

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Energia- ja ympäristötekniikan koulutus

Karelia-amk
Santeri Hakulinen

KÄYTTÖLÄMPÖÄ TUOTTAVAN KOMPOSTORIN KEHITTÄMINEN
HAJA-ASUTUSALUEELLA SIJAITSEVAN ASUINKIINTEISTÖN
KÄYTTÖÖN

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2021



OPINNÄYTETYÖ
Tammikuu 2021
Energia- ja ympäristötekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä(t)

Santeri Hakulinen

Nimeke

Käyttölämpöä tuottavan kompostorin kehittäminen haja-asetusalueella sijaitsevan asuin-
kiinteistön käyttöön

Tiivistelmä

Tämän projektin tavoitteena oli rakentaa lisälämmitysratkaisu hirsimökille, joka käyttää tällä hetkellä sähkölämmitystä. Opinnäyte käsittelee hieman kompostoitumisprosessia, kompostilämmön nykyisiin keräysmenetelmiin ja kompostoriprototyyppien käytettyjen lämmönkeräinten toimintaa.

Kaksi kompostori- ja lämmönkeräinprototyyppiä suunniteltiin, rakennettiin ja testattiin ja testien tulokset analysoitiin. Ensimmäinen prototyyppi onnistui saavuttamaan tavoitteensa saavuttamalla noin +2 celsiusasteen eron ulkolämpötilaan nähden, ja osoitti, että kompostista oli mahdollista saada lämpöenergiaa. Toisella prototyyppillä onnistuttiin saavuttamaan jopa +5 celsiusasteen ero ulkolämpötilaan verrattuna, mutta se ei tuottanut lämpöenergiaa, kun ulkolämpötila oli 0 celsiusastetta tai alle.

Vaikka toimivan lisälämmitysratkaisun rakentamisen päätavoitetta ei täysin saavutettu, antoi projekti käyttökelpoisia malleja ja oppeja tuleville prototyyppisuunnitelmille.

Kieli

suomi

Sivuja 27

Asiasanat

kompostorit, lämpö, keräimet, lämmitys



THESIS
January 2021
Degree Programme in Energy and Environmental Technology

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600 (switchboard)

Author (s)

Santeri Hakulinen

Title

Designing and constructing an auxiliary heating system for a building in a rural area

Abstract

The goal of this project was to construct an auxiliary heating solution for a timber cabin that currently utilizes electrical heating. This thesis delves slightly into the process of composting, existing methods of compost heat collection and the function of the heat collector units that were used in the composted prototypes. Two composter and heat collection unit prototypes were designed, constructed, and tested and the results of the tests were analyzed.

The first prototype managed to reach its goal by gaining approximately +2 degrees celsius difference compared to the outside temperature demonstrating that it was possible to gain heat energy from the compost, second prototype managed to reach up to +5 degrees celsius difference compared to the outside temperature but failing to provide heat energy when the outside temperature was 0 celsius or below.

In conclusion while the main objective of constructing a functioning auxiliary heating solution was not fully accomplished this project did yield usable designs and lessons for future prototype designs.

Language

Finnish

Pages 27

Keywords

composters, heat, collectors, heating

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Teoriaa.....	5
2.1	Kompostoituminen	5
2.2	Kompostorin lämmöntuotto	7
2.3	Kompostorin lämmönkeräin	7
2.4	Kompostorin lämmönkeruuratkaisuja.....	8
3	Kompostorin ja mittausten suunnittelu	9
3.1	Lämmitettävän kohteen kuvaus	9
3.2	Kompostorin sijoitus.....	12
3.3	Rajoitteet.....	13
3.4	Syötteen ominaisuuksia	13
3.5	Kompostorin ja mittausten suunnittelu	13
4	Kompostorin rakentaminen	14
4.1	Kompostorin lämmönkeräin	14
4.2	Ensimmäinen versio	15
4.3	Kompostorin toinen versio	19
5	Mittausmenetelmät.....	21
6	Tulokset	22
6.1	Ensimmäisen version lämpötulokset.....	22
6.2	Toisen version lämpötulokset	23
6.3	Lämpötehontuotto- ja kannattavuuslaskelmat.....	25
7	Johtopäätökset ja pohdinta	26
	Lähteet.....	27

1 Johdanto

Idea opinnäytetyölle syntyi, kun kohderakennuksen lämmitykseen mietittiin vaihtoehtoisia lämmitysratkaisua sähkön rinnalle. Havainnot siitä, että pihakomposti tuottaa lämpöä, jota ei hyödynnetty mihinkään, innoitti selvittämään, hyödynnettäänkö kompostin lämpöä kiinteistöjen lämmityksessä lainkaan. Kompostilämmön hyödyntämiseen perehtyessä törmättiin biomeiler-systeemiin ja miten sitä on hyödynnetty maataloilla kiinteistöjen ja käyttöveden lämmitykseen. Tästä syntyi kysymys, olisiko mahdollista ja kannattavaa hyödyntää kyseistä järjestelmää pienemmässä kokoluokassa ja korvata vesikierto ilmakiertoisella ratkaisulla?

Opinnäytetyön tavoitteena oli rakentaa toimiva kompostori, josta talteen saadaan kompostoitumisprosessissa syntyvää lämpöä rakennuksen lämmittämiseen. Kompostorin suunnittelussa ja ideoinnissa hyödynnettiin sekä sovellettiin biomeiler-järjestelmissä käytettyjä ratkaisuja, mutta pienemmässä kokoluokassa. Kompostoreista rakennettiin kaksi eri versiota. Toiseen kompostorimalliin tehtiin muutoksia ensimmäisessä versiossa havaittujen suunnitteluvirheiden, toimimattomien ratkaisujen sekä yleisen tehokkuuden parantamiseksi. Lämmitettävä rakennus on pieni hirsimökki, jonka sisäpinta-ala on 27 m² ja huonetilavuus noin 64,8 m³. Rakennuksen lämmitykseen käytetyt kompostorit rakennettiin rakennuksen taakse ja niiden lämmönkeruujärjestelmät liitettiin rakennukseen.

2 Teoriaa

2.1 Kompostoituminen

Kompostiin syötteeksi menevät orgaaniset aineet sisältävät useita eri hiilivetyketjuja, typpeä sekä muita ravinteita pieninä määrinä. Kompostissa mikrobien kannalta oleellisessa osassa ovat typpi, happi sekä hiilivedyt. kompostoitumisprosessi tapahtuu mikrobien ja muiden hajoittajaeliöiden hyödynnettäessä

kompostin syötettä omiin energia, lisääntymis- ja kasvutarpeisiinsa. (Halinen & Tontti 2004.)

Kompostoituminen etenee kolmessa vaiheessa: lämpenemisvaihe, kuumavaihe ja jäähtymisvaihe. Lämpenemisvaiheessa kompostissa on helposti hajoavaa ravintoa runsaasti tarjolla. Tämä mahdollistaa eri pieneliöille suurien populaatioiden muodostamisen. Lämpötila kompostissa on noin 30–50 celsiusasteen luokkaa, kun pieneliöstön populaatio kasvaa alkaa kompostin lämpötila nousta niiden elin toimintojen ansiosta. Lämpötilan nousun myötä alkaa mikrobipopulaatiot vaihtua mesofiilistä termofiilisiin mikrobeihin, jotka ovat paremmin sopeutuneet korkeisiin lämpötiloihin. Tässä vaiheessa on komposti kuumassa vaiheessa, jolloin lämpötila voi olla jopa 80 astetta. Kuumavaihe kestää niin pitkään, kunnes helposti hajoava ravintoaine on kulutettu lähes loppuun, jolloin kompostin lämpötila alkaa jälleen laskea ja alkaa jäähtymisvaihe, jolloin mesofiilisen mikrobit aloittavat hankalammin hajoavan materiaalin kuten puun selluloosan prosessoinnin, jäähtymisvaihe kestää muutamia kuukausia, jolloin kompostiin laitettu syöte on pieneliöstön ansiosta muuttunut kasveille ravinnerikkaaksi maa-ainekseksi. (Halinen & Tontti 2004; Biolan 2021.)

Orgaanisen materiaalin hajoaminen eli kompostoituminen tapahtuu mikrobien toimesta. Mikrobit hyödyntävät orgaanisen aineen sisältämää hiiltä ja tyypeä ravintonaan. Hajoamisprosessi tapahtuu yleensä joko aerobisesti, jolloin mikrobit käyttävät ilmakehässä olevaa happea ja mahdollisesti myös tyypeä kuluttaessaan orgaanista materiaalia ravinnokseen. Prosessin lopputuotteeksi jää aineita, joita mikrobit eivät kykene hajottamaan sekä vettä ja hiilidioksidia. Hajoamisprosessi voi myös tapahtua hapettomissa olosuhteissa, kuten veden alla, jolloin prosessia kutsutaan anaerobiseksi hajoamiseksi. Tällöin mikrobit hajottavat orgaanista materiaalia ilman happea. (Halinen & Tontti 2004; Living Web Farms 2015.)

Toimiakseen komposti vaatii mikrobeille otolliset olosuhteet. Kompostissa täytyy olla sopiva happamuusaste (noin 7 pH) mikrobien optimaalista toimintaa varten. Mikrobit vaativat toimintaansa oikean kosteuden syötemateriaalissaan, mikä helpottaa mikrobien liikkumista ja leviämistä orgaanisen aineen seassa. Liian kosteassa syötteessä mikrobit voivat siirtyä anaerobiseen hajottamiseen, kun taas liian

kuiva komposti estää mikrobitoiminnan lähes kokonaan. (Halinen & Tontti 2004; Biolan 2021.)

2.2 Kompostorin lämmöntuotto

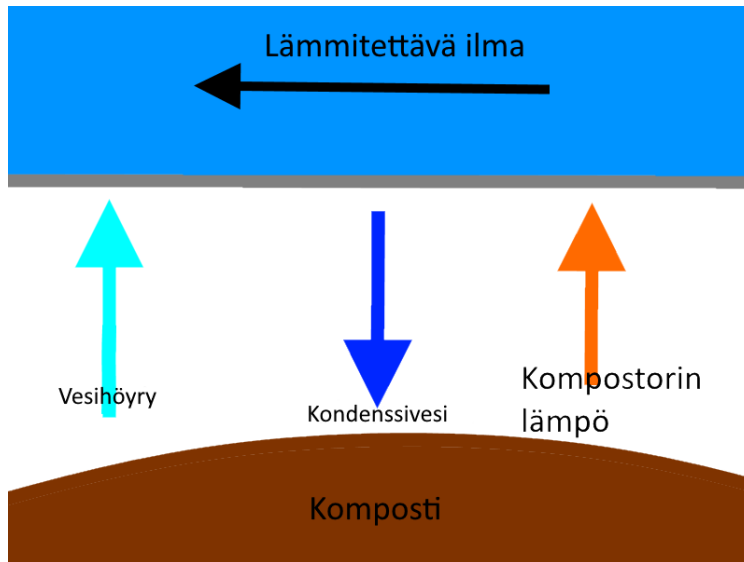
Kompostorista saatava lämpö syntyy mikrobitoiminnan ansiosta. Mikrobin hajottaessa orgaanista materiaalia omiin energiatarpeisiinsa prosessissa vapautuu vettä, hiilidioksidia ja jossain määrin lämpöenergiaa. Erilaisilla lämmönkeruutratkaisuilla voidaan tätä muuten hukkaan menevää energiaa ottaa hyötykäyttöön. Hajoamisprosessissa syntyy energiaa siinä määrin, että sen hyödyntäminen on tietyissä olosuhteissa kannattavaa. Erilaisilla lämmönkeruutratkaisuilla voidaan tätä muuten hukkaan menevää energiaa ottaa hyötykäyttöön. (Brown 2014; Living Web Farms 2015.)

2.3 Kompostorin lämmönkeräin

Kompostorin lämmönkeräin kierrättää rakennuksesta tulevan lämmitettävän ilman sisällään. Sisäilmaan siirtyy kompostin hukkalämpöä, joka johtuu lämmönvaihtolevyn välityksellä.

Kompostissa muodostuva vesihöyry kondensoituu lämmönvaihtolevyn pinnalla luovuttaen osan energiastaan levyyn, joka taas johtuu eteenpäin siirtyen lämmönkeräimen sisällä kiertävään ilmaan.

Kompostissa muodostuva muu lämpö siirtyy myös lämmönvaihtolevyn kautta lämmitettävään sisäilmaan ilman että kompostin poistokaasut ja rakennuksen sisäilma pääsevät sekoittumaan keskenään.



Kuva 1. Lämmönkeräimen toiminta.

2.4 Kompostorin lämmönkeruuratkaisu

Kompostin ylimääräistä lämpöä keräävissä järjestelmissä lämpöenergian siirrossa hyödynnetään yleensä Jean Painin kehittämää vesikiertoista järjestelmää, jossa vesiletkukela asetetaan kompostikasan keskelle. Letkun sisällä oleva vesi lämpenee samaan lämpötilaan kuin komposti. Tätä järjestelmää kutsutaan bio-meileriksi, ja sitä hyödynnetään yleensä maataloilla kiinteistöjen sekä käyttöveden lämmitykseen. (Brown 2014; Living Web Farms 2015.)

Jean Painin järjestelmää on vuosien varrella kehitetty eteenpäin. Uudemmissa lämmönkeruujärjestelmissä kerätään lämpö kompostin poistoilmasta esimerkiksi Isobar®-lämmönvaihtoputkien avulla (Isobar® Heat pipe). Poistoilma ohjataan lämmönvaihto putkiston läpi, jossa lämpöenergia kerätään talteen, ja poistoilma ohjataan biofiltteriin, jonka tavoitteena on poistaa komposti ilman hajuhaitat. (Smith, Aber & Rynk 2017; Living Web Farms 2015.)

Kompostin lämpöä hyödynnetään myös kasvihuoneissa. Kompostikasa on sijoitettu kasvien kasvatusalustan alle, jolloin kompostikasan ylimääräinen lämpö lämmittää suoraan kasvihuonetta. Tätä keinoa hyödynnetään viileämissä olosuhteissa. (Smith, Aber & Rynk 2017.)

Vesikiertoiset järjestelmät vaativat suuren biomassamäärän, jotta kompostin mikrobit kykenevät ylläpitämään sopivaa lämpötilaa kompostoitumisprosessin ylläpitämiseksi. Jos komposti on liian pieni, voi ylimääräisen energian talteenotto jäädyttää kompostikasan liian alhaiseen lämpötilaan pysäyttäen kompostoitumisprosessin (Brown 2014; Living Web Farms 2015.)

3 Kompostorin ja mitausten suunnittelu

3.1 Lämmitettävän kohteen kuvaus

Lämmitettävä rakennus on pieni hirsimökki (kuva 2). Mökin pinta-ala on noin 27 neliömetriä, sisätilan korkeus 2,40 metriä ja tilavuus noin 64,8 kuutiometriä. Rakennuksessa on oven lisäksi 5 ikkunaa. Koko ikkunapinta-alaksi tulee noin 18 neliömetriä. Ikkunat heikentävät rakennuksen lämpöeristystä ja saumakohtat voi vuotaa lämmintä ilmaa ulos. Hirsien paksuus on 150 millimetriä ja seinien leveys yhteensä on 21 metriä. Seinäpinta-alaksi tulee 50,4 neliömetriä ja ikkunat huomioiden noin 32,4 neliömetriä. Rakennuksen mitat näkyvät kuvassa 3 ja 4.

Mökin lämpöhäviön laskemiseen tarvitaan rakennuksen koko vaipan pinta-ala, joka on kaikkien rakennusosien sisämittojen yhteenlaskettu pinta-ala. Ympäristöministeriön (2017) tasauslaskentaoppaan mukaan rakennuksen vaipan lämpöhäviö voidaan laskea yhtälöllä

$$\Sigma H_{joht} = \Sigma(U_{ulkoseinä}A_{ulkoseinä}) + \Sigma(U_{yläpohja}A_{yläpohja}) + \Sigma(U_{alapohja}A_{alapohja}) + \Sigma(U_{ikkuna}A_{ikkuna}) + \Sigma(U_{ovi}A_{ovi}) \quad (1)$$

jossa

ΣH_{joht} rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö, $\frac{W}{K}$

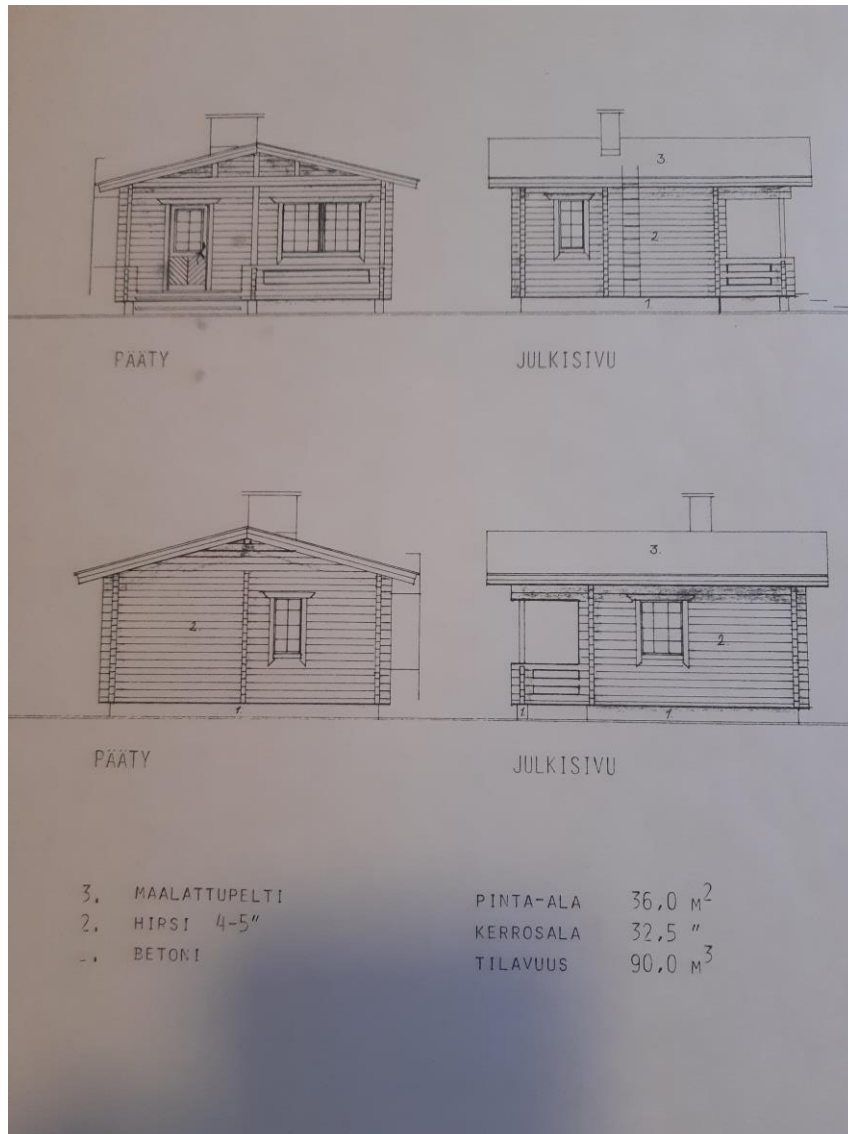
U rakennusosien lämmönläpäisykerroin, $\frac{W}{m^2K}$

A rakennusosan pinta-ala, m^2

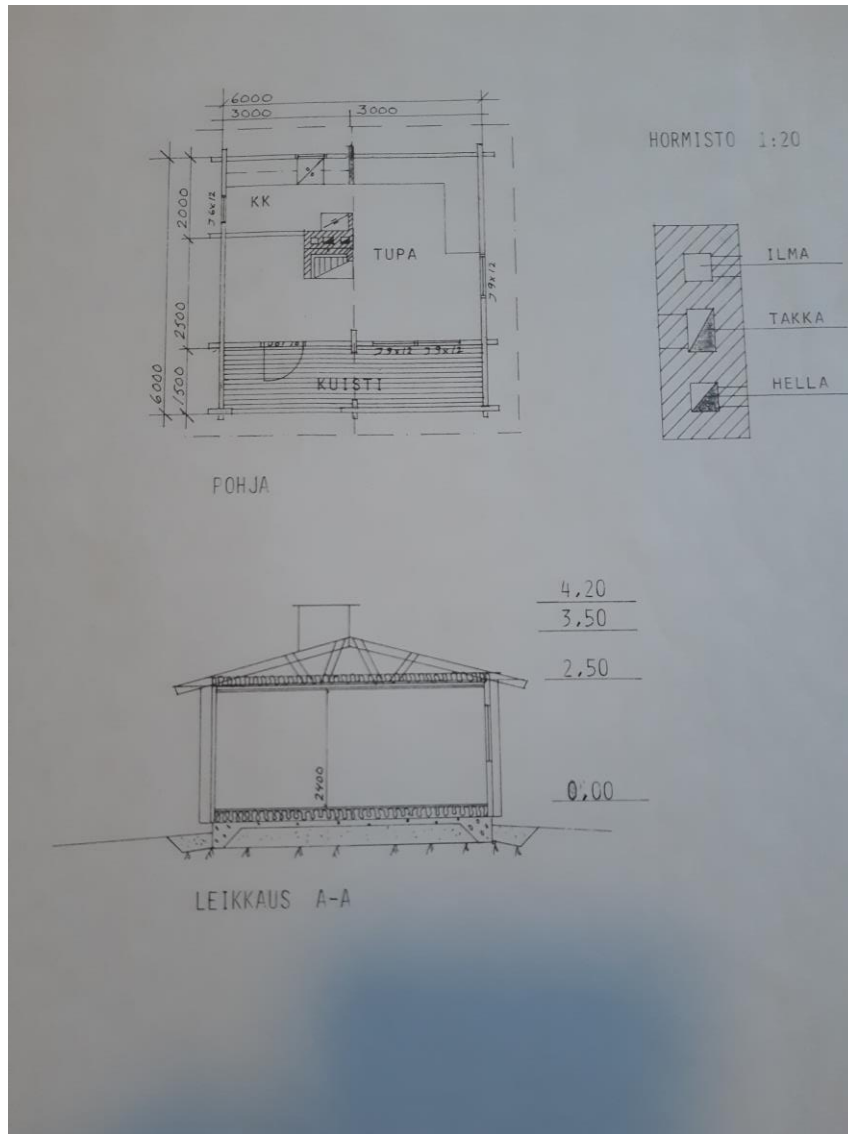
Rakennuksen arvioitu kokonaislämpöhukka rakenteista lämpövuotoja huomioon ottamatta on noin 840 wattia, mikäli sisäilman lämpötila on 20 astetta ja ulkolämpötila on 0 celsiusastetta



Kuva 2. Lämmitettävä rakennus.



Kuva 3. Lämmitettävän rakennuksen julkisivupiirros.



Kuva 4. Lämmitettävän rakennuksen leikkauspiirros.

3.2 Kompostorin sijoitus

Suunnitteluvaiheessa päädyttiin siihen ratkaisuun, että rakennuksen lämmitykseen käytettävä kompostori voitaisiin sijoittaa rakennuksen taakse. Silloin kompostori ja lämmönkeräysjärjestelmä ei olisi aiheuttamassa esteettistä haittaa tai olisi esteenä pihalla liikkujille rakennukseen. Rakennuksen takana oli myös valmiit ilmanvaihtoreiät, joihin lämmönkeräysjärjestelmä oli kätevä asentaa.

3.3 Rajoitteet

Kompostori suunniteltiin saatavilla olevien materiaalien, arvioidun lämmöntuoton sekä lämmitystarpeen mukaan. Kompostori suunniteltiin toimimaan yli 0 °C-asteen ulkolämpötilassa. Syötteenä käytettiin lämmitettävän kohteen lähistöltä saatavaa biomassaa eli pääasiassa ruoholeikettä sekä haketta.

3.4 Syötteen ominaisuuksia

Kompostimateriaalin tiheydeksi on laskettu sekä laskelmissa käytetty 318 kg/m³. Tulos on saatu jakamalla kuluttajakäyttöön valmistetun toiminnassa olevan kompostorin massa sen tilavuudella. Tiheydeksi saatu arvo on karkea, ja sen avulla saadut arvot ovat suuntaa antavia, sillä kompostorin syötteen tiheys voi vaihdella huomattavasti. Tätä tietoa voi hyödyntää kompostimateriaalin energiatiheyden laskelmointiin.

3.5 Kompostorin ja mittausten suunnittelu

Lämmönkeruu tapahtuu kompostorissa keräämällä kompostoitumisprosessissa muodostuvan vesihöyryn sisältämää energiaa, joka vapautuu, kun vesi tiivistyy kaasusta nesteeksi. Lämmönkeräimen alapohja on alumiinilevy, jonka korkea lämmönjohtokyky mahdollistaa tehokkaan lämpöenergian siirron vedestä lämmönkeräimen sisällä kulkevaan ilmaan. Lämmönkeräin kierrättää sisällään lämmityskohteen sisäilmaa luovuttaen siihen lämpöä.

Kompostorista ja sen lämmönkeräysjärjestelmästä laadittiin eri suunnitelmia, joiden rajoitteena olivat saatavilla olevat rakennusmateriaalit. Kompostorista laadittiin ensiksi paperille karkea suunnitelma, josta karsittiin pois liian monimutkaiset sekä epäkäytännölliset elementit. Paperiversion jälkeen suunnitelmasta tehtiin sekä 2D- että 3D-malli AutoCADilla, ja kompostorin toimintaa havainnollistettiin HammerWorld-editorilla luodulla videolla.

4 Kompostorin rakentaminen

4.1 Kompostorin lämmönkeräin

Ensimmäisessä kompostoriversiossa lämmönkeräimenä toimi kompostorin sisällä kompostin pinnalla oleva putkisto. Putkisto kierrätti rakennuksen sisäistä ilmaa ottaen viileää ilmaa lattiapinnasta ja poistaen lämmintä ilmaa noin metrin korkeudella seinässä olevasta ilma aukosta. Tavoitteena oli testata oliko kompostin lämmöntuotanto tarpeeksi suuri rakennuksen lämmitykseen sekä oliko ilmankierrätystä mahdollista tehdä passiivisesti ilman minkäänlaista koneellista avustusta.

Lämmönkeruuputken materiaali oli aluksi ohut rautainen ilmastointihormi, mutta materiaali täytyi vaihtaa muoviin, sillä kompostissa olevat olosuhteet aiheuttivat metalliputkessa korroosiota. Korroosio johti siihen, että lämmitettävään rakennukseen pääsi kompostin sisäistä ilmaa.

Kompostorin toisessa versiossa lämmönkeruujärjestelmää kehitettiin lämmönkeruulaatikoksi, joka oli styroksista rakennettu sokkelo alumiinilevypohjalla. Tämäkin versio kierrättää lämmitettävän rakennuksen sisäilmaa, mutta ilmankiertoon täytyi laittaa tuuletin, sillä rakenne ei ollut tarpeeksi ilmatiivis passiivisen ilmankierron aikaan saamiseksi.

Kompostorista rakennettiin kaksi versiota. Rakennus aloitettiin hankkimalla rakennusmateriaalit sekä valmistelemalla kompostorin ympäristö. Kompostorin perusta rakennettiin tasoittamalla kompostorin alle jäävä maa ja asettamalla tiiliä korokkeeksi. Tiilien tehtävä oli pitää kompostorin pohja irti maasta puisien tukirakenteiden lahoamisen ehkäisemiseksi sekä riittävän ilmanvaihdon takaamiseksi. Kompostorin koriin porattiin reikiä lämmönvaihtoputkille, mittauslaitteille sekä sekoitus-sauvalle.

4.2 Ensimmäinen versio

Kompostorin ensimmäisen version rakennus aloitettiin itse kompostorina toimivan roskasäiliön pohjaan ilmareikien poraamisella sekä renkaiden ja niiden kiinnikkeiden poistamisella (kuva 5).



Kuva 5. Prototyyppi 1 runko.

Seuraavaksi kompostorin alusta valmisteltiin tasoittamalla maapohja, jotta kompostori ei keiku tai pääse kaatumaan sitä täytettäessä (kuva 6). Maapohjalle asetettiin tiiliä, jonka päällä oli bitumivuorauspaperia. Paperin tarkoitus oli estää veden nouseminen maapohjasta kompostorin puurakenteisiin.



Kuva 6. Prototyypin perustus.



Kuva 7. Prototyypin alusta.

Kompostorin alustana toimi puulava, jonka päälle kompostori rakennetaan (kuva 7).



Kuva 8. Prototyypin alarakenne.

Kuormalavan päälle rakennettiin puusta korokkeet (kuva 8), joiden tarkoituksena oli nostaa kompostorin pohjaa ylös, jotta kompostori saisi paremmin happea sekä ylimääräinen vesi pääsee valumaan pois pohjassa olevien reikien kautta.



Kuva 9. Prototyyppi 1 kuormakonttireunukset.

Kompostorin ympärille laitettiin kuormakonttireunuksia ja kompostorin ja reunuksien väli täytettiin styroksilla ja polyuretaanilla (kuva 9).



Kuva 10. Prototyyppi 1 ilmaputket.

Kompostorin takaosaan porattiin kaksi reikää lämmönvaihtoletkulle (kuva 10), jonka sisällä kiertää rakennuksen sisäinen lämmitettävä ilma.



Kuva 11. Prototyyppi 1 lämmönkeräin.

Kompostorin sisällä lämmönvaihtimena oli aluksi metallinen ilmastointiputki (kuva 11). Kyseinen putki täytyi vaihtaa muoviseen, sillä kompostin sisäiset olosuhteet aiheuttivat korroosiota, joka johti siihen, että kompostorin sisäinen ilma pääsi rakennukseen lämmönvaihto putkea pitkin.



Kuva 12. Prototyyppi 1 uusittu lämmönkeräin.

Korvaavaa muoviputkea täytyi laittaa enemmän (kuva 12), sillä muovilla on heikompi lämmönjohtamiskyky kuin metallisella putkella.



Kuva 13. Prototyyppi 1 lämpöeristettynä.

Kuvassa 13 näkyy kompostorin ensimmäinen versio toiminnassa.



Kuva 14. Prototyyppi 1 komposti.

Kompostorin ensimmäisen version kokeiluvaiheen päätteeksi kompostori tyhjenettiin. Lopputuotteena oli suhteellisen hyvälaatuista kompostia (kuva 14). Kompostiin laitettu biomassa oli suurimmaksi osaksi hajonnut, mutta sellua paljon sisältävä materiaali, kuten puu, oli suurimmaksi osaksi jäänyt prosessoimatta.

4.3 Kompostorin toinen versio

Kompostorin toiselle versiolle (kuva 15) tehtiin suurimmaksi osaksi samanlainen perustusvalmistelu kuin ensimmäisellekin versiolle. Tiilet korvattiin betonilaatoilla, ja bitiumvuorauspaperi jätettiin pois. Kompostorin alle ei tullut kuormalavaa alustaksi.



Kuva 15. Prototyyppi 2 kytkettynä.



Kuva 16. Prototyyppi 2 sisältä.

Lämmönvaihtimena toimivat putket vaihdettiin kokonaiseen lämmönvaihto-osastoon, jonka sisällä rakennuksen sisäilma kiertää ja kerää lämpöä kompostin poisto ilmasta.



Kuva 17. Prototyyppi 2 sisärakenne.

Kompostorin sisällä oli pienempi muovinen osasto, mutta se todettiin heikentävän kompostorin lämmöntuotantoa ja siten poistettiin. Kompostori täytettiin kokonaan biomassalla.

Kompostin ensimmäisen version kokeilun aikana huomattiin puutteita sekä testattiin kuinka prosessoidun biomassan poisto sekä kompostorin sekoitus onnistuu. Epäkäytännölliset ja toimimattomat ratkaisut jätettiin pois uudemmassa versiossa ja lämmönkeruujärjestelmä suunniteltiin tehokkaammaksi ensimmäisen version kokeilujen perusteella tehdyistä havainnoista.

Kompostorin edistyneempää versiota varten tehtiin uusi suunnitelma ja käytettiin uusia rakennusmateriaaleja. Kompostorin seinät rakennettiin 5 cm paksuisista styrox-levyistä, joita vahvistettiin puukehikolla. Lämmönkeruosasto koostui alumiinisesta lämmönvaihtolevystä, jossa oli styrox-levystä rakennettu kotelo päällä. Kotelon sisällä oli hukkapaloista muodostettu sokkelo, jotta lämmönvaihtimen sisällä kiertävä ilma lämpenisi mahdollisimman paljon.

5 Mittausmenetelmät

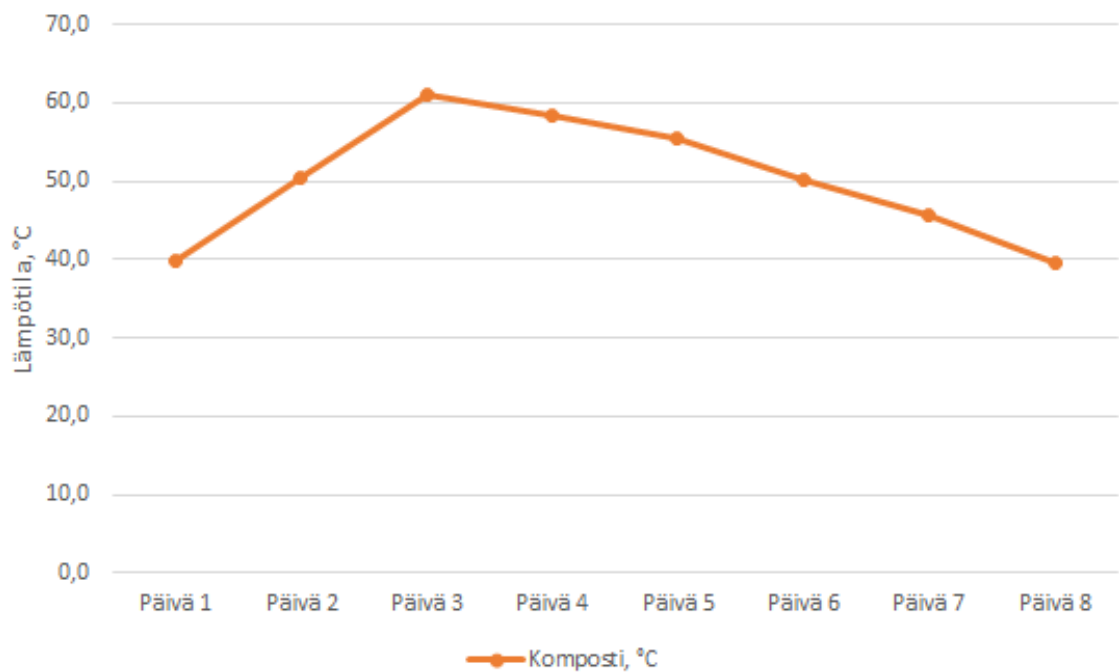
Lämpötiloja mitattiin digitaalisella lämpömittarilla ja lämpötilat otettiin tasaisin väliajoin. Ensimmäisessä versiossa mittarit oli asetettu kompostorin sisälle, rakennukseen sekä putkeen, josta lämpö tuli rakennukseen. Toisessa versiossa lämpömittarit asetettiin lämmönvaihtimeen, lämpöputken, rakennukseen sekä kompostoriin. Saadut tulokset listattiin ylös celsiusasteina 0,1 asteen tarkkuudella, ja myöhemmin niistä muodostettiin kaavioita tulosten visualisoimiseksi.

Sähkönkulutuksen ja kompostilämmön muutoksia mitattiin lämmittämällä rakennusta vuoropäivin pelkästään sähköllä ja pelkästään kompostin lämmöllä. Tarkempien tulosten saamiseksi olisi rakennusta voitu lämmittää viikko pelkästään sähköllä ja viikko pelkästään kompostorin lämmöllä, mutta tästä suunnitelmasta jouduttiin luopumaan, sillä sääolosuhteet ulkona alkoivat olla epäsuotuisat kompostorille. Lämmönmittausjakso ja vertailu lopetettiin, kun ulkolämpötila meni liian alhaiseksi ja kompostori ei enää kyennyt pitämään itseään lämpimänä.

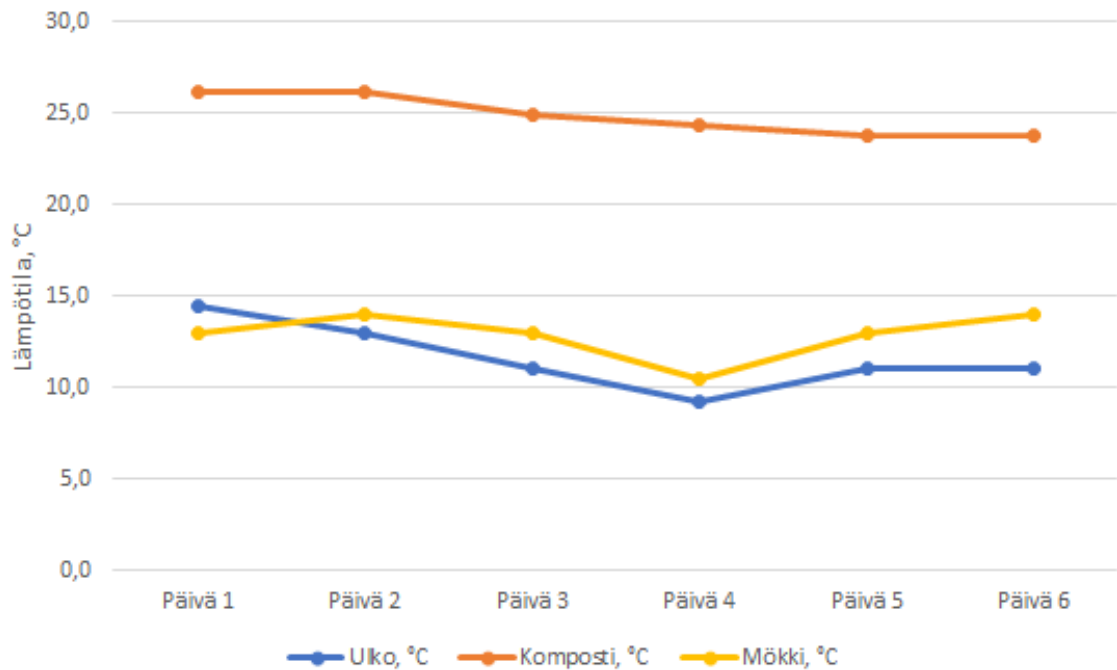
6 Tulokset

6.1 Ensimmäisen version lämpötulokset

Kuviossa 1 näkyy kompostorin ensimmäisen prototyypin sisälämpötilan muutokset, kun siihen lisättiin tuoretta syötettä. Kuvaaja myös näyttää, kuinka nopeasti kompostorin sisällä oleva biomassa lämpenee ja kuinka lämpenemis- ja kuume-nemisvaihe etenee. Kuviossa 2 kompostorin prototyyppi on kytketty rakennukseen ja kuvaajista näkyy lämpötilojen muutokset kuuden päivän mittausajanjak-solta.



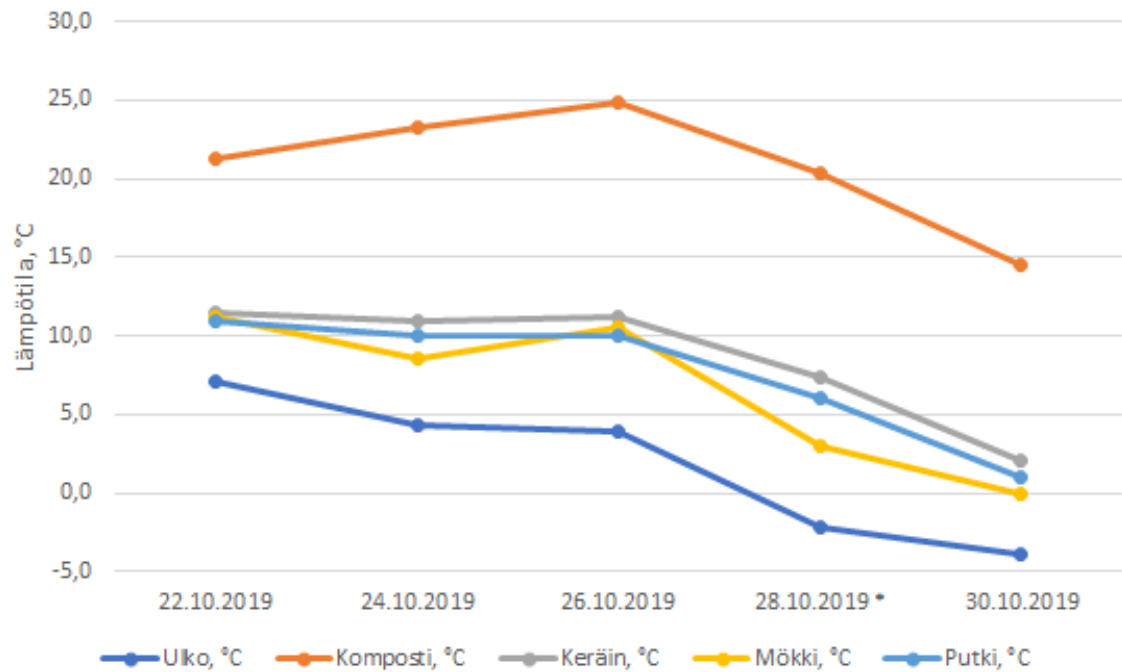
Kuvio 1. Prototyyppi 1 kompostorin lämpötilamittaukset, kun kompostori ei ollut kytkettynä rakennukseen ja siihen oli lisätty tuoretta syötettä.



Kuvio 2. Prototyyppi 1 kompostorin, mökin ja ulkolämpötila mittaustulokset, kun prototyyppi 1 on kytketty lämmitettävään rakennukseen.

6.2 Toisen version lämpötulokset

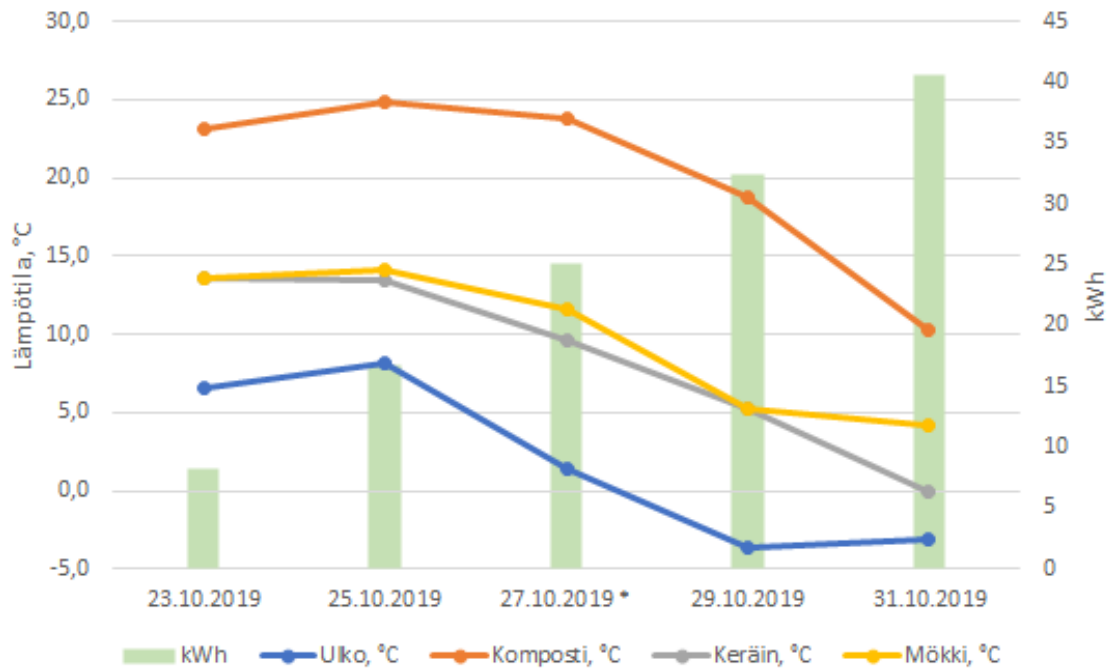
Kuvio 3 näyttää lämpötilan mittaustulokset, kun prototyyppi 2 on kytketty rakennukseen. Kuvio 4 näyttää lämpötilamuutokset, kun kohde rakennus on pelkästään sähkölämmityksellä ja prototyyppi 2 ei ole kytketty rakennukseen. Kuvio näyttää myös sähkölämmittimen tehonkulutuksen. Taulukko 1 näyttää tulokset, kun prototyyppi oli kytketty rakennukseen. Taulukko 2 näyttää sähkölämmityksen tulokset. Taulukoissa näkyy myös kompostorin lämpömuutokset.



Kuvio 3. Prototyyppi 2 kompostorin, lämmönkeräimen, mökin ja ulkolämpötilojen mittaustulokset, kun prototyyppi 2 on kytketty rakennukseen.

Taulukko 1. Toisen prototyypin mittaustulokset kompostorilämmityksellä.

Päivämäärä	Kello	Mittausjakso	Keräin, h	Ulko, °C	Komposti, °C	Keräin, °C	Mökki, °C	Putki, °C
22.10.2019	16.15	21.–22.10.	24	7,1	21,3	11,4	11,2	11,0
24.10.2019	7.45	23.–24.10.	15,5	4,3	23,2	11,0	8,5	10,0
26.10.2019	7.45	25.–26.10.	24	3,9	24,9	11,2	10,6	10,0
28.10.2019 *	6.45	27.–28.10.	24	-2,2	20,4	7,3	3,0	6,0
30.10.2019	6.45	29.–30.10.	24	-3,9	14,5	2,1	0,0	1,0



Kuvio 4. Prototyyppi 2 lämpötila mittaukset ja kumulatiivinen lämmityssähkön kulutus, kompostori ei ole kytketty lämmitettävään rakennukseen.

Taulukko 2. Toisen prototyypin mittaustulokset sähkölämmityksellä, kun kompostori ei ollut kytkettynä rakennukseen.

Päivämäärä	Klo	Mittausjakso	Sähkö, h	Ulko, °C	Komposti, °C	Keräin, °C	Mökki, °C	Putki, °C	kWh	kWh/vrk
23.10.2019	16.15	22.–23.10.	24	6,4	23,1	13,6	13,6	N/A	8,3	8,3
25.10.2019	7.45	24.–25.10.	24	8,1	24,8	13,5	14,1	N/A	16,8	8,4
27.10.2019*	7.45	26.–27.10.	24	1,4	23,8	9,6	11,6	N/A	25,1	8,4
29.10.2019	6.45	28.–29.10.	24	-3,6	18,7	5,3	5,2	N/A	32,4	7,3
31.10.2019	6.45	30.–31.10.	24	-3,1	10,3	0,0	4,2	N/A	40,6	8,2

6.3 Lämpötehontuotto- ja kannattavuuslaskelmat

Kompostorin toisen prototyypin lämmönkeräimen lämpötehontuotanto on keskimäärin 37,5 W ja parhaimmillaan 83 W. Kompostorin lämmönkeräimen tuuletti-
men tuottama ilmvirtaus on noin 15 l/s. Keskimääräinen tehotuotto on noin 2,25

kWh. Testausolosuhteissa rakennus vaatii noin 8 kWh lämmitysenergiaa ylläpitääkseen 13 celsiusasteen lämpötilan rakennuksen sisällä. Suurin osa rakennusmateriaaleista oli kierrätysmateriaalia, joten rakennusmateriaalikustannukset olivat noin 50 euroa. Kohderakennuksen lämmityskustannukset ovat noin 48 senttiä vuorokaudessa, joka saatiin kertomalla rakennuksen sähkönkulutus sähkölaskun kilowattihinnalla. Siirtomaksuineen sähkön hinta oli rakennukselle noin 11,89 snt/kWh, joten kompostori maksaisi materiaalikustannuksensa takaisin noin 185 päivässä.

7 Johtopäätökset ja pohdinta

Kompostorin ensimmäisen version pääasiallinen tavoite oli antaa käytännön tasolla näyttöä sille, että oliko lämmöntuotto ylipäättään mahdollista pienellä biomassamäärällä. Samalla testattiin lämmönkeräimen toimivuutta ja kompostorin yleistä toimivuutta, eli miten helppo se on täyttää, tyhjentää ja syötettä hämmentää. Ensimmäisen version koeajosta saatu kokemus hyödynnettiin kompostorin sekä lämmönkeräimen rakenteen ja tehokkuuden parantamiseen, joita sitten testattiin kompostorin toisessa versiossa. Kompostorin toisella versiolla pyrittiin jopa saavuttamaan säästöä lämmityskuluissa.

Tavoite siitä, että rakennus olisi täysin kompostorin lämmittämä ei toteutunut kokeilun aikana, mutta pohjaa jatkokehitykselle kokeilut antoivat hyvin. Uudempia kompostorin tai lämmönkeräimen versioita sekä niiden tuloksia ei tässä tutkimuksessa huomioida.

Rakennusmääräysten selvittelyvaiheessa ei löytynyt mitään, mikä estäisi sisäilman kierrättämistä lämmönkeräimessä, joka kerää lämpönsä kompostorista. Toisaalta mikäli lämmönkeräimessä on vuotoja, voi kompostoitumisprosessissa muodostuvat kaasut olla haitallisia ja ärsyttää silmien ja hengitysteiden limakalvoja. Jatkokehityksessä tulisi siis ottaa huomioon, miten voisi täysin estää mahdollisuudet kompostorin poistokaasujen sekoittumisesta sisäilmaan.

Lähteet

- Biolan, 2021. Kompostointi on taloudellinen ekoteko.
<https://www.biolan.fi/ekoasuminen/kompostointi.html>.
13.1.2021.
- Brown, G. 2014. The Compost-Powered Water Heater: How to Heat Your Water, Greenhouse, or Building with Only Compost. USA: The Country Press.
- Halinen, A. Tontti, T. 2004. Laitoskompostien laadun parantaminen kypsytystä tehostamalla. MTT:n selvityksiä 70.
- Living Web Farms. 2015. Compost Heat Recovery Webinar with Gaelan Brown. Youtube-video.
<https://www.youtube.com/watch?v=cvMi6hgfcnw>. 4.6.2020.
- Smith, M. M., Aber, J. D., Rynk, R. 2017. Heat Recovery from Composting: A Comprehensive Review of System Design, Recovery Rate, and Utilization. *Compost Science & Utilization* 25, 11–22.
- Ympäristöministeriö. 2017. Tasauslaskentaopas 2018 – Rakennuksen lämpöhäviön määräysten mukaisuuden osoittaminen.