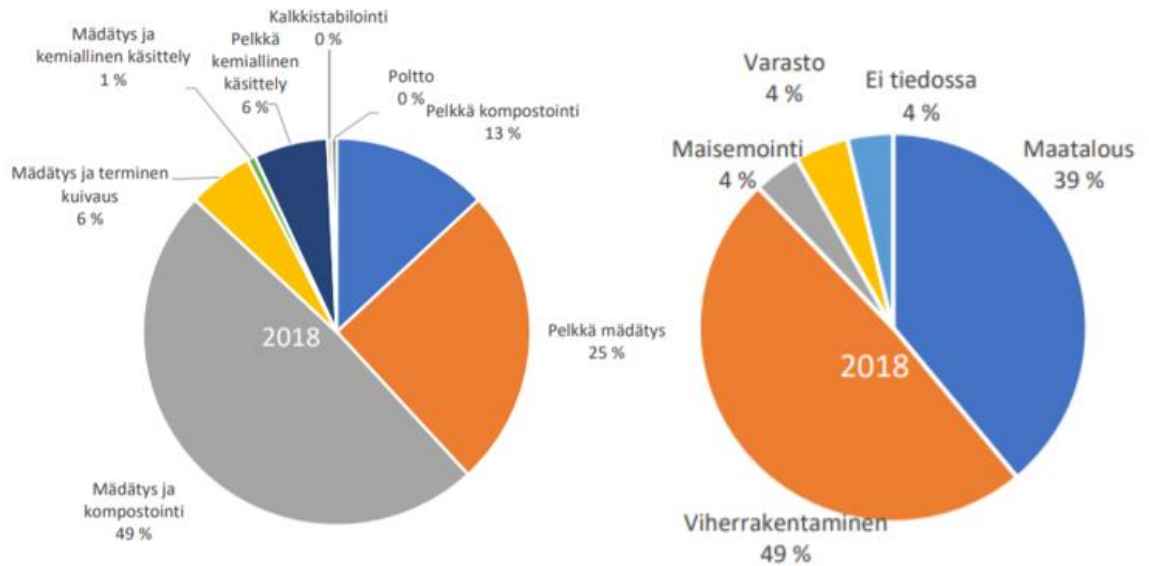
Uloste muodostuu lähinnä sulamattomista kasvikuiduista ja hajottajabakteereista. Virtsaan verrattuna ravinteita on vähän. Yhdessä grammassa ulostetta saattaa olla jopa 10 miljoonaa virusta, miljoona bakteeria, tuhat loisen lepoitiötä ja 100 madon munaa (Valve & Nuortie 2010, 67).

3.1.2 Jätevesien käsittely

Kotitalouksien jätevedet johdetaan viemäriverkkoalueilla jätevesiviemäriin ja ne käsitellään jätevedenpuhdistamoilla. Puhdistamoiden toimintaa säätelee Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä (888/2006). Viemäriverkkoon kuulumattomilla kiinteistöillä jätevedet käsitellään kiinteistökohtaisesti ympäristönsuojelulain (527/2014) ja hajajätevesiasetuksen (157/2017) vaatimusten mukaisesti. Jätevesijärjestelmissä syntyvät sako- ja umpisäiliölietteet kuuluvat kunnan vastuulle ja järjestetyn jätekuljetuksen piiriin (Jätelaki 646/2011).

Valtaosa kotitalouksien jäteveden sisältämistä haitta-aineista on ulosteessa ja virtsassa. Kunnallisia jätevedenpuhdistamoja ei ole rakennettu poistamaan lääkkeitä jätevedestä. Suureen vesimassaan laimenevat lääkejäämät pääsevät kulkemaan puhdistamon läpi vesistöihin ja/tai lietteeseen. (Väisänen 2017.)

Suomen yhdyskuntien jätevesilietteet käsitellään yleisimmin mädättämällä ja kompostoimalla. Vuonna 2018 noin 80 % lietteestä mädätettiin (Suomen vesilaitosyhdistys 2019, 7). Mädätykseen ohjatun lietteen määrä on ollut kasvussa, samoin kuin mädätykseen ohjatun yhdyskuntien biojätteen (Biomassa-atlas 2019). Mädätyksessä tuotettu biokaasu hyödynnetään energiana. Käsitelty liete hyödynnetään pääosin viherrakentamisessa ja maataloudessa (Suomen vesilaitosyhdistys 2019, 9). Kuvassa 5 on esitetty vuoden 2018 lietteen käsittelymenetelmien osuudet ja hyötykäyttötapojen suhteelliset osuudet.



Kuva 5. Vuoden 2018 lietteen käsittelymenetelmien osuudet ja hyötykäyttötapojen suhteelliset osuudet lietteen kokonaismäärästä (Suomen vesilaitosyhdistys 2019, 8–9)

3.2 Biojäte

Kotitalouksissa syntyvää biojätettä ovat mm. pilaantuneet elintarvikkeet, ruokajätteet sekä hedelmien, juuresten, vihannesten kuoret. Yhdyskuntien jätteistä arvioidaan noin kolmanneksen olevan biojätettä eli ruoka- ja puutarhajätettä (Biomassa-atlas 2019).

Kotitalouksien biojätteitä ei saa sijoittaa kaatopaikalle (Kaatopaikka-asetus 28 §). Kunnalla on velvollisuus järjestää kotitaloudesta peräisin olevan biojätteen jätehuolto (Jätelaki 32 §). Kunnan on huolehdittava, että jätehuollolla on käytävissä riittävän monipuoliset jätehuoltopalvelut, kuten etusijajärjestyksen mukainen mahdollisuus jätteen erilliskeräykseen (Jätelaki 34§). Käytännössä kuitenkin jätelain poikkeuspykälä (Jätelaki 15 §) ja jäteasetus antavat mahdollisuuden poiketa tästä mm. väestötiheyden, syntyvän jätteen määrän ja kustannuksen vuoksi.

3.2.1 Biojätteen määrä

Kotitalouksissa syntyvää erilliskerätyn biojätteiden määrää ja laatua on Suomessa tutkittu monissa eri tutkimuksissa ja hankkeissa. Tulokset tutkimuksista

eivät ole täysin vertailukelpoisia keskenään, koska niitä on tehty erilaisilla menetelmillä ja eri kaupungeissa.

Luken Wastestimator -hankkeessa 2017 pääkaupunkiseudulla ja Tampereella tehtyjen sekajätteen ja erilliskerätyn biojätteen lajittelututkimusten perusteella kotitalouksissa syntyi ruokahävikkiä vuosittain noin 25 kg/asukas ja keittiöbiojätettä 30 - 40 kg/asukas (Silvennoinen ym. 2017, 5). Ruokajätteen määrä (ruokahävikki ja keittiöbiojäte yhteensä) oli alueella tutkimuksen perusteella 55 - 65 kg/asukas/vuosi.

HSY:n 2011 teettämän tutkimuksen mukaan erilliskerättyä biojätettä syntyi pääkaupunkiseudun kotitalouksissa keskimäärin 34 kg/asukas/vuosi (Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2011, 5).

Edellä mainittujen tutkimusten perusteella Tampereen alueen kotitalouksien erilliskerätyn keittiöbiojätteen määräksi voidaan arvioida asukasta kohden 35kg/vuosi.

3.2.2 Biojätteen keräys ja käsittely

Biojätteitä kerätään ja käsitellään eri puolella Suomea monella tavalla. Keräyksen ja käsittelyn erot johtuvat jäteyhtiöiden ja kuntien erilaisista toimintatavoista. Iso osa biojätteistä päätyy tällä hetkellä sekajätteen mukana polttoon. Osassa kaupungeissa biojätteitä kerätään vain isoista biojätekimpoista, kun taas toisissa kunnissa biojätteen erilliskeräyksen piirissä ovat myös haja-asutusalueen kiinteistöt. Omakotitaloissa ja vapaa-ajankiinteistöillä on mahdollisuus myös kompostoida biojätteet, mikäli kunnan jätehuoltomääräykset sen sallivat.

Biojätteiden erilliskeräys toteutetaan tavallisimmin kiinteistökohtaisesti autokeräyksellä. Helsingissä, Espoossa, Vantaalla ja Tampereella ja on asuinalueita, joissa jätekeräys, mukaan lukien biojätteiden keräys, toteutetaan putkikeräysjärjestelmällä (Nygård 2016, 162–161).

Biojätteen pakkausohjeissa on alue- ja kuntakohtaisia eroja. Biojätteitä lajitellaan mm. biojäte-, paperi ja muovipusseihin tai jopa ilman minkäänlaista pussia.

Erot biojätteiden pakkausohjeissa johtuvat jätteen jatkokäsittelystä. Biohajoava pussi sopii kompostointiin, mutta huonosti biokaasun valmistukseen. Biohajoava pussi on venyvää materiaalia, ja se saattaa jäädä kiinni mm. biojätteiden esikäsittelyssä käytettävään murskaimeen. (Loukasmäki 2019.)

Biojätettä on erilliskeräyksestä huolimatta edelleen paljon sekajätteen joukossa. Jätelaitosyhdistys (JLY) pitää yllä koostumustietopankkia Suomessa toteutetuista kotitalouksien sekajätetutkimusten tuloksista. Näistä koostetuista vertailukelpoisista tutkimustuloksista on laskettu eri jakeiden keskimääräinen massaosuus, ja biojätteen osuus sekajätteessä on ollut noin 33 % (JLY 2017).

Ruoka- ja puutarhajätteestä koostuvan biojätteen mädättäminen on lisääntynyt viime vuosina (Biomassa-atlas 2019). Mädätyksestä saatava kaasu hyödynnetään energiaksi, ja mädätysjäännös käytetään jälkikompostoinnin jälkeen lannoitevalmisteena tai viherrakentamisessa. Usein biojätteitä käsitellään biokaasulaitoksissa yhdessä lantojen, teollisuuden biohajoavien jätteiden ja jätevedenpuhdistamojen lietteiden kanssa.

Suomessa on tehty useita biojätteen keräykseen ja käsittelyyn liittyviä elinkaarivaihtoehtoja. Tehtyjen elinkaariselvitysten perusteella ilmaston lämpenemisen näkökulmasta biojätteen käsittelymenetelmien paremmuusjärjestys oli poltto, mädätys, kompostointi ja kaatopaikkasijoitus (Niskanen & Kemppi 2019, 66). Merkittävin vaikutus keräyksen ympäristövaikutuksiin ja kustannuksiin oli biojätteen tyhjennysvälien harventamisella (Niskanen & Kemppi 2019, 70).

3.3 Jätevesilietteiden ja biojätteiden lannoitehyötykäyttö

Ihmisvirtsa on erinomainen lannoite ja kompostoitu käymäläjäte sekä biojäte ovat loistavia maanparannusaineita. Virtsasssa on valtaosa ihmisjätösten ravinteista: 80 % typestä ja 50 % fosforista (Hajajätevesiasetus 2017). Virtsa on erittäin hyvää lannoitetta puutarhakasveille. Pääravinteet fosfori, typpi ja kalium ovat kasveille suoraan käyttökelpoisessa muodossa (Ekokumppanit s.a, 1).

Erityisesti virtsan sisältämä fosfori on globaalisti tarkasteltuna tärkeä alkuaine, jota ilman ihmiskunnalle ei saada tuotettua ruokaa. Fosfori on uusiutumaton

luonnonvara, ja nykyiset fosforiesiintymät käytetään loppuun 50 vuodessa. (Valve & Nuortie 2010, 49.)

Käymäläjätteiden ja biojätteiden kierto lannoitehyötykäyttöön on tarkoin säädeltyä ja molemmilla jätejakeilla on omat erilaiset haasteensa. Biojätteiden osalta haasteet ovat enemmän biojätteen käsittelyssä ja epäpuhtauksien poistossa (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 41, 51-53), kun taas jätevesilietteiden lannoitehyötykäytön ongelmana on enemmän ennakkoluulot jätevesilietteiden sisältämistä haitta-aineista (Reku 2018).

3.3.1 Lannoitelainsäädäntö ja tuotteistaminen lannoitteeksi

Mikäli jätevesistä ja biojätteestä tuotettua lannoitevalmistetta markkinoidaan tai luovutetaan ulkopuolisten käyttöön, tulee lannoitteen täyttää lannoitevalmistelain (539/2006) vaatimukset. Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa lannoitevalmisteista (24/2011) on ilmoitettu lannoitevalmisteiden enimmäispitoisuudet haitallisille metalleille sekä taudinaiheuttajille ja epäpuhtauksille. Lannoitteiden käytöstä ja varastoinnista säädetään lisäksi nitraattiasetuksessa (1250/2014). Rajoituksia lietteiden käytölle ja hygienisointivaatimuksia tulee lisäksi maatalouden ympäristötukijärjestelmästä.

Lannoitteiden markkinoinnin valvonnasta vastaa Ruokavirasto yhdessä ELY-keskusten kanssa. Orgaanisten lannoitevalmisteiden valmistajalla tulee olla Ruokaviraston hyväksyntä.

Lannoitevalmistelain mukaan markkinoille voi tuoda ainoastaan sellaisia lannoitevalmisteita, joille löytyy tyyppinimi joko kansallisesta lainsäädännöstä tai EU:n lainsäädännöstä. Ruokavirasto ylläpitää ajantasaista lannoitevalmisteiden tyyppinimiluetteloa, ja mikäli lannoitevalmisteelle ei löydy tyyppinimeä luettelosta, voidaan tätä hakea Ruokavirastosta.

Biojätteille ja jätevesilietteilte soveltuvia tyyppinimiä löytyy orgaanisista maanparannusaineista (mm. kompostoimalla tai rakeistamalla valmistettu tuote), maanparannusaineena sellaisenaan käytettävistä sivutuotteista (mm. kalkkistabiloitu puhdistamoliete tai hygienisoitu mädätysjäännös) ja seosmullista.

Erilliskerätylle virtsalle ei ole olemassa vielä tyyppinimeä. Virtsan käyttöä lannoitteena pyritään edistämään, ja tämä on ollut mm. Biourea-hankkeen päämääränä (Viskari ym. 2017, 7).

Kotitalouksien biojäte sisältää aina eläinperäistä materiaalia, ja sen käsittelyä määrittää eläinperäisiä sivutuotteita koskevat EU:n sivutuoteasetukset (EY asetus 1069/2009 ja EU 142/2011) ja näistä Suomen lainsäädäntöön johdetut sivutuotelaki (517/2015) ja maa- ja metsätalousministeriön asetus (783/2015) eläimistä saatavista sivutuotteista. Eläinperäisen jätteen tulee täyttää em. lakien ja asetusten määräämät hygienisointikäsittelyt, eli 1 tunti 70 °C:ssa tai vastaava hyväksytty hygienisointikäsittely.

Jätevesilietteille ei ole olemassa lainsäädännössä vastaavia tarkkoja määritelmiä hygienisoinnille. Mikäli jätevesilietteet on käsitelty mädättämällä, kalkkistabiloimalla tai kemiallisesti hapattamalla, ei laitoshyväksyntää edellytetä. Mikäli jätevesilietteitä ja biojätteitä käsitellään yhdessä ja niistä tuotetaan lannoitteita, biojätteiden hygienisointitarve on määräävä tekijä hygienisoinnin tasossa.

Kompostoitua käymälä- ja biojätettä sekä erilliskerättyä vanhennettua virtsaa on mahdollista käyttää lannoitteena omassa puutarhassa. WHO:n ohjeiden mukaan virtsa on turvallista lannoitetta kuuden kuukauden varastoinnin jälkeen mille tahansa viljelykasville, kunhan virtsan lämpötila on varastoinnin aikana vähintään 20 astetta ja pH noin 9. Vain kuukaudenkin kestoisen varastointi virtsalle riittää, jos virtsalla lannoitetaan sellaisia ravintokasveja, joita ei syödä raakana (WHO 2006). Lietteiden ja biojätteiden omatoimikäsittelylle on usein annettu määräyksiä kunnan jätehuoltomääräyksissä.

3.3.2 Lannoitetuotteistamisen haasteet

Jätevesilietteistä tuotettuja lannoitteita on ollut hankala saada markkinoille, ja käymäläjätevesistä tuotettuihin lannoitevalmisteisiin liittyy paljon ennakkoluuloja. Useampi suomalainen elintarvikeyritys on linjannut, että ne eivät osta viljaa, joka on lannoitettu puhdistamolietteellä. Tämä on perustunut muun muassa

epävarmuuteen lietteiden sisältämistä haitta-aineista ja niistä mahdollisesti aiheutuviin haittoihin sekä suomalaisen ruoan puhtaan imagon vaalimiseen. (Reku 2018.)

Puhdistamolietteet sisältävät niin kotitalouksien, yhdyskuntien ja teollisuuden jätevesiä. Erityisesti teollisuudesta ja yhdyskunnista voi jätevesilietteisiin tulla haitallisia metalleja ja epäorgaanisia haitta-aineita. Kotitalouksista voi jätevesien mukana kulkeutua lääkettä ja mm. tekstiilien palonestoaineita. On olemassa riski, että osa haitta-aineista voi kulkeutua elintarvikkeisiin ja ihmisiin. Jätevesien sisältämien haitta-aineiden kulkeutumista lannoitteiden mukana luontoon ja ihmisiin on tutkittu laajalti maailmalla. Haitta-aineiden vaikutuksia ei kuitenkaan tunneta vielä täysin. Suomalaisten puhdistamolietteiden haitallisten aineiden pitoisuudet ovat olleet pääsääntöisesti alhaisella tasolla. (Pro Agria 2016,10-13.)

Jätevesiperäisissä mädätysjäännöksissä lähimpänä lainsäädännön raja-arvoja on useimmiten kadmiumpitoisuus, mutta sekään harvemmin rajoittaa käyttöä (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 97).

Virtsalle ei ole toistaiseksi vielä olemassa tyyppinimeä, mutta omalla kiinteistöllä virtsan käyttö on sallittua. Lääkeaine- ja hormonijäämien aiheuttamista mahdollisista riskeistä ei ole vielä olemassa riittävästi tietoa ja tämä aiheuttaa ennakkoluuloja virtsan lannoitekäytölle. Ihmisen käyttämistä lääkeaineista keskimäärin 2/3 erittyy virtsan kautta (Lienert ym. 2007). Lääkejäämät eivät välttämättä kuitenkaan kerry merkittävästi kasveihin ja maaperään (Viskari ym. 2017, 10; Winker ym. 2010). Osa lääkeaineista myös hajoaa lähes täysin maaperässä (Viskari ym. 2017,10; Topp ym. 2008; Prosser ym. 2014). Muita virtsan lannoitekäytön haasteita ovat virtsan varastointiin tarvittava suuri tila ja tästä aiheutuvat logistiset haasteet (Viskari ym. 2017, 10).

Biojätteestä tuotetuille lannoitevalmisteille ei ole samanlaista vastustusta ja ennakkoluuloja kuin jätevesistä tuotetuille lannoitteille. Biojätteiden prosessoiminen lannoitevalmisteiksi on käytännössä työläämpää biojätteiden sisältämien

epäpuhtauksien vuoksi ja eläinperäisen materiaalin tiukempien hygienisointimääräysten vuoksi. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 41, 51 - 53.)

Mädätysjäännöksen käyttötarkoitus ja sen koostumusvaatimukset tulevat tulevaisuudessa määrittelemään yhä enemmän myös biokaasuntuotantoon soveltuvat raaka-aineet. Hyvälaatuisista raaka-aineista saadaan arvokasta lannoitetta hyödynnettäväksi viljelykäytössä ja ravinnekierrossa (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 43).

3.3.3 Erilliskerätyn virtsan jalostaminen hyötykäyttöön

Erilliskerättyä virtsaa on tarvetta käsitellä mm. hygienisoinnin, tilavuuden pienentämisen ja ravinteiden talteenoton/poiston ja mikropollutanttien poiston vuoksi. Jalostusta tarvitaan, jotta lopputuotteet olisivat hyötykäyttöön soveltuvia ja niitä olisi helpompi varastoida ja kuljettaa.

Yleisesti käytetty menetelmä fosforin ja typen talteen ottamiseksi on struviitin (MgNH_4PO_4) saostaminen virtsasta. Struviittia voidaan saostaa myös jätevesilietteistä ja rejektivesistä. Nestemäisten jätevirtojen tyyppi ja etenkin fosfori voidaan saada tehokkaasti talteen struviittina, jota voidaan käyttää sellaisenaan lannoitteena. Struviittia muodostuu siellä missä fosforin, ammoniumtypen ja magnesiumin ionipitoisuudet ja ympäristöolosuhteet ovat sopivia. Tärkeimmät tekijät ovat ioneista kylläinen liuos sopivissa moolisuhteissa, emäksinen pH n. 8 - 10 ja 25 - 90 °C:een lämpötila. (Viskari ym. 2017, 10.)

Struviitin valmistusmenetelmiä on useita erilaisia riippuen käytettävästä syötteestä ja halutusta lopputuotteesta. Pääperiaatteet eri valmistusprosesseissa ovat struviitin saostus ja kiteytys. Struviitin valmistus on tehokasta, mikäli fosforin ja typen pitoisuudet ovat korkeita, kuten erilliskerätyssä virtsassa (Viskari ym. 2017, 10).

Lääkejäämät kertyvät huonosti struviittiin (Viskari ym. 2017, 10; Kemacheevakul ym. 2012). Struviitissa virtsan tyyppi ja fosfori ovat kiinteässä tiiviissä muodossa, ja sen varastointi ja kuljetus on tästä syystä myös huomattavasti helpompaa

kuin nestemäisen virtsan. Struviitti soveltuu kuitenkin huonosti fosforiteollisuuden raaka-aineeksi (Viskari ym. 2017, 10).

Muita esimerkkeinä mainittavia virstan ja muiden nestemäisten jätejakeiden ravinteiden talteenoton tekniikoita ovat kalvosuodatus- ja haihdutusmenetelmät.

Kalvosuodatusmenetelmät ovat erotustekniikoita, jotka perustuvat tarkoitukseen valitun kalvon erilaisten molekyylien läpäisykykyyn. Kalvosuodatusmenetelmiä on lukuisia menetelmätyyppejä ja lisäksi markkinoilla on lukematon määrä erilaisia kalvoja. (Malila ym. 2019, 15.)

Haihdutusmenetelmissä virtsaa johdetaan (joko esikäsiteltynä tai ilman) tuhaan, hiileen tms. emäksiseen aineeseen, joka nostaa virtsan pH:n ja ehkäisee ammoniakkin haihtumista. Tämän jälkeen nestettä haihdutetaan, ja jäljelle jäävässä lopputuotteessa on virtsan ravinteet tiiviissä/kiinteässä muodossa. (Malila ym. 2019, 15.)

3.4 Energiahyötykäyttö

Jätevesilietteistä ja biojätteistä voidaan tuottaa energiaa joko polttamalla tai tuottamalla niistä biokaasua. Myös kompostoinnissa syntyy lämpöä, mutta tämän lämmön hyödyntäminen on hankalaa.

3.4.1 Biojätteiden ja lietteiden poltto

Iso osa kotitalouksien biojätteistä poltetaan sekajätteen mukana jätteenpolttolaitoksissa. Biojätteen kosteusprosentti on korkea, 60–90 %. Sen palaessa vapautuva energia kuluu pääosin kosteuden haihduttamiseen eli lämpöarvo on matala. Lisäksi kosteus voi aiheuttaa polttolaitteistoihin korroosiota. (Rahikainen 2010.)

Suomessa ei juurikaan polteta jätevesilietteitä. Euroopassa tämä on yleisesti käytetty menetelmä mm. Alankomaissa, Belgiassa, Itävallassa, Tanskassa ja Saksassa (SYKE 2011, 16). Suomessa jätevesilietteitä poltetaan muiden jakei-

den seassa Vapon Haapaveden ja Fortumin Riihimäen laitoksilla sekä muutamalla pienemmällä laitoksella (Pöyry Finland Oy 2019, 33, 76). Ensimmäinen varsinainen lietteenpolttolaitos rakennetaan Rovaniemelle (Passoja 2018).

3.4.2 Biokaasun tuottaminen

Biokaasun tuotanto tapahtuu ilmatiiviissä biokaasureaktoreissa, joissa mikrobit hajottavat hapettomissa olosuhteissa eloperäistä ainetta pienemmiksi yhdisteiksi. Lopputuotteena muodostuu biokaasua sekä maanparannusaineena käytettävää käsittelyjäänöstä. Helposti biohajoavia orgaanisia aineita ovat esimerkiksi hiilihydraatit, proteiinit ja rasvat (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 21).

Biokaasureaktoreista saatavassa raakabiokaasussa on metaania 50 - 70 % (CH_4) ja loput hiilidioksidia (CO_2) (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 17). Biokaasu on palava kaasu ja sitä voidaan käyttää sellaisenaan lämmön ja sähkön tuotannossa. Mikäli biokaasu halutaan hyödyntää liikennepolttoaineena, se pitää puhdistaa epäpuhtauksista ja sen metaanipitoisuutta tulee nostaa. Kaikki liikenne-metaanimootorit toimivat, kun metaanipitoisuus on yli 95 % (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 17).

Biokaasulaitoksen raaka-aineessa oleellisimpia asioita ovat kuiva-aineen (TS) ja orgaanisen aineksen (VS) pitoisuudet. Biokaasu muodostuu kuiva-aineen orgaanisen osuuden hajotessa. Mitä suurempi syötteen VS/TS -suhde ja mitä helpommin hajoavaa VS aines on, sitä sopivampi syöte on biokaasuprosessiin. Muita tärkeitä tekijöitä syötteelle ovat sopiva hiili (C)/ typpi (N) -suhde, fosfori (P) ja rikki-pitoisuudet (S), sekä hivenaineet ja vitamiinit (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 22 - 23).

Biokaasuprosessit toimivat tyypillisesti joko ns. märkä- tai kuivaprosesseina, riippuen syötettävän seoksen kuiva-ainepitoisuudesta. Reaktori voi toimia joko panos- tai jatkuvatoimisesti. Märkäprosessit käyttävät pääasiassa lietemäisiä syötemateriaaleja (TS maksimi noin 15 %), ja kuivaprosesseissa syötemateriaalit ovat prosessin yleisnimityksen mukaisesti kuivia ja kasalla pysyviä (TS n. 20 - 40 %) (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 82).

Raaka-aineiden esikäsittelytarve vaihtelee raaka-aineista riippuen. Erilliskerätty biojäte sisältää epäpuhtauksia, jotka pitää poistaa mahdollisimman hyvin ennen biojätteen syöttöä biokaasureaktoriin. Erilliskerätty biojäte vaatii yleensä monivaiheisen esikäsittelyprosessin. Lietteiden käsittely on helpompaa ja lietteiden esikäsittely ei vaadi isoja investointeja.

Mädätysjäännös voidaan hyödyntää sellaisenaan kuivaamatta tai kuivattuna lannoitevalmisteena tai sitä voidaan joutua käsittelemään. Sekä kuivattu että kuivaamaton mädätysjäännös kuuluvat tyyppinimeen ”*Mädätysjäännös*”. Kuivaamisen yhteydessä syntyvää nesteosaa eli rejektivettä voidaan käyttää lannoitevalmisteena, jos raaka-aineesta korkeintaan 10 % on ollut puhdistamoliettä. Sen tyyppinimi on tällöin ”*Rejektivet*”, joka kuuluu tyyppinimiryhmään orgaanisena lannoitteena sellaisenaan käytettävät sivutuotteet.

3.4.3 Bio- ja käymäläjätteen metaanintuottopotentiali

Syöteseoksen raaka-aineet vaikuttavat suuresti kaasun koostumukseen. Käymäläjätevedet ja biojätteet ovat hyviä raaka-aineita biokaasulaitokselle. Yhdyskuntien biojätteet sisältävät runsaasti helposti hajoavaa orgaanista ainesta ja niiden metaanintuottopotentiali on erittäin hyvä. Yhdyskuntajätevesilietteiden metaanintuottopotentiali on myös hyvä.

Virtsa sisältää vain vähän hajoavaa orgaanista ainesta, paljon vettä ja runsaasti ravinteita, fosforia ja typpeä. Liian typpipitoiset syötteet voivat aiheuttaa metaanintuottoprosessin inhiboitumista (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 26). Tästä syystä virtsan erottelu on todennäköisesti hyödyllistä biokaasuprosessin kannalta.

Biojäte ja erilliskerätty ulostejäte hyötyvät toisistaan metaanintuottopotentialissa. Singaporessa Nanyang Technological Universityssä (NTU) tehdyissä kokeissa havaittiin, että metaanintuotto bio- ja ulostejätteellä oli selkeästi suurempi kuin pelkällä bio- tai ulostejätteellä (Rajagopal ym. 2013).

4 KÄYMÄLÄ- JA BIOJÄTTEIDEN KERÄYSJÄRJESTELMÄT

Kappaleessa esitellään erilaisia sanitaatiojärjestelmiä, näihin liittyvät viemäröintijärjestelmät sekä biojätteen keräys jätemyllyn avustuksella.

4.1 Sanitaatiojärjestelmät

Sanitaatiojärjestelmän tyypistä riippuen ne tarvitsevat huuhteluvettä, sähköä, kuiviketta ja säiliön. Käymälät voivat olla myös virtsan ja ulostejakeen erottelevia.

4.1.1 Vesikäymälä

Vedellä huuhdottavassa käymäläistuimessa jätteet huuhdotaan vedellä viemäriin ja sieltä edelleen käsiteltäväksi. Vesikäymälöiden viemäröintinä käytetään tavallisimmin painovoimaan perustuvaa viettoviemäriä.

Nykyiset vesikäymälät kuluttavat noin 4 - 6 litraa vettä yhdellä huuhtelulla. Käymälässä voi olla myös kaksoishuuhtelupainike, jossa voidaan valita joko pienempi tai suurempi huuhteluvesimäärä. Istuimessa vesi muodostaa hajulukon huonetilan ja viemäriverkoston välille.

Vähävetisessä huuhtelukäymälässä huuhtelumäärä on alle 1,5 litraa (RTS 14:31, 9). Vähävetinen huuhtelukäymälä voi käyttää jopa 0,2-0,5 litraa huuhteluvettä mallista riippuen (Jätevesiopas s.a). Vähävetisen käymälän huuhtelukyky on heikko, joten käymäläjätevesien keräyssäiliön tulee tämän vuoksi sijaita istuimen lähellä (Jätevesiopas s.a). Vähävetinen käymälä tarvitsee tavallista suuremman viemärikaltevuuden, jopa yli 5 %, asennetun viemäriin (RTS 14:31, 9).

4.1.2 Kuivakäymälä

Kuivakäymälä ei käytä vettä virtsan ja ulosteiden kuljettamiseen, vaan ne kerääntyvät astiaan tai säiliöön. Kuivakäymälä voi sijaita sisällä tai ulkona, ja se voi olla tyypiltään esimerkiksi pakastava, kompostoiva tai tuhkaava käymälä. (RT 69-11177, 4.)

Kuivakäymälä voi toimia myös virtsan ja ulosteen istuinerottelulla, jolloin virtsa kerätään säiliöön ja sitä voidaan käyttää esimerkiksi lannoitteena.

Kaikki kuivakäymälätyypit (pakastavaa käymälää lukuun ottamatta) tarvitsevat erillisen ilmanvaihtojärjestelmän (RT 69-11177, 8.)

4.1.3 Erotteleva käymälä

Virtsan erottelevassa käymälässä laitteen istuinosa erottelee nesteen ja kiinteän käymäläjätteen eri säiliöihin jatkokäsittelyä varten. Erotteleva käymälä voi olla vesihuuhtelulla toimiva, vedetön eli kuivakäymälä tai alipaineella toimiva käymälä. Erottelevassa käymälässä virtsa kerätään erikseen ja hyödynnetään lannoitteena sellaisenaan tai käsiteltynä. Virtsan erottaminen kiinteistä jätteistä vähentää käymäläjätteiden käsittelyn ja varastoinnin hajuhaittoja.

Vesihuuhtelulla toimiva erotteleva käymälä on ulkonäöltään hyvin samanlainen kuin perinteinen vesikäymälä, mutta käymäläallas on kaksiosainen. Virtsa kerätään etuosasta ja kiinteä jäte takaosasta. Järjestelmä vaatii erilliset viemäriputket virtsalle ja kiinteälle jätteelle. (Tilley ym. 2014, 54.)

Virtsan keräysputket, liittimet ja venttiilit voivat tukkeutua kalkin ja virtsan aiheuttamasta virtsakivestä (struviitti). Tämä onkin yksi suurimmista erottelevien käymälöiden ongelmista ja se on huomioitava laitteiston suunnittelussa ja huollossa. (Larsen & Lienert 2007, 25.)

Virtsakiven muodostumista voidaan ehkäistä happohuuhteluilla tai mekaanisesti hankaamalla. Myös suunnittelulla voidaan ennaltaehkäistä tukkeumia. Painovoimalla toimivissa viemäreissä putkien kaltevuus tulisi olla riittävä, putkissa ei tulisi olla jyrkkiä mutkia, ne tulisi olla esteettömiä ja putken halkaisijan tulisi olla suuri. Eri lähteissä on eroja viemäriputkien vähimmäiskoko- ja kaato-suosituksissa. Yhden lähteen mukaan kaato tulisi olla vähintään 1 % ja viemäriputken halkaisija 50 - 75 mm (Tilley ym. 2014, 54). Toisen lähteen mukaan viemäriputket tulisi olla 65 - 110 mm ja kaadot 2 - 5 %. (Larsen & Lienert 2007, 25.)

Vesihuuhtelulla toimiva erotteleva käymälä on vielä harvinaisuus niin Suomessa kuin muualla maailmassa, mutta se on ollut kiinnostuksen kohteena erityisesti ravinnekierron ja energiahyötykäytön näkökulmasta. Alipaineella toimiva virtsan erotteleva käymälä on ollut kehitystyön kohteena mm. NTU:ssa (Nanayang Technological University). Virtsa huuhdellaan 0,2 l huuhteluvedellä ja ulostejae huuhdellaan yhdellä litralla. NTU:n kehittelemä käymäläistuim on osa kokonaisuutta, jossa kierrätetään tehokkaasti ravinteita ja tuotetaan jäteistä energiaa. (Science Daily 2012.)

Kuvassa 6 on vasemmalla erotteleva vesihuuhtelukäymälä ja oikealla alipaineella toimiva erotteleva käymälä (Wostman s.a).



Kuva 6. Erotteleva vesihuuhtelukäymälä ja alipainekäymälä (Wostman s.a.)

4.1.4 Alipainekäymälä

Alipaineella toimiviin vesihuuhtelukäymälöihin kuuluu yleensä jätesäiliö ja siihen liitetty pumppu. Pumppu imee käymäläaltaan tyhjäksi ja jätökset ja huuhteluvesi johdetaan ilman avulla putkea pitkin viemäriin tai umpisäiliöön (RTS 14:31, 9). Järjestelmän toiminta ei ole riippuvainen painovoimasta, ja viemäriputkien sijoitukset voidaan suunnitella joustavasti. Vedenkulutus on myös hyvin

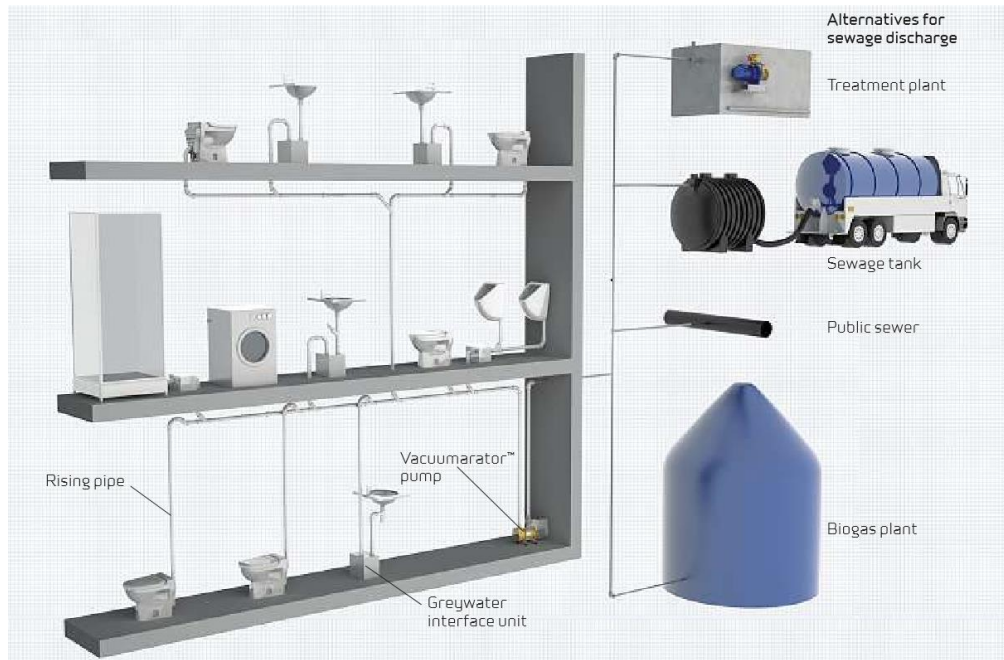
pieni perinteisiin vesivessoihin verrattuna, joten putkikoko voidaan pitää pienenä. Vedenkulutus voi olla alipainekäymälöissä noin 0,5 litraa (RTS 14:31, 9), mutta mm. Evacin ja Jetsin laivoihin suunnitellut alipainekäymälät käyttävät 1,2 litraa vettä huuhtelua kohden (Evac alipainejärjestelmät s.a; Marinevac s.a). Alipainejärjestelmiä on yleisesti käytössä laivoissa, junissa ja lentokoneissa.

Alipainetoimiset WC-järjestelmät kehitettiin 50-luvulla. Ajatuksena tällöin oli kerätä talteen helposti hyödynnettävää kiinteää ainesta kotitalousvessoista ja säästää vedenkulutusta. Järjestelmä koostui jatkuvasti alipaineistetusta tankista, johon WC-istuimet oli yhdistetty putkilinjoilla. Alipaine muodostettiin tankkiin omalla vakuumpumpulla ja tyhjennys hoidettiin erillisellä tyhjennyspumppulla (Jets 2007, 11 - 12).

Uudemmissa järjestelmissä vakuumi muodostetaan järjestelmään suoraan pumpulla. Erillisen keräyssäiliön tarvetta ei ole ja jäte voidaan pumpata samalla pumpulla joko viemäriverkkoon tai jätevesitankkiin (Jets 2007, 11, 14).

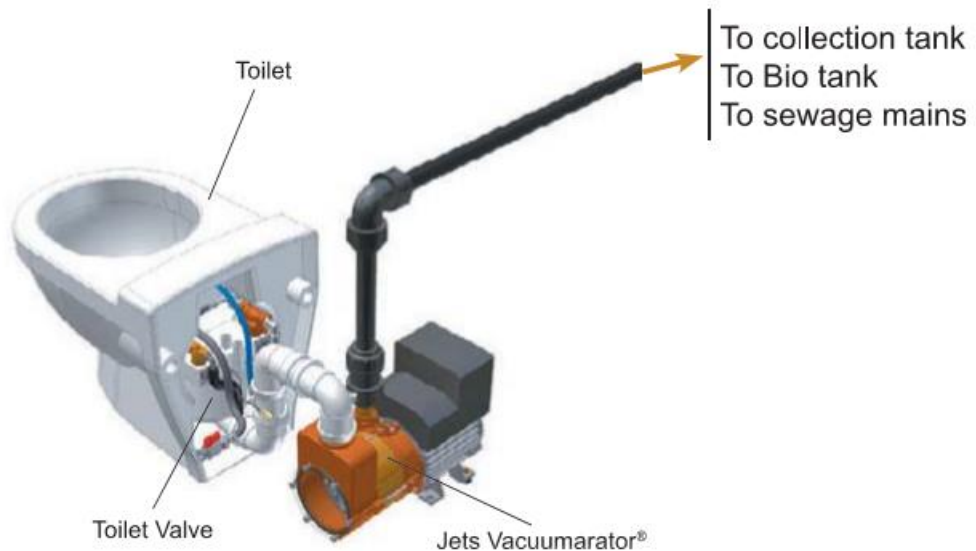
Vakuumpumppujärjestelmissä alipaine muodostetaan joko jatkuvasti (jatkuva alipainejärjestelmä: constant vacuum system (CVS)) tai se muodostetaan tarpeen mukaan (alipaine tarpeen mukaan: vacuum on demand (VOD)).

Kuvassa 7 on esitetty järjestelmä, missä alipainetta ylläpidetään jatkuvasti putkistossa. Järjestelmää käytetään isoissa rakennuksissa (yli neljä käymälää) ja pidemmissä putkijärjestelmissä (Jets 2013, 4).



Kuva 7. Jatkuvan alipaineen järjestelmä (Jets 2009)

Järjestelmää, joissa tyhjiöpumppu tekee alipainetta putkistoon tarvittaessa (esimerkiksi käymälän huuhtelussa), käytetään pienemmissä järjestelmissä missä WC-istuimia on neljä tai vähemmän (Jets 2013, 4). Kuvassa 8 on esitetty systeemi, joka muodostaa alipaineen tarvittaessa.



Kuva 8. Alipainekäymälä, jossa alipaine muodostetaan pumpulla tarvittaessa (Jets 2005)

4.2 Jätevesien viemärointi kerrostaloissa

Jätevesien viemärointi toteutetaan tavallisimmin painovoimaisella viettoviemäroinnillä. Viemärointi voidaan toteuttaa myös paineellisena tai alipaineella.

Viemäroinnin tulee täyttää rakentamiseen liittyvä lainsäädäntö. Määräyksiä ja ohjeita tulee erityisesti ympäristöministeriön asetuksesta rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista (1047/2017) ja näihin liittyvistä ohjeista, ympäristöministeriön asetuksesta rakennuksen ääniympäristöstä (796/2017) sekä ympäristöministeriön asetuksesta rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017).

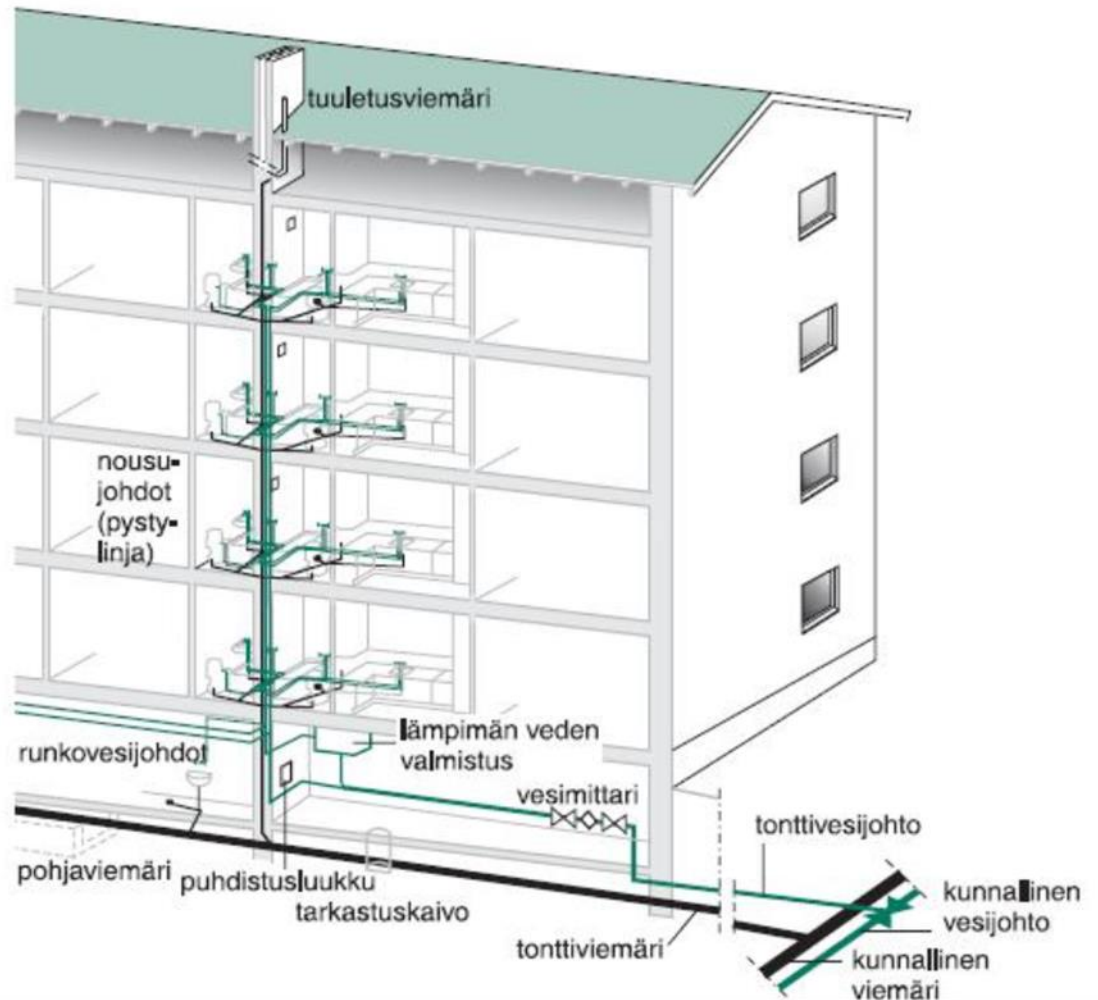
Ympäristöministeriön asetuksen rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista (1047/2017) mukaan jätevesilaitteistosta ei saa aiheutua terveydellistä vaaraa, hajuhaittaa, viemäritulvia, melua eikä ympäristöhaittaa. Viemärien on oltava riittävästi kannatettuja ja kiinnitettyjä sekä tarvittaessa ankkuroituja. Jätevesilaitteistossa on oltava helposti käsiteltävät, suljettavat puhdistusaukot sekä vaaka- että pystyviemäreissä. Puhdistusaukkojen on sijaittava niin, että putkisto voidaan puhdistaa kokonaan. Viemäreiden on oltava yhteydessä rakennuksen vesikaton yläpuolelle ulottuvaan tuuletusviemäriin ja kylmässä tilassa olevan tuuletusviemäriin on oltava lämmöneristetty. Lisäksi asetuksessa on kielletty viemäriin putkikokoon pienentyminen virtaussuunnassa.

Rakennuksen ääneneristyksen vaatimuksia tulee ympäristöministeriön asetuksesta rakennuksen ääniympäristöstä (796/2017). Asetuksessa on määritetty mm. enimmäisäänitasot eri huonetiloille. Viemäroinnistä aiheutuvia häiritseviä ääniä vähennetään viemärien sijoittelulla, viemäriputken, hormi- tai suojarakenteen eristämällä, kannakoinnilla, läpivientien tiiveydellä ja pystyviemäriin pohjakulman loivuudella ja äänieristyksellä. Häiritsevän äänen syntyminen on kannattavampaa estää ääniteknisesti oikealla suunnittelulla ja toteutuksella, kuin yrittää vaimentaa syntyvää ääntä erilaisilla keinoilla.

Viemäriputkien palosuojauksen lähtökohtana on rajoittaa palon sekä savun kehittymistä ja estää palon leviäminen määrätyn ajan osastosta toiseen viemäriverkoston ja läpivientien kautta. Yleensä asuinkerrostalot ovat P1-luokan rakennuksia ja palo-osastoitu huoneistoittain. (Uponor 2015, 36.)

4.2.1 Viettoviemärin suunnittelu kerrostalossa

Kerrostalon painovoimaiset viemärit toteutetaan tavanomaisesti kuvan 9 mukaisella tavalla.



Kuva 9. Leikkauskuva vesijohtojen ja painovoimaisen viemärin sijoittumisesta kerrostalossa (LVI 06-1042 2008, 5)

Viemärlaitteisto koostuu viemäripisteistä (lattiakaivo tai suora kytkentä viemäriin) hajulukkoista, tiivisteistä, putkista ja niiden yhteistä. Viemäripisteet yhdistetään kytkentäviemäriin kokoojaviemäriin, ja sieltä edelleen tonttivilmäriin.

Kerrostaloissa viemäröinti toteutetaan siten että kerroksessa on useita pystykokoojaviemäreitä, jotka toimivat samalla tuuletusviemäreinä. Pystykokoojaviemärit sijoitetaan hormitilaan, johon on sijoitettu tavallisesti myös muita talo-

tekniikan putkia ja kaapeleita. Pystyviemäri tuuletetaan katolle ja tuuletusviemäri on eristettävä kylmissä tiloissa. Enintään kolme pystyviemäriä voidaan yhdistää samaan vesikaton läpimeneväksi tuuletusviemäriksi (Uponor 2015, 60).

Kumotun rakentamismääräyskokoelman osan D1 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot, määräykset ja ohjeet 2007 liitteenä 4 on viemärlaitteiston mitoitusohjeet, jotka toimivat edelleen suunnittelijan työkaluna. Näiden ohjeiden mukaisesti WC-istuimien huuhteluvesimäärä tulisi olla vähintään 4 litraa. Alle 6 litran huuhteluvesimäärää tulisi käyttää vain asuinrakennuksissa, joissa WC-istuimen kytkentäviemäriin ja siihen liittyvän vaakakokoojaviemäriin vähimmäiskaltevuus on 20 ‰. Lisäksi WC-istuimen kytkentäviemäriin putkikoko on DN 100 (ulkohalkaisija 110). (D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, 47).

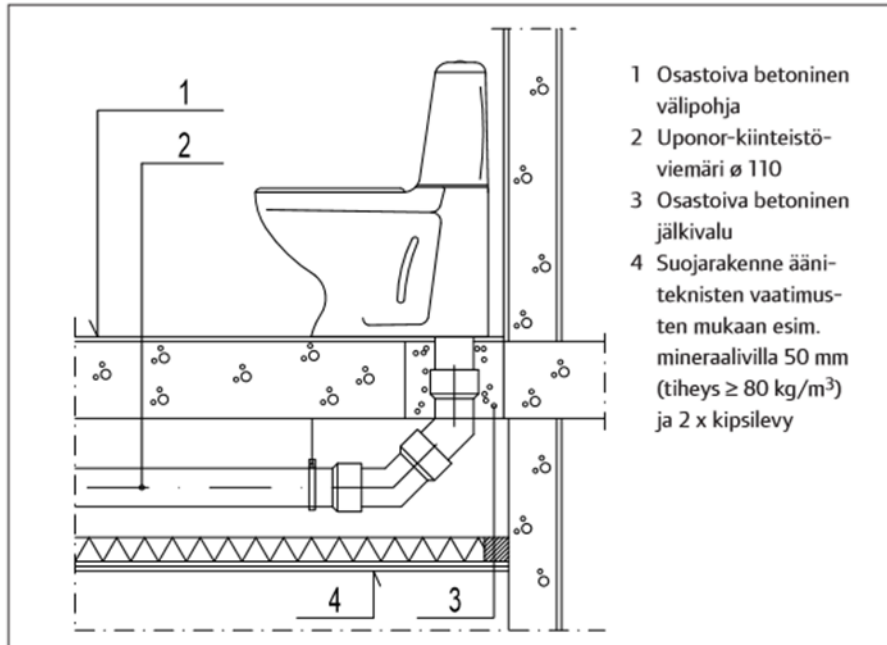
Jätevesiviemäri voidaan puhdistaa kytkentäviemäriin vesilukosta tai erillisestä puhdistusyhteestä. Puhdistusyhteitä asennetaan jokaisen pystyviemäriin alaosaan, vaakakokoojaviemäriin 20 metrin välein ja rakennuksen ulkopuolelle 40 m välein. (Uponor 2015, 54.)

Viettoviemäreissä viemärlaitteiden aiheuttama ääni syntyy pääasiassa jäteveden virratessa viemäriin. Kiinteää jätettä sisältävät jätevedet aiheuttavat enemmän ääntä, kuin pelkät pesuvedet. Myös putouskorkeus vaikuttaa oleellisesti syntyvään äänitasoon. Pystykokoojaviemäristä alas huuhdeltu aine aiheuttaa pohjakulmaan osuessaan voimakkaan iskuäänen, joka siirtyy viemäriin ja sen kannakkeiden sekä ilman kautta eteenpäin rakennuksessa. (LVI 20-10328 2001, 2.)

Kerrostaloissa viemäreistä syntyy ääntä matalia rakennuksia enemmän, koska jätevettä tulee useammasta asunnosta ja virtausnopeus kiintyy pitkissä pystykokoojaputkissa.

WC-istuin liitetään viemäriin esimerkiksi kuvan 10 mukaisesti. Uponor kiinteistöviemäröintikäsikirjan mukaan vaakakokoojaviemärit ja edelliseen liittyvät kyt-

kentäviemärit kannattaa sijoittaa välipohjan rakenteisiin sen huoneiston puolelle, jota ne palvelevat (Uponor 2015, 27). Vaakakokoojaviemäriin liitettäessä kytkentäviemäri toteutetaan 45° haarayhteellä (Uponor 2015, 55). WC-istuimen kytkentäviemäriputkikoko on 110 (Uponor 2015, 58).

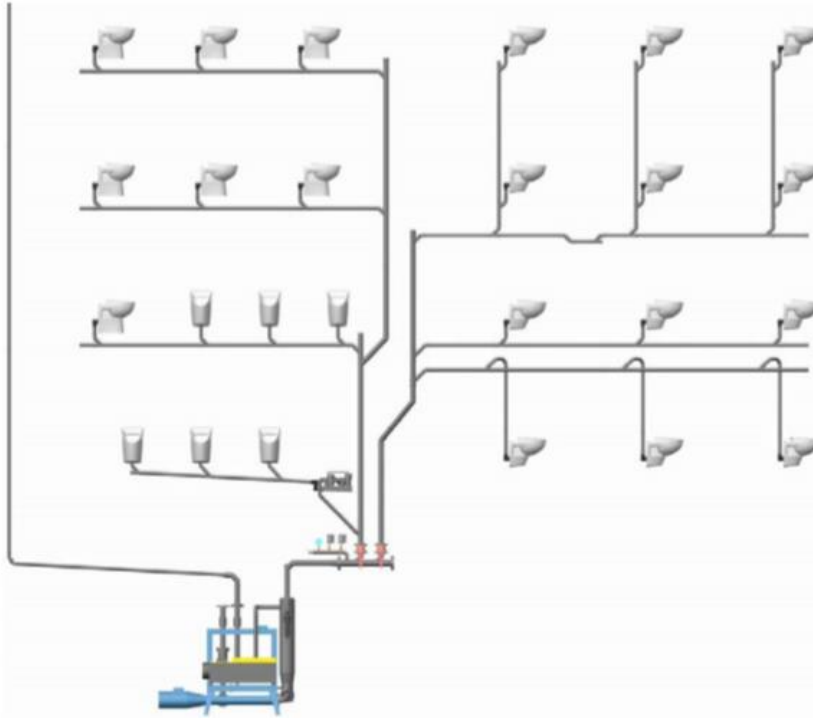


Kuva 10. WC-istuimen liittäminen viemäriin (Uponor 2015, 27)

4.2.2 Alipaineputkiston suunnittelu ja mitoitus

Kerrostalojen alipaineviemärijärjestelmät suunnitellaan jatkuvasti alipaineiseksi (Jets 2013, 4). Tässä kappaleessa on esitetty alipaineputkiston suunnittelun pääperiaatteita pääasiassa Evacin ja osittain myös Jetsin ohjeiden mukaisesti. Ohjeet ovat tarkoitettu laivojen alipaineviemäroinnin suunnitteluun, mutta samat toimintaperiaatteet koskevat kaikkia jatkuvasti alipaineisia viemärijärjestelmiä.

Alipaineputkissa suositellaan alaspäin suuntautuvia putkiliitoksia, vaikka wc-istuimet voidaan kytkeä myös nouseviin putkiin (Evac 2019, 7). Tyhjiöyksiköt ja pystysuorat pääputkistot kannattaa sijoittaa tasaisesti, jotta vaaka- ja pystykeräysputket olisivat mahdollisimman lyhyet (kuva 11).



Kuva 11. Vaaka- ja pystykeräysputket kannattaa pitää mahdollisimman lyhyenä (Evac 2019, 7)

Putkiliitoksiksi suositellaan työntöliitoksia, ja liitosten sisäpintojen tulee olla siileät. Putken on oltava paineluokaltaan PN 10. Taulukossa 1 on esitetty Evacin suosittelemat putkimateriaalit ja halkaisijat. (Evac 2019, 8.)

Taulukko 1. Vähimmäisputkikoot eri putkimateriaaleille (Evac 2019, 8)

Linjaan liitetyt yksiköt (huoneisto WC)	Linjaan liitetyt yksiköt (yleinen WC)	Ruostumaton teräs, ulkohalkaisija (mm)	Galvanoitu teräs	Muovi
0-3	1	50	53	50
4-25	5	50	53	63
26-100	25	75	73	75

Suunnan muutokset tehdään käyttämällä 45 °: n kulmia. 90 °:n kulmat (lyhyellä säteellä) ovat sallittuja vain kytkettäessä wc istuin putkistoon ja joissakin erityistapauksissa (Evac 2019, 8 - 9). Putkien kannakointi on toteutettava erityisen huolellisesti, koska alipaineviemärissä jätevedet kulkevat hetkittäin nopeasti.

Alipaineputkien vaakasuorat linjat on suunniteltava loivasti laskeviksi ja niihin on suunniteltava taskuja, joissa kuljetettava aines muodostaa koko putken poikkipinta-alan peittävän tulpan. Tulpan avulla muodostuu paine ero, jolla saadaan kuljetettava aines liikkeelle. Kun putkilinjan WC huuhdellaan, työntää korkeampi

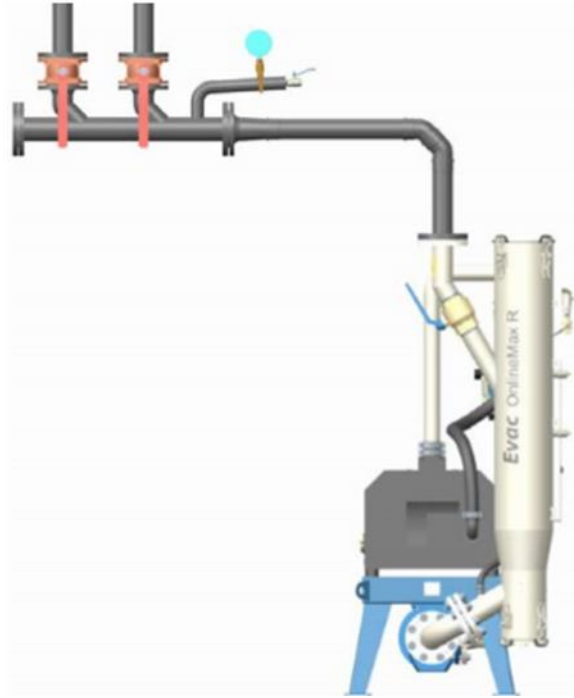
ilmanpaine kuljetettavan jätevesilietteen seuraavaan taskuun (Evac 2019, 11-12). Jetsin suosittelemat kuljetustaskuetäisyydet ovat 10-25 m (Jets 2007, 5).

Huoltoluukut tulee sijoittaa siten että niihin on helppo päästä ja että koko putkisto voidaan huoltaa ja puhdistaa näiden luukkujen avulla. Suositeltava etäisyys huoltoluukuille on 15-25 metriä. Huoltoluukut kannattaa sijoittaa kuvan 12 mukaisesti kuljetustaskujen yhteyteen, pystyputken yläpäähän tai vaakaputken loppuun. (Evac 2019, 19.)



Kuva 12. Huoltoluukut on suositeltavaa sijoittaa kuljetustaskun yhteyteen (Evac 2019, 13)

Putkilinjat yhdistetään monihaarayhteellä. Yhdysputken päähän on suositeltavaa sijoittaa tyhjiömittari. Sulkuventtiilin asentaminen jokaisen haaraputken päähän helpottaa huoltoja. Ilmaventtiilin asentaminen monihaarayhteeseen helpottaa huolto- ja tarkastustoimia. Yhdysputki on suositeltavaa sijoittaa tyhjiöyksikön päälle kuvan 13 mukaisesti.



Kuva 13. Yhdysputkien sijoittaminen tyhjiöyksikön yhteyteen (Evac 2019, 18)

Alipainekäymäläjärjestelmään kannattaa suunnitella kalkinpoistoa varten kemikaalien syöttöpisteet. Kalkinpoistokemikaalinsyöttöpiste voidaan sijoittaa WC:n yhteyteen huoltotilaan tai suoraan putkistoon. (Evac 2019, 21 - 22.)

4.3 Biojätteen keräys

Biojätteen nykyiset keräyskäytännöt Suomessa on esitetty kohdassa 3.2.2. Seuraavissa kohdissa esitetään vaihtoehtoinen tapa biojätteen keräykselle jätemyllyjen avustuksella.

4.3.1 Kotitalouksien biojätteen keräys jätemyllyllä

Jätemyllyä käytetään yleisesti mm. Yhdysvalloissa kotitalouden biojätteiden murskaamiseen ja johtamiseen viemäriin. Se asennetaan tiskialtaan alle (kuva 14). Muualla maailmassa se on vähemmän tunnettu, mutta esimerkiksi Ruotsissa sitä käytetään ainakin Tukholman alueella (Stamyr ym. 2015, 2) ja Suurrahammarissa (Local Government Association 2012,14).



Kuva 14. Jätemylly keittiöjätteelle (Local Government Association 2012,1)

Suomessa ei yleisesti käytetä jätemyllyjä biojätteiden johtamiseen jätevesiviemäriin. Suomen jätevesiviemäreitä ja jätevesienpuhdistuslaitoksia ei ole mitoitettu biojätteiden käsittelylle ja biojätteet aiheuttaisivat mahdollisesti ongelmia putkissa ja jätevesien käsittelylaitoksilla.

Ympäristöministeriön asetuksen rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista (1047/2017) mukaan jätevesilaitteistosta ei saa aiheutua terveydellistä vaaraa, hajuhaittaa, viemäritulvia, melua eikä ympäristöhaittaa. Talotekniikkainfon Vesi- ja viemärlaitteistot -oppaan mukaan (2019, 34) jätevesimyllyn asentamisesta voi aiheutua edellä mainittuja haittoja ja sen vuoksi jätemyllyn asentaminen viemäriin on kiellettyä. Vesi- ja viemärlaitteistot -oppaan ohjeet ovat kuitenkin suosituksia, eivät määräyksiä. Periaatteessa jätemyllyjen käytölle ei ole laillisia esteitä, ja jätemyllyjen käyttö on käytännössä kuntien vastuulla.

Kuntien jätehuoltomääräyksissä on usein maininta, että jätemyllyjen käyttäminen on kielletty. Lisäksi kuntien vesi- ja viemärlaitoksien liittymismääräyksissä on tavallisesti maininta, että jätemyllyn saa asentaa viemäriin vain jätevesilaitoksen erityisellä luvalla. Jätemyllyn asentaminen asuinrakennuksen viemäriin tarvitsee käytännössä mahdollisen poikkeamisluvan jätehuoltoviranomaiselta jätehuoltomääräyksistä ja luvan viemärlaitokselta laitteen asentamiseen.

Tampereen seudun jätehuoltomääräyksissä ei ole kielletty jätemyllyn käyttöä (Alueellinen jätehuoltolautakunta 2014) ja myöskään Tampereen Vedellä ei ole

liittymismääräysetoja (Tampereen Vesi s.a), joissa kielletäisiin jätemyllyn käyttö tai sille vaaditaan jätevesilaitoksen lupa. Tampereen Veden mukaan liittymissopimus tehdään, kun vesi- ja viemärisuunnitelmat on hyväksytty.

Asuinrakennuksen rakentaminen vaatii aina rakennusluvan. Rakennusluvan ehdoissa on vaatimukset vesi- ja viemärisuunnitelmista, jotka tulee hyväksyttää rakennusvalvonnassa. Jätemyllyn asentaminen tarkastellaan myös rakennusluvan yhteydessä.

Suomessa on saatavilla myös asumisen biojätteiden hienontamiseen ja viemäriin johtamiseen soveltuvia jätemyllyjä. Näitä ovat mm. Thermexin ja Byggmaxin toimittamat mallit. Alla olevassa taulukossa on esimerkkejä kotitalouksiin soveltuvista jätemyllyistä ja niiden ominaisuuksista.

Taulukko 2. Jätemylljen vertailua (Thermex 2019; Byggmax s.a.)

	Malli	Teho W	Äänenvoimakkuus dB	Paino kg	Muuta	Myyjä
	Waste-minator II	370	15-25	6	Pyörimisnopeus 1500	Thermex
	Waste-minator III	560	15-25	6		Thermex
	Waste-minator III	560	15-25	10,5	Suunta vaihdettava	Thermex
	Model 66-2 Intra	405	20 % hiljaisempi kuin 25 dB:n perusmylly	11		Byggmax
	Evolution E200 Intra		60% Hiljaisempi kuin 25 dB:n perusmylly	13	Vaihdettava suunta, 3-vaiheinen silppuri	Byggmax
	Decosteel Deco750			7	pyörimisnopeus 2600	Byggmax

Biojätteitä kerätään laivoilla yleisesti jätemyllykeräyksellä. Esimerkiksi Tallink-Siljan ja Viking Linen (pois lukien Viking Gracen) ruotsinlainvojen biojätteet jauhetaan jätemyllyillä muun jäteveden joukkoon, pumpataan satamissa edelleen viemäriverkkoon ja sitä kautta käsiteltäväksi (Iltaanen 2015).

Yleinen ongelmatilanne laivojen jätemyllyjen kanssa on putkilinjojen tukkeutuminen. Tämä tapahtuu erityisesti silloin, jos murskaimeen syöttää liian nopeasti ruokajätettä, tai sinne kuulumattomia tuotteita, se ei ehdi murskata sitä tarpeeksi, jolloin jäte saattaa jäädä jumiin murskaimeen tai pitkiin putkilinjoihin (Henttonen 2014, 23).

Mm. Evacilla on ruokajätteille oma alipainekeräysjärjestelmänsä. Evacin ruokajätteen alipainekeräysjärjestelmä (kuva 15) koostuu ruokasilppurista, tyhjiöyksiköstä ja säiliöstä. Ruokajätteen sekaan lisätään vettä, jotta jätteestä saadaan lietettä. (Evac food waste management system s.a.)



Kuva 15. Evacin ruokajätteen alipainekeräysjärjestelmä (Evac food waste management system s.a)

4.3.2 Biojätteiden keräyksessä käytettävän viemärin suunnittelu

Biojätteiden viemärikeräys voidaan toteuttaa viettoviemärillä tai alipaineviemärillä. Suomessa viemärlaitteiston suunnittelua ohjaa ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista (1047/2017) sekä siihen liittyvä ohjeistus. Kiinteiden biojätteiden viemärointiä koskevat oletettavasti samat suunnittelukriteerit ja lainalaisuudet kuin kiinteiden käymäläjätteiden viemärointiä. Mikäli biojätteitä kerätään perinteisellä viettoviemärillä, tulee kytkentä- ja kokoojaviemäriputkien koko, kaltevuus ja huuhtelu olla riittävä. Lisäksi myös jätteet vastaanottava käsittelylaitos tulee olla mitoitettu ja suunniteltu käsittelemään myös biojätteet.

Laivoissa on toteutettu alipaineella toimivia keräysjärjestelmiä ruoka- ja käymäläjätevesille. Käymälä- ja ruokajätteiden alipainekoneikko on ainakin Evacin järjestelmissä lähes samanlainen (Henttonen 2014, 31).

4.4 Jätevesien johtaminen käsittelyyn

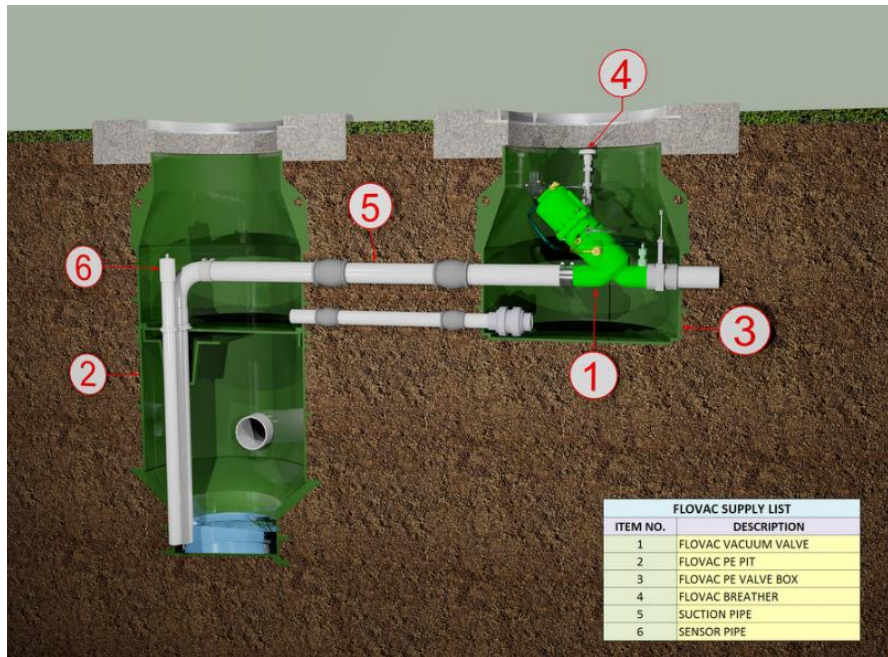
Ympäristöministeriön asetuksen rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista (1047/2017) mukaan jätevesi on johdettava vesihuoltolaitoksen viemäriin tai kiinteistökohtaisesti puhdistettavaksi taikka umpisäiliöön. Käytännössä omakotitalojen ja kerrostalojen on liityttävä vesihuoltolain (119/2001) mukaisesti jätevesiviemäriin, jos kiinteistö sijaitsee taajama-alueella sekä vesihuoltolaitoksen toiminta-alueella. Liittymisvelvollisuudesta voi hakea vesihuoltolain mukaisesti vapautusta kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselta, mutta vapauttaminen ei saisi vaarantaa esimerkiksi vesihuollon taloudellista ja asianmukaista hoitamista vesihuoltolaitoksen toiminta-alueella.

Viemäriverkosto toimii perinteisesti painovoimaisesti viettoviemärinä tai paineviemärinä. Paineellisessa viemärointijärjestelmässä pumpataan jätevesi viemäriin, joka on myös paineellinen. Vietto- ja paineviemäritekniikkaa voidaan yhdistää samassa verkostossa. (Vihavainen 2011, 14.)

Viemäriverkosto muodostuu tonttviemäristä, kokooja- ja runkoviemäriinjoista, sekä verkostoon liitetyistä pumppaamoista. Verkostossa on myös huoltoa palvelevia tarkastus- ja huoltokaivoja. Pitkissä viettoviemäriinjoissa voidaan käyttää ilmanpoistokaivoja. Verkostojen materiaaleina on käytetty muovia, betonia ja terästä. (Vihavainen 2011, 14.)

Suomen Rakennusinsinöörien liiton Vesihuoltoverkkojen suunnittelu -oppaan mukaan viemäri tulisi suunnitella ensisijaisesti käyttämällä viettoviemäreitä, jotta pumppaamoiden huoltotoimilta ja paineviemäriin hajuhaitoilta vältyttäisiin. Haja-asutusalueella voi tulla edullisemmaksi paineviemäriin käyttö, koska viettoviemäriosuuksille tulee suorien putkien välille rakentaa tarkastuskaivoja tarpeellisin välein. Viemärit pyritään sijoittamaan katualueille ja yleisille alueille. (RIL 237-1-2010 2010, 26 - 27.)

Jätevesien poisjohtaminen asuinalueilta puhdistamoille voidaan toteuttaa myös alipaineviemärillä. Alipaineviemäreitä toimittaa mm. Flovac. Flovacin alipaineviemärijärjestelmä koostuu keräyskaivosta, alipaineventtiilistä, alipaineviemäristä ja alipainepumppuasemasta. Rakennusten jätevedet johdetaan keräyskaivoon, josta jätevedet liikkuvat alipaineventtiilin avautuessa kohti alipainepumppuasemaa. Hyvin suunniteltu viemärijärjestelmä voi toimia jopa viiden kilometrin etäisyydellä alipainepumppuasemasta. Kuvassa 16 on esitetty Flovacin keräyskaivo ja alipaineventtiili. (Flovac s.a.)



Kuva 16. Flovacin keräyskaivo ja alipaineventtiili (Flovac s.a)

Flovacin mukaan alipaineviemäröinnillä voidaan saavuttaa kustannussäästöjä perinteiseen viemäröintitapaan verrattuna. Kustannussäästöt syntyvät mm. järjestelmän vähäisestä sähkönkulutuksesta ja säästöissä rakentamiskustannuksissa. Muita alipaineviemärijärjestelmän etuja ovat hyvä vuodonhallinta ja se voidaan asentaa myös maastonmuodoiltaan ja maaperältään haastaviin kohteisiin. (Flovac s.a.)

5 SANITAATIOJÄRJESTELMIEN JA BIOJÄTTEEN KERÄYKSEN VERTAILU

Työssä vertaillaan erilaisia sanitaatiojärjestelmiä ja pohditaan biojätteen erillis-keräyksen toteuttamista huoneistokohtaisella jätemyllyllä. Työn tuloksia hyödynnetään Hiedanrannan superkorttelialueen suunnittelussa. Vertailun kohteena ovat eri järjestelmien laite- ja materiaalivaatimukset, käytännön toteutettavuus sekä se, millaisia ravinnekiertoa ja energiahyötykäyttöä eri järjestelmät mahdollistavat.

Tarkasteltavia sanitaatiovaihtoehtoja on neljä:

Vaihtoehto 1 – Perinteinen vesikäymälä

Vaihtoehto 2 – Alipainekäymälä

Vaihtoehto 3 – Erotteleva vähävetinen käymälä, virtsa + uloste erottelu

Vaihtoehto 4 – Erotteleva alipainekäymälä, virtsa + uloste erottelu

SYKE on tehnyt keväällä 2018 tutkimuksen Tampereen Hiedanrannan alueelle soveltuvien sanitaatoratkaisujen ympäristövaikutuksista (Vilpas & Lehtoranta 2018). Sanitaatiovaihtoehdoille 1-3 on tehty elinkaariarviointi ja 4 vaihtoehto on opinnäytetyön tekijän oma lisäys sanitaatiojärjestelmien vertailuun. Vaihtoehdossa 1 on lisäksi tarkasteltu kahta erilaista viemärointitapaa. Vaihtoehdossa 1 a kaikille kotitalouksien jätevesille rakennetaan yhteinen keräysputkisto ja vaihtoehdossa 1 b käymälävedet ja biojätteet kerätään omalla erillisellä keräysputkistolla.

Käymäläjärjestelmien ja ravinnekiertomahdollisuuksien tarkastelu ja vertailu on toteutettu oletuksesta, että biojätteiden keräys toteutetaan jätemyllykeräyksellä kaikissa sanitaatiojärjestelmissä.

Työssä on oletettu, että Hiedanrannan alueelle rakennetaan biokaasulaitos ja että käymäläjätevedet ja biojäte johdetaan putkilinjoja pitkin tai autokeräyksellä käsiteltäväksi biokaasulaitokseen.

Keräysjärjestelmäkaaviossa on käytetty yhtenäisyyden vuoksi seuraavia termejä:

Harmaat jätevedet:	Asumisessa erilaisista pesutoiminnoista syntyvä jätevesi, joka ei sisällä käymäläjätevesiä
Mustat jätevedet:	Käymälävesiä sisältävä jätevesi
Keltaiset jätevedet:	Errottelevan käymälän virtsa ja huuhteluvesi
Ruskeat jätevedet:	Errottelevan käymälän ulostejae ja huuhteluvesi

5.1 Biojätteiden ja käymäläjätteiden yhteiskeräys ja käsittely

Koska työssä tarkastellaan myös biojätteiden jätemyllykeräysmahdollisuutta, työn oletuksena on, että kaikissa sanitaatiojärjestelmissä käymälävedet ja biojätteet kerätään yhdessä ja ne johdetaan joko yhteistä putkilinjaa pitkin tai autokeräyksellä käsiteltäväksi alueella toimivaan biokaasulaitokseen. Mikäli myös harmaat jätevedet johdetaan samaan käsittelylaitokseen, tällöin tarvitaan myös jäteveden puhdistuslaitos ennen biokaasulaitoskäsittelyä.

Perinteisellä painovoimaisella viemärillä voi olla haastavaa johtaa paljon kiintoainesta sisältäviä jätevesiä käsittelylaitokselle. Mikäli biojätteet ja käymäläjätevedet kerätään erikseen yhteisjakeena, tällöin jätevedessä on huomattavasti enemmän kiintoainesta perinteisiin kotitalousjätevesiin verrattuna. Kohdassa 4.4 esitetty alipaineviemäri on tällöin varteenotettava vaihtoehto paljon kiintoainesta sisältävien jätevesien johtamiseen käsittelylaitokselle.

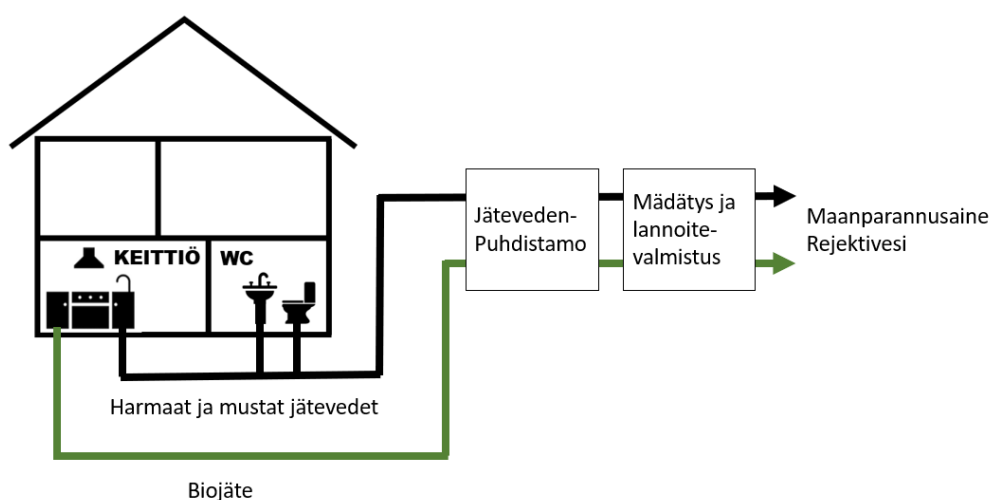
Jätemylyllä kerätty biojäte on lähes valmis syöte biokaasulaitokselle, ja jätemyllykäsittelyllä voidaan välttää biojätteen hankalat esikäsittelyprosessit. Perinteisellä tavalla erilliskerätty biojäte sisältää paljon epäpuhtauksia, se pitää puhdistaa ja murskata ennen reaktorikäsittelyä. Puhdistus tapahtuu tyypillisesti esimurskaamalla biojätettä, poistamalla magneettikeräyksellä metalleja, ja seulomalla tämän jälkeen epäpuhtaudet pois biojätteestä (Kymäläinen & Pakarinen, 52). Märkätyyppisissä biokaasulaitoksissa biojäte on lisäksi lietettävä pumppattavaan muotoon, ja tämä vaatii myös omat laitteistonsa. Biojätteen jätemyllykeräys toisi kustannussäästöjä sekä biokaasulaitoksen rakentamisessa ja käytössä. Lisäksi käymäläjätevedet ja biojätteet hyötyvät mahdollisesti toisis-

taan metaanintuottopotentiaalissa ja näiden yhteiskäsittely tuottaa mahdollisesti myös paremmin biokaasua, kuin jakeiden käsittely eri reaktoreissa (Rajagopal ym. 2013).

Koska kyseessä on lietemäisten jätejakeiden käsittely, biokaasulaitos on luonnollisesti märkätyyppinen biokaasulaitos tai erityisesti jätevesien käsittelyyn tarkoitettu täytekappalekolonnireaktori (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB). Märkäprosesseissa voi olla tarvetta lietteen tiivistykselle ennen tai jälkeen biokaasuprosessin. Biokaasulaitoksella tiivistämien tehdään tyypillisesti linkouksella, ruuvipuristuksella tai suotonauhapuristuksella (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 53). Tiivistäminen lisää kustannuksia, energiankulutusta ja monimutkistaa prosesseja. Myös rejektivesille tulee olla oma käsittelyprosessinsa. Tiivistyksessä voi tarvita myös polymeerejä.

5.2 Vaihtoehto 1 a – Perinteinen vesikäymälä

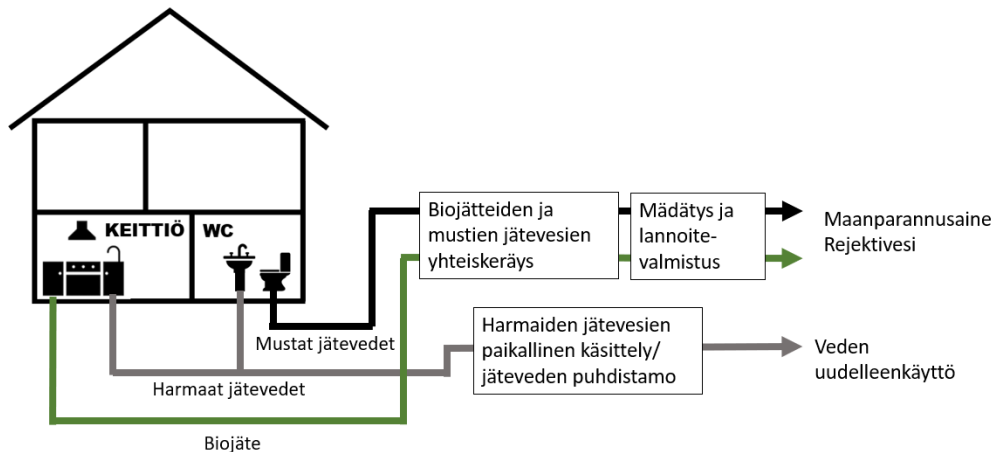
1 a-vaihtoehdossa käymälä on perinteinen vesikäymälä, jonka jätevedet johdetaan pesuvesien ja biojätteiden kanssa samaan viemäriin ja edelleen viemäriputkistolla jätevedenpuhdistamoon. Jätevedenpuhdistuslaitokselta lietteet johdetaan keskitettyyn biokaasulaitokseen mädätettäväksi ja tämän jälkeen lannoitehyötykäyttöön.



Kuva 17. Perinteisessä vesikäymäläjärjestelmässä kaikki jätevedet johdetaan jätevedenpuhdistamolle käsiteltäväksi

5.3 Vaihtoehto 1 b – Perinteinen vesikäymälä omalla keräysputkistolla

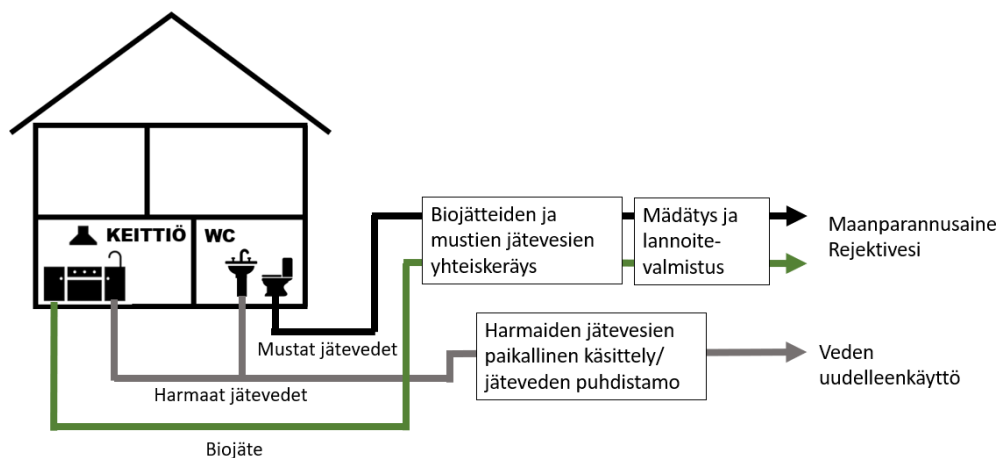
Paikallisen jätevesien käsittelyn ja ravinnerikkeen näkökulmasta ravinnerikkaat käymäläjätevedet ja biojätteet voi olla järkevää kerätä erikseen muista jätevesistä. Tällöin käymäläjätevesiä ja biojätteitä ei johdeta pesuvesien kanssa samaan viemäriin, vaan näille rakennetaan oma erillinen keräysputkisto.



Kuva 18. Käymäläjätevedet ja biojätteet johdetaan yhdessä käsiteltäväksi biokaasulaitokseen

5.4 Vaihtoehto 2 – Alipainekäymälä

Toisessa vaihtoehdossa käymäläistuimena on alipainekäymälä, jonka jätevedet johdetaan omaa erillistä putkistoa pitkin säiliöön tai muualle käsiteltäväksi. Samaan viemäriin tai säiliöön johdetaan myös jätemylyillä kerätyt biojätteet. Pesuveset johdetaan käsittelylaitokseen.



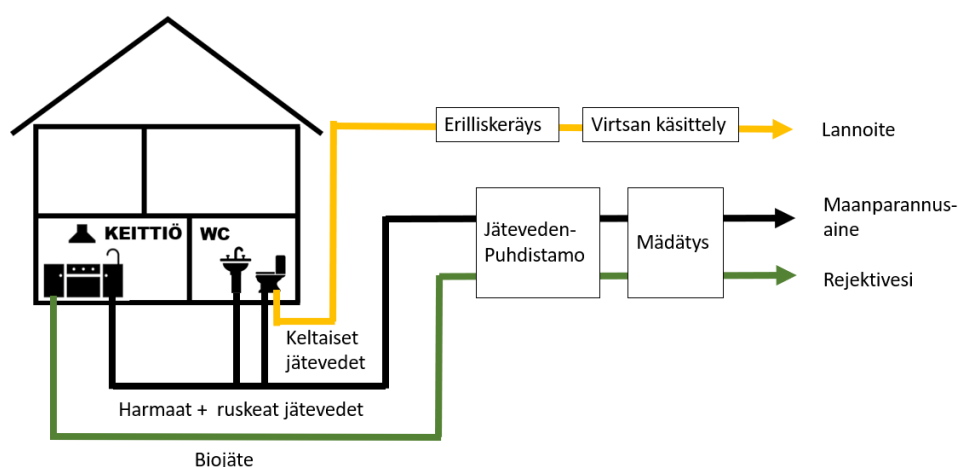
Kuva 19. Alipainekäymäläjärjestelmässä biojätteet kerätään ja käsitellään yhdessä käymäläjätevesien kanssa

5.5 Vaihtoehto 3 – Erotteleva vähävetinen käymälä

Kolmannessa vaihtoehdossa käymäläistuimena on erotteleva vähävetinen käymälä, jolle toteutetaan tavallisesti erilliset viemäriputket virtsalle ja ulostejätteille.

Vähävetisissä (ei alipaineella toimivissa) käymälöissä jätevesien johtamiseen käytettävien putkien tulee olla lyhyitä, oikealla kaltevuudella ja säiliöiden tulee sijaita lähellä käymäläistuinta, muuten jätevesi ei kulkeudu halutulla tavalla keräyssäiliöön (Jätevesiopas s.a.). Edellä mainittujen tekijöiden toteutuminen vähävetisessä käymälässä on hankalaa kerrostaloympäristössä. Lisäksi suosituksen mukaan WC-istuimien huuhteluvesimäärä tulisi olla vähintään 4 litraa (D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007), joka ei myöskään toteudu vähävetisissä käymälöissä.

Käymäläjärjestelmän käytännön toimivuus kerrostalossa on erittäin tärkeää. Vaihtoehdossa 3 keräys onkin edellisessä kappaleessa mainituista syistä kerrostaloympäristössä kannattavaa toteuttaa siten, että keltaiset jätevedet (virtsa + vähän huuhteluvettä) johdetaan omaa putkistoa pitkin erilliseen tankkiin tai putkea pitkin käsittelylaitokselle ja ruskeat jätevedet (ulostejae + huuhteluvettä) johdetaan pesujätevesien ja biojätteiden kanssa viettoviemäriin ja sieltä edelleen jätevedenpuhdistamolle käsittelyyn.

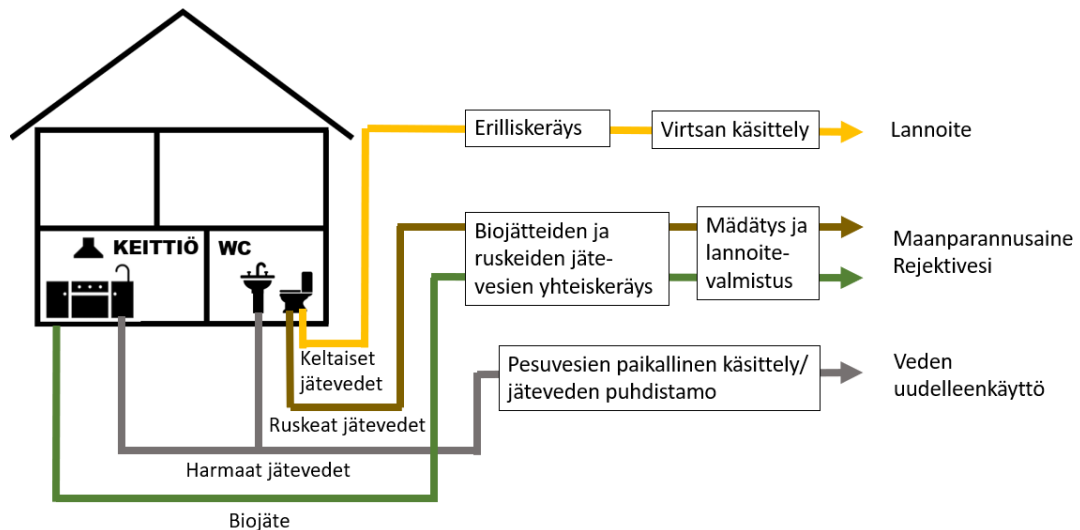


Kuva 20. Keräysjärjestelmässä VE 3 erotellaan virtsa muista jätevesistä

Nestemäinen keltainen jätevesi kulkeutuu putkistossa helpommin, mutta ongelmaksi muodostuu erityisesti virtsakiven muodostuminen, mikäli putkea ei suunnitella ja asenneta oikein. Virtsakiven muodostuminen onkin yksi suurimmista erottelevien käymälöiden ongelmista. (Larsen & Lienert 2007, 25.)

5.6 Vaihtoehto 4 – Erotteleva alipainekäymälä

Neljännessä vaihtoehdossa käymäläistuinena on erotteleva alipainekäymälä, jossa ruskeat ja keltaiset jätevedet johdetaan omia erillisiä putkistoja pitkin käsittelyyn. Ruskeiden jätevesien kanssa samaan säiliöön/ putkistoon johdetaan myös jätemylyillä kerätyt biojätteet. Virtsan kanssa samaan säiliöön/ putkistoon johdetaan myös jätemylyillä kerätyt biojätteet.



Kuva 21. Erottelevassa alipainekäymälässä kerätään keltaiset ja ruskeat jätevedet erikseen

Vaihtoehdon 4 erottelevan käymäläistuimen ulostejakeen viemäröinti toteutetaan alipaineisena ja virtsajakeen viemäröinti painovoimaisella viettoviemärillä.

6 TULOKSET

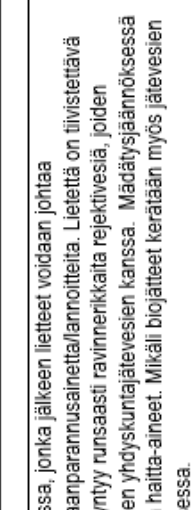
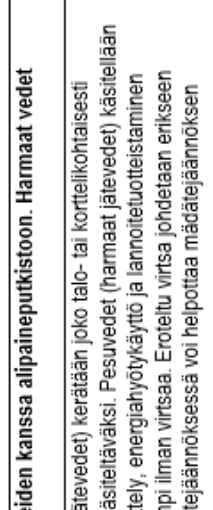
Koska työssä tarkasteltiin myös biojätteiden keräystä jätemyllyjen avustuksella, on vertailut, ravinnekierto- ja energiahyötykäyttömahdollisuudet arvioitu eri sanitaatiovaihtoehdoille sillä oletuksella, että biojätteiden keräys jätemyllyllä yhdistetään järjestelmiin. Lisäksi tarkastelussa on käytetty oletusta, että ravinnerikkaat jätevesijakeet johdetaan biokaasulaitokselle käsiteltäväksi.

Jätemyllyn valinnassa oleellisia seikkoja ovat jätemyllyn toimintavarmuus ja äänitaso. Jätemyllyn pyörimissuunta olisi hyvä olla vaihdettavissa tukoksien avaamisen helpottamiseksi. Jätemyllylle tarvitaan oma allas, tämä on huomioitava keittiösuunnittelussa ja allasvalinnassa. Mikäli biojätteet johdetaan viettoviemäriin, viemäriin mitoituksessa tulee ottaa huomioon samat seikat kuin kiinteiden käymäläjätteiden viemäroinnin suunnittelussa: viemäriin kaato ja putken koko tulee olla riittävä, sekä tukkeutumien poistoon tulee olla riittävästi puhdistusaukkoja. Mikäli biojätteet kerätään alipaineviemäroinnillä, tällöin hyvä vaihtoehto voisi olla kohdassa 4.3.1 mainittu valmis alipainekeräysjärjestelmä.

Biojätteen jätemyllykeräys helpottaa biojätteen esikäsittelyprosesseja biokaasulaitoksella, tuo kustannussäästöjä sekä biokaasulaitoksen rakentamisessa ja käytössä. Lisäksi käymäläjätevedet ja biojätteet hyötyvät todennäköisesti toisistaan metaanintuottopotentialissa ja näiden yhteiskäsittely tuottaa mahdollisesti myös paremmin biokaasua, kuin jakeiden käsittely eri reaktoreissa (Rajagopal ym. 2013).

Taulukossa 3 on esitetty ravinnekierto- ja energiahyötykäyttömahdollisuudet, kun järjestelmiin on yhdistetty biojätteiden keräys jätemyllyn avulla.

Taulukko 3. Eri järjestelmien käsittely-, energiantuotanto- ja ravinnekiertomahdollisuudet

<p>VA1a: Perinteinen vesikäymälä, jossa käymälävesien ja biojätteiden viemäröinti toteutetaan yhdessä pesuvesien kanssa</p> 	<p>Vaihtoehdossa kaikki jätevedet on käsiteltävä ensin jäteveden puhdistamossa, jonka jälkeen lietteet voidaan johtaa biokaasulaitokselle energiantuotantoon ja tuottaa mädätysjäännöksestä maanparannusainetta/lannoitteita. Lietettä on tiivistettävä ennen biokaasukäsittelyä ja mahdollisesti myös käsiteltävä jätteen, jolloin syntyy runsaasti ravinnerikkaita rejektivesiä, joiden käsittely on järjestettävä. Rejektivedet käsitellään tavallisesti yhdessä muiden yhdyskuntajätevesien kanssa. Mädätysjäännöksessä ja lannoitustuotteessa on mukana pesuvesien ja muut yhdyskuntajätevesien haitta-aineet. Mikäli biojätteet kerätään myös jätevesien mukana, tämä on huomioitava myös jätevedenpuhdistuslaitoksen mitoituksessa.</p>
<p>VE 1b: Perinteinen vesikäymälä, jossa käymälävedet ja biojätteet johdetaan erikseen käsitellyyn omalla keräysputkistolla ja harmaat jätevedet käsitellään erikseen</p> 	<p>Vaihtoehdossa ravinneikkaat ja kiintoainepitoiset biojätteet ja käymäläjätevedet voidaan johtaa suoraan omalla jakeenaan biokaasulaitokselle käsiteltäväksi ja pesuvedet (harmaat jätevedet) käsitellään erikseen jätevedenpuhdistamolla. Biokaasulaitoksella muodostuu mädätettä, joka separoidaan neste- ja kuivajakeeseen. Jakeet pitää käsitellä erikseen. Käymäläjätevesiä ja biojätteitä ei sekoiteta muihin yhdyskuntien jätevesiin, ja mädätysjäännöksessä ei ole muiden yhdyskuntajätevesien sisältämiä haitta-aineita. Mädätysjäännöksen tuoteistaminen lannoitteeksi ja markkinointi voi olla tältä osin helpompaa.</p>
<p>VE 2: Alipaineikäymälä, jossa käymälävesien ja biojätteiden keräys toteutetaan omalla alipaineputkistolla. Harmaat jätevedet käsitellään erikseen</p> 	<p>Vaihtoehdossa ravinnepitoiset biojätteet ja käymäläjätevedet kerätään joko talo- tai korttelikohtaisesti keräyssäiliöön, tai johdetaan putkella biokaasulaitokseen käsiteltäväksi. Harmaat pesuvedet kerätään erikseen ja käsitellään jätevedenpuhdistamolla. Bio- ja käymäläjätevesiseos on sellaisenaan soveltuvaa biokaasulaitokseen. Biokaasulaitoksella muodostuu mädätettä, joka separoidaan neste- ja kuivajakeeseen. Jakeet pitää käsitellä erikseen. Mädätysjäännöksessä ei ole pesuvesien ja muiden yhdyskuntajätevesien sisältämiä haitta-aineita ja mädätysjäännöksen tuoteistaminen lannoitteeksi ja markkinointi voi olla tältä osin helpompaa. Tämän vaihtoehdon jätevesien käsittelyprosessi on samanlainen kuin VE 1b:ssä, mutta tässä vaihtoehdossa huuheluvuoden määrä on pienempi, ja samalla myös käsiteltävän lietteen tiivistyksen tarve on pienempi.</p>
<p>VE 3: Erotteleva vähätietinen käymälä, jossa virtsa erotellaan ja johdetaan omalla keräysputkistolla käsitellyyn, ulosteja ja biojäte johdetaan pesuvesien kanssa käsitellyyn</p> 	<p>Vaihtoehdossa virtsa kerätään erikseen ja muut jätevedet johdetaan käsiteltäväksi jätevedenpuhdistamolle ja jätevesilietteet johdetaan sieltä edelleen biokaasulaitokselle. Eroteltu virtsa johdetaan erikseen käsitellyyn ja lannoitehyötykäyttöön. Virtsaalle ei ole olemassa vielä lannoiteyppinimeä, joka saattaa hankaloittaa sen loppukäyttöä. Muiden jätevesien käsittely, energiantuotanto ja ravinnekierto on samanlainen kuin vaihtoehdossa 1 a, mutta jätevesiliete ei sisällä virtsaa. Tämä helpottaa jätevesien käsittelyä, koska kotitalousjätevesien tyypikuormasta 70% ja fosforikuormasta 50% aiheutuu virtsasta (Ympäristöopas 2017, 14). Myös mädätysjäännöksen tuoteistaminen lannoitteeksi voi olla helpompaa, koska virtsan sisältämät lääkejäämät eivät ole mädätysjäännöksessä.</p>
<p>VE 4: Erotteleva alipaineikäymälä, jossa virtsa johdetaan erilliseen kaatoviemärikeräysputkistoon ja ulosteja yhdessä biojätteiden kanssa alipaineputkistoon. Harmaat vedet käsitellään erikseen.</p> 	<p>Vaihtoehdossa virtsa kerätään erikseen ja biojätteet ja ulosteja (ruskeat jätevedet) kerätään joko talo- tai korttelikohtaisesti keräyssäiliöön, tai vaihtoehtoisesti johdetaan putkella biokaasulaitokseen käsiteltäväksi. Pesuvedet (harmaat jätevedet) käsitellään erikseen jätevedenpuhdistamolla. Biojätteiden ja ruskeiden jätevesien käsittely, energiahyötykäyttö ja lannoitustuoteistaminen toteutuu samalla tavalla kuin VE 2, mutta biokaasun tuotanto voi olla parempi ilman virtsaa. Eroteltu virtsa johdetaan erikseen käsitellyyn ja lannoitehyötykäyttöön. Vähäisemmät haitta-ainejäämät mädätysjäännöksessä voi helpottaa mädätysjäännöksen tuoteistamista ja markkinointia.</p>




Jätevedet on perinteisesti johdettu putkia pitkin käsiteltäväksi jätevedenpuhdistuslaitokselle. Mikäli käymälävedet ja biojätteet johdetaan omaa erillistä putkistoa pitkin käsittelyyn, tällöin on mahdollista jättää näiden jätevesien kohdalta jätevedenpuhdistuslaitoskäsittely pois ja johtaa jätevesijae suoraan biokaasulaitokselle käsittelyyn. Kotitalousjätevesien typpikuormasta 90 % tulee käymälävesistä ja fosforikuormasta 80 % (Ympäristöopas 2017, 14). Mikäli biojätteet ja käymälävedet käsitellään yhdessä omana jakeenaan, tästä jakeesta puuttuu kokonaan kotitalouksien pesuvedet, yhdyskuntien ja teollisuuden jätevedet, joista voi tulla jätevesiin haitallisia metalleja, epäorgaanisia haitta-aineita, tekstiilien palonestoaineita tms. Näiden haitta-aineiden puuttuminen lannoitustuotteesta voi helpottaa lannoitteen markkinointia.

Alipaineviemärillä voidaan johtaa paljon kiintoainesta sisältäviä jätevesiä käsittelylaitokselle, ja tämä onkin erittäin varteenotettava vaihtoehto jätevesien johtamiseen. Alipainejärjestelmässä huuhteluveden tarve on huomattavasti vähäisempi ja jätevesi mahdollisesti sisältää jo niin paljon kiintoainesta, että näiden johtaminen putkistoa pitkin käsittelylaitoksen voi olla haastavaa. Tällöin voi olla jo kannattavaa kerätä jätejake säiliöön ja kuljettaa autolla biokaasulaitokselle käsittelyyn.

Rejektivesien syntyminen biokaasulaitoksella on myös huomioitava kokonaisuudessa ja rejektivesien käsittely on myös mietittävä. Järjestelmästä riippumatta kaikissa tapauksissa biokaasulaitoksella on tarve tiivistykselle, ja ravinnepitoisia rejektivesiä joudutaan erottamaan joka tapauksessa käsiteltävästä lietteestä ja virtsa käytännössä erottuu tällöin myös rejektivesien mukana. Optimaalisen biokaasutuotannon takaamiseksi hiili/typpi suhde on käymäläjätevesi-biojäteseoksella kaikissa vaihtoehdoissa liian matala ja siksi myös hiilen lisäys syötteeseen on tarpeellista (Malila 2020).

Taulukkoon 4 on koottu vertailun tulokset järjestelmän suunnittelussa, teknisessä toteutuksessa, rakentamisessa ja käytössä huomioitavista tekijöistä.

Taulukko 4. Järjestelmien vertailua

	VE 1 a	VE 1 b	VE2	VE3	VE 4
Vertailussa käytetty malli	Ido Seven D 10		Evac Optima 5		
Mallien saatavuus	Malleja paljon satavilla	Malleja paljon saatavilla	Malleja paljon saatavilla	Malleja vähän saatavilla	Malleja vähän saatavilla
Vedenkulutus	Pieni huuhtelu 2,5 l Iso huuhtelu 4 l		1,2 l	Keltaisten vesiin huuhtelu 0,3 l ja ruskeiden vesiin huuhtelu 2,5 l	Keltaisten vesiin huuhtelu 0,1 l ja ruskeiden vesiin huuhtelu 0,6 l
Kustannukset viemärijärjestelmän rakentamisesta	Jätevedet ja biojätteet johdetaan samaan viemäriin pesuvesien kanssa. Käymälävesien ja biojätteiden viemäriönistä ei tule muita lisäkustannuksia lisäviemäriin liittämisen kustannuksena järjestelmässä.	Käymälävesille ja biojätteille rakennettava oma kaatoviemärijärjestelmä ja nämä kustannukset tulee kokonaisuudessaan lisäviemäriin liittämisen kustannuksena järjestelmässä.	Käymälävesille ja biojätteille on rakennettava oma erillinen alipaineputkikeräysjärjestelmä. Lisäksi järjestelmä tarvitsee tyhjiöpumpun ja tarvittavat toimilaitteet toimimista syntyviä lisäkustannuksia.	Keltaiselle jätevedelle rakennetaan oma erillinen viotviemäri ja nämä kustannukset tulee kokonaisuudessaan lisäkustannuksena. Ruskeiden jätteiden ja biojätteiden viemäriönistä ei tule muita lisäkustannuksia kuin viemäriin liittämisen kustannukset.	Ruskeille jättevesille ja biojätteille on rakennettava oma alipaineeräysjärjestelmä, joka on samanlainen kuin VE 2:ssa. Keltaisille jättevesille on lisäksi rakennettava oma viotviemäri, samanlainen kuin VE 3:ssa. Näiden molempien viemärijärjestelmien rakentaminen on kustannuksiltaan yivoimaisesti suurin muihin järjestelmävaihtoehtoihin verrattuna.
Viemäriin suunnitellussa huoltavien seikat (yleisten vaatimusten lisäksi)	Riittävät kaadot ja putkien koko kiinteille jättevesille. Viemäriin ei kulje pesuvesiä, joten huuhoutuvuus on heikko.	Riittävät kaadot ja putkien koko kiinteille jättevesille. Viemäriin ei kulje pesuvesiä, joten huuhoutuvuus on heikko.	Istuimien kytkennät viemäriin kannattaa tehdä alaspäin suuntautuvien kytkösin. Vaakasorin putkilinjoihin on suunniteltava kuljetustaskuja. Järjestelmään on kannattavaa suunnitella kemikaalien syöttöjärjestelmä puhdistusta ja huoltoa varten. Järjestelmä tarvitsee sähköä toimiakseen ja toiminta sähkökatkon aikana on varmistettava.	Virtsa aiheuttaa helposti tukkeumia virtsakiiven muodossa ja tämä huomioitava jätteen viemäriin suunnittelussa. Kaadot tulee olla riittävät, vähintään 2-5%, ei jyrkkiä mutkia ja putkikoko tulee olla tarpeeksi iso. Putkisto tulee olla erityisen helposti puhdistettavissa ja puhdistuslukuja tulee olla riittävästi.	Ruskeiden jättevesien ja biojätteiden alipaineviemärisuunnittelussa huomioitava samat seikat kuin VE 2:ssa ja keltaisten jättevesien viemärisuunnittelussa samat seikat kuin VE 3:n keltaisten jättevesien viemärisuunnittelussa.
Järjestelmän toimivuus	Toimiva ja luotettava.	Kiinteiden jätteiden kulkeutumisessa voi esiintyä ongelmia.	Alipaineeräysjärjestelmää käytetään paljon mm. laivoissa ja tekniikka on toimivaa ja kehitettyä. Sähkökatkon aikana toiminta varmistettava. Järjestelmä vaatii säännöllistä huoltoa toimiakseen hyvin.	Järjestelmä vaatii toimiakseen hyvän suunnittelun ja helpon puhdistettavuuden. 2,5 l huuhtelu ruskeille jättevesille on vähän (suositus 4 l) ja myös tästä voi aiheutua tukkeumia.	Alipaineeräysjärjestelmä on kehitettyä ja toimivaa, sähkökatkojen aikana toiminta varmistettava. Keltaisten jättevesien kohdalla virtsakiivi voi aiheuttaa tukkeutumaa.
Huolto- toimet	Ei vaadi suuria huolto-toimenpiteitä.	Kiinteiden jätteiden mahdolliset tukkeutukset.	Tukkeumat ovat mahdollisia ja siksi puhdistuslukuun riittävä määrä on tärkeää. Järjestelmän puhdistus kemikaaleilla säännöllisesti suositeltavaa.	Virtsakiiven muodostumista voidaan ehkäistä mekaanisella puhdistuksella ja säännöllisellä kemikaalipuhdistuksella. Ruskeiden vesiin pieni huuhteluviesimäärä 2,5 l voi aiheuttaa tukkeumia.	Samat kuin kohdassa VE 2:ssa alipaineviemäriin ja VE 3 keltaisten jättevesien osalta.
Muuta		Alipaineviemärijärjestelmän etuja ovat pienemmät putkikoot ja putkien joustavammat sijoitusmahdollisuudet. Järjestelmä tarvitsee kuitenkin sähköä toimiakseen.	Ruskeiden jättevesien huuhteluviesimäärää voi olla liian pieni (2,5 l) järjestelmän toimivuuden takaamiseksi.	Todennäköisesti alipainehuuhtelu (0,6l) tarvitsee isomman huuhteluviesimäärän toimiakseen kerrostaloympäristössä. Mahdollisesti tulevaisuudessa mallia kehitetään siten että myös virtsa kerätään alipaineella (Friberg 2020).	

Kaikkien järjestelmävaihtoehtojen on täytettävä lisäksi yleiset vaatimukset seuraavista ympäristöministeriön asetuksista; asetukset rakennusten vesi- ja viemäri-laitteistoista (1047/2017), rakennuksen ääniympäristöstä (796/2017), sekä

rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017). Näitä yleisiä ja kaikille järjestelmille yhteisiä vaatimuksia ei ole mainittu taulukossa 4, mutta myös nämä on huomioitava suunnittelussa.

Vaikka työssä ei laskettu kustannuksia, vertailujen perusteella voidaan päätellä, että vaihtoehtoista halvimmat rakennuskustannukset ovat vaihtoehdolla 1 a ja kalleimmat kustannukset ovat vaihtoehdolla 4. Tosin vaihtoehdossa 1 a (ja myös vaihtoehdossa 3) biojätteet ja käymäläjätevedet johdetaan ensin jätevedenpuhdistuslaitokselle ja kustannuksia on enemmän käsittelyvaiheessa. Kustannuksia tulee näihin vaihtoehtoihin jätevedenpuhdistamon rakentamisesta ja käytöstä aiheutuvista kemikaalien ja energiankulutuksista, jota ei ole vastaavasti vaihtoehtoissa VE 1b, VE 2 ja VE 4.

Ravinnekierron ja lannoitehyötykäytön näkökulmasta paras vaihtoehto on VE 4. Tässä vaihtoehdossa voidaan virtsa kerätä suoraan lannoitekäyttöön, ruskeajätevesi-biojäteseos on metaanintuottopotentialtaan erittäin hyvää raaka-ainetta biokaasulaitokselle ja mädätejäännös voidaan tuotteistaa lannoitevalmisteksi. Tässä vaihtoehdossa huuhteluveden määrä on vähäinen, ja se vähentää tiivistyksen tarvetta ja ravinnerikkaiden rejektivesien määrää. VE 4 -vertailussa käytetty malli ei välttämättä kuitenkaan sovellu hyvin kerrostalokäyttöön, koska malli on suunniteltu lähinnä omakotitalo- ja mökkikäyttöön. Kohdassa 4.1.3 mainittu NTU:n kehittämä erotteleva alipainekäymäläistuimen huuhteluvesimäärät ovat isompia, ja mahdollisesti VE 4 -mallin ruskeiden vesien huuhteluvesimäärä tulisi olla isompi toimiakseen kerrostaloympäristössä.

Myös vaihtoehdon 3 vähävetinen käymälä voi olla lähtökohtaisesti jo toimimaton valinta sanitaatiovaihtoehdoksi sen ruskeiden vesien pienen huuhteluvesimäärän vuoksi. Suositus huuhteluveden määrälle on vähintään 4 litraa, kun kyseisessä mallissa se on 2,5 litraa (D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, 47). Lisäksi vaihtoehdossa 3 biojätteet johdetaan yhdessä ruskeiden jätevesien kanssa jätevedenpuhdistamolle ja tällöin myös jätevedenpuhdistamo tulisi olla mitoitettu biojätteiden käsittelyyn.

Virtsa erotellaan vaihtoehdoissa 3 ja 4. Virtsan erottelevissa käymälöissä ongelmaksi voi muodostua putkien tukkeutuminen virtsakivestä. Lisäksi ylimääräinen putkilinja keltaisille jätevesille tuo lisää kustannuksia ja ylimääräinen putkisto vaatii tilaa. Virtsaa ei ole vielä mahdollista tuotteistaa ja markkinoida lannoitteena ja tämä voi hankaloittaa sen lannoitehyötykäyttöä. Virtsan erottelevia vesikäymälöitä on vain vähän markkinoilla ja vertailun mallit soveltuvat huonosti kerrostalokäyttöön.

Vaihtoehdoissa 1b ja 2 sekä käymäläjätevedet johdetaan biojätteiden kanssa käsiteltäväksi biokaasulaitokselle, ja mädätejäännöksestä tuotetaan lannoitevalmistetta. VE 1b:ssä muodostuu isomman huuhteluvesimäärän vuoksi enemmän tiivistyksen tarvetta ja rejektivesiä, mutta muuten prosesseissa biokaasulaitoksella ja lannoitetuotteistamisessa ei ole eroja. Vähemmän kiintoainetta sisältävä jätevesi VA 1 b voi olla helpommin johdettavissa biokaasulaitokselle putkilinjastoa pitkin.

Vaihtoehdot 2 ja 4 toimivat alipaineella. Alipaineella toimivassa järjestelmässä on huomattavasti vähäisempi huuhteluveden tarve, ja putkitus voidaan tehdä joustavammin kuin painovoimaisessa viemäröinnissä. Alipaineistimet ovat kalliimpia ja lisäksi alipaineputkisto, toimilaitteet ja pumppu vaativat säännöllistä huoltoa, joten huoltokustannukset ovat näillä järjestelmillä isommat. Järjestelmä tarvitsee toimiakseen sähköä ja järjestelmän toiminta sähkökatkojen aikana täytyisi varmistaa.

Koska erottelevat vesikäymälämallit ovat vertailun perusteella huonosti soveltuvia kerrostalokäyttöön, ovat vaihtoehtojen 1 b ja 2 käymäläjätevesien ja biojätteiden yhteiskeräys ja käsittely parhaat järjestelmävaihtoehdot, kun huomioidaan kokonaisuutena järjestelmän kustannukset, toimivuus, energiantuotanto ja ravinnekierto. Näistä 1 b on kustannuksiltaan halvempi ja toimintavarmuudeltaan parempi järjestelmä.

7 POHDINTA

Työn tavoitteena oli vertailla erilaisia sanitaatiojärjestelmiä ja biojätteiden jätemyllykeräystä erityisesti talotekniikan, ravinnekierron ja energiahyötykäytön näkökulmasta. Työn tavoite saavutettiin. Aihe on ollut erittäin laaja ja moniulotteinen.

Alkuperäinen ajatus oli, että erottelevat käymäläratkaisut voisivat olla varteenotettavia vaihtoehtoja myös kerrostalomittakaavassa, mutta tämä ajatus muuttui opinnäytetyön edetessä. Erottelevia vesikäymälämalleja on markkinoilla vain muutamia, ja näiden käyttö kerrostaloympäristössä osoittautui vertailun perusteella haastavaksi. Työn edetessä korostuivat hyödyt käymälävesien ja biojätteiden yhteiskeräyksestä ja käsittelystä ja erityisesti nykyaikainen huuhtelukäymälä vaikuttaisi olevan hyvä vaihtoehto tällaiselle keräystavalle kerrostalomittakaavassa.

Biojätteiden osalta lannoitehyötykäytön ja biokaasulaitoskäsittelyn haasteita ovat erityisesti biojätteen esikäsittely ja epäpuhtauksien poisto (Pakarinen & Kymäläinen 2015, 41, 51 - 53), kun taas jätevesilietteiden lannoitehyötykäytön ongelmana on enemmän ennakkoluulot jätevesilietteiden sisältämistä haitta-aineista (Reku 2018) sekä puutteellinen lainsäädäntö, joka ei tunnista kierrätyslannoitustuotteita. Lisäksi lannoitevalmisteiden kehittymätön käsittelytekniikka on omalta osaltaan ollut heikentämässä jätevesilietteiden lannoitehyötykäyttöä. Jätemyllykeräyksellä vältettäisiin biojätteiden epäpuhtaudet ja vähennetään esikäsittelytarvetta ja käymäläjätevesien keräyksellä erikseen muista yhdyskuntajätevesistä vältettäisiin muiden yhdyskuntajätevesien sisältämät haitta-aineet lannoitetuotteessa. Jos käymälävesille rakennetaan erillinen keräysputkisto, on sitä ilman muuta järkevää käyttää myös biojätteiden keräykseen. Näin saadaan samaan jätevesijakeeseen erittäin ravinnepitoiset jätteet, joista voidaan tuottaa biokaasua ja lannoitteita.

LÄHTEET

Alueellinen jätehuoltolautakunta. 2014. Kunnalliset jätehuoltomääräykset. Hyväksytty 14.5.2014. Saatavissa: https://www.tampere.fi/tiedostot/k/KovALS-vCW/Kunnalliset_jatehuoltomaaraykset_paivitys_2018-02-07.pdf [Viitattu 19.4.2020]

Biomassa-atlas. 2019. Luke. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.luke.fi/biomassa-atlas/> [viitattu 16.9.2019]

Byggmax. s.a. Byggmaxin verkkokaupan kotisivut. Saatavissa: <https://www.byggmax.fi/keitti%C3%B6-ja-koti/keitti%C3%B6kalusteet/tiskialtaat/vesilukot-ja-viem%C3%A4r%C3%B6intitarvikkeet> [Viitattu 19.4.2020]

D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007. Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot Määräykset ja ohjeet 2007. Ympäristöministeriön asetus kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistosta. Kumottu.

EcoFlush. s.a. Wostman. Tuote-esite. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://static1.squarespace.com/static/563c9952e4b06c4bb72ceebf/t/5a04246a24a694f721a1ccb7/1510220916451/ecoflush_broschyr_en.pdf [Viitattu 18.5.2020]

Ekokumppanit s.a. Virtsa potentiaalisena lannoitteena. Hierakka tietokortit. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://ekokumppanit.fi/wp-content/uploads/hierakka-tietokortit_lannoitteena-naytto-v2.pdf [Viitattu 18.5.2020]

Elinkeinoelämän keskusliitto. 2020. Mikä ihmeen kiertotalous. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ek.fi/syty-kiertotaloudesta/mika-ihmeen-kiertotalous/> [Viitattu 12.4.2020]

Evac. 2019. Evac piping guide. 4.7.2019

Evac alipainejärjestelmät. s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://evac.com/fi/solutions/vacuum-collection/> [Viitattu 12.4.2020]

Evac food waste management system. s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://evac.com/products/evacfoodwastesystem/> [Viitattu 19.4.2020]

Evac optima 5. s.a. Advanced vacuum toilets. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://evac.com/products/evacoptima5/> [Viitattu 19.4.2020]

Flovac. s.a. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://flovac.com/> [Viitattu 12.4.2020]

Friberg, P. 2020. Marketing Executive. Sähköpostiviesti. 8.3.2020. Wostman.

Hajajätevesiasetus 16.3.2017/157. Asetus talousjätevesien käsittelystä viemäriverkostojen ulkopuolisilla alueilla

Heikkonen, M. 2016. Alipainetoiminen wc-järjestelmä ja sen yleisimmät ongelmat. AMK-opinnäytetyö. Kymeenlaakson Ammattikorkeakoulu. Saatavissa <http://www.theseus.fi/handle/10024/110489>

Helsingin Seudun ympäristöpalvelut. 2011. Pääkaupunkiseudun biojätteen koostumus. Helsinki 2011. Edita Prima Oy. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37060/SY_17_2011.pdf?sequence

Henttonen, M. 2014. Ruokajätteen käsittely M/S Silja Serenadella. AMK-opinnäytetyö. Kymeenlaakson ammattikorkeakoulu. Saatavissa https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/81624/Henttonen_Matti.pdf?sequence=1

Hiedanranta alustava yleissuunnitelma. 2018. PDF-dokumentti. Saatavissa https://www.tampere.fi/tiedostot/h/ZOgzyWphj/Hiedanranta_alustavaYS_20180518.pdf [Viitattu 17.5.2020]

Ideakilpailun jatkot. 2017. Kaupunkilaisten visio tulevaisuuden Hiedanrannasta. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.tampere.fi/tiedostot/h/EvcYkp9gR/Hiedanranta_Ideakilpailun_jatkot_2017.pdf [Viitattu 17.5.2020]

Iltanen, J. 2015. Ruotsinlaivojen jätteet päätyvät hyötykäyttöön. Turun Sanomat 11.4.2020. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ts.fi/uutiset/paikaliset/790777/Ruotsinlaivojen+jatteet+paatyvat+hyotykyttoon> [Viitattu 11.4.2020]

Jets. 2005. VOD vacuum toilet manual. Jetsgroup. Saatavissa https://www.marinea.fi/downloads/JETS_Instruction_manual_VOD_issue_E.pdf [Viitattu 7.10.2019]

Jets. 2007. Jets Vacuum product Catalogue – Vacuum theory and background. Jetsgoup.

Jets. 2009. Jets Sanitary Systems -a smarter, greentech solution for any building. Saatavissa https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/JETSGROUP%202009%20Large%20Buildings.pdf [Viitattu 6.10.2019]

Jets. 2013. Putkiasennusohje VOD. https://www.polttokäymälä.fi/media/tiedostot/vod_piping_guide_rev_d_2013-finsk.pdf-18042013.pdf [Viitattu 6.10.2019]

JLY.2017. Kotitalouksien sekajätteen koostumus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://vanha.jly.fi/jateh71-koti.php?treeviewid=tree2&nodeid=71> [Viitattu 6.10.2019]

Jätelaki 17.6.2011/646

Jätevesiopas. s.a. Vähävetiset käymälät. WWW-dokumentti. <https://vesien-suojelu.fi/jatevesi/jateveden-kasittely/kaymala-ja-pesuvedet-erikseen/vahavetta-kayttavat-kaymalat/> [Viitattu 7.10.2019]

Kansainvälinen ideakilpailu. s.a. Tampereen kaupunki. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://www.tampere.fi/asuminen-ja-ymparisto/kaupunkisuunnittelu-ja-rakentamishankkeet/hiedanranta/suunnittelu/yleissuunnittelu/kansainvalinen-ideakilpailu.html> [Viitattu 17.5.2020]

Kaatopaikoista annettu valtioneuvoston asetus 2.5.2013/331, kaatopaikka-asetus

Kemacheevakul, P., Otani, S., Matsuda, T. & Shimizu, Y., 2012. Occurrence of micro-organic pollutants on phosphorus recovery from urine. Water Science and Technology, Osa/vuosikerta 66, pp. 2194-2201.

Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. 2015. Biokaasuteknologia Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Hämeen ammattikorkeakoulu. Saatavissa: https://issuu.com/hamkuas/docs/hamk_biokaasun_tuotanto_2015_ekirja [Viitattu 25.4.2020]

Lannoitevalmistelaki 29.6.2006/539.

Larsen, T. A., Lienert, J. 2007. Novaquatis final report. NoMix – A new approach to urban water management. Eawag, Switzerland

Lienert, J., Bürki, T. & Escher, B., 2007. Reducing micropollutants with source control: substance flow analysis of 212 pharmaceuticals in faces and urine. Water Science & Technology, 56(5), pp. 87-96

Local Government Association. 2012. The potential of Wood Waste disposal units to reduce costs. PDF-dokumentti, Saatavissa <https://www.local.gov.uk/sites/default/files/documents/potential-food-waste-disp-077.pdf>. [Viitattu 6.10.2019]

Loukasmäki, A. 2019. Biojätteet tavalliseen muovipussiin? Yle Uutiset 26.3.2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10705542> [Viitattu 13.10.2019]

LVI 06-10426. 2008. LVI- sähkö ja teleasennuksien reitit ja asennustilat korjausrakentamisessa. Helsinki: Rakennustieto Oy.

LVI 20-10328. 2001. Vesi- ja viemärlaitteiden äänitekninen suunnittelu ja äänenvaimennus

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 1.9.2011/24

Malila, R. 2020. Taselaskelmat biokaasuprosessin C/N -suhteille.

Malila, R., Viskari, E. & Kallio, J. 2019. Virtsan ravinteet kiertoon. MORTTI -hankkeen loppuraportti. Suomen Ympäristökeskus.

MarineVac. s.a. MarineVacin nettikauppa. WWW-sivut. Saatavissa: <https://shop.marinevac.com/165-optima-5> [Viitattu 25.4.2020]

Niskanen, A. & Kemppe, J. 2019. Yhdyskuntajätteen kierrätyksellä vauhtia kiertotalouteen. JÄTEKIVA. LCA Consulting Oy. Lappeenranta.

Nitraattiasetus 18.12.2014/1250. Valtioneuvoston asetus eräiden maa- ja puutarhataloudesta peräisin olevien päästöjen rajoittamisesta

Nordic Superblock yhteenveto. 2019. Yhteenveto ja sovellusta hiedanrantaan 13.12.2019. PowerPoint -dokumentti.

Nygård, H. 2016. Kuopasta kiertotalouteen. Suomen yhdyskuntajätehuollon historia. Jätelaitosyhdistys ry.

Passoja, A. 2018. Kaupunkilaisten jätöksillä lämmitetään pian satoja taloja – mikromuovit ja huumejäämät poltetaan pois luonnon kiertokulusta. Yle uutiset 14.11.2018. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10508704> [Viitattu 12.4.2020]

Pro Agria. 2016. Puhdistamolietteen käyttö maataloudessa. Vesilaitosyhdistys. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/puhdistamolieteopas_kevat_2016s.pdf [Viitattu 13.10.2019]

Prosser, R., Lissemore, L., Solomon, K. & Sibley, P., 2014. Toxicity of biosolids-derived triclosan and triclocarban to six crop species. Environ. Toxicol & Chem., 33(8), pp. 1840-1848

Pöyry Finland Oy. 2019. Puhdistamolietteen termiset käsittelymenetelmät ja niiden soveltuvuus Suomeen. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 56. Suomen Vesilaitosyhdistys ry. Saatavilla: https://www.vvy.fi/site/assets/files/2916/puhdistamolietteen_termiset_kasittelymenetelmät_ja_niiden_soveltuvuus_suomeen.pdf [Viitattu 25.4.2020]

Rahikainen, L. 2010. Biojätteen erittelyn kannattavuus. Vastine. WWW-dokumentti. Saatavissa <http://www.vimelco.fi/biojätteen-erittelyn-kannattavuus/> [Viitattu 6.10.2019]

Rajagopal, R., WeiLim, J., YuMao, Chen, C. & Wang, J. 2013. Anaerobic co-digestion of source segregated brown water (feces-without-urine) and food waste: For Singapore context. Science of the total Environment.443 (2013) s. 877-886.

Reku, J. 2018. Varmista ennen kuin lannoitat: Viljelysopimus voi kieltää puhdistamolietteen käytön lannoitteena. Maaseudun tulevaisuus 7.5.2018. Saatavissa: <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/artikkeli-1.234171> [Viitattu 25.2.2020]

RIL 237-1-2010. 2010. Vesihuoltoverkkojen suunnittelu: perusteet ja toiminnallisuus. 2010. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RT 69-11177, LVI 23-10559- ohjeet. 2015. Vedettömät ja vähävetiset käymälät. Rakennustietosäätiö.

RTS 14:31, 2014, Ohje-ehdotus. Käymäläjärjestelmät. Rakennustietosäätiö.

Science Daily. 2012. New toilet turns human waste into electricity and fertilizer. 26.12.2012. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sciencedaily.com/releases/2012/06/120626072942.htm> [Viitattu 25.4.2020]

Seppälä, J., Sahimaa, O., Honkatukia, J., Valve, H., Antikainen, R., Kautto, P., Myllymaa, T., Mäenpää, I., Salmenperä, H., Alhola, K., Kauppila J. & Salminen, J. 2016. Kiertotalous Suomessa – toimintaympäristö, ohjauskeinot ja mallinnetut vaikutukset vuoteen 2030. Valtioneuvoston kanslia 23.5.2016. Saatavissa: https://tietokayttoon.fi/documents/10616/2009122/25_Kiertotalous+Suomessa.pdf/5a942ae7-9ec8-4b54-a079-f99c8ba2f8f1?version=1.0[Viitattu 25.4.2020]

Sivutuotelaki 24.4.2015/517. Laki eläimistä saatavista sivutuotteista

Silvennoinen, K., Hartikainen, H., Katajajuuri, J-M, Nisonen, S., Pietiläinen, O. & Timonen, K. 2017. Wastestimator. Ruokahävikin päivitetty mittaukset ja ruokahävikin seuranta- ja biotalouden tutkimus. Luke.

Stamyr K., Larsson P., Croyzyand S. & van Calcar C. 2015. Handling food waste in Stockholm. Group 7 Elinkaariarviointi.

Suomen vesilaitosyhdistys. 2019. Yhdyskuntalietteen käsittelyn ja hyödyntämisen nykytilannekatsaus. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 57. Helsinki 2019 Saatavissa: https://www.vvy.fi/site/assets/files/3078/yhdyskuntalietteen_ka_sittelyn_ja_hyo_dynta_misen_nykytilannekatsaus_vvy_nr_57.pdf [Viitattu 25.4.2020]

SYKE. 2011. Energiatehokas lietteenkäsittely. Helsinki 2011.

Talotekniikkainfo. 2019. Vesi- ja viemärlaitteistot -opas. Päivitetty 11.6.2019. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.talotekniikkainfo.fi/vesi-ja-viemarilaitteistot-opas/luku-1-yleista> [Viitattu 25.4.2020]

Tampereen kaupunki. 2019. Innovaatioiden Hiedanranta. WWW-dokumentti. Päivitetty 22.8.2019. Saatavissa: <https://www.tampere.fi/asuminen-ja-ymparisto/kaupunkisuunnittelu-ja-rakentamishankkeet/innovaatioiden-hiedanranta.html> [Viitattu 25.4.2020]

Tampereen kaupunki. 2017. Hiedanranta rakennesuunnitelma. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.tampere.fi/tiedostot/h/Pq7B5MCph/20171207_Hiedanranta_Structural_Plan_Booklet_Updated_30Mt.pdf [Viitattu 15.5.2020]

Tampereen Vesi. s.a. Liittyminen vesihuollon asiakkaaksi. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.tampere.fi/vesi/asiakkaalle/Liittyminen.html#rakennuslupa>. [Viitattu 25.4.2020]

Thermex. 2019. Wasteminator jätemyllyt. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://thermex.fi/upload/Products/wasteminator%20ii/FI%20Brochure/Wasteminator%20-%20Yellow%20Line%202019.pdf> [Viitattu 17.4.2020]

Tilley E., Ulrich L., Luethi C., Reymond P. & Zurbruegg C. 2014. Compendium of Sanitation Systems and Technologies. 2nd Revised Edition. Duebendorf, Sveitsi: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology 2014. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TILLEY%20et%20al%202014%20Compendium%20of%20Sanitation%20Systems%20and%20Technologies%20-%202nd%20Revised%20Edition.pdf

Topp, E., Hendel, J., Lapen, D. & Chapman, R., 2008. Fate of the nonsteroidal anti-inflammatory drug naproxen in agricultural soil receiving liquid municipal biosolids. Environ. Toxicol & Chemistry, 27(10), pp. 2005-2010.

Uponor. 2015. Uponor-kiinteistöviemärintikäsikirja. Suunnittelu- ja asennusohje.

Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä 12.10.2006/888

Valve, A. & Nuortie, E. 2010. Paska juttu – kymmenen oivallusta sonnasta. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

Vihavainen, L. 2011. Vesihuoltolaitoksen riskikartoituksen malli. Talotekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö. Mikkelin Ammattikorkeakoulu.

Vilpas, R. & Lehtoranta, S. 2018. Hiedanranta-LCA. Vaihtoehtoisten sanitatio- ja viemärintiratkaisujen ympäristövaikutusten ja kustannusten arviointi. PowerPoint-esitys.

Winker, M. & Saadoun, A. 2011. Urine and Brownwater Separation at GTZ Main Office Building Eschborn, Germany – Case Study of Sustainable Sanitation Projects. Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA), Eschborn, Saka. Saatavissa <https://www.susana.org/resources/documents/default/2-63-en-susana-cs-germany-eschborn-haus1-16122011-docx.pdf> [Viitattu 8.12.2019]

Viskari, E-L., Vilpas, R., Lehtoranta, S., Pakula, S. & Tuukkanen, K. 2017. BIOUREA. Erilliskerätyn virtsan lannoitepotentiaali, kokeelliset tutkimukset ja elinkaaritarkastelu. Biourea-hankkeen loppuraportti

WHO. 2016. Guidelines For The Safe Use Of Wastewater, Excreta And Greywater. Volume 4 Excreta and greywater use in agriculture.

Wostman. s.a. Wostman's urine diverting toilets. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://www.wostman.se/en/urine-diverting-toilets>. [Viitattu 25.4.2020]

Väisänen, R. 2017.. Jätevesien lääkejäämistä halutaan eroon. Yle Uutiset. Julkaistu 6.4.2017. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-9550130> [Viitattu 8.12.2019]

Väliaikainen hiedanranta. 2018. Info väliaikainen hiedanranta. WWW-dokumentti. Päivitetty 24.7.2018. Saatavissa <https://valiaikainenhiedanranta.fi/info/valiaikainen-hiedanranta> [viitattu 7.9.2019]

Ymparisto.fi. 2013.Jätevesikuormituksen vähentäminen. WWW-Dokumentti. Päivitetty 19.2.2019. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennushanke/Talotekniset_jarjestelmat_LVI/Kiinteiston_jatevesien_kasittely/Syventavaa_tietoa/Puhdistamosivusto_jatevesien_kasittelymenetelmista/Jatevesikuormituksen_vahentaminen [Viitattu 6.10.2019]

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä 24.3.2017/796

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 28.3.2017/848

Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista 22.12.2017/1057

Ympäristönsuojelulaki 27.6.2014/527

Ympäristöopas. 2017. Haja-asutuksen jätevedet. Lainsäädäntö ja käytännöt. Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80090/YO_2017_Haja_asutuksen_jatevedet_Final.pdf?sequence=3&isAllowed=y