



# Mätning av träddelar och flis på Dåvamyran, Umeå energi

*Measurement of tree parts and forest wood chips at Dåvamyran,  
Umeå Energi*

**Karin Hägg**

**Arbetsrapport 223 2008**  
**Examensarbete 30hp D**

**Handledare:**  
**Iwan Wästerlund**

---

Sveriges lantbruksuniversitet  
Institutionen för skoglig resurshushållning  
S-901 83 UMEÅ  
www.srh.slu.se  
Tfn: 018-671000



ISSN 1401-1204  
ISRN SLU-SRG-AR-223-SE



# **Mätning av träddelar och flis på Dåvamyran, Umeå energi**

*Measurement of tree parts and forest wood chips at Dåvamyran,  
Umeå Energi*

**Karin Hägg**

## **Förord**

Mitt intresse för ämnet skogsenergi väcktes under tredje året på jägmästarprogrammet. Efter att ha läst kurser inom området och fått både frågor och funderingar kring ämnet slogs jag av tanken att på uppdrag av ett energibolag göra ett examensarbete inom skogsenergi och började undersöka saken. Efter kontakt med Peter Stenlund och Agneta Aronsson på Umeå Energi initierades detta arbete. I arbetet, som omfattar 30 högskolepoäng, har en stor del av mätningproblematiken hos skogsbränslesortiment behandlats. Arbetet har utförts vid institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå.

Jag vill passa på att tacka personalen vid mätstationen på Dåvamyrån, då speciellt Agneta Aronsson och Peter Stenlund, min handledare Iwan Wästerlund samt Bertil Eckeryd för värdefulla resonemang och kommentarer. Jag är även tacksam för all tid och kunskap som de intervjuade ställt upp med.

Umeå maj 2008

Karin Hägg

## Innehållsförteckning

<i>Förord</i> .....	2
<i>Sammanfattning</i> .....	5
<i>Summary</i> .....	6
<i>Bakgrund</i> .....	7
Mål .....	9
<i>Sortimentsbeskrivning</i> .....	10
Avverkningsrester (GROT) .....	10
Träddelar .....	11
<i>Vad kan mätas och vilka metoder finns tillgängliga?</i> .....	12
Kvantitet hos flis .....	12
Kvantitet hos GROT och träddelar .....	13
Fraktioner .....	14
Askhalt .....	14
Mätmetoder under utveckling .....	17
En tredje oberoende part .....	20
Att lägga upp mätningen i praktiken .....	20
<i>Umeå Energi</i> .....	23
<i>Material och metoder</i> .....	25
GROT-flis .....	25
Träddelar .....	27
<i>Intervjuer</i> .....	28
<i>Resultat från praktiska försök vid Dåvamyran</i> .....	33
Träddelar .....	33
GROT-flis .....	37
Medelfukthalt % .....	40
Provtagningsplats .....	40
Medelfukthalt % .....	40
Provtagningsplats .....	40
<i>Diskussion</i> .....	46
Egna funderingar .....	48
Slutsatser .....	48
<i>Referenser</i> .....	49
Tryckt material .....	49
Elektroniska dokument .....	50
Muntliga referenser .....	50
Bilder .....	51

<i>Bilaga 1. Intervjuade anläggningar.....</i>	<i>53</i>
<i>Bilaga 2. SS 18 71 17:1 .....</i>	<i>55</i>
<i>Bilaga 3. Formler .....</i>	<i>57</i>

## **Sammanfattning**

Tio leveranser med träddelar och tio leveranser med grotflis fukthaltbestämdes med olika mätningmetoder för att undersöka kvalitén på mätningförfaranden vid Dåvamyran. Samtidigt kartlades hur mätningförfarandena såg ut hos värmeverken i Sverige.

De flesta kraftvärme- och värmeverken i Sverige använder vikt och fukthalt som betalningsunderlag men vid en del anläggningar används istället volym. Fukthalten uppskattades vanligtvis genom att torka flisprover i torkugn men okulär bedömning förekom också. Med NIR tekniken mäts fukthalten i flis med infraröda strålar och med RF (Radio Frekvens) metoden användes elektromagnetiska strålar, dock ligger båda metoderna ännu på teststadiet.

Testerna visade tydligt att dagens mätningförfarande ger dålig representativitet för fukthalten för det enskilda lasset och att systematiska fel kan förekomma. Askhalten kan variera ca 5 procentenheter mellan leveranserna men eftersom denna mätning ger en hög osäkerhet bör värdet uppskattas istället för att mätas.

För träddelar bör övervägas att man inte köper mer träddelar än nödvändigt om ingen mätutrustning för fukthaltsbestämning finns tillgänglig. Man bör vidare utreda vilken kvalitet träddelarna håller och prissätt därefter. Utveckling av metoder och utrustning för säker och snabb fukthaltsbestämning på enskilda leveranser, t.ex. kamerateknik eller krossning vid intag för fukthaltsbestämning

För GROT-flis bör chauffören gå runt högen efter lossning och ta fyra prover på ca 2 liter på utspridda punkter. Två av proverna tas under midjehöjd och två prover tas över midjehöjd. Använd ett bestämt värde på askhalten för GROT-flis och träddelar vid tecknande av avtal.

Sökord: bränslesortiment, skogsenergi, biobränsle, flis

## Summary

The moisture content in 10 deliveries of tree parts and 10 deliveries of wood residues were measured with different methods to analyze the quality of procedure used at Dåvamyrån today. At the same time a survey was made on the measure procedures used at heating plants in Sweden

The majority of the heating plants in Sweden use weight and moisture content as base for payment but at some plants only volume. The moisture content is usually estimated by drying wood chips in an oven but few plants a visual estimation is used. At few plants moisture content is estimated spectroscopically. The techniques using near infra read light and other electromagnetic are still at a test stage.

The methods of measurement used today are quit unreliable for the individual deliveries and there is a risk for systematic mistakes. Ash content part varied with 5 % between the deliveries. Since the method for measuring ash content is statistical uncertain this parameter value for the parameter should be estimated by visual inspection.

Alternative procedures for Umeå Energy could be as follow:

- Do not buy more tree parts than necessarily.
- The price for tree parts should be more correctly.
- Invest in equipment which makes it possible to estimate the moisture content in tree parts correctly such as camera technique and/or equipment to chip the material.

Procedure for measuring wood chips is proposed to be:

- The driver collects the wood chips samples.
- The driver should walk around the stack after unloading. Collect four samples two litres, from four different locations. Two of the samples should be taken above and two samples should be taken below waist height.

Estimate a value for ash content in the contracts and use this estimated value as base for payment.

In the future when the new boiler is installed and the number of deliveries increases:

- Use random samples of deliveries when estimating moisture content.
- Use the Swedish wood measuring association (VMF) for neutral measurement.
- Invest in NIR (Near Infra Read) equipment.



## Bakgrund

I början av 1800-talet dominerade träbränslena den svenska bränsleförsörjningen samtidigt som behovet av mekanisk kraft tillgodosågs med vattenkraft, väderkvarnar och dragdjur. Med 1800-talets jordbrukssamhälle ökade träbränsleanvändningen stadigt fram till sekelskiftet 1900 då samhället började industrialiseras. Inom industrins energianvändning låg träbränslena i absoluta tal på oförändrad nivå från 1890 till 1950-talet men med industrins stora expansion minskade deras relativa betydelse. Med 1900-talets industrisamhälle sjönk träbränslenas betydelse samtidigt som den totala energiförbrukningen ökade. Under tre kortare perioder ökade dock träbränslena i betydelse. Under första- och andra världskriget bidrog olika internationella marknader till träbränslenas ökade användning medan det under 1970- och 80-talet började växa fram värmeverk och kraftvärmeverk som vid sidan av hushåll och industri tog rollen som en ny betydelsefull träbränslekonsument. Det var genom värmeverkens expansion som en marknad för skogsavfall uppstod. Till skillnad från ökningarna under första och andra världskriget upplevdes ökningen under 1970- och 80-talet som ett trendbrott, som något långsiktigt. Schön (1992) menade att kraven på kostnadsreduktion i användningen av träbränslen skulle växa från slutet av 1990-talet och framåt. Förutsättningar för tillväxt i produktion, inkomst och arbetslön fanns samtidigt vid denna tid. Schön menade att om dessa förutsättningar tillsammans med ett krav på kostnadsreduktion skulle bli verklighet skulle kraven på standardisering och effektivisering komma att öka. Detta på grund av att förnyelsen inom energiområdet skulle minska relativt situationen under 1970- och 80-talet.

I dag ökar handeln med biobränslen både nationellt och internationellt i takt med att fossila bränslen ersätts av förnyelsebara energikällor. För Sveriges del ligger träbränslen nära till hands att använda och efterfrågan på dessa har också ökat. I dagsläget används biprodukterna från skogsindustrin nära fullt ut vilket gör att en ökning av dessa inte är ett alternativ. Däremot är det möjligt att öka produktionen av bränslen direkt från skogen och det är också runt dessa som diskussionen idag rör sig (Åslund 2002). Priserna på skogsbränslen har stigit de senaste åren till följd av ökad efterfrågan. Till exempel kostade skogsflisen 138 kr/MWh (fritt förbrukare och exklusive skatt) år 2004. År 2007 hade motsvarande siffra stigit till 158 kr/MWh (Anon. 2008).

GROT och träddeklar har som bränsle i kraftvärmeverk flera nackdelar och anses därför som eldningsmässigt dåliga (Grahn & Torstensson pers. kom. 2007). Till exempel har grotflis jämfört stamvedsflis högre andel extraktivämnen och mineraler. Na och Cl är bara två av många ämnen som kan ge problem i pannan och leda till höga produktionskostnader (Savolainen & Berggren 2000). Trots nackdelarna används båda sortimenten eftersom tillgången på andra bränslen idag är låg och dessutom antas minska för det enskilda företaget (Gran & Torstensson pers. kom. 2007).

Frågan är då vilka kvalitéer som ska mätas och hur dessa ska mätas då man tar fram betalningsunderlag vid köp av skogsbränslesortiment. Fraktionsstorlek, färskhet, askhalt och levererad kvantitet är exempel på parametrar som är möjliga att mäta (Nordén 2001). Vägning i kombination med fukthaltsbestämning är något som många föredrar men som inte är helt problemfritt. Problemen med fukthaltsmätning kan enligt Eriksson et al. (2002) sammanfattas i följande tre punkter:

- Det är svårt att ta representativa prover

- Det är personalkrävande att ta prover
- Lång tid går mellan att proven tas till dess att resultaten fås.

Det finns olika mättningsförfaranden för fukthaltsbestämning. En av dessa är metoden som svensk standard förespråkar, dvs flisen torkas i en varmluftstork vid 105<sup>0</sup>C i 24 timmar. Andersson och Yngvesson (1992) menar att utvecklingspotential finns i att göra fukthaltsbestämning på flis i fält före leverans. Man kan då använda IR-, mikrovågs- eller varmluftstorkar. Ännu ett alternativ är att endast göra någon form av okulär bedömning.

Två metoder som idag är på gång men som fortfarande ligger på utvecklingsstadiet är NIR och RF. NIR (Near Infra Red) bygger på teknik där materialet bestrålas med infrarött ljus vilket reflekterar används för fukthaltsbestämningen. RF (RadioFrekvensmetoden) använder elektromagnetiska vågor. Man tittar här på vågornas rörelse genom materialet. Båda metoderna håller på att utvecklas för att tas i bruk inom en relativt snar framtid (Eriksson et al. 2002).

Andra frågeställningar för mättningsförfarandet är vem som ska utföra mätningen och var det ska utföras. Är det acceptabelt med partsmätning eller måste en tredje oberoende part användas? Mätningen kan rent teoretiskt utföras i skogen, vid mellanlagring eller vid industri. Vad har då mätplatsen för betydelse på mätresultaten?

Idag vägs träddelar vid inmätningen vid Umeå Energi och betalas sedan per ton. Problemet med detta tillvägagångssätt är att man inte har full kontroll på någon annan kvalitet än råvikten på träddelarna. GROT-flisen däremot vägs vid inmätningen och lossas varefter föraren tar ut ett 10 liters flisprov som fukthaltsbestäms. Baserat på denna fukthalt och en förutbestämd askhalt uppskattas det effektiva värmevärdet för skogsflisen som betalas per MWh. Det tar minst 24 timmar att fukthaltbestämma leveranserna, vilket är för lång tid. Dessutom upplevs de uppskattade fukthalterna som mycket osäkra. En ny panna håller i dagsläget på att byggas och när denna tas i drift förväntas en ökning av antal inkommande lass. Den långa tiden mellan provtagning och resultat ger i ett sådant scenario ännu större problem eftersom fakturering kan göras först efter två dygn.

Eftersom trenden visar på råvarubrist har leverantören nu fler val i frågan om vem denne levererar till. Att få betalt för vad man faktiskt levererar, både i kvalitet och kvantitet, kan ses som en anledning för säljaren att leverera till en köpare med bra inmättningsrutiner och hög säkerhet i uppmätta värden. Detta i sin tur ger köpare argument till att satsa på bra mätmetoder (Jonsson P. pers kom. 2007). Genom att ha kontroll på kvalitén i leveranserna kan man både styra och optimera produktionen vilket är ännu ett argument för tillförlitliga mätmetoder (Carlsson pers. kom. 2007).

Schön (1992) menade att standardisering och effektivisering skulle komma att öka inom bioenergi området och då behovet för detta examensarbete funnits verkar det som han spådde rätt.

## ***Mål***

Att till Umeå Energis huvudanläggning vid Dåvamyran ge förslag till mätspecifikation som ska användas vid köp av sortimenten GROT, träddelar och grothlis från barrskog. Följande moment skall inkluderas i examensarbetet:

- Kartläggning av vilka kvalitéer på ovanstående sortiment som Sveriges kraftvärmeverk och värmeverk mäter samt vilka mätmetoder som används.
- Genomgång av de mätmetoder som idag befinner sig på utvecklingsstadiet och som förväntas tas i bruk inom en relativt snar framtid.
- Analys av spridning och säkerhet i mättningsresultat för de vid Umeå Energi mest relevanta mätmetoderna.

## Sortimentsbeskrivning

### *Avverkningsrester (GROT)*



**Figur 1.** Avverkningsrester på hygget innan skotning. (foto Sallin 2007).  
*Figure 1.* Residues on a clear cut area. (photo Sallin 2007).

I avverkningsrester ingår grenar, toppar, små träd och stubbar vilka kan tas tillvara både efter gallring och efter slutavverkning. Biomassans sammansättning inom avverkningsresterna varierar beroende på träslag, avverkningsförfarande och tid mellan avverkning och tillvaratagande.

Generellt ligger fukthalten i nyavverkade avverkningsrester på 50-55 % (Ringman 1996) men enligt Nordén (1993) kan fukthalten i GROT variera upp till 30 procentenheter vid inmätningen vid industri under ett år. Studier har visat att fukthalten varierar mer om biomassa från lövträd finns i sortimentet. Också väderlek, årstid och hantering påverkar fukthalten.

Det effektiva värmevärdet i avverkningsrester från barrskog ligger runt på 19,4 MJ/kg torrsbstans. Motsvarande värde för flisade avverkningsrester ligger på 19,9 MJ/kg torrsbstans. Avverkningsresternas höga fukthalt tillsammans med låg bulkdensitet gör att energiinnehållet per volymenhet är lågt. Dock har avverkningsrester hög andel barr och bark med högt kalorimetriskt värmevärde som till viss grad kompenserar lågt energiinnehåll (Ringman 1996).

Avverkningsrester från barrskog har vanligen en askhalt omkring 2,2 %. Askhalten är generellt sett högre hos barr, grenar och bark än hos stamved. Lägre andel barr i ett lass medför alltså lägre askhalt. Lagring av obearbetat material och ökande andel stamved bidrar till mindre andel finfraktioner (Ringman 1996). Hög andel finfraktioner är något som man inte vill ha för mycket av till Umeå Energi då detta ger problem med rökgasreningen (Carlsson pers. kom. 2007).

Flisade avverkningsrester av barrved har en askhalt på ca 1,8 %. Efter lagring är motsvarande siffra uppe kring 3 %. Man kan utifrån dessa siffror dra slutsatsen att lagring och transport kan komma att höja askhalten hos flis med ett par procent. Fraktionsstorleken hos flis varierar kraftigt vilket kan ha betydelse för eldningen (Ringman 1996).

## Träddelar



**Figur 2.** Träddelar liggandes i välda. (foto Sallin 2007).

*Figure 2.* Piled tree parts. (photo Sallin 2007).

Traditionellt sett har ofta träddelar sitt ursprung i gallringar. Uttag av träddelar skiljer sig från uttag av avverkningsrester genom att träden inte kvistas utan bara kapas i lämpliga längder innan transport till terminal eller industri. Träddelar innefattar både grenar, barr och ren stamved och blir därför ett ännu mer heterogent sortiment än avverkningsrester.

Nyavverkade träddelar har en fukthalt omkring 50 %. Precis som för avverkningsrester är det effektiva värmeverdets för träddelar runt 19 MJ/ kg torrs substans men askhalten ligger mellan 0,1-0,6 viktprocent, alltså lägre än för avverkningsresterna (Ringman 1996). I tabell 1 åskådliggörs sammansättningen av extraktivämnena och lignin hos grot och träddelar.

**Tabell 1.** Värderna för extraktivämnena, askhalt och lignin i torrt material av gran (*Picea abies*).

Källa: Rehn 2006

**Table 1.** Values for extractives, ash content and lignin in dry material from *Picea abies*. (Rehn 2006)

Del	Alla värden i % av torrsvikt		
	Extraktivämnena	Askhalt	Lignin
Stam	2,34	0,36	19,57
Grenar	13,86	2,12	24,46
Bark	28,28	3,07	17,28

Sortimenten kan också skilja sig i hanteringsegenskaper. Exempel på detta är vid lastning av olika flis. Då en skopa flis innehållande låg andel stamved läggs på bil/släp lägger sig detta i en relativt väl sammanhållen massa. Då materialet innehåller mycket stamved "rinner" flisen ut i bilen/släpet. Liknande tendens uppvisar mycket fuktigt material. Detta lägger sig i en sammanhållen massa i motsats till torrt material som inte håller ihop utan "rinner ut" (Eckeryd. pers kom. 2007).

## Vad kan mätas och vilka metoder finns tillgängliga?

### *Kvantitet hos flis*

Kvantiteten mäts alltid på alla leveranser. Vikt och volym är de två enheter som används då kvantiteten uppskattas men mätmetoderna skiljer sig ibland åt. Volymbestämningen kan exempelvis ske antingen innan transport eller efter transport men oftast används det senare då volymen används som betalningsgrund. Om volymen bestäms efter transport bör man beakta att flis packas ihop mer eller mindre beroende på transportavstånd, vilket leder till volymförändring, något som kan drabba både säljare och köpare. Nordén (2001) menade att enklast torde vara att reglera mätplatsen i kontraktet och då betala olika per m<sup>3</sup> beroende på mätplats. Vid ett sådant tillvägagångssätt antar man att all flis vid en viss plats i transportkedjan (t.ex. all flis vid avlägg) har samma torrsvikt per m<sup>3</sup>s (Nordén 2001). Dock tillför detta antagande mätningen en viss osäkerhet då flis från olika trädslag varierar i densitet. Flis från tall väger ca 420 kg/m<sup>3</sup>, från gran 410 kg/m<sup>3</sup> och från björk 500 kg/m<sup>3</sup>. De lägsta vikterna har snabbväxande åkermarksgran i 25 års ålder (Björklund 1988). Enligt Björklund (1988) är det näst intill omöjligt att mäta träddelar i volym. Man är därför helt hänvisad till viktmätning. Vägning i kombination med torrhållsbestämning är något som många värmeverk föredrar (Björklund 1988), även så massabruk (Lindstrand 2003). Vägningen då man använder vägburna fordon bidrar inte med någon relevant osäkerhet men om man däremot använder järnvägstransport utgör vägning en osäkerhetsfaktor då det är svårt att mäta något så tungt med en hög säkerhet (Lindstrand 2003). Största osäkerheten här ligger i fukthållsmätningen (Anon 1990). En övergång från volymmätning till viktmätning är något köparna skulle tjäna på medan det inom säljarna skulle finnas både förlorare och vinnare (Lindstrand 2003).

När det här talas om att betala flis efter vikt är det underförstått att man samtidigt mäter fukthalten för att kunna bestämma vikten torrsubstans och därmed värmevärdet i leveransen. För att göra detta används ofta en torkugn som håller en temperatur på ca 105°C och en torktid på 24 h, ibland 48 h. Detta är också vad Virkesmätningssällskapet (VMF) förespråkar och det är även vad svensk standard anger. VMF är en förening som erbjuder företag opartisk mätning (Anon. 1998). Forrest (1968) fann i sin studie att material som torkats i 24 h, 105°C, minskade i vikt med 2 % mer än material som torkats samma tid men vid 70°C. Flis från tall (*Pinus radiata*) som genomgått sex olika lagringsprogram användes i denna studie och torkades i 24 h på 70°C, 85°C och på 105°C. Genomgående för alla material var att uppmätt fukthalt var lägre ju lägre temperatur som använts. Forrest (1968) hävdade att fukthaltens sanna värde var detsamma oavsett vilken temperatur som använts men att den höga temperaturen troligen var orsaken till att andra substanser än vatten lämnat materialet. Slutsatsen är att temperaturer över 100°C ökar risken för att extraktivämnen avgår. Forrest (1968) föreslår avslutningsvis att standarden för temperaturen i torkugnar borde ligga på 85° men drar ingen slutsats om vilken torktid som då torde vara lämplig. Forrest (1968) fann också att hyggesrester kan lagras utomhus eller vid 7°C i 17 dagar innan materialförlusten överstiger 2 %.

Mätning av fukthalten redan ute i fält skulle kunna underlätta för köparna. De metoder som enligt Andersson och Yngvesson (1992) skulle kunna användas är IR-, mikrovågs- eller varmluftstorkar. Infrarött ljus påskyndar torkning i IR-torkarna och dessa stänger av sig själva då vikten blivit konstant dvs då provet är torrt. Nackdelen är att proven inte kan vara tyngre än 30 gram vilket minskar provens representativitet. Mikrovågsugnar däremot kan

ta prover på 100 gram men här tar det upp mot 20 minuter att torka provet jämfört med IR-torkens 5 minuter. Ett stort problem med mikrovågstorkning är att risken för pyrolys i provet är mycket hög. Varmluftstorkar kan ta prover på 600 gram men man får då räkna med mycket långa torktider. Dessutom krävs en våg vid sidan om och en separat kraftkälla som gör att hela utrustningen blir skrymmande. Enligt Andersson & Yngvesson (1992) är mätnoggrannheten  $\pm 2\%$  hos alla tre metoderna. Något man kunde kombinera med fukthaltsmätning i fält är vägning. Om man fick tillräckligt hög noggrannhet på materialets vikt med en våg på flisaren, alternativt skytteln, skulle man kunna använda vikten, tillsammans med fukthalten, som betalningsunderlag och köra materialet raka vägen in till lager eller förbränning. Nordén (1993) menade att en skyttelvåg ger tillräckligt god noggrannhet.

En variant för att bestämma värmevärdet är att skicka ett flis prov till laboratorieanalys. Flisen torkas då till torrhet vid  $60^{\circ}\text{C}$ . Efter detta delas flisen upp i mindre portioner varefter en mals. En del av det pulver man får pressas till ett par pellets. Utrustnings som sedan används visas i figur 3. En pellets förbränns i en behållare (denna håller konstant volym) innehållande syrgas och omgiven av vatten. Vattnets temperaturförändring mäts för att bestämma värmevärde (Bergner, pers. kom. 2008).



**Figur 3.** Utrustning för att bestämma värmevärde.(foto Hägg 2008).

*Figure 3. Equipment for determination of heat value. (photo Hägg 2008).*

### ***Kvantitet hos GROT och träddelar***

De metoder för fukthaltsmätning som hittills har nämnts är alla avsedda för flisat material. Att mäta fukthalten i GROT och träddelar är ännu svårare. En metod för fukthaltsbestämning i rishögar är att använda sig av en träddeborr. Man borrar då vid inmätningen fram ett antal prov som man mäter fukthalten på. Enligt Yngvesson (1993) får man ingen systematisk felskattning jämfört med om hela lasset krossas, prover tas ut och fukthalten bestäms. Han konstaterar också att det spill som ligger på botten av lasset är 5-10 % fuktigare än övrigt material. Mängden är så liten att betydelsen för lasset totala fukthalt kan bortses. Resultatens riktighet beror endast på hur många prover som tas ut. Eftersom ingen skillnad i fukthalt mellan bil och släp kunde påvisas är det genom lottning möjligt att ta proven i bara den ena. Det vanligaste vid industrin då denna studie gjordes var att borra ut 2-3 prov, mixa spånets från dessa och utifrån detta ta ut två spånprov á 150 gram för fukthaltsmätning.

Roos (1983) beskrev precisionen på metoder för att bedöma vikten torrsubstans hos GROT. Om man kan bestämma lassetts volym, dess fastvolym procent och dess torr-rådensitet, kan man baserat på dessa uppgifter bestämma vikten torrsubstansen. Skattningarna av fastvolym procenten och torr-rådensiteten är dock svåra vilket gör att slutskattningen för hela leveransen är mycket osäker. Enligt denna studie som utgick från

att variationskoefficienten för fastvolym låg runt 3 % och för torr-rådensitet 10 % kan inte precisionen i vikten torrsubstans underskrida 10 %. Dessa siffror utgick endast från en skattning visuellt. Genom att ta prover för torr-rådensiteten får man högre precision. Dock ger det i slutändan högst noggrannhet om man använder vägning tillsammans med krossning och fukthaltsbestämning av materialet.

### **Fraktioner**

Enligt Anon. (1998), och SS 18 71 17:1 ska fraktionsbestämning på flis göras med hjälp av en anordning bestående av 3 hålplåtar och en spånlåda, (se figur 4). 10 liter flis bredds ut på översta plåten varefter anordningen skakas i 4 minuter med slaglängden 70 mm och slagfrekvensen 160 slag/minut. Fraktionsfördelningen anges sedan i viktprocent. För noggrannare instruktioner se Virkesmättningsrådets ”Allmänna och särskilda bestämmelser för mätning av biobränslen” (Anon. 1998).



**Figur 4.** Utrustning för bestämning av fraktionsfördelning. (foto Hägg 2008).

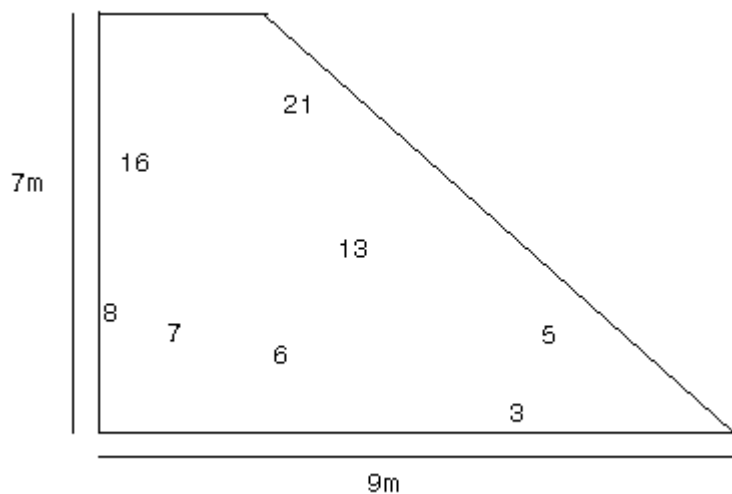
*Figure 4.* Equipment for determination of particle size distribution. (photo Hägg 2008).

Ett annat exempel för mätning av fraktionsfördelning kan tas från massaindustrin. Där delas sågverksflisen upp i fem storleksfraktioner genom sållning enligt SCAN-CM 40test. Man använder sig då av ett såll bestående av fyra sållådor med spalter och hål. Flisen separeras genom att sållen skakas i 10 minuter varefter varje storleksfraktion betalas olika per torrviktsenhet. Man kan alltså på så detta sätt styra mot en viss fraktionsfördelning och förmå sågverken att sträva efter att öka den bäst betalda fraktionen. Nackdelen med metoden är att ett antal flisbitar måste mätas optiskt för att få tillförlitliga resultat vilket gör tekniken både dyr och tidskrävande (Hedenberg 2001).

### **Askhalt**

Långtidslagring av flis i hög kan leda till kemiska förändringar i materialet till följd av mikrobiell nedbrytning. Dessa reaktioner kan variera beroende på läge i högen. Detta leder till att bland annat askhalten kommer att skilja sig åt beroende på om man tar provet från flis som legat i mitten eller i utkanten av en hög. Enligt Jirjis & Theander (1990) kan askhalten för hela materialet stiga 1 procentenhet då flisen ligger i mitten av en relativt stor flishög i sex månader. Tabell 2 visar utgångsvärdet samt lägsta och högsta värdet på askhalt och klasonlignin efter 6 månaders utomhuslagring. Siffran inom parentes säger vid vilken provpunkt provet tagits. Provpunkternas plats visas i figur 5.





**Figur 5.** Läget för provpunkterna där högsta eller lägsta värdet uppmättes på askhalt och klasonligninandel (Jirjis & Theander 1990).

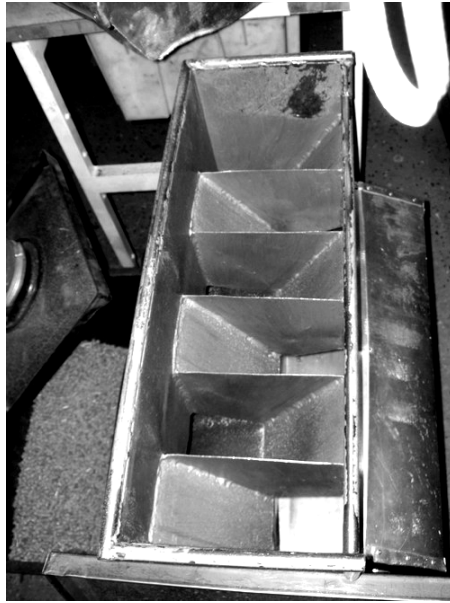
*Figure 5.* Crossview of the pile of chips showing the location of the sample points (Jirjis & Theander 1990).

**Tabell 2.** Askhalt och klasonligninandel för olika fraktioner före lagring samt högsta och lägsta värde efter 6 månaders utomhuslagring i % av torrsvikt (Jirjis & Theander 1990). Inom parentes anges provpunkten

*Table 2.* Ash content and klasonlignin content for different tree parts before storage and the lowest and highest value after 6 months of outdoor storage (Jirjis & Theander 1990. Sample position within brackets)

	Ved		Kvistar		Bark		Barr	
	Klasonlignin	Aska	Klasonlignin	Aska	Klasonlignin	Aska	Klasonlignin	Aska
<b>Före</b>	31,6	0,6	38,0	2,7	33,4	4,0	19,7	4,2
<b>Lägsta</b>	27,8 (6)	0,4 (21)	37,4 (7)	1,1 (21)	42,8 (5)	4,5 (21)	21,8 (8)	3,8 (13)
<b>Högsta</b>	38,5 (3)	0,9 (16)	51,0 (21)	4,1 (7)	62,8 (21)	5,6 (7)	50,1 (13)	5,3 (21)

I bilaga 2 beskrivs principen för askhaltsbestämningen enligt SS 18 71 17-1. Ett 10 liters prov torkas till torrhet och blandas sedan varefter det delas upp i mindre enheter. Detta görs med utrustning liknande den i figur 6. Efter att provet blandats och delats upp i mindre enheter mals flisen till millimeter stora fraktioner. Om provet är heterogent mals det istället till 0,25 millimeter. Efter att provets mals ned delas pulveret i mindre enheter. Ca 2-3 gram tas ut och askhaltsbestäms (Bergner. pers.kom. 2008)



**Figur 6.** Utrustning för uppdelning av flisprov till mindre enheter. (foto Hägg 2008).  
*Figure 6. Equipment for portioning samples of wood chips (photo Hägg 2008).*

### ***Mätmetoder under utveckling***

NIR står för Near Infra Red spektroskopi. Man använder i denna metod ljusvågor med våglängder inom intervallet 800-2500 nm. Eftersom vanligt optiskt glas kan användas vid dessa våglängder passar metoden bra för on-line bruk. Instrumenten är dessutom robusta och tåliga vilket gör att de tål miljön som vanligtvis råder vid inmättningsstationer. Hur långt ljuset tränger in i materialet beror på provets sammansättning, densitet, storlek och form (Nyström et al. 2002) I snitt tränger ljuset in 5 mm (Eriksson et al. 2002). Genom att analysera ljusets reflektion får man information om materialets sammansättning.

Metoden fungerar bäst på material som rör sig på ett transportband eftersom större yta då kan mätas. Man får i detta fall bra representativitet på flis trots att det är en ytmätmetod (Nyström et al. 2002). NIR metoden används på vissa kraftvärmeverk men har visat osäker långtidsstabilitet (se vidare under Resultat av intervjuer). En variant på mätanordning visas i figur 7. Här sitter mätanordningen ovanför ett transportband med flis. Enligt Nyström et al. (2002) ger båda metoderna bättre representativitet för ett större parti flis än manuell provtagning med torkning. I en studie av Dahlquist et al. (2005) fastslås att både NIR och RF kan ersätta de traditionella manuella metoder som används idag. Geladi (2007) menar också att NIR är användbar men är mer försiktig. Han menar att man aldrig kan få högre säkerhet i mätningarna än man får med torkning. Det är också en mycket hög investeringskostnad men i gengäld får man resultaten snabbt och man kan förutom fukthalt också mäta både askhalt och energiinnehåll. Lägre analyskostnader motiverar också en investering. Vidare menar Geladi att RF metoden är intressant men att den endast kan mäta fukthalt och inte är testad i samma utsträckning som NIR.



**Figur 7.** Mätanordning för NIR då materialet rör sig på transportband.( Foto: Bestwood 2007).  
**Figure 7.** Measuring moisture content in wood chips with NIR. (Photo:Bestwood 2007).

Eskilstuna är den enda pilotanläggningen i Sverige där för närvarande tekniken används. Figur 9 visar hur det ser ut vid mätstationen. I princip är en skotarkran uppmonterad vid mätstationen på vilken mätsonden är monterad.



**Figur 9.** NIR-mätning i Eskilstuna. (foto Bestwood 2007).

*Figure 9.* Measuring wood chips with NIR. (photo Bestwood 2007).

Sonden sticks ned i lasset på fem slumpmässigt utvalda platser (figur 10). Varje ”stick” tar ca 15 sekunder. När sonden sedan dras upp belyses fem provpunkter. De infraröda strålarna skickas ut genom ”fönstret” på mät huvudet och det är också här man registrerar strålarnas reflektion (bild 10). Signaler skickas sedan via en kabel som löper utmed kranen. En dator registrerar signalerna som analyseras. På samma plats som mätningen görs vägs bilen (Carlsson, pers.kom. 2007).



**Figur 10.** Provtagningssond för NIR. (foto Bestwood 2007).

*Picture 10.* NIR prob in a chip container. (photo Bestwood 2007).



**Figur 11.** Mätsondens huvud med fönster. (foto Bestwood 2007).

*Figure 11.* The prob head with window. (photo Bestwood 2007).

Radio Frekvensscan (RF) metoden, använder sig av elektromagnetiska vågor med frekvenser på 50-500 MHz, alltså radiovågor. Även dessa vågor reflekteras och transmitteras olika beroende på material. Genom att titta på hur vågorna rör sig kan man bestämma hur mycket vatten ett material innehåller. Metoden har använts för att mäta fukthalten i virke men för mätning av flis ligger den ännu på forskningsstadiet (Nyström et al. 2002). Det finns två sätt att mäta på. Endera används en sändare på ena sida av materialet och en mottagare på den andra sidan eller så används en antenn som fungerar både som sändare och mottagare. Antennen placeras ovanför materialet och sänder ut vågorna nedåt, varpå reflektionen från botten fångas in med samma antenn (Dahlquist et al. 2005). Utrustningen i figur 8 fungerar både som antenn och mottagare och förs över ytskiktet på flisen innan lossning.



**Figur 8.** Utrustning för att mäta fukthalten i flis med RF metoden. (foto Paz 2007).

*Figure 8.* RF equipment for measuring moisture content in wood chips. (photo Paz 2007).

Problem finns med både NIR och RF metoderna. Det krävs att en sändare och en mottagare, alternativt en antenn, kan monteras upp så allt material mäts på ett effektivt sätt. Dessutom störs RF metoden om torr ved blandas in i materialet. Generellt störs RF metoden också av både ändrad bulkdensitet och ändrad bränsledensitet. Om rena lass mäts är detta dock inte ett stort problem. NIR å andra sidan störs av ändrad kemisk sammansättning (Dahlquist et al. 2005) och temperaturskillnader inom materialet (Geladi pers. kom. 2007). Även Berg et al. (2005) påpekar vissa nackdelar med NIR i sin studie. Han menar att dagens noggrannhet i mätresultaten är ungefär den samma som för manuell provtagning med torkning. På de anläggningar där NIR idag används är erfarenheterna blandade. Generellt sett fungerar metoden men investeringskostnaden är hög och underhållskostnaderna varierar stort (Geladi pers. kom. 2007).

### ***En tredje oberoende part***

Idag är partsmätning det vanligaste för mätning av bioenergisortiment men VMF som oberoende part är ibland anlita av köparna för att utföra mätningen. VMF strävar efter att öka andelen opartiskt mätta trädbränslesortiment och tycker att man hittills lyckats. Eftersom man är medveten om kostnaden att använda sig av VMF, jobbar man med utveckling av endast delvis bemannad mätning. ”Kameramätning” är en variant på detta. Mer om denna teknik finns att läsa under ”resultat – intervjuer”.

Om man vill använda sig av VMF finns olika alternativ (Weslin pers kom. 2007):

- VMF personal bemannar mätbryggan och sköter all mätning (Erbjuds idag).
- VMF utbildar personalen som på så vis blir bemyndigad av VMF (Erbjuds idag).
- Delvis obemannad mätning av VMF (Erbjuds idag).
- Oberoende kontroll av egen mätning

Då VMF bedömer ett biobränsles kvalitét mäts, beroende på avtal, torrhalt, askhalt, kalorimetiskt värmevärde och fraktionsfördelning som. De generella mätinstruktioner som VMF använder kan anpassas till önskemål från uppdragsgivaren vad gäller mätmetod, mätplats och provtagning. Vissa rekommendationer finns dock (Anon 1998). Exempelvis:

- Maskinellt uttag av prover föredras framför manuellt.
- Ett prov från ett bränsle där minst 95 % av materialet har en storlek <100 mm bör omfatta ca 5 liter.
- Om fraktionsstorlekar >100 mm utgör mer än 5 % av provet bör provstorleken vara större än 5 liter. Att provuttag ökar beror på att stora partiklar har mindre sannolikhet att komma med i små prov. För att provet ska betraktas som representativt måste alla partiklar ha lika stor sannolikhet att komma med i provet.
- Precisionskravet vid provtagning på askhalt och torrhalt bör omfatta så många prover att konfidensnivån 95 % uppgår till högst 2 procentenheter för torrhalten och 0,3 procentenheter för askhalt.
- För bestämning av fraktionsstorlekar ska provets volym vara minst 10 liter.

### ***Att lägga upp mätningen i praktiken***

Olika former av stickprovsmetoder gör mätningen effektivare, dvs man sänker mätkostnaderna samtidigt som ambitionen är att bibehålla mätresultatens innehåll och kvalitét. Eftersom energiverken använder sig av en lågvärdig produkt från skogen, i motsats till sågverk och massabruk, måste mätningen på verken ske till en låg kostnad. Med hjälp av obemannad mätning, dvs utan VMF, kan man skapa en inmätning med tillräckligt hög kontroll relaterat till kostnaderna. Enligt Orvér (2002) bör man dock använda en VMF bemannad mätplats om detta är möjligt. Han påpekar att man alltid måste ta stor hänsyn till parternas förutsättningar och behov då man utformar ett mätningförfarande. Nedan ges fyra exempel på hur ett mätningförfarande kan läggas upp i praktiken då man mäter skogsflis.

- **Förutsättningar:** Variationskoefficienten mellan provernas torrhalt är 10 %. Det är det effektiva värmevärdet som enligt avtal står för flisens värde. I avtalet sägs att medelfelet på värdet av leveransen inte får uppgå till mer än 1,5 %. Verket som köper flisen köper av flera olika leverantörer.
  - a) Mättningsförfarande: På grund av kostnadsskäl ses det som orimligt att bestämma askhalt för var och en av leverantörerna därför antas ett genomsnittligt värde för alla leverantörer. Hur detta beräknas ska framgå av avtalet. För att bestämma mängd torrs substans, fukthalt bestäms varje lass genom att ett prov per lass tas. Förväntningsmässigt representerar detta prov hela lasset men eftersom det med ett femliters prov endast är ca en 20 000-del av lasset som mäts säger det sig själv att det är en stor osäkerhet i mätningen. Effektivt värmevärde beräknas utifrån antagen askhalt och skattad fukthalt (Orvér 2002).
  - b) Mättningsförfarande: Samma resonemang som ovan gäller här för askhalt och effektivt värmevärde. Fukthalten mäts dock istället genom att leveranserna väljs ut genom stickprov för fukthaltsbestämning, dvs alla inkommande lass används inte som provlass utan bara några slumpmässigt utvalda. Man delar i detta fall upp leverantörerna i olika kollektiv. Till exempel kan de leverantörer som har ungefär samma torr råvolymvikt sammanföras till ett kollektiv. Förutsatt att kvoten mellan uppskattad torrhalt och verklig torrhalten är 8 % krävs  $8^2/1,5^2=28$  provbilar (för detta krävs indelning i kollektiv). Jämfört med föregående mättningsförfarande får man ett lägre provantal trots att man har samma medelfel (Orvér 2002).
- **Förutsättning:** Variationskoefficienten antas ligga någonstans mellan 7,5-8 % mellan lass.
  - a) Om man accepterar ett medelfel på 2,5 procentenheter är kombinationerna i tabell 3 möjliga (Nylinder & Törnmark 1986).

**Tabell 3.** Möjliga upplägg då medelfelet 2,5 och 5 procentenheters intervall vid ett 95 procentigt konfidensintervall accepteras

*Table 3. Possible solutions when mean error is 2.5 and 5 percentage interval at a 95 % confidence level*

Antal ekipage per år och per leverantör	Stickprovstagning
1-10	2 fukthaltsprover från varje ekipage
11-20	2 fukthaltsprover från vartannat ekipage
Fler än 20	2 fukthaltsprover från 10 % av ekipagen, dock minst 10 och högst 20 stickprovsekipage

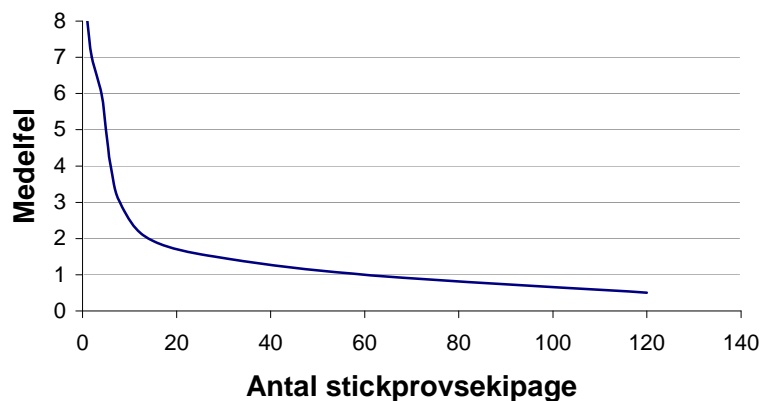
- b) Om man däremot vill ha högre noggrannhet och endast accepterar ett medelfel på 1 % och därmed en 95 procentig sannolikhet för att det sanna värdet befinner sig inom medelvärdet  $\pm 2$  procentenheter gäller kombinationerna i tabell 4 (Nylinde & Törnmarck 1986).

**Tabell 4.** Möjliga upplägg då medelfelet 1 procentenhet och 2 procentenheters intervall vid ett 95 procentigt konfidensintervall accepteras

*Table 4. Possible solutions when mean error is 1 percentage and 2 percentage interval at a 95 % confidence level*

Antal ekipage per år och per leverantör	Stickprovstagning
1-3	5 fukthaltsprover från varje ekipage
4-50	2 fukthaltsprover från varje ekipage
Fler än 50	2 fukthaltsprover från 25 % av ekipagen, dock minst 50 och högst 75 stickprovsekipage

I figur 12 visas hur medelfelet beror på antal stickprovsekipage. Kurvan gäller för 200 ekipage där den genomsnittliga fukthalten per leverans bestämts genom att 5 prover per ekipage tagits. Att öka antalet stickprovsekipage med en enhet från 1 till 20 har relativt stor betydelse medan fler än 20 har mindre betydelse då antalet stickprovsekipage ökar med 1 enhet (Nylinder & Törnmarck 1986).



**Figur 12.** Det procentuella medelfelet beroende av antal stickprovsekipage då 200 ekipage fukthaltsbestämts utifrån 1 prov per lass (Nylinder & Törnmark 1986).

*Figure 12. The mean error (per cent) depending on number of random samples when 200 deliveries was checked for moisture content. One sample analysed per delivery (Nylinder & Törnmark 1986).*



## Umeå Energi

Umeå Energi har tre grupper av enheter runt Umeå, en vid Dåvamyran, en på Ålidhem och ett par satellitanläggningar. Dåva kraftvärmeverk har en effekt av ca 55 MWh/år och motsvarande siffra för anläggningen på Ålidhem är 50 MWh/år. På Dåvamyran finns idag en rosterpanna, men den nya anläggningen under konstruktion blir en fluidpanna som man planerar att köra på ca 105 MW. Generellt kan sägas att en fluidpanna är mindre känslig för kvalitetsförändringar i bränslmix så länge det inte gäller föroreningar så som sten, sand och metaller. Tanken är att försöka anpassa tekniker efter bränslet istället för tvärtom. Även om Dåva kraftvärmeverk har avfall som huvudsakligt bränsle, har skogsbränslen ändå en betydande roll (Stenlund et al. pers. kom. 2007).

Från augusti 2006 till och med juni 2007 användes 4 600 ton obearbetade träddelar (11900 MWh om omräkningstalet 2,6 MWh/ton används), 310 ton obearbetad grot (800 MWh med omräkningstalen 2,6 MWh/ton) och 21 800 MWh flisad grot. Träddelsflis går i stort sett alltid in i sortimenten stamvedsflis eller GROT-flis och på samma sätt går mycket GROT in som träddelar. Umeå Energi använder sig av skogsbrukets datacentral (SDC) vid fakturering och därmed också SDC:s indelningar (Stenlund et al. pers. kom. 2007).

Enligt SDC:s klassning indelas träddelar i:

1. låg vedandel, företrädesvis från röjning
2. hög vedandel, företrädesvis från gallring och slutavverkning

Enligt SDC:s klassning indelas GROT i:

1. grönt
2. avbarrat
3. grönt, buntat
4. avbarrat, buntat
5. skotat grönt, lagrat i täckt välta
6. skotat grönt, lagrat i ej täckt välta
7. skotat avbarrat, lagrat i täckt välta
8. skotat avbarrat, lagrat i ej täckt välta

Enligt SDC:s klassning indelas GROT-flis i:

1. grönt, flisat
2. grönt krossat
3. flisat (tidigare hantering okänd)
4. krossat (tidigare hantering okänd)
5. avbarrat, flisat
6. avbarrat, krossat
7. täckt välta, flisat
8. täckt välta, krossat

Det är ca 5 leverantörer som står för leveranserna av GROTflis och ytterligare några fler som levererar träddelar. Per dag får man in ca 5 bilar med GROT-flis och 2 bilar med träddelar. Man upplever inte någon signifikant skillnad i bränslekvalité mellan olika leverantörer, däremot en liten skillnad i kvalitité mellan de lass som mellanlagrats på terminal och de som körts direkt från skogen till Dåvamyran (Stenlund et al. pers. kom. 2007).

Idag vägs sortimentet träddelar (kan även innehålla GROT) vid inmätningen på Umeå Energi och betalas sedan per ton. Det är med detta tillvägagångssätt svårt att ha kontroll på vilken kvalitet träddelarna har och i förlängning svårt att veta vad man stoppar in i pannan.

GROTflisen som kommer in till Dåvamyran vägs vid inmätningen varefter föraren tar ut ett 10 liters flisprov från lasset vid lossningen. Provet torkas i 24 h vid 105° C för fukthaltsbestämning. Baserat på fukthalten och en förutbestämd askhalt betalas skogsflisen per MWh. Man upplever att man har en stor osäkerhet i skattad fukthalt och att det tar för lång tid mellan att proverna tas och resultaten erhålles. En ny panna håller i dagsläget på att byggas och man förväntar sig en ökning av antalet inkommande lass då den nya pannan tas i drift. Den långa tiden mellan provtagning och resultat kommer i ett sådant scenario att ställa till med ännu mer problem eftersom det rent logistiskt kommer att bli svårt att hantera provtagningen på leveranserna (Stenlund et al. pers. kom. 2007).

## Material och metoder

Kartläggningen av vilka betalningsgrundande parametrar som används i Sverige gjordes genom telefonintervjuer med ansvariga personer från 20 kraftvärmeverk och värmeverk. (bilaga 1). Kraftvärmeverken valdes ut för att få en jämn spridning både geografiskt och mellan företag. Ett frågeformulär skickades ut ca en vecka innan intervjun och berörde enbart den anläggning som då eldade mest skogsbränslen.

De mätmetoder som år 2007 befann sig på utvecklingsstadiet utvärderades med hjälp av både litteratur och intervjuer med insatta personer.

Efter att intervjuerna sammanställts, utvaldes för testning några för Umeå Energi intressanta mätmetoder för fukthaltsbestämning till test.

### *GROT-flis*

Testerna för fukthaltsbestämningen på GROT-flis lades upp som ett faktorförsök och utfördes på 10 bilar. Fem av bilarna körde material som flisats för mindre än en vecka sedan, i fortsättningen benämnt färskt, och resterande fem bilar innehöll flis som flisats för mer än en vecka sedan, i fortsättningen benämnt torrt. Upplägget utfördes enligt nedan listade punkter. Upplägget illustreras också i tabell 6.

På alla bilar gjordes följande provtagning på materialet:

- Vid lastning togs 10 prover med 4,5 minuters mellanrum. Här eftersträvades att ta tre prover från yttersta skikten, fyra prover från mittersta och tre prov från bottenskiktet.
- Efter lossningen togs ett prov vars enda krav var att det skulle tas så snabbt och enkelt som möjligt. Detta antas motsvara förarens prov.
- Efter att "förarens prov" tagits togs ytterligare nio prover vars provpunkter var spridda över högens yta.
- Från fyra av lastbilarna innehållande färsk flis togs 150 gram flis ur varje prov vid lossningen. Denna flis torkades i mikrovågsugn enligt tabell 5. Resterande flis torkades på plåtar i torkugnar i 24 h vid 105°C.



**Figur 13.** a. Lastning av GROT-flis i skogen. b. Lossning av GROT-flis vid Dävamyran. (foto Hägg 2008).

*Figure 13.* a. Loading of wood chips in the forest. b. Unloading wood chips at Dävamyran.(photo Hägg 2008).

Stickprov för att säkerställa att flisen torkat ordentligt gjordes kontinuerligt under torkandet gång. VMF:s mätinstruktioner (Anon. 1998) definierar konstant vikt då ”förändringen i vikt under en tid av minst 30 min vid 105±2° C ej överskrider 0,2 % av den totala viktförlusten”. Det var också denna definition man utgick från vid kontroll att flisen var torr i slutet av torktiden. Alla prover vägdes både före och efter torkning. Fukthalten per prov beräknades och noterades.

**Tabell 5.** Intervall som användes då flisen torkades i mikrovågsugnen

*Table 5. The used intervals when drying the wood chips with microwave oven*

Steg	Tid i mikro/Effekt	Tid utanför mikro	Upprepningar
1	2 min/350 W	2 min	2
2	1 min 30 sek/350W	3 min	1
3	45 sek/350 W	2 min	1
4	30 sek/350 W	2 min	3

På fyra bilar, två bilar med färsk och två bilar med torr flis, uppskattades askhalten. Per koncept, färsk och torr flis, eftersträvades att få en bil med låg askhalt och en bil med hög askhalt. Bilarna valdes ut genom okulär bedömning. Efter lossning togs på utvalda bilar fyra 2 liters prover med flis vilka mixades till ett samlingsprov på 8 liter flis. Samlingsproverna skickades sedan till Bränslelaboratoriet vid SLU för askhaltsanalys enligt SS 18 71 17:1.

**Tabell 6** Upplägget för flisprovtagningen

*Table 6. The design for moisture and ash content determination in wood chips*

Fukthalt	Färsk flis		Torr flis	
	Objektiv utlagda provpunkter (5 bilar*9 prov)	Snabb och enkel provpunkt (5 bilar*1 prov)	Objektivt utlagda provpunkter (5 bilar*9 prov)	Snabb och enkel provpunkt (5 bilar*1 prov)
Lastning, torkugn	X	X	X	X
Lossning, fukthalt, torkugn	X	X	X	X
Lossning, fukthalt, mikro	X	X	X	X
<b>Askhalt</b>	<b>2 bilar*1 prov</b>		<b>2 bilar *1 prov</b>	
Lossning askhalt	X		X	

## Träddelar

Under 3 veckor kördes 10 leveranser med träddelar in till Dåvamyran vilka samtliga användes som provlass. Materialet lossades, märktes upp och krossades fortast möjligt. Tre bilar med bruna träddelar och sju bilar med gröna träddelar användes. Vilka som var bruna och gröna bedömdes genom okulär besiktning, där brunt betyder lagrad ved och grönt är färskt material med barr. Provtagningen gjordes enligt nedan listade punkter och åskådliggörs också i tabell 7.

### Alla bilar

- Från varje hög med krossat materialet togs 9 stycken 5-liters hinkar med flis. Provpunkterna var jämt utspridda över högens yttre skikt.
- Varje prov torkades i torkugn i 24 h vid 105°C. Även här kontrollerades att proverna torkat helt, enligt VMF:s definition på torr flis.
- Alla prover vägdes både före och efter torkning. Fukthalten per prov beräknades och noterades.

### Fyra bilar

- Bilarna valdes ut genom okulär bedömning för att få två bilar med grönt material varav en med hög och en med låg askhalt samt två bilar innehållande brunt material, varav en med hög och en med låg askhalt.
- Efter sönderdelning togs från varje bil fyra 2 liters prover med flis som mixades till ett samlingsprov på 8 liter flis.
- Samlingsproverna skickades till SLU för askhaltsanalys.

**Tabell 7.** Upplägget för provtagning på träddelar

*Table 7. The design for sampling of tree parts*

	<b>Grönt material (7 bilar)</b>	<b>Brunt material (3 bilar)</b>
Fukthalt torkugn	X	X
	<b>2 bilar</b> <b>1 samlingsprov</b>	<b>2 bilar</b> <b>1 samlingsprov</b>
Askhalt	X	X

## Intervjuer

GROT och träddeklar har stor betydelse för kraftvärme- och värmeverks produktion och spås även ha så i framtiden. I vissa av anläggningar utgör GROT och träddeklar den största delen av den totala mängden bränsle medan det hos andra utgör ett viktigt komplement. I dagsläget menar majoriteten av de tillfrågade att det inte är ett problem att få tag i tillräckligt stora kvantiteter skogsbränsle men att man är medveten om att det byggs fler pannor och därmed ökar behovet av trädbränslen. Man räknar därför med att införskaffningen av bränsle kommer att försvåras. Framtida osäkra fluktuationer i bränslepriser gör att man strävar efter att anpassa tekniken efter för tillfället åtkomliga bränslesortiment. I princip betalar alla i denna studie GROT och träddeklar efter energiinnehåll. Man använder sig då av sortimentspecifika formler som konverterar vikt, alternativt volym, till energiinnehåll. Det är ofta vikt och fukt som är variabler i energiformeln men i några fall mäts även askhalten som då också fungerar som en variabel.

Icke sönderdelad GROT och träddeklar är svåra att elda optimalt på grund av sin heterogena kemiska sammansättning. Det är svårt att mäta sortimenten på ett både billigt och tillförlitligt sätt vilket gör att många väljer att inte köpa obearbetat material. De som har egen kross och klarar av att skilja på de olika leveranserna efter lossning, mäter fukthalten efter sönderdelning. För att klara detta krävs att man har så hög flisningskapacitet att man klarar av att sönderdela materialet relativt snart efter lossning. En lösning på problemet är att materialet vid lossningen matas direkt in i krossen. Lossning tar i detta fallet ca 15-20 minuter. På krossen sitter en automatisk provtagare som tar ut tre flisprov per lass med ett visst tidsintervall. Ett fåtal värmeverk köper obearbetat material och mäter i vikt, dvs utan att bestämma fukthalt. De små verken upplever att det fungerar mycket bra eftersom man har få leverantörer och ett nära samarbete med dessa vilket bidrar till att rimliga krav kan ställas på sortimentens kvalitet. Alla inkommande leveranser kontrolleras okulärt. Genom att ha kontroll på leveranserna är det relativt lätt att urskilja de som eventuellt levererar dåligt material och då inte köpa från dessa om kvalitén inte höjs. Man är restriktiv med vem man köper av och lägger stor vikt på hur materialet hanteras mellan skog och industri. En alternativ till att enbart väga och att väga-krossa-fukthaltsbestämma, är att låta någon utomstående uppskatta fukthalten. Vid ett fåtal anläggningar låter man chauffören uppskatta fukthalten på lasset och använder detta skattade värde som betalningsunderlag. Som kalibrering väljer man ut ett antal lass som krossas och fukthaltbestäms.

Ett par anläggningar använder sig av en kamerateknik som VMF varit med och utvecklat. Denna går i princip ut på att varje leverans fotograferas samtidigt som de vägs. Med hjälp av bilderna bedöms fukthalten utifrån vissa givna parametrar. Man tittar bland annat på mängden snö, vilken sorts snö som ligger i lasset, hur mycket stamved som finns samt om det är fuktigt, återfuktat eller torrt. Tanken med denna teknik är att man på sikt ska kunna sitta på annan plats och bedöma fukthalten på leveranser. Bredvid lamporna som sitter ovanför lasset (figur 14) sitter kamerorna. På natten tänds lamporna då lasset kör in och sedan tas bilderna. På data skärmen plockar man sedan fram de bilder som syns i figur 15.



**Figur 14.** Leveransen fotograferas för fukthaltsbestämning vid ankomst.

*Figure 14.* Photos at arrival which later are used for moisture content determination.



**Figur 15.** Fotografier av leveransen i figur 15 ovan.

*Figure 15.* Photos of delivered material in figure 15.

Som kalibrering väljs slumpmässigt ett antal leveranser ut som krossas och sedan fukthaltsbestämmas. De få erfarenheter man har idag är att man kommer relativt nära sanningen utifrån denna bedömning men att man måste förbättra kvalitén på bilderna. Fördelen med tekniken är att man snabbt får fram betalningsunderlaget snabbt och att man kan ha en delvis obemannad mätning. Bilderna på leveranserna klassas enligt svensk lag som kameraövervakning och måste förstöras efter viss tid.

Då materialet är sönderdelat förenklas mätningen. Helt avgörande är att materialet vägs vid mätstationen innan det fukthaltbestäms. Hela ekipaget körs upp på en fordonsvåg vid mätstationen, kör vidare och lossar innan bilen vägs igen då den åker ut. Skillnaden i vikt antas vara materialets vikt. Detta förfarande används både för obearbetat och sönderdelat material. Några få värmeverk kommer, eller funderar på, att använda tågtransport istället för bil vid materialtransport. Vagnarna kommer att sakta rulla över en våg anpassad för tågagnens tyngd. Enligt Lindstrand (2003) är denna vägning osäker vad gäller noggrannhet men enligt dem som intervjuats är metoden helt acceptabel. På ett fåtal mindre anläggningar mäter man inkommande leveranser endast i vikt trots att det är sönderdelat och man är väldigt nöjd med detta. Förutsättningarna för denna hantering är att man har ett fåtal leverantörer, att man vet vilka man köper av och hur materialet hanterats samt att man har nära samarbete med leverantören. Ytterst få använder sig av volym som

betalningsgrund. De som ändå gör så tycker att vikten är det bästa sättet men för ett litet värmeverk klarar man sig på att skatta volymen och uppskatta fukthalten på materialet.

Hur proverna för fukthaltsbestämning tas varierar men grundprincip är den samma. Ofta är det chauffören eller köparens egen mätpersonal som tar proverna för hand. Man tar då oftast prov från högen efter lossningen. På vissa håll finns det bestämmelser för var provet ska tas i högen medan det på andra håll saknas sådan. Riktlinjerna som används är ofta enkla och säger till exempel att provet ska tas en halv meter in i högen och på spridda platser. En tanke är att inte använda några riktlinjer eftersom det ändå ska tas slumpmässigt. VMF tar proverna efter något hårdare bestämmelser. På ett fåtal anläggningar tas proverna ut för hand vid mätstationen. Ett fåtal använder sig av en sond som är monterad vid mätstationen. Sonden sticks då ned i lasset på slumpmässigt utvalda platser innan lossning och tar upp flisprov. Eftersom sonden tar prover från slumpmässigt utvalda platser undviks systematiska fel. Totala stickprovsmängden är mellan 3 liter och upp till 15 liter. Vanligast är prover som ligger mellan 5 och 10 liter. För sidotippad bil väljer man oftast att ta flisprover både från bilen och från släpet. Vid containerleverans tas ett prov från varje container. Det är bara ett fåtal anläggningar som har annat upplägg.

Enligt standarden för flistorkning i ugn ska temperaturen ligga på 105° C och torktiden ska vara 24 h.

Prov för askhalten tas hos ca hälften av de tillfrågade. Askhalten bestäms aldrig per leverans eftersom detta kostar för mycket. Däremot tar man samlingsprov per leverantör och sortiment. En variant är att under en vecka fylla upp en hink med flis från alla lass innehållande samma sortiment och från samma leverantör och sedan bestämma askhalten för detta samlingsprov. Resultatet kan sedan användas som betalningsunderlag framåt. En annan variant är att ta en hink från två slumpmässigt utvalda bilar per vecka under en månad och därefter skicka detta samlingsprov på analys. Alla mäter inte askhalten kontinuerligt. De som inte bestämmer askhalten per leverantör och sortiment gör dock alltid en fullständig bränsleanalys minst en gång om året. Detta för att se vad man kan få in med de olika sortimenten. På vissa ställen inkluderas askhalten i avtalet och man kontrollerar inte askhalten om kraven i avtalet uppfylls.

Fraktionsfördelning är något som man i allmänhet inte mäter på skogsflis. De flesta menar att det är svårt att producera flis med en bestämd fraktionsfördelning, speciellt då det gäller flis från GROT och träddelar. I vissa fall har man krav på att inte få in exempelvis för hög andel finfraktioner men eftersom detta regleras i avtalet kan leverantören vara med och se till att kraven sätts inom rimliga intervall. Det är endast i undantagsfall man kontrollerar det och endast i de fall en leverantör helt uppenbart levererar mycket dåliga lass. Eftersom det sällan händer att man måste kontrollera fraktionsfördelningen, är det inget man lägger ned några resurser på.

Mindre än hälften av de intervjuade använder sig av VMF. De som gör det anger ofta organisatoriska fördelar som starkare grund till beslutet att involvera dem än att man vill ha en opartisk mätning. Då man hanterar stora mängder bränsle av varierande sortiment från olika leverantörer låter många VMF sköta all mätning. Istället för VMF använder någon enstaka aktör ett fristående företag som sköter mätningen. Alltså personal som varken hör till säljare, köpare eller VMF men som ändå kan ses som opartiskt. Ännu en variant som är kopplad till VMF är att låta VMF bemyndiga sin egen personal. Denna variant är inte



använd ofta på de anläggningar som ingått i studien. Av dem som inte använder sig av VMF kan två grupper utskiljas. Den ena gruppen ser det inte som ett problem för sin trovärdighet så länge man kan visa leverantören exakt hur man gör och därmed inte anser sig ha behov att involvera en oberoende part. Den andra gruppen funderar på att involvera VMF eftersom man ser det som en fördel att ha en opartisk mätning samt att man tror sig få ett bättre förhållande till leverantörer.

Många framhåller två huvudproblem för fukthaltsbestämningen. Det ena är att få den representativ för hela lass och det andra är att få resultaten från mätningen tillräckligt snabbt då man hanterar många prover och leveranser. Man ser inte VMF som en faktor till förbättrade mätresultat. Det som anses kunde bidra till säkrare resultat är helt enkelt att ta fler prover eller att göra ett bättre urval. Eftersom det kostar att få hög säkerhet på provtagningen väljer man ett relativt enkelt och något mer osäkert sätt för provtagningen. NIR bedöms som en intressant metod men det är få som ser det som ett alternativ idag. Speciellt för de små anläggningarna är det idag orealistiskt att köpa in och använda NIR på grund av kostnad och extra arbete. Ett fåtal anläggningar använder NIR, men då är utrustningen placerad så att materialet mäts på väg in till pannan och mätresultaten används inte som betalningsunderlag utan som hjälp för att elda optimalt. Där NIR används tycker man generellt att det fungerar bra men ser en stor nackdel i allt kalibreringsarbete som krävs.

**Tabell 8.** Tillvägagångssätt för fukthaltsbestämning av flis som används vid värmeverk i Sverige idag

*Table 8. Different procedures currently used by heating plants in Sweden for measuring moisture content in wood chips*

Vem mäter	Hur ofta mäter man	Var tas proven	Mtrl / prov	prov/samlingsprov	Torkning
Egen personal	Per lastbil	För hand överst på lastbilen	5-15 liter	1-3 stycken	Torkskåp 105°, 24 h
Egen personal bemyndigad av VMF		Med sond på lastbilen	Okulär bedömning		
Fristående företag		För hand efter lossning			
Förare VMF		Maskinellt efter lossning			

**Tabell 9.** Tillvägagångssätt för askhaltsbestämning som används vid värmeverk i Sverige idag

*Table 9. Different procedures currently used by heating plants in Sweden for measuring ash content*

Vem mäter	Hur ofta mäter man	Var tas proven	Hur många/mycket per samlingsprov	Analys
Egen personal	Per leverantör & sortiment 4-12 ggr/år	För hand överst på lastbilen	Varje lastbil från en leverantör med ett sortiment under en vecka	Total bränsleanalys
Egen personal bemyndigad av VMF	Per sortiment 1 ggr/år	Med sond på lastbilen	Ett prov på två lastbilar från en leverantör med ett sortiment per vecka under en månad	Enbart aska
Fristående företag		För hand efter lossning		
Förare		Maskinellt efter lossning		
VMF		Okulär bedömning		

## **Resultat från praktiska försök vid Dåvamyran**

### ***Träddelar***

I tabell 10 redovisas priset på träddelar och priset som skulle ha betalats för motsvarande material om detta levererats som GROT-flis. I tabell 7 är priset på träddelar satt till 400 kr/ton, pris per MWh GROT-flis till 190 kr och kostnad för flisning till 125 kr/ton.

Effektivt värmevärde har beräknats enligt formel (7), bilaga 2. Ju torrare material desto större är skillnaden i pris. Tabellen visar tydligt att det inte lönar sig rent ekonomiskt att ta in obearbetat material. I snitt betalar man 135 kr/MWh mer för träddelar än för flis.

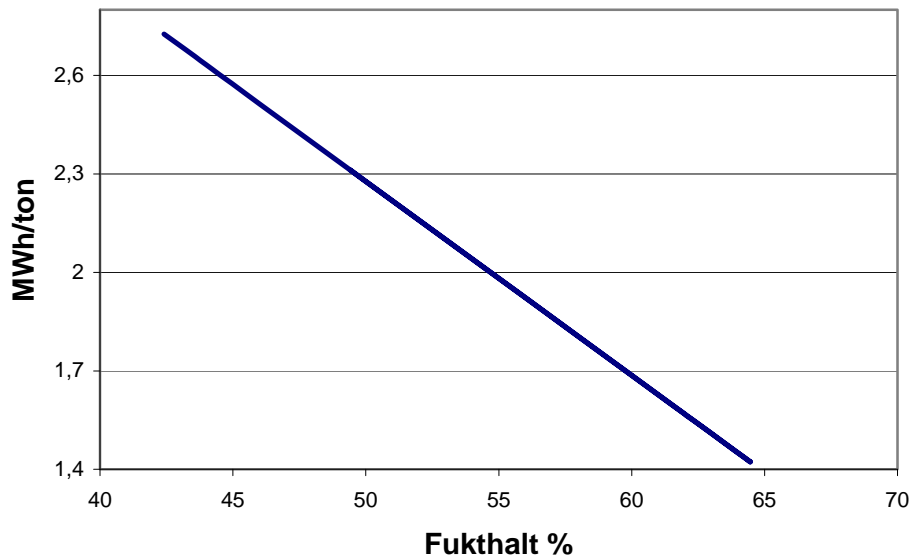
Eftersom man köper in 4 600 ton träddelar förlorar man  $4\,600 \cdot 135 = 621\,000$  kr per år då man köper träddelar istället för GROT-flis. Detta inkluderar inte de 310 ton GROT som köps in per år. Om man istället för 525 kr/ton hade använt sig av 390 kr/ton som total kostnad för träddelar hade det varit lika lönsamt att ta in träddelar som att ta in GROT-flis om man bortser från vissa hanterings- och lagringsegenskaper.

**Tabell 10.** Fukthalten för olika leveranser med träddelar samt prisskillnaden/ton mellan flisade träddelar och GROT-flis. G = grön/färsk GROT och brunt = lagrad GROT

**Table 10.** Moisture content in different deliveries with tree parts and price difference per ton of tree parts and wood chips respectively. G = fresh and B = stored logging residues

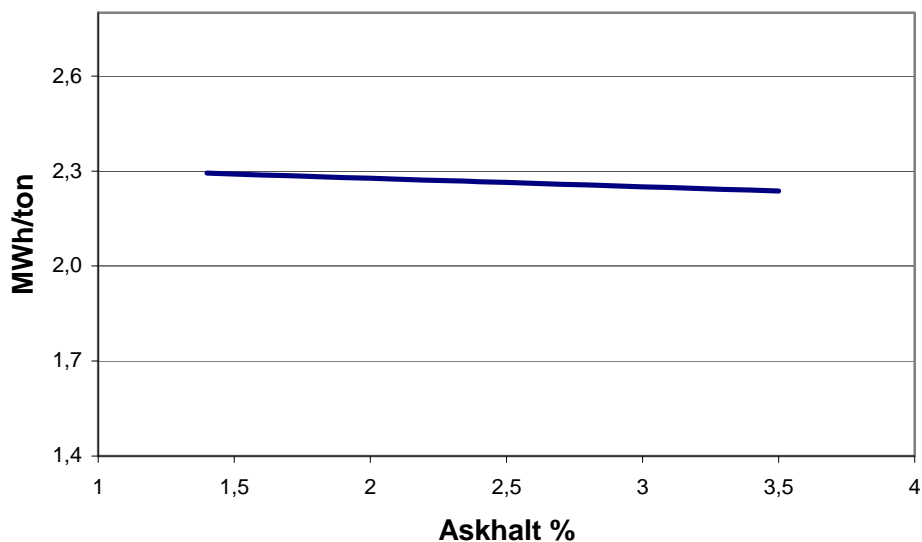
Ekipage	Fukthalt	MWh/ton	Totalt kr/ton (400+125) träddelar	Kr/ton om mtrl levererats som färdig flis	Jämförelse köp av träddelar med köp av grotflis				alternativ total kostnad/ton träddelar	Alternativ skillnad kr/ton
					Totalt kr/MWh träddelar	kr/MWh flis	Skillnad kr/ton	Skillnad kr/MWh		
1 G	54,52	2,01	525	382	261	190	-143	-71	390	-8
2 G	64,22	1,44	525	274	365	190	-251	-175	390	-116
3 G	51,20	2,21	525	420	238	190	-105	-48	390	30
4 G	53,53	2,07	525	393	254	190	-132	-64	390	3
5 G	54,79	1,99	525	378	264	190	-147	-74	390	-12
6 G	52,00	2,16	525	410	243	190	-115	-53	390	20
7 G	53,91	2,05	525	390	256	190	-136	-66	390	0
1 B	42,41	2,73	525	519	192	190	-6	-2	390	129
2 B	57,05	1,86	525	353	282	190	-172	-92	390	-37
3 B	54,52	2,01	525	382	261	190	-143	-71	390	-8
<b>Medelvärde</b>							<b>-135</b>	<b>-72</b>		<b>0</b>

Fukthaltsvariationen hade stor inverkan på det effektiva värmevärdet (MWh/ton) enligt figur 16. En spridning på 21,8 procentenheter i fukthalt, dvs högsta och lägsta värdet i tabell 10, gav en variation i värmevärdet på 1,39 MWh/ton. Detta skall jämföras med uppmätt variation i askhalt på 2,1 procentenheter som påverkar värmevärdet med endast 0,056 MWh/ton (figur 17).



**Figur 16.** Effekten av variationen i fukthalt mellan leveranserna på värmevärde (MWh/ton) mellan leveranserna.

*Figur 16. Influence of moisture content on the effective heat value (MWh/ton) between the deliveries.*



**Figur 17.** Effekten av variationen i askhalt mellan leveranserna på värmevärde (MWh/ton) mellan leveranserna.

*Figur 17. Influence of ash content on the effective heat value (MWh/ton) between the deliveries.*

Askhaltsbestämningen gjordes på 2 bilar med färskt material och 2 bilar med torrt material (tabell 11).

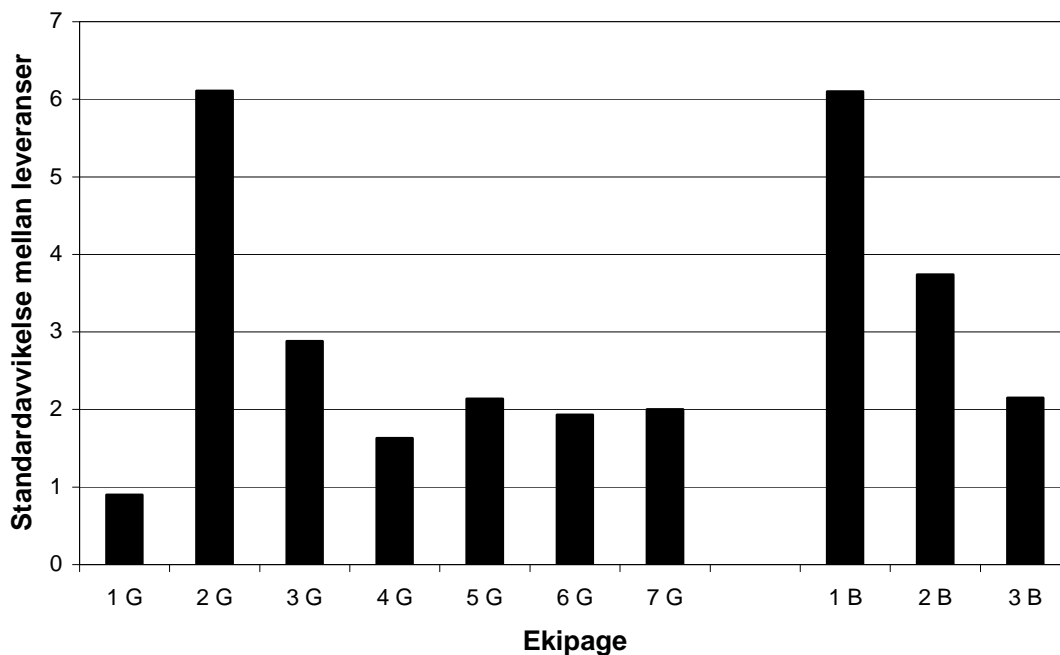
**Tabell 11.** Askhalter i 4 utvalda ekipage med träddelar

*Table 11. Ash content in 4 chosen deliveries with tree parts*

Material	Askhalt %
Färsk 1	1,4
Färsk 2	2,2
Torr 1	2,4
Torr 2	3,5

Standardavvikelsen inom leveranserna med träddelar låg generellt runt 3.

Standardavvikelsen mellan leveranserna med träddelar var 5,26 och medelvärdet för alla leveransers fukthalt var 53,9 % (tabell 12). Vid antagandet att skattat medelvärde är lika med sant medelvärde, spelar det rent betalningsmässigt ingen roll om man betalar per ton så länge man grundar priset/ton på skattad fukthalt.

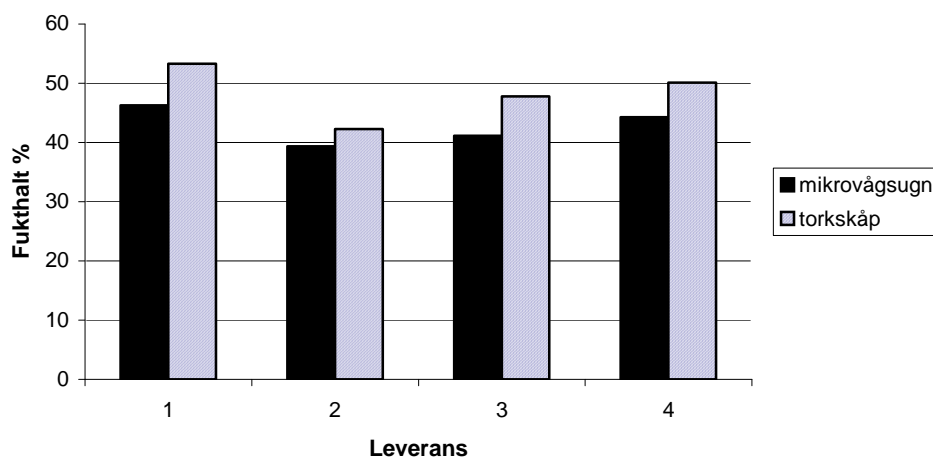


**Figur 18.** Standardavvikelser inom leveranserna med träddelar.

*Figur 18 . Standard deviation within the deliveries containing tree parts.*

## GROT-flis

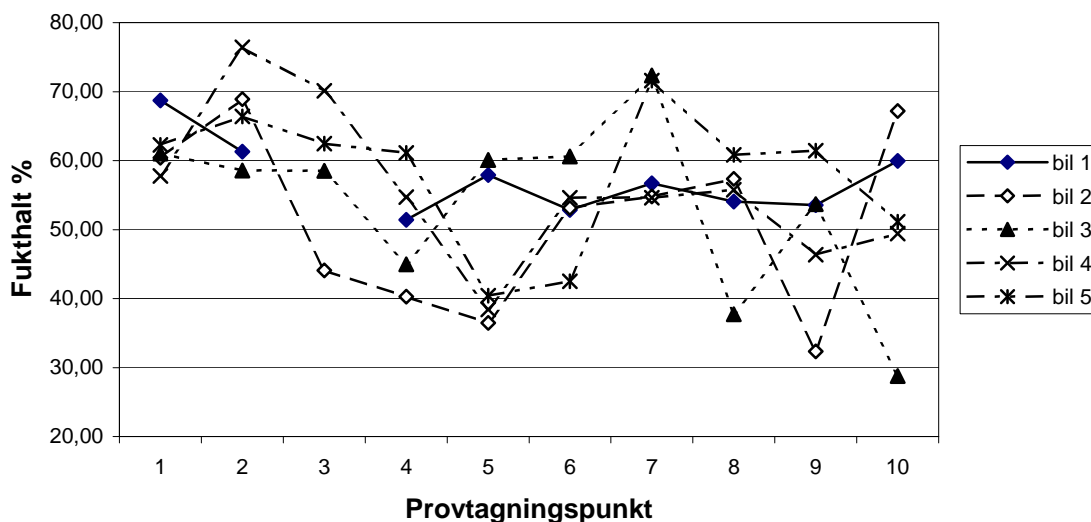
Det var svårt att torka flis till torrhet (figur 19). Genomgående var den genomsnittliga fukthalten för enskilda lass lägre om prover torkades med mikrovåg jämför med torkning i torkskåp.



**Figur 19.** Fukthalten i flis torkad i mikrovågsugn och i torkugn.

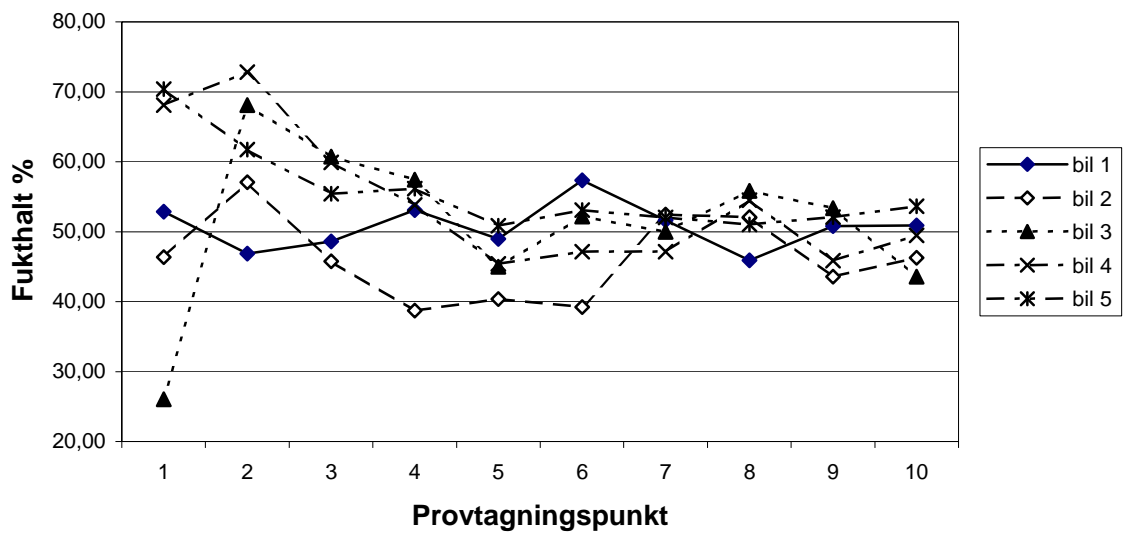
*Figur 19. Moisture content in wood chips dried in with microvawe oven and in heated owen.*

I figurerna 20, 21, 22 och 23 visas hur fukthalten varierade inom högarna vid lastning och lossning. Det fanns en skillnad i fukthaltsvariation mellan högar innehållande torr flis och färsk flis. Likaså fanns det en skillnad i fukthaltsvariation mellan högar före lastning och högar efter lossning. Detta framgår av tabell 12. Torrflis hade en medelstandardavvikelse på 10,4 vid lastningen medan färsk flis hade en medelstandardavvikelse på 3,8.



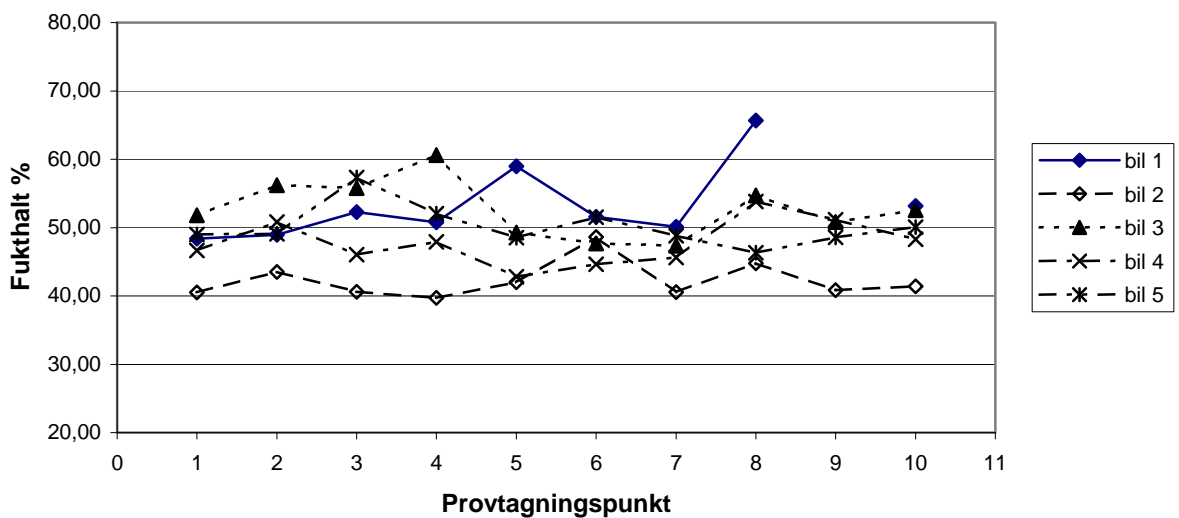
**Figur 20.** Fukthalten i 10 olika punkter i högar vid lastning av torr flis.

*Figur 20. Moisture content at 10 different positions in stacks containing dry wood chips at loading site.*



**Figur 21.** Fukthalten i 10 olika punkter i högar vid lastning av färsk flis.

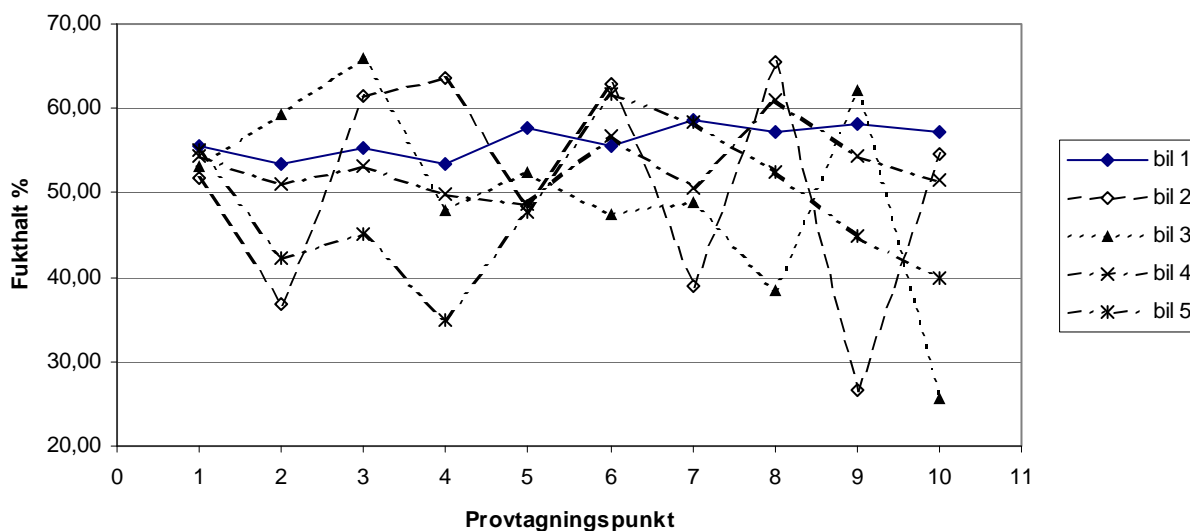
*Figur 21. Moisture content at 10 different positions in stacks containing fresh wood chips at loading site..*



**Figur 22.** Fukthalten i 10 olika punkter i högar vid lossning av färsk flis.

*Figur 22. Moisture content at 10 different positions in stacks containing fresh wood chips after unloading.*





**Figur 23.** Fukthalten i 10 olika punkter i högar vid lossning av torr flis.

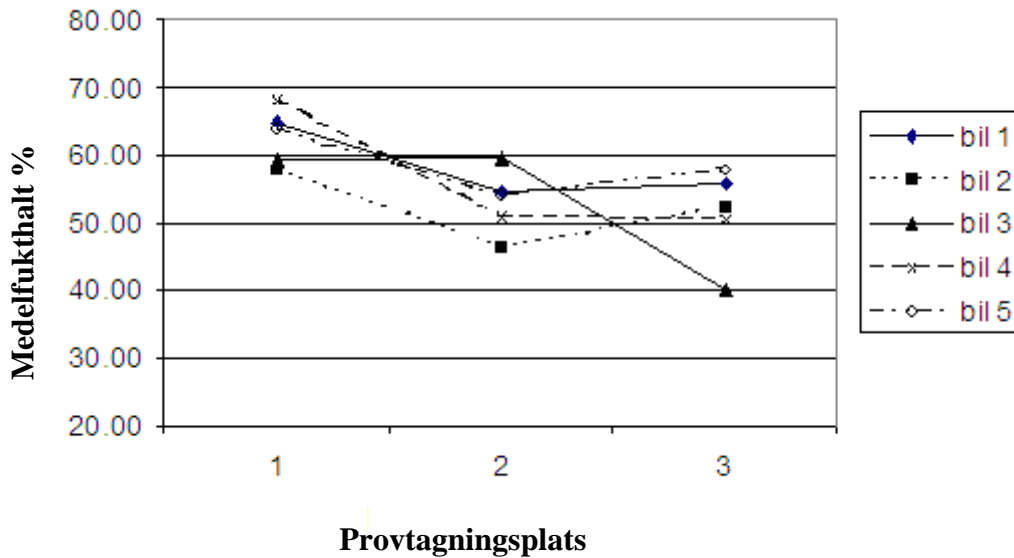
**Figur 23.** Moisture content at 10 different positions in stacks containing dry wood chips at unloading site.

Standardavvikelsen på fukthalten inom leveranserna var lägre då provtagningen gjordes vid lossningen jämfört lastningen (tabell 13). Detta innebar att det är högst sannolikhet att erhålla leveransens sanna fukthalt då provet togs vid lossningen.

**Tabell 12.** Genomsnittliga standardavvikelser för fukthalten inom leveranser med färsk och torr flis  
**Table 12.** Mean standard deviation for fresh and dry wood chips deliveries at loading and unloading

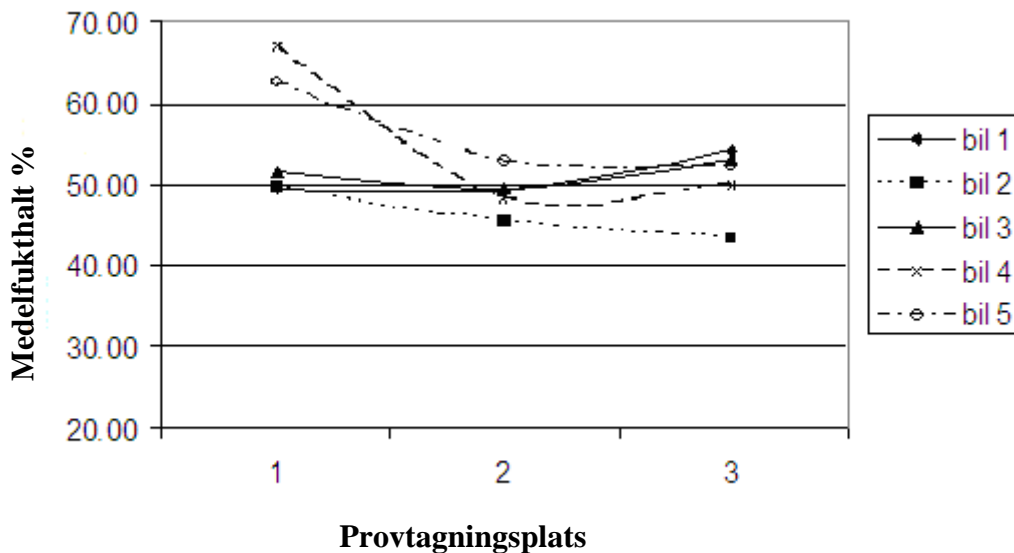
	medelvärde fukthalt % lastning	medelstandardavvikelse inom hög vid lastning	medelvärde fukthalt % lossning	medelstandardavvikelse inom hög vid lossning
färsk flis	51,63	7,33	49,23	3,77
torr flis	55,27	10,44	51,76	7,82

Figurena 24 och 25 visar skillnader i fukthalt inom högar med torr flis och färsk flis vid lastning. Materialet som låg i högarnas ytskikt hade högst fukthalt och materialet i bottenskiktet hade lägst fukthalt. Variationen var större i högar med torr flis än i högar med färsk flis.



**Figur 24.** Medelfukthalt per provtagningsplats i högar med torr flis före lastning. Provpunkt 1: ytskiktet, 2: mellersta skiktet, 3: bottenskiktet.

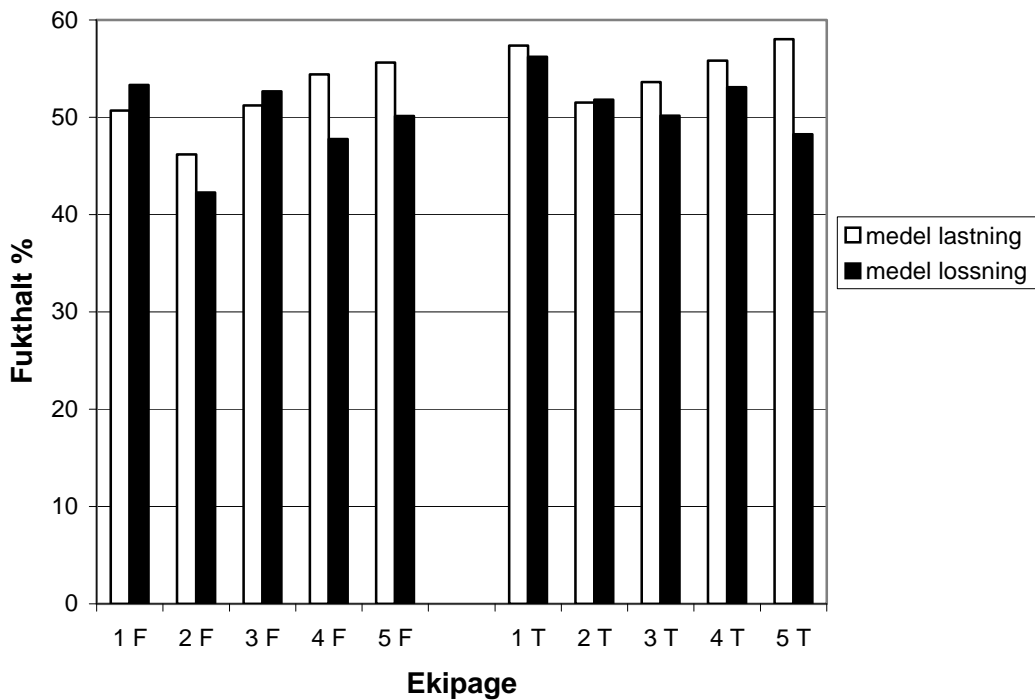
*Figure 24.* Mean moisture content in stacks with dry wood chips before loading. Sample location 1: the surface, 2: the middle, 3: the bottom.



**Figur 25.** Medelfukthalt per provtagningsplats i högar med färsk flis före lastning. Provpunkt 1: ytskiktet, 2: mellersta skiktet, 3: bottenskiktet.

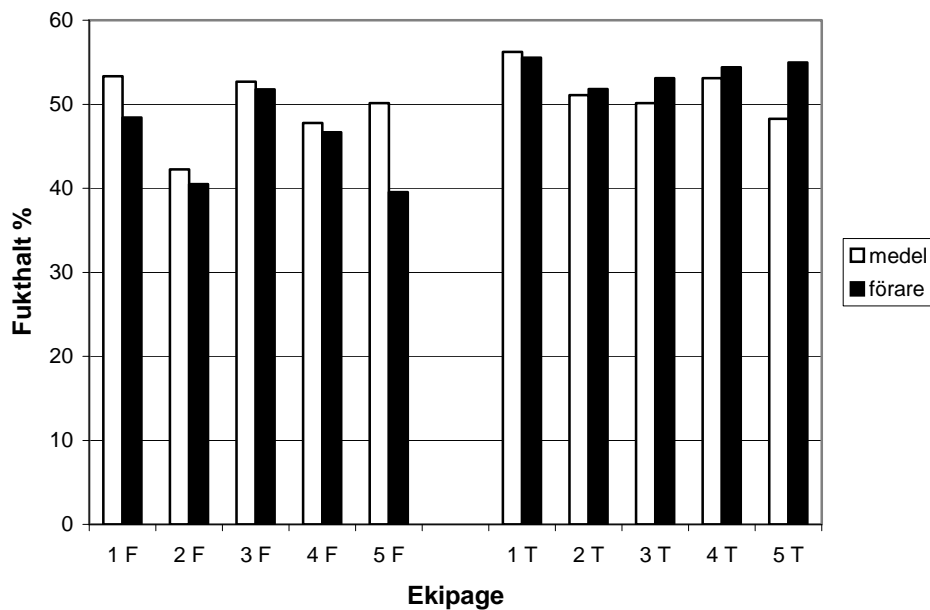
*Figure 25.* Mean moisture content in stacks with moist wood chips before loading. Sample location 1: the surface of the stack, 2: the middle, 3: the bottom.

Enligt figur 26 finns det en risk för systematiska fel om provet tas vid lossningen. Fukthalten på 8 av bilarna blev högre då proverna togs vid lastning jämfört lossning.



**Figur 26.** Medelfukthalt vid lossning och lastning.  
*Figure 26.* Mean moisture content at loading and unloading.

Det prov som representerade förarens prov hade alltid lägre fukthalt än leveransens medelfukthalten för färsk flis (figur 27). Då torr flis fukthaltbestämdes visade ”förarens” prov högre fukthalt än leveransens medelfukthalt.



**Figur 27.** Leveransens medelfukthalt och fukthalten på ”förarens” prov.  
*Figure 27.* Mean moisture content and moisture content in the driver's sample.

I tabell 13 visas värdena för de askhalter som bestämdes i 4 leveranser med flis. För flis antas idag att askhalten ligger på 2 %. De ekipage som askhaltsbestämdes visade dock en relativt stor spridning. I tabellen visas också vilken konsekvens det får för betalningen om askhalten inte bestäms per ekipage. Prisskillnaden per ton ska här jämföras med 640 kr, dvs. kostnaden för att askhaltbestämma ett flisprov.

**Tabell 13.** Askhalten i utvalda ekipages och konsekvenser för prisetsättning per ekipage då ekipaget innehåller 30 ton

*Table 13. The ash content of chosen deliveries and the influence price/delivery for a 30 ton load*

Lastbil	Bestämd askhalt (%)	Kr/MWh (2% askhalt)	Kr/MWh (bestämd askhalt)	Kr/30 ton (bestämd askhalt)	Kr/30 ton (2% askhalt)	Skillnad (Kr/30 ton)
Färsk 1	1	432,7	437,7	13132,0	12979,9	-152,2
Färsk 2	1,3	432,7	436,2	13086,4	12979,9	-106,5
Torr 1	0,9	432,7	438,2	13147,2	12979,9	-167,4
Torr 2	7,6	432,7	404,3	12127,8	12979,9	852,1

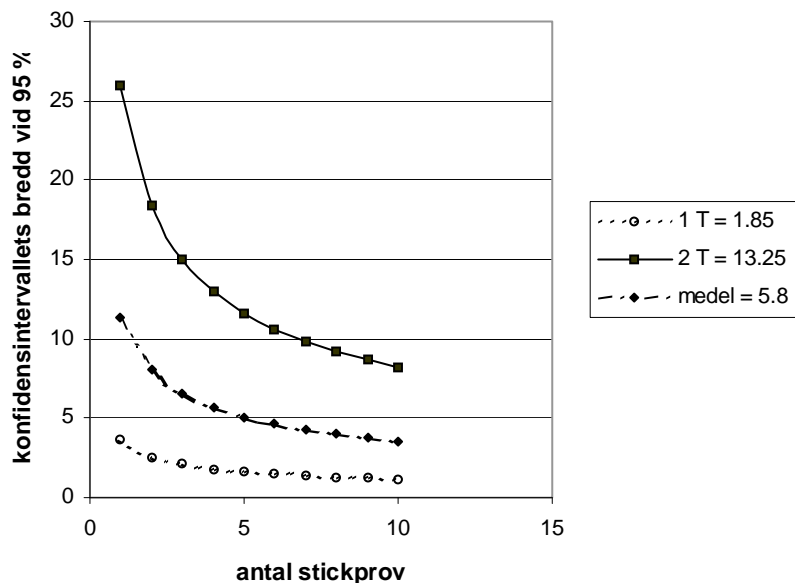
**Tabell 14.** Variationer i fukthalt med avseende på hur många prov som analyserats i olika ekipage vid konfidensintervall 95 %. F=färsk flis, T=torr flis

*Table 14. Confidence interval (95 %) for different numbers of samples taken from deliveries with different standard deviations in moisture content within the delivery. F=fresh wood chips, T=dry wood chips*

<b>Ekipage</b>	<b>standardavvikelse</b>	<b>1 prov</b>	<b>2 prov</b>	<b>3 prov</b>	<b>4 prov</b>	<b>5 prov</b>	<b>6 prov</b>	<b>7 prov</b>	<b>8 prov</b>	<b>9 prov</b>	<b>10 prov</b>
1 F	5.58	11	8	6	5	5	4	4	4	4	3
2 F	2.72	5	4	3	3	2	2	2	2	2	2
3 F	4.19	8	6	5	4	4	3	3	3	3	3
4 F	3.34	7	5	4	3	3	3	2	2	2	2
5 F	3.00	6	4	3	3	3	2	2	2	2	2
1 T	1.85	4	3	2	2	2	1	1	1	1	1
2 T	13.25	26	18	15	13	12	11	10	9	9	8
3 T	11.76	23	16	13	12	10	9	9	8	8	7
4 T	3.70	7	5	4	4	3	3	3	3	2	2
5 T	8.52	17	12	10	8	7	7	6	6	6	5
medel för alla leveranser	5.79	11	8	7	6	5	5	4	4	4	4

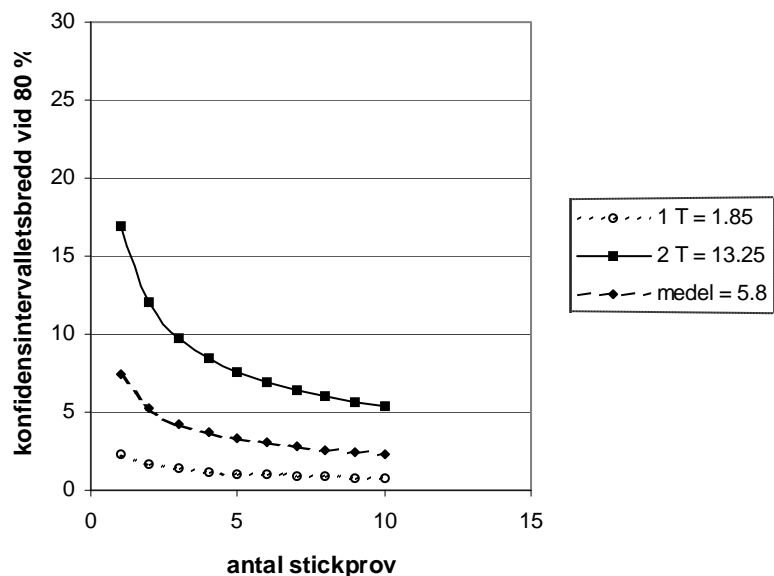
I tabell 14 visas variationer i fukthalt med avseende på hur många prov som analyserats i olika ekipage vid konfidensintervall 95 %. Till exempel om inte fukthalten skall variera med mer än 3 % för ekipage 1 F måste man analysera 10 prover för att hålla sig inom valt konfidensintervall.

Figureorna 28 och 29 visar stickprovsantalets betydelse på konfidensintervallets storlek. Likaså beskrivs standardavvikelsens betydelse och konfidensnivåns betydelse.



**Figur 28.** Konfidensintervallet för antal stickprov samt medelstandardavvikelse för leveranserna med högsta och lägsta standardavvikelsen samt medelstandardavvikelsen för alla ekipage. Konfidensnivå = 95 %.

*Figure 28. Confidence interval and number of samples for the deliveries with the highest and lowest standard deviation and mean standard deviation for all deliveries at confidence level= 95 %.*



**Figur 29.** Konfidensintervallet för antal stickprov samt medelstandardavvikelse för leveranserna med högsta och lägsta standardavvikelsen samt medelstandardavvikelsen för alla ekipage. Konfidensnivå = 80 %.

*Figure 29. Confidence interval and number of samples for the deliveries with the highest and lowest standard deviation and mean standard deviation for all deliveries at confidence level= 80 %.*

I tabell 15 beskrivs konfidensintervallet för fukthaltsbestämning på kollektiv genom stickprovsurval av leveranser. Konfidensnivån är satt till 95 % och det är kollektivets medelfukthalt som antas vara det sanna värdet.

**Tabell 15.** Konfidensintervall vid slumpmässigt stickprovsurval av leveranser för fukthaltsbestämning. 10 bilar/kollektiv

*Table 15. Confidence interval for samples of deliveries chosen at random for measurement of moisture content*

		<b>antal prov</b>									
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>antal bilar</b>	<b>1</b>	15	11	10	9	9	8	8	8	8	8
	<b>2</b>	11	8	7	7	6	6	6	6	5	5
	<b>3</b>	9	7	6	5	5	5	5	5	4	4
	<b>4</b>	7	6	5	5	4	4	4	4	4	4
	<b>5</b>	7	5	4	4	4	4	4	4	3	3
	<b>6</b>	6	5	4	4	4	3	3	3	3	3
	<b>7</b>	6	4	4	3	3	3	3	3	3	3
	<b>8</b>	5	4	4	3	3	3	3	3	3	3
	<b>9</b>	5	4	3	3	3	3	3	3	3	3
	<b>10</b>	5	4	3	3	3	3	3	2	2	2

Tabell 15 visar att det är bättre att fördela provtagningen på flera bilar och få prover per bil, än att ta många prover på enstaka bilar.

## Diskussion

Träddelarna som testades krossades tre dagar efter leverans. Dessa dagar snöade det periodvis. Detta kan ha gett upphov till utjämning i fukthalt mellan leveranserna och även gett något högre fukthalt. Hanteringen vid krossningen kan dock ha gjort att viss del av snön fallit av och detta sänkte i så fall fukthalten. Proverna som togs efter krossning kom alla från högens yttre skikt.

Vädret var även vid flisprovtagningen rik på nederbörd. Alla flishögar i skogen var täckta av snö vilket gjorde det svårt att ta representativa flisprover från högarnas yta. Ett driftstopp i eldningen vid Umeå Energi gjorde att lagren snabbt fylldes och leveranserna av GROT-flis och träddelar inte kunde fullföljas. Halt väglag gjorde att datainsamlingen tog relativt lång tid då det inte gick att ta sig fram till högarna i skogen. På grund av dessa omständigheter användes endast flis från en leverantörs leveranser och de kom från samma plats och materialets storlek låg på gränsen mellan GROT-flis och stamvedsflis.

Man bör lägga ned resurser på fukthaltsbestämning och inte på askhaltsbestämning då det gäller träddelar. Fukthalten i leveranserna med träddelar som i denna studie låg mellan 42% och 64% visade på den stora skillnaden som fanns mellan olika lass. Då ska också beaktas att studien rörande träddelarna endast pågick under en vecka med relativt likartat väder. Om hela året skulle beaktas, skulle säkerligen spridningen i fukthalt vara bli större då sommarvädret sänker fukthalten i materialet.

Att torka i mikrovågsugn tar tid och det är svårt att få flisen torr. I denna studie blev fukthalten alltid lägre då proverna torkades i mikrovågsugn jämfört med torkskåp. Detta berodde troligtvis på att det var fler ämnen än bara vatten som lämnade materialet (jfr Forrest 1968).

Studien visade att det tydligen inte lönade sig att ta in träddelar.

Genomgående för alla leveranser var att de dyrare att köpa som träddelar än som GROT-flis. Idag förlorar man drygt en halv miljon på att köpa in träddelar istället för GROT-flis (flis från träddelar räknas som grotflis). Träddelar går i och för sig bättre att lagra längre tid än flis med avseende på materialförluster. Flis å andra sidan har fördelen att det tar mindre plats att lagra. Det finns olika alternativ som skulle kunna användas för att lösa problemet med felbetalning. Ett är att så långt som möjligt ta in annat material som går att lagra längre än flis, exempelvis massaved. Massaved är enklare att mäta än träddelar. En andra variant är att lägga ned resurser på att utreda vad träddelarna egentligen innehåller och därmed prissätta mer korrekt. En tredje variant är att lägga ned resurser på utrustning som gör det möjligt att mäta exakta fukthalten i träddelar. Detta skulle till exempel kunna röra sig om en kross med så hög flisningskapacitet så att det är möjligt att lossa direkt vid krossen. Fördelen med detta är att man samtidigt kunde använda sig av automatiskt provuttag.

Det är en fördel att anlita VMF om man vill ha hjälp med att lägga upp rutiner och mätningförfarandet på rätt sätt. Om man i framtiden känner att organisationen runt mätningförfarandet blir ett problem när antal leveranser ökar, kan det vara en fördel att anlita en extern mätningorganisation. Alternativet är att själva jobba med kollektivmätning men arbeta för en god säkerhet i mätningarna.



Genom att fukthaltsbestämma endast varannan leverans var möjligt att komma relativt nära kollektivets medelvärde. Om man vid start av den nya pannan tar in mycket mer av GROT-flisen än idag, är ett bra alternativ att anpassa stickprovssurvalet efter hur mycket varje leverantör levererar.

Standardavvikelseerna för fukthalterna är lägre för både grön och brun flis då proverna tas vid lossning jämfört med prover som tas vid lastning. Det kan bero på att man får en omrörning då flisen hanteras och sannolikheten att ta ett prov nära medelvärdet är högre för ett prov som tas vid lossning än vid lastning. Provtagningen vid lastning gav ofta en högre fukthalt än provtagningen vid lossning. Att provtagningen vid lastning har högre fukthalt beror troligtvis på att de prover som togs från ytan innehöll mer snö än vad som var representativ för hela lasset. Alla högar var snötäckta ute i skogen och detta gjorde att det var praktiskt taget oundvikligt att få med mycket snö i provet. Skillnaden i fukthalt inom högarna med torr flis var större än i högar med färsk flis. Dessa högar hade legat längre i skogen och därmed fukten haft mer tid att vandra i högen. Detta innebar risk för systematiskt fel i fukthaltsbestämningen om man tog prover överst på lastbilen vid inmätningen. Eftersom flisen på högarnas yta var fuktigare kommer denna flis att hamna längst ned på bil/släp och flis från högens botten/mitten hamnar överst. Detta gjorde att man systematiskt tog torrare prover än vad som var representativt då proverna kommer från bilens/släpets övre skikt.

Under den varmare delen av året är det rimligt att anta att ytskiktet i flishögarna i skogen är torrare. Detta betyder att om prover tas överst på lastbilen under sommarhalvåret får man systematiskt en lägre fukthalt än vad som är representativt. Något förvånande var att förarens prov för torr flis var torrare än medelvärdet för lasset, medan förarens prov för färsk flis var fuktigare än medel. Detta kan bero på att torr flis flöt iväg mer än den fuktiga. Om man lastar av blöt flis lägger sig den blöta flisen relativt kompakt i högen medan den något torrare flisen glider ned utefter sidorna och lägger sig längre ned. Om förare då tar provet i brösthöjd får han den fuktigare flisen. I denna studie var den flis som betecknas som "torr" något fuktigare än den färska flisen. En förklaring kan vara att den torra flisen innehöll mer snö och is som hamnade i botten på lasset. Föraren måste då gå ut och skrapa av den sista flisen vid lossningen och därmed fick föraren denna flis i sitt prov. Därför bör föraren ta prov från olika punkter i lasset.

För köparens del är det inte säkert att slumpmässiga fel i mätningarna har stor betydelse rent pengamässigt eftersom felen kan jämna ut sig under ett helt år. För leverantörerna däremot som använder sig av olika system för att ta ut skogsbränsle kan denna felmätning få konsekvenser. Om de till exempel genomgående levererar relativt fuktiga material blir de underbetalda och levererar de genomgående relativt torra material blir de överbetalda.

Både för träddelar och för GROT-flis har askhalten liten betydelse för energiinnehållet jämfört med fukthalten. Genom att askhaltsbestämma leveranserna ger man leverantörerna en anledning till att leverera bränslen med låg askhalt samt att producenten vet att denne får rätt betalning. Då man enligt svensk standard askhaltsbestämmer 2-3 gram kan man starkt ifrågasätta hur representativt ett prov blir för ett helt kollektiv eller för ett ekipage. Eftersom askhaltsbestämningen är osäker, är det knappast värt att askhaltsbestämma varje lass eller varje kollektiv. I dagsläget vore det mest logiskt att använda ett antaget askhaltsvärde för undersökta sortiment då man skriver avtal.

### ***Egna funderingar***

Hur ska man kunna sätta upp en bra kravspecifikation om man inte vet kvalitén på inkommande material och inte heller vad för material som är möjligt att producera? Man måste även veta någorlunda exakt vad som är optimalt att elda och vad som är lägsta krav för att man ska kunna använda materialet.

Idag fukthaltsbestäms inte träddelarna och det är därför omöjligt att kontrollera om kravspecifikationen som är satt i avtalet följs. Antag att det i kravspecifikationen står att fukthalten på GROT-flis ska vara 50 % eller lägre. Detta innebär att av de 10 leveranser som studerats i denna studie skulle endast hälften ha klarat detta krav.

Att investera i NIR enbart för en mer exakt och snabb fukthaltsmätning som betalningsunderlag verkar det inte vara motiverat på grund av en hög investeringskostnad. Om man däremot kan använda NIR utrustningen både vid inmätning och till kontroll av bränslen innan de går in i pannan kan investeringen vara mer motiverad. Många små värmeverk är negativa till tekniken på grund av kostnaden, men även stora värmeverk är negativa eftersom man inte ser något behov av annan mätning än den man har idag.

### ***Slutsatser***

Enligt intervjuerna betalades träddelar oftast med volympris eller tonpris hos värmeverken, vilket man inte är nöjd med pga dålig kontroll på vilken kvalitet materialet håller. I några fall används betalning per MWh. Material fukthaltsbestäms efter krossning i ugn eller med kamerateknik. Båda metoderna fungerar relativt bra. Partsmätning är vanligast, men allt fler anlitar VMF som opartisk mätare. Ofta anges organisatoriska skäl till varför VMF används. För träddelar bör övervägas att man inte köper mer träddelar än nödvändigt om ingen mätutrustning för fukthaltsbestämning finns tillgänglig. Man bör vidare utreda vilken kvalitet träddelarna håller och prissätt därefter. Utveckling av metoder och utrustning för säker och snabb fukthaltsbestämning på enskilda leveranser, t.ex. kamerateknik eller krossning vid intag för fukthaltsbestämning. För GROT-flis bör chauffören gå runt högen efter lossning och ta fyra prover på ca 2 liter på utspridda punkter. Två av proverna tas under midjehöjd och två prover tas över midjehöjd. Använd ett bestämt värde på askhalten vid tecknande av avtal.

## Referenser

### *Tryckt material*

Andersson C & Yngvesson M., 1992. Tekniker och metoder att i fält mäta fukthalt i bränsleflis. Vattenfall AB. Projekt Skogskraft. Rapport nr 10. ISSN: 1100-5130.

Anon., 1990. Flisens fukthalt påverkar både kvalitet och kostnad. Svensk papperstidning. Nr 12. s 8-10.

Anon., 2008. Prisblad för bibränslen, torv m.m. Energimyndigheten. Nr 1.

Berg M, Karlsson M, Tryzell R & Wiklund S., 2005. Automatisk fukthaltsbestämning av bibränslen med NIR metoden. Värmeforsk. Stockholm. Projektnr I4-403. Rapportnr 935. ISSN: 1653-1248.

Björklund A., 1988. Dags för nyprissättning? Vikt eller volym? Skogen. Nr 2. s 6-7.

Dahlquist E, Axrup L, Nyström J & Thorin E., 2005. Automatisk fukthaltsmätning på bibränslen med NIR samt radiofrekvent spektroskopi. Värmeforsk. Stockholm. Projektnr I4-404. Rapportnr 936. ISSN: 1653-1248.

Davner L., 1998. Dags för nyprissättning? Vikt eller volym? Skogen. Nr 2. s 6-7.

Eriksson L, Njurell R & Ehleskog R., 2002. Fukthaltsbestämning av bibränsle. Värmeforsk. Stockholm. Projektnr A9-858. Rapport nr 773. ISSN: 0282-3772.

Forrest W-G., 1968. The estimation of oven dry weight. Australien Forest Research. Vol 3, nr 2, sid 41-46.

Hedenberg Ö., 2001. Revidering av metod för mätning av storleksfördelning hos flis. Svensk papperstidning. Nr 2. sid 28.

Jirjis R & Theander O., 1990. The effect of seasonal storage on the chemical composition of forest residue chips. Scandinavian Journal of Forest Research. vol 5(3). s 437-448.

Lindstrand N., 2003. Luftfakturor ett minne blott. Svensk pappers tidning. Nr 4. s 60-61.

Nordén B., 1993. Vågutrustning på flisare. Vattenfall AB. Vällingby. Projekt Skogskraft. Rapport nr 13. ISSN: 1100-5130.

Nordén B., 2001. "Skakiga mått" gynnar köparna. Skogen. Nr 3. s 40-41.

Nylinder M & Törnmark J., 1986. Mätning av bränsleflis, spån och bark. SLU, Uppsala. Institutionen för virkeslära. Rapport nr 173. ISSN: 0348-4599.

Nyström J, Axrup L & Dahlquist E., 2002. Långtidsutvärdering av nya on-line fukthaltsmätare för bibränsle. Värmeforsk. Stockholm. Projektnr A9-819. Rapport nr 763. ISSN: 0282-3772.

Orvér M., 2002. Stickprovsmätning av skogsråvara – en praktisk handledning. SLU, Uppsala. Institutionen för skogens produkter och marknader. Rapport nr 5. ISSN: 1651-0704.

Rehn C., 2006. Basic studies on the characterization, pelletising and pellet combustion of spruce woody fuel. SLU. Umeå. Acta Universitatis Agriculturae Suecicae. Doctoral thesis No 2006:83, Faculty of forest science. ISSN: 1652-6880.

Ringman M., 1996. Trädbränslesortiment och definitioner. SLU. Uppsala. Institutionen för virkeslära. Rapport 250. ISSN:0348-4599

Roos K., 1983. Precision hos olika metoder för mätning av trädrester. Uppsala. SLU Institutionen för virkeslära. Rapport nr 138. ISSN: 0348-4599.

Savolainen V & Berggren H., 2000. Wood fuels basic information pack. 2:a upplagan Jyväskylä. ISBN: 952-5156-19-1..

Schön L., 1992. Trädbränslen i Sverige 1800-1900-användning och prisutveckling. Vattenfall AB. Rapport från Vattenfall Research. Projekt nr 5160000860. ISSN: 1100-5130.

SS (Svensk Standard) 18 71 17:1.

Yngvesson M., 1993. Fukthaltsbestämning i avverkningsrester. Vattenfall AB. Vällingby. Projekt skogskraft. Rapport nr 19. ISSN: 1100-5130.

### ***Elektroniska dokument***

Anon., 1998. Virkesmätningsrådet. Allmänna och särskilda bestämmelser för mätning av biobränslen. Internetupplaga pdf.

Bestwood. Hemsida. [online] Tillgänglig: <http://www.bestwood.se/> [2007-10-31].

Larsson F., 2006. Vete, skog, eller rörsocker? Ekonomifakta [online] tillgänglig: [www.ekonomifakta.se](http://www.ekonomifakta.se) [2006-12-11].

Åslund M., 2002. Hård dragkamp om biobränslen. Energivärlden [online] Tillgänglig:<http://www.energimyndigheten.se/web/otherapp/evärlden.nsf/frameset?readform&Doc=b2fd68e4a7927eb4c1256c440032c126> [2007-09-12].

### ***Muntliga referenser***

Bergner H. 2008  
Bränslelaboratoriet Umeå AB  
Box 4092  
904 03 Umeå  
Carlsson J. 2007  
Umeå Energi AB  
Box 224  
901 05 Umeå

Eckeryd B. 2007  
Ulriks Åkeri  
Tallstigen 18  
918 31 Sävar

Jonsson P. 2007  
Norra Skogsägarna  
Skeppargatan 1  
904 03 Umeå

Torstensson J. 2007  
Fortum  
Hangövägen 19  
115 77 Stockholm

Geladi Paul. 2007  
SLU  
Röbäcksdalen  
904 03 Umeå

Grahn P. 2007  
Skellefteå kraft  
Kanalgatan 71  
931 80 Skellefteå

Jonsson T. 2007  
Vattenfall  
Frösövägen 3b  
832 43 Frösön

Stenlund P, Aronsson A & Enholm M. 2007  
Umeå Energi AB  
Dåvaenergiväg 1  
901 05 Umeå

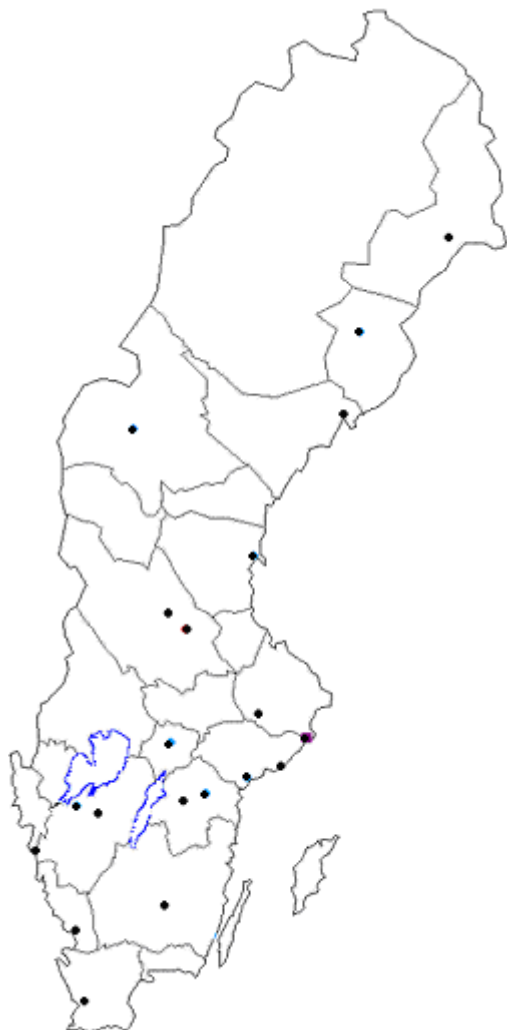
Weslin H, 2007  
VMF Nord  
Skeppargatan 1  
904 03 Umeå

### ***Bilder***

Karlsson M. Bestwood. 2007  
Paz A. 2007  
Sallin S. 2007



## Bilaga 1. Intervjuade anläggningar



**Figur 30.** De i intervjuerna ingående anläggningarnas geografiska läge.  
*Figure 30.* The location of the heating plants included in the interviews

Bodens energi AB  
Hardy Lundberg  
Plats för anläggning: Boden

Ena energi  
Eddie Johansson  
Plats för anläggning: Enköping

E. ON.  
Peter Nyström  
Plats för anläggning: Örebro  
Tobias Norin  
Plats för anläggning: Norrköping

Falbygdens Energi AB  
Arne Vass  
Plats för anläggning: Marjarp

Falu Energi & Vatten  
Göran Johansson  
Plats för anläggning: Falun

Fortum  
Jonas Torstensson  
Plats för anläggningen: Hudiksvall  
Nynäshamn

Fortum och Stockholm stad  
Jonas Torstensson.  
Plats för anläggning: Stockholm  
Göteborg Energi AB  
Birgitta Tiderman  
Plats för anläggning: Sävenäs

Halmstad Energi och Miljö  
Mats Bergenhem  
Plats för anläggning: Halmstad hamn

Jämtkraft  
Dag Wiklund  
Plats för anläggning: Lugnvik

Lantmännen Energi  
Lars Blom  
Plats för anläggning: Grästorp

Leksand-Rättvik Energi AB  
Christer Hellström  
Plats för anläggningen: Rättvik

Lunds energi  
Plats för anläggning: Örtofta  
Fredrik Steineck

Skellefteå Kraft  
Johan Holmlund  
Plats för anläggning: Lycksele

Tekniska Verken AB  
Erik Lindhe  
Plats för anläggning: Linköping

Vattenfall  
Per Arne Sjöholm  
Plats för anläggning: Nyköping

Växjö Energi AB  
Anders Björnberg  
Plats för anläggning: Sandviksverket

Örnsköldsviks energi  
Odd Johansson  
Plats för anläggning: Örnsköldsvik



## **Bilaga 2. SS 18 71 17:1**

**STANDARDMETOD:** SS 18 71 84, utgåva 1 och 18 71 71, utgåva 1 (Bestämning av fukthalt i analysprov och Bestämning av askhalt)

### **PRINCIP:**

Provet torkas först vid  $105 \pm 2^\circ \text{C}$  under 16 timmar. Det torra provet upphettas till  $550 \pm 25^\circ \text{C}$  i luft och behålls vid denna temperatur under 90 minuter. Vid denna temperatur sker förbränning av organiska beståndsdelar utan att påvisbara mängder oorganiska ämnen omvandlas. Askhalten beräknas från den viktandel av provet som återstår efter glödning. Skall större mängder aska tillverkas för andra analyser eller om provet är mycket inhomogent ( t ex avfall) kan stora porslinsdeglar användas.

### **MATERIAL:**

Porslinsdeglar, märkta med nummer eller annat

Analysvåg Mettler AX204, kopplad till en dator, med noggrannhet på  $\pm 0.5 \text{ mg}$

Torkskåp som håller  $105^\circ \pm 2^\circ \text{C}$

Ugn som håller  $550^\circ \text{C} \pm 25^\circ \text{C}$

Exsickator

### **RISKBEDÖMNING:**

Måttligt riskfyllt. Använd värmetålig handske vid hantering av prover i torkskåp och ugnar.

### **PROVPREPARERING:**

Provet ska malas genom 1 mm såll och vara torrt.

OBS! Kol torkas i kvävgas vid flödet 3 i speciell aluminiumlåda med lock innan askning. Kol har torkat vid max  $40^\circ \text{C}$  innan malning.



## Bilaga 3. Formler

(1) Konfidensintervall:  $konfidens\ interval = X - t_{\alpha/2} \times s \div \sqrt{n}, X + t_{\alpha/2} \times s \div \sqrt{n}$

Konfidensintervallet talar om inom vilket intervall från medelvärdet ett värde ligger med en viss procents sannolikhet om man tar x antal prov. Ofta används ett intervall vid 95 %, dvs med 95 % sannolikhet ligger ett provs värde högst x enheter från det "sanna värdet". Ju fler prov som tas desto mindre blir intervallet och sannolikheten att komma nära medelvärdet ökar.

(2) Standardavvikelse:  $s = \sqrt{VarX}$

standardavvikelsen är ett spridningsmått som talar om hur ett sampel sprider sig runt ett medelvärde. Då spridningen är normalfördelad, dvs inget systematiskt fel finns, ligger 2/3 av värdena inom plus minus en standardavvikelse från detta "sanna värdet".

(3) Varians:  $Var = \left( \sum (\chi - \bar{\chi})^2 \right) \div (n - 1)$

(4) Medelvärde:  $medelvärde = \left( \sum \chi \right) \div n$

(5) Fukthalt:  $fukthalt = (råvikt - torrsvikt) \div (råvikt)$

(6) Modell för faktorförsök

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + c_{k(j)} + e_{ijk}$$

(7) Effektivt värmevärde:

$$kWh / kg = \left( \ddot{O} \left( (1 - A / 100) * (1 - F / 100) - \ddot{A} * F / 100 \right) \right) / 3,6$$

A = Askhalt (%), denna parameter är 2 % då den hålls konstant.

F = Fukthalt (%), denna parameter är 50 % då den hålls konstant.

$\ddot{A}$  = Ångbildningsvärme (MJ/kg), denna konstant antas vara 2,44.

$\ddot{O}$  = Övre värmevärde (MJ/kg TS), denna konstant antas vara 19,22.