

Rauno Heimonen
Kari Hänninen

**Hiilidioksidin tuotanto
olkikompostista
kasvihuoneilmaan**

Rauno Heimonen

Kari Hänninen

Hiilidioksidin tuotanto olkikompostista kasvihuoneilmaan

Straw composting as a source of CO₂ for greenhouses

Koldioxid till växthuset från halmkompost

Maatalouden tutkimuskeskus

ISBN 951-729-532-4

ISSN 1238-9935

Copyright

Maatalouden tutkimuskeskus

Rauno Heimonen

Kari Hänninen

Julkaisija

Maatalouden tutkimuskeskus, 31600 Jokioinen

Jakelu ja myynti

Maatalouden tutkimuskeskus, tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen

Puh. (03) 4188 2327, telekopio (03) 4188 2339

Painatus

Vammalan Kirjapaino Oy, 1999

Sisäsivujen painopaperille on myönnetty pohjoismainen joutsenmerkki.

Kansimateriaali on 75-prosenttisesti uusiokuitua.

Heimonen, R.¹⁾ & **Hänninen, K.**²⁾ 1999. Hiilidioksidin tuotanto olkikompostista kasvihuoneilmaan. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 47. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 26 p. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-532-4.

¹⁾ Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Puutarhatuotanto, vihannestutkimusasema, Vasavägen 1615, 64610 Övermark, rauno.heimonen@mtt.fi

²⁾ Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos, PL 35, 40351 Jyväskylä, kahannin@dodo.jyu.fi

Tiivistelmä

Avainsanat: hiilidioksidi (CO₂), kasvihuone, kompostointi, lämpöeristetty kompostori, olki, suurpaali

Nykyiset kasvihuonekasvien hiilidioksidilannoitusmenetelmät ovat melko kalliita ja ne lisäävät usein huomattavasti tuotantokustannuksia. Tässä julkaisussa kerrotaan vaihtoehtoisesta tavasta tuottaa olkikompostista hiilidioksidia kasvihuoneeseen tehokkaasti, turvallisesti ja taloudellisesti. Tutkimus käsitti kirjallisuuskatsauksen ja 13 kenttäkompostointikoetta neljällä eri kompostointilaitteella toteutettuna.

Tuore silputtu olki tuotti hiilidioksidia paremmin kuin paalattu olki. Lämpöeristetyssä kompostorissa 100 kg silputtua olkea tuotti noin 55 kg hiilidioksidia. Tehokas kompostointiaika oli kuukaudesta puoleentoista kuukautta. Muovilla peitettyssä kompostissa 100 kg suurpaaliin paalattua olkea

tuotti puolestaan 11,2 kg hiilidioksidia kahden ensimmäisen ja 3,4 kg kahden seuraavan kuukauden aikana. Kompostihiilidioksidin arvioiduksi hinnaksi tuli 0,37–0,6 mk/kg. Vertailun vuoksi säiliöhiilidioksidin hinta on arviolta 1–2 mk/kg.

Kompostikaasu ei juurikaan lisää kasvihuoneilman mikrobimäärää eikä kompostissa syntynyt kasveille tai ihmiselle haitallisia kaasuja. Kompostointimenetelmällä pystytään kasvihuoneissa ylläpitämään tai ylittämään normaalin ilman hiilidioksiditaso, kunhan vain kompostin koko on riittävän suuri. Menetelmä soveltuu parhaiten pienille alle 1000 m² tiloille ja luomutuotantoon.

Heimonen, R.¹⁾ & **Hänninen, K.**²⁾ 1999. Straw composting as a source of CO₂ for greenhouses. Publications of Agricultural Research Centre of Finland. Serie A 47. Jokioinen: Agricultural Research Centre of Finland. 26 p. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-532-4.

¹⁾ Agricultural Research Centre of Finland, Plant Production Research, Horticulture, Vasavägen 1615, FIN-64610 Övermark, Finland, rauno.heimonen@mtt.fi

²⁾ University of Jyväskylä, Department of Biological and Environmental Sciences, B.O. Box 35, FIN-40351 Jyväskylä, kahannin@dodo.jyu.fi

Abstract

Key words: carbon dioxide (CO₂), composting, insulated composter, round bale, straw

As part of a 3-year research project, 13 large-scale experiments were conducted with a small composter, a drum composter, an insulated box composter and a non-insulated round bale compost. The aim was to develop an environmentally sound and economical method of straw composting as alternative fertilization of CO₂ in greenhouses.

A round bale compost consisting of eight bales (volume 15.2 m³, dry matter 1474 kg, 97 kg/m³) produced 438 kg of CO₂ during the 4-month period of experimentation. The CO₂ content in the composting gas varied between 900 and 5000 ppm. CO₂ level of 356 ppm was exceeded in the greenhouse, even with increased luminosity and ventilation. No diseases or organisms derived from the compost were found. The raw material price of the CO₂ produced by composting was USD 0.12/kg. Non-

insulated composts only functioned satisfactorily during the warm cultivation period.

In the box composter a 10 m³ charge of fresh crushed straw (dry matter 450 kg, 45 kg/m³) produced 220 kg of CO₂ during the 2-month period of experimentation. The CO₂ content in the composting gas fluctuated between 650 and 47 000 ppm. The raw material price of the CO₂ produced was USD 0.08/kg. The price of commercial CO₂ was USD 0.2–0.4 USD/kg. The composter also worked well in winter.

Composting was tested with small composters. The optimal moisture of compost is 60–70%. The drum composter was not suitable for straw because the straw could not be treaded and so it did not compost properly. More work and know-how are required to further improve the insulated composting of straw.

Heimonen, R.¹⁾ & Hänninen, K.²⁾ 1999. Koldioxid till växthuset från halmkompost. Lantbrukets forskningscentrals publikationer. Serie A 47. Jokioinen: Lantbrukets forskningscentral. 26 p. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-532-4.

¹⁾ Lantbrukets forskningscentral, Forskning om växtproduktion, Trädgårdsproduktion, Martens grönsaksforskningsstation, Vasavägen 1615, 64610 Övermark, rauno.heimonen@mtt.fi

²⁾ Jyväskylän Universitetet, Institutionen för Bio- och Miljövetenskapen, PL 35, FIN-40351 Jyväskylä, kahannin@dodo.jyu.fi

Sammanfattning

Nyckelord: halm, koldioxid (CO₂), kompostering, storbal, värmeisolerad behållare

Nuvarande koldioxidgödslingsmetoder av växthusgrönsaker är ganska dyra och de ökar märkbart produktionskostnaderna. Den här publikationen berättar om hur man kan producera koldioxid av en halmkompost effektivt, tryggt och ekonomiskt. Projektet bestod av en litteraturstudie och 13 fältkomposteringsförsök med fyra olika komposteringsanläggningar (vagn-, storbal-, trum- och småkompost).

Färsk hackad halm producerade koldioxid bättre än balad halm. I värmeisolerad behållare producerade 100 kg hackad halm ca 55 kg koldioxid. En effektiv komposteringsperiod med tanke på koldioxidproduktion är ca 1–1,5 månader. I plastisolerad kompost producerade 100 kg halm, som är balad i storbal, ca 11,2 kg koldioxid under de första två månaderna och 3,4 kg under de där på följande två månaderna. Råmaterialskostnaden för koldioxid som producerats i kompost, uppskattades till 0,37–0,6

mk/kg. Som jämförelse kan nämnas att koldioxid ur cistern kostar 1–2 mk/kg.

Inga för växter eller människor skadliga gaser uppstod i komposteringsreaktionerna. Kompostgasen innehöll endast något mera mikrober än växthusluften i övrigt.

Med halmkompostering är det möjligt att upprätthålla eller öka växthusluftens normala koldioxidnivå. Komposteringsanläggningar för ändamålet finns ännu inte på marknaden, varför odlarna själva måste konstruera egna komposteringsystem. Metoden är bäst lämpad för små trädgårdar under 1000 m² och trädgårdar med ekologisk odling. Det kan också löna sig att använda halmkomposteringsmetoden som parallell- eller reservmetod tillsammans med någon annan koldioxidgödslingsmetod. Även när man ventilerar kan man utan större ekonomiska förluster ge växterna sådan koldioxid, som producerats genom kompostering av halm.

Alkusanat

Hiilidioksidin tuotanto eloperäisestä aineesta kasvihuoneilmaan -projekti, oli Kotimaisten eloperäisten aineiden käyttö kasvihuoneviljelyssä -tutkimushankkeen osa. Projekti kesti lähes kolme vuotta (1994–1997). MTT toteutti projektin yhteistyössä Martensin puutarhasäätien, VTT Energian, Biolan Oy:n ja Jyväskylän yliopiston kanssa. Projektia rahoitti em. tahojen lisäksi Vaasan lääninhallitus, Vaasan maaseutuelinkeinopiiri, maa- ja metsätalousministeriö sekä EU:n maatalouden ohjaus- ja tukirahasto.

Projektin tutkijana toimi Rauno Heimonen ja projektipäällikkönä aluksi (MMM) Kaisa Uronen ja myöhemmin (MMM) Juha Näkkilä. VTT Energiasta ja myöhemmin Jyväskylän yliopistosta tutkimusta koordinoi dosentti Kari Hänninen ja Biolan Oy:stä tutkimus- ja tuotekehityspäällikkö Markku Haukioja.

Kiitokset Kaisa Uroselle, tutkija Metti

Salmiselle, vanhempi tutkija Juha Näkkilälle, kenttämasteri Kjell Backlundille, tutkimusapulainen Tommy Ingvesille ja Markku Haukiojalle koetoiminnassa avustamisesta ja hyvästä yhteistyöstä. Kiitokset tutkija Mauritz Vestbergille ja tradenomi Leila Savolaiselle ruotsinkielisen osuuden kääntämisestä ja yhteisestä projektiosuudesta. Kiitokset myös hyvästä yhteistyöstä johtaja Marjatta Uosukaiselle sekä koko Laukaan tutkimusaseman henkilökunnalle. Lisäksi kiitokset tutkimuksiin tavalla tai toisella osallistuneille viljelijöille Pirkanmaalla ja Oulun sekä Närpiön seudulla.

Tutkimuksesta on pidetty esitelmä 4.9.1997 kansainvälisessä Organic Recovery & Biological Treatment (ORBIT) -97 konferenssissa Harrogateissa Englannissa. Esitelmään liittyen kiitokset kielentarkastuksesta Kay Ahoselle.

Jyväskylässä 6.10. 1998.

Tekijät

Sisällys

Tiivistelmä	3
Abstract	4
Sammanfattning	5
Alkusanat	6
1 Johdanto	9
1.1 Kasvihuoneiden hiilidioksidilannoituksen tarpeellisuus	9
1.2 Aikaisempia olkikompostointikokeita	10
2 Uusien kenttäkokeiden koelaitteet ja menetelmät	11
2.1 Pienkompostori	12
2.2 Rumpukompostori	12
2.3 Suurpaalikomposti	13
2.4 Vaunukompostori	13
2.5 Kompostikaasuputkistot ja niiden toiminta	13
2.6 Mittauslaitteet ja menetelmät	13
3 Kompostien toiminta	16
3.1 Pienkompostien toiminta	16
3.2 Rumpukompostin toiminta	17
3.3 Suurpaalikompostin toiminta ja hiilidioksidin tuotanto	17
3.4 Vaunukompostien toiminta ja hiilidioksidin tuotanto	19
4 Olkikompostikaasun puhtaus ja suodatus	21
5 Kasvihuoneiden hiilidioksiditasot ja valontarve	23
6 Olkikompostin taloudellisuus	24
7 Johtopäätökset	25
Kirjallisuus	26

1 Johdanto

1.1 Kasvihuoneiden hiilidioksidilannoituksen tarpeellisuus

Vihreiden kasvien hiilidioksidin yhteyttäminen, fotosynteesi, on koko elollisen luonnon tärkein kemiallinen reaktio. Prosessissa ovat välittömästi tai välillisesti syntyneet kaikki biosfäärin eloperäiset ainekset sekä ns. fossiiliset polttoaineet: kivihiili, maakaasu ja öljy. Yhteyttämisessä tarvitaan noin 1,5 kg hiilidioksidia muodostamaan 1 kg rypälesokeria eli glukoosia (Pankakoski 1990). Kasvit tuottavat joka vuosi arviolta 150–400 miljardia tonnia sokeria.

Nykymuotoisessa kasvihuoneviljelyssä hiilidioksidia ei enää muodostu maahengityksen seurauksena siinä määrin kuin aiemmin, koska maapohja-alat ja kasvualustat ovat pienentyneet sekä muuttuneet paljolti kivilläpohjaisiksi. Näin ollen kasvihuoneilman CO₂-taso voi pudota kasvien kulutuksen seurauksena alle normaalin ulkoilmassa olevan hiilidioksiditason (356 ppm, Heino 1994). Mikäli kasvihuoneessa CO₂-taso laskee alle 100 ppm:n, soluhengitys kuluttaa kaiken tuotetun sokerin ja kasvien kasvu pysähtyy. Kurkun tuotannon on todettu vähenevän noin 80 %:iin, jos CO₂-taso on 220–280 ppm. Jos ilman CO₂-pitoisuus on yli normaalin tason, kasvien kasvu tehostuu edellyttäen, että muut kasvuolosuhteet ovat ihanteelliset. CO₂-tason ollessa noin 500 ppm, tuotanto voi parantua 110–115 % verrattuna lannoittamattomaan viljelmään. Hiilidioksidia lisäämällä on saavutettu jopa 135 % parempi tuotanto. On kuitenkin muistettava, että liian korkeat CO₂-pitoisuudet saattavat aiheuttaa kasvusairauksia (Svensk Gastekniskt Center 1991).

Yleisimpiä hiilidioksidin lannoitusmenetelmiä ovat kevyestä polttoöljystä, propanista tai maakaasusta polttamalla tuotettu hiilidioksidi, jota johdetaan kasvihuoneeseen. Myös puhdasta kaasua johdetaan suoraan säiliöistä tai pulloista kasvihuonee-

seen. Polttamalla tuotettu hiilidioksidi edellyttää puhdasta polttoainetta ja hyvin toimivia polttimia. Epätäydellisen palamisen seurauksena kasvihuoneeseen voi päästä kasveja vioittavia kaasuja, kuten rikin ja typen oksideja ja työntekijälle haitallisia kaasuja esim. häkää. Polttaminen on järjestettävä niin, ettei kasvihuoneen ilman lämpötila nouse haitallisen korkeaksi. Toisaalta polttamisessa vapautuva lämpö voidaan tarvittaessa käyttää hyödyksi. Pullotetun tai säiliöstä johdetun hiilidioksidin etuna on, ettei menetelmään liity palovaaraa, eikä siinä synny kasveille ja ihmisille haitallisia sivutuotteita. Tätä lannoitusvaihtoehtoa pidetään kuitenkin melko kalliina, minkä vuoksi hiilidioksidin antaminen usein lopetetaan kasvihuoneen tuuletuksen ajaksi. Tuuleuksesta huolimatta kuumina kesäpäivinä syntyy kasvihuoneessa helposti hiilidioksidivaje. Pullotettu hiilidioksidi on yleensä alkoholikäymisen tai polttoainejalostusteollisuuden sivutuote (Heimonen & Hänninen 1996).

Hiilidioksidilannoitus muodostaa huomattavan osan Suomen kasvihuoneviljelyn tuotantokustannuksista. Ihalaisen (1993) mukaan tomaatin, kurkun ja ruusun tuotantokustannuslaskelmissa kustannukset säiliöhiilidioksidin käytöstä ja säiliön vuokrasta 1000 m² kasvihuoneessa ovat olleet 15 000–18 000 mk. Hiilidioksidin osuus muuttuvista tuotantokustannuksista tomaatilla on ollut 0,50 mk/kg, kurkulla 0,41 mk/kg ja ruusulla 0,08 mk/kg. Viljelyneuvojen mukaan vastaavat kustannukset käytännössä olivat noin 10 000 mk/1000 m² kasvukautta kohti (8–9 kk) eli 10 mk/m² (Forssell & Räsänen 1994). Vastavaan suuntaisia tuloksia on esitetty myös Lassheikin (1994) seurantamalleissa.

Ihalaisen (1993) mukaan hiilidioksidin raaka-ainehinta on Tanskassa 2,15 mk/kg, Ruotsissa 1,6–3,6 mk/kg, Hollannissa 0,65–0,95 mk/kg ja Suomessa 1,5–4,8 mk/kg. Lisäksi tulee säiliön vuokra, joka on Suomessa esimerkiksi 4 m³:n säiliöllä 7 630–8 650 mk/vuosi. Hinta luonnollisesti saattaa hieman vaihdella, esim. tällä hetkellä puhtaan hiilidioksidin raaka-ainehinta on laskenut

vuoden 1994 hinnoista. Hiilidioksidin raaka-ainehinnan arvioidaan nyt olevan noin 1–2 mk/kg ja sitä käytetään 3–10 kg/m² kasvukaudessa. Vastaava hiilidioksidin käyttömäärä Tanskassa on joillakin tiloilla ollut jopa 60–70 kg/m² kasvukaudessa (9 kk) ja tuotannonlisäys noin 130 % (Sgård 1997).

Hiilidioksidia tarvitaan kotimaisissakin kasvihuoneissa yhä enenevässä määrin, mikäli tuotannon tehokkuutta aiotaan parantaa. Hyvällä kasvihuoneautomaatiikalla voidaan hiilidioksidin annostelua optimoida ja näin säästää hukkakaasussa. Kustannusten alentamiseksi tarvitaan kuitenkin puhtaan hiilidioksidin rinnalle myös vaihtoehtoisia hiilidioksidin tuotantoratkaisuja, kuten kompostihiilidioksidia.

1.2 Aikaisempia olkikompostointikokeita

Olki on ”puhdas jäte”. Sitä syntyy maataloilta runsaasti. Suomen vuotuisen olkisadon on arvioitu olevan noin 4,0 miljoonaa tonnia, josta hyödynnetään vain 10 % (SVT 1995). Oljen kompostoitumista on tutkittu aiemmin sekä Suomessa että ulkomailla. Kompostoitumisessa mikrobit hapellisissa olosuhteissa hajottavat orgaanista materiaalia. Orgaanisesta hiilestä osa menee humuksen ja mikrobien uuden soluaineksen muodostamiseen ja osasta tulee vettä ja hiilidioksidia.

Kompostoitumisprosessissa materiaali on jatkuvassa muutostilassa. Vaikuttavia tekijöitä ovat kompostimateriaali, kosteus, lämpötila, hapen määrä ja hiili-typpisuhde. Lämpötilan muutosten perusteella kompostoituminen voidaan jakaa neljään vaiheeseen: psykrofiiliseen, mesofiiliseen, termofiiliseen, jäähtymis- ja kypsymisvaiheeseen. Kompostoitumisen alku- eli psykrofiilisessä vaiheessa kompostin lämpötila on alhainen (alle + 20 °C). Mesofiilisessä vaiheessa kompostin pH laskee lievästi johtuen happamista hajoamistuotteista. Kompostin massan ollessa tarpeeksi suuri, mikrobitoiminnan tuottama lämpö nostaa kompostin

lämpötilan termofiiliselle alueelle (+ 50 – + 75 °C). Tällöin ammonifikoivien eli ammoniakkia tuottavien bakteerien toiminta nostaa hieman kompostin pH:ta. Mesofiilissä ja termofiilisessä vaiheessa hajoavat helposti käytettävissä olevat hiililähteet, kuten sokerit, tärkkelys ja rasvat. Kun nämä yhdisteet on käytetty loppuun, alkaa jäähtymisvaihe. Jäähtymisvaiheessa lämpöenergiaa vapautuu hitaammin, koska jäljelle jääneiden kuituaineiden hajottaminen on vaikeampaa. Myös pH laskee yleensä hiukan (Huvio 1992).

MTT:n Keski-Suomen tutkimusasemalla Laukaassa kompostoitettiin kauran ja ohran olkea kesällä 1984. Kompostorit (39 kpl) olivat laudasta rakennettuja 1 m³:n kokoisia laatikoita, joiden pohjalla oli säkkikankaalla peitetty salaojaputkisto. Kuhunkin kompostoriin laitettiin vuorotellen erisuuruisia määriä olkea ja typenlähdettä (puhdistamolietettä, ureaa, puna-apilaa ja sinilupiinia). Lopuksi olki poljettiin tiiviiksi ja kasteltiin. Suotuisin lämpötila CO₂:n tuotannon kannalta oli + 35 °C, jolloin oljen hajoaminen oli tehokkainta. Ympäristöministeriön kompostityöryhmän mietinnön (1992) mukaan komposti hygienisoituu, jos sen lämpötila on suurempi kuin + 55 °C yli kolme vuorokautta. Hygienisoituminen saavutettiin liete-kompostissa 10 vuorokauden kuluttua kompostoinnin aloittamisesta. Lämpötila pysyi + 50 – + 60 °C välillä seuraavat 10 vuorokautta ja alkoi sitten laskea. Paras hiilidioksidin tuotanto saatiin kompostista, jossa seossuhteet tuorepainoina olivat 100 kg vettä, 130 kg olkea ja 312 kg lietettä. Tässä kompostissa orgaanisen hiilen hävikki oli 78,9 %, eli hiili oli yhtynyt happeen erittäin tehokkaasti ja poistunut kompostista hiilidioksidina. Koekompostin pH oli 5,5–6,7 ja johtoluku pienempi kuin 10, eli kompostia olisi voinut käyttää viljelyksillä maanparannusaineena (Paldanius 1987).

Biolan Oy:n kokeissa huhti - lokakuussa 1990 tuotettiin hiilidioksidia olkikompostiaumasta ja tutkittiin kaasun hyödyntämistä 480 m² kasvihuoneessa. Kompostissa (40 m³) oli olkipaalien lisäksi turvetta ja kana-

lantaa. Se oli peitetty muovilla ja sijoitettu kasvihuoneen viereen. Auman sisään oli rakennettu kaasunimuputkisto. Kasvihuoneessa oleva puhallin imi kompostista kaasua ja puhalsi sen tomaattipetien alle sijoitettuun rei'itettyyn putkistoon. Tällä järjestelyllä hyödynnettiin myös kasvualustan tuottamaa hiilidioksidia. Puhallin käynnistyi, jos säteilytaso ylitti 100 W/m^2 (25,5 klux, päivänvalo) ja huoneilman CO_2 -pitoisuus oli alle 900 ppm. Kasvualustaan johdetun kaasun virtaus ei saa olla liian voimakas, ettei se muuta kasvualustan lämpötilaa tai kosteutta. Sopiva kaasuvirtaus neliometriä kohden oli 0,3 l/s (Haukioja 1993).

Kokeissa kasvihuoneen hiilidioksidipitoisuus saatiin pidettyä lähes koko ajan ulkoilman pitoisuutta korkeampana ja pitoisuudet olivat parhaimmillaan kovankin kuluksen aikana aurinkoisina päivinä 400–500 ppm. Komposti tuotti hiilidioksidia imupuhallusten keskiarvona noin 2–5 kg/h eli yksi kompostikuutio tuotti CO_2 :a 50–125 g tunnissa. Koejakson aikana hiilidioksidia vapautui yhteensä arviolta 3000 kg, jolloin 20 % kompostin sisältämästä hiilestä oli muuttunut hiilidioksidiksi. Hiilidioksidin tuotanto oli siis $30 \text{ kg/m}^3/7$ kuukautta. Koekasvina olleen tomaatin nettosato oli noin 37 kg/m^2 , eikä kasveissa havaittu erityisiä oireita. Tomaattien juuret menivät selkeästi kohti juuristoon sijoitettuja putkia. Syytä tähän ilmiöön ei tarkemmin tutkittu (Haukioja 1994).

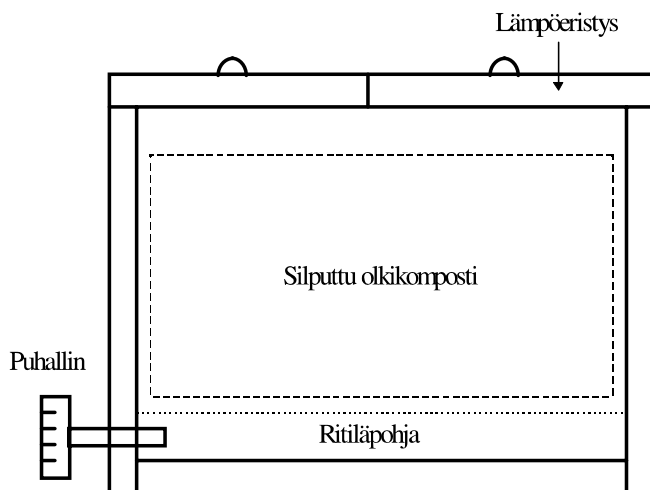
Englannissa olkipaaleja on käytetty kasvualustana kurkun ja tomaatin viljelyssä, joskin kivivilla- ym. kasvualustojen myötä käyttö on vähentynyt. Eräessä kokeessa olkipaalien (noin 20 kg/kpl) kompostointi aloitettiin, kun kasvihuoneen lämpötila oli nousut $+12 - +13 \text{ }^\circ\text{C}$:een. Jokaiseen paaliin laitettiin ammoniumnitraattia (NH_4NO_3). Paaleja kasteltiin päivittäin ja lannoitusta lisättiin kaksi kertaa 20 vuorokauden aikana. Aluksi paalien lämpötilat olivat $+50 - +60 \text{ }^\circ\text{C}$, mutta laskivat sitten noin $+35 \text{ }^\circ\text{C}$:een, jonka jälkeen kasvit istutettiin paaleihin. Ennen istutusta paalien päälle laitettiin vielä 5–10 cm maakerros. Menetelmä oli hidas,

työläs ja se vei kasvihuoneesta tilaa. Etuna oli raaka-aineen alhainen hinta, helppo saatavuus ja kierrätettävyys. Olkipaalit mahdollistivat myös hyvän ilmastuksen kasvien juuristolle sekä tuottivat kompostoituaan kasvihuoneeseen CO_2 ja lämpöä (Papadopoulos 1994). Muutamit viljelijät käyttävät vastaavaa menetelmää Pohjanmaalla.

Englannissa tehdyissä hiilidioksidin tuotantokokeissa muovilla peitetyt, kastellut olkipaalikaset oli sijoitettu kasvihuoneen käytäville. Tällä menetelmällä CO_2 -pitoisuutta ei saatu juurikaan nostettua, etenkin kesällä tuuletuksen aikana. Toisissa kokeissa kasvihuoneiden ulkopuolelle sijoitettujen ja muovilla peitettyjen olkikompostien ongelmana oli ollut kuivuus ja ilman huono kierto. Vuonna 1985 eräs viljelijä oli kokeillut olkipaalien kompostoinnista 9 m leveissä, 27 m, 20 m ja 17 m pitkissä muovipäällysteisissä kaaritunneleissa, joihin mahtui yhteensä 3860 paalia. Alussa paalit oli kasteltu ammoniumnitraattiliuoksella. Kompostoitumisen alettua tunnelista puhallettiin kompostikaasua kasvihuoneeseen, jossa oli kaasunjakoputkisto. Tällä menetelmällä hiilidioksiditaso pysyi 1000 ppm:ssa tuuletusluukkujen ollessa kiinni. Tuuletuksen aikana hiilidioksidia lisättiin kerosiinipolttimella (Hayman 1987).

2 Uusien kenttäkokeiden koelaitteet ja menetelmät

Kenttäkokeet suoritettiin Närpiössä, Jyväskylässä ja Laukaassa. Kokeissa tutkittiin erilaisia oljen kompostointimenetelmiä ja selvitettiin niiden toimivuutta hiilidioksidin tuotannossa. Kompostointilaitteina käytettiin vaunukompostoria (Närpiö), lämpöeristettyä pienkompostoria (Jyväskylä, Laukaa), rumpukompostoria (Jyväskylä) ja suurpaalikompostia (Närpiö).



Kuva 1. Lämpöeristetyn TARA-kompostorin yksinkertaistettu rakenne.

Figure 1. Insulated small composter.

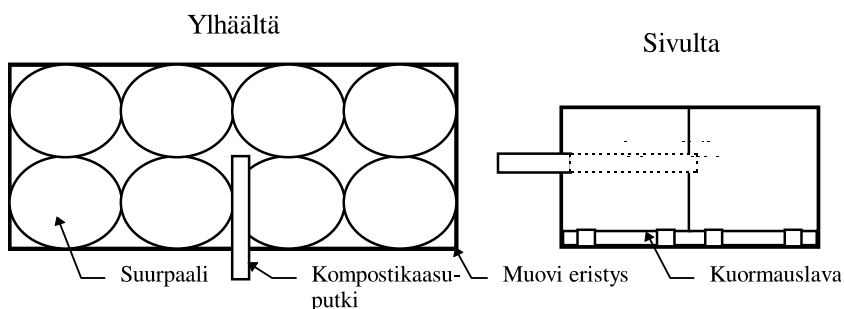
Bild 1. Värmeisolerad TARA-kompost.

2.1 Pienkompostori

Tutkimuksen aikana tehtiin kuusi pienkompostointikoetta, joissa testattiin oljen kompostoitumista. Kokeissa käytetyt kompostorit (Kuva 1) olivat TARA-pienkompostoreita (580–640 l). Kompostorin seinämissä, pohjassa ja kannessa oli noin 10 cm styrox-eristys. Joissakin kokeissa kompostori eristettiin sisältä muovilla ja kompostorin pohjalle laitettiin puinen harva laveri, jonka päällä oli muovinen ritilä. Kompostissa muodostunut kaasu imettiin laverin alta ja puhallettiin putkistoon. Korvausilma tuli kompostiin kansirakenteen kautta.

2.2 Rumpukompostori

Rummussa tehtiin kaksi kompostointikoetta, joiden avulla pyrittiin määrittämään kompostoitumista, kompostin hiilidioksidin tuotantoa ja laitteiston soveltuvuutta pelkän oljen kompostointiin. Kompostointilaitteistoon kuului 10 m³:n tietokoneohjattu rumpukompostori, mittaus- ja materiaalin siirtolaitteet. Ensimmäisessä kokeessa kompostoitiin auki revittyjä pienpaaleja (á 130 l, yhteensä 2,2 m³) ja toisessa silputtua olkea (3,5 m³).



Kuva 2. Suurpaalikompostin yksinkertaistettu periaate ylhäältä ja sivulta.

Figure 2. Round bale compost construction.

Bild 2. Storbalskompost.



Kuva 3. Suurpaalikomposti (Kuva: Rauno Heimonen).

Figure 3. Round bale compost (Photograph: Rauno Heimonen).

Bild 3. Plastisolerad storbalskompost (Photo: Rauno Heimonen).

2.3 Suurpaalikomposti

Suurpaalien kompostointia selvitettiin viljelijähaastatteluilla sekä yhdellä kenttäkokeella. Kenttäkokeessa käytetty komposti koostui kahdeksasta kauran oljesta tehdystä suurpaalista (á 1,9 m³). Paalit sijoitettiin puisten kuormauslavojen päälle. Paalien päälle laitettiin tippukasteluputki. Paalit ja kuormauslavat ympäröitiin mustalla muovilla tiiviisti (Kuvat 2 ja 3). Kompostikaasu imettiin kompostin keskeltä. Korvausilma tuli kompostiin ulkoa muovin raoista (Heimonen & Hänninen 1997a).

2.4 Vaunukompostori

Tutkimuksen aikana tehtiin viisi vaunukompostointikoetta. Vaunukompostorin lämpöeristys oli noin 100 mm ympäriinsä ja tilavuus 10,3 m³ (Kuvat 4 ja 5). Kompostorissa oli aukaistava kansirakenne, josta kompostoitava materiaali laitettiin kompostoriin ja ”peräluokku”, josta komposti voitiin poistaa. Kompostikaasu johdettiin kasvihuoneeseen lämpöeristettyä putkea pitkin. Korvausilma tuli kompostoriin kasvihuoneen käytävältä (Heimonen & Hänninen 1997b).

2.5 Kompostikaasuputkistot ja niiden toiminta

Kenttäkokeissa kompostissa muodostunut hiilidioksidipitoinen kaasu johdettiin kasvihuoneeseen Uponal-muoviputkella, halkaisija 110 mm. Kaasupuhaltimena käytettiin vakiotuottoista K 100 M-kanavapuhallinta.

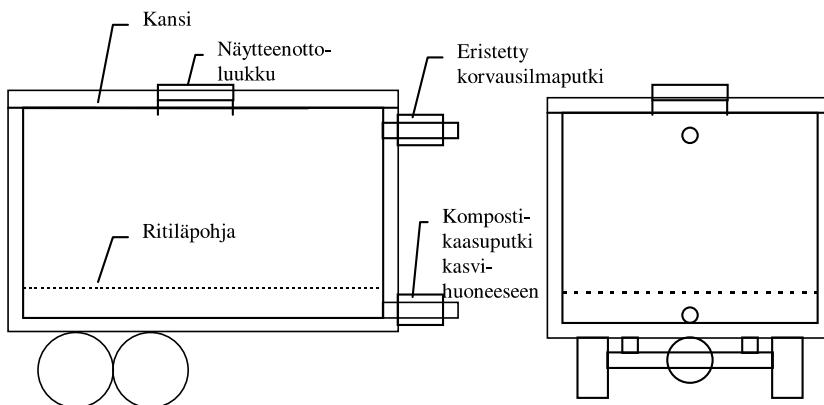
Suurpaalikokeessa kompostikaasu johdettiin vain yhteen kohtaan kasvihuonetta ja vaunukokeissa huoneessa oleviin muovitunnelihin (Kuva 6). Vaunukokeissa kaasun suodatukseen käytettiin biosuodatinta, josta tarkemmin kohdassa 4 Olkikompostikaasun puhtaus ja suodatus. Kompostikaasu jakaantui kasvihuoneeseen melko nopeasti ilman muovitunnelitakin, joskin ne auttoivat kaasun tasaista leviämistä. Putkien ja muovitunnelien ongelmana oli kostuminen. Putkiin kertynyt vesi oli poistettava ja muovitunnelien seinämien yhteen liimautuminen oli estettävä tunnelin sisälle vedetyllä narulla.

Laukaan pienkompostointikokeissa kompostikaasu johdettiin kasvualustassa oleviin salaajaputkiin (Kuva 7). Kompostorista tuleva kaasuputki haaroitettiin kolmeen kasvatusaltaan osaan ja liitettiin salaajaputkistoon, josta kaasu siirtyi kasvualustaan ja sitten ilmaan. Laukaan kokeiden perusteella kompostikaasua on käytännössä varmintä puhalttaa vain ilmatilaan, koska liian suuri kaasuvirtaus voi muuttaa kasvualustan olosuhteet kasveille epäsuotuisiksi. Kaasuvirtauksen säätäminen oikean suuruisiksi vaatii paljon asiantuntemusta.

2.6 Mittauslaitteet ja menetelmät

Pien- ja rumpukompostointikokeet.

Mittauslaitteistoon kuului Hewlett-Packardin 3421A -tiedonkeruuyksikkö (dataloggeri), mittauslaitteisto ja Komposti 2000 tiedonkeruuhjelma. Rumpu- ja pienkompostointikokeissa lämpötila mitattiin kompostin keskeltä Pt100-lämpötilaantureilla. Antureiden tarkkuusluokka oli DIN IEC 761 (0 °C ± 0,3 °C ja 100 °C ± 0,8



Kuva 4. Vaunukompostorin yksinkertaistettu rakenne.

Figure 4. Insulated box composter.

Bild 4. Vagnskompost.



Kuva 5. Lämpöeristetty vaunukompostori (Kuva: Rauno Heimonen).

Figure 5. Insulated box composter (Photograph: Rauno Heimonen).

Bild 5. Värmeisolerad vagnskomposter (Photo: Rauno Heimonen).

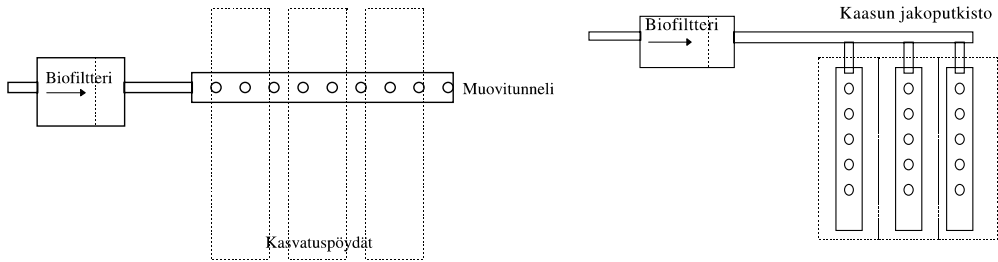
°C). Mittaustiedot tallentuivat tietokoneelle minuutin välein. Kompostien kypsymistä seurattiin ottamalla niistä DIN 51718 -standardia soveltaen kosteus- ja ISO 10390 -standardin mukaisesti pH-näytteitä.

Rumpukompostointikokeissa syntynyt hiilidioksidimäärä laskettiin happianalyysin perusteella. Happea (O₂) analysoitiin PPM-analysaattorilla alueelta 0–25 %.

Suurpaali- ja vaunukompostointikokeet.

Suurpaali- ja vaunukompostointikokeissa tiedonkeruuyksikkö koostui mittaus-tietokoneesta, ACJr-mittauskortista, anturiliitintäyksiköstä ja Quicklog-tiedonkeruu-ohjelmasta. Lämpötila-antureina käytettiin termoelementtejä (K-tyyppi, mittaus-alue -75 – +1260 °C). ACJr-mittauskortin mittaustarkeus termoelementtianturille oli ± 1,4 °C. Lämpötila mitattiin komposteista kolmesta kohtaa. Viimeisessä vaunukokeessa lämpötilamittaukseen käytettiin digitaalista Degatron True RMS DMM 2501 -lämpötilamittaria.

Hiilidioksidimittauksiin käytettiin Hartmann & Braunin analysaattoria (lukematarkkuus ± 5000 ppm mitta-asteikolta), Vaisalan GM11 -analysaattoria (mittaus-epätarkkuus korkeintaan ± 90 ppm) ja Dräger Accuro -hiilidioksidianalysilaitetta (mittaustarkeus ± 500–5000 ppm, riippuen mittausalueesta). Mittaukset tehtiin imemällä kaasua kompostista tulevasta putkesta puhaltimen ollessa päällä. Kaasuvirtausta kompostista kasvihuoneeseen mitattiin aluksi muovipussimenetelmällä ja L-pitot -putkella, myöhemmin VelociCalc 8355 -kaasuvirtausmittarilla (mittausepä-tarkkuus ± 0,95 l/s–4,75 l/s riippuen mit-tausalueesta).



Kuva 6. Kaasunjakoputkistot eräissä vaunukokeissa.

Figure 6. The gas piping system in some box composter experiments.

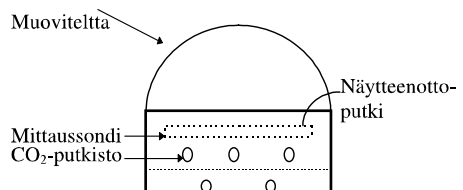
Bild 6. Gasfördelningen i några vagnförsök.

Kompostikaasun puhtausmäärittämisessä tutkittiin sekä kompostikaasun koostumusta että mikrobipitoisuuksia. Kaasut mitattiin BOMEM M100 FTIR -spektrometrillä. Kaasun virtaus kyvetin läpi oli 2 l/min. Kaasukyvetin absorptiomatka oli 1,6 m ja tilavuus 0,75 dm³. Spektrometrin erottelukyky oli 4 cm⁻¹ ja mittauksen lukumäärä oli 5. Kaasua ei kuivattu, vaan vesihöyry poistettiin spektreistä jälkeensä laskennallisesti häiriönpoisto-ohjelman avulla. Pitoisuudet analysoitiin Lab Calc:n PLSplus-ohjelmalla. Ammoniakkaa kerättiin 30 min 3 l/min virtauksella absorptioliuokseen (300 ml). Liuos oli 0,1 M typpihappoa, johon kaasumainen NH₃ absorboitui. NH₃ analysoitiin absorptioliuoksesta ionispesifisellä ammoniakkielektrodilla. (Rantanen 1996).

Mikrobimäärittämisessä näytteet otettiin Andersen-tyyppisellä 6-vaihekeräimellä olkikompostista tulevasta putkesta ja taustanäytteet kasvihuoneiden keskeltä. Näytteet kerättiin mallasuute-agarille (termotolerantit, mesofiiliset sieni-itiöt) ja trytonihivauute-glukoosiagarille (mesofiiliset bakteerit) (Pitkänen 1996). Mesofiilisiä mikrobeja kasvatettiin + 20 °C:ssa ja + 25 °C:ssa 7 vuorokautta ja termotolerantteja sieniä + 40 °C:ssa 3 ja + 44 °C:ssa 7 vuorokautta.

Kasvatuksen jälkeen muodostuneiden itiöpesäkkeiden määrät laskettiin ja sienet tyyppitettiin valomikroskooppisesti. Saatujen pesäkelukujen perusteella laskettiin ilman mikrobipitoisuudet. Tulokset ilmoitetaan pesäkkeitä muodostavien yksiköiden (cfu=colony forming unit) määränä ilma-kuutiometrissä (cfu/m³) (Taulukko 1) (Laitinen & Haatainen 1996).

Kasvihuoneolosuhteita mitattiin Privan kasvihuoneautomaattilla (Priva Universal Program 907). Huoneista mitattiin lämpötila, kosteus, ilman CO₂-pitoisuus ja lämmitysputkiston lämpötila sekä säteilyarvo.



Kuva 7. Kasvualustassa oleva kaasuputkisto (CO₂-putkisto) ja mittaussondit, joista kasvualustassa ollutta hiilidioksidipitoisuutta mitattiin. Kasvualustan päällä oli muovitelta (Heimonen et al. 1997c).

Figure 7. The gas piping system in substrate and CO₂ analysing pipes. The substrate was covered with plastic.

Bild 7. De koldioxidrör (CO₂-rör) som fanns i växtunderlaget, och mätarna med vilka koldioxidhalten i växtunderlaget mätes. Växtunderlaget var täckt av plast.

Taulukko 1. Viimeisen vaunukompostointikokeen lämpötilat, kosteus, tuhka ja orgaaniset C-, N- ja H- määritykset. Koe alkoi 10.9. ja päättyi 8.11.

Table 1. Temperature, moisture, ash and organic C, N and H of a box composter charge in composting that started on 10.9. and ended on 8.11.

Tabell 1. Definition av temperatur, fuktighet, aska och organiskt C, N och H vid vagnkompostorförsök. Försöket påbörjades 10.9 och avslutades 8.11.

Ikä Pvm	Lämpötila °C	Kosteus %	Tuhka %	Org. C %	Org. H %	Org. N %	C/N	C/H
1	27		11,67	51,81	6,36	0,69	87,96	0,68
2	48	72,2	10,77	51,53	6,21	0,65	92,23	0,69
7	66	76,3	12,65	51,84	6,19	0,74	82,22	0,70
14	50	68,6	11,83	51,35	6,19	0,66	91,07	0,69
21	43	70,7	12,34	51,75	6,09	0,74	81,44	0,71
28	56	68,6	11,99	51,49	5,89	0,81	73,84	0,73
35	42	48,4	11,07	51,77	6,06	0,64	93,98	0,71
42		61,3	13,5	51,97	5,83	0,74	82,27	0,74
49	30	77,3	15,98	52,40	5,87	0,90	68,23	0,74
56	12	61,5	11,77	51,20	6,17	0,80	74,77	0,69
57	10	73,1	14,67	52,28	6,23	0,91	66,69	0,70
59		55,8	11,33	51,24	6,24	0,79	76,01	0,68
60			10,82	51,30	6,30	0,99	60,51	0,68
Pinta*			14,01	52,11	6,33	0,87	69,88	0,69
Keskikoh*			13,44	51,53	6,25	0,96	62,62	0,69
Pohja*			14,69	51,37	6,34	0,85	70,50	0,68

*Harsokangaspussien sijainti olkisilppukompostissa.

3 Kompostien toiminta

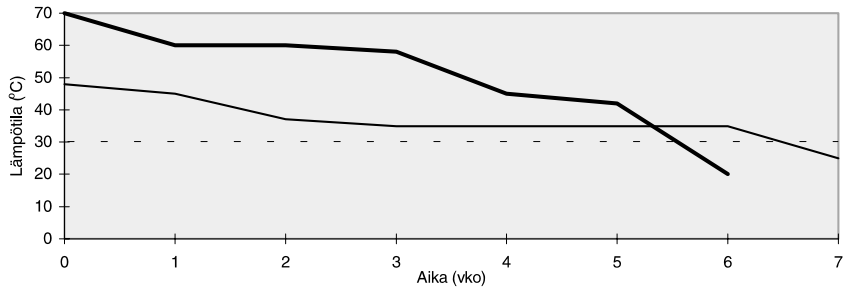
Komposteissa käytettiin ohran ja kauran olkea, koska ne hajoavat helpoiten. Pien- ja suurpaalit soveltuivat sellaisenaan kompostointiin ilman esikäsitteilyä tai tiivistämistä. Silputtu olki sen sijaan tiivistettiin polkemalla ennen kompostointia. Tuore kullankeltainen olki soveltuu kompostointiin parhaiten, koska siinä oli hyvä kosteuspitoisuus ja runsaasti helposti hajotettavaa hiiliainesta.

3.1 Pienkompostien toiminta

Pienkompostointikokeissa verrattiin muun muassa silputun ja silppuamattoman oljen kompostoitumista ja turpeen vaikutusta kompostoitumiseen. Turvetta oli joko kompostoitavan materiaalin ympärillä tai sisässä. Tasaisesti oljen seassa oleva turve lisäsi pien-

paalikompostissa kompostin stabiilisuutta, ja olkisilppukompostissa se laski hieman kompostoitumistehokkuutta. Kompostin ympärillä oleva turve toimi eristeenä ja kosteuden sitojana melko hyvin. Kokeista on kerrottu yksityiskohtaisemmin raportissa Heimonen & Hänninen 1996.

Lämpötilan perusteella silputtu olki kompostoitui tehokkaammin kuin silppuamaton ja tuotti enemmän hiilidioksidia. Eräänä vaikuttavana tekijänä on se, että silputussa oljessa on hajottajamikrobeille enemmän "tartunta-pinta-alaa". Vaikka silppuamattoman oljen tehokas kompostointiaika (lämpötilat yli +30 °C) oli noin 6,5 viikkoa, eli viikko enemmän kuin silputulla oljella, jää sen hiilidioksidin tuotanto siitä huolimatta pienemmäksi (Kuva 8). Pienpaalit kuivuivat kompostorissa melko nopeasti ja niitä jouduttiin välillä kastelemaan, jotta kompostoituminen jatkuisi. Olkisilppukomposti ei tarvinnut lisäkasteleä. Sopiva olkikompostin kosteus oli



Kuva 8. Pienkompostointikokeiden lämpötilat. Ylempi käyrä esittää tapausta, jolloin kompostoreissa oli silputtua olkea ja alempi tapausta, jolloin kompostoreissa oli paaleja.

Figure 8. The upper curve shows the cut straw temperature and the lower curve the straw temperature in the insulated Tara small composter.

Bild 8. Temperaturen i småkompostorförsöken. Den övre kurvan visar temperaturen vid användning av hackad halm och den lägre kurvan visar temperaturen vid användning av balad halm, i kompostorn.

60–70 %. Kompostista ja tarkoituksesta riippuen lukuarvo voi olla muutakin. Bridlestone et al. (1987) mukaan se olisi 50–60 %, mutta voi olla korkeampikin.

3.2 Rumpukompostin toiminta

Rumpukompostointikokeissa testattiin sekä pitkän että silputun oljen kompostoitumista. Laitteena rumpukompostori ei soveltunut kovinkaan hyvin pelkän oljen kompostointiin, koska olki jäi siinä liian ilmavaksi. Pitkä silppuamaton olki takertui rummun sisässä olevan mittausputken ja seinämän väliseen tilaan estäen sisäänsyötön ja rummun pyörityksen. Silputtu olki sen sijaan käyttäytyi ongelmitta. Mittausten perusteella silputtu olki tuotti 28 kg hiilidioksidia kahden viikon aikana.

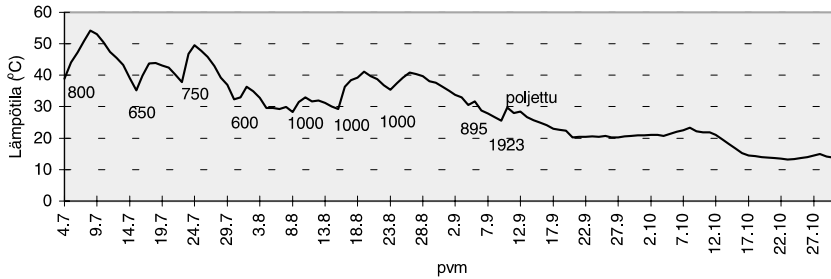
3.3 Suurpaalikompostin toiminta ja hiilidioksidin tuotanto

Suurpaalikompostin rakentaminen oli helppoa, eikä se vaatinut suuria investointeja laitteistoihin. Kokeessa seurattiin kompostin lämpötilaa, kosteutta, kuiva-ainehävik-

kiä, tilavuuden muutosta ja hiilidioksidin tuotantoa.

Komposti oli helppohoitoinen. Kompostia kasteltiin alussa noin viikon välein joko letkulla tai tippukasteluputken kautta. Kompostin lämpötila, kastelumäärät ja niiden ajankohdat on esitetty kuvassa 9. Lämpötilakäyrästä nähdään, että kompostin lämpötilat ovat kohonneet aina kastelun jälkeen. Vesimäärät ensimmäisissä kasteluissa olisivat voineet kuitenkin olla suurempia. Toisen kompostointikuukauden puolivälissä tehdyt 1000 litran kastelut ovat kiihdyttäneet kompostin toimintaa ja hiilidioksidin tuotantoa. Kokeen loppupuolella suurikaan kastelumäärä ei ole nostanut lämpötilaa kovin paljoa, koska paalit olivat jo melko märkiä. Puhallusajan tai kaasuvirtauksen lisäyksellä olisi voitu ehkä vaikuttaa paalien kosteuteen ja samalla hiilidioksidin tuotantoon.

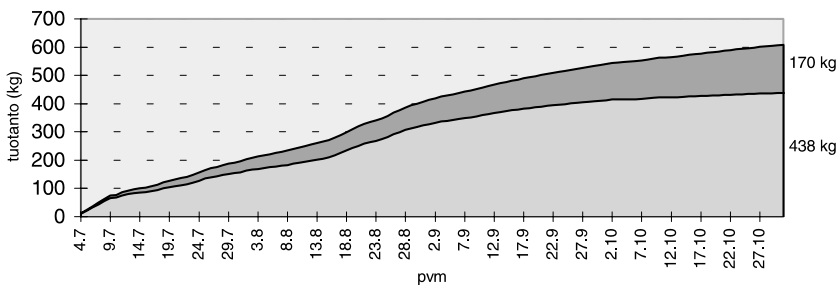
Alussa paalit olivat hyvin kovia, mutta kompostoinnin aikana ne pehmenivät melko paljon. Koetta lopetettaessa havaittiin, että paalien lapepinnat ja sisus olivat selvästi kompostoituneet. Paalien tilavuus muuttui kompostoinnin aikana vain vajaat 3 %. Paalien kuiva-ainehävikki oli melko suuri 113 kg/paali. Paalit sitoivat itseensä paljon



Kuva 9. Suurpaalikompostin lämpötila neljän kuukauden aikana. Kastelumäärät on esitetty litroina. Kompostia tiivistettiin polkemalla 12.9.1996 ilman merkittävää tilavuuden muutosta.

Figure 9. Temperature of round bale compost and irrigation during months. The compost was treaded on 12.9.1996.

Bild 9. Temperaturen i storbalskompost under fyra månader. Bevattningsmängderna är angivna i liter. Komposten blev ihop-packad 12.9.1996.



Kuva 10. Suurpaalikompostin hiilidioksidituotanto (438 kg) ja laskennallinen puhallusilman CO₂-määrä (170 kg) kumulatiivisena esityksenä. Kaasuvirtaus oli 55,7 l/s 10 h/vrk/4 kk (120 vrk). Ulkoilman CO₂-pitoisuus on vakio 356 ppm (Heino 1994).

Figure 10. Total amount of CO₂ produced by the compost (438 kg), and the amount of background air CO₂ in the blown air (170 kg).

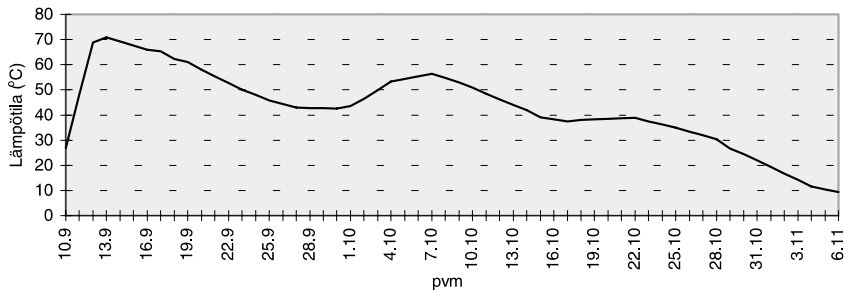
Bild 10. Koldioxidmängden som från storbalskompost blåsts in i växthuset. Inom parentes anges koldioxidgödslingen som g/m²/h per månad i ett 500 m² växthus. Komposten producerar 438 kg koldioxid och uteluften beräknas ha tillfört 170 kg koldioxid. Då har man räknat med att uteluftens koldioxidhalt är 356 ppm.

vettä. Alussa veden osuus paalin painosta oli 16,7 % ja lopussa 82,5 %.

Kompostista puhallettiin kaasua 10 tuntia 55,7–59 l/s virtauksella vuorokaudessa. Yhden tunnin aikana kasvihuoneeseen virtasi kompostikaasua noin 200 m³, mikä oli noin 1/10 koko kasvihuoneen tilavuudesta. Kompostikaasun hiilidioksidipitoisuus puhallusilmassa oli 900–5000 ppm. Kompostin kokonaishiilidioksidin tuotanto oli 438 kg (4 kk aikana). Tuotanto oli suurinta kompostoinnin kahtena ensimmäise-

nä kuukautena. Kompostista puhalletun hiilidioksidin määrä on esitetty kuvassa 10. Mitä suurempi on käyrän kulmakerroin sitä tehokkaampaa on ollut kompostin hiilidioksidin tuotanto.

Kaasun tilavuusvirralla ei ollut vaikutusta kompostin hiilidioksidin tuotantoon, kuten vaunukompostoinnissa. Puhallin imi syntyneen kaasun ja korvausilman suurpaalien välisestä ilmatilasta, joten virtaus ei päässyt häiritsemään paalien sisällä tapahtuvaa kompostoitumisprosessia.



Kuva 11. Vaunukompostin lämpötila kahden kuukauden aikana. Lämpötilakäyrä on kolmen mittauspisteen päiväkeskiarvo.

Figure 11. Temperature of insulated box composter during 2 months.

Bild 11. Temperaturen i vagnkompostor under två månader.

3.4 Vaunukompostien toiminta ja hiilidioksidin tuotanto

Vaunukompostointikokeissa seurattiin samoja tekijöitä kuin suurpaalien kompostointikokeessa. Tavoitteena oli saavuttaa mahdollisimman suuri hiilidioksidin tuotanto oljen kuiva-ainemäärää kohden. Erytisina mielenkiinnon kohteina olivat oljen mineralisoituminen, orgaanisten alkuaineiden muutokset, hiilen hävikki sekä hiilityypisuhteen muutos prosessin edetessä. Tämän vuoksi eräässä kokeessa määritettiin lisäksi kompostin tuhkapitoisuus ja orgaanisten alkuaineiden (vety (H), hiili (C) ja typpi (N)) pitoisuudet.

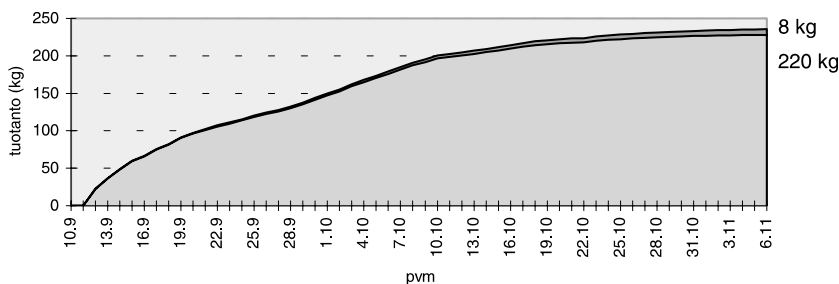
Vaunukompostien raaka-aineina käytettiin aluksi pienpaaleja ja myöhemmin olkisilppua. Pienpaalikompostissa typpilähteenä käytettiin Biolan Oy:n kananlantaa ja vastaavasti olkisilppukompostissa ravinne-liuosvettä, jonka johtoluku oli 1,5–1,8 mS. Komposteja kasteltiin kompostorin täyten yhteydessä, sekä tarvittaessa kompostoinnin edetessä. Kastelu suoritettiin päältäkasteluna tai kompostin sisällä olevien tippukasteluputkien kautta.

Tuore rehusilppurilla pellolta kerätty olki osoittautui parhaimmaksi kompostimateriaaliksi vaunukompostorissa. Kompostoituminen käynnistyi heti kompostorin täyten jälkeen ja termofiilinen vaihe saavutettiin vuorokaudessa. Kompostorin täyttö, tiivistys ja tyhjennys kävivät helposti, läm-

pötilat olivat korkeimmat ja hiilidioksidin tuotanto suhteessa oljen kuiva-ainemäärään oli paras. Yleensä kompostin keskikerros oli + 2 – + 10 °C pinta- ja pohjakerrosta lämpimämpi. Noin kahden kuukauden kompostoinnin jälkeen kompostin pinnalle oli tullut sienirihmastoja ja oljen väri oli muuttunut kullankeltaisesta huomattavasti tummemmaksi, ruskeaksi tai harmaaksi. Pelkkä alkukastelu riitti pitämään kompostin kosteuden hyvänä koko kompostoinnin ajan. Kuvassa 11 on esitetty silputusta oljesta tehdyn kompostin lämpötilan muutoksia.

10 m³ silputtua olkea kompostoitui tehokkaasti hieman yli kuukauden, jonka jälkeen hiilidioksidin tuotanto alkoi laskea jyrkästi. Kompostin hiilidioksidin tuotanto ei lisääntynyt, vaikka kaasuvirtaus kokeen loppua kohden lisääntyikin. Yksi kuutiometri olkea (kuiva-ainemäärä 40–45 kg) tuotti kuukaudessa noin 20–25 kg hiilidioksidia. Viimeisen kokeen hiilidioksidin tuotanto on esitetty kuvassa 12 ja päivittäinen hiilidioksidin tuotanto suhteessa kaasun virtaukseen kuvassa 13. Kokeessa mitattu hiilidioksidin tuotanto oli 22,1 kg/m³ (oljen kuiva-ainemäärä 45,25 kg/m³) ja HCN-analyysin perusteella laskettu 20,6 kg/m³. Kompostin kokonaishiilidioksidin tuotanto oli 220 kg (2 kk aikana).

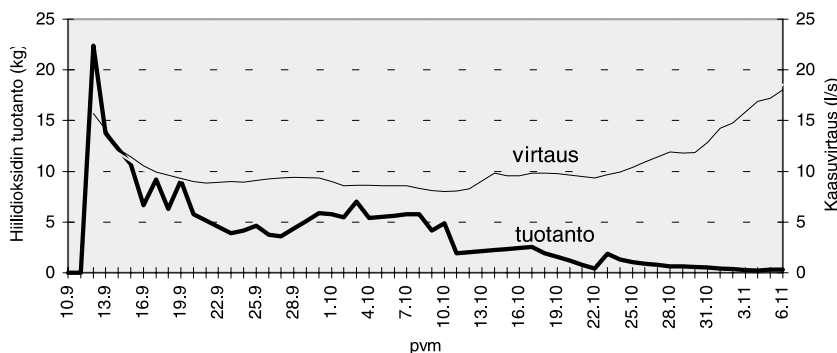
Suurimmat hiilidioksidipitoisuudet saatiin imemällä kaasua kompostin alta, jolloin korvausilma joutui kulkemaan komposti-



Kuva 12. Vaunukompostin tuottama hiilidioksidimäärä (220 kg) ja laskennallinen puhallusilman CO₂-määrä (8 kg) kumulatiivisena esityksenä. Kaasuvirtaus keskimäärin 10,6 l/s, 5 h/vrk/2 kk (56 vrk). Ulkoilman CO₂-pitoisuus 356 ppm.

Figure 12. Total amount of CO₂ produced by the compost (220 kg), and the amount of background air CO₂ in the blown air (8 kg).

Bild 12. Koldioxidmängden som från en värmeisolerad vagnkompostor blåsts in i växthuset. Inom parentes anges koldioxidgödslingen som g/m²/h per månad i ett 500 m² växthus. Komposten har producerat 220 kg koldioxid och uteluften beräknas ha tillfört 8 kg koldioxid. Då har man antagit att uteluftens koldioxidhalt är konstant 356 ppm.



Kuva 13. Vaunukompostista puhallettu päivittäinen hiilidioksidimäärä kokeen aikana. Kaasuvirtaus kompostista kasvihuoneeseen 5 h/vrk/2 kk.

Figure 13. Daily CO₂ production from insulated box compost and flow rate of compost gas.

Bild 13. Den dagliga koldioxidmängden från vagnkompostor under ett försök. Gasströmningen var 15 minuter två gånger i timmen, totalt 5 h/dygn/2 mån.

massan läpi ylhäältä alas. Samalla kompostin kosteus ja lämpötila tasoittuivat. Kompostoitumisen kannalta paras puhallustapa oli jaksottainen pienen ilmamäärän sisältävä puhallus, koska liian voimakas puhallus pyrki jäädyttämään kompostia. Viimeisessä kokeessa kasvihuoneeseen virtasi kompostikaasua noin 19 m³ tunnissa ja kaasun hiilidioksidipitoisuus oli 400–47 000 ppm.

Kompostin tuhkapitoisuus kasvoi eli olki mineralisoitui ja orgaanisen hiilen

osuus koko kuiva-ainemäärästä pieneni. HCN-analyysin perusteella tuhkatommassa aineessa, eli aineessa josta tuhka on laskennallisesti poistettu, orgaanisen hiilen osuus muuhun orgaaniseen aineeseen verrattuna kuitenkin lisääntyi kompostoinnin edetessä. Samoin kävi myös typelle, vedyn määrä puolestaan vähentyi (Taulukko 2). Hiilittyysuhde muuttui kompostoinnin aikana noin 90:1–60:1 (Kuva 14). Kokeen perusteella näyttäisi siltä, että hiilidioksidin tuo-

Taulukko 2. Ilmanäytteiden sieni-itiö- ja bakteeripitoisuus (cfu/m³) heinä- ja syyskuussa.
Table 2. Fungusspore and bacterium contents in the air (cfu/m³) in July and September.
Tabell 2. Svampspor- och bakterienivå (cfu/m³) i luften under juli och september.

Näyte	Mesofiiliset sienet Mallasuuteagar	heinä- kuu	syys- kuu	termotolerantit sienet mallasuuteagar	heinä- kuu	syys- kuu	mesofiiliset bakteerit SS-agar	heinä- kuu	syys- kuu
Tausta	<i>Aspergillus</i>	3	104	<i>Aspergillus</i>			<i>Streptomyces</i>	3	
	<i>Aureobasidium</i>	6	3	<i>fumigatus</i>	13	21	Muut bakteerit	40	230
	<i>Cladosporium</i>	150	187	<i>Penicillium</i>	86	12	Sädesienet		15
	<i>Geotrichum</i>	6	5	Hiivat	8	2			
	<i>Hormonema</i>	3		Steriilit	558				
	<i>Penicillium</i>	964	186	<i>Mycelia sterilia</i>		9			
	<i>Ulocladium</i>	3		<i>Alternaria</i>		2			
	Steriilit	25							
	<i>Mycelia sterilia</i>		40						
	Hiivat		28						
	<i>Rhizopus</i>		10						
Yhteensä		1160	563	Yhteensä	665	46	Yhteensä	43	245
Putki	<i>Aspergillus</i>			<i>Aspergillus</i>			<i>Streptomyces</i>	770	
	<i>fumigatus</i>	757	12	<i>fumigatus</i>	1083	2	Muut bakteerit	910	202
	<i>Cladosporium</i>	32	-	<i>Aspergillus</i>	75		Sädesienet		31
	<i>Penicillium</i>	651	64	<i>Olpitrichum</i>	5				
	<i>Aereobasidium</i>		84	Steriilit	327				
	<i>Mycelia sterilia</i>		12	<i>Penicillium</i>		7			
	<i>Mortierella</i>		2						
Yhteensä		1440		Yhteensä	1490	9	Yhteensä	1680	233

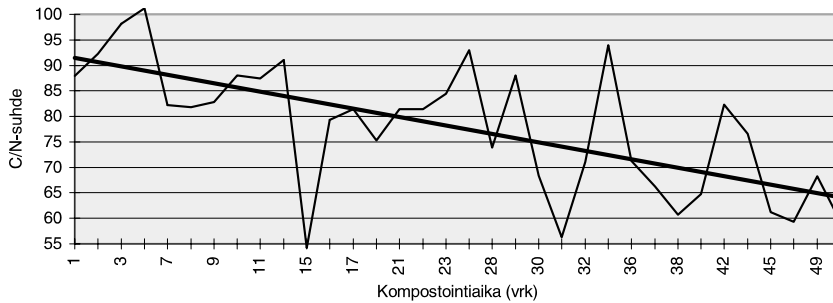
tannossa C/N-suhde saa olla varsin suuri. Pienellä C/N-suhteella ammoniakista saattaa muodostua ongelma. Briddlestone et al. (1987) mukaan optimaalinen C/N-suhde on 25–30:1, kun hiilidioksidia ei pyritä hyödyntämään vaan kompostoinnissa pyritään mahdollisimman suureen jätteen hävitykseen. Kompostoinnin edetessä olki tummuu, mikä johtunee siitä että hiilen sitoutuminen tapahtuu enemmän kaksoissidoksilla.

4 Olkikompostikaasun puhtaus ja suodatus

Kompostikaasusta määritettiin CO₂:n (hiilidioksidi) lisäksi CO (hiilimonoksidi),

häkä)-, NO (typpioksiidi)-, NO₂ (typpidioksiidi)-, N₂O (dityppioksiidi)-, CH₄ (metaani)-, C₂H₂ (etyyni)-, C₂H₄ (eteeni, etyleeni)-, C₂H₆ (etaani)- ja NH₃ (ammoniakki)- pitoisuudet (Rantanen 1996). Mikrobimäärityksessä tutkittiin kuumasta olkisirppukompostista (+ 70 °C) hiljaisella virtausnopeudella (noin 10 l/s) ja jäähtyvistä suurpaalikompostista (+ 27 °C) suurella virtausnopeudella (noin 57 l/s) tulevien sieni-itiöiden, bakteerien ja sädesienten pitoisuuksia. Analyysituloksista pyydettiin keuhkotautien erikoislääkärin ja muiden asiantuntijoiden lausunnot.

Olkisirppukompostin toimiessa "kiihkeimmin" sen lämpötila oli jopa + 75 °C. Tämä kuumin vaihe kesti muutamia päiviä. Tällöin tehdyssä FTIR-kaasumäärityksessä kompostista tuli hiilidioksidia (CO₂) 18 700 ppm, hiilimonoksidia (CO) 8 ppm, metaani-



Kuva 14. Hiili-typin suhde kompostoinnin aikana eräässä vaunukompostointiko-
keessa ja sen linearisoitu keskiarvo (paksu viiva).

Figure 14. Carbon-nitrogen ratio during composting.

Bild 14. Kol-kväveförhållandet under komposteringsperioden.

nia (CH_4) 5 ppm ja ammoniakkia (NH_3) 32 ppm, joka laski turvesuodattimen jälkeen 8 ppm. Muita kaasuja ei tullut. Mittaustarkkuus oli kaasumäärityksissä 1–2 ppm. Lisäksi havaittiin voimakas metanolin absorptiovyö. Metanolin kvantitatiivista määrää ei voitu selvittää. Lämpötilassa alle $+30\text{ }^\circ\text{C}$ kompostista ei todettu tulevan muita kaasuja kuin hiilidioksidia.

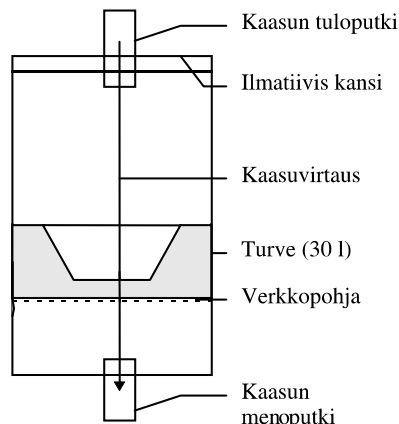
Hiilidioksidin HTP-arvo (haitalliseksi tunnettu pitoisuus) ihmiselle 8 tunnin altistumisaikana on 5 000 ppm ja IDLH-arvo (maksimipitoisuus, jolle terve työntekijä voi altistua 30 minuutin ajan saamatta palautumattomia terveydellisiä vaurioita on 50 000 ppm. Ammoniakin HTP-arvo 25 ppm ja IDLH-arvo on 500 ppm (Liitin Oy 1995). Kasvit voivat saada ammoniakista vaurioita jo 14,3 ppm pitoisuudessa tunnin altistumisaikan jälkeen.

Turvesuodattimen ammoniakkin suodatusteho oli mittaushetkellä 75 %. Tutkimuksissa käytetty turvesuodatin oli rakennettu 200 litran muovitynnyristä (Kuva 15). Suodatinturpeena käytettiin lannoittamatonta perusturvetta 30 l. Turpeen kosteus oli alussa 68 % ja lopussa hieman vähemmän. Suodatin lisäsi kompostikaasun mikrobimäärää.

Mikrobimäärityksessä heinä- ja syyskuussa otetuissa taustanäytteissä oli eroja. Heinäkuussa termotolerantteja sieniä oli yli 14 kertaa enemmän kuin syyskuussa. Syyskuussa mesofiilisiä bakteereja oli yli viisi

kertaa enemmän ja mesofiilisiä sieniä kaksi kertaa vähemmän kuin heinäkuussa.

Kuumasta olkikompostista (vaunukompostointikoe) ei tule mikrobeja pienellä virtausnopeudella sillä taustailma oli yhtä puhdasta kuin kompostista tullut ilma. Jäähtyvistä kompostista tulevassa kaasussa (suurpaalikompostointikoe) termofiilisten sienten osuus kaksinkertaistui ja mesofiilisten bakteerien osuus moninkertaistui. *Aspergillus fumigatus*- ja *Streptomyces* (sädesienet) -mikrobien pitoisuudet olivat myös selvästi kohonneita, mutta mesofiilisten homesientien pitoisuudet olivat samaa tasoa taustan kanssa. Suurpaalikompostissa kaasuvirtaus oli suuri ja kaasuntuloputki lyhyt.



Kuva 15. Turvesuodattimen rakenne.

Figure 15. Peat filter structure.

Bild 15. Konstruktion av torvfilter.

Yleisesti ottaen ei tiedetä, millaiset hengitysilmän mikrobimäärät altistavat työntekijän. Joidenkin mikrobin on kuitenkin havaittu aiheuttavan altistumista muita enemmän, kuten esimerkiksi *Aspergillus fumigatus*- ja *Streptomyces* -mikrobit, joita vastaan tulee työpaikalla suojautua käyttämällä esimerkiksi P2- tai P3-luokan suodattimella varustettua hengityssuojainta (Laitinen & Haatainen 1996). *A. fumigatus*-sienen ja sädesienten itiökoko on pieni, jolloin niiden kulkeutuminen keuhkorakku-loihin on mahdollista. Toistuva altistuminen saattaa aiheuttaa hengityselinsairauksia (Paananen 1996). Todetut mikrobipitoisuudet kuutiometriä kohden ovat kyseisessä työpaikkaympäristössä suhteellisen alhaisia. Huomattava osa ihmisistä ei saa oireita näissä pitoisuuksissa, mutta pitoisuuksia on kuitenkin syytä pyrkiä vähentämään. Suositeltava enimmäismäärätaso olisikin noin 30 cfu/m³ tai vähemmän kyseisten mikrobin kohdalta (Jansson 1996). Kaikkien allergisesti suuntautuneiden (atoopisten) henkilöiden suositellaan käyttävän suodattimia kasvihuoneissa työskennellessä (Tolvanen 1996). On huomattava, että mikrobimäärät on mitattu putken sisältä. Taulukossa 1 on esitetty ilmanäytteissä esiintyneet sieni-itiö- ja bakteerityypit ja niiden pitoisuudet.

Penicillium-, *Sclerotium*-, *Botrytis*- ja *Rhizopus*-suvun homeet ovat tavallisimpia pilajahomeita (Jay 1992). Taulukon 1 ”steriilit” ovat lisääntymiskyvyttömiä mikrobeja, jotka eivät muodosta kyseisellä kasvu-alustalla itiöitä (Jansson 1996).

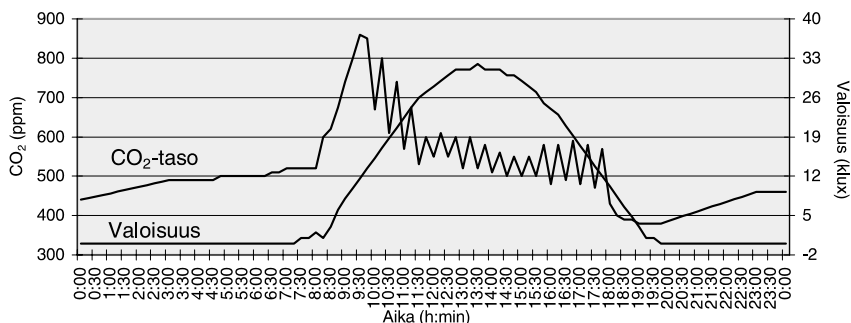
5 Kasvihuoneiden hiilidioksiditasot ja valontarve

Kasvihuoneviljelyssä on tärkeää, ettei hiilidioksiditaso laske merkittävästi alle 356 ppm:n. Ruukkusalaatti (*Lactuca sativa*) tarvitsisi tehokkaaseen kasvuun noin 700 ppm

hiilidioksidipitoisuuden optimi valo-, lämpö- ja ravinneolosuhteissa. Sen CO₂:n kulutus tunnissa on keskimäärin 2–4 g/m². Vähimmäisvalontarve CO₂-lannoitusta käytettäessä on 3000–4000 luksia (12–17 W/m², päivänvaloa), mutta tavoite on 5000–11000 luksia (20–43 W/m²). Kirkkaana kesäpäivänä valoisuus voi kasvihuoneessa olla jopa 50000–90000 luksia (196–352 W/m²) (Pankakoski 1990). Jos CO₂:a lisätään kasvihuoneeseen 3 g/m²/h, pitoisuus huoneessa on teoriassa noin 800 ppm ilman kulutusta. Tällä laskentamallilla 1 g/m²/h CO₂ nostaa pitoisuutta noin 150 ppm, kun kasvihuoneen korkeus on noin 3 m.

Kenttäkokeissa, joissa kompostikaasu johdettiin kompostista kasvihuoneeseen, näytti kasvihuoneen hiilidioksidipitoisuus kuvan 16 mukaiselta. Kuvassa on esitetty yhden kokeen päivän hiilidioksiditaso. Hiilidioksiditasokäyrä on melko piikikäs, koska kompostista puhallettiin kaasua 15 minuutin välein (vaunuikompostointikoe).

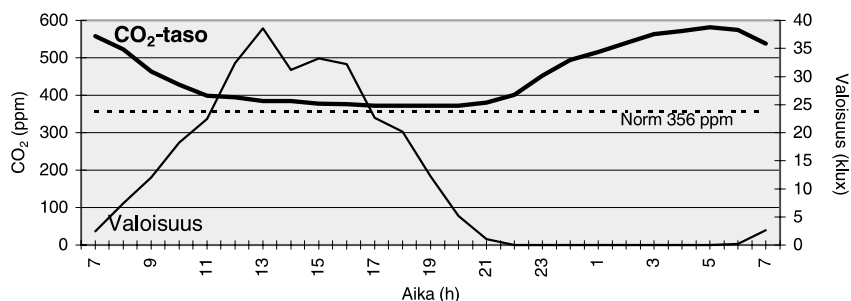
Suurpaalikoeksessa kompostikaasu johdettiin kompostista 562 m²:n kasvihuoneeseen, jonka tilavuus oli noin 2000 m³. Kuvassa 17 on esitetty kasvihuoneen hiilidioksidin ja säteilytaso yhden vuorokauden aikana. Tulokset on laskettu keskiarvoista viiden päivän ajalta elokuussa. Hiilidioksidia kuluttavana kasvina oli paprika (*Capsicum annuum*). Paprika kasvoi melko hyvin viljelyaikaansa (32 viikkoa) nähden, eikä siinä havaittu kompostista peräisin olevia tauteja tai eliöitä. Paprika tuotti 12,5 kg/m² 32 viikon aikana. Normaalisti paprikan viljelyaika on helmikuusta lokakuun loppuun eli noin 36 viikkoa, jona aikana tuotanto on keskimäärin 15–16 kg/m² (Backlund 1996). Kokeessa kasvihuoneen hiilidioksiditaso pysyi yli 356 ppm:n suurimman osan kasvuajasta kovankin kulutuksen aikana. Tähän vaikutti kasvihuoneen kompostihii- lidioksidilannoitus ja riittävä tuuletus.



Kuva 16. Hiilidioksidi- ja säteilytaso vuorokauden aikana eräässä vaunukompostointikokeessa (17.9.1996). Tänä aikana huoneilman lämpötila vaihteli 12,9–38,5 °C ja ulkoilman lämpötila 0,2–18,4 °C.

Figure 16. CO₂ level and luminosity in greenhouse. An example of the box composter experiment. Compost CO₂ fertilization started at 8 am and stopped at 6 pm.

Bild 16. Koldioxid- och ljusnivå under ett dygn. Under denna period varierade temperaturen i växthuset mellan 12,9–38,5 °C och temperaturen utomhus varierade mellan 0,2–18,4 °C.



Kuva 17. Kasvihuoneen hiilidioksidi- ja valoisuustaso vuorokauden aikana eräässä vaunukompostointikokeessa (viiden vrk:n keskiarvo).

Figure 17. CO₂ and luminosity in greenhouse in the round bale composting experiment.

Bild 17. Den övre kurvan visar koldioxidnivå och den lägre kurvan visar ljusnivå per dygn.

6 Olkikompostin taloudellisuus

Suomessa on saatavilla olkea melko helposti ja edullisesti. Silputusta oljesta lämpöeristetyssä kompostorissa voitiin tuottaa hiilidioksidia 0,37–0,46 mk/kg raaka-ainehintaan. Suurpaalikompostista tuotetun hiilidioksidin arvioitu raaka-ainehinta oli puo-

lestaan 0,6 mk/kg. Raaka-ainehinnat on laskettu suurpaalin tuotantohinnan á 35 mk perusteella. Kokonaiskustannuksista raaka-ainekustannukset ovat vain osa, sen lisäksi tulevat mm. vuokrat, laitteistot ja palkat. Näiden tekijöiden vaikutusta on erittäin vaikea arvioida. Erilaisten painotusten vuoksi voivat laskelmien lopputulokset poiketa huomattavastikin toisistaan.

Ruotsinkielisellä Pohjanmaalla on vuosittain yli seitsemän kuukautta käytössä

olevaa kasvihuonepinta-alaa 1 042 000 m² (SVT 1994). Jos arvioidaan CO₂:a tarvittavan esimerkiksi 3 g/m²/h 10 tuntia päivässä 8 kuukauden ajan, olisi hiilidioksidin kulu- tus 7 502 400 kg. Jos kaikissa näissä huoneissa olisi mahdollista käyttää kompostista tuotettua hiilidioksidia, olisivat raaka-aine- kustannukset 4,5 milj. mk. Säiliöhiilidioksi- din raaka-ainekustannukset olisivat vastaa- vasti arviolta 7,5–15 milj. mk.

7 Johtopäätökset

Kokeiden perusteella tehokkaimmin kom- postoitui tuore silputtu olki. Sen kosteuspi- toisuus on kompostoitumista ajatellen hyvä, eikä sen helposti hajotettavia hiilira- kenteita ole esimerkiksi huolimattoman va- rastoinnin takia menetetty. Yksi kuutiomet- ri silputtua olkea (kuiva-aine 40–45 kg) tuotti hiilidioksidia lämpöeristetyssä vau- nukompostorissa noin 20–25 kg kuukau- den ajan. Sen kompostoitumislämpötila nousi jopa yli + 70 °C:een. Yksi kuutiomet- ri suurpaaliin paalattua pitkää olkea (kui- va-aine 97 kg) tuotti puolestaan hiilidioksi- dia noin 7–8 kg kuukaudessa neljän kuu- kauden ajan pelkällä muovilla eristetyssä kompostissa. Kompostoitumislämpötila nousi enimmillään + 55 °C:een.

Oljen tehokas kompostointiaika hiilidi- oksidin tuotantoa varten lämpöeristetyssä (10 m³) vau nukompostorissa oli noin 1–1,5 kuukautta, kun se suurpaalikompostissa (n. 15 m³) oli 3–4 kuukautta. Oljen kompos- toitumisreaktiossa ei syntynyt kasveille tai ihmiselle haitallisia kaasuja. Kasvihuoneen taustailmassa oli lähes yhtä paljon mikrobe- ja kuin kompostikaasussa. Kompostikaa- sun mikrobipitoisuuteen vaikuttaa kuiten- kin kompostin tila, kaasun virtausnopeus ja - määrä sekä putkiston rakenne. Kompostin lämpöeristäminen edesauttaa ja tehostaa

kompostoitumista. Se on myös edellytys kompostoinnin onnistumiselle talvikaudel- la, jos komposti on ulkona.

Kenttäkokeiden perusteella rumpu- kompostorissa olki jäi liian ilmvaksi, eli rumpu ei sovellu kovin hyvin pelkän oljen kompostointiin. Pienkompostori soveltuu pieniin huoneisiin. Näissä on kuitenkin usein maapohja, joka yleensä takaa riittävän hiilidioksiditason.

Kompostointimenetelmän valintaan vaikuttavat viljelyajankohta, kasvi ja kasvi- huoneen rakenne. Tarvittavaan olkimää- rään vaikuttaa kompostoitumistehokkuus, johon puolestaan vaikuttaa raaka-aine ja re- aktori. Mitä tehokkaampaa kompostoi- tuminen on, sitä intensiivisemmin komposti tuottaa hiilidioksidia, mutta lyhemmän aikaa. Jos 500 m²:n kasvihuone vaatisi 3 g/m²/h 10 tunnin ajan vuorokaudessa kuuden kuukauden viljelykautena, tarvit- taisiin 43 suurpaalia suurpaalikompostiin tai 28 silputtua suurpaalia lämpöeristettyyn kompostiin.

Tutkimuksen perusteella voidaan tode- ta, että ennestään tunnettua edullista ja luonnonmukaista oljen kompostointimenetelmää on mahdollista ja kannattavaa kehittä- tä. Kompostointimenetelmän etuna on raaka-aineen halpuus ja saatavuus, minkä vuoksi kompostihiilidioksidia voidaan antaa kasveille myös tuuletuksen aikana. Kompostista tuotetun hiilidioksidin avulla voidaan kasvihuoneessa ylläpitää tai ylittää ilman normaali hiilidioksiditaso. Käytän- nössä viljelijöiden ratkaisuksi hiilidioksidi- lannoitukseen sopivat suuret lämpöeriste- tyt kompostorit ja suurpaalikompostit. Toistaiseksi kompostointilaitteet on kui- tenkin rakennettava vielä itse, sillä tarkoi- tukseen sopivia kaupallisia laitteita tai -m- enetelmiä ei vielä ole.

Kirjallisuus

- Backlund, K.** 1996. Martensin Puutarhasäätiö. Kirjallinen tiedoksianto 14.11.1996.
- Bridlestone, A.J., Gray, K.R. & Day, C.A.** 1987. Composting and straw decomposition. In: Foster, C.F & Wase, D.A.J (eds.). Environmental biotechnology. Chichester, UK: Ellis Horwood Limited. p. 135 – 175. ISBN 0-85312-838-3.
- Forsell, R & Räsänen, K.** 1994. Närpiön vihanne, Närpiö. Suullinen tiedonanto. 4.8.1994.
- Haukioja, M.** 1993. Vihannes- ja kukkaviljelijöiden 44. Talvipäivät, 12-13.1.1993. Seminaarimoniste. – 1994. Biolan Oy. Suullinen tiedonanto. 4.10.1994.
- Hayman, G.** 1987. A success with straw. Grower 108: 19–22.
- Heimonen, R. & Hänninen, K.** 1996. Hiilidioksidin tuotanto olkikompostista kasvihuoneilmaan. VTT Energian tutkimusselostus ENE32/T0024/96. 39 p.
- , 1997a. Hiilidioksidin tuotanto olkikompostista I. Suurpaalikompostointikoe. Maatalouden tutkimuskeskus, Puutarhatuotannon tutkimuslaitos. Tutkimusselostus. 20 p.
- , 1997b. Hiilidioksidin tuotanto olkikompostista II. Vaunukompostointikoe. Maatalouden tutkimuskeskus, Puutarhatuotannon tutkimuslaitos. Tutkimusselostus. 28 p.
- , **Vestberg M. & Hänninen, K.** 1997. Hiilidioksidin tuotanto olkikompostista III, Hiilidioksidia kasvu-alustaan. Maatalouden tutkimuskeskus, Puutarhatuotannon tutkimuslaitos. Tutkimusselostus. 20 p.
- Heino, R.** 1994. Ilmatieteen laitos. Suullinen tiedonanto. 18.11.1994.
- Huvio, T.** 1992. Mikrobit, endotoksiinit ja pöly kompostikenttien työilmassa. Kuopio: Kuopion yliopisto. Pro gradu-tutkielma. p. 10–11.
- Ihalainen, I.** 1993. Suomalaisen kasvihuonetuotannon kilpailuasema. Helsinki: Kauppapuutarhaliitto r.y. Tuotanto-osasto. Julkaisu n:o 15. ISBN 952-9628-05-6.
- Jansson, K.** 1996. Keski-Suomen Sisäilmatutkimus Oy. Suullinen tiedonanto. 5.15.1996.
- Jay, J.** 1992. Modern Food Microbiology. 4th ed. New York: Chapman Hall. 701 p. ISBN 0-442-00733-7.
- Laitinen, S. & Haatainen, S.** 1996. Ilmanäytteiden mikrobianalyysitulokset (24.7.1996). Tiedosto I:\777896.doc. Kuopio: Kuopion aluetyöterveyslaitos.
- Lassheikki, K.** 1994. Puutarhayritysten tuotantokustannusten seurantamallit. Puutarhaliiton julkaisu nro 278. ISSN 0355-080X. ISBN 951-8942-15-3.
- Liitin Oy. 1995. Dräger-kaasuntoteamislaitteet ja ilmaisinputket. Tarvikeluettelo ja hinnasto 1.1.1995. 28 p.
- Paananen, M.** 1996. Suomen lääkiripalvelut Oy. Suullinen tiedonanto. 5.12.1996
- Paldanius, E.** 1987. Oljen kompostointi erilaisia seosmateriaaleja typpilähteenä käyttäen. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 2/87. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 55 p. ISSN 0359-7652.
- Pankakoski, A.** 1990. Puutarhurin kasvuoppi. Helsinki: Valtion painatuskeskus. 314 p.
- Papadopoulos, AP.** 1994. Growing greenhouse seedless cucumbers in soil and in soilless media. Ottawa, Ontario, Canada: Agriculture Canada Publication No. 1902/E: 98–101.
- Pitkänen, R.** 1996. Keski-Suomen Sisäilmatutkimus Oy, Jyväskylä. Saatekirje 4.8.1996.
- Rantanen, J.** 1996. Kompostimittaukset MTT:n tutkimusasemalla Närpiössä 25.9.1996. VTT Energian tutkimusselostus. Jyväskylä: VTT Energia. 2 p.
- SVT, Suomen Virallinen tilasto. 1994. Puutarhayrityksrekisteri 1993. Pinta-alatiedot. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. ISSN 0784-8404. ISSN 0786-8634.
- SVT, Suomen Virallinen Tilasto. 1995. Suomen tilastollinen vuosikirja 1995. Helsinki: Maa- aj metsätalousministeriö.
- Svensk Gastekniskt Center. 1991. Tiedote.
- Sgård, K.** 1997. Suullinen tiedonanto. 5.6.1997.
- Tolvanen, O.** 1996. Jyväskylän maalaiskunnan Ympäristön suojeluvirasto. Suullinen tiedonanto. 1.11.1996.
- Ympäristöministeriö. Kompostityöryhmän mietintö. 1992. Ympäristöministeriön ympäristönsuojeluosaston työryhmän mietintö G7/1992. Helsinki: Ympäristöministeriö 89 p.

		Julkaisun sarja ja numero Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 47	
		Julkaisuaika (kk ja vuosi) Tammikuu 1999	
Tekijä(t) Rauno Heimonen Kari Hänninen		Tutkimushankkeen nimi	
		Toimeksiantaja(t) Maatalouden tutkimuskeskus	
Nimike Hiilidioksidin tuotanto olkikompostista kasvihuoneilmaan			
Tiivistelmä <p>Nykyiset kasvihuonekasvien hiilidioksidilannoitusmenetelmät ovat melko kalliita ja ne lisäävät usein huomattavasti tuotantokustannuksia. Tässä julkaisussa kerrotaan vaihtoehtoisesta tavasta tuottaa olkikompostista hiilidioksidia kasvihuoneeseen tehokkaasti, turvallisesti ja taloudellisesti. Tutkimus käsitti kirjallisuuskatsauksen ja 13 kenttäkompostointikoetta neljällä eri kompostointilaitteella toteutettuna.</p> <p>Tuore silputtu olki tuotti hiilidioksidia paremmin kuin paalattu olki. Lämpöeristetyssä kompostorissa 100 kg silputtua olkea tuotti noin 55 kg hiilidioksidia. Tehokas kompostointiaika oli kuukaudesta puoleentoista kuukautta. Muovilla peitetyssä kompostissa 100 kg suurpaaliin paalattua olkea tuotti puolestaan 11,2 kg hiilidioksidia kahden ensimmäisen ja 3,4 kg kahden seuraavan kuukauden aikana. Kompostihiilidioksidin arvioiduksi hinnaksi tuli 0,37–0,6 mk/kg. Vertailun vuoksi säiliöhiilidioksidin hinta on arviolta 1–2 mk/kg.</p> <p>Kompostikaasu ei juurikaan lisää kasvihuoneilman mikrobimäärää eikä kompostissa syntynyt kasveille tai ihmiselle haitallisia kaasuja. Kompostointimenetelmällä pystytään kasvihuoneissa ylläpitämään tai ylittämään normaalin ilman hiilidioksiditaso, kunhan vain kompostin koko on riittävän suuri. Menetelmä soveltuu parhaiten pienille alle 1000 m² tiloille ja luomutuotantoon.</p>			
Avainsanat hiilidioksidi (CO ₂), kasvihuone, kompostointi, lämpöeristetty kompostori, olki, suurpaali			
Toimintayksikkö Puutarhatuotanto, Vihannestutkimusasema, Vasavägen 1615, 64610 Övermark			
ISSN 1238-9935	ISBN 951-729-532-4	<input type="checkbox"/> Tuloksia voi soveltaa luomuviljelyssä	
Myynti: MTT tietopalveluyksikkö, 31600 JOKIOINEN Puhelin (03) 4188 2327 Telekopio (03) 4188 2339		Sivuja 26 s.	Hinta 65,00 mk

Vammalan Kirjapaino Oy 1999
ISBN 951-729-532-4
ISSN 1238-9935