



MARKETTA PELLIKKA

HOMEPÖLYALTISTUS POLTTOHAKKEEN
KÄSITTELYN YHTEYDESSÄ

HELSINKI 1983

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 81

METSÄTEKNOLOGIAN TUTKIMUSOSASTO

METSÄTYÖTIETEEN TUTKIMUSSUUNTA

MARKETTA PELLIKKA

HOMEPÖLYALTISTUS POLTTOHAKKEEN

KÄSITTELYN YHTEYDESSÄ

ESIPUHE

Tutkimus, jonka ensimmäisen vuoden tuloksia selostetaan tässä julkaisussa on tehty Kuopion korkeakoulun ekologisen ympäristöhygienian laitoksella yhteistyössä Metsäntutkimuslaitoksen kanssa. Työ kuuluu kiinteänä osana Metsäntutkimuslaitoksen Pera-projektin A-osaan, jonka tavoitteena on markkinakelvottoman pien- ja jätetuoreservimme saattaminen energiakäyttöön.

Haluan esittää lämpimät kiitokset Kuopion korkeakoulun ekologisen ympäristöhygienian professorille Lauri Kärenlammelle varsinkin työn kirjoitusvaiheessa saamistani neuvoista ja ohjauksesta. Ekologisen ympäristöhygienian laitoksella työskentelevää tutkijaa, FK Marjut Kotimaata kiitän koko työn ajan kestäneestä kärsivällisestä ohjauksesta sekä käytännön työssä että eteen tulleiden ongelmien ratkaisuja pohdittaessa. FK Mirja Mustosta kiitän neuvoista ja laborantti Mirja Korhosta näytteenottoon liittyvistä esivalmisteluista.

Kiitos kuuluu myös Metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian tutkimusosaston väelle, ja siellä erityisesti professori Pentti Hakkilalle neuvoista ja ohjauksesta ja MMK Juha Nurmelle avartavista keskusteluista ja hakkeen varastointiin liittyvistä käytännön järjestelyistä. Työnjohtaja Tapio Nevalaista kiitän aineiston keruuseen liittyvistä järjestelyistä ja rva Aune Rytköstä työn puhtaaksikirjoituksesta.

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	5
2.	KIRJALLISUUSKATSAUS	7
2.1.	Sienet ja sädesienet	7
2.2.	Homepölykeuhko	10
2.3.	Home- ja sädesienet maataloudessa	12
2.4.	Home- ja sädesienet sahoilla	14
2.5.	Suuret puunjalostustehtaiden hakevarastot	15
2.6.	Polttohakkeen varastointitutkimukset .	17
3.	MATERIAALIT JA MENETELMÄT	20
3.1.	Näytteenottopaikat ja näytteenottojen ajankohdat	20
3.2.	Sieni-itiöiden määrittely	25
3.2.1.	Andersen-keräin	26
3.2.2.	Casella-keräin	29
3.3.	Tilastolliset menetelmät	31
4.	TULOKSET	32
4.1.	Mitattujen itiötiheyksien jakaumat ...	32
4.2.	Andersen-keräykset	37
4.2.1.	Kokonaisitiötiheydet	37
4.2.2.	Termofiiliset sädesienet	37
4.2.3.	Termofiiliset sienet	38
4.2.4.	Termotoleranttiset sienet	38
4.2.5.	Mesofiiliset sienet	39
4.2.6.	Mikrobiflooran vaihtelut varas-	

toinnin aikana	47
4.3. Casella-keräykset	51
4.4. Näytteenottomenetelmien vertailua	51
4.5. Varastointiajan vaikutus	54
4.6. Lehtien vaikutus	54
4.7. Rasikuivatuksen vaikutus	55
4.8. Palakoon vaikutus	56
4.9. Hakkeen kosteuden vaikutus	64
4.10. Ympäristöolojen vaikutus	64
5. TULOSTEN TARKASTELU	64
5.1. Näytteenottomenetelmien vertailua	64
5.2. Hakkeen homehtumiseen vaikuttavia tekijöitä	65
5.3. Itiöiden tiheys ja laatu	67
TIIVISTELMÄ	70
KIRJALLISUUSLUETTELO	72

1. JOHDANTO

Öljyn hinnankorotukset ovat lisänneet kiinnostusta kotimaisiin polttoaineisiin. Suomessa perinteisesti käytetty kotimainen lämpöenergian lähde on puu nalikoiden tai hakkeen muodossa. Puun käyttöä edistää mm. sen tasainen jakautuminen yli maan.

Parlamentaarisen energiapoliittisen neuvoston valmistelma ehdotus hyväksyttiin 15.3.1979 maamme viralliseksi energiapoliittiseksi ohjelmaksi (Suomen energiapoliittinen ohjelma ja siihen liittyvä taustamuistio 1979). Sen mukaan aktiivisen energiapolitiikan tavoitteiksi on asetettu energian säästäminen ja kotimaisen energian käytön lisääminen. Tavoitteiden toteutuessa tulisi kotimaisen energian käyttö lisääntymään vuoteen 1990 mennessä 34 - 40 prosenttiin kokonaiskulutuksesta. Vastaava luku oli vuonna 1977 28 prosenttia (Energiatilastot 1980).

Puuperäisten polttoaineiden osuus pyritään ohjelman mukaan kohottamaan 17 - 20 prosenttiin primaarienergian kokonaiskulutuksesta. Vuonna 1977 puuperäisten polttoaineiden osuus kokonaiskulutuksesta oli 14 prosenttia ja vuoteen 1980 mennessä se oli kohonnut jo 17 prosenttiin (Energiatilastot 1980).

Puun energiakäytön oletetaan tulevaisuudessa lisääntyvän, suureksi osaksi polttohakkeen muodossa. Hakkeen käytön yhteydessä on ilmennyt homepölyongelmia. Kosteaa orgaaninen aines, kuten varastoitu hake, tarjoaa suotuisat

kasvuolosuhteet erilaisille pieneliöille. Haketta käsiteltäessä siinä olevat pieneliöt leviävät työntekijän hengitysvyöhykkeelle. Keuhkoissa itiöt saattavat aiheuttaa allergisen reaktion, josta voi olla seurauksena homepölykeuhkosairaus.

Homepölykeuhkosairautta on tavattu Suomessa maanviljelijäväestön lisäksi mm. puunjalostusteollisuuden työntekijöissä (Haahtela et al. 1979, Terho et al. 1979). Tällöin altistuslähteenä on ollut homeinen puutavara, ja altistuminen on tapahtunut joko sahatun puutavaran tasauksen tai puun haketuksen yhteydessä. Ruotsissa sahatyöntekijöillä esiintyvä homepölykeuhkosairaus tunnetaan nimellä tasaamotauti (Bäck ja Göransson 1977).

Suomessa ei ole kuvattu yhtään homepölykeuhkotapausta, joka olisi aiheutunut polttihakkeen käsittelystä. Ruotsissa on tavattu ainakin yksi tapaus (Lundgren ja Rosenhall 1979).

Tämä tutkimus muodostaa osan Metsäntutkimuslaitoksen PERA-projektiin kuuluvasta kuivumis- ja säilymistutkimuksesta. Osatutkimuksen tarkoituksena on tutkia homepölyaltistusta hakkeen käsittelyn yhteydessä ja sitä kautta löytää mahdollisimman käyttökelpoinen hakkeen hankinta- ja varastointimenetelmä pientalouksissa, lähinnä maataloilla käytettävälle polttohakkeelle.

Työn tarkoituksena oli selvittää home- ja sädesieni-itiöiden määrää ja siihen vaikuttavia tekijöitä erilaisia hakkeita käsiteltäessä. Työssä tarkastellaan lähinnä seu-

raavien muuttujien vaikutusta home- ja sädesieni-itiöiden määrään ja laatuun:

- hakkeen tekoajankohta
- varastointiaika
- puun lehtien mukanaolo
- rasikuivatus
- hakkeen palakoko
- hakkeen kosteus
- ympäristö-olot

2. KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1. Sienet ja sädesienet

Sienet ovat lehtivihreättömiä, toisenvaraisia organismeja ja sen vuoksi esiintyvät aina joko saprofyytteinä tai parasiitteina (Jensen ja Salisbury 1972).

Sienirihmasto muodostuu solujen jakaantuessa yhteen suuntaan ja se saattaa haaroittua. Useimmat sienet kasvattavat sopivalla kasvualustalla silminnähtävän sienirihmaston eli myseelin. Myseelin koko ei ole rajoitettu, vaan se pystyy kasvamaan niin kauan kuin ravintoa on jäljellä. Osa sienistä, hiivat, kasvavat yksisoluisina. Solun jakaantuessa uusi solu irtoaa, eikä jää rihmaston jatkoksi kuten muilla sienillä.

Sienten luokittelu on monimutkaista, mutta eräiden luokittelujen mukaan varsinaiset sienet, Eumycophyta, jaetaan

neljään luokkaan suvullisen lisääntymisen ja muiden ominaisuuksien perusteella (Jensen ja Salisbury 1972).

1. Phycomycetes eli leväsienet

- väliseinätön rihmasto
- lisääntyvät suvuttomasti ns. sporangiosporien avulla, tunnetaan myös suvullista lisääntymistä
- esimerkkisukuja Rhizopus ja Mucor

2. Ascomycetes eli kotelosienet

- rihmasto väliseinälinen
- suvullinen lisääntyminen koteloiitiöiden eli askosporien avulla
- esimerkkisukuja Aspergillus ja Penicillium

3. Basidiomycetes eli kantasienet

- rihmasto väliseinälinen
- suvullinen lisääntyminen kantaitiöiden eli basidiosporien avulla
- esimerkiksi useimmat makrosienet

4. Fungi Imperfekti eli epätäydelliset sienet

- rihmasto väliseinälinen
- suvullista lisääntymistä ei tunneta
- esimerkkisukuja Cladosporium ja Trichoderma

Sädesienet luokitellaan kuuluviksi yleensä gram-positiivisiin bakteereihin (Sykes ja Skinner 1973). Niillä on rihmasto kuten sienillä, mutta se on huomattavasti ohuempi. Itiöt ovat pieniä, joten ne pystyvät tunkeutumaan hengitysteissä keuhkorakkuloihin saakka ja aiheuttamaan siellä allergisen reaktion, homepölykeuhkon (Sykes ja Skinner 1973).

Sädesieniin kuuluu mm. seuraavia sukuja: Actinomyces, Streptomyces, Thermoactinomyces ja Micropolyspora.

Sienet ja sädesienet tunnistetaan mm. kasvuston ulkonäön ja mikroskooppisen morfologian perusteella. Itiöiden muoto ja itiöitä kannattavat rakenteet ovat tärkeitä mikroskooppisessa tunnistamisessa.

Mikrobien kasvulle on olemassa minimi-, maksimi- ja optimilämpötila. Kasvulämpötilan mukaan mikrobit voidaan jakaa termofiilisiin, termotolerantteihin ja mesofiilisiin lajeihin. Cooney ja Emerson (1964) ovat luokitelleet termofiiliset sienet sellaisiksi, joiden kasvulle maksimilämpötila on 50°C tai enemmän, ja minimilämpötila 20°C. Termotoleranttiset sienet kasvavat 50°C:ssa, mutta myös lämpötilassa, joka on alle 20°C. Suurelle osalle sieniä optimilämpötila on kuitenkin 20 - 30°C, vaikka ne kasvavatkin lämpötilavälillä 5 - 40°C. Tällaisia sieniä kutsutaan mesofiiliseksi sieniksi. Tätä samaa lämpötilarajojen mukaista luokitusta voidaan käyttää myös sädesieniin.

Homeita esiintyy yleisesti kosteissa paikoissa, mutta ne tulevat toimeen myös suhteellisen kuivassa. Kasvuoptimi kosteuden suhteen vaihtelee eri sienisuvuilla. Lundström (1980) on esittänyt puussa kasvavien homesienten kasvuvaatimuksista kosteuden suhteen seuraavaa:

- Itiöt voivat itää korkeassa ilmankosteudessa. Vapaa vesi ei ole välttämätön.
- Suhteellinen kosteus 20 - 150 % on sopiva kasvuun ja itiömuodostukseen. Ovat enemmän riippuvaisia ilman

kosteudesta kuin puun suhteellisesta kosteudesta.

- Itiöt kestävät kuivia kausia.

Homeet sietävät myös hyvin erilaisia pH-arvoja, mutta yleensä lievästi hapan ympäristö on edullisin. pH-rajat ovat 2 - 9. Homesienet ovat aerobisia, joten ne tarvitsevat kasvaakseen happea.

Hakevarastossa sienten kasvua rajoittavat lähinnä kosteus ja lämpötila.

2.2. Homepölykeuhko

Homepölykeuhko on allergisiin alveoliitteihin kuuluva sairaus. Allergeeneina ovat tavallisesti erilaiset orgaaniset pölyt, tavallisesti homepöly. Kirjallisuudessa on kuvattu useita erinimisiä alveoliitteja, joiden ainoana erona on erilainen allergeeni (Pepys 1969).

Meidän oloissamme yleisin ja tällä hetkellä tärkein alveoliitti on maanviljelijäväestössä esiintyvä homepölykeuhko, joka aiheutuu homeisen materiaalin, kuten heinän tai viljan käsittelystä. Vuonna 1981 Suomessa rekisteröitiin kaikkiaan 89 allergista alveoliittitapausta. Näistä suurin osa ilmeni maatalouden piirissä (Vaaranen ja Vasama 1982). Muita Suomessa kuvattuja alveoliitteja on aiheutunut huonosti puhdistetussa ilmankostuttimessa kasvavasta homeesta (Assendelf et al. 1977), homeisen sahatavaran käsittelystä (Terho et al. 1979) ja homeisen puutavaran hakettamisesta (Haahtela et al. 1979). Linnunpölykeuhkon nimellä tunne-

taan linnuista ja niiden ulosteista irtoavan pölyn aiheuttama alveoliitti (Stenius et al. 1975).

Tyypillisimmät taudin oireet ovat hengenahdistus, kuume ja yskä (Terho 1978 ja Alanko 1968). Homepölykeuhkossa voidaan erottaa kaksi eri tyyppiä, hiipien alkava taudinkuva sekä akuutti muoto. Akuutissa muodossa oireet ilmenevät tyypillisimmillään 4 - 8 tunnin kuluttua altistuksesta. Suomen oloissa tavallisin sairauden muoto on kuitenkin ilman selviä akuutteja kohtauksia alkava hiipivä muoto (Terho 1978). Tällöin tavallisimmat oireet ovat vähitellen pahe-neva hengenahdistus, kuiva yskä ja laihtuminen (Terho 1981). Hidas alku saattaa liittyä vähäisempään, mutta pitkään jat-kuneeseen allergeenialtistukseen (Pepys 1969). Hiipivä muoto on vaikeammin tunnistettavissa ja se saattaa edetä pitkälle ennen kuin se diagnosoidaan.

Diagnosointi tehdään yleensä kliinisen taudinkuvan, röntgenkuvan, keuhkofunktiotutkimuksen ja serologisten löydösten perusteella (Terho 1981). Serologisten tutkimusten perusteella voidaan varmistaa ainoastaan altistuminen tietylle mikro-organismille. Seerumista löytyvät antigeenispezifiset vasta-aineet ovat merkinä altistumisesta tutkitulle antigeenille ja ovat apuna identifioitaessa taudin aiheuttajia.

Englantilaisten tutkimusten mukaan maanviljelijäväestön homepölykeuhkon aiheuttajia ovat termofiiliset sädesienet Micropolyspora faeni ja Thermoactinomyces vulgaris (Pepys 1969). Eräässä kotimaisessa tutkimuksessa todettiin, että

suomalaiset maanviljelijät ovat useimmin altistuneet Thermoactinomyces vulgarikselle ja Aspergillus glaucus-ryhmän homesienille kuin Micropolyspora faenille (Terho 1979).

Edelliset tulokset on saatu maataloudessa ilmenneiden homepölykeuhkotapausten perusteella, ja altistuminen on tapahtunut lähinnä heinän ja viljan käsittelyn yhteydessä. Hakkeen mikrobifloora on erilainen kuin heinän tai viljan, joten hakkeen käyttäjien altistuminen ja antigeenispesifisten vasta-aineiden laatu ja määrä saattavat olla erilaiset kuin edellä on mainittu.

2.3. Home- ja sädesienet maataloudessa

Maataloudessa homepölyaltistuksen kannalta ongelmallisia materiaaleja ovat heinä, vilja, oljet (kuivikkeet), AIV-rehu ja joillakin tiloilla myös polttohake. Pitoisuuksia on määritetty Andersen-keräimellä, ja pölyisimmiksi työvaiheiksi on todettu heinän käsittely ja viljan jauhatus (Kotimaa et al. 1978, Puhakka 1978).

Kuopion ympäristön maataloilla on tehty tutkimus, jossa vertailtiin itiötiheyksiä eri tiloilla. "Homepölykeuhkotiloilta" mitattiin ilman itiötiheyksiä $1 - 10 (10^6 \times m^{-3})$ ja verrokkituloilta, joissa homepölykeuhkotapauksia ei oltu todettu $0,01-1 (10^6 \times m^{-3})$ (Kotimaa 1982, suullinen tiedonanto).

Tavallisimmat sienisuvut ovat Aspergillus, Cladosporium

ja Penicillium. Termofiilisistä sädesienistä yleisin on Thermoactinomyces vulgaris (Kotimaa et al. 1981).

Kokonaisitiötiheyksien on todettu olevan selvästi suurempia heinävarastoissa kuin navetoissa. Erilaisista heinän varastointimuodoista on todettu, että paaliheinän käsittelyn yhteydessä irtoaa ilmaan enemmän itiöitä kuin irtoheinän käsittelyn yhteydessä (Kotimaa et al. 1981). Heinän ammoniakikäsittelyllä on pystytty alentamaan ilmaan irtoavien itiöiden määrää (Puhakka 1978). Tutkimusaineisto tosin oli hyvin pieni, joten tulosta voidaan pitää ainoastaan suuntaa antavana.

Eräässä tutkimuksessa on verrattu viljan eri varastointimuotoja. Tutkimuksen kohteena olivat viljan kylmäilmakuivaus, lämminilmakuivaus, propionihappokäsittely ja murskaus (Mustonen 1981). Ilman itiötiheydet vaihtelivat viljan siirron yhteydessä välillä 0,1 - 1 ($10^6 \times m^{-3}$). Tavallimmat suvut olivat Cladosporium ja Penicillium. Propionihapolla säilöttyä viljaa käsiteltäessä todettiin itiöaltistus kaikkein pienimmäksi. Kylmäilmakuivattua viljaa käsiteltäessä esiintyi enemmän termofiilisiä sädesieniä ja termotoleranttisia sieniä kuin muilla menetelmillä säilöttyä viljaa käsiteltäessä (Mustonen 1981).

AIV-rehun käsittelyn yhteydessä on mitattu ilman itiötiheyksiä 0,01-0,1 ($10^6 \times m^{-3}$). Ylivoimaisesti yleisin sienilaji on Aspergillus umbrosus. Tämä laji on yleinen myös heinässä (Mustonen et al. 1981).

2.4. Home- ja sädesienet sahoilla

Sahojen ilmasta on mitattu Andersen-keräimellä itiötiheyksiä 0,001 - 0,1 ($10^6 \times m^{-3}$) riippuen mittauspaikasta ja sahasta (Kotimaa 1982, suullinen tiedonanto). Yleisimmät lajit ovat termotoleranttiset sienet Aspergillus fumigatus, Paecilomyces variotii ja Rhizopus rhizopodiformis (Lundström ja Henningson 1981).

Lehtipuinen lauta näyttää homehtuvan pahemmin kuin havupuinen. Kuusi puolestaan säilyy paremmin kuin mänty (Lundström ja Henningson 1981).

Kuivaamon olosuhteet suosivat termofiilisten ja termotoleranttisten sienten kasvua ja lisääntymistä. On esitetty, että sahattu puutavara infektoituisi sahauksen jälkeen tapahtuvan varastoinnin aikana (Lundström ja Henningson 1981). Lisäksi infektoitumista tapahtuu myös sahattavan puun alkuvarastoinnissa. On todettu, että vedessä varastoidusta puusta sahattu lautatavara homehtuu pahemmin kuin maalla varastoidusta puusta sahattu. Lautatavaran taaplauksessa käytetyt rimat ovat usein mikro-organismien saastuttamia ja aiheuttavat kuivatuksen aikana puutavaran saastumista (Lundström 1981).

Homeitiöiden synnyn estämisessä olisi tärkeää estää infektoituminen. Kuivaamon poistoilma ei saa joutua kosketuksiin varastoitavan puumateriaalin kanssa, ja kuivatuksen tulisi tapahtua mahdollisimman nopeasti sahauksen jälkeen (Lundström 1981). Tuuletuskanavat ja kuivaamon katto ja

seinät tulee asianmukaisesti ja riittävän usein puhdistaa. Rimojen välityksellä tapahtuvaa saastumista voidaan pienentää käsittelemällä rimat fungisidiseillä kemikaaleilla (Trämykologi).

2.5. Suuret puunjalostustehtaiden hakevarastot

Ulkomailla on tehty useita tutkimuksia varastohakkeen sisältämistä mikro-organismeista, mutta tällöin tutkimuksen kohteena ovat olleet lähinnä mikrobitoiminnasta aiheutuvat taloudelliset menetykset, kuten massan saantotappiot, lujuuden aleneminen ja värin muutokset, eivätkä niinkään työntekijän terveydelliset ongelmat (Bergman ja Nilsson 1979, Tansey 1971, Smith ja Ofosu-Asiedu 1972, Greaves 1975).

Yhteistä näille tutkimuksille on ollut suuri hakevaraston koko. Eräässä ruotsalaisessa tutkimuksessa varaston koko oli pohjalla 24 x 27 m, päällä 12 x 15 m, ja korkeus 6 m. Varastointi kesti 4 kuukautta marraskuun alusta maaliskuun alkuun. Tutkimuksessa hakekasan lämpötila nousi nopeasti aina 65 - 69°C saakka. Varaston keskellä lämpötila pysyi korkeana varastoinnin loppuun saakka. Reunoilla lämpötila alkoi hitaasti laskea parin varastointikuukauden jälkeen (Bergman ja Nilsson 1979).

Samantyyppisiä lämpötilan vaihteluja on todettu myös muissa tutkimuksissa (Smith ja Ofosu-Asiedu 1972, Greaves 1975). Lämpötilan nousun oletetaan aiheutuvan puun elävien solujen toiminnasta, puussa tapahtuvista kemiallisista reaktioista ja sienten ja bakteerien mikrobiologisesta aktivi-

teetista (Smith ja Ofosu-Asiedu 1972). Lämpötilan kohotessa hakevaraston keskellä mesofiiliset sienet korvautuvat nopeasti termotoleranttisilla ja termofiilillä sienillä (Smith ja Ofosu-Asiedu 1972). Tämä on sikäli tärkeää, että useimmat tunnetut tai epäillyt homepölykeuhkoa aiheuttavat mikrobit ovat termofiilisiä tai termotoleranttisia (Pepys 1969, Terho 1981).

Myös heinäpaaleissa on todettu vastaavanlaisia lämpötilan vaihteluja. Alunperin heinissä oleva mesofiilinen mikrobifloora korvautuu lämpötilan kohotessa termofiilillä lajeilla siten, että mesofiiliset lajit joko kuolevat tai jäävät henkiin ainoastaan paalin ulommissa osissa. Termofiiliset sienet säilyttävät elinkykynsä 55 - 60°C:een saakka. Tätäkin korkeammassa lämpötiloissa termofiiliset sädesienet ja bakteerit tulevat vallitseviksi mikrobeiksi. Huipun jälkeen lämpötila alkaa jälleen laskea ja termofiiliset sienet saavat vallan. Kun lämpötila laskee alle 35 °C:een, korkean lämpötilan kestäneet mesofiilisten sienten itiöt alkavat muodostaa kasvustoja (Hudson 1972). Vastaava mikrobiflooran vaihtelu tapahtuneen lämpötilavaihtelujen myötä myös hakkeessa.

Useimmissa tutkimuksissa sieniä on tutkittu inkuboidulla hakepaloja halutulla elatusalustalla halutussa lämpötilassa. Menetelmä soveltuu hyvin sienten kvalitatiiviseen määrittämiseen ja tutkimuskohteiden keskinäiseen vertailuun, mutta se ei tietenkään anna tietoa haketta käsiteltäessä ilmassa olevista itiötiheyksistä. Tavallisimmin löydettyjä lajeja ja sukuja ovat Aspergillus fumigatus, Allescheria

terrestris, Humicola lanuginosa ja Penicillium spp. (Bergman ja Nilsson 1979).

Smithin ja Ofosu-Asiedun (1972) mukaan sieni-itiöiden määrään ja laatuun vaikuttaa eniten lämpötila. Sen sijaan hakkeen pH ja kosteus eivät korreloi alustalla kasvavien sienten määrään. Kyseisessä tutkimuksessa sienten kokonaismäärä lisääntyi 4 - 6:n ensimmäisen varastointikuukauden ajan, minkä jälkeen kasvu hidastui. Itiömäärän kasvun taantumisen epäiltiin johtuneen ulkoilman alhaisesta lämpötilasta, joka ei vähentänyt sieni-itiöiden määrää mutta esti niiden lisääntymisen.

2.6. Polttohakkeen varastointitutkimukset

Aivan viime vuosina on pohjoismaissa tehty useita polttohakkeen varastointitutkimuksia. Tarkoituksena on ollut tutkia hakkeessa varastoinnin aikana tapahtuvia muutoksia kuten kosteutta, lämpöarvoa ja sienikasvun määrää sekä näihin vaikuttavia tekijöitä.

Vuosina 1979 - 1980 ruotsalaiset tutkijat mittasivat pientalouksien hakevarastoista sieni-itiöpitoisuuksia ja pitoisuuksiin vaikuttavia tekijöitä (Thörnqvist ja Lundström 1979). Tutkimuksessa käytettiin petrimaljamenetelmää, joka soveltuu hyvin kvalitatiiviseen määrittelyyn ja tutkimuskohteiden keskinäiseen vertailuun mutta ei anna tietoa absoluuttisista itiömääristä. Tutkimuksessa löydettyjä sienilajeja ja -sukuja olivat mm. Aspergillus fumigatus, Aspergillus niger, Paecilomyces variotii, Penicillium spp.

ja Trichoderma spp. Samoja lajeja on löydetty myös myöhemmissä pohjoismaisissa tutkimuksissa.

Varastointiajan jatkuessa sieni-itiöiden määrä lisääntyi aina puoleen vuoteen saakka, minkä jälkeen tapahtui pientä vähenemistä. Suuri lehtien, neulasten ja oksien osuus hakkeessa lisäsi sieni-itiöiden määrää. Erillinen, hyvin tuuletettu varasto oli parempi kuin ahdas, tunkkainen kellarivarasto (Thörnqvist ja Lundström 1979). Kuivan hakkeen käsittely aiheutti yllättäen suuremman ilman itiöitiheyden kuin kostea. Tämän oletettiin johtuvan hakkeen liian hitaasta kuivumisesta ja pitemmästä varastointiajasta. Hakkeen kuivuessa hitaasti ehtii mikrobiologinen prosessi alkaa ja kuivuneesta hakkeesta irtoavat itiöt paremmin kuin kosteasta (Strömquist et al. 1980). Lisäksi on todettu, että vaikka sienet viihtyvätkin kosteassa, voi itse kasvualusta olla hyvinkin kuiva; riittää kunhan ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on tarpeeksi korkea (Thörnqvist ja Lundström 1979).

Eräässä rakokeräimellä (= slit sampler) tehdyssä tutkimuksessa (Strömquist et al. 1980) mitattiin hakevaraston ilmasta itiöitiheyksiä 6-2000 ($10^6 \times m^{-3}$) riippuen siitä liikuteltiinko haketta vai ei. Samassa tutkimuksessa todettiin myös, että rasikuivatuksella ei pystytä alentamaan homepölyaltistusta merkittävästi. Keinokuivatuksen tulisi tapahtua hyvin nopeasti ollakseen tehokas.

Viime vuosina Ruotsissa on tehty tutkimuksia, joissa sieni-itiöiden määrää on tutkittu ravistelemalla haketta ve-

dessä ja tekemällä jatkotutkimukset saadusta suspensiosta. Laskukammion menetelmällä pystytään määrittämään sekä elävien että kuolleiden itiöiden määrä. Maljahajoitusmenetelmällä saadaan selville elävien itiöiden määrä (Carlström et al. 1981).

Maljahajoitus- ja laskukammion menetelmillä tutkittiin hakevaraston katon ja ilmavan alustan merkitystä sienten kasvulle. Tutkittavien varastojen koko oli 55 m^3 ja varastointiaika 7 kuukautta. Varastoinnin jälkeen elävien itiöiden pitoisuus oli n. $10^7 - 10^{11} \text{ (kg}^{-1} \text{ kuivapainoa)}$ ja kokonaisitiöpitoisuus n. $10^{10} - 10^{12} \text{ (kg}^{-1} \text{ kuivapainoa)}$. Elävien itiöiden osuus kasvoi varastoinnin aikana. Itiömäärät vaihtelivat suuresti varaston eri osissa. Tämän oletettiin johtuvan lämpötila- ja kosteusvaihteluista. Alhaisin itiöpitoisuus todettiin kuivassa ja kuumassa hakevaraston osassa ja korkeimmat pitoisuudet viileässä ja kuivassa osassa. Tutkimuksessa ei tosin määritetty termofiliisiä sukuja, mikä saattaa vaikuttaa tulokseen. Katolla ja ilmavalla alustalla ei todettu olevan merkittävää vaikutusta itiömääriin (Thörnqvist 1982).

Ruotsissa on tutkittu myös keinokuivatuksen vaikutusta hakkeen kuivumiseen ja syntyvään sieniflooraan. Tutkittavan varaston koko oli 50 m^3 . Kuivatus tapahtui aurinkopaneelien avulla lämmitetyllä ilmalla 8 vrk:n ajan. Tämän jälkeen haketta varastoitiin ulkovarastossa 15 viikon ajan. Sienten määrittäminen tapahtui laskukammio- ja maljahajoitusmenetelmillä. Elävien itiöiden määrä oli varastoinnin jälkeen $1 \times 10^8 \text{ (kg}^{-1} \text{ kuivapainoa)}$ ja kokonaispitoisuus $2 \times 10^{10} \text{ (kg}^{-1}$

kuivapainoa) (Thörnqvist 1982).

Suomessa Työtehoseura on tutkinut maatilojen polttohakkeen käsittelyn aiheuttamaa homepölyaltistusta (Turkkila ja Knuth 1982). Näissä tutkimuksissa on todettu mm. palahakkeen säilyvän paremmin kuin hienohakkeen.

3. MATERIAALIT JA MENETELMÄT

3.1. Näytteenottoaikat ja näytteenottojen ajankohdat

Työ tehtiin hakkeen varastointitutkimuksen yhteydessä. Varastoitava puu oli pääasiallisesti leppää; tosin Ylihärmässä ja Hyrylässä jouduttiin käyttämään lisänä myös muita lehtipuulajeja. Koepaikkakuntina olivat Joroinen, Ylihärämä, Pyhtää, Hyrylä ja Janakkala. Ensimmäiset haketukset tehtiin toukokuussa 1981 ja viimeiset kontit purettiin tammikuussa 1982. Tarkemmat ajankohdat näkyvät taulukosta 1.

Haketta varastoitiin harvarakenteisissa lautakonteissa, jotka oli sijoitettu avoimelle paikalle pölkkyjen päälle siten, että tuuletus tapahtui myös alakautta. Kontin koko oli n. $4,8 \times 2,3 \times 1,32 \text{ m} = 15 \text{ m}^3$ (kuvat 1 ja 2). Rimaväli oli hienohakkeella 10 mm ja palahakkeella 20 mm. Palahakkeen pituus oli noin 50-60 mm ja hienohakkeen n. 20 mm (kuvat 3 ja 4).

Hake-erät ja niiden koodimerkinnot olivat seuraavat:

kev-kaa-hie = keväällä kaatotuoreesta puusta haketettu hienohake

kev-kaa-pa = keväällä kaatotuoreesta puusta haketettu
palahake

ke-kaa-hie = kesällä kaatotuoreesta puusta haketettu
hienohake

ke-kaa-pa = kesällä kaatotuoreesta puusta haketettu pa-
lahake

ke-ra-hie = kesällä rasikuivatusta puusta haketettu
hienohake

ke-ra-pa = kesällä rasikuivasta puusta haketettu pala-
hake

syk-ra-hie = syksyllä rasikuivasta puusta haketettu
hienohake

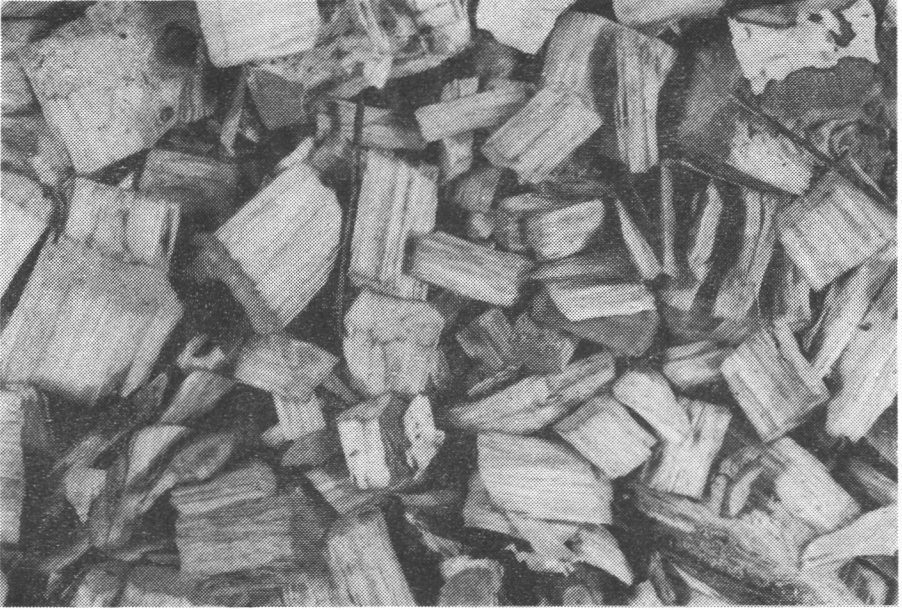
syk-ra-pa = syksyllä rasikuivasta puusta haketettu pa-
lahake

Tutkimuksen aikana mitattiin seuraavia seikkoja: kont-
tien paino aluksi viikoittain ja painon tasaannuttua har-
vemmin, hakkeen kosteus varastoinnin alussa ja lopussa, ul-
koilman kosteus ja lämpötila jatkuvana mittauksena ja sie-
ni-itiöiden määrä ja laatu varastoinnin alussa, 7 - 11
viikon kuluttua varastoinnin aloittamisesta ja varastoinnin
lopussa. Noin 1 kg painoinen hakenäyte homepölyn määrittystä
varten otettiin varastokontin keskeltä n. 40 cm:n syvyy-
deltä. Näytteenottoajankohdat näkyvät taulukosta 1.

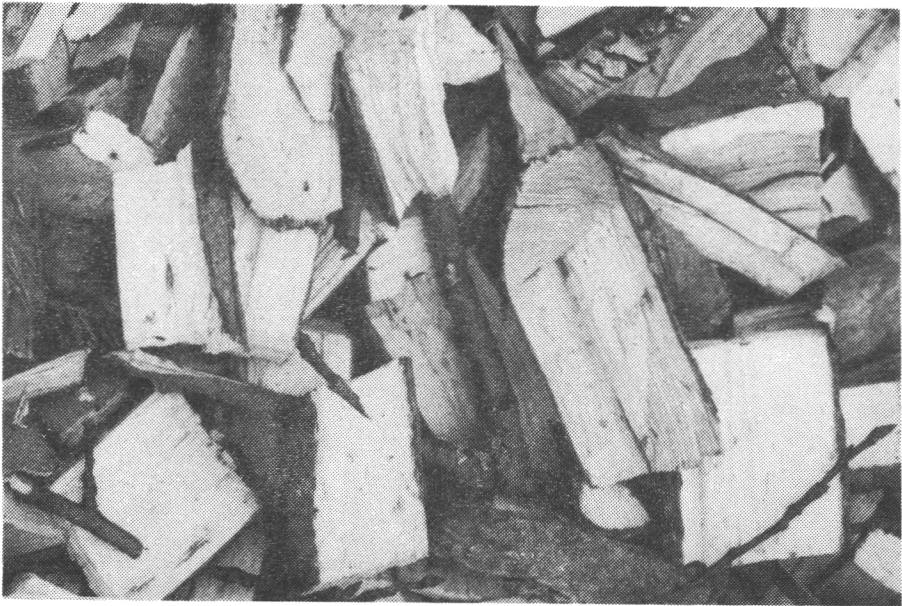
Taulukko 1. Hakkeiden varastointiajankohdat ja hakkeiden varastointiajat näyttötohetkellä viikkoina varastoinnin alusta lukien

Hake- erä	Varastointi- ajankohta	Varastointiaika, jonka jälkeen välinäyte otettu	Varastointiaika kokeen lopussa
kev-kaa-hie	Touko - Syys	8 - 11	15 - 17
kev-kaa-pa	Touko - Syys	8 - 11	15 - 17
ke-kaa-hie	Heinä - Tammi	7 - 8	22 - 28
ke-kaa-pa	Heinä - Tammi	7 - 8	22 - 28
ke-ra-hie	Heinä - Tammi	7 - 8	22 - 28
ke-ra-pa	Heinä - Tammi	7 - 8	22 - 28
syk-ra-hie	Syys - Joul		14 - 15
syk-ra-pa	Syys - Joul		14 - 15





Kuva 3. Hienohaketta Hyrylässä.



Kuva 4. Palahaketta Hyrylässä.

3.2. Sieni-itiöiden määrittäminen

Bioaerosolien keräystä varten on olemassa useita erilaisia menetelmiä (Henningson 1981 ja Gregory 1973). Tässä työssä oli tarkoituksena verrata erilaisten hakemateriaalien käsittelystä aiheutuvaa homepölyaltistusta. Tämän takia päädyttiin menetelmiin, jotka mittaavat itiöpitoisuutta ilmasta eivätkä hakkeesta. On näet todennäköistä, että hakeen kosteus vaikuttaa itiöiden irtoamiseen ja siten myös altistukseen.

Itiöiden keräys tapahtui Andersen-keräimellä (malli 10-800, Andersen 2000 inc., Georgia, USA) ja Casella-keräimellä (Casella, Cascade Impactor, malli v. 220, ITT Hertfordshire, England). Itiöiden keräys perustuu molemmissa laitteissa impaktioon, eli ilmavirran osuessa keräyspinnalle eivät hiukkaset ilmaa raskaampina pysty seuraamaan mukana, vaan takertuvat keräysmateriaaliin. Lisäksi molemmat laitteet jakavat ilmassa olevat hiukkaset eri luokkiin koon mukaan.

Ilman itiöitiheydet määritettiin laboratoriossa ravistelemalla kilon painoista hake-erää 75:n litran pussissa. Näytteet otettiin pussin suulta n. 50 cm:n päästä hakkeesta. Tämän menetelmän etuina ovat mittaolosuhteiden helpompi vakiointi kuin työympäristössä, mahdollisuus ottaa välinäytteitä ja menetelmän halpuus. Tosin se antaa vain suhteellisen hyvän arvion työntekijän todellisesta altistumisesta.

3.2.1. Andersen-keräin

Andersen-keräin koostuu keräinosasta ja pumpusta (Andersen 1958). Keräin puolestaan koostuu kuudesta eri vaiheesta, joiden läpi imetään pumpun avulla ilmaa vakionopeudella 28 l/minuutti. Jokaisessa vaiheessa on 400-reikäinen siivilälevy, jonka reikäkoko pienenee vaiheittain alaspäin mentäessä. Näin laite jaottelee hiukkaset kuuteen eri kokoluokkaan siten, että suuremmat jäävät ylempiin vaiheisiin ja pienemmät alempiin (kuva 5). Siivilälevyjen alle asetetaan petrimaljat elatusalustoineen. Keräyksen jälkeen elatusalustat inkuboidaan halutussa lämpötilassa. Inkuboinnin jälkeen kasvaneet pesäkkeet lasketaan ja tunnistetaan makroskooppisen ja mikroskooppisen rakenteen perusteella. Tuloksena saadaan itiötiheys ilmakeuutiometriä kohden. Käytetyt elatusalustat ja kasvulämpötilat näkyvät taulukosta 2.

Taulukko 2. Käytetyt elatusalustat ja kasvatuslämpötilat ja -ajat kullekin mikro-organismiryhmälle

Itiölaji	Kasvatusalusta	Kasvatuslämpötila (°C)	Kasvatusaika (vrk)
Termofiiliset sädesienet ja homeet	1/2-vahva ravintoagar	55	2 - 3
Termotolerantit homeet	Hagen (mallasuute pohjainen)	40	4 - 5
Mesofiiliset homeet	"	20	7 - 10
A. glaucus ryhmän homeet	NaCl- mallasuuteagar	20	7 - 10

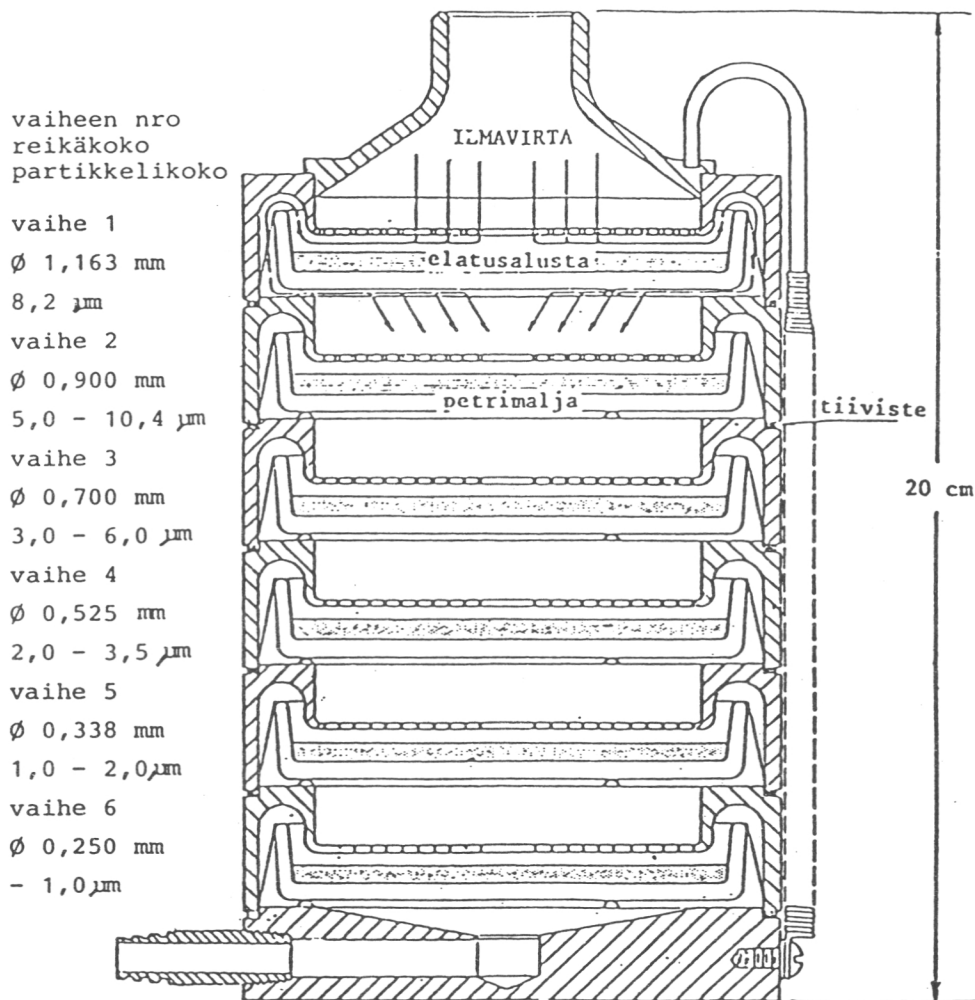
Keräysaika tuoreen hakkeen käsittelyn aikana oli 1 mi-

nuutti. Myöhemmissä mittauksissa keräysaika vaihteli välillä 1 - 10 sekunttia. Lyhyillä keräysajoilla käytettiin apuna kellolaitteella varustettua magneettiventtiiliä.

Suuren imunopeutensa takia laite kerää tehokkaasti myös pienikokoisia itiöitä. Tämä on sikäli tärkeää, että useimmat epäillyt tai todetut homepölykehukoa aiheuttavat itiöt ovat pienikokoisia.

Itiön havaitseminen perustuu siihen, että itiöstä kasvaa pesäke käytetyllä alustalla ja käytetyssä inkubointilämpötilassa. Havaituksi tulevat siis ainoastaan elävät ja tietyissä olosuhteissa kasvavat itiöt. Toisaalta tästä samasta seikasta johtuen tunnistamisessa voidaan käyttää hyväksi sekä makroskooppisia että mikroskooppisia rakenteita.

Jatkossa puhuttaessa elävistä itiöistä tarkoitetaan niillä Andersen-keräimellä mitattuja itiöitiheyksiä.

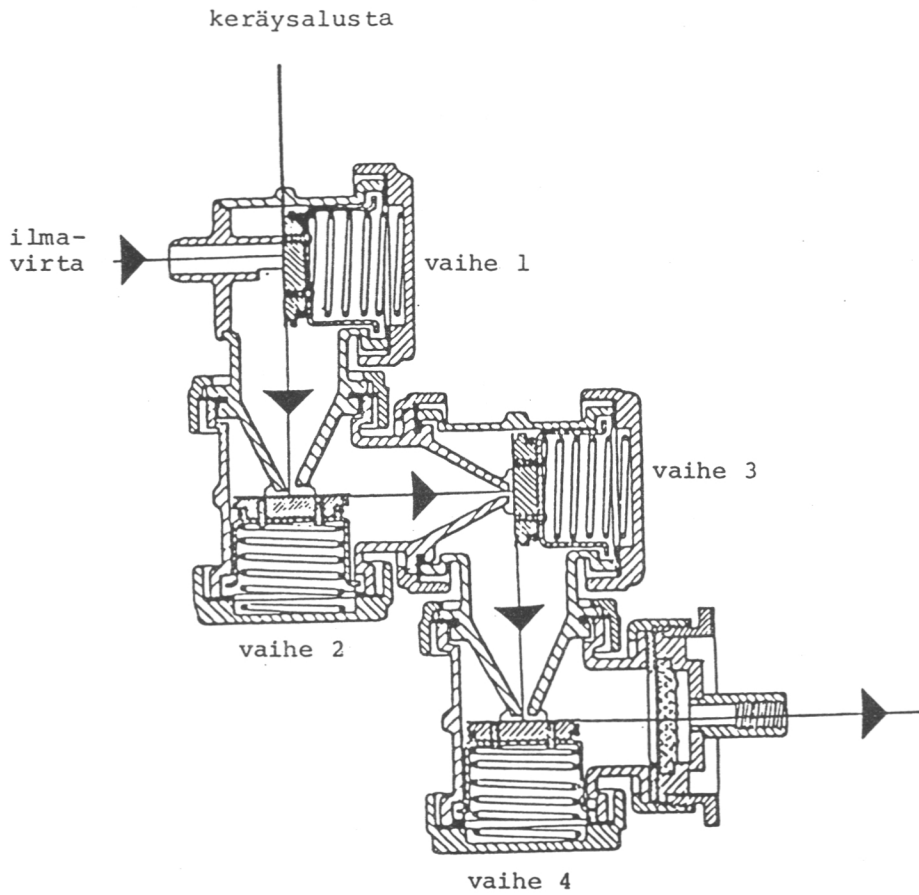


Kuva 5. Andersen-keräin (kasvatuksen mahdollistava monivaiheinen imukeräin).

3.2.2. Casella-keräin

Casella-keräin täydentää hyvin Andersen-keräimellä saatuja tuloksia, sillä sen avulla pystytään määrittämään paitsi elävät myös kuolleet itiöt (kuva 6). Laite jaottelee tuloilmassa olevat hiukkaset neljään eri kokoluokkaan. Itiöt impaktoituvat tahmeiksi käsitellyille teipinpalloille. Keräyksen jälkeen palat kiinnitetään objektilasille, jota tarkastellaan valomikroskooppisesti. Tuloksena saadaan ilman itiötiheys ilmakeuutiometriä kohden (Cascade impactor).

Menetelmä on ensisijaisesti kvantitatiivinen, sillä sukujen määrittäminen on hyvin hankalaa pelkän itiön ulkonäön perusteella. Tarkastelussa käytettiin 400-kertaista suurennusta. Tässä työssä laskettiin pelkästään sieni-itiöiden määrä, sillä bakteerien ja sädesienten koko on niin pieni, ettei niiden määrää pystytä varmuudella määrittämään.



Kuva 6. Casella-keräin (suoraan mikroskopointialustalle keräävä monivaiheinen imukeräin).

3.3. Tilastolliset menetelmät

Eri sieniryhmien ja kokonaisitiötiheyden välisiä suhteita testattiin laskemalla lineaariset regressiot kokonaisitiötiheyksistä ja eri ryhmien itiötiheyksistä laskettujen logaritmien välille. Lasketuista kulmakertoimista voidaan tehdä päätelmiä mikrobiflooran muutoksista kokonaisitiötiheyden funktiona. Regressioanalyysiä käytettiin myös hyväksi Andersen-keräimen ja Casella-keräimen välisessä vertailussa. Lineaarista korrelaatiokerrointa r testattiin taulukko M:n avulla (Mäkinen 1974).

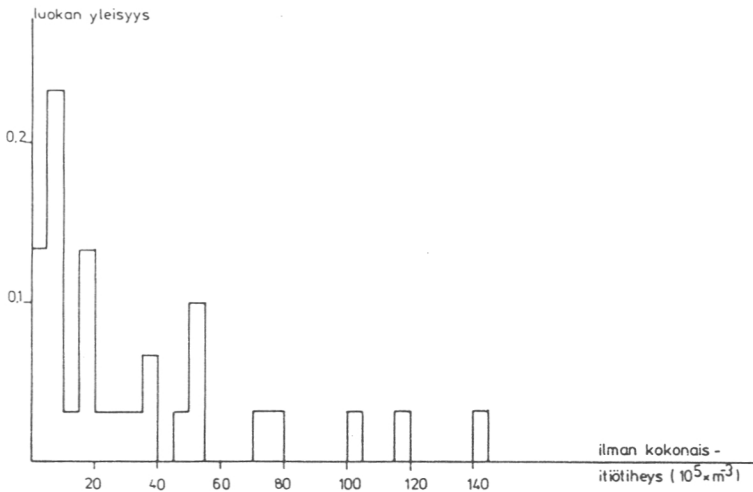
Eri hakelaaduista käsittelyn aikana ilmaan irtoavien sieni-itiötiheyksien välisiä eroja testattiin Studentin t -testillä. Testi suoritettiin logaritmuunnetuille luvuille riippumattomana ja 1-suuntaisena (Mäkinen 1974).

Regressio- ja korrelaatioanalyysi sekä t -testi vaativat normaalisti jakautunutta aineistoa. Kuitenkaan 7 - 11 ja 14 - 28 viikon varastoinnin jälkeen mitatut itiötiheydet eivät näytä normaalisti jakaantuneilta (kuvat 7a, 8a, 9a ja 10a), vaan muistuttavat paremminkin Poisson-jakaumaa (Mäkinen 1974). Logaritmuunnoksella saatiin jakaumat läheneämään normaalia (kuvat 7b, 8b, 9b ja 10b), ja tämän perusteella päädyttiin regressio- ja korrelaatioanalyysin sekä t -testin käyttöön.

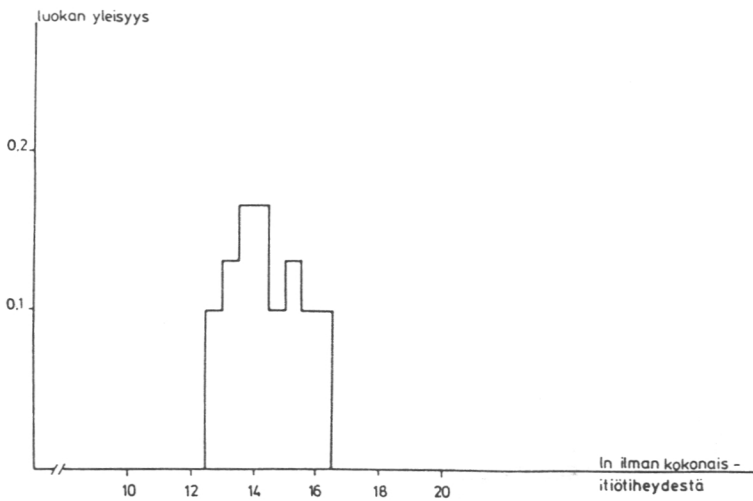
4. TULOKSET

4.1. Mitattujen itiötiheyksien jakaumat

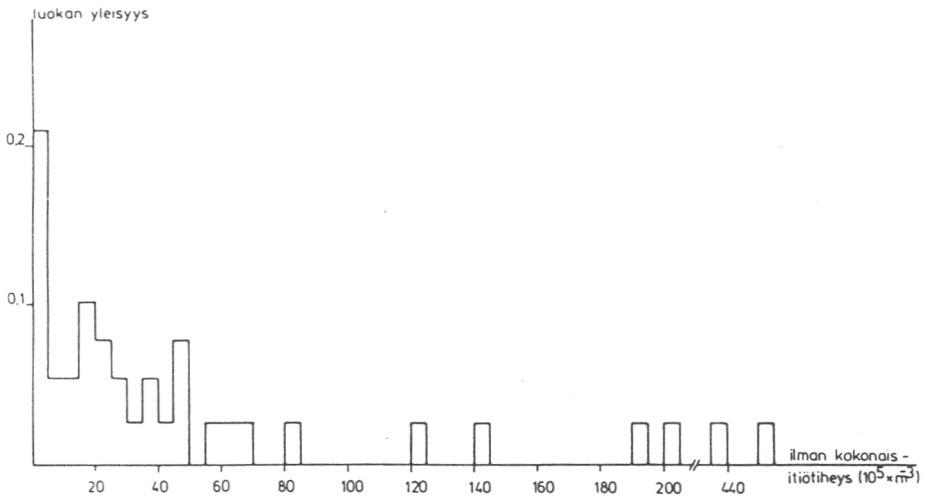
Kaikkien 7 - 11 viikon varastoinnin jälkeen mitattujen itiötiheyksien jakaumat näkyvät kuvista 7a ja 9a. Kuvista 8a ja 10a näkyvät 14 - 28 viikon varastoinnin jälkeen saatujen tulosten jakaumat. Jakaumat muistuttavat lähinnä Poisson-jakaumaa. Logaritmuunnoksella on jakauma saatu lähenemään normaalia (kuvat 7b, 8b, 9b ja 10b).



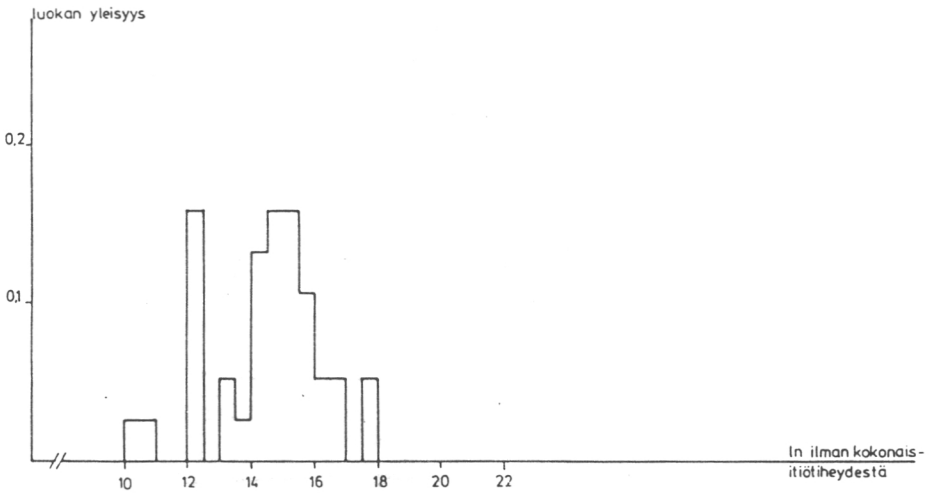
Kuva 7a. 7-11 viikon varastoinnin jälkeen Andersen-keräimellä mitattujen ilman itiötiheyksien jakauma.



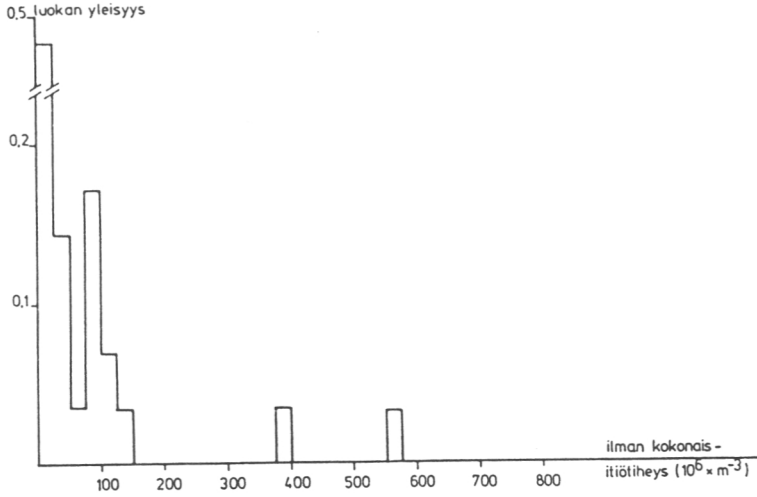
Kuva 7b. 7-11 viikon varastoinnin jälkeen Andersen-keräimellä mitatuista ilman itiötiheyksistä lasketujen logaritmuunnosten jakauma.



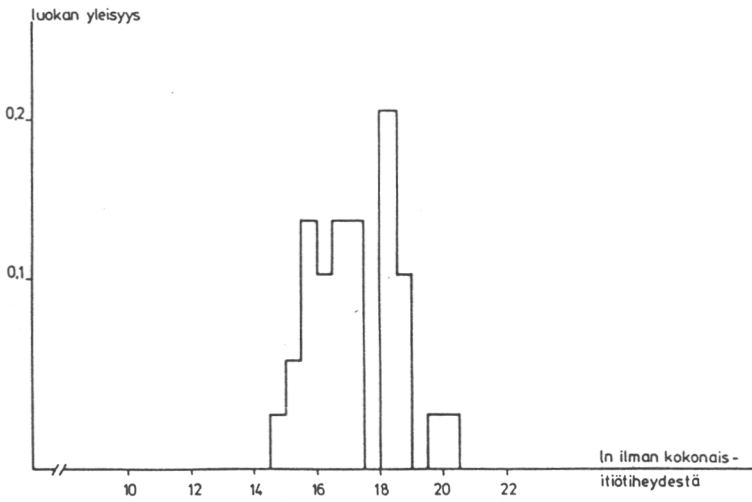
Kuva 8a. 14-28 viikon varastoinnin jälkeen Andersen-keräimellä mitattujen ilman itiötiheyksien jakauma.



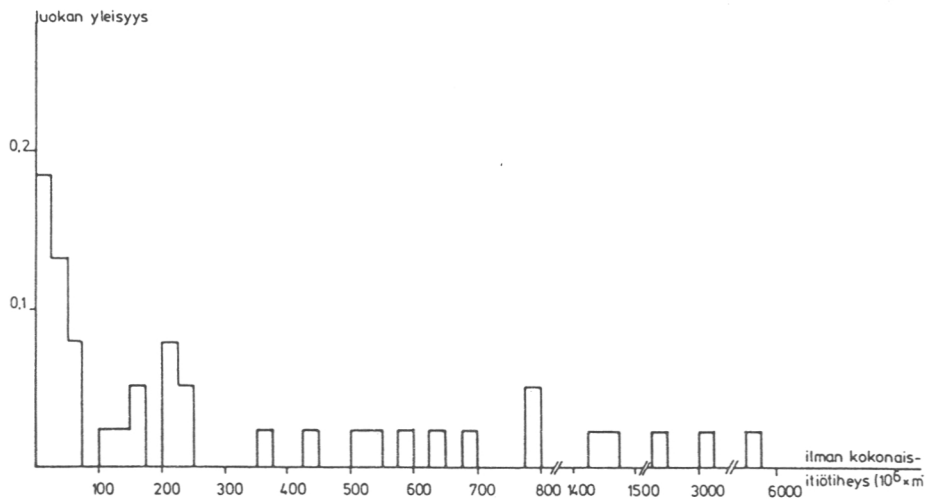
Kuva 8b. 14-28 viikon varastoinnin jälkeen Andersen-keräimellä mitatuista ilman itiötiheyksistä lasketujen logaritmimuunnosten jakauma.



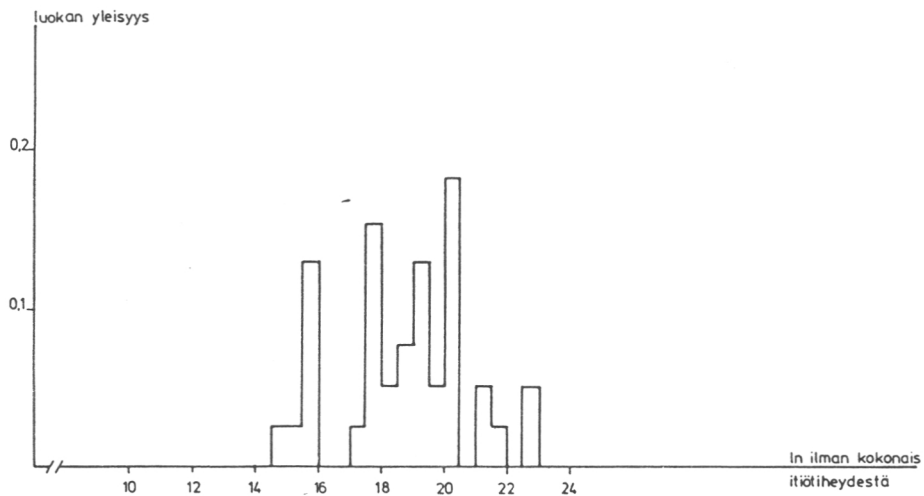
Kuva 9a. 7-11 viikon varastoinnin jälkeen Casella-keräimellä mitattujen ilman itiötiheyksien jakauma.



Kuva 9b. 7-11 viikon varastoinnin jälkeen Casella-keräimellä mitatuista ilman itiötiheyksistä lasketujen logaritmuunnosten jakauma.



Kuva 10a. 14-28 viikon varastoinnin jälkeen Casella-keräimellä mitattujen ilman itiötiheyksien jakauma.



Kuva 10b. 14-28 viikon varastoinnin jälkeen Casella-keräimellä mitatuista ilman itiötiheyksistä lasketujen logaritmuunnosten jakauma.

4.2. Andersen-keräykset

4.2.1. Kokonaisitiötiheydet

Elävien itiöiden kokonaisitiötiheys oli tuoreessa hakkeessa noin $1000 \text{ (m}^{-3}\text{)}$. Varastoinnin alettua tiheydet nousivat voimakkaasti, ja 7-11 viikon varastoinnin jälkeen tutkituissa välinäytteissä eri hakelaatujen käsittelystä aiheutuvien itiötiheyksien keskiarvot vaihtelivat välillä $0,6 - 7 \text{ (} 10^6 \text{ x m}^{-3}\text{)}$. Varastoinnin lopussa 14-28 viikon varastoinnin jälkeen vastaava luku oli $0,7 - 15 \text{ (} 10^6 \text{ x m}^{-3}\text{)}$ (taulukot 3a ja 4a).

4.2.2. Termofiiliset sädesienet

Sädesienten tiheys tuoreessa hakkeessa oli hyvin pieni, noin $0 - 100 \text{ (m}^{-3}\text{)}$. 7-11 viikon varastoinnin jälkeen otetuissa välinäytteissä eri hakelaatujen käsittelystä aiheutuvien itiötiheyksien keskiarvot vaihtelivat välillä $0,006 - 1 \text{ (} 10^6 \text{ x m}^{-3}\text{)}$. Prosentuaaliset osuudet vaihtelivat välillä $1 - 17 \%$ kokonaisitiötiheydestä (taulukot 3a ja 3b). Varastoinnin lopussa 14-28 viikon varastoinnin jälkeen vastaavat luvut olivat $0,009 - 6 \text{ (} 10^6 \text{ x m}^{-3}\text{)}$ ja $1 - 40 \%$ (taulukot 4a ja 4b).

Yleisimmin tavattiin Streptomyces- sukuun kuuluvia sädesieniä (kuva 11).

4.2.3. Termofiiliset sienet

Termofiilisten sienten tiheys oli kokonaisuudessaan hyvin pieni, ja useimmista näytteistä niitä ei tavattu ollenkaan. Tuoreesta hakkeesta termofiilisiä sieniä ei löydetty yhtään. 7-11 viikon varastoinnin jälkeen otetuissa välinäytteissä eri hakelaatujen käsittelystä aiheutuvien itiötiheyksien keskiarvot vaihtelivat välillä 0,001 - 0,003 ($10^6 \times m^{-3}$). Prosentuaaliset osuudet kokonaisitiötiheydestä jäivät alle yhden (taulukot 3a ja 3b). Kokeen lopussa 14-28 viikon varastoinnin jälkeen vastaavat luvut olivat 0,001-0,1 ($10^6 \times m^{-3}$) ja 1-2 % (taulukot 4a ja 4b).

Yleisimmin tavattu termofiilinen sieni oli Humicola lanuginosa (kuva 12).

4.2.4. Termotoleranttiset sienet

Varastoinnin alussa termotoleranttisia sieniä ei tavattu kuin muutamissa näytteissä, ja silloinkin niiden tiheys oli alle sadan. 7-11 viikon varastoinnin jälkeen otetuissa välinäytteissä eri hakelaatujen käsittelystä aiheutuvien itiötiheyksien keskiarvot vaihtelivat välillä 0,3 - 3 ($10^6 \times m^{-3}$). Prosentuaaliset osuudet vaihtelivat välillä 42 - 59 % kokonaisitiötiheydestä (taulukot 3a ja 3b). Kokeen lopussa 14-28 viikon varastoinnin jälkeen vastaavat luvut olivat 0,2 - 5 ($10^6 \times m^{-3}$) ja 23 - 38 % (taulukot 4a ja 4b).

Yleisimmin tavattu termotoleranttinen sieni oli

Aspergillus fumigatus (kuva 13). Muita löydettyjä termoteranttisia sieniä olivat Penicillium spp., Rhizopus spp., Mucor spp. ja Humicola spp.

4.2.5. Mesofiiliset sienet

Tuoreessa hakkeessa mesofiilisten sienien tiheys vaihteli välillä 100 - 1000 (m^{-3}). 7-11 viikon varastoinnin jälkeen otetuissa välinäytteissä eri hakelaatujen käsitte-lystä aiheutuvien itiötiheyksien keskiarvot vaihtelivat välillä 0,3 - 3 ($10^6 \times m^{-3}$). Prosentuaaliset osuudet vaihtelivat välillä 30 - 57 % kokonaisitiötiheydestä (taulukot 3a ja 3b). Kokeen lopussa 14-28 viikon varastoinnin jälkeen vastaavat luvut olivat 0,5 - 5 ($10^6 \times m^{-3}$) ja 26 - 78 % (taulukot 4a ja 4b).

Yleisimmin tavattu mesofiilinen sieni oli Penicillium sukuun kuuluva (kuva 14). Muita tavallisia mesofiilisiä sieniä olivat Aspergillus niger, Aspergillus umbrosus, Trichoderma spp. (kuva 15), Rhizopus spp. (kuva 16), Mucor spp. ja Cladosporium spp. (kuva 17).

Taulukko 3a. Ilman itiötiheydet 7-11 viikon varastoinnin jälkeen otetuissa välinäytteissä₃ Andersen-keräimellä mitattuina ($10^3 \times m^{-3}$).
Luvut ovat viiden paikkakunnan keskiarvoja.

Hakelaatu	kev-kaa- hie	kev-kaa- pa	ke-kaa- hie	ke-kaa- pa	ke-ra- hie	ke-ra- pa
Termofiiliset sädesienet	6	10	235	591	1159	19
Termofiiliset sienet	1	-	1	1	3	3
Termotolerantitiset sienet	469	256	1726	3103	2905	1275
Mesofiiliset sienet	627	314	1743	1554	2655	1581
Yhteensä	1103	580	3705	5249	6722	2878

Taulukko 3b. Eri sieniryhmien prosentuaaliset osuudet 7-11 viikkoa varastoiduista hakkeista otetuissa näytteissä.

Hakelaatu	kev-kaa- hie	kev-kaa- pa	ke-kaa- hie	ke-kaa- pa	ke-ra- hie	ke-ra- pa
Termofiiliset sädesienet	1	2	6	11	17	1
Termofiiliset sienet	0	0	0	0	0	0
Termotolerantitiset sienet	42	44	47	59	43	44
Mesofiiliset sienet	57	54	47	30	40	55
Yhteensä	100	100	100	100	100	100

- = ei havaittu ollenkaan.

Taulukko 4a. Ilman itiötiheydet 14-28 viikkoa varastoiduista hakkeista otetuissa näytteissä Andersen-keräimellä mitattuina (103 x m⁻³). Luvut ovat hakkeissa 14 ja 24 neljän paikkakunnan ja muissa viiden paikkakunnan keskiarvoja.

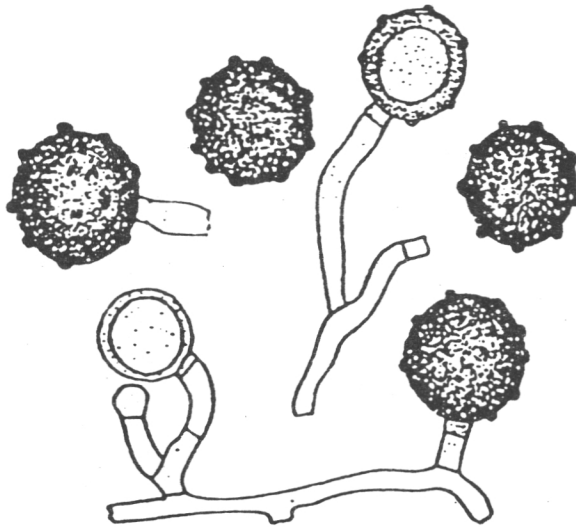
	kev-kaa- hie	kev-kaa- pa	ke-kaa- hie	ke-kaa- pa	ke-kaa- hie	ke-kaa- pa	ke-ra- hie	ke-ra- pa	syk-ra- hie	syk-ra- pa
Termofiiliset sädesienet	77	9	2012	5790	1630	320	1362			16
Termofiiliset sienet	1	1	12	28	56	8	105			1
Termotolerant- tiset sienet	1943	750	3170	5004	2169	313	2065			154
Mesofiiliset sienet	3096	1464	4543	3742	3486	2198	2238			504
Yhteensä	5117	2224	9737	14564	7341	2839	5770			675

Taulukko 4b. Eri sieniryhmien prosentuaaliset osuudet 14-28 viikkoa varastoiduista hakkeista otetuissa näytteissä.

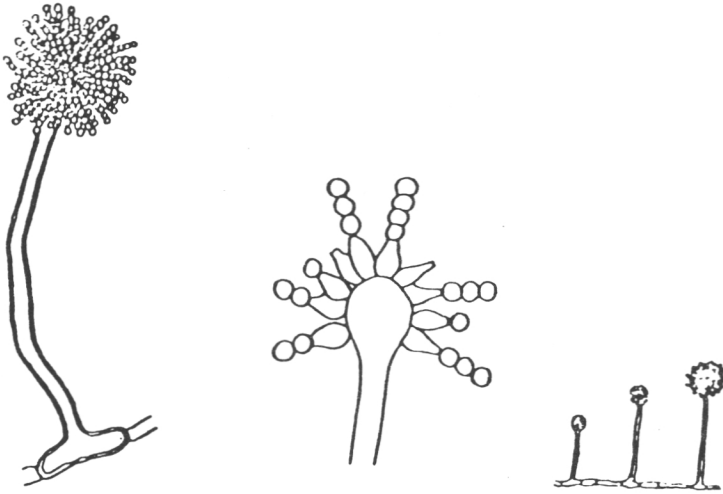
Hakelaatu	kev-kaa- hie	kev-kaa- pa	ke-kaa- hie	ke-kaa- pa	ke-kaa- hie	ke-ra- hie	ke-ra- pa	syk-ra- hie	syk-ra- pa
Termofiiliset sädesienet	2	1	20	40	22	11	23	2	
Termofiiliset sienet	0	0	0	0	1	0	2	0	
Termotolerant- tiset sienet	38	33	33	34	30	11	36	23	
Mesofiiliset sienet	60	66	47	26	47	78	39	75	
Yhteensä	100	100	100	100	100	100	100	100	100



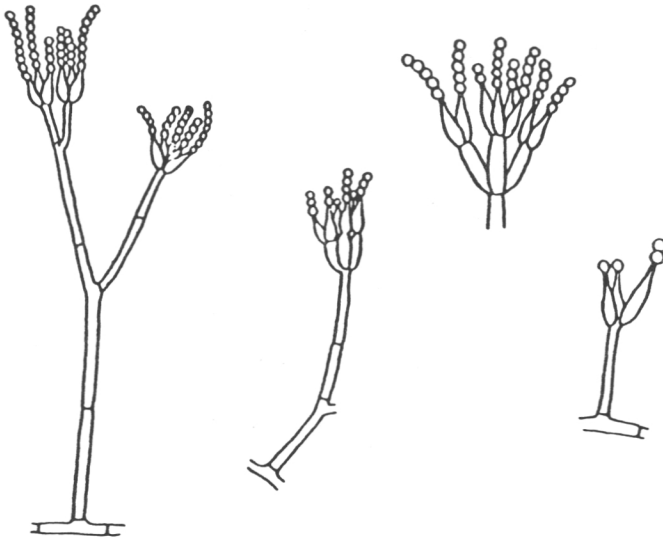
Kuva 11. Streptomyces-sukuun kuuluvan sädesienen mikroskooppirakenne Sykesin ja Skinnerin 1973 mukaan.



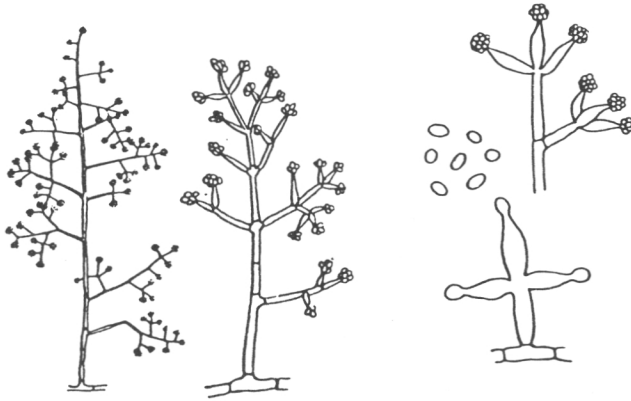
Kuva 12. Hemicola lanuginosa mikroskooppirakenne Ellisin 1971 mukaan.



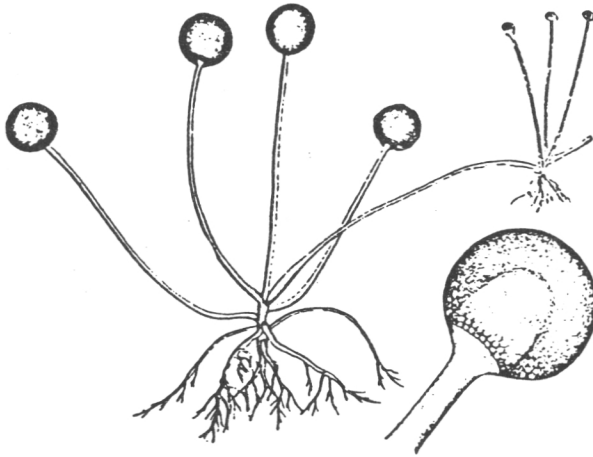
Kuva 13. Aspergillus-sukuun kuuluvan sienen mikroskooppirakenne Barnetin ja Hunterin mukaan.



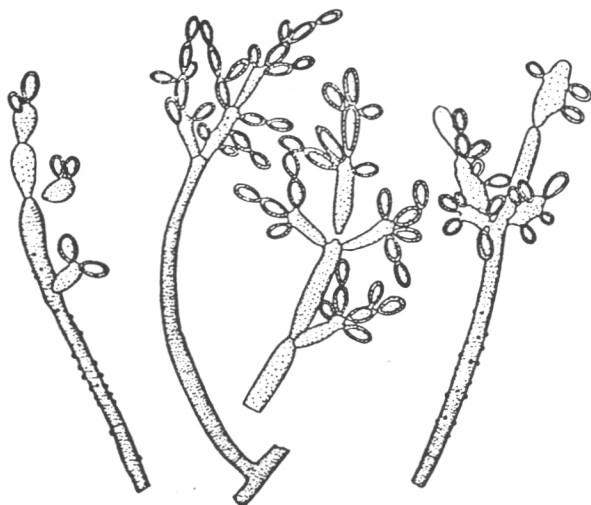
Kuva 14. Penicillium-sukuun kuuluvan sienen mikroskooppirakenne Barnetin ja Hunterin 1972 mukaan.



Kuva 15. Trichoderma-sukuun kuuluvan sienen mikroskooppirakenne Barnetin ja Hunterin 1972 mukaan.



Kuva 16. Rhizopus-sukuun kuuluvan sienen mikroskooppirakenne Fitzpatrickin 1966 mukaan.

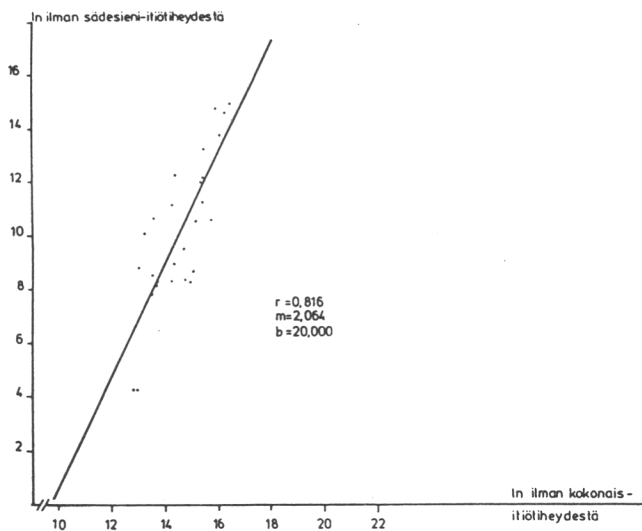


Kuva 17. Cladosporium-sukuun kuuluvan sienen mikroskooppirakenne Ellisin 1971 mukaan.

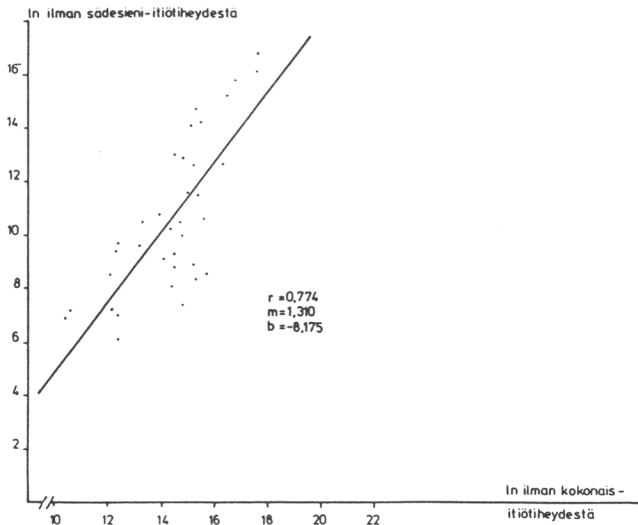
4.2.6. Mikrobiflooran vaihtelut varastoinnin aikana

Taulukoista 3b ja 4b näkyvät eri ryhmien prosentuaaliset osuudet eri hakelaaduissa. Tulosten perusteella näyttää siltä, että sädesienten ja mesofiilisten sienten osuus kasvaa varastointiajan jatkuessa, ja termotoleranttisten sienten osuus puolestaan pienenee.

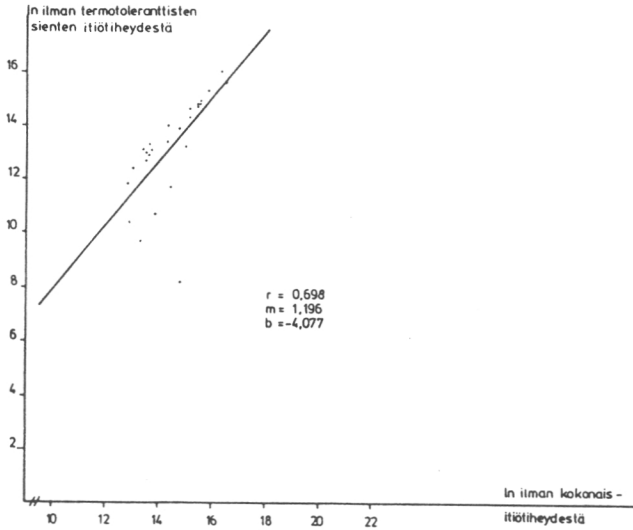
Pahasti homehtuneessa hakkeessa näyttää sädesienten ja termotoleranttisten sienten osuus olevan suuri ja mesofiilisten sienten osuus pieni. Kuvista 18 - 23 näkyvät kokonaisitiötiheyksistä ja eri ryhmien itiötiheyksistä lasketujen luonnollisten logaritmien suhteen piirretyt regressiosuorat. Jos eri ryhmien suhteellisissa itiötiheyksissä ei tapahtuisi muutoksia, olisi kulmakerroin tasan yksi. Termofiilisten sienten itiötiheyksien ja kokonaisitiötiheyden suhteen piirretyissä suorissa kulmakerroin on suurempi kuin yksi. Sama tulos havaitaan myös termotoleranttisten sienten itiötiheyksien ja kokonaisitiötiheyden välillä. Termofiilisten sädesienten ja termotoleranttisten sienten suhteellinen osuus on siis suuri kokonaisitiötiheyden ollessa suuri. Mesofiilisten sienten suhteellinen osuus puolestaan pienenee kokonaisitiötiheyden kasvaessa, sillä suoran kulmakerroin on alle yhden.



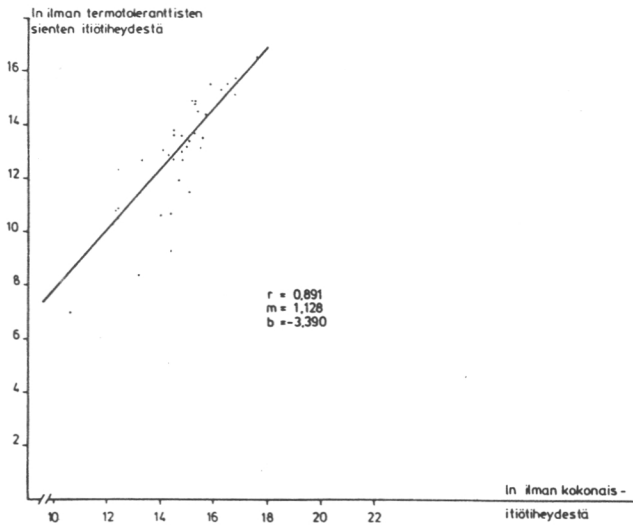
Kuva 18. 7-11 viikon varastoinnin jälkeen Andersen-keräimellä mitattujen termofiilisten sädesieni-itiötiheyksien logaritmit kokonaisitiötiheyksistä lasketujen logaritmien funktiona.



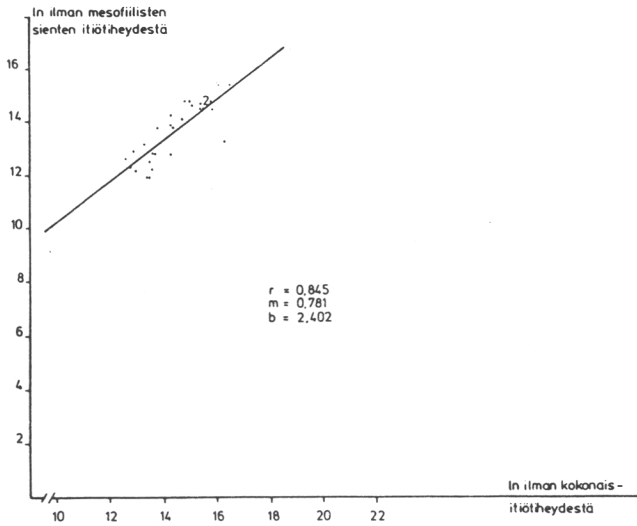
Kuva 19. 14-28 viikon varastoinnin jälkeen Andersen-keräimellä mitattujen termofiilisten sädesieni-itiötiheyksien logaritmit kokonaisitiötiheyksistä lasketujen logaritmien funktiona.



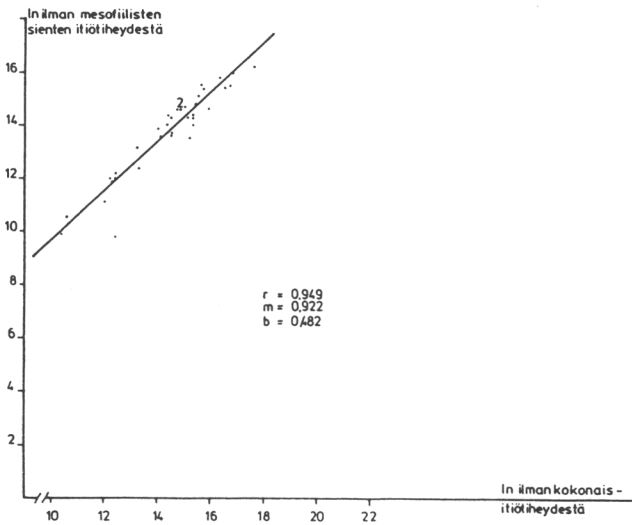
Kuva 20. 7-11 viikon varastoinnin jälkeen Andersen-keräimellä mitattujen termotoleranttisten sieni-itiötiheyksien logaritmit kokonaisitiötiheyksistä laskettujen logaritmien funktiona.



Kuva 21. 14-28 viikon varastoinnin jälkeen Andersen-keräimellä mitattujen termotoleranttisten sieni-itiötiheyksien logaritmit kokonaisitiötiheyksistä laskettujen logaritmien funktiona.



Kuva 22. 7-11 viikon varastoinnin jälkeen Andersen-keräimellä mitattujen mesofiilisten sieni-itiötiheyksien logaritmit kokonaisitiötiheyksistä laskettujen logaritmien funktiona.



Kuva 23. 14-28 viikon varastoinnin jälkeen Andersen-keräimellä mitattujen mesofiilisten sieni-itiötiheyksien logaritmit kokonaisitiötiheyksistä laskettujen logaritmien funktiona.

4.3. Casella-keräykset

Casella-keräimellä saadut tulokset olivat samansuuntaisia kuin Andersen-keräimellä saadut. Ilman kokonaisitiötiheys vaihteli välillä 22-1769 ($10^6 \times m^{-3}$) riippuen näytteenoton ajankohdasta ja hakelaadusta (taulukko 5).

Taulukko 5. Ilman kokonaisitiötiheys ($10^6 \times m^{-3}$) 7-11 viikkoa ja 14-28 viikkoa varastoiduista hakkeista otetuissa näytteissä Casella-keräimellä mitattuina. Luvut ovat syksyllä haketetuissa hakkeissa neljän paikkakunnan ja muissa viiden paikkakunnan keskiarvoja.

Hakkeen varastointi- aika	kev- kaa- hie	kev- kaa- pa	ke- kaa- hie	ke- kaa- pa	ke- ra- hie	ke- ra- pa	syk- ra- hie	syk- ra- pa
7-11 viikkoa	34	30	64	124	155	36		
14-28 viikkoa	307	206	629	1769	1017	288	512	22

4.4. Näytteenottomenetelmien vertailua

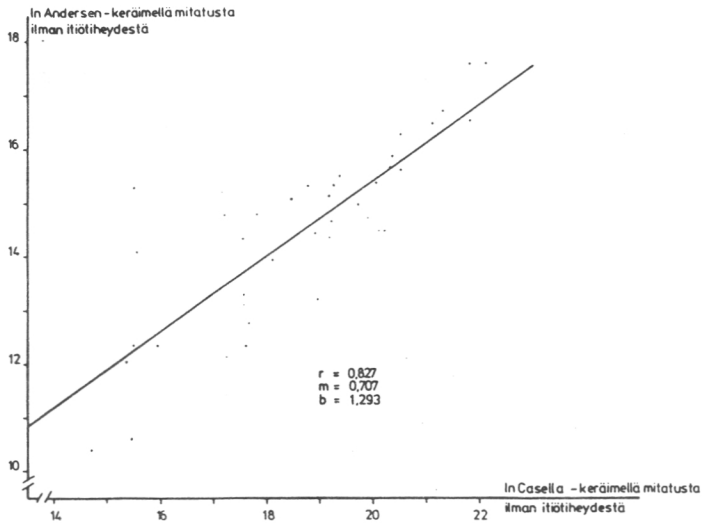
Casella-keräimellä saadut tiheydet olivat noin 10-200 kertaa suurempia kuin Andersen-keräimellä saadut kokonaisitiötiheydet. Tässä tarkastelussa Andersen-keräimellä saaduista kokonaisitiötiheyksistä on vähennetty sädesienten määrä, sillä Casella-keräimellä ei määritetty niitä. Taulukosta 6 näkyvät lasketut suhdeluvut. Sen perusteella voidaan sanoa, että kuolleiden itiöiden tiheys on kasvanut va-

rastoinnin aikana voimakkaammin kuin elävien itiöiden tiheys.

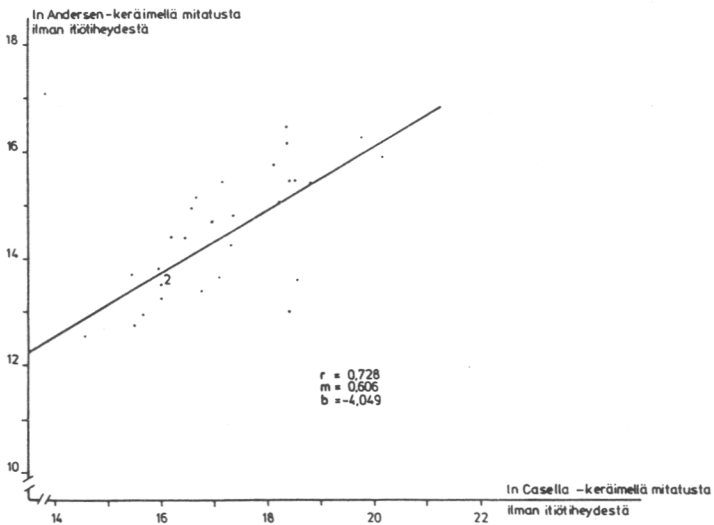
Taulukko 6. Casella-keräimellä ja Andersen-keräimellä saatujen kokonaisitiötiheyksien suhdeluvut. Luvut on laskettu syksyllä haketuissa hakkeissa neljän paikkakunnan ja muissa hakkeissa viiden paikkakunnan keskiarvotiheyksistä.

Hakkeen	kev-	kev-	ke-	ke-	ke-	ke-	syk-	syk-
varastointi-	kaa-	kaa-	kaa-	kaa-	ra-	ra-	ra-	ra-
aika	hie	pa	hie	pa	hie	pa	hie	pa
7-11 viikkoa	30	52	18	27	28	13		
14-28 viikkoa	61	102	81	202	178	114	116	33

Kuvista 24 ja 25 näkyvät Andersen-keräimellä mitatut itiötiheydet Casella-keräimellä mitattujen itiötiheyksien funktiona. Suorien yhtälöt ovat laskettu regressioanalyysin avulla. Korrelaatiokerroin on 7-11 viikon varastoinnin jälkeen otetuissa välinäytteissä 0,728 ja 14-28 viikkoa varastoiduista hakkeista otetuissa näytteissä 0,827. Menetelmien välillä on erittäin merkitsevä positiivinen korrelaatio.



Kuva 24. 7-11 viikon varastoinnin jälkeen Andersen-keräimellä mitattujen kokonaisitiötiheyksien logaritmit Casella-keräimellä mitattujen kokonaisitiötiheyksien logaritmien funktiona.



Kuva 25. 14-28 viikon varastoinnin jälkeen Andersen-keräimellä mitattujen kokonaisitiötiheyksien logaritmit Casella-keräimellä mitattujen kokonaisitiötiheyksien logaritmien funktiona.

4.5. Varastointiajan vaikutus

Sieni-itiöiden tiheys kasvoi voimakkaasti varastointiajan alussa. Kokeen loppuun mennessä 14-28 viikon varastoinnin jälkeen elävien itiöiden tiheyden kasvu hidastui ja erot eri hakelaatujen välillä tasaantuivat (kuvat 27, 28, 29, 30). Kuolleiden itiöiden tiheys kasvoi voimakkaammin kuin elävien (taulukko 6, kuva 26).

Varastointiajan jatkuessa elävien itiöiden tiheydet nousivat rasipuusta haketetuissa hakkeissa huomattavasti hitaammin kuin muissa hakkeissa, ja palahakkeessa kokonaisitiötiheys jopa hieman laski. Termotoleranttisten sieni-itiöiden tiheys väheni sekä pala- että hienohakkeessa.

4.6. Lehtien vaikutus

Kesällä tehtiin hieno- ja palahaketta sekä kaatotuo- reesta puusta että lehdessä olevasta puusta. Syksyllä varastoidut hakkeet tehtiin rasipuusta. Haketushetkellä lehdet olivat rasipuusta osittain jo kuivuneet ja varisseet.

Suuri lehtien osuus lisäsi sieni-itiöiden tiheyttä il- massa haketta käsiteltäessä. Yleensä keväällä lehdettömästä puusta tehdyt hakkeet olivat säilyneet paremmin kuin kesällä tehdyt hakkeet (kuvat 26, 27, 28, 29 ja 39). Tämä havait- tiin tilastollisesti merkitseväenä erityisesti tarkastelta- essa 7-11 viikon varastoinnin jälkeen Andersen-keräimellä mitattuja kokonaisitiötiheyksiä. Kokeen loppuun mennessä 14-28 viikon varastoinnin jälkeen erot tasaantuivat (tau-

lukot 5 ja 6). On myös muistettava, että kokeen lopussa keväällä tehtyjen hakkeiden varastointiaika oli lyhyempi kuin kesällä tehtyjen hakkeiden.

4.7. Rasikuivatuksen vaikutus

Rasikuivatuksella pystytään alentamaan puun kosteuspiitoisuus 45-55 %:sta ennen haketusta 35-40 %:iin. Alentuneesta kosteuspiitoisuudesta johtuen voisi olettaa, että sienitiöiden tiheys pienenesi. Pientä alenemista pystyttiinkin havaitsemaan verrattaessa kesällä rasipuusta tehtyjä hakkeita samaan aikaan kaatotuoreesta puusta tehtyihin hakkeisiin varsinkin kokeen lopussa. Kesällä tehtyjen hakkeiden keskinäinen järjestys vaihteli varastointiajan ja sieniryhmän mukaan, mutta monessa ryhmässä varsinkin 7-11 viikon varastoinnin jälkeen havaittiin seuraava järjestys pahiten homehtuneesta lähtien: 1) kesällä rasipuusta tehty hienohake 2) kesällä kaatotuoreesta puusta tehty palahake 3) kesällä kaatotuoreesta puusta tehty hienohake 4) kesällä rasipuusta tehty palahake. Kokeen lopussa 14-28 viikon varastoinnin jälkeen kaatotuoreesta puusta tehdyt hakkeet aiheuttivat suuremman homepölyaltistuksen kuin rasipuusta tehdyt hakkeet. Tämä havaittiin kaikissa muissa sieniryhmissä, paitsi Casella-keräimellä mitatuissa kokonaisitiötiheyksissä (kuvat 26, 27, 28, 29 ja 30). Tilastollisesti merkitseviä eroja pystyttiin havaitsemaan kesällä kaatotuoreesta puusta ja rasikuivatusta puusta tehtyjen hakkeiden välillä vain muutamissa tapauksissa (taulukot 5 ja 6).

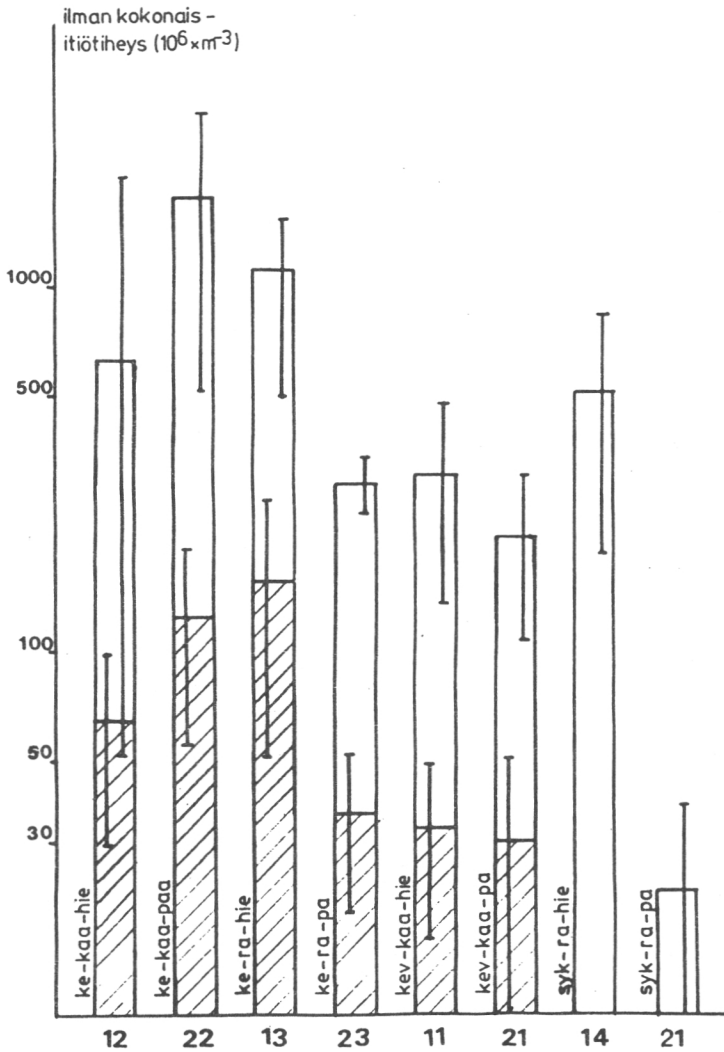
Myös syksyllä varastoidut hakkeet tehtiin rasipuusta.

Näyttäisi siltä, että syksyllä rasipuusta tehdyt hakkeet ovat säilyneet paremmin kuin keväällä ja kesällä tehdyt. Kokeen lopussa 14-28 viikon varastoinnin jälkeen syksyllä tehty palahake oli säilynyt muiden sieniryhmien paitsi termofiilisten sienten osalta paremmin kuin keväällä tai kesällä tehdyt hakkeet, ja tämä havaittiin useimmissa tapauksissa myös tilastollisesti merkitsevänä (taulukot 5 ja 6). Syksyllä tehdyn hienohakkeen käsittely aiheutti huomattavasti suuremman homepölyaltistuksen kuin vastaavan palahakkeen käsittely (kuvat 26, 27, 28, 29 ja 30). Syksyllä tehtyjen hakkeiden varastointiaika oli kokeen lopussa 14-15 viikkoa ja kesällä tehtyjen hakkeiden 22-28 viikkoa. Jos oletetaan, että itiöiden tiheys kasvaa varastointiajan jatkuessa voidaan syksyllä tehtyjen hakkeiden hyvä säilyvyys selittää lyhyemmällä varastointiajalla. Verrattaessa keväällä tai kesällä tehdyistä hakkeista 7-11 viikon varastoinnin jälkeen ja syksyllä tehdyistä hakkeista kokeen lopussa mitattuja itiötiheyksiä havaitaan, että syksyllä tehty palahake oli säilynyt paremmin kuin keväällä tai kesällä tehdyt hakkeet useimmissa sieniryhmissä (kuvat 26, 27, 28, 29 ja 30).

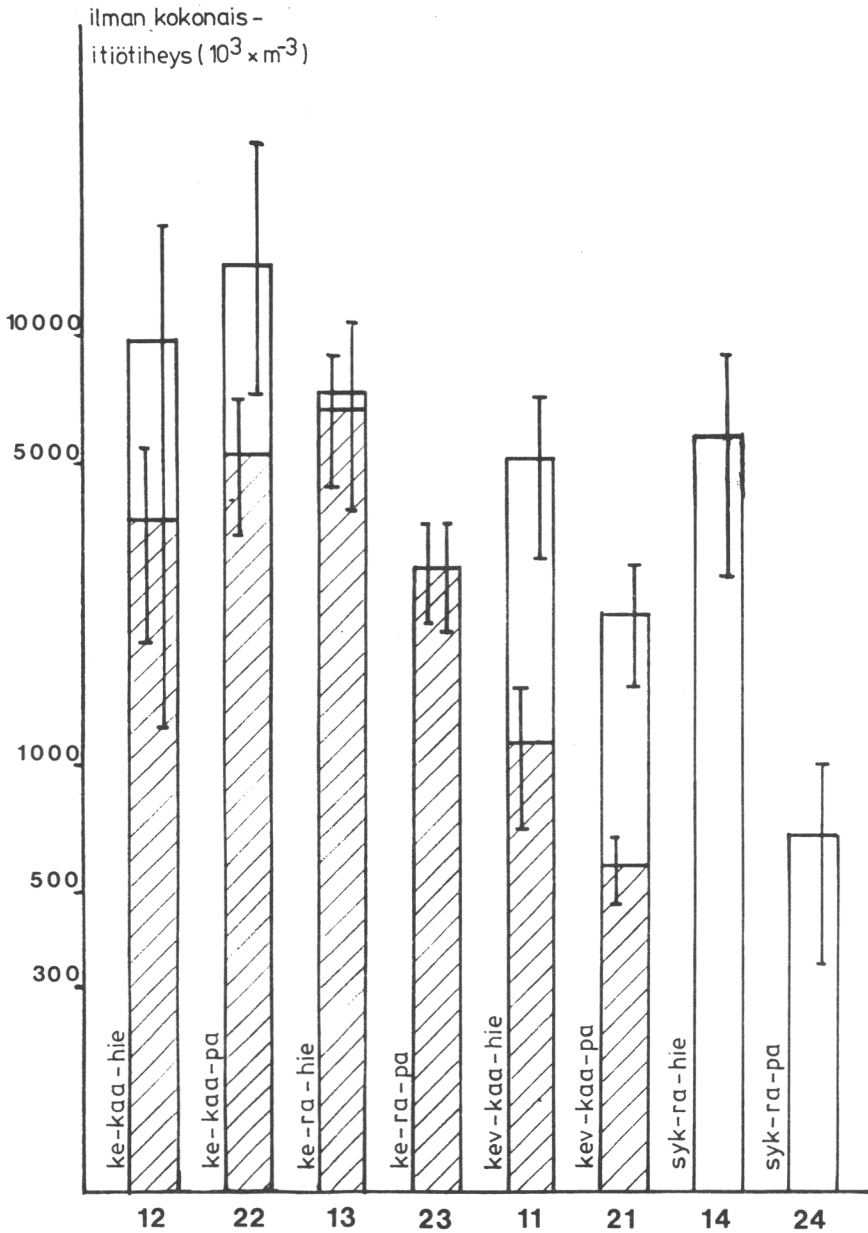
4.8. Palakoon vaikutus

Yleensä palahake oli säilynyt paremmin kuin hienohake, joskaan erot eivät olleet kovin suuria. Tarkasteltaessa kesällä kaatotuoreesta puusta tehtyjä hakkeita havaitaan, että hienohake olikin säilynyt paremmin kuin palahake kaikkien muiden sieniryhmien paitsi mesofiilisten sienten osalta (kuvat 26, 27, 28, 29 ja 30). Tilastollisesti merkitseviä

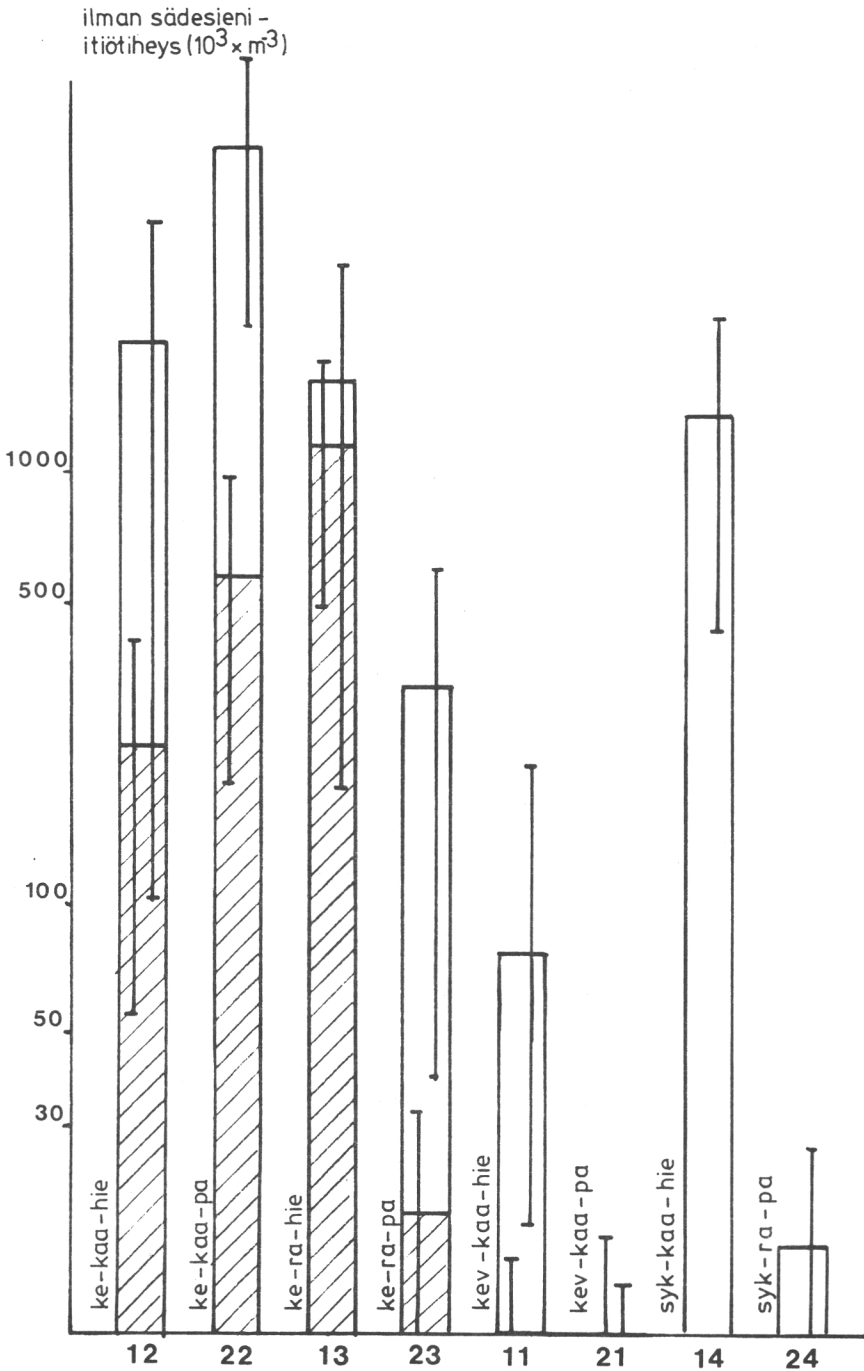
eroja havaittiin pala- ja hienohakkeiden välillä vain muutamissa tapauksissa (taulukot 5 ja 6). Yleensä palahake oli säilynyt paremmin kuin hienohake.



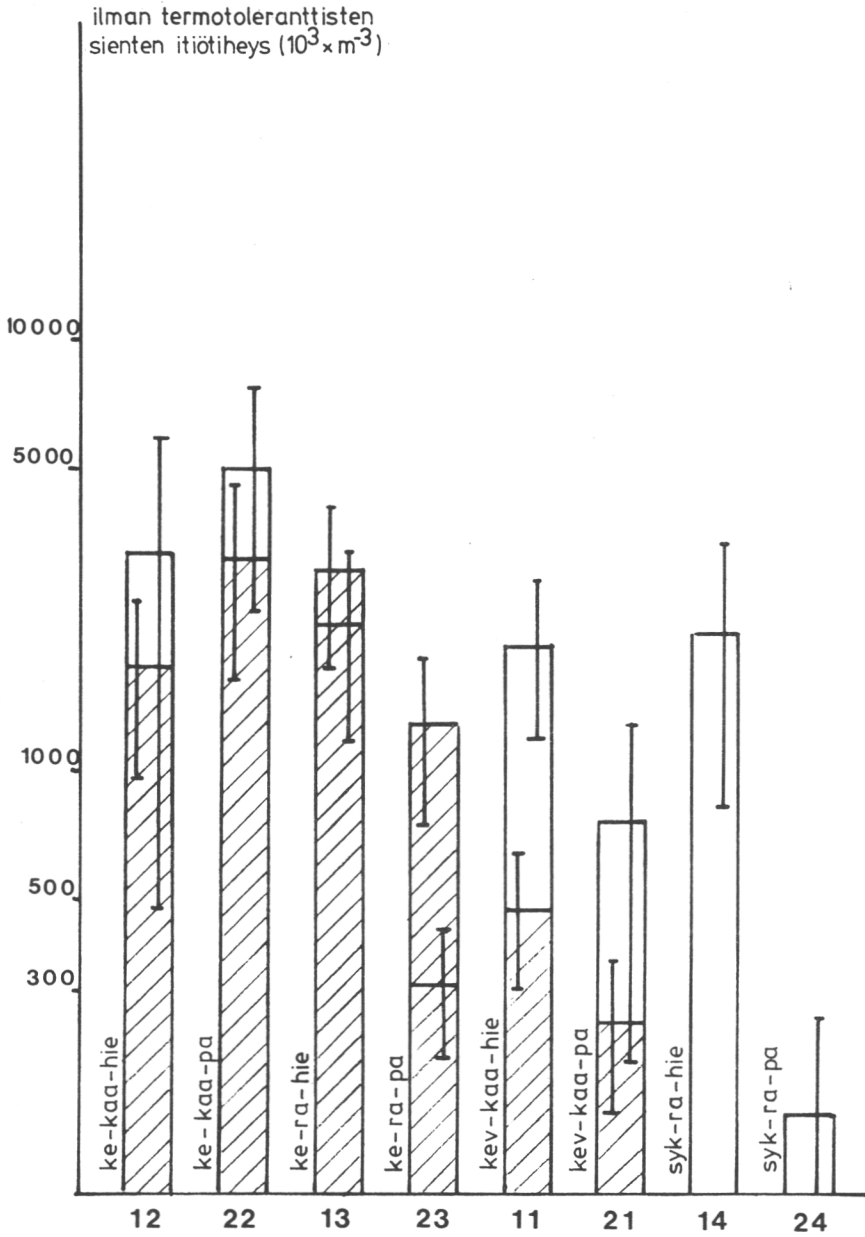
Kuva 26. Ilman itiötiheys Casella-keräimellä mitattuna 7-11 (viivoitettu alue) ja 14-28 viikon varastoinnin jälkeen. Luvut ovat syksyllä haketuissa hakkeissa neljän paikkakunnan ja muissa viiden paikkakunnan keskiarvoja. Jana kuvaa keskiarvon keskivirhettä.



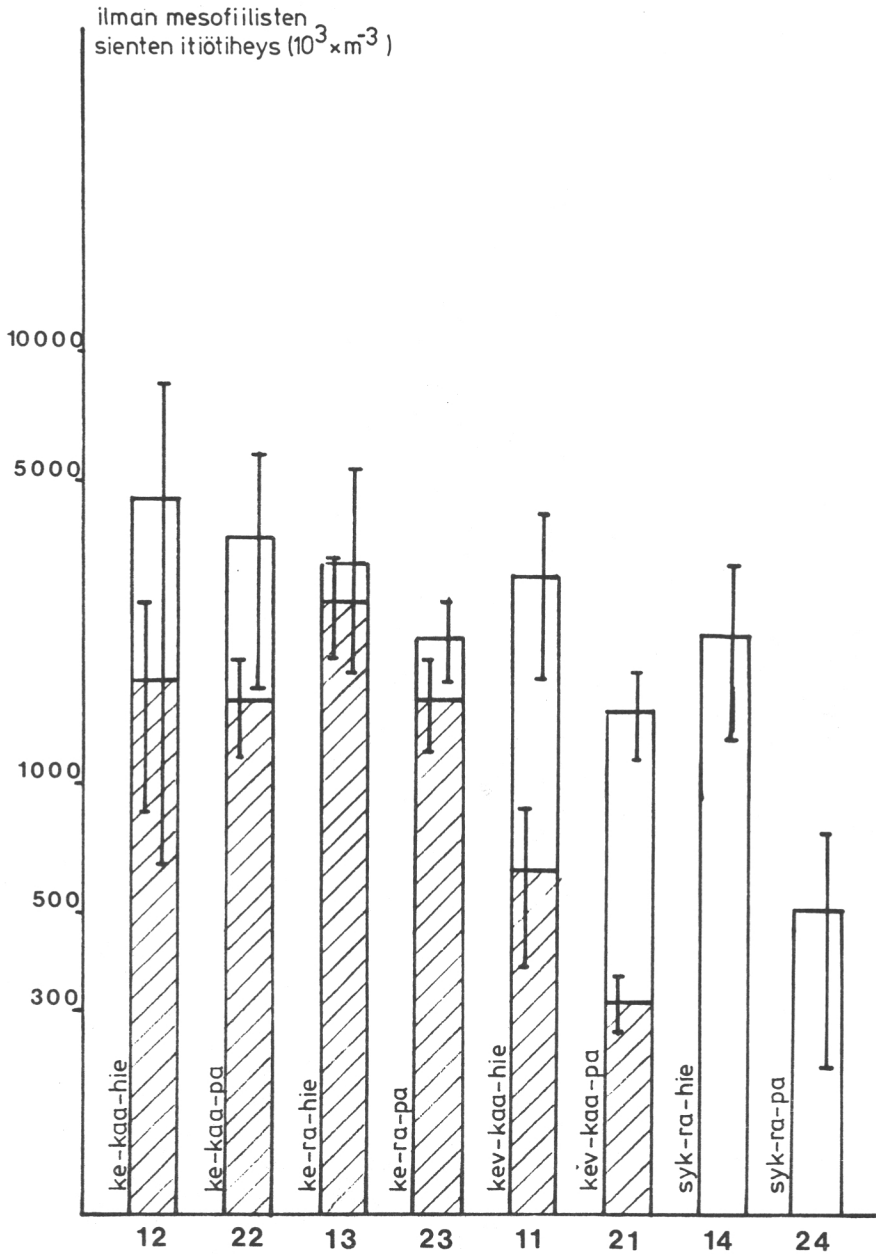
Kuva 27. Ilman itiötiheys Andersen-keräimellä mitattuna 7-11 (viivoitettu alue) ja 14-28 viikon varastoinnin jälkeen. Luvut ovat syksyllä haketuissa hakkeissa neljän paikkakunnan ja muissa viiden paikkakunnan keskiarvoja. Jana kuvaa keskiarvon keskivirhettä.



Kuva 28. Ilman termofiilisten sädesienten itiötiheys Andersen-keräimellä mitattuna 7-11 (viivoitettu alue) ja 18-28 viikon varastoinnin jälkeen. Luvut ovat syksyllä haketuissa hakeissa neljän paikkakunnan ja muissa viiden paikkakunnan keskiarvoja. Jana kuvaa keskiarvon keskivirhettä.



Kuva 29. Ilman termotoleranttisten sienten itiötiheys Andersen-keräimellä mitattuna 7-11 (viivoitettu alue) ja 14-28 viikon varastoinnin jälkeen. Luvut ovat syksyllä haketuissa hakkeissa neljän paikkakunnan ja muissa viiden paikkakunnan keskiarvoja. Jana kuvaa keskiarvon keskivirhettä.



Kuva 30. Ilman mesofiilisten sienten tiheys Andersen-keräimellä mitattuna 7-11 (viivoitettu alue) ja 14-28 viikon varastoinnin jälkeen. Luvut ovat syksyllä haketuissa hakeissa neljän paikkakunnan ja muissa viiden paikkakunnan keskiarvoja. Jana kuvaa keskiarvon keskivirhettä.

Taulukko 5a. T-testillä saadut testiarvot ja niiden merkitsevyydet eri hakelaatujen välillä 7-11 viikon varastoinnin jälkeen. Lähtöarvot ovat Andersen-keräimellä mitatuista itiötiheyksistä laskettuja viiden paikkakunnan keskiarvoja. Ennen testin suoritusta keskiarvoille on tehty logaritmi-muunnos.

	kev-kaa hie	kev-kaa pa	ke-kaa hie	ke-kaa pa	ke-ra hie
kev-kaa pa	-1,076				
ke-kaa- hie	1,697 ^o	2,856*			
ke-kaa pa	2,366*	3,564**	0,653		
ke-ra hie	3,434**	5,289***	1,310	0,550	
ke-ra pa	2,169*	4,024**	0,060	-0,702	-1,540 ^o

Yläviitteiden selitykset:

- o = ero on suuntaa antava
- * = ero on jokseenkin merkitsevä
- ** = ero on merkitsevä
- *** = ero on erittäin merkitsevä.

Taulukko 5b. T-testillä saadut testiarvot ja niiden merkitsevyydet eri hakelaatujen välillä 14-28 viikon varastoinnin jälkeen. Lähtöarvot ovat syksyllä haketetuissa hakkeissa Andersen-keräimellä mitatuista itiötiheyksistä laskettuja neljän paikkakunnan ja muissa hakkeissa viiden paikkakunnan keskiarvoja. Ennen testin suoritusta keskiarvoille on tehty logaritmi-muunnos.

	kev- kaa- hie	kev- kaa- pa	ke- kaa- hie	ke- kaa- pa	ke- ra- hie	ke- ra- pa	syk- ra- hie
kev-kaa- pa	-1,005						
ke-kaa- hie	-0,620	0,072					
ke-kaa- pa	0,418	1,134	0,847				
ke-ra- hie	0,058	0,872	0,599	-0,327			
ke-ra- pa	-0,559	0,596	0,305	-0,815	-0,492		
syk-ra- hie	-0,482	-0,093	0,027	-0,687	-0,473	-0,216	
syk-ra- pa	-2,441*	-1,626 ^o	-1,247	-2,178*	-2,091*	-2,284*	-1,064

Yläviitteiden selitykset samat kuin taulukossa 5a.

Taulukko 6a. T-testillä saadut testiarvot ja niiden merkitsevyydet eri hakelaatujen välillä 7-11 viikon varastoinnin jälkeen. Lähtöarvot ovat Casella-keräimellä mitatuista itiötiheyksistä laskettuja viiden paikkakunnan keskiarvoja. Ennen testin suoritusta keskiarvoille on tehty logaritmi-muunnos.

	kev-kaa- hie	kev-kaa- pa	ke-kaa- hie	ke-kaa- pa	ke-ra- hie
kev-kaa- pa	-0,604				
ke-kaa- hie	0,358	0,797			
ke-kaa- pa	1,249	1,649 ^o	0,676		
ke-ra- hie	1,567 ^o	1,940*	0,899	0,211	
ke-ra- pa	0,425	1,013	-0,036	-0,967	-1,304

Yläviitteiden selitykset samat kuin taulukossa 5a.

Taulukko 6b. T-testillä saadut testiarvot ja niiden merkitsevyydet eri hakelaatujen välillä 14-28 viikon varastoinnin jälkeen. Lähtöarvot ovat syksyllä haketetuissa hakkeissa Casella-keräimellä mitatuista itiötiheyksistä laskettuja neljän paikkakunnan ja muissa hakkeissa viiden paikkakunnan keskiarvoja. Ennen testin suoritusta keskiarvoille on tehty logaritmi-muunnos.

	kev- kaa- hie	kev- kaa- pa	ke- kaa- hie	ke- kaa- pa	ke- ra- hie	ke- ra- pa	syk- ra- hie
kev-kaa- pa	0,427						
ke-kaa- hie	-0,268	-0,686					
ke-kaa- pa	1,339	1,292	1,472 ^o				
ke-ra- hie	1,541 ^o	1,633	1,644 ^o	0,074			
ke-ra- pa	1,193	1,422	1,331	-0,648	-0,922		
syk-ra- hie	1,178	-0,117	0,385	-0,905	-1,034	-0,684	
syk-ra- pa	-1,784 ^o	-3,366**	-1,246	-3,395**	-4,072**	-5,415***	-1,587 ^o

Yläviitteiden selitykset samat kuin taulukossa 5a.

4.9. Hakkeen kosteuden vaikutus

Tässä tutkimuksessa ei havaittu selvää yhteyttä hakkeen kosteuden ja sieni-itiöiden tiheyden välillä. Hakkeen kosteus määritettiin samaan aikaan samasta varastokontista, mutta eri näytteestä kuin sieni-itiöiden määrä. Hakkeen kosteus vaihtelee suuresti hakevaraston sisällä, joten tämä seikka aiheuttaa epätarkkuutta ja tulkintavaikeuksia ja siten saattaa sotkea mahdollisen korrelaation.

4.10. Ympäristöolojen vaikutus

Ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden sekä sieni-itiöiden tiheyden välillä ei havaittu selvää yhteyttä.

5. TULOSTEN TARKASTELU

5.1. Näytteenottomenetelmien vertailua

Homepölykeuhkoa aiheuttavia mikro-organismeja ei tunneta tarkasti, ja myös kuolleiden mikro-organismien merkitys on tuntematon. Tämän takia ilman laatua tutkittaessa on tärkeää pystyä määrittämään sekä elävät että kuolleet itiöt. Pelkkä mikroskooppinen menetelmä ei riitä, sillä sen avulla ei pystytä määrittämään sieniä suvuittain. Tämän takia päädyttiin kahteen rinnakkaiseen menetelmään.

Verrattaessa erilaisia hakkeita, näyttää Andersen-keräin antavan parempia eroja. Casella-keräimellä saaduissa tuloksissa erot olivat pienempiä eivätkä ne olleet tilastol-

lisesti merkitseviä. Tämä saattaa osaltaan aiheutua myös väärin arvioiduista näytteenottoajoista, sillä jos preparaattit tulevat liian täysiksi, on mahdotonta laskea yksittäisiä itiöitä, koska ne jäävät toinen toisensa alle.

Andersen-keräimen samoin kuin Casella-keräimenkin heikkoutena on se, että joudutaan käyttämään lyhyitä näytteenottoaikoja ja keräysalusta tulee helposti liian täyteen. Käsisivarisesti pumpun käynnistäminen ja sammuttaminen on hankalaa kovin lyhyellä aikavälillä. Tämä ongelma voidaan ratkaista käyttämällä apuna kellolaitetta, joka ohjaa magneettiventtiiliä.

5.2. Hakkeen homehtumiseen vaikuttavia tekijöitä

Heinän homehtumiseen vaikuttaa varastoitavan heinän alkukosteus siten, että kosteana varastoitu heinä homehtuu pahemmin (Kotimaa et al. 1978). Kirjallisuuslähteiden mukaan hakkeen kosteuden vaikutus itiöpitoisuuksiin näyttää olevan moninainen. Tosin varastoitavan hakkeen alkukosteutta ei ole niinkään tutkittu, vaan on keskitytty hakkeessa näytteenottohetkellä olevaan kosteuteen. Vaikka sienet viihtyvätkin kosteassa, on eräissä tutkimuksissa todettu homepölyaltisuuden jopa vähenevän hakkeen kosteuden noustessa (Thörnqvist ja Lundström 1979, Turkkila ja Knuth 1982). Tämän on selitetty johtuvan mm. kuivan hakkeen pitemmästä varastointiajasta ja itiöiden helpommasta irtoamisesta kuivasta hakkeesta (Thörnqvist ja Lundström 1979, Strömquist et al. 1980, Turkkila ja Knuth 1982). On myös esitetty, että hakkeen ei välttämättä tarvitse olla kovinkaan kosteaa homehtu-

akseen; riittää kunhan varastoilman suhteellinen kosteus on tarpeeksi korkea (Thörnqvist ja Lundström 1979). Tässä tutkimuksessa ei pystytty osoittamaan korrelaatiota hakkeen kosteuden ja homehtumisen välillä varastoinnin missään vaiheessa.

Rasikuivatuksella, vaikka sillä pystytäänkin alentamaan hakkeen alkukosteutta, ei kaiken kaikkiaan näytä olevan kovinkaan suurta merkitystä hakkeesta irtoavien itiöiden määrään. Ruotsalaiset tutkijat ovat selittäneet tätä seikkaa puun infektoitumisella rasissa (Thörnqvist ja Lundström 1979) ja itiöiden helpommalla irtoamisella kuivasta puusta. Tämän tutkimuksen perusteella puu ei näytä infektoituvan rasissa, sillä varastoinnin alussa mitatut pitoisuudet eivät olleet sen suurempia rasipuusta tehdyissä hakkeissa kuin muissakaan. Toisaalta käytetty menetelmä mittaa puusta ilmaan irtoavien itiöiden määrää, eikä puussa olevien itiöiden tai vielä itiöitä muodostamattoman rihmaston määrää.

Suuri lehtien osuus näyttää lisäävän homehtumisriskiä. Myös eräässä ruotsalaisessa tutkimuksessa on todettu, että suuri lehtien, oksien, neulasten ja kuoren määrä lisää itiöiden määrää (Thörnqvist ja Lundström 1979). Työtehosseuran tutkimuksissa on todettu havupuusta tehdyn hakkeen säilyvän paremmin kuin lehtipuusta tehdyn (Turkkila ja Knuth 1982).

Varastointiajan jatkuessa kokonaisitiöpitoisuus nousee jatkuvasti. Sen sijaan elävien itiöiden määrä näyttää tasaantuvan ja rasipuusta tehdyissä hakkeissa tapahtui jopa vähenemistä. Elävien itiömäärien kasvun tasaantuminen va-

rastointiajan jatkuessa on todettu myös muissa tutkimuksissa (Smith ja Ofosu-Asiedu 1972, Thörnqvist ja Lundström 1979).

Kirjallisuuden mukaan palahake säilyy yleensä paremmin kuin hienohake (Turkkila ja Knuth 1982). Myös tässä tutkimuksessa havaittiin sama seikka. Ainoastaan kesällä kaato-
tuoreesta puusta tehdyistä hakkeista hienohake oli säilynyt joillakin paikkakunnilla paremmin kuin palahake. Samoilla paikkakunnilla palahakkeen kosteus oli suurempi kuin hienohakkeen, vaikka yleensä palahake kuivui paremmin kuin hienohake. Voisi olettaa, että palahakkeessa olevat lehdet jäävät ehyemmiksi ja säilyttävät elinkykynsä pitempään kuin hienohakkeessa olevat, pieniksi silppoutuneet lehdet. E-lävät solut kehittävät kosteutta ja ravintoa, ja näin mikro-
beille tarjoutuu poikkeuksellisesti parempi kasvualusta palahakkeessa kuin hienohakkeessa, mikäli hake tehdään kaato-
tuoreesta puusta kesällä.

5.3. Itiöiden tiheys ja laatu

Tässä tutkimuksessa hakkeen käsittelyn yhteydessä mitattiin kokeellisissa olosuhteissa Andersen-keräimellä ilman itiötiheyksiä, jotka vaihtelivat välillä 0,1-10 ($10^6 \times m^{-3}$).

Maatiloilta, joilla on todettu homepölykeuhkotapauksia on mitattu Andersen-keräimellä samaa suuruusluokkaa olevia pitoisuuksia suoraan työtilanteesta. Laji- ja sukukoostumus ovat suunnilleen samat kuin tässä tutkimuksessa, mutta runsaussuhteet ovat erilaiset. Heinän käsittelyn yhteydessä

esim. Aspergillus umbrosuksen osuus on suurempi ja Penicillium spp:n osuus vastaavasti pienempi kuin hakkeen käsittelyn yhteydessä (Kotimaa 1982, suullinen tiedonanto).

Huoneilmasta Andersen-keräimellä on mitattu itiötiheyksiä, joiden määrä on vaihdellut välillä 200-400 (m^{-3}) (Röning 1982).

Sieni-itiöiden määrälle ei ole olemassa enimmäispitoisuussuosituksia, mutta jo ilman itiötiheyden 3100 (m^{-3}) on todettu aiheuttaneen homepölykeuhkon sahatyöntekijälle (Terho et al. 1979). Sieni-itiöiden määrä oli mitattu Andersen-keräimellä suoraan työympäristöstä.

Homepölykeuhkon aiheuttajia ei tarkalleen tiedetä, ja ne vaihtelevat eri työympäristöissä. Maanviljelijäväestön homepölykeuhkoa aiheuttavat lähinnä termofiiliset sädesienet Micropolyspora faeni ja Thermoactinomyces vulgaris ja Aspergillus glaucus-ryhmän homesienet (Terho 1979).

Tämän tutkimuksen mukaan työntekijä ei hakkeen käsittelyn yhteydessä altistu kovin suuressa määrin millekään em. mikro-organismille. Micropolyspora faenia ei löydetty ollenkaan, ja Thermoactinomyces vulgarista ja Aspergillus glaucus-ryhmän homesieniä hyvin vähän. Sen sijaan Aspergillus fumigatuksen prosentuaalinen osuus oli useissa näytteissä jopa 40 - 50 % kokonaisitiötiheydestä. Aspergillus-suvun itiöiden on todettu aiheuttavan homepölykeuhkoa mm. mallastyöntekijöillä ja sahatyöntekijöillä (Pepys 1969, Terho 1981). Myös maanviljelijäväestö näyttää

altistuneen Aspergillus fumigatusksen itiöille (Terho 1979). Verrattaessa tässä tutkimuksessa saatuja tuloksia em. tuloksiin voidaan olettaa, että työntekijä voi hakkeen käsittelyn yhteydessä saada hengitystieoireita, pahimmassa tapauksessa jopa homepölykeuhkon.

Altistuminen hakkeen sisältämille sieni-itiöille tapahtuu lähinnä syötettäessä polttohaketta uuniin sekä siirrettäessä haketta välivarastosta tilaan, jossa hakkeen lopullinen käyttö tapahtuu. Tosin kaikissa talouksissa ei käytetä välivarastointia ollenkaan, vaan haketus tapahtuu suoraan polttouunia lähellä sijaitsevaan tilaan. Hake syötetään uuniin tavallisesti käsin lapioimalla. Tällöin altistuminen on lyhytaikaista, mutta työskentelytila on yleensä ahdas ja huonosti tuuletettu, joten altistuminen voi olla hyvinkin suurta. Haketta käsitellessään tulisi työntekijän suojautua asianmukaisesti käyttämällä Työsuojeluhallituksen hyväksymää 2b-luokan hengityssuojainta.

Tässä työssä löydetty mikrobifloora on hakkeelle tyyppillinen, ja useat löydetyt lajit aiheuttavat homepölyongelman lisäksi myös taloudellisia menetyksiä. Puun värjäytymistä aiheuttavat mm. Cladosporium ja Peniciullium-sukuihin kuuluvat sienet. Materiaalin värjäytyminen tuottaa vahinkoa sahoille ja selluloosateollisuudelle. Humicola, Aspergillus ja Trichoderma-sukujen sienet ja Streptomyces-suvun sädesienet aiheuttavat puolestaan puun lahoamista (Bergman ja Nilsson 1979).

Hakkeen käsittelystä aiheutuvaan sieni-itiöaltistukseen

vaikuttavat monet vaikeasti hallittavat tekijät. Esimerkiksi hakkeen suhteellisen kosteuden ja mahdollisen rasipuun infektoitumisen vaikutukset homehtumiseen ovat vielä epäselviä. Polttihakkeen homehtumista selvittävää työtä jatketaan vielä vuonna 1982 ja tavoitteena on löytää maatalan olosuhteisiin soveltuva hakkeen kuivattamis- ja varastointimenetelmä, joka olisi myös työntekijän terveyden kannalta edullinen.

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää erilaisten hakkeiden käsittelystä aiheutuvaa homepölyaltistusta. Haketettava puu oli leppää, ja hakkeen varastointipaikkana käytettiin puusta tehtyä katettua konttia, jonka tilavuus oli noin 15 m³. Hakekontit sijaitsivat viidellä eri paikkakunnalla, jotka olivat Joroinen, Ylihärmä, Hyrylä, Pyhtää ja Janakala. Tutkittavia hakkeita oli kahdeksaa erilaista. Ensimmäiset haketukset suoritettiin keväällä kaatotuoreesta puusta, kesällä haketettiin sekä kaatotuoretta että rasikui-vattua puuta ja syksyllä haketettiin vielä rasipuuta. Kaikkia hakkeita tehtiin sekä pala- että hienohakkeina.

Ilman sieni-itiötiheydet määritettiin Andersen-keräimellä ja Casella-keräimellä laboratoriossa työtilannetta jäljittelyissä olosuhteissa. Näytteet otettiin varastoinnin alussa, 7 - 12 viikon kuluttua varastoinnin aloittamisesta ja varastoinnin lopussa.

Hakkeen käsittelyn yhteydessä koetilanteessa mitattiin

elävien itiöiden tiheyksiä, jotka vaihtelivat välillä 0,1 - 10 ($10^6 \times m^{-3}$) hakelaadun ja näytteenottoajankohdan mukaan. Ilman kokonaisitiötiheys, joka määritettiin Casella-keräimellä, vaihteli välillä 10 - 1000 ($10^6 \times m^{-3}$). Sädesienistä yleisimmin esiintyi Streptomyces-sukuun kuuluvia sädesieniä. Termotoleranttisista sienistä yleisin oli Aspergillus fumigatus ja mesofiilisistä sienistä Penicillium spp. ja Trichoderma spp.

Varastointiajan jatkuessa sieni-itiöiden määrä lisääntyi. Elävien itiöiden määrän kasvu tosin hidastui varastointiajan ollessa tarpeeksi pitkä. Rasikuivatuksella ei merkittävästi pystytty vähentämään sieni-itiöiden määrää. Parhaiten säilyivät keväällä ennen puun lehteen puhkeamista haketetut hakkeet. Palahake säilyi yleensä paremmin kuin hienohake. Hakkeen kosteudella ja ympäristöoloilla ei näyttänyt olevan merkittävää vaikutusta hakkeen homehtumiseen.

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan olettaa, että työntekijä voi tutkitulla menetelmällä varastoitua haketta käsitellessään saada hengitystieoireita, pahimmassa tapauksessa jopa homepölykeuhkon. Jos hakkeen käsittelyssä ei voida käyttää suljettua prosessia, olisi työntekijän suojauduttava asianmukaisesti käyttämällä työsuojeluhallituksen hyväksymää 2b-luokan hengityssuojainta.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- ALANKO, K. 1968. Homepölykehko. Duodecim 84:251-259.
- ANDERSEN, A.A. 1958. New sampler for collection, sizing and enumeration of viable airborne particles. J. Bact. 76:471-484.
- ASSENDELFF, A. van, FORSEN, K.O. & ALANKO, K. 1977. Homepölykehko ilmankostuttimesta. Duodecim 93:769.
- BARNET, H.L. & HUNTER, H.B. 1972. Illustration genera of imperfect fungi. Burgess Publishing Company. Minneapolis. 241 s.
- BERGMAN, Ö. & NILSSON, T. 1979. An experiment on outdoor storage of whole-tree chips. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för virkeslära. Rapport nr 109:1-21. Uppsala.
- BÄCK, O. & GÖRANSSON, K. 1977. Justerverssjukan. Läkartidningen 74:2110.
- CARLSTRÖM, B., THÖRNQVIST, T. & WERNER, S. 1981. Bestämning av mängden svampdiasporer i bränsleflis. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för virkeslära. Rapport nr 124:1-25. Uppsala.
- Cascade impactor: Instruction Leaflet 3018/TE. C.F. Cassella & Co. Ltd. - London. 27 s.
- COONEY, D. & EMERSON, R. 1964. Thermophilic fungi. W.H. Freeman and Co. San Fransisco. 188 s.
- ELLIS, M.B. 1971. Dematiaceous hyphomycetes. Commonwealth mycological institute. Kew, Surrey, England. 608 s.
- Energiatilastot 1980. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto. Sarja A. Helsinki 1981. 100 s.
- FITZPATRICK, H.M. 1966. The lower fungi-phycomycetes.

- Johnson reprint corporation. New York. 331 s.
- GREAVES, H. 1975. Microbiological aspects of wood chip storage in tropical environments. Australian Journal of Biological Sciences 28:315-322.
- GREGORY, P.H. 1973. Microbiology of the atmosphere. Leonard Hill Books. Aulesbury. 377 s.
- HAAHTELA, T., RIIHIMÄKI, M., MÖNKÄRE, S., VILKKA, V. & VAARA, S. 1979. Homepölykeuhko puunjalostustehtaan hakkurinhoitajalla. Duodecim 95:851-854.
- HENNINGSON, E. 1981. Sammanställning av apparatur och metodik för provtagning och analys av luftburna mikro-organismer. FAO rapport C 40131-B1:1-79. Umeå.
- HUDSON, H.J. 1972. Fungal saprophytism. Edward Arnold. London. 67 s.
- JENSEN, W.A. & SALISBURY, F.B. 1972. Botany: an ecological approach. Wadsworth publishing company, inc. Belmont, California. 326-371 s.
- KOTIMAA, M., TUPI, K., KÄRENLAMPI, L., TERHO, E.O., ALANKO, K. & HUSMAN, K. 1978. Homepölyaltistus rehuntuotannossa ja karjanhoitotyössä. Osa 1; Karjan sisäruokintakauden alussa. Työterveyslaitoksen tutkimuksia 142:1-42. Helsinki.
- KOTIMAA, M., TUPI, K., KÄRENLAMPI, L., TERHO, E.O., ALANKO, K. & HUSMAN, K. 1981. Homepölyaltistus rehuntuotannossa ja karjanhoitotyössä. Osa 2; Karjan sisäruokintakauden lopussa. Työterveyslaitoksen tutkimuksia 142:1-29. Helsinki.
- LUNDGREN, R. & ROSENHALL, L. 1979. "Fliseldarsjuka" - en ny variant av allergisk alveolit. Läkartidningen 76:4730.

- LUNDSTRÖM, H. 1980. Svampor på virke. Föredrag vid informationsmöte i samband med trämögel. 7 s.
- LUNDSTRÖM, H. 1981. Rapport från försök med aluminiumströn vid Stöde sågverk. Sveriges Lantbruksuniversitet.
- LUNDSTRÖM, H. & HENNINGSON, B. 1981. Hälsosfarligt mögel vid virkestorkning - förekomst, utbredning och orsaker till uppkomst. Arbetarsskyddsfondens rapporter. Sammanfattning Nr. 367, 4. s.
- MUSTONEN, M. 1981. Rehuviljan homeet ja sädesienet: itiöiden määrän ja laadun vaihtelu sekä esiintyminen ilmassa. Pro gradu. Kuopio. 72 s.
- MUSTONEN, M., KOTIMAA, M., HUSMAN, K. & RAURAMAA, A. 1981. Säilörehu - turvallisempi vaihtoehto homepölyaltistuksen kannalta. Karjatalous 57:49.
- MÄKINEN, Y. 1974. Tilastotiedettä biologeille. Synapsi r.y:n kurssimoniste. Turku. 1-200 s.
- PEPYS, J. 1969. Hypersensitivity disease of the lungs due to fungi and organic dusts. Monographs in Allergy. Vol. 4:1-147. S. Karger, Basel.
- PUHAKKA, E. 1978. Sieni- ja sädesieni-itiöt ja bakteerit työhygieenisenä ongelmana maataloudessa. Pro gradu. Kuopio. 75 s.
- RÖNING, I. 1982. Asuinhuoneiston homeet ja sädesienet. Pro gradu. Kuopio. 57 s.
- SMITH, R.S. & OFOSU-ASIEDU, A. 1972. Distribution of thermophilic and thermotolerant fungi in a spruce-pine chip pile. Canadian Journal of Forest Research 2:16-26.
- STENIUS, B., VIRKOLA, P. & VUORIO, M. 1975. Linnunpölykeuhko. Duodecim 91:283-289.

- STRÖMQUIST, L-H., BLOMQUIST, G., KARLSSON, E., VINCENT, A., LUNDGREN, R. & ELIASSON, L. 1980. Bräsleflishantering - ett hälsoproblem. Institutionen för fysiologisk botanik 1-55. Umeå.
- Suomen energiapoliittinen ohjelma ja siihen liittyvä taustamuistio. 1979. Komiteanmietintö 16:1-98. Helsinki.
- SYKES, G. ja SKINNER, F.A. 1973. Actinomycetales: characteristics and practical importance. Academic press. London. 339 s.
- TANSEY, M.R. 1971. Isolation of thermophilic fungi from self-heated industrial wood chip piles. Mycologia 63:537-547.
- TERHO, E.O. 1978. Homepölykeuhko Suomessa. I kliininen kuva. Allergiatutkimussäätiön vuosikirja 9:13-18.
- TERHO, E.O. 1979. Homepölykeuhko Suomessa - serologiset löydökset. Allergiatutkimuksen vuosikirja 10:35-40.
- TERHO, E.O. 1981. Allergiset alveoliitit. Duodecim 97:623-628.
- TERHO, E.O., HUSMAN, K., KOTIMAA, M. & SJÖBLOM, T. 1979. Homepölykeuhko sahatyöntekijällä. Duodecim 95:843-850.
- THÖRNQVIST, T. 1982. Torkning av bräsleflis med solfångaruppvärmad luft. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för virkeslära. Rapport nr 126:1-54. Uppsala.
- THÖRNQVIST, T. 1982. Betydelsen av tak och luftigt underlag vid lagring av bräsleflis. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för virkeslära. Rapport nr 127:1-82. Uppsala.

- THÖRNQVIST, T. ja LUNDSTRÖM, H. 1979. Undersökning av diasporförekomsten i luften i samband med flislagring hos fliseldare i Blekinge. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för virkeslära. Uppsats nr 93:1-5. Uppsala.
- THÖRNQVIST, T. & LUNDSTRÖM, H. 1979. Svampförekomst vid bränsleflisshantering i mindre anläggningar. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för virkeslära. Rapport nr R 117:1-36. Uppsala.
- Trämykologi. Sveriges Lantbruksuniversitet 1980/81.
- TURKKILA, K. & KNUTH, S. 1982. Homeiden määrä ja laatu maatalojen hakkeessa. Työtehoseuran metsätiedotus 1:1-4. Helsinki.
- VAARANEN, V. & VASAMA, M. 1982. Suomen ammattitautirekisteri v. 1981. Työterveyslaitos. Katsauksia 51:1-100.

ISSN 0358-4283