

**Bränslekvalitet och arbetsmiljö
vid lagring och hantering av grotstockar**

Fuel quality and working environment during
storage and handling of composite residue logs

Raida Jirjis, Berndt Norden

INSTITUTIONEN FÖR BIOENERGI
DEPARTMENT OF BIOENERGY
UPPSALA, SWEDEN 2005
RAPPORT / REPORT NO 7
ISSN 1651-0720

Abstract

Jirjis, R. and Norden, B. 2005. Fuel quality and working environment during storage and handling of composite residue logs. Department of Bioenergy, Swedish University of agricultural Sciences. Report No. 7

Most of wood fuel supply systems involve procurement, storage, chipping and transport. What happens during this chain of handling affects both fuel quality and the price of the fuel. An optimal supply system has to meet the demands of end user, fulfil quality criteria and, moreover, maintain an acceptable working environment.

Densifying logging residues into bundles (or composite residue logs, CRL) can be an alternative method to improve wood fuel transport and handling properties. This work reports on storage effect on CRLs weighing around 400-600kg, made of green and summer-dried residues using two prototypes bundling machines Fiberpac and Wood Pac. The former presses residues into a continuous long bundle, 75cm in diameter, and cut it at a length of 3m. Wood Pac rotates and presses logging residues into a log like unit with the same dimension as Fiberpac-CRLs. Working environment related to microbial presence in the surrounding air during chipping was assessed.

Average moisture content was lower in all the CRLs by the end of the storage (February-August) in covered stacks. Higher dry matter losses were measured in CRLs made from green residues compared to the summer-dried ones. The average loss was around 1% per month in all treatments. Microbial activity was generally higher in CRLs made from green residues irrespective of the machine used.

Changes in heating values and ash content were marginal in all the treatments. Ash contents were higher in the CRLs made from green residues than the summer-dried material. Loss of needles during the summer is the main reason since needles normally have high contents of minerals. The concentrations of airborne fungal and bacterial particles in air samples taken during the chipping and handling of the CRLs were at levels that does not constitute a health risk for the workers.

Keywords: Forest residues, wood fuel, composite residue logs, moisture content, heating value, bundling

Authors address:

Raida Jirjis, Swedish University of agricultural Sciences. Department of Bioenergy, P.O. Box 7061 SE-750 07 Uppsala.

Bernt Norden, Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut, Uppsala Science Park, SE-751 83 Uppsala.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	7
SUMMARY	9
1. BAKGRUND	12
2. SYFTE OCH MÅL	13
3. MATERIAL OCH METODER	13
3.1 Maskinbeskrivning	14
3.1.1. Fiberpac 370.....	14
3.1.2 Wood Pac.....	15
3.2 Försöks uppläggning.	16
3.2.1 Fiberpac- buntar	16
3.2.2. Wood Pac- buntar.....	16
3.3 Provtagning	17
3.4 Laboratorieanalyser	17
4. RESULTAT OCH DISKUSSION	19
4.1 Väderförhållanden.....	19
4.2 Temperaturutveckling	22
4.3 Fukthalt	24
4.4 Substansförluster	25
4.5 Mikrobiell aktivitet	25
4.6 Arbetsmiljöanalyser	27
4.7 Värmevärde	28
4.8 Askhalt.....	29
4.9 Fraktionsfördelning	30
4.10 Sönderdelning av buntar	31
5. SLUTSATSER.....	32
6. REFERENSER	34
BILAGA 1	

FÖRORD

Dåvarande institutionen för skogshushållning vid SLU erhöll 2000 medel från Statens Energimyndighet för att genomföra projektet ”Kvalitet och arbetsmiljöaspekter vid lagring och hantering av grotstockar”, projekt nr 12321-1. Projektet ingår i ramprogrammet Systemstudier Bioenergi. En del av institutionen för skogshushållning ingår, fr.o.m. 2001, i institution för bioenergi.

Docent Raida Jirjis har varit projektledare och är ansvarig för laboratorieanalyserna och slutrapporten. Berndt Norden, SkogForsk, har varit huvudansvarig för fältförsöken och har också bidraget till slutrapporten.

Tack vare ett stort personligt engagemang av framför allt Jan Carlsson, Christer Lennartsson och Mats Lennartsson, Fiberpac 370 AB och Gösta Karlsson och Erling Josefsson, Wood Pac AB kunde studierna genomföras.

Tack till Cecilia Åstrand, SLU, institutionen för skogens produkter och marknader som har genomfört provtagning i fält och laboratorieanalyser.

Uppsala, november 2005

Raida Jirjis, SLU

Berndt Norden, SkogsForsk

SUMMARY

The aim of the project was to evaluate the handling and storage of forest residues densified into bundles, also known as composite residue logs (CRL), with a focus on fuel quality and working environment. The objective of the study was to evaluate the effect of storage on CRL made using two different mobile machines: Fiberpac 370 and Wood Pac. Two biomass assortments: green logging residues and summer-dried residues were bundled and stored in covered windrows. Various quality parameters were measured and analysed before and after storage. These parameters included: moisture content, heating value, ash content, percentage of fines, dry matter losses, microbial activity and temperature changes during storage. Health hazards which could arise during the handling and chipping of these bundles were also assessed.

The two machines consist of a hydraulically operated compaction unit mounted on a heavy-duty forwarder. In the Fiberpac machine (manufactured by Fiberpac AB, Vittaryd, Sweden) the residues are continuously fed through the feeding table. The entire unit can be rotated to facilitate feeding and ease maintenance operation. Bundling (compaction) process is accomplished in three stages, first compaction using four feed rollers followed by two separate rectangular compaction frames. The bundle is then bound with a twine.

The Wood Pac machine, manufactured by Wood Pac AB, Sävsjö, Sweden, employs a different mechanism for compaction. Compaction chamber consists of two driven end rams and eight driven rollers. Residues are fed from the top into the chamber, where it is continuously rotated, pressed and bound. The CRL leaves the chamber through an opening in the bottom. Both machines produce bundles that are approximately three meters long, 0.75 m in diameter, and weigh around 400-600 kg. Photos of the two machines are shown on the front cover of this report.

Fiberpac CRL

Logging residues from a spruce-dominated stand, harvested 2-3 day earlier, were used to make 75 bundles in the end of August, 1999. The weight of the bundles was 456-696 kg. Summer-dried residues that were felled in the end of April (1999) and stored in small heaps until August were pressed into 73 bundles weighing between 248 and 707 kg each. The reason for this large weight variation is an uneven storage site. Both green and brown (summer-dried) bundles were stored in a covered windrow at a terminal in Vislanda, 30km from Växjö, South of Sweden. Each bundle was marked and weighed. The experiment was terminated in 13 February, 2000.

Wood Pac CRL

The materials used in Wood Pac-bundles, both green and brown, were considerably older than that used in Fiberpac-bundles. The green material was felled 2-3 weeks before bundling while the brown (summer dried) material was stored in heaps for 7 months prior to bundling. The storage experiment was conducted at a site about 20 km north of Sävsjö, South of Sweden. The storage period was 3 July, 1999- 1 March, 2000.

Temperature development in the stored bundles was monitored both within the windrows and inside the Wood Pac-bundles. A marked elevation in temperature was measured in both places. Higher temperatures were registered in green bundles compared to the brown ones. After few weeks of storage, the heat level declined closer to ambient temperature in both types of bundles.

Moderate changes in the moisture content of the material were measured in all types of bundles. Considerable variations in moisture content in bundles made of the same material or even within the same bundle were evident. However, the average moisture content in each treatment was declined by about 6 % (wet basis) by the end of the storage period.

Changes in dry matter content were determined in most of the manufactured bundles. The substance losses in the green bundles were, in general, larger than those of the brown bundles.

The Wood Pac-bundles showed relatively higher dry matter loss mainly due to the longer storage time for the raw material before bundling as well as longer storage period for the bundles. Despite these differences, the monthly dry matter loss was close in all treatments (about 1%) except for the Fiberpac-brown bundles where it was clearly smaller than the rest.

These losses are much less than losses measured during storage of wood chips or bales.

Microbial activity in the green material used for the manufacturing of Wood Pac CRLs was higher than the Fiberpac-green b CRLs. This activity led to higher numbers of fungal spores in the stored bundles. The initial high counts are mainly due to leaving the fresh residues on the site for three weeks before bundling. In agreement with the results of dry matter losses, higher counts of spores were observed in the green CRLs compared with brown ones irrespective of the machine type.

Working environment during the chipping and handling of the CRLs was assessed. By analysing air samples taken at the activity site, the number of airborne fungal and bacterial particles was determined at two occasions. The analyses showed that the concentration of these particles (spore/m³ air) does not constitute a health risk for the workers.

The measurements of heating value and ash content in all samples, before and after storage, showed marginal changes. No specific change in the heating value was evident, while ash contents were, as expected, higher in the green bundles. This is usually due to higher contents of needle fraction which normally contains high concentrations of minerals.

1. BAKGRUND

Hantering av trädbränsle från skog till panna innefattar flera processer: framställning, lagring, sönderdelning och transport. Studier har visat att ordningen av dessa processer har stor betydelse för både bränslets kvalitet och för ekonomin. Flisning av trädbränsle direkt i skogen minskar transportkostnaderna jämfört med transport av osönderdelat material. Lagring av flisat material leder till väl kända problem (Jirjis, 1995). Att leverera icke komprimerat trädbränsle, å andra sidan, medför höga transportkostnader men ger möjligheter att lagra materialet under längre tid jämfört med lagring av flis. Att anpassa och optimera tillförselsystemen till användarnas ofta specifika förutsättningar blir allt viktigare. Analyser av råvarans kvalitet, samt miljö- och hälsoaspekter är väsentliga för att ge underlag för detta.

Teknik för komprimering av trädrester har länge efterfrågats från skogsbruket. Under de sista åren har praktiskt fungerande teknik utvecklats för komprimering av trädrester till rundbalar. Denna teknik har utvärderats i ett flertal studier (Lehtikangas & Jirjis, 1998; Nordén, 1998). Samtidigt har det funnits ett intresse att utveckla tekniken och producera grostockar så att konventionella skotare, lastbilar och flisare kan utnyttjas.

Företagen Fiberpac AB och Wood Pac utvecklade under 1998 prototyper för tillverkning av grotbuntar. De tekniska skillnaderna mellan Fiberpac och Wood Pac är att Fiberpac pressar ihop trädresterna till en oändligt lång bunt med en diameter på ca 75 cm, som sågas av till lämplig längd. Wood Pac maskinen roterar ihop trädresterna i ett 3,4 m långt tråg (Jämför med cigarettullning). Diametern varierar mellan 70-85 cm. En hypotes som framförts av tillverkaren av Wood Pac är att Wood Pac buntan blir lösare i mitten vilket kan innebära att den torkar mer och fortare än den pressade buntan.

Lagring av komprimerat trädbränsle

Erfarenheter av lagring av buntar tillverkade med "Slyman" maskin har tidigare redovisats (Flinkman & Thörnqvist, 1986). Färska och torra avverkningsrester buntades och lagrades i en stor välda utan täckning under perioden maj- januari. Buntarna var ca 0,5 m i diameter, tre meter långa och vägde i medeltal ca. 125 kg, vilket motsvarade en densitet på 210 kg/m³. Substansförlusterna i färskt buntat material blev bara 1,2 % och ingen energiförändring var mätbar. De torrt buntade hyggesresterna visade däremot höga substansförluster som tillsammans med en ökning av bränslets fukthalt ledde till en avsevärd energiförändring (-16 % totalt). Nederbörds-mängden under lagringsperioden var 40 % högre än referensnormalen, vilket troligtvis inverkat på försöksresultatet.

En senare studie som berör lagring av hyggesrester, komprimerade i runda balar, har genomförts vid SLU (Lehtikangas & Jirjis, 1998). Balvikten var ca 450 kg, vilket motsvarar en densitet på ca 350 kg/m³. Huvudresultatet från denna studie

visade att bränslet har torkat ned men relativt höga substansförluster uppkom. En negativ energiförändring i balen om ca 1,5 % per månad uppstod. Dessutom visade studien uppkomsten av höga koncentrationer av svampsporer på materialet. Detta ledde till emissioner av hälsofarliga partiklar vid flisning och hantering av bränslet.

Dagens teknik medger en större komprimeringsgrad jämfört med den i de äldre Slyman studierna, d v s högre densitet (400 - 500 kg/m³ jämfört med 200 kg/m³ i Slyman studier). Den ökade komprimeringsgraden tillsammans med de preliminära erfarenheterna från lagring av balar gör att lagring av hyggesrester som grotstockar bör utvärderas vidare för att kunna förbättra tekniken och därmed bränslehanteringen och kvaliteten.

Det är också nödvändigt att utvärdera arbetsmiljön med hänsyn till emissioner av hälsofarliga mikrosporer som kan förekomma vid hantering och sönderdelning av grotstockar.

2. SYFTE OCH MÅL

Syftet med denna studie var att utvärdera egenskaper hos grotbuntar lagrade i täckt välda under perioden juli till februari samt utvärdera arbetsmiljön vid hantering av dessa lagrade buntar.

Målet med lagringsstudien var att klargöra eventuella skillnader mellan de två olika buntnings teknikerna avseende lagrings egenskaper och bränslets kvalitet.

Lagringens betydelse för bränslekvaliteten bedömdes med hänsyn till förändring i fukthalt, torrhalt (substansförluster), askhalt och energiinnehåll i bränslet. Dessutom analyserades mikrobiell aktivitet i stockarna och i luften och kopplades till risker i arbetsmiljön. Värmeutveckling under lagringen mättes också. Försöksresultatet jämfördes med lagrings- resultat av balar och andra konventionella lagringssystem.

3. MATERIAL OCH METODER

I studien ingick två typer av material, färskt material från slutavverkning av grandominerade bestånd samt material från sommartorkade bränsleanpassade högar. Två olika buntnings maskiner, Fiberpac 370 och Wood Pac, har använts för tillverkning av grotstockar från båda materialtyperna d. v. s. totalt fyra försöksled.

3.1 Maskinbeskrivning

Två maskiner, Fiberpac 370 och Wood Pac, användes för komprimering av avverkningsrester till cylindriska buntar. Buntarna var drygt tre meter långa, med en diameter på ca 0,75 m och vägde 400-600 kg. En detaljerad beskrivning av maskiner och försöksuppläggning i varje försöksled följer.

3.1.1. Fiberpac 370

Fiberpac 370 (Fp) tillverkas av Fiberpac AB i Vislanda. Konstruktörer av maskinen och ägare till företaget är Christer Lennartsson och Jan Carlsson. Maskinen är hydrauliskt driven och datoriserad d.v.s. arbetscykeln är styrd från datorn. Föraren fyller kontinuerligt ett inmatningsbord med grot eller stamdelar. Via avkännare i inmatningen bevakar datorn att materialmängden ej blir för liten. Framställning av buntan sker genom komprimering i tre olika steg:

- Första steget består i att matarvalsarna (fyra st.) samlar och trycker in materialet i maskinen.
- Andra steget utgörs av en femkantig sektion, vars area minskas i pressfasen varvid materialet komprimeras.
- Tredje och sista komprimeringen sker i stort sett som andra fasen och med ytterligare sammanpressning.

Efter avslutad komprimering i tredje steget lindas buntan med valfritt antal varv med vanligt skördegarn. När önskad buntlängd uppnåtts, sker kapning med kedjesåg. Vid kontakt med matarvalsarna avskiljs barr och findelar och faller till marken. Omfattningen av denna avskiljning är dock inte studerad. Fiberpac 370 var vid studierna monterad på en Rottnes 18-tons skotare, Rottne Rapid SMV, utrustad med risgrip.



Fiber Pac 370

3.1.2 Wood Pac

Wood Pac (WP) är hydrauldriven och kräver en medelstor till stor skotare. Maskinen har 8 drivna cylindrar som tillsammans bilda en kammare där även gavlarna är drivna. Materialet matas in i kammaren mellan de två översta tandförsedda cylindrarna varefter det med hjälp av gavlar och cylindrar tvingas att rotera i kammaren. Genom att kontinuerligt mata in mer material sker en successiv komprimering. Efter komprimeringen binds materialet med skördegar. Kammaren öppnas i nederkant och bunten faller via boggiehjulen ned på marken.

Även Wood Pac aggregatet var vid studierna monterat på en Rottne Rapid SMV försedd med risgrip.



Wood Pac maskin

3.2 Försöks uppläggning

3.2.1 Fiberpac buntar

Komprimeringen av 75 buntar av färsk grangrot utfördes i Vislanda under vecka 34, två dagar efter avverkning. Perioden mellan avverkning och komprimering bjöd på uppehållsväder och en medel-temperatur av ca 16 grader Celsius. De gröna buntarnas vikt varierade mellan 456-696 kg/bunt, medelvikt 556 kg/bunt.

Kompaktering av 73 buntar av bruna hyggesrester gjordes ca fyra mil norr om Alvesta. Materialet avverkats i slutet av april och legat i bränsleanpassade högar på hygget fram till komprimeringen med Fiperpac 370. För de bruna buntarna var viktvariationen större, de vägde mellan 248-707 kg/bunt med ett medelvärde på 485 kg. Viktvariationerna berodde på att hygget innehöll både ett lågt fuktigt parti samt ett högre parti där trädresterna torkat bättre.

Alla buntar transporterades omedelbart efter komprimering till Södra Skogsenergis bränsleterminalen i Vislanda 3 mil söder om Växjö där lagringen skedde.

Varje bunt vägdes och försågs med en identifikation innan de lades i en luftig trave som var täcktes med armerad papp (bilaga 1). Buntarna lagrades under perioden augusti till februari 2000. Fem buntar av varje sort flisades för provtagning och volymmätning vid uppläggning av vältan i augusti. Volymmätningen gjordes genom att all flis skyfflades i en låda med uppmätt volym.

3.2.2. Wood Pac buntar

I denna försöksdel tillverkades 80 buntar av gröna hyggesrester och 80 av brunt material. Det gröna materialet som användes för tillverkning av gröna buntar avverkades 2-3 veckor före buntningen. Det bruna materialet avverkades under november månad föregående år och lagrades på hygget i bränsleanpassade högar fram till komprimeringen vilken utfördes den 3 juli 1999. Lagringen av Wood Pac buntar genomfördes på ett hygge ca 2 mil norr om Sävsjö. Wood Pac buntarna lagrades under perioden juli till första veckan i mars, alltså ca elva veckor längre än Fiberpac buntarna.

Tre termometrar (Tinytalk) placerades ut. En givare stacks in i mitten på en grön bunt som placerades i mitten på den gröna traven. På motsvarande sätt placerades en givare i en brun bunt. Dessutom placerades en givare mitt inne i vältan i ett hålrum mellan buntarna för att mäta också yttertemperaturen. Även i detta försök togs prover från fem stockar per försöksled.

3.3 Provtagning

Råvikten av alla tillverkade buntar bestämdes före och efter lagring. Tio till femton buntar från varje studieled flisades vid uppläggnings av lagringsförsöket. Flis från dessa buntar analyserades och utgjorde referensmaterial på buntarnas tillstånd före lagring.

Efter lagringen vägdes samtliga buntar för att bestämma förändringar i torrvikten. Tio buntar ur varje försöksled flisades för att utgöra provmaterial till övriga analyser.

3.4 Laboratorieanalyser

Följande mätningar och analyser gjordes på flisade prov:

Fukthalt

Bränslets fukthalt bestämdes i samband med provtagningarna. De flisade proverna vägs och torkas i torkskåp vid 103 ± 2 °C till konstant vikt och proverna vägs om. Fukthalten bestäms enligt följande formel:

$$\text{Fukthalt (\%)} = 100 - \frac{\text{torrvikt}}{\text{rå vikt}} \times 100$$

Mikrosvampanalys

Mikrosvampsporer (mögelsvampsporer), totalt antal samt antalet levande sporer, isolerades och räknades enligt en metod beskriven av Fredholm och Jirjis (1988).

Arbetsmiljöanalyser

För att kunna bedöma arbetsmiljön vid flisning och hantering av grotbuntar, bestämdes totalt antal svampsporer och bakterier samt antalet levande sporer i luften. Luftprover, samlades på ett speciellt "nucleopore filter" och togs från olika platser under flisnings momentet, och analyserades vid ett ackrediterat kommersiellt laboratorium. Resultatet från räkningen av antalet sporer i det lagrade materialet (analyserades vid SLU) tillsammans med analyserna av luftsporer användes för att bedöma hälsoriskerna vid hantering av lagrat material.

Värmevärde

Det kalorimetriska värmevärdet (W_{kal}) mättes med en bomb-kalorimeter typ Leco AC 300 enligt Svensk Standard SS 18 71 82 (1996). Det effektiva värmevärdet för torrt material (W_a) beräknades enligt följande formel:

$$W_a = W_{\text{kal}} - (2,45 * 9 * H_2 / 100) \text{ MJ/kg torr substans}$$

där

2,45 = vattnets ångbildningsvärme vid 20 °C,

9 = antalet delar vatten bildade av en del väte och

H_2 = skogsbränslets vätehalt i procent (ca 6 %).

Askhalt

Askhaltsbestämning utfördes enligt SS 18 71 71 (1984). Askhaltens värde anges i procent av bränslets torrmasa.

Fraktionsfördelning

Fraktionsfördelning bestämdes enligt SS 18 71 74 (1984). De lufttorkade proverna sållades i ca 10 minuter. Sållens håll hade diametern 45, 22, 16, 5, och 3 mm.

Fraktionsfördelningen, uttryckt som den procentuella andelen av den totala torrmassan, bestämdes endast på prov från Fiberpac flisat efter lagring. Wood Pac's buntar krossades i en äldre typ av kross på grund av stillestånd på flisaren, varför resultaten för finfraktion ej går att jämföra.

Substansförluster

Substansförluster definieras som ändring i materialets torrsvikt. Genom att beräkna stockarnas torrhalter (med hjälp av stockarnas fukthalt och vikt) före och efter lagringen kan substansförlusterna bestämas.

$$\text{Substansförlust (\%)} = 100 - \frac{\text{torrsvikt efter}}{\text{torrsvikt före}} \times 100$$

Värmeutveckling

Temperaturförändringen i stockar och vältor mättes under hela lagringstiden med hjälp av "Tinytalk" logger. En mätare placerades mellan buntarna i mitten av vältan. Dessutom placerades två mätare inuti centralt belagda buntar. Omgivningstemperatur och nederbörds mängd registrerades också under hela lagringsperioden. Informationen har hämtats från SMHI:s mätstationer. För Vislandas del (Fiberpac) hämtades data från mätstationen i Växjö, och för Sävsjö (Wood Pac) hämtades data från mätstationen i Tomtabacken norr om Sävsjö.

4. Resultat och diskussion

4.1 Väderförhållanden

Omgivningstemperaturer och nederbörds mängder i försökslokalernas närområden är hämtade från SMHI:s väderstationer i Växjö och Tomtabacken vilka ligger några mil ifrån försöksplatserna i Vislanda (Fiberpac) resp. Sävsjö (Wood Pac).

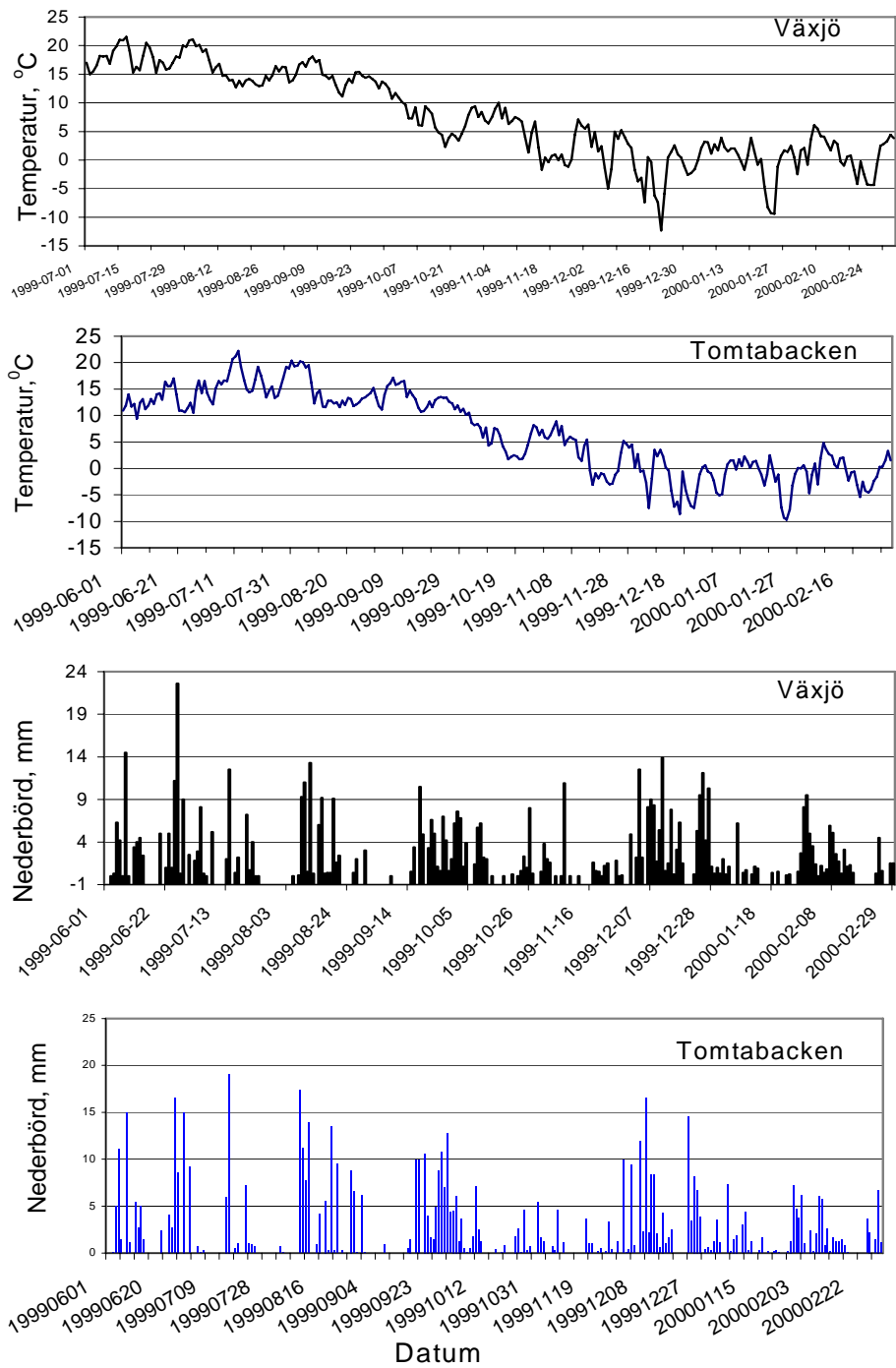
Tabell 1. Månatlig nederbörd (mm) under lagringsperioden och 30 års medelvärde enligt SMHI:s väderstationer i Växjö och Tomtabacken.

Table 1. Monthly precipitation (mm) during the storage period and a 30-year average according to the weather stations of the Swedish Meteorological and Hydrological Institute, in Växjö and Tomtabacken.

Månad <i>Month</i>	Växjö		Tomtabacken	
	Nederbörds summa <i>Precipitation</i>	Medelvärde 1961-'90 <i>Average</i>	Nederbörds summa <i>Precipitation</i>	Medelvärde 1961-'90 <i>Average</i>
Juni	85	52	107	55
Juli	42	71	38	72
Augusti	76	54	107	71
September	60	67	89	75
Oktober	45	55	46	63
November	27	60	31	66
December	106	53	110	57
Januari	38	49	46	53
Februari	38	33	49	37

Väderförhållandena var relativt likvärdiga i båda försöksleden (tabell 1). Under juli månad var nederbörds mängden betydligt mindre än medelvärdet på båda lokalerna. Under augusti månad var däremot mängden nederbörd högre än normalt, speciellt i Tomtabackens område d v s nära Wood Pac (WP) välda. Under perioden september-november var nederbörds mängderna nära eller lägre än referensvärdet medan en markant ökning i regnmängd registrerades under perioden december till mitten av januari (figur 1).

Enligt SMHI:s data var omgivnings temperatur ganska lika på båda lagringslokalerna. Lagringstiden var dock olika för olika försöksled (figur 1).

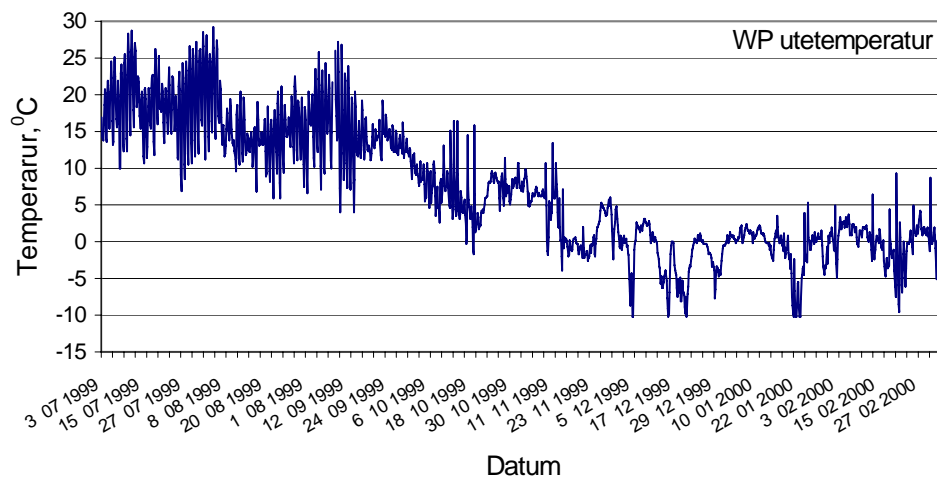
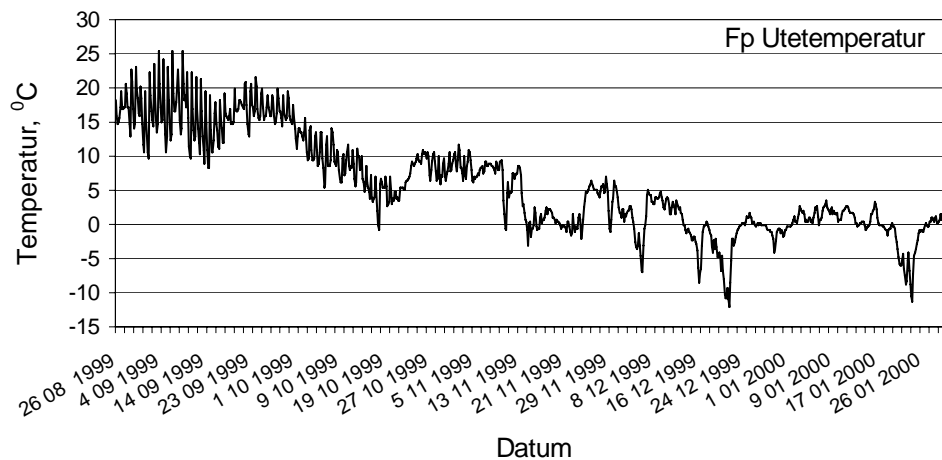


Figur 1. Nederbörd(mm) och temperatur data under I lagringsperioden enligt SMHI:s väderstationer i Växjö och Tomtabacken.

Figure 1. Temperature ($^{\circ}\text{C}$) and precipitation (mm) during storage registered at the weather stations in Växjö and Tomtabacken.

4.2 Temperaturutveckling

Försöksleden med WP buntar påbörjades i början av juli månad. Ute temperaturen var då omkring 16 °C (figur 1). En temperaturökning registrerades i vältan strax efter försökets start. Maximum temperaturen, som var omkring 29 °C, uppmättes efter en månads lagring.



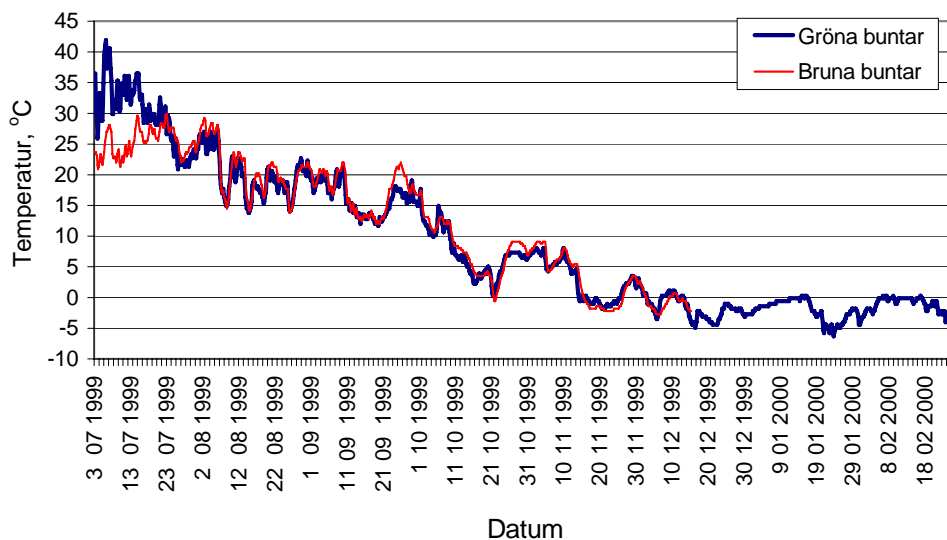
Figur 2. Temperaturprofil i Fiberpac och Wood Pac vältor under hela lagringsperioden.

Figure 2. Temperature profile inside the stacks of Fiberpac and Wood Pac (between the composite residue logs) during storage.

Efter ca 10 veckors lagring började temperaturen sjunka kontinuerligt och i december månad (ca 5 månaders lagring) var den nära omgivningstemperaturen (figur 2).

Temperatur mätningarna inuti WP buntarna visade en snabb temperaturökning i båda försöksleden d v s både buntar av grönt- och brunt grot (figur 3). Värmeutvecklingen i de gröna buntarna var betydligt högre än i de bruna. Maximum temperaturen som var uppmättes i den först nämnda nådde 42 °C jämfört med 30 °C i de bruna buntarna (figur 3). Efter den initiala temperaturökningen i buntarna registrerades en kontinuerlig minskning. I slutet av september månad låg temperaturen omkring 20 °C. När försökets avslutades, efter ca 8 månaders lagring var temperaturen ganska nära omgivningstemperaturen som låg mellan 0 till -10 °C (figur 2).

Temperaturmätningar i Fiberpac (Fp) vältan uppvisade liknande temperaturökningar där var maximum temperaturen omkring 26°C, vilket var några grader lägre än i WP vältan. Detta kan möjligen bero på en lägre omgivningstemperatur i början av lagringen (slutet av augusti). Temperaturen som registrerades inuti buntarna gick inte att läsa p.g.a. ett tekniskt fel, men temperaturprofilen väntas likna den i WP buntarna eftersom temperaturutvecklingen i båda vältorna var likartad (figur 3).



Figur 3. Temperaturutvecklingen i gröna och bruna Wood Pac buntar under hela lagringsperioden

Figure 3. Temperature development inside the green and brown composite residue logs during storage.

4.3 Fukthalt

Före buntningen av grönt material i Vislanda (Fiberpac) var medelfukthalten 50,6 % . De bruna buntarna tillverkades av grot som hade en medelfukthalt på ca 49 % (tabell 2). En del variationer i ingångsfukthalten observerades speciellt i det bruna materialet. I det andra försöksledet i Sävsjö (Wood Pac) var skillnaden i fukthalt mellan gröna och bruna buntar marginell (tabell 2).

Tabell 2. Lagringstid och medelfukthalt (% råvikt) före och efter lagring samt substansförluster (% torrsvikt) i alla buntarna efter lagring i täckta vältor. Standardavvikelse redovisas inom parentes.

Table 2. Storage period (month), average moisture content (% fresh weight) before and after storage and dry matter losses (% dry weight) in composite residue logs stored in covered stacks. The standard deviation is shown within brackets.

Grotstock <i>Composite residue logs</i>	Lagringstid (Månad) <i>Month</i>	Fukthalt/moisture content		Substansförluster	
		Före* <i>Before*</i>	Efter <i>After</i>	Total <i>Total loss</i>	per mån. <i>Loss/month</i>
Fiberpac					
Gröna <i>Green</i>	5,5	50,6 (1,1)	44,0 (10,5)	5,8	1,1
Bruna <i>Brown</i>	5,5	48,8 (8,6)	41,6 (8,3)	< 1	> 0,2
Wood Pac					
Gröna <i>Green</i>	8,0	46,6 (3,2)	40,1 (11,9)	11,5	1,4
Bruna <i>Brown</i>	8,0	45,3 (4,2)	38,2 (8,7)	8,7	1,1

* Medelvärde av fem prov.

* Average of five samples

Efter lagring minskade medelfukthalten i alla försöksled. Variationerna i fukthalt var dock stora mellan olika buntar inom samma välta och även inom samma bunt. Inga klara tendenser i torkningsmönstret observerades med hänsyn till buntarnas placering i välтан. Det kan generellt konstateras att de gröna buntarna torkade sämre än de bruna i båda försöksleden. Detta kan bero på en större andel barrfraktion i de gröna buntarna vilket leder till högre densitet och sämre luftgenomströmning jämfört med sommartorkade, avbarrade bruna buntar.

4.4 Substansförluster

Efter ca 5,5 månaders lagring, hade medeltorrsubstansen i gröna Fp buntar minskat med totalt 5,8 %, motsvarande ca 1 % per månad. I de bruna buntarna observerades betydligt lägre substansförluster, totalt mindre än 1 % (tabell 2).

I det andra försöksledet med WP buntar, var substansförlusterna i de gröna buntarna 11,5% efter 8månaders lagring. Medel substansförlusterna per månad var 1,4 % av torrvikten. Lägre substansförluster uppmättes i de buntar som tillverkades av bruna hyggesrester. Den totala torrhaltsförändringen uppgick till 8,7 % motsvarande 1,1 % per månad.

Fiberpac försöket startades i slutet av augusti månad medan Wood Pac välтан byggdes under första veckan i juli. Under augusti månad var regnmängderna betydligt större än normalt vilket innebar högre relativ luftfuktighet än normalt. Detta kan ha bidragit till något högre substansförluster i WP buntarna under de första två månadernas lagring.

Generellt kan man konstatera att lagring av gröna buntar leder till högre substansförluster än lagring av bruna buntar. Högre fukthalt tillsammans med en större andel finfraktion i de gröna buntarna leder till värmeutveckling orsakat av mikrobiell tillväxt vilket i sin tur bidrar till än mer gynnsamma förhållanden för den mikrobiella nedbrytningen.

Att lagring av träbränslen medför substansförluster av varierande omfattning är väl dokumenterat. Vid lagring av skogsflis i stora stackar, har höga substansförluster, 3,6 % av torrvikten, noterats efter bara en veckas lagring. substansförluster i det aktuella försöket uppgick till 12 % efter 6 månader (Thörnqvist och Jirjis, 1990).

Materialets fukthalt, partikelstorlek och lagringssätt är bland de viktigaste faktorer som påverkar lagringsförloppet och substansförlusterna. Att komprimera icke sönderdelade hyggesrester till en bal har också lett till förluster varierande mellan 14-18 % beroende på lagringsförhållandena (Lehtikangas och Jirjis, 1998). Lagring av hyggesrester (ris) i vältor har däremot visat sig ge mindre förluster än andra lagringsformer, speciellt om välтан täcks. De månatliga substansförlusterna efter 11 månaders lagring var 1,0 resp. 0,2 % (Jirjis och Lehtikangas, 1993).

4.5 Mikrobiell aktivitet

Det totala antalet sporer som isolerades från det flisade materialet räknades. Även antalet levande sporer som kunde odlas vid rumstemperatur (20 °C) och vid 45 °C bestämdes. Koncentrationen av levande svampsporer ger indikationer om hur omfattande svamp-aktiviteten är i materialet vid revisionstillfället både med

hänsyn till mesofila respektive termofila arter. Odlingen av svampsporer också användas här för artbestämning.

Vid tillverkning av de gröna Fp buntarna användes hyggesresterna inom två dagar efter att de avverkades. Materialet som komprimerades till buntar i WP försöksleden var däremot avverkat 2-3 veckor före buntningen. Exponering av materialet på hygget innebar att den mikrobiella aktiviteten redan hade börjat före buntningen. Detta förklarar varför antalet svampsporer före lagringen var högre i de gröna WP buntarna jämfört med Fp buntar (tabell 3).

Efter lagringen ökade antalet svampsporer (speciellt levande sporer) markant i alla försöksled. Generellt var antalet sporer högre i WP buntar, dels på grund av att ingångsmaterialet var mindre färskt, dels längre lagringsperiod.

Det totala antalet sporer och antalet levande sporer var betydligt högre i de gröna buntarna än i de bruna buntarna vid båda inkubations temperaturer. Detta beror på större näringstillgång och högre fukthalt i de gröna hyggesresterna. Högre barrandel i de gröna buntarna, och därmed mer kväve och andra lättillgängliga näringsämnen, gynnar mikrobiell aktivitet och påskyndar deras tillväxt. Den höga aktiviteten ledde till relativt höga substansförluster speciellt i de gröna buntarna (tabell 2).

Tabell 3. Totalt antal och antalet levande svampsporer* (spor/kg torrsvikt) odlade vid rumstemperatur resp. 45 °C före och efter lagring.

Table 3. Total number and number of viable fungal spores* (spore/kg dry weight) grown at room temperature (RT) and at 45 °C before and after storage.

Grotstock <i>CRL</i>	Totalt antal/Total no (x10 ⁹)		Levandesporer/Viable spores (x10 ⁶)			
	Före <i>Before</i>	Efter <i>After</i>	RT		45 °C	
			Före <i>Before</i>	Efter <i>After</i>	Före <i>Before</i>	Efter <i>After</i>
Fiberpac						
Gröna <i>Green</i>	9,4	12,9	130	3970	<0,1	1006
Bruna <i>Brown</i>	2,9	2,3	54	295	<0,1	5,0
Wood Pac						
Gröna <i>Green</i>	36,5	30,4	42	8507	0	2554
Bruna <i>Brown</i>	5,3	6,0	18	2340	0	20

* Medelvärde av åtta mätningar.

* *Average of eight measurements.*

4.6 Arbetsmiljöanalyser

Den spontana ökningen av temperaturen under de första veckornas lagring tyder på en snabb tillväxt av mikroorganismer. Olika typer av mikroorganismer, som t ex svampar och bakterier, kan lätt kolonisera lagrad biomassa, speciellt färskt material. Dessa mikroorganismer som växer på materialets yta bildar stora mängder av förökningskroppar (sporer) som är mindre än 5 µm i diameter.

Vid hanteringen av biobränslet t ex flisning, lasting och avlastning, kan dessa mikrosporer emitteras till luften. På grund av sin litenhet kan de vara luftburna under ganska lång tid. Exponering för höga koncentrationer av mikrosporer kan utgöra en hälsorisk i arbetsmiljön. Inandning av luft som innehåller höga halter av mikrosporer är en välkänd orsak till allergiska reaktioner, t ex allergisk alveolit hos arbetare som hanterar infekterad flis (Jirjis, 1996). Långvarig och höggradig exponering kan medföra risk för bestående nedsättning av lungfunktionen.

Under denna studie utvärderades hälsorisker och arbetsmiljö vid två tillfällen under flisning och lastning av lagrade Fiberpac buntar. Ett personburet filter användes under en timme vid varje tillfälle. Antal bakterier och svampar i luften bestämdes, båda totalt och antal levande.

Antalet svampsporer i icke förorenade miljöer varierar mellan något 10-tal och flera 10 000 tal/m³ luft bl. a. beroende på årstid och vilken verksamhet som bedrivs i lokalerna. Tabell 4 redovisar koncentrationer av svampsporer och bakterier i luften under hanteringen.

Artbestämning av dessa mikroorganismer påvisade förekomst av några arter som kan orsaka respiratoriska problem som *Streptomyces*, *Aspergillus fumigatus*, *A. niger*, och *Rhizopus*. Andra mögel svampar t.ex. *Penicillium spp.* påvisades också i luftproverna. Med blandflora (tabell 4) menas en blandning av allmänt förekommande bakterier som nästan alltid finns i naturliga material.

Totalt antal mikropartiklar i luften var något förhöjda under flisningsmomentet, men luftens kvalitet kan ändå bedöms som ganska bra med avseende på mikrobiella partiklar. I problemmiljöer med förekomst av trä mögelsjuka, t ex justerverk har halter på 10⁷ sporer/m³ luft uppmätts.

Flis hantering kan i vissa fall emittera 10¹⁰ sporer/m³ luft. Personal som arbetar i sådana miljöer bör skydda sig genom att använda andningsmask med filter klass P2 eller Airstream hjälm.

Tabell 4. Antal svampar och bakterier i luften vid flisning av Fiber pac buntarna vid två tillfällen efter 5,5 månaders lagring.

Table 4. Bacterial and fungal concentrations (total count of spores and count of viable spores) per m³ air sampled at two occasions during the handling and chipping of CRLs made by Fiber pac machine and stored in covered stacks. The measurements were made at the end of 5.5 months of storage

Organism	Totalt antal/m ³ luft <i>Total count/m³ air</i>	Antal odlingsbara per m ³ luft <i>Viabiles/m³ air</i>	Art <i>Species</i>
Bakterier <i>Bacteria</i>	700 000 - 1200 000	26 000 - 57 000	Streptomyces (95 %), Blandflora
Svampar <i>Fungi</i>	785 000 - 1 200 000	200 000 - 540 000	<i>Aspergillus fumigatus, A. niger Penicillium spp., Rhizopus</i>

4.7 Värmevärde

Det kalorimetriska värmevärdet för materialet som användes vid bunttillverkningen varierade marginellt i alla försöksled (tabell 5). Dessa värden förändrades obetydligt efter sex månaders lagring.

Det beräknade effektiva värmevärdet för absolut torr substans före lagringen visade samma tendenser som det kalorimetriska värmevärdet. Efter lagringen ökade medelvärdet marginellt i de flesta buntarna. Variationerna mellan de gröna och bruna buntarna var lika stora som variationerna mellan buntarna tillverkade med Wood Pac och Fiberpac.

Tabell 5. Medelvärde* för kalorimetriskt (W_k)- och effektiva värmevärdet (W_a) för torr material före och efter lagring. Standardavvikelse redovisas inom parantes.

Table 5. Averages of calorific (W_k) and net heating (W_a) values per kilogram dry matter before and after storage. Standard deviation is shown within brackets.

Stockar	W_k , MJ/kg torrsubstans		W_a , MJ/kg torrsubstans	
	Före	Efter	Före	Efter
<i>CRL</i>	<i>Before</i>	<i>After</i>	<i>Before</i>	<i>After</i>
Fiberpac				
Gröna <i>Green</i>	20,81 (0,12)	20,93 (0,16)	19,49 (0,12)	19,61 (0,16)
Bruna <i>Brown</i>	20,93 (0,11)	20,88 (0,21)	19,61 (0,11)	19,56 (0,21)
Wood Pac				
Gröna <i>Green</i>	20,84(0,07)	20,84 (0,17)	19,52 (0,07)	19,52 (0,17)
Bruna <i>Brown</i>	20,84 (0,11)	20,93 (0,18)	19,52 (0,11)	19,61 (0,18)

* Medel av åtta mätningar.

* Average of eight measurements.

4.8 Askhalt

I försöksledet i Vislanda där Fiberpac- maskinen användes för buntning, visade råmaterialet relativt höga askhalter i vissa prover. Höga askhalter i grot kan bero på föroreningar i form av jord, sand och stenar som blandas med materialet under olika hanteringsmoment.

Förändringarna i medelvärdet för askhalter i de gröna och bruna buntarna tillverkade med Fiberpac var minimala.

Materialet som användes i det andra försöksledet i Sävsjö och buntades med Wood Pac maskinen innehöll mindre aska än ovan-nämnda försöksled. Även variationerna i materialet före lagring var mindre. Det sommartorkade materialet visade som väntat lägre askhalter än de gröna hyggesresterna. Detta beror på mindre barrandel i det bruna materialet. Barrfraktionen har normalt de högsta koncentrationerna av aska.

Efter lagring ökade askhaltens medelvärde i alla WP buntar, speciellt i de gröna buntarna. Variationerna i askhalt inom buntarna av samma råvara blev större. Dessa förändringar kan ha orsakats av olika grad av mikrobiell nedbrytning. Torrsubstans minskning till följd av mikrobiell aktivitet leder till en relativ ökning i askhalt.

Det kan inte uteslutas att en viss ökning av askhalten kan ha orsakats av att WP vältan låg intill en allmän väg belagd med grus. Höga halter av aska i bränslet kan ställa till problem vid förbränningsprocess och leder till sintringsproblem.

Tabell 6. Askhalt* (% av torrsvikt) i början av lagringen och efter 5,5 (Fiberpac) resp. åtta (Wood Pac) månaders lagring i täckta vältor. Standardavvikelse redovisas inom parentes.

Table 6. Ash content (% dry weight) before storage and after 5.5 and eight months of storing Fiberpac and Wood Pac CRLs respectively. Standard deviation is shown within brackets.*

Stockar <i>CRLs</i>	Askhalt/ash content	
	Före lagring <i>Before</i>	Efter lagring <i>After</i>
Fiberpac		
Gröna <i>Green</i>	2,43 (0,71)	2,48 (0,46)
Bruna <i>Brown</i>	2,53 (0,39)	2,14 (0,36)
Wood Pac		
Gröna <i>Green</i>	2,20 (0,16)	2,67 (0,55)
Bruna <i>Brown</i>	1,61 (0,25)	1,67 (0,35)

* Medelvärde av åtta mätningar.

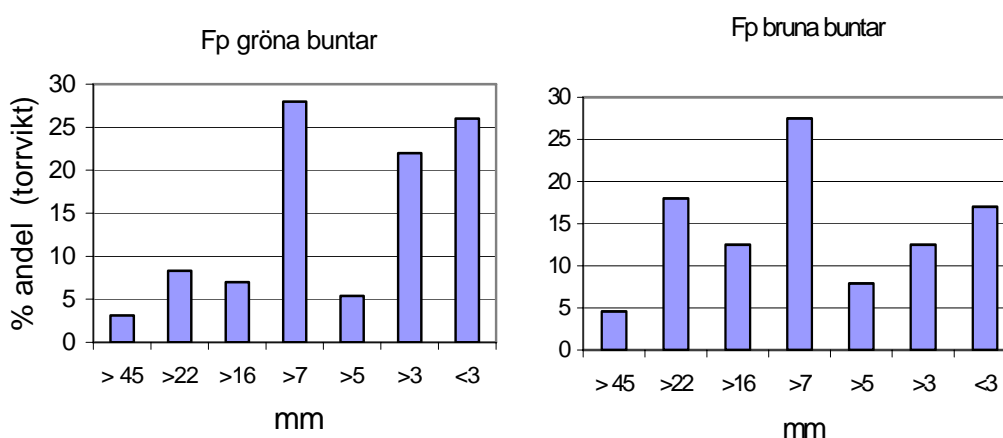
* *Average of eight measurements.*

4.9 Fraktionsfördelning

Fraktionsfördelningen bestämdes för de flisade Fp buntarna vid slutet av lagringen. Sönderdelningen genomfördes med SPC 90-96 maskin. Flis från ett antal gröna och bruna buntar sållades för att mäta andelen finfraktion, här definieras som partiklar mindre än 5mm i diameter. Medelvärden för olika fraktionsstorlekar hos både gröna och bruna buntar redovisas i figur 4.

I de gröna buntarna var medelandelens finfraktion efter flisningen ganska hög, ca 48 %. Flis från de bruna buntarna hade mer än 60 % av torrvikten i fraktioner över 7mm. Finfraktionsandelen var 29,5 % d v s betydligt mindre än medelvärde för de gröna buntarna. Höga halter av finfraktion, som främst utgörs av barr är inte önskvärdt i trädbränsle eftersom det innebär höga askhalter.

På grund av tekniska svårigheter, sönderdelades Wood Pac buntarna med en kross istället för med flisningsmaskin. Detta ledde till att resultaten från de två sönderdelningsmetoderna inte kan jämföras med varandra.



Figur 4. Fraktionsfördelning för gröna och bruna Fiberpac buntar efter 5,5 månaders lagring i täckt väla. Medelvärde av tre mätningar.

Figure 4. Particle size distribution in chipped green and brown CRLs after 5.5

months of storage in covered stacks. The chipper used was a SPC 90-96 machine. Each value is the average of three measurements.

4.10 Sönderdelning av buntar

Det finns i dag ett flertal olika maskiner som har testats för sönderdelning av grotbuntar, både flismaskiner och krossar. Vid SkogForsk ett flertal trumflismaskiner bl a Bruks 1004 CT, Bruks 1002 CT, Bruks 803 CT, Bruks 802 och SPC 90-96 studerades. Dessutom har även en skivhugg: VSV Morbark samt ett antal krossar: Morbark kvarn, en finsk hemmabyggt hammarkvarn, Patterson Pacific, Doppstadt AK 600 och CBI Magnum Force 4800 utvärderats. Studierna

visar att sönderdelningen fungerar mycket effektivt med tillräckligt stora maskiner. Ett flertal maskiner, t ex Bruks 1004 och 803, VSV Morbark och krossarna Doppstadt och Magnum Force, klarar att sönderdela mer än två buntar per minut när de går effektivt.

Krossar är effektivare än flismaskin men ger ett mindre homogent material, varför vissa värmeverk föredrar flisat material. För att få bra fliskvalitet krävs ett stort underhåll av flisningsknivarna samt rent material i buntarna eftersom knivarna är mycket känsliga för föroreningar som jord och grus. Buntar kan sönderdelas för mindre än 15 kronor per m³ s vilket är en låg kostnad jämfört med sönderdelning av grot som brukar kosta mellan 30 till 40 kronor per m³s (Andersson et al., 2000).

5. SLUTSATSER

För att kunna utvärdera försökets resultat och jämföra de två testade maskinerna på rätt sätt, bör vissa olikheter i försöksuppläggningsen nämnas. Ingångsmaterialet som användes i Fiberpac försöksled var betydligt färskare än det gröna materialet i Wood Pac försök, som låg på hygget och koloniserades av mikroorganismer under 2- 3 veckor före buntning. Dessutom startades lagringen av Wood Pac buntarna ca 7 veckor tidigare än Fiberpac bunterna. Under aktuella perioden var nederbörd mycket högre än under resten av sommaren. Trots dessa skillnader mellan de två försöksleden kan man konstatera att maskinerna tillverkade buntar som var ganska lika med hänsyn till kvalitets- och lagringsegenskaper.

Temperaturutvecklingen i de båda försöksleden tyder på en signifikant tillväxt av mikroorganismer, speciellt under första lagringsmånaden. Generellt var den mikrobiella aktiviteten högre i de gröna buntar än i de bruna vilket i sin tur ledde till högre substansförluster.

Med hjälp av resultaten från de genomförda analyserna kan följande slutsatser dras:

- Lagring av buntade hyggesrester (grot) i täckta vältor från sommar till vinter kan leda till en viss torkning, ca 6 % oberoende av ingångsmaterialets färskhet.
- Väderförhållandena under lagringsperioden, speciellt nederbördsmängden, kan påverka lagringsresultatet.
- Lagring av buntad grot medför en måttlig minskning i materialets torrhalt speciellt i gröna buntar. Substansförlusterna är dock mindre än vid lagring av flis eller rundbalar.

- Sommartorkade hyggesrester ger mindre svamptillväxt än gröna hyggesrester vid lagring i buntar, därmed blir substansförlusterna mindre.
- Ju längre lagringsperiod desto högre substansförluster. Huvud-delen av förlusterna uppstår dock under den första månaders lagring.
- Energiinnehållet förändras marginellt efter ca 8 månaders lagring. Även askhalter ligger kvar på acceptabla nivåer.
- Finfraktionsandelen i lagrade gröna buntar är generellt högre än i bruna buntar.
- Arbetsmiljön vid hantering och flisning av grotbuntar medför inga hälsorisker med hänsyn till mikrobiella partiklar.

6. REFERENSER

Flinkman, M. & Thörnqvist, T. 1986. Lagring av buntade träddelar och hyggesrester. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära, Rapport nr 180.

Fredholm, R. & Jirjis, R. 1988. Säsonglagring av bark från våt-lagrade stockar. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära, Uppsala. Rapport nr 200.

Andersson, G., Nordén, B., Jirjis, R. & Åstrand, C. 2000. Buntning kan sänka kostnaderna för skogsbränsle. SkogForsk Resultat Nr 8, 2000.

Jirjis, R. och Lehtikangas, P. 1993. Bränslekvalitet och substans-förluster vid vältlagring av hyggesrester. Sveriges Lantbruks-universitet, Institutionen för virkeslära, Rapport nr 180.

Jirjis, R. 1995. Control of fuel quality during storage. Proceeding. Of IEA/BA workshop in Garpenberg, Sweden. 1994. Uppsatser och Resultat nr 278: 1-5. Institutionen för Skogsteknik, SLU.

Jirjis, R. 1997. Health risks associated with the storage of wood fuels. Proceedings of IEA/Bioenergy workshop (Feedstock pre-paration and quality), at Elsamprojekt A/S, Denmark ,October, 1996

Lehtikangas, P.& Jirjis, R. 1998. Storage of logging residues in bales. Proc. of biomass for Energy and Industry, 10th European Conference , 8-11 June 1998. C.A.R.M.E.N, Rimper, Germany.

Norden, B. 1998. Jämförande studier av balning, anpassade trädrester, ej anpassade och trädrester i välta. SkogForsk Arbetsrapport nr 398.

Svensk Standard. 1984. Biobränslen - Bestämning av askhalt, SS 18 71 71.

Svensk Standard. 1996. Fasta bränslen - Bestämning av kalori-metriskt värmevärde med bombkalorimeter och beräkning av effektivt värmevärde, SS ISO 1928.

Svensk Standard. 1984. Biobränslen - Bestämning av fraktions-fördelning hos trädbränslen, SS 18 71 74.

Thörnqvist, T. och Jirjis, R., 1990. Bränsleflisens förändring över tiden vid lagring i stora stackar. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära, Uppsala. Rapport nr 219.

Bilaga 1.



Fiberpac 370 buntar sommartorkad grot



Fiberpac vältta



Lagring i täckt välda under vintersäsong



Wood Pac välda



Förberedelser för provtagning vid försökets slut.

Förteckning över rapporter utgivna av institutionen för bioenergi:

List of reports published by the Department of bionenergy:

2002

1. Doherty, J., Nilsson, P.O. & Odum, H.T. Emergy evaluation of forest production and industries in Sweden.
2. Hillring, B. Incentives for co-firing in bio-fuelled industrial steam, heat and power production-Swedish experience.

2003

3. Jirjis, R. Lagring av avverkningsrester i balar. (*Storage of forest residues in bales*)

2004

4. Johansson, T. & Karlsson, K. Experiment med olika gallrings-styrkor och gallringsintervall i granskog. – Resultat från en 40 årig studie. *Summary: Experiment with different thinning intensity and thinning interval in stands of Norway spruce. – Results from a 40-year-study.*
5. Olofsson, Å. & Johansson, T. Om de svenska björkarternas morfologiska variation och skogliga värde. *Summary: Morphological variation and forest value of Swedish birch species.*

2005

6. Johansson, T. & Lundh, J-E. Upprepad röjning av björk och korgvide. *Summary: Repeated cleaning of birch and basket willow.*
7. Jirjis, R. & Norden, B. Bränslekvalitet och arbetsmiljö vid lagring och hantering av grotstockar. *Summary: Fuel quality and working environment during storage and handling of composite residue logs.*

