



Tekniska principer för fukthaltsmätning av skogsbränsle

MED EN ÖVERSIKT AV MARKNADSFÖRDA UTRUSTNINGAR

Linn Sjöström

Ämnesord: Flis, Spån, Torrhalt, Trädbränslen.

SKOGFORSK

– Stiftelsen skogsbrukets forskningsinstitut

arbetar för ett lönsamt, uthålligt mångbruk av skogen. Bakom Skogforsk står skogsföretagen, skogsägareföreningarna, stiftelsen, gods, skogsmaskinföretagare, allmänningar m.fl. som betalar årliga intressentbidrag. Hela skogsbruket bidrar dessutom till finansieringen genom en avgift på virke som avverkas i Sverige. Verksamheten finansieras vidare av staten enligt särskilt avtal och av fonder som ger projektbundet stöd.

FORSKNING OCH UTVECKLING

Två forskningsområden:

- Skogsproduktion
- Virkesförsörjning

UPPDRAG

Vi utför i stor omfattning uppdrag åt skogsföretag, maskintillverkare och myndigheter. Det kan gälla utredningar eller anpassning av utarbetade metoder och rutiner.

KUNSKAPSFÖRMEDLING

För en effektiv spridning av resultaten används flera olika kanaler: personliga kontakter, webb och interaktiva verktyg, konferenser, media samt egen förlagsverksamhet med produktion av trycksaker och filmer.

Innehåll

Sammanfattning.....	3
Bakgrund och syfte	3
Varför ska man mäta fukthalten?	4
Svårigheter vid fukthaltsbestämning.....	4
Mätning på inhomogena material.....	4
Faktorer som kan påverka mätresultaten	5
Olika metoder för fukthaltsbestämning.....	5
Mätning med torkugn.....	6
Resistansmätning	6
Fukthaltens inverkan på resistansen.....	7
Temperaturens inverkan på resistansen.....	7
Andra faktorerers inverkan på resistansen.....	8
Kapacitansmätning	8
Fukthaltens inverkan på de dielektriska egenskaperna	9
Temperaturens inverkan på de dielektriska egenskaperna	10
Andra faktorerers inverkan på de dielektriska egenskaperna.....	11
Radiofrekvent spektroskopi	11
Fukthaltens och temperaturens inverkan på mätningar med radiofrekvent spektroskopi.....	11
Skillnaden mellan kapacitansmätare och radiofrekvensmätare	12
Mikrovågsspektroskopi	13
Temperaturens inverkan på mikrovågor.....	13
Fukthaltens inverkan på mikrovågor.....	13
Andra aspekter av mikrovågsspektroskopi.....	14
Radartechnik	14
Nära infraröd (NIR)-spektroskopi	15
Inträngningsdjup och mätmetoder	15
Temperaturens, fukthaltens samt andra faktorerers inverkan vid mätning med NIR-metoden.....	15
Ytterligare aspekter av NIR-mätare.....	16
Röntgenspektroskopi	16
Fukthaltens och temperaturens inverkan på röntgenspektroskopi.....	17
Andra aspekter av röntgenspektroskopi	18
Gammastrålning	18
Ultraljud.....	18

Neutronteknik	19
Kärnmagnetisk resonans.....	19
Fukthaltens och olika träslags betydelse för mätningar med kärnmagnetisk resonans.....	20
Temperaturens inverkan på kärnmagnetisk resonans.....	21
Diskussion	22
Metodernas tillämpbarhet och lämplighet i fält.....	23
Produkter för fukthaltsmätning på marknaden	25
Referenser.....	31

Sammanfattning

Rapporten är gjord på uppdrag av Skogforsk med syfte att ge en generell bild av olika metoder för fukthaltsmätning av biobränslen. För- och nackdelar med de olika metoderna, presenteras med huvudfokus på deras förmåga att mäta i breda fukthaltsintervall och på fruset material. Endast metoder för direkt mätning har presenterats, även om vissa av metoderna är tillämpbara även vid indirekt mätning. Förutom standardmetoden med torkugnsmätning presenteras också två elektriska metoder baserade på resistiv och kapacitiv mätning, ett flertal metoder baserade på elektromagnetisk strålning (mikrovågor, radar, infraröd strålning, röntgenstrålning och gammastrålning), ultraljudsmätning, neutronstrålning samt kärnmagnetisk resonans (NMR). Flera metoder mäter egenskaper som förändras då materialet fryser, men har ändå visat sig klara av att mäta på fruset material efter kalibrering. Detta kan troligtvis delvis förklaras med att fukt bundet i trä har en lägre fryspunkt än fritt vatten.

De flesta metoder visade sig kunna mäta ett brett fukthaltsintervall, men resultaten ska tolkas försiktigt vid låga fukthalter eftersom att eventuella störningar då oftast ger ett större utslag relativt den mätta fukthalten. De olika metoderna har olika mätdjup. Vilken betydelse detta har för mätningarna varierar emellertid med det tillänkta tillämpningsområdet.

Bakgrund och syfte

Rapporten är gjord med syfte att ge en generell bild av olika metoder för fukthaltsmätning av biobränslen. Den är ämnad att visa på fördelar och begränsningar hos de olika metoderna, så att en eventuell köpare av fukthaltsmätare ska kunna skapa sig en bild av vilken metod mätaren bör vara baserad på för att bäst passa just dennes syften. Rapporten har fokuserat på metodernas förmåga att mäta på fruset material, samt på eventuella begränsningar rörande de fukthalter som kan mätas.

Vidare presenteras i rapporten en sammanställning av några av marknadens fukthaltsmätare som är avsedda för biobränslen, främst flis. Denna sammanställning ska inte ses som någon komplett lista över de tillgängliga mätarna, men kan ändå ge en bild av hur långt utvecklingen har kommit i dag. Endast manuella mätare har tagits med. Förutom dessa finns i dagsläget flera mätare utvecklade för att kunna mäta material på transportband då hela eller delar av provet analyseras, men som generellt är dyrare än de handhållna mätarna.

Genom rapporten har två separata begrepp för fuktmängd använts. Dels begreppet fuktkvot, vilket anger mängden vatten i förhållande till den torra mängden trä, dels begreppet fukthalt, vilket anger vattnets vikt i förhållande till den våta vikten, det vill säga vikten av vattnet och det torra träet tillsammans. På grund av att fuktkvoten anger vattnets vikt i förhållande till den torra vikten är det möjligt att detta värde överstiger 100 %, vilket aldrig fukthalten gör. Dessa mått går att omvandla till varandra; exempelvis motsvarar en fuktkvot på 100 % en fukthalt på 50 %.

VARFÖR SKA MAN MÄTA FUKTHALTEN?

Fukthalten är av mycket stor betydelse för värmevärdet hos bibränslen (Eriksson, L. m.fl., 2002). Bränslen med hög fukthalt ger mindre värme eftersom att mycket energi då går åt till att förångna vattnet. De flesta kraftvärme- och värmeverken i Sverige använder sig därför av fukthalt, i kombination med vikt, som betalningsunderlag (Hägg, K., 2008). Fukthalten är också en viktig parameter för hur bränslet på bästa sätt ska eldas i pannan på kraft- eller värmeverket för att ge så lite oförbränd aska som möjligt och för att utsläppen ska hållas på en låg nivå (Eriksson, L. m.fl., 2002).

Fukthalten går att mäta direkt genom analys av bränslet, vilket är det vanligaste förfarandet. Det går också att bestämma fukthalten genom indirekta metoder då mätningen i stället sker i de bildade rökgaserna (Eriksson, L. m.fl., 2002). Denna rapport presenterar ett antal olika direkta metoder för fuktmätning, även om principerna för vissa av dem är tillämpbara även vid indirekt mätning.

Rapporten fokuserar också främst på sönderdelat bibränsle. Det finns flera fukthaltsmätare för träindustrin, men som av olika anledningar inte lämpar sig för fukthaltsmätning av bibränslen. Många av dessa mätare har för kort mättdjup för att vara användbara, andra kan inte mäta i ett tillräckligt stort fukthaltintervall. Det är dessutom önskvärt att fukthaltsmätare för bibränsleindustrin kan hantera fruset material, och att mätningarna inte tar alltför lång tid.

Svårigheter vid fukthaltsbestämning

MÄTNING PÅ INHOMOGENA MATERIAL

Fukthalten i bibränslen kan variera mycket, både mellan leveranser och inom en enskild leverans. I flisat bränsle blir de yttre delarna fuktigare under lagring till följd av fuktvandring, en skillnad som kan förstärkas ytterligare av nederbörd. Finare fördelat material har oftast högre fukthalt än de grövre fraktionerna; skillnaden kan uppgå till så mycket som 20 procentenheter. Dessutom kan det finnas variationer även inom en enskild flisbit (Eriksson, L. m.fl., 2002). Om fuktbestämning sker genom att en mätsticka förs ner i provet bör den därför nå tillräckligt långt för att fukthalten ska kunna bestämmas även i de lägre lagren.

För att mätningen ska ge ett så rättvisande resultat som möjligt är det också viktigt att flera prover tas. Svensk standard SS 18 71 70 menar att två till fem delprov ska tas per 30 ton bränsle då detta är homogent. För inhomogena bränslen ska i stället upp till tio olika delprover tas (Berg, M. m.fl., 2005). Genom att ta fler prover kan man även kompensera för den något lägre noggrannhet som vissa mätare har. Storleken hos delproven bör styras av fraktionsstorleken; större fraktioner kräver större delprov. Om 95 % av materialet har en storlek under 100 mm räcker fem liter, om styckstorleken överstiger 100 mm behöver delproven vara större (Hägg, K. 2008; Berg, M. m.fl., 2005). Det är därför bra om mätarna kan hantera större mängder material vid varje mätning.

FAKTORER SOM KAN PÅVERKA MÄTRESULTATEN

Samtliga fukthaltsmätare bygger på tekniker som mäter egenskaper i materialet som påverkas av varierande fukthalt. De måste således baseras på egenskaper som både går att detektera, och som skiljer sig mellan vatten och trä. Inte sällan påverkas dock de mätta egenskaperna av egenskaper hos, och förändringar i, träet. Yttre faktorer kan också påverka de mätta egenskaperna. Dessutom kan fukt-halten i sig vara svår att mäta. Vid ungefär 30 % fuktkvot, eller 23 % fukthalt, nås den så kallade fibermättnadspunkten. Ovanför den är vattenmolekyler mindre hårt bundna till träet än de är under, vilket påverkar en del av dess egenskaper (Skaar, C. 1988).

Olika träslag har något olika egenskaper, vilket kan påverka mätningarna. Hur stora skillnaderna är varierar givetvis beroende på vilken egenskap som avses, men generellt blir resultaten bättre om mätarna kalibreras för olika träslag.

En annan faktor som vanligtvis har stor betydelse för mätutslaget är temperaturen. Många egenskaper hos vatten och trä, samt relationen mellan dem, påverkas av denna. Även om några graders skillnad kan påverka på vattnets och träs egenskaper ovanför fryspunkten är förändringen dock liten jämfört med den som vanligtvis sker då vattnet övergår till is. Is har kraftigt förändrade egenskaper relativt flytande vatten. Molekylerna blir hårdare bundna till varandra och får mindre möjlighet att röra sig, vilket påverkar både deras mekaniska och elektriska egenskaper. Dessutom kan egenskaperna hos is ibland likna dem hos trä, varför dessa blir svåra att skilja från varandra.

Många mätare detekterar mängden vattenmolekyler som finns i den mätta volymen. För att fukthalten ska kunna bestämmas måste man dock i dessa fall känna till även densiteten. En given mängd vattenmolekyler innebär ju en högre vattenhalt i löst packat material än den gör i mycket kompakt material. Dessutom kan andra ämnen, exempelvis föroreningar och kemikalier, som kommit in i provet påverka mätningarna. I vissa fall, såsom vid neutronspektroskopi, kan föroreningarna ha egenskaper som påminner om vattnets (Goldberg, I. m.fl., 1954). I andra fall, såsom vid resistansmätning, kan de påverka de mätta egenskaperna i hög grad (Grahn, J. 1997).

Olika metoder för fukthaltsbestämning

Det finns i dag flera metoder för fukthaltsmätning. Vissa av dem har använts under lång tid medan andra fortfarande befinner sig på forskningsstadiet. De elektriska mätarna, resistans- och kapacitansmätarna, har funnits relativt länge, den första resistansmätaren byggdes redan 1930 (Skaar, C. 1988). Metoden då materialet torkas i ugn har också funnits länge.

En annan typ av metoder baseras på elektromagnetisk strålning av olika våglängder, från den radiofrekventa strålningen med längst våglängd, via mikrovågor, radar, infraröd strålning och röntgenstrålning till gammastrålningen med kortast våglängd. Samtliga våglängder påverkar, och påverkas av, det material de träffar. Olika våglängder påverkar dock materialet på olika nivåer; vissa påverkar bindningar mellan atomer medan andra påverkar själva atomerna. Därför varierar också de olika metodernas egenskaper.

Det finns även en metod baserad på ultraljud. Tekniken liknar den då elektromagnetisk strålning används, men i stället för att provet belyses med ljus (elektromagnetisk strålning) så använder man sig av ljudvågor. Dessutom finns det två radioaktiva metoder, neutronteknik och kärnmagnetisk resonans. I den ena bestrålas provet med neutroner, i den andra utnyttjar man att väteatomer, som ju finns i vatten, beter sig som små magneter.

MÄTNING MED TORKUGN

Det i dag vanligaste sättet att mäta fukthalten är genom användning av torkugn (Nyström, J. & Dahlquist, E., 2003). Genom att ta prover på materialet vars fukthalt man vill bestämma, och sedan väga dessa, fås ett mått på vattnets och bränslets sammanlagda vikt. Därefter torkas provet och vägs på nytt, varigenom den torra massans vikt erhålls. Genom att relatera massminskningen till den ursprungliga vikten fås provets fukthalt (Skaar, C. 1988).

Virkesmätningrådet rekommenderar att ugnen eller torkskåpet håller en temperatur av $105 \pm 2^\circ\text{C}$, vilket även förespråkas av Svenska Standard (Hägg, K. 2008; Virkesmätningrådet. 1999). Torkningen ska pågå tills dess att vikten stabiliserats och ingen förändring på mer än 0,2 % av den totala viktförlusten sker under en period av 30 minuter. Torkningen behöver dock inte överstiga 48 timmar. Normalt tar det omkring 20 timmar för vikten att stabiliseras (Berg, M. m.fl., 2005).

Metoden har i genomsnitt ett fel på 2 procentenheter (Aulin, R. m.fl., 2008), vilket är mindre än för många andra metoder. Den har dock svagheter som försämrar noggrannheten. Bland annat kan andra flyktiga ämnen avgå från provet då detta upphettas (Skaar, C. 1988; Nordenskjöld, C, 2006). En studie har visat att material som torkas i rekommenderade 105°C förlorar 2 % mer i vikt än material som torkats vid 70°C (Hägg, K. 2008). En lägre torktemperatur skulle dock innebära en längre torktid, varför en avvägning måste göras mellan dessa två parametrar.

Mätning av fukthalt i torkugn är en enkel och relativt billig metod (Nordenskjöld, C, 2006) som inte heller är beroende av provets temperatur. Fukthalten påverkar torktiden, men eftersom att fukten torkas bort finns det inget fukthaltsintervall som materialet måste rymmas inom för att metoden ska ge ett riktigt resultat, vilket gäller för många andra mätmetoder. Metoden har dock ett antal nackdelar, varför man har jobbat på att hitta nya mätmetoder som ska kunna komplettera eller ersätta torkugnsmetoden. Torkningen tar lång tid, vilket i sig är problematiskt, men det är också en personalkrävande metod (Eriksson, L. m.fl., 2002). Man är dessutom beroende av att flertal prover tas ur materialet för att resultaten ska bli representativa för hela materialet (Berg, M. m.fl., 2005; Nyström, J. & Dahlquist, E. 2003; Aulin, R. m.fl., 2008).

RESISTANSMÄTNING

Resistiva fukthaltsmätare baseras på det faktum att den elektriska resistansen i trä ändras med olika fukthalter. De flesta mätarna har ett eller flera par nålliknande sonder som sticks in i provet (Skaar, C., 1988). Med hjälp av likspänning mäts sedan resistansen, eller impedansen i de fall då växelspanning används, mellan sönerna (Vikberg, T., 2010).

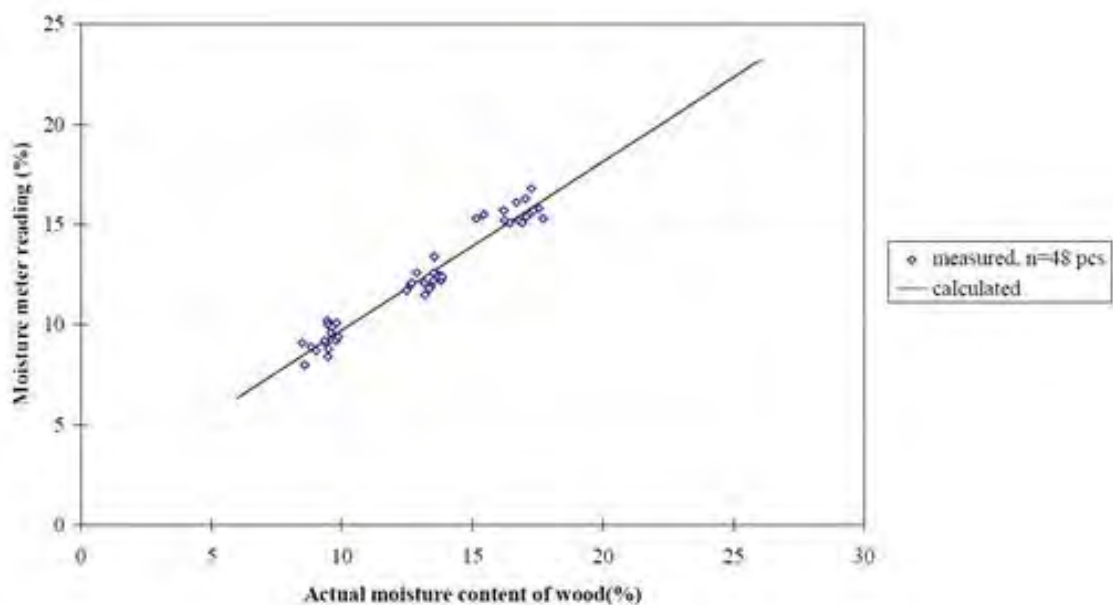
Fukthaltens inverkan på resistansen

Torrt trä har mycket hög resistans, men den avtar dramatiskt om lite fukt tillförs; resistansen vid en fukthalt på 7 % är bara en miljondel av det torra träets resistans (Skaar, C. 1988). Därefter avtar resistansen något långsammare med stigande fukthalt upp till fibermättnadspunkten vid ungefär 23 %, då minskningen nästan avstannar (Grahn, J. 1997; Rosenkilde, R., 2003). Noggrannheten i mätningarna blir också betydligt lägre vid fukthalter över fibermättnadspunkten. För lägre fukthalter sker transporten av laddningar via joner i träets cellväggar, men då fukthalten överstiger fibermättnadspunkten sker en del av laddningstransporten i det fria vattnet och resistansen blir därmed beroende av vattnets jonhalt. Resistansmätningar på trä med fukthalter över fibermättnadspunkten kan avvika så mycket som 25 % från det verkliga värdet, medan mätningar på fukthalter på 7–15 % tycks avvika mindre än 2 % av det verkliga värdet (Rosenkilde, R., 2003).

Osäkerheten i mätningarna ökar likaså vid mycket låga fukthalter eftersom att resistansen då blir mycket hög. I en rapport utgiven av det amerikanska jordbruksdepartementet rekommenderas att man inte använder resistansmätare annat än vid fukthalter på 7–23 % (James, W L. 1988). The Forestry Commission i Storbritannien menar att osäkerheten i mätningar baserade på resistans är större kring 23 % fukthalt och att detta är problematiskt då denna fukthalt ofta motsvarar den i flis (The Forestry Commission, 2010).

Temperaturens inverkan på resistansen

Träets resistans beror inte bara på dess fukthalt; temperaturen spelar också en viktig roll. I motsats till vad som gäller för metaller så minskar resistansen hos trä med högre temperatur eftersom antalet fria joner som kan transportera laddningar ökar med stigande temperatur (Rosenkilde, R., 2003). Fukthaltsmätarna måste därför kalibreras för olika temperaturer. Mer problematiskt blir det vid temperaturer under 0°C då vattnet helt eller delvis frusit till is eftersom resistansen hos fruset trä är flera gånger högre än normalt (Larsson, B., 2002). Mätningar enligt tidiga modeller överskattade fukthalten med så mycket som 7 procentenheter vid temperaturer på –20°C. Omfattande forskning har sedan dess gett mätare med mer rättvisande resultat (Onysko, D M. m.fl. 2008; Pfaff, F. & Garrahan, P. 1986). Senare studier av noggrannheten hos flera handhållna fukthaltsmätare visar att dessa gav goda resultat i rumstemperatur, men att avvikelser fortfarande förekom vid högre eller lägre temperaturer. Mätresultaten blev dock betydligt bättre om mätaren hölls vid rumstemperatur, även om materialet som mättes var fruset (Forsén, H. & Tarvainen, V., 2000).



Figur 1.
Fuktmätning med en resistiv mätare då provet hade en temperatur av $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ och mätaren hade en temperatur av $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Forsén, H. & Tarvainen, V. 2000).

Andra faktorerers inverkan på resistansen

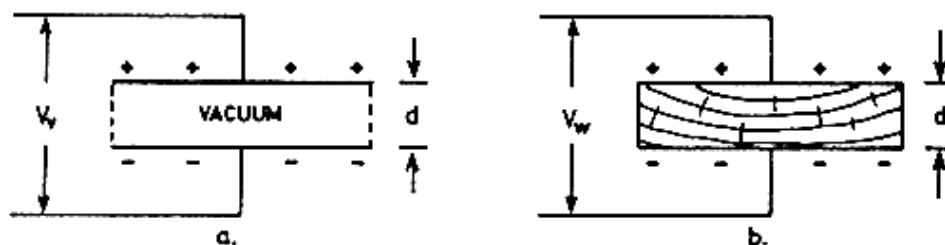
Det har antagits att träets densitet skulle påverka resistansen i likhet med hur densiteten påverkar träets värmeledningsförmåga, men något sådant samband har inte kunnat hittas (Skaar, C. 1988; Forsén, H. & Tarvainen, V. 2000). Däremot varierar resistansen mellan olika träslag, varför mätarna måste kalibreras för de träslag den är ämnad att mäta på (Skaar, C. 1988; Rosenkilde, R., 2003). Likaså påverkas mätningarna om andra ämnen såsom kemikalier eller saltvatten kommit in i provet eftersom att dessa kan förändra resistansen mycket (Grahm, J. 1997). Fukthaltsmätare baserade på resistans täcker bara in ett lokalt område kring mätaren. De kan därför anses olämpliga för mätningar på inhomogena material såsom rundvirke eller flis eftersom att ett mycket stort antal mätningar skulle krävas för att ge ett tillförlitligt resultat (The Forestry Commission. 2010; Björklund, L., 1988).

KAPACITANSMÄTNING

En kondensator består av två elektriska ledare vilka separerats av ett isolerande material. När en elektrisk spänning läggs över ledarna kommer det att uppstå en laddningsskillnad mellan kondensatorns båda sidor. Förhållandet mellan spänningen och laddningsskillnaden kallas för kapacitans.

Olika isolerande material mellan ledarna ger olika kapacitans. Förhållandet mellan den kapacitans som fås med det valda isolerade materialet och den som fås då vakuum i stället används kallas för ämnets dielektricitetskonstant (Young, H. D. & Freedman, R. A., 2008). För trä varierar dielektricitetskonstanten med fukthalten. Genom att mäta kapacitansen hos trä får man således ett mått på dess dielektricitetskonstant, och därmed också dess fukthalt. Eftersom att det är svårt att mäta kapacitansen med hjälp av likspänning använder man sig vanligtvis av växelspanning (Skaar, C. 1988; Rosenkilde, R., 2003). Man kan också få ett mått på fukthalten genom att utnyttja en annan dielektrisk egenskap hos träet,

dess dielektriska förlustfaktor. När en växelspanning läggs över trä kommer det att absorbera energi i form av värme; den dielektriska förlustfaktorn anger hur stor del av den tillförda energin som träet absorberar. Vissa kapacitansmätare utnyttjar endast dielektricitetskonstantens fuktberoende medan andra mäter både dielektricitetskonstanten och den dielektriska förlustfaktorn (Skaar, C., 1988; Rosenkilde, R., 2003).



Figur 2.

Kondensator med vakuüm (a) mellan de ledande materialen. Till följd av de olika materialen mellan ledarna behövs olika spänning V för att laddningsskillnaden, representerad av plus- och minustecken, ska bli lika stor för anståndet d (Skaar, C., 1988).

Fukthaltens inverkan på de dielektriska egenskaperna

Både dielektricitetskonstanten och den dielektriska förlustfaktorn varierar med fukthalten men är samtidigt beroende av flera andra egenskaper såsom temperatur och växelspanningens frekvens då sådan används.

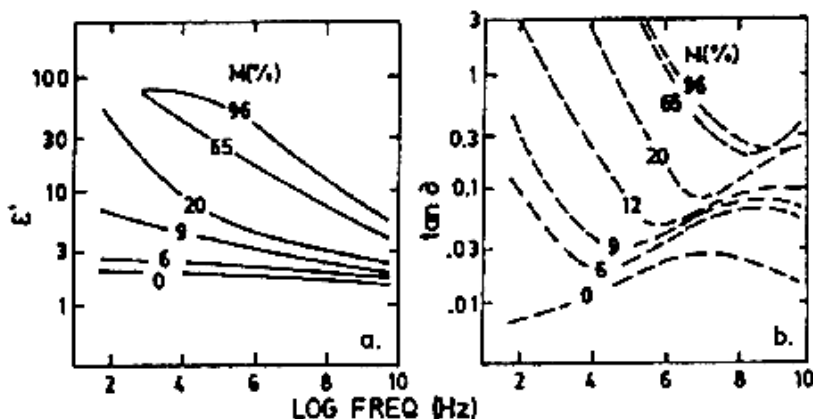
Dielektricitetskonstanten ökar med stigande temperatur, men är också starkt beroende av frekvensen. För den dielektriska förlustfaktorn är förhållandet till fukthalten mer komplicerat. Generellt ökar förlustfaktorn med högre fukthalt, men för vissa kombinationer av fukthalt, temperatur och frekvens kan i stället det motsatta förhållandet gälla (Skaar, C., 1988; Rosenkilde, R., 2003).

Kapacitansfuktmätare kan i princip mäta fukthalter på 0 % även om noggrannheten blir lägre för mycket låga fukthalter (James, W L., 1988). För högre fukthalter, över fibermättnadspunkten, kommer träcellernas hålrum att innehålla fritt vatten. Eftersom att vattenmolekylerna kan röra sig friare i icke-bundet vattnet än de kan i det bundna vattnet sker förändringen av dielektricitetskonstanten och den dielektriska förlustfaktorn med en annan hastighet ovan än under fibermättnadspunkten. Den dielektriska konstanten ökar linjärt ovanför fibermättnadspunkten, vilket den inte gör under. Det går därför att beräkna fukthalten utifrån den dielektriska konstanten även ovanför fibermättnadspunkten. Kurvor finns också för förlustfaktorns variation med olika fukthalter, frekvenser och temperaturer (Skaar, C., 1988).

Efter en genomgång av sex olika kapacitansmätare för virke rekommenderar Forsén och Tarvainen (2000) vid Finlands tekniska forskningscenter VTT att dessa inte används för fuktmängder högre än 30 %, men anger inte om det rör sig om 30 % fukthalt eller 30 % fuktkvot. Troligen rör det sig dock om fukthalt, eftersom att motsvarande övre gräns för resistansmätare då går vid fibermättnadspunkten (Forsén, H. & Tarvainen, V., 2000).

Daugbjerg Jensen m.fl (2006) har i stället studerat fukthaltsmätare avsedda för biobränslen och funnit att också dessa ger större fel vid högre fukthalter (uppåt 50 % fukthalt), speciellt ovanför fibermättnadspunkten, men att flera av de testade mätarna ger acceptabla resultat. Högst noggrannhet gav de mätare där det sonderdelade biobränslet placerades i en container under mätningen (Daugbjerg Jensen, P. m.fl., 2006). Försök gjorda av Volpé tyder i stället på att sensorer som sticks in i provet ger mer exakta resultat än de där biobränslet placeras i container (Volpé, S., 2010).

Temperaturens inverkan på de dielektriska egenskaperna



Figur 3.
Diagram över den dielektricitetskonstanten ϵ' och den dielektriska förlustfaktorn $\tan \delta$ för europeisk gran vid 20 °C som funktion av frekvensen vid olika fuktkvot (Skaar, C., 1988).

Liksom fukthalten inte har något enkelt samband med dielektricitetskonstanten och den dielektriska förlustfaktorn så har inte heller temperaturen något enkelt samband med dessa. Dielektricitetskonstanten ökar med högre temperaturer förutom vid höga fukthalter då dielektricitetskonstanten i stället sjunker med högre temperaturer. Den dielektriska förlustfaktorn kan både öka och minska med temperaturen beroende på fukthalt och frekvens (Rosenkilde, R., 2003).

Dielektricitetskonstanten hos is är bara en tjugondel av den hos vatten (Merem'yanin, Y. I., 1988). Dessutom liknar dielektricitetskonstanten för is den för trä, varför det är svårt för en mätare att skilja mellan dessa (Andersson, C. & Yngvesson M., 1992). Volpé menar att kapacitansmätare inte kan användas för fruset material (Volpé, S. 2010). De tester av mätare för fukthaltsbestämning av timmer som Forsén och Tarvainen genomfört visar dock att temperaturens påverkan på resultaten är liten, både för låga temperaturer på -10°C och höga på $+70^{\circ}\text{C}$ (Forsén, H. & Tarvainen, V., 2000). Att mätvärdena inte avvek mer från de riktiga då temperaturen låg under vattnets fryspunkt kan bero på att bundet vatten i trä fryser vid lägre temperaturer än det gör om det är fritt (Tomppo, L. m.fl., 2009). Då dielektricitetskonstanten är så mycket högre för vatten än för is bör små mängder fruset material inte ha speciellt stor påverkan resultatet, men felet bör öka ju lägre temperaturen blir under vattnets fryspunkt. Forsén och Tarvainen gjorde heller inga tester på fukthaltsmätare för biobränsle, så dessa skulle kunna vara känsligare för fruset material. De flesta producenter av fukthaltsmätare för biobränslen i form av flis rekommenderar heller inte att dessa används vid temperaturer under 0°C .

Andra faktorerers inverkan på de dielektriska egenskaperna

Förutom temperaturen och fukthalten i träet finns andra faktorer som påverkar de dielektriska egenskaperna. Högre densitet ger högre dielektricitetskonstant. Likaså påverkas den dielektriska förlustfaktorn (Rosenkilde, R., 2003). Forsén och Tarvainen (2000) fann att osäkerheten i de mätningar som gjordes med fukthaltsmätarna för virke främst berodde på skillnader i träs densitet. Det är också viktigt att mätningarna sker på tillräckligt djup för att de ska ge ett representativt värde. Ofta är noggrannheten dessutom lägre än för de resistiva mätarna (Rosenkilde, R., 2003). Efter tester av en av marknadens fukthaltsmätare för bio-bränslen menar dock Forestry Commission (2010) att kapacitansmätare verkar kunna ge tillräckligt pålitliga resultat för att på ett relativt snabbt sätt kunna mäta fukthalten i flis.

RADIOFREKVENT SPEKTROSKOPI

Vid radiofrekvent spektroskopi belyses provet med strålning med våglängder på mellan 0,3 m och 10 000 m (Nyström, J., 2006). Beroende på materialets dielektricitetskonstant kommer strålningens våglängd och utbredningshastighet att påverkas, medan materialets dielektriska förlustfaktor kommer att påverka styrkan hos signalen, det vill säga mängden energi som absorberas i ämnet (Paz, A. m.fl., 2008). Man kan antingen placera sändaren och mottagaren på vardera sidan av materialet eller använda sig av en antenn som fungerar både som sändare och mottagare (Dahlquist, E. m.fl., 2005). Fördelen med radiofrekvensmetoden är att den når längre ner i materialet än exempelvis NIR-metoden, vilken presenteras nedan, vilket möjliggör mätningar i en hel container (Dahlquist, E. m.fl., 2005; Paz, A.M., 2010). Metoden är inte heller känslig för ytfukt (Eriksson, L. m.fl., 2002).

Vid radiofrekvensmetoden kan antingen försvagningen hos signalen, fäsförskjutningen eller spridningen mätas för att därigenom bestämma de dielektriska egenskaperna hos materialet, vilka är ett mått på dess egenskaper, såsom fukthalt. Man kan också mäta fukthalten direkt genom att studera strålningens tidsfördröjning då den passerar genom provet (Nyström, J. & Dahlquist, E., 2003; Nyström, J., 2006; Paz, A. M., 2010).

Fukthaltens och temperaturens inverkan på mätningar med radiofrekvent spektroskopi

Radiofrekvensmetoden har visat sig fungera bra i ett brett fukthaltsintervall. Försök har visat att man kan få en standardavvikelse på skillnaden mellan instrumentmätvärdet och värdet från referensmetoden (torkning i ugn enligt svensk standard, SS187170) på under 2,7 % för ett fukthaltsintervall på 30–72 % vid mätning på stamvedsflis, returflis, grot, spån och bark. Om även torv ska mätas behöver dock en separat kalibrering av mätaren göras på grund av dess avvikande densitet (Dahlquist, E. m.fl., 2005).

De dielektriska egenskaperna varierar med temperaturen enligt vad som står beskrivet för kapacitansmätarna, men metoden tycks inte vara speciellt känslig för temperaturskillnader (Nyström, J. & Dahlquist, E., 2003). Temperaturen har större betydelse för radiofrekvensmätningar då fukthalten ligger under fiber-mättnadspunkten, men försök har hittills visat att temperaturens inte tycks störa mätningarna (Dahlquist, E. m.fl., 2005; Paz, A. m.fl., 2010). Mätningar visar även att tekniken klarar av att hantera fruset material (Eriksson, L. m.fl., 2002).

Radiofrekvensmetoden tycks framför allt vara användbar för mätningar i containrar och liknande, då den har ett stort mätdjup. Den verkar dock vara mindre lämplig för mätningar på transportband eftersom att ett avstånd på minst 0,5 m krävs mellan sändare och mottagare (Nyström, J., Axrup, L., Dahlquist E., 2002). Många av författarna till studier gjorda på radiofrekvensmetoden menar att denna är användbar vid mätningar på biobränslen (Hägg, K. 2008; Nyström, J. 2006). Investeringar i radiofrekvensmätare är inte högre än att de bör återbetala sig i form av lägre analyskostnader (Dahlquist, E. m.fl., 2005).

SKILLNADEN MELLAN KAPACITANSMÄTARE OCH RADIOFREKVENSMÄTARE

Viss förvirring råder kring kapacitans- och radiofrekvensmätarna. De har många likheter, och vissa menar därför att de bara är olika namn på samma metod. Även om både radiofrekvensmetoden och kapacitansmetoden mäter materialets dielektriska egenskaper för att genom dessa beräkna fukthalten i provet, görs dock mätningarna på olika sätt. Vid kapacitansmätning mäts kapacitansen genom att en växelspanning läggs över en kondensator (AgriChem, Inc., 1994). Denna ger upphov till ett alternerande elektriskt fält i provet mellan kondensatorplattorna, vilket i sin tur ger elektromagnetiska vågor (Young, H. D., Freedman, R. A., 2008). Oftast använder man sig av en växelspanning som ger upphov till radiovågor, vilket gör att metoden kan tyckas förvirrande lik radiofrekvensmetoden (AgriChem, Inc., 1994). Vid radiofrekvensmetoden mäter man emellertid hur radiovågen påverkas till styrka och utbredning (Paz, A. m.fl., 2008). Skillnaden ligger således i att man vid kapacitansmetoden använder radiovågorna för att bestämma kapacitansen, vilken i sin tur ger ämnets dielektriska egenskaper, medan radiofrekvensmetoden mäter förändringar i radiovågorna till följd av ämnets dielektriska egenskaper (Paz, A. m.fl., 2008; Czichos, H. m.fl., 2006).

Ännu mer förvirrande är att man kan göra tidsmätningar för båda metoderna, även om det är olika faktorer som mäts. Hastigheten med vilken en elektromagnetisk våg, exempelvis en radiovåg, går genom ett material är beroende av dess dielektriska egenskaper (Nyström, J., 2006). Vid TDR (Time Domain Reflectometry) mäts de dielektriska egenskapernas påvekan på elektromagnetiska vågor genom att en mätsond sticks ned i provet. Tiden det tar för en våg att gå fram och tillbaka i sonden ger ett mått på de dielektriska egenskaperna hos provet, och därmed dess fukthalt (Carlsson, M., 1998). I dessa fall är det således egenskaper hos radiovågorna som påverkas, hur lång tid de tar för dem att gå genom ett prov eller en sond omgiven av materialet (Carlsson, M., 1998). Vid kapacitansmetoden mäter man i stället tiden det tar att ladda kondensatorn, vilket är ett mått på kondensatorns kapacitans (Gautz, L.D. m.fl., 2008).

MIKROVÅGSSPEKTROSKOPI

Mikrovågsspektroskopi använder elektromagnetisk strålning i mikrovågsspektret, 1 mm till 30 cm, men bygger annars på samma princip som andra spektroskopi-mätare (Nyström, J. & Dahlquist, E., 2003; Vikberg, T., 2010). Förändringar i träets fukthalt påverkar dess dielektriska egenskaper, vilka i sin tur påverkar den infallande strålningen. Strålningen uppvisar främst tre förändrade egenskaper då det träffar ett material. Dels ändras dess utbredningshastighet, och därmed också dess våglängd, när den träffar materialet, en förändring som beror på materialets dielektricitetskonstant. Den dielektriska konstanten påverkar också polariseringen hos den elektromagnetiska vågen. Dessutom absorberar vattenmolekylerna energi och börjar rotera, vilket minskar strålningens intensitet, en egenskap som beror av materialets dielektriska förlustfaktor. Det är dock främst den avtagande intensiteten och ändringen i utbredningshastighet som påverkas av fukthalten (James, W. L. m.fl., 1985). Mätningar kan göras både med en antenn som är i kontakt med materialet som skall mätas och med en antenn som befinner sig en bit ifrån materialet så att luft ryms mellan dem (Nyström, J. & Dahlquist, E., 2003).

Temperaturens inverkan på mikrovågor

Eftersom att mikrovågsspektroskopi bygger på förändringar i de dielektriska egenskaperna, vilka påverkas av temperaturen enligt tidigare beskrivning, kommer också mikrovågsfukthaltsmätarna att påverkas av temperaturen (Okamura, S., 2000). Vissa försök har visat på att temperaturens inverkan är begränsad, men mätningar har då bara gjorts vid högre temperaturer än 0 °C (Schajer, G. S. & Orhan, F. B., 2006). Då materialet är fruset kommer vattenmolekylerna inte att ha samma möjligheter att röra sig i materialet, vilket påverkar dess dielektriska egenskaper (Vikberg, T. 2010; Paz, A. M., 2010). Dielektricitetskonstanten hos is är en tjugondel av den hos vatten, varför mätningarna under fryspunkten kan vara problematiska eller omöjliga (Eriksson, L. m.fl., 2002; Merem'yanin, Y.I., 1988). Försök vid Luleå tekniska universitet har visat att det är möjligt att mäta fukthalten på fruset trä, men att kalibreringar då krävs (Lundgren, N. m.fl., 2004).

Fukthaltens inverkan på mikrovågor

Att vatten påverkar mikrovågor betydligt mer än trä ligger till grund för att metoden alls kan användas, men det innebär också att förändringarna hos vågorna blir liten då fukthalten är låg. Effekten av andra aspekter som påverkar strålningen blir därför större relativt vattnets påverkan vid låga fukthalter, varför mätningarna då ger ett större brus och blir mindre pålitliga (Vikberg, T. 2010). Flera försök har visat att metoden är användbar för högre fukthalter (över ungefär 50 %). (James, W. L. m.fl., 1985; Zhang, Y. & Ogura, Y., 2010). Andra tester har dock visat att det går bra att mäta också fukthalter på ner till 7 % och att resultaten eventuellt skulle kunna vara bättre ovanför fibermättnadspunkten än under (Nyström, J. & Dahlquist, E., 2003; Schajer, G. S. & Orhan, F. B., 2006).

Andra aspekter av mikrovågsspektroskopi

Förutom temperaturen så har också densiteten och materialets sammansättning betydelse för fukthaltsmätare baserade på mikrovågsspektroskopi (James, W. L. m.fl., 1985). Tillförlitligheten för metoden tycks god för mer homogena ämnen som kol, men flera försök har visat att noggrannheten blir lägre vid mätning på biobränslen. Prestandan kan dock förbättras om fler våglängder används. Även föroreningar påverkar mätresultaten (Eriksson, L. m.fl., 2002; Nyström, J. & Dahlquist, E., 2003).

Metoden når ungefär 15 cm ner i materialet, vilket är en fördel gentemot exempelvis NIR (beskrivs nedan) som endast når ett djup av ungefär 5 mm (Hägg, K. 2008; Nyström, J. & Dahlquist, E. 2003; Nyström, J., 2006). Det är dock ett kort avstånd om metoden ska användas för bulkmätning (Eriksson, L. m.fl., 2002), men tillräckligt för mätning på transportband vilket är möjligt då mätaren inte behöver ha kontakt med materialet (Nyström, J. & Dahlquist, E., 2003). Om låg effekt används är metoden också ofarlig för människor och material (Okamura, S., 2000).

Åsikterna kring lämpligheten hos användning av mikrovågsspektroskopi går isär. Vissa menar att ”det är förenat med en hel del problem att använda metoden på biobränsle” (Eriksson, L. m.fl., 2002), medan andra är av åsikten att den erbjuder möjligheter att med god noggrannhet mäta fukthalten på trä med hjälp av mikrovågor (Lundgren, N. m.fl., 2004; Johansson, J. & Hagman, O. & Oja, J., 2003). DediTech, vilka erbjuder en mätare för mätning på transportband baserad på mikrovågsteknik, menar att den har använts framgångsrikt för mätning av fukthalt i flis (Eriksson, L. m.fl., 2002).

Radarteknik

Radar är en teknik som länge har använts, främst för mätning av avstånd. Radartekniken arbetar med frekvenser i radio- och mikrovågsspektrat och fungerar därför i huvudsak som dessa. När begreppet radar används åsyftas i allmänhet en reflektion av den utsända vågen (Nyström, J., 2006; Wemmert, S-G. m.fl., 2011; Nilsson, O., 2011; Börjesson, B. & Boström, R., 2011). Genom att mäta tiden det tar för vågen att passera genom materialet och sedan reflekteras tillbaka, antingen till sändaren eller till en separat mottagare, kan man få information om provets egenskaper (Wemmert, S-G., Carlsson I., Erikmats, Ö. 2011; Blomqvist, H. m.fl., 1986). Den enskilt viktigaste faktorn för hur stor del av strålningen som reflekteras tillbaka är materialets fukthalt (Blomqvist, H. m.fl., 1986). När mätningar med radar genomförs är det viktigt att botten på den container som testet genomförs i reflekterar vågorna väl. Material såsom plåt lämpar sig väl för detta ändamål. Metoden kräver också att materialets djup är känt sedan tidigare. Mätningar med högre frekvenser ger högre upplösning, men vågens dämpning i materialet blir också större. En allt för hög frekvens kan således bli svår att detektera (Blomqvist, H. m.fl., 1986). Försök på sågspån med en fukthalt på 45–69 % och en frekvens på 500MHz har visat på mycket god precision. Även vid fruset material borde metoden gå bra att använda. Däremot ger den osäkra resultat då materialet är bara delvis fruset (Blomqvist, H. m.fl., 1986), men metoden är i dag otestad (Eriksson, L. m.fl., 2002; Vikberg, T., 2010).

Nära infraröd (NIR)-spektroskopi

NIR (Near Infra Red) är en teknik som bygger på att kemiska bindningar kan absorbera strålning vid vissa våglängder som är specifika för det givna ämnet. Materialet som skall mätas bestrålas med minst två olika våglängder där den ena våglängden absorberas av bindningar i vattenmolekyler och den andra våglängden varken absorberas av vatten eller biobränsle. Kvoten mellan de båda våglängderna blir då ett mått på fukthalten i biobränslet (Eriksson, L. m.fl., 2002; Nyström, J. & Dahlquist, E., 2003; James, W L., 1988).

Vid NIR-spektroskopi använder man sig av våglängder i det infraröda spektrat, 780–2 500 nm. Man kan antingen välja att använda strålning av några fasta våglängder eller att använda så kallad multivåglängdsteknik (skannande NIR). I det senare fallet arbetar mätaren över hela NIR-spektrat och väljer sedan själv vilka våglängder som är lämpligast att mäta vid. På så sätt blir systemet mindre känsligt för variationer i bränslets sammansättning (Eriksson, L. m.fl., 2002). Man kan också välja hur detektorerna ska placeras. Vid transmission (NIRT) placerar man ljuskällan som bestrålar provet på ena sidan och detektorn som mäter hur mycket strålning som passerat på andra sidan av provet. Vid reflektans (NIRR) mäts i stället hur stor andel av strålningen som reflekteras tillbaka, varför ljuskällan och detektorn placeras på samma sida av provet (Berg, M. m.fl., 2005).

NIR kan användas på ett flertal olika material, och kan även mäta olika egenskaper. Metoden används inom ett flertal olika områden såsom livsmedels-, läkemedels-, petroleum- och pappersindustrin (Nordenskjöld, C, 2006; James, W L., 1988).

Inträngningsdjup och mätmetoder

De våglängder som används vid NIR-spektroskopi tränger bara in omkring 5 mm i materialet som ska mätas, även om djupet till viss del beror på densitet, storlek och sammansättning hos provet (Hägg, K., 2008; Vikberg, T., 2010; James, W L., 1988). Metoden blir därför känslig för ytfukt, även om effekten blir mindre för mer finfördelade material (Eriksson, L. m.fl., 2002). Då mätdjupet är litet, men tekniken samtidigt är snabb, är metoden lämplig att använda på transportband (Eriksson, L. m.fl., 2002; Dahlquist, E. m.fl., 2005). Metoden går även att använda för manuella mätningar, genom att ljuskälla och detektor monteras på ett spett som sticks ner i materialet, men flera mätningar behöver då göras för att ett representativt resultat ska erhållas (Dahlquist, E. m.fl., 2005; Nyström, J. m.fl., 2002). NIR-spektroskopi går även att tillämpa för mekaniska mätningar på bil eller släp. Genom att utnyttja en optisk fiber vid mätningarna räcker det att en sond pressas ner i materialet (Berg, M. m.fl., 2005).

Temperatures, fukthaltens samt andra faktorerers inverkan vid mätning med NIR-metoden

NIR-spektrat påverkas av ett flertal olika faktorer som systemet måste kalibreras efter, däribland fukthalt och temperatur (Aulin, R. m.fl., 2008). Fruset vatten har ett annat absorptionsmaximum än flytande, det är med andra ord andra våglängder som främst absorberas om vattnet är fruset än då det är flytande. Dessutom ändras mängden strålning som absorberas då vattnet övergår i frusen form (Nyström, J. m.fl., 2002). Genom att mätaren kalibreras också för fruset material är det emellertid möjligt att mäta fukthalten när fryspunkten passerats (Eriksson, L. m.fl., 2002; Nyström, J. m.fl., 2002).

NIR-spektroskopi går bra att använda även vid högre fukthalter. Dahlquist et. al. fann att standardavvikelsen på skillnaden mellan instrumentmätvärdet och värdet från referensmetoden (torkning i ugn enligt svensk standard, SS187170) inte översteg 3,5 då tester gjordes på bland annat flis, bark och GROT för ett fukthaltsområde på 34–72 % (Dahlquist, E. m.fl., 2005). Vid låga fukthalter blir resultaten sämre, troligen eftersom att viss absorption sker av även andra molekyler än vatten vid de aktuella våglängderna, och att denna störning blir större vid låga fukthalter (Berg, M. m.fl., 2005).

Förutom temperaturen och fukthalten påverkas NIR-mätningarna också av andra faktorer. Bland annat påverkas resultaten av bränslesort och densitet, och mätarna måste därför kalibreras efter dessa (Berg, M. m.fl., 2005; Nyström, J. & Dahlquist, E. 2003; Aulin, R. m.fl., 2008).

Ytterligare aspekter av NIR-mätare

Förutom att NIR-mätare kan mäta fukthalten över ett stort intervall och kan hantera fruset material, så finns ett antal ytterligare fördelar. Mätningarna kan, vilket nämnts ovan, användas vid mätning på transportband (Nordenskjöld, C, 2006). samtidigt som även andra parametrar, däribland askhalt och energinnehåll, kan bestämmas parallellt med fukthaltsmätningen. (Hägg, K., 2008; Aulin, R. m.fl., 2008). Metoden bedöms ha ungefär samma noggrannhet som vid mätning med torkugn (Berg, M. m.fl., 2005).

NIR-mätarna är ännu så länge dyra alternativ. Dahlquist et.al. menar dock att minskade personalkostnader för provtagning och bestämning av fukthalten med ugnsmetoden bör täcka installationskostnaderna för en ett system för automatisk mätning (Dahlquist, E. m.fl., 2005). Drifts- och underhållskostnader tycks dock variera mycket mellan olika anläggningar (Hägg, K. 2008; Berg, M. m.fl., 2005). Dessutom krävs att tid läggs på kalibrering av mätarna för att resultaten ska bli goda (Hägg, K. 2008).

RÖNTGENSPEKTROSKOPI

Röntgenspektroskopi utvecklades först för medicinska syften, bland annat för att mäta kalkhalten i skelettet, men på senare tid har forskning bedrivits för att metoden även ska kunna användas för fukthaltsmätning av biobränslen (Eriksson, L. m.fl., 2002).

Röntgenspektroskopi hör till de metoder där provet belyses med strålning, i det här fallet med våglängder på 0,06 – 125 nm. Eftersom att olika ämnen, såsom vatten och trä, absorberar olika våglängder olika mycket kan man använda strålning med minst två olika våglängder för att mäta fukthalten (Vikberg, T., 2010; Hultnäs, M. m.fl., 2009). En sändare på ena sidan av provet sänder ut röntgenstrålarna, och en mottagare på andra sidan mäter hur stor del av de olika våglängderna som passerat provet (Eriksson, L. m.fl., 2002; Nyström, J. & Dahlquist, E., 2003).

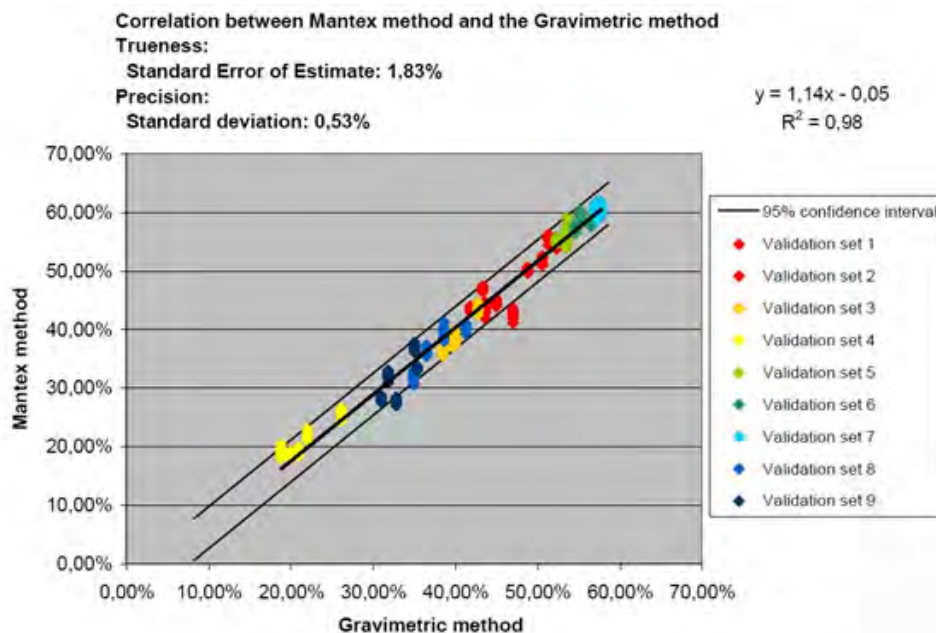
Metoden är dock känslig för flera parametrar som finns i biobränslets sammansättning, främst kolhalt, och måste därför kalibreras för olika bränslen Eriksson, L. m.fl., 2002; Nyström, J. & Dahlquist, E. 2003; Hultnäs, M. m.fl., 2000; Nordell, A. & Vikterlöf, K J., 2000).

Då metoden baseras på att två olika våglängder i röntgenspektrat används kallas den ofta för dubbelenergiröntgen (dual energy x-ray). Andra vanliga beteckningar är DPX (Dual Photon X-ray), DEXA (Dual Energy X-ray Analysis), DPA (Dual Photon Analysis) och dual energy x-ray absorbtometry (Hultnäs, M. m.fl., 2000; Nordell, A. & Vikterlöf, K J., 2000).

Fukthaltens och temperaturens inverkan på röntgenspektroskopi

Röntgenspektroskopi klarar ett brett intervall av fukthalter. Försök gjorda med hjälp av utrustningen på Regionsjukhuset i Örebro visade att klara linjära samband fanns mellan fukthalten och kvoten mellan de båda röntgenstrålarna i ett intervall på 10–75 % fukthalt (Nordell, A., Vikterlöf, K.J., 2000). Tester på en fukthaltsmätare utvecklad av det svenska företaget Mantex gav i genomsnitt en avvikelse mellan det uppmätta värdet och referensvärdet (torkning i ugn) på 1,14 procentenheter i det mätta intervallet 22–57 % fukthalt (Hultnäs, M. m.fl., 2009).

Eftersom strålningen sker inne i atomerna, blir metoden oberoende av yttre faktorer, såsom temperatur eller materialets sönderdelningsgrad. Inte heller spelar aggregationstillståndet hos materialet någon roll, det vill säga om det är i fast form, flytande form eller gasform (Fernández Cano, V., 2009; Nordell, A. & Vikterlöf, K J., 2000). Mantex menar också själva att deras mätare klarar fruset material, och skriver i produktbladet att ”tekniken är temperaturoberoende och materialet kan variera från fruset till kokande” (Mantex AB., 2011).



Figur 2.
Samband mellan resultat erhållna med röntgenmätare från Mantex och gravimetrisk metod (Hultnäs, M. m.fl., 2009).

Andra aspekter av röntgenspektroskopi

Metoden har visat sig ha god genomträngningsförmåga och kan därigenom mäta även större prover (Vikberg, T., 2010; Nordell, A. & Vikterlöf, K J., 2000). Eftersom att mätningarna med röntgenspektroskopi går fort är det möjligt att använda metoden inte bara för manuella mätningar utan även för mätningar på transportband (Nordell, A. & Vikterlöf, K J., 2000). Röntgenspektroskopi ger utslag för olika mineralmängd i provet, varför askhalten bör vara möjligt att fastställa. Metoden kan också användas för att få information om provets densitet då volymen är känd, likaså borde värmevärdet vara möjligt att fastställa med metoden (Nordell, A. & Vikterlöf, K J., 2000).

Avvikelsen mellan mätningar med röntgenspektroskopi och mätningar med torkugn ligger långt under de gränsvärden som Skogsstyrelsen satt upp, och tycks vara lika bra som, eller bättre, än flera andra i dag använda metoder (Hultnäs, M. m.fl., 2009).

Gammastrålning

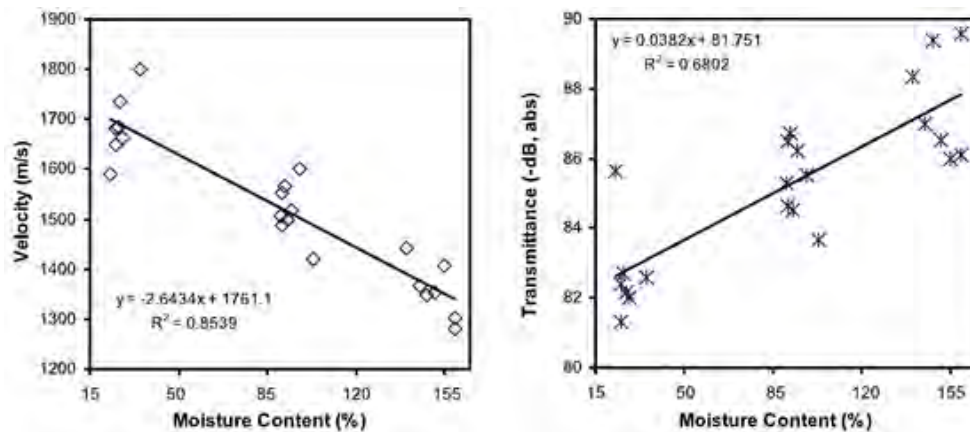
Gammastrålning är, liksom röntgen, högfrekvent strålning som påverkar, och påverkas av, enskilda atomer snarare än bindingarna mellan dem (Janz, M., 1997). Genom att placera en sändare på ena sidan om provet, och en detektor på den andra sidan, kan man mäta hur stor andel av strålningen som materialet absorberar vid olika våglängder. Därigenom kan man uppskatta fukthalten i provet (Eriksson, L. m.fl., 2002; Janz, M., 1997). Metoden kräver att man känner till materialets densitet, och att mätaren kalibreras för de material som ska mätas. Bränslen innehållande barr har dock en annan sammansättning än ved och kan därför orsaka problem vid mätningen (Eriksson, L. m.fl., 2002; Andersson, C. & Yngvesson M., 1992).

Metoden klarar av att mäta även på fruset material, men har uppvisat problem då provet har varit förorenat och har visat sig vara känslig för ytfukt (Eriksson, L. m.fl., 2002). Dessutom kräver metoden att vissa säkerhetsåtgärder vidtas på grund av att strålningen är farlig för människor (Janz, M., 1997).

Ultraljud

Fukthaltsmätning med ultraljud påminner i sättet om mätningar med strålning, men i stället för att provet belyses med elektromagnetisk strålning skickas ljudvågor mot materialet. Genom att studera hur ljudet transmitteras (då mätarna är placerade på olika sidor av provet) eller reflekteras (då mätarna är placerade på samma sida om provet) kan man skapa sig en bild av det studerade provet. Metoden används i dag vid mammografiundersökningar, men ska då ge en bild av olika vävnader (Vikberg, T., 2010).

Ultraljud tycks i dag vara en relativt obeprövad metod för mätning av biobränsle. Försök har dock visat på ett tydligt samband mellan ljudvågornas hastighet genom trävirke och dess temperatur, likaså mellan ljudvågornas genomträngningsförmåga genom virket och virkets temperatur. Ett klart samband finns också mellan ljudvågornas hastighet och genomträngningsförmåga samt virkets fukthalt, även om överensstämmelsen tycks sämre än för temperaturen. Metoden bedöms ha god potential, men måste utvecklas vidare (Vun, R. Y. m.fl., 2006; Vun, R. Y. m.fl., 2008).



Figur 3. Uppmätt samband mellan fuktkvot och ultraljudsvågornas hastighet och transmittans för virke med dimensionerna 25 × 100 × 810 mm³ och omgivande temperatur på 23 °C (Vun, R. Y. m.fl., 2008).

Neutronteknik

När neutroner träffar atomer förlorar de en del av sin fart, olika mycket beroende på vilken typ av atom som träffas. Små atomer, främst väteatomer, bromsar neutronerna mer än de större atomerna. Genom bestråla ett prov med neutroner, och sedan mäta hur stor andel av de neutroner som passerat provet som har saktats ner, kan man således få ett mått på andelen väteatomer i provet. (Eriksson, L. m.fl., 2002; Vikberg, T., 2010; Janz, M., 1997). Vattenmolekylen innehåller två väteatomer, varför högre vattenhalter kommer att ge större andel inbromsade neutroner (Skaar, C. 1988). Dock innehåller även organiska material såsom trä väteatomer, så för att metoden ska fungera måste man känna till materialets väteinnehåll (Eriksson, L. m.fl., 2002; Vikberg, T., 2010). Om andra lättare atomer såsom litium finns i provet kommer även de att ge en större andel nersaktade neutroner (Goldberg, I. m.fl., 1954) Metoden kräver också att provets densitet är känd (Eriksson, L. m.fl., 2002. Eftersom att metoden ger ett mått på mängden väteatomer i provet, och inte baseras på exempelvis absorptions i bindningarna i vattenmolekylerna som en del andra metoder, menar Berthold Technologies, vilka utvecklat en fukthaltsmätare baserad på neutronteknik, att metoden inte påverkas av materialets temperatur eller hur vattenmolekylerna dessa binds till varandra (Berthold Technologies, 2008). Metoden är också möjlig att använda för mätningar på transportband genom att kombinera den med gammateknik som kan mäta densiteten hos provet. Det har dock visat sig att barr i materialet kan ge problem med mätningarna då dessa har en annan sammansättning än ved. Utrustningen är dessutom dyr (Eriksson, L. m.fl., 2002).

KÄRNMAGNETISK RESONANS

Metoden att bestämma fukthalten med kärnmagnetisk resonans bygger på det faktum att väteatomens spinn gör den till en magnetisk dipol, en liten magnet. Om den utsätts för ett yttre magnetiska fält kommer väteatomen att ställa in sig i fältets riktning med en roterande rörelse som beror på styrkan hos fältet (Skaar, C., 1988).

Det finns två huvudsakliga tekniker för att mäta fukthalten med hjälp av kärnmagnetisk resonans. Den första utvecklades under 1970-talet och utsätter provet för ett elektromagnetiskt fält med en frekvens anpassad för syftet. Därtill utsätts provet för ett magnetiskt fält som långsamt varierar i styrka. Vid vissa kombina-

tioner av frekvens och fältstyrka kommer väteatomerna att absorbera en del av den tillförda energin (Skaar, C., 1988). Genom att studera hur stor absorptionen är för olika styrkor hos det magnetiska fältet kan man sluta sig till mängden väteatomer, och därigenom provets fukthalt (Janz, M., 1997).

Den andra metoden för att mäta fukthalten med hjälp av kärnmagnetisk resonans utvecklades strax efter den första, men gav en mycket högre precision (Merela, M. m.fl., 2009). Genom att utsätta ett prov som redan befinner sig i ett magnetiskt fält för ett kort men kraftigt elektromagnetiskt fält vinkelrätt mot det första fältet fås tillfälligt ett inducerat elektriskt fält som kan driva en ström i en spole lindad kring provet (Skaar, C., 1988; Vikberg, T., 2010; Janz, M., 1997).

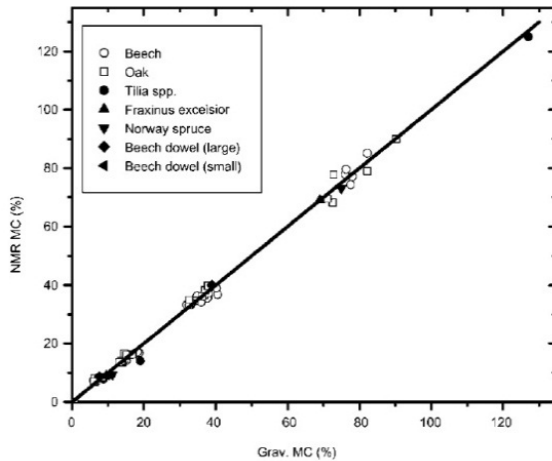
En högre fukthalt hos provet ger högre inducerad spänning i spolen, ofta kallad FID (Free Induction Decay) (Skaar, C., 1988; Merela, M. m.fl., 2009). Ökningen av FID har visat sig öka linjärt med fukthalten (Merela, M. m.fl., 2009).

Förutom kärnorna hos väteatomer i vatten ger även protoner i träet utslag med metoden. Tiden under vilken de olika partiklarna inducerar en spänning varierar dock. Vätekärnor i vatten har en relativt lång så kallad ”relaxation time” på 300 μs , medan trä har en relaxation time på ungefär 15 μs . Genom att mäta spänningen vid ett väl valt tidsintervall efter att det att provet utsatts för pulsen kan man således sälla bort effekten från träet (Merela, M. m.fl., 2009).

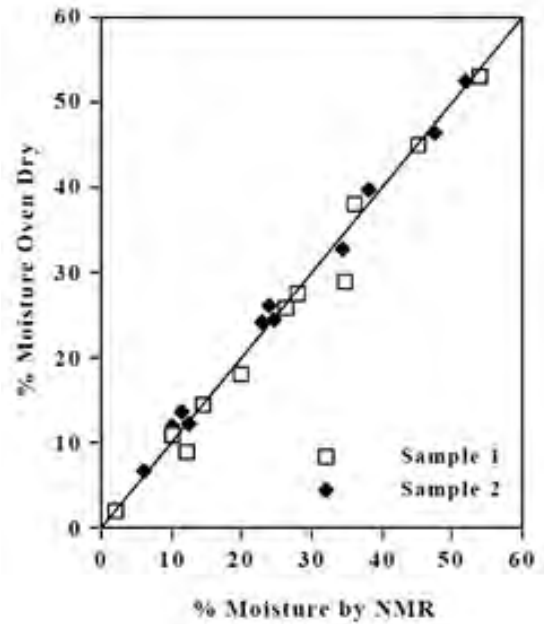
Fukthaltens och olika träslags betydelse för mätningar med kärnmagnetisk resonans

Överensstämmelsen mellan den fukthalt som uppmätts med kärnmagnetisk resonans och med torkugnsmetoden tycks god även för ett bredare fukthaltintervall, se figur 6. Olika träslag har något olika relaxation time varför mätningarna blir bättre om man mäter spänningen vid en tidpunkt anpassad efter träslaget. Som synes i figur 6, där alla mätningar gjorts 30 μs efter pulsen, blir överensstämmelsen med torkugnsmetoden god även utan dessa justeringar.

Försök att mäta fukthalten på flis vid the Lawrence Berkeley National Laboratory i USA har också de gett lovande resultat. De har studerat ett fuktintervall på 0–60 %, men inte redovisat om mängden fukt är angiven som fukthalt eller fuktkvot. De menar dock att försöken är gjorda över ”ett brett fuktintervall”, varför det är troligt att det är fukthalten som avses (Barale, P.J. m.fl., 2001).



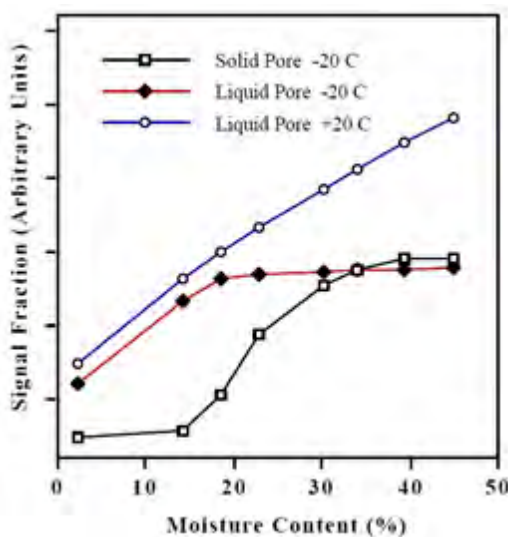
Figur 6. Fuktkvot uppmätt med kärnmagnetisk resonans (NMR) relativt fuktkvot uppmätt med torkugn för olika träslag (Merela, M. m.fl., 2009).



Figur 7. Fuktmängd uppmätt med kärnmagnetisk resonans (NMR) relativt fuktmängd uppmätt med torkugn för två olika flisprover (Barale, P.J. m.fl., 2001).

Temperatures inverkan på kärnmagnetisk resonans

Eftersom att vätekärnor ger olika utslag beroende på om dessa befinner sig i vatten eller i trä har man vid the Lawrence Berkeley National Laboratory i USA gjort tester för att se om metoden dessutom kan skilja på fruset och flytande material. Försöken visade att det går att inte bara skilja på is och flytande vatten, utan också på is och trä, vilket man inte hade förväntat sig vid försökets början. Signalen från is tycks dock inte öka linjärt med ishalten såsom signalen ökar med fukthalten för flytande vatten, vilket betyder att det kan vara svårt att mäta ishalten i provet. Man fann också att porerna innehöll flytande vatten även efter det att fryspunkten passerats. Även vid så låga temperaturer som $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ befann sig en del av vattnet i flytande form (Barale, P.J. m.fl., 2001).



Figur 8. Signalutslag för mängden fruset och flytande vatten i porer hos flis vid temperaturer på $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ och $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Barale, P.J. m.fl., 2001).

Diskussion

Det finns i dag flera lovande tekniker för fukthaltsmätning, men det flesta har åtminstone någon svaghet. Exempelvis påverkas många av metoderna då trädets fibermättnadspunkt passeras, men i de flesta fall går det att komma förbi problemet genom att kalibrera mätarna, såsom för kapacitansmetoden. För andra metoder, såsom resistansmetoden, är dock problemet större eftersom den mätta egenskapen, resistans, varierar så lite med stigande fukthalter över fibermättnadspunkten. Många metoder, inte minst flera av metoderna som baseras på att provet belyses med strålning, kan ha svårt att mäta riktigt låga fukthalter eftersom signalförändringen då blir så liten att påverkan från andra ämnen som kan finnas i provet dominerar utslaget alltför mycket.

Temperaturens inverkan tycks vara ett stort aber för många metoder, framför allt då vattnet fryser och därigenom får kraftigt förändrade egenskaper. För att mätningar ska kunna göras på fruset vatten måste man dels kunna skilja det från träet, dels kunna mäta mängden. Flera metoder kan i princip mäta även på fruset material, även om is ger mindre utslag än vatten, exempelvis resistansmetoden. Andra metoder, såsom de som baseras på mätningar av dielektricitetskonstanten, har svårare att hantera fruset materialen eftersom att den mätta parametern inte bara minskar mycket då vatten övergår till is, utan också har ungefär samma värde för is som för trä.

En del metoder som bygger på mätning av dielektricitetskonstanten, exempelvis radiofrekvensmetoden, har dock visat sig kunna fungera även vid minusgrader. Detta torde även gälla andra metoder eftersom att vatten bundet till trä fryser vid lägre temperaturer än fritt vatten. Problemet med de metoder vars mätparametrar förändras vid vattnets övergång till is är dock att det kan vara svårt att bedöma andelen vatten som frusit vid en given temperatur, varför det blir svårare att anpassa mätarna för dessa temperaturer. Röntgen-, gamma- och neutronstrålning, vilka inte påverkas av om materialet är i fast eller flytande form, torde därför ge säkrare mätningar vid minusgrader. Likaså borde kärnmagnetisk resonans, vars mätningar visserligen påverkas av om materialet är fruset eller ej, men som samtidigt kan urskilja is från både vatten och trä, klara av att hantera fruset material på ett bra sätt.

Olika träslag har olika egenskaper, vilket i många fall påverkar mätningarna. Ofta är skillnaderna inte alltför stora mellan dessa, även om kalibreringar för olika träslag ger bättre resultat. Däremot kan skillnaderna vara stora mellan olika delar av trädet; egenskaperna kan skilja sig mycket mellan exempelvis flis och bark. Likaså har barr ofta avvikande egenskaper relativt bränslet i övrigt. I många fall går det att kalibrera mätarna också för dessa material, däremot kan det bli problematiskt när materialet består av en blandning. Även om sammansättningen då är känd finns alltid risken att mätpunkten råkar domineras av den ena av blandningens komponenter, och att mätresultatet därför blir missvisande. För att undvika fel av detta slag bör man ta flera mätprover, speciellt då provet är mycket heterogent.

För att klara av att mäta korrekt trots eventuell ytfukt bör metoden klara av att mäta djupare ned i provet. I annat fall krävs det att man manuellt tar representativa prover från materialet som man sedan mäter på, likaså vid användning av mätare där provet ska föras över i en behållare inför mätningen. Mätmetoder med litet mätdjup, såsom NIR-metoden, går dock utmärkt att använda för mät-

ning på transportband eftersom att mätningar då görs på så stor del av provet att resultatet ändå blir representativt. Metoder med större mätdjup, såsom radiofrekvensmetoden, kan i stället mäta en större volym vid en enskild mätning, i vissa fall kan materialet i hela containrar mätas. Metoder med större mätdjup är därför mer lämpade för enskilda, manuella mätningar.

Vilka egenskaper hos mätmetoden som är viktiga beror till stor del på hur och till vad den ska användas. Vid mätning på transportband är det viktigt att mätningarna går fort, medan mätdjupet är av mindre betydelse. Vid manuella mätningar kanske man prioriterar att mätaren ska kunna mäta stora mängder material, eller att mätaren ska vara lätta att transportera, snarare än att den är den allra snabbaste. Om mätningarna enbart ska genomföras inomhus försvinner problemet med fruset material, något som dock är viktigt vid utomhusmätningar. Man behöver också överväga vilket material som ska mätas. Är det homogent? Är det troligt att det kan komma att ha en hög fukthalt? Ingen mätmetod är överlägsen i alla aspekter, i stället måste man som konsument ta ställning till i vilket sammanhang som mätningarna ska genomföras innan man väljer mätmetod och mätare.

Metodernas tillämpbarhet och lämplighet i fält

Vid mätningar i fält är vissa egenskaper hos mätaren viktigare än andra. Mätaren måste kunna transporteras, varför mätarna för transportband går bort. Likaså får inte metoden vara beroende av en alltför kraftig energikälla, utan den nödvändiga energimängden måste kunna rymmas i ett inbyggt batteri eller liknande. Mätaren måste också kunna mäta i ett tillräckligt stort fuktintervall. Om mätningarna ska genomföras vintertid bör metoden också klara av att mäta på fruset material. Dessutom bör mätaren klara av att mäta en inte alltför liten volym, eftersom att detta skulle kräva många mätningar för att ge ett resultat med tillräcklig tillförlitlighet.

Torkugn: Mätning med torkugnsmetoden är inte lämpligt i fält. Metoden klarar visserligen fruset material, och kan mäta även höga fukthalter, men torktiderna är alltför långa. Dessutom krävs en energikälla som kan tillgodose torkugnens energibehov under hela processen (Andersson, C. & Yngvesson M., 1992). Om mätning och vägning inte kan ske på plats kan proverna skickas till ett laboratorium för fukthaltsbestämning.

Resistansmätning: Det finns många små, transportabla resistansmätare på marknaden i dag. De flesta är dock ämnade för träindustrin och har ett mätdjup som är för litet för mätningar på biobränslen, även om det finns mätare utvecklade för flis som har betydligt större mätdjup. Resistansen förändras mycket då provet är fruset. Det går att kalibrera mätarna för dessa temperaturer, men mätarna bör användas med försiktighet på fruset material. Det går även att kalibrera dessa mätare för högre fukthalter, men noggrannheten torde bli lägre för fukthalter över fibermättnadspunkten (Andersson, C. & Yngvesson M., 1992).

Kapacitansmätning: Det finns flera portabla kapacitansmätare på marknaden i dag, avsedda för just biobränslen. De klarar av ett relativt brett fukthaltsintervall, och kan hantera tillräckligt stora prover. Eftersom att de dielektriska egenskaperna hos vatten förändras kraftigt då det fryser ska mätarna dock användas med försiktighet då temperaturen understiger fryspunkten.

Radiofrekvent spektroskopi: Radiofrekvensmetoden är relativt ny metod (Nyström, J., 2006). Den tycks klara ett brett fukthaltsintervall, och verkar inte störas nämnvärt av temperaturvariationer. Vid tester har det gått bra att mäta även på fruset material, men då de dielektriska egenskaperna ändras när vattnet fryser bör den användas med försiktighet i dessa fall. Den har ett stort mätdjup, och är därför lämplig för mätning av större volymer. Metoden är dock svårare att tillämpa för mindre, portabla mätare eftersom att avståndet mellan sändare och mottagare måste vara minst 0,5 m, gärna större. Alternativt kan en sensor som fungerar som både sändare och mottagare användas, men då krävs att provet befinner sig i en behållare som väl reflekterar strålningen. Även i detta fall krävs dock ett visst avstånd mellan mätare och behållarens botten. Radiofrekvent spektroskopi tycks därför vara en metod som främst lämpar sig för mer storskalig mätning.

Mikrovågsspektroskopi: Det finns i dag portabla mätare som baseras på mikrovågor. Försök har visat att det går att mäta både högre och lägre fukthalter med metoden. Temperaturvariationer ovanför 0 °C tycks inte utgöra något problem, däremot ska metoden användas försiktigt under fryspunkten.

Radarteknik: Radartekniken tycks både kunna mäta på högre fukthalter och på fruset material. Materialet måste dock befina sig i en behållare som reflekterar strålningen väl. Metoden tycks fungera men är obeprövad.

Nära infrarödspektroskopi: Portabla fukthaltsmätare baserade på nära infraröd spektroskopi finns på marknaden. Metoden klarar ett brett fukthaltsintervall. Absorptionsmaximet för vatten ändras då det fryser varför kalibreringar måste göras för mätningar på fruset vatten. Efter kalibrering tycks metoden gå att använda för mätningar även på fruset material. Försiktighet bör dock vidtas vid dessa mätningar. Metoden har ett litet mätdjup varför man på manuell väg måste se till att den mätta ytan är representativ för hela provet.

Röntgenspektroskopi: Röntgenspektroskopi går att använda för mätning inom ett brett fukthaltsintervall. Likaså klarar metoden av varierande temperatur både ovan och under fryspunkten. Mätare baserade på röntgenspektroskopi finns i dag på marknaden.

Gammaspektroskopi: Gammaspektroskopi går att använda för mätningar både på fruset och icke-fruset material. Strålningen är dock skadlig för människor, men metoden skulle kunna användas i fältutrustning om svag strålning används. (Andersson, C., Yngvesson M. 1992).

Ultraljudsmätning: Metoden används i dag inom sjukvården, men tillämpas då för mätningar av annat slag. Metoden bedöms ha god potential men måste utvecklas vidare.

Neutronspektroskopi: Neutronspektroskopi påverkas inte av temperatur; även fruset material går bra. Mätare för stationärt bruk baserade metoden finns i dag utvecklade (Berthold Technologies, 2008). Det finns i dag också portabla mätare baserad på tekniken, men de är främst avsedda för mätningar på asfalt och jord (Volpé, S., 2010).

Kärnmagnetisk resonans: Metoden klarar av att detektera fruset bränsle, även om mängden is kan vara svår att bestämma. Det tycks också som att metoden klarar av att mäta ett brett fukthaltsintervall. Portabla fukthaltsmätare baserade på kärnmagnetisk resonans finns i dag på marknaden, även om de inte primärt är utvecklade för just fukthaltsmätning av biobränslen (Magritek, 2011; Yarris, L., 2005).

Produkter för fukthaltsmätning på marknaden

Det finns i dag flera fukthaltsmätare på marknaden. De som presenteras i Tabell 1 ska enligt tillverkaren och/eller återförsäljaren kunna användas för biobränslen såsom flis. Samtliga presenterade mätare är också ämnade för manuell provtagning. Vissa av dem är främst avsedda för mer stationärt bruk och kan därför vara mindre smidiga att transportera, men ingen av dem är avsedd för mätning på transportband.

Samtliga uppgifter i tabellen kommer från tillverkaren/återförsäljaren utom där annat anges. Där det har varit möjligt har uppgifter hämtats från företagets hemsidor, men kompletterande uppgifter har i det flesta fall erhållits efter personlig kontakt. Det behöver därför inte med nödvändighet vara så att någon utomstående gjort de tester som lett fram till de angivna mätintervallen, noggrannhetsbedömningarna med mera, utan de kan i många fall vara företagen själva som ligger bakom uppgifterna. I några fall hänvisas dock till en rapport eller artikel där erfarenheter från utomstående granskare av produkten presenteras.

Prisuppgifter har presenterats för flera av produkterna för att ge en bild av den ungefärliga kostnaden. Ingen genomgång av flera återförsäljare har dock gjorts, så det enskilda priset kan vara missvisande ifall att det avviker mycket från produktens medelpris. Produktpriserna förändras också med tiden, varför de här presenterade priserna snabbt kan komma att bli inaktuella. Liten vikt skall därför läggas vid prisuppgifterna, i stället rekommenderas intresserade köpare att själva skapa sig en bild av marknadspriserna innan eventuellt inköp.

De angivna materialen som produkterna kan användas på har antingen presenterats på företagets hemsidor eller erhållits genom personlig kontakt. Det innebär inte att produkterna uteslutande kan användas på dessa material. I flera fall har material som ansetts irrelevanta för troliga läsare av rapporten uteslutits, i andra fall kan företagen ha valt att endast presentera exempel på material som de anser ge en representativ bild av mätarens kapacitet.

Många gånger uppger inte företagen om mätintervallet är angivet som fukthalt eller fuktkvot. I dessa fall har detta noterats i kolumnen ”Angivet fukthalt/fuktkvot?”. För flera av dessa fall kan man dock misstänka vilken fuktangivelse som det är fråga om, antingen genom att företaget har uppgivit vilken fuktangivelse det rör sig om då andra produkter har presenterats, i andra fall kan man dra slutsatser av det angivna intervallet. Så måste exempelvis intervall med en övre gräns överstigande 100 % per definition gälla fuktkvoten.

Flera produkter presenterade av olika företag, har visat sig vara samma mätare under olika namn. I vissa fall har dessa kalibrerats med ny data, i andra fall säljs de endast under ett nytt namn. En del av produkterna i sammanställningen förekommer därför flera gånger, men informationen har ändå ansetts underlätta för läsaren.

Som tidigare nämnts är sammanställning inte komplett, men kan ändå ge en bild av hur marknaden ser ut i dag.

Tabell 1.

Marknadsförda mätare för mätning av fukthalt i skogsbränsle sommaren 2011. Priser har hämtats från de källor som anges i tabell 2.

Produktnamn	Tillverkare/Återförsäljare	Pris	Material	Teknik	Fukthalt [%]	Fuktkvot [%]	Angivet fukthalt/fuktkvot?	Temperatur [°C]	Upplösning [%]	Noggrannhet [%]	Kommentar	Webbadress
BP1	ACO Automation Components		Träpellets	Kapacitans ³	3–20		Nej	0–40	0,1	0,5	Samma mätare som Humimeters BP1 men med annan kalibrering.	http://www.acoweb.de/index.php/hand-held-measurements.html
BM2	ACO Automation Components		Bark, träpellets, träflis and hyvelspån	Kapacitans ²³	5–60		Nej	0–40	0,5	1,5	Se rapport [4]. Samma mätare som Humimeters BM2 men med annan kalibrering. Klarar prover på 13 liter.	http://www.acoweb.de/index.php/hand-held-measurements.html
Moisture Tester ULTRA X 2081	a&p instruments	€4945	Flytande och fast material	Torkning med IR	0–100	Alla	–	Alla	0,001g		Klarar av prover på 350g.	http://www.apinstruments.de/36.0.html
Pandis GmbH	Pandis GmbH		Träflis	Kapacitans ¹	0–55 ¹	–	Ja ¹			0,2	Se rapport [1].	http://www.biomasse-normandie.org/old/wood_fuel_popup.php3?organisme=PANDIS
Wile Bio Moisture	Wile	5565–6500 SEK	Flis	Kapacitans ¹	Flis: 12–40, flis av avverkningsrester: 30–70		Nej				Se rapport [4]. Priser från Nordpost och Skogma	http://www.farmcomp.fi/index.php?id=169&p=51&pid=267
Wile Bio Moisture Wood	Wile	3765–3987 SEK	Träflis, sågspån, träpellets		Träflis: 15–65, pellets: 4–23, sågspån: 6–30		Nej				Priser från Nordpost och Skogma	http://www.farmcomp.fi/index.php?id=169&p=79&pid=267
MOIST BIO	hf sensor		Träflis, pellets	Mikrovågor	0–80	–	Ja	0–55		1% för finfördelat material	Klarar av att mäta 50–100 liter.	http://www.hf-sensor.de/download/moistbioeng.pdf
IST xLAB BG	hf sensor		Biogassubstans, träflis	Mikrovågor	40–100	–	Ja	18–28, annars krävs kalibrering		0,5–1,5 beroende på material	Klarar av prover på upp till 1 liter.	
Humimeter BM1 Biomass moisture meter	Schaller GmbH (Humimeter)	£1650, \$2895, £2166,31, 2625 CHF	Träpellets, träflis, bark, hyvelspån, sågspån, elefantgräs	Kapacitans ²³	5–60		Nej	0–40	0,5	1,5	Priser från Agrishop, Albuquerque, Woodfuel Standards och Grubatec. Klarar prover på 13 liter.	http://www.humimeter.com/en/Cli mate-Environment/contShow-4.html http://www.sjoberg-jonkoping.com/humimeter.htm
Humimeter BM2 Biomass moisture meter	Schaller GmbH (Humimeter)	£1998, \$3355, \$2995, £2623,28, 3270 CHF	Träpellets, träflis, bark, hyvelspån, sågspån, elefantgräs	Kapacitans ²³	5–60		Nej	0–40	0,5	1,5	Se rapport [4]. Samma mätare som BM1 men med ytterligare tillbehör. Priser från Agrishop, Amazon, Albuquerque, Woodfuel Standards och Grubatec. Klarar prover på 13 liter.	http://www.humimeter.com/en/Cli mate-Environment/contShow-3.html http://www.sjoberg-jonkoping.com/humimeter.htm
Humimeter BLL Moisture meter with insertion probe	Schaller GmbH (Humimeter)	£835, \$1563, \$1425, £1151,14, 1335 CHF	Träflis	Resistans ³	10–50	–100	Nej	0–40	0,5	2,5	Se rapport [3]. Priser från Agrishop, Amazon, Albuquerque, Woodfuel Standards och Grubatec.	http://www.humimeter.com/en/Cli mate-Environment/contShow-45.html

FS_200 HT Wood chips moisture tester	Schaller GmbH (Humimeter)	\$891, \$895, £748,52, 690 CHF	Träflis	Kapacitans ³	8–35		Nej	5–35	1,0	4	Priser från Amazon, Albuquerque, Woodfuel Standards och Grubatec.	http://www.humimeter.com/en/Product-groups/Bioenergy/FS_200-HT-Wood-chips-moisture-
FS_180 HT Wood chips moisture tester	Schaller GmbH (Humimeter)	599 CHF	Träflis		8–30		Nej	5–35	1,0	5	Pris från Grubatec	http://www.humimeter.com/en/Product-groups/Bioenergy/humimeter-BLS-Silage-moisture-
Humimeter BP1 Pellets moisture meter	Schaller GmbH (Humimeter)	\$1495, £12390,48	Träpellets, specialpellets	Kapacitans ³	3–20		Nej	0–40	0,1	0,5	Priser från Albuquerque och Woodfuel Standards.	http://www.humimeter.com/en/Product-groups/Bioenergy/humimeter-BP1-Wood-pellets-moisture-meter.php http://www.sjoberg-ionkopina.com/humimeter.html
Humimeter BLH moisture meter for shavings	Schaller GmbH (Humimeter)		Spån				Nej					http://www.humimeter.com/index.php?option=com_deeppockets&Itemid=138&id=157&lang=en&task=co
UM2000	IMAL	€7900	Spån, pellets	Torkning med IR	0–100	–	Ja	Alla		0,05	Klarar prover på 300 g.	http://www.sjoberg-ionkopina.com/imal/index.html
WTR–1N	Tanel	€375.50 (exkl. skatt)	Sågspån, flis, hyvelspån	Resistans	8–30	–	Ja	0–+50	0,1	10		http://www.tanel.com.pl/en/index.php?page=/pages/e_wtr1n.htm
WTR–1E	Tanel	€376 (exkl. skatt)	Sågspån, flis, spån	Resistans	8–50	–	Ja	0–+50	0,1	8–30 %: ±10 %, 31–50 %: ungefärliga värden		http://www.tanel.com.pl/en/index.php?page=/pages/e_wtr1e.htm
WTR–2	Tanel	€353 (exkl. skatt)	Sågspån, flis, hyvelspån	Resistans	35–75	–	Ja	0–+50	1	Enadst ungefärliga värden		http://www.tanel.com.pl/en/index.php?page=/pages/e_wtr2.htm
BIO–1	Tanel	€390 (exkl. skatt)	Sågspån, flis, hyvelspån	Resistans	8–30	–	Ja	0–+50	0,1	10		http://www.tanel.com.pl/en/index.php?page=/pages/e_bio1.htm
PEL–20	Tanel	€255 (exkl.skatt)	Sågspån, flis, hyvelspån	Resistans	10–20	–	Ja	0–+50	0,1	Enadst ungefärliga värden		http://www.tanel.com.pl/en/index.php?page=/pages/e_bio1.htm
Sawdust moisture meter	Kenobi		Sågspån, flis, hyvelspån	Resistans	8–50	–	Ja	0–+50	1		Kenobi återförsäljare åt Tanel.	http://www.kenobi.ro/en/our-products/wood-moisture-meters/sawdust-moisture-meter.html
Fuel sawdust moisture meter WTR–2	Kenobi		Sågspån, flis, hyvelspån	Resistans	35–70	–	Ja	0–+50	1		Kenobi återförsäljare åt Tanel. Samma mätare som Tanel WTR–2	http://www.kenobi.ro/en/our-products/wood-moisture-meters/sawdust-moisture-meter.html

Moisture meter BIO	Kenobi		Sågspån, flis, hyvelspån	Resistans	8–30	–	Ja	0–+50	0,1	10	Kenobi återförsäljare åt Tanel. Samma mätare som Tanel BIO-1	http://www.kenobi.ro/en/our-products/wood-moisture-meters/sawdust-moisture-meter.html
BM1	Checkline Europe	\$2695 (inkl. väg)	Träflis, bark, träpellets, elefantgräs, hyvelspån, sågspån	Kapacitans ²³	5–60	–	Ja	0–40	0,1	1,5	Samma mätare som Humimeters BM1. Priser från Checkline.	http://www.checkline-europe.com/biomass_moisture_meters/BM
BLL	Checkline Europe	\$1425	Träflis	Resistans ³	–50	–	Ja	0–40	0,5	2,5	Samma mätare som Humimeters BLL. Priser från Checkline.	http://www.checkline-europe.com/biomass_moisture_meters/BLL
BP1	Checkline Europe	\$1495	Träpellets, specialpellets	Kapacitans ³	3–20	–	Ja	0–60	0,1	1,5	Samma mätare som Humimeters BP1. Priser från Checkline.	http://www.checkline-europe.com/biomass_moisture_meters/BP1
FS200	Checkline Europe	\$895	Träflis	Kapacitans ³	–30	–	Ja	5–35	1	5	Samma mätare som Humimeters FS200. Priser från Checkline.	http://www.checkline-europe.com/biomass_moisture_meters/FS200
BM2	Checkline Europe	\$3495	Träflis, bark, träpellets, elefantgräs, hyvelspån, sågspån	Kapacitans ³	5–60	–	Ja	–20–60	0,1	1,5	Se rapport [4]. Samma mätare som Humimeters BM2. Priser från Checkline.	http://www.checkline-europe.com/biomass_moisture_meters/BM2
EVO-CHIPS	Merlin Technology		Träflis	Kapacitans ³	10–50		Nej	–10–+80	0,5		Samma mätare som Humimeters (samarbetspartners)	http://www.merlin-technology.com/en/Measuring/Wood-moisture-measurement
EVO-BIO	Merlin Technology		Träflis	Kapacitans ³	5–60				0,1	1,5	Samma mätare som Humimeters (samarbetspartners)	http://www.merlin-technology.com/en/Measuring/Wood-moisture-measurement
BL HT 70	GANN	€275 för enbart mätare	Spånskivor, sågat timmer, faner, träflis, spån	Resistans	0,1–41	5–70	Ja	–10–+50	–		Mät djup upp till 1m beroende på. Pris för mätare och tillhörande sond ca. €500–600	http://www.gann.de/default.asp?action=products&id=96
Kit BIOMASSE	Testoon	€1827 (inkl. väg, exkl. skatt)	Träflis, bark, spån	Kapacitans ²³	5–60	–	Ja	0–40	0,1	1,5	Samma mätare som Humimeters BM1.	http://www.testoon.com/products-EN-3354.html
Desktop Scanner Mantex	Mantex		Träflis	Röntgen				Alla		2	Se rapport [2].	http://www.mantex.se/#/products/desktop.aspx
DS5-AL	Suntech		Träflis, pellets			0–100	Nej		0,1			http://www.suntech.com
DS18	Suntech		Träflis, pellets, sågspån			0–100	Nej		0,1			http://www.suntech.com
CMS22	Suntech		Träflis, pellets, sågspån			0–100	Nej		0,1			http://www.suntech.com/doser.htm

Crop & Silage Moisture Tester	Best Harvest	\$339	Träfflis, ensilage, hö		0–85		Nej			1		http://www.bestharveststore.com/Silage-Hay-Crop-amp-Herb-Moisture-Testers/Crop-Silage-Moisture-Tester-p26.html
Crop & Silage Moisture Tester Less Scale	Best Harvest	\$299	Träfflis, ensilage, hö		0–85		Nej			0,5		http://www.bestharveststore.com/Silage-Hay-Crop-amp-Herb-Moisture-Testers/Crop-Silage-Moisture-Tester-Less-Scale-p128.html
Crop, Silage & Hay Moisture Tester	Best Harvest	\$389	Träfflis, ensilage, hö		0–85		Nej	25–150		0,1		http://www.bestharveststore.com/Silage-Hay-Crop-amp-Herb-Moisture-Testers/Crop-Silage-Hay-Moisture-Tester-p25.html
Crop, Silage & Hay Moisture Tester Less Scale	Best Harvest	\$349	Träfflis, ensilage, hö		0–85		Nej			0,1		http://www.bestharveststore.com/Silage-Hay-Crop-amp-Herb-Moisture-Testers/Crop-Silage-Hay-Moisture-Tester-Less-Scale-p110.html
Deluxe Crop, Silage & Hay Moisture Tester	Best Harvest	\$429	Träfflis, ensilage, hö		0–85		Nej			0,1		http://www.bestharveststore.com/Silage-Hay-Crop-amp-Herb-Moisture-Testers/Deluxe-Crop-Silage-Hay-Moisture-Tester-p58.html
Deluxe Crop, Silage & Hay Moisture Tester Less Scale	Best Harvest	\$389	Träfflis, ensilage, hö		0–85		Nej			0,1		http://www.bestharveststore.com/Silage-Hay-Crop-amp-Herb-Moisture-Testers/Deluxe-Crop-Silage-Hay-Moisture-Tester-Less-Scale-p127.html
AK30	VISILAB		Träfflis, spån	IR	0–70		Nej	5–50				http://www.visilab.fi/modelak30.html
Humitest for pellets	Domosystem	€1159	Pellets	Kapacitans	3–20		Ja	0–40	0,1	0,5	Domosystem är återförsäljare åt Humimeter.	http://www.domosystem.fr/en/products/instruments-1/biomass-water-content-measure-11/moisture-meter-humitest-pellets-30
Humitest for biomass	Domosystem	€2030	Träfflis, bark, pellets, hyvelspån, sågspån	Kapacitans	5–60		Ja	0–40	0,5	1,5	Domosystem är återförsäljare åt Humimeter. Klarar prover på 13 liter.	http://www.domosystem.fr/en/products/instruments-1/biomass-water-content-measure-11/moisture-meter-humitest-for-biomass-23
Humitest for biomass plus	Domosystem	€2529	Träfflis, bark, pellets, hyvelspån, sågspån	Kapacitans	5–60		Ja	0–40	0,5	1,5	Domosystem är återförsäljare åt Humimeter.	http://www.domosystem.fr/en/products/instruments-1/biomass-water-content-measure-11/moisture-meter-humitest-for-biomass-plus-24

¹ Källa: Daugbjerg Jensen, P., Hartmann, H., Böhm, T., Temmerman, M., Rabier, F., Morsing, M. 2006. *Moisture content determination in solid biofuels by dielectric and NIR reflection methods*. Biomass and Bioenergy. Volume ² Volpé, Sylvain. 2010.

Moisture meters for forest feedstocks. FPInnovations. ³ Bo-E. Sjöberg, <http://www.sjoberg-jonkoping.com/>, återförsäljare åt Humimeter. Personlig kontakt. 2011.

Tabell 2.
Priskällor.

Agrishop	http://www.agri-shop.co.uk/bio-energy--wood-chippers-303-c.asp
Albuquerque	http://www.abqindustrial.net/store/moisture-meters-c-64.html?zenid=53a53726de401c00f016ce997ad8d686
Grubatec	http://www.woodfuelstandards.co.uk/catalog/moisture-meters
Nordpost	http://www.nordpost.se/
Skogma	http://skogma.se/Servlet?page=1&setframeinfo=true&client=6&sort=88&parent=s1108
Amazon	http://www.amazon.com/industrial-scientific-supplies/b/ref=topnav_storetab_indust?ie=UTF8&node=16310091
Checkline	http://www.checkline.com/biomass_moisture_meters/

Referenser

- AgriChem, Inc. 1994. Grain Moisture Measurement with Capacitance Type Devices. <http://www.grainprep.com/pdfs/feedgrain297.pdf>. Hämtad: 2011-07-13.
- Andersson, C. & Yngvesson, M. 1992. Tekniker och metoder att i fält mäta fukthalt i bränsleflis. Vattenfall Research. Södra.. ISSN 1100–5130.
- Aulin, R., Hessling, K., Karlsson, M. & Tryzell R. 2008. Automatiserad fukthaltsmätning vid bränslemottagning. Värmeforsk. Rapport nr 1058. ISSN 1653–1248.
- Barale, P.J., Fong, C. G., Green, M. A., Luft P. A., McIntruff, A. D., Reimer, J. A. & Yahnke, M. 2001. The Use of a Permanent Magnet for WaterContent Measurements of Wood Chips. Lawrence Berkeley National Laboratory, USA. Office of Industrial Technologies, United States Department of Energy.
- Berg, M., Karlsson, M. Tryzell, R. & Wiklund S. E. 2005. Automatisk fukthaltsbestämning av biobränslen med NIR-metoden. Värmeforsk. Rapport nr 935. ISSN 1653–1248.
- Berthold Technologies. 2008. LB 350. Hämtad: 2011-07-04. http://www.bertholdtech.com/ww/en/pub/prozessmesstechnik/products_new/lb_350.cfm.
- Björklund, L. 1988. Vägning av massaved med torrhaltsbestämning. Institutionen för virkeslära, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. ISSN 0348-4599. ISBN 91-576-3310-X.
- Blomqvist, H., Bruch, H. & Nylinder, M. 1986. Radarteknik för mätning av torrhalt i sågspån. Institutionen för virkeslära, Sveriges lantbruksuniversitet. ISBN 91-576-2667-7. ISSN 0348–4599.
- Carlsson, M. 1998. Sources of Errors in Time Domain Reflectometry Measurements of Soil Moisture. Department of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences. ISSN 0282–6569.
- Czichos, H., Saito, T. & Smith, L. 2006. Springer Handbook of materials measurement methods. Springer Science+Buisness Media, Inc. Würzburg, 2006.. ISBN-10: 3-540-20785-6. ISBN-13: 978-3-540-20785-6.
- Dahlquist, E., Axrup, L., Nyström, J., Thorin, E. & de la Paz. A. 2005. Automatisk fukthaltsmätning på biobränslen med NIR samt radiofrekvent spektroskopi. Värmeforsk. Rapport nr 936. ISSN 1653–1248.
- Daugbjerg Jensen, P., Hartmann, H., Böhm, T., Temmerman, M., Rabier, F. & Morsing, M., 2006. Moisture content determination in solid biofuels by dielectric and NIR reflection methods. Biomass and Bioenergy. Volume 30, issue 11, pages 935–943.
- Eriksson, L., Njurell, R. & Ehleskog, R. 2002. Fukthaltsmätning av biobränsle. Värmeforsk. Rapport nr 773. ISSN 0282–3772.
- Fernández Cano, Víctor. 2009. Determination of Moisture Content in Pine Wood Chips with Dual Energy X-ray Absorptiometry. Department of Forest Products, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala . ISSN 1654–1367.
- Forsén, H. & Tarvainen, V. 2000. Accuracy and functionality of hand held wood moisture content meters. Technical Reserch Centre of Finland (VTI). VTI Publications 420. ISBN 951-38-5582-1. ISSN 1455–0849.
- Gautz, L. D., Easton Smith, V. & Bittenbender, H. C., 2008. Measuring Coffee Bean Moisture Content. Engineer's Notebook. College of Tropical Agriculture and Human Resources. University of Hawai'i. Mānoa.

- Goldberg, I., Trescony, L. J., Campbell, Jr, J. S. & Whyte, G. J. 1954 Measurement of moisture content and density of soil masses using radioactivity methods. *Clay and clay minerals*, vol 3:516-548.
- Grahn, J. 1997. Electrical Measurement of Moisture Content in Wood: Influence of Specimen Geometry and Electrode Configuration. Avdelningen för byggnads-material, Kungliga Tekniska Högskolan. ISSN 0349-5752.
- Hultnäs, M., Kullenberg, R., Persson, E. & Nylinder, M. 2009. Determination of Moisture content in spruce woodchips by dual energy x-ray absorptiometry. Proceeding från International Mechanical Pulping Conference 2009, 1-4 juni i Sundsvall.
- Hägg, K. 2008. Mätning av träddelar och flis på Dävamyran, Umeå energi. Arbetsrapport. Sveriges Lantbruksuniversitet. ISSN 1401-1204.
- James, W L. 1988. Electric Moisture Meters for Wood. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- James, W. L., Yen, Y-H. & King, R. J. 1985. A Microwave Method for Measuring Moisture Content, Density, and Grain Angle of Wood. United States Department of Agriculture, University of Wisconsin . Research NoteFPL-0250.
- Janz, M. 1997. Methods of measuring the moisture diffusivity at high moisture levels. Division of Building Materials, Lund Institute of Technology. ISSN: 0348-7911 TVBM. ISRN: LUTVDG/TVBM-97/3076-SE(1-73).
- Johansson, J., Hagman, O. & Oja, J. 2003. Predicting moisture content and density of Scots pine by microwave scanning of sawn timber. *Computers and Electronics in Agriculture*. Volume 41, pages 85-90.
- Larsson, B., Bengtsson, B. & Gustafsson, M., 2002. Non Destructive Detection of Decay in Living Tree. Department of Electrosience. Lund Institute of Technolog.
- Lundgren, N., Hagman, O., Johansson, J., 2004. Calibration for frozen/non-frozen conditions when predicting moisture content and density distribution of wood by microwave scanning of sawn timber. Forest Products Society Annual meeting, Forest Products Society 58th Annual meeting.
- Magritek. Portable NMR. <http://www.magritek.com/portable.html>. Hämtad: 2011-07-14.
- Mantex AB. Hämtad: 2011-06-30. DesktopScanner Mantex. Produktblad.
- Merela, M., Oven., Serša, I. & Mikac, U., 2009. A single point NMR method for an instantaneous determination of the moisture content of wood. *Holzforschung*. Volume 63, pages 348-351.
- Merem'yanin, Y. I. 1988. Accurate wood-chip water-content measurement. *Measurement technics*. Volume 31, number 3, page 296-298.
- Nationalencyklopedin, NE (Börjesson, B., Boström, R.). Radiovågor. Hämtad 2011-07-01. <http://www.ne.se/lang/radiov%C3%A5gor>.
- Nationalencyklopedin, NE (Nilsson, O.). Mikrovågsteknik. Hämtad 2011-07-01. <http://www.ne.se/lang/radar>.
- Nationalencyklopedin, NE (Wemmert, S-G., Carlsson I., Erikmats, Ö.). Radar. Hämtad 2011-07-01. <http://www.ne.se/lang/mikrov%C3%A5gsteknik>.
- Nordell, A. & Vikterlöf, K.J., 2000. Mätning av fukt i biobränslen med dubbelenergiröntgen. *Värmeforsk. Rapport nr 689*. ISSN 0282-3772.
- Nordenskjöld, C. 2006. Förbättrad kvalitetskontroll avbränsle vid Idbäckens kraftvärmeverk. Examensarbete, Umeå universitets tekniska högskola.

- Nyström, J. & Dahlquist, E., 2003. Methods for determination of moisture content in wood chips for power plants—a review. *Fuel*. Volume 83, issues 7–8, pages 773–779.
- Nyström, J., 2006. Rapid measurements of the moisture content of biofuel. Department of Public Technology, Mälardalen University. ISSN 1651–4238. ISBN 91-85485-08-X.
- Nyström, J., Axrup, L. & Dahlquist E., 2002. Långtidsutvärdering av nya on-line fukthaltsmätare förbiobränsle. *Värmeforsk. Rapport nr 763*. ISSN 0282–3772.
- Okamura, S. 2000. Microwave Technology for Moisture Measurement. *Subsurface Sensing Technologies and Applications*. Volume 1, number 2.
- Onysko, D.M., Schumacher, C. & Garrahan, P. 2008. Field measurements of moisture in building materials and assemblies: pitfalls and error assessment. *Journal of Building Enclosure Design*, summer/fall 2008, p 11-26.
- Paz, A., Nyström J. & Dahlquist E. 2008. Water content measurement of biofuel with RF directly in trailers truck containers. *Värmeforsk. Rapport nr 1069*. ISSN 0282–3772.
- Paz, A., Thorin, E. & Topp, C., 2010. Dielectric mixing models for water content determination in woody biomass. *Wood Sci Technol*. Volume 45, pages 249–259.
- Paz, A.M. 2010. The dielectric properties of solid biofuels. Mälardalen University. ISSN 1651-4238. ISBN 978-91-86135-94-2.
- Pfaff, F. & Garrahan P. 1986. New temperature correction factors for the portable resistance-type moisture meter. *Technical Note. Forest Products Journal*. 36(3): 28–30.
- Rosenkilde, R., 2003. Elektriska egenskaper hos trä. Institutet för träteknisk forskning, Stockholm. TRÄTEK. ISSN 1102-1071. ISRN TRÄTEK-R--03/037-SE.
- Schajer, G. S., Orhan, F. B. 2006. Measurement of wood grain angle, moisture content and density using microwaves. *Holz als Roh- und Werkstoff*. Volume 6, Pages 483–490.
- Skaar, C. 1988. *Wood-Water Relations*. Springer-Verlag. 1988, Tyskland. ISBN 0-387-19258-1/3-540-19258-1.
- The Forestry Commission. 2010. Trial of portable moisture meters for assessing moisture content in wood chips and roundwood. The Forestry Commission. Storbritannien.
- Tomppo, L., Tiitta, M., Laakso, T., Harju, A., Venäläinen, M. & Lappalainen, R. 2009. Dielectric spectroscopy of Scots pine. *Wood Science Technology*. Volume 43. Issues 7–8, page 653–667.
- Vikberg, T. 2010. Fuktkvotsmätare för träindustrin: En kartläggning av metoder för mätning av fuktkvoter i intervallet 7–18 fuktkvotsprocent. Avdelningen för Träteknologi, Luleå tekniska universitet. ISSN 1402-1536. ISBN 978-91-7439-198-5.
- Virkesmätningrådet. 1999. Allmänna och särskilda bestämmelser för mätning av biobränslen. VMR. Internetupplaga. 21 s.
- Volpé, S. 2010. Moisture meters for forest feedback. FPIInnovations. Arbetsrapport.
- Vun, R. Y., Bhardwaj, M. C., Hoover, K., Janowiak, K., Kimmel, J. & Worley, S. 2006. Development of Non-contact Ultrasound as a Sensor for Wood Moisture Content. ECNDT 2006 - Tu.4.2.3, 7 s.
- Vun, R. Y., Hoover, K., Janowiak, J., Bhardwaj, M. 2008. Calibration of non-contact ultrasound as an online sensor for wood characterization: Effects of temperature, moisture, and scanning direction. *Applied Physics A*. Volume 90, pages 191–196.

- Yarris, L., 2005. Portable High-Resolution NMR Sensor Unveiled at Berkely. Research News. April 8, 2005.
- Young, H.D. & Freedman, R.A., 2008. University Physics. 12:e upplagan. Pearson Addison-Wesley, 2008, USA. ISBN-10 0-321-62327-4. ISBN-13 978-0-321-62327-0.
- Zhang, Y., Ogura, Y., 2010. Density-Independent High Moisture Content Measurement Using Phase Shifts at Two Microwave Frequencies. Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy. Volume 44, pages 163–167.

Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2010

2010	
Nr 700	Hannerz, M. & Cedergren, J. 2010. Attityder och kunskapsbehov – förädlad skogsodlingsmaterial. 56 s.
Nr 701	Rytter, R.M. 2010. Detektion av röta i bokved – resultat av mätthöjd, riktning och tidpunkt. 10 s.
NR 702	Rosvall, O. & Lundström, A. 2010. Förädlings effekter i Sveriges skogar - kompletterande scenarier till SKA-VB 08. 31 s.
Nr 703	von Hofsten, H. 2010. Skörd av stubbar – nuläge och utvecklingsbehov. 18 s.
Nr 704	Karlsson, O. & Nisserud, F. 2010. Utveckling av en dynamisk helfordonsmodell för skotare. 73 s.
Nr 705	Eliasson, L. & Johannesson, T. 2010. Förröjningens påverkan på grotskotning – En studie av produktivitet, ekonomi, grotkvalitet hos SCA skog. 9 s.
Nr 706	Rytter, L. & Stener L.G. 2010. Uthållig produktion av hybridasp efter skörd – Slutrapport 2010 för Energimyndighetens projekt 30346. 23 s.
Nr 707	Bergkvist, I. 2010. Utvärdering av radförbandsförsök anlagda mellan 1982-1984. 16 s.
Nr 708	Hannrup, B. & Jönsson, P. 2010. Utvärdering av sågmotorn F11-iP med avseende på uppkomsten av kapsprickor – en jämförande studie. 28 s.
Nr 709	Iwarsson Wide, M., Belbo, H. 2010. Jämförande studie av olika tekniker för skogsbränsleuttag i mycket klen skog Skogsbränsleuttag med Naarva-Gripen 1500-40E och Log Max 4000, Mellanskog, Simeå 28 s.
Nr 710	Englund, M., Löfroth, C. & Jönsson, P. 2010. Inblandning av rött ljus i LED-lampor – Laboratoriestudier av hur människor uppfattar tre olika ljusblandningar. 7 s.
Nr 711	Mullin, T.J., Hallander, J., Rosvall, O. & Andersson, B. 2010. Using simulation to optimise tree breeding programmes in Europe: an introduction to POPSIM™. 28 s.
Nr 712	Jönsson, P. 2010. Hydrauliskt dämpad hytt – ett lyft för arbetsmiljön? 14 s.
Nr 713	Eriksson, B. & Sonesson, J. 2010. Tredje generationen skogsbruksplaner – Slutrapport DELproj 4 – Arbetsgång vid planläggning. 23 s.
Nr 714	Sonesson, J. 2010. Nya arbetssätt i skogsbruksplanläggning. 20 s.
Nr 715	Eliasson, L. 2010. Huggbilar med lastväxlarssystem. 13 s.
Nr 716	Eliasson, L. & Granlund P. 2010. Krossning av skogsbränsle med en stor kross – En studie av CBI 8400 hos Skellefteå Kraft. 6 s.
Nr 717	Stener, L.G. 2010. Tillväxt, vitalitet och densitet för kloner av hybridasp och poppel i sydsvenska försök. 46 s.
N 718	Palmquist, C. & Sandberg, J. & Vibrationskomfort och ergonomi på förarstolar i skotare. 100 s.
Nr 719	Thor, M. 2010. Avverkning och hantering av virke och avverkningsrester vid angrepp av tallvedsnematoder i svensk skog. 42 s.
Nr 720	Fogdestam, N. 2010. Studier av Biotassu Griptilt S35 i gallring. 11 s.
Nr 721	Brunberg, T. 2010. Bränsleförbrukningen i skogsbruket. 12 s.
Nr 722	Brunberg, T. 2010. Rätt begrepp. 25 s.
Nr 723	Löfroth, C. & Svenson, G. 2010. ETT – modulsystem för skogstransporter – Delrapport för de två första åren. 130 s.
Nr 724	Rytter, L. & Lundmark, T. 2010. Slutrapport för Energimyndighetens projekt 30658. Trädslagsförsök med inriktning på massaproduktion. – Tree species trial with emphasis on biomass production. 24 s.
Nr 725	Rytter, R.M. & Högbom, L. 2010. Slutrapport för Energimyndighetens Projekt 30659. Markkemi och fastläggning av C och N i produktionsinriktade bestånd med snabbväxande trädslag – Soil chemistry and C and N sequestration in plantations with fast-growing tree species. 64 s.
Nr 726	Brunberg, T., Eliasson, L. & Lundström, H. 2010. Skotning av färsk och hyggestorkad grot. 15 s.
Nr 727	Enström, J. 2010. Inlandsbanans potential i Sveriges skogsbränsleförsörjning. 34 s.

Nr 728	Häggström, C. & Thor, M. 2010. Human factors in forest harvester operation. 25 s.
Nr 729	Westlund, K. 2010. WP-5100 Alternative logistics concepts fitting different wood supply situations and markets. 50 s.
Nr 730	von Hofsten, H. Jämförelse mellan CeDe stubbrytare och Pallari 140. 9 s.
Nr 731	Berg, R., Bergkvist, I., Lindén, M., Lomander, A., Ring, E. & Simonsson, P. Förslag till en gemensam policy angående körskador på skogsmark för svenskt skogsbruk 18 s.
Nr 732	Jönsson, P. 2010. Stolar och armstöd – Ergonomisk granskning enligt European ergonomic and safety guidelines for forest machines. 37 s.
2011	
Nr 733	Rytter, L., Johansson, T., Karačić, A., Weih, M. m.fl. 2011. Orienterande studie om ett svenskt forskningsprogram för poppel. 210 s.
Nr 734	Hannerz, M. & Fries, C. 2011. Användningen av webbtjänsterna Kunskap Direkt och Skogsskötselserien. – En enkätundersökning bland skogsbrukets fältpersonal. 48 s.
Nr 735	Andersson, M. & Berglund, A. 2011. Test av pekskärmsmobiler. 22 s.
Nr 736	Löfgren, B., Englund, M., Fogdestam, N., Jönsson, P., Lundström, L. & Wästerlund, I. 2011. Spårdjup och vibrationer för banddrivna skotare Lightlogg C och ProSilva. 32 s.
Nr 737	Brunberg, T. 2011. Studie av flerträdshantering i slutavverkning med John Deere 1470D hos SCA Skog hösten 2010. 8 s.
Nr 738	Fogdestam, N. & Lundström, H. 2011. Studier av Offset Crane Concept, OCC hos Kjellbergs Logistik & Teknik i Hällefors. 15. S.
Nr 739	Enström, J. & Röhfors, G. 2011. Effektivare järnvägstransporter med större fordon – En förstudie. 28 s.
Nr 740	Iwarsson Wide, M. & Fogdestam, N. 2011. Jämförande studie av olika uttagsmetoder av massaved och skogsbränsle i klen gallring. – Energived- och massavedsuttag med LOG MAX 4000B, Stora Enso Skog, Dalarna. 36 s.
Nr 741	Brunberg, T. 2011. Uppföljning av utbildningseffekten hos maskinlag hos SCA Skog AB 2010. 8 s.
Nr 742	Hannrup, B., Andersson, M., Bhuiyan, N., Wikgren, E., Simu, J., Skog, J. 2011. Vinnova_Slutrapport_P34138-1_101221. – Slutrapport för projekt ”Beröringsfri diametermätning i skördare – utveckling av mätsystem och tester i produktionsmiljö”. 84 s.
Nr 743	Åström, H. 2011. Förbättring av arbetsförhållande i skördare. Improvement of working conditions in harvester. 126 s.
Nr 744	Cheng, C. 2011. Forwarder. Modellering av åkkomforten i en skotare. Modeling the Ride Comfort of a Forwarder. 93 s.
Nr 745	Jonsson, J. 2011. Dynamisk däckmodellering och markinteraktion för skogsmaskiner. Dynamic tire modeling and soil interaction regarding forestry machines. 52 s.
Nr 746	Grönqvist, D. 2011. Konzeptutveckling av hybriddrivlina för skogsmaskiner. Concept development of a hybrid powertrain for forest machines. 180 s.
Nr 747	Bhuiyan, N., Arlinger, J. & Möller J.J. 2011. Utveckling och utvärdering av en standardiserad metod för volymbestämning och stamräkning vid avverkning med flerträdshanterande skördaraggregat. 34 s.
Nr 748	Brunberg, T. & Hagos Lundström. 2011. Studier av TimBear Lightlogg C i gallring hos Stora Enso Skog våren 2011. 9 s.
Nr 749	Eliasson, L., Granlund, P., Johannesson, T. & Nati, 2011. Prestation och bränsleförbrukning för tre flishuggar. 15 s.
Nr 750	Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Hannrup, B. & Nordström, M. m.fl. 2011. D3.5-Methods and models for relating wood properties and storage conditions to process efficiency and product quality. 67 s.
Nr 751	Mohtashami, S. 2011. Planning forest routes for silvicultural activities using GIS based techniques – A case study of Selesjö in Östergötland, Sweden. 39 p.
Nr 752	Bergkvist, I. & Fogdestam, N. 2011. Slutrapport – Teknik och metoder vid energiuttag i korridor. 26 s.
Nr 753	Westlund, K., Jönsson, P., Flisberg, P. & Rönnqvist, M. 2011. Skotningsplanering – SPORRE- och GROTsporprojektet. 22 s.

Nr 754	Sjöström, L. 2011. Tekniska principer för fukthaltsmätning av skogsbränsle – Med en översikt av marknadsförda utrustningar 34 s.
Nr 755	Eliasson, L. & Lundström, H. 2011. Skotning av färsk och hyggestorkad grot variabelt lastutrymme. 11 s.
Nr 756	Möller, J.J., Arlinger, J., Barth, A., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2011. Ett system för beräkning och återföring av skördarbaserad information till skogliga register och planeringssystem. 56 s.
Nr 757	Hannrup, B., Bhuiyan, N. & Möller, J.J. 2011. Utvärdering av ett system för beräkning och återföring av skördarbaserad information till skogliga register och planeringssystem. 72 s.