



## Hakkuutähteen ominaisuuksista

Juha Nurmi

KANNUKSEN TUTKIMUSASEMA

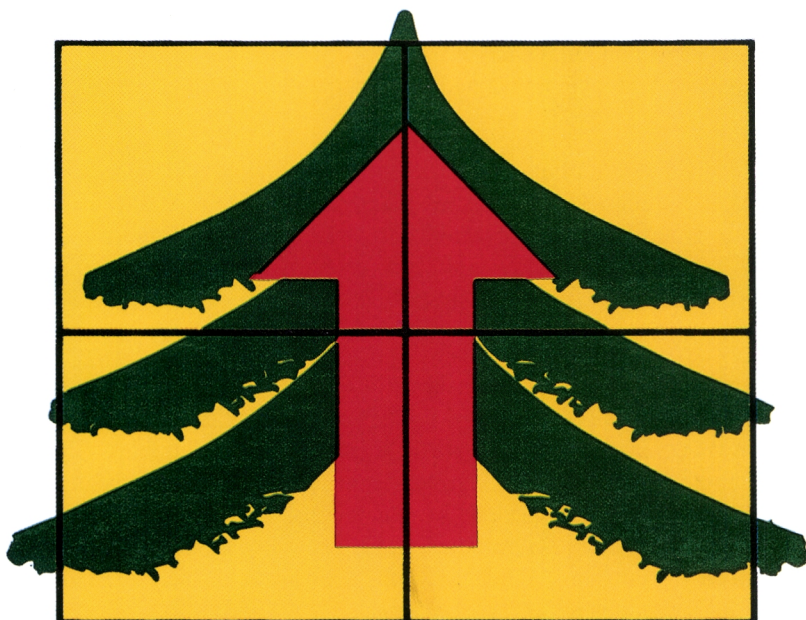
METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 722, 1999  
Kirja

**Metsäntutkimuslaitos**  
**Kannuksen tutkimusasema**  
**PL 44, 69101 Kannus**  
**Puh. (06) 874 3211**

Kannen kuva: Juha Nurmi

30.04.99

## Bioenergian tutkimusohjelma



## Hakkuutähteen ominaisuuksista

Juha Nurmi

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 722, 1999

Kannuksen tutkimusasema  
1999

METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
kirjasto

Nurmi, J. 1999. Hakkuutähteen ominaisuuksista. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 722. 32 s. ISBN 951-40-1668-8, ISSN 0358-4283.

Biomassan pitkittyneen varastoinnin on havaittu aiheuttavan huomattavia kuiva-ainetappioita, energiasisällön alenemista sekä terveysriskejä käyttäjien keskuudessa. Ankarasta ilmastosta johdettujen välivarastojen käyttö on kuitenkin välttämätöntä polttoaineen jatkuvan saatavuuden turvaamiseksi. Vaikeutena on kuitenkin löytää oikeat hakkuutähteen korjuun ja käsittelyn vaihtoehdot.

Tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa tietoa hakkuutähteen polttoaineominaisuuksiin vaikuttavista tekijöistä sekä käsittelyvaihtoehtojen vaikutuksesta hakkuutähteestä saatavan polttopuun laatuun ja puuston kasvun kannalta tärkeiden ravinteiden vapautumisesta. Tämä toteutettiin tutkimalla kuusen tuoreen hakkuutähteen varastointia tienvarsikasoissa, joista puolet oli peitetty, sekä tutkimalla kuusen ja männyn varastointia palstalla hakkuukoneen tekemissä kasoissa.

Tuoreen hakkuutähteen kosteus vaihtelee välillä 50-55 %. Kun oksat on karsittu, pyrkii niiden kosteus asettumaan tasapainotilaan ilman suhteellisen kosteuden kanssa. Palstalla kasoissa olevat tähteet kuivuvat suuremman pinta-alansa ja kasojen harvuuden takia välivarastossa olevia tähteitä nopeammin. Molemmista tutkituissa varastoissa hakettamattoman tähteen kosteus vaihteli vuodenajan mukaan ja oli korkein kaadon jälkeen sekä talviaikaan. Kosteus on alhaisin kesällä. Parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi tähteen kuivatus tulisi tapahtua palstalla ja kuivuneen tähteen varastointi välivarastossa. Välivarastokasojen kattamisella ei tässä tutkimuksessa ollut vaikutusta tähteen kosteuteen.

Ravinteiden vapautuminen hakkuutähteestä on hidasta. Metsän ravinnetalouden kannalta neulasten variseminen tähteestä on paljon tärkeämpi tekijä kuin ravinteiden välitön vapautuminen hakkuutähteestä. Variseminen alentaa myös tulistimille haitallisiksi katsottujen kloorin, natriumin ja rikin määriä. Mikäli tähteet on kuitenkin logistisista syistä otettava talteen neulasineen, voidaan tähteen sisältämät ravintet palauttaa palstalle puutuhkan muodossa. Hakkuutähteen raskasmetallipitoisuudet ovat hyvin alhaiset.

**Avainsanat:** biomassa, hakkuutähde, neulaset, ravinteet, raskasmetallit, alkalimetallit, kuiva-ainetappiot

**Julkaisija ja jakelu:** Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen tutkimusasema, Hanke 3245, PL 44, 69101 Kannus. Puhelin: 06-8743211, Fax. 06-8743201

**Hyväksynyt:** tutkimusjohtaja Matti Kärkkäinen 08.02.1999

**Kirjoittajan yhteystiedot:** Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen tutkimusasema, PL 44, 69101 Kannus. Puhelin: 06-8743211, Fax. 06-8743201, sähköposti: juha.nurmi@metla.fi.

# SISÄLLYS

1. JOHDANTO.....	5
2. AINEISTO JA MENETELMÄT.....	7
2.1. Aineisto.....	7
2.2. Analyysit.....	8
2.3. Tilastolliset menetelmät.....	8
3. TULOKSET.....	9
3.1. Hakkuutähteen kosteus.....	9
3.2. Hakkuutähteen neulasmassa.....	10
3.3. Hakkuutähteen tuhkapitoisuus.....	12
3.4. Varastoinnin vaikutus hakkuutähteen alkuainekoostumukseen.....	14
3.4.1. Pää- ja hivenravinteet.....	14
3.4.2. Hiili ja vety.....	20
3.5. Hakkuutähteen lämpöarvo.....	20
4. PÄÄTELMÄT.....	22
KIRJALLISUUS.....	24
LIITTEET 1-6.....	27



# 1. JOHDANTO

Maailman energian kulutuksesta 5,4 % on peräisin polttopuusta. Kehittyneitten maiden energian kulutuksesta polttopuun osuus on vain 0,7 %, mutta Afrikassa vastaavasti 58 %. Edelleen puolet maapallon väestöstä on päivittäin riippuvaisia polttopuun tai puuhiilen saannista (Report of...1981). Suomessa puun osuus primäärienergian tuotannosta oli vuonna 1997 peräti 19 %. Puun osuudesta 80 % on metsäteollisuuden prosessijätettä, jonka teollisuus itse käyttää energian tuotantonsa. Loput 20 % jää varsinaisen polttopuun osuudeksi ja muodostuu lähes kokonaan pientalojen, ensisijaisesti maatalouden käyttämästä polttopuusta. Tämä 1,1 milj. toe:n energiamäärä vastaa noin 5-6 miljoonaa kiintokuutiometriä puuta. Vaikka polttopuun käyttö lämmön tuotantoon kotitalouksissa onkin laskenut huomasti sotien jälkeen, on sillä edelleenkin vankea asema suomalaisessa lämmöntuotannossa. Tämä asema johtuu polttopuun riittävydestä, pitkistä talvista ja puunkäytön perinteistä. Huomattakoon kuitenkin, että lämpölaitosten käyttämän metsähakkeen osuus oli vuonna 1995 vain 258 000 m<sup>3</sup> (Hakkila ja Fredriksson 1996). Vielä vuonna 1997 hakkuutähteen korjuumäärät olivat Suomessa reilusti alle 200 000 m<sup>3</sup>. Kuluvan vuoden (1998) korjuumäärän arvioidaan kaksinkertaistuvan 340 000 m<sup>3</sup>:iin. Vaikka lisäys onkin huomattava, ovat Suomen käyttömäärät erittäin pienet Ruotsiin verrattuna.

Suomen metsien koko maanpäällisen puubiomassan vuotuinen kasvu on noin 110 milj. m<sup>3</sup>/a. Tästä määrästä teollisuuden ainespuun osuus on 56 milj. m<sup>3</sup>. Ainespuun korjuun yhteydessä syntyy 29 milj. m<sup>3</sup> hakkuutähdettä, joka muodostuu latvusmassasta ja hukkarunkopuusta (Hakkila ja Fredriksson 1996). Lisäksi hakkuusäätöä kertyy 25 milj. m<sup>3</sup>/a. Tähän määrään kuuluvat mm. taimikoitten ja vajaatuottoisten metsien pienpuustot sekä ensiharvennusrästit.

Uudistusalojen hakkuutähteen etuna pieniläpimittaisiin puihin nähden on sen talteenoton koneellisuus. Tähteet eivät edellytä yksinpuin käsittelyä, vaan ne voidaan ottaa talteen massaluontoisena polttopuuna. Hakkuutähteen erikoispiirteinä muihin puuperäisiin polttoaineisiin verrattuna on sen suuri neulasosuus. Uudistuskypsissä kuusikoissa neulasten osuus latvusmassasta on 36,1 % ja männikoissä 23,4 % (Hakkila 1991). Hakkuutähteen korjuukertymä on suurin, kun tähteet kerätään tuoreina, jolloin myös neulaset saadaan talteen. Neulaset kuitenkin sisältävät huomattavan osan puuhun sitoutuneista ravinteista.

Hakkuutähteen talteenotto rajoittuu lähinnä kuusen ja toissijaisesti männyn uudistusaloihin, sillä niillä tähteen kertymä hehtaaria kohti on suurin. Näin talteenoton kustannukset saadaan mahdollisimman alhaisiksi. Muita hakkuutähteen talteenottoa rajoittavia tekijöitä ovat mm. uudistushakkuiden pieni koko. Hakkila ja Fredriksson (1996) ovatkin arvioineet, että kuusikkovaltaisilla palstoilla ainespuun minimikertymä tulee olla 200 m<sup>3</sup> ja männikoissä vastaavasti 400 m<sup>3</sup>, jotta tähteiden talteenotto olisi perusteltua. Lisäksi metsämaiden karuus tai ekologinen herkkyys rajoittavat käytettävissä olevien uudistusalojen määrää. On myös otettava huomioon, että metsätraktori kykenee ottamaan talteen noin 70 % hakkuutähteen massasta. Nämä rajoitukset huomioon ottaen korjuukelpoiseksi hakkuutähtereserviksi on laskettu 8,6 milj. m<sup>3</sup>/a neulasineen. Vastaava luku ilman neulasia on 5,6 milj. m<sup>3</sup>/a.

Hakkuutähteen talteenoton yksi vaikeimmin hallittavista vaiheista on sen kuivatus ja varastointi. Lukuisten esimerkkien johdosta tiedetään, että biomassan, varsinkin haketetun biomassan pitkäaikainen varastointi voi johtaa huomattaviin kuiva-aineen menetyksiin ja jopa terveyshaittoihin hakkeen käsittelijöiden keskuudessa.

Puupolttoaineiden merkittävänä erona fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna on puun ominaisuuksien, mm. kosteuden, tiheyden ja tehollisen lämpöarvon vaihtelu. Puuaineen kosteus on tärkein puun palamiseen vaikuttavista tekijöistä. Sen suhdetta lämpöarvoon ovat tarkastelleet mm. Heiskanen ja Jokihaara (1961), Lehtonen (1977), Hakkila (1978), Björklund (1983) ja Nurmi (1993, 1997). Polttopuun kosteus riippuu ensisijaisesti puun kaadon jälkeisestä käsittelystä ja varastoinnista. Polttihakkeen pienkuluttajien keskuudessa hakkeen kuivatus on tavanomaista. Suurkuluttajien keskuudessa tämä ei kuitenkaan ole kannattavaa suurten määrien sekä useiden toimittajien takia. Siksi monet teollisuuden tutkimuksista ovatkin liittyneet polttihakkeen varastointiin (Bergman ja Nilsson 1966, 1967, Gislerud 1978). Polttopuun laatututkimuksiin ovat oleellisesti myös liittyneet ympäristöhygieniset kysymykset. Erityisesti pienkäyttäjien keskuudessa ilmenneet hengitystieallergiat ovat antaneet aiheutta useille tutkimuksille kymmenen viime vuoden aikana (Smith ja Ofosu-Asiedu 1972, Turkkila ja Knut 1982, Thörnqvist 1983, Björklund 1983, White ym. 1983, Pellikka 1983, Pellikka ja Kotimaa 1983, Castren, M. & Lukkala, K. 1986, Jirjis ja Lehtikangas 1991).

Koska hakkeen kuivaaminen suurina määrinä on vaikeaa, puun kosteuden alentaminen ennen haketusta on mielekkäin vaihtoehto. Puun rasikuivatus sekä kokopuiden tai rankojen kuivatus kasoissa ovat edelleenkin yksinkertaisimmat, tehokkaimmat ja taloudelliset menetelmät (Hakkila 1962, Simola ja Mäkelä 1976, Liss 1979, Uusvaara 1984, Nurmi 1987).

Pitkästä lämmityskaudesta johtuen sekä polttopuu- että polttohakepuskurivarastojen ylläpito on välttämätöntä polttohakevirran katkeamattomuuden takaamiseksi. Ongelmana onkin oikeiden korjuu/varastointi-yhdistelmien löytäminen. Hakkuutähteestä saatavan puupolttoaineen laatuun voidaan vaikuttaa oikea-aikaisella kuivatuksella ja varastoinnilla. Yleisimmät hakkuutähteen varastopaikat ovat palsta, välivarasto palstatiin varressa sekä haketun tähteen varastointi kasassa lämpölaitoksen pihassa. Siihen, mikä tai mitkä paikat ovat otollisimmat kullakin työmaalla ja tähteen käyttöpaikalla, ovat tapauskohtaisia. Niihin vaikuttavat mm. ainespuun korjuun ja hakkuutähteen talteenoton logistiikka, metsän uudistaminen, metsämaan ravinteisuus ja lämpölaitoksen valmius polttaa joko kuivaa tai märkää tähdettä.

Kasvit tarvitsevat monia alkuaineita kasvaakseen ja pitääkseen yllä elämää. Hiili, vety ja happi ovat peräisin ilmasta eikä niitä lueta ravinteisiin kuuluviksi. Ne muodostavat kuitenkin 99 % puun kuiva massasta. Typen osuus on noin 0,3 %. Loppu 0,7 % koostuu pää- ja hivenravinteet sisältävästä mineraaliaineksesta. Pääravinteisiin kuuluvat fosfori, kalium, kalsium, magnesium ja mangaani. Hivenravinteisiin luetaan boori, rikki, kupari, sinkki, molybdeeni, kloori, natrium, pii ja koboltti. Ravinteita tarvitaan mm. alkoholiryhmien esteröintiin, energiansiirtoreaktioihin, entsyymitoimintaan sekä ionitasapainon ylläpitoon. Hivenravinteisiin kuuluvat raskasmetallit edesauttavat mm. elektronien vaihtoa (Mengel ja Kirkby, 1982).

Pieni osa metsän ravinteista varastoituu puustoon. Osa siitä on kuitenkin jatkuvassa kiertokulussa ja palaa mm. neulasten mukana karikkekerrokseen. Karikkeen hajoamisen ja ravinteiden vapautumisen nopeudesta kuitenkin riippuu, kuinka pian ravinteet ovat taas kasvillisuuden käytettävissä. Tätä säätelevät muun muassa ympäristön kosteus, happamuus ja lämpötila.

Tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa tietoa hakkuutähteen polttoaineominaisuuksiin vaikuttavista tekijöistä sekä käsittelyvaihtoehtojen vaikutuksesta hakkuutähteestä saatavan polttopuun laatuun ja puuston kasvun kannalta tärkeiden ravinteiden vapautumisesta. Tavoitteeseen pyrittiin



selvittämällä, kuinka varastoaika, varaston paikka sekä välivarastokasojen suojaaminen paperikatteella vaikuttavat hakkuutähteestä saatavan polttohakkeen laatuun, so. kuinka kosteus, tuhkapitoisuus, neulasten määrä sekä polton kannalta mahdollisesti haitallisten kloorin ja natriumin määrä vaihtelee eri käsittelyiden seurauksena. Lisäksi tutkittiin puuston kasvulle tärkeiden pää- ja hivenravinteiden vapautumista hakkuutähteestä palsta- ja välivarastoinnin aikana.

## 2. AINEISTO JA MENETELMÄT

### 2.1. Aineisto

Hakkuutähteestä saatavaa puupolttainetta voidaan varastoida palstalla hakkuukoneen jättämissä kasoissa, välivarastokasoissa ja käyttöpaikalla hakekasoissa. Tässä tutkimuksessa keskityttiin kahteen ensimmäiseen vaihtoehtoon. Tutkimuksen ensimmäisessä osassa (välivarastotutkimus) tutkittiin hakkuutähteen polttoaineominaisuuksia ja ravinteiden vapautumista välivarastolla ja toisessa (palstavarastotutkimus) vastaavasti hakkuutähteen ominaisuuksia palstalla hakkuukoneen tekemissä kasoissa.

Välivarastotutkimuksessa työmaat ja varastoalueet valittiin Mikkelin kaupungin hakkuutähteen korjuutyömailta. Tutkimusaineiston muodosti avohakkuualoilta kerätty kuusen hakkuutähte. Tähteet kasattiin palstan laitaan ainespuun ajon jälkeen 12.7. - 30.9.1995 välisenä aikana. Kasojen korkeus vaihteli välillä 3-5 metriä. Kasat sijaitsivat Mikkelin pohjoispuolella Hirolan kylässä valtatie 72 varressa (4 kpl) ja valtatie 13 ja Korpijärven välisellä alueella (8 kpl). Kasoista joka toinen peitettiin piellä ja lasikuitukudoksella vahvistetulla voimapaperilla. Paperin leveys on 316 cm ja sitä valmistaa Pietarsaareissa UPM-Kymmene Walki Wisa.

Kasauksen yhteydessä tähteestä otettiin puu-, kuori- ja neulasnäytteet lähtötilanteen selvittämiseksi. Määrityksiä tehtiin seuraavasti: kosteus (297 kpl), tuhkaprosentti (53 kpl), pitoisuudet 19 alkuaineesta (1100 kpl), neulasprosentti (128 kpl), lämpöarvo (58 kpl) ja sadan neulasen paino (128 kpl).

Tehdyt 12 kasaa purettiin kolmessa vaiheessa siten, että kaksi peitettyä ja kaksi peittämätöntä kasaa haketettiin kerrallaan. Haketusajankohdat olivat 23.-24.1.1996, 6.-7.6.1996 ja 14.-15.1.1997. Haketuksen yhteydessä otettiin näytteet samoja määrityksiä varten kuin tutkimuksen alussakin. Koekasojen purkamisen yhteydessä otetuista näytteistä tehtiin seuraavat analyysit: kosteus (163 kpl), tuhkaprosentti (144 kpl), pitoisuudet 19 alkuaineesta (3120 kpl), neulasprosentti (127 kpl), lämpöarvo (162 kpl) ja sadan neulasen paino (64 kpl).

Palstavarastointia tutkittiin kahdella uudistushakkuualalla Laukaan ympäristössä. Toisen palstan pääpuulaji oli kuusi ja toisen mänty. Männyn päätehakkuu tehtiin 19.-23.9.1996 ja näytteiden otto tuoreesta massasta samalla 22.8.1996. Kuusikko hakattiin 2.-6.9.1996 ja näytteet otettiin samalla viikolla 6.9.1996. Hakkuutähteistä otetuista näytteistä tehtiin seuraavat analyysit: kosteus (40 kpl), tuhkaprosentti (84 kpl), pitoisuudet 17 alkuaineesta (1440 kpl), neulasprosentti (64 kpl), lämpöarvo (60 kpl) ja sadan neulasen paino (64 kpl).

Palstavarastoinnin aikana (6.2. ja 11.6. 1996) otetuista näytteistä tehtiin seuraavat analyysit: kosteus (100 kpl), tuhkaprosentti (156 kpl), pitoisuudet 17 alkuaineesta (3056 kpl), neulasprosentti (129 kpl), lämpöarvo (148 kpl) ja sadan neulasen paino (61 kpl).

## 2.2. Analyysit

Näytteiden kosteus (% tuorepainosta) määritettiin kuivaamalla näytteitä kaksi vuorokautta 102°C. Hiilen, vedyn ja typen määrä näytteissä määritettiin Leco CHN-analyysaattorilla. Muiden alkuaineiden pitoisuudet (P, S, K, Na, Ca, Mg, Mn, Fe, B, Al, Cu, Zn, Mo, Cd, Pb, Cr, Ni,) määritettiin ICP mittauksilla, joita edelsi näytteen hajoittaminen HNO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> liuoksessa CEM MDS-2000 mikroaaltohajoittimella. Kloridi (Cl<sup>-</sup>) määritettiin uuttamalla näyte H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> lioksella ja määrittämällä potentiometrisesti saostustitrauksella. Titraattina käytettiin hopeanitraattia (AgNO<sub>3</sub>). Tuhkapitoisuuden määrittämiseksi näytteet tuhkistettiin 550°C.

Hakkuutähteen lämpöarvon määrittämistä varten näytteet (n. 500 g) jauhettiin. Kalorimetristä polttoa varten jauheesta puristettiin näytetabletit. Kalorimetrinen lämpöarvon määrittäminen tapahtui Leco AC-300 analyysaattorilla. Kustakin näytteestä tehtiin kolme rinnakkaista määrittämistä. Kolmen näytteen hajonta ei saanut ylittää 0,5 %.

Neulasprosentti saatiin erittelemällä neulaset muusta näytteestä ja määrittämällä niiden osuus hakkuutähteen kuivamassasta. Sadan neulasen massa saatiin jokaisesta näytteestä erittelemällä sata kappaletta neulasia, jotka kuivattiin 102°C. Neulaset jäähdytettiin eksikaattorissa, jonka jälkeen ne punnittiin.

## 2.3. Tilastolliset menetelmät

Välivarastokasojen tilastollisissa tarkasteluissa käytettiin toistettujen mittausten varianssianalyysiä, jossa ryhmittelytekijöinä käytettiin aikaa ja katetta. Toistettuina mittauksina olivat kasan alkutilanne ja kasan purkamisen aikainen tilanne. Lisäksi säilytysaikojen välisiä eroja testattiin kovarianssianalyysillä, jossa kovariaattina oli alkutilanne ja ryhmittelytekijöinä olivat aika ja kate. Palstavarastointi aineistolle tehtiin yksisuuntaiset varianssianalyysit. Näyte-erien erisuuruuksista variansseista johtuen tehtiin aineistoille logaritminen, 1/x tai neliöjuuri muunnos. Parittaisissa vertailuissa käytettiin Tukeyn testiä 5 % riskitasolla.

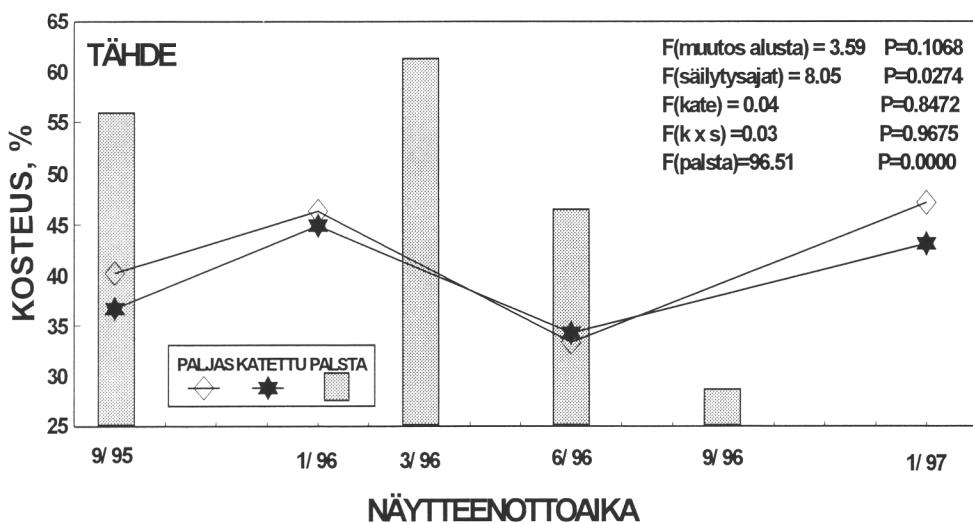
Työmaitten järjestelyssä auttoivat Pekka Auvinen Mikkelin kaupungista ja Ari Taimisto UPM-Kymmene Keski-Suomen metsäkonttorista. Hakkuutähteen kattamisessa käytetyn katteen toimitti UPM-Kymmene Walki Wisa Pietarsaaresta Henrik Lassfolkin avustuksella. Metsäkoneurakoinneista vastasivat pääosin Veijo Kuukka ja Pekka Lahti. Aineiston keruun suorittivat Jaakko Miettinen ja Taisto Jaakola. Laboratorionäytteiden käsittelystä vastasivat Kaisa Jaakola, Riitta Miettinen ja Reetta Kolppanen. Seppo Vihanta vastasi laskennasta. Esa Heino ja Keijo Polet avustivat julkaisun painokuntoon saattamisessa. Kiitän kaikkia töihin osallistuneita.

### 3. TULOKSET

#### 3.1. Hakkuutähteen kosteus

Välivarastoitujen vihreiden kuusen hakkuutähteen lähtökosteus vaihteli Mikkeliissä välillä 30-48 % ( $s=10,2$  %). Koska kaatotuoreen latvumassan kosteus vaihtelee välillä 50-55 %, on selvää, että tähteet olivat ehtineet kuivahtaa ainespuun teon ja tähteen keruun välillä, vaikka olivatkin vihreitä. Tilanne vastanneekin täten käytäntöä melko hyvin, jolloin tähte-erien kosteus vaihtelee. Vertailun vuoksi mainittakoon, että eräässä toisessa tutkimuksessa (Nurmi 1999) kerätyssä aineistossa 90:stä hakkuutähdekuormasta otetuissa 450:ssä kosteusnäytteessä keskiarvokosteus oli 56,0 % standardipoikkeaman ollessa 6,6 %.

Hakkuutähteen kosteus on aina korkein kaatotuoreessa massassa. Välivarastossa kosteus voi olla korkea myös talvella syksyllä siihen imeytyneestä kosteudesta eikä niinkään lumesta ja jäästä johtuen (kuva 1). Joskus talviajan kosteus saattaa ylittää kaatotuoreen kosteudenkin. Alhaisimmillaan kosteus on vastaavasti kesällä. Mikkelin välivarastokasoissa tähteen kosteus vaihteli vuoden aikana maksimissaan noin 10 kosteusprosenttiyksikköä. Tämä vastaa 2,25 MJ eroa jokaista hakkuutähdehakkeen märkäkiloa kohti. Ero on viidesosa 40 %:n kosteudessa olevan hakkeen energiasisällöstä ja niin ollen käytännön kannalta merkittävä. Tilastollisessa tarkastelussa vuodenajan vaikutus olikin merkitsevä ( $p=0,027$ ). Katettujen ja kattamattomien kasojen välinen kosteusero oli sen sijaan hyvin pieni eikä ero osoittautunut tilastollisesti merkitseväksi ( $p=0,847$ ).



Kuva 1. Hakkuutähteen kosteus näytteenottoajan suhteen katetuissa ja kattamattomissa kasoissa välivarastossa ja palstalla hakkuukoneen jättämässä kasoissa.

Palstalla hakkuukoneen jättämässä kasoissa varastoidun tähteen kosteus noudattaa samanlaista vuodenaikaisvaihtelua mitä välivarastossa varastoidut tähteet. Palstalla kosteus kuitenkin vaihtelee enemmän. Keskimääräinen kosteusvaihtelu kesän ja talven välillä oli yli 30 kosteusprosenttiyksikköä ja tilastollisesti merkitsevä ( $p=0,000$ ). Erityisesti tulee huomata, kuinka korkeaksi tähteen kosteus voi palstalla kohota ( $> 60\%$ ) varsinkin kevättalven aikana, jolloin säteilylämmön sulattama lumi jäätyy oksien ja neulasten ympärille. Tällainen jää ei juurikaan irtoa tähteistä talteenoton yhteydessä, vaan säilyy pysyvänä kosteuden lisänä. Mikäli ainespuun korjuu on tapahtunut lumettomana aikana, tulisi tähteet kerätä välivarastoon ennen lumen tuloa (kuva 1).

### 3.2. Hakkuutähteen neulasmassa

Neulasmassan osuus hakkuutähteestä on hyvin merkittävä. Uudistuskypsässä kuusikossa elävän latvuksen kuivamassasta neulasten osuus on noin 35 % ja hakkuutähteen kuivamassasta 30 %. Männyllä vastaavat luvut ovat 23 % ja 20 %. Neulasmassan määrittäminen hakkuutähteestä sisältää virheriskin, koska tähteen eri osissa neulasten vaihtelu oksan kärjestä rungon latvakapaleeseen on hyvin suuri. Mahdollisuus neulasten määrän painottumisesta suuntaan tai toiseen väärin painotetun otannan takia on hyvin mahdollinen, minkä takia tässä esitettyihin lukuihin tulee suhtautua pienellä varauksella.

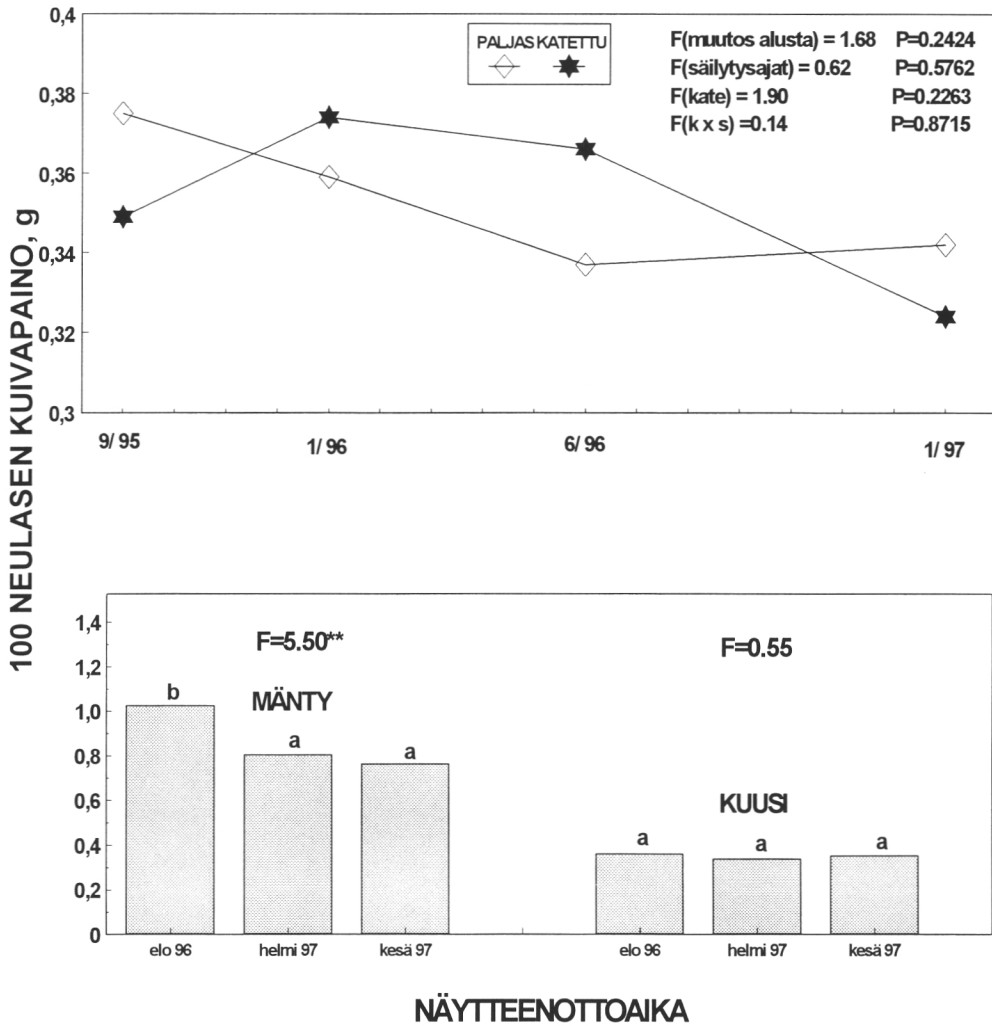
Variseminen edellyttää neulasten kuivumista. Pääosa varisemisesta tapahtuukin kesällä. Talvella neulasten kuivumista ei juurikaan tapahdu eikä neulasia myös siis irtoa tähteestä samassa määrin. Poikkeuksena on tietenkin kesänäikana kuivunut jo ruskeaksi muuttunut tähde, josta neulaset irtoavat myös talvella. Taulukosta 1 nähdään, että palstalla parempi kuivuminen johtaa alhaisempaan neulaspitoisuuteen. Näin ollen yli 20 % tähteen sisältämästä kuivamassasta jää palstalle neulasten varisemisen seurauksena. Neulasten sisältämien ravinteiden on siten mahdollista päätyä seuraavan puusukupolven käyttöön. Toisaalta on otettava huomioon, että kertymä pienenee kariseen neulasmassan verran. Tämä puolestaan nostaa hieman talteenoton kustannuksia. Kertymä on suurin, mikäli tähteet kerätään välivarastoon tuoreena. Mikäli tuoreita tähteitä ei heti polteta, vaan varastoidaan/kuivataan, välivarastossa menetetään välivarastoinnin aikana varisevien neulasten sisältämät ravinteet ja energia.

*Taulukko 1. Hakkuutähteen neulasosuuden muutos vuoden kestäneen varastoinnin (syyskuu-syyskuu) aikana. Tähteen kosteus suluissa.*

Varasto	Neulasosuus kuivamassasta, %	
	Alussa	Lopussa
Palsta	27,7 (56,0)	6,9 (28,5)
Välivarasto	27,7 (56,0)	18,9 (42,2)

Mikkelin ympäristössä tehdyssä tutkimuksessa havaittiin välivarastoinnin pituudella olleen merkitsevä vaikutus tähteen neulaspitoisuuteen ( $p=0,0162$ ). Kasojen peittämisellä sen sijaan ei ollut tilastollisesti merkitsevä ( $p=0,7609$ ). Lisäksi neulasten kuivamassan hävikkiin sisältyy myös

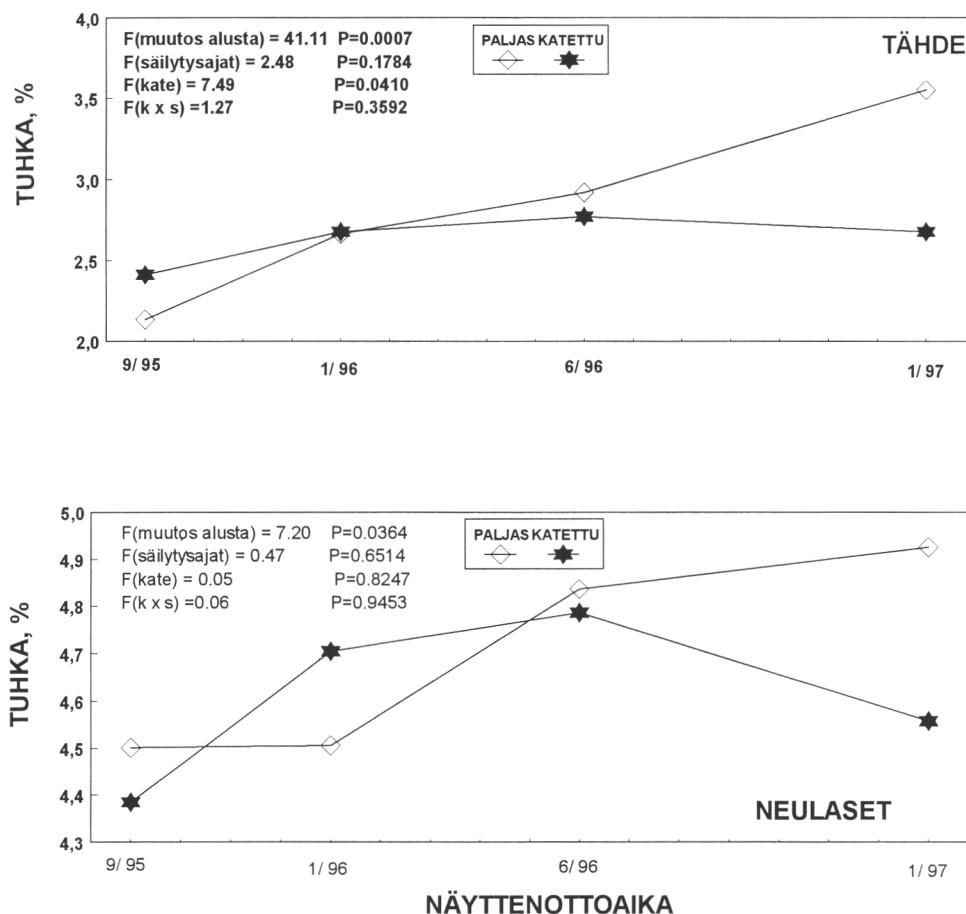
tiheyden muutos. Tämä määritettiin mittaamalla sadan kappaleen neulaserien painoja. Palstavarastoitujen männyn tähteiden neulasten paino oli alentunut merkittävästi (kuva 2). Tämä massan menetys näyttää tapahtuneen jo ensimmäisen varastointivuoden syksyllä. Kuusella muutos ei ollut merkittävä. Kuusen osalta tulos on yhteneväinen välivarastointitulosten kanssa, sillä niissäkään neulasten paino ei muuttunut varastoinnin aikana. Tulos poikkeaa aiemmin tehdystä tutkimuksesta (Nurmi 1999), jossa palstalla sadan neulasen paino aleni vuoden aikana peräti 20 %. Erona on se, että jälkimmäisessä tutkimuksessa tähteet olivat koko kesän palstalla, kun taas Laukaalla vain syksyn ja seuraavan kevään jolloin mikrobitoiminta ei ole voinut päästä täyteen vauhtiin. Kate ei osoittautunut merkittäväksi muuttujaksi.



**Kuva 2.** Kuusen sadan neulasen paino näytteenottoajan suhteen välivarastossa (yllä), ja männyn ja kuusen sadan neulasen paino palstavarastossa (alla). Samalla kirjaimella merkitty ne keskiarvot, jotka eivät eroa toisistaan 5 %:n merkitsevyydellä.

### 3.3. Hakkuutähteen tuhkapitoisuus

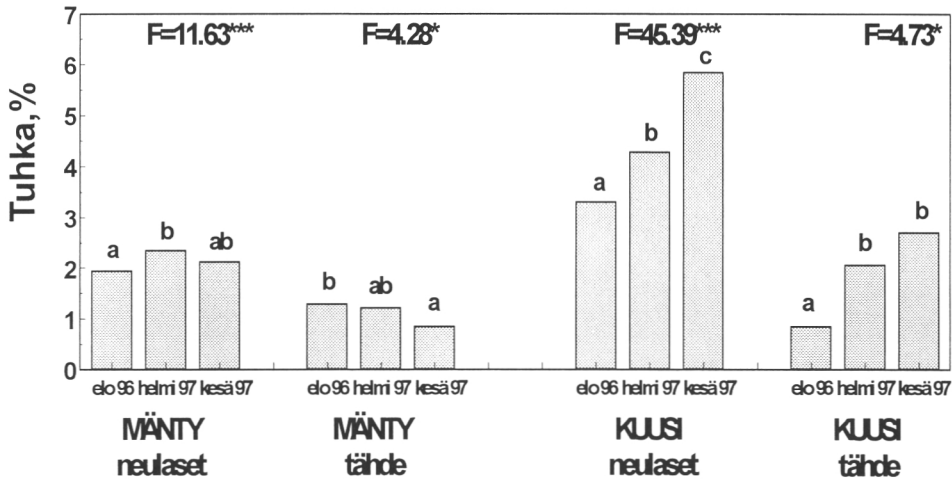
Biomassan pääraakennusaineet, hiili, vety ja typpi palavat tullessaan kosketuksiin hapen ja korkean lämpötilan kanssa. Muut, palamattomat alkuaineet muodostavat tuhkan. Kuusen rungon ja oksien puuaineen tuhkapitoisuus vaihtelee välillä 0,30 – 0,63 % kuivamassasta. Kuorta sisältävän oksamassan tuhkapitoisuus on 1,9 % ja kuoren 3,0 %. Neulasten tuhkapitoisuus on tätäkin korkeampi (4,2 – 5,1 %) (Voipio ja Laakso 1992). Tässä tutkimuksessa neulasten tuhkapitoisuus vaihteli välillä 4,2 – 4,9 % ja hakkuutähteen tuhkapitoisuus 2 – 2,5 %. Välivarastoinnin pidentyessä niin neulasten kuin hakkuutähteenkin tuhkapitoisuus lisääntyi ja oli 4,5-5 % pisimpään varastoiduissa kasoissa (kuva 3). Muutos alkutilanteesta oli tilastollisesti merkitsevä ( $p < 0,001$ ). Lisäksi katetuissa kasoissa tuhkaa oli vähemmän kuin kattamattomissa. Seikkaa voidaan pitää viittauksena siitä, että katetuissa kasoissa kuiva-ainetappiot voisivat mahdollisesti olla peittämättömiä alhaisemmat ( $p = 0,041$ ).



Kuva 3. Kuusen hakkuutähteen ja neulasten tuhkapitoisuus (%) välivarastossa näytteenottoajan suhteen.

Palstalla varastoidun kuusen neulasten sekä tähteen lähtötaso oli varsin alhainen, neulasilla vain reilun kolmen prosentin luokkaa ja tähteellä vain prosentin verran kuiva-aineesta. Pitoisuudet ovat varastoinnin edetessä kuitenkin kohonneet merkittävästi. Puunkorjuuta seuranneeseen ke-säkuuhun mennessä neulasten tuhkaprosentti oli jo kuusi ja tähteenkin kolme. Neulasten on jonkin verran korkeampi palstalla kuin väli-varastossa. Tämä saattaa johtua siitä, että palstalla tähteet ovat levittäytyneet suuremmalle alalle ja lämpötila sekä kosteusolot ovat saattaneet olla suotuisemmat.

Myös männyn kohdalla muutokset ovat merkittäviä, mutta muutos neulasten tuhkapitoisuudessa (2-2,3 %) on varsin pieni vaikkakin merkittävä. Luvut ovat samaa tasoa mitä Voipio ja Laakso (1992) ovat esittäneet männyn tuoreille neulasille. Männyn tähteen tuhkapitoisuus on sen sijaan alentunut eikä lisääntynyt kuten saattaisi olettaa. Tämä voi johtua neulasmassan pienestä osuudesta tuhkanäytteissä, mutta ei luultavaa (n=58). Lisäksi huomattakoon, että kuusen neulasten ja tähteen tuhkapitoisuudet ovat männyn vastaavia osia huomattavasti suuremmat ja ero näyttää vain kasvaneen varastoinnin aikana (kuva 4).



**Kuva 4.** Männyn ja kuusen neulasten ja hakkuutähteen tuhkapitoisuus (%) palstavarastossa näytteenottoajan suhteen. Samalla kirjaimella merkitty ne keskiarvot, jotka eivät eroa toisistaan 5 %:n merkitsevyystasolla.

### 3.4. Varastoinnin vaikutus hakkuutähteen alkuainekoostumukseen

#### 3.4.1. Pää- ja hivenravinteet

##### 3.4.1.1. Välivarastointi

Suurissa kasoissa välivarastoidun hakkuutähteen pääravinnepitoisuudet muuttuvat erittäin hitaasti (liitteet 1-6). Tähteessä tilastollisesti merkitseviä muutoksia havaittiin vain kaliumin kohdalla varastointiaikojen välillä. Varsinaista tilastollisesti merkitsevää muutosta alkutilanteesta, missä on otettu huomioon lähtötaso, ei tapahtunut millään pääravinteella. Myöskään kattaminen ei vaikuttanut näiden alkuaineitten pitoisuuksiin.

Aineiston perusteella on kuitenkin nähtävissä, että neulasista alkaa hitaasti vapautua ravinteita varastoinnin aloitusta seuranneena kesänä. Näin on erityisesti kaliumin, kalsiumin, mangaanin ja fosforin laita. Näiden muita ravinteita nopeampi vapautuminen johtuu lähinnä siitä, että ne eivät ole niinkään neulasten rakenneosia, vaan osallistuvat solujen entsyymi-, ja energianvaihtotoimintaan ja ovat täten helpommin vapautuvia kuin sellaiset rakennusaineet kuten hiili ja vety.

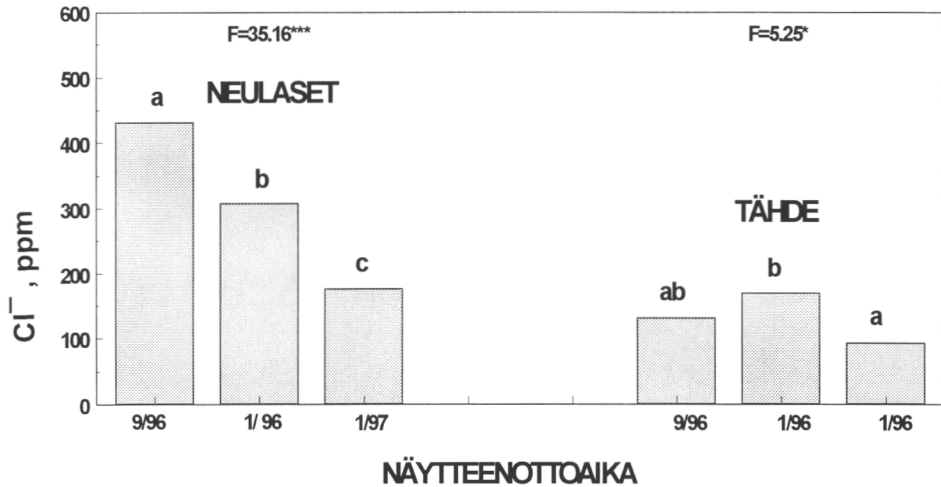
Tähteessä hivenravinteista vain rikin todettiin konsentroituvan jonkin verran varastoinnin aikana ( $p=0,0249$ ). Raskaammista metalleista alumiinin, kuparin, raudan ja sinkin pitoisuudet eivät konsentroituneet alkutilanteesta. Raudan ja sinkin pitoisuudet vaihtelivat tosin merkitsevästi vuodenajasta toiseen ( $p=0,0071$  ja  $0,0069$ ). Tämä selittyy kasojen välisillä eroilla varastoinnin alussa.

Neulasissa sen sijaan raskasmetallit konsentroituvat merkitsevästi. Näyttääkin siltä, että pääravinteet vapautuvat mikrobitoiminnan seurauksena raskasmetalleja nopeammin, mikä johtaa puolestaan raskasmetallien osuuden nousuun jäljelle jäävässä neulasmassassa. Koska neulasia varisee runsaasti varastoinnin edetessä ja neulasistakin löydetty pitoisuudet ovat pienet, ei konsentroituminen näy tähteestä otetuista näytteissä.

Natriumin ja kloorin oletetaan olevan osavastuussa tulistinpintojen korroosio-ongelmista. Natriumia löytyy hakkuutähteestä, mutta pitoisuudet ovat alhaiset vaihdellen välillä 21-32 ppm. Varastoinnin aikana tapahtuvat muutoksetkaan natriumin määrässä eivät olleet merkitseviä ( $p=0,9639$ ). Kattamisella ei ollut merkitsevää vaikutusta natriumin eikä muidenkaan hivenravinteiden pitoisuuksiin.

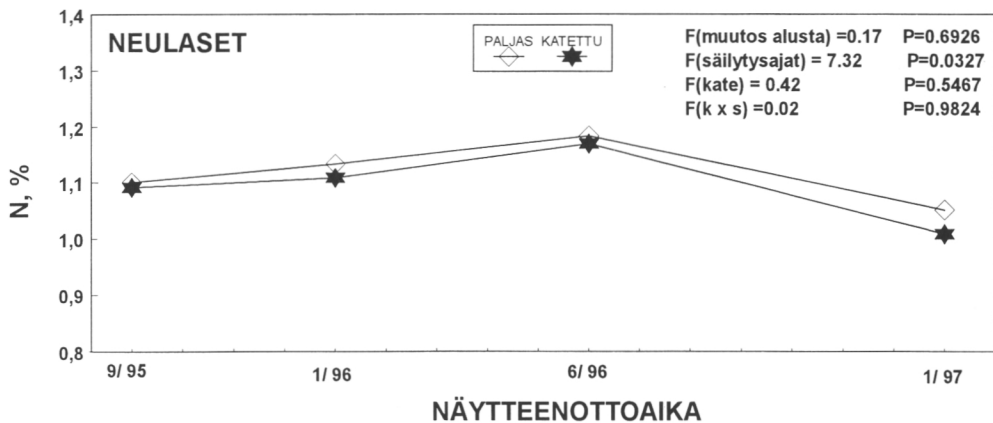
Kloorin on kasvin kannalta välttämätön fotosynteesissä (Mengel ja Kirkby, 1982). Klooria löytyykin tuoreista kuusen neulasista noin 400 ppm, mutta puuaineessa sitä ei ole. Kloridi onkin yksi liikkuvimmista ioneista ( $Cl^-$ ), joka vapautuu helposti. Varastointi laski merkitsevästi neulasten kloridipitoisuuksia (kuva 5). Muutos on ollut vähäinen, mutta tilastollisesti merkitsevä. Syyinä saattaakin olla neulasosuuden vaihtelu tähdenäytteissä.





Kuva 5. Kuusen neulasten ja tähtee kloridipitoisuus ( $Cl^-$ ) palstavarastossa näytteenottoajan suhteen. Samalla kirjaimella merkitty ne keskiarvot, jotka eivät eroa toisistaan 5 %:n merkitsevyydellä.

Typpi on kivennäismailla usein puiden kasvua voimakkaimmin rajoittava tekijä. Karikekerroksen kuolleen orgaanisen aineen hajoamisella on tärkeä osuus typen saatavuuden kannalta. Kuusen neulasissa typpeä oli hieman yli yksi prosentti kuiva-aineesta. Typpeä ei vapautunut merkitsevässä määrin tutkituissa välivarasto-olosuhteissa. Varastointiaikojen välillä tosin oli eroja, mutta ne ovat lähtöisin alkutilanteen erisuuruista konsentraatioista. Kate ei myöskään vaikuttanut typen vapautumiseen (kuva 6). Neulasten variseminen jää siis ainoaksi keinoksi palauttaa typpi takaisin kiertoon. Koska kuitenkin vain pieni osa tyypestä on kasveille käyttökelpoisessa ammonium- tai nitraattityyppinä, ei neulasten varisemisella liene kovin suurta välitöntä merkitystä puuston typen saannin kannalta.



Kuva 6. Kuusen neulasten typpipitoisuus (N) välivarastossa näytteenottoajan suhteen.

### 3.4.1.2. Palstavarastointi

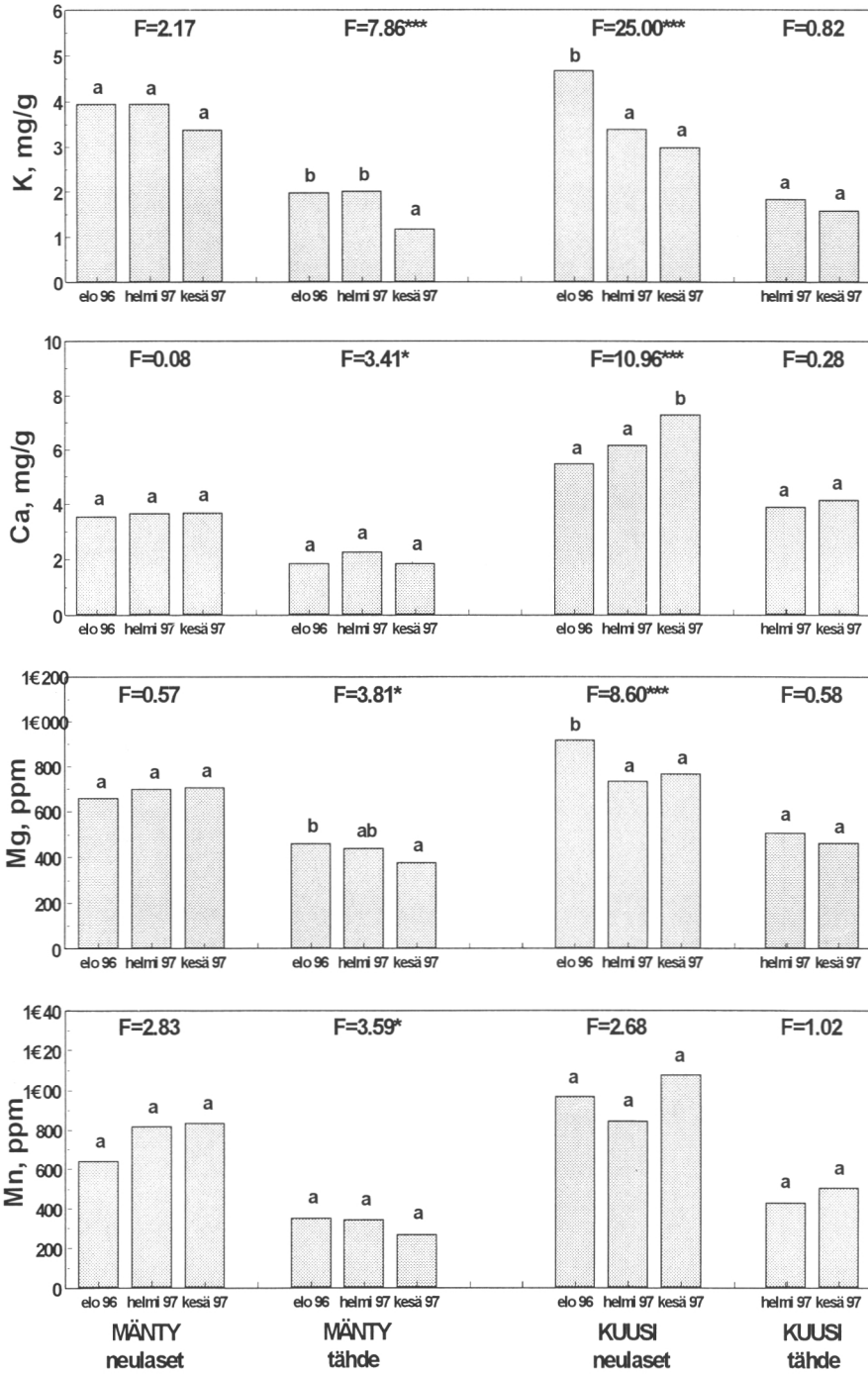
Varastoinnin vaikutuksesta pää- ja hivenravinteiden pitoisuuksiin männyn ja kuusen hakkuutähteessä havaittiin seuraavaa. Yleensä pitoisuudet laskivat tähteessä varastoinnin aikana, kuitenkin niin, että erot olivat männyllä yleisesti merkitsevät, mutta kuusella eivät. Koska ravintepitoisuudet ovat korkeimmat neulasissa, korostuu tämän biomassakomponentin tärkeys alkuaineitten kulkeutumista tarkasteltaessa. Raudan, alumiinin, kuparin ja sinkin pitoisuudet kasvavat neulasissa varastoinnin aikana. Tämä johtuu siitä, että muut alkuaineet vapautuvat herkemmin mikrobitoiminnan tuloksena neulasista, jolloin jäljelle jäävien alkuaineitten pitoisuudet kasvavat. Koko tähdemassassa kuitenkin myös näitten pitoisuudet laskevat neulasten varisemisen myötä.

Kuusen kaliumin, mangaanin, kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet eivät muuttuneet tähdemassassa merkitsevästi. Myöskään fosfori-, boori-, rikki- ja natriumpitoisuudet eivät muuttuneet. Tulos on melko yhteneväinen välivarastoinnista saatujen tulosten kanssa. Kuusen neulasissa kaliumin ja magnesiumin pitoisuudet laskivat. Kalsiumin ja mangaanin pitoisuudet puolestaan kasvoivat. Kalsiumin kohdalla pitoisuuden lasku oli merkitsevästi. Selityksenä voisi olla se, että kuusen neulasista otettujen näytteiden kalsiumpitoisuuksien varianssit eivät toteuttaneet yhtäsuuruusvaatimusta. Männyn tähteen kaikki pitoisuudet ovat säännönmukaisesti laskeneet merkitsevästi. Tämä johtui ennen muuta neulasten varisemisesta. Neulasten pitoisuuksissa ei booria ja metalleja lukuunottamatta tapahtunut merkitseviä muutoksia (kuvat 7-9).

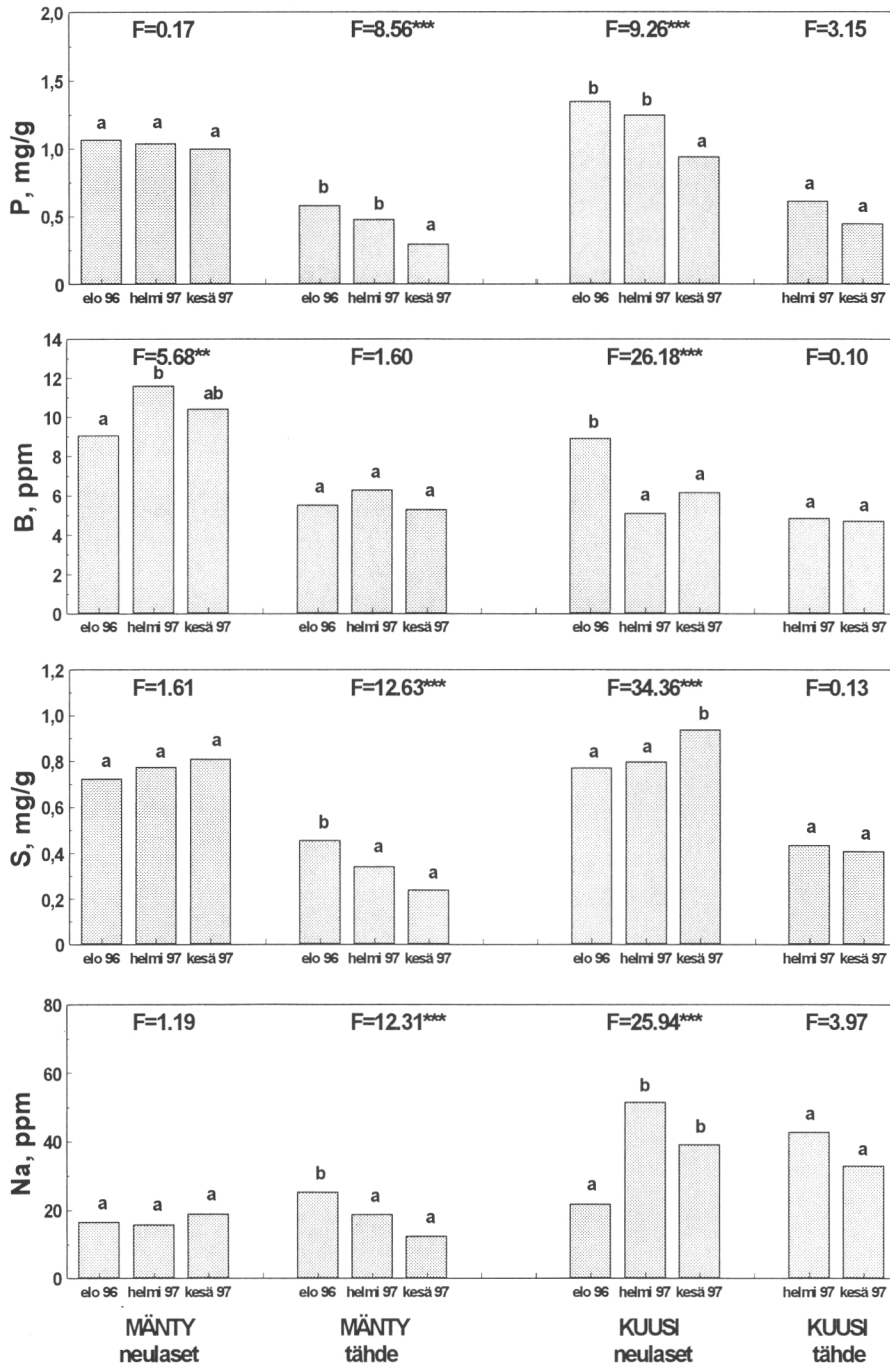
Männyn tuoreitten neulasten kloridipitoisuus on alle puolet kuusen neulasten sisältämästä kloridista (< 200 ppm). Lisäksi pitoisuuksien aleneminen ei ole yhtä nopeata kuin kuusella. Ainespuun tekoa seuranneena kesäkuussa pitoisuus oli vielä 160 ppm, mikä on suunnilleen sama kuin kuusella. Palstalla varastoidun kuusen neulasten kloridipitoisuus oli tuoreessa massassa sama kuin välivarastoidussakin tähteessä (n. 450 ppm). Lisäksi varastopaikalla ei näyttäisi olevan merkitystä kloridipitoisuuksien alenemisen kannalta, sillä varastoinnin lopuksi otetuista näytteistä määritetyt pitoisuudet olivat noin 170 ppm.

Männyn tähteessä kloridipitoisuus on alhaisempi kuin kuusen tähteessä. Tämä johtuu kuusen suuremmasta neulasmassan osuudesta sekä tuoreen tähteen kohdalla kuusen neulasten suuremmista pitoisuuksista. Koska klooria esiintyy nimenomaan tähteen neulaskomponentissa, voidaan varastoinnilla oleellisesti vähentää sen määrää hakkuutähteestä saatavasta polttohakeessa. Lisäksi kloridipitoisuudet alenevat nopeasti, erityisesti kuusen neulasista.

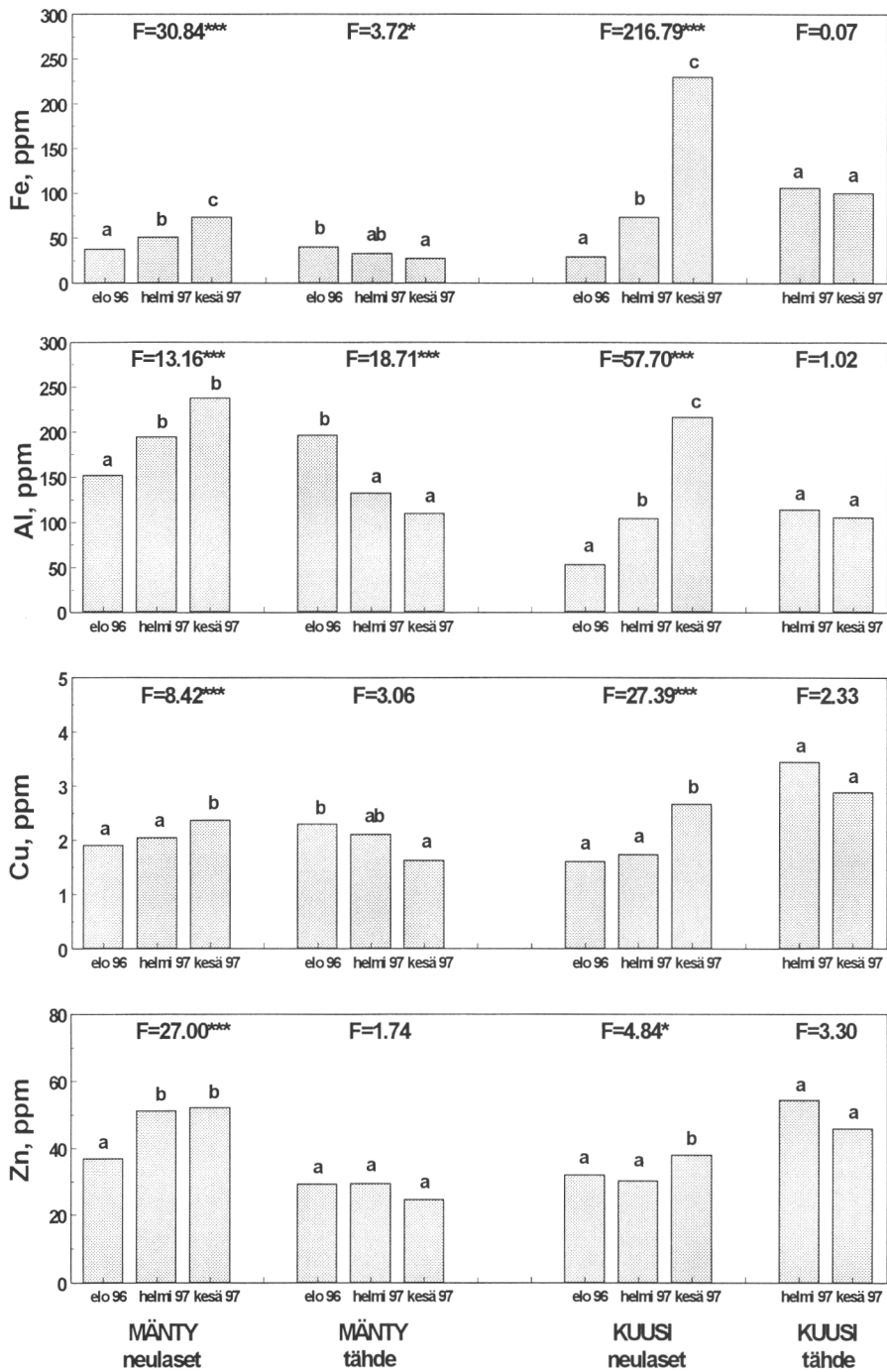
Kadmium-, kromi-, lyijy-, molybdeeni- ja nikkelpitoisuudet jäivät kuusen hakkuutähteessä alle määrittämissä rajat. Tämä ei tarkoita sitä, että niitä ei olisi hakkuutähteessä, vaan että niiden pitoisuudet ovat niin pienet ettei niitä voitu havaita käytetyillä menetelmillä. Nämä vähäiset määrät voivat kuitenkin konsentroitua puutuhkaan.



*Kuva 7. Männyn ja kuusen tähteen kalium- (K), kalsium- (Ca), magnesium- (Mg) ja mangaani- (Mn) pitoisuus palstavarastossa näytteenottoajan suhteen. Samalla kirjaimella merkitty ne keskiarvot, jotka eivät eroa toisistaan 5 %:n merkitsevyystasolla.*



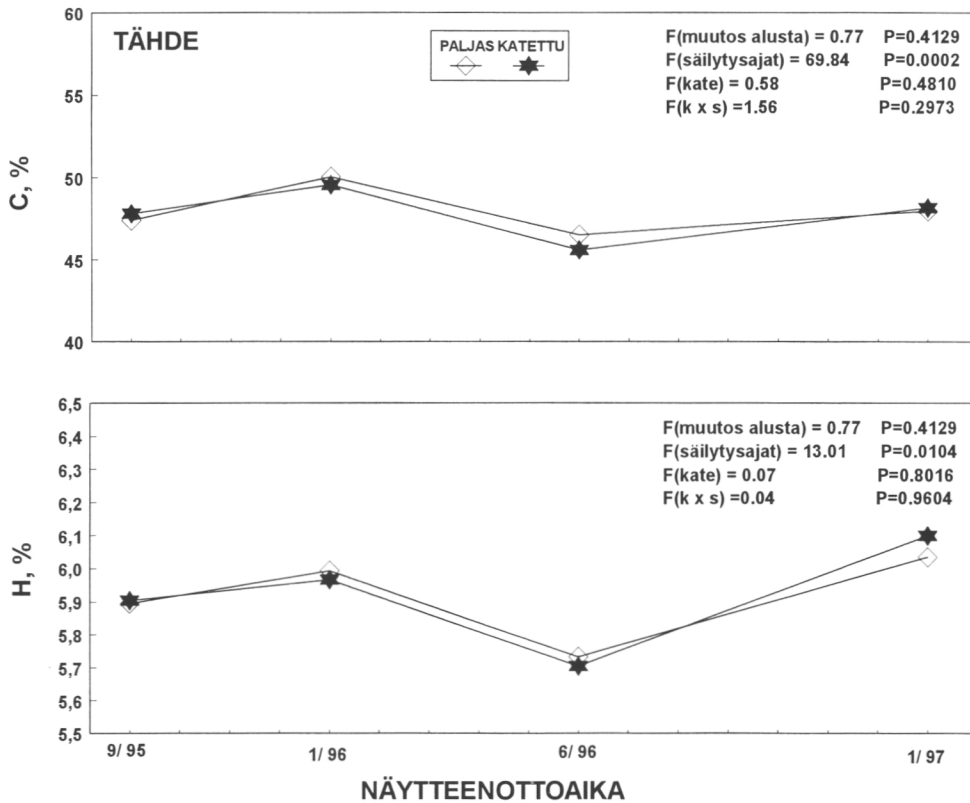
*Kuva 8. Männyn ja kuusen tähteen fosfori- (P), boori- (B), rikki- (S) ja natrium- (Na) pitoisuus palstavarastossa näytteenottoajan suhteen. Samalla kirjaimella merkitty ne keskiarvot, jotka eivät eroa toisistaan 5 %:n merkitsevyystasolla.*



*Kuva 9. Männyin ja kuusen tähteen rauta- (Fe), alumiini- (Al), kupari- (Cu) ja sinkki- (Zn) pitoisuus palstavarastossa näytteenottoajan suhteen. Samalla kirjaimella merkitty ne keskiarvot, jotka eivät eroa toisistaan 5 %:n merkitsevyydellä.*

### 3.4.2. Hiili ja vety

Muutokset hiilen ja vedyn pitoisuuksissa eivät muuttuneet varastointiaikana. Näytteenottoajan-kohtien so. vuodenaikojen välillä oli kuitenkin eroja, jotka selittyvät eri suuruisilla lähtötasoilla. Lisäksi hiilivetyjen vapautuminen on kesän aikana vilkkainta (kuva 10). Koska hiili ja vety ovat sitoutuneet toisiinsa hiilihydraateissa ja ligniinissä, pysyvät niiden suhteet samana aineen hajo-  
tessa mikrobitoiminnan tuloksena. Täten myös massayksikköä kohti lasketun lämpöarvon tulisi pysyä muuttumattomana.



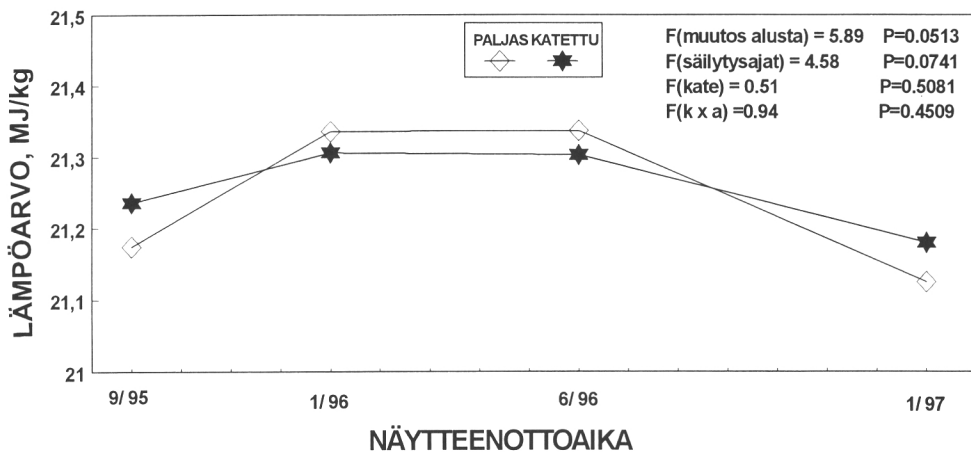
*Kuva 10. Kuusen hakkuutähteen hiili- (C) ja vetypitoisuus (H) välivarastossa näytteenottoajan suhteen.*

### 3.5. Hakkuutähteen lämpöarvo

Hakkuutähteen kalorimetrinen lämpöarvo riippuu ensisijaisesti hiilen ja vedyn suhteellisista osuuksista. Koska tämä suhde on hieman erilainen hemiselluloosassa, ligniinissä ja uteai-  
neissa, lämpöarvo vaihtelee siten hieman myös puu-, kuori- ja neulasmassan kesken. Lisäksi tehollinen lämpöarvo vaihtelee suuresti kosteuden mukaan. Havupuiden oksien puuaine

poikkeaa rakenteeltaan runkopuusta siinä, että oksien alapuolelle muodostuu lylyä. Lylyn yksi tunnusomainen piirre on normaalipuuta korkeampi ligniinin määrä. Ligniinin lämpöarvo on selluloosaa ja muita puun sisältämiä hiilihydraatteja korkeampi. Tämän johdosta havupuiden oksissa olevan puuaineen lämpöarvo on rungon puuainetta korkeampi. Myös korkea uuteainepitoisuus nostaa oksapuun lämpöarvoa. Männyn ja kuusen oksien kuoren lämpöarvo on puolestaan oksia hieman korkeampi. Aiemmista tutkimuksista tiedetään, että männyn neulasettoman oksamassan tehollinen lämpöarvo 0 %:n kosteudessa on 20,09 ja kuusen 19,41 MJ/kg (Nurmi 1997). Vastaavasti neulasten lämpöarvot ovat 21,04 ja 19,19 MJ/kg. Männyn neulasen lämpöarvo on siis muuta latvusmassaa korkeampi, kun taas kuusella ero neulasten ja oksien välillä on pieni. Tästä seuraa, että neulasten varisemisella tulisi männyllä olla suurempi vaikutus keskimääräiseen lämpöarvoon kuin kuusella.

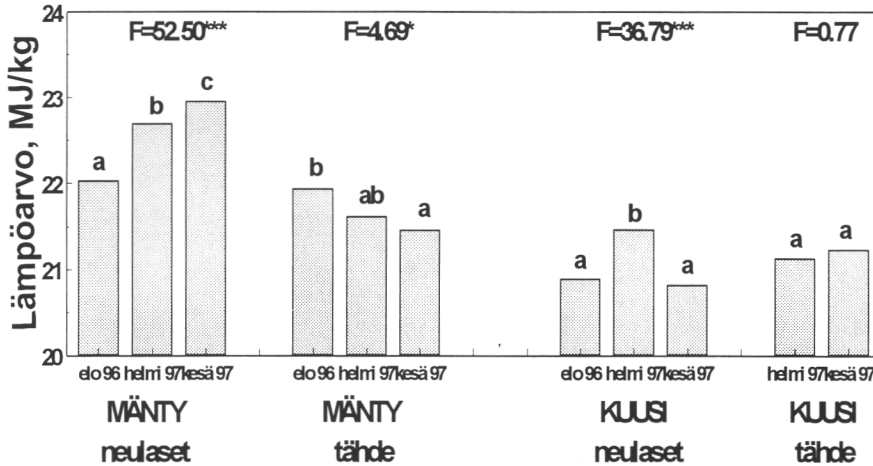
Kuusen välivarastoinnin aikana Mikkelissä keskimääräiset kuiva-aineen teholliset lämpöarvot vaihtelivat välillä 19,8-20,1 MJ/kg (kalorimetrinen lämpöarvo = 21,2-21,4 MJ/kg). Vaihtelu oli pieni, eikä varastointiaikojen välillä ollut tilastollisesti merkitseviä eroja (kuva 11). Lieneekin niin, että vaikka tähteen nettolämpöarvo alenee neulasten varisemisen, lahoamisen ja uuteainneitten vapautumisen kautta, pysyy keskimääräinen kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo samana hiilen ja vedyn suhteen pysyessä lähes samana varastoinnin ajan. Näin ollen vain kosteus jää jäljelle merkittävänä tehollista lämpöarvoa säätelevänä tekijänä.



**Kuva 11.** Kuusen hakkuutähteen kalorimetrinen lämpöarvo MJ/kg välivarastossa näytteenottoajan suhteen.

Kuusen palstavarastointi ei myöskään aiheuta lämpöarvollisia eroja varastointiajan suhteen. Massaa tosin menetetään mm. neulasten varisemisena, mutta se ei näy lämpöarvossa. Tukeyn testin parittaiset vertailut antavat viitteen siitä, että kuusen neulasten lämpöarvo olisi talvella jopa merkittävästi ( $p < 0,001$ ) suurempi kuin kesällä (kuva 12). Tyhjentävää syytä tähän on vaikea löytää. Yksi voisi olla se, että kesäaikana haihtumisen ja mikrobitoiminnan takia hiilivetyyhdisteitä vapautuu biomassasta alentaen niiden osuutta ja samalla nostaa palamattoman tuhkan osuutta. Lisäksi näytteiden otantaan saattaa liittyä epätarkkuutta, mikä osaltaan on saattanut vaikuttaa lopputulokseen.

Palstavarastoidun männyn hakkuutähteen tehollinen lämpöarvo aleni varastoinnin edetessä tilastollisesti merkitsevästi 20,6:sta 20,2:een MJ/kg. Kuten yllä mainittiin kuusen yhteydessä, tämä muutos voi johtua aineenvaihdunnallisista syistä tai otantaan liittyneestä virheestä. Muutokset männyn hakkuutähteen lämpöarvossa johtunevat kuitenkin suurelta osin neulasmassan osuuden alenemisesta. Miksi neulasten lämpöarvo on noussut näin merkitsevästi noin 22:sta 23:een MJ/kg, ei ole tietoa.



Kuva 12. Männyn ja kuusen hakkuutähteen kalorimetrinen lämpöarvo palstalla näytteenottoajan suhteen. Samalla kirjaimella merkitty ne keskiarvot, jotka eivät eroa toisistaan 5 %:n merkitsevyystasolla.

#### 4. PÄÄTELMÄT

Tuoreen hakkuutähteen kosteus vaihtelee välillä 50-55 %. Kun oksat on karsittu, pyrkii niiden kosteus asettumaan tasapainotilaan ilman suhteellisen kosteuden kanssa. Palstalla kasoilla olevat tähteet kuivuvat suuremman pinta-alansa ja kasojen harvuuden takia välivarastossa olevia tähteitä nopeammin. Mikäli hakkuut tehdään syksyllä tai talvella, tähteet eivät kuivu palstalakaan ennen seuraavaa kesää. Pikemminkin talviaikainen varastointi lisää niiden kosteutta pintajään ja lumen muodossa. Mikäli taas hakkuu on tehty keväällä tai kesällä, kuivuvat tähteet palstalle hakkuukoneen tekemissä kasoissa usein erittäin hyvin. Parhaan kosteuden saavuttamiseksi olisi tähtöiden annettava kuivua palstalla kesän yli ja kerättävä syksyllä välivarastoon odottamaan talviaikaista haketusta. Näin voidaan säilyttää saavutettu hyvä laatu, koska lunta ja jäätä ei pääse kertymään tähtöeseen. On kuitenkin muistettava, että mikäli talvella hakatuilla aloilla olevaa tähdettä ei voida kuivattaa hakkuuta seuraavan kesän yli, tulisi tähteet kerätä välivarastoon välittömästi ainespuun korjuun jälkeen. Näin estetään lumen ja jään mukanaan tuoma lisäkosteus.

Tähtöiden varastointi/kuivattaminen palstalla vaikuttaa oleellisesti hakkuutähtöiden kertymään. Suurin kertymä saadaan, mikäli tähteet kerätään tuoreena. Tällöin tosin joudutaan kuljettamaan



paljon vettä tähteen mukana, mistä syntyy kustannuksia. Monissa nykyaikaisissa laitoksissa kostean polttohakkeen poltto ei tuota vaikeuksia, mutta toistaiseksi valtaosa laitoksista ei ole rakennettu vastaanottamaan näin kosteata polttoainetta. Mikäli tähteen annetaan kuivua palstalla, paranee tähteestä saatavan polttohakkeen tehollinen lämpöarvo siinä määrin, että neulasten varisemisen johdosta tapahtuva massan menetys korvautuu täysimääräisesti kosteuden alenemisella. Lisäksi metsämaan ravinteikkouden kannalta lienee edullista antaa ravinnerikkaan neulasmassan varista kuivumisen seurauksena palstalle. Tulee myös muistaa, että pitkäaikaisen välivarastoinnin seurauksena läheskään kaikki neulaset eivät päädy polttoon, vaan ne varisevat varastolle, jolloin niistä ei ole hyötyä enempää metsämaalle kuin lämpölaitoksellekaan.

Ravinteiden vapautumisen todettiin olevan hidasta varastoinnin aikana. Välivarastoinnissakaan ei ole pelättävissä, että suuria määriä ravinteita huuhtoutuisi pintavesiin. Metsän ravinnetalouden kannalta neulasten variseminen onkin paljon tärkeämpi tekijä kuin ravinteiden välitön vapautuminen hakkuutähteestä. Näin menetellessä alenee myös tulistimille haitallisiksi katsottujen kloorin, natriumin ja rikin määrät. Mikäli tähteet on kuitenkin logistisista syistä otettava talteen neulasineen, voidaan tähteen sisältämät ravinteet palauttaa palstalle puutuhkan muodossa.

Tuhkan määrä lisääntyy tähteessä ja varsinkin neulasissa biologisen hajoamisen myötä noin 50-100 % vuoden mittaisen varastoinnin aikana. Lisäys riippuu neulasosuuden suuruudesta. Mitä vähemmän neulasia, sitä vähemmän tuhkapitoisuus lisääntyy varastoinnin pidentyessä. Varastopaikalla ei näyttäisi olevan kovin paljon vaikutusta tuhkan määrään. Koska lisäys on melko huomattava, täytyy se ottaa huomioon lämpölaitoksilla, vaikkakaan se ei tuottane käsittelyvaikeuksia. Tutkimuksen mukaan tuhkan määrä oli pienempi katetuissa välivarastokasoissa. Tämä viittaa pienempiin kuiva-ainetappioihin. Näiden tulosten perusteella on kuitenkin mahdollista sanoa, onko katteella tässä suhteessa todellista käytännön merkitystä.

Hakkuutähteen lämpöarvon muutokset painoyksikköä kohti ovat pienet, sillä hiiltä ja vetyä vapautuu suurin piirtein samassa suhteessa. Massan nettoenergian määrään sen sijaan vaikuttaa huomattavasti enemmän neulasten ja pienten oksien variseminen joiden aiheuttama kuiva-aineen hukka voi olla jopa 30 %. Suurin vaikutus teholliseen lämpöarvoon on kuitenkin kosteudella.

Ruotsissa hakkuutähteen pitkäaikainen varastointi välivarastossa on yleinen käytäntö, jolla pyritään parantamaan hakkuutähteestä saatavan polttoaineen laatua. Olosuhteiden parantamiseksi hakkuutähdekatat peitetään kaksinkertaisella voimaperillä, jonka kestävyttä on parannettu piki- ja lasikuitukudoskerroksilla. Tutkimusten mukaan menettely alentaa hakkuutähteen kosteutta huomattavasti (Jirjis 1996). Tämän tutkimuksen tulokset eivät kuitenkaan tue oletusta, että kattaminen edesauttaa kasojen kuivana pysymistä ja vähentää kosteusvaihteluita kasoissa. Lisäksi katteella ei ollut vaikutusta ravinteiden vapautumisenkaan kannalta. Onkin kysyttävä, miksi kate ei toiminut kosteutta vähentävänä tekijänä? Ensinnäkin kate oli liian kapea ainakin kooltaan suurimpiin kasoihin. Tästä seuraa, että osa sadevesistä ja lumen sulavesistä on ohjautunut katteen reunojen yli kasoihin. Toisaalta osa kasoista oli sen kokoisia, että kasan ylimmät kerrokset ovat toimineet peittona, joista lumi on sitten keväällä osin sulanut kasaan, osin haihtunut, so. peittämättömät katat ovat kattaneet itse itsensä. Erot ruotsalaisiin tutkimuksiin selittyivät sillä, että suurin osa heidän laajasta tutkimusaineistostaan on kerätty eteläisemmiltä leveysasteilta, missä suhteellisesti suurempi osa sateesta tulee vetenä. Lisäksi siellä on kokeuksesta opittu mitoittamaan kasan korkeus oikein paperin leveyteen nähden niin, että katat ovat matalampia ja tulevat jotakuinkin paperilla katetuksi. Tämän tutkimuksen tulosten perus-

teella kattamisesta saatava hyöty/kustannus suhde on kyseenalainen vihreän hakkuutähteen peittämisessä. Mikäli peittämisessä onnistutaan ja menetelmää käytetään kuivan ruskean tähteen peittämiseen, saattaa polttohakkeen parempi laatu hyvinkin korvata kattamisesta aiheutuneet kustannukset. Tuleekin mainita, että kapeutta lukuunottamatta katteena käytetty paperi sopi erinomaisesti tähteen peittämiseen. Paperin lujuus, valon kesto ja levitettävyyden olivat ilmeisen hyvät.

## KIRJALLISUUS

Bergman, Ö. & Nilsson, T. 1966. Studier över utomhuslagring av tallvedsflis vid Lövhölmens Pappersbruk. Summary: On Outside Storage of Pine Chips at Lövhölmens Paper Mill. Institutionen för virkeslära, Skogshögskolan. Rapport 53. 83 s.

Bergman, Ö. & Nilsson, T. 1967. Studier över utomhuslagring av aspvedsflis vid Hörnefors Sulfitfabrik. Institutionen för virkeslära, Skogshögskolan. Rapport 55. 105 s.

Björklund, L. 1983. Lagring av helträdsflis av olika trädslag samt i olika fraktioner. Summary: Storage of whole-tree chips of different species and in different fractions. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära. Rapport 143. 50 s.

Castren, M. & Lukkala, K. 1986. Hakelämmityksen ja työperäisten altisteiden vaikutus maanviljelijöiden hengityselinoireisiin. Summary: Effects of heating with wood chips and occupational predispositions on farmers' respiratory symptoms. Työtehoseuran Julkaisuja, No 282.

Gislerud, O. 1978. Lagring av lauvtrefflis. Et lagringsforsøk med Sande Paper Mill A/S. Norsk Institutt for Skogforskning. Rapport 9. 37 s.

Hakkila, P. 1962. Polttohakepuun kuivuminen metsässä. Summary: Forest seasoning of wood intended for fuel chips. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 54(4). 82 s.

Hakkila, P. 1978. Pienpuun korjuu polttoaineksi. Summary: Harvesting small-sized wood for fuel. Folia Forestalia 342. 32 s.

Hakkila, P. 1991. Hakkuupoistuman latvusmassa. Folia Forestalia 773. 24 s.

Hakkila, P. & Fredriksson, T. 1996. Metsämme bioenergian lähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 613. 92 s.

Heiskanen, V. & Jokihaara, L. 1961. Puupolttainesten lämpöarvosta. Pienpuualan Toimikunnan tiedotus 33. 5 s.

Jirjis, R. & Lehtikangas, P. 1991. Storage of forest residues in covered windrows. In: Suadicani, K. (ed), Proceedings from joint meeting. IEA/BEA Activity 4 (Wood preparation, storage and drying) and 5 (Measurement and evaluation of wood fuel). Silsoe Research Institute, 12-14 June 1991. Danish Forest and Landscape Research Institute. Research Report No 10: 46-53

Jirjis, R. 1996. Handling and storage of uncomminuted forest residues. In: Hudson, J.B. & Kofman, P.D.(eds). Harvesting, storage and road transportation of logging residues. Proceedings of a workshop of IEA-BA-Task XII activity 1.2, held in October 1995 in Glasgow, Scotland - Danish Forest and Landscape Research Institute, Hørsholm, Denmark. s. 41-49. ISBN 87-89822-56-0

Lehtonen, I. 1977. Puu polttoaineena. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu. Abstract: Wood as a fuel. A study based on literature. Folia Forestalia 293. 16 s.

Liss, J.-E. 1979. Syrfällning. Institutionen för Skogsteknik, Skogshögskolan. Garpenberg. Stencil 73. 20 s.

Mengel, K. & Kirkby, E.A. 1982. Principles of plant nutrition. International Potash Institute, Bern. 3<sup>rd</sup> edition. 655 s.

Nurmi, J. 1987. Polttohakkeen kuivatus traktorikonteissa. Summary: Drying of fuel chips and chunks in wooden bins. Folia Forestalia 687. 40 s.

Nurmi, J. 1993. Heating values of the above ground biomass of small-sized trees. Acta Forestalia Fennica 236. 30 s.

Nurmi, J. 1997. Heating values of mature trees. Acta Forestalia Fennica 256. 28 s.

Nurmi, J. 1999. Storage of logging residues for fuel. Biomass and Bioenergy. Painossa.

Pellikka, M. 1983. Homepölyaltistus polttohakkeen käsittelyn yhteydessä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 81. 76 s.

Pellikka, M. & Kotimaa, M. 1983. Polttohakkeen käsittelystä aiheutuva ilman homepölypitoisuus sekä siihen vaikuttavat tekijät. Summary: The mould dust concentration caused by the handling of fuel chips and its modifying factors. Folia Forestalia 563. 18 s.

Pesonen, M. 1982. Homepölyaltistus maataloilla hakkeen käytön yhteydessä. Emissio 1/82. s. 19-21.

Report of the technical panel on fuelwood and charcoal on its second session. A/CONF. 100/PC/34, 25 February 1981.

Simola, P. & Mäkelä, M. 1976. Rasiinkaato kokopuiden korjuussa. Summary: Leaf-seasoning method in whole-tree logging. *Folia Forestalia* 273. 18 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.

Thörnqvist, T. 1983. Bränsleflis förändring under ett års lagring. Summary: Fuel chips change during one year of storage. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära. Rapport 148. 65 s.

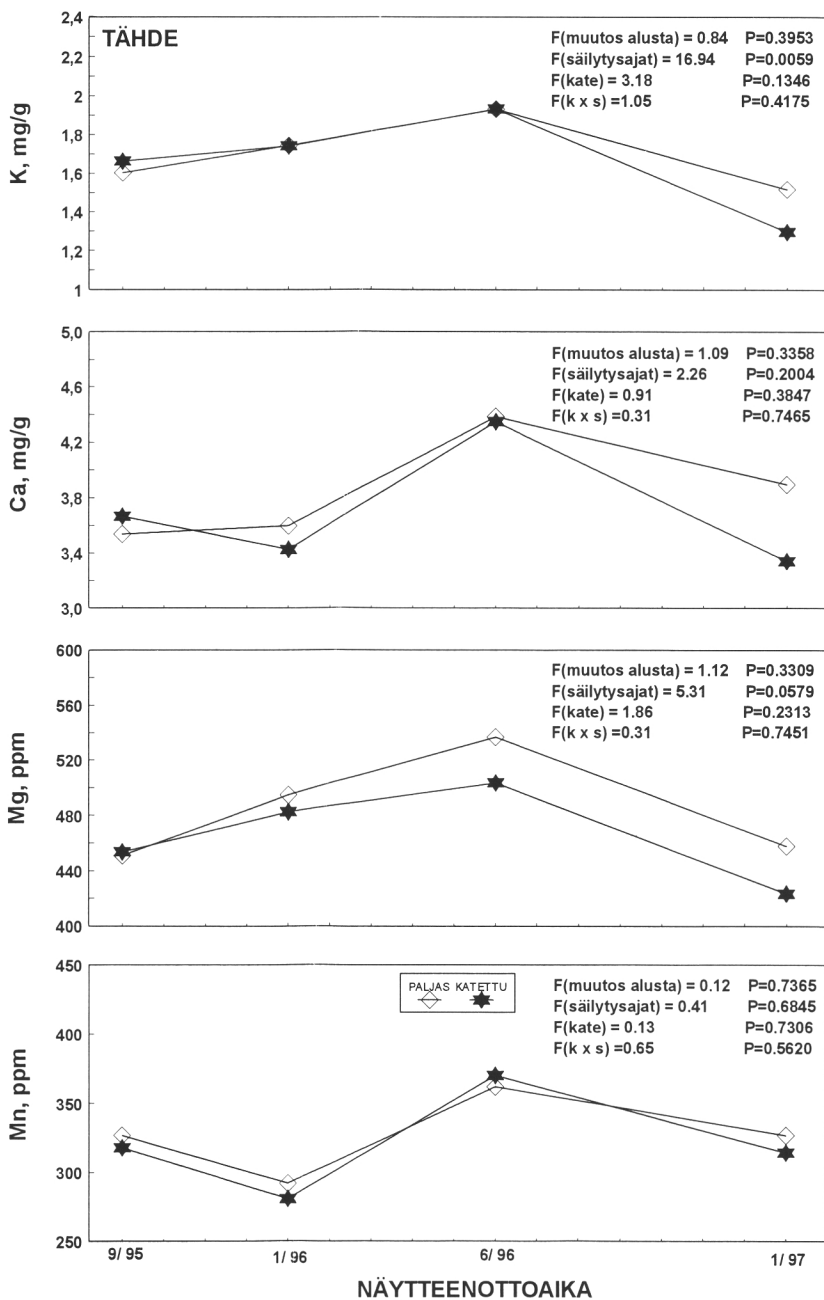
Turkkila, K. & Knut, S. 1982. Homeiden määrä ja laatu maatilojen hakkeessa. Summary: The amount and species of the moulds in the chips of farms. *Työtehoseuran metsätiedotus* 344. 4 s.

Uusvaara, O. 1984. Hakepuun kosteuden alentaminen ennen haketusta korjuuseen ja varastointiin liittyvin toimenpitein. Summary: Decreasing the moisture content of chipwood before chipping, harvesting and storage measures. *Folia Forestalia* 599. 31s.

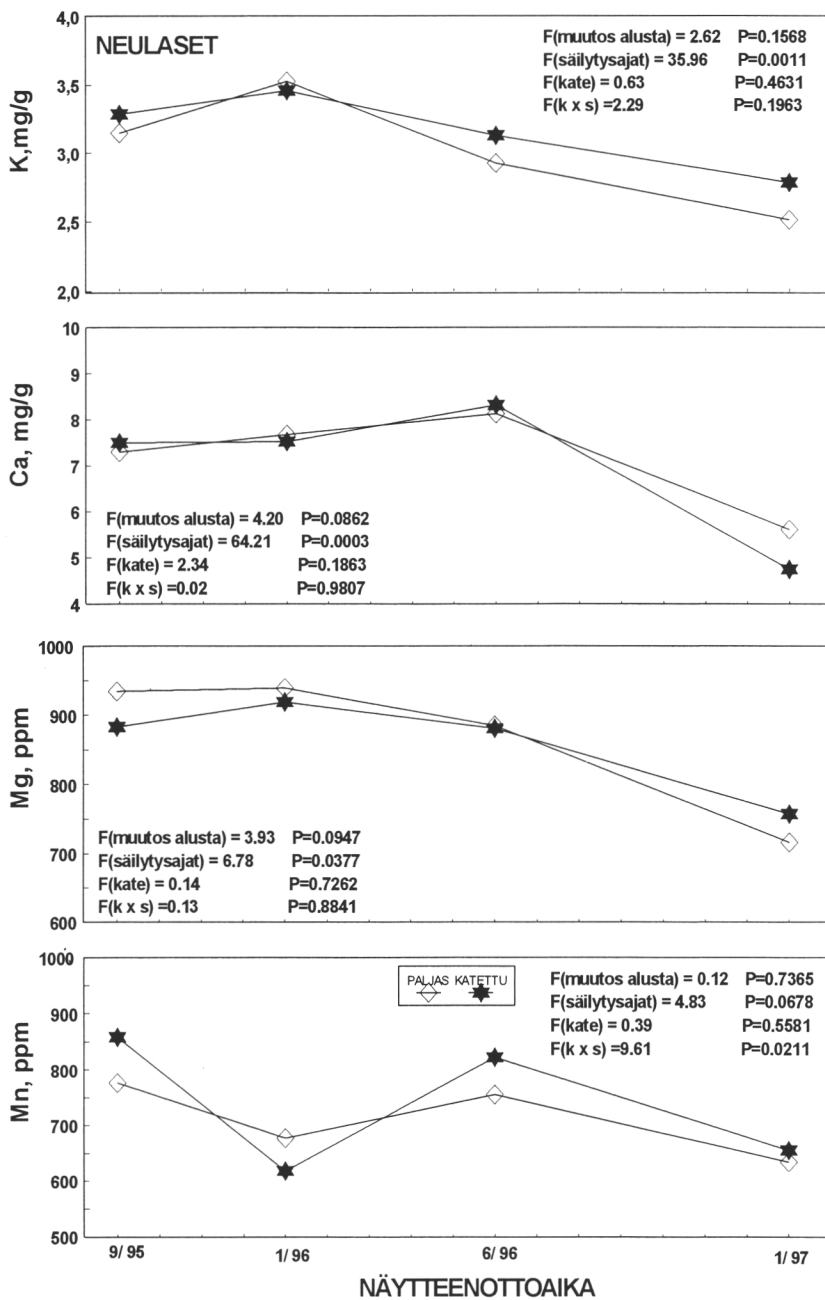
Voipio, R. & Laakso, T. 1992. Pienikokoisten puiden maanpäällisen biomassan kemiallinen koostumus. *Folia Forestalia* 789. 22 s.

White, M.S., Curtis, M.L., Sarles, R.L. & Green, D.W. 1983. Effects of outside storage on the energy potential of hardwood particulate fuels: Part 1. Moisture content and temperature. *Forest Products Journal* 33: 31-38.

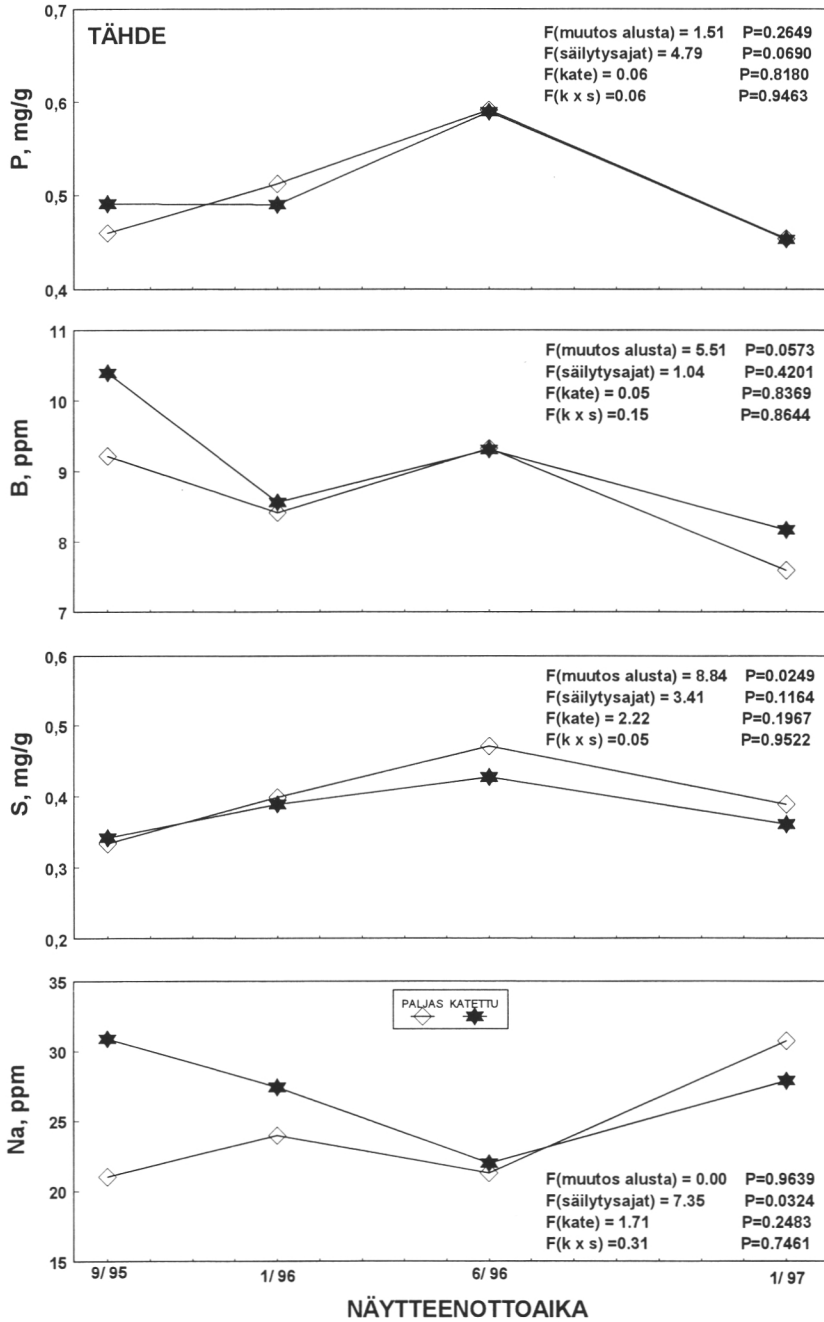
*Liite 1. Kuusen tähteen kalium- (K), kalsium- (Ca), magnesium- (Mg) ja mangaani- (Mn) pitoisuus välivarastossa näytteenottoajan suhteen.*



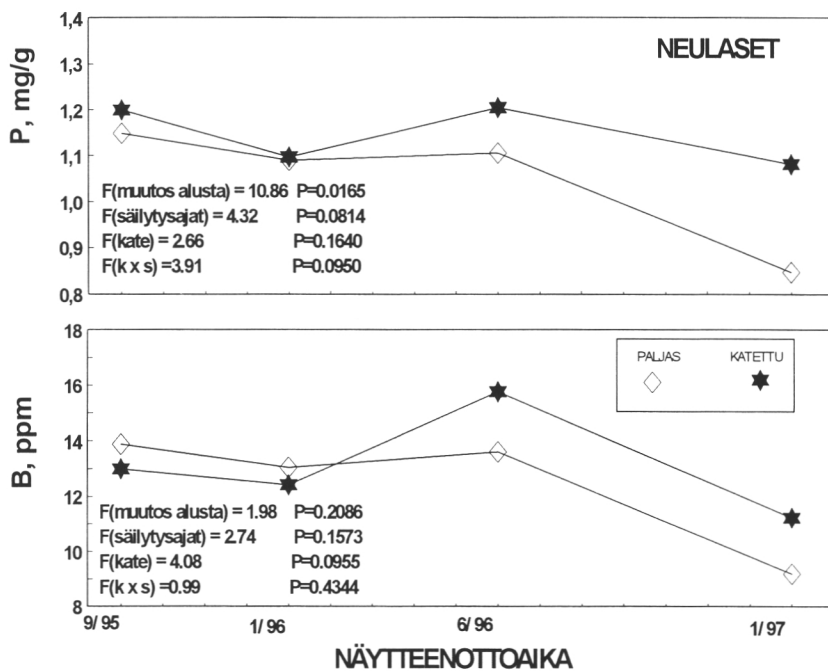
*Liite 2. Kuusen neulasten kalium- (K), kalsium- (Ca), magnesium- (Mg) ja mangaani- (Mn) pitoisuus välivarastossa näytteenottoajan suhteen.*



**Lüite 3. Kuusen tähteen fosfori- (P), boori- (B), rikki- (S) ja natrium- (Na) pitoisuus välivarastossa näytteenottoajan suhteen.**

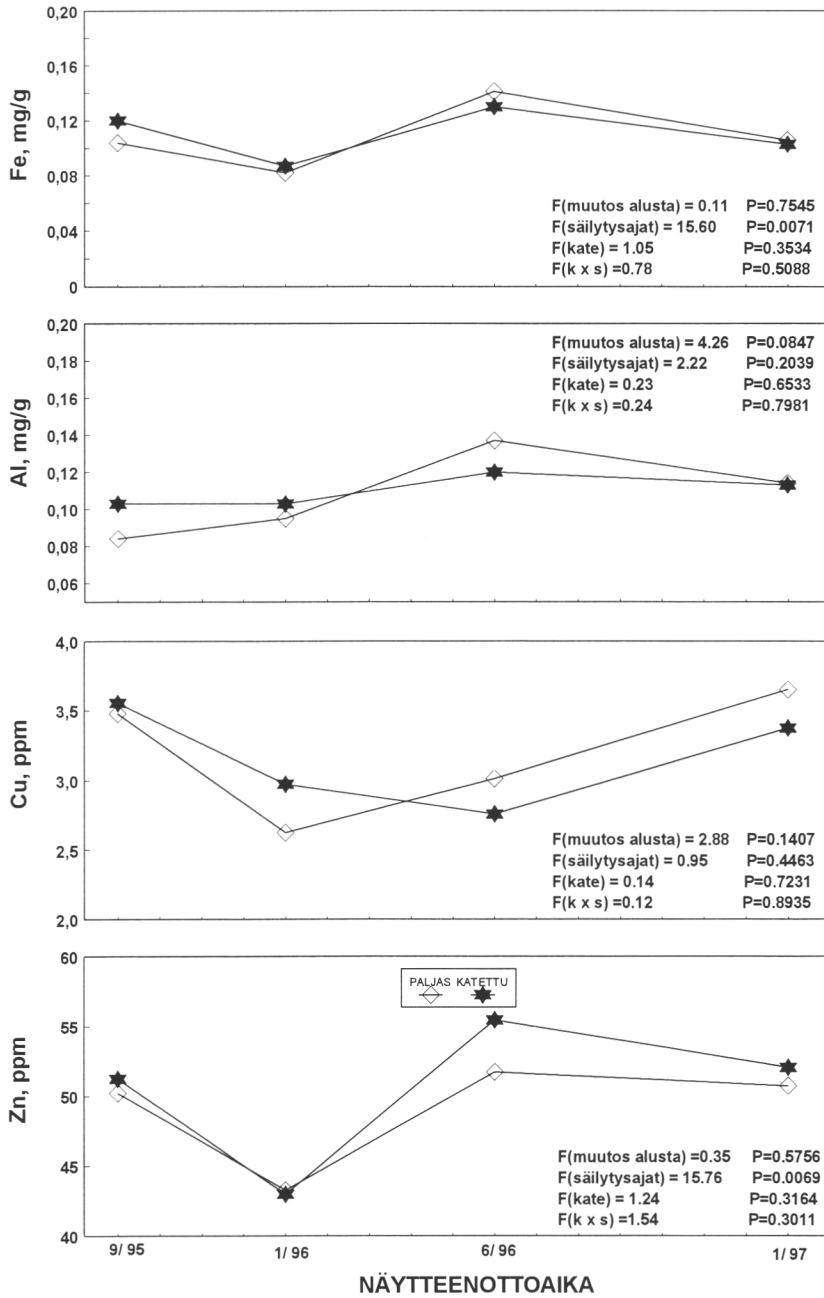


*Liite 4. Kuusen neulasten fosfori- (P) ja boori- (B) pitoisuus välivarastossa näytteenottoajan suhteen.*

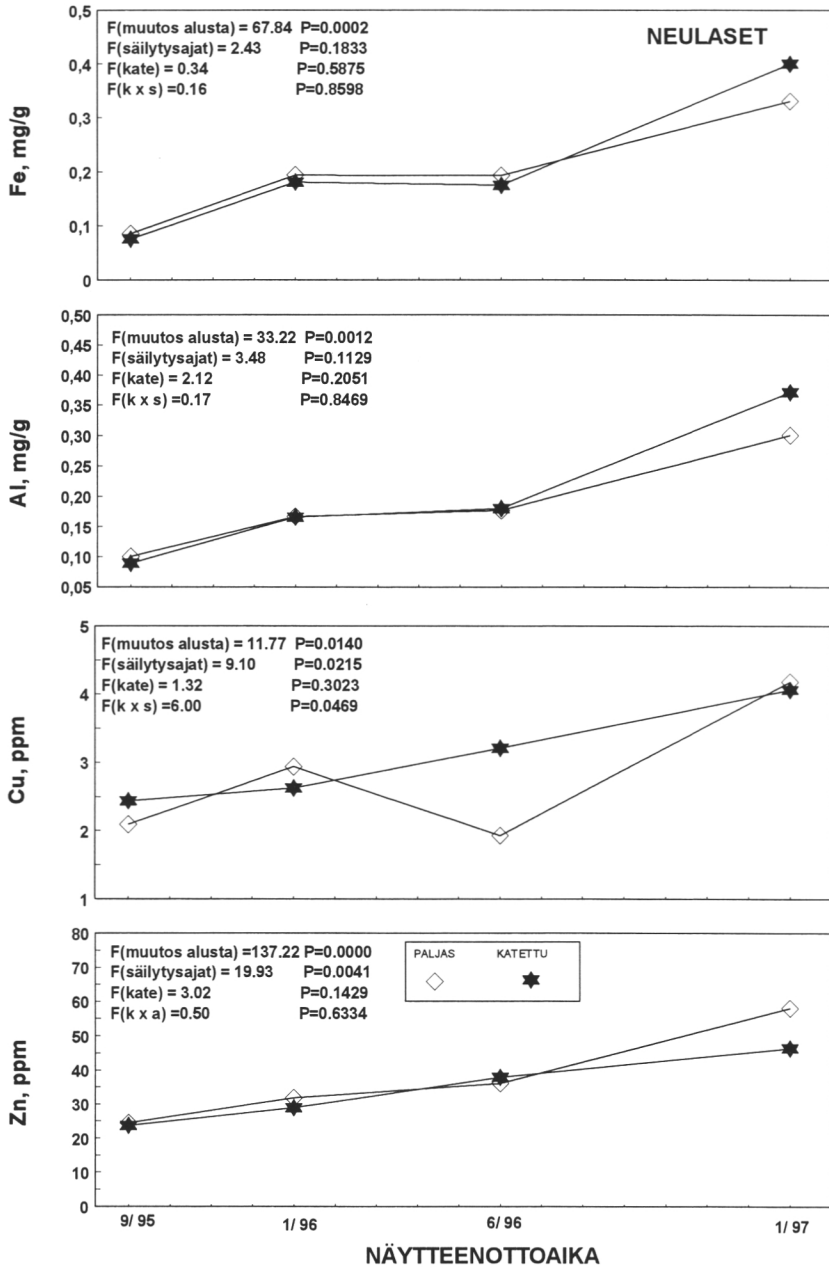




*Liite 5. Kuusen tähteen rauta- (Fe), alumiini- (Al), kupari- (Cu) ja sinkki- (Zn) pitoisuus välivarastossa näytteenottoajan suhteen.*



*Liite 6. Kuusen neulasten rauta- (Fe), alumiini- (Al), kupari- (Cu) ja sinkki- (Zn) pitoisuus välivarastossa näytteenottoajan suhteen.*



**Kannuksen tutkimusasemalla ilmestyneitä Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja-sarjan julkaisuja:**

- N:o 206 Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 28.11.1985. Forest Research Day at Kannus 28.11.1985. 99 s.
- N:o 245 Jyrki Hytönen 1987. Lannoituksen vaikutus koripajun ravinnetilaan ja tuotokseen kahdella suonpohja-alueella. Summary: Effect of fertilization on the nutrient status and dry mass production of *Salix viminalis* on two peat cut-away areas. 31 s.
- N:o 250 Metsäntutkimuspäivä Kokkolassa 13.3.1987. Metsäteknologian teemapäivä. 113 s.
- N:o 304 Ari Ferm (ed.) 1988. Proceedings of the IEA Task II meeting and workshop on cell culture and coppicing. In Oulu, Finland, August 24—29, 1987. 115 s.
- N:o 320 Ari Ferm, Jyrki Hytönen, Kimmo K. Kolari & Heikki Veijalainen 1988. Metsäpuiden kasvuhäiriöt turkistarhojen läheisyydessä. Sammandrag: Tillväxtstörningar i skogsträd i närheten av pälsfamer. Abstract: Growth disturbances of forest trees close to fur farms. 77 s.
- N:o 322 Ari Ferm & Maire Ala-Pönttiö (toim.) 1989. Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 1988. 96 s.
- N:o 329 Esa Heino 1989. Suomalainen pajukirjallisuus. Finnish bibliography on willow. 30 s.
- N:o 346 Juha Nurmi & Keijo Polet (ed.) 1990. Measurement and evaluation of wood fuel. Proceedings of the IEA/BE TASK VI Activity 5 Workshop in Jyväskylä, Finland. October 25-27, 1989. 64 s.
- N:o 348 Ari Ferm 1990. Coppicing, aboveground woody biomass production and nutritional aspects of birch with specific reference to *Betula pubescens*. 35 s. + osajulkaisut.
- N:o 374 Ari Ferm ja Esa Heino (toim.) 1991. Keski-Pohjanmaa — Nouseva metsämaakunta. Metsäntutkimuspäivä Ylivieskassa 14.6.1990. 43 s.
- N:o 391 Ari Ferm ja Keijo Polet (toim.) 1991. Peltojen metsitysmenetelmät. Tutkimushankkeen väliraportti. Developing methods for afforestation of fields. Interim report. 120 s.
- N:o 401 Risto Lauhanen 1992. PATU M 100-kaivuri metsäojituksessa. Abstract: PATU M 100 excavator in forest drainage. 23 s.
- N:o 409 Risto Lauhanen 1992. Kunnostusojituksen ongelmat ja tutkimustarpeet. Abstract: Ditch network maintenance, its problems and research needs. 45 s.
- N:o 457 Kristian Karlsson (red.) 1993. Skogsforskningsdag i Vörå 1992 – Metsäntutkimuspäivä Vöyrissä 1992. 47 s.
- N:o 458 Risto Lauhanen & Tero Takalo 1993. Yksitelainen LA-MA 10-kaivuri metsäojien perkauksessa. Abstract: LA-MA 10 single track backhoe in forest ditch cleaning. 20 s.
- N:o 463 Ari Ferm, Jyrki Hytönen, Katri Koski, Seppo Vihanta & Olavi Kohal. Peltojen metsitysmenetelmät. Kenttäkokeiden esittely ja metsitysten kehitys kolmen ensimmäisen vuoden aikana. 127 s.
- N:o 540 Jyrki Hytönen & Keijo Polet (toim.) 1995. Metsäntutkimuspäivä Kälviällä 1994. 74 s.
- N:o 544 Sauli Takalo, Tero Takalo & Risto Lauhanen 1995. Pontus-pientelamaasturi harvennuspuun metsäkuljetuksessa eräällä työmaalla. 16 s.
- N:o 545 Sauli Takalo 1995. Mäntyöljyn mahdollisuudet poltto- ja voiteluaineena. 17 s. + liitteet.
- N:o 560 Paula Jylhä 1995. Nuoren metsän ihmistyövaltaisen kunnostushakkuun kannattavuus Keski-Pohjanmaan ojitusalueilla. 40 s.
- N:o 561 Jyrki Kangas & Pasi Niemeläinen 1995. Kansalaismielipide Suomen metsistä sekä metsien hoidosta ja käytöstä. 24 s. + liite.
- N:o 570 Juha Nurmi & Esa Heino (toim.) 1995. Metsäntutkimuspäivä Kalajoella 1995. 82 s.
- N:o 581 Jyrki Hytönen & Keijo Polet (toim.) 1995. Peltojen metsitysmenetelmät. 242 s.
- N:o 586 Jyrki Hytönen 1996. Biomass production and nutrition of short-rotation plantations. 61 s. + osajulkaisut.
- N:o 603 Jukka Tikkanen 1996. Taajamametsien osallistava suunnittelu. Kokemuksia MetsäRaahe-suunnitteluprojektista. 31 s. + liitteet.
- N:o 606 Kristian Karlsson 1996. Pohjanmaan rannikkoalueen talousmetsien seurantakokeet. Ett nätverk med fasta provtytor i Österbottens kustområde. 41 s.
- N:o 611 Jyrki Kangas & Esa Heino (toim.) 1996. Metsätalouden ympäristövaikutukset ja niiden arviointi. Metsäntutkimuspäivä Perhossa 1996. 75 s.
- N:o 633 Kristian Karlsson (red.) 1997. Strandskog i Österbotten. 44 s.
- N:o 639 Jyrki Kangas, Esa Heino & Pentti Sepponen (toim.) 1997. Metsäsuunnittelun uudet tuulet. Metsän eri käyttömuotojen yhteensovittamisen tutkimusohjelman tutkimuspäivä Oulussa 10.12.1996. 59 s.
- N:o 654 Jukka Tikkanen & Heikki Ala-aho 1997. Maakuntatason strateginen metsäsuunnittelu. 21 s. + liitteet.
- N:o 660 Juha Nurmi, Jyrki Hytönen & Keijo Polet (toim.) 1997. Energiapuusta puutuhkaksi. 62 s.
- N:o 690 Esa Heino & Jyrki Kangas (toim.) 1998. Mies ja metsä. 42 s.

