

PETRI KAPUINEN

KYLMÄKASVATTAMOIDEN KUIVIKE- POHJIEN TOIMIVAT VAIHTOEHDOT

FUNCTIONAL DEEP LITTERS FOR COLD BEEF BARNS



VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS 74

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

VIHTI 1996

Kansikuva: Tutkimuksen kuivikepohjien päivittäinen tiivistys eläinten sorkkien vaikutusta matkivalla "rautasonnilla".

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS
Agricultural Research Centre of Finland

VAKOLA

Maatalousteknologian tutkimus

Osoite
Vakolantie 55
03400 VIHTI

Puhelin
(09) 224 251
Telefax
(09) 224 6210

Agricultural Engineering Research

Address
Vakolantie 55
FIN-03400 VIHTI
FINLAND

Telephone int.
+358 9 224 251
Telefax int.
+358 9 224 6210

PETRI KAPUINEN

**KYLMÄKASVATTAMOIDEN KUIVIKE-
POHJIEN TOIMIVAT VAIHTOEHDOT**

FUNCTIONAL DEEP LITTERS FOR COLD BEEF BARNs

VAKOLAN TUTKIMUSSELOSTUS 74

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

VIHTI 1996

KUVAILULEHDET

ALKULAUSE

KÄSITTEITÄ JA MÄÄRITELMIÄ	8
---------------------------------	---

1	JOHDANTO	10
2	KUIVIKEPOHJAN TOIMIVUUS	11
2.1	Kuivikepohjan toimivuus eläimen kannalta	11
2.2	Kuivikepohjan toimivuus kompostoitumisen kannalta	14
2.3	Kuivikepohjan toimivuus rakennus- ja työtekniseltä kannalta	16
3	KOMPOSTI	17
3.1	Kompostoitumisprosessin luonne ja päämäärä	17
3.2	Kompostoitumisprosessin vaiheet ja pieneliöstön muutokset kompostoitumisen aikana	18
3.2.1	Bakteerit	19
3.2.2	Sienet	20
3.2.3	Sädesienet	22
3.3	Kompostoitumisprosessiin vaikuttavat tekijät	22
3.3.1	Vesi kompostissa	23
3.3.2	Kompostin C/N- ja C/P-suhde	24
3.3.3	Komposti-ilman happi- ja hiilidioksidipitoisuus	26
3.3.4	Kompostin happamuus	27
3.4.	Kompostin rakenne	28
3.5	Kuiva-aineen hajoaminen	29
3.6	Kompostin hapenkulutus	32
3.7	Lämmöntuotanto ja -johtavuus	33
3.8.	Typen vapautuminen ja sitoutuminen kompostoitumisen aikana	37
4	KUIVIKKEIDEN OMINAISUUDET	38
4.1	Käyttökelpoisen kuivikemateriaalin peruslaatuvaatimukset	38
4.2	Kuivikkeiden fysikaaliset ominaisuudet	38
4.2.1	Kuivikkeiden kosteuspitoisuus ja pölyäminen	38
4.2.2	Kuivikkeen kosteudensitomiskyky	39
4.2.3.	Kuivikkeen virtsansitomismoisuus ja ammoniakki- sitomiskyky	41
4.3.	Kuivikkeiden kemialliset ominaisuudet	43
4.4.	Kuivikkeen mikrobiologinen laatu	44
5	KUIVITUSKUSTANNUS ERI KUIVITUSJÄRJESTELMISSÄ	46
6	KIRJALLISUUSKATSAUKSEN YHTEENVETO	47
7	AINEISTO JA MENETELMÄT	49
7.1.	Yleiskuvaus laboratoriokokeista	49
7.2.	Koeastiat	50

7.3.	Kuivikkeiden ja lannan lisäykset	52
7.4.	Kokeissa käytetyt kuivikemateriaalit, -seokset ja lanta	53
7.4.1.	Kokeissa käytetyt kuivikemateriaalit ja -seokset	54
7.4.2.	Kokeissa käytetty lanta	55
7.5.	Kuivikkeiden ja lannan mukana koeastioihin tulleet ravinteiden, kuiva- aineen ja massan määrät sekä ravinnesuhteet kuivikeseoksittain	56
7.6.	Koeastioihin tulleen kuivikkeen ja lannan ravinne- ja kosteuspitoisuudet kuivikeseoksittain	60
7.7.	Kuivikepohjien tiivistykset	62
7.8.	Kuivikepohjien kerrospaksuuksien, lämpötilojen, kantavuuksien, kompostoitumisen päättymisen ja pinnoilla vallinneiden kaasupitoisuuksien mittaukset	63
7.9.	Tilastomatemaattiset analyysit	65
8	TULOKSET	67
8.1.	Kompostoituneiden kuivikepohjien ravinne- ja kosteuspitoisuudet, liukoisen typen osuus kokonaistypestä, C/N-suhteet ja tilavuuspainot	67
8.2.	Ravinne-, kuiva-aine- ja massatappiot sekä muutokset liukoisen typen osuudessa ja C/N-suhteessa	69
8.3.	Kuivikepohjien paksuudet	72
8.4.	Kuivikepohjien lämpötilat	74
8.5.	Kuivikepohjien lämpötilojen kehitys	79
8.6.	Kuivikepohjien pintalämpötilat, pintakerroksen lämmönjohtavuudet ja vertikaaliset lämpötilaprofiilit	82
8.7.	Kuivikepohjien kompostoitumisen lämpötilavaatimuksen täytyminen jatkuvuustilassa	84
8.8.	Kuivikepohjien ominaisvastapaineet	85
8.9.	Kuivikepohjan kantavuus	88
8.10.	Kompostoitumisen päätyminen	90
8.11.	Kuivikepohjien pinnalta mitatut kaasut.	91
9	TULOSTEN TARKASTELU	92
10	JOHTOPÄÄTÖKSET	101
11	TIIVISTELMÄ	104
	KIRJALLISUUS	108
	LIITTEET	

Tekijät (toimielimestä: toimielimen nimi, puheenjohtaja, sihteeri)		Julkaisun laji	
Petri Kapuinen		Tutkimusselostus	
		Toimeksiantaja	
		Suomen Akatemia	
		Toimielimen asettamispv	
Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)			
Kylmäkasvattamoiden kuivikepohjien toimivat vaihtoehdot			
Julkaisun osat			
Tiivistelmä			
<p>Tutkimuksen tarkoituksena oli kehittää hyvin kompostoituva kuivikepohja nykyistä halvemmalla kuivituksella lihanautojen kylmäkasvatukseen. Tutkimuksessa vertailtiin viittä erilaista oljesta, turpeesta ja hakkeesta muodostettua kuivikeseosta laboratoriotekniikassa.</p> <p>Tutkimuksessa todettiin, että kuivikkeiden kulutusta voidaan vähentää ainoastaan lehmien ja hiehojen kasvatuksessa käyttämällä kuivitettuja makuuparsia. Sonnien kasvatusta varten onnistuttiin kehittämään hyvin kompostoituva kuivikepohja. Niiden kuivikkeen kulutusta ei kuitenkaan voitu vähentää. Kohtuulliseen kuivikkeen kulutukseen sonnien kasvatuksessa päästään käyttämällä osakuivikepohjia.</p> <p>Hyvin kompostoituvan kuivikepohjan lähtöaineiden typen pitoisuus on 1,3 - 2,3 % kuiva-aineesta ja C/N-suhde 25 - 35. Siinä otollisissa olosuhteissa lähtöaineiden mukana tullut pieneliöiden sekapopulaatio hajottaa pääasiassa kuivikkeen mukana tulleita orgaanisia hiiliyhdisteitä ja valtaa elintilan haitallisilta pieneliöiltä. Kuivikeseoksen rakenteellisia ominaisuuksia suurempi merkitys on sen mukana tulevan orgaanisen hiilen määrällä ja hajoavuudella. Kuivikeseoksessa ei saa kuitenkaan olla hienojakoista ainesta, kuten turvetta, yli 60 %. Kuivikepohjaan pitäisi tulla orgaanista hiiltä vähintään 800 g/m²-pv. Kuiviketta kuluu noin 75 % kuivikepohjalle tulevan lannan massasta. Hyvä kuivikeseos koostuu oljesta ja <i>Sphagnum fuscum</i> -rakkaturpeesta. Oljen kosteuspitoisuus saa olla korkeintaan 30 %, turpeen 45 %. Turpeen käyttö vähentää utaretulehduksen riskiä, sahanpurun lisää. Pelkän pitkän oljen käyttö vaikeuttaa kuivikepohjan tyhjennystä käsityövälinein. Hyvin kompostoituvan kuivikepohjan kantavuus on riittävä edellä esitettyjen ehtojen puitteissa kuivikeseoksesta riippumatta.</p> <p>Orgaanisen aineen hajoavuuden ja typen tappioiden kannalta sen hyvä lämpötila on 40 °C. Kuivikepohjan lämpötilaa kuvaa parhaiten sen suurin lämpötila. Se on mitattavissa kuivikepohjan keskeltä noin 10 - 20 cm:n syvyydeltä. Kuivikepohjan kosteuspitoisuuden tulisi olla 50 - 70 %. Kuivikepohjan sopiva ilmastusmäärä on 1 kg ilmaa tunnissa emolehmää kohti. Ilmastuksen vastapaine kuivikepohjassa on noin 10 - 15 Pa.</p> <p>Kuivikepohjien paksuus kasvaa 4,1 - 5,3 mm/vrk. Perustamisen yhteydessä lisätty kuivike kasvattaa kuivikepohjan paksuutta lisäksi 0,1 - 0,2 m. Kuivikepohjat alkavat kompostoitua paksuuden saavuttaessa 0,15 - 0,25 m, ja kompostoituminen saavuttaa huippunsa paksuuden ollessa 0,20 - 0,30 m. Kovilla pakkasilla kuivikepohjien paksuuden tulisi olla 0,4 - 0,5 m. Kuivikeseos vaikuttaa ainoastaan kompostoituneen kuivikepohjan liukoisien typen pitoisuuteen. Hake näyttää vähentävän liukoisien typen pitoisuutta. Kuivikepohjien typen tappiot olivat kompostoitumisen aikana keskimäärin 12 %. Suurin ammoniakkipitoisuus mitattiin olkikuivikepohjan pinnalta kokeiden puolivälissä, kun kompostoitumislämpötila oli korkeimmillaan. Kuivikepohjat kuivuivat kompostoitumisen aikana kuivikeseoksesta riippumatta, mutta olkikuivikepohja kuivui eniten. Kuiva-aineesta hajosi 16 %. Parhaiten toimivat kuivikepohjat kompostoituvat loppuun kahdessa kuukaudessa.</p>			
Avainsanat (asiasanat)			
Lihanautojen kylmäkasvatus, kompostoituva kuivikepohja, kuivikeseos, kuivikeolki, kuiviketurve, lähtöaineiden typpipitoisuus ja C/N-suhde, kuivikkeiden kosteuspitoisuus, kuivikepohjan rakenne, kuivikepohjien kantavuus, kuivikepohjien kosteuspitoisuus, lämpötila, kuivikepohjien ilmastus, kuivikepohjan paksuus, typen tappiot, kuiva-aineen hajoavuus			
Muut tiedot			
Saatavana Maatalouden tutkimuskeskuksen maatalousteknologian tutkimuslaitokselta (MTT/VAKOLA)			
puhelin (90) 224 6211			
telekopio (90) 224 6210			
Sarjan nimi ja numero		ISSN	ISBN
VAKOLAn tutkimusselostus 74			
Kokonaissivumäärä	Kieli	Hinta	Luottamuksellisuus
Jakaja		Kustantaja	
VAKOLA, Vakolantie 55, 03400 VIHTI			

Authors (if organ: name of organ, chairman, secretary) Petri Kapuinen	Type of publication Study report	
	Comissioned by Suomen Akatemia	
	Date of setting up organ	
English and Swedish title of publication Functional deep litters for cold beef barns		
Parts of publication The aim of the study was to develop a well-composting deep litter for raising of beef cattle in cold barns using cheaper litter than the ones of today. Five litter mixes made of straw, peat and wood chip were compared in bench scale. It was found that the consumption of litter can be reduced only in the raising of cows and heifers, by use of littered cubicles. For the raising of bulls it was succeeded to develop a well-composting deep litter. The consumption of litter for bulls could not be reduced, however. The consumption of litter in raising of bulls is moderate when only part of the pens is littered and the rest is unlittered area. The initial percentage of nitrogen in a well-composting litter is 1.3–2.3% of the dry matter and the C/N ratio is 25–35. Then, under favourable conditions, the mixed population of micro-organisms naturally occurring in the initial litter mix decompose the organic carbon compounds that come mainly with the litter, and conquer the living space from harmful micro-organisms. The quantity of organic carbon in the litter mix and how easily this carbon is decomposed is of greater importance than the structural properties of the mix. However, the mix should not contain over 60% fine material, such as peat. The daily addition of organic carbon to the deep litter should be at least 800 g/m ² . The consumption of litter is about 75% of the mass of the manure that comes on the littered area. A good litter mix consists of straw and <i>Sphagnum fuscum</i> peat. The moisture content of the straw should be max 30%, of the peat max 45%. Use of peat reduces the risk of mastitis, use of sawdust increases it. Use of merely long straw makes it more difficult to clean out the deep litter manually. The carrying capacity of a well-composting deep litter is sufficient if the fore-mentioned conditions are fulfilled, independent of what litter mix is chosen. The optimum temperature regarding decomposing of organic matter and nitrogen losses is 40 °C. The best indicator for the temperature of a deep litter is its maximum temperature. This can be measured in the middle of the littered area at a depth of 10–20 cm. The moisture content of the deep litter should be 50–70%. The recommendable rate of aeration for deep litter is 1 kg air per hour per suckler cow. The counterpressure when aerating deep litter is about 10–15 Pa. The height of deep litter increases 4.1–5.3 mm/day. The litter which is added when the deep litter is established additionally increases the height with 0.1–0.2 m. The composting process starts when the deep litter reaches a height of 0.15–0.25 m, and the composting reaches its peak when the height is 0.2–0.3 m. In weather with very low freezing temperatures the height should be 0.4–0.5 m. The litter mix have an influence only on the concentration of soluble nitrogen in the composted litter. Wood chip seems to decrease the concentration of soluble nitrogen. The nitrogen losses from the deep litters during composting were 12% on the average. The highest concentration of ammonia was measured at the surface of a straw-based deep litter when half of the time for the trial had passed. The composting temperature was then at its highest. All deep litters dried during the composting process independent of the mix chosen, but the deep litter built up of straw dried most. 16% of the dry matter was decomposed. In the deep litters with the best function the composting process was completed in two months.		
Abstract		
Key words Beef production in cold barns, composting deep litter, litter mix, straw, peat, nitrogen concentration, C/N ratio, moisture content, structure of deep litter, carrying capacity, temperature, ventilation of deep litters, height of deep litter, nitrogen loss, decomposing of dry matter.		
Additional information Available from the Agricultural research centre, Institute of agricultural engineering (ARC/VAKOLA) Telephone +358 0 224 6211 Fax +358 0 224 6210		
Name of series, number VAKOLAn tutkimusselostus	ISSN 0782-0054	ISBN
Pages	Language Finnish, tables and figures: English, Summaries: English, Swedish	
Sold by VAKOLA, Vakolantie 55, FIN 03400 VIHTI, FINLAND		Price FIM

ALKULAUSE

Tämä tutkimus liittyy vuoden 1993 lopussa päättyneeseen Naudanlihantuotannon edistämishankkeeseen, jota rahoitettiin vuosittain noin miljoonalla markalla viiden vuoden ajan. Hankkeen maatalousteknologinen osa, Naudanlihantuotantomenetelmät ja -rakennukset, laajeni Maatilatalouden kehittämisrahaston rahoittamana ja käsitti varsinaisen päähankkeen lisäksi kolme muuta hanketta. Tämän tutkimuksen aineisto kerättiin osana edellä mainittua maatalousteknologista osaa. Kokeista saatuja tuloksia on jonkin verran julkaistu osana kyseisen maatalousteknologisen osan raportointia ja Naudanlihantuotannon edistämishankkeen loppuraporttia. Varsinaiset kuivikepohjien laboratorioskokeita koskevat osat julkaistaan kuitenkin vasta tässä lisensiaattityössä. Lisensiaattityön kirjoittamisen on rahoittanut Suomen Akatemia työelämässä olevien tutkijankoulutusvaroin.

Kylmäkasvattamoiden kuivikepohjien toimivuutta lähdettiin tutkimaan, koska oli epäselvyyttä niiden toiminnasta. Osa viljelijöistä oli mielestään saanut kuivikepohjat kompostoitumaan varsin samanlaisissa olosuhteissa kuin se osa viljelijöistä, jotka eivät olleet saaneet kuivikepohjaa kompostoitumaan. Kuivikepohjiin tunnettiin suurta mielenkiintoa, koska niiden avulla otaksuttiin voitavan alentaa rakennuksista aiheutuvia tuotantokustannuksia ja niiden arveltiin voivan parantaa tuotantoeläinten olosuhteita. Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää hyvin kompostoituva kuivikepohja ja samalla vähentää kuivituskustannuksia. Ensimmäisessä tavoitteessa onnistuttiin, mutta se tapahtui jälkimmäisen kustannuksella.

Kiitän Maatalouden tutkimuskeskuksen maatalousteknologian tutkimuslaitosta avusta tutkimuksen käytännön toteutuksessa, Naudanlihantuotannon edistämishanketta, Maatilatalouden kehittämisrahastoa ja Suomen Akatemiaa tutkimuksen rahoituksesta sekä työnohjaajaa professori Aarne Pehkosta ja Maatalouden tutkimuskeskuksen maatalousteknologian tutkimuslaitoksen johtajaa professori Markus Pyykköstä hyvistä ohjeista, jotka kaikki yhdessä ovat mahdollistaneet tämän lisensiaattityön tekemisen. Lisäksi haluan kiittää laitoksen henkilökuntaa, joka on osallistunut kokeiden hoitoon. Erityisesti haluan mainita Reino Mykkäsen, Veikko Rissasen ja Jouko Hämäläisen.

Vihdissä 2. tammikuuta 1996

Petri Kapuinen

KÄSITTEITÄ JA MÄÄRITELMIÄ

Hiekkapohjaiset makuuparret

Hiekkapohjaisessa makuuparressa ei käytetä hiekan lisäksi muuta kuiviketta. Parren pohjan hiekkaa ei yleensä tarvitse vaihtaa.

Kompostoitumaton kuivikepohja

Kompostoitumattomalla kuivikepohjalla tarkoitetaan kuivikepohjaa, jossa lämmönjohtavuus ja lämpökapasiteetti pidetään eläinten olosuhteiden kannalta riittävän pienenä ja kantavuus riittävän suurena käyttämällä riittävä määrä kuivikkeita.

Kompostoituva kuivikepohja = kuivikepohjakomposti

Kompostoituvalla kuivikepohjalla tarkoitetaan kuivikepohjaa, jossa käytetään kuivikkeita vähemmän kuin kompostoitumattomassa kuivikepohjassa mutta jolla eläimien lämpöhäviöt pidetään eläinten olosuhteiden kannalta riittävän pienenä ja kantavuus riittävän suurena ylläpitämällä korkeaa lämpötilaa ja haihduttamalla kosteutta kompostoitumisen avulla.

Kuivikemateriaali

Kuivikemateriaalilla tarkoitetaan kuivikeseoksen eri komponentteja, esimerkiksi olkea, turvetta tai haketta.

Kuivikepohja

Kuivikepohja voi olla kompostoituva tai kompostoitumaton. Kuivitettu makuuparsi ja hiekkaparsi ovat kompostoitumattoman kuivikepohjan erikoistapauksia. Kuivikepohjan oleellinen ominaisuus on sen kyky sitoa itseensä kosteutta.

Kuivikeseos

Kuivikeseoksella tarkoitetaan kyseiseen kuivikeseokseen kuuluvista kuivikemateriaaleista määräsuhtein muodostettua seosta.

Kuivitetut makuuparret

Kuivitetuissa makuuparsissa on betonista tai muusta vastaavasta materiaalista valmistettu pohja, jonka päällä käytetään orgaanista tai epäorgaanista kuivikeseosta. Sekä orgaaninen että epäorgaaninen kuivike kastuu ohuena kerroksena niin paljon, että se joudutaan vaihtamaan. Vaihdoissa vanha kuivike yleensä kaavitaan lantakäytävälle, josta se joutuu lannan mukana lantalaan. Uusi kuivike lisätään näin puhdistettuun parteen.

Kylmäkasvatus

Kylmäkasvatuksessa eläimiä pidetään eristämättömissä rakennuksissa, joiden lämpötila on hieman ulkolämpötilaa korkeampi. Lämpötilaero kasvaa kylmällä ilmalla ollen suurimmillaan noin 10 °C.

Lähtöaineet

Lähtöaineilla tarkoitetaan kuivikepohjaan tulevaa kuivikeseosta ja lantaa yhdessä.

Naudanlihan itseuudistuva tuotanto = emolehmätuotanto

Tuotantomuodossa emolehmän ainoa tehtävä on tuottaa vuosittain vasikka, joka voidaan käyttää uudistukseen tai naudanlihantuotantoon. Yleensä vasikat syntyvät keväällä, mutta on tiloja, joilla vasikoita syntyy ympäri vuoden. Vasikka kulkee emänsä mukana laitimella kesän. Se saa pääasiallisen ravintonsa emän maidosta. Vasikka vieroitetaan emästään syksyllä. Lihantuotantoon ja uudistukseen menevien vieroitettujen vasikoiden kasvatus on yleensä samanlainen. Uudistukseen menevät hiehot siemennetään tai astutetaan seuraavana kesänä. Uudistukseen kelpaamattomat teurastetaan samoihin aikoihin. Sonnit teurastetaan vasta syksyllä.

Osakuivikepohja

Osakuivikepohjalla tarkoitetaan kuivitusjärjestelmää, jossa vain makuualueena toimiva osa, yleensä noin puolet, karsinasta kuivitetaan. Tavoitteena voidaan pitää, että kuivikepohjaa ei vaihdeta sisäruokintakauden aikana, joten kuivikepohja voi sisäruokintakauden päättyessä olla noin metrin paksuinen. Jäljelle jäävä osa karsinaa toimii lantakäytävänä, jonka lanta käsitellään puolikiinteänä. Kuivitetun alueen pohjan tulisi olla alemmassa korkeusasemassa kuin lantakäytävän, koska muutoin kuivikepohjan rintamus sortuu lantakäytävälle. Lantakäytävältä poistettu lanta sisältää jonkin verran kuivikepohjasta lantakäytävälle kulkeutunutta kuiviketta ja korsirehun tähteitä.

Makuuparsikasvattamo

Makuuparsikasvattamo on parsipihatto, jossa eläinten makuualueeksi tarjotaan ruokintapaikasta erillinen makuuparsi.

Täyskuivikepohja

Täyskuivikepohjalla tarkoitetaan kuivitusjärjestelmää, jossa koko karsina kuivitetaan. Tavoitteena on, että kuivikepohjaa ei vaihdeta koko sisäruokintakauden aikana. Sisäruokintakauden päättyessä kuivikepohja voi olla noin metrin paksuinen. Kuivikkeen kulutus on noin kaksinkertainen osakuivikepohjaan verrattuna, koska kaikki lanta käsitellään kuivikepohjassa.

1 JOHDANTO

Kuivikepohjia käytetään Suomessa pääasiassa naudanlihan itseuudistuvassa tuotannossa kylmäkasvatuksen yhteydessä. Suomen sääolosuhteissa eläimiä ei voida kylmäkasvattamoissa kasvattaa rakolattiakarsinoissa, koska rakolattia tukkeutuisi jäätymällä talvipakkasten aikana ja olosuhteet olisivat eläimille täysin kohtuuttomat. Rakolattiaa ei voida käyttää edes osana kylmäkasvattamon karsinan lattiaa, kuten Keski-Euroopassa. Suomessa joudutaan vastaavissa tilanteissa tyytymään esimerkiksi traktorilla puhdistettaviin avoimiin lantakäytäviin. Lihasonnien makuualustana joudutaan käyttämään osa- tai täyskuivikepohjia, koska sonnit kastelisivat kuivitetun partensa virtsa-aukkonsa sijainnin takia, mutta emolehmiä ja lihahiehoja voidaan pitää myös makuuparsikasvattamoissa. Makuuparsikasvattamo on kylmäkasvatuksenkin yhteydessä pidettävä ensisijaisena ratkaisuna, koska kuivikkeiden kulutus on makuuparsia kuivitettaessa vain murto-osa kuivikepohjien kuivikkeen kulutuksessa. Siten lannankäsittely kuivikepohjaan varastoituna lisää selvästi lannan käsittely- ja varastointikustannuksia lietteenä käsiteltävään lantaan nähden. (KAPUINEN 1994a, s. 43 - 44, KAPUINEN 1994b, s. 83, 91.) Vaikka kuivitetut makuuparret ovatkin lannankäsittely- ja varastointikustannuksiltaan edullisimpia kuin kompostoituvat kuivikepohjat, on kompostoituvien kuivikepohjien käyttö sonnien kylmäkasvatuksessa Suomen sääolosuhteissa välttämätöntä, ja siten niistä kaivataan nykyistä enemmän tietoa.

Kuivikepohjien toiminta on ollut epämääräistä, koska viljelijöiden tietämys niiden toiminnasta ja oikeista hoitotavoista on ollut varsin puutteellista (KAPUINEN 1992, s. 14). Kompostien ja kuivikepohjien toimintaa on kuitenkin tutkittu eri tahoilla varsin runsaasti. Kompostoituvista kuivikepohjista on tehty runsaasti erilaisia pilot-tutkimuksia. (Esimerkiksi PALDANIUS 1987, KARLSSON 1994, FRASSI ja DEMALDÉ 1994, HANSEN 1994, BARTUSSEK 1993, s. 986 - 993, CHIAPPINI ja ZAPPAVIGNA 1993, s. 1001 - 1007, ZEEB 1989.) Näiden tutkimusten ongelmana on kuitenkin ollut ympäristöolosuhteiden hallitsematon vaihtelu, mikä on estänyt luotettavien tulosten saamisen. Kompostoituvan kuivikepohjan toiminnan perusteiden tutkimus edellyttää laboratoriotyypistä tutkimusta. Kun tavallisesta kompostoinnista on tehty runsaasti laboratoriotutkimuksia, kompostoitumista yhdistettynä kuivikepohjaan ei ole aikaisemmin näin tutkittu. Suurin ero kompostoituvassa kuivikepohjassa verrattuna tavalliseen kompostiin on sen tiiviys.

Kuivikeseoksen valintaan vaikuttavat kuivikeseoksen aiheuttamat kuivituksen nettokustannukset. Kustannuksia aiheuttavia tekijöitä ovat tällöin kuivikkeen hankintakustannus, kuivitustyön kustannus ja kuivikeseoksen mahdollisesti vaatimista lisäinvestoinneista aiheutuvat kustannukset. Hyötypuolelle voidaan laskea kuivikkeen mukana tulevat ravinteet ja sen avulla säästettävät ravinteet. Kuivikkeen hinta on vertailua varten mielekkäintä laskea sen kuiva-ainetta kohti.

Kuivikemateriaalin valinnassa kannattaa suosia tilan omia tuotteita eli käytännössä olkea. Tässä ei kuitenkaan pidä liioitella, sillä olkea käytetään myös emojen rehuna, ja kuivituskyky sekä kaikki kustannukset huomioon ottaen olki ja turve maksavat suunnilleen yhtä

paljon. Kuivikekustannukseksi voidaan haketta lukuun ottamatta laskea noin 15 p/kg kasvattamon läheisyydessä varastossa. Hakkeen kustannus on noin kaksinkertainen muihin keskeisiin kuivikemateriaaleihin nähden. (JÄRVENPÄÄ ym. 1994.)

Suomen varastoitavissa oleva olkisato on ORAVAn (1980, s. 1) mukaan 25 %:n kosteuspitoisuudessa 2,3 miljoonaa tonnia. Suurin osa olkisadosta sijoittuu eteläisimpään Suomeen. Kaksi kolmasosaa olkisadosta on neljän eteläisimmän läänin alueella. Vuonna 1978 vain 13 % Suomen olkisadosta käytettiin kuivikkeena ja 83 % kynnettiin maahan (ORAVA ym. 1979, s. 12). Oljen käyttö kuivikkeena olisi siten yli 6-kertaistettavissa, jos olki olisi riittävän lähellä käyttöpaikkoja ja kaikki korjattavissa oleva olki korjattaisiin. Oljen saatavuuden pullonkaulana on kuitenkin lähinnä sen korjuu, ei sinällään olkisato. Suomessa saadaankin keskimääräisenä vuonna korjattua vain 12 päivänä alle 30 %:sta olkea, ja samanaikaisesti tiloilla on pulaa työvoimasta. Vähemmän kuin seitsemän korjuupäivää on todennäköisesti vain yhtenä vuonna kymmenestä. (ORAVA 1980, s. 14.) Parhaat mahdollisuudet oljen hyödyntämiseen on emolehmätuotannossa, koska se sijaitsee pääosin niillä alueilla, joilla suurin osa oljesta tuotetaan. Emolehmät tarvitsevat vuodessa rehuina ja kuivikkeina noin 0,1 miljoonaa tonnia olkea, joten niiden tarve on vain alle 5 % käytettävissä olevasta sadosta. Tähän tarkoitukseen kyetään Suomessa korjaamaan riittävästi olkea. Emolehmätiloilla oljesta on kuitenkin puutetta. Muista keskeisistä kuivitusmateriaaleista, turpeesta ja hakkeesta, ei ole Suomessa saatavuusongelmaa.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on kehittää hyvin kompostoituva kuivikepohja. Kompostoitumattomat kuivikepohjat ja niiden erityistapaus kuivitetut makuuparret ovat esillä vain vertailun vuoksi. Yhtenä lisätavoitteena on pyrkimys nykyistä halvempaan kuivitukseen kompostoituvassa kuivikepohjassa. Kuivikepohjan hyvyyden kriteereinä ovat sen kompostoituminen, eläinten vaatimusten täyttyminen ja rakentamisen antamat mahdollisuudet.

2 KUIVIKEPOHJAN TOIMIVUUS

2.1 Kuivikepohjan toimivuus eläimen kannalta

Kuivikepohja on eläinten kannalta toimiva silloin, kun se pitää eläimet puhtaina ja tarjoaa niille sellaisen termisen ympäristön ulkoilman lämpötilan mukaankin vaihtelevassa kasvattamon lämpötilassa, että eläimet eivät joudu käyttämään perusaineenvaihduntansa hukkalämmön lisäksi rehusta peräisin olevaa energiaa lämpötasapainonsa ylläpitämiseen. Lisäksi eläintä kohti varatun kuivikepohja-alan on riitettävä sen makuualueeksi.

Kylmäkasvatuksessa tuotantoympäristön lämpötilaan ei voida vaikuttaa merkittävästi. Sateelta ja vedolta suojamisen jälkeen keskeiseksi eläimen olosuhteisiin vaikuttavaksi tekijäksi jää kuivikepohja. Kuivikepohjan tarjoamien olosuhteiden vähimmäisvaatimuksena voidaan pitää sitä, että eläimen termiset olosuhteet eivät ainakaan huonone sen asettuessa makaamaan sille tarjotulle makuualueelle verrattuna siihen, että se seisoi. Olosuhteet paranevat vähimmäisvaatimuksista, jos eläimen lämmönhukka pienenee sen asettuessa

makuulle. Makaavan naudan pinta-alasta noin 20 % on kosketuksissa makuualustan kanssa (GROMMERS ym. 1970, s. 555, PYYKKÖNEN 1991, s. 11). BERGSCHÖLDin ja OHLÉNin (1973, s. 27 - 29) mukaan eläimen termiset olosuhteet voivat parantua sen asettuessa makaamaan suhteellisen kylmänkin alustan päälle, kunhan alustan ja eläimen välissä on edes ohut kuivikekerros. Makaavasta lehmästä johtuu 29 W/m^2 lämpöä 47 mm paksun kuivan ruisolkikerroksen läpi parteen, kun parren lämpötila on $12,8 \text{ }^\circ\text{C}$ 10 mm sen pinnan alapuolella. Lehmän keskimääräinen lämmönluovutus ilmaan on 163 W/m^2 (Græe Ref. BERGSCHÖLD ja OHLÉN 1973, s. 21).

Kuivikepohjalla makaava eläin voi itse jonkin verran parantaa olosuhteitaan kaivautumalla siihen. Päävastuun eläinten olosuhteista joutuu kuitenkin kantamaan karjanhoitaja pitämällä makuualustan hyvässä kunnossa. Olosuhdevaatimusten saavuttamiseksi karjanhoitaja joutuu tarjoamaan eläimille joko kuivan kompostoitumattoman kuivikepohjan tai kompostoituvan vaikkakin suhteellisen kostean kuivikepohjan. Kompostoitumattoman kuivikepohjan termisiä olosuhteita voidaan parantaa vain lisäämällä kuivitusta. Kompostoituvan kuivikepohjan termisiä olosuhteita voidaan parantaa nostamalla kompostoitumislämpötilaa myös muilla keinoin kuin kuivitusta lisäämällä.

Kompostoitumattoman kuivikepohjan perusajatuksena on, että eläimistä tuleva kosteus sidotaan kuivikkeisiin ja eläimet pidetään puhtaina pitämällä kuivikepohjan pintakerroksessa puhtaita kuivikkeita. Kuivitetuja makuuparsia voidaan pitää yhtenä kompostoitumattoman kuivikepohjan erikoistapauksena. Hyvän kompostoitumattoman kuivikepohjan perusominaisuuksiin kuuluu hyvä lämmöneristyskyky ja pieni ominaislämpökapasiteetti sekä jäätyttömyys. Nämä ominaisuudet liittyvät kuivikemateriaalin kuivuuteen, koska kosteus lisää kuivikkeen lämmönjohtavuutta ja lämpökapasiteettia sekä jäätymisalttiutta. Kompostoitumaton kuivikepohja poistetaan yleensä niin tihein väliajoin, että kompostoitumisen kannalta riittävää kuivikepohjakerrosta ei ehdi muodostua.

Kompostoitumattomissa kuivikepohjissa voidaan käyttää kuivikkeena orgaanisia ja epäorgaanisia kuivikemateriaaleja. Epäorgaanisia kuivikemateriaaleja käytetään erityisesti silloin, kun kuivikepohjalle tulee eläimistä erityisen vähän orgaanista ainesta, kuten kuivitetuissa makuuparsissa. Epäorgaaniset kuivikemateriaalit eivät kompostoidu lainkaan. Orgaanisen kuivikemateriaalin kompostoitumattomuus aiheutuu niistä olosuhteista, joissa se on. Yleensä kompostoitumattomuuteen on syynä liian ohut kuivikekerros, jolloin kuivikekerroksen lämmönhukka on liian suuri, jotta kompostoituminen kykenisi pitämään yllä prosessin vaatimaa lämpötilaa.

Kompostoitumattomia kuivikepohjia käytetään pääasiassa kylmien makuuparsikasvattamoiden makuuparsissa. Makuuparren rakenteet estävät eläinten ulostamisen ja virtsaamisen makuuparteen. Niiden käyttö on mahdollista myös sikojen kaltaisten tiettyyn paikkaan ulostavien tuotantoeläinten tiloissa, vaikka eläinten ulostamista ja virtsaamista kuivikepohjalle ei varsinaisesti rakenteellisesti estettäisikään.

Kompostoituvan kuivikepohjan perusajatuksena on, että eläimistä kuivikepohjaan tullut ja kompostoitumisen hajoamistuotteena syntyvä kosteus haihdutetaan kuivikepohjasta

ilmaan ja typpi sidotaan suurimmaksi osaksi orgaanisessa muodossa kuivikemateriaaliin. Kompostoituvaa kuivikepohjaa voidaan pitää hyvin toimivana, jos kompostoitumisessa vapautuva kosteus ja hajonnutta kuiva-ainetta vastaava osa alkuperäisestä kosteudesta haihtuu kompostoitumisen aikana ja kuivikepohjan lähtöaineiden kosteuspitoisuus on ollut alunperin korkeintaan käytetyn kuivikeseoksen sitomiskykyä vastaava.

Kuivikepohjan kompostoituminen on tavoitteena silloin, kun kuivikepohjalle tulee sontaa ja virtsaa merkittäviä määriä eikä sitä voida estää. Tällöin kompostoitumattoman kuivikepohjan käytön kannalta riittävän pienen lämmönjohtavuuden ja ominaislämpökapasiteetin ylläpitäminen edellyttäisi, että kuivikkeita käytetään merkittävästi enemmän kuin vastaavassa kompostoituvassa kuivikepohjassa. Kompostoituvassa kuivikepohjassa lämmönjohtavuus ja ominaislämpökapasiteetti ovat melko suuret, jos kosteuspitoisuus on suuri. Siinä nämä huonot ominaisuudet korvataan kuivikepohjan korkealla lämpötilalla. Tällöin lämpöhäviö eläimestä kuivikepohjaan jää pieneksi pienen lämpötilaeron takia. Tavoitteena on, että eläinten lämmönhukka kuivikepohjaan on korkeintaan yhtä suuri kuin kompostoitumattomaan kuivaan kuivikepohjaan. Varmuudella tämä toteutuu silloin, kun kuivikepohjan nopean kompostoitumisen kerroksen lämpötila on vähintään sama kuin eläinten ruumiin lämpötila. Tavoite voi toteutua, vaikka kuivikepohjan lämpötila olisi alhaisempikin kuin eläinten ruumiinlämpötila, mutta silloin tavoitteen toteutuminen riippuu kuivikepohjan lämmönjohtavuuteen ja ominaislämpökapasiteettiin vaikuttavasta kosteuspitoisuudesta. Lantakuorman epätasaisen jakautumisen ja kuivikepohjan reuna-alueiden suuren lämpöhuukan takia kuivikepohjan reunat ovat kylmempinä kuin sen keskialueet. Jotta tavoite toteutuisi koko kuivikepohjan alueella, sen on täytyttävä myös kuivikepohjan reuna-alueilla. Tällöin kuivikepohjan keskialueen lämpötila on merkittävästi korkeampi kuin sen reuna-alueiden.

Termisten olosuhteiden selvittämiseksi tehtiin laboratoriokokeiden yhteydessä joitakin mittauksia muutamilla kylmäkasvattamoissa keskeisillä makuualustoilla. Kompostoituvilla kuivikepohjilla, kompostoitumattomilla kuivikepohjilla, betonilattialla ja neutraalilla alustalla makaavan ja seisovan eläimen termisten olosuhteiden vertailemiseksi mitattiin olosuhteita PYYKKÖSEN (1991) väitöskirjassaan esittelemällä vasikkamallilla. Tämä vasikkamalli on kooltaan 125 mm · 80 mm · 57,5 mm oleva nestetäytteinen alumiinirasia, jonka lämpötilaa pidetään vakiona sähkövastuksen avulla. Mallin lämmönluovutus tunnetaan mittaamalla sähkövastuksen energiankulutus. Mallin lämmönluovutuksella kuvataan termisiä olosuhteita sen sijoituspaikassa. Vasikkamallin lämmönluovutus mitattiin tämän tutkimuksen kokeellisen osan koeolosuhteissa 10 °C:een lämpötilassa siten, että sitä ympäröi koeastian reunoja vastaavat pahvireunat ilmavirtausolosuhteiden saattamiseksi samanlaisiksi kuin tämän tutkimuksen kokeissa käytetyissä koeastioissa. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 1. Vasikkamallin pohjan lämmönluovutuksen osuus oli 35 W/m² koko vaipan pinta-alaa eli 15,3 % koko vasikkamallin lämmönluovutuksesta sen ollessa eläimen seisomista vastaavassa tilassa. Vasikkamallin lämmönluovutukset eri kuivikepohjilla olivat mittaustarkkuuden rajoissa yhtä suuret keskenään. Ne olivat jopa pienemmät, noin 18 %, kuin vasikkamallin ollessa polyuretaanieristeen päällä. Tämä johtui siitä, että

vasikkamalli upposi jonkin verran kuivikepohjaan, mikä vähensi vasikkamallin reunojen lämmönluovutusta. Vasikkamallin ollessa betonilattialla, joka oli myös ympäristön lämpötilassa, sen lämmöntuotanto oli noin 50 % suurempi kuin eläimen seisoessa ja peräti noin 90 % suurempi kuin kuivikepohjilla. Tämän perusteella 10 °C:n ympäristön lämpötilassa kompostoitumaton olkikuivikepohja on vielä runsaan 50 %:n kosteuspitoisuudessakin yhtä hyvä makuualusta kuin noin 37 °C:een lämpötilassa kompostoituva kuivikepohja, eivätkä olosuhteet parane, vaikka olki olisi kuivempaa. Niinpä riittävän kuivituksen avulla kuivana pidetty kompostoitumaton kuivikepohja tarjoaa eläimelle vähintään yhtä hyvät olosuhteet kuin kompostoituvakin.

Taulukko 1. PYYKKÖSEN (1991) vasikkamallin lämmönluovutus erilaisilla alustoilla ympäristön lämpötilan ollessa 10 °C.

Alusta	Selitys	Lämmönluovutus, W/m ²
Betonilattia	Pintalämpötila 10 °C	294
30 cm polystyreeniä	Pohjan lämmönluovutus olematon	193
Ilma	Malli lankojen varassa. Vastaa eläimen seisomista	228
Kuiva kompostoitumaton kuivikepohja	Mallin alla 15 cm kosteuspitoisuudeltaan 5 %:sta olkea	157
Märkä kompostoitumaton kuivikepohja	Mallin alla 15 cm kosteuspitoisuudeltaan 52,5 %:sta olkea	154
Kompostoituva kuivikepohja	Mallin alla 33 cm paksu kuivikeseoksella 5 (taulukko [17] sivu [55] kuivitettu kuivikepohja, jonka kompostoitumislämpötila 13 cm:n syvyydellä kuivikepohjan pinnasta oli 37 °C	161

2.2 Kuivikepohjan toimivuus kompostoitumisen kannalta

Kompostoituva kuivikepohja on ympäristön kannalta toivottava. Koska kuivikepohjalle tulevan lannan määrä suhteessa kuivikkeen määrään on melko täsmällisesti säädettävissä ja koska lisättäessä kuivikkeet vähintään päivittäin eläimet sotkevat nämä kaikki kuivikepohjakompostin lähtöaineet kuivikepohjassa perusteellisesti keskenään, voidaan kuivikepohjasta saada hyvin toimiva ja tasapainoinen komposti ilman merkittävää lisätyötä. Kuivikepohjan kompostoitumisen kannalta on oleellista, että kuivitusmäärä on riittävä. Kompostoituminen aiheutuu pieneliöstön hajotustoiminnasta. Kuivikepohja saa suurimman osan kuivikepohjan kompostoitumisen tarvitsemasta orgaanisesta hiilestä kuivikkeiden mukana. Orgaanista ainesta hajottavan pieneliöstön tarvitsema toinen keskeinen ravinne, typpi, tulee kuivikepohjaan pääasiassa lannan mukana. Kuivikepohjan lämmöntuotanto kasvaa aina noin 40 - 50 °C:seen saakka, koska tällä välillä runsaasti selluloosaa sisältävien materiaalien hajoaminen on nopeinta (SIU 1951, s. 160, 185 - 189, 275, JERIS ja REGAN 1973, s. 13). Tätä korkeimmissa lämpötiloissa lämmöntuotanto laskee, joten korkei-

den lämpötilojen saavuttaminen on vaikeaa ilman erittäin hyvää ulkopuolista eristystä tai kyseisessä lämpötilassa olevaa ympäristöä. Myös kuivikepohjan muodolla voidaan pienentää lämpöhäviötä, vaikka kuivikepohjan tilavuus säilyisikin samana. Kompostin lämpötilan on kauttaaltaan oltava niin alhainen, että nitrifikaatio ei vielä esty eli korkeintaan 45 °C, mieluummin alle 40 °C, koska nitrifikaatio hidastuu jo tämän lämpötilan yläpuolella (EVANS ym. 1986). Nitrifikaation estymistä suurempi merkitys typen tappioihin on kuitenkin sillä, että lämpötilan noustessa kompostin pH nousee. Tällöin ammoniakki ei enää pidäty samassa määrin kuivikepohjaan kuin alemmassa lämpötilassa. Kuivikepohjekompostin lämpötila optimi on siten noin 40 °C. Kompostoitumisen kannalta riittävä lämpötila on aina riittävä myös eläinten kannalta. HANSEN (1993, s. 3) on mitannut tutkimuksessaan lypsykarjan käytännön mittakaavan kuivikepohjista korkeimman lämpötilan 0,1 - 0,2 metrin syvyydeltä kuivikepohjan pinnasta. Se oli keskimäärin noin 40 °C ja suurimmillaan noin 62 °C.

Riittävän suurissa kasoissa kosteuspitoisuudeltaan yli 35 %:inen olki saattaa saavuttaa jopa 60 - 80 °C:een lämpötilan. Näin ollen riittävän kokoinen ja kostea olkikasa kompostoituu itsekseen ilman lantaakin. Käyttämällä riittävän paksua olkikerrosta kuivikepohja voisi saavuttaa edellä mainitut lämpötilat noin kolmessa vuorokaudessa kuivikepohjan perustamisesta, mutta tämä johtaisi varsin suureen kerrospaksuuteen. (ORAVA 1980, s. 67 - 68, 71.) Olkikuivikepohjan kompostoitumisen kannalta lannan lisäyksellä ei ole juuri merkitystä. Oljen kosteuspitoisuuden ollessa riittävä olkikuivikepohjan toiminta riippuu lähes pelkästään oljen syöttömäärästä suhteessa lämpöhäviöihin. Jos edellä esitetyt ehdot täyttyvät, on kuivikepohjan kompostoituminen melko varmaa. Jos oljet ovat kuivia, kuivikepohjan tasaisen toiminnan kannalta on tärkeää, että se saa lannan mukana riittävästi kosteutta ja liukoista typpeä koko kuivikepohjan alueelle.

Kuivikepohjan lämpötila saadaan mahdollisimman tasaiseksi rajoittamalla kuivikepohjan ala eläinten asettaman vaatimuksen kannalta mahdollisimman pieneksi. Tällöin ne eivät hyödynnä makuualustana pelkästään kuivikepohjan keskialuetta, ja kuivikepohjan kompostoitumista edistävää lantaa tulee tasaisemmin koko kuivikepohjan alueelle. Toinen keino lämpötilan pitämiseksi tasaisena on kuivikepohjan reuna-alueiden lämpöeristäminen ulkoilmaa vastaan olevista rakenteista. Samaan tavoitteeseen päästään sijoittamalla kuivikepohjakarsinat rinnakkain ja mahdollisuuksien mukaan myös niin, että karsinoiden kuivikepohjien puoleisen puoleen naapuriksi tulee myös kuivikepohja.

Kuivikepohjan kosteuspitoisuus määräytyy kuivikeseoksen suurimman kosteudensitomiskyvyn rajoissa pääasiassa syöttöaineiden eli lannan ja kuivikkeiden yhteisen kosteuspitoisuuden mukaan. Kuitenkin kosteutta muodostuu myös prosessin aikana kuiva-aineen hajotessa. Jo pelkästään kuiva-aineen hajoaminen nostaa kuivikepohjan kosteuspitoisuutta, koska jäljellä olevan kuiva-aineen on sidottava sekä hajonneen kuiva-aineen sisältämä kosteus että kuiva-aineen hajoamisessa syntynyt kosteus. Siten lannan ja kuivikkeen yhteinen kosteuspitoisuus nousisi kompostoitumisen aikana, jos kosteutta ei haihtuisi kuivikepohjan pinnasta ilmaan. Koska kompostoituvan kuivikepohjan lämpötila on korkea, haih-

tuminen on kuitenkin niin suurta, että kuivikepohjan kosteuspitoisuus pienenee kompostoitumisen aikana siihen tulevan lannan ja kuivikkeiden yhteisestä kosteuspitoisuudesta.

Kompostoitumisprosessissa kuivikepohjan kosteuspitoisuus asettuu korkeintaan kuivikepohjan kosteudenpidätyskykyä vastaavalle tasolle. Kuivikepohjan kantokyvyn on tässä kosteuspitoisuudessa oltava sellainen, että kuivikepohjan rakenne ei tuhoudu. Kuivikepohjan kantokyvyllä tarkoitetaan kuivikepohjan kykyä kantaa eläimen jalkojen siihen aiheuttama kuorma. Se voidaan määrittää esimerkiksi kuivikepohjan mekaanisena vastuksena. Kuivikepohjan kantokyvyn kannalta suurin mahdollinen kosteuspitoisuus määräytyy kuivikeseoksen perusteella. Kantokyvyn ylittyessä eläimet likaantuvat ja kuivikepohja häiriintyy kuivikepohjan nopean kompostoitumisen kerroksen paljastuessa toistuvasti.

Kuivikepohjan kompostoituminen vaatii happea. Kompostoituminen keskittyy kuitenkin varsin lähelle kuivikepohjan pintakerrosta, joka saa kompostoitumisilmansa pinnan kautta, koska kuivikepohjan kosteuspitoisuus ei voi olla kovin korkea. Siten ilmastus on tarpeen ainoastaan kompostoitumisen saattamiseksi loppuun kuivikepohjan syvemmissä kerroksissa. Ilmastus ei saa olla liian voimakas. Liian voimakas ilmastus saattaa kuivattaa kuivikepohjaa jopa liikaa, mikä johtaa kompostoitumisen hidastumiseen. Toisaalta, jos ympäristön lämpötila on merkittävästi kuivikepohjan lämpötilaa alempi, esimerkiksi $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, alentaa liiallinen ilmastus merkittävän kuivikepohjan lämpötilaa.

2.3 Kuivikepohjan toimivuus rakennus- ja työtekniikalta kannalta

Kuivikepohjallisen karsinan suunnittelun kannalta on tärkeää pitää kuivikepohjan pinnan nousu sisäruokintakauden aikana mahdollisimman pienenä, koska muutoin kuivikepohja joudutaan tyhjentämään talven aikana jopa useampaan kertaan. Kuivikepohjan pinnan nousunopeuteen vaikuttavat kuivitusmäärä, kuivikeseos ja lähtöaineiden hajoaminen kuivikepohjassa. HANSENin (1993, s. 3), BENGTSSONin ja SÄLLVIKIn (1994, s. 50) mukaan lypsylehmiä osakuivikepohjien paksuus kasvaa 6 - 7 mm/pv ainakin 1 metrin paksuuteen saakka, kun kuivitus on 1,5 - 1,8 kg/m²·pv. Kuivikepohjan perustamisessa käytetyt kuivikkeet lisäävät kuivikepohjan paksuutta tämän lisäksi noin 0,2 metriä, jolloin 240 vuorokauden sisäruokintakauden aikana kertyisi noin 1,9 metriä paksu kuivikepohja. Osakuivikepohjaratkaisussa kuivikepohjan pinta voi olla korkeintaan noin 50 cm lantakäytävän pintaa korkeammalla, koska muutoin se sortuu eläinten jalkojen alla lantakäytävälle. Sisäruokintakauden aikana kertyvän kuivikepohjan on siten mahdollista mainittuun 50 cm:iin ja kuivikepohjan syvennykseen. Täyskuivikepohjaratkaisussa kuivikepohjan pinnan nopea kasvu vaikeuttaa muun muassa ruokintapöydän ja vesikuppien asemointia. Kuivikepohjan pinta saisi tällöin kasvaa ainoastaan eläinten kannalta optimaalisen (30 cm), korkeintaan suurimman mahdollisen syöntialueen sisällä korkeussuunnassa. (KA-PUINEN 1993, s. 47.)

Kuivikeseoksen valinta ei vaikuta merkittävästi kuivikepohjan käsiteltävyyteen, jos kuivikepohja on poistettavissa koneellisesti. Työtekniiset näkökohdat korostuvat silloin, kun

tuotantoa harjoitetaan vanhoissa tarkoitukseen suunnittelemissa rakennuksissa ja kuivikepohjia on poistettava käsityövälinein. Tällöin varsinkin pelkän pitkän oljen käyttö kuivikkeena lisää merkittävästi työn kuormittavuutta kuivikepohjan tyhjennyksessä. Yleensä runsas turpeen osuus helpottaa käsin tehtävää kuivikepohjan poistoa, ja jo pienestäkin osuudesta on suurta apua. Uudet tuotantorakennukset on rakennettava siten, että kuivikepohjat voidaan poistaa koneellisesti. (KAPUINEN 1993, s. 49 - 59, KAPUINEN 1994a, s. 91.)

3 KOMPOSTI

3.1 Kompostoitumisprosessin luonne ja päämäärä

Kompostoituminen on aerobinen prosessi, jossa monilajinen pieneliöiden muodostama eliöyhteisö hajottaa orgaanista materiaalia kosteissa, aerobeissa ja riittävästi lämpöeristetyissä olosuhteissa ja jota yleensä voidaan ohjata tavanomaisena teknisenä prosessina. Lopputuotteena saadaan hiilidioksidia, vettä, stabiilia humusainetta ja epäorgaanisia suoloja. Osa eloperäisen aineksen orgaanisesta hiilestä mineralisoituu hiilidioksidiksi ja häviää kompostista kaasuna ilmaan. Prosessin aikana vapautuu niin paljon lämpöenergiaa, että kompostin lämpötila nousee oleellisesti. (PAATERO ym. 1984, s. 21, 23, FINSTEIN ja MORRIS 1975, s. 113.) Kompostoituminen tuottaa runsaasti lämpöä, mutta kuitenkin korkean lämpötilan säilyminen kompostissa edellyttää riittävää lämmöneristyskykyä. Prosessin edellytys on, että järjestelmästä poistuu riittävässä kompostointilämpötilassa lämpöä korkeintaan niin paljon kuin sitä siinä syntyy. Tämä tilanne voidaan saavuttaa riittävän suurella massalla, joka toimii samalla lämmöneristeenä, taikka ulkopuolisella lämmöneristeellä. Luonnossa kompostoitumista ei tapahdu puhtaana, vaan aerobit ja anaerobit prosessit etenevät rinnakkain tai peräkkäin riippuen kompostissa vallitsevista olosuhteista. (FINSTEIN ja MORRIS 1975, s. 116, LEHTOKARI 1984, s. 1 - 4.)

Kompostin pieneliöiden aktiivisuus riippuu lämpötilasta, kosteudesta, happamuudesta, hapensaannista, ravinteiden saannista, C/N-suhteesta, kompostoitavan materiaalin raekoosta ja inokulaatiosta (REGAN ja JERIS 1970, s. 17, SCHUCHARDT 1987, s. 114). Varsin yleistä on, että kompostissa on liikaa vettä ja liian vähän happea. Kompostiin syntyy lisää kosteutta alkuperäisen lisäksi pieneliöiden hajotustoiminnan ansiosta. Sitä myös haihtuu kompostista koko prosessin ajan. Kosteuden synty riippuu hajotustoiminnan lämpötilariippuvuuden takia lähinnä vain lämpötilasta. Kosteuden poistuminen sen sijaan riippuu myös ilmastuksesta. (WILEY ja PEARCE 1957, s. 1015 - 1020.)

Kompostin lämpötilan nousu on peräisin lähes pelkästään pieneliöiden aineenvaihdunnasta. Aivan prosessin alussa saattavat myös muutamien kasvilajien solut vaikuttaa pienessä määrin kompostin lämmöntuotantoon. (FINSTEIN ja MORRIS 1975, s. 117.) Jos kompostissa on riittävästi kosteutta ja muutkin olosuhteet ovat suotuisat, saattaa kompostin lämpötila nousta parissa päivässä yli 70 °C:een. Kompostin kosteuspitoisuuden tulee

tällöin olla 50 - 60 %. (FINSTEIN ja MORRIS 1975, s. 117, KAIBUCHI 1961, s. 138, ANON. 1953, s. 79, TEENSMA 1962, s. 132, SCHULZE 1962, s. 121, WILEY ja PEARCE 1957, s. 1030.) Biologinen toiminta voi nostaa kompostin lämpötilan korkeintaan 76 °C:een (FINSTEIN ja MORRIS 1975, s.117, EDWARDS ja RETTGER 1937, s. 495). Komposteista on mitattu jopa 80 °C:een lämpötiloja, mutta on todennäköistä, että tällöin lämpötila on noussut näihin arvoihin kemiallisen, ei biologisen toiminnan ansiosta. (FINSTEIN ja MORRIS 1975, s. 117, MÜLLER ja KORTE 1976, s. 219, BERTOLDI ym. 1980, s. 33.) Myös SPOHNin (1970) mukaan koneellisen ilmastuksen avulla komposti voi lyhytaikaisesti saavuttaa 80 °C. Pieneliöiden kehitys saattaa hidastua korkean lämpötilan takia, mutta pieneliöiden aineenvaihdunnan aktiivisuus ei kuitenkaan lopu kokonaan, vaan syntyy tasapaino, jossa pieneliöt jatkavat hajotustyötään saavutetulla tasolla. Lämpötila asettuu tietylle tasolle, joka vastaa tasapainoa, jossa kompostissa syntyvä ja siitä ympäristöön siirtyvä lämpöenergia ovat yhtä suuret. (MÜLLER ja KORTE 1976, s. 224.)

Vasta kompostin lämpötilan ylitettyä biologisen aktiviteetin alueen voi kompostissa muodostua lämpöä myös kemiallisesti. Tämä edellyttää kuitenkin, että kompostissa on riittävästi kosteutta kemiallista lämmöntuotantoa edeltävän biologisen toiminnan aikana ja että lämmönjohtavuuteen vaikuttava kosteus on kuitenkin niin pieni, että lämpöhäviöt ovat kyseisissä korkeissakin lämpötiloissa pienempiä kuin kemiallisen lämmöntuotannon määrä. (FINSTEIN ja MORRIS 1975, s. 118.) Esimerkiksi heinäkompostin ilmatilan suhteellisen kosteuden tulee olla 95 - 97 %, jotta edellä mainitut edellytykset täyttyisivät (ROTHBAUM 1963, s. 302). Kompostit ovat yleensä niin pieniä, että lämpötilan nousu biologisen toiminnan alueen yläpuolelle on mahdotonta suuren lämpöhäviön takia.

Kompostoitumisprosessissa yhtenä päämääränä on muodostaa mahdollisimman nopeasti termofiilisen prosessin avulla käyttökelpoista kompostia, jossa ei ole taudinaiheuttajia, rikkaruohon siemeniä, hyönteisten munia ja toukkia, suolinkaisia, sukkulamatoja eikä loismatoja ja joka lisäksi on stabiloitunut. (SCHUCHARDT 1987, s. 108, FINSTEIN ja MORRIS 1975, s. 113, BERTOLDI ym. 1980, s. 35.) Vasta yli 70 °C:een lämpötila tuhoaa kaikki ei-termofiiliset patogeeniset bakteerit ja sienet, virukset, hyönteisten munat ja toukat, loismadot, rikkakasvien siemenet yms., ja esimerkiksi vasta yli 60 °C:een lämpötila vähentää kolibakteerien ja fekaalisten streptokokkien määrää merkittävästi (WILEY ja WESTERBERG 1969, s. 1000, BURGE ym. 1977, s. 130, CARRINGTON 1978, s. 10, WARD ja BRANDON 1978, s. 123, SHELL ja BOYD 1970, s. 25 - 26, PIKE ja CARRINGTON 1978, s. 212, GABY 1975, s. 18). Kuivikepohjissa näin korkeaa lämpötilaa ei saavuteta, joten tavoite jää osittain saavuttamatta.

3.2 Kompostoitumisprosessin vaiheet ja pieneliöstön muutokset kompostoitumisen aikana

Kompostoitumisen alkuunlähtö on varminta lämpimässä ympäristössä, mutta kompostoituminen käynnistyy myös kylmässä (OLVER 1980, s. 21, KALLIO ja TIKANMÄKI 1982,

s. 96). Kompostoitumisprosessin mikrobiologisten aktiivisuusvaiheiden nimet aikajärjestyksessä ovat: kryofiilinen, mesofiilinen, termofiilinen, jäähtymis- ja kypsymisvaihe. (CAPPAERT ym. 1976, s. 18, PAATERO 1981, s. 3.) Nämä vaiheet toteutuvat eräkompostoreissa. Kompostoituva kuivikepohja on lämpötilan kehityksen suhteen jatkuvatoiminen komposti. Siinä kompostoitunut materiaali varastoidaan kompostoituvan kerroksen alle, eikä sitä varsinaisesti poisteta kompostista, kuten jatkuvatoimisten kompostien suhteen yleensä toimitaan. Jatkuvatoimisessa kompostissa termofiilistä tai mesofiilistä vaihetta pitkitetään koko materiaalin lisäämisvaiheen pituiseksi. Jatkuvatoimisessa kompostissa yleensä termofiilinen vaihe on pitkitetty. Kuivikepohjakompostin lämmönhukka on niin suuri, että termofiilistä vaihetta ei välttämättä saavuteta lainkaan. Pitkitetty vaihe on tällöin mesofiilinen.

Kuivikepohjan kompostoitumisprosessi käynnistyy ilman erityisen pieneliöviljelmän lisäämistä, koska lannassa on aina tarpeellinen määrä ja lajisto pieneliöitä. Ainoastaan täysin pieneliövapaa kasvimassan kompostoitumisen käynnistymisen nopeuttamiseksi tarvitaan pieneliöympäystä. Pieneliölajeista ne, joilla on kyseisissä oloissa suurin kilpailukyky, yleensä valtaavat kompostin. Koska eri pieneliöiden optimilämpötila-alueet ovat erilaiset ja koska kompostin eri kohdissa on eri lämpötila, saadaan eri kohdista kompostia otetuista näytteistä viljeltyä erilaisia pieneliöpopulaatioita. (YAVAD ym. 1982, s. 333, MISHRA ym. 1981, s. 607, GOLUEKE ym. 1954, s. 45 - 52, FERGUS 1964, s. 270 - 271.)

Lämpötilan suhteen mesofiiliset bakteerit käyttäytyvät samalla tavalla kuin termofiiliset sienet, ja termofiilit bakteerit kestävät korkeampia lämpötiloja kuin termofiiliset sienet. Myös termofiiliset sädesienet kestävät korkeampia lämpötiloja kuin termofiiliset sienet. (CHANG ja HUDSON 1967, s. 657 - 658.) Näin ollen lämpötilan noustessa termofiilit bakteerit ja sädesienet jatkavat hajotustoimintaa siitä lämpötilasta, mihin sienet lopettavat. Yleensä kompostin keskiosien lämpötila on korkeampi kuin reunojen ja pinnan kompostin lämpöhukan takia. Lämpötilaeroa kasvattaa kylmien alueiden pieni lämmöntuotanto. Lämpötilaerojen takia sienten lukumäärä on kompostin keskellä pienempi kuin reunoilla. Alue, jolla on hyvin vähän sieniä, on sitä suurempi, mitä suurempi kompostin lämpötila on. Termofiiliset sienet eivät häviämisestään huolimatta kuole kokonaan, vaan niiden lämpökestoiset lepoitiot säilyvät kompostin keskiosissakin. Sen sijaan mesofiilisten sienten kaikki asteet häviävät korkeissa lämpötiloissa, mikä näkyy esimerkiksi siinä, että kompostin jäähtymisen jälkeen kompostissa olevat sienet ovat pääasiassa termofiilisiä. (CHANG ja HUDSON 1967, s. 654 - 656.)

3.2.1 Bakteerit

Bakteerien havaitseminen kompostissa on vaikeaa, koska niistä on vähän visuaalisesti havainnoitavia tunnusmerkkejä. Bakteerien sukkeesiota lämpötilan kohotessa on siten vaikea seurata. (FINSTEIN ja MORRIS 1975, s. 132.) WAKSMANin ym. (1939a, s. 93) mukaan bakteerit ovat vallitsevia pieneliöitä 28 °C:ssa. Lämpötila on näin alhainen yleensä kompostoitumisen alussa, loppuvaiheessa tai muutoinkin, jos kompostoituminen ei onnistu

kunnolla. Mesofiiliset bakteerit lisääntyvät ja nostavat kompostin lämpötilaa kompostoinnin alkuvaiheessa. Eräkompostoinnissa lämpötilan nopea nousu kestää noin 30 tuntia. Vielä kompostoinnin alkuvaiheessa kompostin korkeat ravinne- ja happipitoisuudet nopeuttavat lämpötilan nousua. Mesofiilisten bakteerien kannalta paras lämpötila-alue, 20 - 45 °C, ohitetaan nopeasti. 40 - 50 °C:n lämpötila toimii jo mesofiilisten bakteerien inhibiittorina (FINSTEIN ja MORRIS 1975, s. 125). Tämän takia pieneliöstö jakaantuu uudelleen siten, että termofiilisten bakteerien osuus lisääntyy ja mesofiilisten bakteerien osuus vähenee. Termofiilisten bakteerien paras toiminta-alue on 45 - 70 °C, ja niiden soluluku saavuttaa suurimman arvonsa vähän alle 70 °C:ssa (MÜLLER ja KORTE 1976, s. 220, 223 - 224). Sienet ja sädesienet valtaavat alaa bakteereilta jo 50 °C:n lämpötilassa. Bakteerit eivät kuitenkaan häviä kokonaan, vaan niiden osuus vain pienenee. Kun komposti lämpenee edelleen, sienet taantuvat, ja jäljelle jäävät bakteerit. 75 °C:ssa vain eräitä itiöitä muodostavat bakteerit säilyvät hengissä. (WAKSMAN ym. 1939a, s. 93.)

Termofiilisessa vaiheessa toimivat pääasiassa aerobit itiöitämuodostavat bakteerit. Tällöin myös kompostin pH nousee, ja kompostista haihtuu ammoniakkia. Ammoniakkia tuottavien ja valkuaisaineita hajottavien bakteerien määrä ylittää 10⁶ cfu/g kuiva-ainetta. Myös tyypä sitovien bakteerien aktiivisuus lisääntyy termofiilisen vaiheen alussa, mutta myöhemmin niiden aktiivisuus laskee korkean lämpötilan ja ammoniakkin määrän lisääntymisen takia. Termofiilisen vaiheen alussa, kun lämpötila on noin 37 °C, toimivat lähinnä *Azomonas*-, *Klebsiella*- ja *Enterobacter*-sukujen typensitojabakteerit. Lämpötilan ylittäessä noin 50 °C nämä bakteerisuvut häviävät ja tilalle tulee *Bacillus*-suvun bakteereja. (BERTOLDI ym. 1980 s. 33 - 34.)

Kompostissa voi olla myös anaeroabeja *Clostridium*-suvun bakteereja. Niiden kasvulle otollinen lämpötila on noin 40 °C. (BERTOLDI ym. 1980 s. 34.) Koska tämä on kuivikepohjakompostille tyypillinen lämpötila, saattavat paikalliset hapettomat olosuhteet kuivikepohjassa aiheuttaa tämän bakteerin lisääntymistä. *Clostridium thermocelluloseum* säilyy määräämättömän ajan vielä 67 °C:een lämpötilassa jatkamatta kuitenkaan hajotustyötä. (REGAN ja JERIS 1970, s. 19.) Kolibakteerit häviävät kompostista vasta noin 65 °C lämpötilassa (BERTOLDI ym. 1980 s. 34). HIRNin ym. (1982, s. 139) mukaan ulosteperäisten kolibakteerien määrä laskee 1 - 2 viikossa määritysmenetelmien ulottamattomiin, kun kompostin lämpötila on 65 - 86 °C, mutta tätä matalampi lämpötila ei vähennä kolibakteerien määrää. LANGELANDin (1980) mukaan kolibakteerit eivät olleet vähentyneet vielä 52 °C:n lämpötilassa. *Salmonella*-lajit häviävät jo 54 °C:sta. Sen sijaan streptokokit häviävät vasta lämpötilan noustessa 70 °C:seen. (BERTOLDI ym. 1980, s. 34.) Kuivikepohjakompostissa lämpötila ei koskaan nouse näin korkeaksi, joten kolibakteerimäärä ei vähenne kuivikepohjakompostissa lämpötilan takia, vaan muiden eliöiden vallatessa siltä alaa.

3.2.2 Sienet

Kompostoinnin alussa komposti voi olla liian kostea sienille, joten ne ilmestyvät kompos-

tiin hitaasti (FINSTEIN ja MORRIS 1991, s. 127). Sienten kasvun optimilämpötila saattaa vaihdella 5 - 10 °C riippuen kasvualustasta, ja lämpötilaoptimiin voidaan vaikuttaa muuttamalla ravinteiden määriä ja suhteita (FERGUS 1964, s. 280, TENDLER ja BURKHOLDER 1961, s. 399). WAKSMANin ja CORDONin (1939, s. 219) mukaan termofiiliset sienet kasvavat suhteellisen hitaasti 28 °C:ssa. Termofiilisella sienellä tarkoitetaan sientä, joka pystyy kasvamaan ja lisääntymään välillä 40 - 50 °C ja jonka kasvuminimi on alimmillaan 20 °C (TOUCHE 1950, s. 94, COONEY ja EMERSON 1964, s. 6). Sienien korkein toimintalämpötila, noin 60 - 70 °C, on hieman pienempi kuin bakteerien. Siitä ylöspäin lämpöä tuottavat vain bakteerit ja sädesienet (CHANG ja HUDSON 1967, s. 65). Kuivikepohjat voivat saavuttaa näin korkeita lämpötiloja vain lyhytaikaisesti. Sienet alkavat taas toimia, jos lämpötila laskee 50 - 55 °C:seen (BERTOLDI ym. 1980 s. 34, FINSTEIN ja MORRIS 1991, s. 127, WAKSMAN ja CORDON 1939, s. 219). Mesofiiliset sienet häviävät jo runsaassa 40 °C:ssa (CHANG ja HUDSON 1967, s. 658). Kuivikepohjakompostin lämpötila on hetkellisiä poikkeuksia lukuun ottamatta korkeintaan runsaat 40 °C. Näin ollen kuivikepohjakompostin sienet ovat pääsääntöisesti mesofiilisiä, mutta parhaiten kompostoituvista kohdista ne kuitenkin häviävät. Sienillä ei ole sisäistä mekanismia säädellä hajotustoimintansa nopeutta. Sen tähden kompostin lämpötila voi hyvissä olosuhteissa nousta jopa 70 °C:een tuntumaan ylittäen sekä mesofiilisten että termofiilisten populaatioiden sietokyvyn. Kuivikepohjakompostissa lämpötila ei voi nousta niin korkealle, että mesofiiliset saati sitten termofiiliset populaatiot kuolisivat. (CHANG ja HUDSON 1967, s. 655.)

Kun eläimet poistetaan kuivikepohjalta ja kuivikkeiden tulo loppuu, hajoamiskelpoisen materiaalin määrä vähentyy, ja lämpötila laskee. Tällöin sen lämmöntuotanto vähenee. Noin 30 °C:ssa mesofiilinen populaatio elpyy ja termofiilisten sienilajien lukumäärä laskee rajusti. Mesofiilinen populaatio suorittaa loppuhajotuksen. (CHANG ja HUDSON 1967, s. 655, BERTOLDI ym. 1980, s. 34.) Enimmillään sienten lukumäärä on noin 85-kertainen alkuperäiseen nähden. Kompostoinnin loppuvaiheessa ainoastaan sienten määrä on merkittävästi suurempi kuin alunperin. (CHANG ja HUDSON 1967, s. 658.)

Koska sienet ilmestyvät kompostiin myöhemmässä vaiheessa ja toisaalta kuolevat matalammassa lämpötilassa kuin bakteerit, niiden esiintyminen kompostissa rajoittuu bakteereiden esiintymistä selvästi kapeammalle lämpötila-alueelle. Kuivikepohjakomposti ei kuitenkaan saavuta läheskään niin korkeita lämpötiloja, että se olisi sienten kasvun esteenä. Siten sienten kasvun esteenä voi olla ainoastaan kompostin liiallinen kosteus. Koska kuivikepohjakompostin lämpötila on suurimman osan ajasta sienille otollisella alueella, niitä esiintyy kuivikepohjakompostissa lähes koko prosessin ajan.

Homeet ovat sieniä. Erotuksena muihin sieniin niillä on ominainen homeainen kasvutapa. Yleensä homeet kasvavat parhaiten lämpötila-alueella 35 - 50 °C. *Humicola griseus* var. *thermoideus* ja *Humicola insolens* olivat yleisimmät kompostista lämpötilahuipun aikaan eristetyt homeet. (FERGUS 1964, s. 270, 282.) Kuivikepohjan lämpötila ei ole homeiden kasvun esteenä.

3.2.3 Sädesienet

Sädesienet ovat gram-positiivisia bakteereita, jotka muistuttavat morfologisesti sieniä. Sädesienet tunnistaa valkoisesta kalkkikivimäisestä kerroksesta kompostin pinnalla (FORSYTH ja WEBLEY 1948, s. 34 - 39). Sädesienten kehitys on bakteerien ja sienien kehitystä hitaampaa, ja niiden määrä saavuttaa huippunsa vasta 2 - 5 vuorokauden kuluttua kompostoitumisen alusta. Tällöin niiden määrä on runsaat viisisataakertainen alkuperäiseen nähden. (LACEY 1973, s. 244, CHANG ja HUDSON 1967, s. 658.) Jopa niinkin korkeassa lämpötilassa kuin 50 °C sädesienet kehittyivät myöhemmin kuin bakteerit ja sienet (WAKSMAN ym. 1939b, s. 45). Lisäksi mesofiilisten sädesienten määrä on olkikompostissa suhteellisen epävakaata koko kompostoitumisen ajan (CHANG ja HUDSON 1967, s. 657).

Sädesienet ovat erityisen aktiivisia selluloosan hajottajia verrattuna muiden hiilihydraattien hajottamiseen (GOLUEKE ym. 1954, s. 46). Sädesienet yleensä häviävät, kun kompostiin on lisätty tuoretta materiaalia. Lisäksi ne viihtyvät paremmin kuivissa kuin kosteissa kompostin partikkeleissa. Sädesienten kasvu rajoittuu 15 cm:n paksuiseen kompostin pintakerrokseen (FINSTEIN ja MORRIS 1975, s. 131). Ne kehittyvät heikosti huonosti ilmastetussa kompostissa (ANON. 1953, s. 40, PAATERO 1981, s. 7). Suuri selluloosapitoisuus lisää sädesienien määrää, minkä tähden komposteissa, joissa on vain vähän selluloosaa, on lähinnä vain muita bakteereita (GYLLENBERG 1952, s. 187). Koska lämpötila ei rajoita sädesienten esiintymistä kompostissa, syynä niiden poissaoloon kuivikepohjista on uuden materiaalin jatkuva lisääminen ja huono ilmastus.

Useimmat sädesienet kasvavat parhaiten lämpötila-alueella 35 - 50 °C (FERGUS 1964, s. 281). Kaikki sienet ja lähes kaikki bakteerit häviävät 65 °C:ssa ja kompostin eliöstö koostuu pääasiassa sädesienistä (WAKSMAN ym. 1939a, s. 93). Sädesienet häviävät kompostista viimeistään noin 75 °C:een lämpötilassa, mutta häviäminen alkaa jo noin 60 °C:ssa (WAKSMAN ym. 1939a, s. 93 - 96, WAKSMAN ym. 1939b, s. 46 - 53, HENSSEN 1957, s. 74 - 75, TENDLER ja BURKHOLDER 1961, s. 398, ERIKSON 1952, s. 288).

3.3 Kompostoitumisprosessiin vaikuttavat tekijät

Kuivikepohjan kompostoitumiseen keskeisimmin vaikuttavia tekijöitä ovat sen kosteus-, typpi- ja hiilipitoisuus. Fosforipitoisuuden merkitys on selvästi edellä mainittujen merkitystä pienempi. Lisäksi typen ja hiilen määräsuhteella on suuri merkitys kompostoitumisprosessissa. Korkea hiilidioksidipitoisuus rajoittaa kompostieliöstön toimintaa ennen alhaista happipitoisuutta. Happi- ja hiilidioksidipitoisuudet määräytyvät kompostoitumisprosessin hapen kulutuksen, hiilidioksidin tuotannon ja kompostin ilmanvaihdon perusteella. Kompostin happamuus voi rajoittaa kompostoitumislämpötilan nousua, jos kompostiin lisätään happamia materiaaleja. Yleensä happamuus kuitenkin alenee kompostin lämpötilan kehitystä vastaavasti. Kompostin rakenteella on suuri merkitys ilmastamattoman kompostin toimintaan. Turpeen kaltaisen hienojakoisen materiaalin suuri osuus kompostissa vaikeuttaa

merkittävästi kuivikepohjakompostin ilmanvaihtoa kompostoinnin kannalta muutoin hyvällä kosteuspitoisuusalueella. Ilmastus pienentää kompostin rakenteen merkitystä kompostoinnissa.

3.3.1 Vesi kompostissa

Kompostin mikrobiologinen aktiviteetti riippuu pitkälti veden läsnäolosta, koska pieneliöt voivat ottaa hajotettavat aineet soluihinsa ainoastaan puoliläpäisevän solukalvon läpi ja koska tämä aineiden osmoottinen kulku solukalvon läpi on mahdollista vain, jos soluliman väkevyys on suurempi kuin solua ympäröivän nesteen. Jos kompostin kosteus laskee alle 20 %:n, tämä osmoottinen kuljetus toimii väärin päin, ja pieneliöiden solut kuolevat. Tämän takia kulkeakseen solukelmuun läpi kaikki veteen liukenemattomat aineet on hajotettava entsyymaattisesti vesiliukoiseksi, esimerkiksi selluloosa sokereiksi. (SCHUCHARDT 1987, s. 109.) Kompostoituminen hidastuu suuresti kompostin kosteuspitoisuuden painuessa alle 30 %:n (GRAY ym. 1971, s. 25). REGANin ja JERISin (1970, s. 18) mukaan kompostoituminen ei ole nopeaa alle 40 %:n kosteuspitoisuudessa. Kompostin sopiva kosteuspitoisuus on 50 - 75 %. Tämän alueen alarajalla aumat kompostoituvat vapaalla ilmanvaihdolla, mutta alueen ylärajalla edellytetään jo koneellista ilmastusta ja kääntöä. (ANON. 1953, s. 67, KAIBUCHI 1961, s. 138, TEENSMA 1962, s. 132, GOOTAS 1956, s. 70 - 71, SCHULZE 1962, s. 119, 121, WILEY ja PEARCE 1957, s. 1030, JANN ym. 1959, s. 272, GRAY ym. 1971, s. 25.) HANSENin (1993, s. 3) kokeissa kuivikepohjan kosteuspitoisuus oli sitä poistettaessa 70 %. Myös kompostoitumiseen tarvittava happi kulkeutuu soluun veteen liuenneena. Veden määrän lisäksi sen lämpötila on merkittävä hapenkuljetuskyvyn kannalta. Jos kompostin lämpötilan nousee 20 °C:sta 50 - 60 °C:een, hapen liukoisuus pienenee 65 - 51 %:iin. (SCHUCHARDT 1987, s. 109.)

Myös varsin kostea komposti kompostoituu. Esimerkiksi REGANin ja JERISin (1970, s. 17) mukaan kompostointi on onnistunut vielä 83 %:n kosteuspitoisuudessa, ja kompostoitumisen tehokkuus on alkanut kärsiä vasta kosteuspitoisuuden noustua 89 %:iin. Kompostoitumisen kannalta sopiva kompostin kosteuspitoisuus riippuu kompostoitavasta materiaalista, ja tähän kosteuspitoisuuteen tulee lukea mukaan veden lisäksi kaikki termofiilisella lämpötila-alueella nestemäisessä olomuodossa olevat aineet. (WILEY 1957, s. 3, GRAY ym. 1971, s. 25.) Kuivikepohjan kosteuspitoisuus ei voi olla kompostoitumisen kannalta liian korkea, jos kompostoitava materiaali on karkeajakoista. Hyvin hienojakoista materiaalia kompostoitaessa kompostin ilmatila on pieni, ja jo hyvin pieni vesipitoisuuden lisäys voi aiheuttaa koko ilmatilan täyttymisen jossakin 50 - 60 % kosteuspitoisuuden välillä (SCHUCHARDT ja BAADER 1979, s. 207).

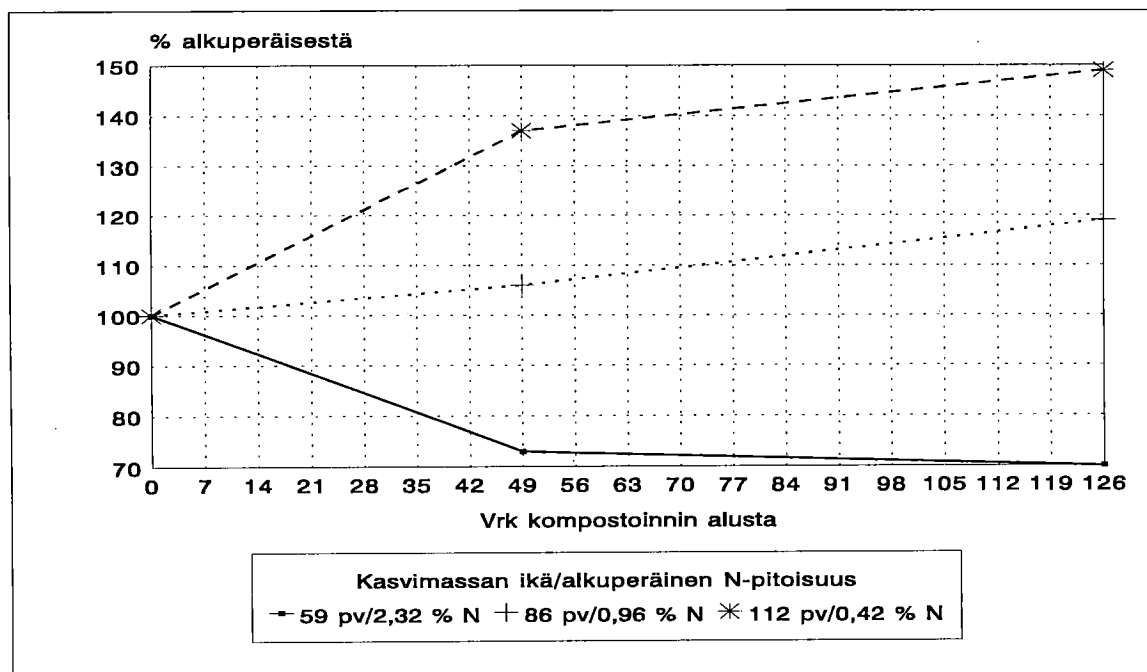
Eri pieneliöt suhtautuvat kosteuteen eri lailla. Yleisesti ottaen sienten kasvulle paras kompostin kosteus on bakteereiden kasvulle parasta pienempi. Useat sienet kehittyvät jo, kun kompostin ilmatilan suhteellinen kosteus on alle 90 %:n mutta harvat bakteerit. Bakteerien sieniä parempi kilpailukyky kosteissa olosuhteissa johtuu ensi sijassa bakteerien

paremmasta hiilivarojen hyödyntämisessä, mutta jossain määrin myös paremmasta typen hyödyntämisessä (FINSTEIN ja MORRIS 1975, s. 120). Komposti-ilman suhteellinen kosteus on lämpötilan nousuvaiheen aikana yleisesti lähellä 100 %, joten lämpötilan nousuvaiheen aikana kompostin kosteus on yleensä riittävä. Liiallista kuivumista voi tapahtua vasta kompostoitumisen myöhemmässä vaiheessa. (FINSTEIN ja MORRIS 1975, s. 119, 144.) Kompostin toistuva kääntäminen on omiaan pienentämään sen kosteutta (ANON. 1953, s. 67 - 69).

Kompostoitumaton kuivikepohja jäätyy, jos sen kosteuspitoisuus on liian korkea. Samoin käy kompostoituvan kuivikepohjan pinnalle. Kuivikepohja ei jäädy, jos kuivikkeena käytettävän oljen kosteuspitoisuuden on alle 50 %. Turve ei jäädy haitallisessa määrin, vaikka sen lämpötila olisikin alle nollan, jos sen kosteuspitoisuus on noin 50 %, mutta jos sen kosteuspitoisuus on noin 60 % ja se on tiivistetty, se jäätyy läpikotaisin varastossakin (PELTOLA ym. 1986, s. 47). Siten kompostoitumaton paksukin turvekuivikepohja saattaa jäätyä perusteellisesti, jos sen kosteuspitoisuus on vähintään noin 60 %.

3.3.2 Kompostin C/N ja C/P-suhde

Nopean kompostoitumisen saavuttamiseksi kompostin typpipitoisuuden tulee kompostin lämpötilasta ja kompostoitumisen vaiheesta riippuen olla noin 1,3 - 2,3 % kuiva-aineesta. Parhaaseen typpitalouteen päästään laskemalla typpipitoisuus noin 1 %:iin kuiva-aineesta, mutta tämä hidastaa kompostoitumista. (CAPPAERT ym. 1976, s. 18, WAKSMAN ja CORDON 1939, s. 218 - 219, WAKSMAN ja HUTCHINGS 1936, s. 121, 123.) Kompostin typen säilymisen riippuminen alkuperäisestä typpipitoisuudesta on esitetty kuviossa 1.



Kuvio 1. Kokonaistypen säilyminen eri ikäisinä korjatuissa ohran kasvimassoissa kompostoitessa niitä lannoittamattomana 28 °C:een lämpötilassa (WAKSMAN ja HUTCHINGS 1936, s. 121, 123).

Syöttöaineiden tyypipitoisuudella on suhteellisen pieni vaikutus muiden kuiva-aineen osien kuin ligniinin kokonaishajoavuuteen. Ligniinin hajoavuus sen sijaan paranee selvästi, jos kasvimassan alkuperäinen tyypipitoisuus on tavallista suurempi (WAKSMAN ja HUTCHINGS 1936, s. 121, 123). Koska ligniinin osuus on kuivikemateriaaleissa suhteellisen pieni, typen suurella pitoisuudella on vain pieni vaikutus kokonaishajoavuuteen.

Varsin suuri osa esimerkiksi oljen selluloosasta ja ligniinistä on pieneliöstön ulottumattomissa ja jää hajoamatta. Kompostin oikea C/N-suhde riippuu pieneliöpopulaatiosta. Pieneliöt käyttävät vain noin 20 - 40 % hajoavan massan hiilestä omiin rakenteisiinsa. Loppu hiili vapautuu hiilidioksidina. Oikea C/N-suhde riippuu siten kuiva-aineen hajoavuudesta ja pieneliöiden rakenteisiinsa käyttämän hiilen osuudesta hajonneessa osassa. Tarkan oikean C/N-suhteen määrittämiseksi olisi tarpeen tietää siinä elävien pieneliöiden lajit ja niiden käyttämä tyyppi sekä lähtöaineiden typen ja hiilen käyttökelpoisuus. Pieneliöt käyttävät hiiltä ja typpeä suhteessa, joka on alle 20. (ANON. 1953, s. 65, ALEXANDER

1961, s. 140, REGAN ja JERIS 1970, s. 19.) Taulukossa 2 on esitetty eräille bakteeri- ja sienilajeille otolliset lähtöaineiden selluloosan ja typen suhteet. Suuria ja pieniä suhdelukuja on yhtä lailla bakteerien ja sienten joukossa. Hiilihydraattien peruskaava on $(C_6H_{10}O_5)_n$, joten hiilen osuus selluloosassa on 44,4 %. Taulukkoon 2 on tällä perusteella laskettu kullekin pieneliölajille myös sopiva C/N-suhde. Siinä suurin C/N-suhde on jopa yli kaksinkertainen pienimpään verrattuna. Nämä taulukossa 2 esitettyjen pieneliöiden hajottaman materiaalin C/N-suhteet ovat varsin pieniä verrattuna kompostoitavan materiaalin tyypillisiin C/N-suhteisiin. Tätäkin pienempiä arvoja pieneliöiden käyttämien ravinteiden C/N-suhteesta on esitetty. Esimerkiksi SCHUCHARDTin (1987, s. 109) mukaan bakteerit käyttävät hiiltä ja typpeä suhteessa 4,3 ja vastaavasti sienet 8,6 ja sädesienet 10. Nopean kompostoitumisen kannalta lähtöaineiden C/N-suhteen tulisi olla lähteistä ja pieneliöstöstä riippuen 4 - 22. Jos kompostin C/N-suhde on liian suuri kompostoitumisnopeuden kannalta, sitä voidaan parantaa tyypilannoituksella.

Pieni C/N-suhde johtaa kuitenkin suuriin, jopa yli 50 %:n, typen häviöihin (SCHUCHARDT 1987, s. 109). KIRCHMANNin (1985, s. 66) mukaan kompostoitavan lannan typen häviöt ammoniakkinä ovat noin 40 %, kun C/N-suhde on 15 - 18. Tappiot lähes häviävät, kun C/N-suhde on noin 90. Nykyisinkin käytössä olevien kuivitusohjeiden (JEBAUTZKE ja POHLMANN 1966, s. 33, ANTTILA 1969, s. 36, MEHLER ja HEINIG 1968, s. 37) mukaisesti kuivitettaessa C/N-suhde jää emolehmien kuivikepohjissa hieman

Taulukko 2. Selluloosan ja typen sekä hiilen ja typen sopiva suhde eräille pieneliöille (REGAN ja JERIS 1970, s. 19).

Laji	Selluloosan ja typen suhde	C/N-suhde
Bakteerit		
<i>Vibrio nabi</i>	30	13
<i>Vibrio prima</i>	33	15
<i>Spirochaeta cytophaga</i>	47	21
<i>Vibrio sp.</i>	43	19
Sienet		
<i>Coccospora sp.</i>	30	13
<i>Monosporium sp.</i>	25	11
<i>Mycogone nigra</i>	54	21
<i>Botryosporium sp.</i>	48	21
<i>Stachybotrys sp.</i>	49	22

alle 30:n, jolloin tappioiden pitäisi olla 25 - 30 %. C/N-suhteen nostaminen noin 40:een kuivitusta lisäämällä pienentäisi tappiot alle 10 %:n. (KIRCHMANN 1985, s. 66.) Tämän tähden kompostoitumisnopeudesta on syytä tinkiä typen häviöiden pienentämisen hyväksi. Pienestä typen puutteesta huolimatta kompostoituminen kulkee hidastuneena loppua kohti, kunhan se on niin nopeaa, että prosessissa syntyvä lämpö riittää kattamaan kompostista tapahtuvan lämpöhukan ja pitämään kompostoitumislämpötilan vielä riittävän korkeana.

Kuivikkeen määrän suhde lannan määrään tulisi olla nykyisten ohjeiden mukaista suurempi, ja kuivikkeen tulisi sisältää enemmän hiiltä suhteessa tyypeen. Kuivikepohjan kompostoinnin kannalta olisi edullista, jos pieneliölajit olisivat sellaisia, että ne käyttäisivät suhteellisen paljon hiiltä tyypeen nähden. Kuivikepohjan liika typpi poistuu kompostista ammoniakkinä ja hiili hiilidioksidina. C/N-suhde ei saa kuitenkaan olla liian suuri, koska typen määrä määrittelee pieneliöstön suurimman massan. Pieneliöstön suurin massa puolestaan määrittää suurimman hajoamisnopeuden. Siten, jos C/N-suhde on liian suuri, kompostiin tulee enemmän orgaanista hiiltä kuin pieneliöstö pystyy hajottamaan, eikä suurestakaan syöttömäärästä ole apua lämpötilan kohottamisessa. Oikea lähtöaineiden C/N-suhde riippuu voimakkaasti niiden laadusta, mutta kohtuullinen arvo kuivikepohjassa on 25 - 35 (ANON. 1953, s. 79, PÖPEL 1964, s. 40, GRAY ym. 1971, s. 24). Lisäksi siihen vaikuttaa pieneliöstön laatu. Jos hiililähde on vaikeasti hajoavaa, C/N-suhde saa olla edellistä korkeampi. Kuoren parhaaksi C/N-suhteeksi on todettu 50 (ERIKSSON 1972, s. 10, BÅGSTAM ja SWENSSON 1976, s. 49).

Kompostoitumisen aikana C/N-suhde lähestyy lähtöaineille ominaista arvoa. Yleensä kompostoitumalla saadun humuksen C/N-suhde on 35. Niinpä C/N-suhdetta voidaan pitää eräänä stabilisoitumisen mittarina. Mitä lähempänä C/N-suhde on 35:tä sitä stabiilimpaa materiaali on. Luku ei kuitenkaan ole yksiselitteinen, vaan se riippuu hajottamiseen osallistuvien pieneliöiden laajista ja jonkin verran myös koejärjestelystä. Sopiva C/N-suhde on kuitenkin 25 - 55. (REGAN ja JERIS 1970, s. 19.)

Valmiissa kompostissa pieni C/N-suhde olisi eduksi käytettäessä sitä lannoitteena, koska tällöin komposti ei sido maan typpivarjoja kasvien tarpeiden kustannuksella. C/N-suhteen tulisi valmiissa kompostissa olla 10 - 20, joka on tyyppillinen arvo myös viljelysmaassa. (ANON. 1953, s. 65, JANN ym. 1959, s. 271.) Näin pieni C/N-suhde on kuitenkin mahdoton valmiissa kompostissa. Siten kuivikepohjaa ei pitäisi lannoittaa kompostoinnin aikana valmiin kompostin jatkokäyttöä silmällä pitäen, vaan typen tappioiden välttämiseksi se pitäisi tehdä vasta, kun kuivikepohja levitetään pellolle.

C/P-suhde on kompostin toiminnan kannalta selvästi vähämerkityksellisempi kuin C/N-suhde. Sen tulisi kuitenkin olla 75 - 150. (GRAY ym. 1971, s. 27.)

3.3.3 Komposti-ilman happi- ja hiilidioksidipitoisuus

Kompostieliöstö ei ole kovin vaativa happipitoisuuden suhteen. Sienten itiötuotanto ei merkittävästi laske ainakaan ennen kuin ilman happipitoisuus alittaa 5 til.-%. Jos pitoisuus laskee kuitenkin alle 3 til.-%:a, niiden hiilen hyväksikäyttö heikkenee. Sienirihmaston

kasvu vähenee hitaasti happipitoisuuden laskiessa tämänkin alle. Selvää sienirihmaston kasvun hidastumista ilmenee vasta, kun happipitoisuus alittaa 1,5 til.-%. (WAID 1962, s. 481 - 482.)

Lämpötilan nousuvaiheen aikana myös kompostin hiilidioksidipitoisuus kasvaa saavuttaen suurimman lämpötilan (noin 70 °C) kohdalla suurimman arvonsa. Sen pitoisuus voi olla jopa yli 9,5 %. Korkea hiilidioksidipitoisuus merkitsee samalla korkeaa pieneliöiden aktiivisuutta. (MÜLLER ja KORTE 1976, s. 224.) Sienilajit valikoituvat kompostin eri alueille myös hiilidioksidipitoisuuden mukaan. Esimerkiksi BURGESin ja FENTONin (1953) mukaan maan pintakerroksista eristetyt sienet ovat herkkiä hiilidioksidilla, kun taas syvemmistä eristetyt sienipopulaatiot sietävät jopa 10 til.-%:n hiilidioksidipitoisuuksia.

3.3.4 Kompostin happamuus

Kompostoinnin kuluessa kompostin pH vaihtelee noin 4 pH-yksikön sisällä (MÜLLER ja KORTE 1976, s. 225). Kompostoinnin alussa, ensimmäisellä viikolla kompostin pH laskee noin viiteen happojen muodostumisen takia. Tämän jälkeen orgaanisten happojen häviöiden ja mikrobiologisen hajoamisen sekä mineralisoitumisen kautta orgaanisesta tyypestä vapautuu ammoniakkia, minkä johdosta pH alkaa taas nousta saavuttaen kompostoitumisen lopussa arvon, joka on välillä 8 - 9. (Anon. Ref. FINSTEIN ja MORRIS 1975, s. 142, BLOCK 1965, s. 6 - 7, GOLUEKE ym. 1954, s. 47, HOYLE ja MATTINGLY 1954, s. 59, FORSYTH ja WEBLEY 1948, s. 37.)

Liian pieni happamuus johtaa kompostin tynen häviöihin (HÜMBELIN ym. 1991, s. 85). Toisaalta happamuudesta on se haitta, että se estää lämpötilan nousun. Eräkompostoinnissa kompostin lämpötilan nousemisen termofiiliselle alueelle voidaan estää pitämällä kompostin pH alle kuuden (WILEY 1956, s. 335). Yli 45 °C:n lämpötila edellyttää, että kompostin pH nousee seitsemään. Kun pH on noussut seitsemään kompostin lämpötila voi nousta nopeasti jopa 60 - 70 °C:seen. (GALLER ja DAVEY 1975, s. 143.) Jatkuvatoimisessa kompostissa pH voi suuren syöttönopeuden ansiosta laskea jopa 5,6:een. Tästä huolimatta komposti pysyy edelleen termofiilisella alueella. (SCHULZE 1962, s. 114 - 115.) Jatkuvatoiminen komposti on siten eräkompostia tynen häviöiden kannalta edullisempi. Sen pH voidaan pitää termofiilisestä lämpötilasta huolimatta ammoniakkin vapautumisen estämisen kannalta riittävän alhaisena riittävän suuren syöttömäärän tai kuivikevalinnan avulla. Lisäksi päältä täytettävässä jatkuvatoimisessa kompostissa voi olla erilaisia happamuus- ja lämpötilavyöhykkeitä. Kompostin pintakerros on luonnollisesti hapan, ja sen lämpötila on alempi kuin syvällä olevien kerrosten. Siten se vähentää tehokkaasti syvemmällä syntyvän ammoniakkin haihtumista ilmaan.

Happamuus saattaa olla joskus kompostoitumisen käynnistymisen este korkeassa 55 °C:een lämpötilassa. Kompostoituminen tässä lämpötilassa saadaan alkamaan kuitenkin pitämällä kompostia ensin kolme vuorokautta 28 °C:een lämpötilassa. Käsittely johtaa myös voimakkaaseen homeen kasvuun. Tämä nostaa kompostin pH:n emäksiselle puolelle, ja kompostoituminen voi alkaa. Hyvin happamien jätteiden lämpökäsittelyä ei voida

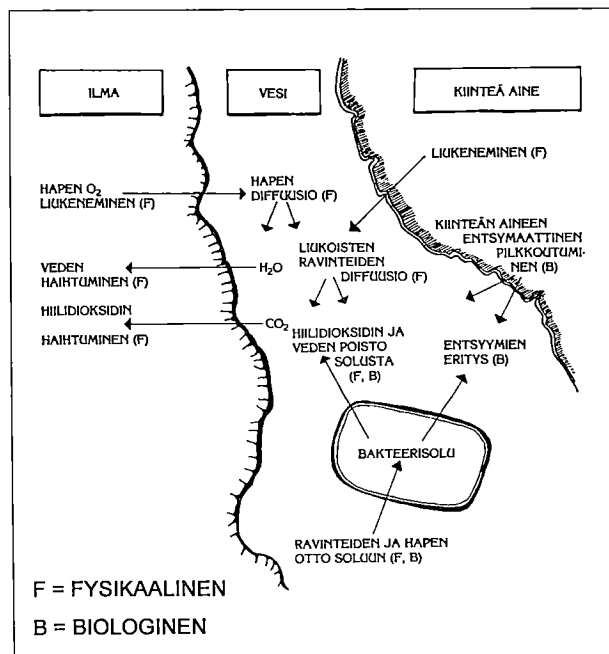
korvata edes kalkin tai ammoniumhydroksidin lisäämisellä (JANN ym. 1959, s. 272 - 273). Kalsiumkarbonaatin tai -hydroksidin lisääminen pienentää GOLUEKEN ym. (1954, s. 47) ja WILEYn (1956, s. 335) mukaan kompostoinnin alun pH:n laskua, mistä on kuitenkin seurauksena typen häviöiden lisääntyminen. Kompostin happamuutta voidaan lisätä käyttämällä happamia materiaaleja. Kylmäkasvattamoiden kuivikepohjissa tarkoituksenmukaisin happamuutta lisäävä materiaali on turve. FINSTEINin ja MORRISin (1975, s. 143) mukaan ei ole kuitenkaan mitään yleistä tarvetta säätää kompostin happamuutta.

3.4. Kompostin rakenne

Yksi kompostointitekniikan tavoitteista on muodostaa kompostiin ja säilyttää siinä sellainen rakenne, että tarvittava kaasujen vaihto on mahdollinen. Kompostin rakenteeseen voidaan vaikuttaa poistamalla kompostista kosteutta ylimääräisellä ilmastuksella tai lisäämällä siihen kosteutta sitovia materiaaleja. Kuivikelajin lisäksi kuivikemateriaalin esikäsittely vaikuttaa oleellisesti kuivikepohjan rakenteeseen. Kuivikkeen lisäämisen jälkeen kompostin rakenteeseen voidaan vaikuttaa vielä itse kompostia mekaanisesti käsittelemällä. Sopivia keinoja kompostin rakenteen parantamiseen ovat esimerkiksi kääntäminen, sekoittaminen ja ilmastaminen, yhdessä tai erikseen. (SCHUCHARDT 1987, s. 109, 114.)

Kompostin voidaan käsittää sen rakenteen kannalta koostuvan kolmesta faasista. Ne ovat kiinteä, nestemäinen ja kaasumainen. Kaikkien niiden olemassaolo on tarpeen kompostin toiminnan kannalta, kuten kuvasta 1 voidaan todeta. Näistä kiinteä faasi muodostaa kompostin rungon. Nestefaasi taas kostuttaa kiinteän faasin kastelemalla sen läpikotaisin tai pidättymällä siihen. Kaasumainen faasi puolestaan muodostaa kiinteän ja nestefaasin muodostamaan yhdistelmään huokoisen rakenteen, joka on vapaassa yhteydessä ympäröivään ilmaan tai jota pitkin koneellinen ilmastus voidaan järjestää. Kaasumaisen faasin muodostama kompostin ilmatila on varsin keskeinen asia, koska vain sitä

kautta kompostin aerobit pieneliöt saavat tarvitsemansa hapen. Kompostin ilmatilavuusosa voidaan määrittellä kaavan 1 mukaan. (SCHUCHARDT 1987, s. 108.)



Kuva 1. Kompostiekosysteemi ja joitakin tekijöitä, jotka vaikuttavat kompostoitumisnopeuteen (PAATERO ym. 1984, s. 26).

$$\lambda_L = \frac{\rho_H}{\rho_T}(1 - U_G) - \rho_H U_G \quad (1)$$

- λ_L = ilmatilavuusosa (0 - 1)
 ρ_H = kompostin tilavuuspaino, kg/m³
 U_G = seoksen vesipitoisuus (0 - 1)
 ρ_T = kiinteän faasin tilavuuspaino, kg/m³

Kokonaishuokostilavuusosalla tarkoitetaan kaasumaisen ja nestemäisen faasin täyttämää osaa kompostista, kuten kaavassa 2 on määritetty (SCHUCHARDT 1987, s. 109). Kompostin ilmatilavuusosa voi vaihdella sen kokonaishuokostilavuusosan rajoissa riippuen sen vesipitoisuudesta.

$$\lambda_P = \lambda_L + \lambda_W \quad (2)$$

- λ_P = kokonaishuokostilavuusosa (0 - 1)
 λ_W = nestetilavuusosa (0 - 1)

Huokostilavuusosan ulkopuolinen osa on kuiva-ainetilavuusosaa (kaava 3) (SCHUCHARDT 1987, s. 109).

$$\lambda_T = 1 - \lambda_P \quad (3)$$

- λ_T = kuiva-ainetilavuusosa (0 - 1)

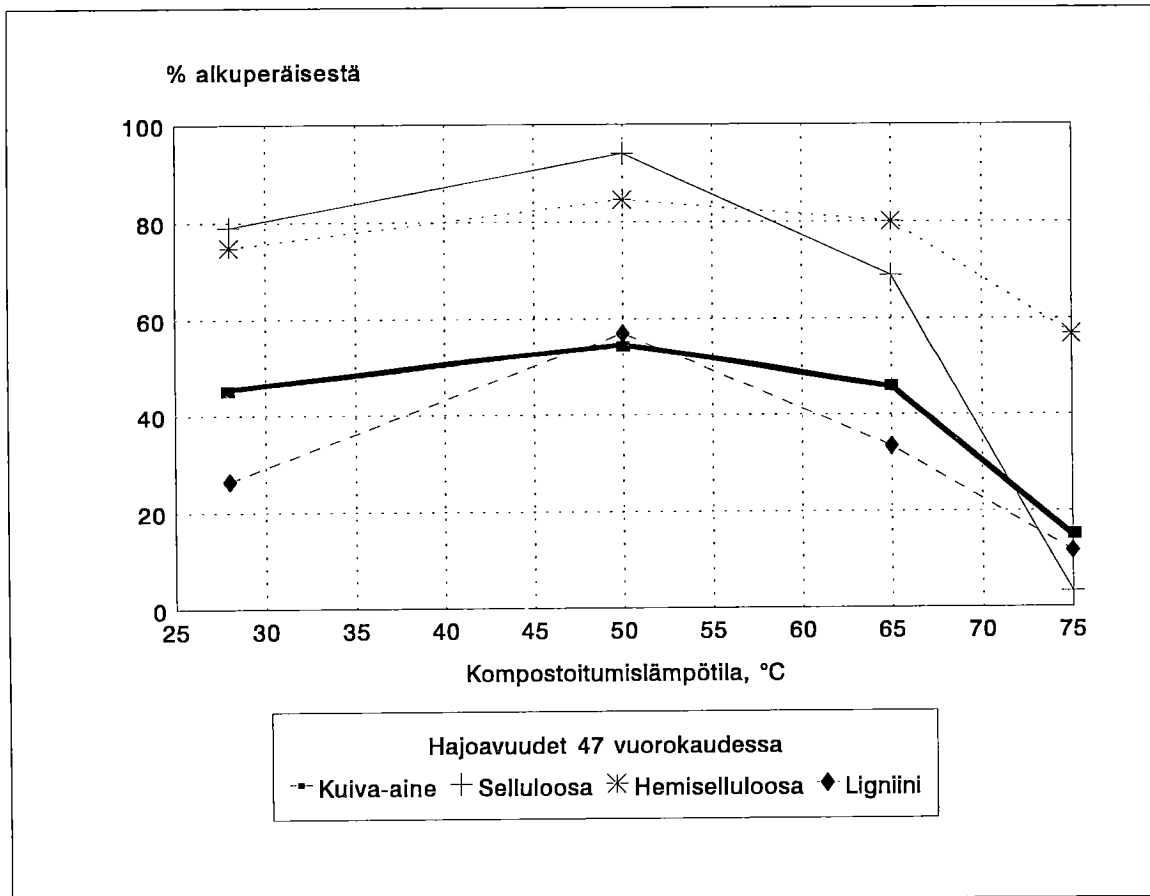
Kompostin vesipitoisuuden ollessa suuri myös ilmatilavuusosa täyttyy kokonaan nesteestä. Kosteuspitoisuuden laskiessa kaasumaisen faasin täyttämien huokosten tilavuusosuus kasvaa, nestemäisen faasin osuus pienenee ja samalla kompostin ilmanvaihto helpottuu. Tällöin kuitenkin kompostin kompostoituminen heikkenee, koska hajotettavien aineiden kuljetus pieneliöiden solujen sisälle hidastuu liuottimen eli veden vähyyden takia. Kaasunvaihtoa säätelee kaasumaisen faasin täyttämien huokosten tilavuuden osuus tilavuudesta suhteessa kiinteän faasin tilavuusosaan. Lannan ja kuivikkeen seoksen oikea kuiva-ainepitoisuus on 40 - 50 %, jolloin ilmatilavuusosa on 37 - 60 % kompostin tilavuudesta (SCHUCHARDT 1987, s. 110).

3.5 Kuiva-aineen hajoaminen

Oljen kuiva-aineen hajoaminen on lähes kokonaan hemiselluloosan ja selluloosan hajoamista. Selluloosa hajoaa sopivassa lämpötilassa jopa 70 %:sesti. Hemiselluloosan hajoavuus on tätä pienempi, noin 50 %. Oljen ligniini ei juuri hajoa. (CHANG 1967, s. 668.) Lannan selluloosa voi hajota lähes kokonaan. Sen hemiselluloosan hajoavuus voi

olla 80 %. Lannan ligniininkin hajoavuus on suurempi kuin öljen, jopa runsaat 40 %. (WAKSMAN ym. 1939a, s. 87 - 89.) HANSENIN (1993, s. 3) kuivikepohjatutkimuksessa tutkimuksessa lannan ja kuivikkeiden kuiva-aineesta hajosi 20 % 5 kuukauden kuluessa.

Lämpötila vaikuttaa kuiva-aineen kaikkien hajoavien osien hajoavuuteen, mutta hieman eri tavoin. WAKSMANIN ym. (1939a) mukaan kuiva-aineen hajoamisen kannalta paras kompostointilämpötila on 50 °C (kuvio 2). Selluloosaa sisältävien jätteiden hajoamisnopeus on suurin lämpötilan ollessa välillä 40 - 50 °C. (SIU 1951, s. 160, 185 - 189, 275, JERIS ja REGAN 1973a, s. 13.) Koska hajoavuus on erilainen eri kompostointilämpötiloissa, ei sopimatonta kompostointilämpötilaa voida kompensoida pidemmällä kompostointiajalla, vaan kompostin lämpötilaa on säädettävä koko kompostoinnin ajan suurimman hajoavuuden saavuttamiseksi. Jos kompostin lämpötilaa ylläpidetään ulkopuolisen lämmönlähteen turvin, saattaa käydä niin, että hajoamisnopeus ei kasvakaan lämpötilan nousun myötä. Täten lämpötila ei juuri vaikuta lannoittamattoman kaarnakompostin hapenottoaktiivisuuteen, koska sen tyypipitoisuuden alhaisuus rajoittaa pieneliöstön kasvua. (CAPPAERT ym. 1976, s. 18.) Suuri selluloosapitoisuus lisää sen hajoamisnopeutta, mutta hajoavan selluloosan osuus pienenee (GYLLENBERG 1952, s. 185 - 187). Erot eräiden selluloosaa hajottavien bakteerilajien hajotusnopeuksien välillä selviävät taulukosta 3. Meso- ja termofiilien bakteerilajien hajotusnopeuksien välillä ei ole selvää kategorista eroa.



Kuvio 2. Lämpötilan vaikutus hevosen lannan kuiva-aineen eri osien hajoavuuteen (WAKSMAN 1939a).

Taulukko 3. Eräiden selluloosaa hajottavien bakteerien hajotusnopeus niiden hajottaman materiaalin osuutena koko materiaalista (REGAN ja JERIS 1970, s. 18).

Laji	Hajotusaika, vrk	Hajonneen materiaalin osuus, %
Mesofiilit bakteerit Viljely 30 °C:ssa		
<i>Chaetomium globosum</i>	3	14
<i>Humicola sp.</i>	3	50
<i>Myrothecium verrucara</i>	3	41
<i>Sporocytophaga myxocoides</i>	3	50
<i>Cellomonus sp.</i>	3	48
Termofiilit bakteerit Viljely 45 °C:ssa		
<i>Aspergillus fumigatus</i>	4	40 - 50
<i>Humicola griseae</i>	3	40 - 50
<i>Coprinus sp.</i>	4	30 - 40
<i>Actinomyces thermophilus</i>	4	30 - 40

Yleensä kompostoinnissa on tehokkain sekapopulaatio, johon kuuluu sieniä, bakteereita ja sädesieniä. Näistä luonnon sekapopulaatioista suurin kuiva-aineen hajoavuus saavutetaan populaatioilla, jotka on eristetty olosuhteista, joissa aiottu kompostointi on tarkoitus toteuttaa (WAKSMAN ja CORDON 1939, s. 221). Bakteerien ja sädesienien selluloosan hajotus on erittäin hidasta verrattuna sienten vastaavaan. Ainoastaan sienien avulla voidaan saavuttaa merkittävää kompostoitumista, mutta niidenkään avulla ei yllätä sekapopulaatioiden tehokkuuteen. Bakteerien avulla kompostointi säästää kuitenkin eniten kompostin typpivaroja. Termofiilisten sienten hajotustoiminta puolestaan kohottaa vesiliukoisten orgaanisten aineiden määrää valmiissa kompostissa. (KÄRKKÄINEN 1977, s. 361, WAKSMAN ja CORDON 1939, s. 218, 221, WAKSMAN ym. 1939a, s. 87 - 89, WAKSMAN ym. 1939b, s. 47, 53, WAKSMAN ja CORDON 1938, s. 201.) Oljen hajoavuutta voidaan lisätä erilaisilla kemiallisella ja biologisilla käsittelyillä, mutta hyöty ei kuitenkaan kata kustannuksia, vaan mieluummin kannattaa lisätä kuivitusta (REXEN ja VESTERGAARD-THOMSEN 1976, s. 82, MØLLER 1977, s. 27 - 29).

Eri lähteistä peräisin olevan kuiva-aineen ja siinä olevan selluloosan, hemiselluloosan ja ligniinin hajoavuus on erilainen. Erot aiheutuvat kasvimateriaalien kemiallisen koostumuksen eroista. Erityisesti selluloosan, hemiselluloosan ja ligniinin hajoavuuteen vaikuttaa käytettävissä olevan typen määrä. Näitä helpommin hajoavaa vesiliukoista materiaalia hajottavat pieneliöt pystyvät käyttämään hyväkseen myös ilmakehän typpeä, eikä sen hajoaminen ole siten yhtä riippuvaista kompostin typpimäärästä kuin selluloosan, hemiselluloosan ja ligniinin. Kemiallisen koostumuksensa takia esimerkiksi vehnäoljen ja rypsin ligniini hajoaa huonommin kuin sinimailasen ja ohran oljen. Lisäksi kuiva-aineen ja sen selluloosan, hemiselluloosan ja ligniinin hajoavuus pienenee kasvin ikääntyessä kemiallisen koostumuksen muutosten takia. Erojen suuruus riippuu lisäksi kuiva-ainetta hajottavasta pieneliöpopulaatiosta. Kasvimassan ikääntyessä ligniinin hajoavuus pienenee, koska se

sisältää tällöin enemmän metoksyylä. Selluloosan ja ligniinin väliset sidokset ovat luonnonpuussa kemiallisia eikä fysikaalisia, kuten niiden keinotekoisissa seoksissa. Jotta kompostoituminen olisi nopeaa, luonnonpuun ligniinipitoisuuden tulisi olla alle 1 %. 8 %:n ligniinipitoisuus luonnonpuussa pienentää sen selluloosan hajoavuuden puoleen verrattuna siihen, että ligniiniä ei olisi lainkaan. (WAKSMAN ja HUTCHINGS 1936, s. 121, 123, TENNEY ja WAKSMAN 1929, s. 60 - 83, TENNEY ja WAKSMAN 1930, s. 147 - 160, WAKSMAN ja CORDON 1938, s. 201, 204 - 206.)

Sienet hajottavat ligniiniä muita pieneliöitä tehokkaammin. Eräät tietyt pääasiassa korkeampiin sieniin kuuluvat pieneliöt ovat niin erikoistuneet hajottamaan ligniiniä, että niiden ligniinin hajotuskyky on jopa parempi kuin niiden selluloosan ja hemiselluloosan hajotuskyky. (WEHMER 1925, s. 105, WAKSMAN ja CORDON 1938, s. 200.) Pieneliöt käyttävät ligniinin hiiltä hyvin tehokkaasti omiin rakenteisiinsa, jolloin hiilidioksidin vapautuminen on vähäistä suhteessa hajotettuun massaan. Lisäksi ligniiniä tehokkaasti hajottavat pieneliöt käyttävät rakenteisiinsa huomattavia määriä ligniiniä sellaisenaan. (WAKSMAN ja HUTCHINGS 1936, s. 123, 129.)

3.6 Kompostin hapenkulutus

Kompostin hapenkulutus vaihtelee laajasti olosuhteista ja hajoavasta materiaalista riippuen. Se kuvastaa kompostin hajoamisnopeutta ja lämmöntuotantoa. Nämä ovat siten suurimmillaan, kun hapenkulutus on suurimmillaan eli 45 - 55 °C:ssa. (SCHULZE 1960, s. 36, MUHONEN 1985, s. 6.) Kompostin hapenkulutus ja lämmöntuotanto eri lämpötiloissa on esitetty taulukossa 4. Tavallisimmat aineet vaativat 0,4 - 4 g happea orgaanisen aineen grammaa kohti hajotukseen kokonaan keskiarvon ollessa noin 1,5 g/g orgaanista ainetta. Lihanaudan lannan kuiva-aineessa orgaanista ainetta on noin 80 % (KOIVISTO ym. 1986, s. 2 - 4). Lihakarjan lannan täydelliseen hajoamiseen tarvitaan siten noin 0,3 - 3,2 g happea g hajonnutta kuiva-ainetta.

Kompostin hapenkulutus ei selitä kompostoitumisnopeutta hyvin, jos hapesta on pula, koska tällöin vapautuneen hiilidioksidin suhde otettuun happimäärään kasvaa eli suurempi osa hiilidioksidissa vapautuvasta hapesta on peräisin biomassan orgaanisista yhdisteistä eikä ilmakehän vapaista happimolekyyleistä. Tässäkin suhteessa eri sienilajit käyttäytyvät eri tavalla. Teoriassa glukoosin hajotessa täydellisesti hiilidioksidia vapautuu tilavuussuh-

Taulukko 4. Kompostin hapenkulutus ja lämmönmuodostus eri lämpötiloissa (SCHUCHARDT 1982, s. 472, HAUG 1980, s. 81, PAAATERO 1981, s. 8).

Lämpötila, °C	Hapenkulutus, mg/h-g kuiva-ainetta	Lämmöntuotanto kuiva-ainetta kohti	
		J/h-g	W/kg
20	0,2	2,8	0,8
30	1,4	19,6	5,4
40	2,8	39,2	10,9
50	3,5	49,0	13,6
60	3,1	43,4	12,1
70	1,3	18,2	5,1

Lämpöä on laskettu vapautuvan 14 J/mg happea.

teessa yksi sitoutuvaan happeen nähden. Jos kompostissa vallitsee hyvin alhainen happipitoisuus, tämä suhde saattaa esimerkiksi *Mucor hiemalis*-sienen vaikuttaessa olla jopa yli 18. Normaalisissa happipitoisuuksissa esimerkiksi kompostoitavissa raiheinän juurimassaa tämä suhde on eräillä sienilajeilla niinkin kapealla välillä kuin 0,88 - 1,48. (WAID 1962, s. 484.)

Eri pieneliölajit käyttävät eri tavalla hyväkseen happea eri happipitoisuuksissa. Useimpien raiheinän juurien pinnalta eristettyjen sienien hapenkulutus säilyy varsin muuttumattomana vajaan 4 %:n happipitoisuuteen saakka, ja pienenee vasta tämän pitoisuuden alapuolella jyrkästi. Esimerkiksi juuren sisäkerroksista eristettyjen sienien hapenkulutuksen jyrkän muutoksen alku on noin 2 %:n happipitoisuuden kohdalla. Pieneen happipitoisuuteen tottuneiden sienien tuottaman hiilidioksidin suhde kulutettuun ilmakehän happeen on pienempi kuin normaaliin happipitoisuuteen tottuneiden. Lisäksi normaaliin happipitoisuuteen sopeutuneet sienipopulaatiot eivät kykene ottamaan happea vähähappisesta ilmasta yhtä tehokkaasti kuin siihen sopeutuneet, vaan ne käyttävät matalissa happipitoisuuksissa toimiessaan mieluummin hiililähteitä, joiden hapettamiseen ne tarvitsevat vähemmän vapaata happea. Eräät sienet sopeutuvat kuitenkin mataliin happipitoisuuksiin varsin nopeasti. Niinpä esimerkiksi *Fusarium culmorum*in kyky sietää alhaisia happipitoisuuksia paranee, kun se joutuu olemaan pitkään tällaisissa olosuhteissa. (WAID 1962, s. 484 - 486.) Hapenkulutuksen lasku merkitsee kompostoitumisen hidastumista. Sienet sietävät kuitenkin varsin alhaisia happipitoisuuksia kompostoitumisen tästä hidastumatta.

Jatkuvuustilassa jatkuvatoimisen kompostin, kuten kuivikepohjan, hapenkulutus riippuu syöttöaineiden syöttönopeudesta. Jos kuiva-ainepitoisuudeltaan 30 %:sia kuivikkeita jaetaan emoa kohti 7 kg/pv, jos emoa kohti kuivikepohjalle tulee 13,8 kg/pv kuiva-ainepitoisuudeltaan 10 %:sta lantaa ja jos näiden syöttöaineiden kuiva-aineen hajoavuus 20 %, kuiva-ainetta hajoaa emolehmien osakuivikepohjassa 29 g/h emoa kohti. Tämän kompostoitumiseen tarvitaan happea 8,7 - 92,8 g/h eli 40 - 400 g/h tai 30 - 310 l/h ilmaa. Emon makuualue voi olla rajoitettu 3,5 m²:iin, jolloin ilmastus olisi noin 8,6 - 88,5 l/h·m² kuivikepohjaa. Käytännössä ilmastuksen pitäisi kuitenkin olla voimakkaampaa, jotta osa kuivikepohjasta ei joutuisi anaerobiin tilaan. Lisäksi on varauduttava oletettua suurempaan kuiva-aineen hajoavuuteen. Edellä esitetyillä ehdoilla ehkä noin 1 kg ilmaa emolehmää kohti tunnissa olisi sopiva ilmastusmäärä.

3.7 Lämmöntuotanto ja -johtavuus

Aerobinen hajoaminen eli kompostoituminen on lämmöntuotannon kannalta paljon tehokkaampaa kuin anaerobinen eli mätäneminen. Esimerkiksi glukoosin energiasisällöstä vapautuu lämpönä noin 41 %, kun se hajoaa aerobisesti, ja vain noin 3 %, kun se hajoaa anaerobisesti (KOIVISTO ym. 1986, s. 1). Aerobisen hajoamisen lämmöntuotanto siten noin 13-kertainen hajonnutta massaa kohti anaerobisen hajoamisen lämmöntuotantoon verrattuna. Mätänemisessä 89 % energiasta vapautuu metaanina, ja soluihin varastoituu vain 8 % lähtöaineiden energiasta. Aerobisessa hajoamisessa soluihin sitoutuneen energian osuus

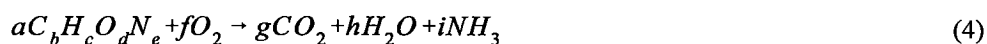
on 59 %. (KOIVISTO ym. 1986, s. 1.) Metaanina vapautuva energia on hyödytöntä ja suorastaan vaarallista joutuessaan kuivikepohjalla elävien eläimien ympäristöön. Lisäksi käymisessä vapautuvat pahanhajuiset ja myrkylliset kaasut haittaavat eläimiä ja hoitajia. Mätänevän kuivikepohjan lämmöntuotanto jää niin pieneksi, että se jäätyy pakkasella. Aerobin hajotuksen hyödylliseksi nettoenergiaksi voidaan kaikissa tapauksissa laskea ainakin soluihin sitoutunut energia. Anaerobisen hajotuksen hukkaprosentiksi voidaan lämmöntuotanto vapautuvan metaanin lisäksi hukaksi lukien laskea 92 %, kun se aerobisessa hajotuksessa samalla tavalla laskien on vain 41 %.

Kompostoitumisessa vapautuva lämpö voidaan laskea hajoavan aineen kemiallisen koostumuksen perusteella. Kompostointilämmön selvittämiseksi on materiaalin sisältämien kemiallisten komponenttien määrä selvitettävä ja ilmoitettava bruttokaavana. (MUHONEN 1985, s. 6 - 7.) Taulukossa 5 on esitetty eräiden kompostoinnin kannalta keskeisten materiaalien bruttokaavat. Kun hajoavan materiaalin kemiallinen koostumus tunnetaan ja se hajoaa kokonaan, kompostoituminen voidaan esittää kemiallisena kaavana 4 (HAUG 1980, s. 247 - 252). Edelleen kompostoitumisen tarkka lämmöntuotanto saadaan kaavasta 5 (ORNING 1969, s. 20).

Taulukko 5. Eräiden kompostoinnin kannalta keskeisten materiaalien kemiallisia bruttokaavoja (HAUG 1980, s. 249, Haug ym. ja McCarty Ref. HAUG 1980, s. 249, Haug ym. Ref. PAATERO 1981, s. 8, ORNING 1969, s. 20).

Materiaali	Tyypillinen kemiallinen koostumus
Hiilihydraatit	$(C_6H_{10}O_5)_x$
Valkuaisaineet	$C_6H_{24}O_5N_4$
Rasva ja öljy	$C_{50}H_{90}O_6$
Liete ja raakaliete (primääri)	$C_{22}H_{39}O_{10}N$
Ylijäämäliete (yhdyskuntaliete)	$C_{10}H_{19}O_3N$
Yhdyskuntajäte (koko orgaaninen osa)	$C_{64}H_{104}O_{37}N$ tai $C_{99}H_{148}O_{59}N$
Puu	$C_{295}H_{420}O_{186}N_4$
Ruoho	$C_{23}H_{38}O_{17}N$
Ruokajäte	$C_{16}H_{27}O_8N$
Bakteerit	$C_5H_7O_2N$
Sienet	$C_{10}H_{17}O_6N$

Hiilen, vedyn, hapen ja typen massaosuudet tuhkattomasta kuiva-aineesta kaavassa 5 saadaan kertomalla bruttokaavassa 4 luku b luvulla 0,012, luku c luvulla 0,001, luku d luvulla 0,016 ja luku e luvulla 0,014 ja jakamalla nämä summalla: $b + c + d + e$. Nämä neljä alkuainetta käsittävät noin 90 % tuhkattomasta kuiva-aineesta. Rikin osuus on alle yhden prosentin, joten se voidaan yleensä jättää huomiotta. Kuiva-aineen energiasisältö saadaan kertomalla tuhkattoman kuiva-aineen energiasisältö tuhkattoman kuiva-aineen osuudella kuiva-aineesta. Kompostoinnin kannalta saadaan edellistä parempi suure lukemalla tuhkaan varsinaisen tuhkan lisäksi metalli, lasi, keramiikka ja kivet. Koko massan energiasisältö saadaan kertomalla tuhkattoman kuiva-aineen energiasisältö vielä kuiva-ainepitoisuudella.



$$Q = 33,8 \cdot m_C + 144 \cdot m_H - 18,0 \cdot m_O + 9,5 \cdot m_S \quad (5)$$

- Q = tuhkattoman kuiva-aineen energiasisältö, MJ/kg
 m_C = tuhkattoman kuiva-aineen sisältämä hiilen massa, kg/kg
 m_H = tuhkattoman kuiva-aineen sisältämä vedyn massa, kg/kg
 m_O = tuhkattoman kuiva-aineen sisältämä hapen massa, kg/kg
 m_S = tuhkattoman kuiva-aineen sisältämän rikin massa, kg/kg

Jatkuvatoimisen kompostin lämmöntuotantoa voidaan lisätä ainoastaan lisäämällä tuhkattoman kuiva-aineen syöttöä. Tuhkattomassa kuiva-aineessa vedyn ja hiilen suhde on lähes vakio, joten käytännössä jatkuvatoimisen kompostin lämmöntuotantoa lisätään lisäämällä orgaanisen hiilen syöttöä. Hiilen syöttömäärä on siinäkin mielessä käytännöllisempi peruste syöttömäärän määrittämiseen kuin esimerkiksi vety, että lähtöaineiden orgaaninen hiili yleensä analysoidaan jo C/N-suhteen selvittämiseksi, mutta vedyn pitoisuudelle ei olisi muuta käyttöä. Typen syöttömäärä vaikuttaa lähinnä vain kompostoitumisnopeuteen, koska kompostin hajoamistuotteet ovat pääasiassa hiilidioksidia ja vettä eli hiilen ja vedyn palamistuotteita ja koska typen oksidien osuus hajoamistuotteista on vähäinen. Suurella tyypipitoisuudella saavutettu suurempi kuiva-aineen hajoavuus lisää lämmöntuotantoa kuitenkin jonkin verran. Eräkompostissa myös hiilen ja typen kokonaismäärä lähtötilanteessa vaikuttaa lämmöntuotantoon.

Taulukko 6. Lihakarjan ja lypsylehmien lannan sekä oljen lämpöarvo (MARTIN ym. 1983, s. 141 - 145, KLEIN 1972, s. 8).

Hajoava materiaali	Lämpöarvo, MJ/kg ka	Hajoavuus, %	Hyödynnettävissä oleva lämpöarvo, MJ/kg ka
Lihakarjan lanta	12,2 - 20,4	22	2,7 - 4,5
Lypsylehmän lanta	10,5 - 20,7	49	5,1 - 10,1
Olki	17,4	30	5,2

Lihakarjan ja lypsylehmien lannan ja oljen lämpöarvo on esitetty taulukossa 6. Lihakarjan lannasta noin puolet tulee osakuivikepohjalle. Tyypillinen kuivitusmäärä kuivikepohjalla on puolet sille tulevan lannan painosta (JEBAUTZKE ja POHLMANN 1966, s. 33, ANTTILA 1969, s. 36, MEHLER ja HEINIG 1968, s. 37, KAPUINEN 1993, s. 31). Lypsylehmän lannan lämpöarvo on suurinpiirtein yhtä suuri kuin lihakarjankin lannan, mutta kompostoinnissa sen lämpöarvosta vapautuu huomattavasti suurempi osa, noin 50 %. Taulukossa 7 on esitetty laskelma lihakarjan ja lypsylehmien osakuivikepohjien lämmöntuotannosta. Kuiva-aineen hajoavuuden poiketessa näissä laskelmissa esitetyistä lämmöntuotanto muuttuu vastaavasti. Lihakarjan lannan merkitys on noin 16 - 24 % ja lypsylehmien 22 - 36 % kuivikepohjan lämmöntuotannosta. Siten kuivikkeiden merkitys kuivikepohjan lämmöntuotannossa on selvästi suurempi kuin lannan.

Taulukko 7. Lihakarjan ja lypsylehmien osakuivikepohjan lämpöteho.

	Kuiva-ainetta, kg/vrk		Osakuivikepohjien kompostoitumislämpöteho				Lannan osuus kuivikepohjan kompostoitumis- lämpötehosta, %
	lannasta	oljesta	lanta, W/lehmä	kuivike, W/lehmä	yhteensä, W/lehmä	yhteensä, W/m ²	
Lihakarja	1,3 - 1,5	4,4 - 5,3	40 - 80	265 - 320	305 - 400	90 - 110	13 - 20
Lypsy- lehmät	2,3	8,0	135 - 270	480	615 - 750	175 - 215	22 - 36

Kompostoinnissa vapautuva reaktiolämpö voidaan laskea myös kompostoitavan materiaalin kemiallisen hapenkulutuksen perusteella. Vapautuva lämpö on noin 14,2 MJ/kg käytettyä happea (HAUG 1980, s. 81, PAATERO 1981, s. 8). Kolmas keino kompostin lämmöntuotannon arvioimiseen on arvioida se hiilidioksidin vapautumisnopeuden perusteella. Esimerkiksi ammoniakkin vapautumisen mittaamiseen nähden sen etu on, että hiilidioksidi ei sitoudu vapautumisensa jälkeen uudelleen kompostiin. Lämpöä vapautuu 20,8 kJ/l CO₂ eli 10,6 kJ/g CO₂. Hiilidioksidin muodostumiseen perustuvassa arviossa huomioiduksi tulee kuitenkin ainoastaan hiilen palamisesta syntyvä lämpö. (MUHONEN 1985, s. 8 - 9, NELLER 1918, s. 225.) Neljäs keino kompostin lämmöntuotannon arvioimiseen on kompostin kosteudentuotanto (WILEY ja PEARCE 1957, s. 1019, 1026 - 1030).

HAUGin (1980, s. 283) mukaan kompostin kuiva-aineen ja veden ominaislämmönjohtavuutta ja -kapasiteettia voidaan käsitellä erikseen, koska kompostin ominaislämmönjohtavuus ja -kapasiteetti ovat kummankin osan vastaavien suureiden summa. Kompostin lämmönjohtavuus kahden viikon ikäiselle kompostille, jonka ikäistä kuivikepohjaa kuivikepohjakompostin pinnalla oleva sekoittumiskerros keskimäärin vastaa, voidaan MEARSin ym. (1975, s. 521) mukaan laskea kaavasta 6:

$$\lambda = 0,1538 + 0,00512 \cdot X \quad (6)$$

jossa λ = lämmönjohtavuus, W/m·K

X = kompostin kosteuspitoisuus, %

Kuivikepohjan, jonka kosteuspitoisuus on noin 52 %, lämmönjohtavuus on kaavan 6 mukaan noin 0,42 W/m·K. Tämä arvo vastaa kuitenkin lähinnä kompostoituneen lannan lämmönjohtavuutta, koska kaava 6 oli saatu mittaamalla lämmönjohtavuuksia kompostista, jossa oli käytetty kuiviketta vain noin 5 % lannan määrästä. Vasta kuivitetun kuivikepohjan pintakerroksen lämmönjohtavuus vastaa lähinnä parressa käytetyn kuivikkeen lämmönjohtavuutta. BERGSCHÖLDin ja OHLÉNin (1973, s. 27 - 29) mukaan 47 mm paksun kuivan

ruisolkikerroksen lämmönjohtavuus on noin 0,065 W/m·K. Kun kuivituksesta kuluu aikaa kuivikepohjan pinta kastuu. Haartsenin (Ref. AUTIO 1969, s. 45) mukaan märkien olkien lämmönjohtavuus on noin kaksinkertainen verrattuna kuivien olkien lämmönjohtavuuteen nähden.

3.8 Typen vapautuminen ja sitoutuminen kompostoitumisen aikana

Kun komposti on kypsynyt, sen typpi on suurelta osin sitoutuneena orgaaniseen muotoon joko bakteereihin tai humukseen. Typen sitoutuminen edellyttää kuitenkin kompostoitumisesta hyvin hapellisissa olosuhteissa, sillä vähähappisissa olosuhteissa ammoniakki ei sitoudu eloperäisiin yhdisteisiin (HÜMBELIN ym. 1991, s. 85). Kompostin eloperäiset yhdisteet eivät myöskään stabiloidu hapettomissa olosuhteissa (NOVÁK 1971, s. 63 - 64). Käytännössä tämä edellyttää kompostin happipitoisuuden lisäämistä ilmastuksella. Suurimmillaan sitoutumisaktiiviteetti on, kun kompostin lämpötila on 32 - 38 °C (HÜMBELIN ym. 1991, s. 85). Eräiden lähteiden mukaan typen sitoutuminen olisi tehokkainta edellä mainittua korkeammilla lämpötiloilla. Esimerkiksi WAKSMANIN ym. (1939a, s. 91) mukaan typen sitoutuminen ilmakehästä on tehokkainta noin 50 °C:een lämpötilassa. Tätä korkeammilla ja matalammilla lämpötiloilla sitoutuminen ei ole yhtä tehokasta. Esimerkiksi 28 °C ja 75 °C:n lämpötilassa kokonaistypen määrä vähenee kompostoinnin alkuvaiheessa nopeasti, eikä sitä sen jälkeen enää sitoudu takaisin. Typen sitoutumisen kannalta kuivikepohjan lämpötilan ylärajana voidaan pitää 45 °C, koska lämpötilan noustessa sen yläpuolelle nitrifikaatio estyy (EVANS ym. 1986). Tämä ja kompostin happamuuden häviäminen puolestaan johtavat lannan ja kuivikkeen mukana kuivikepohjiin tulleen ammoniumtypen vapautumiseen ammoniakkinä. Se lisää kuivikepohjan typen tappioita ja ammoniakkikonsentraatioita kuivikepohjan välittömässä läheisyydessä eli eläinten oleskelualueella.

Kuivikepohjakompostissa ja muissakin vastaavissa päältä täytettävissä jatkuvatoimisissa komposteissa voidaan ylläpitää typen sitoutumisen kannalta sopivaa lämpötilaa myös kompostin pohjakerroksissa käyttäen lämmönlähteenä pelkästään kompostia itseään vain kompostin pohjan ollessa eristetty hyvin. Tällöin nopean kompostoitumisen kerros pitää jälkikompostoituvan kompostin pohjakerroksen riittävän lämpimänä, jotta pohjakerroksessa sitoutuu typpeä ilmastusilmasta. Typen sitoutumiseen voidaan vaikuttaa myös kompostoituvan materiaalin koostumuksella. Yleensä kompostin kokonaistypen määrä vähenee kompostoitumisen alkuvaiheessa, mutta loppuvaiheessa typpeä sitovat pieneliöt ottavat sitä takaisin ilmakehästä (WAKSMAN ym. 1939a, s. 91). Nitraattia muodostuu kompostiin sitä myöhemmin mitä alhaisempi sen typpipitoisuus on (FINSTEIN ja MORRIS 1975, s. 142). Typpeä sitoutuu merkittäviä määriä myös kompostin jälkikypsytysvaiheessa. Typen sitoutumista voidaan tehostaa sekoittamalla kompostia jälkikypsytysvaiheen aikana (HÜMBELIN ym. 1991, s. 85).

Kuivikeseoksen hiilen muoto vaikuttaa typen sitoutumiseen. Kuivikkeiden ligniini sitoo osan pieneliöiden tuottamasta valkuaisaineesta, jolloin osa tyypestä joutuu pois kierrosta

(WAKSMAN ja GORDON 1938, s. 205). Tämä typen sitoutuminen on hyödyllistä kompostoituneen materiaalin typpitappioiden kannalta, mutta se saattaa hidastaa kompostoitumista, jos lähtöaineissa on vähän typpeä. Suuri ligniinipitoisuus saattaa estää selluloosan hajoamisen jopa kokonaan. Sen tähden on toivottavaa, että lähtöaineissa on ligniiniä jonkin verran typen sitomiseksi, mutta ei liikaa, jotta kompostoituminen ei hidastuisi merkittävästi. Myös hajottavalla pieneliöpopulaatiolla on vaikutusta typen tappioihin.

4 KUIVIKKEIDEN OMINAISUUDET

4.1 Käyttökelpoisen kuivikemateriaalin peruslaatuvaatimukset

Käytettävän kuivikemateriaalin tulee olla käsiteltävissä ilman terveydellisiä haittoja. Näihin terveydellisiin haittoihin vaikuttaa keskeisimmin kuivikemateriaalin kosteuspitoisuus. Varsinkin oljen liiallinen varastointikosteus johtaa kuivikkeen lämpenemiseen ja homepölyjen muodostumiseen. Turve taas pölyää liian kuivana. Jotta materiaali olisi käyttökelpoista kuivikkeena, on sen kosteudensitomiskyvyn varastoitavissa ja käsiteltävissä olevassa kosteuspitoisuudessa oltava riittävä. Sen on lisäksi säilytettävä kosteudenpidätyskykynsä paineenalaisessa tilassa ja sidottava kuivikepohjalle tulevan virtsan ammoniumtyyppi nopeasti, koska muutoin se ehtii haihtua ilmaan. Kuivikemateriaali ei myöskään saa sisältää taudinaiheuttajia, koska se joutuu tekemisiin eläinten kanssa kuivikepohjan pinnalla jo ennen kuin siitä muodostuu varsinainen osa kompostia.

4.2 Kuivikkeiden fysikaaliset ominaisuudet

4.2.1 Kuivikkeiden kosteuspitoisuus ja pölyäminen

Kuivikkeen käyttökosteuspitoisuus on useimmille kuivikelajeille vakio. Se määräytyy useimmiten kuivikelajille tyypillisen korjuu- ja varastointikosteuspitoisuuden perusteella. Ylärajan kuivikkeen kosteuspitoisuudelle asettaa sen säilyvyys. Esimerkiksi liian kostea olki kompostoituu jo varastossa, ja siihen muodostuu homepölyä. Oljen kosteuspitoisuus voi enimmillään olla noin 30 %. Kuiviketurpeen kosteuspitoisuus saa olla korkeintaan 40 - 50 %. Toisaalta se ei voi olla juuri kuivempaa, koska turpeen kosteuspitoisuuden alaraja määräytyy useimmiten sen pölyävyyden perusteella. Kuiviketurpeen kosteuspitoisuus onkin yleisimmin 40 - 45 %. Kuivikelajeista juuri turve on tyypilliseltä käyttökosteudeltaan kosteinta sen pölyävyyden takia. Jyrsinturve on yleensä liian pölyävää kuiviketurpeeksi hienojakoisuutensa takia. Myös edellistä karkeajakoisemman varsinaisen kuiviketurpeen käyttö kuivikkeena lisää merkittävästi navettailman pölyä. (PELTOLA ym. 1986, s. 19, 57, 73.) Kun PELTOLAn ym. (1986, s. 73) kokeissa parsia kuivitettiin pelkällä turpeella, navettailman pölypitoisuus oli lehmien takana 1,24 mg/m³ ilmaa ja vastaavasti pelkillä oljilla kuivittaessa vain 0,10 mg/m³ ilmaa eli turpeella kuivitettaessa noin 12,4 kertaa suurempi kuin oljella kuivitettaessa. Turvekuivituksesta aiheutunut ilman pölypitoisuus ei

ollut kuitenkin liian suuri, koska sallittu orgaanisen pölyn jatkuva määrä ilmassa on 5 mg/m^3 ja hetkellisesti alle 15 minuutin ajan 10 mg/m^3 (ANON. 1993, s. 16). Olki ei pölyä kuivanakaan haitallisessa määrin.

4.2.2 Kuivikkeen kosteudensitomiskyky

Kuivikkeen kosteudensitomiskykyä kuivikepohjassa ei voida arvioida pelkästään sen vedensitomiskyvyn perusteella, koska kuivikkeiden veden- ja virtsansitomiskyvyt eroavat toisistaan. Toisten kuivikemateriaalien virtsansitomiskyky on suurempi kuin niiden vedensitomiskyky ja toisten taas päinvastoin, kuten taulukosta 8 voidaan todeta. Esimerkiksi oljen virtsansitomiskyky on 28 % huonompi ja turpeen 8 % parempi kuin niiden vedensitomiskyky. Kuivikkeen kosteudensitomiskyky määräytyy sen veden- ja virtsansitomiskyvyn perusteella veden ja virtsan osuuksien mukaan ja asettuu suuruudeltaan niiden väliin. Suurin osa kuivikepohjan kosteudesta on lannan ja virtsan kosteutta. Mitä kosteampaa kuivike on, sitä suurempi osa kuivikepohjan kosteudesta on vettä eikä virtsaa, ja sitä lähempänä myös sen kosteudensitomiskyky on sen vedensitomiskykyä.

Taulukko 8. Kuivikkeiden kuiva-aineen veden- ja virtsansitomiskyvyt ilman ja ulkopuolisen paineen kanssa (PELTOLA ym. 1986, s. 28 - 29).

Kuivike	Sitomiskyky, kg/kg kuiva-ainetta				Paineenalainen ilman ulkopuolista painetta	
	Ilman ulkopuolista painetta		Ulkopuolinen paine 500 kPa		olevasta, %	
	Vesi	Virtsa	Vesi	Virtsa	Vesi	Virtsa
Turve	8,10	8,76	2,07	3,32	26	38
Silputtu ohranolki	4,62	3,34	1,70	1,79	37	54
Sahanpuru	2,15	2,12	2,18	1,61	100	76
Kutterinlastu	4,80	4,42	2,08	2,41	51	55

Kuivikkeiden kosteuden laadun lisäksi kuivikkeen kosteudensitomiskykyyn vaikuttaa siihen kohdistuva paine. Kun eri kuivikemateriaaleja liotetaan lantavedessä ja sen jälkeen puristetaan 500 kPa:n paineella, näiden lopulliset kosteuspitoisuudet eroavat toisistaan taulukon 8 mukaan. Nautojen sorkkien aiheuttama paine kuivikepohjaan on hieman tätä pienempi eli 340 - 440 kPa (JAKOB ja JAKOB 1976, s. 4).

Kuivikkeiden kuiva-aine pystyy puristuksen alla sitomaan taulukossa 9 esitettyä kosteuspitoisuutta vastaavan määrän kosteutta riippuen virtsan ja veden osuudesta kosteuspitoisuudessa. Kuivikepohjassa oljen kosteudensitomiskyky on lähempänä silputun kuin pitkän oljen kosteudensitomiskykyä, koska eläimet murskaavat sorkillaan pitkänkin jaettua olkea. Turpeen kuiva-aineen kyky pidättää virtsasta peräisin olevaa kosteutta paineenkin alla on selvästi suurempi kuin oljen (taulukko 8). Käytännössä kuivikepohjasta ei valu virtsaa tai lantavettä ympäristöön vielä siinäkin vaiheessa, kun sen rakenne tuhoutuu täysin eläinten painon alla, kuten olkea kuivikkeena käytettäessä voi käydä.

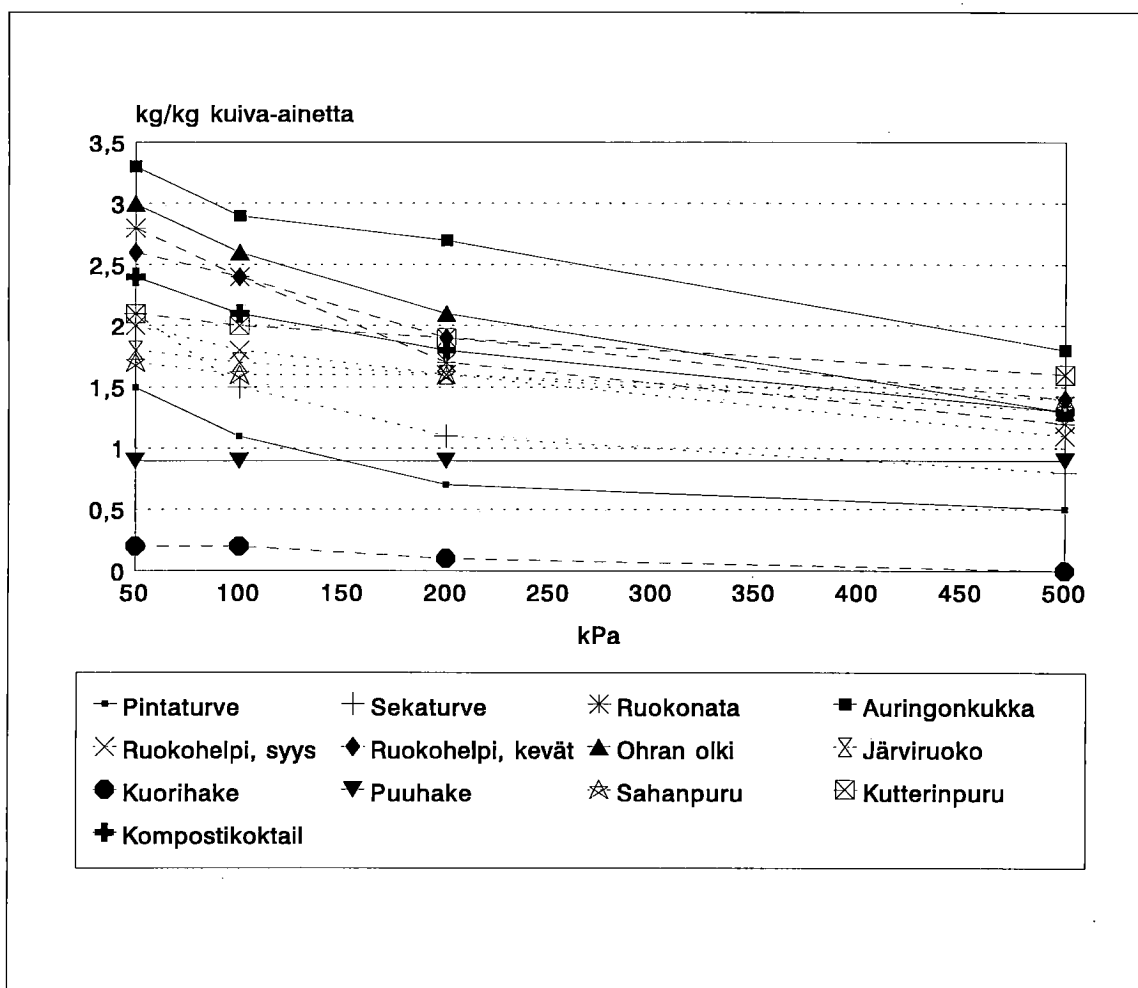
Hakkeen kuiva-aineen vedensitomiskyky on tehtyjen omien mittausten mukaan 1,8 kg/kg kuiva-ainetta, mikä on hieman huonompi kuin sahanpurun. Tämä vastaa 64 %:n kosteuspitoisuutta. Puristettaessa sitä 500 kPa:n voimalla sen vedensitomiskyky laski 26 %. Puristuksen alla sen vedensitomiskyky on 1,4 kg/kg kuiva-ainetta, mikä vastaa 58 %:n kosteuspitoisuutta.

PASILAn (1995, s. 81, 175) mukaan puuhakkeen vedensitomiskyky on 1,2 kg/kg kuiva-ainetta puristusvoiman ollessa 0 - 500 kPa. Hakkeen vedensitomiskyky paineen on alla lähes sama kuin oljen, mutta sen ammoniakinsitomiskyky on vain kolmannes tai puolet oljen vastaavasta. Virtsansitomiskykyä ei määritetty. Sahanpurunkaan kuiva-aineen vedensitomiskyky ei juuri muutu puristuksen aikana. Sahanpurun virtsansitomiskyky on käytännössä sama kuin sen vedensitomiskykykin.

Turpeen kosteuspitoisuus jää paineen alla selvästi pienemmäksi kuin muiden kuivikemateriaalien. Tämä suurin mahdollinen kosteuspitoisuus on riippumaton kuivikkeen alkuperäisestä kosteuspitoisuudesta. Sen sijaan kuivikkeen käytettävissä oleva veden- tai virtsansitomiskyky riippuu kuivikkeen alkuperäisestä kosteudesta. Käytettävissä on ainoastaan se osa veden- tai virtsansitomiskyvystä, joka on jäljellä kuivikkeen oman kosteuden pidättämisen jälkeen. Siten esimerkiksi kosteuspitoisuudeltaan 63 %:inen olki ei kykenisi pidättämään lainkaan elämistä tulevaa kosteutta. Eri kuivikelajien väliset erot ovat selvästi pienemmät paineenalaisessa tilassa kuin ilman sitä (taulukko 8 ja kuvio 3). Paineenalaisessa tilassa myös muut kuivikemateriaalit kuin turve, erityisesti puumaiset, ovat kilpailukykyisiä. Esimerkiksi kutterinlastun kuiva-aineen virtsansitomiskyky on ulkopuolisen paineen alaisena vain 28 % pienempi kuin turpeen (taulukko 8). Siten kutterinlastu on varsin käyttökelpoinen osana kuivikeseosta. Turpeen kuiva-aineen hyvää asemaa kuivikemateriaalina heikentää sen suuri käyttökosteus verrattuna muihin keskeisiin kuivikemateriaaleihin. Turpeen kosteuden sitomiskyvyn on oltava noin 0,4 kg/kg kuiva-ainetta suurempi kuin vaihtoehdoisen kuivikemateriaalin, jotta se olisi tämän kanssa yhden veroinen käyttökelpoisen sitomiskyvyn suhteen. Kun kuivikkeeseen ei kohdistu ulkopuolista painetta, turve on kosteudensitomiskyvyltään ylivoimainen käyttökosteudessaankin. Paineenalaisessa tilassa muut keskeiset kuivikemateriaalit ovat niille tyypillisessä käyttökosteudessa vedensitomiskyvyltään vähintään yhtä hyviä kuin turve. Turpeen virtsansitomiskyky paineenalaisessa tilassa on kuitenkin paljon parempi kuin muiden kuivikkeiden vastaavassa tilassa (taulukko 8). Karkean hakkeen tai vastaavan käytöllä osana kuivikeseosta saatetaan parantaa kuivikeseoksen kosteudensitomiskykyä, koska karkearakenteinen kuivikeseoksen komponentti, esimerkiksi hake, voi ottaa kuivikepohjaan kohdistuvan paineen vastaan siten, että turvetta jää paineettomaan tilaan hakkeen palasten väliin.

Taulukko 9. Eri kuivikemateriaaleilla kuivitetujen kuivikepohjien suurimmat mahdolliset kosteuspitoisuudet 500 kPa:n paineen alla.

Kuivike	Kosteuspitoisuus, %
Olkisilppu	63 - 64
Turve	68 - 77
Hake	58
Sahanpuru	62 - 69
Kutterinlastu	68 - 71



Kuvio 3. Eri kuivikemateriaalien vedenpidätyskyvyt kuivikepohjille ominaisten paineiden vaikutuksen alla (PASILA 1995, s. 75, 81).

4.2.3 Kuivikkeen virtsansitomisenopeus ja ammoniakinsitomiskyky

Virtsan tulisi imeytyä kuivikkeeseen mahdollisimman nopeasti, jotta sen ammoniakista pystyttäisiin keräämään talteen mahdollisimman suuri osa (PELTOLA ym. 1986, s. 19). Kuivikepohjassa kuivikkeen suurella virtsansitomisenopeudella saavutetaan ammoniakin hyvä sitoutuminen pintakerroksessa. Syvemmillä itse kompostoitumisprosessi on määräävä ammoniakin sitoutumisen kannalta. Kaikki kuivikkeet imevät kosteutta suhteellisen nopeasti. Kaikki taulukossa 8 esitetyt kuivikkeet imevät sitomiskyvystään yli 65 % alle kahdessa minuutissa, kun turpeen lähtökosteuspitoisuus on 40 % ja muiden 20 %. Nopeimmin sitoutumiskykynsä käyttävät puuperäiset tuotteet (PELTOLA ym. 1984, s. 2). Kuivikkeen virtsansitomisenopeutta voidaan lisätä esikäsitteilyllä. Oljen sopiva silpun pituus riippuu lannan vesipitoisuudesta. Mitä kosteampaa lanta on, sitä lyhyemmäksi olki kannattaa silputa. Suurin imunopeus saavutetaan halkaisemalla oljen korret pituussuunta, koska tällöin korsien vahalla suojamaton sisäpuoli tulee näkyviin. (SCHUCHARDT, 1987 s. 112.)

Taulukko 10. Kuivikkeiden ammoniakinsitomiskyky (KEMPPAINEN 1986, s. 37).

Kuivike	Ammoniakinsitomiskyky, % kuiva- aineesta		Kosteuspitoisuuden muutoksen 10 %:sta 70 %:iin vaikutus am- moniakinsitomisky- kyyn, %	NaOH-lisäyk- sen jälkeen
	Kuivikkeen kosteuspitoisuus 10 %	Kuivikkeen kosteuspitoisuus 70%		
Rahkaturve	2,30	2,70	17	0,50
Ohranolki	0,75	0,95	27	0,30
Kauranolki, pitkä	0,45	0,55	22	-
Kauranolki, silputtu	0,60	0,75	25	-
Kutterinlastu	0,70	0,85	21	0,30
Sahanpuru	0,40	0,55	37	0,20

Ammoniakki pidättyy kuivikkeeseen kemiallisessa reaktiossa, jossa kaasumainen NH_3 -molekyylillä muuttuu kuivikkeeseen pidättyväksi NH_4^+ -ioniksi. Mitä suurempi kuivikkeen happamuuskapasiteetti on, sitä enemmän se voi pidättää ammoniakkia. Jos kuivikkeen happamuutta vähennetään esimerkiksi lipeällä, vähenee myös sen ammoniakinsitomiskyky, kuten taulukosta 10 voidaan todeta.

Turpeen kyky sitoa ammoniakkia on ylivoimainen muihin yleisesti käytettyihin kuivikemateriaaleihin nähden. Ammoniakkin sitomisen kannalta parasta kuiviketta on *Sphagnum fuscum* -sammaleesta muodostunut rahkaturve. Turpeen maatumisaste ei juurikaan vaikuta sen ammoniakinsitomiskykyyn. (KEMPPAINEN 1986, s. 38, TUORILA 1929, s. 38, 44, PUUSTJÄRVI 1956, s. 448.) TUORILAN (1929, s. 38 - 39) mukaan rahkaturpeen ammoniakkin sitomiskyky on 1,5 - 1,9 % sen kuivapainosta. KEMPPAINEN (1986, s. 33) mukaan turpeen ammoniakinsitomiskyky on tätä suurempi. Turpeen ammoniakinsitomiskyky nousee kosteuspitoisuuden kasvaessa 10 %:sta 70 %:iin noin 2,3 %:sta noin 2,7 %:iin kuiva-aineesta eli vain noin 17 %. Turpeen ammoniakinsitomiskyky kasvaa voimakkaasti vasta sen kosteuspitoisuuden noustessa yli 95 %:n. Kompostoituvassa kuivikepohjassa tästä ei ole hyötyä, koska sen kosteuspitoisuus ei voi olla näin suuri. Oljen ja kutterinlastun ammoniakinsitomiskyvyn lisäys kosteuspitoisuuden kasvaessa 10 %:sta 70 %:iin on 21 - 27 %. Sahanpurun vastaava lisäys on suhteellisesti suurin, 37 %. Kuivikepohjan kosteuspitoisuus vaihtelee varsin kapealla alueella edellä esitettyyn 60 %-yksikön vaihteluun nähden. Kuivikepohjan kosteuspitoisuus voi vaihdella 45 %:sta 65 %:iin, ja ammoniakinsitomiskyky määräytyy tämän kosteuspitoisuuden mukaan.

Kosteuspitoisuuden lisäksi myös kuivikkeen mekaanisella käsittelyllä on vaikutusta eräiden kuivikelajien ammoniakinsitomiskykyyn. Silppuaminen parantaa kauranoljen ammoniakkin sitomiskykyä 33 - 36 %, mutta ei ohranoljen. Kuivikkeeseen sitoutunut ammoniakki ei ole kokonaan kasveille käyttökelpoista, mikä vähentää kuivikkeeseen sidotun typen ravinnearvoa viljelyssä. Turpeeseen sitoutuneesta ammoniakista jää emäskäsittelynkin jälkeen vapautumatta noin 20 % ja muista kuivikkeista 40 %. (KEMP-

PAINEN 1986, s. 36 - 37, 39.) Lannan liukoisen typen sitominen kuivikkeeseen vähentää siten sen käyttökelpoisuutta kasveille, vaikka kuivikelanta ei kompostoituisikaan.

Kun turpeen kosteuspitoisuus on 45 %, ammoniakkin sitomiseksi on käytettävä turvetta noin 32 % lannan massasta, ja kun ohran oljen kosteuspitoisuus on 30 %, ohran olkea on käytettävä vastaavasti 59 % lannan massasta. Pelkän olkikuivikkeen ammoniakinsitomiskyky ei aivan riitä lannan liukoisen typen sitomiseksi nykyisellä annostuksella, osakuivikepohjalla 7 kg/pv-emo (JEBAUTZKE ja POHLMANN 1966, s. 33, ANTTILA 1969, s. 36, MEHLER ja HEINIG 1968, s. 37). Osakuivikepohjan riittävä kuivikeannos olisi 7,5 - 9 kg/emo·pv, eli annostusta olisi lisättävä 5 - 30 % kuivikepohjalle tulevan lannan liukoisen typen sitomiseksi. Turpeen ammoniakinsitomiskyky on nykyisenkin annostuksen pohjalta täysin riittävä, mutta sitä ei voi käyttää ainoana kuivikkeena sen huonon kantavuuden takia. Sitä voidaan kuitenkin käyttää osana kuivikeseosta noin 60 %:iin saakka. (KAPUINEN 1993, s. 54.) Jotta nykyinen kuivikeannostus riittäisi lannan liukoisen typen sitomiseen, olisi turvetta käytettävä oljen ohella 10 - 45 % kuivikeseoksessa.

Koska turpeen ja oljen käytöstä kuivikemateriaalina aiheutuvien kustannusten välillä ei ole suurta eroa, kannattaa kuivikeseoksen valinnassa ottaa sen liukoisen typen sitomiskyky huomioon (KAPUINEN 1994a, s. 39). Kuivikepohjan kosteudensitomiskyvyn kannalta riittävä kuivitus riittää myös ammoniakinsitomiskyvyn kannalta, jos kuivikeseos valitaan oikein. Kuivikeseoksen valinnan lisäksi kuivikepohjan ammoniakkihäviötä voidaan pienentää huomattavasti, jos ammoniakkin haihtumista estetään tiivistämällä tai peittämällä. Kylmäkasvattamoiden kuivikepohja on ammoniakkin sitomisen kannalta hyvä ratkaisu, koska eläimet tiivistävät sen voimakkaasti. (TUORILA 1929, s. 45, VIRRI 1941, s. 106.)

4.3 Kuivikkeiden kemialliset ominaisuudet

Oljen raakakuitupitoisuus vaihtelee runsaasti. Se voi olla 36 - 50 % kuiva-aineesta (KOSSILA ym. 1978, s. 4, HOMB 1948, s. 69, HOMB 1956, s. 131, HEIKKILÄ ym. 1989, s. 35, TUORI ym. 1995, s. 36 - 37). Ksylaani muodostaa suurimman osan oljen hemiselluloosasta. Sen osuus on noin 20 % oljen kuivapainosta. (SØRENSEN 1957, s. 35.) Oljen kuiva-aineen

Taulukko 11. Oljen koostumus (MØLLER 1977, s. 11, BUTTERWORTH 1985, s. 2, ÅMAN ja THEANDER 1977, THEANDER 1978, s. 7, CHANG 1967, s. 672).

Ainesosa	% kuiva-aineesta
Selluloosa	27 - 41
Hemiselluloosa	18 - 35
Ligniini	10 - 11
Valkuaisaineet	3
Tuhka	3,1 - 11,8

koostumus on esitetty taulukossa 11. Hiilihydraattien osuus kuiva-aineesta on keskimäärin 78 %. Turpeen tuhkatoman kuiva-aineen koostumus on esitetty taulukossa 12. Turpeen koostumus riippuu voimakkaasti suotyypistä ja -alueesta sekä maatumisasteesta. Maatuneesta turpeesta ei enää ole kompostoituvan kuivikepohjan kuivikkeeksi, mutta myös vähän maatuneessa turpeessa saattaa hiilihydraattien osuus olla melko pieni. Sopiva maatuneisuus

kuitenkin parantaa turpeen ominaisuuksia kuivikkeena, koska maatumisen lisää turpeen happamuutta. Typen pitoisuus turpeen kuiva-aineesta on 1 - 3 %, ja se kasvaa maatumisen edistyessä. Turpeessa tuhkan osuus kuiva-aineesta on 1 - 6 %. Vähiten tuhkaa on rahkaturpeessa. (ITKONEN ym. 1978, s. 7, 9.) Puussa on keskimäärin 45 % selluloosaa, 25 - 35 % hemiselluloosaa ja 25 % ligniiniä (PÖPEL 1964, s. 2).

Taulukko 12. Turpeen tuhkattoman kuiva-aineen koostumus (EKMAN 1976, s. 4, ITKONEN ym. 1978, s. 8).

Ainesosa	Vähän maatonut turve, maatumisaste H_{1-2} , %	Keskimaatonut turve, maatumisaste H_{5-6} , %	Maatonut turve, maatumisaste H_{9-10} , %
Selluloosa	15 - 20	5 - 15	-
Hemiselluloosa	15 - 30	10 - 25	0 - 2
Ligniini	5 - 40	5 - 30	5 - 20
Vahat ja hartsit	1 - 10	5 - 15	5 - 20
Typipitoiset aineet valkuaisaineeksi laskettuna	3 - 14	5 - 20	5 - 25
Humusaineet	0 - 5	5 - 20	5 - 25

Oljen, turpeen ja puun alkuaineekoostumus on esitetty taulukossa 13. Puussa on enemmän hiiltä kuin oljessa, mutta oljessa on enemmän typpeä kuin puussa. Turpeessa hiili- ja typipitoisuudet kasvavat ja vety- ja happipitoisuudet laskevat maatumisen edistyessä (ITKONEN ym. 1978, s. 7, 9).

Taulukko 13. Oljen, puun, turpeen ja kuorijätteen kuiva-aineen kemiallinen koostumus (EKMAN 1974, s. 1, EKMAN 1976, s. 4, ILMONEN 1976, s. 74, HOFSTETTER 1977, s. 144).

Kuivike-materiaali	Paino-% kuiva-aineesta				
	C	O	H	N	S
Olki	43	43	5,3	0,5	-
Puu	48 - 50	38 - 43	6,0 - 6,5	0,1 - 2,3	0,05
Turve	48 - 60	30 - 42	5,0 - 6,5	0,5 - 3,0	0,1 - 0,3
Kuorijäte	46 - 48	36 - 40	5,5 - 6,0	1,5 - 2,0	0,05

4.4 Kuivikkeen mikrobiologinen laatu

Kompostoituvan kuivikepohjan pieneliömäärät vaihtelevat lähinnä kuivikepohjan lämpötilan mukaan. Kuivikepohjan pintakerros on eniten kosketuksissa eläinten kanssa. Sen pieneliömäärään vaikuttaa eniten kuivikelaji. Sen bakteerit tarvitsevat kosteutta, ravinteita ja sopivan lämpötilan lisääntyäkseen ja muodostaakseen kolonneja. Orgaanisten kuivikkeiden gram-negatiivisten bakteerien, kolibakteerien, *Klebsiella*-lajien ja streptokokkien määrät ovat suuremmat kuin epäorgaanisten kuivikkeiden. Epäorgaanisessa kuivikkeessa bakteerien

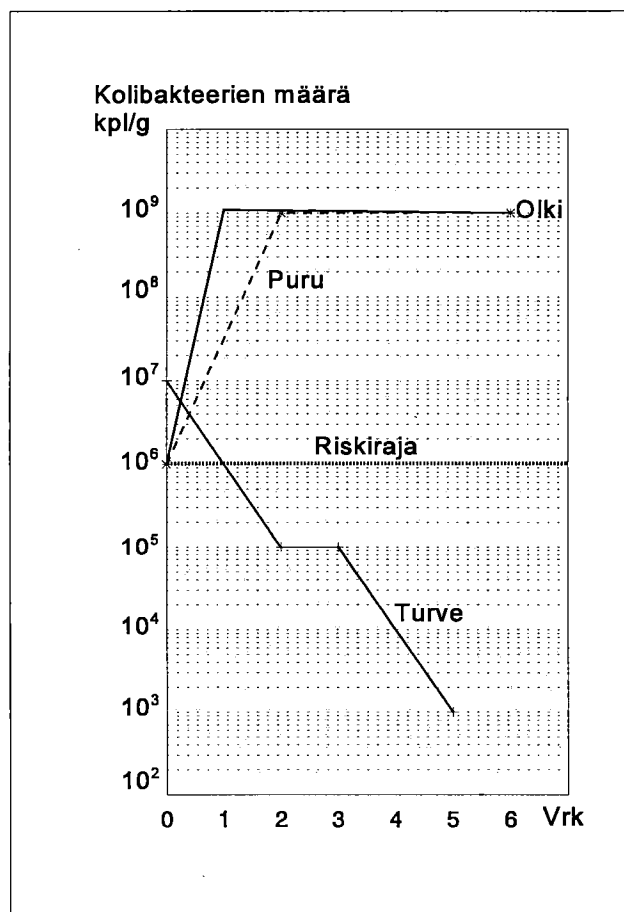
määrä on alle 10^7 cfu/g kuivapainoa ympäri vuoden, kun orgaanisessa kuivikkeessa niiden lukumäärä saattaa olla jopa kymmenkertainen tähän verrattuna. Bakteerien lukumäärä voi myös epäorgaanisessa kuivikkeessa ylittää utaretulehduksen kannalta kriittisen rajan vaikkakin vain vähän, koska myös epäorgaaniseen kuivikkeeseen tulee ravinteita muunmuassa lannan mukana. (HOGAN ym. 1989, s. 254 - 256.)

Varastoitavan oljen kosteuspitoisuus ei voi juuri olla suurempi kuin 30 %, koska muutoin se lämpenee voimakkaasti ja siihen muodostuu homepölykeuhkosairautta aiheuttavien homeiden ja sädesienten itiöpölyä. Laadultaan moitteetonta ja homeetonta olkea on vain olki, jonka kosteuspitoisuus on alle 22 - 25 %. Oljen kosteuspitoisuuden ollessa 25 - 30 % se lämpenee ja homehtuu lievästi. Haitallisimpien homepölykeuhkoa aiheuttavien termofiilien homeiden ja sädesienten kasvun optimaalinen alue on 40 - 60 °C. (ORAVA ym. 1979, s. 66, ORAVA 1980, s. 67 - 68, 71.)

Lehmien kuivikkeena ei tulisi käyttää sahanpurua, koska siinä saattaa olla utaretulehduksesta aiheuttavaa *Klebsiella pneumoniae* -kolibakteeria (HELMINEN 1986, s. 78). Koliutaretulehduksen riski alkaa kasvaa, jos kuivikkeessa on kolimuotoisia bakteereita 10^6 cfu/g tuorepainoa tai enemmän (BRAMLEY ja NEAVE 1975, s. 162, BRAMLEY 1974, s. 86 - 87, CARROLL ja JASPER 1978, s. 1508).

Sonnalla saastutetun turvekuivikkeen kolibakteeripitoisuus laskee nopeasti alle 10^6 cfu/g riskirajan, kuten kuvio 4 voidaan todeta. Sen sijaan oljen ja sahanpurun kolibakteeripitoisuus kasvaa nopeasti ja saavuttaa 10^9 cfu/g rajan. Siten turvekuivikkeen käyttö laskee utaretulehduksen riskiä, vaikkakin utaretulehdus saattaa johtua muistakin pieneliöistä kuin kolibakteereista. Esimerkiksi HOGANin ym. (1989, s. 257) mukaan kuivikkeen gram-negatiivisten bakteerien ja utaretulehduksen välillä on yhteyttä ($r^2 \leq 0,16$).

Epäorgaanisia kuivikkeita voidaan käyttää kuivikkeena erityisesti kesällä, koska silloin orgaanisia kuivikkeita ei tarvita lämpimän makuualustan muodostamisen takia. Epäorgaaniselle kuivikkeelle ei välttämättä ole sopivaa jälkikäyttöä. Joissakin erityistapauksissa saattaa epäorgaaninen kuivike,



Kuvio 4. Kolibakteerimäärien muutokset huoneen lämmössä pidetyissä kuivikkeissa (HELMINEN 1986, s. 80).

esimerkiksi hiekka, olla käyttökelpoista maanparannusaineena. Niiden käyttö makuuparsien kuivikkeena on kuitenkin erittäin tarkoituksenmukaista.

Vuodenaika vaikuttaa orgaanisten kuivikemateriaalien bakteerimääriin. Gram-negatiivisten ja kolibakteerien määrät ovat sekä pitkässä että silputussa oljessa kesällä suuremmat kuin muina vuodenaikoina. Kolibakteerien määrä kasvaa kesällä korkeamman lämpötilan takia, koska niiden lisääntymiselle otollisin lämpötila-alue on 30 - 44 °C. Silputussa oljessa *Klebsiella*-lajien bakteerien määrä on kesällä ja syksyllä suurempi kuin talvella ja keväällä. Sahanpurukuivikkeessa *Klebsiella*-lajien bakteerien määrä kasvaa talvikauden määrästä kesällä enemmän kuin silppuolkikuivikkeessa. Sen sijaan pitkässä oljessa *Klebsiella*-lajien ja streptokokkien määrässä ei ole eroa vuodenaikojen välillä. Myös streptokokkien määrä on yhtä suuri sekä silputussa että pitkässä oljessa vuodenaikojen riippumatta. (BRAMLEY ja NEAVE 1975, s. 163, 167, HOGAN ym. 1989, s. 252 - 257.)

5 KUIVITUSKUSTANNUS ERI KUIVITUSJÄRJESTELMISSÄ

Makuuparsijärjestelmissä kuivikkeiden kulutus on erittäin pieni. Hiekkapohjaisissa makuuparsissa kuivikkeita ei kulu juuri lainkaan. Varsinaisissa kuivikepohjajärjestelmissä kuivikkeen kulutus on melkoinen. Kuivikepohjassa taulukon 14 mukainen kuivikkeen kulutus on noin 40 % kuivikepohjalle tulleen lannan painosta, koska emolehmä tuottaa ruokinnasta riippuen lantaa

Taulukko 14. Kuivikkeiden kulutus emolehmien tiloissa eri kuivitusjärjestelmissä (JEBAUTZKE ja POHLMANN 1966, s. 33 - 34, ANTTILA 1969, s. 27, 36, 42, MEHLER ja HEINIG 1968, s. 37).

Kuivitusjärjestelmä	kg/el·pv
Hiekkapohjaiset makuuparret	0
Kuivitetut makuuparret	0,5
Osakuivikepohja	7
Täyskuivikepohja	10 - 12

25 - 30 kg/pv (KAPUINEN 1993, s. 31). Siten kuivikepohjan kuivikkeista aiheutuvat käyttökustannukset ovat näiden normien mukaan kuivitettaessa noin 60 mk/tn eläimistä muodostunutta lantaa, kun makuuparsikasvattamon kuivikekustannukset ovat vain vajaat 3 mk/tn eläimistä muodostunutta lantaa. Lietesäiliössä varastoidun makuuparsikasvattamosta tai osakuivikepohjakarsinan kiinteältä lattialta tulevan lannan varastointikustannukset ovat noin 12 mk/m³. (KAPUINEN 1994a, s. 41, 77.) Ilman työkustannuksia ja rakennuksen rakenteellisista eroista aiheutuvia kustannuksia kuivikepohja on lannankäsittelyn kannalta vähintään noin viisi kertaa kalliimpi ratkaisu kuin makuuparsikasvattamo. Kompostoitumattoman täyskuivikepohjan, johon tulee kaikki lanta, kuivikkeenkulutus on hyvin suuri. Esimerkiksi jos kuiviketurpeen kosteuspitoisuus olisi 45 % ja kompostoitumattoman kuivikepohjan kosteuspitoisuus haluttaisiin pitää 60 %:ssa, tarvittaisiin emolehmää kohti 25 - 30 kg kuiviketurvetta päivässä pelkästään osakuivikepohjan kuivittamiseen kompostoituvan osakuivikepohjan 7 kg:n asemesta. Jäätymätön kosteuspitoisuudeltaan

korkeintaan 50 % oleva kompostoitumaton turvekuivikepohja saavutettaisiin vasta, kun osakuivikepohjaa kuivitettaisiin 120 - 125 kg/el-pv eli yli 17-kertainen vastaavaan kompostoituvaan osakuivikepohjaan nähden.

6 KIRJALLISUUSKATSAUKSEN YHTEENVETO

Kirjallisuuden pohjalta voitiin luotettavasti selvittää eläinten ja kompostoitumisen kuivikepohjalle asettamat vaatimukset, kompostoitumisprosessiin vaikuttavat tekijät, typen tappioihin kompostoitumisen aikana vaikuttavat tekijät, kompostoitumisen hapenkulutus ja kuivikkeiden käyttökelpoisuus. Hieman epäselväksi jäi kuiva-aineen hajoavuus ja sitä kautta myös kuivikepohjan lämmöntuotanto. Tiedot kompostin happamuuden ja lämpötilan keskeisistä suhteista sekä typen sitoutumisen kannalta hyvästä kompostoitumislämpötilasta olivat ristiriitaisia.

Kuivikepohja on eläinten kannalta toimiva silloin, kun se pitää eläimet puhtaina ja tarjoaa niille sellaisen termisen ympäristön ulkoilman lämpötilan mukaankin vaihtelevassa kasvattamon lämpötilassa, että eläimet eivät joudu käyttämään perusaineenvaihduntansa hukkalämmön lisäksi rehusta peräisin olevaa energiaa lämpötasapainonsa ylläpitämiseen ja niiden termiset olosuhteet eivät ainakaan huonene sen asettuessa makaamaan sille tarjotulle makuualustalle. Lisäksi eläintä kohti varatun kuivikepohja-alan on riitettävä sen makuualueeksi. Eläinten vaatimukset täyttävä makuualue voidaan kylmäkasvattamossa toteuttaa kompostoituvana tai kompostoitumattomana kuivikepohjana. Kuivitettu makuuparsi on jälkimmäisen erikoistapaus. Valinnassa on ratkaisevaa, voidaanko lannan joutuminen makuualueelle estää. Jos lannan joutumista kuivikepohjalle ei voida estää, kuten sonnien kasvatuksessa, on kompostoituva kuivikepohja ainoa eläinten vaatimukset täyttävä taloudellisesti mielekäs vaihtoehto. Kompostoitumaton vaihtoehto edellyttäisi tällöin kompostoituvaan vaihtoehtoon nähden moninkertaista kuivikemäärää. Jos lannan joutuminen makuualueelle voidaan estää, säästetään kuivituskustannuksessa huomattavia summia. Esimerkkinä tästä on kompostoitumattoman kuivikepohjan erikoistapaus, kuivitetut makuuparret emolehmien ja hiehojen kasvatuksessa, kompostoituvien kuivikepohjien asemesta.

Kompostoituvia kuivikepohjia käytettäessä eläinten vaatimukset tulevat täytetyksi, jos kompostoitumisen vaatimukset tulevat täytettyä ja kuivikepohja kantaa eläimet. Kompostoituvissa kuivikepohjissa kompostoitumisen vaatimusten täyttymiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Kompostoituvaa kuivikepohjaa voidaan pitää hyvin toimivana, jos kompostoitumisessa vapautuva kosteus ja hajonnutta kuiva-ainetta vastaava osa alkuperäisestä kosteudesta haihtuu kompostoitumisen aikana ja kuivikepohjan lähtöaineiden kosteuspitoisuus on ollut alunperin korkeintaan käytetyn kuivikeseoksen sitomiskykyä vastaava. Kuivitetuissa makuuparsissa ja kompostoitumattomissa kuivikepohjissa yleensä kuivikkeen ominaisuudet ratkaisevat eläinten vaatimusten täyttymisen.

Kuivikepohjan kompostoituminen on biologista hajotustoimintaa, jossa syntyy kuivikepohjan lämpötilaa kohottavaa lämpöä. Kuivikepohjan kompostoituminen käynnistyy myös kylmässä, mutta epävarmemmin kuin lämpimässä. Siihen ei tarvita pieneliöympäystä, vaan kuivikepohja saa tarvitsemansa pieneliöstön lannassa ja kuivikkeissa. Tavoitteena olevista kompostoitumisolosuhteista eristetyn pieneliöpopulaation ympärys saattaa kuitenkin nopeuttaa kompostoitumisen käynnistymistä. Sopiva kompostoitumislämpötila on noin 40 °C. Kuiva-aineen suurin hajoavuus ja hajoamisnopeus saavutetaan noin 45 °C:n lämpötilassa. Nitrifikaatio hidastuu jo 40 °C:een lämpötilassa, mutta 45 °C:tta korkeampi lämpötila estää nitrifikaation kokonaan. Lämpötilan noustessa 40 °C:sta 45 °C:een komposti muuttuu nopeasti happamasta neutraaliksi, jopa emäksiseksi, mikä yhdessä nitrifikaation estymisen kanssa johtaa suuriin typen tappioihin. Kompostoitumisen ja kuivikepohjan toimivuuden edellytys on, että kuivikepohjan lämpöhäviöt ovat 40 °C:n kompostoitumislämpötilassa kuivikepohjan lämmöntuotannon suuruiset. Osakuivikepohjan lämmöntuotanto emolehmiä kohti on 305 - 400 W. Kuivikepohjassa kuiva-aineen kokonaishajoavuutta parantaa kuivikepohjan pohjakerrosten pitäminen lämpimänä lämpöeristeiden avulla. Suurin osa kuivikepohjan kompostoitumisen tuottamasta lämmöstä on peräisin kuivikkeen kuiva-aineen orgaanisen hiilen hajoamisesta. Kompostoituminen on tehokkainta, kun kuiva-ainetta hajottaa sekapopulaatio, joka koostuu sienistä, bakteereista ja sädesienistä. Kuiva-aineen hajoamisen ja lämmöntuotannon kannalta sienten merkitys on näistä kolmesta ryhmästä selvästi suurin. Bakteerit ja sädesienet parantavat toiminnallaan kuivikepohjan typpitaloutta. Nopean kompostoitumisen kannalta kompostin typpipitoisuuden tulee olla 1,3 - 2,3 % kuiva-aineesta. Typpitalous on paras typpipitoisuuden ollessa 1,0 % kuiva-aineesta. Sopiva C/N-suhde on 25 - 35. Typen tappiot ovat tällöin 10 - 30 %. Myös kuivikkeiden kohtuullinen ligniinipitoisuus lisää typen sitoutumista. Valmiin kompostin C/N-suhteen tulisi olla 25 - 55.

Kuivikepohjan ilmastus on tarpeen ensisijaisesti komposti-ilman hiilidioksidipitoisuuden laskemiseksi ja toissijaisesti sen happipitoisuuden nostamiseksi. Riittävä happipitoisuus on tarpeen myös typen sitoutumisen kannalta. Sopiva ilmastus on oikein kuivitetulla osakuivikepohjalla noin 1 kg ilmaa tunnissa emolehmiä kohti. Pieneliöstö saa tarvitsemansa hapen kompostin ilmahuokosten kautta.

Toimiakseen kompostoituvan kuivikepohjan kuivituksen on täytettävä kaksi ehtoa. Ensinnäkin kuivikepohjaan on tultava sen lämmöntuotannon kannalta riittävä määrä orgaanista hiiltä polttoaineeksi. Siksi kuivikkeen valinnassa on kiinnitettävä huomiota sen orgaanisen hiilen pitoisuuteen käyttökosteudessa. Toiseksi kuivikkeen mukana kompostiin on tultava niin paljon kuiva-ainetta, että lannan ja kuivikkeen yhteinen kosteuspitoisuus on 50 - 70 %. Kuivikeoljen kosteuspitoisuus saa olla korkeintaan 30 % ja kuiviketurpeen 40 - 50 %. Runsaasti hienojakoista ainesta sisältävien kompostien kosteuspitoisuuden tulee olla aivan vaihteluvälin alarajalla. Vain runsaasti hienojakoista ainesta sisältävä kuivikepohja voi kastua liikaa. Karkeaa ainesta sisältävistä kuivikepohjista liika kosteus valuu pois. Turpeen kosteudensitomiskyky on ylivoimainen muihin kuivikemateriaaleihin nähden, kun

siihen ei kohdistu ulkopuolista painetta. Kuivikepohjan tiiveydessä myös muut kuivikemateriaalit kuin turve ovat kosteudensitomiskyvyltään kilpailukykyisiä. Lannan ammoniakkin sitomiseksi kuivikkeita on käytettävä kuivikeseoksesta riippuen 32 - 59 % kuivikepohjalle tulevan lannan massasta. Turpeen kyky sitoa ammoniakkia on ylivoimainen muihin kuivikemateriaaleihin nähden. Sen käyttö osana kuivikeseosta on mielekästä tarvittavan olkimäärän vähentämiseksi ja ammoniakkin pidätyskyvyn takia. Jos osakuivikepohjan kuivitusmäärä halutaan säilyttää nykyisenä 7 kg/pv·emo, oljen ja turpeen muodostamassa kuivikeseoksessa on oltava ammoniakkin sitomisen takia 10 - 45 % turvetta. Puumaisten kuivikemateriaalien käyttö parantaa kuivikepohjan virtsansitomisoitumista. Hake on kuitenkin verraten kallista käytettäväksi kuivikkeena. Turpeen osuus kuivikeseoksessa voi olla korkeintaan noin 60 paino-%. *Sphagnum fuscum* -turpeesta muodostunut rahkaturve parasta kuivikkeena.

Turvekuivike pölyää enemmän kuin olkikuivike, mutta ei kuitenkaan haitallisessa määrin. Pelkän pitkän oljen käyttö kuivikkeena vaikeuttaa kuivikepohjan tyhjennystä, jos se joudutaan tekemään käsityövälinein. Osakuivikepohja tulee sijoittaa sellaiseen syvennykseen, että sen pinta ei sisäruokintakauden aikana nouse yli 50 cm lantakäytävän pinnan yläpuolelle. Eläinten kanssa kosketuksissa olevan kuivikekerroksen mikrobiologiseen laatuun vaikuttaa eniten kuivikelaji. Koliutaretulehduksen riski kasvaa, jos kuivikkeessa on kolimuotoisia bakteereita 10^6 cfu/g tai enemmän. Sen tähden sahanpurua ei tulisi käyttää lehmien kuivikkeena. Turvekuivikkeissa kolibakteerien määrä pyrkii vähenemään, ja utaretulehdusriski vähenee. Kuivikepohja hygieenisoituu siten, että sen olosuhteet ovat otolliset haitattomille pieneliöille, jotka valtaavat haitallisten pieneliöiden elintilan.

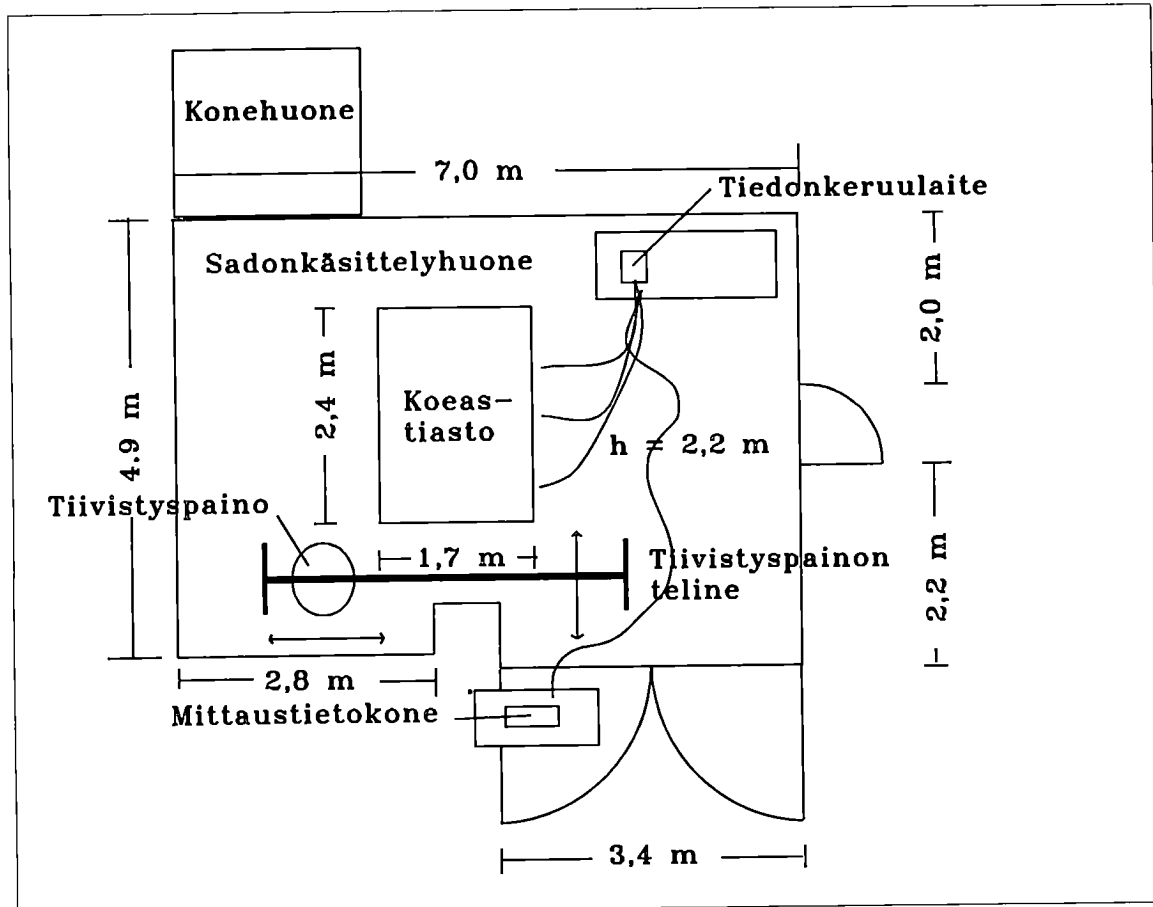
7 AINEISTO JA MENETELMÄT

7.1 Yleiskuvaus laboratorion kokeista

Tutkimuksen laboratorion kokeiden tavoitteena oli selvittää, onko kuivikepohjan kuivitukseen käytetyllä kuivikeseoksella vaikutusta kompostoituvan kuivikepohjan toimivuuteen. Laboratorion kokeissa käytetty koeastiasto sijoitettiin huoneeseen, jonka lämpötila vakioitiin 10 °C:seen (kuva 2). Vertailussa oli mukana viisi oljen, turpeen ja hakkeen seosta. Kuivikepohjat perustettiin noin viikon kuivitusta vastaavalla kuivikemäärällä. Kuivikkeita ja lantaa annosteltiin koeastioihin päivittäin nykyään voimassa olevia kuivitusuusituksia (JEBAUTZKE ja POHLMANN 1966, s. 33, ANTTILA 1969, s. 36, MEHLER ja HEINIG 1968, s. 37) vastaavina määrinä. Kuivikkeiden ja lannan lisäyksen jälkeen koeastioissa olleita kuivikepohjia tiivistettiin eläinten sorkkien vaikutusta matkivalla tavalla.

Kuivikepohjat ilmastettiin niiden tilavuuteen suhteutetulla ilmamäärällä, 1 m³ ilmaa tunnissa kuivikepohjan kuutiometriä kohden. Koeastioista mitattiin ravinnepitoisuudet ja -tappiot, kerrospaksuuksien kehitys, lämpötilat, ilmastuksen vastapaineet, kuivikepohjien

kantavuus, kompostoitumisen päätyminen sekä kaasupitoisuudet kuivikepohjan pinnalla. Mittaustulosten analysointiin käytettiin varianssianalyysia, pääasiassa toistettujen mittausten kokeille tarkoitettua. Eri seoksilla kuivitettyjen kuivikepohjien eroja tutkittiin mallittamalla tai pelkästään vertailemalla keskiarvojen välisiä eroja. Niiden toimintaa arvioitiin erityisesti kompostoitumisen perusteella.

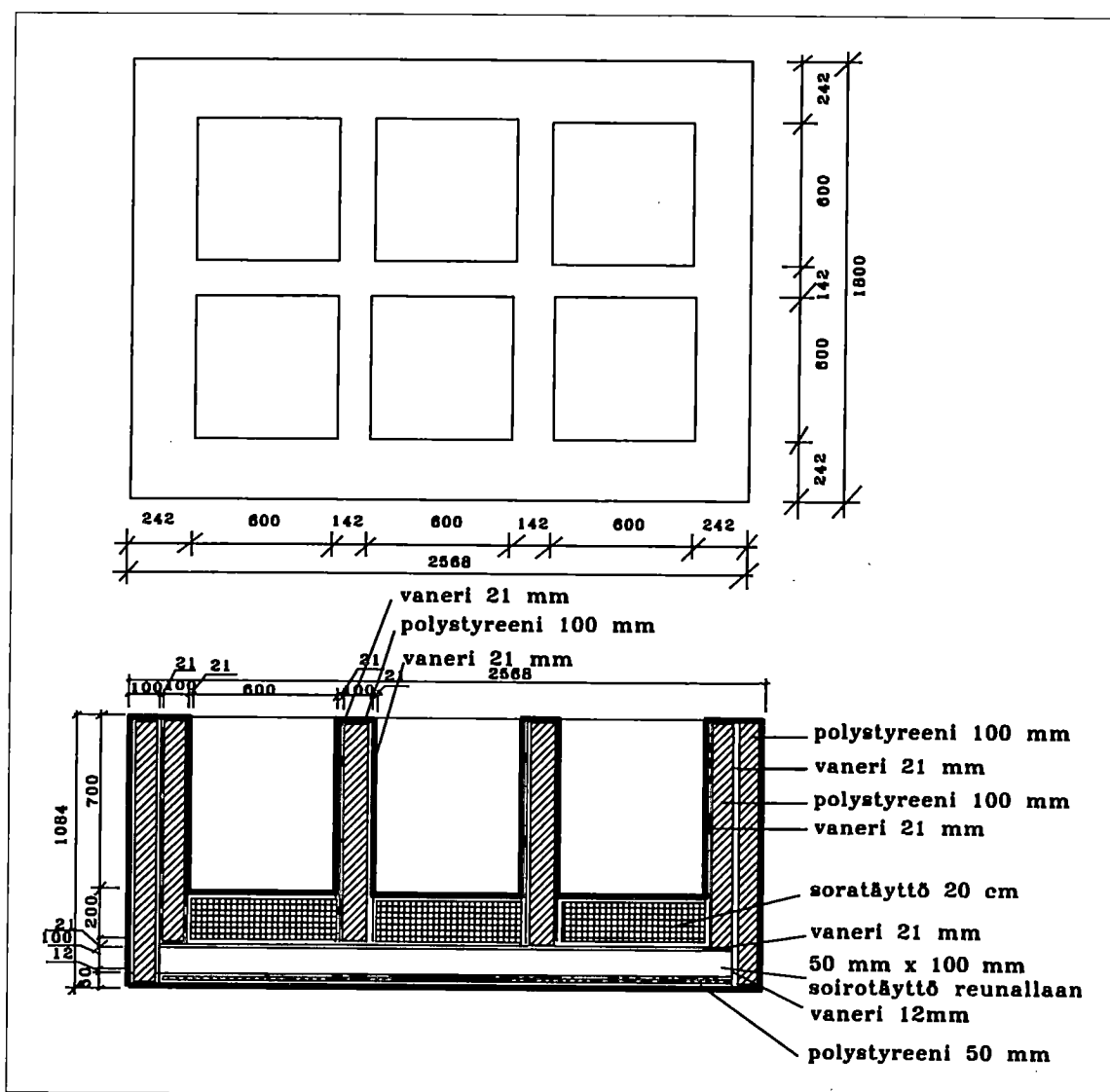


Kuva 2. Laboratoriokokeissa käytetyn koehuoneen pohjakuva ja koeastiaston sijoitus siellä.

7.2 Koeastiat

Laboratoriokokeita valmistelemissä tilakokeissa havaittiin, että kuivikepohjissa vallitsee varsin suuria reunavaikutuksia. Sen tähden ennen varsinaisia laboratoriokokeita tehtiin esikoe, jossa pyrittiin löytämään koeastialle sopiva koko. Ensinnä kokeillun koeastian pohjan sisämitat olivat 40 cm · 40 cm. Koeastiassa oli lämpöeristeenä 10 cm polystyreeniä kaikilla sivuilla, pohja mukaan lukien. Ilmastusilman mukana kuivikepohjaan johdetun savun ei havaittu tulevan kuivikepohjan pintaan eri kohdista erilaisina määrinä. Tehtyjen selvitysten perusteella koeastian koko olisi ollut riittävä kuivikepohjan tiiviyteen liittyvien reunavaikutusten eliminoimiseksi. Sen sijaan kuivikepohjan lämpötilat olivat koeastiassa olevan kuivikepohjan reunoissa ja kulmissa selvästi alemmat kuin sen keskellä. Ensimmäisestä koeastiasta saatujen mittaustulosten perusteella koeastian kokoa päätettiin suurentaa. Koeastian kooksi valittiin 60 cm · 60 cm.

Laboratoriokokeita varten rakennettiin kuuden koeastian koeastiasto (kuva 3). Useamman koeastian koeastiastoa ei tutkimustilaan olisi voitu sijoittaa. Koeastiaston ulkoseinämiin lisättiin toinen 10 cm polystyreenieristettä. Koska reunavaikutuskokeessa havaittiin, että kuivikepohjan alla ollut polystyreenilevy ei kestänyt kuivikepohjan tiivistystä punnuksella, pohjalevyn alle ei asennettu varsinaisessa koeastiastossa enää polystyreenieristettä, vaan pohja täytettiin syrjälleen asennetuilla soiroilla. Jokaisen koeastian pohjalle laitettiin 20 cm paksu sorakerros. Soratilaan asennettiin monireikäinen metalliputkesta tehty suulakeputki ilmastusta varten. Sorakerroksen tehtävänä oli jakaa ilmastusilma tasaisesti koko koeastian pohjan alueelle. Sorakerroksen päälle asetettiin suodatinkangas eristämään kuivikepohjat sorasta. Kuten liitteestä 2 voidaan todeta, kuivikepohjien lämpötilat olivat näissä suuremmissa koeastioissa kahden kuivikepohjan välisen yhteisen seinän lähellä korkeammat kuin koeastiaston ulkoseinän lähellä. Tällä ei ole kuitenkaan mitään tekemistä käytännön kuivikepohjissa karsina-aitojen alla olevien kylmempien alueiden kanssa, jotka syntyivät epätasaisen lantakuorman takia.



Kuva 3. Koeastiaston pohjakuva ja poikkileikkaus.

Laboratoriossa käytetyn koeastiaston seinämien lämmönläpäisevyydet (k-arvot) mitattiin asettamalla koeastian sisälle sähkölamppu ja puhallin, joiden yhteinen teho oli 69 W. Koeastia peitettiin 10 cm:n paksuisella polystyreenilevyllä. Erilaisten seinämien k-arvot määritettiin koeastiaston toisen pitkän sivun kolmesta koeastiasta lämpötilaeron tasaannuttua. Tämä tasaantuminen kesti noin neljä vuorokautta. Määrittämisen aikana koeastioiden ympäristön lämpötila oli varsinaisten kokeiden aikana vallinnut eli oli noin 10 °C. Koeastioiden sisällä ilman lämpötila saavutti 43 - 46 °C:een lämpötilan. Lämpötilaero koeastioiden ja ympäristön välillä oli siten noin 33 - 36 °C. Koeastian sisällä vallinnut lämpötila oli k-arvon määrittämisen kannalta varsin tarkoituksenmukainen, koska varsinaisten kokeiden aikana kuivikepohjien lämpötilat olivat noin 40 °C. Säteilymittarin (TermoFlux-meter typ EM 101) valmistajan (ANON. 1983) mukaan lämpötilaeron tulee määrittämisen aikana olla vähintään 10 °C, joten tämä vaatimus täyttyi hyvin.

Kullekin mitatulle kolmelle erilaiselle koeastialle laskettiin seinämien lämmönläpäisevyydet säteilymittarilla mitattujen lämpövirtojen perusteella. Koeastioiden kulmista johtuvat näennäisesti suuremmat seinämien pinta-alat otettiin huomioon seinämien lämmönläpäisevyyttä laskettaessa korjaamalla mitattuja arvoja kertoimilla, jotka saatiin sovittamalla yhteen astiaan syötetty todellinen lämpöteho ja koeastioiden säteilymittarilla mitattujen lämmönläpäisevyyksien perusteella lasketut lämpöhäviöt. Kullekin koeastiaston erityyppiselle seinämälle laskettiin k-arvo tämän tyyppisten seinämien näin määritettyjen lämmönläpäisevyyksien keskiarvona (taulukko 15). Astiaan syötetty teho oli 20 - 42 % suurempi kuin säteilymittarilla mitattujen arvojen perusteella lasketut lämpöhäviöt. Lämpötaselaskennassa oletettiin, että koeastiaston alla olevan polystyreenilevyn alla oleva betonilattia oli ympäristön lämpötilassa, koska koeastiaston pohjan pinta-ala oli pieni (1,7 m x 2,4 m = 4,1 m²) ja koeastiaston pohjan lämmönläpäisevyys pieni (0,3 W/m²K) verrattuna koeastiaston alla olleen betonilaatan lämmönläpäisevyyteen.

Taulukko 15. Astioiden seinämien k-arvot.

Seinämatyyppi	Keskiarvo, W/m ² K	Otoksen keskihajonta, W/m ² K
Astiaston päätyseinämä	0,8	0,17
Astiaston sivuseinä	0,7	0,06
Pituussuuntainen väliseinä	1,1	0,14
Poikittainen väliseinä	1,4	0,13
Pohja	0,3	**

Pohjan lämpövirta mitattu vain yhdestä astiasta, ilman alla ollutta 5 cm polystyreenilevyä. Tämä polystyreenilevy on otettu huomioon laskennallisesti koko astian lämpötaseessa.

7.3 Kuivikkeiden ja lannan lisäykset

Ennen laboratoriokokeita vastaavassa tilanteessa tehdyissä tilakokeissa kokeiltiin kuivikeannosta 3,5 kg/emo·pv, ja se osoittautui täysin riittämättömäksi. Kuivikepohjat vettyivät perusteellisesti kahdessa viikossa, eläimet likaantuivat pahoin ja lantavesi valui kuivikepoh-

jasta sen ympäristöön. Sen tähden laboratorikokeissa päädyttiin käyttämään nykyisten kuivitusnormien (JEBAUTZKE ja POHLMANN 1966, s. 33, ANTTILA 1969, s. 36, MEHLER ja HEINIG 1968, s. 37) mukaista kuivitusta, 7 kg/el·pv, joka havaittiin myös tilakokeissa riittäväksi kuivitukseksi. Samaisissa käytännön tiloilla tehdyissä kokeissa havaittiin, että 3,5 m²/emo on riittävä kuivikepohja-ala osakuivikepohjakarsinassa. Edellisen perusteella laboratorikokeessa käytetyn kuivikeannoksen massaksi valittiin 720 g/pv ja lanta-annoksen massaksi 1 339 g/pv. Kuivikeannos oli siten 53,8 % lanta-annoksen massasta. Käytetty lantamäärä oli 3,7 kg/m², joten koejärjestely vastasi tilannetta, jossa kuivikepohjalle tulee 13,2 kg lantaa emolehmää kohti. Koeastioiden lantamäärä vastasi emolehmien osakuivikepohjalle tuottamaa lantamäärää, joka KAPUISEN (1993, s. 31) mukaan on 12 - 15 kg/emo·pv, koska osakuivikepohjalle voidaan arvioida tulevan noin puolet eläinten lannasta. Laboratorikokeiden lantamäärä vastasi siten myös tilannetta, jossa osakuivikepohjan ala on 3,5 m² täysikasvuista (noin 600 kg) lihasonia tai 1,7 m² vasta-vieroitettua (noin 200 kg) vasikkaa kohti.

Kuivike- ja lanta-annokset lisättiin aamulla työpäivän alkaessa. Perjantaisin lisättiin myös lauantain annokset ja maanantaina myös sunnuntain annokset. Vastaavalla tavalla tasoitettiin pitkien viikonloppujen annokset niiden kummallekin puolelle niin, että millekään päivälle ei tullut yli kahden päivän annosta. Ensimmäinen lanta-annos lisättiin perustamisen yhteydessä lisätyn kuivikkeen päälle. Myöhemmin koeastioihin lisättiin ensin kuivikeannokset ja niiden päälle lanta-annokset.

Kokeissa käytetty lihanautojen lietalanta hankittiin läheiseltä tilalta. Saavit peitettiin kannella ja säilytettiin kellarissa. Saaveissa säilytetty lanta sekoitettiin saavissa porakonekäyttöisellä laastinsekoittimella, ja päivän lanta-annos asetettiin peitettynä lämpiämään vesihauteeseen lehmän ruumiinlämpötilaa vastaavaan lämpötilaan noin puoli vuorokautta ennen annoksen lisäämistä. Näin säilytetty lanta pysyi mahdollisimman samana koko kokeen ajan, ja sen lämpötila lisättäessä kuivikepohjalle vastasi todellista tilannetta. Säilytyksen aiheuttamat muutokset lannan pieneliöstössä olivat pienimmät mahdolliset. Lannan monipuolisen pieneliöstön takia suuretkin muutokset lannan pieneliöstössä vaikuttavat hyvin vähän kokonaisprosessiin, varsinkin kun lisättävät määrät ovat pieniä verrattuna koeastiassa jo oleviin nähden.

7.4 Kokeissa käytetyt kuivikemateriaalit, -seokset ja lanta

Kuivikkeiden ja lannan orgaaninen hiili, kokonais- ja liukoinen typpi, kokonais- ja vaihtuva kalium, kokonais- ja helppoliukoinen fosfori sekä kosteuspitoisuus määritettiin ennen laboratorikokeiden alkua. Ravinne- ja kosteuspitoisuudet määritettiin Viljavuuspalvelu Oy:n laboratoriossa. Typen määrittämisessä käytettiin Kjeldahl-menetelmää. Muiden liukoisten ravinteiden analysointiin käytettiin asetaattiuuttoa ja muiden kokonaisravinteiden analysointiin kuivapolttua.

7.4.1 Kokeissa käytetyt kuivikemateriaalit ja -seokset

Kokeissa kuivikkeena käytetty olki oli tutkimuslaitoksen omilta pelloilta korjattua vehnänolkea. Oljen analyysitulokset on esitetty taulukossa 16. Käytetyssä oljessa typpi- ja orgaanisen hiilen pitoisuus sekä C/N-suhde olivat normaalit. Liukoisen typen osuus oli 22 % kokonaistypestä. Oljen kosteuspitoisuus oli selvästi tavanomaista pienempi.

Taulukko 16. Kokeissa käytettyjen kuivikemateriaalien ravinne- ja kuiva-ainepitoisuudet sekä ravinnesuhteet.

Ravinne, ravinnesuhde tai kuiva-aine	Pitoisuus käyttökosteudessa, %			Pitoisuus kuiva-aineessa, %		
	Olki	Turve	Hake	Olki	Turve	Hake
Kokonaistyyppi	0,45	0,34	0,30	0,47	0,80	0,31
Liukoinen typpi	0,10	0,03	0,03	0,11	0,07	0,03
Kokonaisfosfori	0,05	0,01	0,03	0,05	0,02	0,03
Helppoliukoinen fosfori	0,03	0,01	0,01	0,03	0,00	0,01
Kokonaiskalium	1,4	0,01	0,10	1,4	0,02	0,10
Vaihtuva kalium	1,3	0,01	0,09	1,3	0,02	0,09
Orgaaninen hiili	35	20	23	37	46	24
C/N	78	59	77			
C/P	700	2000	767			
Kuiva-aine	95	43	96	100	100	100

Kokeissa käytetty turve hankittiin tutkimuslaitoksen läheisyydessä sijainneelta Katinhännän turvesuolta. Turpeesta tehdyn analyysin tulokset on esitetty taulukossa 16. Turpeen tyypestä vain 9 % oli liukoisessa muodossa. Kaikki fosfori oli helppoliukoisessa muodossa, ja kalium oli vaihtuvaa. Orgaanisen hiilen pitoisuus oli hieman normaalia pienempi.

Tutkimusta varten tarvittu hake hakettiin kuusitukkien pintalaudoista. Hakkurin terät oli asetettu siten, että hakkeen pituudeksi piti tulla 15 mm. Hakkeen analyysitulokset on esitetty taulukossa 16. Hakkeen liukoisen typen osuus oli 10 % kokonaistypestä. Kolmannes fosforista oli helppoliukoisessa muodossa. 90 % kaliumista oli vaihtuvassa muodossa. Orgaanisen hiilen pitoisuus oli selvästi normaalia pienempi.

Kuivikeseokset muodostettiin kolmesta erityyppisestä kuivikemateriaalista, jotta erityyppisten kuivikemateriaalien vaikutus kuivikeseoksessa saatiin esiin. Niistä olki edusti korsimaista, turve turvemaista ja hake puumaista kuivikemateriaalia. Turpeen osuus rajoitettiin 60 %:iin, jotta kuivikeseokseen ei olisi tullut liikaa hienojakoista materiaalia. Puhdas olkikuivike edusti yleisesti käytössä olevaa peruskuiviketyyppiä. Kuivikeseoksella 2 (O40/T60) etsittiin turpeen mahdollisia positiivisia vaikutuksia kuivikeseoksessa. Kuivikeseoksella 3 (O20/T60/H20) selvitettiin, mitä vaikutusta on sillä, että puolet kuivikeseoksen 2 (O40/T60) oljesta korvataan hakkeella. Kuivikeseoksella 4 (O40/T20/H40) selvitettiin, mitä vaikutusta on sillä, että kuivikeseoksessa 2 (O40/T60) 2/3 turpeesta korvataan hakkeella. Kuivikeseos 5 (O30/T35/H35) tarjoaa vaihtoehdon, jossa kuivikeseokseen lisätään haketta sekä oljen että turpeen kustannuksella verrattuna kuivikeseokseen 2 (O40/T60). Kuivikeseoskokeissa käytettyjen kuivikemateriaalien osuus kuivikeseoksissa on esitetty taulukossa 17.

Taulukko 17. Vertailtavat kuivikeseokset ja niiden C/N ja C/P-suhteet.

Kuivikeseos (koodinimi)	Olki, paino-%	Turve, paino-%	Hake, paino-%	C/N- suhde	C/P-suhde
1 (O100)	100	0	0	78	700
2 (O40/T60)	40	60	0	67	1480
3 (O20/T60/H20)	20	60	20	66	1493
4 (O40/T20/H40)	40	20	40	74	987
5 (O30/T35/H35)	30	35	35	71	1178

Oljen suuri osuus kuivikeseoksessa lisäsi kuivikeseoksen orgaanisen hiilen määrää, koska kuivike annosteltiin kiloina ja oljen orgaanisen hiilen pitoisuus oli käyttökosteudessa selvästi korkeampi kuin muiden kuivikemateriaalien. Oljen mukana tulevan orgaanisen hiilen määrä olisi ollut sama kuin tämän kokeen turpeella, jos oljen kosteuspitoisuus olisi ollut 46 %. Jos oljen kosteuspitoisuus olisi ollut 30 %, olisi sen mukana tulleen orgaanisen hiilen pitoisuus käyttökosteana ollut sama kuin tämän kokeen turpeen 45 %:n kosteuspitoisuudessa ja hakkeen sellaisena kuin sitä kokeessa käytettiin. Turpeessa orgaanisen hiilen pitoisuus kuiva-aineessa oli jopa suurempi kuin oljen, mutta käyttökosteudessa turpeen orgaanisen hiilen pitoisuus on kuitenkin pienempi kuin oljen. Kokeessa käytetyn hakkeen orgaanisen hiilen pitoisuus kuiva-aineesta on selvästi alhaisempi kuin oljessa ja turpeessa. Kokeessa käytetyn hakkeen olisi tullut olla lähes rutikuivaa, jotta sen mukana tulevan orgaanisen hiilen määrä olisi sama kuin oljen ja turpeen, jos kuivike annostellaan sen kokonaisuuden perusteella. Turpeen C/N-suhde oli pienempi kuin oljen ja hakkeen. Siten turpeen osuuden kasvaminen kuivikeseoksessa pienentäisi C/N-suhdetta. Vastaavasti turpeen C/P-suhde oli suurempi kuin muiden kuivikemateriaalien, joten sen osuuden kasvattaminen kuivikeseoksessa suurentaisi lähtöaineiden C/P-suhdetta.

7.4.2 Kokeissa käytetty lanta

Ensimmäisellä noutokerralla hankittu lanta ei riittänyt kaikkiin koejaksoihin, koska lantaa kului huomattavasti ennakoitua enemmän esikokeiden ja koeastioiden suurentamisen takia. Viimeistä eli neljättä koejaksoa varten hankittiin lisää samankaltaista lantaa samalta tilalta kuin ensimmäiselläkin kerralla. Tämä toisella kerralla hankittu lanta poikkesi ensimmäisellä kerralla hankitusta jonkin verran. Kummankin lannan analyysitulokset on esitetty taulukossa 18. Ensimmäisellä noutokerralla lanta sekoitettiin lietevaunussa ja laskettiin noin 60 litran saaveihin. Toisella kerralla lanta nostettiin suoraan kärryllä olleisiin saaveihin pienehköstä välikaivosta. Saavien täytön yhteydessä kummastakin lanta-erästä otettiin näyte, joka lähetettiin analysoitavaksi. Käytetyn lannan kuiva-ainepitoisuus vastasi emolehmiä muodostuvan lannan kuiva-ainepitoisuutta.

Taulukko 18. Kokeessa käytetyn lannan ravinne- ja kuiva-ainepitoisuudet sekä ravinnesuhteet.

Ravinne, ravinnesuhde tai kuiva-aine	Pitoisuus käyttökosteudessa, %		Pitoisuus kuiva-aineessa, %	
	Lanta 1	Lanta 2	Lanta 1	Lanta 2
Kokonaistyyppi	0,51	0,64	5,3	4,9
Liukoinen tyyppi	0,34	0,35	3,5	2,7
Orgaaninen hiili	3,5	5,1	36	39
Kokonaiskalium	0,34	0,32	3,5	2,5
Kokonaisfosfori	0,13	0,23	1,4	1,8
Magnesium	0,06	0,10	0,63	0,77
Kuiva-aine	9,6	13	100	100
C/N	6,9	8,0		
C/P	27	22		

Lannan mukana kuivikepohjiin tuli ravinteita siinä käyttökosteudessa olevien ravinnepitoisuuksien mukaan. Myöhemmin hankitun lanta-erän kuiva-ainepitoisuus oli jonkin verran korkeampi kuin ensinnä hankitun. Myöhemmin hankittua lantaa ei kuitenkaan laimennettu vedellä saman kuiva-ainepitoisuuden saavuttamiseksi, koska siitä ei kuitenkaan olisi saatu täysin vastaavaa lantaa kuin ensimmäisellä kerralla hankitusta lantaerien erilaisten ravinnesuhteiden takia.

Kokonaistypen pitoisuus oli jäljemmin hankitussa lannassa selvästi suurempi kuin ensinnä hankitussa, joten kokonaistyyppiä kertyi neljännessä koejaksossa mukana olleisiin kerranteisiin enemmän kuin kolmannessa koejaksossa olleisiin. Noin 2/3 - 3/4 kuivikepohjalle tulevasta kokonaistypestä oli peräisin lannasta, joten lannan kokonaistypen pitoisuudella oli varsin paljon merkitystä kuivikepohjien kokonaistypen syöttömääriin. Liukoisen typen pitoisuudet olivat kuitenkin kummassakin lannassa käyttökosteana käytännössä yhtä suuret, joten liukoisen typen syöttömäärät vaihtelivat vain vähän lantaerien välillä. Jälkimmäisessä lantaerässä oli myös orgaanista hiiltä enemmän kuin ensimmäisessä, mutta siitä aiheutui kuitenkin huomattavasti vähemmän eroa orgaanisen hiilen syöttömääriin kuin mitä lantojen kokonaistyyppipitoisuuden eroista aiheutui kokonaistypen syöttömääriin, koska lannan osuus orgaanisen hiilen syötöstä oli vain noin 20 - 30 %.

7.5 Kuivikkeiden ja lannan mukana koeastioihin tulleet ravinteiden, kuiva-aineen ja massan määrät sekä ravinnesuhteet kuivikeseoksittain

Tutkimuksen aineisto kerättiin neljästä noin kahden kuukauden mittaisesta laboratorikoejaksosta. Kuivikeseosten 1 (O100) - 4 (O40/T20/H40) kerranteet oli sijoitettu kolmanteen ja neljänteen koejaksoon siten, että kutakin oli toisessa koejaksossa yksi ja toisessa koejaksossa kaksi. Nämä kuivikeseokset olivat siten keskimäärin samassa asemassa. Kuivikeseoksen 5 (O30/T35/H35) kerranteet olivat peräisin aikaisemmin tehdyistä ensimmäisestä ja toisesta koejaksosta, joiden tarkoituksena oli selvittää kuivikepohjien oikeat ilmastusmäärät. Koska ensimmäisessä ja toisessa koejaksossa käytettiin samaa lantaa kumpaisessakin, tämän kuivikeseoksen lähtöaineiden ravinne- ja kuiva-ainepitoisuuksissa ei ole vaihtelua kerranteiden välillä.

Analyysitulosten, kuivikeseosten sekä lanta- ja kuivikeannosten perusteella laskettiin kaikille koejäsenten kerranteille syöttöaineiden kokonaismassa, syöttöaineiden kuiva-aineen määrä ja kosteuspitoisuus sekä niiden mukana tulleiden ravinteiden määrät ja pitoisuudet kuiva-aineessa. Eri seoksilla kuivitetettujen kuivikepohjien lähtöaineiden väliset erot mitattujen tekijöiden suhteen testattiin tilastollisesti, jotta voitiin selvittää, oliko kuivikeseoksien väliset erot näissä tekijöissä todellisia vai vain kerranteiden välisistä lähtöaineiden eroista aiheutuvaa satunnaisvaihtelua. Tilastolliset testit selvitetään muiden tilastollisten testien yhteydessä kohdassa 7.9.

Taulukosta 19 voidaan todeta eri seoksilla kuivitetettujen kuivikepohjien lähtöaineiden eri ravinteiden, kuiva-aineen ja massan syöttömäärät sekä C/N- ja C/P-suhteet ja vastaavat hajonnat sekä niiden välisten erojen tilastolliset merkitsevyydet. Merkitseviä eroja on liukoisen typen, kokonaiskaliumin, orgaanisen hiilen, kuiva-aineen ja massan syöttönopeuksissa sekä C/N-suhteissa Student-Newman-Keuls multiple range -monivertailumenetelmällä testattuna.

Kokonaistypen syöttömäärän suuri vaihtelu (variaatiokerroin noin 10 %) johtui lähes kokonaan siitä, että viimeistä koejaksoa varten jouduttiin hankkimaan lisää lantaa. Lisäerän kokonaistypen pitoisuus osoittautui tuoreena 0,13 %-yksikköä suuremmaksi kuin kolmessa ensimmäisessä koejaksossa käytetyn lannan. Lannasta ja kuivikkeista kertyneen kokonaistypen määrä oli eniten tyypeä sisältäneissä kerranteissa 18,8 - 19,8 % suurempi kuin vähemmän tyypeä sisältäneissä kerranteissa.

Seoksella 1 (O100) kuivitetettujen kuivikepohjien liukoisen typen syöttömäärät olivat tilastollisesti merkitsevästi suuremmat kuin seoksella 3 (O20/T60/H20) ja seoksella 5 (O30/T35/H35) kuivitetettujen kuivikepohjien liukoisen typen syöttömäärät. Lisäksi seoksella 4 (O40/T20/H40) kuivitetettujen kuivikepohjien liukoisen typen syöttömäärät olivat tilastollisesti merkitsevästi suuremmat kuin seoksilla 2 (O40/T60), 3 (O20/T60/H20) ja 5 (O30/T35/H35) kuivitetettujen kuivikepohjien. Oljen suuri osuus kuivikeseoksessa nosti liukoisen typen syöttömäärää, koska oljen liukoisen typen pitoisuus käyttökosteudessa ja myös kuiva-aineesta oli suurempi kuin hakkeen tai turpeen. Lantaerien välinen liukoisen typen määrän vaihtelu oli pieni verrattuna vastaavaan vaihteluun kokonaistypen määrässä, joten liukoisen typen syöttömäärän variaatiokerroin jäi noin 2,4 %:iin. Tämä toi esiin eri kuivikemateriaalien vaikutuksen.

Kokonaisfosforin syöttömäärien erot alleen peittävä suuri vaihtelu (variaatiokerroin 27 - 33 %) kuivikeseosten 1 (O100), 2 (O40/T60), 3 (O20/T60/H20) ja 4 (O40/T20/H40) kerranteiden välillä aiheutui eri lantaerien välisestä suuresta fosforipitoisuuden erosta. Kaikkien kuivikepohjien kokonaiskaliumin syöttömäärät erosivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Erot johtuvat oljen erilaisista osuuksista kuivikeseoksessa. Runsaasti olkea sisältävillä seoksilla kuivitetuissa kuivikepohjissa kokonaiskaliumin syöttömäärät olivat suuremmat kuin muilla seoksilla kuivitetuissa kuivikepohjissa. Siten seoksella 1 (O100) kuivitetettujen kuivikepohjien kokonaiskaliumin syöttömäärä oli suurin. Tällä ei kuitenkaan pitäisi olla vaikutusta kuivikepohjan toimintaan.

Taulukko 19. Eri seoksilla kuivitettyjen kuivikepohjien lähtöaineiden ravinnemäärät ja -suhteet, kuiva-aine ja massa sekä niiden välisten erojen tilastolliset merkitsevyydet ($p=0,05$) testattuna Student-Newman-Keuls multiple range -monivertailumenetelmällä.

Kuivikeseos	Kokonais- typpi		Liukoinen typpi		Kokonais- fosfori		Kokonais- kalium		Orgaaninen hiili		C/N-suhde		C/P-suhde		Kuiva-aine		Massa	
	ka, g	σ , g	ka, g	σ , g	ka, g	σ , g	ka, g	σ , g	ka, kg	σ , kg	ka	σ	ka, kg	σ , kg	ka, kg	σ , kg	ka, kg	σ , kg
1 (O100)	630	64	310 ^a	8	150	46	870 ^a	1,0	19 ^a	0,9	30 ^a	1,6	136 ^a	31	50,9 ^a	2,0	121,65 ^a	1,19
2 (O40/T60)	610	64	290 ^{bc}	7	140	46	520 ^b	4,0	15 ^{bc}	0,9	25 ^b	1,2	118 ^b	28	38,3 ^b	1,9	123,81 ^b	1,89
3 (O20/T60/H20)	640	64	290 ^{bc}	7	160	46	400 ^c	5,0	15 ^{bc}	0,8	24 ^b	1,1	98 ^b	27	40,8 ^b	1,9	126,65 ^c	1,19
4 (O40/T20/H40)	640	64	300 ^c	7	170	46	530 ^d	4,0	16 ^c	0,9	26 ^b	1,3	103 ^a	27	49,4 ^a	2,0	124,49 ^b	1,19
5 (O30/T35/H35)	540	0	280 ^b	0	110	0	460 ^e	0,0	14 ^b	0,0	26 ^b	0,0	127 ^b	0	41,6 ^b	0,0	119,62 ^d	0,00
Kaikkien kuivikeseosten keskiarvo	612		294		145		556		16		26		116		44,2		123,24	
F-arvo	1,42		8,48		0,94		8769,32		17,70		12,38		1,20		31,71		19,34	
Riski	0,2980		0,0030*		0,4816		0,0000***		0,0002***		0,0007***		0,3705		0,0000***		0,0001***	

Orgaanisen hiilen syöttömäärä oli seoksella 1 (O100) kuivitetuissa kuivikepohjissa tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin muilla seoksilla kuivitetuissa kuivikepohjissa. Tätä 25 %:n eroa voidaan pitää käytännön kannalta merkittävänä. Edelleen seoksella 4 (O40/T20/H40) kuivitetujen kuivikepohjien orgaanisen hiilen syöttömäärät erosivat seoksella 5 (O30/T35/H35) kuivitetujen kuivikepohjien syöttömäärästä tilastollisesti merkitsevästi. Runsaasti olkea sisältävillä seoksilla kuivitetuihin kuivikepohjiin tuli muita runsaammin orgaanista hiiltä, joka oli lisäksi varsin helposti hajoavaa verrattuna muista käytetyistä kuivikemateriaaleista tullesseen orgaaniseen hiileen. Siten seoksella 1 (O100) kuivitetuissa kuivikepohjissa oli varsin runsaasti käytettävissä helposti hajoavaa hiiltä verrattuna muilla seoksilla kuivitetuihin kuivikepohjiin.

Olkikuivikkeella eli seoksella 1 (O100) kuivitetun kuivikepohjan lähtöaineiden C/N-suhde oli tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin muilla seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien C/N-suhde. Seoksella 1 (O100) kuivitetujen kuivikepohjien lähtöaineiden C/N-suhde oli 30, muilla keskimäärin 25. C/N-suhde oli kuivikepohjille täysin normaali.

C/P-suhde oli kaikilla seoksilla kuivitetuissa kuivikepohjissa keskimäärin 116. Se oli kuivikepohjille täysin normaali. Tilastollinen ero eri seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien välillä peittyi lantaerien väliseen suureen eroon C/P-suhteessa.

Seoksilla 2 (O40/T60), 3 (O20/T60/H20) ja 5 (O30/T35/H35) kuivitetujen kuivikepohjien kuiva-aineen syöttömäärät olivat tilastollisesti merkitsevästi pienemmät kuin seoksilla 1 (O100) ja 4 (O40/T20/H40) kuivitetujen. Kuiva-aineen syöttömäärät olivat koejakson kuudessa ensinnä mainituilla seoksilla kuivitetuissa kuivikepohjissa keskimäärin 44,6 kg/astia. Jäljempänä mainituilla seoksilla kuivitetuissa kuivikepohjissa ne olivat keskimäärin 50,1 kg/astia. Kuiva-aineiden syöttömäärät erosivat toisistaan eri seoksilla kuivitetuissa kuivikepohjissa, koska kuivikeseoksen eri komponenttien kuiva-ainepitoisuus oli erilainen. Koska turpeen kuiva-ainepitoisuus oli alhainen, runsaasti turvetta sisältävillä seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien kuiva-aineen syöttömäärät olivat pienemmät kuin sitä vähän sisältävillä seoksilla kuivitetujen. Siten seossuhde vaikutti kuiva-aineen syöttömäärään. Lähtöaineiden kuiva-aineen määrä oli seoksilla 1 (O100) ja 4 (O40/T20/H40) kuivitetuissa kuivikepohjissa 12,3 % suurempi kuin seoksilla 2 (O40/T60), 3 (O20/T60/H20) ja 5 (O30/T35/H35) kuivitetuissa kuivikepohjissa.

Kaikkien muiden paitsi seoksilla 2 (O40/T60) ja 4 (O40/T20/H40) kuivitetujen kuivikepohjien kokonaissyöttömäärät erosivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Seoksella 3 (O20/T60/H20) kuivitetujen kuivikepohjien kokonaissyöttömäärät olivat suurimmat. Pienin kokonaissyöttömäärä oli seoksella 5 (O30/T35/H35) kuivitetuissa kuivikepohjissa. Seoksella 3 (O20/T60/H20) kuivitetuihin kuivikepohjiin tuli 6 % enemmän massaa kuin seoksella 5 (O30/T35/H35) kuivitetuihin. Eri seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien kerranteiden kokonaissyöttömäärät poikkesivat hieman toisistaan riippuen siitä, missä koejaksossa kukin kuivikeseoksen kerranne oli ollut mukana. Koejaksoissa oli 56 - 58 päivää kuivikepohjien perustamisen jälkeen. Kuivikkeeseen lisäyksiä oli yksi vähemmän kuin koepäiviä. Lanta-annoksia lisättiin yhtä monta kuin oli koepäiviä. Näiden

lisäksi tuleva perustuskuivikkeen määrä riippui kuivikeseoksesta, koska kaikilla seoksilla kuivitetuihin kuivikepohjiin pyrittiin samaan yhtä paksu perustuskuivikekerros. Perustuskuivikkeen määrä vastasi päivittäisen kuivikeannoksen (720 g) kerranteita järjestyksessä seoksesta 1 (O100) seokseen 5 (O30/T35/H35) seuraavasti: 6, 9, 12, 9 ja 7. Edellä mainitut tekijät yhdessä aiheuttivat kokonaissyöttömassojen poikkeamat koejäsenten ja kerranteiden välillä.

7.6 Koeastioihin tulleen kuivikkeen ja lannan ravinne- ja kosteuspitoisuudet kuivikeseoksittain

Taulukosta 20 voidaan todeta eri seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien lähtöaineiden eri ravinteiden pitoisuudet sekä niiden välisten erojen tilastolliset merkitsevyydet näiden tekijöiden suhteen. Niiden tekijöiden suhteen, joiden välillä on tilastollisesti merkitseviä eroja, eri seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien välisten erojen tilastolliset merkitsevyydet on esitetty Student-Newman-Keuls multiple range -monivertailumenetelmän mukaisesti. Merkitseviä eroja oli kokonais- ja liukoisen typen, kokonaiskaliumin ja orgaanisen hiilen pitoisuuksissa sekä kosteuspitoisuudessa.

Seoksilla 2 (O40/T60) ja 3 (O20/T60/H20) kuivitetujen kuivikepohjien lähtöaineiden kokonaistypen pitoisuudet kuiva-aineessa olivat tilastollisesti merkitsevästi suuremmat kuin seoksilla 1 (O100), 4 (O40/T20/H40) ja 5 (O30/T35/H35) kuivitetujen. Tämä johtuu siitä, että ensin mainituissa kuivikeseoksissa oli runsaammin turvetta kuin jälkimmäisissä kuivikeseoksissa. Tämä kasvatti kokonaistypen määrää suhteessa kuiva-aineen määrään, vaikka turpeen ja oljen kokonaistypen pitoisuudet olivatkin käyttökosteudessa lähes yhtä suuret, koska turpeen mukana tuli muita kuivikemateriaaleja vähemmän kuiva-ainetta. Kokonaistypen pitoisuudet olivat riittävän suuret kaikilla seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien lähtöaineissa nopean kompostoitumisen saavuttamiseksi. Kokonaistypen pitoisuudet ylittivät selvästi 1,0 %:n rajan, jonka alapuolella kompostiin pitäisi sitoutua ulkopuolista typpeä.

Lukuunottamatta seoksilla 1 (O100) ja 4 (O40/T20/H40) kuivitetuja kuivikepohjia liukoisen typen pitoisuudet lähtöaineiden kuiva-aineessa erosivat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan. Liukoisen typen pitoisuus lähtöaineiden kuiva-aineessa oli suurin seoksella 2 (O40/T60) kuivitetuissa kuivikepohjissa, koska niissä oli runsaasti turvetta eikä lainkaan haketta. Turve on muita kuivikeseoksen komponentteja kosteampaa. Koska kuivikkeet annosteltiin niiden tuorepainon perusteella, niihin kuivikepohjiin, joiden kuivikeseos sisälsi runsaasti turvetta, tuli vähemmän kuiva-ainetta kuin niihin kuivikepohjiin, joiden kuivikeseos sisälsi vastaavasti vähän turvetta. Siten suuri turpeen osuus kuivikeseoksessa nosti välillisesti lähtöaineiden liukoisen typen pitoisuutta kuiva-aineessa. Pitoisuudet olivat kauttaaltaan riittäviä, joten erojen ei pitäisi vaikuttaa kompostoitumiseen. Liukoisen typen osuuden suuri hajonta johtui ensisijaisesti siitä, että jälkimmäisen lannan kokonaistypen pitoisuus oli neljänneksen suurempi kuin ensimmäisen ja liukoisen typen pitoisuudet olivat keskenään yhtä suuret.

Taulukko 20. Eri seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien lähtöaineiden kuiva-aineen ravinnepitoisuudet ja kosteuspitoisuudet sekä liukoisen typen osuus kokonaistypestä sekä niiden välisten erojen tilastolliset merkisevyydet ($p=0,05$) Student-Newman-Keuls multiple range -monivertailumenetelmällä testattuna.

Kuivikeseos	Kokonaistyyppi		Liukoinen tyyppi		Liukoisen typen osuus kokonaistypestä		Kokonaisfosfori		Kokonaiskalium		Orgaaninen hiili		Kosteuspitoisuus	
	ka, %	σ , %	ka, %	σ , %	ka, %	σ , %	ka, %	σ , %	ka, %	σ , %	ka, %	σ , %	ka, %	σ , %
1 (O100)	1,2 ^a	0,076	0,61 ^a	0,009	49	3,7	0,29	0,078	1,7 ^a	0,067	37 ^a	0,28	58,2 ^a	1,2
2 (O40/T60)	1,6 ^b	0,087	0,76 ^b	0,017	48	3,7	0,36	0,100	1,4 ^b	0,074	40 ^b	0,26	69,1 ^b	1,2
3 (O20/T60/H20)	1,6 ^b	0,087	0,71 ^c	0,015	46	3,7	0,40	0,097	1,0 ^c	0,059	37 ^a	0,38	67,8 ^b	1,2
4 (O40/T20/H40)	1,3 ^a	0,080	0,60 ^a	0,009	47	3,7	0,34	0,082	1,1 ^d	0,052	33 ^c	0,44	60,4 ^c	1,2
5 (O30/T35/H35)	1,3 ^a	0,000	0,67 ^d	0,000	51	0,0	0,26	0,000	1,1 ^d	0,000	34 ^c	0,00	65,2 ^d	0,0
Kaikkien kuivikeseosten keskiarvo	1,4		0,67		48		0,33		1,3		36		64,1	
F-arvo	14,73		104,62		1,29		1,34		80,78		263,24		58,08	
Riski	0,0003***		0,0000***		0,3371		0,3209		0,0000***		0,0000***		0,0000***	

Seoksella 1 (O100) kuivitetun kuivikepohjan lähtöaineiden kuiva-aineen kokonaiskaliumin pitoisuus oli selvästi korkeampi kuin muilla seoksilla kuivitetettujen kuivikepohjien lähtöaineiden kuiva-aineen. Tämä johtuu siitä, että kuivikeseoksessa 1 (O100) oli pelkkää olkea, joka sisältää runsaasti kaliumia. Kuivikeseosten kokonaiskaliumin pitoisuudet erosivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi seoksilla 4 (O40/T20/H40) ja 5 (O30/T35/H35) kuivitetettujen kuivikepohjien lähtöaineiden kuiva-aineen kokonaiskaliumin pitoisuutta lukuunottamatta. Kaliumpitoisuuksien erojen ei pitäisi vaikuttaa kompostoitumiseen.

Kokeessa mukana olleiden kuivikepohjien kuiva-aineen orgaanisen hiilen pitoisuudet jakaantuivat kolmeen ryhmään. Lähtöaineiden kuiva-aineen orgaanisen hiilen pitoisuus oli suurin niiden kuivikepohjien kuiva-aineessa, joita kuivitettiin kuivikeseoksella 2 (O40/T60). Lähtöaineiden kuiva-aineen orgaanisen hiilen pitoisuus oli pienin niissä kuivikepohjissa, joiden kuivikeseoksessa oli runsaasti haketta.

Eri seoksilla kuivitetettujen kuivikepohjien lähtöaineiden kosteuspitoisuudet erosivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi lukuunottamatta seoksilla 2 (O40/T60) ja 3 (O20/T60/H20) kuivitetettujen kuivikepohjien välistä eroa. Niiden lähtöaineiden kosteuspitoisuus oli muita suurempi, keskimäärin 68,4 %, koska nämä kuivikeseokset sisälsivät runsaasti turvetta. Lähtöaineiden kosteuspitoisuus asettui turpeen osuuden kanssa samaan järjestykseen. Lähtöaineiden kosteuspitoisuus määräytyi siten pelkästään kuivikeseoksen sisältämän turpeen osuuden perusteella. Kosteimmat lähtöaineet sisälsivät vettä 17,6 % enemmän kuin kuivimmat. Eri seoksilla kuivitetut kuivikepohjat sisälsivät järjestyksessä kuivikeseoksesta 1 (O100) kuivikeseokseen 5 (O30/T35/H35): 1,4, 2,2, 2,1, 1,5 ja 1,9 kg vettä kuiva-ainekg:a kohti. Lähtöaineiden kosteuspitoisuudet olivat välillä 58 - 68 %. Kuivikkeen ja lannan seoksen kosteuspitoisuuteen vaikutti eniten turpeen osuus kuivikeseoksessa, koska sen kosteuspitoisuus oli suuri verrattuna muiden kuivikkeiden kosteuspitoisuuteen. Kuivikeseosta 4 (O40/T20/H40) lukuun ottamatta kuivikeseosten kosteudensitomiskyvyt olivat riittävät kokeessa, mutta minkään kuivikeseoksen kosteudensitomiskyky ei olisi ollut riittävä, jos kuivikkeiden kosteuspitoisuus olisi ollut normaali.

7.7 Kuivikepohjien tiivistykset

Kuivikepohjat tiivistettiin jokaisena työpäivänä kuivikkeen ja lannan lisäämisen jälkeen pudottamalla sorkkien vaikutusta jäljittelevä punnus kuivikepohjan pinnalle 20 cm:n korkeudelta käsin soironpätkällä esitiivistetylle kuivikepohjalle kerran joka kohtaan. Kuivikepohjan pinnan korkeudeksi katsottiin se taso, jolle punnus kevyesti laskemalla asettui esitiivistyksen jälkeen. Punnuksen paininjalka oli mitoiltaan 10 cm · 10 cm. Tiivistyslaitteen kokonaispaino oli 350 kg, joten painon levätessä jalallaan alustaan kohdistuva paine oli 350 kPa, mikä vastaa lehmän sorkkien kuivikepohjaan kohdistamaa painetta.

Tiivistyksessä kuivikepohjan pinta ajateltiin jaetun ruutuihin kuten shakkilauta. Ensin tiivistettiin tummat ja sitten vaaleat ruudut, koska jos tiivistys olisi tehty järjestyksessä alkaen toisesta reunasta, kuivikepohja olisi tiivistyksen lopussa siirtynyt astian toiselle reunalle. Perjantaisin ja maanantaisin kuivikepohjat tiivistettiin kahdesti. Vastaavasti pitkien viikonloppujen tiivistykset tasoitettiin viikonlopun kummallekin puolelle, kuten kuivike- ja lanta-annosten lisäyksetkin. Kahden päivän kuivike- ja lanta-annosten lisäyksen yhteydessä kummankin päivän annokset lisättiin ensin, vasta sen jälkeen tiivistettiin kummankin päivän edestä. Painon pudotuskorkeus kuitenkin tarkistettiin tiivistysten välillä.

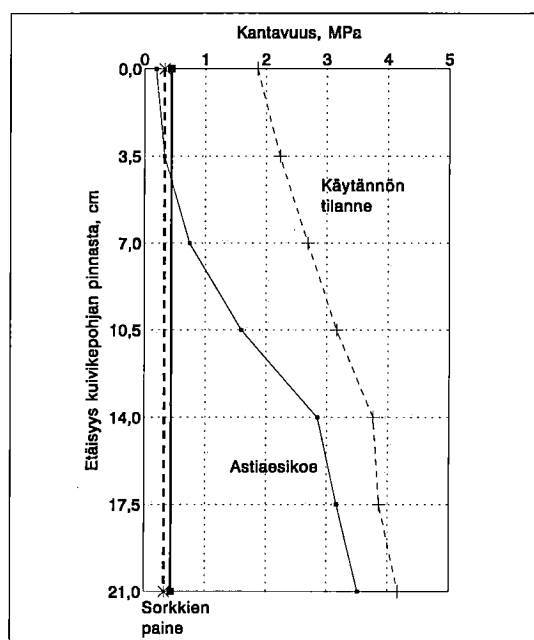
Esikokeiden aikana punnus pudotettiin hydraulisen nostimen kannatuksesta erityistä laukaisinta käyttäen. Punnuksen pystyssä pitämiseen tarvittava varmuusketju oli kiinnitetty samaiseen nosturiin, mikä aiheutti sen, että nosturi riuhtaisi punnusta pudotuksen jälkeen, jolloin punnuksen jalka pehmitti kuivikepohjan pintaa. Mittauksin todennettiin, että kuivikepohja oli yhtä tiivistä samalla syvyydellä kuivikepohjan pinnasta riippumatta mittauskohdan etäisyydestä koeastian seinään.

Koeastiassa olleen kuivikepohjan tiiviys vastasi käytännön tilalla samalla seoksella kuivitetun kuivikepohjan tiiviyttä 15 cm:n syvyydestä eteenpäin (kuvio 5). Koeastiassa kuivikepohjan pintakerroksen tiiviys oli pienempi kuin käytännön kuivikepohjassa, koska paininjalan muokkaava vaikutus oli varsin raju eikä

pintaa tiivistetty, kuten eläimet käytännön kuivikepohjalle tekevät makaamalla kuivikepohjan päällä. Varsinaisissa kokeissa punnuksen pudotustapaa muutettiin siten, että punnus jäi vapaasti seisomaan kuivikepohjan päälle ja varmistusketju kiristyi vasta punnuksen hieman kallistuessa. Tällöin punnuksen paininjalka ei juurikaan siirtynyt putoamispaikastaan. Tiivistyspaino kohotettiin hydraulisynterin avulla. Pudotusten yhteydessä kaksitoimisen hydraulisynterin yhteiden välinen sulkua avattiin nopeasti, joten pudotus vastasi lähes vapaata pudotusta. Vapaana pudotuksena jokainen pudotus vastasi noin 690 J:n energiaa.

7.8 Kuivikepohjien kerrospaksuuksien, lämpötilojen, kantavuuksien, kompostoitumisen päättymisen ja pinnoilla vallinneiden kaasupitoisuuksien mittaukset

Kuivikepohjien kerrospaksuudet mitattiin jokaisena työpäivänä kuivikepohjien tiivistyksen jälkeen yhdeksän kohdan keskiarvona. Mittauksen tarkkuus oli ± 1 mm. Näin saatua aineistoa käytettiin tilastollisten analyysien aineistona.



Kuvio 5. Kuivikepohjan kantavuuslaboratorio- esikokeen mukaisen tiivistyksen ja käytännön osakuivikepohjassa toteutuneen tiivistyksen mukaisesti eri syvyyksillä kuivikepohjan pinnasta.

Kuivikepohjien ja ympäristön lämpötilat mitattiin tiedonkeruulaitteella ja vastuslämpötilantureilla. Niiden tarkkuus oli $\pm 0,03$ °C. Lämpötilat mitattiin 15 minuutin välein. Lämpötila-anturit sijaitsivat 10, 20 ja 30 cm:n korkeudella koeastian pohjalla olleen sorakerroksen yläpuolella astian keskikohdalla (kuva 3). Kustakin mittauspisteestä laskettiin lämpötiloille päivän keskiarvot, joita käytettiin tilastollisten testien aineistona.

Kuivikepohjien pintalämpötilat määritettiin kolme kertaa koejakson aikana mittaamalla ne säteilymittarilla (TermoFlux®-meter typ EM 101) (ANON. 1983). Mittarin ilmoittamaa bruttosäteilyn arvoa yksikössä W/m^2 käytettiin pohjana pintalämpötilan määrittämisessä. Mittauksen tarkkuus oli mittarin valmistajan ilmoituksen mukaan ± 1 W/m^2 . Tutkimuksen mittaustilanteissa se johti noin ± 3 %:n virheeseen. Pintalämpötilan ja bruttosäteilyn välillä vallitsee fysikaalinen riippuvuus kaavan 7 mukaan.

$$T = 4 \sqrt{\frac{q}{\epsilon \sigma_s}} \quad (7)$$

jossa q = lämpövirta pinnasta, W/m^2
 ϵ = emissiokerroin (0 - 1)
 σ_s = Stefan-BolzmANNin vakio, $5,7 \cdot 10^{-8} W/m^2K^4$

Kaavassa 7 käytetyn emissiokertoimen arvo määritettiin kuivikepohjille yhteisenä vakioarvona pari vuorokautta tasaisessa ympäristön lämpötilassa seisesta ohuesta noin 10 cm:n paksuisesta kypsän kompostin pinnasta mittaamalla lämpösäteily samaisella säteilymittarilla. Emissiokertoimen laskemiseksi kaava 7 ratkaistiin emissiokertoimen suhteen ja tulokseksi saatiin kaava 8.

$$\epsilon = \frac{q}{\sigma_s \cdot T^4} \quad (8)$$

Siihen sijoitettiin mitattu säteily ja lämpötila. Kuivikepohjien pintalämpötilat laskettiin käyttäen tätä emissiokertoimen pinnan bruttosäteilyarvoista. Saadulle aineistolle tehtiin tilastolliset testit.

Kuivikepohjien pintakerrosten lämmönjohtavuus määritettiin käyttäen kuivikepohjien pintalämpötilojen ja 13 cm:n syvyydessä olleen tason lämpötiloja sekä kuivikepohjien pintojen nettosäteilyä. Saadulle aineistolle tehtiin tilastolliset testit.

Kuivikepohjien vastapaineet mitattiin koejakson aikana kaikkina työpäivinä kuivikkeiden lisäyksen ja lannan tiivistyksen jälkeen. Ne mitattiin kunkin koeastian ilmansyöttöletkusta paine-eromittarilla. Ilmansyöttöletkuista mitatuista vastapaineista vähennettiin sorakerroksen ja ilmansyöttökierukoiden aiheuttama vastapaine vallinneen ilmavirtaustason mukaisesti. Jäljelle jäänyt vastapaine suhteutettiin kuivikepohjista kunakin vastapaineenmittauskertana mitattuun kuivikekerroksen paksuuteen ja ilmavirtaan. Näin saatu ominaisvastapaine kuvaa kuivikepohjan ilmastuksen helpoutta. Näin saatua aineistoa ominaisvastapaineista käytettiin tilastollisten analyysien aineistona.

Kuivikepohjien kantavuus mitattiin penetrometrillä koejaksojen lopussa (Mark 1 Model 1979, Fidelity, Irvine Ltd.) (RICHARDS 1987). Kussakin koeastiassa oli vaakasuunnassa 33 mittauskohtaa. Syvimmät mitatut kohdat sijaitsivat 12. mittaussyvytydessä eli 42 cm:n etäisyydellä kuivikepohjan pinnasta. Tilastollisten analyysien pohjana käytettiin aineistoa, joka muodostui kunkin kuivikepohjan kunkin mittaussyvytyden kantavuuksien keskiarvoista, koska esikokeissa ei voitu havaita säännönmukaisia tiivistymiseroja koeastian vaakatasossa.

Valmiista komposteista tehtiin kokeen päätyttyä vastaavat analyysit kuin lähtöaineista (kts. kohta 7.4.1) kustakin koeastiasta 10 ja 30 cm:n korkeudelta kuivikepohjan pohjasta otetuista näytteistä kokonaisfosforia ja -kaliumia lukuun ottamatta. Valmiista komposteista 10 ja 30 cm koeastian pohjasta otettujen näytteiden analyysitietojen perusteella laskettiin ravinne- ja kosteuspitoisuudet sekä ravinne- ja kuiva-ainetappiot kullekin koejäsenen kerranteelle kummankin näytteenottokohdan keskiarvona. Ravinnetappioiden arvot saattoivat olla taseeseen perustuvan laskentatavan takia positiivisia tai negatiivisia. Kompostoitumisprosessissa typen ja hiilen tappiot voivat todellisuudessakin olla positiivisia tai negatiivisia. Näin muodostetulle aineistolle tehtiin tilastolliset testit.

Kompostoitumisen päätyminen määritettiin erikseen 10 ja 30 cm koeastian pohjasta otetuista näytteistä käyttäen JANNin (1959, s. 273 - 275) esittämää menetelmää. Menetelmä on käytettävissä olevista paras siinä mielessä, että kuvaa kompostoitumispotentiaalia samalla tavalla riippumatta näytteen sisältämästä materiaalista. Näytteet otettiin samoista kohdista kuin ravinne- ja kosteuspitoisuusmäärittystäkin varten. Määrittystä varten näytteet sijoitettiin ensin 25 °C:een lämpötilaan avoimessa koeputkessa kahden vuorokauden ajaksi. Tämän tarkoituksen oli neutralisoida mahdollisesti hapan näyte. Tämän jälkeen näyte sijoitettiin suljetussa koeputkessa 55 °C:een lämpötilaan viideksi vuorokaudeksi. Näytteiden happamuudet määritettiin ennen kumpaakin lämpökäsittelyä ja viimeisen jälkeen. Happamuusmääritykset tehtiin veteen liuotetusta osanäytteestä pH-mittarilla (Beckmann Model H-2, Beckmann Instruments, Inc.). Kompostoitumisen päätyminen määritettiin sen pH-muutoksen perusteella, joka syntyi jälkimmäisen lämpökäsittelyn aikana. Suuri muutos tarkoitti sitä, että kompostoituminen oli jäänyt kesken. Näitä muutoksia käytettiin tilastollisten testien aineistona.

Kaasupitoisuudet mitattiin välittömästi kuivikepohjan pinnan päältä kaasuntoteamislaitteella (Dräger) yhdeksän kohdan keskiarvona. Alunperin mitattiin ammoniakkia, rikkivetyä ja hiilidioksidia. Mittaukset tehtiin kolme kertaa, mittausjakson alussa, keskellä ja lopussa. Myöhemmin järjestelmällisestä rikkivedyn mittauksesta luovuttiin, koska sen läsnäolosta ei ollut merkkiäkään yhdessäkään koeastioista, ja sen läsnäolo tarkastettiin joka mittauskerralla kaikista kuivikepohjista yhteisesti. Saadulle aineistolle tehtiin tilastolliset testit.

7.9 Tilastomatemaattiset analyysit

Kuivikepohjien kerrospaksuudet, lämpötilat, ominaisvastapaineet ja kantavuudet analysoitiin toistettujen mittauksen varianssianalyysillä (BMDP 5V; Unbalanced Repeated Measures

Models with Structured Covariance Matrices) (SCHLUCHTER 1990, s. 1207 - 1244). Analyysissä käytettiin parametrien arviointiin rajoitetun suurimman todennäköisyyden menetelmää (REML). Lopullisessa analyysissä käytetty kovarianssirakenne valittiin kokeilemalla eri kovarianssirakenteita ja valitsemalla sopivin kovarianssirakenne Akaiken informaatiokriteerin (AIC) perusteella. Sopivin kovarianssirakenne on se, jota käyttämällä AIC on suurin. Vaihtoehtoisia kovarianssirakenteita olivat: yhdistetty symmetria, ensimmäisen asteen autoregressiivinen, yleinen autoregressiivinen ja rakenteeton. (SCHLUCHTER 1990, s. 1214 - 1215.) Kuivikeseoksen lisäksi analyysiin otettiin mukaan vaikuttaviksi tekijöiksi toistotekijä (mittauspäivä) ja näiden yhdysvaikutukset. Lämpötilamittauksissa otettiin testaukseen mukaan lisäksi anturin sijoituskorkeuden vaikutus ja vastaavat yhdysvaikutukset. Kuivikepohjan kantavuuteen vaikuttaviksi testattaviksi tekijöiksi valittiin kuivikeseos, mittaussyvyys ja näiden yhdysvaikutukset. Kuivikepohjien kantavuuteen vaikuttavien tekijöiden testauksessa toistotekijän tilalla oli mukana toistotekijäksi rinnastettava mittaussyvyys WITHIN-tekijänä.

Kuivikepohjien pintalämpötilojen, pintakerroksen lämmönjohtavuuden, pinnan kaasupitoisuuksien ja kompostoitumisen päättymisen analysointiin käytettiin niin ikään toistettujen mittausten varianssianalyysia (BMDP 4V; Univariate and Multivariate Analysis of Variance and Covariance, Including Repeated Measures) (DULA ym. 1990, s. 1155 - 1206). Vaikuttavien tekijöiden testaukseen otettiin mukaan kuivikeseos, mittauskerta tai näytteenottoisyvyys ja näiden yhdysvaikutukset. Näistä näytteenottoisyvyys oli toistotekijää vastaava WITHIN-tekijä.

Ravinne- ja kuiva-ainepitoisuuksien sekä ravinne-, kuiva-aine- ja massatappioiden tilastollisissa analyyseissä käytettiin aineistona kunkin koejäsenen mitattuja tai laskettuja suureita niiden kolmesta kerranteesta. Koska näin harvalukuisten kerranteiden perusteella ei jakaumien normaalisuudesta voida sanoa juuri mitään, vähennettiin kunkin koejäsenen kunkin suureen keskiarvo jokaisen kyseiseen koejäsenen kuuluvan koeyksikön vastaavista mitatuista tai lasketuista arvoista, ja jakaumien normaalisuus selvitettiin näin muunnetusta aineistosta. Keskiarvo oli muunnoksen jälkeen kunkin tiedon osalta tällöin nolla ja kerranteiden määrä 15. Normaalisuus testattiin Shapiro ja Wilk -testisuureen avulla (BMDP 2D; Detailed Data Description Including Frequencies) (ENGELMAN 1990, s. 135 - 144). Kriittinen raja asetettiin 5 %:n riskitason mukaan. Normaalisuuden testitulokset ovat liitteessä 1. Koejäsenten väliset erot testattiin Student-Newman-Keuls-menetelmällä (BMDP 7D; One- and Two-Way Analysis of Variance with Data Screening) (DIXON ym. 1990, s. 189 - 212). Student-Newman-Keuls-menetelmä on tässä tapauksessa parempi kuin Tukey, koska se hyödyntää myös kunkin parittaisen vertailun ulkopuolelle jäävän osan aineistosta. Tukeyn testi on hyvin konservatiivinen, ja se löytää vain varmat erot. Se tulee helposti liian konservatiiviseksi, jos vertailtavia keskiarvopareja on runsaasti, kuten tässäkin kokeessa. Koska otoskoot kaikissa käsittelyissä ovat yhtä suuret, ei sekään ole Student-Newman-Keuls-menetelmän käytön esteenä tässä tapauksessa. (RANTA ym. 1991, s. 245 - 246, 291.) Hyväksyttäväksi riskiksi katsottiin 5%.

Testejä tarkasteltaessa korkeintaan 10 %:n riskitasoa kutsutaan lähes merkitseväksi, korkeintaan 5 %:n riskitasoa merkitseväksi, korkeintaan 1 %:n riskitasoa hyvin merkitseväksi ja korkeintaan 0,1 %:n riskitasoa erittäin merkitseväksi.

8 TULOKSET

8.1 Kompostoituneiden kuivikepohjien ravinne- ja kosteuspitoisuudet, liukoisen typen osuus kokonaistypestä, C/N-suhteet ja tilavuuspainot

Eri seoksilla kuivitetujen kompostoituneiden kuivikepohjien ravinne- ja kosteuspitoisuudet, liukoisen typen osuus kokonaistypestä, C/N-suhde, tilavuuspaino ja niiden hajonnat sekä erojen tilastolliset merkitsevyydet on esitetty taulukossa 21. Niiden tekijöiden suhteen, joissa on tilastollisesti merkitseviä eroja, on esitetty myös eri seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien välisten erojen tilastolliset merkitsevyydet Student-Newman-Keuls multiple range -monivertailumenetelmällä testattuna. Eri seoksilla kuivitetuissa kompostoituneissa kuivikepohjissa oli tilastollisesti merkitseviä eroja liukoisen typen pitoisuuksissa, liukoisen typen osuuksissa kokonaistypestä, kosteuspitoisuuksissa ja tilavuuspainoissa.

Kuiva-aineen liukoisen typen pitoisuuksissa oli tilastollisesti merkitseviä eroja eri seoksilla kuivitetujen kompostoituneiden kuivikepohjien välillä. Seoksella 5 (O30/T35/H35) kuivitetujen kompostoituneiden kuivikepohjien kuiva-aineen liukoisen typen pitoisuus oli tilastollisesti merkitsevästi pienempi kuin seoksilla 1 (O100), 2 (O40/T60) ja 3 (O20/T60/H20) kuivitetujen kompostoituneiden kuivikepohjien. Seoksella 1 (O100), 2 (O40/T60) ja 3 (O20/T60/H20) kuivitetun kompostoituneen kuivikepohjan arvoa lannoitteena voidaan siten pitää parempana kuin seoksella 5 (O30/T35/H35) kuivitetun tarkasteltaessa kuiva-aineen liukoisen typen pitoisuutta. Toisaalta suureen liukoisen typen pitoisuuteen liittyy huuhtoutumisriski, jos kuivikepohjaa levitetään pellolle kasvukauden ulkopuolella.

Hake näyttää pudottavan kompostoituneen kuivikepohjan kuiva-aineen liukoisen typen pitoisuutta, kun hakkeen osuus kuivikeseoksessa nousee 20 %:sta 35 - 40 %:iin (taulukko 21 sivu 68). Erot eivät voi johtua kokonaistypen syöttömäärien eroista, koska hakkeen ja turpeen mukana tulevan typen määrissä ei ole tilastollisesti merkitseviä eroja. Ne johtuvat siten kuivikepohjien toiminnasta. Lisäksi seoksilla 1 (O100), 2 (O40/T60) ja 3 (O20/T60/H20) kuivitetujen kuivikepohjien liukoisen typen osuus kokonaistypestä erosi kokeen päättyessä tilastollisesti merkitsevästi seoksilla 4 (O40/T20/H40) ja 5 (O30/T35/H35) kuivitetujen kuivikepohjien liukoisen typen osuudesta kokonaistypestä. Seoksilla 1 (O100), 2 (O40/T60) ja 3 (O20/T60/H20) kuivitetuissa kuivikepohjissa liukoisen typen osuus oli keskimäärin 23,4 % kokonaistypestä. Seoksella 5 (O30/T35/H35) kuivitetussa kuivikepohjassa liukoisen typen osuus (13 %) oli selvästi pienempi kuin muilla seoksilla kuivitetuissa kuivikepohjissa. Hakkeen osuuden kasvaessa 20 %:sta 35 - 40 %:iin liukoisen typen osuus vähenee kompostoituneessa kuivikepohjassa. Siten hake lisää kuivikepohjan maanparannusaineluonnetta.

Taulukko 21. Eri seoksilla kuivitetujen kompostoituneiden kuivikepohjien kuiva-aineen ravinnepitoisuudet, kosteuspitoisuudet, liukoisen typen osuus kokonaistypestä, C/N-suhteet ja tilavuuspainot sekä niiden välisten erojen tilastollinen merkitsevyys ($p=0,05$) testattuna Student-Newman-Keuls multiple range -monivertailumenetelmällä.

Kuivikeseos	Kokonais- typpi		Liukoinen typpi		Liukoisen typen osuus		Helppo- liukoinen fosfori		Vaihtuva kaiium		Orgaani- nen hiili		C/N-suhde		Kosteus- pitoisuus		Tilavuuspaino	
	ka, %	σ , %	ka, %	σ , %	ka, %	σ , %	ka, %	σ , %	ka, %	σ , %	ka, %	σ , %	ka, %	σ , %	ka, kgm ⁻³	σ , kgm ⁻³		
1 (O100)	1,4	0,33	0,34 ^a	0,10	24 ^a	1,6	0,44	0,28	2,2	0,6	41	0,32	30	6,1	459 ^a	11,7		
2 (O40/T60)	1,6	0,20	0,37 ^a	0,02	23 ^a	1,8	0,35	0,19	1,6	0,3	42	0,47	26	3,3	644 ^b	64,4		
3 (O20/T60/H20)	1,4	0,06	0,33 ^a	0,04	23 ^a	2,1	0,44	0,14	1,5	0,2	42	1,23	30	1,2	758 ^b	132,0		
4 (O40/T20/H40)	1,3	0,30	0,24 ^{ab}	0,06	18 ^b	0,6	0,42	0,20	1,5	0,2	43	1,65	34	9,8	594 ^b	18,5		
5 (O30/T35/H35)	1,4	0,12	0,18 ^b	0,02	13 ^c	1,3	0,25	0,01	1,8	0,1	38	5,33	28	3,8	653 ^b	19,7		
Kaikkien kuivikeseosten keskiarvo	1,4		0,29		20		0,38		1,7		41		30		622			
F-arvo	0,81		6,00		28,37		0,55		2,02		1,62		0,81			13,71	7,90	
Riski	0,5472		0,0100**		0,0000***		0,7051		0,1675		0,2441		0,5490		0,0005***	0,0039**		

Kuiva-aineen orgaanisen hiilen pitoisuus kasvoi kompostoitumisen aikana riippumatta käytetystä kuivikeseoksesta. Lähtöaineiden kuiva-aineiden orgaanisen hiilen pitoisuuksissa oli eroja käytetystä kuivikeseoksesta riippuen. Enimmillään sen pitoisuudet olivat 40 % kuiva-aineesta. Prosessin päätyttyä erot olivat tasaantuneet siten, että pitoisuuden ollessa alussa selvästi alle 40 % kuiva-aineesta pitoisuus oli kasvanut suhteessa enemmän kuin pitoisuuden ollessa alussa 40 %. Kuiva-aineen orgaanisen hiilen pitoisuus oli lähestynyt noin 41 %.

Seoksella 1 (O100) eli olkikuivikkeella kuivitetuissa kompostoituneissa kuivikepohjissa kosteuspitoisuus oli tilastollisesti merkitsevästi pienempi kuin muilla seoksilla kuivitetuissa kuivikepohjissa. Kaikilla tutkimuksessa mukana olleilla seoksilla kuivitetettujen kuivikepohjien kosteuspitoisuus laski kompostoitumisprosessin aikana. Seoksella 1 (O100) kuivitetettujen kuivikepohjien kosteuspitoisuus laski kokeen aikana selvästi enemmän kuin muilla seoksilla kuivitetettujen kuivikepohjien. Olkikuivikkeella kuivitetettujen kuivikepohjien kosteus laski noin 13 %-yksikköä ja muiden noin 4 - 7 %-yksikköä. Siten millään tutkimuksessa mukana olleella seoksella kuivitetuissa kuivikepohjissa niiden kosteudensitomiskykyä ei ylitetty. Kosteuspitoisuuden lasku oli riittävä takaamaan sen, että kuivikepohjat eivät vettyneet.

Ainoastaan seoksella 1 (O100) kuivitetettujen kompostoituneiden kuivikepohjien tilavuuspaino oli tilastollisesti merkitsevästi pienempi kuin muilla seoksilla kuivitetettujen kuivikepohjien. Tämä johtui lähes pelkästään seoksella 1 (O100) eli olkikuivikkeella kuivitetettujen kuivikepohjien muilla seoksilla kuivitettuja kuivikepohjia alhaisemmasta kosteuspitoisuudesta kokeen päättyessä.

8.2 Ravinne-, kuiva-aine- ja massatappiot sekä muutokset liukoisen typen osuudessa ja C/N-suhteessa

Taulukosta 22 voidaan todeta kompostoituneiden kuivikepohjien ravinne-, kuiva-aine- ja massatappiot sekä liukoisen typen osuuden kokonaistypestä ja C/N-suhteen muutokset ja niiden hajonnat kompostoitumisprosessin aikana sekä eri seoksilla kuivitetettujen kuivikepohjien välisten erojen tilastolliset merkitsevyydet näiden tekijöiden suhteen. Niiden tekijöiden suhteen, joiden välillä on tilastollisesti merkitseviä eroja taulukon 22 mukaan, on siinä esitetty eri seoksilla kuivitetettujen kuivikepohjien välisten erojen tilastolliset merkitsevyydet Student-Newman-Keuls multiple range -monivertailumenetelmällä. Eri seoksilla kuivitetettujen kompostoituneiden kuivikepohjien välillä oli eroa ainoastaan liukoisen typen osuuden muutoksessa ja massatappiossa.

Taulukko 22. Eri seoksilla kuivitetun kuivikepohjien ravinne-, kuiva-aine- ja massatappiot sekä liukoisen typen osuuden ja C/N-suhteen muutokset kompostoitumisen aikana ja niiden välisten erojen merkitsevyys ($p=0,05$) testattuna Student-Newman-Keuls multiple range -monivertailumenetelmällä.

Kuivikeseos	Kokonais- typpi		Liukoinen typpi		Liukoisen typen osuus absoluuttisesti		Liukoisen typen osuus suhteellisesti		Orgaaninen hiili		C/N-suhte absoluuttisesti		C/N-suhte suhteellisesti		Kuiva-aine		Massa		
	ka, %	σ , %	ka, %	σ , %	ka, %-yks.	σ , %	ka, %	σ , %	ka, %	σ , %	ka, %-yks.	σ , %-yks.	ka, %	σ , %	ka, %	σ , %	ka, %	σ , %	
1 (O100)	5,4	22,6	53	18,5	25 ^a	5,2	51 ^a	7,0	8,9	5,7	-0,2	4,5	-1,2	15,4	18	3,7	38 ^a	2,2	
2 (O40/T60)	16,7	5,3	61	2,6	25 ^a	1,8	53 ^a	0,2	15,3	11,2	0,5	2,2	1,5	8,7	18	12,2	30 ^b	2,6	
3 (O20/T60/H20)	19,8	6,1	59	3,4	23 ^a	3,7	49 ^a	5,3	-1,5	6,8	6,4	0,0	26,7	1,2	11	6,7	23 ^c	4,5	
4 (O40/T20/H40)	17,5	21,2	68	10,7	29 ^a	4,3	62 ^b	4,2	-2,3	13,6	7,8	8,5	29,0	30,5	24	9,0	31 ^b	0,8	
5 (O30/T35/H35)	2,2	10,6	76	2,2	38 ^b	1,3	75 ^c	2,6	-5,0	21,5	1,8	3,8	7,1	14,8	9	8,0	23 ^c	2,0	
Kaikkien kuivikeseosten keskiarvo	12,3		63		28		58		3,1		3,3		12,6		16		29		
F-arvo	0,84		2,51		8,93		17,12		1,31		1,74		2,08		1,72		16,45		
Riski	0,5326		0,1087		0,0025**		0,0002***		0,3299		0,2177		0,1590		0,2208		0,0002***		

Syöttöaineiden tyyppistä hävisi prosessin aikana 12 %. CLAESSONin ja STEINECKin (1991, s. 38) mukaan karjanlannan kokonaistyyppistä haihtuu ammoniakkina eläinsuojassa 3 - 13 % ja varastossa 2 - 23 % riippuen lannankäsittelyjärjestelmästä. Kuivikepohja vastaa toiminnallisesti sekä eläinsuojaa että lantavarastoa, joten kokeessa mukana olleiden kuivikepohjien tyyppien tappio oli varsin kohtuullinen. Kokonaistyyppien tappiot syntyvät liukoisen tyyppien kautta. Siten kokonaistyyppien 12 %:n tappiot ovat syntyneet siten, että 12 % kokonaistyyppistä vastaava osa liukoista tyyppiä on haihtunut ilmaan. Tämä oli noin 25 % alkuperäisestä liukoisesta tyyppistä. Lähes saman verran jäi liukoiseen muotoon. Merkittävä osa (63 %) liukoisesta tyyppistä pidättyi orgaaniseen aineeseen biologisesti sidotussa muodossa. Tässä mielessä kaikki kuivikepohjat toimivat hyvin. Seoksella 5 (O30/T35/H35) kuivitetujen kuivikepohjien liukoisen tyyppien osuus kokonaistyyppistä väheni muilla seoksella kuivitetujen kuivikepohjien liukoisen tyyppien osuutta enemmän sekä absoluuttisesti että suhteellisesti. Seoksilla 1 (O100), 2 (O40/T60) ja 3 (O20/T60/H20) kuivitetuissa kuivikepohjissa liukoinen tyyppi väheni keskimäärin 51 %. Seoksella 4 (O40/T20/H40) kuivitetuissa kuivikepohjissa se väheni 62 % ja seoksella 5 (O30/T35/H35) kuivitetuissa 75 %. Seoksilla 1 (O100), 2 (O40/T60) ja 3 (O20/T60/H20) kuivitetujen kuivikepohjien lannoitusarvo säilyi kompostoitumisen aikana parhaiten. Toisaalta niiden tyyppien huuhtoutumisalttius pieneni vähiten.

C/N-suhteen muutoksessa ei ollut kuivikeseoksesta riippuvia eroja. Kuivikepohjien C/N-suhde kasvoi kokeen aikana keskimäärin 3 yksikköä, koska tyyppien tappiot olivat suuremmat kuin orgaanisen hiilen. Syöttöaineiden C/N-suhde oli ollut siten keskimäärin ottaen varsin tasapainoinen. C/N-suhteiden muutoksen hajonta oli seoksella 3 (O20/T60/H20) kuivitetuissa kuivikepohjilla lukuun ottamatta varsin suuri itse muutoksen keskiarvoon nähden. Suuri hajonta oli peräisin valmiiden kompostien C/N-suhteiden suuresta hajonnasta, joka taas oli peräisin valmiin kompostin kokonaistyyppien pitoisuuden suuresta hajonnasta. Kuivikepohjien C/N-suhde kasvoi kokeen aikana keskimäärin 13 %. Käytettäessä keskeisiä kuivikemateriaaleja emolehmien kuivikepohjan kuivikeseoksessa lähtöaineiden C/N-suhde muodostuu sopivaksi, kunhan kuivitusmäärä on lähtöaineiden kosteuspitoisuuden kannalta sopiva. Jos kuivikkeet ovat normaalissa käyttökosteudessa, ei niiden keskenäisten suhteiden vaihtamisella tähän juuri voida edes vaikuttaa.

Massatappiot olivat tilastollisesti merkitsevästi suurimmat seoksella 1 (O100) kuivitetuissa kuivikepohjissa, 38 %. Seoksilla 2 (O40/T60) ja 4 (O40/T20/H40) kuivitetujen kuivikepohjien massatappiot olivat noin 30 %, ja seoksilla 3 (O20/T60/H20) ja 5 (O30/T35/H35) kuivitetujen kuivikepohjien massatappiot olivat pienimmät, 23 %. Tämä johtuu siitä, että seoksella 1 (O100) kuivitetujen kuivikepohjien kosteus kokeen päättyessä oli selvästi pienempi kuin muilla seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien. Suuresta massatappiosta on se hyöty, että kuivikepohjasta ajettava massa on pieni, koska kuivikeseoksesta riippumatta kuivikepohjiin tulee toisiaan vastaava määrä massaa lannasta ja kuivikkeista.

8.3 Kuivikepohjien paksuudet

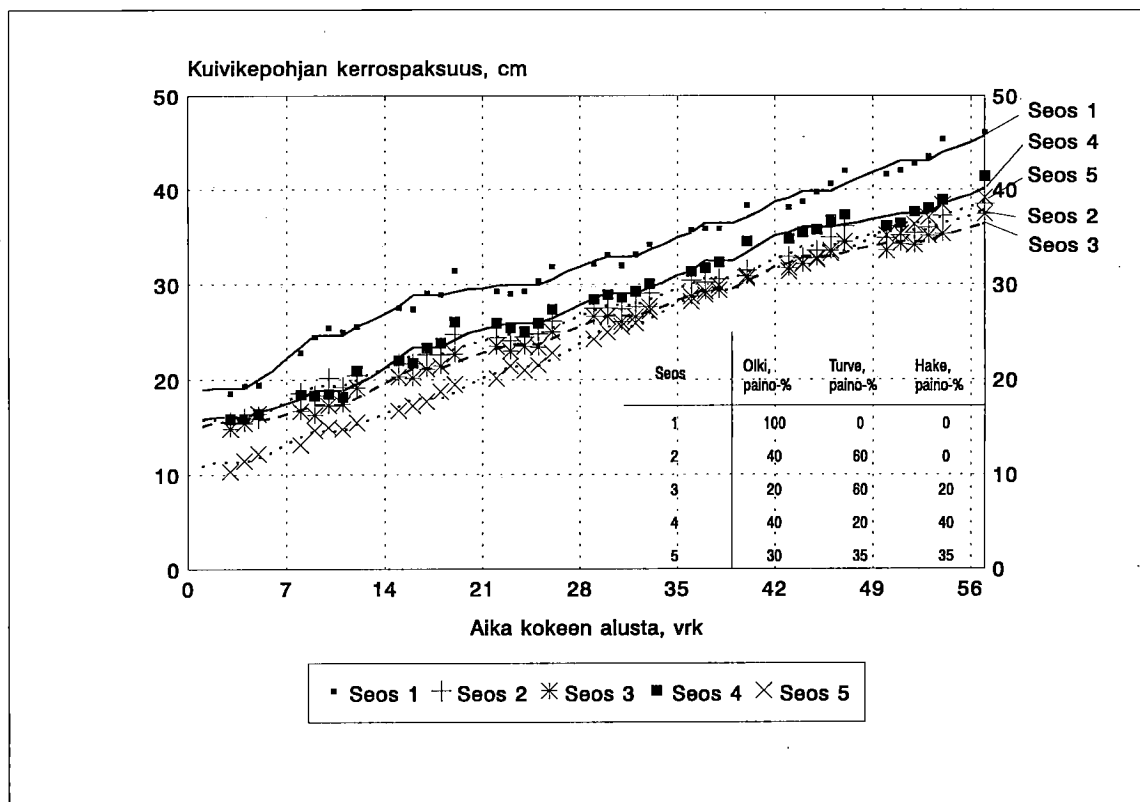
Kuivikepohjien paksuuteen vaikuttavien pää- ja yhdysvaikutusten tilastolliset merkitsevyydet on esitetty taulukossa 23 Waldin testin mukaan. Siinä koejakso on jaettu kahteen osaan, koska tilasto-ohjelmisto tai paremminkin laiteympäristö ei selvinnyt kaikkien mittauspäivien aineistosta yhtä aikaa. Analyysissä käytettiin rakenteetonta kovarianssirakennetta, koska se Akaiken informaatiokriteerin (AIC) mukaan sopi aineistoon parhaiten.

Taulukko 23. Kuivikepohjien paksuuden pää- ja yhdysvaikutusten tilastollinen merkitsevyys.

Aika kokeen alusta, pv	3 - 26			29 - 57		
	Pää- ja yhdysvaikutus	Vapausasteet	Chi ² -testisuure	p-arvo	Vapausasteet	Chi ² -testisuure
Kuivikeseos	4	114,10	0,000***	4	68,94	0,000***
Mittauspäivä	17	510,10	0,000***	19	6220358,50	0,000***
Kuivikeseos.mittauspäivä	68	92,82	0,024*	76	240383,52	0,000***

Päävaikutukset olivat ensimmäisessä osassa aineistoa tilastollisesti erittäin merkitseviä, ja yhdysvaikutus oli merkitsevä. Jälkimmäisessä osassa aineistoa kaikki pää- ja yhdysvaikutukset olivat erittäin merkitseviä. Koska yhdysvaikutus oli vähintään merkitsevä koko koejakson ajan, oli kuivikepohjien paksuuden kasvunopeuksissa eroja eri seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien välillä. Päivittäinen tiivistys aiheutti kuivikepohjien paksuuden kasvuun suurta epäsäännöllisyyttä. Kuivikepohjien paksuus välillä kasvoi ja välillä pieneni.

Eri seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien mallin mukaiset paksuudet ja niiden kasvunopeudet on esitetty kuviossa 6 ja taulukossa 24. Käyrät edustavat viikon liukuvaa keskiarvoa ja pisteet kuivikepohjien paksuutta itseään kyseisinä päivinä. Hitaimmin kasvaneiden seoksilla 2 (O40/T60) ja 3 (O20/T60/H20) kuivitetujen kuivikepohjien paksuudet kasvoivat 11 % hitaammin kuin peruskuivikeseoksena pidettävällä olkikuivikkeella eli seoksella 1 (O100) kuivitetujen (taulukko 24). Seoksella 4 (O40/T20/H40) kuivitetujen kuivikepohjien pinnat kohosivat yhtä nopeasti kuin olkikuivikkeella kuivitetujen. Nopeimmin kohonneiden seoksella 5 (O30/T35/H35) kuivitetujen kuivikepohjien paksuudet kasvoivat 15 % nopeammin kuin olkikuivikkeella kuivitetujen.



Kuvio 6. Kuivikepohjien paksuuksien kehitys.

Taulukko 24. Eri seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien toteutunut kuivikepohjien perustuspaksuus ja paksuuden kasvu.

Seos	Toteutunut kuivikepohjien perustuspaksuus, cm	Kuivikepohjien paksuuden kasvu, cm/vrk	Kuivikepohjien toteutunutta perustuspaksuutta ja paksuuden kasvua vastaava pinnan nousu sisäruokintakauden (240 vrk) aikana, cm
1 (O100)	19,4	0,46	129
2 (O40/T60)	15,1	0,41	113
3 (O20/T60/H20)	17,8	0,41	117
4 (O40/T20/H40)	14,8	0,46	125
5 (O30/T35/H35)	9,1	0,53	136

Taulukossa 24 on esitetty 240 vuorokauden sisäruokintakautta vastaavat kuivikepohjan kertymät lisätynä perustuskuivikkeeseen aiheuttamalla lisällä. Olkikuivikkeella kuivitetut kuivikepohjat kohoaisivat 240 vuorokauden sisäruokintakauden aikana keskimäärin 1,1 metriä. Vastaavasti hitaimmin kohoavat kuivikepohjien pinnat kohoaisivat metrin ja nopeimmin kohoavat 1,4 metriä. Lisäksi perustamiskuivike nostaa kuivikepohjan pintaa merkittävästi. Perustuskuivikkeista aiheutuu 10 - 20 cm:n lisä kuivikeseoksesta riippuen. Toteutuneisiin kuivikepohjien paksuuksiin vaikutti osittain se, että perustamisen yhteydessä annettu kuivikemäärä erosi koejäsenten kesken. Perustamisvaiheessa annettujen kuivikeannosten ero oli kuitenkin enimmilläänkin ainoastaan kuusi annosta eri kuivikeseosten välillä.

Siten se pystyisi selittämään korkeintaan noin 3 cm:n erot. Kuviosta 6 havaittavien kuivikepohjien lähtöpaksuuksien eron täytyy johtua perustuskuivikkeen tiivistymisestä eri tavoin eri seoksilla kuivitetuissa kuivikepohjissa. Erityisesti seoksella 5 (O30/T35/H35) kuivitetujen kuivikepohjien perustuskuivike näyttää tiivistyvän varsin voimakkaasti muilla seoksilla kuivitetujen perustuskuivikkeeseen nähden. Vastaavasti olkikuivikkeen käyttö perustamisen yhteydessä näyttää johtavan suureen lähtöpaksuuteen.

Perustamiskuivikkeen aiheuttama kuivikepohjien paksuuden kasvu vastaa 2,5 - 6 viikon kuivitusta kuivikeseoksesta riippuen. Perustuskuivikkeen määrää rajoittamalla voitaisiin kuivikepohjien lopullista paksuutta jonkin verran pienentää, mutta se saattaisi myös vaarantaa kuivikepohjan toiminnan, koska perustuskuivikekerros toimii eräänlaisena puskuri- ja salaajakerroksena kuivikepohjan alla.

8.4 Kuivikepohjien lämpötilat

Koejakso jaettiin tilastollista analyysia varten viiteen kymmenen ja yhteen seitsemän päivän jaksoon, koska tilasto-ohjelmisto tai paremminkin käytetty laiteympäristö ei pystynyt analysoimaan koko aineistoa yhdellä kerralla. Jaksot, joihin aineisto analyysia varten jaettiin, edustivat kuitenkin sopivasti myös kuivikepohjien lämpötilojen kehittymisen eri vaiheita, kuten taulukosta 25 ja kuvioista 7 - 11 voidaan todeta.

Akaiken informaatiokriteerin (AIC) mukaan arvioituna mallin sopivin kovarianssirakenne oli rakenteeton kaikkien jaksojen aikana. Ensimmäisen, neljännen ja viidennen jakson aineistolle ei kuitenkaan pystytty tekemään Waldin testiä kovarianssirakenteen ollessa rakenteeton, vaan niihin valittiin seuraavaksi parhaiten sopiva kovarianssirakenne, jota käyttäen myös Waldin testi voitiin tehdä. Ensimmäiselle ja neljännelle jaksolle käytettiin tällä perusteella ensimmäisen asteen autoregressiivistä kovarianssirakennetta ja viidennelle yleistä autoregressiivistä kovarianssirakennetta. Tilastollisten analyysien perusteella laadittiin malli selittämään kuivikepohjien lämpötilaa ja sen kehitystä. Malliin vaikuttaviksi tekijöiksi valittiin ne tekijät, jotka Waldin testin mukaan olivat tilastollisesti vähintään merkitseviä. Eri tekijöiden tilastolliset merkitsevyydet on esitetty taulukossa 25. Kovarianssirakenteen valinta vaikutti nimenomaisesti siihen, mitkä tekijät Waldin testissä tulivat tilastollisesti merkitseviksi ja niin ollen malliin mukaan. Se ei vaikuttanut yksittäisen tekijän yksittäisen tason vaikutukseen mallissa, vaan ainoastaan kyseisen tekijän tilastolliseen merkitsevyyteen.

Eri seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien lämpötiloissa oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ero koko koejakson ajan, kuten taulukosta 25 voidaan todeta. Eroja voidaan pitää myös käytännön kannalta merkittävinä.

Lämpötila-antureiden sijoituskorkeuden vaikutus oli tilastollisesti erittäin merkitsevä koko kokeen ajan, kuten taulukosta 25 voidaan todeta. Tämä johtui suurimmalta osin siitä, että ainakin kokeen alussa kuivikepohjien pinta ei ollut vielä kohonnut kaikkien antureiden asennuskorkeuden yli, jolloin lämpötilaero antureiden välillä muodostui suureksi. Toisaalta

anturin vaikutus oli tilastollisesti erittäin merkitsevä myös kokeen lopussa. Siten useiden, eri korkeuksille kuivikepohjan pohjasta sijoitettujen antureiden käyttäminen lämpötilan mittaamiseen lisää kuivikepohjien lämpötilan mittauksen tarkkuutta.

Taulukko 25. Kuivikepohjien lämpötilaan vaikuttavien pää- ja sivuvaikutusten tilastolliset merkitsevyydet jaksoittain.

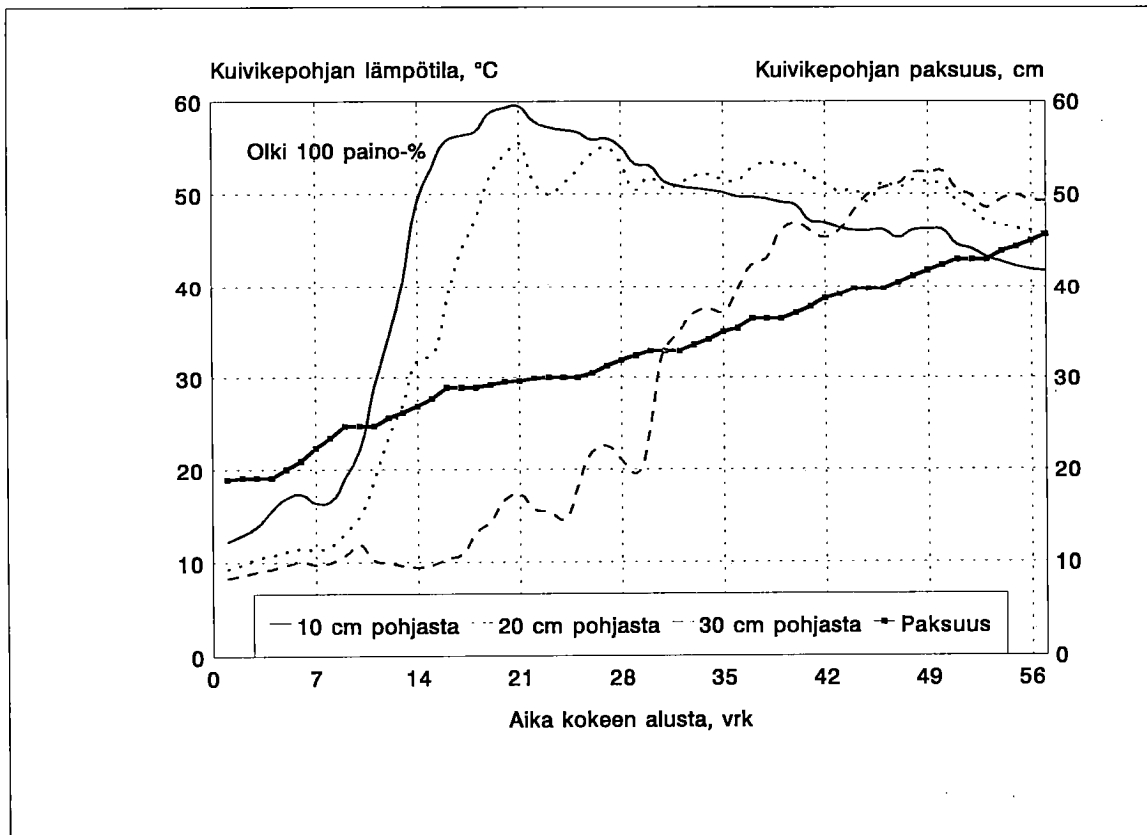
Aika kokeen alusta, pv	1 - 10			11 - 20		
Pää- ja yhdysvaikutukset	Vapausasteet	Chi ² -testisuure	p-arvo	Vapausasteet	Chi ² -testisuure	p-arvo
Kuivikeseos	4	39,82	0,000***	4	75,75	0,000***
Anturi	2	238,86	0,000***	2	460,00	0,000***
Mittauspäivä	9	286,60	0,000***	9	1950,69	0,000***
Kuivikeseos.anturi	8	31,91	0,000***	8	82,78	0,000***
Kuivikeseos.mittauspäivä	36	87,19	0,000***	36	1428,46	0,000***
Anturi.mittauspäivä	18	142,72	0,000***	18	257984,30	0,000***
Kuivikeseos.anturi.mittauspäivä	72	60,46	0,832	72	54331,74	0,000***
Aika kokeen alusta, pv	21 - 30			31 - 40		
Pää- ja yhdysvaikutukset	Vapausasteet	Chi ² -testisuure	p-arvo	Vapausasteet	Chi ² -testisuure	p-arvo
Kuivikeseos	4	226,61	0,000***	4	273,04	0,000***
Anturi	2	928,60	0,000***	2	692,84	0,000***
Mittauspäivä	9	5762,81	0,000***	9	105,13	0,000***
Kuivikeseos.anturi	8	31,83	0,000***	8	38,91	0,000***
Kuivikeseos.mittauspäivä	36	12154,71	0,000***	36	50,11	0,059
Anturi.mittauspäivä	18	159271,61	0,000***	18	115,47	0,000***
Kuivikeseos.anturi.mittauspäivä	72	258205,75	0,000***	72	58,53	0,874
Aika kokeen alusta, pv	41 - 50			51 - 57		
Pää- ja yhdysvaikutukset	Vapausasteet	Chi ² -testisuure	p-arvo	Vapausasteet	Chi ² -testisuure	p-arvo
Kuivikeseos	4	168,19	0,000***	4	56,77	0,000***
Anturi	2	300,69	0,000***	2	40,64	0,000***
Mittauspäivä	9	25,66	0,002**	6	227,36	0,000***
Kuivikeseos.anturi	8	102,03	0,000***	8	59,11	0,000***
Kuivikeseos.mittauspäivä	36	25,95	0,892	24	225,27	0,000***
Anturi.mittauspäivä	18	120,74	0,000***	12	25212,58	0,000***
Kuivikeseos.anturi.mittauspäivä	72	79,17	0,263	48	6952,15	0,000***

Koska mittauspäivän vaikutus on tilastollisesti vähintään hyvin merkitsevä kaikkien jaksojen aikana, ovat kuivikepohjien päiväkeskilämpötilat vaihdelleet runsaasti kaikkien jaksojen sisällä. Antureiden syvyysaseman muutos kuivikepohjan pintaan nähden 10 päivän jakson aikana oli korkeintaan 5,3 cm, joten se ei yksin riitä selittämään toistotekijän tilastollista merkitsevyyttä. Tämä merkitsee sitä, että kuivikepohjan lämpötila on vakioidussakin ympäristössä mitattava vähintään kerran vuorokaudessa luotettavien tulosten saamiseksi.

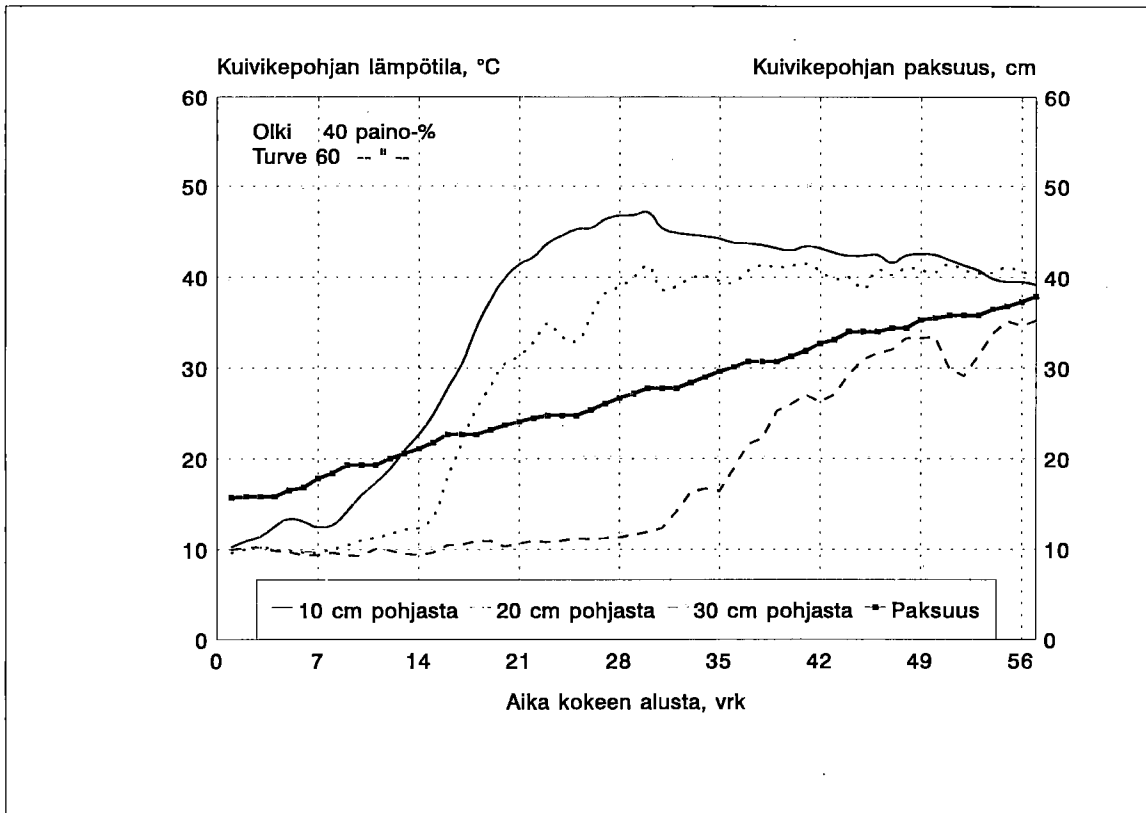
Eri seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien mallitettujen lämpötilojen kehitykset on esitetty antureittain kuvioissa 7, 8, 9, 10 ja 11. Niissä on lisäksi esitetty jo kuviossa 6 sivulla 73 esitetyt kerrospaksuuden kasvut erikseen eri seoksilla kuivitetuille kuivikepohjille. Kuvioden malleissa on otettu huomioon lämpötilaan vaikuttaneiden tekijöiden regressioparametrit tau-

lukossa 25 hierarkkisesti korkeimpaan tilastollisesti merkitsevään yhdysvaikutukseen saakka se mukaan lukien. Vaaka-akseleille on merkitty päivät järjestyslukuina koejakson alusta. Näitä kuvioita tarkasteltaessa on huomattava, että lämpötila-anturit olivat kiinteällä etäisyydellä kuivikepohjan pohjasta eikä sen pinnasta. Koska kuivikepohjien paksuudet kasvoivat erilaisilla nopeuksilla eri seoksilla kuivitetuissa kuivikepohjissa, olivat lämpötila-anturit eri seoksilla kuivitetuissa kuivikepohjissa eri syvyyksillä pinnasta mitattuna koejakson samoina ajankohtina. Kuivikepohjien paksuudet eivät myöskään kasvaneet täysin suoraviivaisesti, vaikka paksuudessa oli selvä lineaarinen kasvutrendi, kuten kuvioista 6 sivulla 73 voidaan todeta.

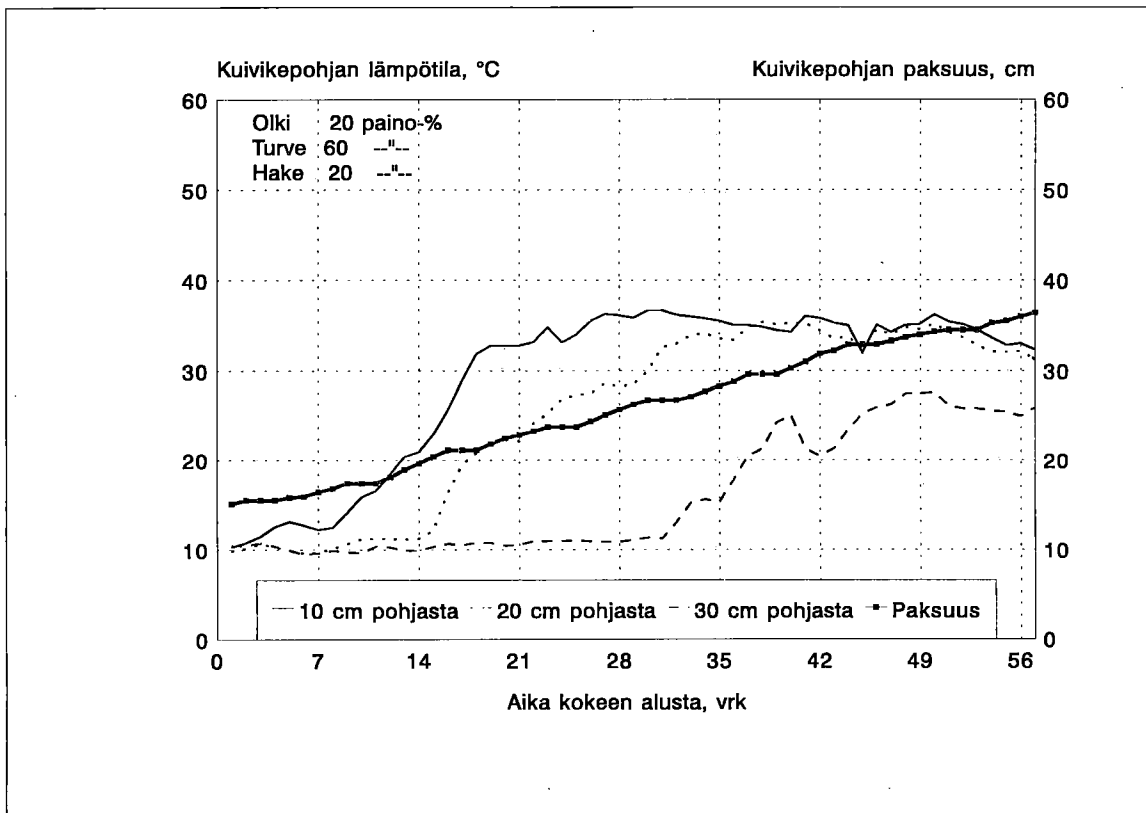
Kuivikepohja saavutti mitä hyvänsä kokeissa mukana olleista kuivikeseoksista kuivikkeena käytettäessä suurimman huippulämpötilan alimpana eli 10 cm kuivikepohjan pohjasta olleella anturilla 1 mitattuna, kuten kuvioista 7 - 11 voidaan todeta. Seoksella 1 (O100) kuivitetujen kuivikepohjien lämpötiloissa (kuvio 7) näkyy selvä lämpötilahuippu noin kolmen viikon kuluttua koejakson alusta. Tämä lämpötilahuippu on tyypillinen seoksella 1 (O100) eli pelkällä oljella kuivitetuille kuivikepohjille. Lämpötilahuippu on niin voimakas, että se näkyy kaikkien antureiden lämpötiloissa. Seoksella 4 (O40/T20/H40) kuivitetuissa kuivikepohjissakin lämpötilahuippu on näkyvässä (kuvio 10) mutta selvästi seoksella 1 (O100) kuivitetuja pienempänä, eikä se näy muiden kuin alimman anturin 1 lämpötilassa. Muilla seoksilla kuivitetuissa kuivikepohjissa tämänkaltaista lämpötilahuippua ei ole.



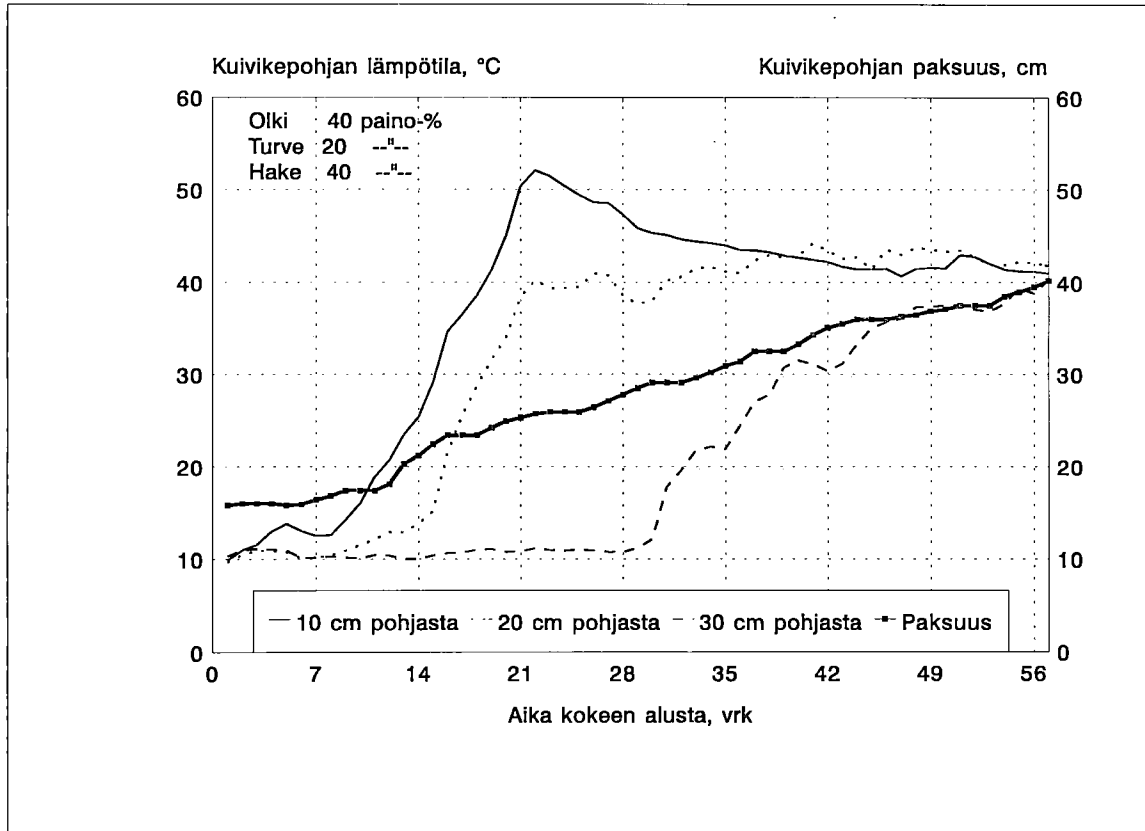
Kuvio 7. Seoksella 1 kuivitetujen kuivikepohjien mallin mukaiset lämpötilat ja kuivikepohjan paksuudet.



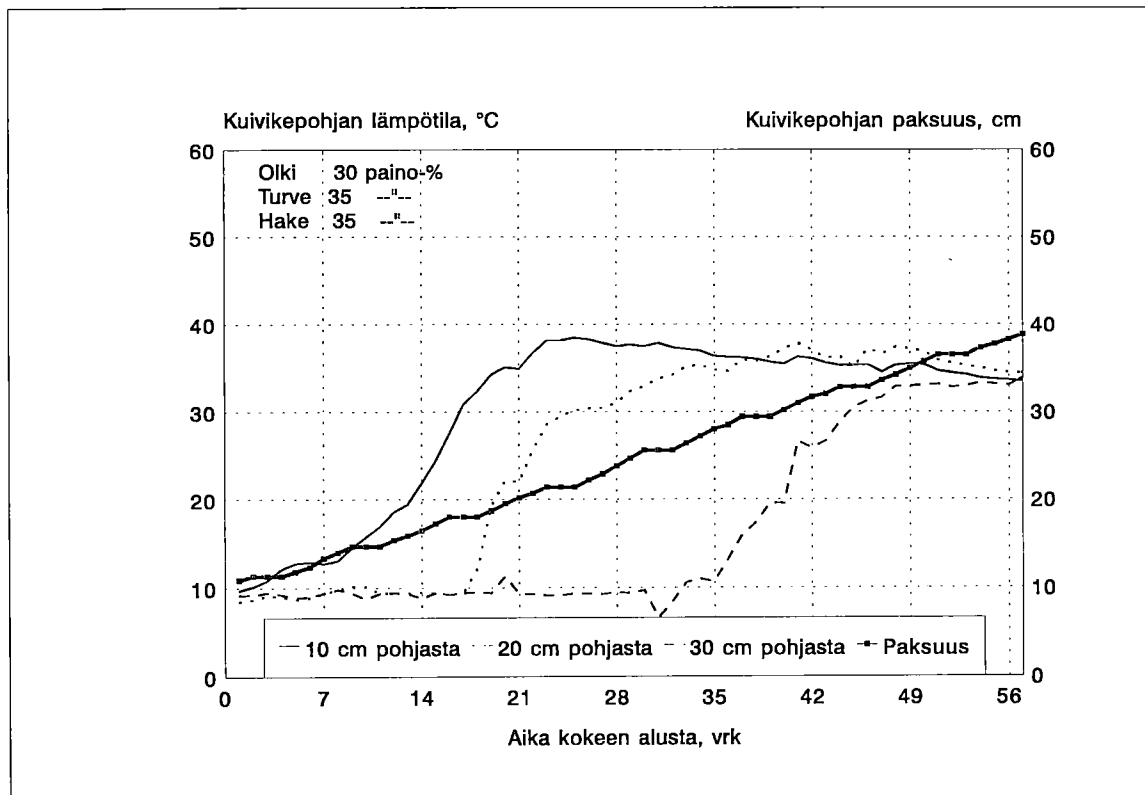
Kuvio 8. Seoksella 2 kuivitetujen kuivikepohjien mallin mukaiset lämpötilat ja kuivikepohjan paksuudet.



Kuvio 9. Seoksella 3 kuivitetujen kuivikepohjien mallin mukaiset lämpötilat ja kuivikepohjan paksuudet.



Kuvio 10. Seoksella 4 kuivitettujen kuivikepohjien mallin mukaiset lämpötilat ja kuivikepohjan paksuudet.

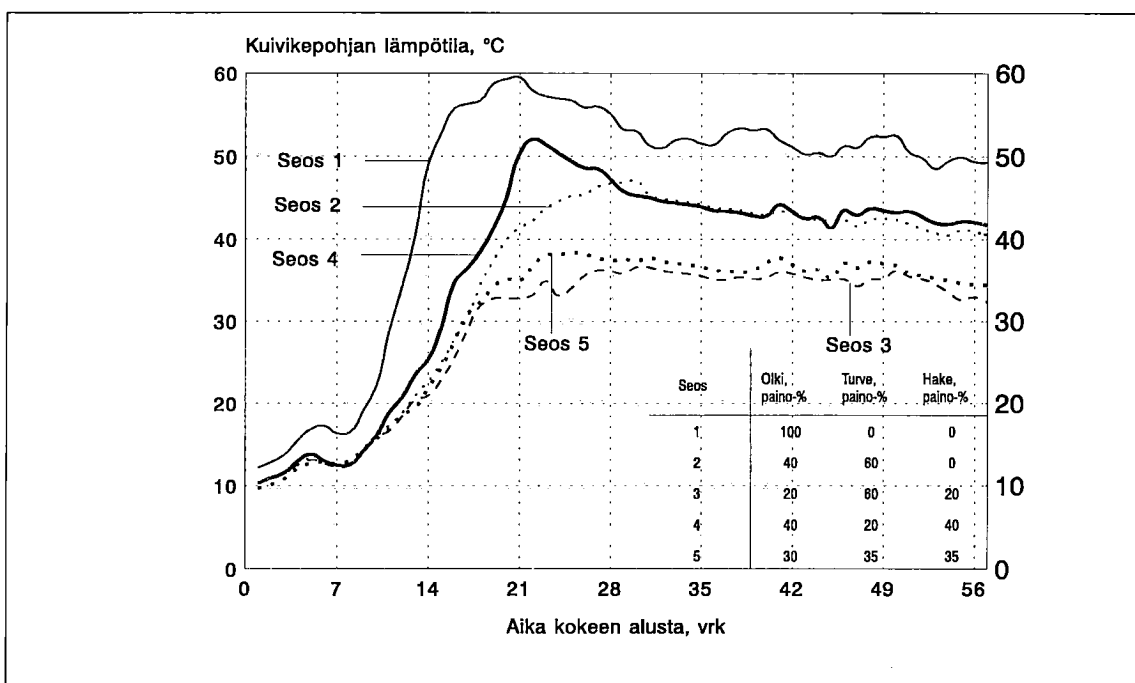


Kuvio 11. Seoksella 5 kuivitettujen kuivikepohjien mallin mukaiset lämpötilat ja kuivikepohjan paksuudet.

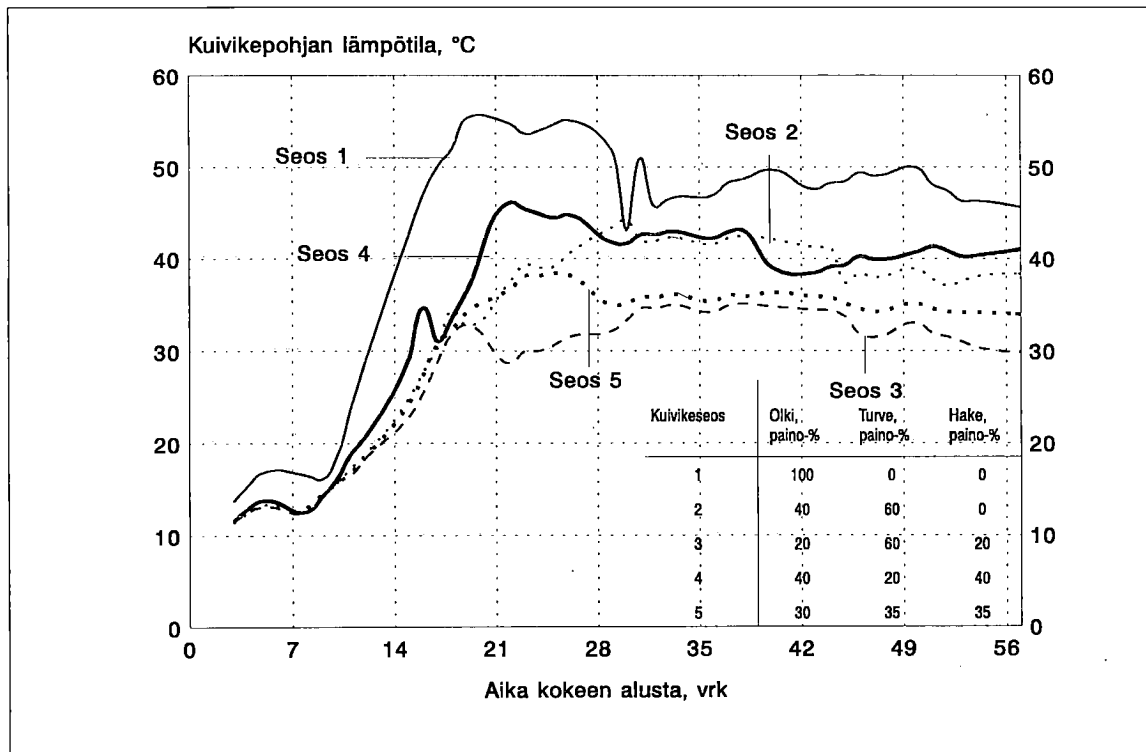
Syynä pelkällä oljella kuivitetettujen kuivikepohjien voimakkaaseen lämpötilahuippuun on niihin ennen lämpötilan nousua kertyneet suuret helposti hajoavien hiiliyhdisteiden määrät. Orgaanisen hiilen pitoisuus oli kuivikeseoksien oljessa 35 %, turpeessa 20 % ja hakkeessa 23 % näiden käyttökosteudessa, kuten taulukosta [16] sivulla [54] voidaan todeta. Koska kaikkia kuivikeseoksia käytettiin käyttökosteudessaan yhtä paljon, oli runsaasti olkea sisältäneissä kuivikeseoksissa myös runsaasti orgaanista hiiltä. Muilla seoksilla kuivitetuissa kuivikepohjissa helposti hajoavien hiiliyhdisteiden vähäisyys rajoittaa lämpötilan nopeaa nousua. Lämpötilan noustua huippuunsa materiaalin hajoaminen ylitti uuden materiaalin syöttönopeuden, ja kuivikepohjakomposteihin syntyi ravinnon puutetta. Tämä hidasti hajoamista, jolloin myös kuivikepohjan lämpötila laski. Kun kuivikepohja nousi seuraavan anturin korkeudelle, ei lämpötilahuippua enää ollut, koska kuivikepohjat olivat valmiiksi lämpimiä ja hajoamisnopeus hajoavan materiaalin syöttönopeuden mukainen. Keskimmäisen ja ylimmän anturin lämpötila nousi koko koejakson ajan tai sitten kuivikepohja jäähtyi lopussa, kuten kuivikeseoksella 3 (O20/T60/H20) kuivitettaessa kävi (kuvio 9).

8.5 Kuivikepohjien lämpötilojen kehitys

Eri seoksilla kuivitetettujen kuivikepohjien mallin mukaiset korkeimmat lämpötilat koejakson aikana on esitetty koejakson kuviossa 12 ja vastaavasti keskimääräiset lämpötilat kuviossa 13. Korkeimmat lämpötilat edustavat lämpötilaa kyseisellä seoksella kuivitetuissa kuivikepohjissa mitattuna sillä anturilla, joka antoi korkeimman lämpötilan. Vastaavasti keskimääräinen lämpötila edustaa kuivikepohjien lämpötilaa niiden antureiden lämpötilan keskiarvona, jotka olivat mallin mukaisten kuivikepohjien paksuuksien mukaan vähintään 3 cm:n syvyydellä kuivikepohjan pinnasta.



Kuvio 12. Kuivikepohjien korkeimmat lämpötilat koejakson aikana.



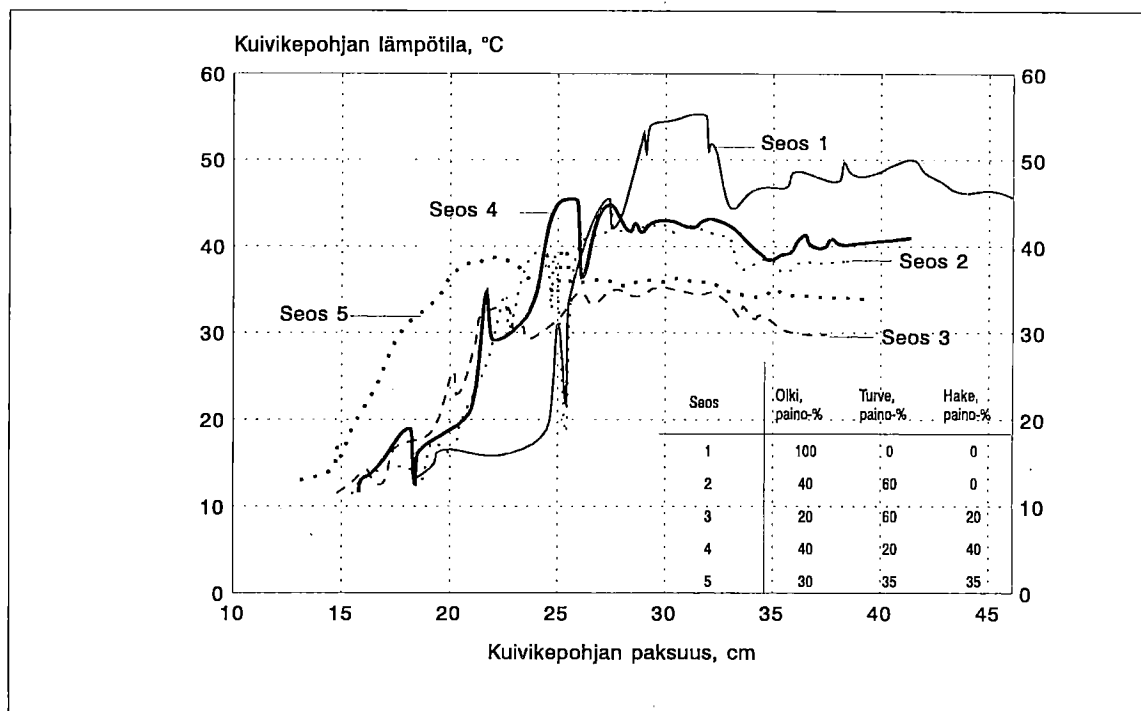
Kuvio 13. Kuivikepohjien keskimääräiset lämpötilat koejakson aikana.

Lämpötilojen selvä nousu alkoi kaikissa kuivikepohjissa noin viikon kuluttua kuivikepohjien perustamisesta, ja lämpötilat nousivat varsin suoraviivaisesti, kunnes kolme viikkoa oli kulunut kuivikepohjien perustamisesta. Kaikkien kuivikepohjien lämpötilat saavuttivat huippunsa viimeistään neljän viikon kuluttua niiden perustamisesta, kuten kuvioista 12 ja 13 voidaan todeta. Lämpötiloissa ei ollut merkittävää muutosta neljännen viikon jälkeen.

Olkikuivikkeella kuivitetujen kuivikepohjien lämpötilat kohosivat selvästi nopeammin kuin muiden kuivikepohjien lämpötilat, kuten kuvioista 12 ja 13 voidaan todeta. Seoksella 4 (O40/T20/H40) kuivitetut kuivikepohjat lämpenivät toiseksi nopeimmin, ja seoksilla 2 (O40/T60), 3 (O20/T60/H20) ja 5 (O30/T35/H35) kuivitetut kuivikepohjat muodostivat hitaimmin lämpiävän ryhmän.

Kuivikepohjien lämpötilan nousunopeutta voidaan tarkastella myös suhteessa kuivikepohjan paksuuteen, koska kuivikepohjan paksuus kasvaa kokeen edistyessä. Kuivikepohjien keskimääräisten lämpötilojen kehitys paksuuden mukaan on esitetty kuviossa 14. Lämpötilojen nousu paksuuden mukaan eri seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien välillä käyttäytyy pääsääntöisesti käänteisessä järjestyksessä vastaavaan ajan mukaan esitettyyn lämpötilojen kehitykseen verrattuna, kuten kuvioista 13 ja 14 voidaan todeta. Pääsääntöisesti nopeimmin suhteessa paksuuden kasvuun lämpenivät ne kuivikepohjat, joiden paksuus oli pienin kokeen alussa. Siten kuivikepohjan lämpötilan nousuun vaikuttaa aika kuivikepohjan perustamisesta, kuivikepohjan paksuus ja kuivikeseos. Näin vaikutukset sekaantuvat toisiinsa, mutta runsaasti turvetta sisältävät seoksella 2 (O40/T60) kuivitetut kuivikepohjat sijoittuvat huonosti kummassakin suhteessa, joten ainakin sillä kuivitetujen kuivikepohjien voidaan todeta alkavan kompostoitua hitaasti. Kuivikepohjien paksuuden eroilla on suurin

merkitys juuri kokeen alussa kuivikekerroksen paksuuden ollessa pienin. Sen tähden olkikuivikkeella kuivitetut kuivikepohjat saivat muita paremman aseman kompostoitumisen alkamisessa.



Kuvio 14. Kuivikepohjien keskimääräiset lämpötilat kuivikepohjien paksuuden mukaan.

On huomattava, että kuivikepohjissa vallinneet lämpötilat saavuttivat jatkuvuustilan eli viimeisellä viikolla (kuvio 12 sivulla 79) ja asettuivat lähes samaan järjestykseen kuin orgaanisen hiilen syöttömäärät (taulukko [19] sivulla [58]). Tässä suhteessa poikkeuksen tekevät seoksella 3 (O20/T60/H20) kuivitetut kuivikepohjat. Niiden kompostoitumislämpötila oli alhainen suhteessa niiden orgaanisen hiilen syöttömäärään. Tarkastelussa on kuitenkin otettava huomioon myös orgaanisen hiilen lähde eli orgaanisen hiilen hajoavuus. Seoksella 3 (O20/T60/H20) kuivitetuttujen kuivikepohjien alhainen kompostoitumislämpötila selittyy sillä, että kuivikeseoksessa oli vähiten helposti hajoavan orgaanisen hiilen lähdettä eli olkea. Kuivikepohjien kompostoitumislämpötilat asettuivatkin kuivikeseosten sisältämän oljen osuuden mukaiseen järjestykseen. Kuivikkeiden syöttönopeus voisi mitä tahansa tutkimuksessa mukana olleista kuivikeseoksista kuivikkeena käytettäessä olla selvästi suurempi kuin mitä se tässä kokeessa oli. Tällöin kuivikepohjien lämpötilat nousisivat kokeissa mitatuista. Edelleen voidaan todeta, että ohutkin kuivikepohja alkaa palaa mutta myöhemmin kuin paksu. Palaminen alkaa, kun kuivikepohjan paksuus on 15 - 25 cm, ja saavuttaa huippunsa kuivikeseoksesta riippuen, kun kuivikepohjan paksuus on 20 - 30 cm. Jatkuvuustilassa eri seoksilla kuivitetuttujen kuivikepohjien lämpötilat asettuivat samaan järjestykseen sekä ajan että paksuuden suhteen esitettynä, kuten kuvioista 13 ja 14 voidaan todeta. Toinen syy oljella kuivitetuttujen kuivikepohjien nopeaan lämpiämiseen on se, että kokeiden oljessa oli enemmän orgaanista hiiltä käyttökosteudessa kuin muissa kuivikkeissa.

8.6 Kuivikepohjien pintalämpötilat, pintakerroksen lämmönjohtavuudet ja vertikaalit lämpötilaprofiilit

Kuivikepohjien emissiokertoimen arvoksi saatiin 0,99 määrittämällä se erillisessä mittauksessa kypsän kompostin pinnasta. Sitä käytettiin apuna määriteltäessä kuivikepohjien pintalämpötiloja niiden bruttosäteilystä. Kypsän kompostin lämpötila ja kyseisessä tapauksessa myös sen pinnan lämpötila olivat 12,4 °C. Vastaavasti kompostin pinnan bruttosäteilyn keskimääräiseksi arvoksi saatiin 375,2 W/m² ja otoskeskihajonnaksi 1,56 W/m².

Taulukko 26. Kuivikepohjien pintalämpötilaan vaikuttavien pää- ja yhdysvaikutusten ja eräiden kontrastien tilastolliset merkitsevyydet.

Tekijä	Vapausasteet	F-arvo	p-arvo
Seos	3, 8	1,05	0,424
Mittauskerta	2, 7	6,36	0,027*
Seos.mittauskerta	6, 14	1,04	0,439
Kontrastit			
Mittauskerta1_2	1, 8	0,13	0,729
Mittauskerta1_3	1, 8	7,30	0,027*
Mittauskerta2_3	1, 8	14,41	0,005**

Eri kuivikeseoksilla kuivitetujen kuivikepohjien pintalämpötiloihin vaikuttaneiden tekijöiden tilastolliset merkitsevyydet on esitetty taulukossa 26. Mittauskerran vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä. Yhdysvaikutuksella sen paremmin kuin käytetyllä kuivikeseoksella ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta kuivikepohjien pintalämpötiloihin. Ensimmäisen ja kolmannen ja toisaalta toisen ja kolmannen mittauskerran välinen ero oli tilastollisesti merkitsevä, mikä johtui kompostoitumislämpötilan eroista mittauskertojen välillä. Eri mittauskerroilla mitatut pintalämpötilat on esitetty taulukossa 27. Kuivikepohjien pintalämpötilat laskivat koejakson puolivälin eli toisen mittauskerran jälkeen. Erot eivät olleet käytännön kannalta kovin suuria. Ensimmäisellä ja toisella mittauskerralla kuivikepohjien pintalämpötila oli 18,1 - 18,3 °C. Kolmannella mittauskerralla se oli 16,1 °C. Kuivikepohjien pinnan

Taulukko 27. Kuivikepohjien pintalämpötilat eri mittauskerroilla.

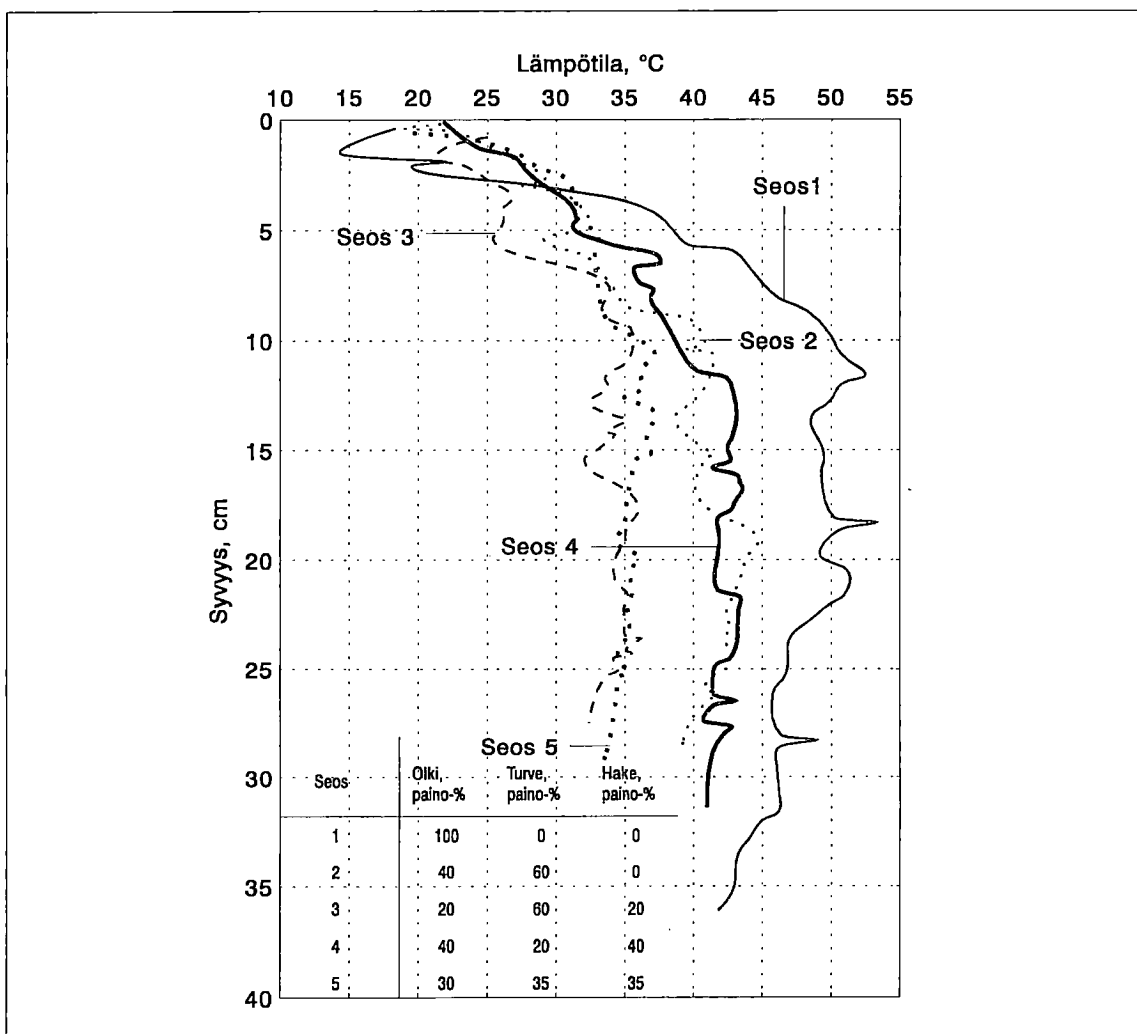
Mittauskerta	Pintalämpötila, °C
1	18,3
2	18,1
3	16,1

Taulukko 28. Kuivikepohjien pintakerroksesta mitattu lämmönjohtavuus ja sen hajonta sekä kuivikeseoksen vaikutuksen tilastollinen merkitsevyys.

Lämmönjohtavuus, Wm ⁻¹ K ⁻¹			
	\bar{x}	s	
	0,17	0,006	
Pää- tai yhdysvaikutus	F-arvo	Vapausasteet	p-arvo
Seos	1,10	3, 8	0,403

lämpötila on siten 6 - 8 °C ympäristön lämpötilaa korkeampi, mikä estää kuivikepohjan pinnan jäätyksen vielä muutaman asteen pakkasilla. Kaikki kuivikepohjat ovat pintakerroksen lämmönjohtavuuden suhteen samanarvoisia, kuten taulukosta 28 voidaan todeta. Kuivikepohjien pintakerroksen lämmönjohtavuus, keskimäärin $0,17 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, vastaa esimerkiksi kevytbetonin tai kevytsorabetonin, jonka tilavuuspaino on 600 kg/m^3 , lämmönjohtavuutta (ANON. 1979, s. 4).

Kuviossa 15 on esitetty toistettujen mittausten varianssianalyysillä mallitettujen lämpötilojen ja paksuuksien avulla lasketut pystysuuntaiset lämpötilaprofiilit. Kuviossa 15 esitetyt lämpötilaprofiilit eivät siten edusta minään tiettyä ajankohtana kuivikepohjassa vallinneita lämpötilaprofiileja, vaan ovat aproksimaatioita niistä koejakson loppupuolella. Kerätyn aineiston pohjalta paras kuva kuivikepohjien vertikaalisesta lämpötilaprofiileista saadaan, kun lämpötilaprofiileja edustavat käyrät piirretään kuivikepohjan yläosassa ylimmän, keskiosassa keskimmäisen ja alaosassa alimman anturin mallitettujen lämpötilojen mukaan. Kuviossa 15 mittauskohdan etäisyys kuivikepohjan pinnasta on luettavissa pystyakselilta ja sitä vastaava lämpötila vaaka-akseleilta.



Kuvio 15. Eri seoksilla kuivitettujen kuivikepohjien pystysuuntaiset lämpötilaprofiilit.

Mallin mukaan lasketut kuivikepohjan pinnan lämpötilat olivat 18 - 25 °C. Tästä kuivikepohjan lämpötila nousi noin 1,5 °C/cm kuivikepohjan pohjaa kohti. Lämpötilahuippu saavutettiin kaikissa kuivikepohjissa 10 - 20 cm:n syvyydessä kuivikepohjan pinnasta. Lämpötilahuipun molemmin puolin sijoittuu kuivikepohjan nopean kompostoitumisen vyöhyke. Tästä pinnan suuntaan lämpötila laskee edellä esitetyllä nopeudella, syvemmälle päin hyvin hitaasti. Tässä tutkimuksessa nopean kompostoitumisen vyöhykkeen tarkka sijainti riippui käytetystä kuivikeseoksesta. Yleisesti ottaen se riippuu varmasti myös syöttönopeudesta.

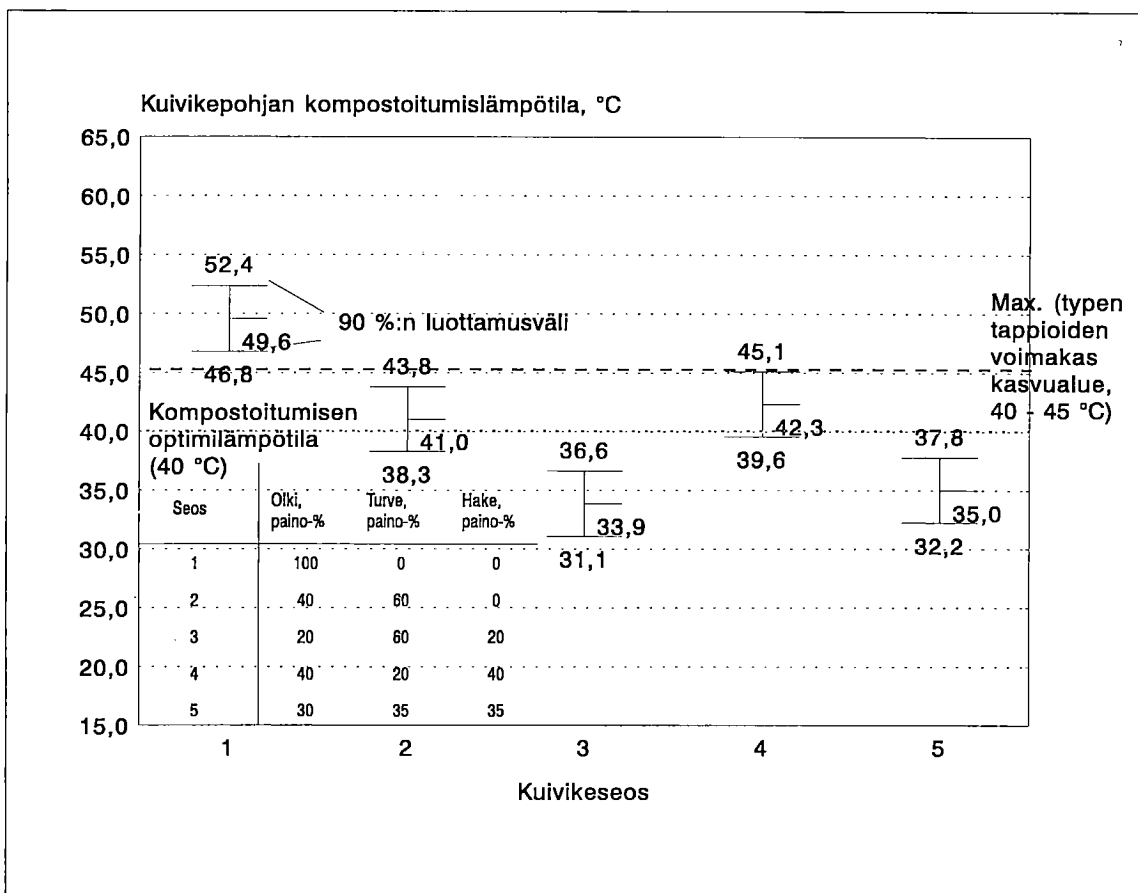
8.7 Kuivikepohjien kompostoitumisen lämpötilavaatimuksen täyttyminen jatkuvuustilassa

Neljännestä viikosta lähtien kuivikepohjien keskimääräiset lämpötilat olivat vain noin 2 - 3 °C matalampia kuin niiden lämpötilat mitattuna korkeimman lämpötilan antaneella anturilla. Jatkuvuustilassa kuivikepohjakompostin kompostoitumislämpötilasta saadaan siten varsinkin käytännön tarkoituksia varten varsin hyvä kuva mittaamalla sen lämpötila siltä syvyydeltä kuivikepohjan pinnasta, jossa se on korkein. Korkein lämpötila on mitattavissa väliltä 10 - 20 cm kuivikepohjan pinnasta ainakin ympäristön lämpötilan ollessa noin 10 °C (kuvio 15 sivu 83). Kylmemmällä säällä se on hieman syvemmällä.

Myös eläinten kannalta juuri kompostin korkein lämpötila on tärkein, koska ne painautuvat maatessaan kuivikepohjalla korkeimman lämpötilan kerrosta vasten. Selvää kiinteää eläinten asettamaa rajaa kuivikepohjan kompostoitumislämpötilalle on mahdotonta asettaa, koska se on riippuvainen eläimen koosta ja kuivikepohjan kosteuspitoisuudesta, joka vaikuttaa kuivikepohjan lämmönjohtavuuteen ja lämpökapasiteettiin. Hyvin kompostoituva kuivikepohja täyttää aina eläinten asettamat termiset vaatimukset. Kompostoitumisen epäonnistuminen johtaa epämääräisesti toimivaan kuivikepohjaan, joka voi tulla niin märeksi, että kuivikepohjan lämmönjohtavuus ja lämpökapasiteetti kasvavat niin suuriksi, että kuivikepohjalla vallitseva termien ympäristö ei enää täytä eläinten vaatimuksia. Koska kuivikepohjan hyvä kompostoituminen on kompostoituvaksi tarkoitettussa kuivikepohjassa eläinten termisen ympäristön säilymisen kannalta ratkaisevassa asemassa, voidaan katsoa, että eläinten kuivikepohjalle asettamat vaatimukset tulevat lämpötilan osalta täytetyiksi silloin, kun lämpötila on kompostoitumisen kannalta sopiva.

Ottaen huomioon kompostin lämmöntuotanto, kuiva-aineen hajoavuus ja typen tappiot, sopivana kompostoitumislämpötilana voidaan pitää 40 °C. Kokeessa käytetyllä kuivitusmäärällä riittävä kompostoitumislämpötila saavutettiin kuivikeseosta 1 (O100) käyttämällä, kuten kuvio 16 voidaan todeta. Seoksella 1 (O100) kuivitetujen kuivikepohjien korkein lämpötila nousi kokeen kuluessa lähes 60 °C:een (kuvio 12) ja oli sen kerran ylitettyään koko ajan yli typen häviöiden kannalta kriittisen 40 - 45 °C:een rajan eli oli typen tappioiden kannalta liiankin korkea. Kuivikeseoksilla 2 (O40/T60) ja 4 (O40/T20/H40) kuivittamalla riittävä kompostoitumislämpötila voidaan saavuttaa, koska keskiarvo ylitti kompostoitumislämpötilavaatimuksen. Käytetyllä kuivitusmäärällä kompostoitumislämpötilavaatimus ei

täyttynyt kuivikeseoksia 3 (O20/T60/H20) ja 5 (O30/T35/H35) käytettäessä. Erot kompostoitumislämpötiloissa johtuvat orgaanisen hiilen syöttömäärästä ja oljen osuudesta sen lähteenä.



Kuvio 16. Eri kuivikeseoksilla saavutetut kuivikepohjien korkeimmat lämpötilat jatkuvuustilassa ja niitä vastaavat luottamusvälit suhteessa kompostoitumislämpötilavaatimukseen ja typen tappioita voimakkaasti lisäävään lämpötilavyöhykkeeseen.

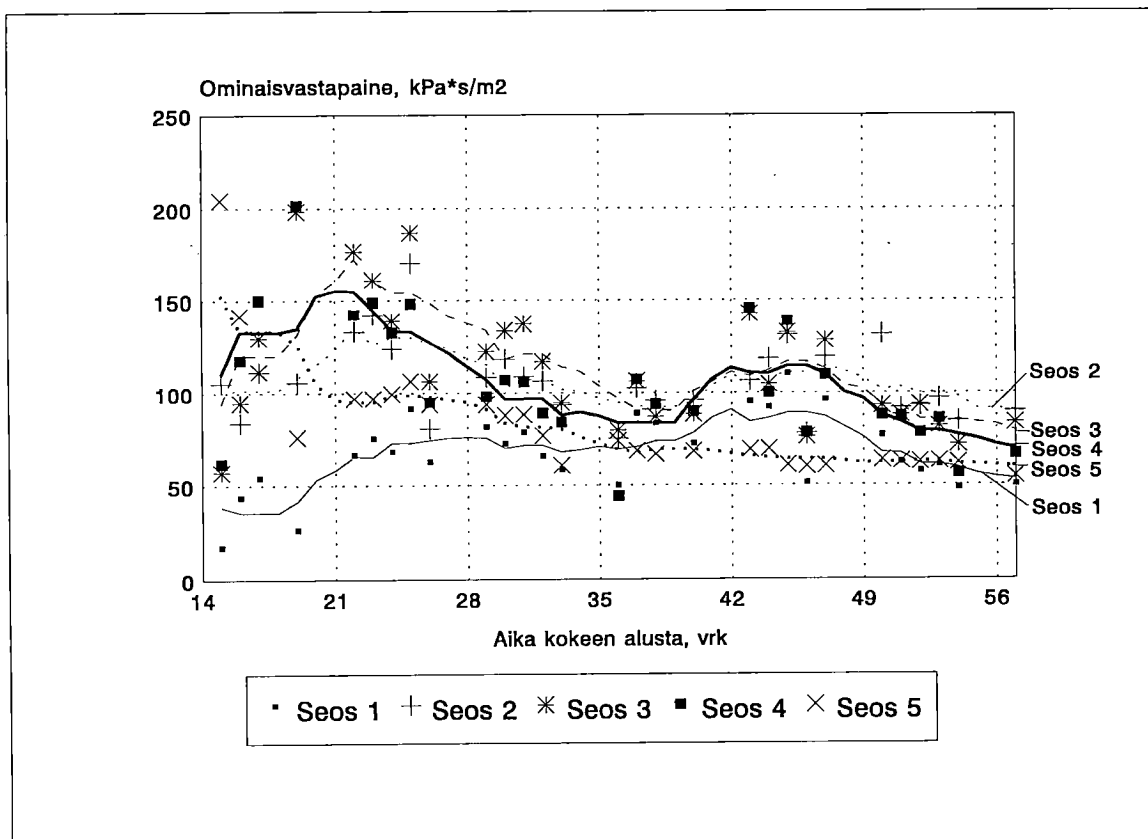
8.8 Kuivikepohjien ominaisvastapaineet

Kuivikepohjan ominaisvastapaineella tarkoitetaan ilmavirtauksen mitattua vastapainetta kuivikepohjassa jaettuna kuivikepohjan paksuudella ja ilmavirran nopeudella kuivikepohjassa. Taulukossa 29 on esitetty ominaisvastapaineeseen vaikuttavien pää- ja yhdysvaikutusten tilastolliset merkitsevyydet Waldin testin mukaan. Siinä koejakso on jaettu kahteen osaan, koska tilasto-ohjelmisto tai paremminkin laiteympäristö ei selviytynyt kaikkien mitauspäivien aineistosta yhtä aikaa. Akaiken informaatiokriteerin (AIC) mukaan arvioituna aineistoon sopi parhaiten rakenteeton kovarianssirakenne.

Taulukko 29. Ominaisvastapaineeseen vaikuttavien pää- ja yhdysvaikutusten tilastolliset merkitsevyydet.

Aika kokeen alusta, pv	3 - 26			29 - 57		
	Vapausasteet	Chi ² -testisuure	p-arvo	Vapausasteet	Chi ² -testisuure	p-arvo
Kuivikeseos	4	11,32	0,023*	4	11,84	0,019*
Mittauspäivä	14	2526,21	0,000***	19	284982,19	0,000***
Kuivikeseos.mittauspäivä	56	15624,55	0,000***	76	138228,11	0,000***

Käytetyn kuivikeseoksen vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä kummankin jakson aikana. Mittauspäivän sekä kuivikeseoksen ja mittauspäivän välinen yhdysvaikutus oli tilastollisesti erittäin merkitsevä molempien jaksojen aikana. Ominaisvastapaineissa oli eroa eri seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien välillä, mutta koska myös mittauspäivä ja yhdysvaikutus olivat tilastollisesti merkitseviä, saattoivat ominaisvastapaineet asettua välillä aivan eri järjestykseen kuin mitä ne keskimäärin olivat. Jonkin kuivikepohjan ominaisvastapaine saattoi jonakin päivänä poiketa merkittävästi keskimääräisestä. Tämän aiheutui todennäköisimmin kuivikepohjien kosteuspitoisuuden vaihtelusta ja tallauksen aiheuttamista väliaikaisista muutoksista kuivikepohjan rakenteessa.



Kuvio 17. Ominaisvastapaineiden viikon liukuva keskiarvo koeastioissa.

Kuivikepohjan ominaisvastapaineet mallitettiin tilastollisesti merkitsevät tekijät huomioon ottaen. Peräkkäisten päivien välinen vaihtelu oli suurta, siksi kuviossa 17 on esitetty saadun mallin mukaiset kuivikepohjien ominaisvastapaineet viikon liukuvana keskiarvona. Ne laskettiin toistoista, jotka olivat havaintopäivän lisäksi neljä päivää ennen ja kolme päivää havaintopäivän jälkeen. Näin pitkästä tasoituksesta huolimatta kuviossa 17 ominaisvastapaine vaihtelee vielä runsaasti. Lisäksi kuvion 17 pohjana olevasta aineistosta poistettiin ne havainnot, jotka oli mitattu alle kaksi viikkoa kokeen alusta, koska niissä esiintyi erityisen suurta vaihtelua. Suuri vaihtelu johtui siitä, että kuivikepohjien paksuuden vaihtelu oli kokeen alussa erittäin suurta suhteessa sen keskimääräiseen paksuuteen. Tämä puolestaan johti laskutavan takia erittäin suureen vaihteluun ominaisvastapaineessa.

Kuivikepohjien ominaisvastapaineet pienenevät kokeen loppuvaiheessa, ja samalla niiden vaihtelu pieneni, kuten kuvioista 17 voidaan todeta. Osasyynä vaihtelun pienene- miseen on eittämättä päivittäisten paksuuk- sien muutosten pieneneminen suhteessa pak- suuteen. Kuivikepohjien keskimääräiset ominaisvastapaineet kaksi viikkoa koejak- son alusta lukien on esitetty taulukossa 30. Kokeen loppuvaiheessa kaikki ominaisvas- tapaineet asettuivat välille 50 -100 kPa·s/m². Ominaisvastapaineet olisivat tuskin tästä merkittävästi alentuneet, vaikka koejakso olisikin ollut pidempi. Koejakson lopun ominaisvastapaineen asymptoottinen keski- virhe oli noin 5 kPa·s/m². Tilastollisesti merkitsevä ero kuivikeseosten välillä oli siten noin 10 kPa·s/m².

Seoksilla 1 (O100) ja 5 (O30/T35/H35) kuivitetut kuivikepohjat sekä toisaalta seok- silla 2 (O40/T60), 3 (O20/T60/H20) ja 4 (O40/T20/H40) kuivitetut kuivikepohjat erosivat toisistaan tilastollisesti merkitsevästi. Erot olivat myös käytännön kannalta merkittäviä. Metrin paksuisessa kuivikepohjassa ilmastus- määrän ollessa 1 m³/h·m³ kuivikepohjan vastapaine on 19 - 32 Pa. Kuivikepohjien ilmas- tuksessa tarvittavat ilmanpaineet ovat hyvin kohtuulliset. Jollakin tutkimuksessa mukana olleella seoksella kuivitetun käytännön kuivikepohjan ilmastuksessa tarvittavan vasta- painereservin voidaan arvioida olevan noin 45 % tässä tutkimuksessa todetusta keskimääräi- sestä tarpeesta kyseistä kuivikeseosta käytettäessä.

Taulukko 30. Kuivikepohjien keskimääräiset omi- naisvastapaineet ja vastapaine-esimerkki.

Seos	Ominais- vasta- paine, kPa·s/m ²	Vastapaine 1 m paksus- sa kuivike- pohjassa ilmastus- määrän ollessa 1 m ³ /h·m ³
1 (O100)	67,6	18,8
2 (O40/T60)	107,0	29,7
3 (O20/T60/H20)	114,3	31,8
4 (O40/T20/H40)	105,3	29,3
5 (O30/T35/H35)	82,8	23,0

Ominaisvastapaineet on esitetty kuviossa 17 esitetyn ajanjakson keskiarvona ja vasta- paine-esimerkki on laskettu näiden arvojen mukaan 1 m paksulle kuivikepohjalle, jota ilmastetaan sopivalla 1 m³/h·m³ ilmastusmää- rällä.

8.9 Kuivikepohjan kantavuus

Aineistosta poistettiin ne keskiarvot, jotka edustivat kantavuutta syvemmällä kuin 28 cm kuivikepohjan pinnasta, koska tämä osa aineistoa oli epätäydellinen ja esti tilastollisen analyysin tekemisen sekä oli lisäksi epätäydellisyydestä johtuen jonkin verran epämääräinen. Aineistoon parhaiten sopiva kovarianssirakenne oli Akaiken informaatiokriteerin (AIC) mukaan rakenteeton. Erot eri kovarianssirakenteella saatavien Akaiken informaatiokriteerin (AIC) arvojen välillä olivat pienet. Aineistoon sovitettiin myös malleja, joissa ei ollut vakioita mukana. Akaiken informaatiokriteerin (AIC) mukaan arvioituna ne sopivat kuitenkin aineistoon huonommin kuin mallit, joissa vakio oli mukana.

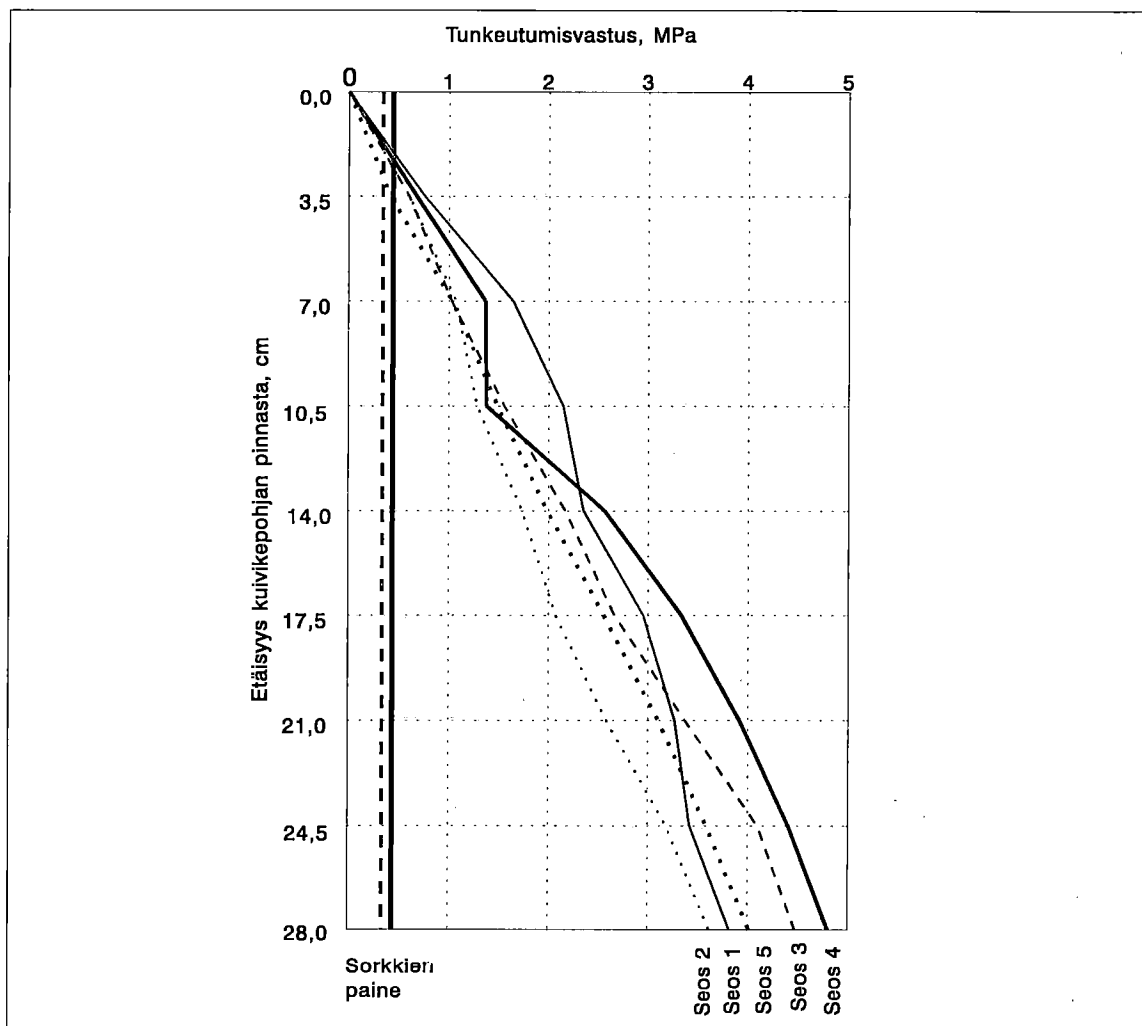
Tilastollisten testien tulokset on esitetty taulukossa 31. Tilastollisissa testeissä kuivikeseostekijä osoittautui hyvin merkitseväksi, sekä mittausryvyys että päävaikutusten yhdysvaikutus erittäin merkitseväksi. Kuivikepohjien kantavuuksien asymptoottinen keski-
virhe oli 240 kPa, ja mittausryvyksien välinen asymptoottinen keski-
virhe oli 79 kPa. Ainoastaan äärimmäisten eli seoksilla 2 (O40/T60) ja 4 (O40/T20/H40) kuivitet-
tujen kuivikepohjien keskimääräisten kantavuuksien välinen ero oli tilastollisesti merkitsevä. Sen
sijaan kaikkien mittausryvyksien väliset erot olivat tilastollisesti merkitseviä. Tämä mer-
kitsee sitä, että vaikka seoksilla 2 (O40/T60) ja 4 (O40/T20/H40) kuivitet-
tujen kuivikepohji-
en keskimääräisten kantavuuksien välillä olikin eroa, mittausryvyksien väliset erot olivat
selvempiä ja peittivät alleen kuivikeseosten välisiä eroja.

Taulukko 31. Kuivikepohjien kantavuuteen vaikuttavien pää- ja yhdysvaikutusten tilastolliset merkitsevyydet.

Tekijä	Vapausasteet	Chi ²	p-arvo
Seos	4	13,6325	0,0086**
Mittausryvyys	7	5418,1860	0,0000***
Seos.mittausryvyys	28	265,0259	0,0000***

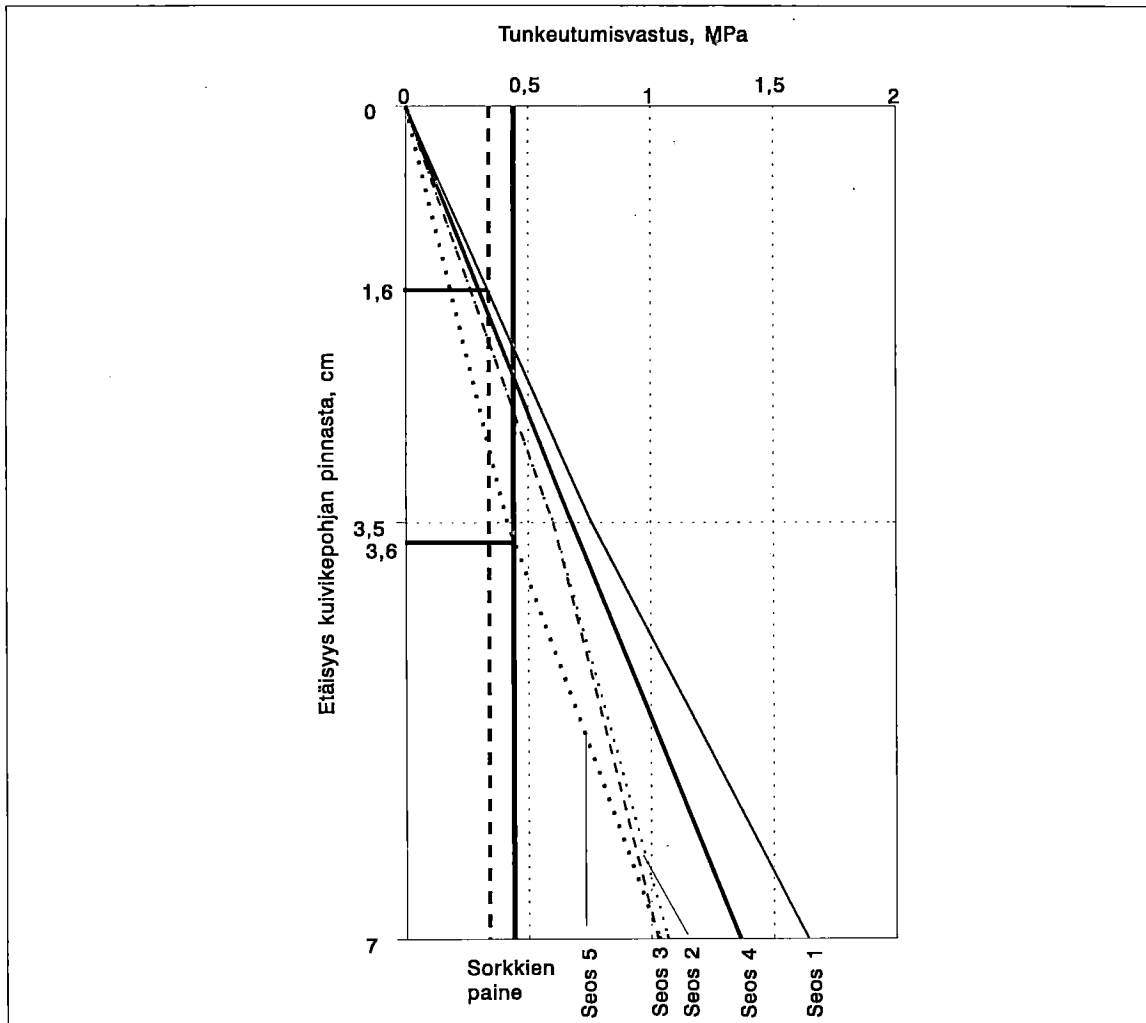
Keskimäärin ottaen syvemmällä kuivikepohjassa olleessa mittauskohdassa oli aina suurempi kantavuus kuin pinnemmalla olleessa mittauskohdassa, kun vertailtavien mittauskohtien syvyyksien väli oli 3,5 cm. Kuivikepohjien kantavuudet mallitettiin tilastollisesti vähintään merkitsevät tekijät mukaan ottaen. Kuivikepohjien kantavuudet tähän malliin pohjautuen on esitetty kuviossa 18. Kuvioon 18 on merkitty myös lehmän sorkkien kuivikepohjan pintaan kohdistama paine sen seisoessa hiljaa paikoillaan. Kuviossa 18 on oletettu, että kantavuudet ovat kuivikepohjan pinnassa nolla. Kuvioista 18 voidaan havaita, että kantavuudet kasvoivat kuivikepohjan kantavuuden kannalta oleellisella alueella eli alle seitsemän senttimetrin syvyudessa melko lineaarisesti mittausryvyden mukaan. Koska yhdysvaikutus oli tilastollisesti merkitsevä saattoivat kuivikeseosten kantavuudet asettua joissakin syvyyksissä eri järjestykseen kuin yleensä. Niinpä seoksella 2 (O40/T60) kuivitet-
tujen kuivikepohjien pintakerrokset olivat muilla seoksilla kuivitetuihin kuivike-

pohjiin nähden selvästi kantavampia kuin sillä kuivitetujen kuivikepohjien kantavuus suhteessa muilla seoksilla kuivitetuihin kuivikepohjiin syvämmällä kuivikepohjassa, kuten kuviosta 18 voidaan todeta. Eri kuivikeseosten välinen ero tällä alueella on käytännön kannalta lähes merkityksetön. Kuviossa 19 on esitetty sorkkien uppoamisen kannalta oleellinen alue kuviosta 18. Vertaamalla sorkkien aiheuttamaa painetta ja kuivikepohjien kantavuutta mallin ja kuvion 19 perusteella voidaan todeta, että sorkkien uppouma on vain 1,6 - 3,6 cm kuivikeseoksesta ja sorkkien aiheuttamasta pintapaineesta riippuen. Siten periaatteessa kaikkien tutkimuksessa mukana olleiden kuivikepohjien kantavuus oli riittävä.



Kuvio 18. Kantavuus eri seoksilla kuivitetuissa kuivikepohjissa.

Koska aineistona käytettiin kunkin mittaussyvyyden kantavuuksien keskiarvoja kuivikepohjissa, analyysi testasi mallissa mukana olleiden tekijöiden tilastollista merkittävyyttä yhdeltä mittaussyvydeltä mitattujen arvojen keskiarvon, ei yhden mittaussyvyyden yksittäisen mittauspisteen arvon perusteella. Koska kuivikepohjien kantavuudet mitattiin koejakson päätyttyä, edustavat arvot kuivikepohjien kantavuuksia niissä kosteuspitoisuuksissa, joissa kuivikepohjat koejaksojen päättyessä olivat. Nämä kuiva-ainepitoisuudet on esitetty edellä taulukossa [21] sivulla [68].



Kuvio 19. Kantavuus eri seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien pintakerroksessa.

8.10 Kompostoitumisen päättyminen

Kompostoitumisen päättymisen määrittämiseksi mitattiin kuivikepohjista kahdelta syvyydeltä otetuista kohdassa 7.8 esitetyllä tavalla käsitellyistä näytteistä niiden happamuuden muutokset. Eri seoksilla kuivitetuista kuivikepohjista otettujen näytteiden pH:n muutokset ja pää- ja yhdysvaikutusten tilastolliset merkitsevyydet on esitetty taulukossa 32. Kuivikeseoksen vaikutus oli tilastollisesti hyvin merkitsevä. Kuivikeseosten välisessä vertailussa ainoastaan kuivikeseos 3 (O20/T60/H20) erosi muista. Sillä kuivitetujen kuivikepohjien palaminen oli siten jäänyt

Taulukko 32. Eri seoksilla kuivitetuista kuivikepohjista otettujen näytteiden happamuuden muutokset ja muutosten keskihajonnat.

Seos	pH		
	\bar{x}	s	
1 (O100)	-0,18 ^a	0,39	
2 (O40/T60)	-0,39 ^a	0,43	
3 (O20/T60/H20)	-1,03 ^b	0,36	
4 (O40/T20/H40)	-0,27 ^a	0,31	
Pää- tai yhdysvaikutus	F-arvo	Vapausasteet	p-arvo
Seos	8,99	3, 8	0,006**
Kerros	0,09	1, 8	0,770
Seos.kerros	0,75	3, 8	0,553

selvästi kesken. Happamuuden lisääntyminen sillä kuivitetuista kuivikepohjista otetuissa näytteissä oli 1,0 yksikköä. Ero nollaan oli tilastollisesti merkitsevä. Muilla seoksilla kuivitetuista kuivikepohjista otetuissa näytteissä happamuus lisääntyi käsittelyssä vain 0,3 yksikköä. Muutos ei eronnut tilastollisesti merkitsevästi nolasta yksi kerrallaan testattuna.

8.11 Kuivikepohjien pinnalta mitatut kaasut

Kuten taulukosta 33 voidaan todeta, käytetyn kuivikeseoksen ja mittauskerran vaikutus kuivikepohjien pinnalta mitattavaan ammoniakkipitoisuuteen oli tilastollisesti erittäin merkitsevä. Seoksella 5 (O30/T35/H35) kuivitetujen kuivikepohjien pinnalta mitattujen ammoniakkipitoisuuksien muutokset poikkeavat selvästi muiden kuivikepohjien pinnalta mitattavien ammoniakkipitoisuuksien muutoksista. Seoksella 5 (O30/T35/H35) kuivitetujen kuivikepohjien pinnalta mitatut ammoniakkipitoisuudet olivat pienimmät koejakson puolessa välissä, kun taas muilla seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien pinnalta mitatut ammoniakkipitoisuudet olivat tällöin suurimmat. Seoksella 1 (O100) kuivitetujen kuivikepohjien pinnalta mitatut ammoniakkipitoisuudet olivat korkeat koko koejakson ajan, mutta ne olivat erityisen korkeat koejakson puolivälissä, koska näiden kuivikepohjien kompostoitumislämpötila oli silloin typen tappioiden kannalta selvästi liian korkea (48 - 55 °C). Seoksilla 3 (O20/T60/H20) ja 5 (O30/T35/H35) kuivitetujen kuivikepohjien pinnalta mitatut ammoniakkipitoisuudet olivat kohtuulliset, koska kompostoitumislämpötila oli alle 40 °C. Tarpeettoman korkean kompostoitumislämpötilan aiheuttamat tyypitappiot huonontavat eläinten olosuhteita, koska kuivikepohjan pinnalla vallitsevat ammoniakkipitoisuudet kasvavat.

Taulukko 33. Kuivikepohjien pinnalta mitatut ammoniakkipitoisuudet ja niiden hajonnat sekä eri seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien välisten erojen tilastolliset merkitsevyydet.

Seos	Ammoniakkipitoisuus, ppm					
	Alku		Väli		Loppu	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
1 (O100)	11	5,1	48	2,5	16	13,1
2 (O40/T60)	4	0,3	21	8,1	8	1,5
3 (O20/T60/H20)	6	0,7	12	5,1	4	1,5
4 (O40/T20/H40)	8	1,7	26	12,7	14	4,0
5 (O30/T35/H35)	9	0,3	5	1,2	9	1,2
Pää- tai yhdysvaikutus	F-arvo		Vapausasteet		p-arvo	
Seos	15,60		4, 10		0,000***	
Mittauskerta	54,41		2, 9		0,000***	
Seos.mittauskerta	6,10		8, 18		0,000***	

Eri seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien pinnalta mitatuissa hiilidioksidipitoisuuksissa oli tilastollisesti hyvin merkitsevä ero, kuten taulukosta 34 voidaan todeta. Kuivikepohjien pinnalta mitatut hiilidioksidipitoisuudet ovat taulukossa 34. Eri seoksilla kuivitetuista kuivikepohjista ainoastaan seoksella 5 (O30/T35/H35) kuivitettu kuivikepohja eroaa muista pinnalta mitatun hiilidioksidipitoisuuden (0,12 tilavuus-%) suhteen. Muiden kuivikeseosten pinnalta mitattu hiilidioksidipitoisuus oli keskimäärin 0,28 tilavuus-%. Siten kuiva-aineen hajoaminen oli seoksella 5 (O30/T35/H35) kuivitetuissa kuivikepohjissa selvästi hitaampaa kuin muilla seoksilla kuivitetuissa kuivikepohjissa, vaikka myös seoksella 3 (O20/T60/H20) kuivitettyjen kuivikepohjien kompostoitumislämpötila oli yhtä alhainen.

Taulukko 34. Kuivikepohjien pinnalta mitatut hiilidioksidipitoisuudet ja niiden hajonnat sekä eri seoksilla kuivitettyjen kuivikepohjien välisten erojen tilastolliset merkitsevyydet ($p=0,05$).

Seos		Hiilidioksidipitoisuus, tilavuus-%	
		\bar{x}	s
1 (O100)		0,30 ^a	0,12
2 (O40/T60)		0,31 ^a	0,13
3 (O20/T60/H20)		0,24 ^a	0,11
4 (O40/T20/H40)		0,27 ^a	0,08
5 (O30/T35/H35)		0,12 ^b	0,03
Pää- tai yhdysvaikutus	F-arvo	Vapausasteet	p-arvo
Seos	6,71	4, 10	0,007**
Mittauskerta	0,15	2, 9	0,861
Seos.mittauskerta	0,67	8, 18	0,715

9 TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimuksen tavoitteena ollut hyvin kompostoituva kuivikepohja onnistuttiin kehittämään, mutta kuivikkeiden kulutusta ei voitu vähentää. Kuiva-aineen hajoavuus jäi kokeissa noin puoleen siitä, mitä sen kirjallisuustietojen (MARTIN ym. 1983, s. 141 - 145, KLEIN 1972, s. 8) mukaan olisi pitänyt olla. Toisaalta kompostoituminen eteni loppuun asti ainakin kolmella käytetyistä kuivikeseoksista kuivitettaessa, ja HANSENin (1993, s. 3) kokeissa saavutettu kuiva-aineen hajoavuus (9 %/2,5 kk) oli pienempi kuin tässä tutkimuksessa mitattu. Hajoavuus ei siten olisi voinut käytetyillä lähtöaineilla olla juuri suurempi kuin mitä kokeessa toteutui. Pieni kuiva-aineen hajoavuus johti samalla myös pieneen orgaanisen hiilen hajoavuuteen ja edelleen pieneen lämmöntuotantoon. Toteutunutta korkeamman lämpötilan saavuttaminen olisi edellyttänyt parempaa lämmöneristystä koeastioissa tai suurempaa kuivitusmäärää.

Koeastioiden lämpöhäviöt vastasivat hyvin käytännön kuivikepohjissa vallitsevia lämpöhäviöitä. Kuivikepohjien 13 cm:n pintakerroksen lämmönjohtavuus oli noin 2,5-kertainen verrattuna väliseinien lämmönjohtavuuteen. Kuivikepohjien pintakerroksen lämmönjohtavuus oli noin seitsenkertainen verrattuna koeastiaston ulkoseinämien lämmönjohtavuuteen. Se oli 30 % suurempi kuin, mitä määrän kuivikekerroksen lämmönjohtavuus BERGSCHÖLDin ja OHLÉNin (1973, s. 27 - 29) sekä Haartsenin

(Ref. AUTIO 1969, s. 45) mukaan on. Koeastiaston sivun keskellä olleiden koeastioiden lämmönjohtavuus ympäristöön vastasi aluetta kuivikepohjassa, jonka reuna on noin 1,5 m kuivikepohjan eristämättömästä reunasta, esimerkiksi lanta- tai kuivituskäytävältä kuivikepohjan keskustaan päin eli lähes kuivikepohjan keskustassa olevaa aluetta. Koeastiaston kulmassa olleen koeastian lämmönjohtavuus vastasi sellaista aluetta yksittäisessä kuivikepohjassa, jonka etäisyys kahteen eristämättömään toisiinsa nähden kohtisuorassa olevaan kuivikepohjan reunaan on noin 1,5 m. Suurempi kuivitusmäärä jää ainoaksi käytännön vaikutuskeinoksi kompostoitumislämpötilaan. Käytettyjen kuivikeseosten käyttömäärän suurentaminen nostaisi kompostoitumislämpötilaa orgaanisen hiilen syöttöä mutta myös sen hajoavuutta lisäämällä, joten se vaikuttaisi melko nopeasti.

Kirjallisuuden (HAUG 1980, s. 247 - 252, ORNING 1969, s. 20) pohjalta oli odotettavissa, että orgaanisen hiilen syöttömäärä ja sen hajoavuus vaikuttavat keskeisesti kuivikepohjan lämpötilaan, jos kaikkien kuivikepohjien lämmöneristykset ympäristöstään ovat keskenään samat. Tämän tutkimuksen kokeet osoittivatkin, vaikka sitä ei varsinaisesti etsittykään. Vertailtavana olivat itseasiassa kuivikeseokset. Seossuhteilla kokeen seossuhteiden rajoissa ei sinällään ollut vaikutusta kompostoitumislämpötilaan, kuten odotettiin, vaan pelkästään kuivikkeiden sisältämällä orgaanisen hiilen määrällä ja sen hajoavuudella. Kuivikeseokset olivat varsin monipuoliset, ja sen komponentit edustivat kattavasti käytössä olevia kuivikemateriaalityyppejä (PASILA 1995, s. 58). Suuria poikkeamia saadusta tuloksesta ei tässä mielessä ole odotettavissa, jos hienojakoisen jakeen osuus ei kokeessa olleesta kasva (SCHUCHART ja BAADER 1979, s. 207). Suurin osa kuivikepohjan orgaanisesta hiilestä tulee kuivikkeesta. Kuivike on lantaan nähden määräävässä asemassa kuivikepohjan lämmöntuotannossa, muissa ominaisuuksissa ja toiminnassa. Siten tutkimuksen tulokset on yleistettävissä kaikkien eläinten kuivikepohjiin edellyttäen, että kuivikepohjan kosteuspitoisuus muodostuu oikeaksi. Käytännön tilanteessa lämmöntuotanto suhteessa lämpöhäviöihin määrää kompostoitumislämpötilan, joten koetta vastaavien kompostoitumislämpötilojen saavuttaminen edellyttää kuivikepohjilta samaa lämmöneristystä kuin kokeissakin käytettiin.

Kokeessa typen tappiot jäivät selvästi pienemmiksi kuin mitä niiden lähtöaineiden C/N-suhteen perusteella olisi tullut olla (KIRCHMANN 1985, s. 66). Tämä aiheutui mitä todennäköisimmin kuivikepohjien tiiviistä rakenteesta sekä kompostoitumislämpötilan kohtuullisuudesta (TUORILA 1929, s. 45, VIRRI 1941, s. 106, HÜMBELIN ym. 1991, s. 85, GALLER ja DAVEY 1975, s. 143, EVANS ym. 1986). Kuivikepohjien lämpötilan kasvu kuivitusta lisäämällä johtaisi mitä todennäköisemmin typen tappioiden selvään kasvuun, joten typen tappio on kokeen mukainen vain, jos lähtöaineiden C/N-suhde ja kompostoitumislämpötila kummatkin ovat kokeen mukaiset. Kokeissa kuivikepohjien tyyppipitoisuudet olivat riittävät kompostoitumisen kannalta (CAPPAERT ym. 1976, s. 18, WAKSMAN ja CORDON 1939, s. 218 - 219, WAKSMAN ja HUTCHINGS 1936, s. 121, 123). Koska suurin osa kuivikepohjien tyypeistä tulee lannan mukana, ei kuivikeseoksella voinut olla vaikutusta typen pitoisuuden riittävyyteen.

Vaikka kompostoitumislämpötilaan ei muodostunutkaan aitoja kuivikeseoksista johtuvia eroja, vaikuttivat ne kuivikepohjien kantavuuteen ja ilmaston ominaisvastapaineeseen. Niillä ei ole kuitenkaan käytännön merkitystä. Kerrospaksuuksien kehityksen erot johtuivat kuiva-aineen syöttömäärien eroista, eivätkä nämä erot siten aiheutuneet aidosti kuivikeseoksista. Jos orgaanisen hiilen syöttömäärä olisi kaikilla kuivikeseoksilla ollut sama, olisi kuivikepohjien paksuuden kasvu ollut kuivikeseoksilla 1 (O100), 2 (O40/T60), 3 (O20/T20/H40) ja 4 (O40/T20/H40) lähes sama. Käytännön merkitystä kuivikeseoksen valinnassa on ainoastaan massatappioiden ja liukoisen typen tappioiden välisillä eroilla, eivätkä nekään vaikuta itse kompostoitumiseen, vaan kuivikepohjan poistamiseen ja arvoon lannoitteena. Seoksella 5 (O30/T35/H35) kuivitetettujen kuivikepohjien paksuuden muita suurempi kasvunopeus johtui todennäköisemmin sen muita kuivikepohjia pienemmästä kuiva-aineen hajoavuudesta, vaikka tämä ero muihin kuivikepohjiin nähden ei tullutkaan analyyseissä esiin.

Koejärjestely ei mahdollistanut koeyksiköiden sijoituksen satunnaistamista koeastiossa, koska tällöin koeastiossa olisi tullut olla koeastioita koejäsenten lukumäärän kerranne. Tämän takia koeyksiköt jaettiin koeastioon niin, että se johti potentiaalisesti suurimpaan mahdolliseen koejärjestelyssä toteutuvaan hajontaan, jolloin tilastolliset testit olivat varmallalla puolella. Tämä johti varmasti siihen, että potentiaalisesti tilastollisesti merkitseviä eroja menetettiin. Toisaalta asymptoottiset testit olivat varsin liberaaleja. Valittu järjestely oli kuitenkin käytettävissä olleiden resurssien puitteissa paras mahdollinen.

Ilmastuksen aiheuttama lämpöhäviö kuivikepohjasta oli kuivikepohjan paksuuden ollessa 40 cm 0,04 W astiaa kohden eli noin 0,1 promillea lämmöntuotannosta, joten ilmastuksen mukana kulkevalla lämmöllä ei voinut olla mitään merkitystä laboratoriokeksen kuivikepohjien lämpötaseeseen. Ilmastuksen mukana kokeissa saattoi poistua korkeintaan noin 4 % kuivikepohjiin lannan ja kuivikkeen mukana tulevasta kosteudesta. Ilmastus ei siten vaikuttanut merkittävästi kosteuden poistumiseen kokeiden kuivikepohjista. Kuljettumisen lisäksi kuivikepohjista haihtuu kosteutta myös haihtumalla. Kuivikepohjien kosteudentuotannoksi niiden pinnasta kokeen olosuhteissa voidaan arvioida noin 160 g/m²·h eli noin 60 g/h·koeastia (KAPUINEN ja KARHUNEN 1989, s. 54). Siten kosteuden haihtuminen kokeen kuivikepohjilta oli merkittävää ja vastasi koko lähtöaineiden mukana tulevaa kosteutta.

Kaikki kuivikeseokset olivat kokeessa selvästi kuivempia kuin mitä ne käytännön tilanteessa olisivat olleet. Käytännön kosteuspitoisuuksissa olevia kuivikeseoksia jouduttaiisiin käyttämään 29 - 110 % enemmän kuin kokeessa käytettiin, jotta kuivikepohjien kosteudensitomiskyvyt säilyisivät koetta vastaavina. Lähimpänä käytännön kosteuspitoisuutta olivat runsaasti turvetta sisältäneet kuivikeseokset 2 (O40/T60), 3 (O20/T60/H20) ja 5 (O30/T35/H35). Jotta kuivikeseosten kosteudensitomiskykyjä ei ylitettäisi, kuivikeseoksia jouduttaiisiin käytännön kosteuspitoisuuksissa käyttämään 0 - 43 % enemmän kuin kokeissa käytettiin. Tässäkin mielessä runsaasti turvetta sisältäneet kuivikeseokset olivat lähimpänä käytännön tilannetta. Tarvittavat kuivitusmäärät, kompostoitumisen aikana kokeessa

toteutunut kosteuspitoisuuden aleneminen huomioon ottaen, olivat kuivikeseoksia 2 (O40/T60), 4 (O40/T20/H40) ja 5 (O30/T35/H35) käytettäessä melko lähellä kokeen mukaisia. Kokeen mukainen kosteuspitoisuuden aleneminen voisi niissä siten toteutua käytännössäkin, jolloin niiden osalta tulokset vastaavat varsin lähelle käytännön tilannetta, jos orgaanisen hiilen syöttönopeus säilyisi samana. Näin ei kuitenkaan ole, vaan saman orgaanisen hiilen syöttönopeuden saavuttamiseksi kuin kokeissa käytettiin kuivikeseoksia olisi niiden normaalissa kosteuspitoisuudessa käytettävä järjestyksessä kuivikeseoksesta 1 (O100) kuivikeseokseen 5 (O30/T35/H35): 36, 1, -1, 23 ja 13 % enemmän kuin kokeissa. On kuitenkin todennäköistä, että käytetyn hakkeen orgaanisen hiilen pitoisuudelle analyysissä saatu arvo on liian pieni, koska se on sitä verrattuna kirjallisuudessa (ILMONEN 1976, s. 74, HOFSTETTER 1977, s. 144) esitettyihin arvoihin ja koska orgaanisen hiilen tappio muodostui erityisesti haketta sisältäneissä kuivikepohjissa kuiva-ainetappiota pienemmäksi, vaikka sen tulisi olla korkeintaan kuiva-ainetappion suuruinen. Tämä ei kuitenkaan vaikuta edellä mainittuihin kuivitusmäärien lisäyksiin, joilla saavutetaan sama orgaanisen hiilen syöttönopeus kuin kokeessa, jos kuivikemateriaalien kosteuspitoisuudet ovat normaalit. Kuivikeseoksia 1 (O100), 3 (O20/T60/H20) ja 5 (O30/T35/H35) käytettäessä kokeen mukaista kosteuspitoisuuden alenemista ei voi muodostua, jos kuivitustarve lasketaan ottaen huomioon kokeissa toteutunut kosteuspitoisuuden aleneminen. Laskelmat perustuvat kohdassa 4.2.2 esitetyille arvoille eri kuivikeseosten komponenttien kosteudensitomiskyvyistä. Kun kuivikkeiden käyttökosteus vaihtelee yleensä paljon ja kun kosteuden sitomiskyvyn perusteella laskettu kuivitustarve on erittäin herkkä sekä kuivikkeen kosteudensitomiskyvyn että kuivikkeen käyttökosteuspitoisuuden ja lisäksi vielä kuivikepohjan pinnalta muodostuvan kosteuden haihtumisen muutoksille, tarkkojen kuivitustarpeiden laskeminen tällä perusteella antaa melko epärelevantteja tuloksia. Niinpä kirjallisuudessa esitetyt tiedot kuivikkeiden kulutuksesta samanlaisten eläinten kuivikepohjissa vaihtelevat runsaasti (KARLSSON ja JEPPSSON 1995, s. 26).

Kompostoituneen kuivikepohjan ravinnepitoisuuksista voidaan löytää tilastollisesti merkitseviä eroja hyvin pienillä kerrannemäärillä, jos osuudet tai pitoisuudet ovat suuria, kuten liukoisen typen osuus kokonaistypessä tai orgaanisen hiilen pitoisuus kuiva-aineessa. Kuitenkin useimpien ravinteiden pitoisuudet kuiva-aineesta ovat vain muutamia prosentteja tai jopa alle prosentin. Tällöinkin suurimmaksi ongelmaksi nousee analyysimenetelmien tarkkuus. Todellinen vaihtelu kerranteiden välillä saattaa olla pienempi kuin analyysimenetelmällä samasta koeyksiköstä analysoitujen toistojen. Lisäongelmia aiheuttaa lukematarkkuus. Kun ottaa huomioon sen, että käytetty analyysipalvelu ilmoitti mittaustulokset vain kahdella merkitsevällä luvulla, on mahdollinen virhe yksittäisen mittaustuloksen kohdalla lähes ± 5 % jo lukematarkkuuden takia silloin, kun ensimmäinen merkitsevä luku on yksi. Ensimmäisen merkitsevän luvun ollessa yhdeksän sama virhe pienenee kymmenesosaan tästä. Erityisesti kokonaistypen ja vaihtuvan kaliumin pitoisuuksien määrittämisessä lukematarkkuus oli tämän takia suuri ongelma. Lukematarkkuuden merkitys korostuu eniten silloin, kun kerranteita on vähän, esimerkiksi kolme, kuten tässä tutkimuksessa. Sen

tähden merkitseviä eroja ei juuri löydetty. Toisaalta löydetyt erot ovat tällöin käytännön kannalta todella merkittäviä, koska ne ovat hyvin suuria. Kerranteiden vähyys takia jäi varmasti selviä eroja löytymättä.

Ravinnepitoisuuksien vertailua suurempia ongelmia aiheutui analyysien epätarkkuuksista ravinnetappioiden vertailulle. Kuivikepohjien ravinnetappioihin kertyivät mittaustavasta johtuen kaikki ravinteisiin ja kuiva-ainepitoisuuksiin liittyvät mittausrvirheet. Tappiot laskettiin koeastioista otetun ja sinne laitetun materiaalin ravinnemäärien erotuksena. Tappioiden vaihtelun suuruutta lisäsi erityisesti se, että tappiot olivat prosentuaalisesti pieniä. Ravinne- ja kuiva-aineanalyysiin liittynyt epätarkkuus korostui siten juuri tappioiden määrittelyssä. Esimerkiksi, kun typen tappio oli keskimäärin 12 % jo runsaan 10 %:n virhe valmiin kompostin ravinneanalyysissä olisi aiheuttanut laskennallisesti tappioiden kaksinkertaistumisen. Ravinnetappioiden, erityisesti pienten, määrittelyssä pitäisikin kerranteiden määrän olla selvästi suurempia kuin pelkkien pitoisuuksien määrittelyssä. Kohtuullisten ravinnetappioiden erojen määrittäminen on siten käytännössä mahdotonta taseperiaatteella. Tappiot tulisikin mitata suoraan keräämällä kompostista poistuvat kaasut ja nesteet talteen, ja määrittää tappiot mitattujen poistuvien ravinteiden määränä kokonaismäärästä. Tässäkin tutkimuksessa käytetty massatappion ja kuiva-ainetappion määrittäminen muodostavat tässä suhteessa poikkeuksen. Kummassakaan tapauksessa tappiota ei voida suoraan mitata. Punnituksen virheet ovat kuitenkin lähes olemattomia verrattuna massatappioiden eroihin. Poistetun massan punnitus on erittäin tarkka. Päivittäisistä kuivike- ja lanta-annoksista kertyi potentiaalisesti suurimmat virheet, jos punnituksissa oli systemaattista virhettä, koska punnituksia oli useita. Kuiva-ainehäviön määrittämisen tarkkuus riippui eniten kuiva-ainepitoisuuden määrittämisen tarkkuudesta. Kuiva-ainemääritys tehtiin ravinnepitoisuuksien määrittämisen yhteydessä, joten siihen liittyy samaa epätarkkuutta kuin ravinnepitoisuusmäärittämiseen, vaikka se oli niitä selvästi tarkempi.

Kuivikepohjien paksuuden ja sen kasvun mittaamiseksi käytetyt kerrannemäärät olivat riittävät, ja koejäsenten välille voitiin löytää eroja. Kerrospaksuudet saattoivat välillä pienentyä, välillä suurentua. Osa tästä kasvunopeuden vaihtelusta johtui siitä, että tiivistystä oli mahdotonta saada täysin samanlaiseksi joka päivä. Lisäksi viikonloppujen ympärille kertyneet runsaat tiivistykset aiheuttivat kuivikepohjan paksuuden kasvuun lievän viikottaisen syklin. Kuitenkin osa tästä kasvunopeuden vaihtelusta johtui itse kompostoitumisprosessista. Mittausmenetelmän tarkkuus verrattuna kuivikepohjan paksuuden vaihteluihin oli hyvin tarkka. Kokeiden lyhyys oli kerranteiden vähyttä suurempi haitta kuivikepohjan paksuuden kasvun määrittämisessä. Tässä tutkimuksessa olkikuivikepohjista mitatut kuivikepohjan pinnan kasvunopeudet olivat noin 25 % pienemmät kuin HANSENin (1993, s. 3) sekä BENTSSONin ja SÄLLVIKIn (1994, s. 50) tulokset kuivikepohjista, joissa kuivikkeita oli käytetty noin 15 % vähemmän pinta-alayksikköä kohti mutta jossa eläintä kohden oli noin 30 % enemmän kuivikepohja-alaa. Kasvunopeudet näyttivät kuitenkin vakiintuneen koejakson viimeisen kuukauden ajaksi, joten niiden ei pitäisi myöhemminkään muuttua. Tätä käsitystä vahvistavat ainakin HANSENin (1993, s. 3) sekä BENTSSONin ja

SÄLLVIKIn (1994, s. 50) tulokset. Kuivikepohjien toteutuneet perustuspaksuudet olivat tutkimuksessa yllättävän suuria verrattuna siihen, mitä niiden olisi käytettyjen perustuskuivikemäärien perusteella olettanut olevan. Toteutuvan perustuskuivikekerroksen paksuuden määräävä tekijä jäi epäselväksi, mutta oletettavasti se määräytyy kuivikeseoksen perusteella.

Kuivikepohjien lämpötilamittauksiin ei voinut sisältyä merkittäviä mittavälineistä johtuvia virheitä, koska niiden tarkkuus oli moninkertainen tarpeeseen verrattuna. Lämpötilojen mittaus ei myöskään merkittävästi häirinnyt prosessia, koska anturit työnnettiin kuivikepohjiin koeastian seinämän läpi ja ainoastaan mittauspäiden kautta saattoi siirtyä lämpöä kuivikepohjista antureiden johtimia pitkin ympäristöön. Tästä aiheutuva mahdollinen virhe siihen verrattuna, minkä antureiden sijoitus koeastiaan vaakatasossa saattoi aiheuttaa, oli olematon. Antureiden sijoitus pidettiin samana koko tutkimuksen ajan, joten lämpötilat mitattiin aina samasta koeastian kohdasta. Kuivikepohjien lämpötila ei kuitenkaan ollut tasainen horisontaalitasossa. Koeastiassa oli vaakatasossa jopa 5 - 6 °C kylmempiä kohtia kuin mitä lämpötilan mittauskohdan lämpötila oli, mutta selvästi suurin osa koeastian vaakatason lämpötiloista mahtui 3 - 4 °C:een sisään (liite 2). Kylmät alueet keskittyivät koeastiaston ulkoseinämille, ja lämpimimmät alueet sijaitsivat koeastioiden keskellä ja väliseinien läheisyydessä. Mittauskohta oli koeastian vaakatason keskellä, joten se edusti kuivikepohjan suurinta lämpötilaa kyseisellä vaakatasolla. Vaakatason keskilämpötila saattoi siten olla noin 2 °C mitattua lämpötilaa alempi. Kuivikepohjien lämpötilamittausten jakaminen tilastollisessa käsittelyssä kuuteen osaan oli hyvä ratkaisu siinä mielessä, että tällöin voitiin tarkastella kuivikepohjien lämpötilojen eroja eri vaiheissa erikseen.

Kuivikepohjien korkeimpien lämpötilojen määrittäminen oli varsin tarkka. Kun antureiden väli oli 10 cm, voidaan lämpötilaprofiileita tarkastelemalla todeta, että korkeimman lämpötilan kohdan sattuminen antureiden väliin siten, että se merkittävästi eroaisi anturikohdan lämpötilasta, on varsin epätodennäköistä. Kuivikepohjien keskimääräisen lämpötilan laskeminen yli 3 cm:n syvyydellä kuivikepohjan pinnasta olevista antureista kuvasti tyydyttävästi kuivikepohjien keskimääräistä lämpötilaa. 3 cm:n syvyydellä vallitsi jatkuvuustilassa noin 10 °C alempi lämpötila kuin korkeimman lämpötilan kohdassa. Ylimmän anturin etäisyys pinnasta saattoi kuivikepohjan keskilämpötilan mallissa vaihdella korkeintaan 3 cm:stä 13 cm:iin. Lämpötilan muutos tällä välillä saattoi olla 10 - 15 °C. Siten lasketut keskimääräiset lämpötilat olivat todellista pienempiä silloin, kun ylin anturi oli juuri saavuttanut 3 cm:n syvyyden kuivikepohjassa ja vastaavasti suurempia silloin, kun se oli juuri saavuttamaisillaan 13 cm:n syvyyden kuivikepohjassa. Virhe saattoi suurimmillaan olla kolmannes 15 °C puolikkaasta eli 2,5 °C, kun kaikki anturit olivat kuivikepohjassa vähintään 3 cm:n syvyydellä. Vastaavasti se saattoi olla 3,8 °C, jos antureista vain kaksi oli vähintään tällä syvyydellä. Viiden senttimetrin väli antureiden välillä olisi puolittanut edellä mainitut virheet. Syvemmillä kuivikepohjassa olleiden antureiden välit olivat riittävän pienet, koska lämpötilan muutos oli syvemmillä hyvin loiva, mutta pintakerroksen lämpötilan mittaamiseen tiheämpi anturiväli olisi ollut tarpeen.

Kuivikepohjien pintalämpötilat kuvaavat aivan ylimmän pintakerroksen lämpötilaa. Tämä kuivikepohjien lämpötila saattaa laskea hyvin jyrkästi aivan kuivikepohjan pinnassa, eikä malli kuivikepohjien pystysuuntaisesta lämpötilaprofiilista kykene täysin kuvaamaan todellista lämpötilaprofiilia kuivikepohjan aivan ylimmissä kerroksissa. Lisäksi malli pystysuuntaisesta lämpötilaprofiilista on varsin epätarkka verrattuna pintalämpötilan mittauksiin säteilymittarilla. Siten säteilymittarilla saatuja pintalämpötiloja on pidettävä tarkempina. Aivan pintakerroksen lämpötiloilla ei kuitenkaan ole kovin suurta merkitystä eläinten kannalta, koska pintakerroksen lämpökapasiteetti on pieni ja se lämpiää eläimen ja lämpimän nopean kompostoitumisen vyöhykkeen välissä nopeasti vastaamaan näiden lämpötilaa.

Kuivikepohjien pintakerroksen lämmönjohtavuuden määrittämiseen liittyy siinä mielessä tiettyä harhaisuutta, että myös määritetyssä kerroksessa on jonkin verran lämmöntuotantoa, erityisesti määritetyn kerroksen syvimmissä osissa. Suurimmassa osassa kerrosta lämmöntuotanto oli kuitenkin lämpötilan alhaisuuden takia hyvin pientä. Saatu arvo on pikemminkin hieman liian hyvä kuin liian huono.

Tässä tutkimuksessa selvitetty olkikuivikepohjan lämpötilaprofiili vastaa täysin HANSENin (1993, s. 20) mittaamaa olkikuivikepohjan lämpötilaprofiilia. Myös HANSEN (1993, s. 3) on mitannut lypsykarjan käytännön mittakaavan kuivikepohjan korkeimman lämpötilan myös 0,1 - 0,2 metrin syvyydeltä kuivikepohjan pinnasta. HANSENin (1993, s. 3) mittaamat lämpötilat tällä syvyydellä kuivikepohjassa olivat keskimäärin noin 40 °C ja suurimmillaan noin 62 °C, kuten tässäkin tutkimuksessa. BENGTS-SONin ja SÄLLVIKIn (1995, s. 5) suurin lämpötila oli 10 - 30 cm:n syvyydessä. Tässä tutkimuksessa eri seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien pystysuuntaiset lämpötilaprofiilit eivät ole täysin harhattomia, koska lämpötilat eri syvyyksillä kuivikepohjaa on mitattu eri aikoina. Lämpötilan mittaustavalle ei ollut kuitenkaan vaihtoehtoja, koska lämpötilan mittaaminen siten, että mittauspisteet olisivat sijainneet tietyllä etäisyydellä kuivikepohjan pinnasta olisi edellyttänyt sitä, että lämpötila-anturit olisi asennettu päivittäin kuivikepohjaan sen pinnan läpi työntäen sen tiivistämisen jälkeen. Tästä olisi muodostunut ainakin kaksi selvää koetta häiritsevää virhelähdettä. Ensinnäkin kuivikepohjien pystysuuntainen lämpötilagradientti on varsin jyrkkä, jolloin lämmön siirtyminen anturien mittauselementtejä ja johtimia pitkin olisi johtanut lämpötilan muuttumiseen mittauspisteessä. Antureiden työntäminen päivittäin yläkautta tiivistyksen jälkeen ainakin 10 cm:n etäisyydelle kuivikepohjien pohjista olisi muodostanut kuivikepohjiin ylimääräisiä ilmakehäisiä, joita pitkin kuivikepohjiin alakautta syötetty ilma olisi kulkeutunut suoraan kuivikepohjan läpi tunkeutumatta itse kuivikemassan läpi.

Tässä tutkimuksessa olki oli edullisemmassa asemassa muihin kuivikeseosten komponentteihin nähden sen tähden, että se oli tavallista kuivempaa ja turve tavallista kosteampaa. Myös hake hyötyi kuivuudesta. (PELTOLA ym. 1986, s. 19, 57.) Kuivikemateriaalien poikkeukselliset kosteuspitoisuudet vaikuttivat orgaanisen hiilen syöttönopeuksiin. Runsaasti olkea sisältäneillä seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien kompostoitumislämpötilat olivat tavallista korkeammat. Normaalisti olki, turve ja hake olisivat tässä mielessä

samanarvoisia. Runsaasti olkea ja haketta sisältävillä seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien kompostoitumislämpötilat laskisivat verrattuna tämän tutkimuksen kokeissa mitattuihin, jos kuivikemateriaalien komponentit olisivat tavanomaisessa kosteudessa, mutta kuivitus tehtäisiin edelleen yhtä suurena kokonaismassaperusteella.

Eri seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien välinen ero ominaisvastapaineissa oli varsin selvä ja todettavissa jo ensimmäisten viikkojen aikana, vaikka vaihtelu mittauspäivien välillä olikin suurta. Mielekkäitä tuloksia saatiin vasta kaksi viikkoa koejakson alusta. Tosin tällä ei ole merkitystä, koska ilmastusta ei ole mitään tarvetta aloittaakaan aikaisemmin. Vastapaineen mittaukset olivat ominaisvastapainemittausten tarkin osa. Kuivikepohjan paksuuden mittaukset olivat lähes yhtä tarkat. Suurin virhe liittyy ilmavirtauksen mittaukseen. Varsinkin kokeiden alussa pienten kuivikepohjien paksuuksien vallitessa virheet saattoivat olla suuria. Ilmavirtauksen mittaustarkkuus oli rotametrien valmistajan ilmoituksen mukaan $\pm 10\%$ mittausalueesta. Rotametrien mittausalue ulottui 1,5 tai 8,0 litraan minuutissa virtaustasosta riippuen. Siten tulokset tarkentuivat, kun ilmavirtaus lähestyi mittausalueen ylärajaa. Virhe oli suurin, kun kuivikepohjien paksuudet olivat juuri ylittäneet 40 cm:n rajan, jolloin siirryttiin käyttämään suurempia rotametrejä. Virhe oli kuivikepohjan paksuuden ollessa 40 cm $\pm 33\%$ näyttämästä. Pienimmillään virhe oli $\pm 10\%$ näyttämästä, kun näyttämä pienempien rotametrien mittausalueen ylärajalla. Kuivikepohjien paksuus oli tällöin 25 cm.

Sorkkien aiheuttama paine on suurin silloin, kun eläimet ponnistavat hyppyyn tai juoksuun. Tällöin kuivikepohjaan kohdistuva paine saattaa murtaa kuivikepohjan rakenteen. Joka tapauksessa sorkat pehmentävät ja sekoittavat kuivikepohjan ylintä kerrosta. Käytännön kuivikepohjalla kuivikepohjan pintaan kohdistuu pystysuorien iskukuormien lisäksi myös vaakasuoria leikkausvoimia, mikä puolestaan johtaa siihen, että kuivikepohjan sekoittumiskerrosta siirtyy sivusuunnassa paikasta toiseen ja kuivikepohjan pinnasta tulee epätasainen. Samalla kuivikepohjakompostin eri kerrokset voivat sekaantua. Kuivikepohjien kosteuspitoisuudella on eittämättä vaikutusta niiden kantavuuteen. Kokeen aikana runsaasti turvetta sisältäneet kuivikepohjat vettyivät välillä, jolloin oli havaittavissa, että tiivistyspunuksen jalka upposi tiivistyksen yhteydessä kuivikepohjaan selvästi enemmän kuin silloin, kun ne eivät olleet vettyneitä, jopa useita senttejä. Tuloksista ei voida siten vetää johtopäätöksiä kuivikepohjien kantavuudesta niissä tapauksissa, joissa kuivikepohjan kosteuspitoisuus poikkeaa merkittävästi koejakson lopussa vallinneista. Seoksella 1 (O100) kuivitetuja kuivikepohjia lukuunottamatta kuivikepohjien kosteuspitoisuutta kokeen lopussa voitiin pitää yhtä suurina. Seoksella 1 (O100) kuivitetut kuivikepohjat olivat muita pienemmän kosteuspitoisuutensa takia kantavuuden suhteen edullisemmassa asemassa kuin muilla seoksilla kuivitetut kuivikepohjat. Sorkkien uppouma kuivikepohjaan jäi laskettuna sen aiheuttaman pintapaineen suhteessa kuivikepohjan kantavuuteen perusteella varsin pieneksi. Sorkan painumisessa sorkan päällä oleva paino merkitsee enemmän kuin kuivikepohjan kantavuus. Siten tässä tapauksessa olisi ollut hyvä mitata myös esimerkiksi tiivistysjalan uppouma kuivikepohjaan verrattuna sen yleiseen pinnankorkeuteen. Se toisi varsin hyvin

esille sorkan päällä olevan painon vaikutuksen niissä tapauksissa, joissa sorkan uppouma kuivikepohjaan on hyvin pieni ja kuivikepohja painuu laajalta alalta sorkan painon alla. Mitattu kuivikepohjan kantavuus kuvaa paremmin kuivikepohjien ominaisuuksia silloin, kun niiden kosteuspitoisuus on suuri ja sorkat uppoavat kuivikepohjaan useita senttejä. Kuivikepohjat ovat tällöin mitä todennäköisimmin käyttökelvottomassa kunnossa.

Käytetty menetelmä kompostoitumisen päättymiseksi osoittautui hyväksi. Menetelmä on selvästi yksiselitteisempi kuin esimerkiksi joihinkin ravinnesuhteisiin tai näytteen lämpiämiseen perustuvat, koska siihen ei merkittävässä määrin vaikuta näytteen laatu.

Kuivikepohjien käsittelyn takia niiden pinnalla vallitsevat pitoisuudet saattavat vaihdella riippuen siitä, kuinka pitkä aika edellisestä käsittelystä on kulunut, jolloin ne pitäisi olla mitattu yhtä pitkän ajan kuluttua käsittelystä. Tämä puolestaan on varsin hankalaa järjestää, koska jo itse mittaus kestää kaasuputkista riippuen verraten pitkän ajan. Koeastiat olivat varsin suojaiset korkeine reunoineen, joten käytännössä pitoisuudet jäänevät alhaisemmiksi. Lisäksi eläimet harvemmin joutuvat aivan yhtä lähelle kuivikepohjaa kuin mistä kaasunäytteet kerättiin. Tuloksia voidaan kuitenkin verrata keskenään ja muiden vastaavalla mitattujen tulosten kesken, jolloin kuivikepohjat voidaan pinnalla vallitsevan kaasupitoisuuden suhteen asettaa järjestykseen.

Orgaanisen hiilen suhteella liukoiseen tyypeen saattaisi olla merkitystä. Liukoisen typen syöttönopeutta voitaisiin erikseen lisätä lannoittamalla kuivikepohjaa ilman, että se vaikuttaisi lähtöaineiden kosteuspitoisuuteen. Tutkimuksella kannattaisi selvittää, vaikuttaako liukoisen typen syöttömäärien lisääminen suhteessa orgaanisen hiilen syöttömäärään kuivikepohjan lämpötilaan. Jos näin olisi, kuivikepohjan alaa ei tarvitsisi pienentää tämän tutkimuksen kokeiden mukaisesta, vaan 3,5 m² emoa kohti olevan kuivikepohjan lämpötilaa voitaisiin nostaa lannoittamalla sitä typpilannoitteella. Kuivikepohjan lämpötilan kohottamisen kustannukset olisivat lisättäessä kuivituksen ja liukoisen typen syöttömäärää yhtä suurella osuudella entisestä liukoisen typen syöttömäärän lisäyksessä noin kymmenesosa kuivituksen lisäämisen kustannuksista.

Tutkimuksessa oljen ja turpeen eri seokset osoittautuivat varsin hyväksi kuivikeseoksiksi, vaikka runsas turpeen osuus hidasti kompostoitumisen alkuunlähtöä. Hakkeen haittapuolena on sen korkea hinta. Kuitenkin puhtaita oljen ja turpeen seoksia tutkimuksessa oli mukana vain kaksi, nimittäin seokset 1 (O100) ja 2 (O40/T60). Koska seosten välillä ei ollut merkitsevää eroa typen tappioissa, mikä motivoisi pitämään turpeen osuuden suurena, olisi jatkossa selvítettävä näiden kahden komponentin oikea suhde välillä 0 - 60 paino-% turvetta. Koetta järjestettäessä on orgaanisen hiilen ja liukoisen typen syöttömäärät vakioitava, koska ne ovat potentiaalisesti eniten kompostoitumislämpötilaan vaikuttavat tekijät. Erityistä huomioita on kiinnitettävä kuivikepohjan nousunopeuteen. Lisäksi olisi selvítettävä oljen ja turpeen kosteuden- ja erityisesti virtsansitomiskyky paineen alla eri seossuhteissa. Myös olkikuivikepohjan käsittelyongelmaan lienee löydettävissä ratkaisu edellä esitetyltä väliltä. Toisaalta käsittelyongelmat eivät ole merkittäviä, silloin kun kuivikepohja voidaan poistaa koneella.

Kokeet tehtiin 10 °C:een ympäristön lämpötilassa. Suomalaisessa ilmastossa lämpötila saattaa kuitenkin olla useita viikkoja jopa -20 °C. Siksi kuivikepohjien toimintaa pitäisi tutkia myös näissä olosuhteissa siten, että jatkuvuustilaan ehtineitä kuivikepohjia jäljitellään tasaisessa pakkaslämpötiloissa. Vastaavasti kuivikepohjaa rajoittavien kylmien johtavien rakenteiden, kuten betonisen sokkelin vaikutusta kuivikepohjan lämpötilaan pitäisi tutkia.

10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kylmäkasvattamoiden kuivikepohjien toimintaa eniten haittaavat tekijät ovat niiden orgaanisen hiilen syöttönopeuden pienuus ja pienet kerrospaksuudet. Nämä yhdessä johtavat matalaan kompostoitumislämpötilaan. Käytännössä näitä haittatekijöitä voidaan vähentää vain rajoittamalla eläincohtainen kuivikepohja-ala mahdollisimman pieneksi, mutta kuitenkin vielä eläinten tarpeet täyttäväksi ja tekemällä kuivikepohja syvennykseen. Koeasetelma edusti emolehmäkarsinoissa vallitsevaa tilannetta silloin, kun emolehmää kohti on osakuivikeratkaisussa kuivikepohjaa noin 3,5 m². Koeasetelmassa käytetty lähtökohta emolehmän makuualueesta edustaa käytännössä käytettyyn nähden varsin pientä arvoa. Laboratoriokokeita edeltäneissä tilakokeissa se osoittautui kuitenkin täysin toimivaksi eläintiheydeksi. Kuitenkin käytännön kasvattamoissa on selvästi yleisempää, että emoa kohti kuivikepohjaa on peräti 6 m². On täysin selvää, että tämänkaltainen ratkaisu ei voi käytännön olosuhteissa toimia, kun selvästi suurempi syöttönopeus laboratorio-olosuhteissa ja vielä korkeahkossa ympäristön lämpötilassa rajoittaa kuivikepohjien lämpötilan nousua. Emolehmien makuualueetta ei voida koeasetelman lähtökohdasta juuri pienentää. Sen sijaan esimerkiksi lypsylehmien lannantuotos on selvästi suurempi kuin emolehmien, keskimäärin 45 kg/pv·el emolehmien 25 - 30 kg/pv·el asemesta, mutta makuualan tarve on kummallekin sama. Lypsylehmien kuivikepohjalla on selvästi paremmat mahdollisuudet toimia kuin emolehmien kuivikepohjilla, jos kuivikkeita annetaan oikein suhteessa lantamäärään.

Tutkimus osoitti, että kuivituksen määrää ei voida nykyisestä vähentää. Olkikuiviketta käytettäessä tämän estää kuivikkeen kosteudenpidätyskyky ja orgaanisen hiilen syöttönopeus. Jotta kuivikepohjien orgaanisen hiilen syöttömäärät säilyisivät käytännön tilanteessa kokeen mukaisina, kuivikemäärää olisi kuitenkin lisättävä nykyisestä suosituksesta noin 35 % käytettäessä kuivikkeena olkea, jonka kosteuspitoisuus on 30 %. Tutkimusta korkeampien kompostoitumislämpötilojen saavuttamiseksi kuivitusta on lisättävä vielä enemmän. Virtsansitomiskyvyn puolesta kuivikeseoksen 2 (O40/T60) kuivitusmäärä on nykyisellään sopiva, jos oljen kosteus on 30 % ja turpeen 45 %. Orgaanisen hiilen syöttönopeuden takia kuivitusta tulisi kuitenkin lisätä noin 35 % nykyisistä suosituksista. Nykyiset suositukset ovat 7 kg/emo·pv osakuivikepohjalla ja 12 kg/emo·pv täyskuivikepohjalla. Uudet suositukset olisivat siten olkea ja turvetta kuivikkeena käytettäessä vastaavasti 9 ja 16 kg/emo·pv. Kuivikeseoksia 3 (O20/T60/H20), 4 (O40/T20/H40) ja 5 (O30/T35/H35) käytettäessä kuivitusta on lisättävä nykyisestä suosituksesta riittävän orgaanisen hiilen

syöttönopeuden saavuttamiseksi järjestyksessä: 42, 54 ja 51 % kokeessa käytetystä. Tällöin niiden kosteudensitomiskyky on täysin riittävä. Tämä johtaa siihen, että haketta runsaasti sisältävien kuivikeseosten kuivitusmäärä muodostuu kohtuuttomaksi. Kuivikeseos 2 (O40/T60) on selvästi turvallisempi valinta kuin kuivikeseos 1 (O100), koska sen riittävä kosteudenvastaanottokyky ei edellytä kosteuden haihtumista kuivikepohjista yli kuiva-aineen hajoavuutta vastaavan määrän, kuten se kuivikeseosta 1 (O100) käytettäessä edellyttää. Sopiva kuivikemäärä voidaan ilmaista myös siten, että kuivikkeiden määrän tulee olla noin 75 % kuivikepohjalle tulevan lannan painosta, jos oljen ja turpeen kosteuspitoisuudet ovat edellä esitetyt.

Kuivikkeen annostukseen sen orgaanisen hiilen määrä on kuitenkin sen massaa parempi peruste. Orgaanista hiiltä pitäisi tulla vähintään 800 g/m² kuivikepohjaa, kuten tämän tutkimuksen olkikuivikepohjilla. Kunkin kuivikelajin kuiva-aineen orgaanisen hiilen pitoisuus on kohtuullisen vakio. Orgaanisen hiilen syöttönopeus voidaan siten arvioida varsin tarkkaan, kun tiedetään kuivikkeen kosteus ja orgaanisen hiilen pitoisuus kyseisessä kuivikelajissa. Orgaanisen hiilen syöttönopeuksien ollessa sama kuivikepohjien kerrospaksuuksien kasvussa ei ole kuivikeseoksesta aiheutuvia merkittäviä eroja. Kuivikepohjien kantavuudenkin puolesta kuivikeseos voidaan valita vapaasti tutkimuksessa mukana olleista, koska kaikki kuivikeseokset olivat riittävän kantavia.

Ilmastuksella varsin kosteankin kuivikepohjan ilmansaanti voidaan turvata. Kokonaistypen tappio on varsin pieni, joten kuivikepohjan tiivistymisestä eläinten alla ei ole ainakaan haittaa tavallisiin komposteihin verrattuna. Käytännössä kuivikepohjan kosteuspitoisuus ei voi ylittää 64 - 72 % kuivikeseoksesta riippuen, koska tällöin kuivikepohjista valuu ympäristöön lantavettä. Tämän suuruiset kosteuspitoisuudet eivät vielä haittaa kompostoitumista, runsaasti turvetta sisältäviä kuivikepohjia lukuun ottamatta. Hyvin runsaasti turvetta sisältävät kuivikepohjat tulevat näin kosteina upottaviksi ja eläimet likaantuvat.

Hake kuivikeseoksessa lisää kompostoituneen kuivikepohjan maanparannusaineluonnetta suhteessa lannoiteluonteeseen, koska se alentaa liukoisen typen osuutta kokonaistypestä. Ero tosin ei ole suuri. Hakkeen osuuden on oltava vähintään 35 paino-%, jotta vaikutus näkyisi. Hakkeen hinta on selvästi suurempi kuin muiden kuivikelajien. Hakkeen käyttöä osana kuivikeseosta ei voida tässä mielessä suositella, koska sen positiiviset vaikutukset ovat vähäiset verrattuna kustannuksiin. Hakkeen lisääminen kuivikeseokseen on kantavuuden kannalta turhaa. Sama vaikutus saavutetaan kasvattamalla oljen osuutta kuivikeseoksessa. Lisättäessä kuivikeseokseen olkea hakkeen sijasta turpeen osuuden pysyessä samana kuivikepohjan kompostoituminen kiihtyy. Turve sen sijaan on siitä aiheutuneisiin kustannuksiin nähden edullinen materiaali kuivikeseoksessa. Tämä pätee luonnollisesti vain, jos sen hinta on yhtä edullinen kuin mitä se Suomessa nykyisin on (noin 40 - 50 mk/m³). Siten parhaana tutkimuksen kuivikeseoksista voidaan pitää kuivikeseosta 2 (O40/T60). Muissa maissa turpeen hinta on yleensä kuitenkin merkittävästi Suomen hintaan korkeampi, ja silloin onkin syytä tyytyä olkikuivikkeeseen tai etsiä turvetta ominaisuuksiltaan vastaava muu edullinen materiaali. Hyvässä kuivikeseoksessa olkea on vähintään 40 paino-%.

Kahden kuukauden mittainen kompostoituminen riittää viemään kompostoitumisen loppuun saakka hyvin toimivassa kuivikepohjassa ainakin seoksilla 1 (O100), 2 (O40/T60) ja 4 (O40/T20/H40) kuivitetuissa kuivikepohjissa, ja ne voidaan poistaa lähes välittömästi, kun eläimet on poistettu kuivikepohjalta. Eduksi on kuitenkin, jos kuivikepohjat jätetään paikoilleen kunnes ne ovat jäähtyneet.

Kuivikepohjan korkein kompostoitumislämpötila on todennäköisemmin löydettävissä kuivikepohjan keskeltä noin 0,1 - 0,2 m:n syvyydeltä. Sen tulisi olla 40 °C. Reuna-alueiden lämpötila on tällöin optimia pienempi, mutta siitä ei ole suurta haittaa, koska eläimet makavat pääasiassa keskialueella.

Kuivikepohjan paksuuden tulee olla vähintään 0,2 - 0,3 m käytetystä kuivikeseoksesta riippuen, jos ympäristön lämpötila on 10 °C. Ympäristön lämpötilan ollessa tätä alempi on kuivikepohjan kerrospaksuuden oltava noin 7,5 mm tätä suurempi jokaista astetta kohti, jonka ympäristön lämpötila alittaa 10 °C. Tämä merkitsee sitä, että kuivikepohjien kerrospaksuuksien tulisi olla kovien pakkasten koittaessa vähintään 0,4 - 0,5 m. Kuivikepohjan pinnan pitäisi pysyä sulana ainakin -8 - -15 °C lämpötilaan saakka käytetystä kuivikeseoksesta riippuen. Sitä kylmemmissä olosuhteissa pinta voi jonkin verran kovettua, mutta varsinaista jäätymistä voi esiintyä vain hyvin kovilla pakkasilla, koska kuivikepohjien kuiva-ainepitoisuus on korkea. Kuivikepohjan kanssa kosketuksissa olevat betonirakenteet tai vastaavat on syytä eristää ympäristöstä lämpöeristeellä tai katkaisemalla rakenne.

Kuivikepohjat on perustettava ajoissa, koska kuivikepohjan kompostoitumisen alkuun lähtö on epävarmaa, jos ilmat kylmenevät likaa. Kuivikepohjien kompostoituminen saavuttaa täyden nopeuden noin kolmen viikon kuluttua kuivikepohjien perustamisesta. Tämän tähden kuivikepohjat on perustettava noin kolme viikkoa ennen kuin keskilämpötilat lämpötilat laskevat alle 10 °C. Etelä-Suomen rannikkoalueilla kuivikepohjat tulisi perustaa lokakuun alkupuolella ja Pohjois-Suomessa syyskuun lopussa.

Metrin paksuisessa kuivikepohjassa ilmastusmäärän ollessa 1 m³/h·m³ kuivikepohjan vastapaine on 19 - 32 Pa kuivikeseoksesta riippuen. Ilmastusputkisto vaatii oman osansa puhaltimen tehosta, noin 10 - 20 Pa. Kunkin suulakkeen aukon aiheuttaman vastapaineen tulee olla vähintään 50 Pa, jotta ilmastusilma jakaantuisi tasan koko kuivikepohjan alueelle. Tämä johtaa siihen, että ilmastusreikiä pitää olla suhteellisen vähän ja niiden tulee olla pieniä. Neljä halkaisijaltaan 3 mm:n reikää neliömetrillä on hyvä lähtöarvo. Sinällään kuivikepohjasta aiheutuva vastapaine on varsin pieni. Suurempi osuus vastapaineesta kertyykin putkistosta ja säätölaitteistosta.

Kuivikepohjat voidaan saada teknisesti täysin toimivaksi, mutta koska kuivikepohjan kuivikkeiden määrä ei voida pudottaa edellä esitetystä, voidaan kuivikepohjaa pitää varsin kalliina lannan varastoinnin muotona. Kuivikepohjan käytölle ei ole siten taloudellisia perusteita, jos eläinten ympäristö kylmäkasvatuksessa muutoin voidaan saattaa hyvälle tasolle. Varsinkin emolehmien ja hiehojen kasvatuksessa kuivitetut makuuparret yhdistettynä lannankäsittelyyn lietteenä kiinteäpohjaisella lattialla ovat varteenotettava vaihtoehto.

11 TIIVISTELMÄ

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli kehittää hyvin kompostoituva kuivikepohja lihanautojen kylmäkasvatukseen. Lisätavoitteena oli pyrkimys nykyistä halvempaan kuivitukseen. Kuivikepohjan kompostoitumisen hyvyden kriteereinä olivat sen kompostoituminen, eläinten vaatimusten täyttyminen ja rakenteiden antamat mahdollisuudet. Tutkimuksessa oli mukana viisi vertailtavaa kuivikeseosta: seos 1: pelkkää olkea; seos 2: olkea 40 paino-% ja turvetta 60 paino-%; seos 3: olkea 20 paino-%, turvetta 60 paino-% ja haketta 20 paino-%; seos 4: olkea 40 paino-%, turvetta 20 paino-% ja haketta 40 paino-%; seos 5: olkea 30 paino-%, turvetta 35 paino-% ja haketta 35 paino-%. Vertailut kuivikeseosten välillä tehtiin laboratoriotutkimuksissa.

Kompostoituvien kuivikepohjien käyttö on välttämätöntä sonnien kylmäkasvatuksessa. Tällöinkin on järkevintä käyttää osakuivikepohja täyskuivikepohjan sijasta. Suuren kuivituskustannuksen takia kompostoituvia kuivikepohjia ei kannata käyttää lehmien ja hiehojen kylmäkasvatuksessa, koska kuivitetut makuuparret tarjoavat niille yhtä hyvän termisen ympäristön. Olkeen perustuvien kuivikepohjien käyttöä yli emolehmetalouden tarpeiden rajoittaa oljen korjuukapasiteetti.

Sopiva kompromissi kompostoitumisen nopeuden ja typen tappioiden välillä saavutetaan, kun kuivikepohjan lähtöaineiden typpipitoisuus on 1,3 - 2,3 % kuiva-aineesta ja C/N-suhde on 25 - 35. Kuivikepohjan suurin hajoavuus ja hajoamisnopeus saavutetaan, kun hajotukseen osallistuu lähtöaineiden mukana tuleva luonnollinen pieneliöiden sekapopulaatio. Kuivikepohja puhdistuu haitallisista pieneliöistä siten, että hyödylliset pieneliöt valtaavat kuivikepohjan olosuhteiden ollessa niille otolliset.

Kuivikepohjan hyvä kompostoitumislämpötila on 40 °C. Eri seoksilla kuivitetujen kuivikepohjien kompostoitumislämpötilojen erot johtuivat kuivikkeen mukana tulleen orgaanisen hiilen määrän eroista. Kuivikeseoksella itsellään ei ollut suurta merkitystä kompostoitumisen kannalta. Kuivikepohja, jossa on runsaasti hienojakoista ainesta, kuten turvetta, ei kuitenkaan voi olla yhtä kostea kuin muut kuivikepohjat. Olkikuivikkeella kuivitetut kuivikepohjat lämpenivät nopeammin kuin seoskuivikkeilla kuivitetut suuremman orgaanisen hiilen määrän takia. Runsaasti turvetta sisältävät kuivikepohjat alkoivat kompostoitua hitaasti. Kuivikepohjien lämpötilat alkoivat merkittävästi nousta viikon kuluttua kuivikepohjan perustamisesta, ja sen nopea nousu jatkui kahden viikon ajan. Neljän viikon kuluttua kaikilla seoksilla kuivitetut kuivikepohjat olivat saavuttaneet suurimman lämpötilansa. Kompostoituminen alkaa myös kylmässä. Kuivikepohjan keskimääräinen lämpötila oli vain 2 - 3 °C matalampi kuin kuivikepohjan lämpötila paikassa, jossa se oli korkein. Kuivikepohjan kompostoitumislämpötilasta saa siten hyvän kuvan mittaamalla sen korkein lämpötila.

Kuivikepohjien paksuudet kasvoivat kuivikeseoksesta riippuen 4,1 - 5,3 mm vuorokaudessa. Lisäksi kuivikepohjan paksuutta kasvatti kuivituskauden pituudesta riippumaton mutta kuivikeseoksesta riippuva vakio 10 - 20 cm:n paksuinen kuivikepohjakerros. Jotta

osakuivikepohjat eivät sortuisi lantakäytävälle, ne on sijoitettava 0,6 - 0,8 metrin syvennykseen. Kerrospaksuudella mitaten kuivikepohjat alkoivat kompostoitua, kun kerrospaksuus on 15 - 25 cm, ja kompostoituminen saavuttaa huippunsa, kun kerrospaksuus on 20 - 30 cm kuivikeseoksesta riippuen.

Kuivikepohjien pintalämpötilat olivat 10 °C:een ympäristön lämpötilassa 6 - 8 °C ympäristön lämpötilaa korkeampia, mikä estää kuivikepohjan pinnan jäätyksen vielä muutaman asteen pakkasilla. Kuivikepohjien pintakerroksen lämmönjohtavuus oli keskimäärin 0,17 Wm⁻¹K⁻¹. Se vastaa kevytsorabetonin lämmönjohtavuutta. Kuivikepohjan lämpötilat kasvoivat kuivikepohjan pinnasta pohjaa kohti noin 1,5 °C/cm. Suurin lämpötila vallitsi 10 - 20 cm:n syvyydessä kuivikepohjan pinnasta kuivikeseoksesta riippuen. Kuivikepohjan kerrospaksuuden tulee 10 °C:een lämpötilassa olla vähintään 0,2 - 0,3 m. Kylmemmässä ympäristössä kuivikepohjan kerrospaksuuden tulee olla 7,5 mm suurempi jokaista astetta kohden. Kuivikepohjat on perustettava noin kolme viikkoa ennen kuin lämpötilat laskevat alle 10 °C. Syvemmällä kuivikepohjassa lämpötila laskee hitaasti. Kuivikepohjien kerrospaksuuden tulee kovilla pakkasilla olla vähintään 0,4 - 0,5 m.

Nykyisin kuivikepohjiin ei tule kuivikkeen mukana riittävästi orgaanista hiiltä ja kuivikepohjien kerrospaksuudet ovat liian pienet pitääkseen kuivikepohjan lämpöhäviöt kohtuullisina. Kuivikkeesta ja lannasta tulevan orgaanisen hiilen määrän tulee olla vähintään 800 g/m²·pv. Nykyisin käytettäviä kuivikemateriaaleja edullisempia ei ole saatavilla, joten kun kuivitusmääriä on nykyisestä lisättävä, ei kompostoituvan kuivikepohjan kuivituskustannuksia voida materiaalien osalta tutkimuksen tavoitteen mukaisesti nykyisestä alentaa. Eläinten tarpeet huomioon ottaen kuivikkeen kulutusta voidaan vähentää ainoastaan käyttämällä lehmillä ja hiehoille kuivitettuja makuuparsia. Sonnit joudutaan edelleen pitämään kompostoituvilla kuivikepohjilla ja lisäämään kuivitusta nykyisestä. Uusi kuivitusuusitus emolehmien osakuivikepohjilla on 9 kg/emo·pv ja täyskuivikepohjilla on 16 kg/emo·pv tai 75 % kuivikepohjalle tulevan lannan painosta. Lannan määrään suhteutettu ohje pätee myös nuorelle karjalle. Kuivikeseoksen tulisi koostua oljesta ja turpeesta. Oljen kosteuspitoisuus saa olla korkeintaan 30 % ja turpeen 45 %. Lähtöaineiden kosteuspitoisuuden tulee olla 50 - 70 %. Vain runsaasti hienojakoista kuivikemateriaalia sisältävä kuivikepohja voi kompostoitumisen kannalta kastua liikaa. Runsaasti karkeaa kuivikemateriaalia sisältävästä kuivikepohjasta liiallinen kosteus valuu pois. Turpeen osuuden tulisi olla suuri, mutta korkeintaan 60 paino-% kuivikeseoksessa, jotta hienon aineksien osuus ei kasvaisi liian suureksi. Parasta kuiviketurvetta on *Sphagnum fuscum* -rahkaturve. Turvekuivike pölyää enemmän kuin olkikuivike mutta ei haitallisessa määrin. Eläinten kanssa kosketuksiin joutuvan kuivikepohjakerroksen mikrobiologiseen laatuun vaikuttaa eniten käytetty kuivikemateriaali. Turpeen käyttö vähentää utaretulehduksen riskiä. Sahanpuru ei sovellu emolehmien kuivikkeeksi utaretulehdusriskin takia. Pelkän pitkän oljen käyttö kuivikkeena vaikeuttaa kuivikepohjan tyhjennystä käsityövälinein. Kuivikepohjan lämmöntuotannon kasvattamiseksi sen pinta-alaa kohti kuivikepohjan ala eläintä kohden on pienennettävä minimiinsä.

Kuivikepohjan kosteuspitoisuus ei voi nousta liian suureksi sen toimivuuden kannalta, jos se ei sisällä runsaasti turpeen kaltaista hienoa ainesta. Kuivikepohjan hapensaanti voidaan turvata ilmastuksella. Sopiva ilmastusmäärä osakuivikepohjassa on noin 1 kg ilmaa emolehmää kohti. Olkikuiviketta käytettäessä se on pienempi kuin seoskuivikkeita käytettäessä. Metrin paksuisessa kuivikepohjassa ilmastuksen vastapaine on kuivikeseoksesta riippuen 19 - 32 Pa, jos ilmastusmäärä on $1 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^3$. Tarvittava ilmastus on noin puolet tästä ja, koska vastapaineen kasvu on lineaarinen ilmastuksen määrään nähden, myös vastapaine on noin puolet edellä mainitusta. Ilmastuksen vastapaine on hyvin kohtuullinen.

Kuivikepohjan kantavuus on riittävä käytetystä kuivikemateriaalista riippumatta. Kuivikeseokseen ei kannata lisätä suhteellisen kallista haketta, koska kasvattamalla oljen osuutta saadaan yhtäläinen kantavuus kuin hakkeella ja koska oljen kantavuus kuivikepohjan pintakerroksessa on erityisen suuri. Sorkat uppoavat lehmän seistessä hiljaa paikallaan vain 1,3 - 3,6 cm kuivikepohjaan kuivikeseoksesta riippuen.

Eri seoksilla kuivitetujen kompostoituneiden kuivikepohjien ravinnepitoisuudet eroavat toisistaan ainoastaan liukoisen typen osalta. Seoksilla 1 (O100) ja 2 (O40/T60) kuivitetujen kompostoituneiden kuivikepohjien liukoisen typen pitoisuus, 0,36 %, oli lähes kaksinkertainen verrattuna seoksella 5 (O30/T35/H35) kuivitetun kuivikepohjan liukoisen typen pitoisuuteen, 0,18 % kuiva-aineesta, verrattuna. Seoksella 1 (O100) ja 2 (O40/T60) kuivitetujen kuivikepohjien lannoitusarvo oli siten typen osalta suurempi kuin seoksella 5 (O30/T35/H35) kuivitetun. Suuri hakeisuus kuivikeseoksessa näyttää alentavan liukoisen typen pitoisuutta ja osuutta kokonaistypestä kompostoituneessa kuivikepohjassa. Siten hake näyttää alentavan kuivikepohjan lannoitusarvoa ja vastaavasti lisäävän sen maanparannusaineluonnetta. Kuivikepohjien kuiva-aineen orgaanisen hiilen pitoisuus lähestyi kompostoitumisen aikana 41 %:a. Olkikuivikkeella kuivitetut kompostoituneet kuivikepohjat olivat merkittävästi kuivempia kuin muut kuivikepohjat. Olkikuivikkeella kuivitetujen kuivikepohjien kosteuspitoisuudet laskivat kompostoitumisen aikana 13 %-yksikköä ja muiden kuivikepohjien 4 - 7 %-yksikköä. Tästä syystä myös olkikuivikkeella kuivitetujen kompostoituneiden kuivikepohjien tilavuuspaino oli merkittävästi pienempi kuin muiden kuivikepohjien.

Kokeissa kaikkien kuivikepohjien kokonaistypen tappio oli keskimäärin 12 %. Sitä voidaan pitää varsin kohtuullisena. Liukoisen typen määrä väheni keskimäärin 63 %. Se pidättyi orgaaniseen muotoon. Seoksella 5 (O35/T35/H35) kuivitetujen kuivikepohjien liukoisen typen osuus kokonaistypestä väheni kompostoitumisen aikana enemmän kuin muissa kuivikepohjissa. Seoksella 5 (O35/T35/H35) kuivitetujen kuivikepohjien liukoisen typen osuus aleni kompostoitumisen aikana 38 %-yksikköä, kun muiden kuivikepohjien liukoisen typen osuus väheni vain 26 %-yksikköä. Seoksilla 1 (O100), 2 (O40/T60) ja 3 (O20/T60/H20) kuivitetujen kuivikepohjien liukoisen typen osuus väheni suhteellisesti vähiten. Se noin puolittui. Seoksella 5 (O30/T35/H35) kuivitetujen kuivikepohjien liukoisen typen osuus väheni suhteellisesti eniten. Se pieneni neljännekseen alkuperäisestä. Seoksella 4 (O40/T20/H40) kuivitetujen kuivikepohjien liukoisen typen pitoisuus pieneni

runsaaseen kolmannekseen alkuperäisestä. Orgaanisesta hiilestä hävisi kompostoitumisen aikana keskimäärin 3 %. Kuivikepohjien C/N-suhde kasvoi kolmella yksiköllä eli keskimäärin 13 %. Kuiva-aineesta hajosi kompostoitumisen aikana keskimäärin 16 % eli melko pieni osa. Seoksella 1 (O100) kuivitetujen kuivikepohjien massa pieneni eniten, 38 %, kompostoitumisen aikana. Seuraavaksi eniten massaa hävisi seoksilla 2 (O40/T60) ja 4 (O40/T20/H40) kuivitetuista kuivikepohjista, 30 %. Vähiten massa hävisi seoksella 3 (O20/T60/H20) ja 5 (O30/T35/H35) kuivitetuista kuivikepohjista, 23 %. Massan häviö ja sen erot johtui lähes pelkästään kosteuden häviöistä. Massahäviö on toivottava, koska se vähentää kuivikepohjasta ajettavaa massaa. Seoksella 3 (O20/T60/H20) kuivitetun kuivikepohjan kompostoituminen jäi kesken. Suurin ammoniakkipitoisuus, 48 ppm mitattiin seoksella 1 (O100) kuivitetulta kuivikepohjalta kokeen puolivälissä. Kuivikepohjilta mitatut ammoniakkipitoisuudet olivat 4 - 48 ppm. Seoksella 5 (O30/T35/H35) kuivitetujen kuivikepohjien pinnalta mitattu hiilidioksidipitoisuus, 0,12 tilavuus-%, oli muilta kuivikepohjilta mitattua, 0,28 tilavuus-%, pienempi. Se osaltaan kertoo kyseisen kuivikepohjan muita hitaammasta kompostoitumisesta. Hyvin kompostoituva kuivikepohja kompostoituu loppuun asti jo kahdessa kuukaudessa.

KIRJALLISUUS

- ALEXANDER, M. 1961. Introduction to Soil Microbiology. s. 472. John Wiley & Sons Inc. New York.
- ANON. 1953. Reclamation of Municipal Refuse by Composting. Sanitary Engineering Research Project. University of California. Technical Bulletin 9: 1 - 89.
- " --. 1979. Lämmöneristysohjeet. Sisäasiainministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma. RT RakMK-20183 -sääöstiedosto C4: 1 - 9.
- " --. 1983. TermoFlux® -meter typ EM 101 -brukanvisning. SWEMA Svenska mätapparater Fabriks Ab, Box 5020, 12305 STOCKHOLM, Farsta 5. 5 s + 4 liitettä.
- " --. 1993. HTP-arvot 1993. Työministeriö. Kemian työsuojeluneuvottelukunta. Turvallisuustiedote 25: 1 - 44.
- ANTTILA, R. 1969. Karjarakennukset tänään. Työtehoseuran julkaisuja 123: 1 - 117 + 4 liitettä.
- AUTIO, M. 1969. Parsitutkimus. Maatalousseurojen keskusliitto. Rakennusosasto. 52 s.
- BARTUSSEK, H. 1993. Sloped Floor Systems for Dairy Cows: New Experiences in Austria. American Society of Agricultural Engineers. Fourth International Livestock Environment Symposium, 6 - 9 heinäkuuta 1993, Coventry, Englanti: 986 - 992.
- BENGTSSON, L. & SÄLLVIK, K. 1994. Gödselbäddars volymtillväxt i stallar för nöt, svin och häst. Sveriges lantbruksuniversitet. Inst.f.lantbruksteknik. Avd.f.byggnadsvetenskap. Rapport 190: 1 - 97.
- BERGSCHÖLD, B. & OHLÉN, P. 1973. Båspallars värmeegenskaper. Summary: Heat characteristics of standings for dairy cows. Lantbrukshögskolans meddelanden. Serie A 182: 1 - 63.
- BERTOLDI, M. DE, CITERNESI, U. & GRISELI, M. 1980. Bulking Agents in Sludge Composting. Compost Science 1: 32 - 35, 41.
- BLOCK, S. S. 1965. Garbage Composting for Mushroom Production. Applied Microbiology 13, 1: 5 - 9.

BRAMLEY, A. J. 1974. The aetiology and control of coliform mastitis in dairy cattle. University of Reading. PhD-Thesis. 217 s.

-- " -- & NEAVE, F. K. 1975. Studies on the control of coliform mastitis in dairy cows. *Br.vet.J.* 131: 160 - 169.

BURGE, W. D., MARSH, P. B., MILLNER, P. D. 1977. Occurrence of pathogens and microbial allergens in the sewage sludge composting environment. Composting of municipal residues and sludges. *Inf.Transf.Inc*: 128 - 134.

BURGES, A. & FENTON, E. 1953. The Effect of Carbon Dioxide on the Growth of Certain Soil Fungi. *Trans.Brit.Mycol.Soc.* 36: 104 - 108.

BUTTERWORTH, B. 1985. *The Straw Manual*. 212 s. New York.

BÅGSTAM, G. & SWENSSON, H. 1976. Experiment made in bench scale composters. II. Composting of spruce-bark. *Vatten* 1: 45 - 53.

CAPPAERT, I., VERDONCK, O. & BOODT, M. de. 1976. Composting of Bark from Pulp Mills and The Use of Bark Compost as a Substrate for Plant Breeding. Part II. The effect of physical parameters on the composting rate of bark. Growth experiment with bark compost. *Compost Science* 4: 18 - 20.

CARRINGTON, E. G. 1978. The contribution of sewage sludges to the dissemination of pathogenic micro-organisms in the environment. Water Research Centre. Technical Report 71: 1 - 31.

CARROLL, E. J. & JASPER, D. E. 1978. Distribution of *Enterobacteriaceae* in Recycled Manure Bedding on California Dairies. *J.Dairy Sci.* 61, 10: 1498 - 1508.

CHANG, Y. 1967. The fungi of wheat straw compost. II. Biochemical and physiological studies. *Trans.Br.mycol.Soc.* 50, 4: 667 - 677.

-- " -- & HUDSON, H. J. 1967. The fungi of wheat straw compost. I. Ecological studies. *Trans.Br.mycol.Soc.* 50: 649 - 666.

CHIAPPINI, U. & ZAPPAVIGNA, P. 1993. Experimental test on sloped bedded floors for dairy cows in different slopes. American Society of Agricultural Engineers. Fourth International Livestock Environment Symposium, 6 - 9 heinäkuuta 1993, Coventry, Englanti: 1001 - 1007.

COONEY, D. G. & EMERSON, R. 1964. Thermophilic Fungi. 188 s. W. H. Freeman and Company, San Francisco.

DIXON, W. J., SAMPSON, P. & MUDLE, P. 1990. 7D, One- and Two-Way Analysis of Variance with Data Screening. BMDP Statistical Software Manual 1: 1 - 629.

DULA, M., LAWRENCE, V. & MATTHEWS, C. 1990. Univariate and Multivariate Analysis of Variance and Covariance, Including Repeated Measures. BMDP Statistical Software Manual 2: 1155 - 1206.

EDWARDS, O. F. & RETTGER, L. F. 1937. The relation of certain respiratory enzymes to the maximum growth temperatures of bacteria. J.Bacteriol. 34: 489 - 515.

EKMAN, E. 1974. III. Turpeen kemiasta. Turve ja sen käyttömahdollisuudet. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus 77: 1 - 17.

-- " 1976. III. Turve raaka-aineena. Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus 42: 1 - 27.

ENGELMAN, L. 1990. 2D, Detailed Data Description Including Frequencies. BMDP Statistical Software Manual 1: 135 - 144.

ERIKSON, D. 1952. Temperature/Growth Relationships of a Thermophilic Actinomycete, *Micromonospora vulgaris*. J.gen.Microbiol. 6: 286 - 295.

ERIKSSON, K.-E. 1972. Barkens mikrobiella nedbrytning. Barkens använding. SPCI symposium: 8 - 14.

EVANS, M. R., SMITH, M. P. W., DEANS, E. A. ym. 1986. Nitrogen and Aerobic Treatment of Slurry. Agricultural Wastes 15: 205 - 213.

FERGUS, C. L. 1964. Thermophilic and thermotolerant molds and actinomycetes of mushroom compost during peak heating. Mycologia 56: 267 - 284.

FINSTEIN, M. S. & MORRIS, M. L. 1975. Microbiology of Municipal Solid Waste Composting. Advances in Applied Microbiology 19: 113 - 151.

FORSYTH, W. G. C. & WEBLEY, D. M. 1948. The microbiology of composting. II. A Study of the Aerobic Thermophilic Bacterial Flora Developing in Grass Composts. Proc.Soc. Appl.Bacteriol: 34 - 39.

FRAZZI, E. & DEMALDÉ, R. 1994. New types of barns with bedding for dairy cattle. International Conference on Agricultural Engineering, Milano, 29.8.-1.9.1994. Report C.044: 1 - 7.

GABY, W. L. 1975. Evaluation of health hazards associated with solid waste/sewage sludge mixtures. U.S. Dep.Commerce. National Technical Information Service. Report EPA-670: 1 - 48.

GALLER, W. S. & DAVEY, C. B. 1971. Livestock Waste Management and Pollution Abatement. Amer.Soc.Agr.Eng. Publ. PROC-271: 159 - 162. St. Joseph, Michigan.

GOLUEKE, C. G., BRADLEY, J. C. & MCGOUHEY, P. H. 1954. A Critical Evaluation of Inoculums in Composting. *Appl.Microbiol.* 2: 45 - 53.

GOOTAS, H. B. 1956. Composting Sanitary Disposal and Reclamation of Organic Wastes. World Health Organization. Monograph series 13: 1 - 205.

GRAY, K. R., SHERMAN, K. & BIDDLESTONE, A. J. 1971. Review of Composting. Part 2. The Practical Process. *Process Biochemistry* 10: 22 - 28.

GROMMERS, F. J., CHRISTISON, G. I. & CURTIS, S. E. 1970. Estimating animal-floor contact areas. *J. Animal Sci.* 40: 552 - 555.

GYLLENBERG, H. H. G. 1952. Studies of associative populations in the breakdown of cellulose. *Acta Agriculturae Scandinavica* 13, 3: 183 - 196.

HANSEN, K. 1993. Dybstrøelse til malkekøer - Tre forskellige typer. Statens Jordbrugstekniske Forsøg. Afdelingen for Bygningsteknik. *Orientering* 79: 1 - 31.

-- " -- 1994. Cows and young stock in different types of deep litter system. International Conference on Agricultural Engineering, Milano, 29.8.-1.9.1994. Report C.090: 1 - 9.

HAUG, R. T. 1980. Compost engineering, principles and practice. Ann Arbor Science. s. 655.

HEIKKILÄ, T., TUORI, M. & SALO, M. L. 1989. Olkisato rehuksi? Olkien rehuarvon vaihtelut suurina. *Käytännön Maamies* 8: 34 - 36.

HELMINEN, K. 1986. Kolimuotoiset bakteerit kuivikkeissa ja lypsylehmän koliutaretulehdus. Pintaturpeen käyttö lypsylehmien kuivikkeena. Summary: The use of litter peat for dairy cows. Sammandrag: Andvänding av torv till strö för mjölkkor. *Työtehoseuran julkaisu* 274: 78 - 87.

HENSSEN, A. 1957. Über die Bedeutung der thermophilen Mikroorganismen für die Zersetzung des Stallmistes. *Archiv für Mikrobiologie*. Bd. 27: 63 - 81.

HIRN, J., KALLIO, H. & TIKANMÄKI, E. 1982. Survival of fecal indicator bacteria in an industrial-scale composting procedure. *Annales Agriculturae Fenniae. Agrogeologia et -chimica* 112: 137 - 145.

HOFSTETTER, E.-M. 1977. Verbrennungstechnische Untersuchungen an Getreidestroh. Möglichkeiten der Strohverwendung. *KTBL-Schrift* 220: 138 - 146.

HOGAN, J. S., SMITH, K. L., HOBLET, K. M. ym. 1989. Bacterial Counts in Bedding Materials Used on Nine Commercial Dairies. *Journal of Dairy Science* 72: 250 - 258.

HOMB, T. 1948. Fôringsforsøk med lutet halm. Summary: Feeding Experiments with Beckmann-Treated Straw. *Norges Landbrukshøgskole. Fôringsforsøkene. Beretning* 64: 1 - 89.

-- " -- 1956. Norwegische Erfahrungen bei der Strohaufschließung nach dem Beckmannschen Verfahren. *Futterkonservierung* 2: 129 - 147.

HOYLE, D. A. & MATTINGLY, E. G. 1954. Studies on Composts Prepared from Waste Materials. I. Preparation, Nitrogen Losses and Changes in 'Soluble Nitrogen'. *J. Sci. Food Agric.* 5: 54 - 64.

HÜMBELIN, M., MEYER, M. & STICHER, H. 1991. Stickstoff-Fixierung bei der Kompostierung von Rindermist. *Schw.Lant.Forsch.* 19: 85 - 90.

ILMONEN, T.A. 1976. Polttoturpeen ominaisuudet ja käyttö. *Turveteollisuus 1876 - 1976*: 74 - 80.

ITKONEN, A., KANGAS, J., HUSMAN, K. & TURUNEN, E. 1978. Pöly turvetuotannossa. Summary: Dust in Peat Production. Sammandrag: Torvdamm i torvproduktionen. *Työterveyslaitoksen tutkimuksia* 145: 1 - 42 + 7 liitettä.

JAKOB, B. & JAKOB, R. 1976. Aufbereitung und Eigenschaften von Einstreu in der Tierhaltung. *Blätter für Landtechnik* 122: 1 - 5. Tänikon.

JANN, G. J., HOWARD, D. H. & SALLE, A. J. 1959. Method for the Determination of Completion of Composting. *Appl. Microbiol.* 7: 271 - 275.

JEBAUTZKE, W. & POHLMANN, H. 1966. Rindviehställe. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein. 123 s. Hamburg.

JERIS, J. S. & REGAN, R. W. 1973. Controlling Environmental Parameters For Optimum Composting. Part I. Experimental Procedures and Temperature. *Compost Science* 1 - 2: 10 - 15.

JÄRVENPÄÄ, M., SANKARI, H., TUUNANEN, L. & MAUNU, T. 1994. Bioenergian tuotanto elintarviketuotannosta vapautuvalla peltoalalla. *Työtehoseuran julkaisu* 333: 1 - 97 + 3 liitettä. Helsinki.

KAIBUCHI, Y. 1961. Research on composting of city refuse and nightsoil. *J.San.Eng. Div. Paper SA 6*: 101 - 139.

KALLIO, H. & TIKANMÄKI, E. 1982. Composting of sewage sludge and other wastes from a food processing plant in Finland. *Annales Agriculturae Fennia. Agrogeologia et -chimica* 21, 109: 91 - 101.

KAPUINEN, P. 1992. Naudanlihan tuotantomenetelmät ja -rakennukset. Summary: Methods and Buildings for Beef Production. Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos. VAKOLAn tutkimusselostus 63: 1 - 123.

-- " -- 1993. Naudanlihan tuotantomenetelmät ja -rakennukset II. Summary: Methods and Buildings for Beef Production II. Maatalouden tutkimuskeskus. Maatalousteknologian tutkimuslaitos. VAKOLAn tutkimusselostus 66: 1 - 77.

-- " -- 1994a. Lannankäsittelyn taloudellisuuden ja lannan ravinteiden hyväksikäytön parantaminen. Maatalouden tutkimuskeskus. Maatalousteknologian tutkimuslaitos. VAKOLAn tutkimusselostus 68: 1 - 90 + 1 liite.

-- " -- 1994b. Naudanlihan tuotantoympäristö. Naudanlihantuotannon kehittäminen. Maa- ja metsätalousministeriö. Naudanlihantuotannon edistämiprojekti: 81 - 92.

-- " -- & KARHUNEN, J. 1989. Kosteiden pintojen kosteudentuotanto navetoissa. Summary: Humidity Production from Moist Surfaces in Cow Stables. Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos. VAKOLAn tutkimusselostus 56: 1 - 85 + 6 liitettä.

KARLSSON, S. 1994. Composting of Deep Straw Manure. International Conference on Agricultural Engineering, 29.8.-1.9.1994. Report C.092: 1 - 6.

- " -- & JEPSSON, K.-H. 1995. Djupströbädd i stall och mellanlager. Summary: Deep Litter in Livestock Buildings and Field Storages. Jordbrukstekniska institutet. JTI-rapport 204: 1 - 120.
- KEMPPAINEN, E. 1986. Kuivikkeiden ravinteiden sitomiskyvystä. Pintaturpeen käyttö lypsylehmien kuivikkeena. Summary: The use of litter peat for dairy cows. Sammandrag: Användning av torv till strö för mjölkkor. Työtehoseuran julkaisuja 274: 33 - 41.
- KIRCHMANN, H. 1985. Losses, Plant Uptake and Utilisation of Manure Nitrogen during a Production Cycle. Acta Agriculturae Scandinavica. Supplementum 24: 5 - 77. Stockholm.
- KLEIN, S. A. 1972. Anaerobic digestion of solid wastes. Compost Sci 1: 6 - 11.
- KOIVISTO, K., AARNIO, K. & KARHUNEN, J. 1986. Lietelannan kompostointilämmön talteenotto. Summary: Recovery of Slurry Composting Heat. VAKOLAn tutkimusselostus 41: 1 - 112 + 2 liitettä.
- KOSSILA, V., HEIKKILÄ, T. & RISSANEN, H. 1978. Digestibility of dry alkali treated and ammonized straw containing feeds in vivo and in vitro. Halm-håndtering, behandling og udnyttelse, NJF-seminar, Middlefart, Denmark: 1 - 7.
- KÄRKKÄINEN, M. 1977. Puu - sen rakenne ja ominaisuudet. 442 s. Helsinki.
- LACEY, J. 1973. Actinomycetes in Soil, Compost and Fodders. Actinomycetales: Characteristics and Practical Importance: 231 - 251. Academic Press, New York.
- LANGELAND, G. 1980. Kompostering kan gi kloakkslam av tilfredsstillende mikrobiologisk-hygienisk kvalitet. Vann 1b: 34 - 38.
- LEHTOKARI, M. 1984. Kompostoinnin biotekniset perusteet. Kompostointitekniikka. INSKO 113: 1 - 17.
- MARTIN, J. H. JR., LOEHR, R. C. & PILBEAM, T. E. 1983. Animal Manures as Feedstuffs - Nutrient Characteristics. Agricultural Wastes 6: 131 - 166.
- MEARS, D. R., SINGLEY, M. E., ALI, G. & RUPP III, F. 1975. Thermal and Physical Properties of Compost. Energy, Agriculture and Waste Management. Proc. 1975 Cornell Agricultural Waste Management Conference: 515 - 527.

MISHRA, M. M., YAVAD, K. S. & KAPOOR, K. K. 1981. Degradation of Lignocellulose by Mixed Cultures of Cellulolytic Fungi and Their Competitive Ability. *Zbl. Bakt. II. Abt.* 136: 603 - 608.

MEHLER, A. & HEINIG, W. 1968. *Bauten für die Rinderhaltung*. 544 s. Berlin.

MUHONEN, S. 1985. Aerobiprosessi biokaasureaktorin lämmityksessä. Jyväskylän yliopisto. Fysiikan laitos. Pro gradu -tutkielma. 102 s + 15 liitettä.

MÜLLER, W. P. & KORTE, F. 1976. Ecological Chemical Evaluation of Waste Treatment Procedures. *Environmental Quality and Safety*: 215 - 236. New York.

MØLLER, F. 1977. The utilization of straw for heating and other purposes. *Den kgl. veterinær- og landbohøjskole. Jordbrugsteknisk institut. Meddelelse* 30: 1 - 82 + 6 liitettä.

NELLER, J. R. 1918. Studies on the correlation between the production of carbon dioxide and the accumulation of ammonia by soil organisms. *Soil Science* 5: 225 - 239.

NOVÁK, B. 1971. Die mikrobielle Humusbildung. 5. Mitt. Anaerobe und aerobe Vorgänge bei der Humifizierung von Modellsubstraten. Summary: Microbial Formation of Humus. 5. Communication. Anaerobic and Aerobic Processes in Humidification of Model Substrates. *Zentralbl. Bakt.* 126: 63 - 67.

OLVER, W. M. JR. 1980. Cold Weather Sludge Composting Works in Maine. *Compost Science/Land Utilization* 21, 3: 20 - 22.

ORAVA, R. 1980. Oljen korjuu ja käyttö maatiloilla. Summary: Harvest and utilization of straw on farms. Sammandrag: Halmbärgning och -användning på gårdar. *Työtehoseuran julkaisuja* 226: 1 - 105 + 5 liitettä.

-- " --, OKSANEN, E. H. & LAHTI, P. 1979. Oljen korjuu ja käyttö maatiloilla. *Työtehoseuran maatalous- ja rakennusosaston moniste* 1: 1 - 91 + 7 liitettä.

ORNING, A. A. 1969. Principles of combustion. Principles and practices of incineration: 9 - 33. Wiley-Interscience. New York.

PAATERO, J. 1981. Kompostointilämmön talteenottomahdollisuudet. *Jätteet energialähteenä. INSKO 45-81 XI*: 1 - 27.

-- " --, LEHTOKARI, M. & KEMPPAINEN, E. 1984. *Kompostointi*. 269 s. Juva.

PALDANIUS, E. 1987. Oljen kompostointi erilaisia seosmateriaaleja typpilähteenä käyttäen. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 2: 1 - 55 + 1 liite.

PASILA, A. 1995. Kompostoituvan tukimateriaalin vedenpidätyskyky. Helsingin yliopisto. Maa- ja kotitalousteknologian laitos. Pro gradu -työ. 112 s. + 21 liitettä.

PELTOLA, I. 1984. Kuivikeiden nesteenpidätyskyvyt testissä. Työtehoseuran rakennustiedotus 200: 1 - 6.

-- " --, NURMISTO, U., KEMPPAINEN, E. ym. 1986. Pintaturpeen käyttö lypsylehmien kuivikkeena. Summary: The use of litter peat for dairy cows. Sammandrag: Användning av torv till strö för mjölkkor. Työtehoseuran julkaisuja 274: 1 - 151.

PIKE, E.B. & CARRINGTON, E.C. 1978. The effect of conventional sludge treatment processes on pathogens. Proceedings of the conference on utilization of sewage sludge on land: 198 - 218. Oxford.

PUUSTJÄRVI, V. 1956. On the Cation Exchange Capacity of Peats and on the Factors of Influence upon Its Formation. Acta Agr.Scand. 6: 410 - 449.

PYYKKÖNEN, M. 1991. Measuring the thermal environment of calves under sheltered winter conditions. Selostus: Vasikan termisen ympäristön mittaaminen. Helsingin yliopisto. Maatalousteknologian laitos. Tutkimustiedote 65: 1 - 72.

PÖPEL, F. 1964. Das Wesen der Vergärung organischer Stoffe bei der Kompostierung. Müll- und Abfallbeseitigung. Kennz. 5305: 1 - 41.

RANTA, E., RITA, H., KOUKI, J. 1991. Biometria - tilastotiedettä ekologeille. 569 s. Helsinki.

REGAN, R. W. & JERIS, J. S. 1970. A Review of the Decomposition of Cellulose and Refuse. Compost Science 1: 17 - 20.

REXEN, F. & VESTERGAARD-THOMSEN, K. 1976. The Effect on Digestibility of a New Technique for Alkali Treatment of Straw. Animal Feed Science and Technology 1: 73 - 83. Amsterdam.

RICHARDS, M. S. 1987. Bush recording soil penetrometer Mark 1 Model 1979. Findley, Irvine Lrd., Penicuik, Midlothian EH26 9BU, SCOTLAND. Instruction manual.

ROTHBAUM, H. P. 1963. Spontaneous combustion of hay. J.appl.Chem. 13: 291 - 302.

SCHLUCHTER, M. D. 1990. Unbalanced Repeated Measures Models with Structured Covariance Matrices. BMDP Statistical Software Manual 2: 1207 - 1244.

SCHUCHARDT, F. 1982. Heat production by composting animal wastes. Energy from biomass. 2nd E.C. Conference. Proceedings of the International Conference on Biomass, Berliini, Saksan liittotasavalta, 20.-23.9.1982: 470 - 474.

-- " -- 1987. Zur Bedeutung des Luftporenvolumens für die Kompostierung organischer Schlämme. Grundl. Landtechnik. Bd. 3: 109 - 115.

-- " -- & BAADER, W. 1979. Kompostierung von brikettiertem Klärschlamm. Müll und Abfall 8: 205 - 214.

SCHULZE, K. L. 1960. Rate of Oxygen Consumption and Respiratory Quotients During the Aerobic Decomposition of a Synthetic Garbage. Compost Sci. 1: 36 - 40.

-- " -- 1962. Continuous Thermophilic Composting. Appl.Microbiol. 10: 108 - 122.

SHELL, G. L. & BOYD, J. L. 1970. Composting dewatered sewage sludge. U.S. Dept. health, education and welfare. Public Health Publication 1936: 1 - 28.

SIU, R. G. H. 1951. Microbial decomposition of cellulose with special reference to cotton textiles. 531 s. New York.

SPOHN, E. 1970. Composting by Artificial Aeration. Compost Science 3: 22 - 23.

SØRENSEN, H. 1957. Microbial decomposition of xylan. Acta Agric. scand. Supplementum I: 1 - 82.

TEENSMA, B. 1962. New Guidelines for the Composting of Raw Refuse in the Netherlands. International Research Group on Refuse Disposal. IRGR Information Bulletin 16: 127 - 132.

TENDLER, M. D. & BURKHOLDER, P. R. 1961. Studies on the Thermophilic Actinomycetes. I. Methods of cultivation. Appl.Microbiol. 9: 394 - 399.

TENNEY, F. G. & WAKSMAN, S. A. 1929. Composition of natural organic materials and their decomposition in the soil. IV. The nature and rapidity of decomposition of the various organic complexes in different plant materials, under aerobic conditions. Soil Science 28: 55 - 84.

-- " -- & WAKSMAN, S. A. 1930. Composition of natural organic materials and their decomposition in the soil. V. Decomposition of various chemical constituents in plant materials, under anaerobic conditions. *Soil Science* 30: 143 - 160.

THEANDER, O. 1978. Halmens kemiska uppbyggnad och egenskaper. Halm-häntering, behandling og udnyttelse, NJF-seminar, Middlefart, Denmark: 1 - 10.

TOUCHE LA, C. J. 1950. On a thermophile species of *Chaetomium*. *Brit.Mycol.Soc. Trans.* 33: 94 - 104.

TUORI, M., KAUSTELL, K., VALAJA, J. ym. 1985. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. Helsingin yliopisto, kotieläintieteen laitos, Kasvintuotannon tarkastuskeskus, maatalouske-
mian osasto ja Maatalouden tutkimuskeskus, kotieläintuotannon tutkimuslaitos. Helsinki.

TUORILA, P. 1929. Bindungsvermögen verschiedener Torfarten für Stickstoff in Form von Ammoniak. *Suomen Suoviljelysyhdistys. Tieteellisiä julkaisuja* 9: 1 - 47.

VIRRI, T.J. 1941. Eläinlantaa koskevia kokeita ja tutkimuksia. I. Ammoniakin haihtumisen muodossa tapahtuvista typen häviöistä. Referat: Versuche und Untersuchungen über Stalldünger. I. Über Stickstoffverluste in Form von Ammoniakverdunstung. *Valtion maatalouskoetoiminnan julkaisuja* 116: 1 - 113.

WAID, J. S. 1962. Influence of oxygen upon growth and respiratory behaviour of fungi from decomposing rye-grass roots. *Trans.Brit.mycol.Soc.* 45: 479 - 487.

WAKSMAN, S. A. & CORDON, T. C. 1938. A method for studying decomposition of isolated lignin on cellulose decomposition. *Soil Science* 15: 199 - 206.

-- " -- & CORDON, T. C. 1939. Thermophilic decomposition of plant residues in composts by pure and mixed cultures of microorganisms. *Soil Science* 47: 217 - 225.

-- " -- & HUTCHINGS, I. J. 1936. Decomposition of lignin by microorganisms. *Soil Science* 42: 119 - 130.

-- " --, CORDON, T. C. & HULPOI, N. 1939a. Influence of temperature upon the microbiological population and decomposition processes in composts of stable manure. *Soil Science* 47: 83 - 113.

-- " --, UMBREIT, W. W. & CORDON, T. C. 1939b. Thermophilic actinomycetes and fungi in soils and in composts. *Soil Science* 47: 37 - 61.

WARD, R. L. & BRANDON, J. R. 1978. Effect of heat on pathogenic organisms found in wastewater sludge. 1977 National Conference on Composting of Municipal Residues and Sludges, 23.-25.1977: 122 - 127.

WEHMER, C. v. 1925. Versuche über Umwandlung von Lignin, Cellulose und Holzsubstanz in Huminstoffe durch Pilze. Brennstoff-Chemie 6, 7: 101 - 116.

WILEY, B. B. & WESTERBERG, S. C. 1969. Survival of Human Patogens in Composted Sewage. Applied Microbiology 16, 6: 994 - 1001.

WILEY, J. S. 1956. Progress Report on High-Rate Composting Studies. Proc.Ind.Waste Conf. 11, 96: 334 - 341.

-- " -- 1957. Liquid content of garbage and refuse. J.San.Eng.Div. Paper 1411: 1 - 8.

-- " -- & PEARCE, G. W. 1957. A preliminary study of high-rate composting. Trans.Amer. Soc.Civil Eng. Paper 2895: 1009 - 1034.

YAVAD, K. S., MISHRA, M. M. & KAPOOR, K. K. 1982. The effect of fungal inoculation on composting. Agricultural Wastes 4: 329 - 333.

ZEEB, K. 1989. Tretmist - eine tiergerechte Haltungsform für Rindvieh. Tierhaltung 19: 101 - 106.

ÅMAN, P. & THEANDER, O. 1977. Chemical modification of straw by alkaline treatment. Proc. NJF-meeting, Uppsala.

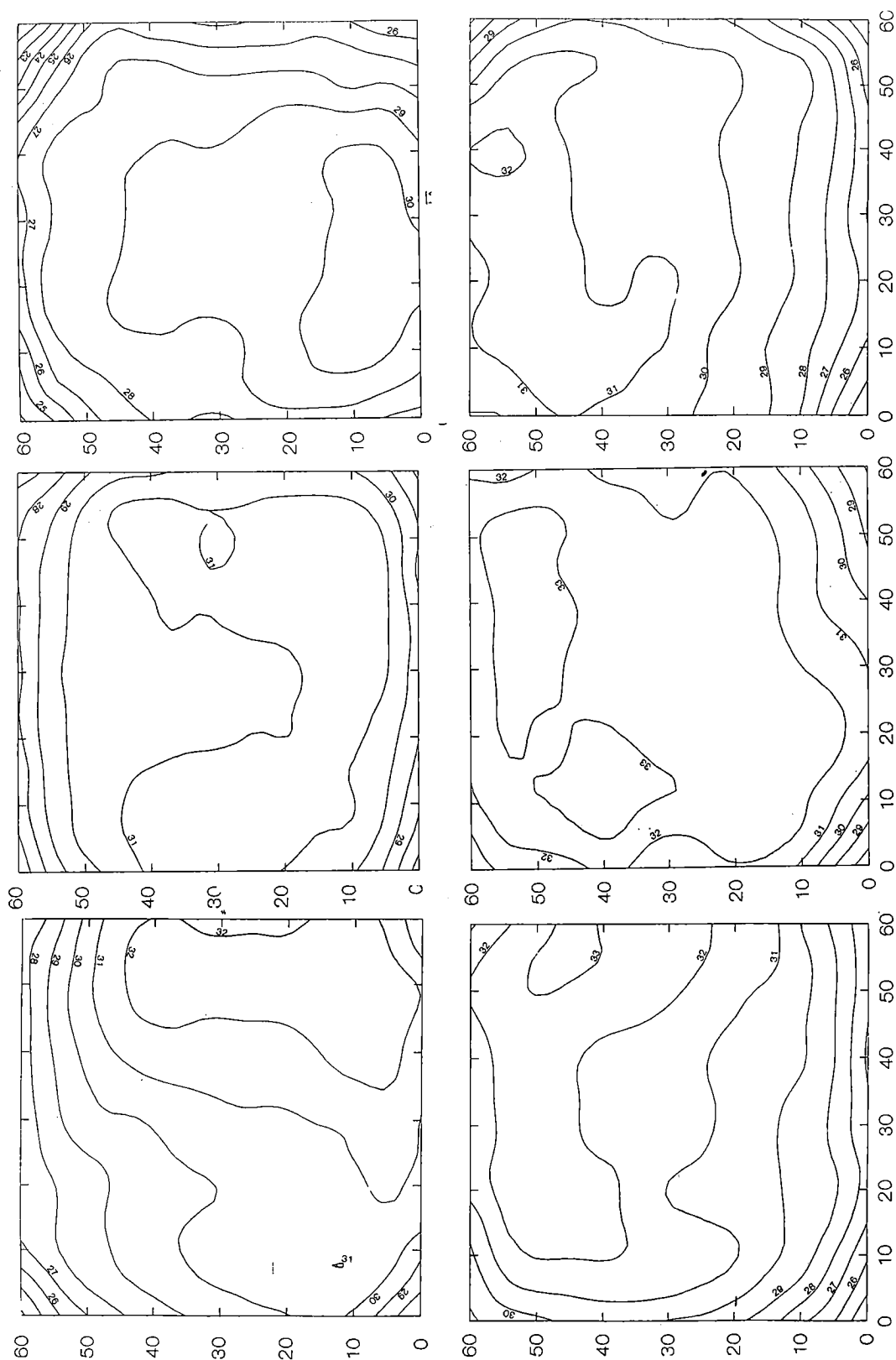
ERÄIDEN SUUREIDEN JAKAUMIEN NORMAALISUUDET

Liitetaulukko 1. Eräiden suureiden jakaumien normaalisuudet.

Ravinne tai kuiva-aine	Syöttömäärä	Syöttöaineiden pitoisuus	Kompostoituneiden kuivikepohjien pitoisuudet	Tappiot
Kokonaistyyppi	0,2219	0,4524	0,9427	0,9330
Liukoinen tyyppi	0,3333	0,8234	0,3887	0,0775-
Liukoisen typen osuus	-	0,2441	0,4140	-
Kokonaisfosfori	0,2329	0,6781	-	-
Helppoliukoinen fosfori	-	-	0,6298	-
Kokonaiskalium	0,5315	0,3105	-	-
Vaihtuva kalium	-	-	0,3308	-
Orgaaninen hiili	0,2714	0,1511	0,0257*	0,3983
C/N-suhde	0,6142	-	0,4895	0,3083
C/P-suhde	0,3291	-	-	-
Kuiva-aine/Kosteus	0,3242	0,4735	0,4735	0,3971
Massa	0,2168	-	-	0,9878
Tilavuuspaino	-	-	0,0559	-

Liitetaulukossa 1 on esitettyä Shapiro-Wilks W -testisuuren tilastolliset merkitsevyydet eri ravinteille, ravinnesuhteille, kuiva-ainepitoisuudelle tai kosteuspitoisuudelle, massalle ja tilavuuspainolle syöttömäärissä, syöttöaineiden pitoisuuksissa, kompostoituneiden kuivikepohjien pitoisuuksissa ja tappiossa. Viiva taulukossa jossakin kohtaa merkitsee, että kyseistä suuretta ei ole käsitelty tulokset luvussa ja se on siten tarpeeton tai suure oli tutkimuksessa määrittelemätön.

Ainoastaan orgaanisen hiilen pitoisuuden jakauma kompostoituneessa kuivikepohjassa poikkesi normaalijakaumasta. Tämäkin poikkeama johtui yhdestä poikkeavasta havainnosta, joten jakaumien korjaamista muunnoksella ennen analyysia katsottu mahdolliseksi tai tarpeelliseksi. Tilastolliset testit tehtiin muuntamattomalle aineistolle.



Liitekuvio 1. Esimerkki 13 cm:n syvyydessä kuivikepohjan pinnasta vallinneesta horisontaalisesta lämpötilaprofiilista kuivikeseoksella 5 (O30/T35/H35) kuivitetuissa kuivikepohjissa. Kuivikepohjien asemat vastaavat niiden todellista asemaa koeastiasossa. Akselien mitat ovat senttimetreinä ja lämpötilat käyrien vieressä Celsius-asteina.

VAKOLAn tutkimuseloituksia

44. Alipaineilmanvaihto kotieläinsuojissa. 1986
45. Kompostoinnin vaikutus lietelannan laatuun ja käsittelyyn. 1986.
46. Käyttökokemuksia 80-luvulla rakennetuista kalust ajoista, varastokuivureista ja pihatoista. 1987.
47. Lannoitteenlevityksen tasaisuus. 1987.
48. Jauhatuksen tilantarve ja pölyhaittojen vähentäminen. 1987.
49. Maatalouskoneiden tietokanta. 1988.
50. Lannanpoistolaitteiden toiminta ja kestävyys. 1988.
51. Pienten pihatoiden ilmanvaihdon erityisvaatimukset. 1988.
52. Tuotantorakennusten suunnittelu ja rakentaminen käytännössä. 1988.
53. Hellävarainen perunankorjuu. 1989.
54. Syyskyntöä korvaavien muokkausmenetelmien vaikutus kevätvehnän satoon 1975-1988. Pitkäaikaisen aurattoman viljelyn vaikutukset hiesusaven rakenteeseen ja viljavuuteen. 1989.
55. Ei julkaisua
56. Kosteiden pintojen kosteudentuotanto navetoissa. 1989.
57. Kylmäilmakuivurin mitoitus ja käyttö. 1990.
58. Leikkuupuimurin kulkukyky vaikeissa olosuhteissa. 1990.
59. Lietelantajärjestelmien toimivuus. 1990.
60. Heinän varastokuivaus. 1991.
61. Viljankuivauksen pölyhaitat. 1992.
62. Säilörehun siirto ja käsittely talvella. 1991.
63. Naudanlihan tuotantomenetelmät ja -rakennukset. 1992.
64. Kiedotun pyöröpaalisäilörehun valmistustekniikka ja laatu. 1993.
65. Hellävarainen perunan kaupunkunostus. 1993.
66. Naudanlihan tuotantomenetelmät ja -rakennukset II. 1993.
67. Betonit ja muovit navetan lattiamateriaaleina. 1993.
68. Lannankäsittelyn taloudellisuuden ja lannan ravinteiden hyväksikäytön parantaminen. 1994.
69. The effect of ground profile and plough gauge wheel on ploughing work with a mounted plough. 1994.
70. Järeän sahatavaran mekaaniset ominaisuudet. 1995.
71. Varattu
72. Varattu
73. Lannan levitys kasvustoon. 1996. Osa 2. Lietelannan levitysmahdollisuudet kasvavaan viljanoraaseen
74. Kylmäkasvattamoiden kuivikepohjien toimivat vaihtoehdot. 1996.

VAKOLAn rakennusratkaisuja

- 1/1994 Kylmä osakuivikepohjainen emolehmäkasvattamo.
 - 2/1995 Rehtijärven keinokosteikko
 - 3/1995 Puurakenteiset ruokinta-aidat ja parnerottimet
- ## VAKOLAn tiedotteita
- 41/87 Jauhatustyön järjestelyjä ja kustannuksia.
 - 42/88 Lannanpoistolaitteiden toimivuus ja kestävyys.
 - 43/88 Käytännön ohjeita konevaraston hankintaa suunnittelevalle.
 - 44/89 Pohjoismaiset lypsykone- ja laiteohjeet
 - 45/89 Säilörehun korjuu pyöröpaalaimella
 - 45 S/89 Rundbalsensilering
 - 46/90 Kevytsora lietesäiliön katteena
 - 47/90 Lietelannan kompostointi
 - 48/90 Turvallinen ja nopea työkoneiden kytkentä
 - 49/91 Betonit ja muovit navetan lattiamateriaaleina
 - 50/91 Pölyn ja roskien talteenotto lämminilmakuivaamossa
 - 51/92 Viherkesannon perustaminen ja hoito
 - 52/92 Kaasut ja pöly eläinsuojien ilmanvaihdossa
 - 53/93 Lannoitteenlevittimien levitystasaisuus
 - 54/93 Maaseudun koerakentamisen ohjelmointi
 - 55/93 Pyöröpaalisäilörehun korjuu, varastointi ja laatu
 - 56/93 Maaseuturakentamisen ideakilpailu
 - 57/93 Syyskylvöjen varmentaminen
 - 58/93 Maatilan ja maatilamatkailun jätahuolto
 - 59/93 Maatilamyymälätoiminta vanhassa maatilan asuinrakennuksessa
 - 60/93 Tyhjien maatilarakennusten uusi käyttö
 - 61/94 Lietelannan varastointi ja levitys
 - 62/94 Tuotantorakennusten alapohjia ja piha-alueiden päällysrakenteita
 - 63/94 Turvallinen puunpilkonta
 - 64/94 Itkupinta-tuloilmalaitteen vaikutus eläinsuojassa
 - 65/94 Oksainen hake pienpolttimissa
 - 66/94 Pako- ja savukaasujen analysointi
 - 67/94 Käyttökokemuksia jyräkylvölannoittimista
 - 67S/94 Bruksfarenheter av vältkombisåmaskiner
 - 68/94 Käsikäyttöisten liekittimien käyttöominaisuuksia
 - 69/95 Renkaiden vaikutus traktorin vetokykyyn ja maan tiivistymiseen
 - 70/95 Hakkeen kuivaus imuilmalla
 - 71/95 Klappikattiloiden käyttöominaisuudet

