



# Arbetsrapport

Från Skogforsk nr. 915–2016

## Radarteknik för fukthaltsmätning – en förstudie

Radar technology for measuring moisture content  
– a preliminary study

---

Patrik Ottosson, Daniel Andersson, Radarbolaget, Lars Fridh, Skogforsk

# Arbetsrapport

Från Skogforsk nr.915-2016

I serien Arbetsrapport finns bakgrundsmaterial, metodbeskrivningar, resultat, analyser och slutsatser från både pågående och avslutad forskning.

## Titel:

Radarteknik för fukthaltsmätning  
– en förstudie.

Radar technology for  
measuring moisture content  
– a preliminary study.

## Bildtext:

Mätning av fukthalt med  
radarutrustning på helt  
lastbillass med flis.

## Ämnesord:

Fukthaltsmätning, portabla  
fukthaltsmätare, fukthalt,  
stamvedsflis, grottflis.

Moisture measurement,  
portable moisture meters,  
moisture content,  
stem wood chips,  
logging residue chips.

## Redigering och formgivning:

Ingegerd Hallberg

© Skogforsk 2016

ISSN 1404-305X



# SKOGFORSK

Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala

Tel: 018-18 85 00 Fax: 018-18 86 00

skogforsk@skogforsk.se

skogforsk.se



**Patrik Ottosson**, teknologie doktor inom mätteknik. Han är verkställande direktör och projektledare på Radarbolaget. Företaget utvecklar radarsystem som används i svåra miljöer och i kritiska processer inom skogs-, stål- och mineralindustrin



**Daniel Andersson**, högskolingenjör inom elektronik. Han är utvecklare och projektledare på Radarbolaget för utveckling av radarsystem och olika kundprodukter.



**Lars Fridh**, jägmästare, forskare inom skogsbränsleprogrammet på Skogforsk sedan 2011. Arbetar huvudsakligen med mätning av skogsbränslets kvantitet och kvalitet samt skogsbränslets produkttegenskaper och specifikation.

## Abstract

By least squares fitting of a polynomial of the third degree, moisture content in arbitrary wood fuel can be computed from the dielectric constant with an accuracy of  $\sigma = 3$  percentage points. If the wood fuel is separated into frozen ( $< 0^{\circ}\text{C}$ ) and temperate ( $> 0^{\circ}\text{C}$ ), and temperature and dry density are modelled, accuracy is increased to  $\sigma = 1.8$  percentage points.

However, accuracy would be further increased if wood fuels (density and fraction-dependent) and temperature (1 degree of separation, perhaps finer around  $\pm 0^{\circ}\text{C}$ ) were modelled separately. This would produce one isoline (curve) per temperature and wood fuel. The potential accuracy would be  $3\sigma = 4.5$  percentage points ( $\sigma = 1.5$ ), so 99.73% ( $3\sigma$ ) of all samples could be determined with greater accuracy than 4.5 percentage points. The isolines method would also largely eliminate gross errors ( $> 3\sigma$ ) because these are due to faulty measurements and relationships.

Tests were carried out with smaller sample boxes (88 litres) and new antennas with a centre frequency of 0.75 GHz. These antennas worked well. When measuring through trucks, the relationship would be the same as for measuring sample boxes, but there is a risk of possible differences, such as attenuated signals and different wall materials of the truck.



## Förord

Denna rapport baseras på ett samarbete Skogforsk och Radarbolaget inom ramen för projektet 29935 "Mätmetoder för betalningsgrund", moment Radar. Projektet är finansierat av medel från ESS-programmet med följande finansiärer: Energimyndigheten, skogsnäringen och värmeverksbranschen. Studien syftar till att vidareutveckla en matematisk modell där dielektricitetskonstant och förlustfaktor från radiolänkmätningar kopplas till fukthalten i trädbränsle. Radarbolaget har tidigare genomfört ett projekt, administrerat inom Energiforsk, med namnet SNABB. Denna rapport ska ses som en fortsättning på tidigare arbeten.

## Sammanfattning

Genom minsta kvadrat-anpassning av ett polynom av tredje graden kan fuktalten i godtyckligt trädbränsle beräknas utifrån den så kallade dielektricitetskonstanten med en noggrannhet på  $\sigma=3$  procentenheter. Om trädbränslet delas upp i fruset ( $<0^{\circ}\text{C}$ ) och tempererat ( $>0^{\circ}\text{C}$ ) samt att temperatur och torrdensitet modelleras kan noggrannheten öka till  $\sigma=1,8$  procentenheter. Noggrannheten torde dock kunna öka ytterligare genom separat modellering av olika trädbränslen (densitets- och fraktionsberoende) och olika temperaturer (1 grads uppdelning, kanske finare runt  $\pm 0^{\circ}\text{C}$ ). Resultatet skulle då bli en isolinje (kurva) per temperatur och trädbränsle. En potentiell noggrannhet skulle kunna vara  $3\sigma=4,5$  procentenheter ( $\sigma=1,5$ ), vilket innebär att 99,73% ( $3\sigma$ ) av alla prover kan mätas med högre noggrannhet än 4,5 procentenheter. Metoden med isolinjer skulle också till stor del eliminera grova fel ( $>3\sigma$ ) eftersom dessa verkar bero på felaktiga temperaturmätningar och -samband.

Testerna gjordes på mindre provlådor (88 liter) och med nya antenner som hade en mittfrekvens på 0,75 GHz. Dessa fungerade bra. Vid mätning genom lastbilar bör sambanden vara desamma som för mätning på provlådor, men man bör ta höjd för eventuella skillnader, exempelvis svagare signaler och annorlunda väggmaterial i lastbil.

## Summary

By least squares fitting of a polynomial of the third degree, moisture content in arbitrary wood fuel can be computed from the so-called dielectric constant with an accuracy of  $\sigma=3$  percentage points. If wood fuel is separated into frozen ( $<0^{\circ}\text{C}$ ) and temperate ( $>0^{\circ}\text{C}$ ), and temperature and dry density are modeled, accuracy is increased to  $\sigma=1.8$  percentage points. Accuracy would however be further increased through separate modeling of wood fuels (density and fraction-dependent) and temperature (1 degree of separation, perhaps finer around  $\pm 0^{\circ}\text{C}$ ). Result would be one isoline (curve) per temperature and wood fuel. A potential accuracy would be  $3\sigma=4.5$  percentage points ( $\sigma=1.5$ ), which means that 99.73% ( $3\sigma$ ) of all samples can be determined with higher accuracy than 4.5 percentage points. The method of isolines would also largely eliminate gross errors ( $> 3\sigma$ ) because these errors refer to faulty measurements and relationships.

Tests were carried out with a smaller sample boxes (88 liters) and with new antennas that had a center frequency of 0.75 GHz. These antennas worked well. When measuring through trucks, relationship would be the same as for measuring sample boxes, but one should be aware of possible differences, such as attenuated signals and different wall materials of the truck.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Energieffektivisering för fjärrvärmeanläggningar</b>	<b>6</b>
1.1	Mål och syfte	6
<b>2</b>	<b>Material och utrustning</b>	<b>7</b>
2.1	Trädbränsle och referensmätning	7
2.2	Radardata och radionlänkmätning	7
<b>3</b>	<b>Metoder</b>	<b>9</b>
3.1	Uppmätning av dielektricitetskonstanten	9
3.2	Vatten, IS och mikrovågor	9
<b>4</b>	<b>Mätning och beräkning</b>	<b>10</b>
4.1	Mätningar	10
4.2	Samband och beräkningar	13
4.3	Modellering från dielektricitetskonstant	15
4.4	Modellering från Dämpning	17
<b>5</b>	<b>Modellering av temperatur och radardata</b>	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>Diskussion och framtid</b>	<b>21</b>
6.1	Dielektricitetskonstant och dämpning	21
6.2	Densitet och temperatur	21
6.3	Fruset och tempererat	21
6.4	felkällor	22
6.5	Viktprocent och volymprocent	22
6.6	fortsatt undersökning och målbild	22



# 1 Energieffektivisering för fjärrvärmeanläggningar

Det svenska fjärrvärmesystemet försörjs med värme från värmeverk eller kraftvärmeverk, de senare producerar även elektricitet. Energiomvandlingen sker genom förbränning eller användning av annan energikälla för uppvärmning av ett värmemedium, vanligtvis vatten. Det finns idag 580 fjärrvärmenät i Sverige, varav 125 är större biobränsleeldade anläggningar. Biobränslet utgörs företrädesvis av fyra huvudsorter av trädbränsle: returträ, GROT (grenar och toppar), bark och cellulosafälls.

Fukthalten i trädbränsle kan bestämmas med radar och radiovågor genom direkt, snabb, oförstörande, beröringsfri och ofarlig mätning. Målet är att kunna göra provtagning direkt på lastbil för att erhålla ett representativt medelvärde. Det är viktigt att mätmetoden är tillförlitlig och noggrann för att åstadkomma följande övergripande effektiviseringar:

- Bättre logistik och effektivare hantering av bränsle på bränsleplan
- Rätt debitering i enlighet med svensk lag och branschstandarder.

## 1.1 MÅL OCH SYFTE

Uppdraget för denna rapport syftar till att Radarbolaget ska vidareutveckla en matematisk modell där dielektrisk konstant och förlustfaktor (i rapporten anges dämpning, se ekvation (1)) från radiolänkmätningar kopplas till fukthalten i trädbränsle. Inom Radarbolagets tidigare förstudieprojekt SNABB uppvisades en noggrannhet och en standardavvikelse på  $\sigma \approx 3$  procentenheter. I förstudieprojektet användes radarutrustning med en mittfrekvens på 2 GHz och dielektricitetskonstanten kopplades till fukthalten. Förstudien identifierade ett antal punkter som visade att man kan minska absorptionen och öka noggrannheten genom:

- Mätning med lägre frekvenser (0,75 GHz)
- Komplettera mätning av dielektricitetskonstanten med mätning av dämpning, temperatur och densitet.

Denna rapport och detta uppdrag ska resultera i och bidra till ökad noggrannhet i bestämning av fukthalt i trädbränsle och att identifiera en målbild för framtida arbete.

## 2 Material och utrustning

### 2.1 TRÄDBRÄNSLE OCH REFERENSMÄTNING

Inom projektet har tre olika sorters trädbränsle undersökts: GROT (grenar och toppar), bark och returträ (se figur 1). Trädbränslet valdes för att få bra stokastisk fördelning avseende fukthalt, materialsammansättning och temperatur. Några prov testades både direkt efter provtagning och efter några dagars uppvärmning till rumstemperatur (ca +13°C). Ett prov har också mätts kontinuerligt under uppvärmning.

Referensmätning och torkning gjordes enligt gängse metoder genom vägning av fuktvikt, torkning av trädbränsle i torkskåp vid  $+103 \pm 2^\circ$  och vägning av torrsvikt. Fukthalten är kvoten mellan "differensen för fuktvikt och torrsvikt" och "fuktvikt". Stickprov motsvarande 10 liter togs från provlådan, som hade en volym på 88 liter. Trädbränslet var företrädesvis homogent, men några av proven uppvisade en stor spridning i referensmätningen och torkningen (se standardavvikelse i figur 1).

Sortiment	Antal prov	Temperatur	Fukthalt	Medel standard-avvikelse	Max standard-avvikelse	Torr-densitet kg/liter
GROT	10 st	-0,3 - +20,6	35,8-64,4%	2,3%	8,7%	0,20-0,28
Bark	10 st	-0,8 - +35,3	37,7-52,9%	2,6%	8,4%	0,09-0,16
Returträ	9 st	-0,4 - +13,9	31,9-49,9%	2,8%	6,0%	0,16-0,24

Figur 1. Trädbränsle i undersökningen

### 2.2 RADAR OCH RADIONLÄNKMÄTNING

Två nya antenner har tillverkats med en mittfrekvens på 0,75 GHz (se figur 2a). Även två antennhus har tillverkats för att inrymma de nya antennerna. Mätningarna med radar har gjorts på en provlåda som rymmer 88 liter trädbränsle. Mätningarna har gjorts centrerat på lång- och kortsida (se figur 2b). Under mätning har dielektricitetskonstanten ( $\epsilon'$ ) och dämpningen ( $\alpha$ ) mätts. Dämpning kan omräknas till förlustfaktor ( $\epsilon''$ ) genom (där  $\lambda$  är våglängden):

$$\epsilon'' = \frac{\alpha \cdot \lambda \cdot \sqrt{\epsilon'}}{\pi} \quad (1)$$



**Figur 2a.** Vivaldi-antennor: 2 GHz-antenn i jämförelse med 0,75 GHz-antenn



**Figur 2b.** Uppställning av radiolänkutrustning för mätning på provlåda

## 3 Metoder

### 3.1 UPPMÄTNING AV DIELEKTRICITETSKONSTANTEN

Radarbolagets radarsystem är bredbandigt och har anpassats till mittfrekvensen 0,75 GHz. Frekvensspektrumet är  $\pm 50$  procent runt mittfrekvensen, vilket betyder att dessa mätningar har en bredbandighet mellan 0,375 och 1,125 GHz (högre och lägre frekvenser kan dock mätas). Dielektricitetskonstanten bestäms genom *frirymdsmetoden* (mäta igenom ett material).

### 3.2 VATTEN, IS OCH MIKROVÅGOR

Vatten påverkar mikrovågor (och tvärtom) på ett betydande sätt. Vatten består av dipolmolekyler, vilka orienterar sig så att näraliggande molekyler vänder sina olikladdade sidor mot varandra. Den elektriska dipolen i vatten försöker kontinuerligt orientera sig när den utsätts för elektromagnetisk strålning och dess oscillerande elektriska fält. Dipolens rörelser är sålunda frekvensberoende.

Dielektricitetskonstanten varierar med frekvens, temperatur, orientering, tryck, ämnesblandningar och molekylstruktur.

Den molekylära strukturen i is skiljer sig väsentligt från den hos flytande vatten, vilket också påverkar dess dielektriska egenskaper. Vattenmolekyler bildar vätebindningar med syreatomen till angränsande molekyler, vilket gör dem lättlösliga. Ismolekyler bildar däremot tre vätebindningar, vilket gör dem oförmögna att rotera under påverkan av ett yttre elektriskt fält vid mikrovågsfrekvenser (GHz).

Trädbränsle ligger ofta ute på hyggen för att torka. Det är också där materialet kan frysa. Om det frusna vattnet är väl fruset torde detta innebära att det beter sig ungefär som torr snö. Vid mekanisk bearbetning tillförs dock energi, vilket kan öka temperaturen i materialet.

Vatten i trä finns som fritt vatten och som bundet vatten (mekaniskt och kemiskt bundet). Det bundna vattnet anses uppgå till maximalt 30% av massans torrmaterial (fiberns mätnadspunkt). Bundet vatten har liknande egenskaper som is och ska inte kunna detekteras inom GHz-området. Därför är det endast det fria vatten som ska kunna detekteras.

Sålunda, fritt och bundet vatten skiljer sig åt. Fruset och temperat vatten skiljer sig åt. Trädbränsle med enbart bundet vatten är nog ytterst ovanligt, därför behöver inte detta särskilt beaktas. Däremot kan fruset, halvfruset och tempererat vatten finnas i en och samma lastbil. Det är också känt att vattnets fryspunkt är lägre än smältpunkten för is. Därför kan material med exakt samma temperatur och fukthalt uppvisa olika dielektriska egenskaper beroende på om det håller på att frysa respektive smälta.

## 4 Mätning och beräkning

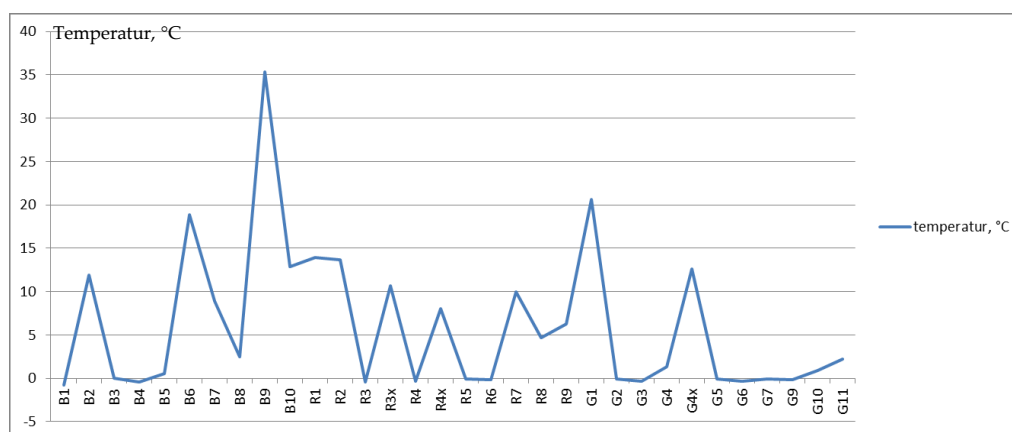
### 4.1 MÄTNINGAR

Radarmätningar genomfördes skyndsamt efter packning i provlådorna och transport till labbet. Trädbränslet hämtades från Johannes bränsledepå söder om Gävle (se figur 3).



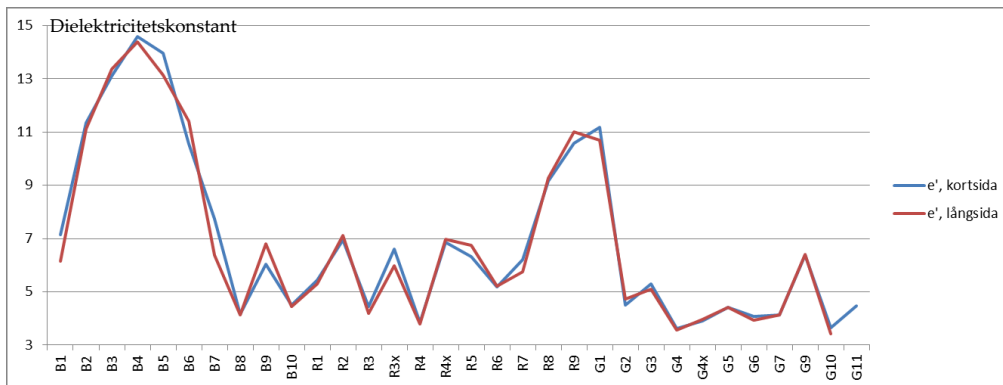
Figur 3. Johannes bränsledepå vid Gävle Energi

I och med att provtagningarna gjordes under en period då utomhustemperaturen varierade från  $-5^{\circ}\text{C}$  till  $+4^{\circ}\text{C}$  så hade den övervägande delen av proven en temperatur runt  $\pm 0^{\circ}\text{C}$ . Tre provtagningar (märkta med "x") mättes också efter några dagars uppvärmning till ca  $+13^{\circ}\text{C}$ . Prov med temperaturer över  $+13^{\circ}\text{C}$  hade redan denna temperatur redan vid packning och indikerar därför hög biologisk aktivitet (se figur 4).



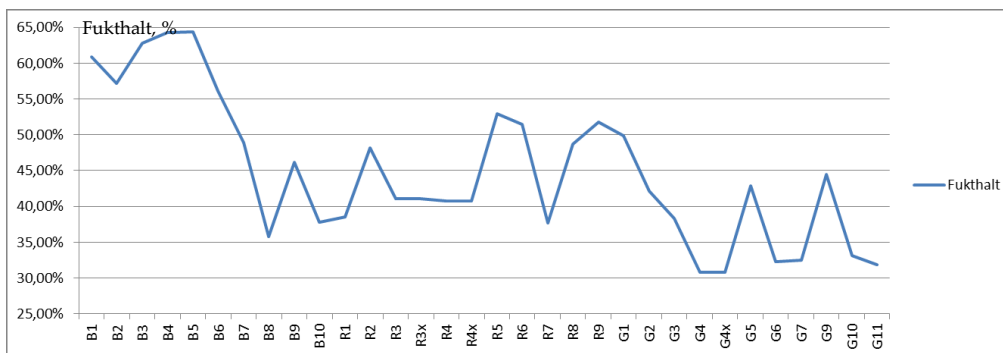
Figur 4. Temperatur för olika provtagningar

Dielektricitetskonstanten mättes på kort- och långsida. Medelvärden av dessa två mätningar har använts i efterkommande beräkningar och modellanpassningar. Det finns skillnader mellan lång- och kortsida (se figur 5). Troligtvis beror dessa skillnader på oregelbundenheter i trädbränslet i respektive låda.

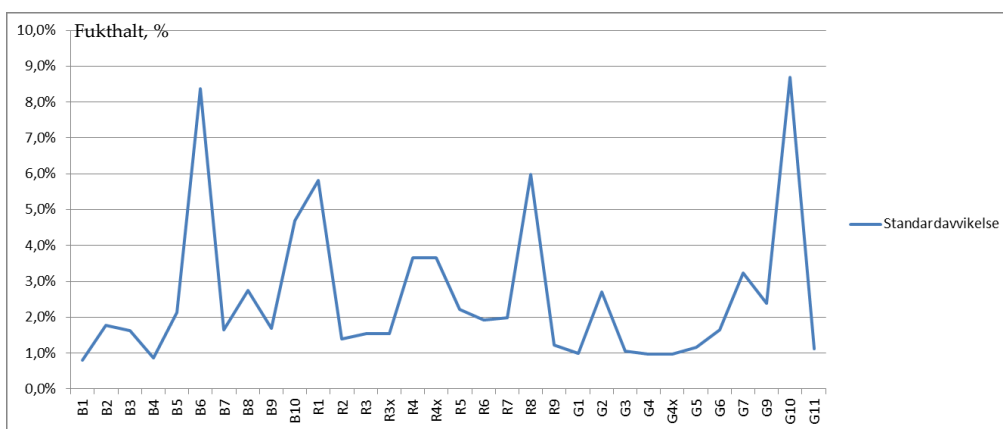


**Figur 5.** Spridning i dielektricitetskonstant mellan kort- och långsida

Vid referensmätning och torkning av trädbränsle togs stickprov om 10 liter från provlådan. Dessa stickprov delades senare upp och torkades i 13-20 aluminiumlådor. Torr- och fukthalten från denna mätning är sedan sammanvägd som ett medel. I figur 6 och 7 redovisas fukthalten respektive standardavvikelsen för respektive provlåda. Om man jämför figur 5 med 6 så ser man tydliga likheter mellan kurvorna: hög fukthalt ger hög dielektricitetskonstant.

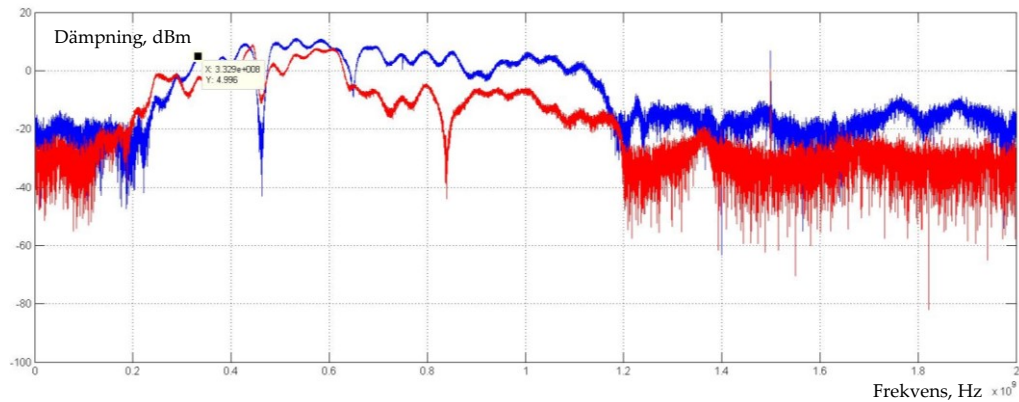


**Figur 6.** Fukthalt från referensmätning och torkning



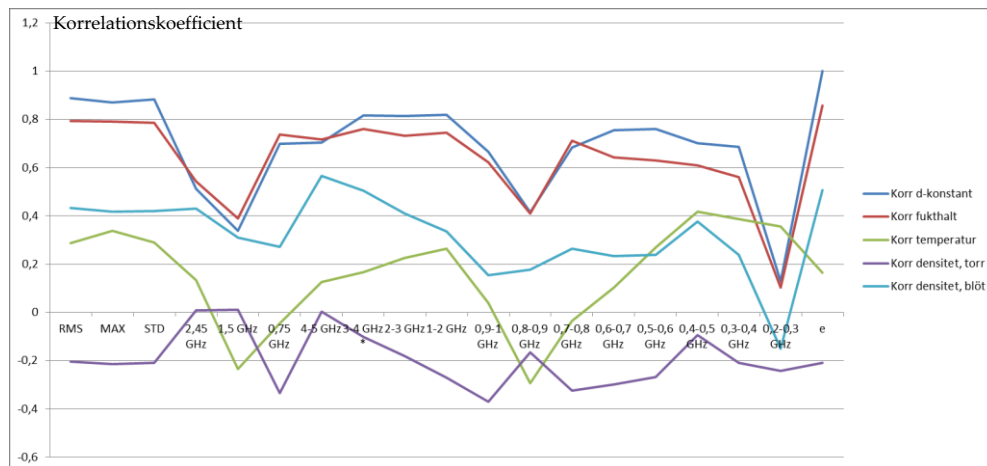
**Figur 7.** Standardavvikelse fukthalt. Hög avvikelse beror på inhomogent material

Dämpningsmätningar uttrycks i decibel för milliwatt (dBm) och kan redovisas per frekvens. Dämpningen har en direkt relation till amplituden för radarsignalen. I figur 8 går det att se en dämpningsmätning som gjorts Radarbolagets radarsystem. Mätningen gjordes på fuktigt trädbränsle (prov G1).



**Figur 8.** Dämpningsmätning på provlåda med 0,75 GHz-antenn

I detta projekt har dämpningen aggregerats för vissa nivåer av praktiska skäl. Dessa nivåer har korrelerats mot vissa storheter (dielektricitetskonstant, temperatur, densitet och fukthalt) för att därigenom påvisa sambanden mellan storheterna (se figur 9). Största korrelation torde bli där skillnaden mellan "fri rymd" och "genom material" är som störst. Störst korrelation erhålls för max- och rms-värdet (root mean square) för amplituden.



**Figur 9.** Korrelation mellan olika dämpningar och dielektricitetskonstant, temperatur, densitet samt fukthalt

Enligt figur 9 går det att konstatera att det finns linjära samband mellan dämpning ( $\alpha$ ) och dielektricitetskonstant ( $\epsilon$ ), temperatur ( $t$ ), densitet ( $\rho$ ) samt fukthalt ( $M$ ).

Korrelationen mellan:

- torrdensitet och dielektricitetskonstant/dämpning är låg
- fuktig densitet och dielektricitetskonstant/dämpning är ganska hög
- temperatur och dielektricitetskonstant/dämpning är ganska hög
- fukthalt och dielektricitetskonstant/dämpning är hög.

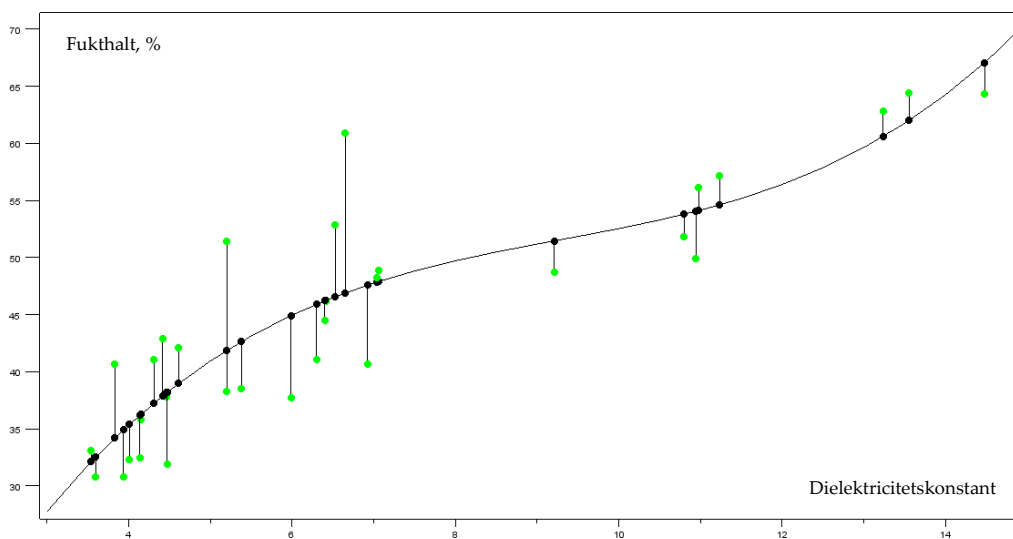
## 4.2 SAMBAND OCH BERÄKNINGAR

Enligt en tidigare rapport från projektet SNABB modellerades fukthalt ( $M$ ) med dielektricitetskonstant ( $\epsilon$ ) enligt TOPP-funktionen, ett polynom av tredje graden:

$$M = a_0 + a_1 \cdot \epsilon + a_2 \cdot \epsilon^2 + a_3 \cdot \epsilon^3 \quad (2)$$

Det finns indikationer från projektet SNABB att dessa parametrar inte är giltiga för både fruset och tempererat trädbränsle. Därför vore det naturligt att beräkna  $a_{0,3}$  olika för fruset och tempererat trädbränsle. Alternativet är att modellera temperaturen på ett mer avancerat sätt, men mätningarna är för få just nu. En sådan modellering kräver mätningar av dielektricitetskonstant och dämpning för trädbränsle som successivt blir varmare. Det tar ungefär 5 dygn att gå från  $-1^\circ\text{C}$  till  $+13^\circ\text{C}$ . En sådan mätning har gjorts (se nedan kapitel 5). Om mätvärden minsta kvadrat-anpassas (MK) till ekvation (2) erhålls parametrarna (se figur 10):

$$a_0 = -10,50, \quad a_1 = 17,36, \quad a_2 = -1,72, \quad a_3 = 6,18 \cdot 10^{-2} \quad (3)$$

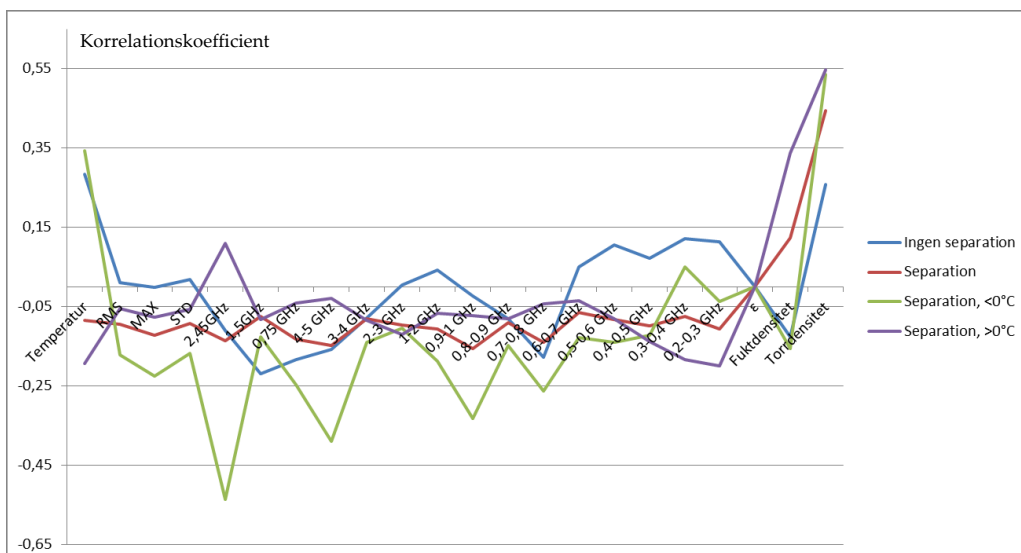


**Figur 10.** Felvektorer för fukthalt modellerad (svart) och verklig (grön)

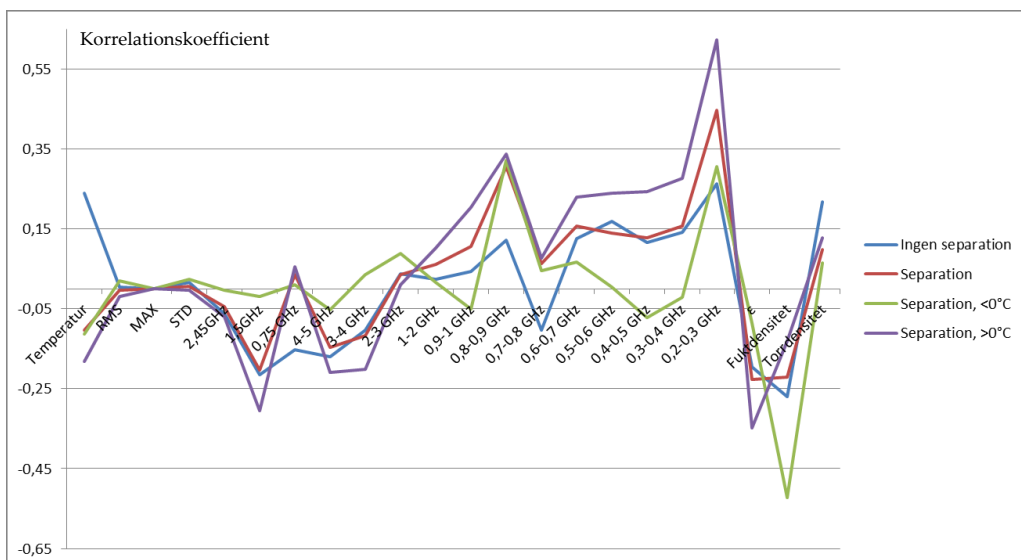
Figur 10 och parametrarna (3) tar inte hänsyn till något annat än fukthalt och dielektricitetskonstant. Densitet, temperatur och dämpning torde kunna förbättra anpassningen. I figur 11-12 redovisas korrelationen mellan felvektorn för TOPP-ekvationen (beräknat värde minus verkligt) modellerad för fukthalt med dielektricitetskonstant och dämpning. Eftersom det finns en stark misstanke att tempererat ( $>0^\circ\text{C}$ ) och fruset ( $<0^\circ\text{C}$ ) vatten ska separeras så har två MK-anpassningar gjorts för TOPP-funktionen för dielektricitetskonstant och max-amplitud (se figur 11-12):

- Ingen temperaturseparation av trädbränsle
- Temperaturseparation av trädbränsle över och under  $\pm 0^\circ\text{C}$ .





**Figur 11.** Korrelation för fukthalt och dielektricitetskonstant, som ger fyra felvektorer (ej separerat, separerat gemensam korrelation, separerat korrelation  $<0^{\circ}\text{C}$ , separerat gemensam korrelation  $>0^{\circ}\text{C}$ ), med densitet, temperatur och dämpning



**Figur 12.** Korrelation för fukthalt och max-amplitud (MAX), som ger fyra felvektorer (ej separerat, separerat gemensam korrelation, separerat korrelation  $<0^{\circ}\text{C}$ , separerat gemensam korrelation  $>0^{\circ}\text{C}$ ), med densitet, temperatur och dämpning

Följande slutsatser kan dras från figur 11 och 12:

- Trädbränsle under respektive över  $0^{\circ}\text{C}$  måste modellernas separerat
- Temperatur är korrelerat med felvektor (mest för fruset)
- Torrdensitet är korrelerat med felvektor (lika mycket för fruset och tempererat)
- Fuktdensitet är korrelerat med felvektor (mest för tempererat)
- Dämpning och dielektricitetskonstant är lågt korrelerade med motsvarande felvektor.

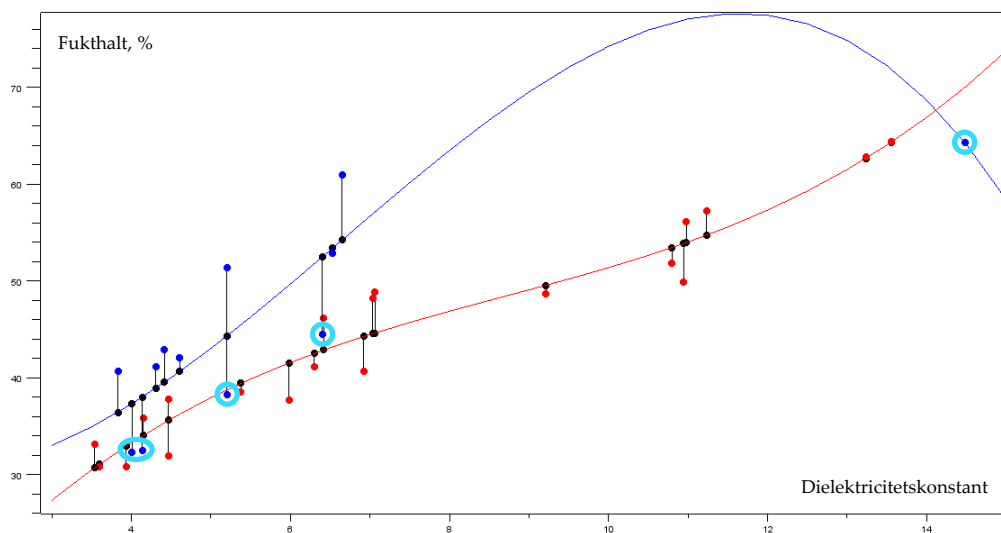
Det är viktigt att notera att korrelationen i figur 9 är mellan olika storheter. I figur 11-12 görs däremot korrelationen mellan olika storheter och felvektorena (dvs. det som inte tas upp av ekvation (2)). Hög korrelationen torde ge uttryck för att ekvation (2) borde

kompletteras med de parametrar som ger höga korrelationsvärden (t.ex temperatur och torrdensitet). Låg korrelation torde ge uttryck för att ekvation (2) redan "sväljer" mycket av dessa parametrars samband med fukthalten (t.ex dämpning). Det är dock viktigt att påpeka att det finns hög korrelation mellan dämpning och fukthalt, och mellan dämpning och dielektricitetskonstant. Men det tillför inget extra med att modellera dämpning och dielektricitetskonstant i samma ekvation (2).

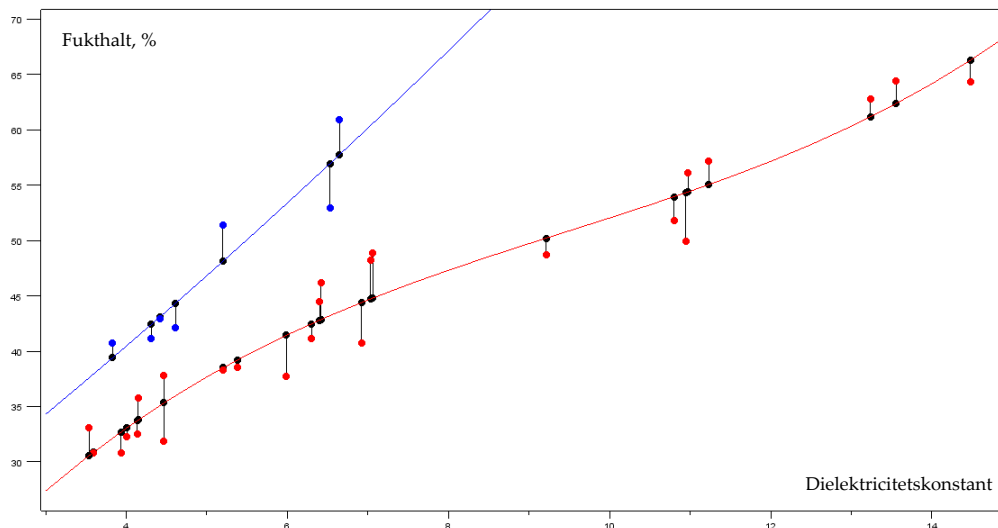
#### 4.3 MODELLERING FRÅN DIELEKTRICITETSKONSTANT

Temperaturen mättes med en enkel givare. Noggrannheten var  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Vid varje prov gjordes noteringar kring utomhustemperatur och trädränslet egenskaper. Om ekvation (2) MK-anpassas separat för trädränsle under och över  $0^\circ\text{C}$  erhålls figur 13. Det går att misstänka att fem värden inte var frysta (inringade punkter i turkos). Enligt noteringar fanns följande noteringar, från vänster till höger (i figur 14 har en ny MK-anpassning gjorts där nedanstående betraktas som tempererade trädränslen):

- G6 - 32,3%: "Nyskopad ser torr ut, mycket barr"
- G7 - 32,5%: "Fuktig och lite snö blandat"
- G3 - 38,3%: "Skyfflad kant efter grävskopa, såg torrt ut"
- G9 - 44,5%: "Såg mycket fuktig ut, samt barrigt"
- B3 - 64,3%: "Sida snö blött"



Figur 13. Felvektorer för fukthalt modellerad (svart) och verklig  $<0^\circ\text{C}$  (blå),  $>0^\circ\text{C}$  (röd)



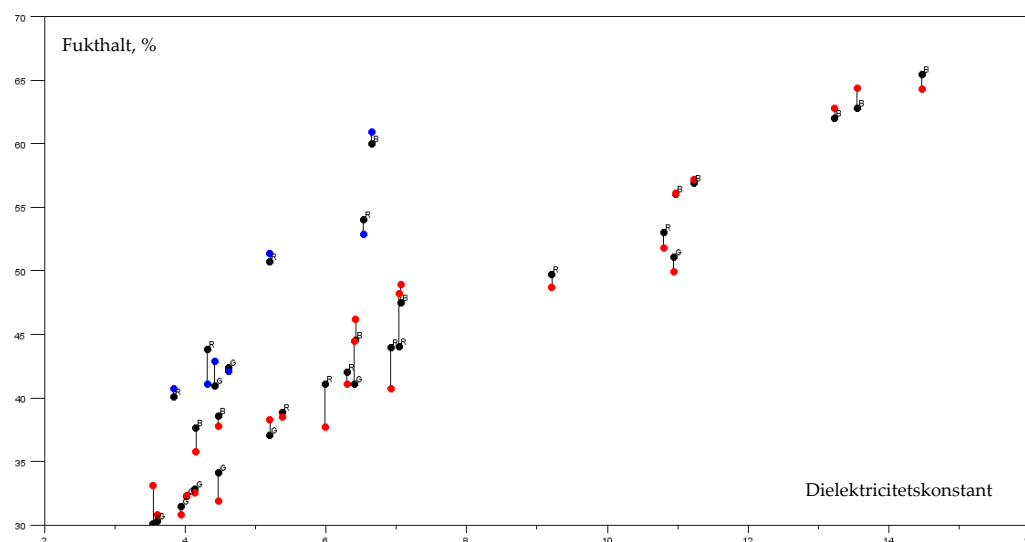
**Figur 14.** Felvektorer för fukthalt modellerad (svart) och verklig <math><0^{\circ}\text{C}</math> (blå), >math>>0^{\circ}\text{C}</math> (röd). Fem värden är omkodade som tempererade istället för frysta. Fryst material är MK-anpassat med ett polynom av andra graden, tempererat material är av tredje graden

Följande ekvation kan ta ytterligare hänsyn till temperatur ( $t$ ) och densitet ( $\rho$ ). Figur 15 visar resultatet från en anpassning till ekvation:

$$M = a_0 + a_1 \cdot \varepsilon + a_2 \cdot \varepsilon^2 + a_3 \cdot \varepsilon^3 + a_4 \cdot t + a_5 \cdot \rho \quad (4)$$

I figur 11 påvisades en korrelation med torrdensitet. Den är ju naturligtvis inte möjlig att mäta eller bestämma under verkliga förhållanden. Därför har vi i denna beräkning satt schablonvärden för respektive trädbränsle (utifrån figur 1):

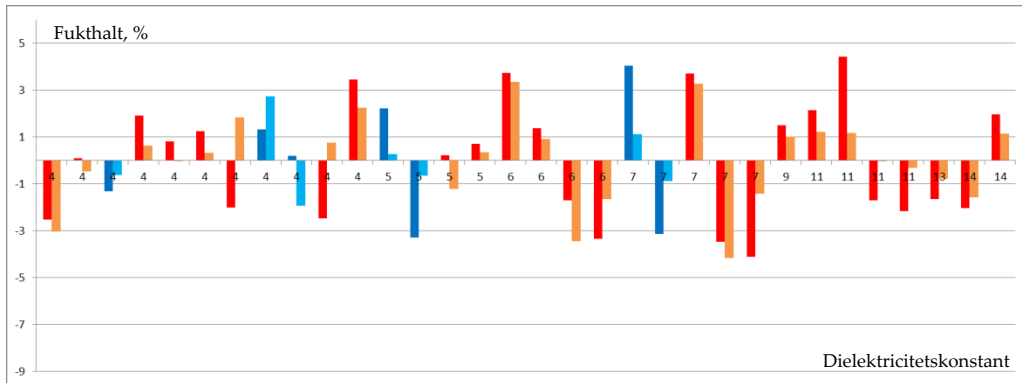
- Bark: 0,125 kg/liter
- Returträ: 0,200 kg/liter
- GROT: 0,240 kg/liter.



**Figur 15.** Felvektorer för fukthalt modellerad (svart) och verklig <math><0^{\circ}\text{C}</math> (blå), >math>>0^{\circ}\text{C}</math> (röd). R=returträ, G=GROT och B=bark

En MK-skattning som tar hänsyn till temperatur och densitet (enligt figur 15) ger en standardavvikelse på  $\sigma=1,8$  procentenheter. Det är tveksamt om en komplettering av ekvation (2) med dämpning ger en högre noggrannhet. Enligt figur 11 ska det inte

heller finnas någon större korrelation. Vid en jämförelse mellan figur 14-15 kan felvektorerna ritas ut enligt figur 16.



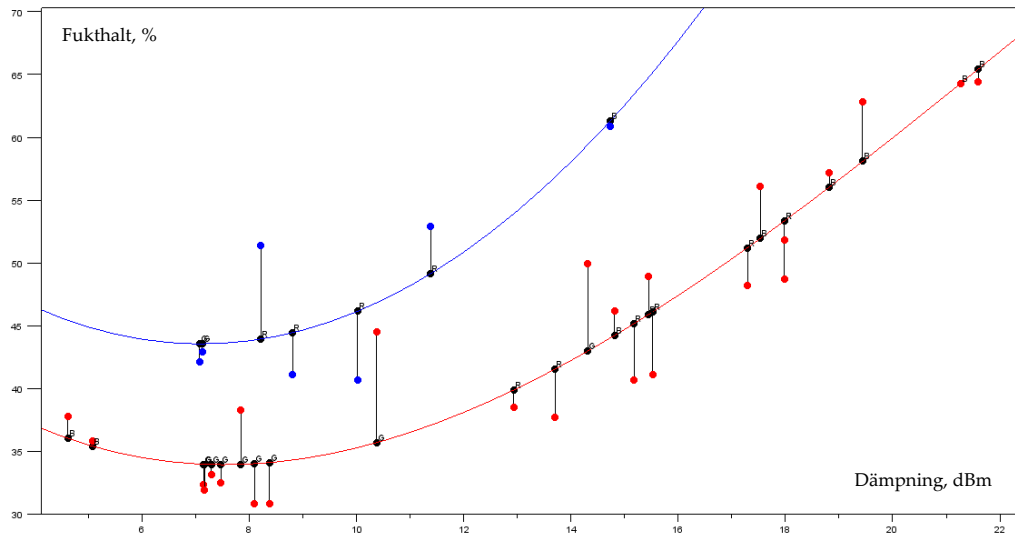
**Figur 16.** Sammanställning av felvektorer för figur 14-15. Röd=dielektricitetskonstant >0°C, Blå= dielektricitetskonstant <0°C, Orange= dielektricitetskonstant, temperatur, densitet >0°C, Turkos= dielektricitetskonstant, temperatur, densitet <0°C

#### 4.4 MODELLERING FRÅN DÄMPNING

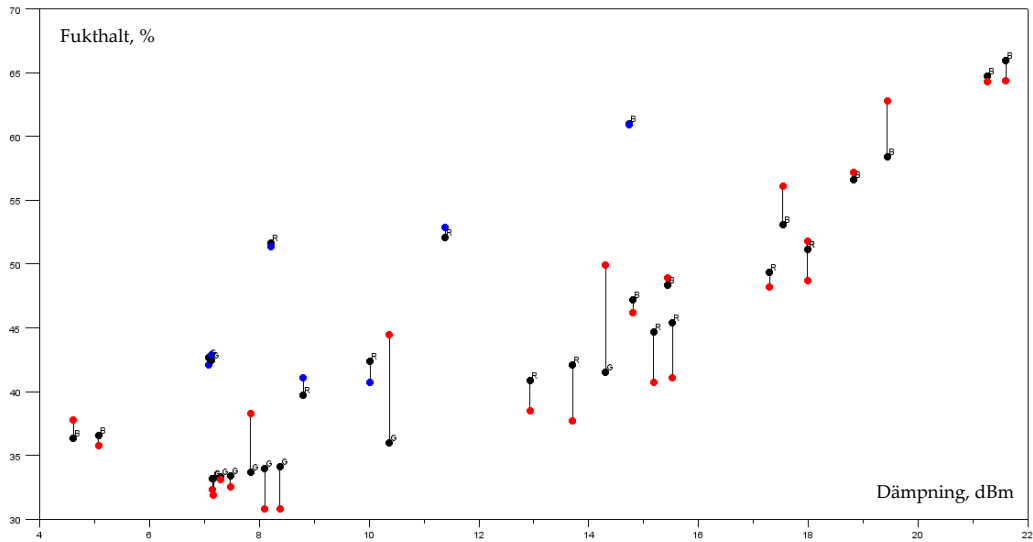
Modellering av dämpning ska dock inte negligeras, men med det lilla statistiska underlaget i detta projekt blir det vanskligt att införa fler parametrar än sex. Om relationen istället explicit sätts mellan fukthalt och rms-amplitud, temperatur samt densitet erhålls följande ekvationer (se figur 17 för ekvation (5) och 18 för ekvation (6)):

$$M = a_0 + a_1 \cdot \alpha + a_2 \cdot \alpha^2 + a_3 \cdot \alpha^3 \quad (5)$$

$$M = a_0 + a_1 \cdot \alpha + a_2 \cdot \alpha^2 + a_3 \cdot \alpha^3 + a_4 \cdot t + a_5 \cdot \rho \quad (6)$$

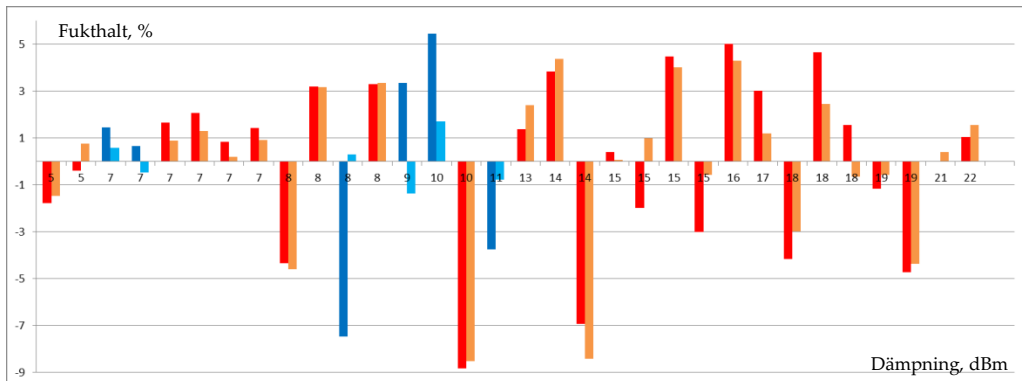


**Figur 17.** Felvektorer för fukthalt modellerad (svart) och verklig <0°C (blå), >0°C (röd). Fukthalt är modellerat enligt ekvation (5)



**Figur 18.** Felvektorer för fukthalt modellerad (svart) och verklig <math><0^{\circ}\text{C}</math> (blå), >math>>0^{\circ}\text{C}</math> (röd). Fukthalt är modellerat enligt ekvation (6)

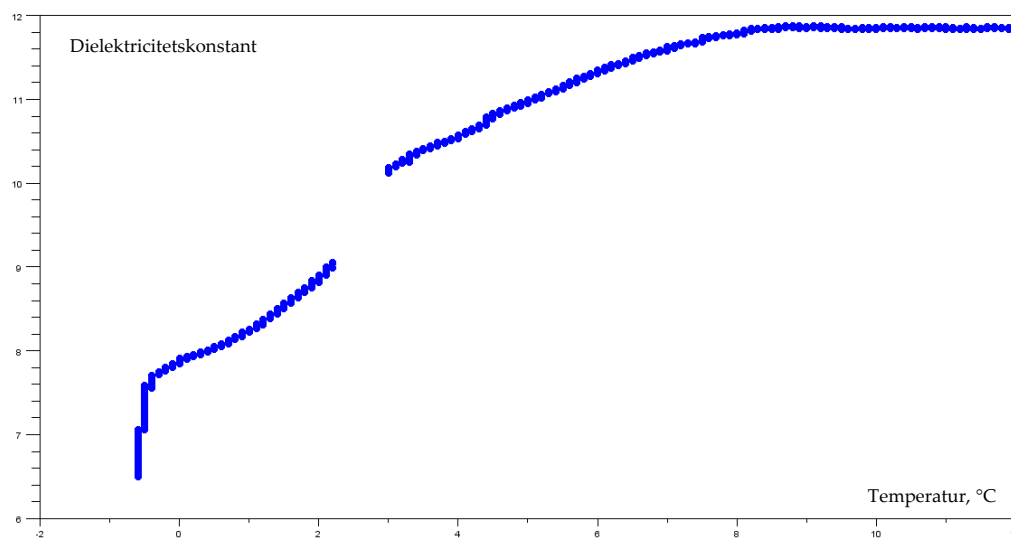
Det går att notera två stora avvikelser. De är kopplade till GROT-prov: G9 och G1. G1 innehöll mycket kärnved enligt anteckningar och G9 hade en tveksam temperatur. Avvikelserna för modellering med dämpning enligt ekvation (6) är  $\sigma=3,1$  procentenheter. Vid en jämförelse mellan figur 17-18 kan felvektorerna beskrivas enligt figur 19.



**Figur 19.** Sammanställning av felvektorer för figur 17-18. Röd=dämpning >math>>0^{\circ}\text{C}</math>, Blå=dämpning <math><0^{\circ}\text{C}</math>, Orange=dämpning, temperatur, densitet >math>>0^{\circ}\text{C}</math>, Turkos=dämpning, temperatur, densitet <math><0^{\circ}\text{C}</math>

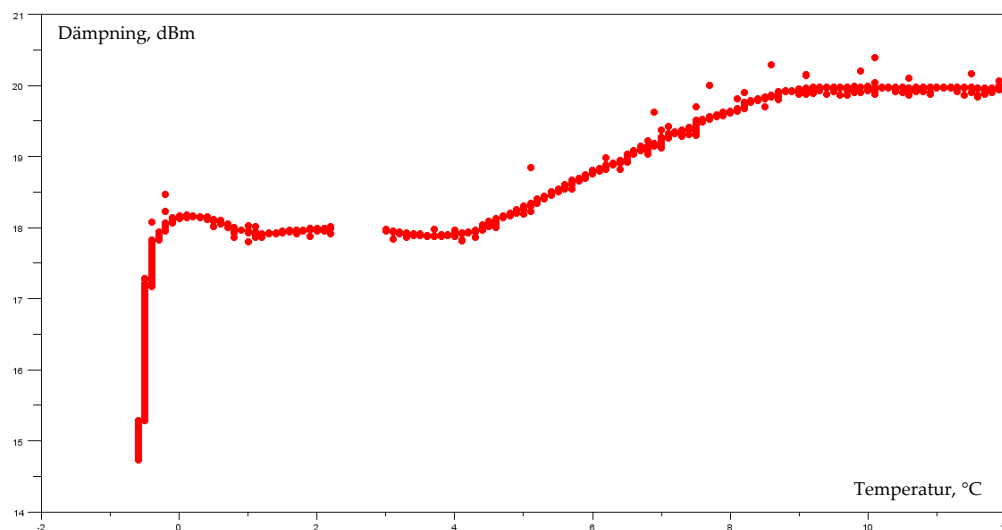
## 5 Modellering av temperatur och radardata

Under fem dygn genomfördes kontinuerliga mätningar på en provlåda med trädbränsle (bark). Under mätningen registrerades temperatur, dielektricitetskonstant och dämpning (rms). Det blev ett glapp på sex timmar då inget mättes (på grund av att utrustningen behövdes för ett annat uppdrag). Trädbränslet torkades därefter och uppvisade en fukthalt på 69,1%. I figur 19 går det att se hur dielektricitetskonstanten varierar med temperaturen. Ju högre temperatur desto högre dielektricitetskonstant. Vid temperaturer vid 8-9°C började materialet sjunka ihop på grund av sin egentyngd (5-10%), vilket dock inte kan ses i grafen. Det gjordes ingen referensmätning med radarn, varför offset-värdet för dielektricitetskonstanten är okänt och något felaktigt (ska troligtvis vara högre). De relativa förändringarna av dielektricitetskonstanten under mätningen är helt korrekt.



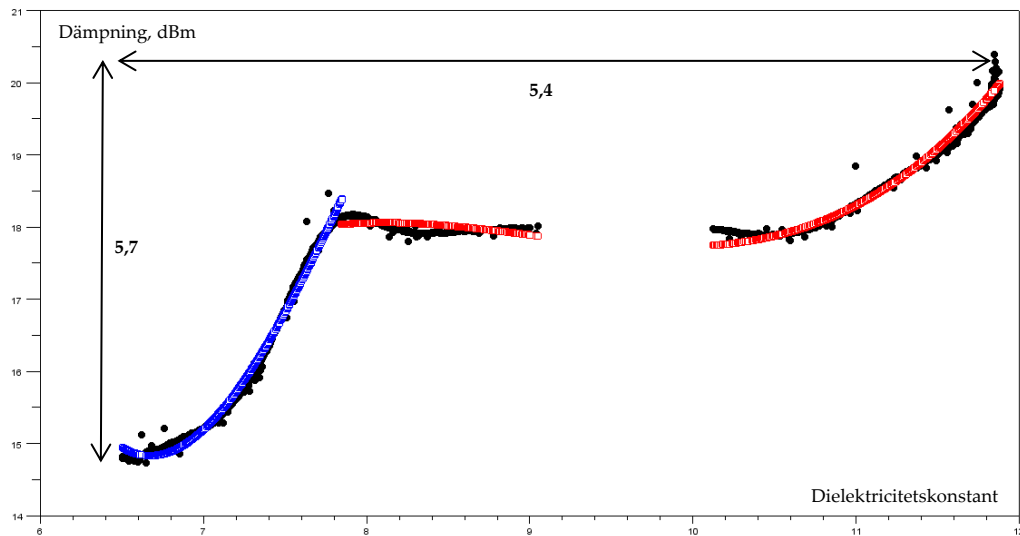
Figur 19. Mätning av dielektricitetskonstant på bark från -0,8°C till +12°C.

I figur 20 går det att studera hur dämpningen förändras med temperaturen. Ju högre temperatur desto större dämpning.



Figur 20. Mätning av dämpning på bark från -0,8°C till +12°C

För att förstå det komplexa sambandet mellan dielektricitetskonstant och dämpning vid olika temperaturer och vid en specifik fukthalt ritades figur 21. Det går att se att fruset (blå anpassning) trädbränsle skiljer sig åt från tempererat (röd anpassning).

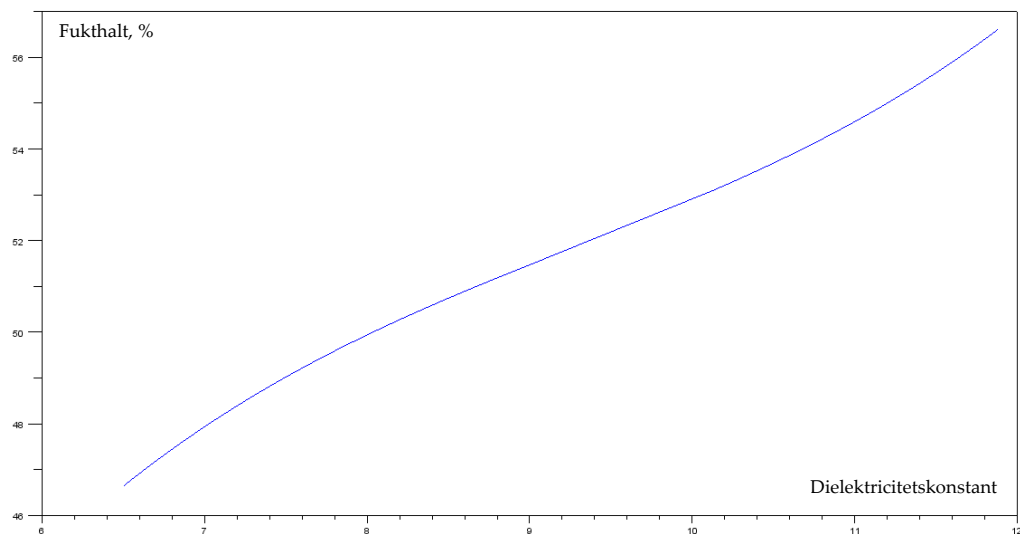


**Figur 21.** Samband mellan dielektricitetskonstant och rms-värde

Figur 21 visar att samma fukthalt har en spridning på 5,4 för dielektricitetskonstanten och 5,7 för rms-värdet om temperaturen varierar från  $-0,8^{\circ}\text{C}$  till  $+12^{\circ}\text{C}$ . Det upptinade trädbränslet har troligtvis en blandning av fruset och temperat material upp till  $+8-9^{\circ}\text{C}$ . Temperaturhomogent trädbränsle och trädbränsle som har värmts upp från en temperatur över  $0^{\circ}\text{C}$  har troligtvis andra kurvor än ovan.

Om man beräknar fukthalten från dielektricitetskonstanterna för figur 20 med TOPP-ekvationen/parametrarna (2,3) utan att ta hänsyn till temperaturen (och densitet) kan det få allvarliga konsekvenser (se figur 22). Beräknad fukthalt har en spridning på 47-56% ( $\pm 4,5$  procentenheter). Så länge proven tas vid ungefär samma temperatur minskar spridningen. Figur 21 indikerar att temperatursambanden var olika lättmodellerade:

- Fruset: rms-värdet har större utbredning än dielektricitetkonstanten (figur 18)
- Tempererat: dielektricitetskonstanten har större utbredning än rms-värdet (figur 15).



**Figur 22.** TOPP-ekvationen enligt parametrar (3)

## 6 Diskussion och framtid

### 6.1 DIELEKTRICITETSKONSTANT OCH DÄMPNING

Vid en jämförelse mellan figur 16 och 17 med figur 13 till 15 kan det noteras några intressanta skillnader och likheter:

- Dämpning och fukthalt har ingen "avsats" i sin kurva
- Frysta prov ligger högre i y-led än för de tempererade i båda fallen
- Värdena längs x-axeln är delvis omkastade, vilket kan bero på olika sorters trädbränsle och osäkerhet om vissa prover var frysta eller inte (det komplexa sambandet i figur 21 visar en trolig orsak till detta)

Undersökningarna bestod av 32 prov. Det är för få prov för att i detta läge ta fram ett mer omfattande samband, exempelvis att blanda in både dämpning och dielektricitetskonstant i samma formel. Det borde kunna ge en något förbättrad noggrannhet. Det finns ett generellt starkare samband mellan dielektricitetskonstant och fukthalt än mellan dämpning och fukthalt. Det komplexa sambandet i figur 21 visar tydligt att temperatur måste modelleras, exempelvis genom att:

- Fruset: dämpning matchas mot fukthalt och temperatur
- Temperat: dielektricitetskonstant matchas mot fukthalt och temperatur.

### 6.2 DENSITET OCH TEMPERATUR

Torr densitet och temperatur förbättrar beräkning av fukthalt. Det är inte lämpligt att mäta temperatur med för enkel utrustning. Därför måste en väl fungerande mätmetod och utrustning utvärderas och väljas. Fuktig densitet skulle kunna gå att mäta utifrån vikt och volym även om det inte är trivialt, men samtidigt verkar korrelationen var relativt liten mellan fukthalt och fuktig densitet. Den storheten "sväljs" troligtvis av dämpnings- eller dielektricitetskonstantmätningarna eftersom fukthalten är direkt kopplat till dessa parametrar. Torrdensitet går ju inte att mäta direkt när en lastbil med trädbränsle anländer. Därför måste lämpliga/genomsnittliga värden användas. Om genomsnittsvärden för torrdensitet per trädbränsle används så förbättras noggrannheten vid minsta kvadrat-anpassningen av ekvation (4). Representativa densitetvärden borde tas fram för att förbättra sambanden ytterligare.

### 6.3 FRUSET OCH TEMPERERAT

Det är uppenbart att fruset ( $<0^{\circ}\text{C}$ ) och tempererat ( $>0^{\circ}\text{C}$ ) trädbränsle skiljer sig väsentligt åt. Det kommer inte som någon överraskning eftersom vattenmolekylerna binder varandra på två helt olika sätt i kristallin och flytande form. Bland proven var minst sju provtagningar i frusen form (ca  $-1^{\circ}\text{C}$ ). Det frusna trädbränslet uppvisar relativt hög dämpning och dielektricitetskonstanter, vilket är mycket lovande. Det har funnits en rädsla för att dessa värden skulle vara för låga i frystemperaturer. Naturligtvis så sjunker dessa värden vid ännu lägre temperaturer, men frågan är dock hur kallt är trädbränslet som levereras. Detta måste utredas vidare. Ett fullkomligt samband till temperatur måste tas fram. Samtidigt måste man beakta att torrdensiteten (för motsvarande volym) är olika för fruset material och tempererat. Därför kan det till viss del finnas en densitetsskillnad som upplevs som en temperaturskillnad.



#### 6.4 FELKÄLLOR

Noggrannheten för modellering av trädbränsle är  $\sigma=1,8$  procentenheter om hänsyn tas till temperatur (uppdelning av fruset och tempererat samt modellering av temperatur) och torrdensitet. Noggrannheten kan troligtvis förbättras ytterligare 0,2-0,3 procentenheter. Det kan då innebära att  $3\sigma$ -nivån (99,73%) kan nås med 4,5 procentenheters avvikelse, dvs. att 99,73% av alla prov är inom 4,5 procentenheter. Det kan dock behöva göras en statistisk analys gällande mängden grova fel ( $>3\sigma$ ) och fördelningen av fel.

Grova fel ( $>3\sigma$ ) kan uppkomma på grund av:

- Fruset kategoriseras som tempererat trädbränsle eller tvärtom (en icke representativ temperatur mäts)
- En last har blandat fruset och tempererat trädbränsle.

Normala fel ( $<3\sigma$ ) uppkommer på grund av:

- Variationer i temperatur och avvikelser från referensmätningar
- Variationer i torrdensitet och avvikelser från referensmätningar
- Materialets inhomogenitet med avseende på fraktion, askhalt, extraktivämnen och avvikelser från referensmätningar.

#### 6.5 VIKTPROCENT OCH VOLYMPROCENT

Vid referensmätning och torkning anges torr- och fukthalt i viktprocent. Det beror på att vikt är lätt att mäta medan volym är svår att mäta. Vid radarmätning mäts dock mängden vattenmolekyler i den volym trädbränsle som finns mellan sändare och mottagare, vilket sålunda motsvarar volymprocent. Variationer i torrdensitet för trädbränsle (vad motsvarande trädbränsle skulle ha för densitet i torrt tillstånd) påverkar sålunda noggrannheten att korrekt räkna om radarns volymprocent till referensmätningens viktprocent.

#### 6.6 FORTSATT UNDERSÖKNING OCH MÅLBILD

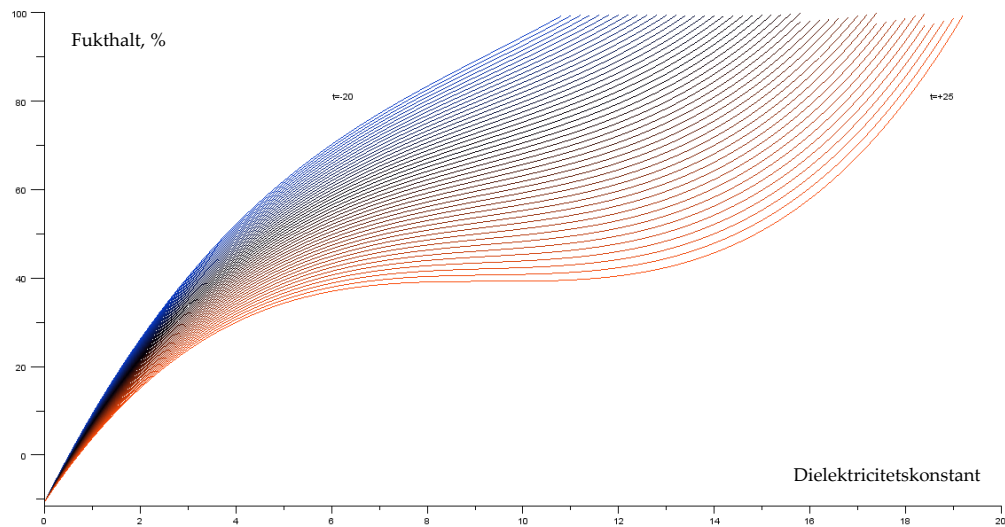
Detta projekt hade som syfte att förstå sambanden mellan olika storheter och fukthalt samt att öka noggrannheten i bestämningen av fukthalten. En viktig och självklar insikt är att radiolänkmätning mäter volymprocent som ska räknas om till viktprocent. Därför måste hänsyn tas till *densitet*. Torrdensiteten måste bestämmas som schabloner för varje enskilt trädbränsle.

En stor utmaning ligger i temperaturbestämning och -kategorisering. Därför krävs tillförlitliga mätutrustningar och metoder för bra bestämning av *temperaturen*.

*Dämpningen* var svår att förstå innan långmätningen gjordes (se figur 20).

Undersökning genom stickprov skapar ett för litet underlag. Därför krävs längre och bättre övervakade test där temperatur (och densitet) kan kontrolleras. Modellering av dämpning och fukthalt torde kunna ge ett bidrag till ännu högre noggrannhet och kategorisering.

Projektets *målbild* är att för varje temperatur och trädbränslesort/torrdensitet bestämma sambanden mellan fukthalt och dielektricitetskonstant respektive dämpning. Sambanden mellan alla dessa egenskaper är relativt komplext, därför torde en kurva (isolinje) för varje temperatur tas fram för att göra sambanden begripliga och lättberäknade (se figur 23).



**Figur 23.** Isolinjer med dielektricitetskonstant/frekvensvärde och fukthalt för varje temperatur och träbränslesort.

Figur 23 är enbart en målbild och överensstämmer inte helt med verkligheten eftersom mätningarna och sambanden inte har tagits fram ännu. Det är sannolikt att isolinjerna för temperaturheterogent och -homogent träbränsle ser olika ut. Om detta är en verklig eller stor utmaning måste utredas. För temperaturhomogent material kommer det antagligen att finnas ett glapp för isolinjerna mellan fruset och temperat träbränsle. Sålunda, vid skapande av isolinjer bör följande beaktas:

- Temperatur
- Träbränslesort (densitet)
- Temperaturheterogent och -homogent material (uppvärmning bör göras från två olika startpunkter, över och under 0°C).

## Arbetsrapporter från Skogforsk fr.o.m. 2015

### År 2015

- Nr 856 Widinghoff, J. 2015. Logistiklösning för delkvistat sortiment – Lätta skyddsplåtar på virkesbilar för transport av träddeklar och delkvistade sortiment. – Lightweight side-shields on timber trucks transporting partly delimbed energy wood. 15 s.
- Nr 857 Hannrup B, Bhuiyan N. Möller J.J. 2015. Rikstäckande utvärdering av ett system för automatiserad gallringsuppföljning. – Nationwide evaluation of a system for automated follow-up of thinning. 56 s.
- Nr 858 Frisk, M., Rönnqvist, M. & Flisberg, P. 2015. Vägrust – Projektrapport. 2015. – Vägrust – Project Report. 48 s.
- Nr 859 Asmoarp, V. & Jonsson, R. 2015. Fokusveckor 2014. Bränsleuppföljning för tre fordon inom ETT-projektet, ST-RME, ETT1 och ETT2. – Monitoring fuel consumption of three rigs in the ETT project: ST-RME, ETT1 and ETT2 42 s.
- Nr 860 Johannesson, T. 2015. Ny teknik för askåterföring i skogsmark. – New technology for ash recycling on forest floor. 14 s.
- Nr 861 Asmoarp, V., Nordström, M. & Westlund, K. 2015. Stämmer väglagervolymer? – En fallstudie inom projektet "Skogsbrukets digitala kedja". – "Are roadside stock volumes correct? – A case study in the Digital Chains in Forestry project. 17 s.
- Nr 862 Möller, J.J., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2015. Utveckling och test av beslutsstöd vid automatiserad gallringsuppföljning. – Development and test of decision-support tool for automated monitoring of thinning 38 s.
- Nr 863 Jonsson, R. 2015. Prestation och kvalitet i blädning med skördare och skotare. – Performance and costs in selective harvesting with harvester and forwarder. 27 s.
- Nr 864 Englund, M., Adolfsson, Niklas, Mörk, A., & Jönsson, P. 2015. Distribuerad arbetsbelysning – LED öppnar nya möjligheter för belysning hos arbetsmaskiner. – Distributed work lighting – LED lamps improve lighting on forest and agricultural machines. 20 s.
- Nr 865 Hofsten von, H. & Funck, J. 2015. Utveckling av HCT-fordon i Sverige. – HCT, heavier vehicle, truck design, ST, ETT. 28 s.
- Nr 866 Fridh, L. 2015. Utvärdering av fukthaltsmätare PREDIKTOR Spektron Biomass. – Evaluation of the Prediktor Spektron Biomass moisture content analyser. 10 s.
- Nr 867 Fridh, L. & Öhgren, J. 2015. Förstudie Automatisk skäppmätning av flis med laser. 20 s.
- Nr 868 Eriksson, A., Hofsten von, H. & Eliasson, L. 2015. Systemkostnader, logistik och kvalitetsaspekter för sju försörjningskedjor för stubbränslen. – System costs, logistics and quality aspects relating to seven supply chains for stump fuel. 29 s.
- Nr 869 Englund, M., Lundström, H., Brunberg T. och Löfgren, B. Utvärdering av Head up-display för visning av apteringsinformation i slutavverkning. 15 s.
- Nr 870 Löfroth, C. 2015. ETTaero – En förstudie av aerodynamisk utformning av skogsfordon. – A pilot study of aerodynamic design of forest vehicles 32 s.
- Nr 871 Grönlund, Ö., Iwarsson Wide, M., Hjerpe, T. och Sonesson, J. 2015. Skadeförekomst efter tidig gallring. – Damage after early thinning. 14 s.
- Nr 872 Fogdestam, N. & Löfroth, C. 2015 ETTdemo, demonstration av ETT- och ST-fordon. – ETTdemo, demonstration of ETT- and ST-vehicles. 34 s.
- Nr 873 Fridh, L. 2015. Produkttegenskaper för skogsbränsle. – Förslag till indelning, struktur och definitioner. – Forest fuel product characteristics- proposal for categories, structure and definitions. 46 s.

- Nr 874 Enström, J. 2015. Möjligheter till inrikes sjötransporter av skogsbränsle. – Possibilities for coastal maritime transport of forest fuel in Sweden. 22 s.
- Nr 875 Grönlund, Ö. & Iwarsson Wide, M. 2015. Uttag av skogsbränsle vid avveckling av låg skärmar av björk. – Harvest of forest fuel when birch shelterwoods are removed. 15 s.
- Nr 876 Jacobson, S. 2015. Lågskärm av björk på granmark – Modellerings av beståndsutveckling och ekonomisk analys. – The use of birch as a shelter in young Norway spruce stands – Modelling stand development and economic outcome. 39 s.
- Nr 877 Grönlund, Ö., Iwarsson Wide, M., Englund, M. & Ekelund, F. 2015. Sektionsgallring en arbetmetod för täta klena gallringar. – Thinning in Sections – a work method for small-tree harvest. 17 s.
- Nr 878 Eliasson, L. & Nilsson, B. 2015. Skotning av GROT direkt efter avverkning eller efter hyggeslagring. – Forwarding of logging residue immediately after felling or after stor age on the clear-cut. – Effects on nutrient extraction, needle shedding, and moisture content. 10 s.
- Nr 879 Eriksson, B., Widinghoff, J., Norin K. & Eliasson, L. 2015. Processkartläggning – Ett verktyg för att förbättra försörjningskedjor. – Process mapping – a tool for improving supply chains. 46 s.
- Nr 880 Möller, J.J., Nordström, M. & Arlinger, J. 2015. Förbättrade utbytesprognoser. – En förstudie genomförd hos SCA, Sveaskog och Södra. – Improved yield forecasts – a pilot study by SCA, Sveaskog and Södra. 14 s.
- Nr 881 von Hofsten, H. 2015. Vägning med hjälp av inbyggda vågar i fjädringen på lastbilar. – Payload weighing using onboard scales connected to the air suspension of trucks. 10 s.
- Nr 882 Rosvall, O., Kroon, J. & Mullin, T.J. 2015. Optimized breeding strategies at equivalent levels of population diversity. 61 s.
- Nr 883 Högbom, L. & Rytter, R.-M. 2015. Markkemi och fastläggning av C och N i bestånd med snabbväxande trädslag - Etapp 2. – Slutrapport till Energimyndigheten 2015. – Soil chemistry and C and N sequestration in plantations with fast-growing tree species – Phase 2. – Final report to The Swedish Energy Agency 2015. 17 s.
- Nr 884 Hannrup, B., Andersson, M., Henriksen, F., Högdahl, A., Jönsson, P. & Löfgren, B. 2015. Utvärdering av V-Cut – en innovation med potential att minska förekomsten av kapsprickor. – Evaluation of V-Cut – an innovative saw bar with potential to reduce the occurrence of bucking splits. 32 s.
- Nr 885 Willén E. & Andersson, G. 2015. Drivningsplanering. En jämförelse mellan sju skogsföretag – A comparison of seven forest companies 2015. 31 s. + Bilaga 2-8.
- Nr 886 Johansson, F. 2015. Kontinuerlig uppföljning av drivmedelsförbrukning och lastfyllnadsgrad för ETT- och ST-fordon 2014. – Continual monitoring of fuel consumption and load utilisation of ETT and ST vehicles 21 s.
- Nr 887 Högberg, K.A. 2015. Selektionseffekter vid förökning av gran med somatisk embryogenes. – Selection effects of somatic embryogenesis in propagation of Norway spruce. 11 s.
- Nr 888 Enström, J. & von Hofsten, H. 2015. ETT-Chips 74-tonne trucks – Three 74-tonne chip trucks monitored in operation over one year. 23 s.
- Nr 889 Rytter, L., Stener, L.G. 2015. Gråal och hybrid alder.-En potential för ökad energiinriktad produktion i Sverige. – Grey alder and hybrid alder-Potentials for increased biomass production for energy in Sweden. 28 s.
- Nr 890 Asmoarp, V. & Enström, J. 2015. Fokusveckor 2015-Bränsleuppföljning för ETT 74 tons flisfordon inom projektet ETT-Flis. – Focus Weeks 2015 Monitoring fuel consumption of a 74-tonne chip truck in the ETT project. 25 s.
- Nr 891 Johannesson, T., Enström J. & Ohls, J. 2015. Test av paraffinolja för att motverka fastfrysning av flis i containrar. – Test of paraffin oil to prevent wood chips freezing onto surfaces in steel containers. 5 s.

## År 2016

- Nr 892 Ågren, K., Hannrup, B., Jonsson, R., Jönsson, P., Lundström, H. och Nordström, M. Utvärdering av dimensionsmätning och förekomst av kapsprickor vid avverkning med Komatsu X19. – Evaluation of measurement quality and frequency of bucking splits in harvesting with the Komatsu X19 Harwarder. 21 s.
- Nr 893 Ågren, K., Möller, J. J. och Bhuiyan, N. 2016. Utveckling av en standardiserad metod för kalibrering av volymsbestämning vid avverkning med flerträdshanterande skördaraggregat. – Development of a standardised method for calibrating volume measurements when using a multi-tree handling harvester head. 27 s.
- Nr 894 Almqvist, C. & Rosenberg, O. 2016. Bekämpning av grankotterost (*Thekopsora areolata*) med fungicider – Försök utförda 2014 och 2015. – Control of cherry spruce rust infection (*Thekopsora areolata*) by use of fungicides – Trials performed in 2014 and 2015. 10 s.
- Nr 895 Westin, J., Helmersson, A. & Stener, L.-G. 2014. Förädling av lärk i Sverige. – Kunskapsläge och material. Genetic improvement of larch in Sweden – knowledge status and seed materias. 55 s.
- Nr 896 Mohtashami, S., Nordlund, S., Krook, M., Bergkvist, I., Ring, E. & Högbom, L. 2016. Körskador vid slutavverkning – en inventeringsstudie i Mälardalen. 16 s.
- Nr 897 von Hofsten, H. & Eliasson, L. 2016. Skotning av grot och rundved med en kombiskotare eller med två dedikerade skotare. 8 s.
- Nr 898 Rytter, L. & Mc Carthy, R. 2016. – Uthållig produktion av hybridasp efter skörd – Slutrapport 2016 för Energimyndighetens projekt 30346. - Sustainable production of hybrid aspen after harvest – Final Report 2016 from Swedish Energy Agency Project 30346.
- Nr 899 Bhuiyan, N., Möller, J.J., Hannrup, B. & Arlinger, J. 2016. Automatisk gallringsuppföljning. – Arealberäkning samt registrering av kranvinkel för identifiering av stickvägsträd och beräkning av gallringskvot – Automatic follow-up of thinning-stand area estimation and use of crane angle data to identify strip road trees and calculate thinning quotient. 47 s.
- Nr 900 Pettersson, F. 2016. Effects of type of thinning and strip road distance on timber production and economy in the Scots pine field experiment at Kolfallet. Results after two thinnings and a 20-year study period.
- Nr 901 Eliasson, L., Mohtasami, S. & Eriksson, A. 2016. Analys av ett högproduktivt flissystem – Analysis of factors affecting a high productive chip supply system. 20 s.
- Nr 902 Enström, J., Asmomar, V., Davidsson, A., Johansson, F., Jönsson, P. & Mohtashami, S. 2016. Transportsystemet Inlandsbanan – The Inlandsbanan transport system. 50 s.
- Nr 903 Klingberg, A., Persson, T. & Sundblad, L.G. 2016. Projektrapport – Fröskörd från tallfröplantage T2 Alvik – Effekt av inkorsning på planteringsresultatet i fält (projekt nr 244). – Project report Harvests from the T2 Alvik orchard – Effect of cross-pollination on operational planting outcome.
- Nr 904 Friberg, G. & Bergkvist, I. 2016. Så påverkar arbetsrutiner och markfuktighetskartor körskador i skogsbruket – How operational procedures and depth-to-water maps can reduce damage on soil and water and rutting in the Swedish forestry 28 s.

- Nr 905 Berlin, M. & Friberg, G. 2016. Proveniensval av Svartgran i Mellansverige. – Provenance choice of black spruce in central Sweden.. 22 s.
- Nr 906 Grönlund, Ö. 2016. Kontrollmätningens utformning vid chaufförers travmätning – Quality control procedure for stack measurement by truck drivers. 16 s.
- Nr 907 Björheden, R. 2016. Mekaniserad avverkning av grova lövträd - en litteraturstudie. – Mechanised harvesting of large-size hardwood trees – a literature study. 26 s.
- Nr 908 Bhuiyan, N., Hannrup, B., Nordström, M. & Larsolle, A. 2016. Beslutsstöd för stubbskörd.– Utveckling av ett prototypprogram för snabbare implementering i skogsbruket. – Decision-support tool for stump harvest. – Development of prototype software for faster implementation in forestry. 22 s.
- Nr 909 Möller, J.J., Siljebo, W., Hannrup, B. & Bhuiyan, N. 2016. Modul för beräkning av skogsbränsle baserat på skördardata. – hprCM version 1.0 – Harvested Production Calculation Module baserad på StanForD 2010 version 3.2.
- Nr 910 von Hofsten, H., Eliasson, L., Lundström, H. & Granlund, P. 2016. Prestation och bränsleförbrukning för två stora trumhuggar avsedda för flisning på terminaler. – Production and fuel consumption for two large drum chippers. 14 s.
- Nr 911 Jonsson, R., Jönsson, H. & Lundström 2016. Prestation och kostnader för slutavverkningsdrivare Komatsu X19 harwarder med snabbfäste. – Performance and cost in final felling for Komatsu X19. Harwarder with quick hitch. 40 s.
- Nr 912 Jonsson, R., Jönsson, P., Lundström, H. & Manner J. Prestation och kostnader för drivaren Komatsu X19 och tvåmaskinsystem med Komatsu 941 och 895 i grov slutavverkning – Performance and costs for the Komatsu X19 harwarder compared to Komatsu 941/895 harvester/forwarder in heavy-timber final felling. 38 s.
- Nr 913 Jönsson, P., Andersson, M., Hannrup, P., Henriksen, F. & Högdahl, A. 2016. Avverkningskapacitet för sågkedjor – en jämförande studie. – Cutting capacity of saw chains – a comparative study. 38 s.
- Nr 914 Skutin, S.G. & Bergqvist, M. 2016. Slutrapport – Rapport Bergtäkt. – Potentialer till kortare ledtider i miljöprövningen. – Final report of the 'Rock Quarry' project. Potential to shorten lead times in environmental assessment. 44 s.
- Nr 915 Ottosson, P., Andersson, D. & Fridh, L. 2016. Radarteknik för fukthaltsmätning – en förstudie- Radar technology for measuring moisture content – a preliminary study. 23 s.



## 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.

Från Skogforsk nr. 915–2016



[www.skogforsk.se](http://www.skogforsk.se)