

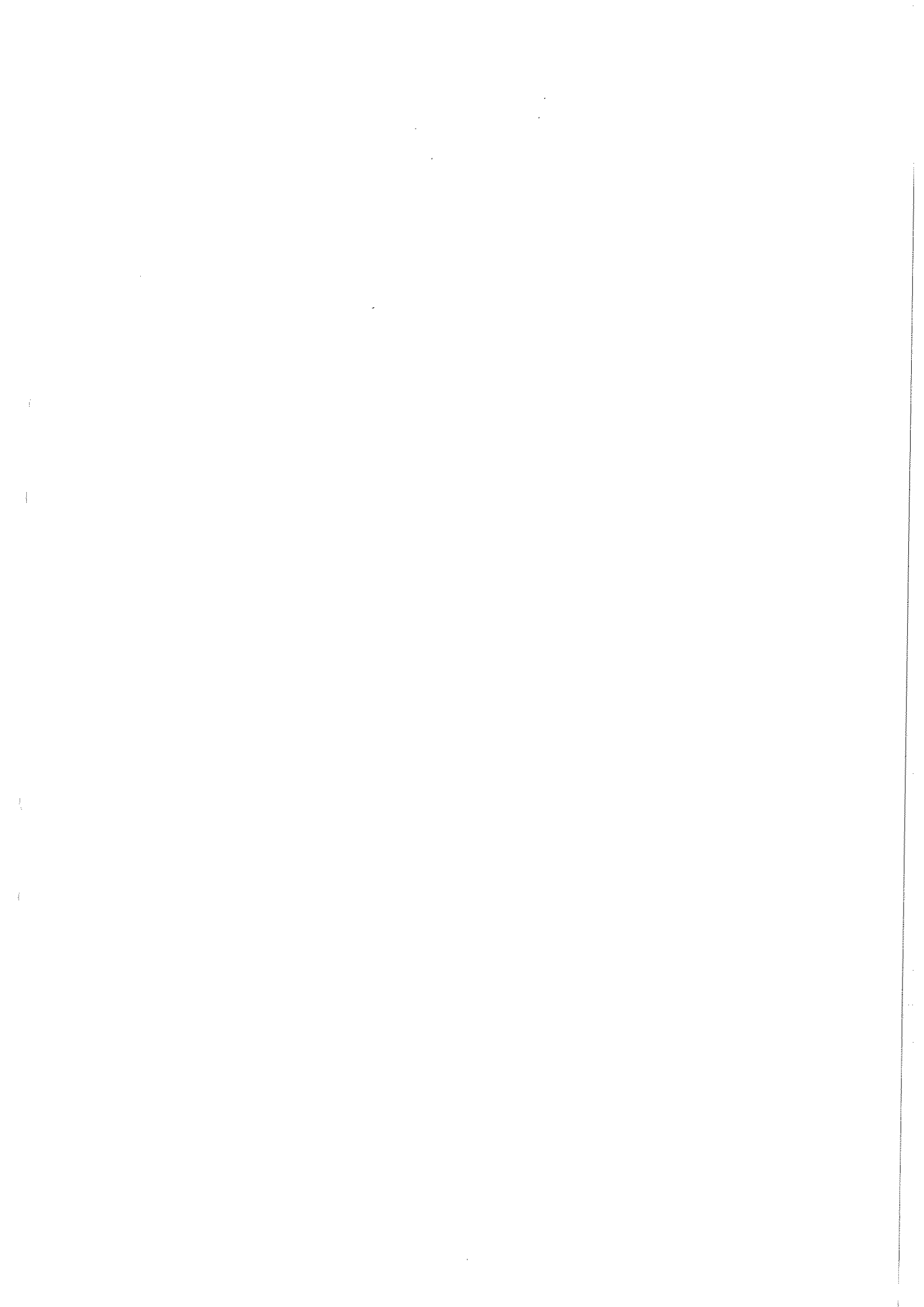
Anders Samuelsson
RESISTANSKURVOR FÖR ELEKTRISKA
FUKTKVOTSMÄTARE
TräteknikCentrum, Rapport L 9006029

Nyckelord

moisture meters
moisture resistance
pine
spruce
temperature compensation

Stockholm juni 1990

Detta digitala dokument
skapades med anslag från
**Stiftelsen Nils och Dorthi
Troëdssons forskningsfond**



INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sid</u>
1. SAMMANFATTNING	3
2. SYFTE OCH BAKGRUND	4
3. PROVMATERIAL	5
4. UPPSÄGNING OCH MÄRKNING	7
5. MÄTUTRUSTNING	8
6. FÖRSÖKSMETODIK	9
Densitetsprov	10
Konditionering	11
Vägning och resistansmätning	12
Gradientprov	13
Fuktkvotsbestämning	13
Resultatsammanställning	14
Regressionsanalys	14
Parameteranalys	14
Felanalys	15
7. RESULTAT	16
Densitet	16
Fuktkvot	16
Fuktkvotsgradient	16
Resistanskurva furu	17
Resistanskurva gran	18
Val av mätvärden	18
Parameteranalys	19
8. FELANALYS	23
Antal prov med elektrisk fuktkvotsmätare	24
9. TEMPERATURKORRIGERING	28
Instrumentens temperaturkänslighet	33
10. TIDIGARE RESISTANSKURVOR	34
11. REFERENSER	37



1. SAMMANFATTNING

Denna undersökning hade till syfte att ge en resistenskurva för furu och en för gran att användas i el-resistiva fuktkvotsmätare. Provmaterial från olika delar av landet samlades in och ämnena sorterades, kapades samt märktes. Därefter konditionerades ämnena till fem olika fuktkvotnivåer (7, 10, 15, 20 och 25 %) varefter resistansen mättes med en specialtillverkad ohmmeter. Alla data om varje provämne registrerades på data för att där ligga till grund för den regressionsanalys av mätvärdena som skulle ge ett matematiskt samband mellan resistansen i träet och träets fuktkvot. Dessutom utfördes en analys av övriga parametrars inverkan, där bl a lagringssätt, densitet och geografiskt ursprung ingick. Regressionsanalysen resulterade i en funktion $u(R)$ för furu och en för gran. Funktionen för gran kommer att kontrolleras med ytterligare en undersökning eftersom den skiljer sig markant från tidigare resultat. Funktionen för furu är

$$u = \frac{1,055 - \log(\log R + 1)}{0,040} \quad u = \text{fuktkvot i \%}$$

eller omskriven

$$R = 10^{(10^{(1,055 - 0,04 \times u)} - 1)} \quad R = \text{resistans i Mohm}$$

Undersökningen kompletterades med en litteraturstudie inom området temperaturkompensering för el-resistiva fuktkvotsmätare. Detta resulterade i en omarbetad formel för temperaturkompensering enligt följande:

$$u_K = \frac{u + 0,567 - 0,026 \times (t + 2,8) + 0,000051 \times (t + 2,8)^2}{0,881 \times 1,0056^{(t + 2,8)}}$$

u_K = temperaturkompenserad fuktkvot i %

t = virkets temperatur i °C

u = avläst fuktkvot i %

2. SYFTE OCH BAKGRUND

Trätek började utveckla en egen fuktkvotsmätare som skulle vara bättre än de på marknaden då dessa ej har de funktioner och den formgivning som vore önskvärd. Till denna nya fuktkvotsmätare behövs en kalibreringskurva för relationen fuktkvot-elektrisk resistans, och som gäller för svensk furu och gran. De kalibreringskurvor som redan finns är ej utförda på svensk furu och gran.

3. PROVATERIAL

Provmaterialet insamlades från 6 st olika sågverk från Östersund i norr till Götene i söder. Materialet skulle vara representativt för svensk furu och gran. Längden på proverna var ca 40 cm, tjockleken från 16 mm till 75 mm och bredden från 75 mm till 225 mm. Sammanlagt insamlades 82 provbitar, varav 66 st furu och 16 st gran.

Provbitarna var lagrade på tre olika vis: inte lagrat alls d v s färskt, vattenlagrat samt landlagrat. Fram till försöksstarten lagrades provmaterialet i frysskåp. Provbitarna är tagna både ur topp-, mitt- och rotstock.

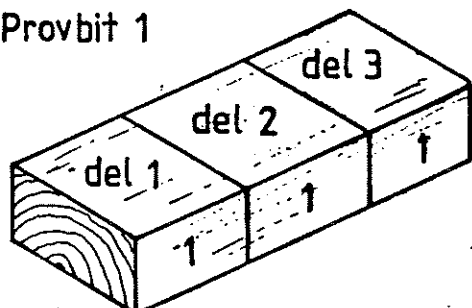
TABELL 1. Data om provmaterialet.

Sågverk	Lagring	Träslag	Dimension	Antal, st
Jämtland, Härjedalen produktion	Färskt	Furu	50x100	10
Forsnäs	Färskt	Furu	75x150	5
			38x125	1
			25x200	1
			19x150	1
			19x125	1
			19x125	1
			38x100	1
Torsby	Land- lagrat	Furu	75x150	5
			50x150	5
			25x125	2
			25x 75	2
Korsnäs	Färskt	Furu	50x175	3
			35x100	2
			25x100	3
			15x100	1
			15x 75	1
	Färskt	Gran	50x115	2
			22x225	1
			22x150	1
			22x125	1
			16x100	2
Götene	Färskt	Furu	50x225	1
			50x150	2
			38x125	1
	Vatten- lagrat	Furu	50x150	3
			19x100	1
			19x 75	2

Sågverk	Lagring	Träslag	Dimension	Antal, st
Götene	Färskt	Gran	38x150	2
			19x150	1
			19x125	1
			19x100	1
			19x 75	1
Iggesund	Vatten- lagrat	Furu	50x200	2
			38x100	1
			30x125	1
			25x175	1
			30x125	1
			25x100	2
			25x 75	1
			16x 75	1

4. UPPSÄGNING OCH MÄRKNING

Provbit 1



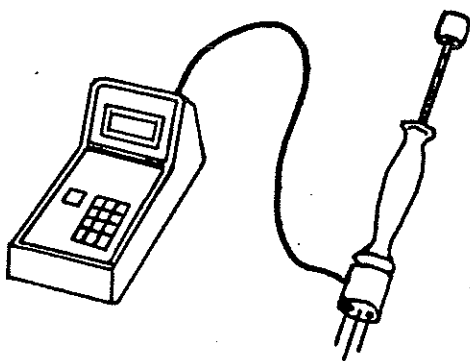
Figur 1. Uppdelning av provämne.

Varje provämne märktes med ett nummer och sågades upp i tre st bitar enligt figur 1. Alla tre bitarna tillhör samma provämne. Bit 1 konditionerades enligt vänstra delen i figur 3 och bit 2 användes för densitetsprov samt bit 3 av provämnet konditionerades enligt högra delen i figur 3.

5. MÄTUTRUSTNING

För mätning av elektrisk resistans hos träet användes en megaohmmeter som var speciellt tillverkad för detta ändamål.

Utrustningen skisseras i figur 2.



Figur 2. Ohmmeter med inslagselektroder för mätning av resistans i trä.

Megaohmmetern är utrustad med en mikroprocessor som gör 2 st mätningar av spänningen mellan mätstiften, den utför en mätning i vardera strömriktningen, vilket ger en positiv och en negativ mätning.

Därefter beräknas kvoten

$$\frac{U_{2\text{pos}}}{U} = V_{\text{pos}} \text{ och } \frac{U_{2\text{neg}}}{U} = V_{\text{neg}}$$

V_{pos} och V_{neg} kan anta värden mellan 0 och 1,0.

U_2 = spänning över mätstift i trä

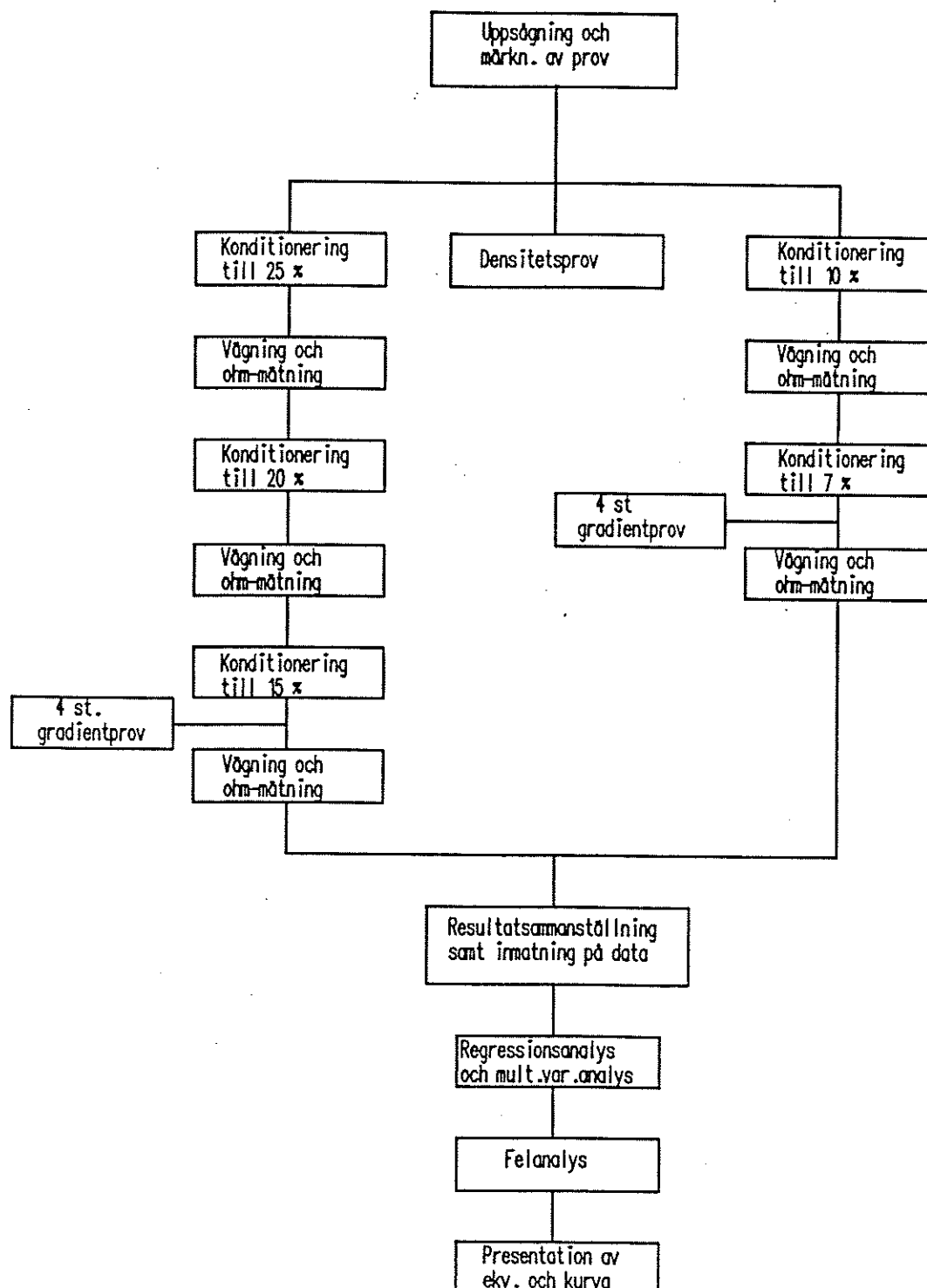
U = spänning över referensmotstånd då mätstiften kortslutes (60V).

Medelvärdet $V = (V_{\text{pos}} + V_{\text{neg}})/2$ beräknas. Det används sedan för beräkning av resistansen enligt $R = r \cdot V / (1 - V)$ där r är ett referensmotstånd på 100 Mohm. Mätningen utföres på ca 4 sek, trämaterialen spänningsbelastas i ca 3 sek, varav halva tiden med motsatt polaritet. Avståndet mellan mätstiften var 32 mm (cc-mått), mätstiftens diameter 2 mm.

Mätutrustningen var en prototyp till den fuktkvotsmätare som utvecklades av K Lidström och Träteknik.

6. FÖRSÖKSMETODIK

Försöksarbetet skedde enligt arbetsschemat i figur 3. De ingående momenten i arbetsschemat beskrivs i den följande texten.

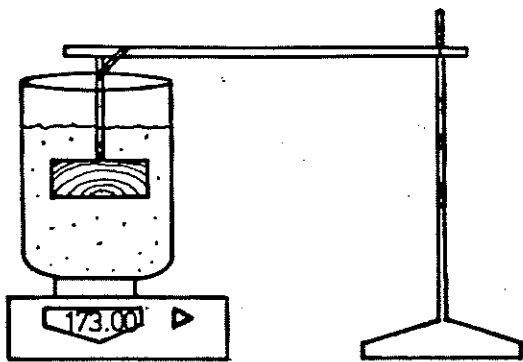


Figur 3. Arbetsschema för försöksarbetet.

Densitetsprov

$$\text{Densiteten} = \frac{\text{träets vikt i torrt tillstånd (kg)}}{\text{träets volym i vått tillstånd (m}^3\text{)}}$$

Träets volym togs fram genom att mäta viktökningen då den fuktmättade träbiten pressades ner i en burk med vatten som stod på en våg. Detta ger den undanpressade vattenvolymens vikt. Med hjälp av denna kan volymen beräknas då man känner vattnets densitet. Torrvikten uppmättes efter torkning i ugn vid 103°C till dess upprepade vägningar med 1 timmes mellanrum uppvisade en maximal viktminskning av 0,1 %.



Figur 4. Utrustning bestående av våg, vattenbehållare samt stativ för mätning av provkropparnas volym.

Konditionering

Konditionering skedde vid fem olika klimat som motsvarar fem olika jämviktsfuktkvoter hos träet. Klimaten åstadkoms i ett klimatskåp av typ Heraeus Vötsch.

Följande klimat och tider var inställda:

Nivå 1. 25 % jämviktsfuktkvot

24 dagar	vid t = 50°C	RF = 97 % = jämviktsfuktkvot	u = 24,0 %
24 "	" " = 20 "	" = 96 " = "	" = 24,4 "

Nivå 2. 20 % jämviktsfuktkvot

11 dagar	vid t = 52°C	RF = 90 % = jämviktsfuktkvot	u = 17,9 %
1 dag	" " = 20 "	" = 89 " = "	" = 20,0 "

Nivå 3. 15 % jämviktsfuktkvot

6 dagar	vid t = 53°C	RF = 82 % = jämviktsfuktkvot	u = 14,8 %
10 månader	" " = 20 "	" = 77 " = "	" = 15,1 "

Nivå 4. 10% jämviktsfuktkvot

2 månader	vid t = 20°C	RF = 56 % = jämviktsfuktkvot	u = 10,1 %
-----------	--------------	------------------------------	------------

Nivå 5. 7 % jämviktsfuktkvot

5 månader	vid t = 40°C	RF = 26 % = jämviktsfuktkvot	u = 4,9 %
1 månad	" " = 20 "	" = 37 " = "	" = 7,1 "

Vägning och resistansmätning

Efter avslutad konditionering vägdes provbitarna. Detta skedde alltså fem gånger, d v s efter konditionering till 25 %, 20 %, 15 %, 10 % och 7 %.

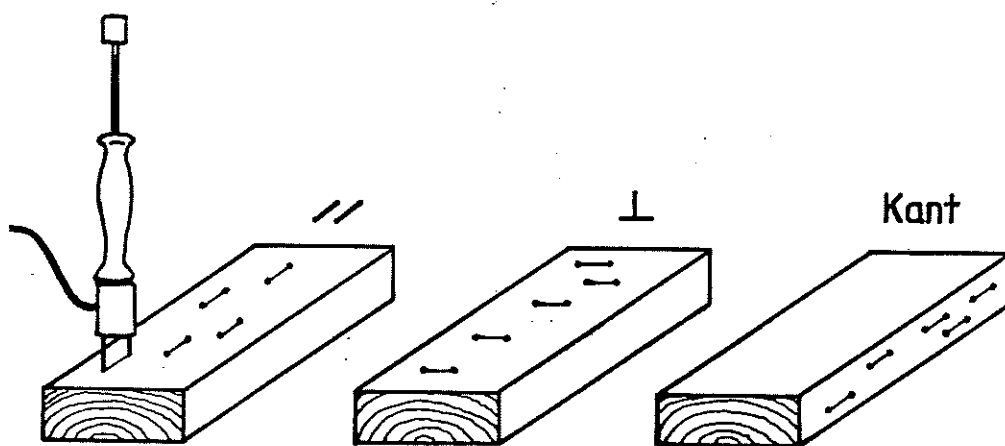
Resistansen mättes direkt efter vägningen.

På varje provbit mättes resistansen enligt tabell 2 och figur 5.

Tre olika inslagsdjup användes, 10, 20 och 30 mm, och tre olika inslagssätt, på flatsidan parallellt fibrerna, på flatsidan vinkelrätt fibrerna och på kanten. Varje inslagsdjup och inslagssätt gjordes 5 ggr $3 \times 3 \times 5 = 45$ mätningar. Se figur 5.

TABELL 2. Mätpunkternas läge och antal.

	Flatsida			Flatsida			Kant		
	Inslagsdjup mm			Inslagsdjup mm			Inslagsdjup mm		
	10	20	30	10	20	30	10	20	30
Mätn.nr	11	16	21	26	31	36	41	46	51
	12			27			42		
	13			28			43		
	14			29			44		
	15	20	25	30	35	40	45	50	5

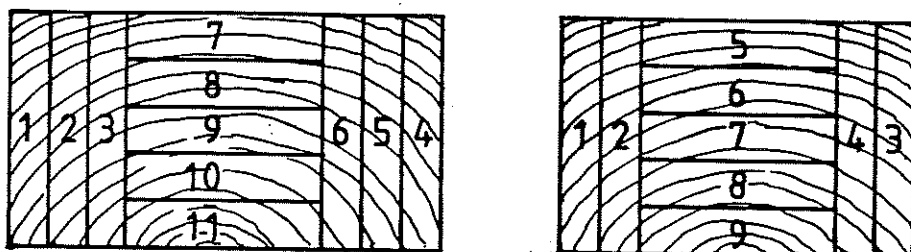


Figur 5. Mätelektrodens läge vid olika mätningar av resistansen.

Mätpunkternas läge på ytan var inte bestämda. De utsågs slumpmässigt över hela ytan, dock ej nära kanterna.

Gradientprov

Gradientprov utfördes på fyra bitar med $u_m = 15\%$ (nivå 3) samt fyra bitar med $u_m = 7\%$ (nivå 5). Provbitarna hackades upp enligt figur 6.



Figur 6. Mönster för upphackning av gradientprover.

Varje delbit vägdes och torkades i ugn vid 103°C i 24 timmar, därefter kunde fuktkvoten bestämmas enligt torrviktsmetoden.

$$U = \frac{m_u - m_{\text{torr}}}{m_{\text{torr}}} \cdot 100\%$$

m_u = vikt vid aktuell fuktkvot
 m_{torr} = " " 0 % fuktkvot

Med hjälp av fuktkvoterna hos varje delbit får man uppfattning av fuktkvotsgradienten i provbiten. Gradienten redovisas här som

$$\text{relativa gradienten} = \frac{\max u - \text{medel } u}{\text{medel } u} \cdot 100\%$$

Fuktkvotsbestämning med hjälp av torrviktsmetoden

Hela provmaterialet torkades i torkskåp vid 103°C tills upprepade vägningar med 1 timmes mellanrum uppvisar en maximal viktskillnad av 0,1 %. Med hjälp av m_{torr} och de tidigare m_{25} , m_{20} , m_{15} , m_{10} och m_7 , kunde fuktkvoterna bestämmas för alla de fem nivåerna enligt $u = \frac{m_u - m_{\text{torr}}}{m_{\text{torr}}} \cdot 100\%$.

Resultatsammanställning

Alla mätningar samlades i protokoll som var kodade efter bitnr, nivå, fuktkvot, sågverk, plats i Sverige (Nord, Mellan och Syd), träslag, lagringsätt, tjocklek, bredd och densitet.

Dessa protokoll registrerades på data för att underlätta hanteringen av den stora mängden mätvärden.

Totalt erhöles ca 18 000 mätvärden.

Regressionsanalys

För att erhålla en ekvation som beskriver relationen mellan u och R gjordes en regressionsanalys. Den ansatta ekvation var:

$$10_{\log} (10_{\log} R + 1) = Au + B$$

Genom att säga att $10_{\log} (10_{\log} R + 1) = Y$ får man $Y = Au + B$. En linjär regression ger koefficienterna A och B med hjälp av minsta kvadratmetoden. Regressionen utfördes med dataprogrammet Stat.graphics.

Parameteranalys

För att få en uppfattning om vilka parametrar som påverkar relationen $u - R$ gjordes en parameteranalys. Den utfördes på följande vis:

En parameter i taget varierades medan de andra var fixa (konstanta). Regressionskurvor togs fram för varierande värden på den undersökta parametern för att se dess inverkan på relationen $u - R$. Resultaten presenteras grafiskt och i ord.

Felanalys

I felanalysen ingick beräkning av medelvärde, standardavvikelse enligt

$$s = \frac{x^2 - (\sum x)^2/n}{n - 1}, \text{ konfidensintervallet } 95 \%, \text{ där gränserna var } 1,96xs.$$

Beräkningarna gjordes per fuktkvotsnivå, vilket gav fem medelvärden och fem standardavvikelser o s v.

Vidare beräknades antal stickprov man måste ta med elektrisk fuktkvotsmätare på en viss population träbitar för att erhålla en viss noggrannhet på medelvärdet för fuktkvoten.

Följande formel användes:

$$n = \frac{(t_p x s)^2}{a}$$

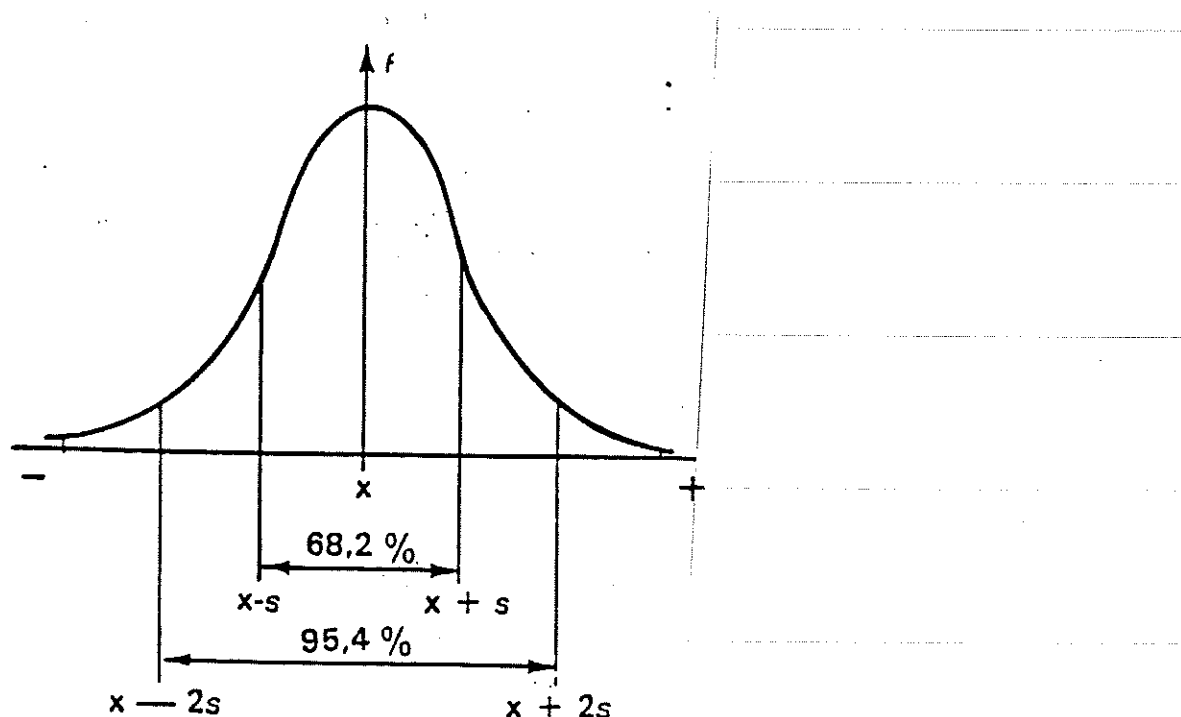
t_p tages ur tabell för t-fördelning, här $t_p = 1,96$

t_p beror av populationens storlek

s = standardavvikelsen för hela populationen

a = önskad noggrannhet på medelvärdet

n = antal prov som erfordras för att uppnå noggrannheten a vid givet s .



Figur 7. Normalfördelningskurva.

7. RESULTAT

Densitet

Furu torr-rå densitet = 413 kg/m³, standardavvikelse = 48,6 kg/m³
 Gran " " = 422 " " = 42,4 "

Fuktkvot

um = medelfuktkvot %

Nivå 1.	um = 22,7 %	standardavvikelse = 0,74
	Konfidensintervallet 95 %	22,7 ± 1,5 %
Nivå 2.	um = 19,3 %	standardavvikelse = 0,63
	Konfidensintervallet 95 %	19,3 ± 1,3 %
Nivå 3.	um = 15,0 %	standardavvikelse = 0,53
	Konfidensintervallet 95 %	15,0 ± 1,1 %
Nivå 4.	um = 10,5 %	standardavvikelse = 0,26
	Konfidensintervallet 95 %	10,5 ± 0,5 %
Nivå 5.	um = 6,9 %	standardavvikelse = 0,19
	Konfidensintervallet 95 %	6,9 ± 0,4 %

Fuktkvotsgradient

Prov nr	Fuktkvotsnivå, %	Relativa gradienten, %
11	15	1,4
18	15	2,9
73	15	1,2
112	15	0,7
14	7	1,1
27	7	2,2
73	7	0,7
74	7	1,2

Resistanskurva furu

Regressionsanalysen gav koefficienterna A och B i ekvationen

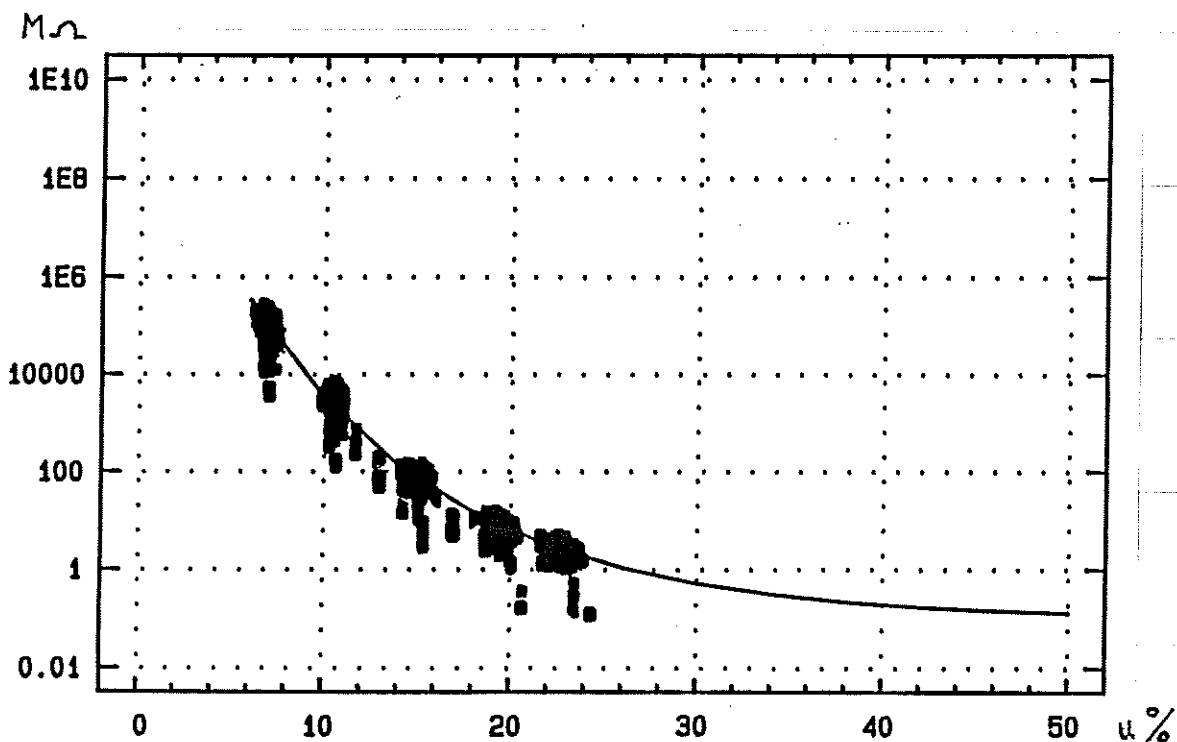
$R = 10(10^{(A \times u + B)} - 1)$. De blev $A = -0,04$, $B = 1,055$, vilket ger ekvation (1).

$R = 10(10^{(1,055 - 0,04 \times u)} - 1)$, (1), eller omskriven

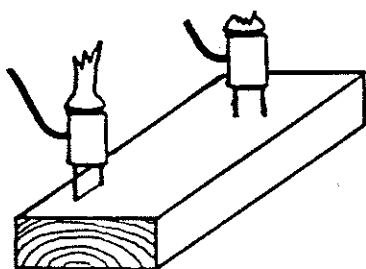
$$u = \frac{1,055 - \log(\log R + 1)}{0,040} \quad (2)$$

I figur 8 ses ekvationen ritad med mätvärdena kring regressionslinjen.

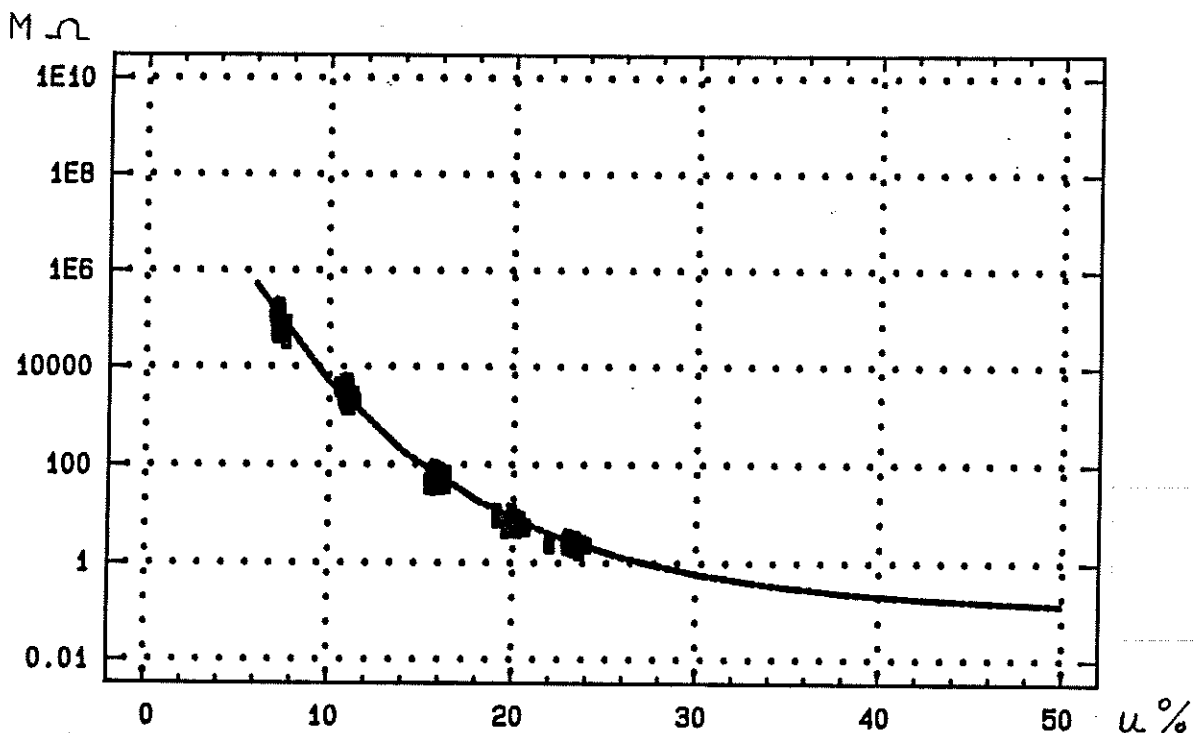
Till grund för denna slutgiltiga ekvation ligger mätningar på 66 st furu-bitar där 4 olika mätningar skett/bit vid fem olika fuktkvotnivåer. Totalt antal mätningar är alltså $66 \times 4 \times 5 = 1320$ st. I hela studien har det ingått 14850 st mätningar. Mätningarna som ekvationen är baserad på är gjorda på flatsidan vinkelrätt och parallellt med fibrerna 10 mm in i provbitarna. Se figur 9.



Figur 8. Träteks resistanskurva för furu samt de mätningar som kurvan är anpassad till.



Figur 9.



Figur 10. Trätekens resistanskurva för gran samt de mätningar som kurvan är anpassad till.

Resistanskurva gran

Till regressionsanalysen för gran fanns det mätningar från 16 st provbitar. Koefficienterna A och B blev här $A = -0,039$, $B = 1,063$, vilket ger ekvationen:
$$u = \frac{1,063 - \log(\log R + 1)}{0,039} \quad (3)$$

I figur 10 presenteras ekvationen grafiskt med mätningarna placerade i samma graf.

Val av mätvärden

Den datorbaserade regressionsanalysen hade sina begränsningar såsom att den kunde hantera maximalt 1 000 mätvärden. Detta gjorde att alla mätvärden inte kunde användas i den slutgiltiga regressionen som gav ovanstående ekvationer. Emellertid behövdes inte alla mätningarna som parameteranalysen skall visa.

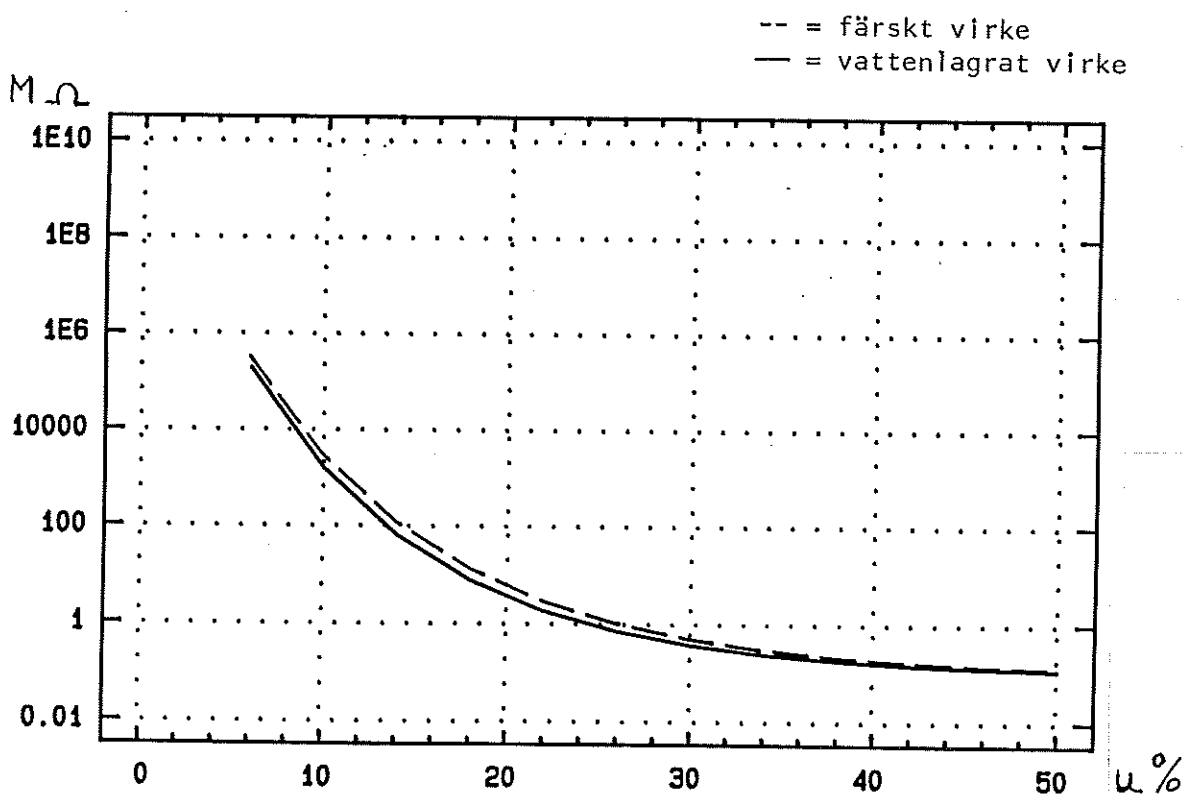
Parameteranalys

Vid parameteranalysen var alla parametrar konstanta utom den som skulle undersökas.

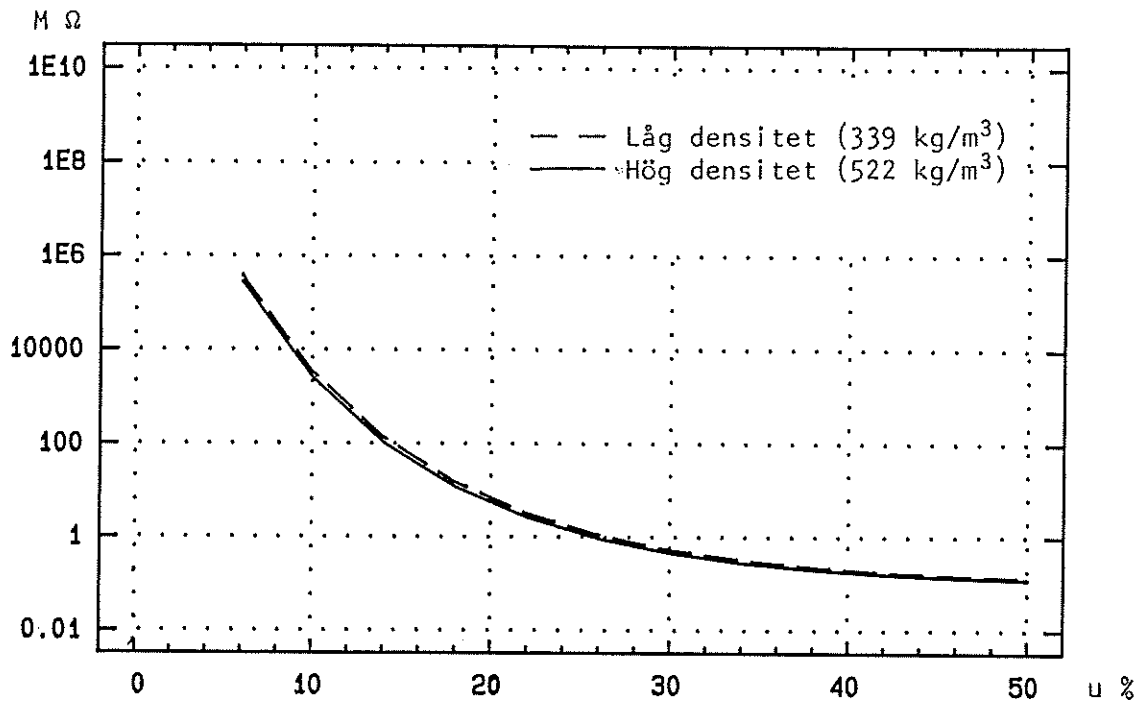
Den parameter som varierades fick anta olika värden, därefter gjordes en regression för relationen fuktkvot-resistans för att se om parametrarnas variation påverkade regressionen.

De parametrar som undersöktes var inslagssätt (vinkelrätt fibrerna, parallellt fibrerna och på kanten), densitet, vattenlagrat eller färskt, mätstiftens inslagsdjup. Relationen fuktkvot-resistans påverkades endast av parametern vattenlagrat eller färskt, se figur 11. Det övriga parametrarna påverkades så lite att det inte går att dra några slutsatser då försöksmaterialet var begränsat. Se figur 12-15.

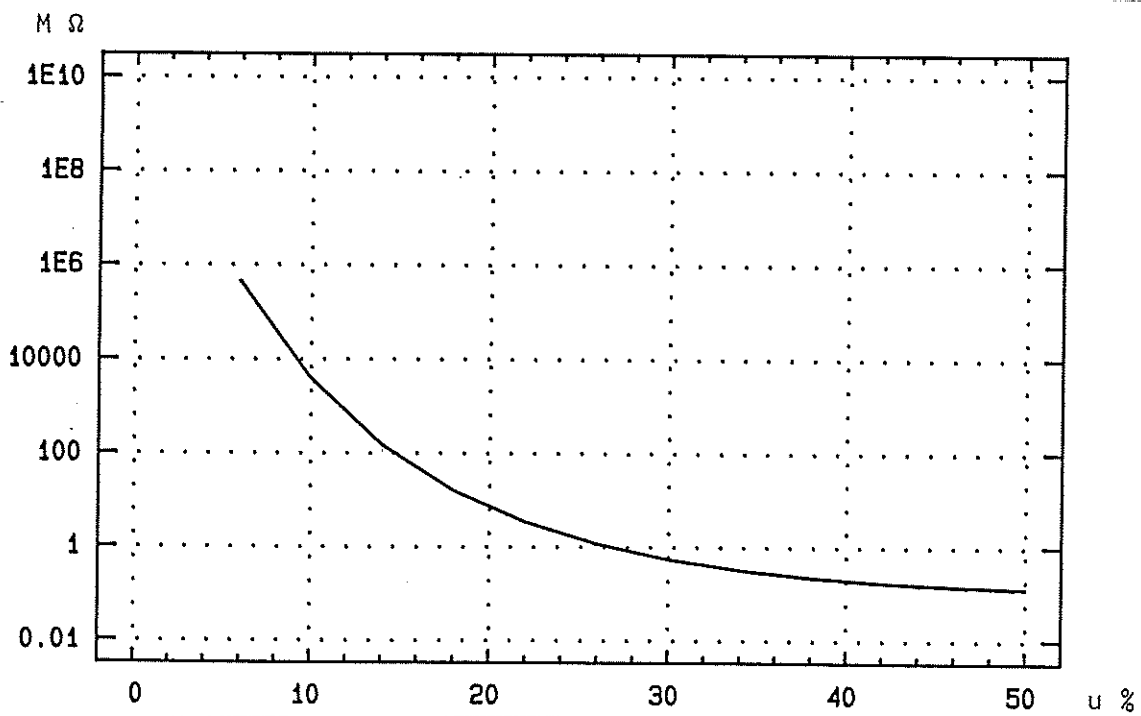
Det var ingen signifikant skillnad mellan vattenlagrat och färskt, eftersom spridningen i mätvärden var större än spridningen på vattenlagrat eller färskt. Vid fuktkvotnivån 19,6 % är 95-procentkonfidensintervallet (spridningen) +4,8 %, och -1,4 %, skillnaden på lagring är 1 % vid samma fuktkvotnivå, se figur 11.



Figur 11. Resistanskurva för färskt och vattenlagrat virke.

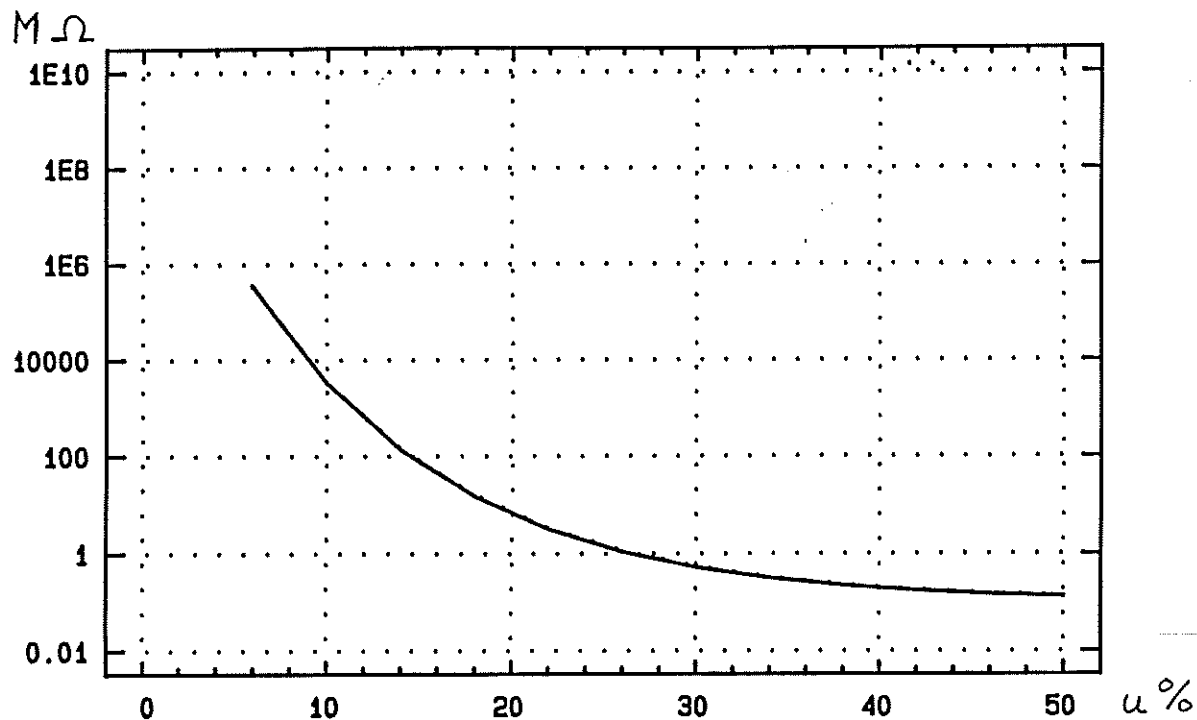


Figur 12. Resistanskurva för furu med hög respektive låg densitet.



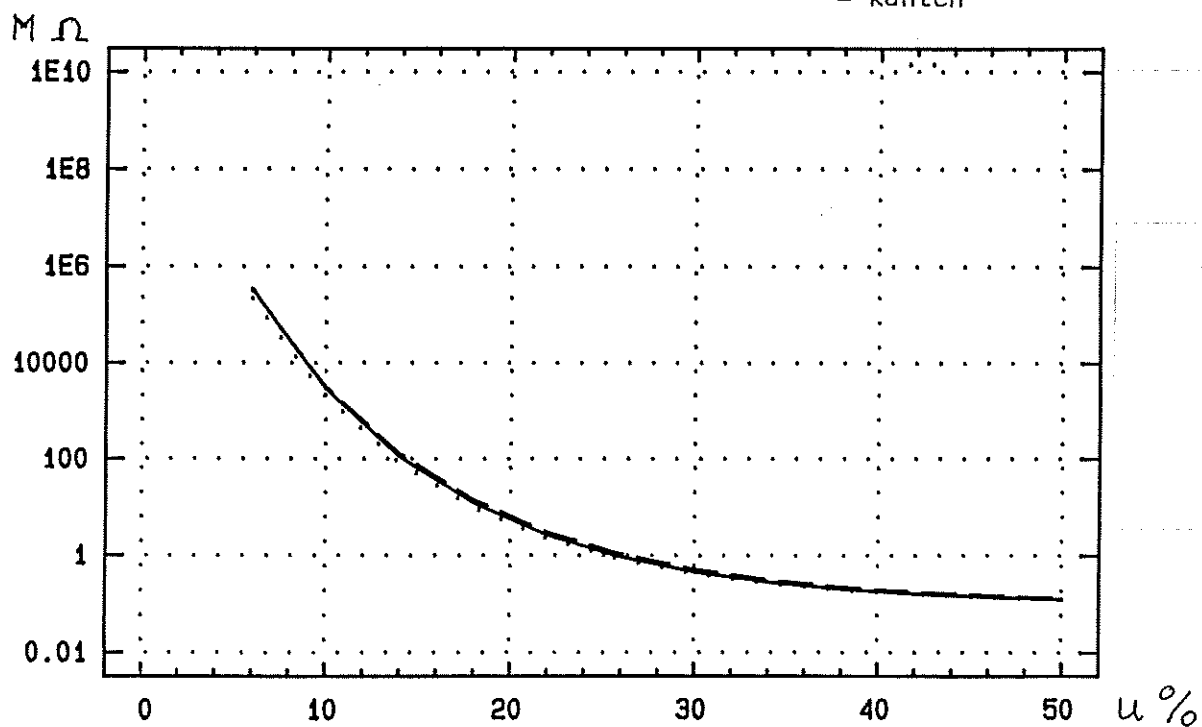
Figur 13. Resistanskurva för gran med hög respektive låg densitet. Kurvorna tangerar varandra.

P g a att det ingick så få provbitar av gran kunde inte alla parametrar varieras. Det fanns t ex endast färsk gran.



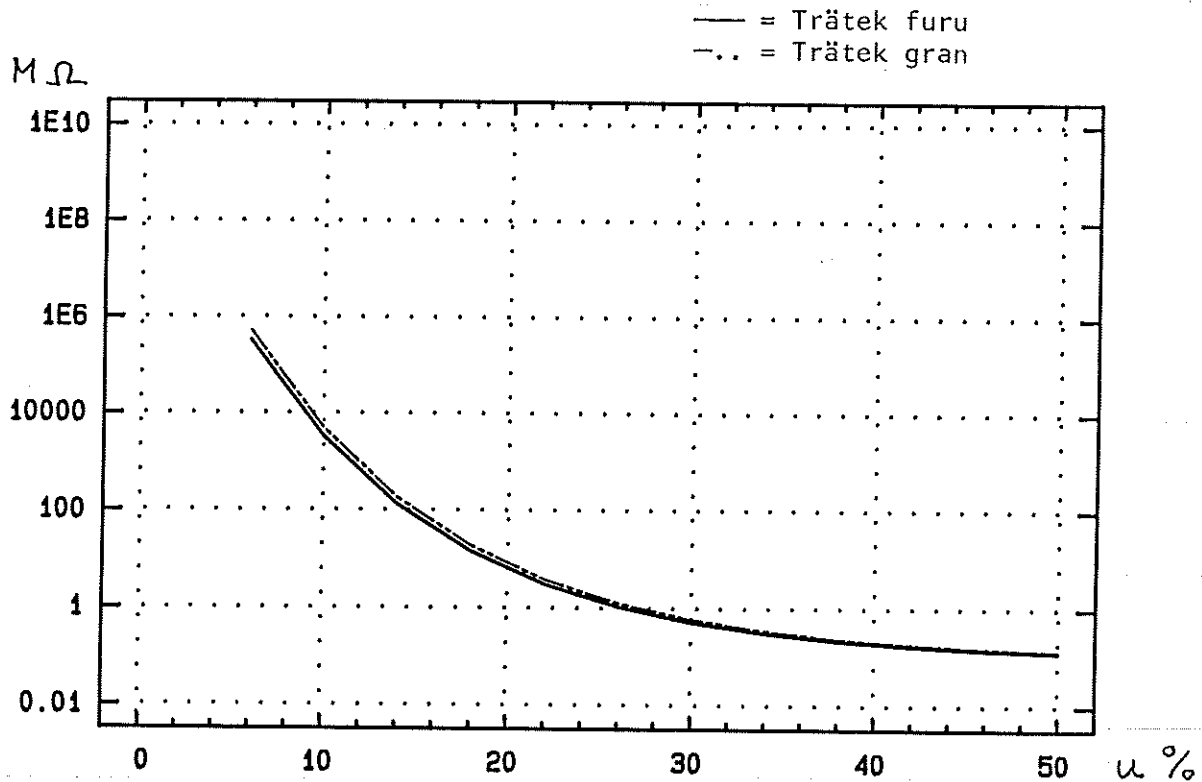
Figur 14. Resistanskurva för furu med tre olika inslagsdjup.

— = parallellt fibrerna
 --- = vinkelrätt fibrerna
 ... = kanten



Figur 15. Resistanskurva för furu med tre olika inslagsätt.

Av figur 16 framgår att det är en liten skillnad mellan furuns och granens resistanskurva. Andra undersökningar visar att skillnaden är större (Paajanen, T). Föreliggande undersökning hade dock ett magert provmaterial av gran med en ovanligt hög densitet.



Figur 16. Trätekts resistanskurva för furu respektive gran.

Det finns fler parametrar som påverkar relationen fuktkvot-resistans. En av dem är ligninhalten. Enligt C Skaar sjunker resistansen vid konstant fuktkvot då ligninhalten ökar. C Skaar säger också att resistansen sjunker med ökande densitet. Antydning till detta ses i figur 12.

8. FELANALYS

Felet bestod av två delar:

I: spridning i jämviktsfuktkvot vid fixt klimat under lång tid,

II: spridning i elektrisk resistans vid fix jämviktsfuktkvot.

Båda felen fanns samtidigt då det totala felet bestod av I och II.

Totala felet är spridning i elektrisk resistans vid fixt klimat.

Feltyp I och II finns eftersom alla träbitar är olika individer med varierande densitet, hartshalt, anisotropi etc.

Nedan presenteras medelvärden, standardavvikelse och felen vid de fem olika fuktkvotnivåerna 1-5.

Nivå 1	medelresistans	= 2,44 Mohm
	standardavvikelse	= 0,90 "
	95 % konfidensintervall	= $2,44 \pm 1,96 \times 0,90 = 2,44 \pm 1,76$ Mohm
	Detta motsvarar fuktkvot	22,8 +5,6 %
		-1,7
Nivå 2	medelresistans	= 7,40 Mohm
	standardavvikelse	= 2,97 "
	95 % konfidensintervall	= $7,40 \pm 1,96 \times 2,97 = 7,40 \pm 5,23$ Mohm
	Detta motsvarar fuktkvot	19,6 +4,8 %
		-1,4
Nivå 3	medelresistans	= 72,3 Mohm
	standardavvikelse	= 31,4 "
	95 % konfidensintervall	= $72,3 \pm 1,96 \times 31,4 = 72,3 \pm 61,5$ Mohm
	Detta motsvarar fuktkvot	15 +3,7 %
		-1,0
Nivå 4	medelresistans	= 2885 Mohm
	standardavvikelse	= 1406 "
	95 % konfidensintervall	= $2882 \pm 1,96 \times 1406 = 2282 \pm 2756$ Mohm
	Detta motsvarar fuktkvot	10,1% +3,0 %
		-0,6
Nivå 5	medelresistans	= 103771 Mohm
	standardavvikelse	= 51453 "
	95 % konfidensintervall	= $103771 \pm 1,96 \times 51453 = 103771 \pm 100842$ Mohm
	Detta motsvarar fuktkvot	6,9 +3,2 %
		-0,5

Antal prov med elektrisk fuktkvotsmätare

De fel som redovisats ovan medför att man måste ta ett antal stickprov då man vill bestämma medelfuktkvoten på ett parti virke.

Nedan presenteras de antal prov som erfordras då önskad noggrannhet är $\pm 0,5$ fuktkvotspocent. Dessa antal prov gäller vid de standardavvikelser som erhållits i den undersökta populationen.

Nivå 1 noggrannheten $\pm 0,5$ fuktkvotspocent
vilket motsvarar $\pm 0,36$ Mohm (itereras fram med hjälp av den erhållna relationen mellan u och R)

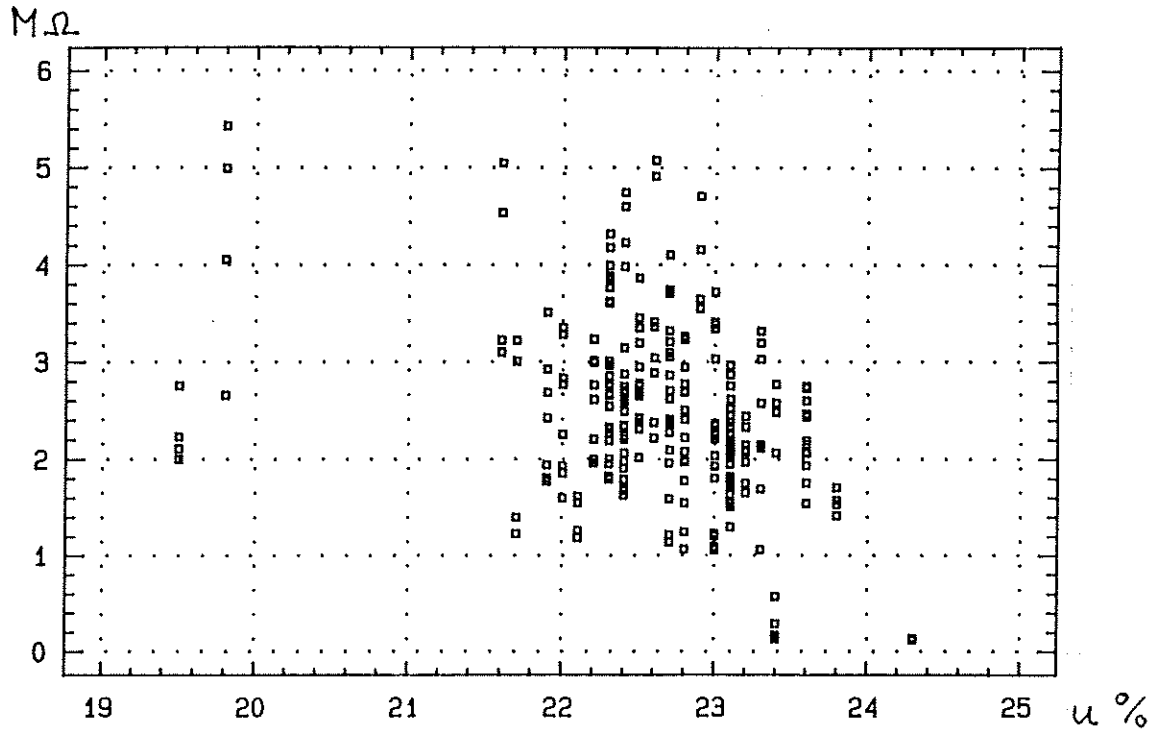
$$\text{Antal prov } n = \frac{(s \times 1,96)^2}{a} = \frac{(0,90 \times 1,96)^2}{0,36} = 24 \text{ st prover}$$

De övriga nivåerna beräknas på samma sätt vilket ger:

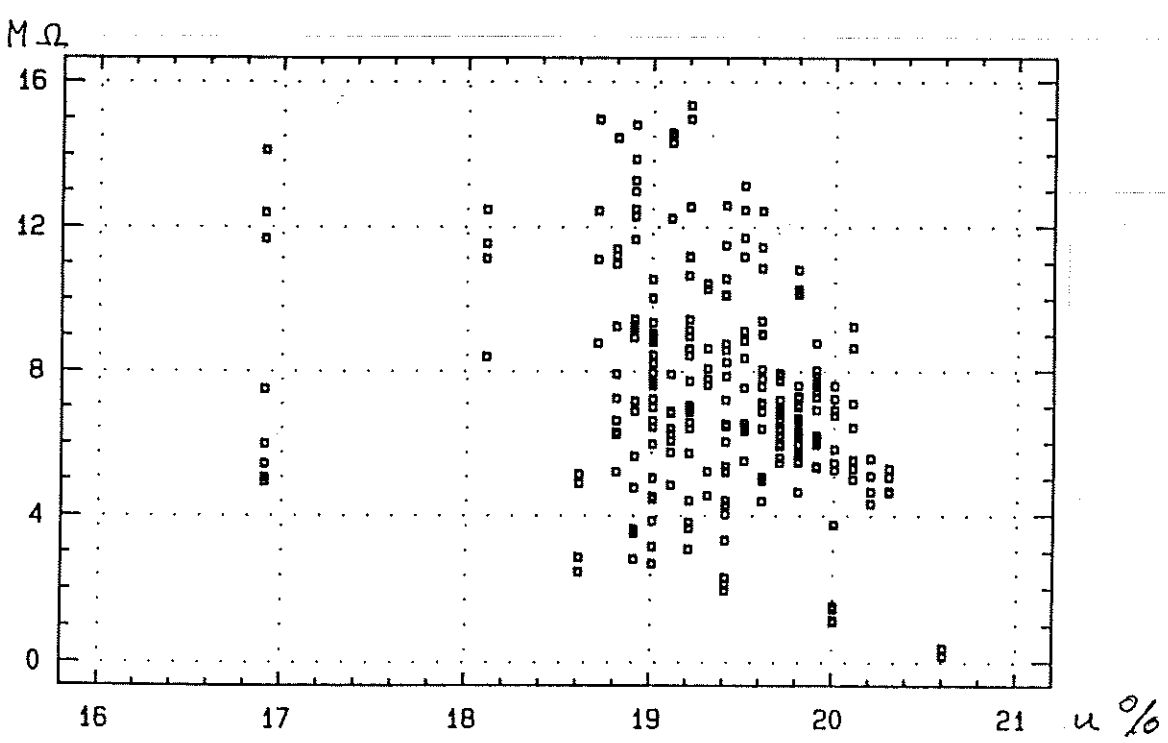
Nivå 2	16 st prover	$u = 20 \%$
" 3	8 " "	$u = 15 "$
" 4	3 " "	$u = 10 "$
" 5	2 " "	$u = 7 "$

Observera att beräkningarna utföres på resistansens standardavvikelse och noggrannhet, detta för att både spridning i fuktkvot och i elektrisk resistans skall beaktas. Se sid 23. För att beräkning av antalet prov skall kunna ske med hjälp av fuktkvotens standardavvikelse skall fuktkvoten och dess standardavvikelse bestämmas med en elektrisk fuktkvotsmätare, och inte som här med torrviktsmetoden.

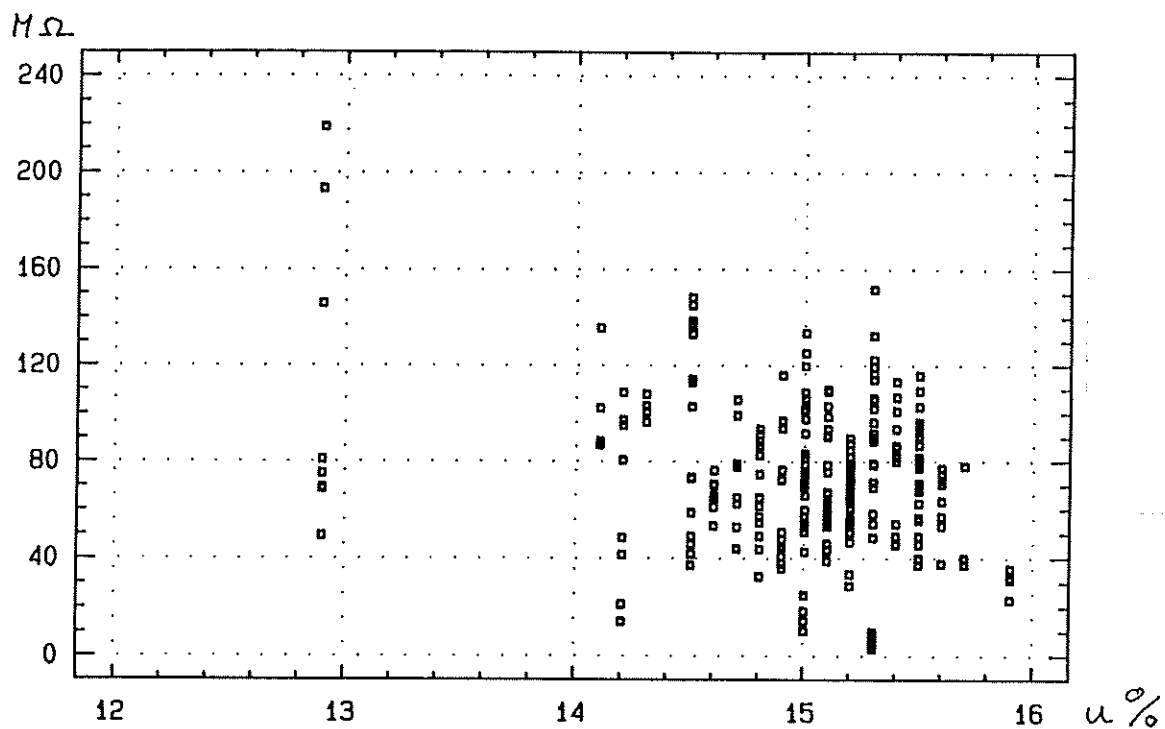
I figur 17-21 visas förstoring av de fem mätområdena. Observera att Y-axlarna är linjära och ej logaritmiska som i de grafer som beskriver relationen $u-R$.



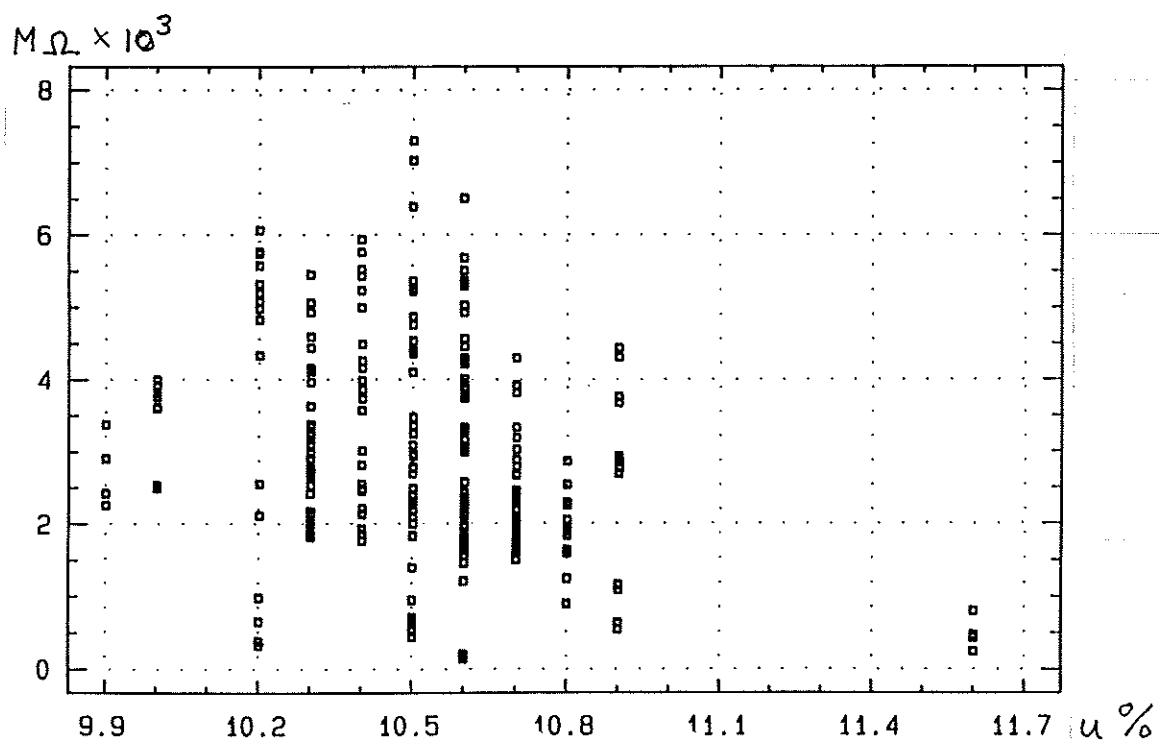
Figur 17. Mätvärden för furu vid nivå 1. $U_m = 22,7 \%$.



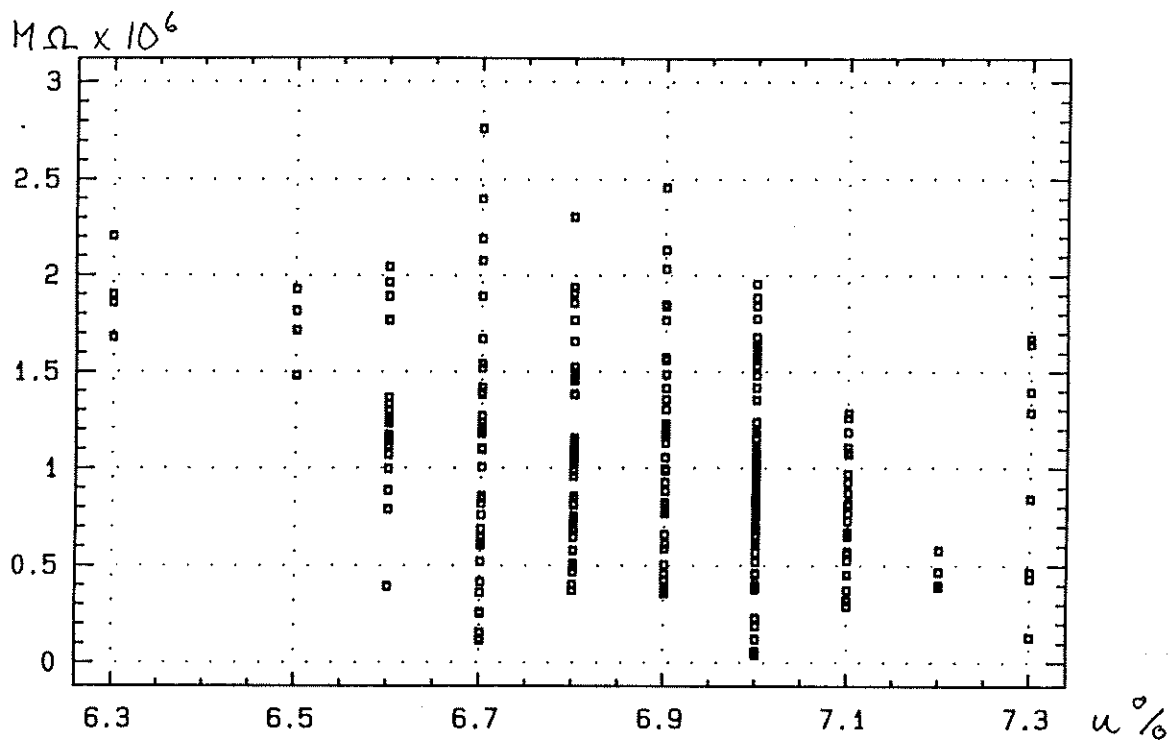
Figur 18. Mätvärden för furu vid nivå 2. $U_m = 19,3 \%$.



Figur 19. Mätvärden för furu vid nivå 3. $U_m = 15\%$.



Figur 20. Mätvärden för furu vid nivå 4. $U_m = 10,5\%$.



Figur 21. Mätvärden för furu vid nivå 5. $U_m = 6,9\%$.

9. TEMPERATURKORRIGERING

Den elektriska resistansen i trä minskar med ökande temperatur. Relationen resistans-temperatur vid fixt u har det funnits många uppfattningar om.

Relationen $R - t$ är träslagsberoende, vilket inte alltid uppmärksammas eller så har man bortsett från detta då man ansett variationen mellan de undersökta träslagen vara liten. Nedan följer några av de ekvationer som tagits fram för relationen $R - t$

* H Siimes 1983 $u_k = u (-0,01xt + 1,20)$
 u_k = temperaturkorrigerad fuktkvot %
 u = avläst fuktkvot på mätaren %
 t = temperatur i °C

Denna ekvation är utprovad på furu, gran och björk i temperaturintervallet -20°C till +60°C.

* M E Dunlap, E R Bell 1949

$$u_k = \frac{u - 0,0141 \times t + 0,28}{0,00865 + 0,827}$$

Vilka träslag ekvationen är kalibrerad för är okänt.

Temperaturintervall -35°C till +35°C

* R Keylwerth, D Noack 1956

$$u_k = \frac{u - 0,104 \times t + 2}{0,0041t + 0,92}$$

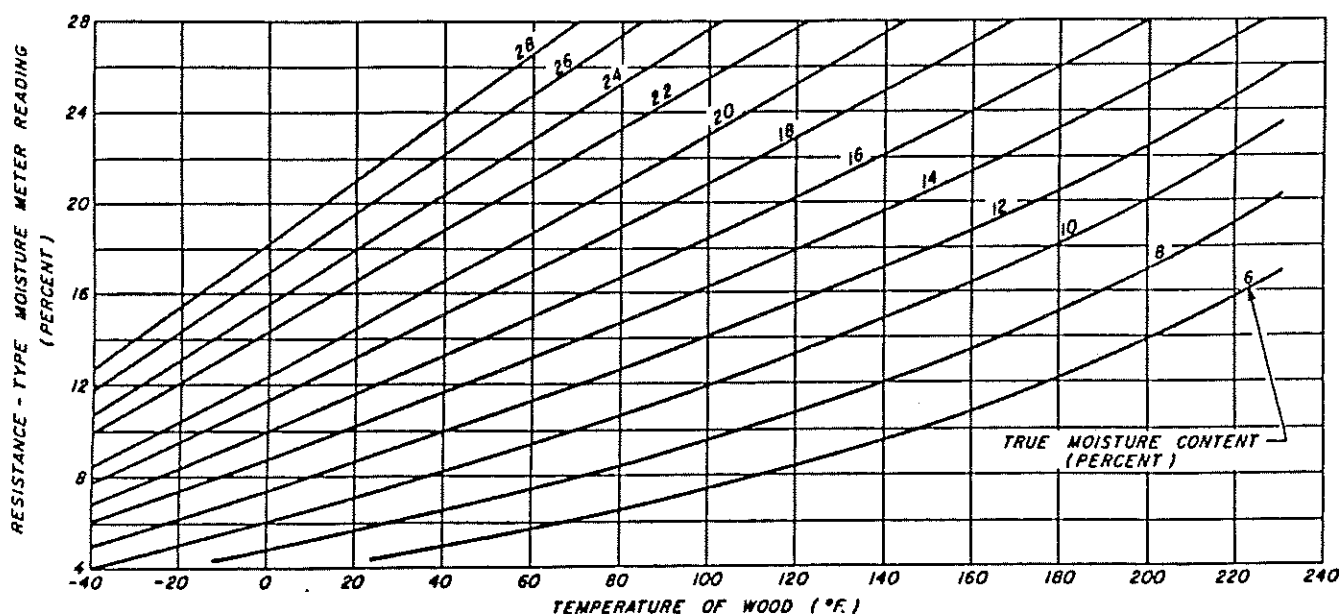
Ekvationen är baserad på mätningar gjorda på tysk gran av Siemens.

Temperaturintervall +20°C - +110°C

Keylwerth och Noack har använt samma typ av ekvation som Dunlap och Bell.

W L James presenterade 1963 en graf, som visade temperaturkorrigeringen för elektriska fuktkvotsmätare. Se figur 22. Denna graf var en ihopkoppling av data från flera undersökningar, men störst inflytande hade resultatet från Dunlap och Bell samt Keylwerth och Noack.

Grafen har använts av Delmhorst m fl sedan början på 1970-talet.



Figur 22. Temperaturkorrigeringskurvor för el-resistiva fuktkvotsmätare. Grafen är gjord av W.L. James 1963.

I Kanada ansåg användarna att korrektionen var fel vid temperaturer under 0°C. Enligt Pfaff och Garrahan visade korrektion upp till 7 fuktkvotspocent fel i temperaturintervallet -15 till -30°C. Därför startades en undersökning som slutfördes i mars 1985 av Pfaff och Garrahan (publicerades 1986 som artikel). Denna undersökning gav en ny korrektion för 26 träslag i temperaturintervallet -40 till +50°C. Nedan visas den ekvation som är ombearbetad i detta arbete för att vara kalibrerad vid +20°C samt stämma för svensk furu och gran i temperturintervallet -40 till +50°C.

I den graf (figur 24) och de tabeller som presenteras i ekvation (4) har temperaturintervallet extrapolerats till -40 - +70°C.

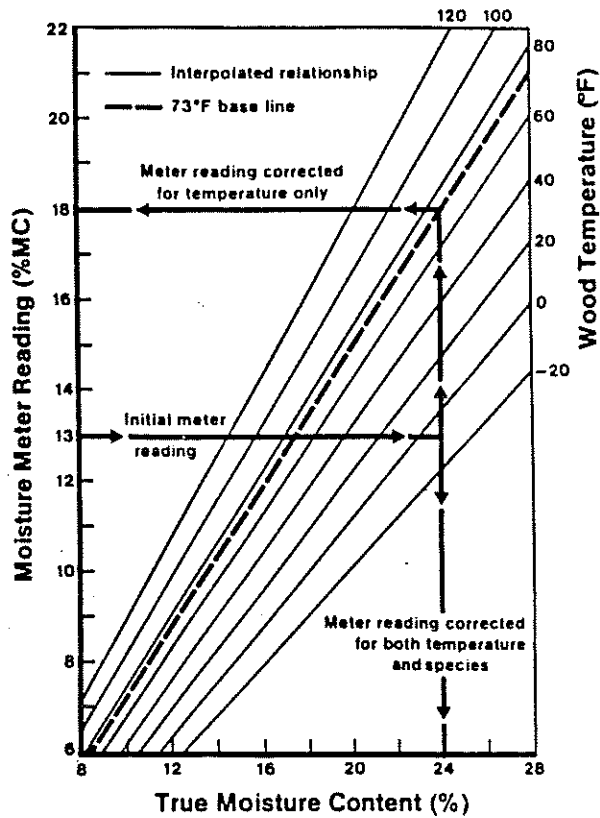
$$u_k = \frac{u + 0,567 - 0,0260 \times (t+2,8) + 0,000051 \times (t+2,8)^2}{0,881 \times (1,0056)^{(t+2,8)}} \quad (4)$$

Ekvationen är densamma som den Pfaff och Garrahan tog fram för Black spruce med den skillnaden att ekvationen ovan är kalibrerad vid 20°C och inte vid 22,8°C som den ursprungliga var.

Ekvationen för Black spruce var kalibrerad vid 73 °F (22,8 °C):

$$u_k = \frac{u + 0,567 - 0,0260t + 0,000051 \times t^2}{0,881 \times (1,0056)^t}$$

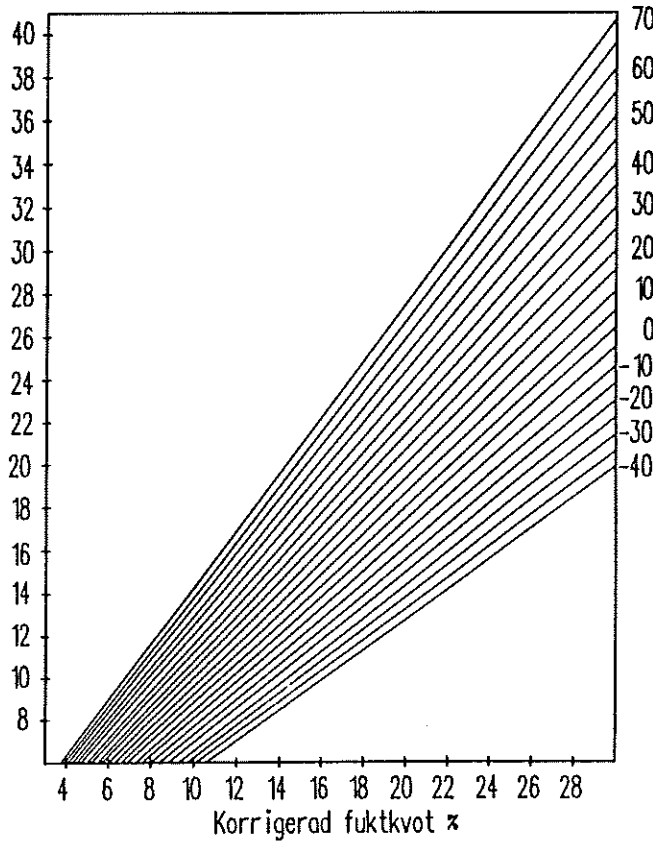
Ekvationen ovan är ritad i figur 23.



Figur 23. Temperaturkorrigeringskurvor för Black spruce gjorda av Pfaff och Garrahan 1985.

På mätaren avläst fuktkvot %

Virkestemp. °C



Figur 24. Trätekens temperaturkorrigeringskurvor för furu och gran.

Ekvation (4) kan även presenteras i tabellform för att bli mer lättläst, se tabell 3 och 4.

TABELL 3. Trätekst temperaturkorrigeringsstabell för furu och gran.
I tabellen visas korrigerad fuktkvot.

Avläst fuktkvot

	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
-40	7.8	9.2	10.6	12.0	13.4	14.8	16.2	17.6	19.0	20.4	21.8	23.2	24.6
-35	7.4	8.8	10.1	11.5	12.8	14.2	15.6	16.9	18.3	19.6	21.0	22.4	23.7
-30	7.0	8.3	9.7	11.0	12.3	13.6	14.9	16.3	17.6	18.9	20.2	21.6	22.9
-25	6.6	7.9	9.2	10.5	11.8	13.1	14.4	15.6	16.9	18.2	19.5	20.8	22.1
-20	6.3	7.5	8.8	10.0	11.3	12.5	13.8	15.0	16.3	17.5	18.8	20.0	21.3
-15	5.9	7.2	8.4	9.6	10.8	12.0	13.2	14.4	15.7	16.9	18.1	19.3	20.5
-10	5.6	6.8	8.0	9.2	10.3	11.5	12.7	13.9	15.1	16.3	17.4	18.6	19.8
-5	5.3	6.5	7.6	8.8	9.9	11.1	12.2	13.4	14.5	15.7	16.8	18.0	19.1
0	5.0	6.1	7.3	8.4	9.5	10.6	11.7	12.8	14.0	15.1	16.2	17.3	18.4
5	4.7	5.8	6.9	8.0	9.1	10.2	11.3	12.4	13.4	14.5	15.6	16.7	17.8
10	4.5	5.5	6.6	7.7	8.7	9.8	10.8	11.9	12.9	14.0	15.1	16.1	17.2
15	4.2	5.3	6.3	7.3	8.3	9.4	10.4	11.4	12.5	13.5	14.5	15.5	16.6
20	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0
25	3.8	4.7	5.7	6.7	7.7	8.6	9.6	10.6	11.5	12.5	13.5	14.5	15.4
30	3.6	4.5	5.5	6.4	7.3	8.3	9.2	10.2	11.1	12.1	13.0	14.0	14.9
35	3.4	4.3	5.2	6.1	7.0	8.0	8.9	9.8	10.7	11.6	12.6	13.5	14.4
40	3.2	4.1	5.0	5.9	6.7	7.6	8.5	9.4	10.3	11.2	12.1	13.0	13.9
45	3.0	3.9	4.7	5.6	6.5	7.3	8.2	9.1	9.9	10.8	11.7	12.6	13.4
50	2.8	3.7	4.5	5.4	6.2	7.0	7.9	8.7	9.6	10.4	11.3	12.1	13.0
55	2.7	3.5	4.3	5.1	5.9	6.8	7.6	8.4	9.2	10.1	10.9	11.7	12.5
60	2.5	3.3	4.1	4.9	5.7	6.5	7.3	8.1	8.9	9.7	10.5	11.3	12.1
65	2.4	3.1	3.9	4.7	5.5	6.2	7.0	7.8	8.6	9.4	10.1	10.9	11.7
70	2.2	3.0	3.7	4.5	5.2	6.0	6.8	7.5	8.3	9.0	9.8	10.5	11.3

Korrigerad fuktkvot

TABELL 4. Trätekens temperaturkorrigeringstabell för furu och gran.
I tabellen visas korrigerad fuktkvot.

Avläst fuktkvot

	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
-40	26.0	27.4	28.8	30.2	31.6	33.0	34.4	35.8	37.2	38.6	40.0	41.4	42.8	44.2
-35	25.1	26.4	27.8	29.2	30.5	31.9	33.2	34.6	35.9	37.3	38.7	40.0	41.4	42.7
-30	24.2	25.5	26.8	28.2	29.5	30.8	32.1	33.4	34.8	36.1	37.4	38.7	40.1	41.4
-25	23.3	24.6	25.9	27.2	28.5	29.8	31.1	32.3	33.6	34.9	36.2	37.5	38.8	40.0
-20	22.5	23.8	25.0	26.3	27.5	28.8	30.0	31.3	32.5	33.8	35.0	36.3	37.5	38.8
-15	21.7	23.0	24.2	25.4	26.6	27.8	29.0	30.2	31.5	32.7	33.9	35.1	36.3	37.5
-10	21.0	22.2	23.3	24.5	25.7	26.9	28.1	29.3	30.4	31.6	32.8	34.0	35.2	36.3
-5	20.3	21.4	22.6	23.7	24.8	26.0	27.1	28.3	29.4	30.6	31.7	32.9	34.0	35.2
0	19.5	20.7	21.8	22.9	24.0	25.1	26.3	27.4	28.5	29.6	30.7	31.8	33.0	34.1
5	18.9	20.0	21.0	22.1	23.2	24.3	25.4	26.5	27.6	28.7	29.7	30.8	31.9	33.0
10	18.2	19.3	20.3	21.4	22.4	23.5	24.6	25.6	26.7	27.7	28.8	29.8	30.9	32.0
15	17.6	18.6	19.6	20.7	21.7	22.7	23.8	24.8	25.8	26.8	27.9	28.9	29.9	31.0
20	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0
25	16.4	17.4	18.4	19.3	20.3	21.3	22.2	23.2	24.2	25.2	26.1	27.1	28.1	29.0
30	15.8	16.8	17.7	18.7	19.6	20.6	21.5	22.5	23.4	24.4	25.3	26.2	27.2	28.1
35	15.3	16.2	17.1	18.1	19.0	19.9	20.8	21.7	22.7	23.6	24.5	25.4	26.3	27.3
40	14.8	15.7	16.6	17.5	18.4	19.3	20.2	21.0	21.9	22.8	23.7	24.6	25.5	26.4
45	14.3	15.2	16.0	16.9	17.8	18.6	19.5	20.4	21.2	22.1	23.0	23.9	24.7	25.6
50	13.8	14.7	15.5	16.3	17.2	18.0	18.9	19.7	20.6	21.4	22.3	23.1	24.0	24.8
55	13.3	14.2	15.0	15.8	16.6	17.5	18.3	19.1	19.9	20.7	21.6	22.4	23.2	24.0
60	12.9	13.7	14.5	15.3	16.1	16.9	17.7	18.5	19.3	20.1	20.9	21.7	22.5	23.3
65	12.5	13.2	14.0	14.8	15.6	16.4	17.1	17.9	18.7	19.5	20.2	21.0	21.8	22.6
70	12.1	12.8	13.6	14.3	15.1	15.9	16.6	17.3	18.1	18.9	19.6	20.4	21.1	21.9

Virkestemperatur °C

Korrigerad
fuktkvot

Instrumentens temperaturkänslighet

Som ett tillägg till avsnittet om temperaturkompensering p g a virkets temperatur återges här ett särtryck ur torkklubbsartikel nr 52 (Tidningen Sågverken 2-1989). Detta särtryck visar resultaten från en undersökning där mätinstrumentens temperaturkänslighet kontrollerats. Det framgår av artikeln att vissa instrument har stora mätfel vid låga temperaturer, något som bör beaktas vid val av mätinstrument.

TABELL 3.

Köldtest av elektriska fuktkvotmätare. Timbermaster, FM-500 och Delmhorst är temperaturstabila (mindre än 0,5% felvisning). Lignometer klarar inte det nordiska klimatet (5,2% för lågt värde vid ± 0 °C). Övriga mätare hade felvisningar på 1% till 4,7% inom temperaturområdet 0 °C till +20 °C. Vidare är kalibreringsvärdet vid +20 °C för Bollmann väl lågt (16,0% istället för 17,5%). En modern mätare bör vara direktvisande för gran respektive furu och inte fordra korrektionsfaktorer såsom Delmhorst RC-1C.

Fabrikat och inställning:	GANN HT 95 Skala 9-3			Timbermaster D 184T Skala A			Timbermaster Mini. Furu			Bollmann HD 1 3.10 Skala 3		
Fuktkvotmätarens temperatur, °C:	-20***) ± 0 +20			-20 ± 0 +20			-20 ± 0 +20			-20 ± 0 +20		
Kalibreringsmotstånd												
Öppen (0%)	3.8			7.0			-			4.2		
102 Mohm (14%)	8.5	11.8	14.2	13.4	13.4	13.3	13	13	14	*)	13.3	13.4
15 Mohm (17.5%)	11.3	14.6	17.1	17.1	17.2	17.0	13	17	17	*)	15.0	16.0
0,46 Mohm (27.0%)	24.3	26.2	29.0	28.0	28.1	28.1	24	24	26	*)	24.9	27.2
0,1 Mohm (=vatten)	>100			>28			>28			102		

KPM Aqua Boy HMI. Furu	FM-500 Furu			Lignometer Skala 3			Vanicek Skala 1			Delmhorst RC-1C **)				
-20 ± 0 +20	-20 ± 0 +20			-20 ± 0 +20			-20 ± 0 +20			-20 ± 0 +20				
Avlästa värden i procent														
	4.0			6			-			6.0				
16.7	15.6	14.6	14	14	14	5	10.4	15.1	14.3	14.3	13.3	12.4	-	12.5
19.2	18.2	17.2	18	18	18	7	13.0	18.0	17.2	17.3	17.0	15.6	-	15.6
>28	>28	25.7	28	>28	>28	16	22.3	27.5	45.0	45.0	45.0	25.5	-	26.0
	>28			>28			>30			89				

*) Mätarens sifferfönster fungerade inte vid -20 °C.

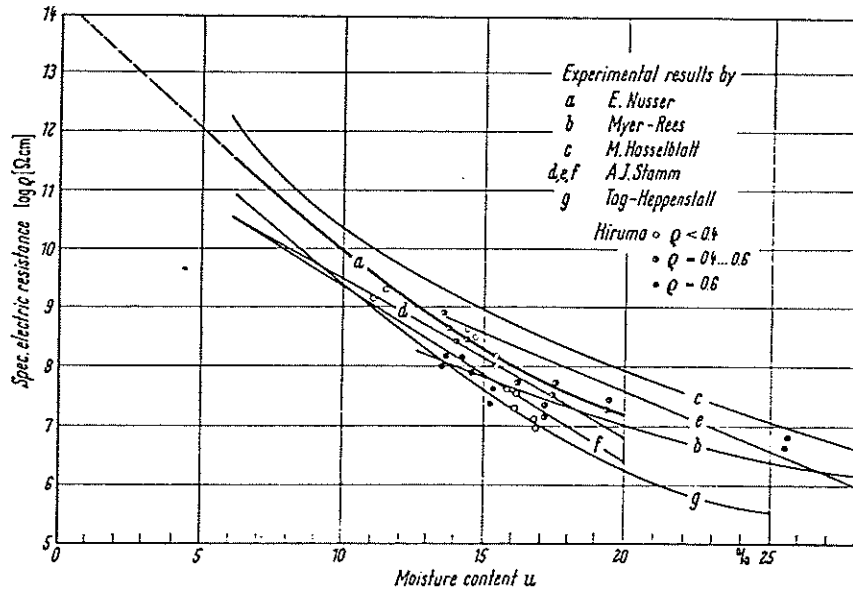
***) Delmhorst-instrumentet är rättvisande för Douglas fir. Korrekta värden fås för furu genom att korrigera med +1,5% för avlästa värden inom 7-10% och +2% för avlästa värden inom 15-30%.

****) I instruktionerna för GANN HT 95 är omgivningstemperaturen för mätaren under en kort period lägst -10°C och högst +60°C.

Särtryck ur tidningen Sågverken nr 2 - 1989.

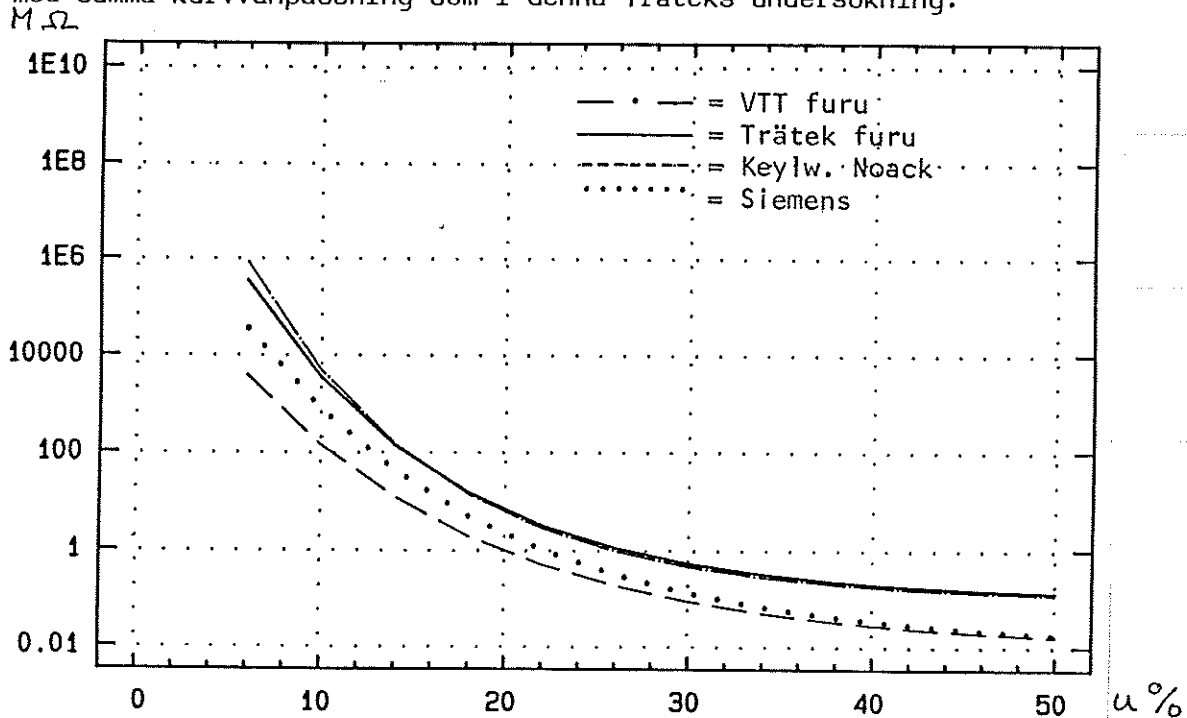
10. TIDIGARE RESISTANSKURVOR

Bland de undersökningar som visar på sambandet mellan fuktkvot och elektrisk resistans finns Hiruma 1915, Hasselblatt 1926, Meyer och Rees 1926, Stamm (1927, 1929, 1930, 1932, 1960), Nusser 1938, Weatherwax and Stamm 1945 och Lin 1965. Resultaten från alla dessa undersökningar visas i figur 25. Undersökningarna är inte gjorda på samma träslag.



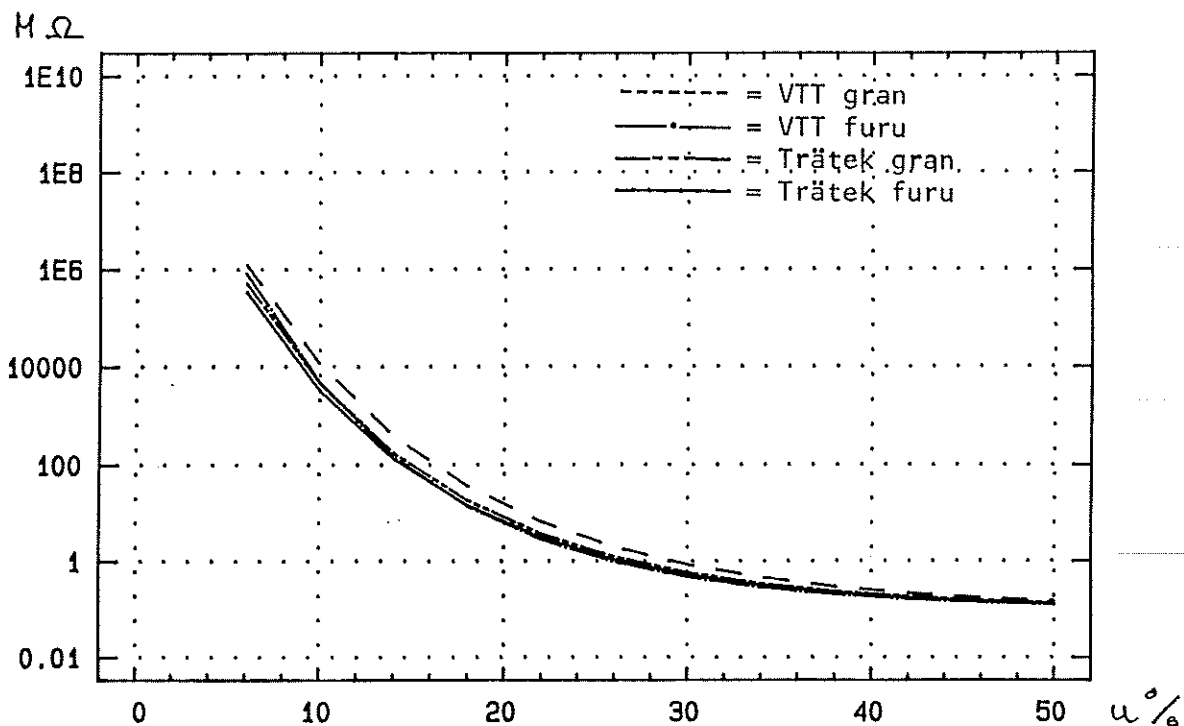
Figur 25. Resistanskurvor från äldre undersökningar. Kollmann 1968.

Andra undersökningar som publicerades var de av Keylwerth och Noack 1956, Siemens 1953 (europeisk Ek), Tero Paaajanen 1966. De visas i figur 26. Kurvan som visar Paaajanens undersökning är gjord på dennes egna mätningar men med samma kurvvanpassning som i denna Träteks undersökning.



Figur 26. Resistanskurvor från äldre och nyare undersökningar.

I figur 27 jämförs detta Träteks arbete 1989 med Paajanens. Det framgår av figuren att det inte är någon nämnvärd skillnad mellan Träteks furu och VTT furu. Däremot skiljer sig gran åt. Att granundersökningarna ej överensstämmer kan bero på att antalet provbitar i detta arbete var för få och ej representativt för svensk gran. Granmaterialet hade ovanligt hög medeldensitet 422 kg/m^3 (normalt 385 kg/m^3). Det finska granmaterialet hade en medeldensitet på 372 kg/m^3 , dessutom var det finska materialet mer än dubbelt så stort till antalet.



Figur 27. Resistanskurvor gjorda av Träteks och VTT.

Furumaterialet i Träteks och VTTs undersökningar hade ungefär samma medeldensitet. Träteks furu torr-rå densitet = 413 kg/m^3 , VTT furu torr-rå densitet = 414 kg/m^3 .

Nedan presenteras ekvationerna för de kurvor som finns i figur 26, 27 och 28.

Träteks furu och gran se sid 17 och 18.

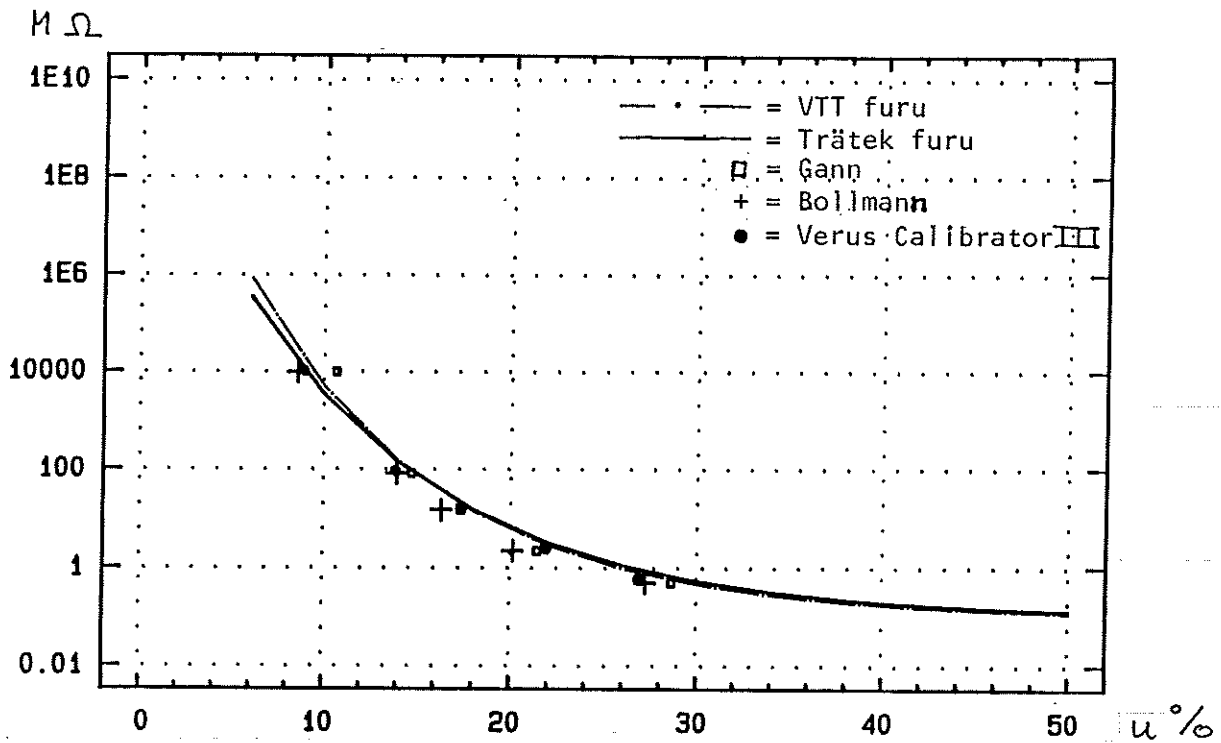
$$\text{VTT, furu} \quad R = 10(10^{(1,095 - 0,042 \times u)} - 1)$$

$$\text{VTT, gran} \quad R = 10(10^{(1,072 - 0,037 \times u)} - 1)$$

$$\text{Siemens} \quad R = 10(10^{(1,009 - 0,032 \times u)} - 1)$$

$$\text{Keylwerth, Noack} \quad R = 10(10^{(0,940 - 0,032 \times u)} - 1)$$

I figuren nedan visas Träteks furukurva och några vanliga fuktkvotsmätares samt ett kalibreringsblocks relation mellan fuktkvot-resistans.



Figur 28. Träteks och VTTs resistanskurva för furu samt några vanliga fuktkvotsmätare och ett kalibreringsblock.

11. REFERENSER

- o Skaar C (1988) Wood-Water Relations.
- o Kollman. FFP (1968) Principles of woodscience and technology I Solid wood.
- o Pfaff F, Garrahan P (1984) Moisture content correction tables for the resistance-type moisture meter. Forintek Canada Corp. SP511 E.
- o Pfaff F, Garrahan P (1986) New temperature Correction factors for the portable resistance-type moisture meter. Forest Prod. J 36 (3):28-30.
- o Keylwerth R, Noack D (1956) Ueber den Einfluss höherer Temperaturen auf die elektrische Holzfeuchtigkeitsmessung nach dem Widerstandsprinzip. Holz als Roh- und Werkstoff. 14:162-172.
- o Esping B (1977) Handbok i virkestorkning. STFI serie A 443 (TT:74).
- o James W L (1963) Electric moisture meters for wood. VS Dept. of Agric. Res. Note FPL-08, Madison.
- o Langwig J E, Skaar C (1975) Electical resistivities of 18 Venezuelan and 13 North American woods. Wood Science 8:350-354.
- o Paajanen Tero (1966) Puun kosteuden, määräämisestä sähköisillä mittareilla.
- o Rijdsijk J F (1969) Die Genauigkeit von Holzfeuchtigkeitsmessungen mit elektrischen Feuchtigkeitsmessgeräten. Holz als Roh- und Werkstoff. Bd.d7 (1969) S. 17-22. Springer Verlag.
- o James William L (1988) Electric moisture meters for wood. Gen.Tech. Rep. FPL-GTR-6. U.S Department of Agriculture.
- o Bramhall G, Salamon M (1978) Combined species-temperature correction tables for moisture meters. Western Forest Products Laboratory.