

TRÄCENTRUM NORR



Slutrapport

Spår i paneler

*Delprojekt i det större projektet "Sprickor i konstruktioner,
utomhusexponering, optimering och simulering"*

Ola Dagbro

December 2009



En investering för framtiden



EUROPEISKA UNIONEN
Europeiska regionala
utvecklingsfonden

SAMMANFATTNING

Idag gör träindustrin avspänningsspår på baksidan av ett flertal produkter, bl a golv och paneler. Spårerna tillförs med tron att de ska minska spänningar och deformationer i materialet. Normalt görs i stort sett likadana spår utan att man tar hänsyn till vilket sågmönster 2X, 3X, 4X eller 5X som använts eller var i stocken ursprungsmaterialet till panelen kommer ifrån, dvs. avstånd till märke. Någon djupare kunskap har ej funnits huruvida spårerna verkligen har haft betydelse. Det finns ett stort intresse såväl från industrin som från forskarvärlden att öka kunskapen om spårens betydelse för minskade deformationer. Resultaten från detta arbete kan förhoppningsvis leda till en ökad kunskap om spårens betydelse för minskad deformation och bidra med några pusselbitar till den samlade kunskapen om trä och träprodukter.

Tester har genomförts med fritt exponerade provbitar både med och utan spår som kapats och bearbetats med avseende på med eller utan spår, placering av spår och spår djup. Provbitarna har torkats från 15 % fuktkvot till 8 % fuktkvot. Innan nedtorkning påbörjades konditionerades materialet i klimatkammare i fem veckor för att jämna ut skillnader i fuktkvot i panelerna. För att analysera resultaten har PLS och multivariat regressionsanalys genomförts med mjukvaran SIMCA-P.

Nästa steg blev att sätta samman paneler till större provobjekt med måtten 1900x1400 mm² och efter torkning undersöka effekten av spår och placering av spår samt jämföra paneler med ursprung från olika delar i stocken med avseende på avstånd till märke samt variation i årsringstäthet och densitet.

Hade spårerna någon betydelse? Svaret är att det beror på var i stocken ursprungsmaterialet som sedermera blir panelbrädor kommer ifrån. Om man tittar totalt sett på alla fria panelbitar så har spårerna haft relativt liten betydelse, skillnaden i kupning med och utan spår var i genomsnitt mindre än 3 % .

Den multivariata regressionsanalysen med PLS visade att märgläge hade störst påverkan på kupning medan spårerna hade mycket liten betydelse. Årsringstäthet visade sig ha viss betydelse för kupning.

På de större provobjekten bestående av flera sammansatta paneler blev dock resultaten något annorlunda jämfört med fria provbitar. I genomsnitt var deformationen i form av kupning 10 % mindre på de sammansatta panelerna av innerex, märkebitar där 8 mm spår tillförts på märgsidan. Viktigt att komma ihåg är att denna tydliga effekt dock gäller sammansatta paneler och endast där panelerna har sitt ursprung från den del i stocken som är allra närmast märgen, s.k. märkebitar.

Resultaten från denna undersökning kan med fördel jämföras med den simuleringsmodell som Mats Ekevad på Luleå tekniska universitet tagit fram. En utökad simuleringsmodell med fler påverkansfaktorer kan vara ett intressant område för fortsatt arbete.

Långtidstest av sammansatta paneler med och utan spår och cykling av fukt över årstiderna är intressant att studera närmare och försök pågår just nu på Luleå tekniska universitet i Skellefteå och blir därmed en fortsättning på detta projekt.

ABSTRACT

Today, the Wood Industry applies kerfed stress relief grooves on several wood products, such as flooring products and panel boards. The grooves are thought to reduce stresses and deformations in the wood material. The grooves are normally applied in the same way without any regard to the sawing pattern 2X, 3X, 4X or 5X that has been used or from where in the timber the panel originates. A deeper knowledge whether the grooves actually are making a difference is missing. There is a big interest from both Wood Industry and Academia to increase the knowledge about kerfed stress relief grooves and the impact they might have on deformation in form of cupping. The results from this report can hopefully increase the knowledge on the matter and add some bits to the never ending puzzle about wood and wood products.

Tests have been conducted on free exposed samples that have been cut, machined and grooves varying in depth and placement surface have been applied as well as samples without any grooves. The samples have been dried from 15 % MC to 6 % MC. In order to even out MC gradients the samples were held in a climate chamber for five weeks before the drying process was started. The results have been analyzed with the use of Multivariate statistics tool PLS and the software SIMCA-P from Umetrics.

Next step was to put 10 panel boards together to form bigger samples with dimensions 1900x1400 mm² and investigate the deformations after drying and compare differences in distance to pith, placement of grooves, density and annual rings growth.

Did the grooves have an effect? The answer is that it depends on the panel board's origin in the timber, the distance to pith. When all panel boards are compared the grooves show very little effect, in average less than 3 % less deformation with grooves.

The multivariate regression analysis with PLS showed that distance to pith was most influential when it comes to deformation in form of cupping. The grooves showed very little influence on cupping. Annual growth rings showed some influence on cupping.

The bigger samples with panel boards put together the results were somewhat different compared to free exposed samples. On average the deformation in form of cupping was 10 % lower when 8 mm deep grooves were applied on the pith side of the board and when only looking at panel boards that originate from close to the pith in the timber. It is however important to remember that this result was only valid for the panel boards with small distance to pith, not the other panel boards.

The results from this report can be compared to the simulation results obtained from the simulation model developed by Mats Ekevad, Luleå tekniska universitet. An improved simulation model with more variables would be an interesting area for future research.

Long term testing is now carried out at Luleå University of Technology in Skellefteå on big samples of panel boards put together both with and without grooves. The boards are exposed to outdoor differences in moisture and temperature during the year. That will be the continuous research after this project.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND.....	1
1.2	MÅL OCH SYFTE.....	1
1.3	METOD.....	1
1.4	AVGRÄNSNINGAR.....	2
2	LITTERATURSTUDIE	3
2.1	TIDIGARE STUDIER PÅ OMRÅDET.....	3
2.2	DET LEVANDE TRÅDET.....	3
2.3	FUKTRÖRELSER.....	4
2.4	FEM – FINITA ELEMENTMETODEN.....	6
2.5	FEM OCH TRÄPRODUKTER.....	6
2.6	SIMULERINGSMODELL.....	7
2.7	MULTIVARIAT REGRESSIONSANALYS MED PLS.....	8
2.7.1	<i>Loading och Score plot</i>	11
2.7.2	<i>R²- och Q²-värden</i>	11
2.7.3	<i>Residualer och uteliggare</i>	11
3	MATERIAL OCH METOD	13
3.1	UTGÅNGSMATERIAL.....	13
3.2	GENOMFÖRANDE.....	13
3.2.1	<i>Manuell sortering</i>	13
3.2.2	<i>Tomografering</i>	14
3.2.3	<i>Uppmätning av fuktkvot</i>	15
3.2.4	<i>Fuktkvotsutjämning i klimatkammare</i>	15
3.2.5	<i>Försök med enskilda provbitar</i>	16
3.2.6	<i>Försök med sammansatta paneler</i>	18
4	RESULTAT	19
4.1	RESULTAT MED ENSKILDA PROVBITAR.....	19
4.2	RESULTAT FRÅN MULTIVARIAT REGRESSIONSANALYS MED PLS.....	22
4.3	RESULTAT MED SAMMANSATTA PANELER.....	26
5	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	29
6	FORTSÄTTA STUDIER	30
	REFERENSER	31
	FIGURFÖRTECKNING	33
	BILAGOR	34
	BILAGA 1. MÄTDATA FRIA PROVBITAR.....	35
	BILAGA 2. MÄTDATA SAMMANSATTA PANELER.....	38
	BILAGA 3. FUKTMÄTNING FRIA PROVBITAR.....	39
	BILAGA 4. SAMBAND MELLAN VÅT/TORR TEMPERATUR, RH, EMC OCH PSYKROMETERSKILLNAD.....	41
	BILAGA 5. FOTON AV FRIA PROVBITAR.....	50
	BILAGA 6. FOTON AV SAMMANSATTA PANELER.....	54
	BILAGA 7. TOMOGRAFIBILDER AV PANELER.....	55
	BILAGA 8. PROJEKTPLAN GANTT-SCHEMA.....	57

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Detta examensarbete utgör det avslutande kursmomentet på Masterutbildningen i Träteknik vid Luleå tekniska universitet, LTU Skellefteå. Denna undersökning är även ett delprojekt i det större TräCentrum Norr- finansierade projektet ”Sprickor i konstruktioner, utomhusexponering, optimering och simulering”. TräCentrum Norr är en centrumbildning vid Luleå Tekniska universitet. Det gemensamma målet för alla intressenter i TräCentrum Norr är en svensk träindustri som genom nya eller utvecklade produkter, system och tjänster kan öka förädlingsvärdet och stärka konkurrenskraften till gagn både för företagen och för samhället. Målet ska nås genom att bland annat bidra med nätverk, fördjupat samarbete mellan forskning och näringsliv, genom förbättrad utbildning samt skapande av nya idéer och lösningar på problem.

En pådrivande kraft för att huvudprojektet skulle komma till stånd var Magnus Lindqvist, Setra Group AB. Samverkande parter i denna undersökning har varit Luleå tekniska universitet, SP Trätech och Setra Group AB.

Ett flertal träprodukter, bl a golv och paneler, innehåller spänningsspår på baksidan för att förhindra eller åtminstone minska risken för sprickor, spänningar, rörelser och deformationer i materialet. Spårerna har genom praktisk erfarenhet visat sig ha betydelse för hur produkterna rör sig vid fuktkvotsvandring. Av betydelse är även hur råvaran är producerad, t ex från 2X/3X/4X centrumutbyte eller från sidobrädor. Det har saknats relevanta studier om hur stor betydelse spårerna verkligen har. Därav fanns ett behov av att testa och utvärdera spårens inverkan på paneler.

1.2 Mål och syfte

Målet med examensarbetet var att erhålla resultat och data av sådan kvalitet att effekter av spår i paneler går att säkerställa. Resultat från praktiska försök ska sedan jämföras med resultat från simulering för att värdera och utveckla den av Mats Ekevad tidigare framtagna simuleringssmodellen och dess förmåga att förutspå deformation av paneler.

1.3 Metod

Beroende på vad syftet med en vetenskaplig undersökning är kan metoderna vara kvantitativa, kvalitativa eller en kombination av dessa. Den kvantitativa forskningsansatsen söker generaliserbar kunskap om ett visst problem genom ett strukturerat och systematiskt arbetssätt vilket baseras på objektiv data som kan mätas i siffror (Persson, 2003).

Den kvalitativa forskningsansatsen söker förståelse och helhetssyn för problemet genom att beskriva detta med hjälp av subjektiva metoder som inte är mätbara i siffror.

Induktion och deduktion är två exempel på undersökningsansatser som vetenskapliga arbeten kan ha som utgångspunkt. Induktion utgår från en datasamling för att skapa teori dvs. generaliserbar kunskap medan deduktion härleder en hypotes från teori och sedan provar den empiriskt. (Wallén, 1993)

Detta arbete är kvantitativt och induktivt eftersom studien utgår från verkligheten och eftersträvar generaliserbar kunskap baserat på objektiv, mätbar data.

Arbetet har bestått av följande delar:

- Planering och framtagande av projektplan
- Litteraturstudier och informationssökning
- Anskaffande och bearbetning av material
- Konditionering, torkning, mätning
- Analys av resultat och dragna slutsatser
- Dokumentation och rapportering

1.4 Avgränsningar

- I examensarbetet har vinklade spår ej undersökts, utan endast raka spår
- Antalet spår har varit fyra per provbit samt provbitar helt utan spår
- Spår djup har begränsats till 8 och 4 mm
- Simulering av kvistar och framtagande av kvistmodell har ej ingått
- I klimatkammare har liksidigt klimat använts
- Examensarbetet motsvarar 20 veckors högskolestudier
- Träslag begränsas till gran, då det är ett vanligt material för väggpaneler

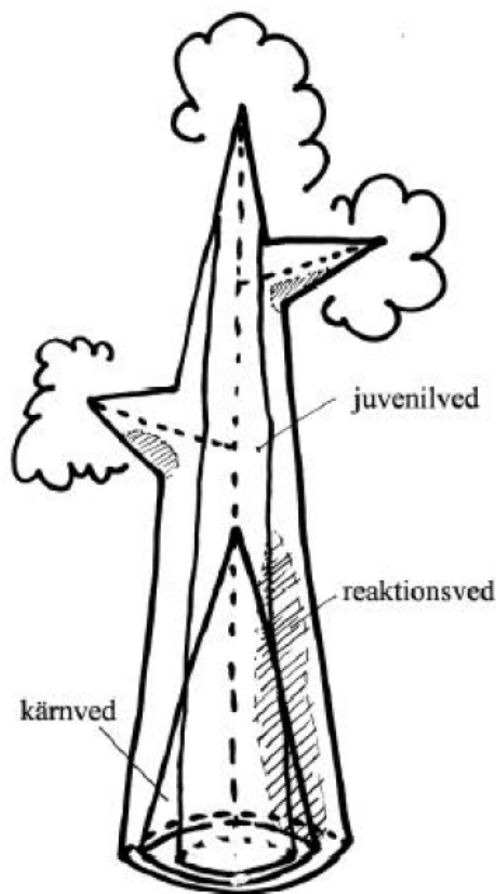
2 Litteraturstudie

2.1 Tidigare studier på området

Det har i stort sett saknats tidigare relevanta studier på området med undantag för en nästan 30 år gammal undersökning av H. Blümer (1980) vid Svenska Träforskningsinstitutet. H. Blümer konstaterade att spårfräsning enligt den genomförda undersökningen gav viss effekt vad avser begränsning av kupighetsökningen vid nedtorkning från lufttorrt tillstånd 17.3 % MC till inomhusklimat 9.2 % MC samt att formbarheten hos bräderna förbättrades något.

2.2 Det levande trädet

Det levande trädet är precis som människor unikt på så sätt att det inte finns två identiska träd. I denna undersökning ingår endast paneler från träslaget gran (*Picea abies*). I fortsättningen syftar beskrivningar och exempel endast på detta träslag. Nedanstående fakta är hämtad ur boken Träkunskap av Saarman (1992).



Figur 1. Olika sorters ved i trädet
Bild av Margot Sehlstedt-Persson, LTU

Juvenilved

Årsringarna närmast mörgen, ca 10-20 st, består av så kallad juvenilved. Egenskaperna i denna del är inte riktigt de samma som i annan ved. Densiteten är lägre, fibrerna är kortare och krympning i axiell led är större.

Kärnved

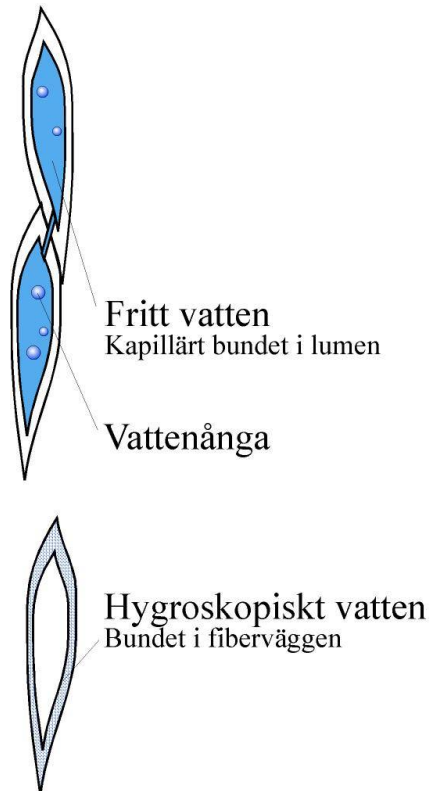
När stammen växer behövs så småningom inte hela tvärsnittet för vattentransport längre. Normalt är trädet nu ca 30 år och första tecknen på att livsfunktionerna börja avta närmast mörgen kan observeras och kärnved börjar bildas. Kärnveden som ger trädet stadga har en högre andel extraktivämnen och betydligt lägre fuktkvot, ca 35 % jämfört med splintveden som kan ha en fuktkvot på 135 %. I gran kan kärnveden vara svår att urskilja med blotta ögat.

Reaktionsved

Ett träd som exempelvis växer i en sluttning utsätts för en ojämn belastning. Genom att bilda reaktionsved motverkar trädet denna ojämma belastning. Gran bildar reaktionsved på den tryckta sidan av stammen. Även vid grenfästet på undersidan bildas reaktionsved eftersom grenens tyngd belastar veden i detta område. Andra namn för reaktionsved i gran är tryckved eller tjurved. Strukturen i reaktionsvedsfibrer leder till stor axiell krympning vid torkning och ett virkesstycke med både normalved och reaktionsved blir därför ofta deformerat efter torkning.

Fukt i trä

Trä kan både ta upp fukt från omgivande luft och avge fukt till den omgivande luften. Fuktkvoten som anger mängden fukt i trä kan beräknas med torrviktsmetoden. Träets uppbyggnad kan variera mycket från panel till panel och därmed blir panelens torkningsegenskaper mycket olika.



Vatten i trä existerar både som fritt vatten och ånga i cellkärnan. Bundet vatten eller hygroskopiskt vatten sitter i cellväggen. Många av träets egenskaper påverkas av fuktkvoten. Fuktkvoten skall vara anpassad till det rådande klimatet där panelen skall användas för att undvika allt för stor krympning, svällning eller annan formförändring i slutlig konstruktion och för att undvika till exempel svampangrepp. Fuktkvoten i rått barrträ är i splinten upp till 160 % och upp till 50 % i kärnan. Vid torkning avgår först det fria vattnet i fibernas cellhållighet. När fuktkvoten sedan når fiberfuktighetspunkten vid ca 28 % börjar fukten i cellväggarna lämna virket och krympningen av träet påbörjas.

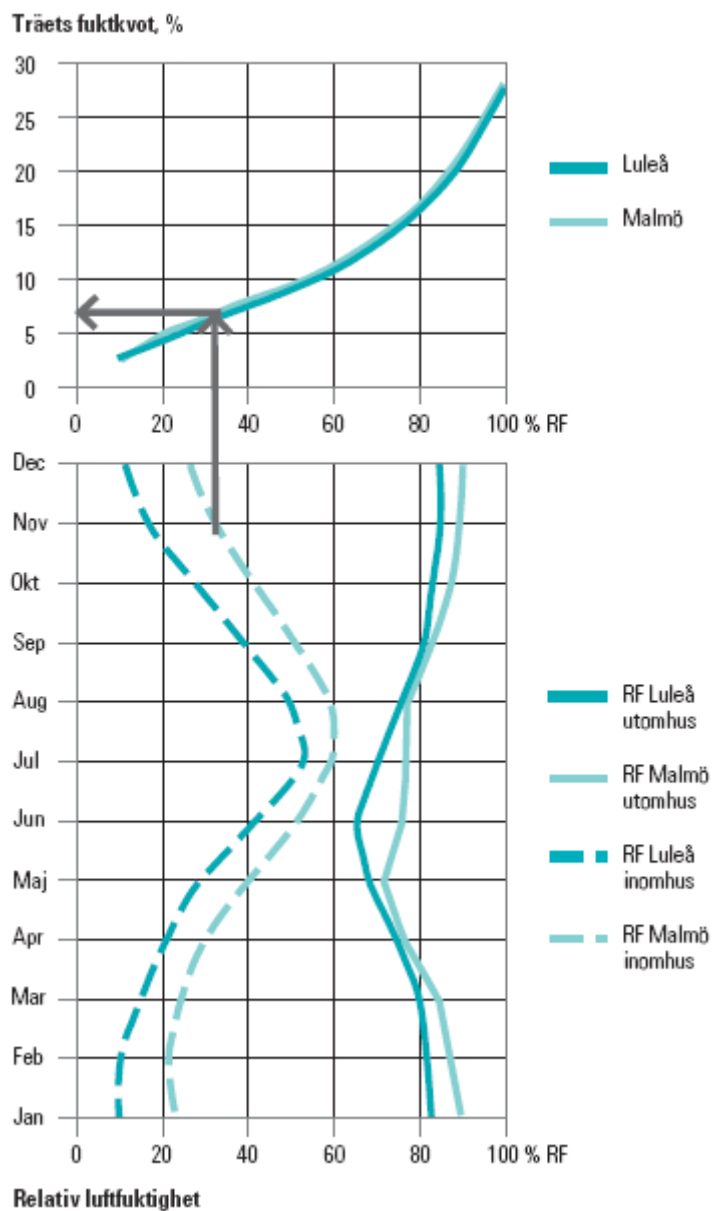
Figur 2. Fritt och bundet vatten i trä

2.3 Fuktrörelser

En panelbräda har krökta årsringar. Detta medför att man sällan har endast tangentiell eller radiell krympning. Den största krympningen sker i tangentiell riktning och minst sker krympningen i fiberriktningen, dvs. i stammens längdriktning.

Träet strävar efter att nå jämvikt med omgivande luftens relativa fuktighet och temperatur, ändras fuktkvoten i träet i riktning mot den så kallade jämviktsfuktkvoten. Detta kan ta relativt lång tid beroende på träets ursprungsfuktkvot och i vilken miljö det befinner sig i.

Luftens ånghalt, dvs. innehåll av vattenånga, anges i gram vatten/m³ luft och varierar över året och årstiderna. Ånghalten utomhus är högst på sommaren, 9-11 g/m³ och lägst på vintern, 3-5 g/m³. Luftens relativa fuktighet, RF, och jämviktsfuktkvoten är lägst på sommaren, 65-75 % respektive 11-15 % och högst på vintern, 90-95 % respektive 19-23 %. Målning av utomhusfasader bör därför ske under maj-augusti. Relativa luftfuktigheten är kvoten mellan vattenångans deltryck och dess mättnadstryck vid aktuell temperatur. Inomhus är den relativa luftfuktigheten högst på sommaren, 45-60 % och lägst på vintern, 10-25 %. Ju kallare det är utomhus desto torrare är luften inomhus. I figur 3 ser man också att det i genomsnitt är torrare i norra än i södra Sverige.



Figur 3. Fuktkvotsdiagram visar trämaterialalets fuktkvot i relation till en normal årscykel vid olika temperaturer. Exemplet visar att vid en RF på 32 % får träet en fuktkvot på ca 7 %. (ur Att välja trä, Skogsindustrierna)

2.4 FEM – Finita elementmetoden

Finita elementmetoden är en numerisk metod som kan användas för att lösa differentialekvationer som kan beskriva ett problem vid ett begränsat område, till exempel deformationer i en panel. Området delas upp i mindre delområden som kallas för finita element. Genom numerisk uppskattning och integration över varje element erhålls ekvationer. Tillsammans bildar dessa ett större globalt ekvationssystem, en matris där lösningen ger svaret på det ursprungliga problemet. (Wernersson, 1994)

Finita elementmetoden bygger på principen för stationär potentiell energi, det vill säga att en kropp deformeras så att den potentiella energin minskar. Deformationen ges av de noder, förskjutning av punkter, som ligger på gränsen mellan de finita elementen. Kroppens deformation blir därför en approximation, en uppskattning. Av denna anledning är det viktigt att kontrollera att storleken på elementen samt antal noder ger en tillräckligt exakt lösning. (Crocombe, 2005)

2.5 FEM och träprodukter

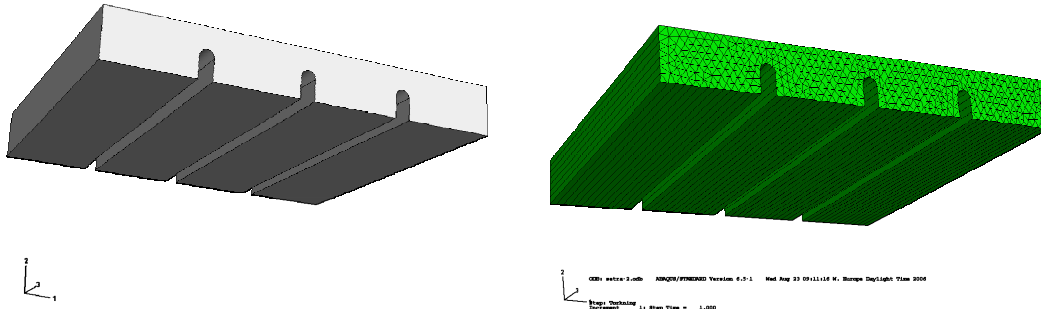
Träindustrin skulle ha stor nytta av att kunna optimera spänningsspår och sågsätt för att både utveckla nya och förbättra befintliga träprodukter. Deformationer vid uttorkning kan simuleras med hjälp av verktyget FEM, Finita elementmetoden. Med hjälp av FEM är förhoppningen att man ska kunna designa och optimera produkter med hänsyn till sågsätt, materialegenskaper, kviststruktur, omgivande klimat, laster, avspänningsspår, fastsättning med spik, skruv, limning eller flytande m.m. Resultatet skulle kunna bli färre sprickor, mindre rörelser, spänningar och deformationer

Vid simulering av t ex stål och plaster jobbar man med material som är homogena och egenskaperna är ofta standardiserade och förutsägbara. Att simulera med hjälp av FEM när det gäller träprodukter är i många avseenden speciellt utmanande. Trä är som material mycket mer oförutsägbart och stora variationer i materialet avseende kvistar, densitet, årsringar, kärnved, splintved och tjurved. Varje träbit är individuell och här är det verkligen inte fråga om en homogenitet. Viss sortering i grupper av bräder kan givetvis ske vad gäller ett fåtal parametrar men skillnader inom en bräda kvarstår dock.

2.6 Simuleringsmodell

Arbetsgången vid simulering av torkning och deformationer hos en fri golv- eller panelbräda utförd med den simuleringsmodell som tagits fram av Mats Ekevad är följande:

1. En FE- (finita element) modell av en brädbit skapas som en kort 3D-modell med ett antal spår eller ev. inga spår alls. Därefter elementindelas brädbiten.



Figur 4. 3D-modell(vänstra bilden) samt elementindelad 3D-modell(högra bilden) av panelbit med 3 spår

2. Märkläget definieras i läge i förhållande till tvärsnittet, 4 varianter (spår på märke- eller splintsida på en märke- eller splintbit) är möjliga. Elastiska ortotropa materialdata för gran används i modellen. Noll fibervinkel (ingen växtvridenhet).

3. En simulering av torkning från 8 % konstant fuktkvot till 4 % fuktkvot utförs med hjälp av en diffusionsmodell. Fuktkvoten sänks till 4 % genom att biten torkas i omgivande luft med jämviktsfuktkvot 4 % under ca. 150 h. Torkningen sker genom ovansidan, undersidan och i ev. spår.

4. Fuktkvoten från torkningssimuleringen blir indata till en deformationssimulering där brädbiten krymper pga. torkningen. Spänningsfritt starttillstånd antas. Randvillkoren är att biten är helt fri att röra sig utan inspanning. Deformationerna (kupningen) och ev. spänningar studeras.

5. Deformationssimuleringen upprepas för alla 4 varianter av märplaceringar. Torkningssimuleringen upprepas inte utan samma fuktkvoter används i alla varianter av märplaceringar.

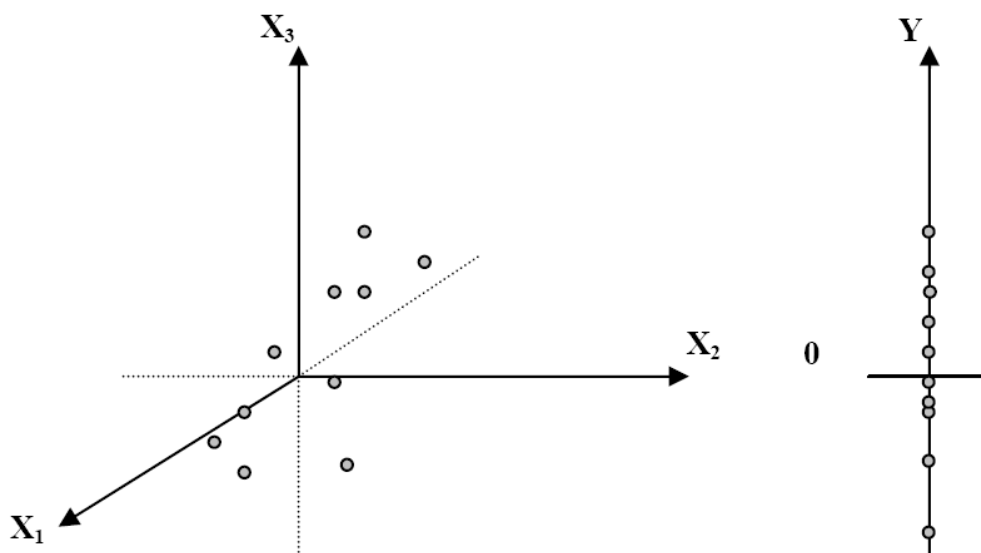
6. Resultatet (pilhöjd och breddminskning) vid två tidpunkter och maximal tangentiell spänning skrivs ut och plottas.

2.7 Multivariat regressionsanalys med PLS

För att analysera mätdata kan multivariat regressionsanalys med PLS, *Projections to latent structures by means of partial least squares*, användas för visualisering, karaktärisering, klassificering och empirisk modellering. Metoden kombinerar metoderna principal komponentanalys (PCA) och multipel regression. (Abdi, 2003)

Data kategoriseras i två grupper vilka avspeglar variabelernas egenskaper. Den ena gruppen är predikterande variabler (variabler som har en påverkan på systemet eller resultatet) och en eller flera responsvariabler (variabler som beskriver resultat eller ett systems prestation). I denna studie är responsvariabeln deformation i form av kupning vilken påverkas av ett antal faktorer. PLS används med fördel i situationer där antal predikterande variabler är mycket stort men fungerar även i sammanhang där antalet predikterande variabler är litet. Innan PLS-analys genomförs bör den insamlade data bearbetas i olika former t ex randomisering, logaritmering och omskalning till enhetsvarians, dvs. bearbetning så att samtliga variabler får en standardavvikelse lika med ett. Skalningen till enhetsvarians kommer sig av antagandet att samtliga variabler innan analys ska behandlas som lika viktiga. (Eriksson et al. 2001) Programvaran som använts i denna studie, SIMCA-P, utför skalning och medelvärdescentrering automatiskt.

När insamlad mätdata kategoriserats och bearbetats placeras de predikterande variabelerna i en matris X med storleken $I \times J$ där I är antalet observationer och J är antalet predikterande variabler. Responsvariabler läggs i en matris Y med storleken $I \times K$ där K är antalet responsvariabler. Varje matris formar således varsin rymd, en X - och en Y -rymd (Abdi, 2003). Då varje observation innehåller både beroende och oberoende variabler korresponderar varje observation mot två punkter, en i X -rymden och en i Y -rymden. Observationerna bildar därmed två stycken punktsvårmar (Eriksson et al., 2001) Syftet med analysen är att beskriva relationen mellan en observations position i prediktionsrymden X och i responsrymden Y . I denna studie består dock responsen Y endast av en variabel, kupning och bildar därför ingen rymd utan en Y -vektor. Ett exempel på hur rymderna kan se ut med tre predikterande variabler och en responsvariabel visas i figur 5.



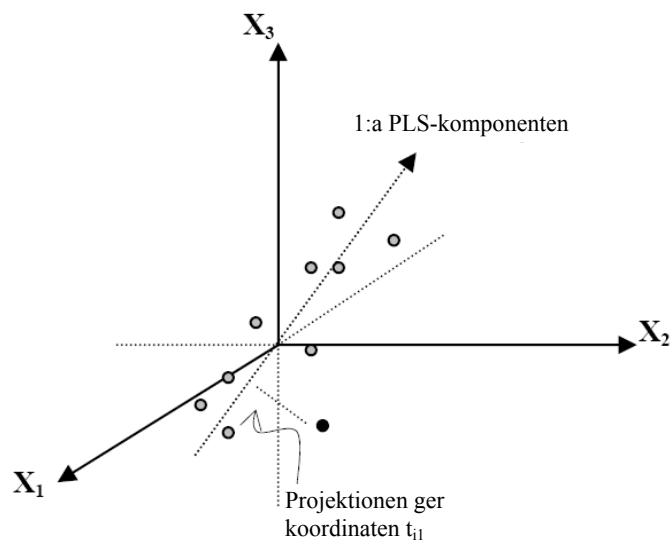
Figur 5. Figur visande X -rymden och Y -rymden och fördelning av observationer i punkter i respektive rymd

PLS-metoden utförs genom att ett antal vektorer eller komponenter (latent vectors) tas fram, vilka beskriver en linje, ett plan eller ett rum. Matriserna X och Y projiceras ner på linjen eller i planet/rummet som vektor/vektorerna spänner upp. Första PLS-komponenten är en linje i X-rummet. Detta är en linje som tas fram på ett sådant sätt att den på bästa sätt beskriver punktsvärmen i rummet samtidigt som den ger en god korrelation till Y-vektorn (Eriksson et al. 2001).

Koordinaten för en observation i fås genom att dess punkt i X projiceras ner på PLS-komponenten. Denna koordinat kallas score t_{i1} (Figur 6). Koordinaterna från samtliga observationer bildar tillsammans första X-scorevektorn t_1 (Eriksson et al. 2001). Denna vektor kan ses som en ny variabel som används för att prediktera och modellera responsvariabeln y vilket ges av

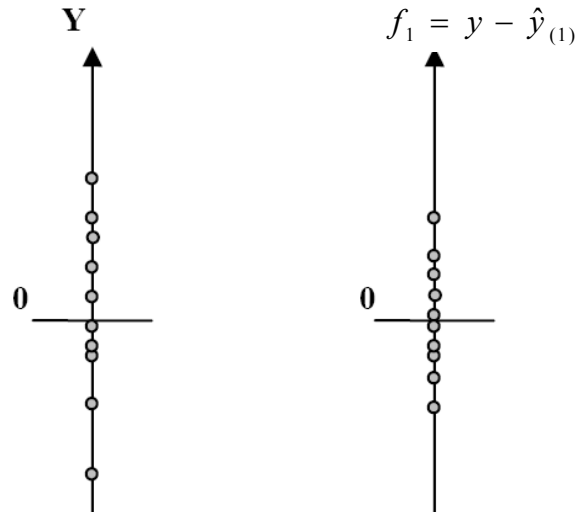
$$\hat{y} = c_1 t_1 \quad (1)$$

där \hat{y} är ett skattat värde av vektorn y och c_1 är viktningen av vektorn y .



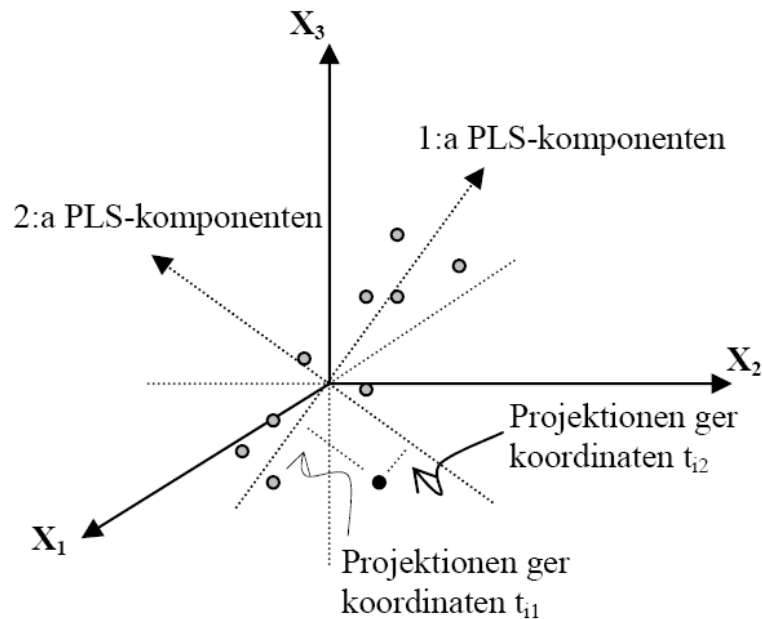
Figur 6. Grafisk framställning av X-rummet och den första PLS-komponenten för ett exempel med tre predikterande variabler x_1, x_2, x_3 . Varje punkt representerar en observation som projicerats ner på komponenten.

Vanligtvis är det inte tillräckligt med en PLS-komponent för åstadkomma en tillräckligt bra beskrivning av Y. Modellen förbättras därför genom att utökas med en andra PLS-komponent. Även denna andra komponent utgörs av en linje i X-rummet. Linjen är ortogonal mot den första komponenten och går genom origo. Riktningen skall vara sådan att den förbättrar beskrivningen av informationen i X så mycket som möjligt samtidigt som den ger en god korrelation till den återstående y-residualen, f_1 (Figur 7), efter införandet av den första PLS-komponenten (Eriksson et al. 2001).



Figur 7. Figuren visar en principskiss över objektens spridning i Y-rummet samt y-residualen efter den första PLS-komponenten.

Varje punkt i X kan nu projiceras ner även på den andra PLS-komponenten och tilldelas därmed koordinaten t_{i2} . Koordinaterna för samtliga observationer bildar en andra X-scorevektor, t_2 . Nu får varje observation en punkt i det plan som de bägge komponenterna spänner upp i X-rummet.



Figur 8. Figuren visar X-rummet med den första och andra PLS-komponenten i ett exempel med tre predikterande variabler x_1, x_2, x_3 . Varje punkt representerar en observation som projiceras ner på de två PLS-komponenterna och erhåller därmed koordinaterna t_{i1} och t_{i2} .

En andra prediktering och modellering av y kan tas fram genom

$$\hat{y} = c_1 t_1 + c_2 t_2 \quad (2)$$

där \hat{y} är ett skattat värde av vektorn y och där c_1 och c_2 är viktningskonstanter och t_1 och t_2 är scorevariabler. Om modellen fortfarande fungerar tillfredsställande kan ytterligare komponenter läggas till.

2.7.1 Loading och Score plot

Loading plotten visar relationen mellan predikterande variabler och responsvariabler. Variabler som placeras nära varandra samverkar. Responserna är proportionellt beroende mot x-variabler som ligger nära denna. Ett ökat värde på dessa variabler ger ett ökat värde på responserna. På samma sätt är responserna omvänt proportionella mot de variabler som ligger på motsatt sida i Loading plotten. Ett minskat värde på dessa variabler ger ett högre värde på responserna. Variabler nära origo har mindre betydelse än de som ligger längre bort från origo.

Score plotten visar planet som spänns upp av första Score-variabeln t_1 och andra Score-variabeln t_2 . Varje punkt i planet motsvarar en projektion ner på planet av en observation. Scoreplots studeras för att undersöka hur de olika observationernas projektioner på komponenterna grupperar sig och är korrelerade med varandra. Scoreplots kan tas fram för samtliga komponenter (även om modellen har fler än två komponenter) men mest betydelsefull blir tolkningen över de första komponenterna eftersom dessa står för den största andelen av materialets förklarade varians. Genom att placera Score plotten ovanpå Loading plotten kan information erhållas rörande varje observations inneboende egenskaper.

2.7.2 R^2 - och Q^2 -värden

Hur väl responsvariabeln beskrivs av PLS-analysen och hur bra modellen är redovisas i form av ett modellöversiktsdiagram. Här redovisas kumulativa R^2 -värdet och kumulativa Q^2 -värdet. R^2 -värdet beskriver hur väl modellen genom projektion ner till PLS-komponenten förklarar variationen i det data som analyseras. Q^2 -värdet anger hur väl Y kan predikteras med hjälp av modellen. Sammantaget är dessa parametrar ett mått på hur väl analysen beskriver Y . (Eriksson et al. 2001)

2.7.3 Residualer och uteliggare

En multivariat generalisering av t-testet kallas för Hotelling's T^2 och undersöker huruvida en observation kan anses tillhöra en multivariat normalfördelning (Eriksson et al. 2001). Tillsammans med Score plot används Hotelling T^2 för att upptäcka eventuella uteliggare genom att spänna upp ett konfidensintervall med önskvärd konfidensnivå i form av en ellips runt det område som beskriver modellens normalläge och observationer utanför ellipsen betraktas som misstänkta uteliggare. Extrema observationer (felaktiga eller avvikande) kan få stor inverkan på modellen och ändra riktning på det plan som modellen spänner upp. Den mest korrekta beskrivningen av det insamlade datat försämrar då och åtgärder behöver vidtas såsom uteslutning av extrema uteliggare. Omkring 5 % av alla observationer förväntas ligga utanför ett 95 % konfidensintervall men endast ett fåtal av dessa är verkliga uteliggare. Misstänkta uteliggare bör därför studeras närmare för att hitta orsaken till varför de avviker från övriga observationer.

Residualerna som är skillnaden mellan observerat och skattat värde står för den variation i mätdata som inte kan förklaras av modellkomponenterna (Eriksson et al. 2001). En bra modell har följaktligen små residualer. Detta undersöks genom att skapa en normalfördelningsplot över modellens residualer. Ju bättre dessa ansluter till den diagonala linjen desto mindre är residualerna och desto bättre är modellen. I den mjukvara som används i denna studie, SIMCA-P, används måttet "Distance to model in x-space" (DModX) för att visa hur långt bort från modellen en observation i X-rymden ligger. Residualerna för varje observation plottas i ett styrdiagram med given maximal toleransgräns (DCrit)

för avståndet mellan det skattade och observerade värdet visar DModX observationer med residualer större än DCrit som moderata uteliggare.

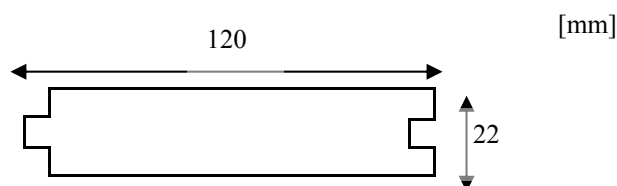
För att studera orsaken till varför en observation är avvikande kan en bidragsplot studeras. Den avvikande observationen kan jämföras med antingen samtliga observationer, grupp av observationer eller mot en enskild observation för att se vilka variabler som skiljer observationerna åt.

3 Material och Metod

3.1 Utgångsmaterial

Råmaterialet kommer från gran uppväxt i Norrbottens län och har levererats från Setra Group AB. Som utgångsmaterial användes 50x150 från centrumutbyten 4X. Dessa har klyvts, hyvlat och spåntats av leverantören Setra till det utgångsmaterial, som använts i denna undersökning, med måtten 22x120 mm², enligt figur 9.

I klimatkammare konditionerades materialet och sedan utfördes torkning från 15 % till 8 % fuktkvot. Obelastade bitar studerades inledningsvis och därefter sammansatta bitar som bildar större sammansatta paneler.



Figur 9. Paneldimensioner

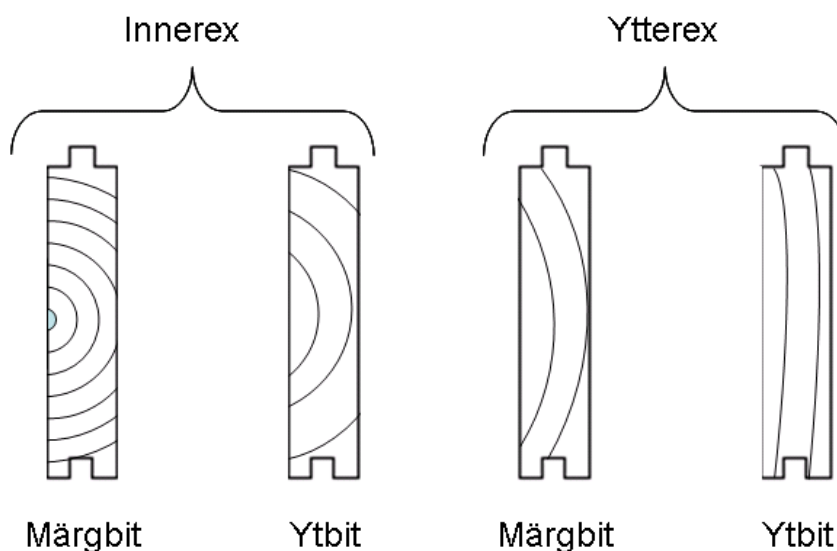
3.2 Genomförande

3.2.1 Manuell sortering

När panelerna levererats till LTU genomfördes en manuell sortering.

Ursprungstanken var att särskilja utgångsmaterialet i fyra olika klasser, se figur 10 och därefter processa materialet och tillföra spår så att tre olika varianter i varje klass erhålls.

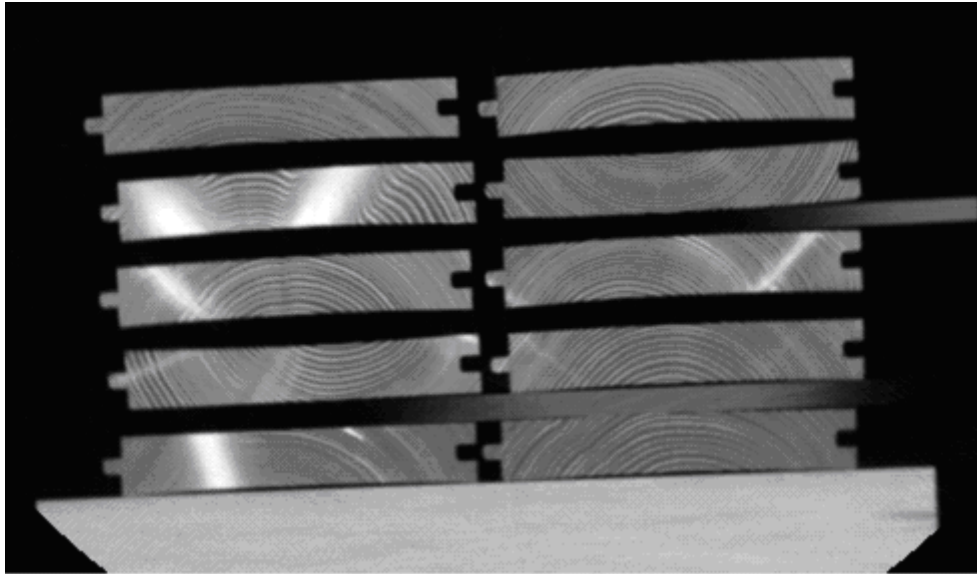
I verkligheten visade det sig svårt att identifiera och urskilja ytbitar från mörkbitar när det gäller ytterex. Dessa slogs istället samman till en gemensam klass. Fortsättningsvis jobbade vi alltså med tre klasser med fem olika varianter, med 4 mm och 8 mm spår på mörk- respektive splintsida samt referensbitar utan spår, totalt 15 olika geometrier.



Figur 10. Indelning av utgångsmaterial i klasser baserat på avstånd till mörk. Innerex-mörkbit är klass 1, Innerex-ytbit är klass 2 och Ytterex-mörkbit och ytbit är klass 3.

3.2.2 Tomografering

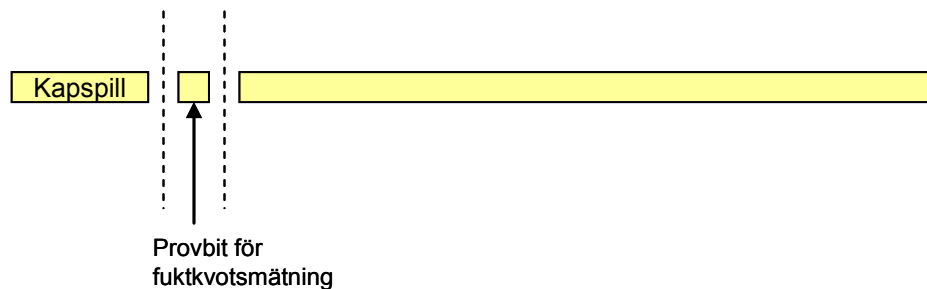
För att få en inre bild av samtliga paneler tomograferades de i en medicinsk tomograf, Siemens Emotion Duo, som finns installerad på LTU Skellefteå, se figur 11. I bilden ser man att det förekommer både kvistar och visst mått av tjurved i panelerna. Resultat från tomograferingarna har använts för att undersöka årsringstäthet och densitetsskillnader bland panelerna.



Figur 11. Tomografbild av paneler nr 41-50. Tjurved och kvistar kan observeras och vid högre upplösning och efter viss bildredigering, även årsringstäthet och densitetsskillnader. Densitetsomfånget är från 230 kg/m^3 (vita områden) till 560 kg/m^3 (svarta områden).

3.2.3 Uppmätning av fuktkvot

För att få en uppfattning om variationen och nivån på fuktkvot i det levererade paketet med panelbrädor genomfördes fuktkvots mätning på samtliga panelbrädor som sedan användes i fortsatta försök. Detta genomfördes med torrviktsmetoden vilket innebär att en bit av varje panel sågas av, ca 30 cm in på panelbrädan, se figur 12.



Figur 12. Provbit för fuktkvotsmätning sågas ut

Den kapade provbiten vägdes före torkning. Torkning skedde i 24 h och 103°C. Efter torkning vägdes biten igen. Fuktkvoten beräknades sedan enligt formeln 3. En sammanställning av resultatet från fuktkvotsmätningarna finns i bilaga 3.

$$MC = \frac{m_{wet} - m_{dry}}{m_{dry}} \quad (3)$$

MC = Fuktkvot [%]

M_{wet} = Råvikt [kg]

M_{dry} = Torrsvikt [kg]

Fukthalten i trä anger mängden vatten per volymenhet [kg/m^3] och är beroende av densiteten hos det medium som vätskan eller gasen propagerar i. Fukthalten fås genom

$$\omega = \rho \frac{MC}{1 + MC} \quad (4)$$

där ω är fukthalten, MC är fuktkvoten och ρ är densiteten hos mediet.

3.2.4 Fuktkvotsutjämning i klimatkammare

För att jämna ut fuktkvoten i testmaterialet genomfördes en extra lång konditionering i 30°C och 76 % RH vilket motsvarar ca 14,3 % i fuktkvot i fem veckor. Något behov av att mäta fuktkvotsvariationen i materialet ansågs ej föreligga efter så lång tid i klimatkammare.

3.2.5 Försök med enskilda provbitar

Ett stort antal provbitar var nödvändigt för att få tillräckligt med mätdata för den fortsatta analysen. För genomförandet av försöken med fria provbitar användes följande olika geometrier:

Obelastade enskilda bitar	Antal geometrier
----------------------------------	-------------------------

4 spår med spår djup 8 mm

Klyvt innerex 22x120 Spårning på märgsidan märgbit, spårning märgsidan ytbit, spårning ytsidan märgbit, spårning ytsidan ytbit	4
--	---

Klyvt ytterex 22x120 Spårning på märgsidan spårning ytsidan	2
---	---

4 spår med spår djup 4 mm

Klyvt innerex 22x120 Spårning på märgsidan märgbit, spårning märgsidan ytbit, spårning ytsidan märgbit, spårning ytsidan ytbit	4
--	---

Klyvt ytterex 22x120 Spårning på märgsidan spårning ytsidan	2
---	---

Inga spår

Klyvt innerex 22x120 Ytbit, märgbit	2
--	---

Klyvt ytterex 22x120	1
----------------------	---

Totalt 15 olika geometrier och 10 st provbitar av varje sort testades vilket då gav totalt 150 enskilda provbitar. När bitarna torkats från 15 % till 8 % mättes deformationen i form av kupning.

Kapning och bearbetning av materialet

I slumpvis ordning kapades panelerna i mindre bitar för fortsatt bearbetning. Spår med djup 4 mm samt 8 mm tillfördes på märg- respektive splintsida.

Nedtorkning

Nedtorkning från ca 15 % MC till ca 8 % MC efter 200 tim i klimatkammare med temperatur 30° C genomfördes på SP Trätec i Skellefteå.

Kupningsmätning

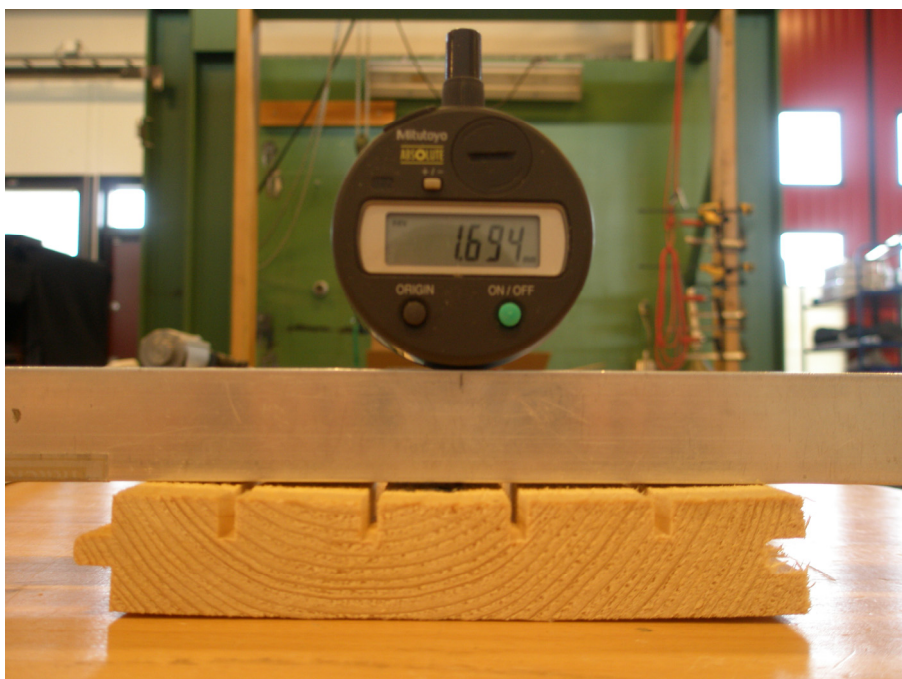
För att mäta deformation i form av kupning användes mätlocka och aluminiumprofil enligt figur 7.



Figur 13. Verktyg för kupp-mätning kalibreras mot den släta ytan

Mätverktyget kalibrerades mot en slät yta enligt figur 13.

Tillvägagångssättet för kupp-mätning visas sedan i figur 14. Markering tillfördes på provmaterialet så att samma område sedan mättes efter torkning genomförts.

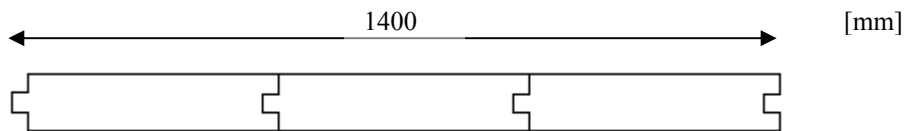


Figur 14. Mätning av deformation i form av kuppning

3.2.6 Försök med sammansatta paneler

För att undersöka hur stor deformationen efter torkning skulle bli när det gäller större provobjekt valdes paneler med längden 1900 mm från de tre tidigare nämnda klasserna ut och hälften av panelerna skulle vara utan spår och hälften med spår.

10 st paneler med ovannämnda specifikation från varje klass, dvs. innerex-märqbit, innerex-ytbit samt ytterex-märqbit och ytbit, sattes samman med spik till en sammanhängande yta, enligt figur 15. Deformationen i form av kupning efter fuktändring mättes och registrerades.



Figur 15. Sammansatta paneler

I figur 16 kan man se hur ett färdigt testobjekt med sammansatta paneler såg ut. Måtten på de färdiga testobjekten var 1900x1400 mm².

Totalt tre stora testobjekt med sammansatta paneler färdigställdes. Paneler med spår på splintsida, märqside och helt utan spår användes och sattes ihop med splintsida respektive märqside utåt.



Figur 16. Testobjekt med sammansatta paneler

Nedtorkning

Efter 200 timmar i klimatkammare på SP Träteq i Skellefteå med 30°C och 76 % RH torkades de sammansatta paneler ned från 15 % MC till 8 % MC. Klimatet i kammaren var licksidigt.

Under nedtorkningen inträffade ett strömavbrott och torktiden förlängdes därför med ca 36 tim. Stickprover togs för att mäta fuktkvoten i panelerna.

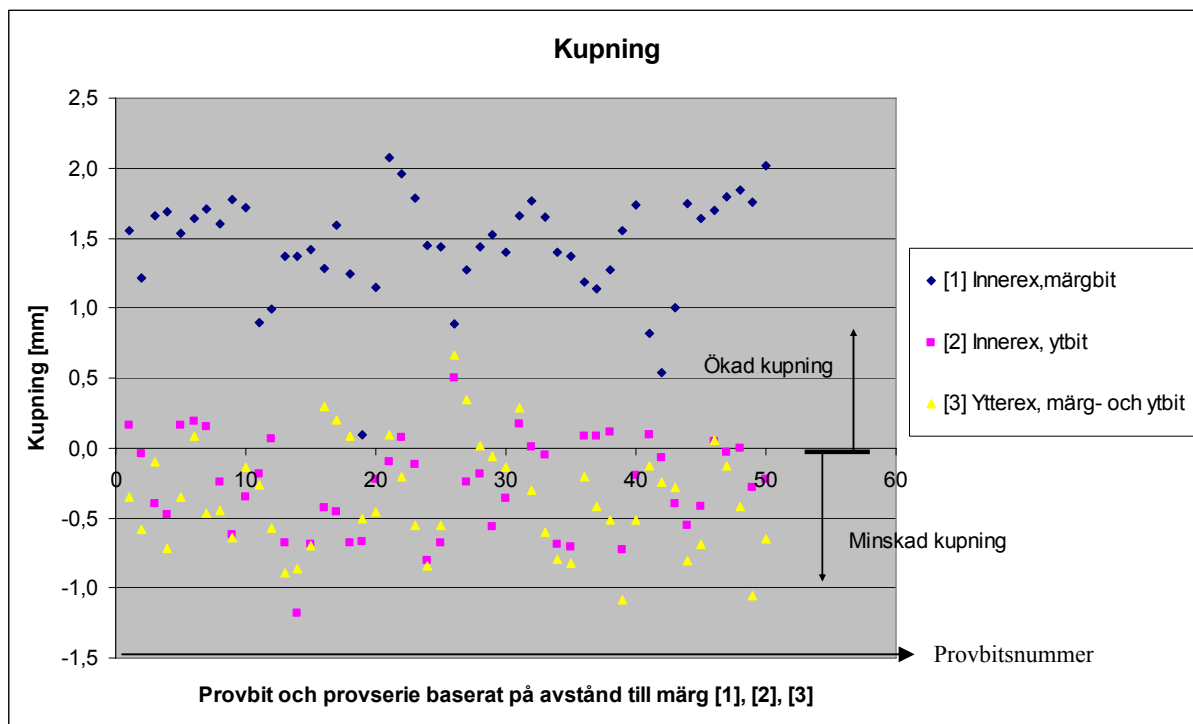
Kupningsmätning

Både före och efter nedtorkning mättes och registrerades deformationen i form av kupning på varje panelbräda och på samma ställe som markerats vid första mätningen.

Resultat

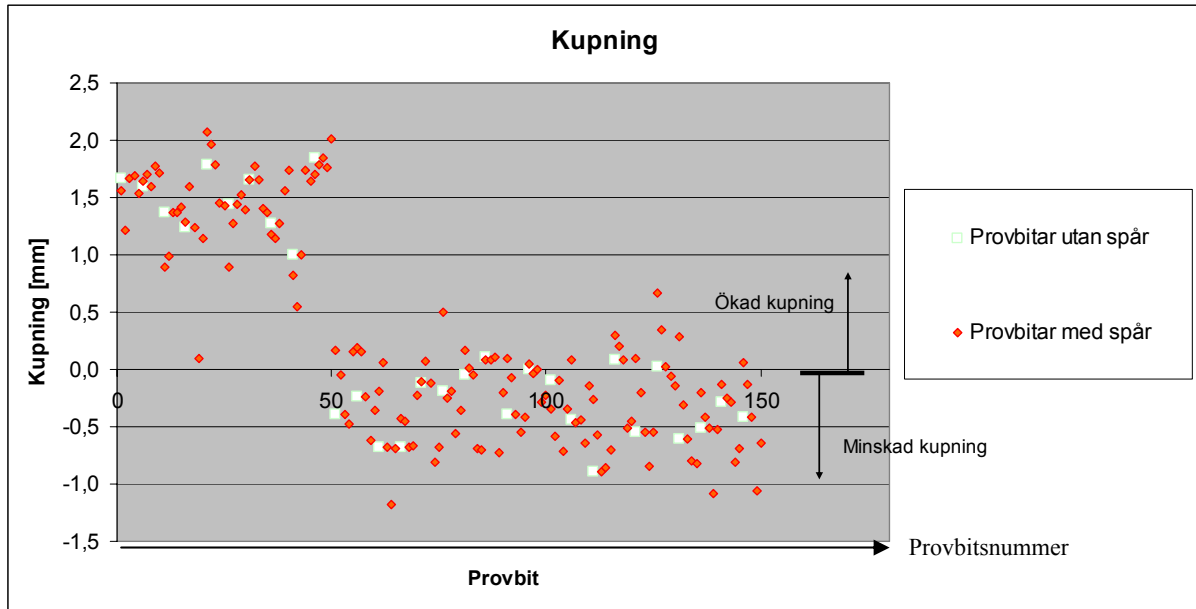
3.3 Resultat med enskilda provbitar

I bilaga 1 är samtliga mätresultat tillgängliga i tabellformat. För att få en mer överskådlig bild av resultatet kan man i figur 17 se hur en grupp kraftigt skiljer ut sig från de övriga. Grupp 1 ”Innerex-märghbit”, som är fria panelbitar med kortast avstånd till märke, har blå färg. Denna grupp hade störst deformation i form av kupning efter torkning. Som mest kunde kupningen uppgå till ca 2 mm.



Figur 17. Kupningsresultat av fria provbitar i de tre olika klasserna [1] Innerex, märghbit [2] Innerex,ytbit [3] Ytterex, märke-och ytbit

I figur 18 kan en jämförelse i kupningsresultat studeras, mellan fria provbitar med spår och fria provbitar utan spår . Fria provbitar utan spår har vit färg och fria provbitar med spår har röd färg. Återigen är det en grupp som skiljer ut sig från de övriga oavsett om provbitarna har spår eller är utan spår.



Figur 18. Jämförelse i kupning mellan fria provbitar med och utan spår

I tabell 1 kan man också se att det är de bitar som är närmast mörgen (Innerex, mörgbit) som uppvisar störst kupning. Spåren verkar ha relativt liten betydelse även om något mindre kupning, 1,2 mm kupning jämfört med 1,29-1,45 mm när det gäller innerex-mörgbitar, kan konstateras bland bitar med 8 mm spår. Spåren har något större effekt om de tillförs på mörgsidan, men skillnaderna är väldigt små. När det gäller innerex-ytbit och ytterex-mörg- och ytbitar visar resultaten att kupningen blir något mindre om spåren tillförs på splintsidan.

I likhet med den undersökning Blümer gjorde 1980 visar några av resultaten också på en minskad kupning efter torkning jämfört med före torkning, speciellt noterbart är när spår tillförs på splintsidan på innerex-ytbit och ytterex-mörg- och ytbit. Kupningen har i dessa fall som mest varit 0,4 mm lägre efter torkning.

Tabell 1. Kupningsresultat enskilda bitar

	Totalt	Provserier baserade på avstånd till mörg		
		[1] Innerex, mörgbit	[2] Innerex, ytbit	[3] Ytterex, mörg- och ytbit
Medelkupning alla provbitar [mm]	0,28	1,45	-0,26	-0,36
Medelkupning utan spår [mm]	0,28	1,29	-0,26	-0,37
Medelkupning med 4 mm spår splintsida [mm]	0,22	1,34	-0,37	-0,50
Medelkupning med 4 mm spår mörgsida [mm]	0,34	1,28	-0,05	-0,24
Medelkupning med 8 mm spår splintsida [mm]	0,01	1,20	-0,66	-0,74
Medelkupning med 8 mm spår mörgsida [mm]	0,46	1,20	0,05	0,05
Standardavvikelse	0,91			
Max kupning (dvs. största skillnad i kupning efter torkning)	2,07	Provbit 5.1, Innerex-mörgbit med 8 mm spår på mörgsida		

3.4 Resultat från multivariat regressionsanalys med PLS

Den multivariata dataanalysen och modelleringen genomfördes med mjukvaran SIMCA-P 10.5 från Umetrics AB. Påverkande variabler (x) och respons (y) beskrivs i tabell 2.

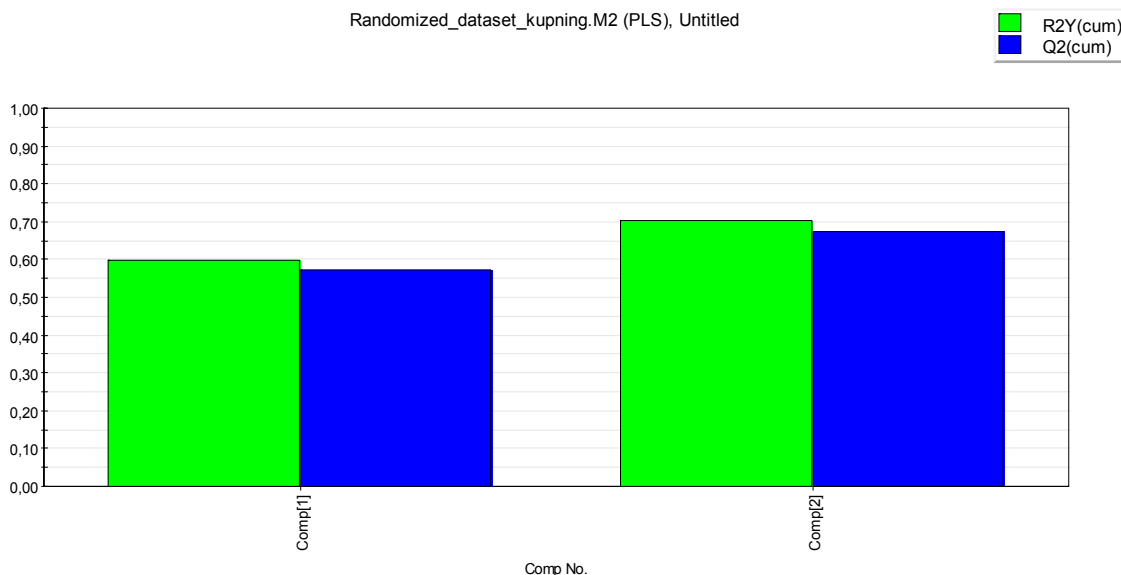
Tabell 2. Beskrivning av variabler

Variabeltyp	Namn	Förklaring
Påverkande variabel (x)	Märgläge	Placering i stock, avstånd till märg, 3 grupper (1-3)
Påverkande variabel (x)	Densitet	Skillnad i densitet, 3 grupper (1-3)
Påverkande variabel (x)	Spår	Spårdjup 4/8 mm, placering av spår på märg/splintsida, inga spår (0-5)
Påverkande variabel (x)	Årsringar	Årsringstäthet i provbit i 3 grupper (1-3)
Responsvariabel (y)	Kupning	Kupning av provbit efter torkning (mm)

Det insamlade datat med 150 mätningar av fri provbitar randomiserades innan analysen och bearbetning i SIMCA-P påbörjades.

I figur 19 noteras att förklaringsgraden R² visar ett värde på ca 0,7 och prediktiva förmågan Q² ca 0,68 och betyder att det är en bra modell. Skillnaden mellan R² och Q² bör vara mindre än 0,3 samt att Q² värdet bör vara över 0,5 för att modellen ska vara bra. En modell med lägre värden på Q² kan dock trots det visa på samband och ge en godtagbar indikation på påverkande, samverkande eller motverkande variabler (prediktorer) och responser.

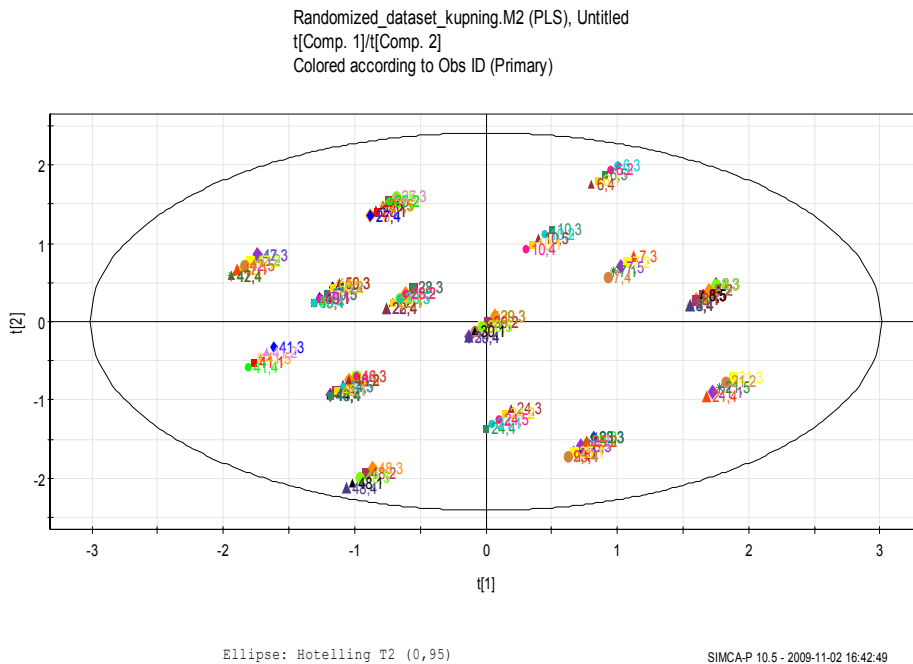
Att den erhållna modellen endast har två principala komponenter betyder också lägre risk för modellering av brus, dvs. information som inte är användbar eller är relevant.



SIMCA-P 10.5 - 2009-11-02 16:38:52

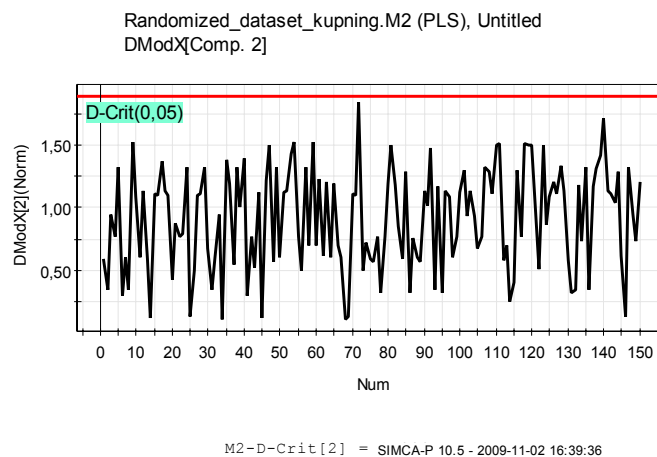
Figur 19. Två principala komponenter erhålls efter autofit och cross-validation i SIMCA-P. Maximalt värde på Q² (prediktiv förmåga) och R² (förklaringsgrad) erhålls efter den andra PLS-komponenten Comp[2].

För att undersöka om modellen påverkas av avvikande observationer användes Scoreplot och DModX. Vid granskning av Scoreploten för de två principalkomponenterna, se figur 20, kan konstateras att samtliga observationer hittas inom den ellips som motsvarar konfidensintervallet och inga starka uteliggare kan urskiljas med denna plot. Tydliga grupperingar av observationer kan noteras i plotten.



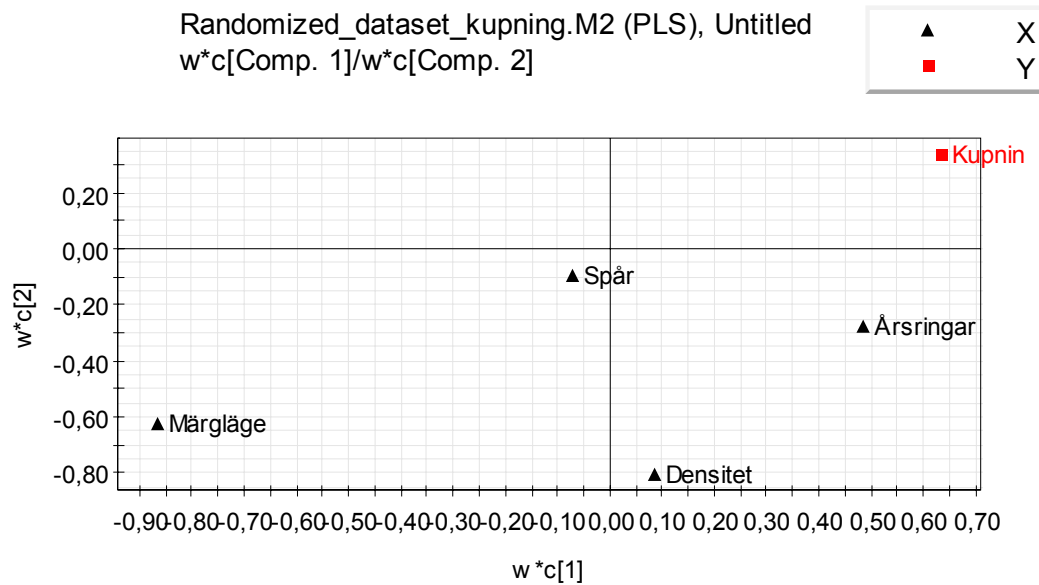
Figur 20. Score plot för de två principala komponenterna visar tydliga grupperingar och att starka uteliggare saknas.

För att analysera om det fanns moderata avvikande mätningar som ej förklaras på ett bra sätt av modellen användes DModX-grafen. Denna graf visar hur långt från det utspända modellplanet observationerna ligger. Om endast en variabel avviker kan observationen visas inom ellipsen på scoreplotten men trots det avvika i höjddled från planet. Inga moderata avvikande mätningar, även kallade moderata uteliggare, ovanför den kritiska gränsen D-Critical(0,05) kan observeras i figur 21.



Figur 21. DmodX grafen visar residualer, dvs. skillnaden mellan observerat och skattat värde över den kritiska gränsen, D-Critical (0,05). Inga mätningar överstiger i detta fall den kritiska gränsen.

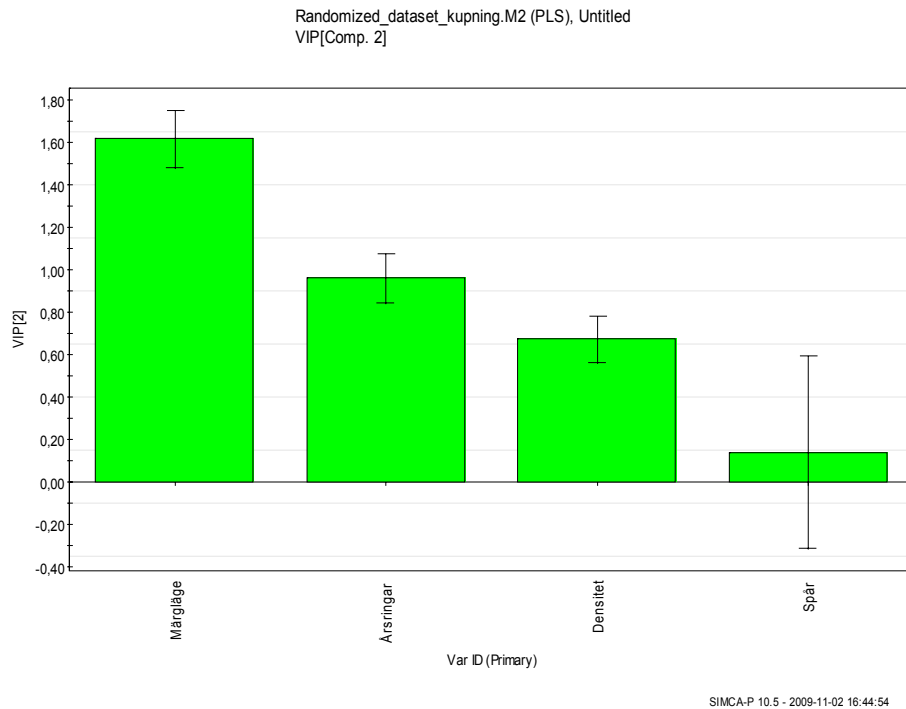
Den första principalkomponenten relaterar i första hand till kupning och märgläge, vilket kan noteras i Loadingplotten för de två principalkomponenterna, se figur 22. Den andra principalkomponenten relaterar mest till densitet och märgläge. Kupning påverkas mest av märgläge och ju lägre värde på märgläge, dvs. ju närmare märg desto större kupning. Av plotten framgår också att årsringstäthet har viss inverkan på kupning. Spår har liten påverkan på kupning och detsamma gäller för densitet.



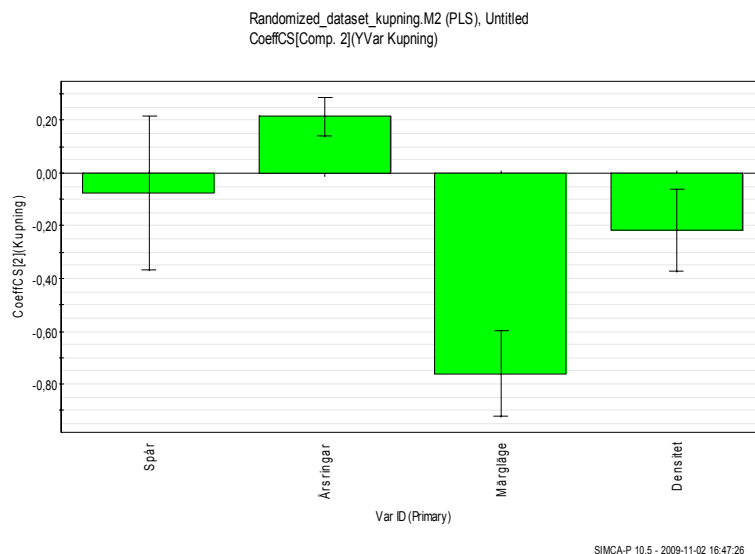
SIMCA-P 10.5 - 2009-11-02 16:40:37

Figur 22. Loading plot för de två principalkomponenterna. Tydligast samband har kupning och märgläge. Årsringar och Densitet har också viss påverkan på kupningen medan spår har liten påverkan på kupning.

Vid närmare granskning av varje variabls påverkan och betydelse för modellen, se figur 23, kan det återigen bekräftas att den viktigaste variabeln i modellen är märgläge. Årsringstäthet har också en betydelse för modellen men är betydligt svagare än märgläge. Densitet är ytterligare svagare och allra minst betydelse har variabeln spår i modellen. Spår har också hög standardavvikelse vilket ytterligare bekräftar att det är en svag variabel och har minst betydelse i PLS-modellen. Liknande resultat fås av koefficientplotten i figur 24 med den skillnaden att årsringar och densitet påverkar i olika riktning. Märgläge visar negativ påverkan på kupning, dvs. ju lägre värde(nära märg) desto större kupning.



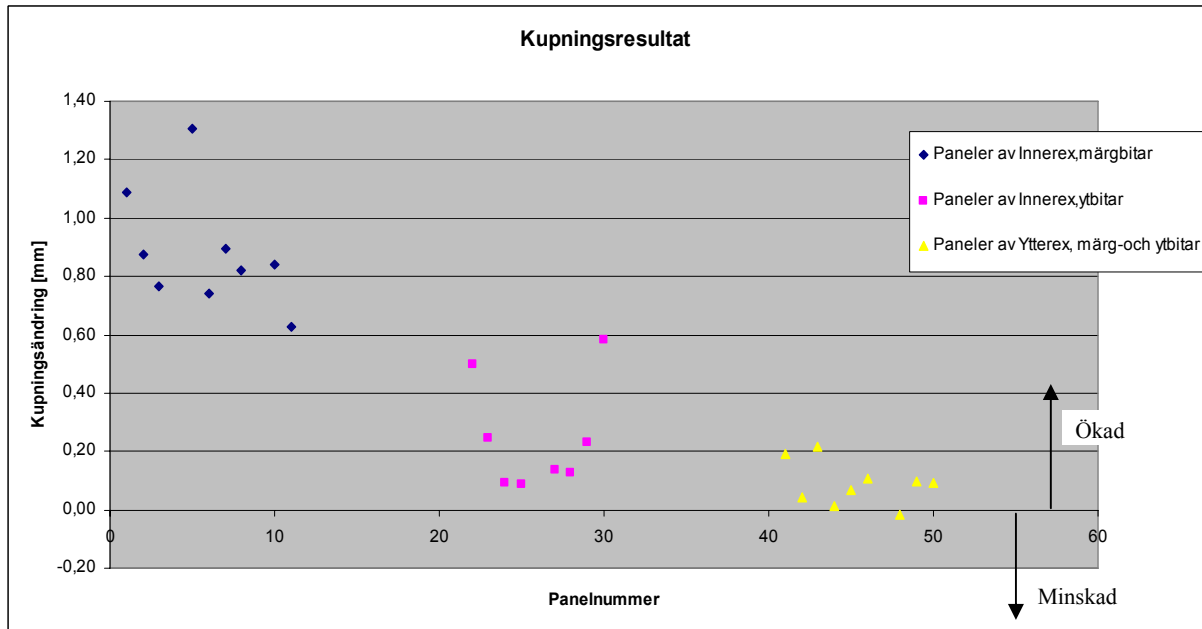
Figur 23. VIP plot som visar att märgläge har störst påverkan i denna modell. Även årsringstäthet och densitet har viss påverkan medan spår har mycket lågt värde och stor standardavvikelse vilket indikerar en svag variabel



Figur 24. Koefficient plot för responsvariabel kupning visar att märgläge har negativ påverkan och störst påverkan. Minst påverkan har spår medan densitet och årsringar visar ungefär lika stora värden med negativ respektive positiv påverkan på responsvariabeln kupning.

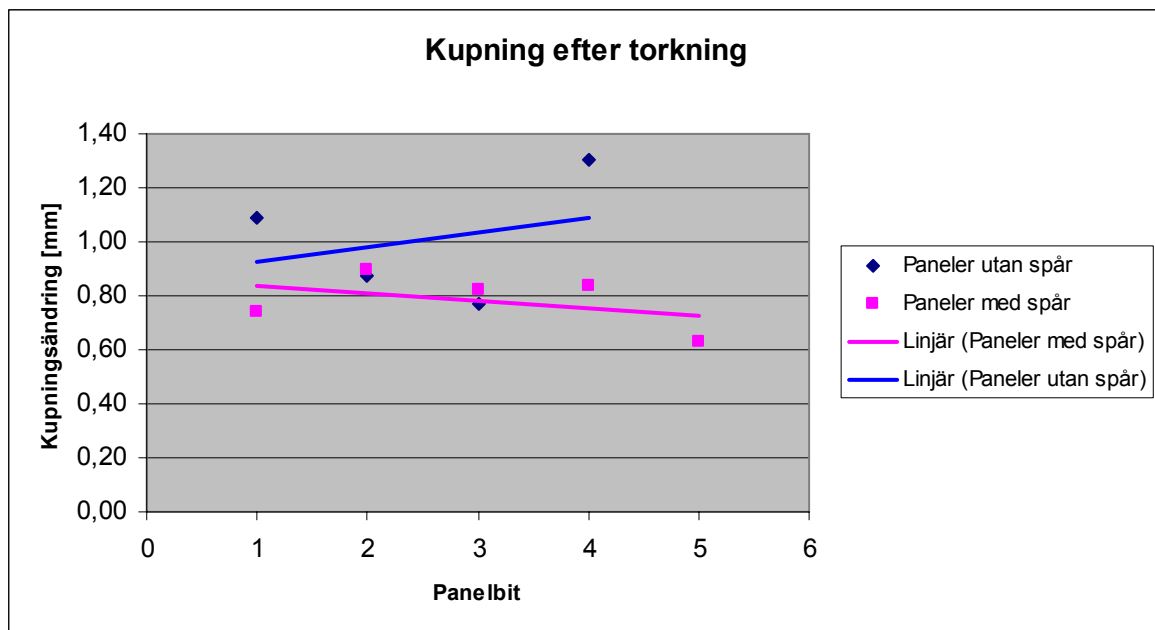
3.5 Resultat med sammansatta paneler

När det gäller sammansatta paneler kunde ej någon fungerande modell i PLS användas för analys beroende på ett mycket lägre antal observationer pga. storleken på objekten. Resultatet från mätningarna av kupning av sammansatta paneler kan studeras i figur 25. En grupp, Provggrupp 1 med Innerex-märgbitar, avviker tydligt från resterande paneler.



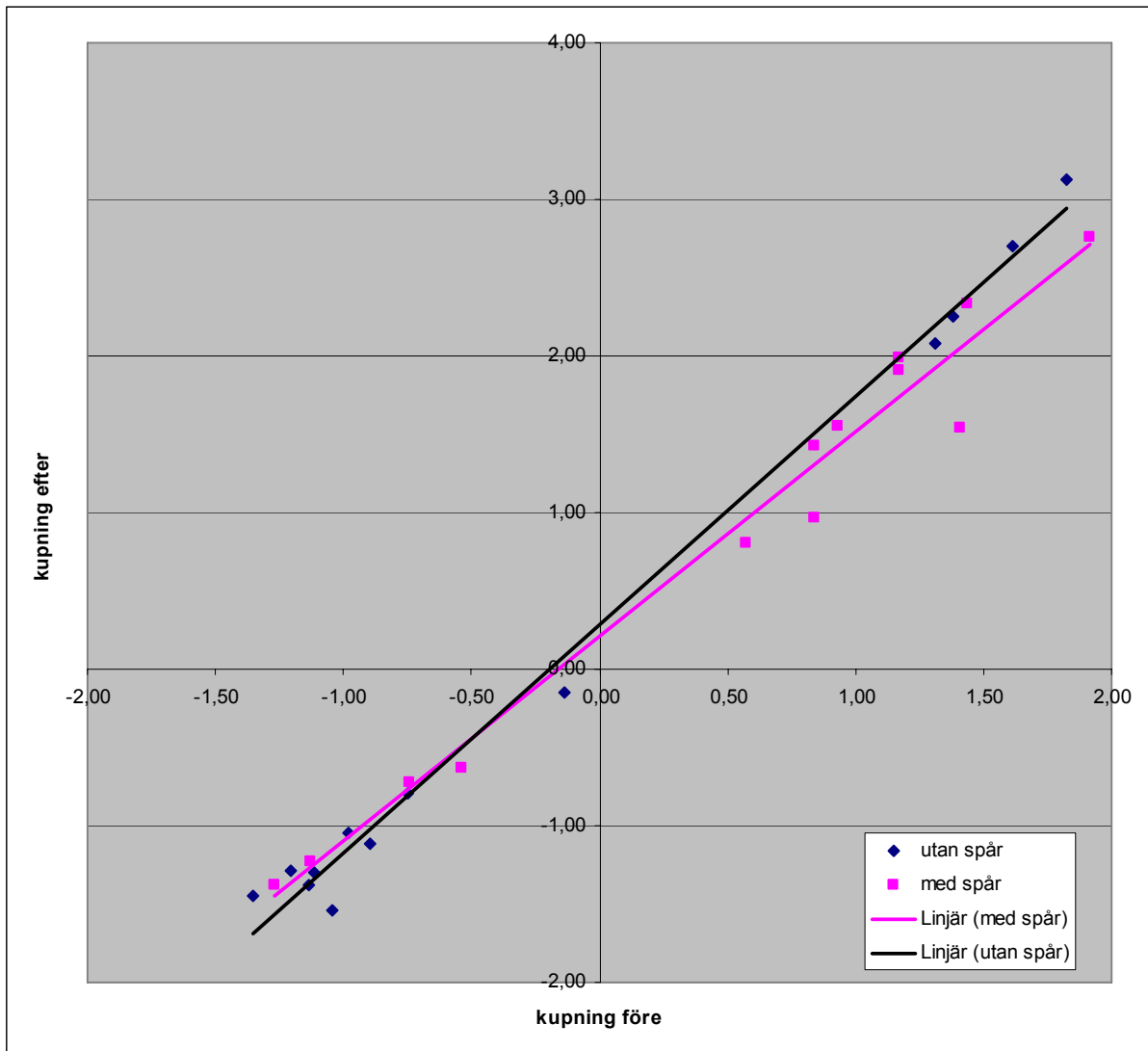
Figur 25. Kupningsresultat vid mätning av sammansatta paneler

När vi tittar närmare på Provggrupp1 med sammansatta paneler från gruppen Innerex-märgbitar och jämför med och utan spår, ser vi i figur 26 att spåren har betydelse och resulterar i minskad deformation i form av kupning.



Figur 26. Kupning med och utan spår på sammansatta paneler av Innerex-märgbitar

I figur 27 kan man studera resultatet från mätningar av alla sammansatta paneler med en jämförelse mellan kupning före och efter torkning och med och utan spår. Den lägre lutningen på linjen som visar paneler med spår indikerar en minskad kupning.



Figur 27. Jämförelse kupning före och efter torkning med och utan spår på sammansatta paneler

4 Diskussion och slutsatser

Minskad kupning efter torkning som observerades i försöket med fria provbitar kan dels bero på ojämna ytor och att det är frågan om mycket små mätvärden men även på förekomst av tjurved och kvistar i närheten av mätområdet på panelbrädan. Minskning av kupning var ett resultat som kan tyckas något märkligt men detta fenomen noterades även vid den undersökning som genomfördes av H. Blümer 1980 på Svenska Träforskningsinstitutet.

Vilka slutsatser kan då dras från gjorda försök? Har spåren någon betydelse? Svaret är att det beror på var i stocken ursprungsmaterialet som sedermera blir panelbrädor kommer ifrån.

Om man tittar totalt sett på alla *fria panelbitar* så har spåren haft relativt liten betydelse, skillnaden i kupning med och utan spår var i genomsnitt mindre än 3 % .

Om vi däremot enbart tittar på märkebitar så konstateras att spåren har betydelse och bidrar till att deformation i form av kupning minskar relativt tydligt, i genomsnitt drygt 7,5 %, om 8 mm djupa spår har tillförts.

Den multivariata regressionsanalysen bekräftade att den största påverkan på kupning hade märkegläde och spåren visade sig ha mycket liten betydelse. PLS-modellen visade även att årsringstäthet kan ha viss påverkan på kupning.

När det gäller *sammansatta paneler* blir detta ännu tydligare. Deformation i form av kupning minskar när sammansatta paneler med märkebitar tillförs 8 mm spår på märgsidan. Effekten har konstaterats vara upp till 20 % minskad deformation när spår tillförts.

I genomsnitt var deformationen i form av kupning 10 % mindre på de sammansatta paneler av innerex, märkebitar där spår tillförts på märgsidan jämfört med paneler av innerex, märkebitar utan spår. Viktigt att komma ihåg är att denna tydliga effekt dock gäller sammansatta paneler och där panelerna har sitt ursprung från den del i stocken som är allra närmast märgen, s.k. märkebitar.

Mats Ekevads simuleringsmodell gäller endast för torkning från 8 % till 4 % fuktkvot och fria provbitar, ej för sammansatta paneler. Simuleringsresultatet visar att minsta kupningen erhålls om spår tillförs på märgsidan när det gäller märkebitar. Vidare visar resultatet från simuleringarna att 8 mm spår bör användas och inte 4 mm spår för att minska spänningarna i panelerna. Simuleringarna visar också att spåren har mycket liten betydelse för minskad kupning.

5 Fortsatta studier

Av nödvändighet har denna undersökning inte kunnat täcka in alla tänkbara scenarion vad gäller spår i paneler och huruvida effekten av spår kan påvisas. Avgränsningar i form av tid och omfattning har varit en förutsättning för att ett tydligt resultat skulle kunna uppnås.

Resultaten från denna undersökning kan med fördel jämföras med den simuleringsmodell som Mats Ekevad på Luleå tekniska universitet tagit fram och som också påvisar relativt små skillnader i kupning mellan paneler med och utan spår. En utökad simuleringsmodell med fler påverkansfaktorer är ett intressant område för fortsatt arbete.

Fördjupade studier i skillnader i deformationer efter torkning beroende på var i stocken ursprungsmaterialet tas kan också vara ett möjligt område för fortsatta studier, särskilt då ursprungsmaterialet tas från de yttersta delarna av stocken.

Effekter av spår på sammansatta paneler i ännu större format, över 8 meter i längd, vore intressant att titta på. Nedtorkning och återfuktning vid andra fuktkvoter kan studeras närmare, både vid högre och lägre fuktkvoter än denna undersökning använt. Långtidstest av sammansatta paneler med och utan spår och cykling av fukt över årstiderna är ännu ett intressant område och försök pågår just nu och blir därmed en fortsättning på detta projekt.

Referenser

Abdi H. (2003) Partial Least Squares (PLS) Regression, Encyclopedia of Social Science Research Methods, Thousand Oaks (CA)

Anon. (1998) User's guide to SIMCA-P version 11.0. Umetrics AB, Umeå

Blümer H. (1980) Hyvlingsteknik – Spårfräsning på baksidan av breda bräder, serie A nr 625, STFi-Nytt 8-80 TS, Undersökningsrapport, Svenska Träforskningsinstitutet

Crocombe A. (2005) Stress Analysis (Ed: R.D. Adams), Boca Raton, USA: CRC Press LLC, ISBN 0-8493-2584-6

Ekevad Mats (2006) Modelling of Dynamic and Quasistatic Events with Special Focus on Wood-Drying Distortions, Doctoral Thesis 2006:39, Division of Wood Science and Technology, LTU Skellefteå, Luleå tekniska universitet

Eriksson L, Johansson E, Kettaneth-Wold N, Wold S (2001) Multi- and Megavariate Data Analysis – Principles and Applications, Umeå, Umetrics AB

Esping B. (1992) Trätorkning 1a, Grunder I torkning, Stockholm, Träteknik

Fröbel J, Bergkvist P, Hansson T, Åsell M (2004) Att välja trä, ed Sterner B, Skogsindustrierna

Lindgren F. 1994. Third generation PLS. Some elements and Applications. Thesis. Umeå Universitet

Manly F.F.J, (1986) Multivariate statistical methods, London, Chapman and Hall

Morén Tom (2007) Virkestorkningens grunder, Valutec

Persson Lennart (2003) Kursmaterial från kursen Vetenskaplig metod, Luleå tekniska universitet

Saarman E (1992) Träkunskap, Sveriges skogsindustriförbund, Markaryd

Sehlstedt-Persson Margot (2008) Impact of Drying and Heat Treatment on Physical Properties and Durability of Solid Wood, Doctoral Thesis, Division of Wood Physics, LTU Skellefteå, Luleå tekniska universitet

Wallén G (1993) Vetenskapsteori och forskningsmetodik, Lund, Studentlitteratur

Wernersson H. (1994) Wood adhesive bonds – Fracture softening properties in shear and in tension, Report TVSM-3012, Lund, Division of Structural Mechanics, Lund University

Wold S, Albano C, Dunn W.J, Esbensen K, Hellberg S, Johansson E & Sjöström M (1983) Pattern recognition: Finding and using regularities in multivariate data. Food research and data analysis, ed. Martens H & Russwurm J.H, London, Applied Science Publ.

Wold S, Albano C, Dunn W.J, Edlund U, Esbensen K, Geladi P, Hellberg S, Johansson E, Lindberg W & Sjöström M (1984) Multivariate Data Analysis in Chemistry, Chemometrics, Mathematics and Statistics in Chemistry, ed Kowalski B.R, Dordech, D Reidel Publ. Co.

Figurförteckning

Figur 1. Olika sorters ved i trädet.....	3
Figur 2. Fritt och bundet vatten i trä	4
Figur 3. Fuktkvotsdiagram visar trämateriallets fuktkvot i relation till en normal årscykel vid olika temperaturer. Exemplet visar att vid en RF på 32 % får träet en fuktkvot på ca 7 %.(ur Att välja trä, Skogsindustrierna)	5
Figur 4. 3D-modell(vänstra bilden) samt elementindelad 3D-modell(högra bilden) av panelbit med 3 spår.....	7
Figur 5. Figur visande X-rymden och Y-rymden och fördelning	8
Figur 6. Grafisk framställning av X-rummet och den första PLS-komponenten för ett	9
Figur 7. Figuren visar en principskiss över objektens spridning i Y-rummet	10
Figur 8. Figuren visar X-rummet med den första och andra PLS-komponenten i ett exempel med tre predikterande variabler x_1 , x_2 , x_3 . Varje punkt representerar en observation som projiceras ner på	10
Figur 9. Paneldimensioner	13
Figur 10. Indelning av utgångsmaterial i klasser baserat på avstånd till märke.....	13
Figur 11. Tomografibild av paneler nr 41-50. Tjurved och kvistar kan observeras och	14
Figur 12. Provbit för fuktkvotmätning sågas ut.....	15
Figur 13. Verktyg för kupmätning kalibreras mot den släta ytan	17
Figur 14. Mätning av deformation i form av kupning.....	17
Figur 15. Sammansatta paneler	18
Figur 16. Testobjekt med sammansatta paneler.....	18
Figur 17. Kupningsresultat av fria provbitar i de tre olika klasserna	19
Figur 18. Jämförelse i kupning mellan fria provbitar med och utan spår	20
Figur 19. Två principala komponenter erhålls efter autofit och cross-validation i SIMCA-P.	22
Figur 20. Score plot för de två principala komponenterna visar tydliga	23
Figur 21. DmodX grafen visar residualer, dvs. skillnaden mellan observerat och.....	23
Figur 22. Loading plot för de två principalkomponenterna. Tydligast samband har kupning och märkläge. Årsringar och Densitet har också viss påverkan på kupningen medan spår har liten påverkan på kupning.	24
Figur 23. VIP plot som visar att märkläge har störst påverkan i denna modell. Även årsringstäthet och densitet har viss påverkan medan spår har mycket lågt värde och stor standardavvikelse vilket indikerar en svag variabel	25
Figur 24. Koefficient plot för responsvariabel kupning visar att märkläge har negativ påverkan och störst påverkan. Minst påverkan har spår medan densitet och årsringar visar ungefär lika stora värden med negativ respektive positiv påverkan på responsvariabeln kupning.	25
Figur 25. Kupningsresultat vid mätning av sammansatta paneler	26
Figur 26. Kupning med och utan spår på sammansatta paneler av Innerex-märghitar	26
Figur 27. Jämförelse kupning före och efter torkning med och utan spår på sammansatta paneler.....	27

Bilagor

Bilaga 1. Mätdata fria provbitar

Provbit	Kupning f. torkning [mm]	Kupning e. torkning [mm]	Skillnad i kupning e. torkning [mm]
1.1	-1,512	-3,066	1,6
1.2	-1,646	-2,859	1,2
1.3	-2,298	-3,961	1,7
1.4	-1,774	-3,46	1,7
1.5	-2,06	-3,59	1,5
2.1	-1,847	-3,487	1,6
2.2	-1,782	-3,489	1,7
2.3	-1,955	-3,554	1,6
2.4	-1,671	-3,448	1,8
2.5	-1,715	-3,431	1,7
3.1	-1,354	-2,252	0,9
3.2	-1,645	-2,636	1,0
3.3	-1,764	-3,137	1,4
3.4	-1,606	-2,972	1,4
3.5	-1,632	-3,051	1,4
4.1	-1,166	-2,447	1,3
4.2	-1,359	-2,952	1,6
4.3	-1,289	-2,53	1,2
4.4	-0,606	-0,698	0,1
4.5	-1,092	-2,24	1,1
5.1	-1,856	-3,929	2,1
5.2	-1,873	-3,832	2,0
5.3	-1,856	-3,638	1,8
5.4	-1,123	-2,573	1,5
5.5	-1,125	-2,558	1,4
6.1	-1,374	-2,265	0,9
6.2	-1,382	-2,656	1,3
6.3	-1,766	-3,203	1,4
6.4	-1,579	-3,106	1,5
6.5	-1,431	-2,826	1,4
7.1	-1,778	-3,436	1,7
7.2	-1,685	-3,455	1,8
7.3	-1,721	-3,371	1,7
7.4	-1,824	-3,224	1,4
7.5	-1,845	-3,215	1,4
8.1	-1,261	-2,445	1,2
8.2	-1,592	-2,73	1,1
8.3	-2,394	-3,669	1,3
8.4	-2,358	-3,912	1,6
8.5	-2,206	-3,942	1,7
10.1	-1,593	-2,41	0,8
10.2	-2,15	-2,693	0,5
10.3	-2,222	-3,223	1,0
10.4	-2,042	-3,786	1,7
10.5	-2,258	-3,901	1,6
21.1	-1,865	-3,565	1,7
21.2	-1,958	-3,748	1,8
21.3	-2,377	-4,217	1,8

21.4	-2,11	-3,869	1,8
21.5	-2,098	-4,111	2,0
22.1	-2,171	-2,335	0,2
22.2	-1,925	-1,88	0,0
22.3	-2,195	-1,801	-0,4
22.4	-1,561	-1,082	-0,5
22.5	-1,745	-1,904	0,2
23.1	-2,296	-2,484	0,2
23.2	-2,102	-2,254	0,2
23.3	-2,264	-2,02	-0,2
23.4	-1,755	-1,139	-0,6
23.5	-1,936	-1,581	-0,4
9.1	-1,438	-1,25	-0,2
9.2	-1,358	-1,419	0,1
9.3	-1,976	-1,298	-0,7
9.4	-1,467	-0,287	-1,2
9.5	-1,465	-0,775	-0,7
24.1	-2,433	-2,006	-0,4
24.2	-2,162	-1,704	-0,5
24.3	-2,182	-1,507	-0,7
24.4	-2,173	-1,502	-0,7
24.5	-2,021	-1,792	-0,2
25.1	-2,294	-2,192	-0,1
25.2	-2,419	-2,494	0,1
25.3	-2,432	-2,318	-0,1
25.4	-1,871	-1,067	-0,8
25.5	-1,875	-1,201	-0,7
26.1	-2,364	-2,86	0,5
26.2	-1,796	-1,548	-0,2
26.3	-2,23	-2,045	-0,2
26.4	-1,874	-1,311	-0,6
26.5	-2,078	-1,716	-0,4
27.1	-2,869	-3,038	0,2
27.2	-2,519	-2,53	0,0
27.3	-2,304	-2,254	0,0
27.4	-2,086	-1,393	-0,7
27.5	-2,489	-1,784	-0,7
28.1	-2,409	-2,494	0,1
28.2	-2,269	-2,351	0,1
28.3	-2,323	-2,432	0,1
28.4	-1,682	-0,954	-0,7
28.5	-1,973	-1,774	-0,2
29.1	-1,64	-1,736	0,1
29.2	-1,574	-1,505	-0,1
29.3	-1,612	-1,214	-0,4
29.4	-1,835	-1,284	-0,6
29.5	-1,552	-1,131	-0,4
30.1	-1,985	-2,032	0,0
30.2	-2,001	-1,971	0,0
30.3	-1,843	-1,839	0,0
30.4	-1,922	-1,636	-0,3
30.5	-1,717	-1,489	-0,2

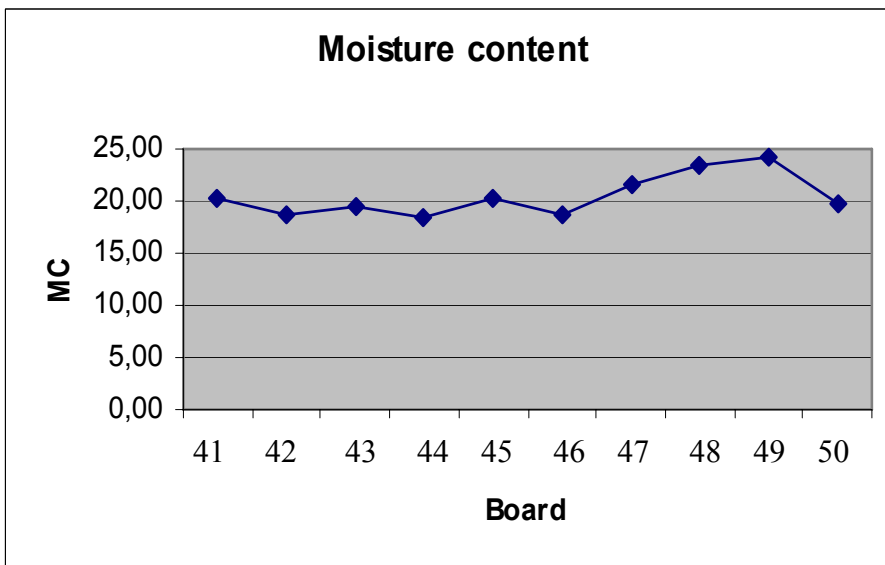
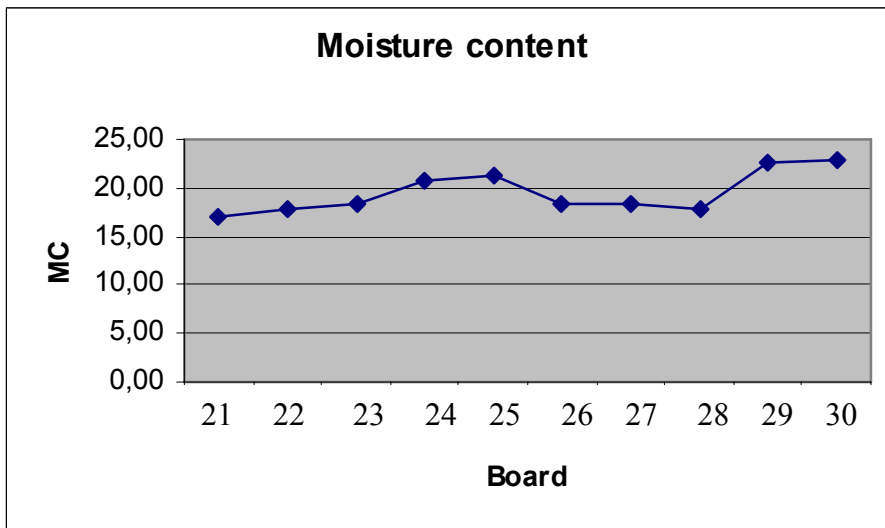
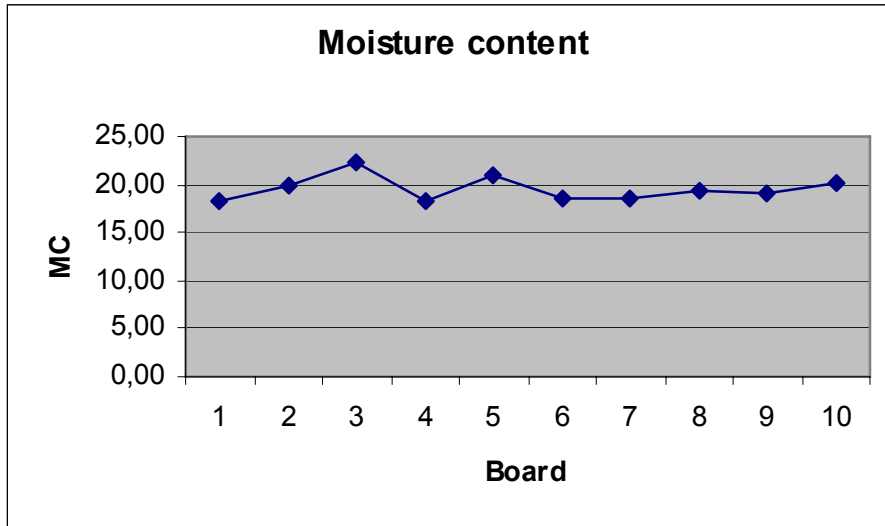
41.1	-1,179	-0,831	-0,3
41.2	-1,058	-0,478	-0,6
41.3	-1,668	-1,568	-0,1
41.4	-2,29	-1,577	-0,7
41.5	-2,041	-1,691	-0,4
42.1	-1,972	-2,058	0,1
42.2	-2,118	-1,653	-0,5
42.3	-2,168	-1,725	-0,4
42.4	-2,109	-1,467	-0,6
42.5	-1,911	-1,77	-0,1
43.1	-2,564	-2,302	-0,3
43.2	-1,998	-1,427	-0,6
43.3	-1,835	-0,946	-0,9
43.4	-1,547	-0,687	-0,9
43.5	-1,55	-0,851	-0,7
44.1	-1,243	-1,544	0,3
44.2	-1,293	-1,498	0,2
44.3	-1,477	-1,562	0,1
44.4	-0,945	-0,436	-0,5
44.5	-0,978	-0,524	-0,5
45.1	-2,471	-2,565	0,1
45.2	-2,493	-2,29	-0,2
45.3	-2,169	-1,617	-0,6
45.4	-2,191	-1,349	-0,8
45.5	-1,558	-1,009	-0,5
46.1	-2,395	-3,056	0,7
46.2	-2,237	-2,584	0,3
46.3	-2,145	-2,166	0,0
46.4	-1,892	-1,834	-0,1
46.5	-2,175	-2,034	-0,1
47.1	-1,968	-2,257	0,3
47.2	-1,755	-1,451	-0,3
47.3	-1,318	-0,716	-0,6
47.4	-1,039	-0,24	-0,8
47.5	-1,21	-0,391	-0,8
48.1	-1,984	-1,781	-0,2
48.2	-1,619	-1,201	-0,4
48.3	-2,011	-1,501	-0,5
48.4	-1,536	-0,456	-1,1
48.5	-1,554	-1,035	-0,5
49.1	-2,431	-2,299	-0,1
49.2	-1,975	-1,729	-0,2
49.3	-2,262	-1,976	-0,3
49.4	-2,05	-1,246	-0,8
49.5	-1,634	-0,949	-0,7
50.1	-1,899	-1,958	0,1
50.2	-2,085	-1,956	-0,1
50.3	-1,907	-1,489	-0,4
50.4	-1,921	-0,866	-1,1
50.5	-1,458	-0,812	-0,6

Bilaga 2. Mätdata sammansatta paneler

Provbit	Kupning före torkning [mm]	Kupning efter torkning [mm]	Ökad kupning efter torkning [mm]
1	1,62	2,71	1,09
2	1,38	2,26	0,88
3	1,31	2,08	0,77
4	0,28	0,17	-0,11
5	1,82	3,13	1,31
6	1,17	1,91	0,74
7	1,44	2,33	0,89
8	1,17	1,99	0,82
10	1,92	2,76	0,84
21	0,93	1,56	0,63
9	-0,20	-0,27	0,07
22	-1,05	-1,54	0,50
23	-1,14	-1,38	0,25
24	-1,35	-1,44	0,09
25	-1,21	-1,29	0,09
26	0,83	0,65	-0,18
27	1,41	1,55	0,14
28	0,84	0,97	0,13
29	0,58	0,81	0,23
30	0,84	1,43	0,59
41	-1,11	-1,30	0,19
42	-0,75	-0,79	0,04
43	-0,90	-1,12	0,22
44	-0,14	-0,15	0,01
45	-0,98	-1,05	0,07
46	-1,27	-1,38	0,11
47	-0,33	-0,96	0,63
48	-0,74	-0,72	-0,02
49	-1,13	-1,23	0,10
50	-0,54	-0,63	0,09

Bilaga 3. Fuktmätning fria provbitar

	Fuktmätning obearbetade bitar		
Panel nr	Vikt före tork [g]	Vikt efter tork [g]	MC [%]
1	29,94	25,33	18,20
2	24,04	20,05	19,90
3	34,18	27,93	22,38
4	25,12	21,22	18,38
5	36,08	29,83	20,95
6	34,13	28,81	18,47
7	31,70	26,77	18,42
8	42,41	35,55	19,30
9	29,16	24,46	19,22
10	39,36	32,74	20,22
21	38,73	33,10	17,01
22	32,85	27,86	17,91
23	31,14	26,32	18,31
24	37,75	31,29	20,65
25	33,75	27,80	21,40
26	33,51	28,34	18,24
27	34,05	28,80	18,23
28	33,54	28,46	17,85
29	38,01	31,03	22,49
30	31,69	25,79	22,88
41	31,77	26,41	20,30
42	36,97	31,12	18,80
43	33,00	27,61	19,52
44	41,52	35,10	18,29
45	46,50	38,68	20,22
46	43,29	36,51	18,57
47	39,34	32,33	21,68
48	42,28	34,24	23,48
49	36,82	29,65	24,18
50	33,41	27,93	19,62
Mätutrustning: våg Mettler PE200		min	17,01
Torktemperatur: 103°C		max	24,18
Torktid: 24 h		medel	19,84
		st.dev	1,87



Bilaga 4. Samband mellan våt/torr temperatur, RH, EMC och psykrometerskillnad

(Från Esping, Trätorkning 1a, Grunder i torkning, Träteck 1992)

t t-t _s	Dry bulb temperature °C									
	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1
	RH % / EMC %									
0.2	93/	94/	94/	95/	95/	95/	95/	96/	96/	96/
0.4	87/20,0	88/20,4	88/20,4	89/21,0	90/21,3	90/21,6	91/	91/	92/	92/
0.6	80/16,4	81/17,2	83/18,0	84/18,5	85/19,0	86/19,4	86/19,7	87/20,0	88/20,3	88/20,6
0.8	74/14,6	75/14,9	77/15,5	78/15,9	79/16,3	81/16,9	82/17,5	82/17,8	84/18,1	84/18,4
1.0	67/12,8	69/13,2	71/13,8	73/14,4	74/14,7	76/15,2	77/15,5	78/15,8	79/16,2	81/16,9
1.2	61/11,6	63/12,0	65/12,4	67/12,8	69/13,2	71/13,8	73/14,5	74/15,0	75/15,2	77/15,4
1.4	54/10,3	57/10,8	60/11,3	62/11,8	64/12,2	66/12,6	68/13,0	70/13,4	71/13,8	73/14,3
1.6	48/ 9,2	51/ 9,7	54/10,3	57/10,8	59/11,3	62/11,8	64/12,2	66/12,6	68/12,9	69/13,2
1.8	41/ 8,2	45/ 8,8	48/ 9,3	52/ 9,8	54/10,3	57/10,8	59/11,3	62/11,8	64/12,2	66/12,6
2.0	35/ 7,3	39/ 7,9	43/ 8,4	46/ 8,9	49/ 9,4	52/ 9,9	55/10,4	57/10,4	60/11,3	62/11,8
2.2	28/ 6,2	33/ 7,0	37/ 7,6	41/ 8,2	45/ 8,8	48/ 9,2	51/ 9,7	53/10,1	56/10,6	58/11,0
2.4	22/ 5,1	27/ 5,9	32/ 6,8	36/ 7,4	40/ 8,0	43/ 8,5	46/ 8,9	49/ 9,4	52/ 9,9	54/10,4
2.6	16/ 3,9	21/ 4,9	26/ 5,8	31/ 6,6	35/ 7,3	39/ 7,9	42/ 8,3	45/ 8,8	48/ 9,2	51/ 9,7
2.8	9/ 2,3	15/ 3,7	20/ 4,7	25/ 5,6	30/ 6,4	34/ 7,1	38/ 7,7	41/ 8,2	44/ 8,6	47/ 8,9
3.0		9/ 2,2	15/ 3,6	20/ 4,7	25/ 5,6	29/ 6,3	33/ 6,9	37/ 7,5	40/ 8,0	43/ 8,5
3.2			10/ 2,5	15/ 3,7	20/ 4,7	25/ 5,6	29/ 6,2	33/ 6,9	37/ 7,5	40/ 8,0
3.4				10/ 2,5	15/ 3,6	20/ 4,7	25/ 5,5	29/ 6,2	33/ 6,9	36/ 7,6
3.6				5/ 1,3	11/ 2,8	16/ 3,9	21/ 4,9	25/ 5,6	29/ 6,2	33/ 6,9
3.8					6/ 1,5	11/ 2,8	17/ 4,1	21/ 4,9	25/ 5,6	29/ 6,2
4.0						7/ 1,8	12/ 3,0	17/ 4,1	22/ 5,0	26/ 5,7
4.5								8/ 2,0	12/ 3,1	17/ 4,2
5.0										8/ 2,0

t t-t	Dry bulb temperature °C									
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
	RH % / EMC %									
1.0	95/21.0	95/20.9	95/20.7	95/20.6	95/20.4	95/20.2	96/20.8	96/20.7	96/20.6	96/20.4
1.5	93/19.2	93/19.1	93/19.0	93/18.9	93/18.8	93/18.6	93/18.4	93/18.3	93/18.1	93/18.0
2.0	91/17.8	91/17.6	91/17.5	91/17.4	91/17.3	91/17.2	91/17.1	91/17.0	91/16.9	91/16.8
2.5	88/16.2	88/16.1	88/16.0	89/16.4	89/16.3	89/16.2	89/16.1	89/16.0	89/15.9	89/15.8
3.0	86/15.4	86/15.2	86/15.1	87/15.4	87/15.3	87/15.2	87/15.1	87/15.0	87/14.9	87/14.8
3.5	84/14.7	84/14.6	84/14.5	85/14.6	85/14.6	85/14.5	85/14.4	85/14.3	85/14.2	85/14.1
4.0	82/14.0	82/13.8	82/13.7	82/13.6	82/13.6	83/13.7	83/13.7	83/13.6	83/13.5	83/13.4
4.5	80/13.4	80/13.3	80/13.2	80/13.0	80/13.0	81/13.1	81/13.1	81/13.0	81/12.9	81/12.8
5.0	78/12.7	78/12.6	78/12.6	78/12.5	79/12.6	79/12.6	79/12.5	79/12.4	79/12.3	79/12.2
5.5	76/12.1	76/12.0	76/11.9	76/11.8	77/12.0	77/12.0	77/11.9	77/11.8	77/11.7	77/11.6
6.0	74/11.7	74/11.6	74/11.5	75/11.6	75/11.5	75/11.5	75/11.4	76/11.5	76/11.4	76/11.3
6.5	72/11.2	72/11.1	73/11.2	73/11.2	73/11.0	73/11.0	73/10.9	73/10.9	74/11.0	74/10.9
7.0	70/10.8	70/10.7	71/10.8	71/10.7	71/10.6	71/10.6	71/10.6	72/10.6	72/10.5	72/10.4
7.5	68/10.4	68/10.3	69/10.4	69/10.3	69/10.2	69/10.2	70/10.2	70/10.2	70/10.1	71/10.1
8.0	66/10.0	67/10.0	67/10.0	67/ 9.9	67/ 9.8	68/ 9.9	68/ 9.9	68/ 9.8	69/ 9.9	69/ 9.8
8.5	65/ 9.8	65/ 9.7	65/ 9.6	65/ 9.5	66/ 9.6	66/ 9.6	66/ 9.5	67/ 9.5	67/ 9.5	67/ 9.4
9.0	63/ 9.4	63/ 9.3	64/ 9.4	64/ 9.3	64/ 9.3	64/ 9.2	65/ 9.2	65/ 9.2	65/ 9.2	65/ 9.1
9.5	61/ 9.0	61/ 9.0	62/ 9.0	62/ 9.0	63/ 8.9	63/ 9.0	63/ 8.9	63/ 8.9	63/ 8.8	64/ 8.8
10.0	59/ 8.8	60/ 8.8	60/ 8.8	60/ 8.7	61/ 8.7	61/ 8.8	62/ 8.7	62/ 8.7	62/ 8.6	62/ 8.5
10.5	58/ 8.6	58/ 8.5	58/ 8.5	59/ 8.5	59/ 8.5	59/ 8.5	60/ 8.5	60/ 8.4	60/ 8.4	60/ 8.3
11.0	56/ 8.3	57/ 8.3	57/ 8.3	57/ 8.3	58/ 8.3	58/ 8.3	58/ 8.2	58/ 8.1	59/ 8.2	59/ 8.2
11.5	54/ 8.0	55/ 8.1	55/ 8.0	56/ 8.1	57/ 8.1	57/ 8.1	57/ 8.0	57/ 8.0	57/ 7.9	57/ 7.9
12.0	53/ 7.8	53/ 7.8	54/ 7.8	54/ 7.8	55/ 7.9	55/ 7.9	55/ 7.8	56/ 7.8	56/ 7.8	56/ 7.7
12.5	51/ 7.6	52/ 7.6	52/ 7.5	53/ 7.6	53/ 7.6	53/ 7.6	54/ 7.6	54/ 7.5	55/ 7.6	55/ 7.5
13.0	50/ 7.4	50/ 7.3	51/ 7.3	51/ 7.3	52/ 7.4	52/ 7.4	52/ 7.4	53/ 7.4	53/ 7.3	53/ 7.2
13.5	48/ 7.1	48/ 7.0	49/ 7.1	50/ 7.2	50/ 7.2	50/ 7.1	51/ 7.1	51/ 7.1	51/ 7.0	52/ 7.0
14.0	47/ 6.9	47/ 6.9	48/ 6.9	48/ 6.9	49/ 7.0	49/ 6.9	49/ 6.9	50/ 6.9	50/ 6.9	50/ 6.8
14.5	46/ 6.7	46/ 6.7	46/ 6.7	47/ 6.7	47/ 6.7	48/ 6.7	48/ 6.7	49/ 6.8	49/ 6.7	49/ 6.7
15.0	44/ 6.5	45/ 6.6	45/ 6.5	45/ 6.5	46/ 6.5	46/ 6.5	46/ 6.4	47/ 6.5	47/ 6.5	48/ 6.5
16.0	43/ 6.1	42/ 6.2	42/ 6.2	43/ 6.2	43/ 6.2	44/ 6.3	44/ 6.2	44/ 6.2	45/ 6.2	45/ 6.2
17.0	38/ 5.8	39/ 5.8	40/ 5.8	40/ 5.8	41/ 5.9	41/ 5.9	41/ 5.8	42/ 5.9	42/ 5.8	43/ 5.9
18.0	36/ 5.5	37/ 5.5	37/ 5.5	38/ 5.6	38/ 5.5	39/ 5.6	39/ 5.6	40/ 5.6	40/ 5.6	41/ 5.6
19.0	34/ 5.1	34/ 5.1	35/ 5.2	35/ 5.2	36/ 5.2	36/ 5.2	37/ 5.3	37/ 5.2	38/ 5.3	38/ 5.2
20.0	33/ 4.8	32/ 4.8	32/ 4.8	33/ 4.9	34/ 5.0	34/ 4.9	34/ 4.9	35/ 4.9	35/ 4.9	36/ 4.9
21.0	29/ 4.5	30/ 4.5	30/ 4.5	31/ 4.6	31/ 4.6	32/ 4.6	32/ 4.6	33/ 4.7	33/ 4.6	34/ 4.7
22.0	27/ 4.2	27/ 4.2	28/ 4.3	28/ 4.3	29/ 4.3	29/ 4.3	30/ 4.4	31/ 4.4	31/ 4.4	32/ 4.5
23.0	25/ 4.0	25/ 4.0	26/ 4.0	26/ 4.0	27/ 4.1	27/ 4.0	28/ 4.1	28/ 4.1	29/ 4.2	29/ 4.1
24.0	23/ 3.7	24/ 3.8	24/ 3.8	25/ 3.8	25/ 3.8	26/ 3.9	26/ 3.9	27/ 3.9	27/ 3.9	28/ 4.0
25.0	21/ 3.4	22/ 3.5	22/ 3.5	23/ 3.6	23/ 3.6	24/ 3.7	24/ 3.6	25/ 3.7	25/ 3.6	26/ 3.7

t t-t	Dry bulb temperature °C						
	70	75	80	85	90	95	100
	RH % / EMC %						
1.0	96/20.5	96/20.0	96/19.6	96/19.2	96/18.7	96/18.3	96/17.9
2.0	91/17.0	92/16.7	92/16.4	92/16.1	93/15.8	93/15.5	93/15.1
3.0	87/14.8	88/14.6	88/14.3	89/14.1	89/13.8	89/13.6	89/13.4
4.0	83/13.3	84/13.1	85/12.8	85/12.7	86/12.5	86/12.3	86/12.1
5.0	79/12.1	80/11.9	81/11.7	82/11.6	82/11.4	82/11.2	83/11.0
6.0	76/11.1	77/11.0	78/10.8	78/10.7	79/10.5	79/10.3	80/10.1
7.0	72/10.3	73/10.2	74/10.0	75/ 9.8	76/ 9.6	76/ 9.5	77/ 9.3
8.0	69/ 9.7	70/ 9.5	71/ 9.3	72/ 9.2	73/ 9.0	73/ 8.9	74/ 8.7
9.0	65/ 9.1	67/ 8.9	68/ 8.7	69/ 8.6	70/ 8.4	70/ 8.3	71/ 8.1
10.0	62/ 8.5	64/ 8.4	65/ 8.2	66/ 8.1	67/ 7.9	67/ 7.8	68/ 7.6
11.0	59/ 8.0	61/ 7.9	62/ 7.8	63/ 7.6	64/ 7.4	65/ 7.3	66/ 7.1
12.0	56/ 7.5	58/ 7.4	59/ 7.3	61/ 7.2	62/ 7.0	62/ 6.9	63/ 6.7
13.0	53/ 7.1	55/ 7.1	56/ 7.0	58/ 6.9	59/ 6.7	60/ 6.6	61/ 6.4
14.0	50/ 6.8	52/ 6.8	54/ 6.7	55/ 6.6	57/ 6.4	58/ 6.2	59/ 6.0
15.0	48/ 6.4	50/ 6.4	51/ 6.3	53/ 6.2	54/ 6.0	55/ 5.9	56/ 5.7
16.0	45/ 6.1	47/ 6.1	49/ 5.9	51/ 5.8	52/ 5.7	53/ 5.6	54/ 5.4
17.0	43/ 5.7	45/ 5.7	46/ 5.6	48/ 5.5	49/ 5.4	50/ 5.3	51/ 5.2
18.0	40/ 5.4	43/ 5.4	44/ 5.4	46/ 5.3	47/ 5.2	48/ 5.1	49/ 5.0
19.0	38/ 5.2	40/ 5.2	42/ 5.2	44/ 5.1	45/ 5.0	46/ 4.9	47/ 4.8
20.0	36/ 4.9	38/ 4.9	40/ 4.9	42/ 4.9	43/ 4.8	44/ 4.7	45/ 4.6
21.0	34/ 4.6	36/ 4.6	38/ 4.7	40/ 4.6	41/ 4.5	42/ 4.5	43/ 4.4
22.0	32/ 4.4	34/ 4.4	36/ 4.4	38/ 4.4	39/ 4.3	40/ 4.3	41/ 4.2
23.0	30/ 4.1	32/ 4.1	34/ 4.2	36/ 4.2	37/ 4.2	38/ 4.2	39/ 4.2
24.0	28/ 3.9	30/ 3.9	32/ 4.0	34/ 4.0	36/ 4.0	37/ 4.0	38/ 4.0
25.0	26/ 3.7	29/ 3.7	30/ 3.8	32/ 3.8	34/ 3.8	35/ 3.8	36/ 3.8

Psychrometer difference °C t-t _w	Dry bulb temperature °C										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	RH % / EMC %										
0,2	96/25,3	97/25,5	97/25,7	97/25,9	97/26,1	97/26,3	97/26,5	97/26,7	97/26,9	98/27,2	98/27,4
0,4	93/23,0	93/23,1	93/23,2	94/23,3	94/23,4	94/23,5	94/23,7	95/23,9	95/24,1	95/24,3	95/24,8
0,6	89/20,6	90/20,8	90/21,0	91/21,2	91/21,4	91/21,6	92/21,8	92/22,0	92/22,2	93/22,4	93/22,6
0,8	85/18,8	86/19,1	87/19,4	88/19,6	88/19,8	88/20,0	89/20,2	89/20,4	90/21,6	90/20,8	90/21,0
1,0	81/17,2	83/18,1	84/18,3	84/18,5	85/18,7	86/18,9	86/19,1	87/19,3	87/19,5	88/19,7	88/19,9
1,2	78/16,6	80/16,9	81/17,1	82/17,3	82/17,5	83/17,7	84/17,9	84/18,1	85/18,3	85/18,5	86/18,7
1,4	74/14,8	76/15,2	78/15,6	78/16,0	79/16,4	80/16,8	81/17,1	82/17,3	82/17,5	83/17,7	83/17,9
1,6	71/13,8	73/14,3	74/14,7	76/15,0	77/15,3	77/15,6	78/15,9	79/16,2	80/16,5	81/16,7	81/16,9
1,8	67/12,8	70/13,3	71/13,8	72/14,2	74/14,6	75/14,9	76/15,2	77/15,5	78/15,9	79/16,1	
2,0	64/12,2	66/12,7	68/13,1	70/13,5	71/13,8	72/14,1	73/14,4	74/14,7	75/14,9	76/15,1	77/15,3
2,2	60/11,2	63/11,5	65/11,9	67/12,3	68/12,7	69/13,1	70/13,5	72/13,9	73/14,2	74/14,5	74/14,7
2,4	57/10,7	59/11,1	62/11,6	64/11,9	65/12,2	67/12,5	68/12,8	69/13,1	70/13,4	71/13,7	72/14,0
2,6	53/10,0	56/10,6	59/11,1	61/11,4	62/11,7	64/12,0	65/12,3	67/12,6	68/12,9	69/13,2	70/13,4
2,8	50/ 9,5	53/10,0	55/10,5	58/10,9	60/11,2	61/11,5	63/11,8	64/12,0	65/12,3	67/12,6	68/12,8
3,0	46/ 8,9	49/ 9,4	52/ 9,9	55/10,3	57/10,6	58/10,9	60/11,2	62/11,4	63/11,6	64/11,9	66/12,2
3,2	43/ 8,4	46/ 8,9	49/ 9,4	52/ 9,8	54/10,1	56/10,4	58/10,7	59/11,0	61/11,2	62/11,4	63/11,7
3,4	40/ 7,9	43/ 8,4	46/ 8,9	49/ 9,3	51/ 9,6	53/ 9,9	55/10,2	57/10,5	58/10,7	60/11,0	61/11,3
3,6	36/ 7,4	40/ 7,9	43/ 8,4	46/ 8,8	48/ 9,2	51/ 9,6	53/ 9,9	54/10,1	56/10,4	58/10,7	59/10,9
3,8	33/ 6,9	36/ 7,4	40/ 7,9	43/ 8,4	46/ 8,8	48/ 9,1	50/ 9,4	52/ 9,7	54/10,0	55/10,2	57/10,5
4,0	29/ 6,2	33/ 6,8	37/ 7,4	40/ 7,9	43/ 8,3	45/ 8,7	48/ 9,1	50/ 9,4	51/ 9,6	53/ 9,9	55/10,2
4,5	21/ 4,8	25/ 5,6	29/ 6,2	33/ 6,8	36/ 7,3	39/ 7,8	41/ 8,2	44/ 8,5	46/ 8,8	48/ 9,1	50/ 9,4
5,0	13/ 3,3	17/ 4,2	22/ 5,0	26/ 5,7	29/ 6,2	33/ 6,7	35/ 7,1	38/ 7,5	40/ 7,8	42/ 8,1	44/ 8,4
5,5	5/ 1,5	10/ 2,8	14/ 3,7	19/ 4,5	22/ 5,1	26/ 5,7	29/ 6,2	32/ 6,6	35/ 7,0	37/ 7,3	39/ 7,6
6,0			7/ 2,0	12/ 3,0	16/ 3,9	20/ 4,7	24/ 5,3	26/ 5,7	29/ 6,1	32/ 6,5	34/ 6,9
6,5				5/ 1,5	9/ 2,5	13/ 3,4	17/ 4,1	21/ 4,8	24/ 5,3	27/ 5,7	29/ 6,1
7,0						7/ 2,0	11/ 2,9	15/ 3,7	19/ 4,5	22/ 4,9	24/ 5,3
7,5							5/ 1,5	10/ 2,7	14/ 3,4	17/ 4,0	20/ 4,5
8,0								8/ 2,2	12/ 3,1	15/ 3,7	17/ 4,1
8,5									7/ 2,0	10/ 2,7	13/ 3,3
9,0											6/ 1,7

Psychrometer difference °C	Dry bulb temperature °C					t-t ₁	Dry bulb temperature °C				
	11	12	13	14	15		16	17	18	19	20
	RH % / EMC %						RH % / EMC %				
0,2	98/27,7	98/27,9	98/27,8	98/27,7	98/27,7	0,5	95/24,0	95/24,1	95/24,2	95/24,3	96/24,4
0,4	95/24,9	96/25,0	96/25,0	96/24,9	96/24,9	1,0	90/20,9	90/20,9	91/20,9	91/21,0	91/21,0
0,6	93/22,7	93/22,8	93/23,0	94/23,1	94/23,2	1,5	85/18,4	86/18,6	86/18,8	87/18,9	87/19,0
0,8	91/21,2	91/21,4	91/21,6	92/21,0	92/22,0	2,0	81/16,6	81/16,7	82/16,9	82/16,9	83/17,1
1,0	89/20,1	89/20,3	89/20,5	90/20,7	90/20,9	2,5	76/14,9	76/14,8	77/15,1	78/15,5	78/15,5
1,2	86/18,9	87/19,1	87/19,3	88/19,5	88/19,7	3,0	71/13,4	72/13,7	73/13,9	74/14,1	74/14,2
1,4	84/18,1	85/18,3	85/18,5	86/18,7	86/18,9	3,5	67/12,5	68/12,7	69/12,9	70/13,0	70/13,1
1,6	82/17,1	82/17,3	83/17,5	84/17,7	84/17,9	4,0	63/11,5	64/11,7	65/11,8	65/11,9	66/12,0
1,8	80/16,3	80/16,5	81/16,7	82/16,9	82/17,1	4,5	58/10,6	60/10,8	61/11,0	62/11,2	63/11,4
2,0	78/15,5	78/15,7	79/15,9	79/16,1	80/16,3	5,0	54/ 9,9	55/10,1	57/10,3	58/10,5	59/10,7
2,2	75/14,9	76/15,1	77/15,3	78/15,5	78/15,7	5,5	50/ 9,2	51/ 9,4	53/ 9,6	54/ 9,8	55/10,0
2,4	73/14,2	74/14,4	75/14,6	76/14,8	76/15,0	6,0	46/ 8,5	47/ 8,7	49/ 8,9	50/ 9,1	51/ 9,3
2,6	71/13,6	72/13,8	73/14,0	74/14,2	74/14,4	6,5	42/ 7,9	43/ 8,2	45/ 8,4	46/ 8,6	48/ 8,8
2,8	69/13,0	70/13,3	71/13,5	72/13,8	73/14,0	7,0	38/ 7,4	40/ 7,6	41/ 7,8	43/ 8,0	44/ 8,2
3,0	67/12,5	68/12,8	69/13,0	70/13,2	71/13,4	7,5	34/ 6,8	36/ 7,1	38/ 7,3	39/ 7,5	41/ 7,7
3,2	65/12,0	66/12,3	67/12,5	68/12,7	69/12,9	8,0	30/ 6,2	32/ 6,5	34/ 6,7	36/ 6,9	37/ 7,1
3,4	62/11,6	64/11,9	65/12,1	66/12,3	67/12,5	8,5	26/ 5,5	28/ 5,9	30/ 6,2	32/ 6,5	34/ 6,7
3,6	60/11,1	62/11,4	63/11,6	64/11,8	65/12,0	9,0	23/ 5,0	25/ 5,3	27/ 5,6	29/ 5,9	31/ 6,2
3,8	58/10,7	60/11,0	61/11,2	62/11,4	63/11,6	9,5	19/ 4,4	21/ 4,7	23/ 5,1	26/ 5,4	28/ 5,7
4,0	56/10,5	58/10,7	59/10,8	60/11,0	61/11,1	10,0	15/ 3,8	18/ 4,2	20/ 4,5	22/ 4,8	24/ 5,1
4,5	51/ 9,6	53/ 9,8	54/10,0	56/10,2	57/10,4	10,5	12/ 3,0	14/ 3,5	17/ 4,0	19/ 4,4	21/ 4,7
5,0	46/ 8,7	48/ 9,0	50/ 9,3	51/ 9,5	53/ 9,7	11,0	8/ 2,2	11/ 2,9	14/ 3,5	16/ 3,9	18/ 4,2
5,5	41/ 7,9	43/ 8,2	45/ 8,5	47/ 8,7	48/ 8,9	11,5	5/ 1,4	8/ 2,2	10/ 2,7	13/ 3,2	15/ 3,6
6,0	36/ 7,3	39/ 7,6	41/ 7,8	42/ 8,0	44/ 8,2	12,0			7/ 2,0	10/ 2,5	12/ 3,0
6,5	32/ 6,5	34/ 6,8	36/ 7,1	38/ 7,4	40/ 7,7	12,5				7/ 2,0	9/ 2,5
7,0	27/ 5,7	29/ 6,1	32/ 6,5	34/ 6,8	36/ 7,1	13,0					6/ 1,6
7,5	22/ 4,9	25/ 5,4	28/ 5,8	30/ 6,1	32/ 6,4						
8,0	18/ 4,2	21/ 4,8	23/ 5,1	26/ 5,4	27/ 5,6						
8,5	13/ 3,3	16/ 3,9	19/ 4,4	22/ 4,8	24/ 5,2						
9,0	9/ 2,5	12/ 3,1	15/ 3,7	18/ 4,2	20/ 4,6						
9,5	5/ 1,4	8/ 2,2	11/ 2,8	14/ 3,4	16/ 3,7						
10,0			7/ 2,0	10/ 2,6	13/ 3,2						
10,5				6/ 1,7	9/ 2,5						
11,0					6/ 1,6						

Psychrometer difference °C	Dry bulb temperature °C									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	RH % / EMC %									
0,5	96/24,5	96/24,5	96/24,4	96/24,4	96/24,4	96/24,4	96/24,3	96/24,3	96/24,3	96/24,3
1,0	91/21,0	92/21,2	92/21,3	92/21,4	92/21,5	92/21,6	92/21,7	93/21,8	93/21,9	93/21,8
1,5	87/19,0	87/19,0	88/19,3	88/19,3	88/19,4	88/19,7	88/19,9	89/19,9	89/19,9	89/19,9
2,0	83/17,2	83/17,4	84/17,6	84/17,6	84/17,7	85/17,9	85/17,9	85/17,9	86/18,0	86/18,0
2,5	79/15,9	80/16,0	80/16,0	80/16,0	81/16,1	81/16,3	81/16,5	82/16,6	82/16,7	83/16,8
3,0	75/14,4	76/14,6	76/14,7	77/14,9	77/14,9	78/15,0	78/15,0	78/15,1	79/15,2	79/15,4
3,5	71/13,3	72/13,4	72/13,5	73/13,7	74/13,9	74/14,0	75/14,1	75/14,1	76/14,2	76/14,3
4,0	67/12,2	68/12,4	69/12,6	69/12,8	70/12,9	71/13,0	71/13,1	72/13,2	72/13,3	73/13,4
4,5	64/11,5	64/11,6	65/11,8	66/11,9	67/12,1	67/12,2	68/12,3	69/12,5	69/12,6	70/12,7
5,0	60/10,8	61/10,9	62/11,0	62/11,1	63/11,2	64/11,4	65/11,5	65/11,6	66/11,7	67/11,8
5,5	56/10,1	57/10,2	58/10,4	59/10,6	60/10,7	61/10,8	62/10,9	62/11,0	63/11,1	64/11,2
6,0	53/ 9,5	54/ 9,7	55/ 9,9	56/10,0	57/10,1	58/10,2	58/10,3	59/10,4	60/10,5	61/10,6
6,5	49/ 9,0	50/ 9,1	52/ 9,3	53/ 9,5	54/ 9,6	54/ 9,7	56/ 9,8	56/ 9,9	57/10,0	58/10,1
7,0	46/ 8,4	47/ 8,6	48/ 8,7	49/ 8,9	50/ 9,1	51/ 9,2	52/ 9,3	53/ 9,4	54/ 9,5	55/ 9,7
7,5	42/ 7,8	44/ 8,0	45/ 8,2	46/ 8,3	47/ 8,5	49/ 8,8	50/ 8,9	51/ 9,0	52/ 9,1	52/ 9,1
8,0	39/ 7,3	40/ 7,5	42/ 7,7	43/ 7,9	44/ 8,1	46/ 8,3	47/ 8,4	48/ 9,6	49/ 8,7	50/ 8,8
8,5	36/ 6,9	37/ 7,1	39/ 7,3	40/ 7,5	41/ 7,7	43/ 7,9	44/ 8,0	45/ 8,1	46/ 8,2	47/ 8,4
9,0	32/ 6,4	34/ 6,6	36/ 6,9	37/ 7,1	39/ 7,3	40/ 7,4	41/ 7,5	42/ 7,6	43/ 7,8	44/ 7,9
9,5	29/ 5,9	31/ 6,2	33/ 6,4	34/ 6,6	36/ 6,8	37/ 7,0	38/ 7,2	40/ 7,4	41/ 7,5	42/ 7,6
10,0	26/ 5,4	28/ 5,7	30/ 6,0	31/ 6,2	33/ 6,4	34/ 6,6	36/ 6,8	37/ 7,0	38/ 7,1	39/ 7,2
10,5	23/ 5,0	25/ 5,3	27/ 5,6	29/ 5,8	30/ 6,0	32/ 6,2	33/ 6,4	34/ 6,6	36/ 6,8	37/ 6,9
11,0	20/ 4,5	22/ 4,8	24/ 5,1	26/ 5,4	28/ 5,6	29/ 5,8	31/ 6,0	32/ 6,2	33/ 6,4	35/ 6,6
11,5	17/ 4,0	19/ 4,3	21/ 4,6	23/ 4,9	25/ 5,2	26/ 5,4	28/ 5,6	29/ 5,8	31/ 6,0	32/ 6,1
12,0	14/ 3,5	17/ 3,9	19/ 4,2	20/ 4,5	22/ 4,8	24/ 5,0	26/ 5,2	27/ 5,4	28/ 5,6	30/ 5,8
12,5	12/ 3,0	14/ 3,4	16/ 3,7	18/ 4,0	20/ 4,3	21/ 4,6	23/ 4,9	25/ 5,1	26/ 5,3	28/ 5,5
13,0	9/ 2,3	11/ 2,8	13/ 3,2	15/ 3,6	17/ 3,9	19/ 4,2	21/ 4,4	22/ 4,7	24/ 4,9	25/ 5,1
13,5	6/ 1,6	8/ 2,1	11/ 2,6	13/ 3,1	15/ 3,5	17/ 3,8	18/ 4,0	20/ 4,3	22/ 4,6	23/ 4,8
14,0		6/ 1,6	8/ 2,1	10/ 2,5	12/ 2,9	14/ 3,3	16/ 3,7	18/ 4,0	19/ 4,2	21/ 4,4
14,5			6/ 1,6	8/ 2,1	10/ 2,6	12/ 2,9	14/ 3,2	16/ 3,5	17/ 3,8	19/ 4,1
15,0				5/ 1,4	8/ 2,1	10/ 2,6	12/ 2,9	13/ 3,2	15/ 3,5	17/ 3,8
16,0						5/ 1,4	7/ 1,9	9/ 2,3	11/ 2,7	13/ 3,0
17,0								5/ 1,4	7/ 1,9	9/ 2,3
18,0										5/ 1,4

t-t _w	Dry bulb temperature °C									
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	RH % / EMC %									
0,5	96/24,3	96/24,3	97/24,2	97/24,2	97/24,2	97/24,2	97/24,2	97/24,2	97/24,2	97/24,2
1,0	93/21,8	93/21,8	93/21,8	93/21,8	94/21,8	94/21,8	94/21,8	94/21,8	94/21,8	94/21,8
1,5	90/20,0	90/20,0	90/19,9	90/19,9	90/19,9	90/19,9	90/19,9	90/19,9	90/19,9	91/19,8
2,0	86/18,0	86/18,0	87/18,1	87/18,1	87/18,1	87/18,1	87/18,2	88/18,2	88/18,2	88/18,2
2,5	83/16,8	83/16,8	83/16,9	84/17,0	84/17,0	84/17,0	84/17,0	84/16,9	85/16,9	85/16,9
3,0	80/15,5	80/15,6	80/15,7	81/15,8	81/15,8	81/15,8	82/15,9	82/15,9	82/15,8	82/15,8
3,5	77/14,4	77/14,5	77/14,5	77/14,6	77/14,7	77/14,8	79/14,9	79/15,0	80/15,0	80/15,1
4,0	73/13,5	74/13,6	74/13,7	75/13,8	75/13,8	75/13,8	76/13,9	76/14,0	77/14,1	77/14,2
4,5	70/12,7	71/12,8	71/12,8	72/12,9	72/13,1	73/13,2	73/13,3	74/13,3	74/13,2	74/13,2
5,0	67/11,9	68/12,0	68/12,0	69/12,0	69/12,1	70/12,0	70/12,3	71/12,4	72/12,5	72/12,6
5,5	64/11,3	65/11,4	66/11,5	66/11,6	67/11,6	67/11,7	68/11,8	68/11,8	69/11,9	69/11,9
6,0	61/10,7	62/10,8	63/10,9	63/10,9	64/11,0	64/11,1	65/11,2	66/11,3	67/11,4	67/11,4
6,5	59/10,2	60/10,3	60/10,4	60/10,5	61/10,6	62/10,7	63/10,8	63/10,8	64/10,8	64/10,8
7,0	56/ 9,8	57/ 9,9	57/ 9,9	58/10,0	59/10,1	59/10,2	60/10,3	61/10,4	62/10,5	62/10,4
7,5	53/ 9,2	54/ 9,4	55/ 9,5	56/ 9,6	56/ 9,6	57/ 9,7	58/ 9,8	58/ 9,8	59/ 9,9	59/ 9,9
8,0	51/ 8,9	51/ 8,9	52/ 9,0	53/ 9,1	54/ 9,2	54/ 9,3	55/ 9,4	56/ 9,5	57/ 9,5	57/ 9,5
8,5	48/ 8,5	49/ 8,6	50/ 8,7	51/ 8,8	51/ 8,8	52/ 8,9	53/ 9,0	54/ 9,0	54/ 9,0	54/ 9,0
9,0	45/ 8,0	46/ 8,1	47/ 8,3	48/ 8,4	49/ 8,5	50/ 8,6	51/ 8,7	51/ 8,8	53/ 8,9	53/ 8,9
9,5	43/ 7,7	44/ 7,9	45/ 8,0	46/ 8,1	47/ 8,2	48/ 8,3	48/ 8,4	49/ 8,5	51/ 8,6	51/ 8,6
10,0	40/ 7,3	41/ 7,4	42/ 7,5	43/ 7,6	44/ 7,7	45/ 7,8	46/ 7,9	47/ 8,0	48/ 8,0	48/ 8,1
10,5	38/ 7,0	39/ 7,1	40/ 7,2	41/ 7,3	42/ 7,4	43/ 7,5	44/ 7,6	45/ 7,7	46/ 7,8	46/ 7,8
11,0	36/ 6,7	37/ 6,8	38/ 6,9	39/ 7,1	40/ 7,2	41/ 7,3	42/ 7,3	43/ 7,4	43/ 7,4	44/ 7,5
11,5	33/ 6,3	35/ 6,5	36/ 6,6	37/ 6,8	38/ 6,9	39/ 7,0	40/ 7,1	41/ 7,2	42/ 7,2	42/ 7,2
12,0	31/ 6,2	32/ 6,3	33/ 6,4	35/ 6,5	36/ 6,7	37/ 6,8	38/ 6,8	39/ 6,9	39/ 7,0	40/ 7,0
12,5	29/ 5,7	30/ 5,8	31/ 5,9	32/ 6,1	34/ 6,3	35/ 6,4	36/ 6,5	37/ 6,6	38/ 6,7	38/ 6,7
13,0	27/ 5,3	28/ 5,5	29/ 5,6	30/ 5,8	32/ 6,0	33/ 6,1	34/ 6,2	35/ 6,3	36/ 6,4	36/ 6,4
13,5	25/ 5,0	26/ 5,2	27/ 5,3	28/ 5,5	30/ 5,7	31/ 5,8	32/ 5,9	33/ 6,0	34/ 6,1	35/ 6,2
14,0	22/ 4,5	24/ 4,7	25/ 4,9	26/ 5,1	28/ 5,3	29/ 5,5	30/ 5,6	31/ 5,7	32/ 5,8	33/ 5,9
14,5	20/ 4,3	22/ 4,5	23/ 4,7	24/ 4,8	26/ 5,0	27/ 5,2	28/ 5,3	29/ 5,4	30/ 5,5	31/ 5,6
15,0	18/ 4,0	20/ 4,2	21/ 4,4	23/ 4,6	24/ 4,8	25/ 4,9	26/ 5,0	27/ 5,1	28/ 5,2	29/ 5,4
16,0	14/ 3,3	16/ 3,6	17/ 3,8	19/ 4,0	20/ 4,2	21/ 4,3	23/ 4,5	24/ 4,7	25/ 4,8	26/ 4,9
17,0	11/ 2,6	12/ 2,9	14/ 3,2	15/ 3,4	17/ 3,6	18/ 3,8	19/ 4,0	20/ 4,1	22/ 4,3	23/ 4,4
18,0	7/ 1,8	9/ 2,1	10/ 2,4	12/ 2,7	13/ 2,9	15/ 3,2	16/ 3,4	17/ 3,6	18/ 3,8	20/ 4,0
19,0		5/ 1,3	7/ 1,7	8/ 2,0	10/ 2,3	11/ 2,6	13/ 2,8	14/ 3,0	15/ 3,2	16/ 3,4
20,0				5/ 1,3	7/ 1,6	8/ 1,9	10/ 2,2	11/ 2,5	12/ 2,8	14/ 3,0

t t-L	Dry bulb temperature °C									
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	RH % / EMC %									
0.5	97/24.2	97/24.2	97/24.2	97/24.1	97/24.1	97/24.1	97/24.1	97/24.0	97/24.0	97/24.0
1.0	94/21.8	94/21.8	94/21.8	94/21.8	94/21.8	94/21.7	94/21.7	94/21.7	94/21.7	94/21.7
1.5	91/20.0	91/20.0	91/20.0	91/20.0	91/19.9	91/19.8	91/19.8	91/19.8	91/19.8	91/19.8
2.0	88/18.2	88/18.2	88/18.2	89/18.2	89/18.1	89/18.1	89/18.1	89/18.1	89/18.0	90/18.0
2.5	85/17.0	85/17.0	85/17.0	86/17.0	86/17.0	86/17.0	86/17.0	86/16.9	86/16.9	87/16.9
3.0	83/15.8	83/15.9	83/15.9	83/15.9	83/15.9	84/15.9	84/15.9	84/15.8	84/15.8	85/15.8
3.5	80/14.8	80/14.9	80/14.9	80/14.9	80/14.9	81/15.0	81/15.0	81/14.9	81/14.9	82/14.9
4.0	78/13.9	78/14.0	78/14.0	78/14.0	78/14.0	79/14.1	79/14.1	79/14.1	79/14.1	80/14.1
4.5	75/13.2	75/13.2	75/13.3	75/13.3	75/13.3	76/13.4	76/13.4	77/13.4	77/13.4	77/13.4
5.0	73/12.6	73/12.6	73/12.6	73/12.7	73/12.7	74/12.7	74/12.8	75/12.8	75/12.8	75/12.8
5.5	70/12.0	70/12.0	70/12.1	71/12.1	71/12.1	71/12.2	71/12.2	72/12.2	72/12.3	73/12.3
6.0	68/11.5	68/11.5	68/11.6	69/11.6	69/11.6	69/11.7	69/11.7	70/11.7	70/11.8	71/11.8
6.5	65/11.0	65/11.0	66/11.0	66/11.0	66/11.1	67/11.1	67/11.2	68/11.2	68/11.3	69/11.3
7.0	63/10.6	63/10.6	64/10.7	64/10.7	64/10.7	65/10.8	65/10.8	66/10.8	66/10.8	67/10.8
7.5	60/10.1	61/10.1	62/10.2	62/10.2	62/10.2	63/10.2	63/10.2	64/10.3	64/10.3	64/10.3
8.0	58/ 9.6	59/ 9.7	60/ 9.7	60/ 9.7	60/ 9.8	61/ 9.8	61/ 9.8	62/ 9.9	62/ 9.9	62/ 9.9
8.5	56/ 9.3	56/ 9.3	57/ 9.4	57/ 9.4	57/ 9.5	58/ 9.5	58/ 9.5	59/ 9.6	60/ 9.6	60/ 9.6
9.0	54/ 9.0	54/ 9.0	55/ 9.1	55/ 9.1	55/ 9.2	56/ 9.2	56/ 9.3	57/ 9.3	58/ 9.4	59/ 9.4
9.5	52/ 8.6	52/ 8.7	53/ 8.8	53/ 8.8	53/ 8.9	54/ 8.9	54/ 9.0	55/ 9.0	56/ 9.0	57/ 9.0
10.0	49/ 8.3	50/ 8.4	51/ 8.5	51/ 8.5	52/ 8.7	53/ 8.6	53/ 8.6	54/ 8.7	54/ 8.7	55/ 8.7
10.5	47/ 7.9	48/ 7.9	49/ 8.0	49/ 8.0	49/ 8.1	51/ 8.1	51/ 8.1	52/ 8.1	52/ 8.1	53/ 8.2
11.0	45/ 7.5	46/ 7.6	47/ 7.6	48/ 7.6	48/ 7.7	49/ 7.7	49/ 7.7	50/ 7.8	50/ 7.8	51/ 7.8
11.5	43/ 7.3	44/ 7.3	45/ 7.4	46/ 7.4	46/ 7.5	47/ 7.5	47/ 7.5	48/ 7.6	48/ 7.6	49/ 7.6
12.0	41/ 7.1	42/ 7.1	43/ 7.2	44/ 7.2	44/ 7.3	45/ 7.3	45/ 7.4	46/ 7.4	47/ 7.4	48/ 7.5
12.5	39/ 6.8	40/ 6.8	41/ 6.9	42/ 7.0	42/ 7.1	43/ 7.1	43/ 7.2	44/ 7.2	45/ 7.2	46/ 7.3
13.0	38/ 6.5	39/ 6.6	39/ 6.7	40/ 6.8	41/ 6.9	42/ 7.0	42/ 7.0	43/ 7.1	43/ 7.1	44/ 7.2
13.5	36/ 6.2	37/ 6.3	37/ 6.4	38/ 6.5	39/ 6.6	40/ 6.6	40/ 6.7	41/ 6.8	41/ 6.8	42/ 6.9
14.0	34/ 6.0	35/ 6.1	36/ 6.2	37/ 6.3	37/ 6.4	38/ 6.4	39/ 6.5	40/ 6.5	40/ 6.6	41/ 6.6
14.5	32/ 5.7	33/ 5.8	34/ 5.9	35/ 6.0	35/ 6.1	36/ 6.1	37/ 6.2	38/ 6.3	38/ 6.4	39/ 6.4
15.0	31/ 5.5	32/ 5.6	32/ 5.7	33/ 5.8	34/ 5.8	35/ 5.9	35/ 6.0	36/ 6.1	37/ 6.2	38/ 6.2
16.0	27/ 5.0	29/ 5.1	30/ 5.2	30/ 5.3	31/ 5.3	32/ 5.4	32/ 5.5	33/ 5.6	34/ 5.7	35/ 5.7
17.0	24/ 4.5	25/ 4.6	26/ 4.7	27/ 4.8	28/ 4.9	29/ 5.0	30/ 5.1	31/ 5.2	31/ 5.3	32/ 5.3
18.0	21/ 4.2	22/ 4.3	23/ 4.4	24/ 4.5	25/ 4.6	26/ 4.7	27/ 4.8	28/ 4.9	28/ 5.0	29/ 5.0
19.0	17/ 3.6	19/ 3.8	20/ 4.0	21/ 4.1	22/ 4.2	23/ 4.3	24/ 4.4	25/ 4.5	26/ 4.6	27/ 4.7
20.0	15/ 3.2	16/ 3.4	17/ 3.6	18/ 3.7	19/ 3.8	20/ 3.9	21/ 4.0	22/ 4.1	23/ 4.2	24/ 4.3
21.0	12/ 2.7	14/ 2.9	15/ 3.1	16/ 3.3	17/ 3.4	18/ 3.5	19/ 3.6	20/ 3.7	21/ 3.8	22/ 3.9
22.0	9/ 2.2	11/ 2.4	12/ 2.6	13/ 2.8	14/ 2.9	15/ 3.1	16/ 3.3	17/ 3.4	18/ 3.5	19/ 3.6
23.0	6/ 1.6	8/ 1.9	9/ 2.1	11/ 2.3	12/ 2.4	13/ 2.6	14/ 2.7	15/ 2.9	16/ 3.1	17/ 3.2
24.0					9/ 2.0	10/ 2.2	11/ 2.4	12/ 2.6	13/ 2.8	15/ 2.9
25.0					7/ 1.5	8/ 1.8	9/ 2.0	10/ 2.2	11/ 2.4	13/ 2.5

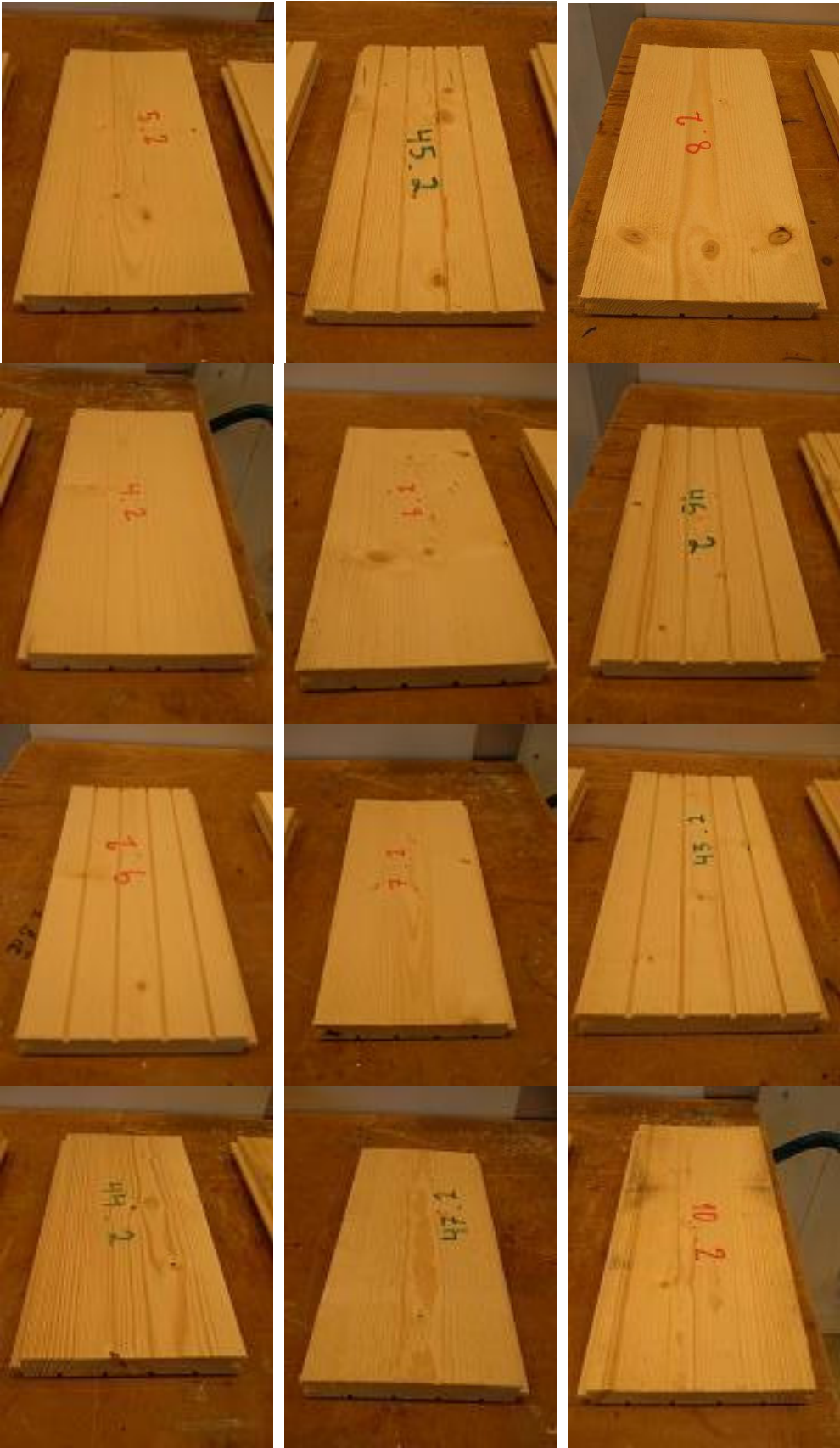
Psychrometer difference °C

t t-L	Dry bulb temperature °C									
	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	RH % / EMC %									
0.5	97/23.9	97/23.9	97/23.8	97/23.8	97/23.7	97/23.7	97/23.6	97/23.6	98/23.5	98/23.5
1.0	95/21.7	95/21.6	95/21.6	95/21.6	95/21.5	95/21.5	95/21.4	95/21.4	95/21.3	95/21.2
1.5	92/19.8	92/19.8	92/19.8	92/19.8	92/19.8	92/19.8	92/19.8	92/19.8	92/19.8	93/19.8
2.0	90/18.0	90/18.0	90/17.9	90/17.9	90/17.8	90/17.8	90/17.8	90/17.7	90/17.7	91/17.6
2.5	87/16.8	87/16.8	87/16.8	87/16.8	87/16.7	87/16.7	87/16.7	88/16.6	88/16.6	88/16.5
3.0	85/15.7	85/15.7	85/15.7	85/15.6	85/15.6	85/15.6	85/15.6	86/15.5	86/15.5	86/15.5
3.5	82/14.9	82/14.9	82/14.8	83/14.8	83/14.7	83/14.7	83/14.7	83/14.6	83/14.6	84/14.6
4.0	80/14.1	80/14.1	80/14.0	80/14.0	81/13.9	81/13.9	81/13.9	81/13.8	81/13.9	82/13.7
4.5	77/13.4	78/13.4	78/13.3	78/13.3	78/13.3	79/13.2	79/13.2	79/13.2	79/13.1	80/13.1
5.0	75/12.8	76/12.8	76/12.7	76/12.7	76/12.7	77/12.6	77/12.6	77/12.6	77/12.5	78/12.5
5.5	73/12.3	73/12.3	73/12.0	74/12.0	74/12.0	75/12.0	75/12.0	75/12.0	75/12.0	76/12.0
6.0	71/11.8	71/11.8	71/11.8	72/11.8	72/11.8	73/11.8	73/11.7	73/11.7	73/11.3	74/11.7
6.5	69/11.4	69/11.4	69/11.3	70/11.3	70/11.3	71/11.3	71/11.3	71/11.2	71/11.2	72/11.2
7.0	67/10.9	67/10.9	67/10.9	68/10.9	68/10.9	69/10.9	69/10.9	69/10.8	69/10.8	70/10.8
7.5	64/10.4	65/10.4	65/10.4	66/10.4	66/10.4	67/10.4	67/10.4	67/10.4	67/10.4	68/10.3
8.0	62/ 9.9	63/10.0	63/10.0	64/10.0	64/10.0	65/10.0	65/10.0	65/10.0	65/10.0	66/ 9.9
8.5	60/ 9.6	61/ 9.7	61/ 9.7	62/ 9.7	62/ 9.7	63/ 9.7	63/ 9.7	63/ 9.7	63/ 9.7	64/ 9.7
9.0	59/ 9.4	59/ 9.4	59/ 9.4	60/ 9.4	60/ 9.4	61/ 9.4	61/ 9.4	62/ 9.4	62/ 9.4	62/ 9.3
9.5	57/ 9.0	57/ 9.1	57/ 9.1	58/ 9.1	58/ 9.1	59/ 9.1	59/ 9.1	60/ 9.1	60/ 9.1	60/ 9.0
10.0	55/ 8.7	56/ 8.8	56/ 8.8	57/ 8.8	57/ 8.8	57/ 8.8	57/ 8.8	58/ 8.8	58/ 8.8	59/ 8.8
10.5	53/ 8.3	54/ 8.3	54/ 8.3	55/ 8.3	55/ 8.4	55/ 8.4	55/ 8.4	56/ 8.4	56/ 8.4	57/ 8.4
11.0	51/ 7.9	52/ 7.9	52/ 7.9	53/ 8.0	53/ 8.0	54/ 8.0	54/ 8.1	55/ 8.1	55/ 8.1	56/ 8.1
11.5	49/ 7.7	50/ 7.7	50/ 7.7	51/ 7.8	51/ 7.8	52/ 7.8	52/ 7.8	53/ 7.9	53/ 7.9	54/ 7.9
12.0	48/ 7.5	49/ 7.5	49/ 7.5	50/ 7.6	50/ 7.6	51/ 7.6	51/ 7.6	51/ 7.7	51/ 7.7	52/ 7.7
12.5	46/ 7.3	47/ 7.3	47/ 7.3	48/ 7.4	48/ 7.4	49/ 7.4	49/ 7.4	49/ 7.4	49/ 7.4	50/ 7.4
13.0	45/ 7.2	46/ 7.2	46/ 7.2	47/ 7.2	47/ 7.2	48/ 7.2	48/ 7.2	48/ 7.2	48/ 7.2	49/ 7.2
13.5	43/ 6.9	44/ 6.9	44/ 6.9	45/ 6.9	45/ 6.9	46/ 6.9	46/ 6.9	46/ 6.9	46/ 6.9	47/ 6.9
14.0	41/ 6.6	42/ 6.6	42/ 6.7	43/ 6.7	43/ 6.7	44/ 6.7	44/ 6.7	45/ 6.7	45/ 6.7	46/ 6.8
14.5	39/ 6.4	40/ 6.4	40/ 6.5	41/ 6.5	41/ 6.5	42/ 6.5	42/ 6.5	43/ 6.5	43/ 6.5	44/ 6.6
15.0	38/ 6.2	39/ 6.2	39/ 6.3	40/ 6.3	40/ 6.3	41/ 6.3	41/ 6.4	42/ 6.4	42/ 6.4	43/ 6.4
16.0	35/ 5.7	36/ 5.8	36/ 5.8	37/ 5.9	38/ 5.9	39/ 5.9	39/ 6.0	40/ 6.0	40/ 6.0	41/ 6.1
17.0	32/ 5.4	33/ 5.4	34/ 5.4	35/ 5.5	35/ 5.5	36/ 5.5	36/ 5.6	37/ 5.6	37/ 5.6	38/ 5.7
18.0	30/ 5.1	31/ 5.1	31/ 5.1	32/ 5.2	32/ 5.2	33/ 5.2	33/ 5.3	34/ 5.3	35/ 5.3	36/ 5.4
19.0	27/ 4.7	28/ 4.8	28/ 4.8	29/ 4.9	30/ 4.9	31/ 4.9	31/ 5.0	32/ 5.0	32/ 5.0	33/ 5.1
20.0	24/ 4.3	25/ 4.4	26/ 4.4	27/ 4.5	27/ 4.5	28/ 4.6	28/ 4.6	29/ 4.7	30/ 4.7	31/ 4.8
21.0	22/ 3.9	23/ 4.0	24/ 4.1	25/ 4.1	25/ 4.2	26/ 4.2	26/ 4.3	27/ 4.3	27/ 4.4	28/ 4.4
22.0	20/ 3.7	21/ 3.8	21/ 3.8	22/ 3.9	23/ 3.9	24/ 4.0	24/ 4.0	25/ 4.1	25/ 4.1	26/ 4.2
23.0	17/ 3.3	18/ 3.4	19/ 3.5	20/ 3.6	20/ 3.6	21/ 3.7	22/ 3.7	23/ 3.8	23/ 3.8	24/ 3.9
24.0	15/ 3.0	16/ 3.1	17/ 3.2	18/ 3.3	18/ 3.3	19/ 3.4	20/ 3.5	21/ 3.5	21/ 3.6	22/ 3.7
25.0	13/ 2.6	14/ 2.7	15/ 2.8	16/ 2.9	16/ 2.9	17/ 3.0	18/ 3.1	19/ 3.2	19/ 3.3	20/ 3.4

t t-L	Dry bulb temperature °C									
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
	RH % / EMC %									
1.0	95/21.0	95/20.9	95/20.7	95/20.6	95/20.4	95/20.2	96/20.8	96/20.7	96/20.6	96/20.4
1.5	93/19.2	93/19.1	93/19.0	93/18.9	93/18.8	93/18.6	93/18.4	93/18.3	93/18.1	93/18.0
2.0	91/17.8	91/17.6	91/17.5	91/17.4	91/17.3	91/17.2	91/17.1	91/17.0	91/16.9	91/16.8
2.5	88/16.2	88/16.1	88/16.0	88/16.0	89/16.4	89/16.3	89/16.2	89/16.1	89/16.0	89/15.8
3.0	86/15.4	86/15.2	86/15.1	87/15.4	87/15.3	87/15.2	87/15.1	87/15.0	87/14.9	87/14.8
3.5	84/14.7	84/14.6	84/14.5	85/14.6	85/14.6	85/14.5	85/14.4	85/14.3	85/14.2	85/14.1
4.0	82/14.0	82/13.8	82/13.7	82/13.6	82/13.6	83/13.7	83/13.7	83/13.6	83/13.5	83/13.4
4.5	80/13.4	80/13.3	80/13.2	80/13.0	80/13.0	81/13.1	81/13.1	81/13.0	81/12.9	81/12.8
5.0	78/12.7	78/12.6	78/12.6	78/12.5	79/12.6	79/12.6	79/12.5	79/12.4	79/12.3	79/12.2
5.5	76/12.1	76/12.0	76/11.9	76/11.8	77/12.0	77/12.0	77/11.9	77/11.8	77/11.7	77/11.6
6.0	74/11.7	74/11.6	74/11.5	75/11.6	75/11.5	75/11.5	75/11.4	76/11.5	76/11.4	76/11.3
6.5	72/11.2	72/11.1	73/11.2	73/11.2	73/11.0	73/11.0	73/10.9	73/10.9	74/11.0	74/10.9
7.0	70/10.8	70/10.7	71/10.8	71/10.7	71/10.6	71/10.6	71/10.4	72/10.6	72/10.5	72/10.4
7.5	68/10.4	68/10.3	69/10.4	69/10.3	69/10.2	69/10.2	70/10.2	70/10.2	70/10.1	71/10.1
8.0	66/10.0	67/10.0	67/10.0	67/ 9.9	67/ 9.8	68/ 9.9	68/ 9.9	68/ 9.8	69/ 9.9	69/ 9.8
8.5	65/ 9.8	65/ 9.7	65/ 9.6	65/ 9.5	66/ 9.6	66/ 9.6	66/ 9.4	67/ 9.5	67/ 9.5	67/ 9.4
9.0	63/ 9.4	63/ 9.3	64/ 9.4	64/ 9.3	64/ 9.3	64/ 9.2	65/ 9.2	65/ 9.2	65/ 9.2	65/ 9.1
9.5	61/ 9.0	61/ 9.0	62/ 9.0	62/ 9.0	63/ 8.9	63/ 9.0	63/ 8.9	63/ 8.9	63/ 8.8	64/ 8.8
10.0	59/ 8.8	60/ 8.8	60/ 8.8	60/ 8.7	61/ 8.7	61/ 8.8	62/ 8.7	62/ 8.7	62/ 8.6	62/ 8.5
10.5	58/ 8.6	58/ 8.5	58/ 8.5	59/ 8.5	59/ 8.5	59/ 8.5	60/ 8.5	60/ 8.4	60/ 8.4	60/ 8.3
11.0	56/ 8.3	57/ 8.3	57/ 8.3	57/ 8.3	58/ 8.3	58/ 8.3	58/ 8.2	58/ 8.1	59/ 8.2	59/ 8.2
11.5	54/ 8.0	55/ 8.1	55/ 8.0	56/ 8.1	57/ 8.1	57/ 8.1	57/ 8.0	57/ 8.0	57/ 7.9	57/ 7.9
12.0	53/ 7.8	53/ 7.8	54/ 7.8	54/ 7.8	55/ 7.9	55/ 7.9	55/ 7.8	56/ 7.8	56/ 7.8	56/ 7.7
12.5	51/ 7.6	52/ 7.6	52/ 7.5	53/ 7.6	53/ 7.6	53/ 7.6	54/ 7.6	54/ 7.5	55/ 7.6	55/ 7.5
13.0	50/ 7.4	50/ 7.3	51/ 7.3	51/ 7.3	52/ 7.4	52/ 7.4	52/ 7.3	53/ 7.4	53/ 7.3	53/ 7.2
13.5	48/ 7.1	48/ 7.0	49/ 7.1	50/ 7.2	50/ 7.2	50/ 7.1	51/ 7.1	51/ 7.1	51/ 7.0	52/ 7.0
14.0	47/ 6.9	47/ 6.9	48/ 6.9	48/ 6.9	49/ 7.0	49/ 6.9	49/ 6.9	50/ 6.9	50/ 6.9	50/ 6.8
14.5	46/ 6.7	46/ 6.7	46/ 6.7	47/ 6.7	47/ 6.7	48/ 6.7	48/ 6.7	49/ 6.8	49/ 6.7	49/ 6.7
15.0	44/ 6.5	45/ 6.6	45/ 6.5	45/ 6.5	46/ 6.5	46/ 6.5	46/ 6.4	47/ 6.5	47/ 6.5	48/ 6.5
16.0	43/ 6.1	42/ 6.2	42/ 6.2	43/ 6.2	43/ 6.2	44/ 6.3	44/ 6.2	44/ 6.2	45/ 6.2	45/ 6.2
17.0	38/ 5.8	39/ 5.8	40/ 5.8	40/ 5.8	41/ 5.9	41/ 5.9	41/ 5.8	42/ 5.9	42/ 5.8	43/ 5.9
18.0	36/ 5.5	37/ 5.5	37/ 5.5	38/ 5.6	38/ 5.5	39/ 5.6	39/ 5.6	40/ 5.6	40/ 5.6	41/ 5.6
19.0	34/ 5.1	34/ 5.1	35/ 5.2	35/ 5.2	36/ 5.2	36/ 5.2	37/ 5.3	37/ 5.2	38/ 5.3	38/ 5.2
20.0	31/ 4.8	32/ 4.8	32/ 4.8	33/ 4.9	34/ 5.0	34/ 4.9	34/ 4.9	35/ 4.9	35/ 4.9	36/ 4.9
21.0	29/ 4.5	30/ 4.5	30/ 4.5	31/ 4.6	31/ 4.6	32/ 4.6	32/ 4.6	33/ 4.7	33/ 4.6	34/ 4.7
22.0	27/ 4.2	27/ 4.2	28/ 4.3	28/ 4.3	29/ 4.3	29/ 4.3	30/ 4.4	31/ 4.4	31/ 4.4	32/ 4.5
23.0	25/ 4.0	25/ 4.0	26/ 4.0	26/ 4.0	27/ 4.1	27/ 4.0	28/ 4.1	28/ 4.1	29/ 4.2	29/ 4.1
24.0	23/ 3.7	24/ 3.8	24/ 3.8	25/ 3.8	25/ 3.8	26/ 3.9	26/ 3.9	27/ 3.9	27/ 3.9	28/ 4.0
25.0	21/ 3.4	22/ 3.5	22/ 3.5	23/ 3.6	23/ 3.6	24/ 3.7	24/ 3.6	25/ 3.7	25/ 3.6	26/ 3.7

t t-L	Dry bulb temperature °C						
	70	75	80	85	90	95	100
	RH % / EMC %						
1.0	96/20.5	96/20.0	96/19.6	96/19.2	96/18.7	96/18.3	96/17.9
2.0	91/17.0	92/16.7	92/16.4	92/16.1	93/15.8	93/15.5	93/15.1
3.0	87/14.8	88/14.6	88/14.3	89/14.1	89/13.8	89/13.6	89/13.4
4.0	83/13.3	84/13.1	85/12.8	85/12.7	86/12.5	86/12.3	86/12.1
5.0	79/12.1	80/11.9	81/11.7	82/11.6	82/11.4	82/11.2	83/11.0
6.0	76/11.1	77/11.0	78/10.8	78/10.7	79/10.5	79/10.3	80/10.1
7.0	72/10.3	73/10.2	74/10.0	75/ 9.8	76/ 9.6	76/ 9.5	77/ 9.3
8.0	69/ 9.7	70/ 9.5	71/ 9.3	72/ 9.2	73/ 9.0	73/ 8.9	74/ 8.7
9.0	65/ 9.1	67/ 8.9	68/ 8.7	69/ 8.6	70/ 8.4	70/ 8.3	71/ 8.1
10.0	62/ 8.5	64/ 8.4	65/ 8.2	66/ 8.1	67/ 7.9	67/ 7.8	68/ 7.6
11.0	59/ 8.0	61/ 7.9	62/ 7.8	63/ 7.6	64/ 7.4	65/ 7.3	66/ 7.1
12.0	56/ 7.5	58/ 7.4	59/ 7.3	61/ 7.2	62/ 7.0	62/ 6.9	63/ 6.7
13.0	53/ 7.1	55/ 7.1	56/ 7.0	58/ 6.9	59/ 6.7	60/ 6.6	61/ 6.4
14.0	50/ 6.8	52/ 6.8	54/ 6.7	55/ 6.6	57/ 6.4	58/ 6.2	59/ 6.0
15.0	48/ 6.4	50/ 6.4	51/ 6.3	53/ 6.2	54/ 6.0	55/ 5.9	56/ 5.7
16.0	45/ 6.1	47/ 6.1	49/ 5.9	51/ 5.8	52/ 5.7	53/ 5.6	54/ 5.4
17.0	43/ 5.7	45/ 5.7	46/ 5.6	48/ 5.5	49/ 5.4	50/ 5.3	51/ 5.2
18.0	40/ 5.4	43/ 5.4	44/ 5.4	46/ 5.3	47/ 5.2	48/ 5.1	49/ 5.0
19.0	38/ 5.2	40/ 5.2	42/ 5.2	44/ 5.1	45/ 5.0	46/ 4.9	47/ 4.8
20.0	36/ 4.9	38/ 4.9	40/ 4.9	42/ 4.9	43/ 4.8	44/ 4.7	45/ 4.6
21.0	34/ 4.6	36/ 4.6	38/ 4.7	40/ 4.6	41/ 4.5	42/ 4.5	43/ 4.4
22.0	32/ 4.4	34/ 4.4	36/ 4.4	38/ 4.4	39/ 4.3	40/ 4.3	41/ 4.2
23.0	30/ 4.1	32/ 4.1	34/ 4.2	36/ 4.2	37/ 4.2	38/ 4.2	39/ 4.2
24.0	28/ 3.9	30/ 3.9	32/ 4.0	34/ 4.0	36/ 4.0	37/ 4.0	38/ 4.0
25.0	26/ 3.7	29/ 3.7	30/ 3.8	32/ 3.8	34/ 3.8	35/ 3.8	36/ 3.8

Bilaga 5. Foton av fria provbitar









Bilaga 6. Foton av sammansatta paneler



Sammansatt panel 1 (av paneler 41-50)

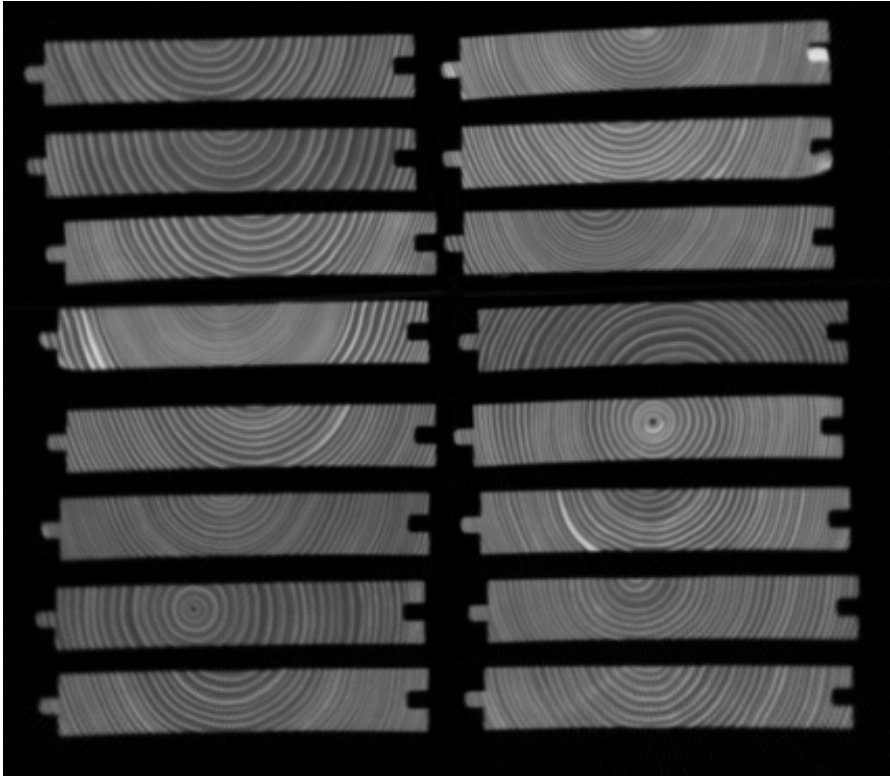


Sammansatt panel 2 (av paneler 21-30)

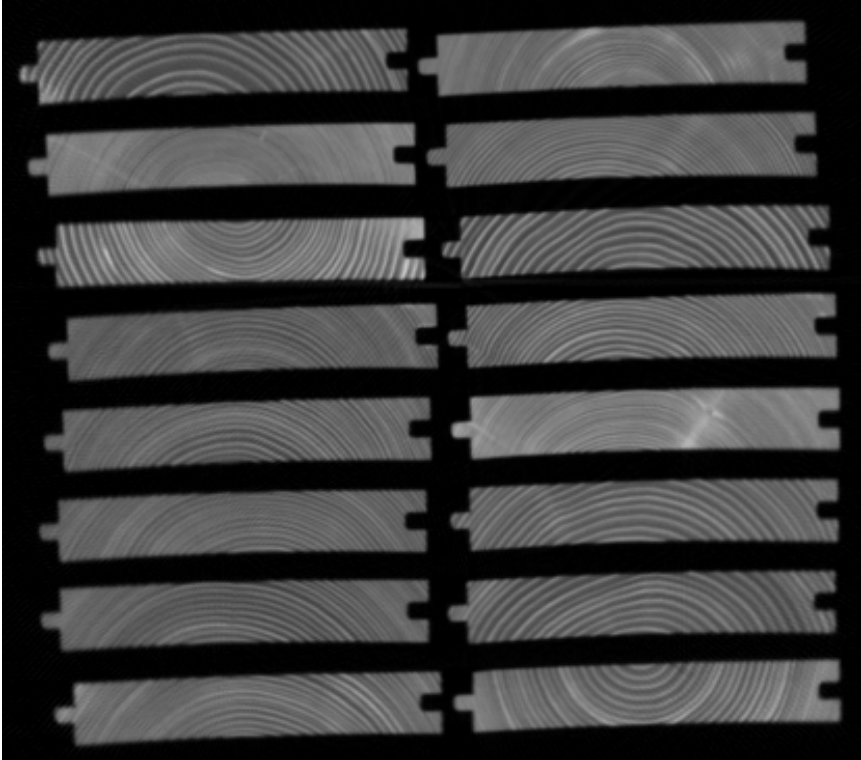


Sammansatt panel 3 (av paneler 1-10)

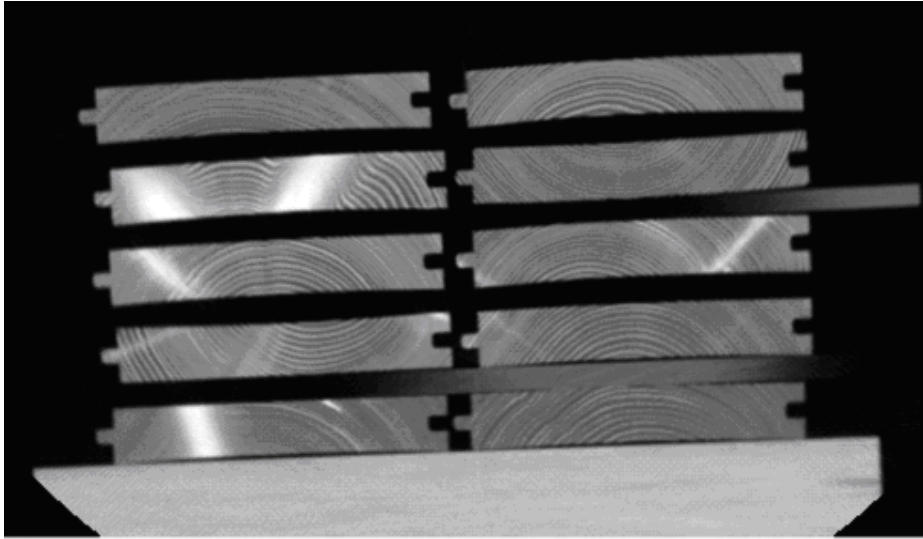
Bilaga 7. Tomografibilder av paneler



Tomografibild av paneler 1-16



Tomografibild av paneler 21-36



Tomografbild av paneler 41-50

Bilaga 8. Projektplan Gantt-schema

