

Björn Källander
Tel 010 46 717 65
Fax 010 46 827 75
bjorn.kallander@storaenso.com

2014-12-22

Fuktförändringar, klimat och mögelpåväxt vid lagring av granvirke
- Laboratoriestudie och modellering av industriellt torkat virke

Björn Källander
Stora Enso Building and Living
791 80 Falun, Sverige

Sigurður Ormarsson
Danmarks Tekniska Universitet
Anker Engelunds V Brovej, Building 1181, 2800 Kgs. Lyngby, Danmark

Diego Elustondo
Luleå tekniska Universitet
Forskargatan 1, 931 87 Skellefteå, Sverige



Stora Enso Timber

Svärdsjögatan 8
79180 Falun, Sweden
Tel 1046 80 000
www.storaenso.com

Stora Enso Timber AB

Domicile: Falun
VAT no: SE556027490301
Business ID: 556027-4903

Innehåll

Sammanfattning	3
1 Bakgrund och syfte	4
2 Material och metoder	4
3 Provvuttag, torkning och beredning av virke till studien.....	5
3.1 Råmaterial.....	5
3.2 Torkning	5
3.3 Urval av testplankor.....	5
3.4 Jämförelse av testgrupperna före lagring: fuktkvot och densitet	7
3.4 Hyvling och paketering	10
4 Mätningar av klimat under lagringen	11
5 CT-scanning under lagringen.....	15
5.1 Bestämning av torrdensitet.....	17
5.2 Analys av data från CT-scanningarna.....	17
5.3 Resultat från CT- scanningarna.....	21
5.4 Slutsatser från CT-scanningen	23
6 Förändringar i fuktkvot under lagring mätta med torrviktsmetoden	24
6.1 Förändringar i fuktkvotsprofil	25
7 Mikroskopianalys av påväxt	26
8 Jämförelse av klimatmätningarna med fuktkvotsmätningar	27
9 Utformning och anpassning av finit elementmodell	29
9.1 Geometri	29
9.2 Materialdata, initial fuktkvot och randvillkor för modellen	30
9.3 Exempel på simuleringsresultat:.....	32
10 Diskussion	34
11 Slutsatser.....	35
12 Referenser.....	36

Bilagor

- Bilaga 1 Mikroskopibesiktning av påväxt på virke
- Bilaga 2 Placering av plankorna i testpaketen under lagringen
- Bilaga 3 Fuktkvotsvärden bestämda med torrviktsmetoden
- Bilaga 4 CT-scanner data for analyzed planks



Sammanfattning

Fyra paket hyvlat 45x125 mm granvirke med medelfuktkvot mellan 18,6 % och 24,4 % har lagrats i rumstemperatur under 69 dygn. Medelfuktkvot och fuktfördelning i tvärsnittet före och efter lagring har bestämts med torrviktsmetoden. Temperatur (T) och Relativ luftfuktighet (RH) inne i paketen och utanför paketen under lagring har registrerats. Fuktransport under lagringen har mätts med röntgentomografi. Mögelpåväxt under lagringen har bedömts genom okulär besiktning och med mikroskopiundersökning av virket efter lagringen. En finit elementmodell av fuktransport under lagringen har byggts och ska anpassas till resultaten från torrvikts- och tomografimätningarna.

Resultaten bekräftar de tidigare erfarenheterna att klimatet inne i ett virkespaket styrs av fuktkvoten i ytan av virket. Fuktransporten ut från det inre av virket till ytan är långsam vilket innebär att även med mycket begränsad ventilation av utrymmet runt ett virkesstycke kommer RH omkring virket att ligga under den nivå på RH som motsvarar ytans jämviktsfuktkvot.

Mögelpåväxt har endast påvisats på ytorna av virke med 24,4 % medelfuktkvot före lagringen där RH omedelbart under plasten på paketet har legat över 86 % under lagringen.

Studien visar att alla klimatet inne i paketen ligger klart över 75 % RH, den gräns Boverket angett som kritisk fuktnivå för mögelpåväxt.

Delstudien tyder på att kritiskt klimat för mögelpåväxt på hyvlat granvirke lagrat i rumstemperatur ligger över 85 % RH. Hur mycket högre gränsen ligger har ej kunnat fastställas.

Mögel har endast påvisats i det fuktigaste av paketen, det med 24,4 % medelfuktkvot före lagringen och medelvärde för RH under lagringen 86 %. Virkespaketet med 22,5 % medelfuktkvot före lagring och medelvärde för RH 83 % under lagringen uppvisade ingen mögelpåväxt.

Resultaten av studien har påverkats av att virket i paketen torkat under lagringstiden. Detta innebär att den relativa luftfuktigheten som mätts omedelbart under plasten med stor sannolikhet varit lägre än luftfuktigheten längre in i paketen. Gränsen för mögelpåväxt kan därmed antas ligga över de uppmätta värdena.

FE-modellen har byggts och testats på teoretiska fuktfördelningar på virke. Modellen har dock inte kunnat verifieras på verkligt virke eller kalibreras då nödvändiga data från tomograferingen ej tagits fram.

Orsaken till att de förväntade resultaten från tomograferingen inte uppnåtts är att den använda mätuppställningen gav upphov till kraftigt brus. Trots utveckling av nya analysverktyg innebär det att upplösning och mätnoggrannhet inte är tillräcklig för kalibrering av FE-modellen. Då data för verifiering och kalibrering av FE-modellen inte finns tillgängligt planeras en kompletterande mätning på nytt virke som genomförs första kvartalet 2015.

Tomograferingen har dock både bekräftat resultaten från torrviktsmätningarna och visat tidsförloppet i fuktförändringarna.



1 Bakgrund och syfte

Studien avsåg att bestämma hur fuktkvoten i virke förändras under lagring i paket och vid vilka klimat och fuktkvoter mögelpåväxt uppkommer. Fyra satser virke med medelfuktkvoter mellan 18 % och 24 % skulle studeras för att säkerställa att studien omfattade virke både över och under fuktnivåer där mögel kan uppkomma.

En Finit Element- modell som kan beräkna förändringar i fuktkvot i virke under lagring utvecklas och kalibreras mot mätdata för att resultaten ska kunna tillämpas på industriell produktion.

Studien avsåg komplettera den tidigare studien i industrimiljö genom att dels oförstörande mäta förändringar i fuktkvotens fördelning under lagringen, dels bestämma fuktens fördelning med större noggrannhet än torrviktsmätningar för att ge underlag till kalibrering av FE-modellen.

2 Material och metoder

Studien är baserad på mätningar på industriellt producerat virke under lagring i små inplastade paket.

Fuktkvot och fuktkvotsfördelning har bestämts före och efter lagring med torrviktsmetoden. Förändringar i fuktfördelningen har även mätts med röntgentomograf före, under och efter lagring av virket. Biologisk påväxt efter lagringen har bedömts okulärt och med mikroskop.

En Finit Element modell av fukttransport i virket under lagring har utvecklats och anpassats till de experimentella resultaten.

Gränser för kritisk relativ luftfuktighet RH för mögelpåväxt i paketen har fastställts genom jämförelse av inre klimat i paketen under lagringen och mögelpåväxt på virket.



Figur 1. Inplastade virkespaket under lagringen.

3 Provvuttag, torkning och beredning av virke till studien

Val av provsats för virke och torkning gjordes av Jonas Mattsson på Gruvöns sågverk. Uttag av virkesprover ur torksatsen gjordes av Jonas Mattsson och Björn Källander baserat på fuktkvotmätning med torrviktsmetoden. Hyvling av materialet gjordes på Mats Gradstock hyvleri i Norr Amsberg. Alla torrviktsmätningar under provuttaget gjordes före hyvling.

3.1 Råmaterial

Studien gjordes på sågfallande granvirke (*picea abies*) från Stora Enso Gruvöns Sågverk, dimension 50x125 mm.

Gruvöns sågverk försörjs huvudsakligen med timmer från skogar norr och väster om Väneren. Provmaterialet sågades ur timmer med 179 mm toppdiameter. Timret kan förväntas vara huvudsakligen andrastockar upplandat med en viss andel rotstockar och tredjestockar.

Postning var 2ex med 22x100 mm sidobräder vilket gav fyra bitar från varje stock (22x100, 50x125, 50x125, 22x100). Endast centrumutbyte ingick i studien.

3.2 Torkning

Virket torkades i en kammartork enligt torkschemat med målfuktkvot 16 %. Virket var dubbeljämsdraget i enlighet med normal praxis.

Ett ströpaket med omkring 15 m³ virke togs ut ur torken efter 45 timmar (70 % av torktiden) och 103 plankor togs från toppen av paketet. Ströpaketet sattes åter in i torken och torkades i två timmar till innan 12 plankor till avlägsnades, och slutligen torkades paketet i ytterligare 12 timmar innan ytterligare 15 plankor togs ut. Totalt 130 plankor togs ur ströpaketet. Inget av provmaterialet konditionerades.

3.3 Urval av testplankor

Fuktkvot mättes med torrviktsmetoden på de 130 uttagna plankorna. Torrviktsprover togs ut omkring 40 cm från rotänden av plankorna och tvärsnittets fuktkvot bestämdes. Resultatet av fuktkvotmätningarna sammanfattas i Tabell 1 nedan.

Tabell 1. Sammanfattning av initial fuktkvot i rotänden av provmaterialet.

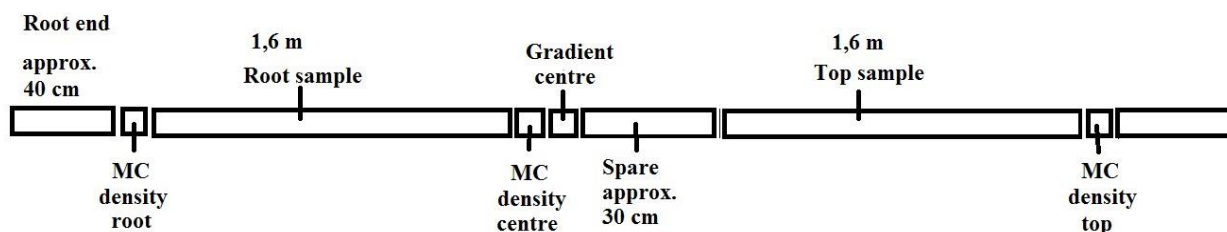
Planka (nr)	Antal plankor (N)	Medelfuktkvot (%)	Standardavv. (%)	Lägsta fuktkvot (%)	Högsta fuktkvot (%)
001 - 103	103	20,6	2,33	16,7	21,1
104-115	12	19,6	2,10	16,2	23,0
116-130	15	17,1	1,16	14,6	18,9
Alla plankor	130	20,1	2,50	14,6	31,1

Av de 130 plankorna valdes 99 med stor spridning i fuktkvot ut för fortsatt analys.



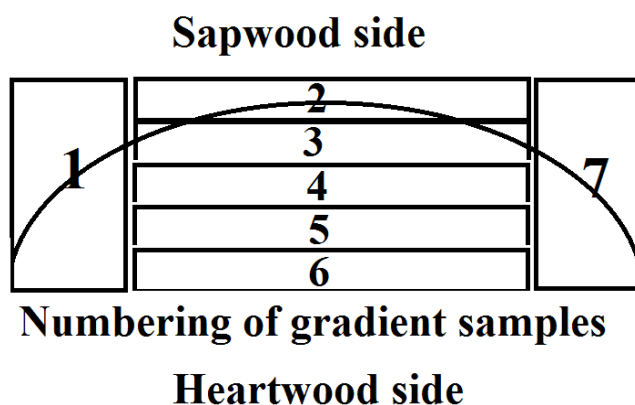
Mätningar på de 99 testplankorna

De 99 testplankorna kapades i enlighet med Figur 2, nedan. Tvärsnittens medelfuktkvot och fuktkvotsfördelningen i tvärsnittet bestämdes med torrviktmotoden. Tvärsnittet användes även för bestämning av torrdensitet med deplacementmetoden enligt torr vikt / torr volym. Mittsektionen av varje planka sparades som reservmaterial.



Figur 2. Provtagningsmönster för de 99 testplankorna. Proverna från rotänden numrerades i rotänden och proverna från toppänden i toppänden.

Fuktkvotsfördelningen i tvärsnittet bestämdes enligt metod beskriven i Björn Espings Torkningsfel - åtgärder 2, p 73. Tvärsnittet kapades i 7 prover i enlighet med Figur 3. Fuktkvotsskillnad mellan virkets yta och inre delar beräknades som skillnaden i fuktkvot mellan kärnbiten och ytbitarnas medelfuktkvot. Skillnad = $MC(4) - (MC(2) + MC(6))/2$.



Figur 3. Sågmönster för bestämning av fuktfördelning i tvärsnittet.

Proverna för fuktfördelning sågades med bandsåg av en person och så snart som möjligt efter sågningen vägdes proverna av en annan. Detta innebär att tiden mellan sågning blir kort och reducerar risken för att de tunna proverna ska torka före vägningen. När medelfuktkvoten hos de tunna proverna jämfördes med motsvarande tvärsnitts medelfuktkvot var skillnaden omkring 0,1 %, vilket indikerar att torkningen mellan sågning och vägning var låg. Medelvärdet för prover för fuktfördelning var 22,18 % jämfört med medelvärdet för hela tvärsnitt 22,28 %.

Manuell sågning innebär att tjockleken hos de olika provskivorna varierar, vilket i sin tur leder till en större spridning i mätningen. Metoden innebär också att den uppmätta fuktkvoten är ett medelvärde för hela den utsågade biten. Fuktkvotsvärdena från bitarna nr 2 och nr 6 i Figur 3 visar alltså inte fuktkvoten precis i ytan utan medelvärdet av en 10 mm tjock skiva, ett värde som kan vara betydligt högre än ytans sanna fuktkvot.



Vissa tvärsnittprover för fuktkvots- och densitetsbestämning visade sig ha kvistar i sig vilket kunde påverka mätresultatet, varför resultaten korrigerades för prover med kvistar större än diameter omkring 10 mm. Prover med större kvistar sågades om och vägdes på nytt i de fall det var möjligt. Nya densitetsprover togs ut från reservbitarna i de fall det ursprungliga provet inte kunde användas. Totalt tolv prover hade stora kvistar placerade på ett sådant sätt att de inte kunde kapas om för fuktkvotmätning varför reservmaterialet användes.

Urval av plankor till de olika testpaketen

Totalt 80 plankor valdes ut för lagringstestet baserat på medelfuktkvot av de tre tvärsnitten som tagits från varje plank. Fyra grupper sorterades fram med respektive medelfuktkvoter 18,6 %, 20,5 %, 22,5 % och 24,4 %.

Plankorna delades upp i rotändar och toppändar och totalt åtta testpaket byggdes. De åtta testpaketen hade medelfuktkvoter från 18,2 % till 25,1 %. Tabell 2 nedan sammanfattar data från de olika paketen.

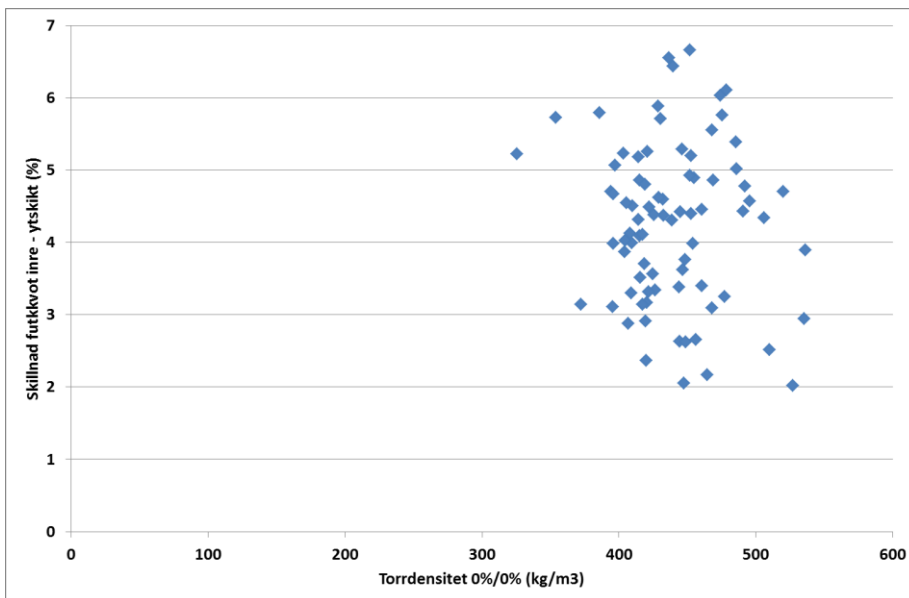
Tabell 2. Fuktkvot och densitet i de olika testpaketen.

Plankans medelvärde			Rotände			Toppände		
Medelfuktkvot (%)	Standardavvikelse (%)	Medeldensitet (kg/m ³)	Medelfuktkvot (%)	Standardavvikelse (%)	Medeldensitet (kg/m ³)	Medelfuktkvot (%)	Standardavvikelse (%)	Medeldensitet (kg/m ³)
18,6	0,8	455	18,2	0,8	451	19,1	1,2	456
20,5	0,5	438	20,3	0,9	435	21,2	0,7	442
22,5	0,3	426	22,1	0,8	426	23,3	0,7	426
24,4	0,8	437	24,1	1,1	435	25,1	1,1	439

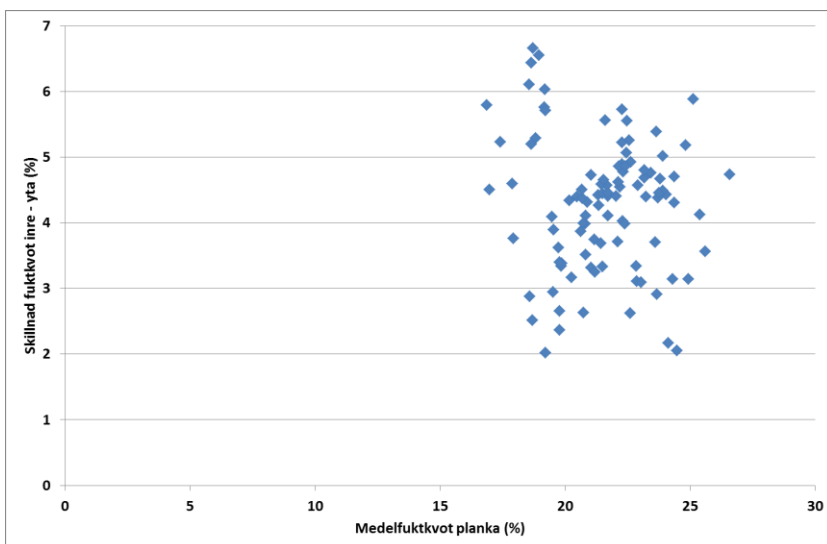
3.4 Jämförelse av testgrupperna före lagring: fuktkvot och densitet

Fuktkvotsfördelningen före lagring bestämdes för alla 99 utvalda plankor. Inget samband ses mellan plankornas densitet och fuktfördelning. Inte heller ses något samband mellan enskilda plankors medelfuktkvot efter torkning och fuktkvotsfördelning. Se Figur 4 och Figur 5.





Figur 4. Inget samband ses mellan densiteten och skillnaden i fuktkvot mellan plankornas inre del och ytskikten.

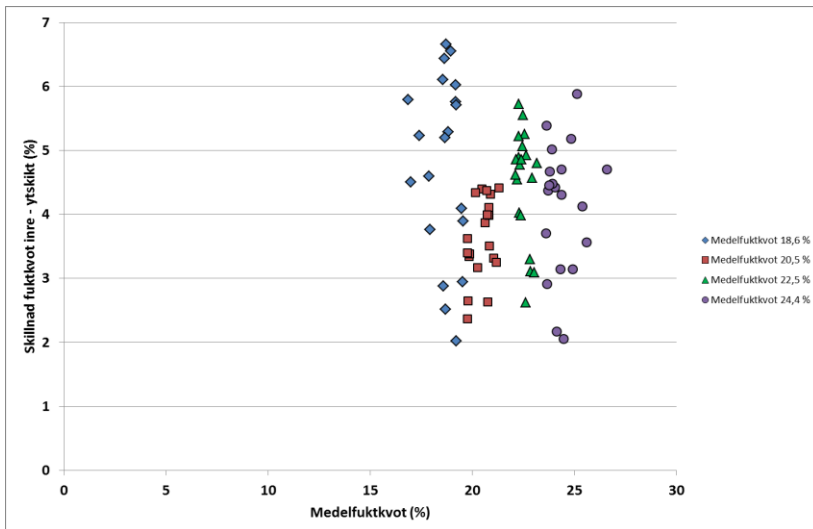


Figur 5. Inget samband sågs mellan fuktkvotsfördelning och medelfuktkvot i de 99 utvalda testplankorna.

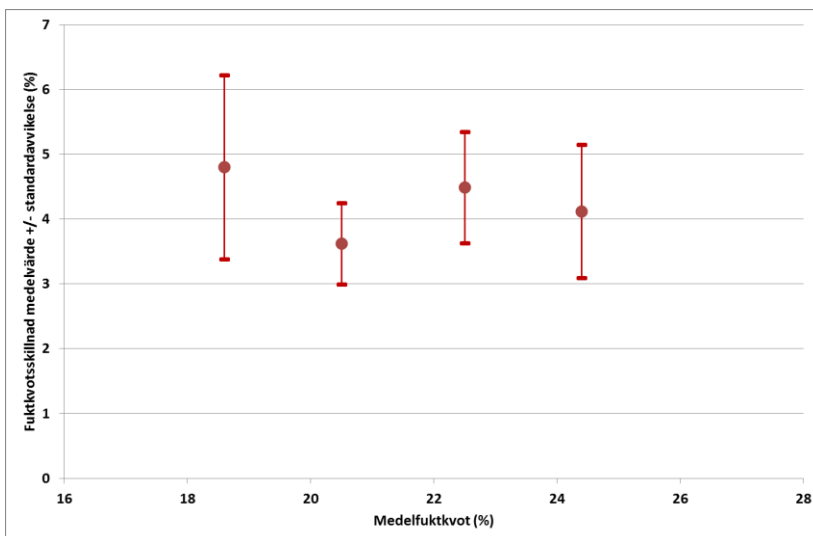
En grupp mätvärden med hög gradient och medelfuktkvoter omkring 18 % verkar ligga separerade från övriga värden i diagrammet i Figur 5. Dessa plankor kommer från gruppen som torkades ytterligare 12 timmar innan provuttag. Skillnaden i fuktkvot mellan det inre av planorna och ytvirket visar att torkkraften varit fortsatt hög under torkningens slutskede. Hög torkkraft när torkningen plötsligt avbryts innebär att drivkraften för fuktransport från det inre av virket till ytan också är hög, betydligt högre än i virke där torkningen tillåts fortsätta till dess torkschemat avslutats.



Resultaten visar att de fyra testgrupperna med medelfuktkvot mellan 18,6 % och 24,4 % har ungefär motsvarande fuktkvotsfördelning. Detta förklaras av att torkningen gjorts utan konditionering och att virket tagits ut innan torksatsen nått målfuktkvoten. Se Figur 6 och Figur 7.



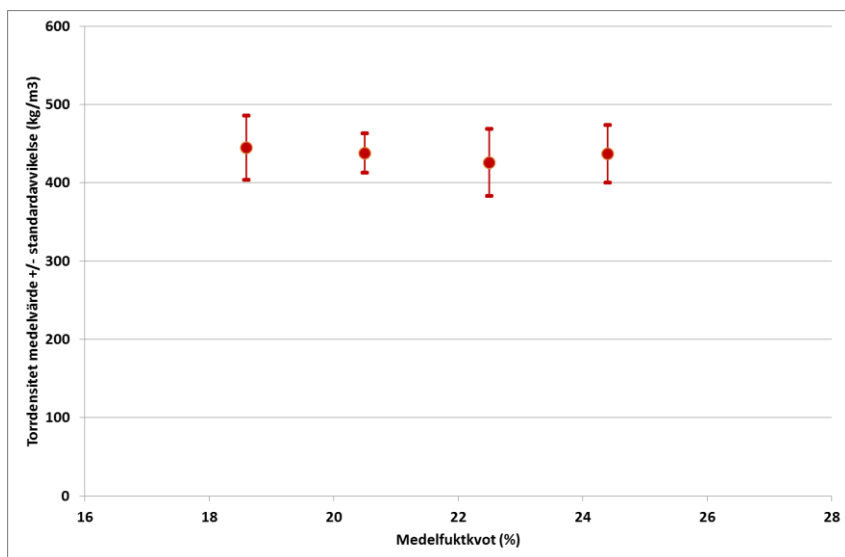
Figur 6. Skillnad i fuktkvot mellan varje plankas inre del och ytskikten för plankorna i de olika testgrupperna.



Figur 7. Medelvärde +/- 1 standardavvikelse för skillnaden i fuktkvot mellan plankornas inre delar och ytskikten i de fyra testgrupperna.

Resultaten visar att medelvärdet för fuktkvotsskillnaden mellan virkets inre delar och ytskikten är något högre för testgruppen med 18,6 % medelfuktkvot jämfört med de övriga, samtidigt som gruppen uppvisar en större spridning. Skillnaderna mellan grupperna är dock relativt små. Ingen skillnad i torrdensitet ses mellan grupperna.

Alla testgrupper uppvisar likartad densitet, se Figur 8.



Figur 8. Medelvärde +/- 1 standardavvikelse för torrdensiteten i de fyra testgrupperna.

Resultatet visar att de olika testgruppernas densitet och fuktkvotsfördelning är likartade. Grupperna bör därmed kunna anses likvärdiga med avseende på plankornas virkesegenskaper och inre fuktfördelning före lagring.

3.4 Hyvling och paketering

Alla 99 testplankor hyvldes till dimension 45x125 mm med fingervänliga kanter vid Mats Gradstock hyvleri i Norr Amsberg. Plankorna travades med testgrupperna ordnade från fuktigast i botten till torrast i toppen före transport till LTU i Skellefteå.

Då virket kapats och hyvldes efter torkning var i princip alla ytor på materialet nybearbetade innan starten av lagringsförsöket. Eventuell påväxt före och under torkning bör därför vara avlägsnad och virkets ytor bör ha varit fria från påväxt vid lagringens början. Hyvlingen gjorde även att skevhet och krokighet var obetydlig.

Virket delades upp i rotändar och toppändar som buntades och paketerades i fyra paket med proverna från 20 plankor i varje. Proverna från rotändan lades i botten och toppändan i toppen i varje paket, se Figur 9. Paketerna plastades in på fem sidor med botten öppen mot omgivande klimat och ändförseglades med Herdins hårdvaxolja. Ändförseglingen gjordes i samband med den andra CT-scanningen 1 vecka efter start av lagringen.

Jämfört med industriella virkespaket skiljde sig paketen främst genom att de var betydligt mindre och inte var hoppresade maskinellt. Testpaketets volym var omkring 0,36 m³ att jämföra med normala industriella pakets volym på 3-6 m³.

De mindre paketen innebär att det finns betydligt mindre massa i paketen samtidigt som paketets mantelyta blir större i förhållande till virkesvolymen. Manuell stapling ger ett lösare paket med större luftspalter mellan plankorna, samtidigt som plasten runt paketen troligen suttit lösare än på industriellt paketerat virke. Alla faktorerna innebär att omgivande klimat får en större inverkan på materialet under lagringen jämfört med industriella paket.

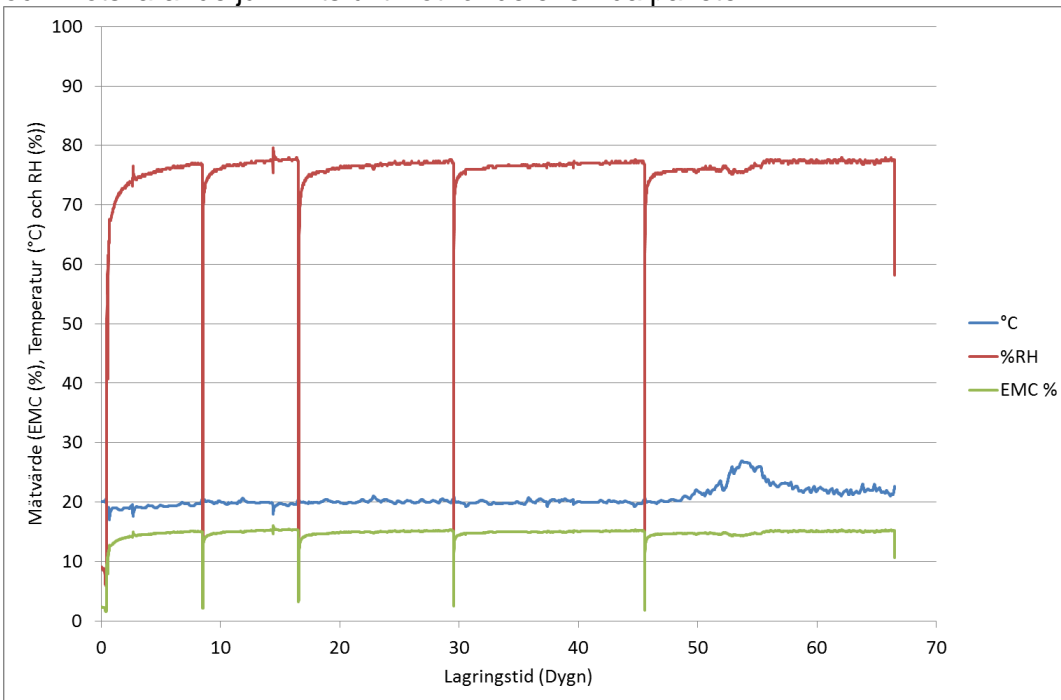




Figur 9. Paketet med 20,5 % medelfuktkvot efter lagringen. Märkning "T" och "R" skrivet i topp- respektive rotänden av varje plank.

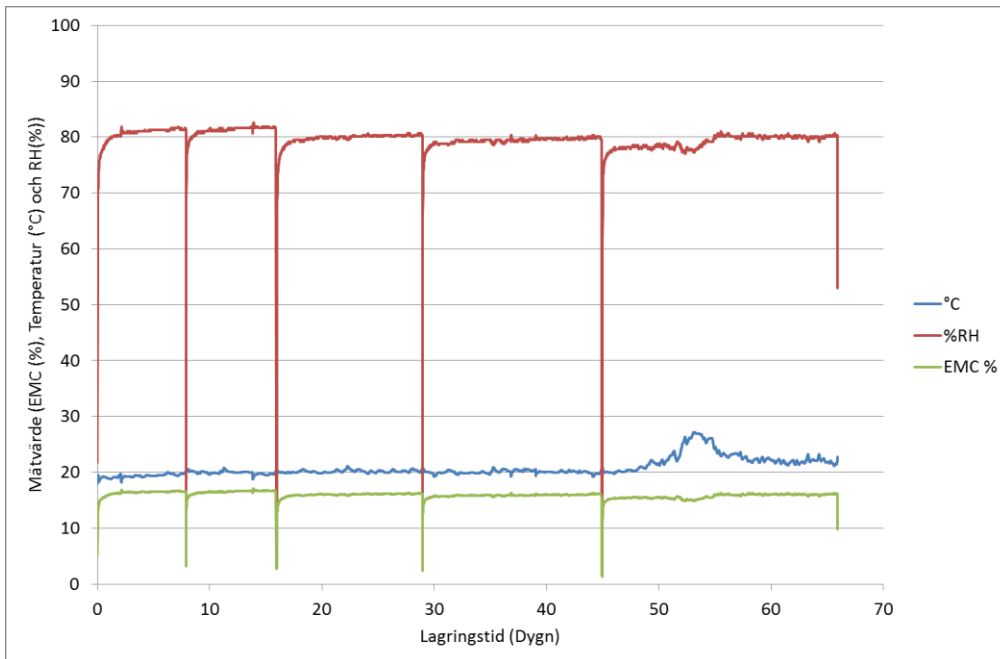
4 Mätningar av klimat under lagringen

Under lagringen mättes temperatur och RH med TinyTag 2+ klimatloggrar. Klimatet inne i varje testpaket och utanför paketen lagrades fyra gånger per timme. Klimatet inne i de fyra paketen under lagringen varierar systematiskt med virkets fuktkvot. Relativ luftfuktighet (RH) och dess motsvarande jämviktsfuktkvot (EMC) stiger med stigande virkesfuktkvot. Figur 10 till Figur 13 visar temperatur, RH och motsvarande jämviktsfuktkvot för de enskilda paketen.

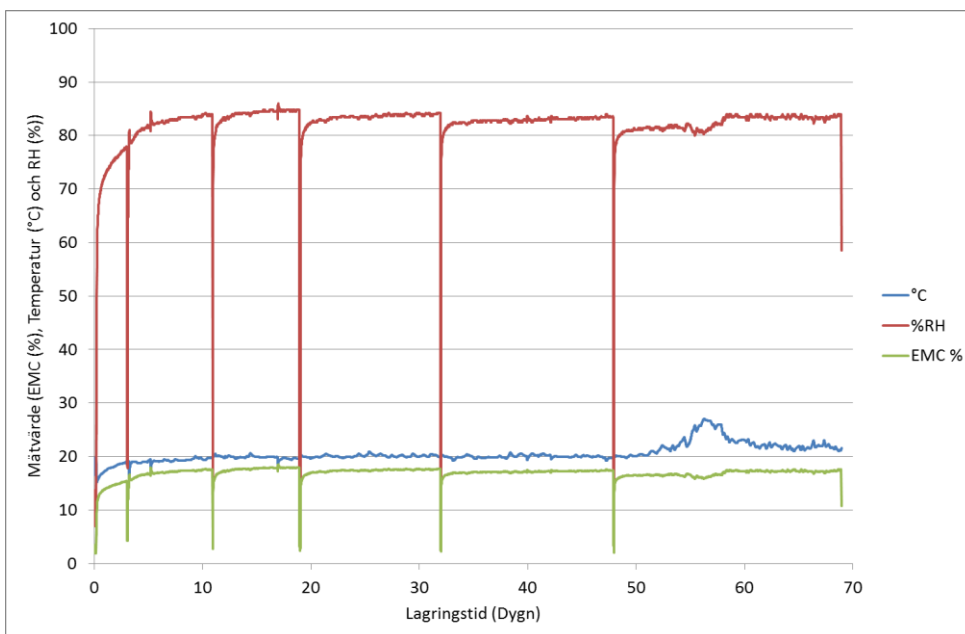


Figur 10. Klimat och beräknad jämviktsfuktkvot inne i paket med medelfuktkvot 18,6 % vid start av lagring. Spikar orsakade av att paketen öppnats för CT-scanning.

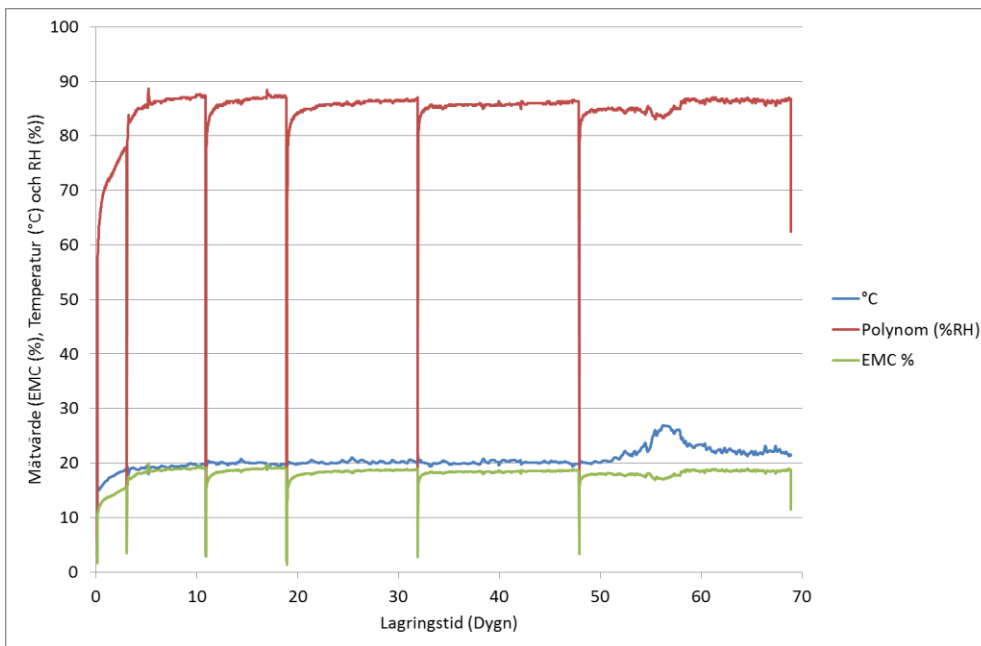




Figur 11. Klimat och beräknad jämviktsfuktkvot inne i paket med medelfuktkvot 20,5 % vid start av lagring. Spikar orsakade av att paketen öppnats för CT-scanning.

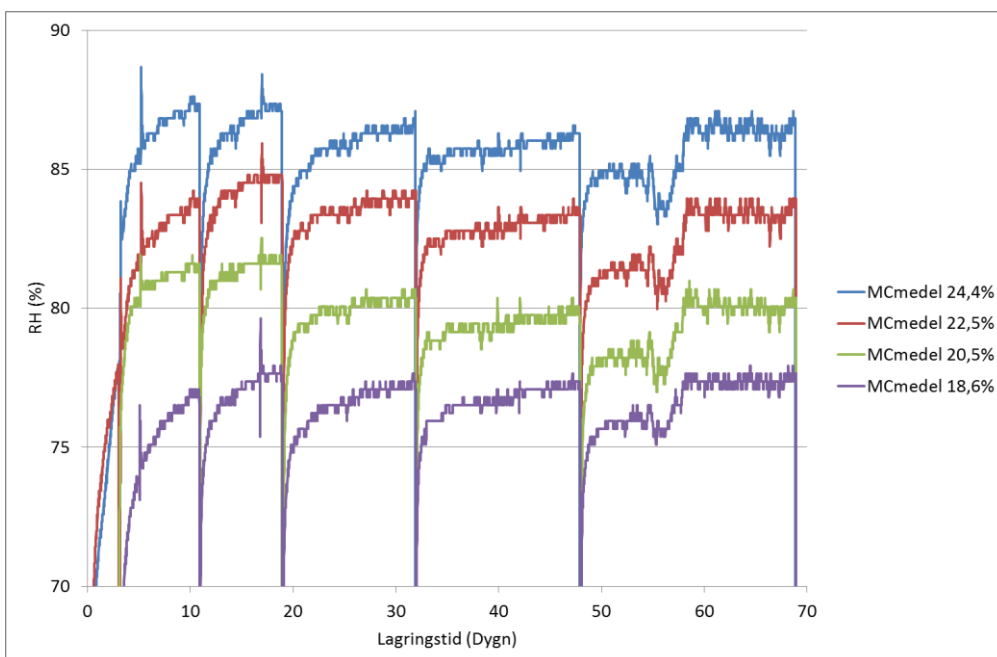


Figur 12. Klimat och beräknad jämviktsfuktkvot inne i paket med medelfuktkvot 22,5 % vid start av lagring. Spikar orsakade av att paketen öppnats för CT-scanning.



Figur 13. Klimat och beräknad jämviktsfuktkvot inne i paket med medelfuktkvot 24,4 % vid start av lagring. Spikar orsakade av att paketen öppnats för CT-scanning.

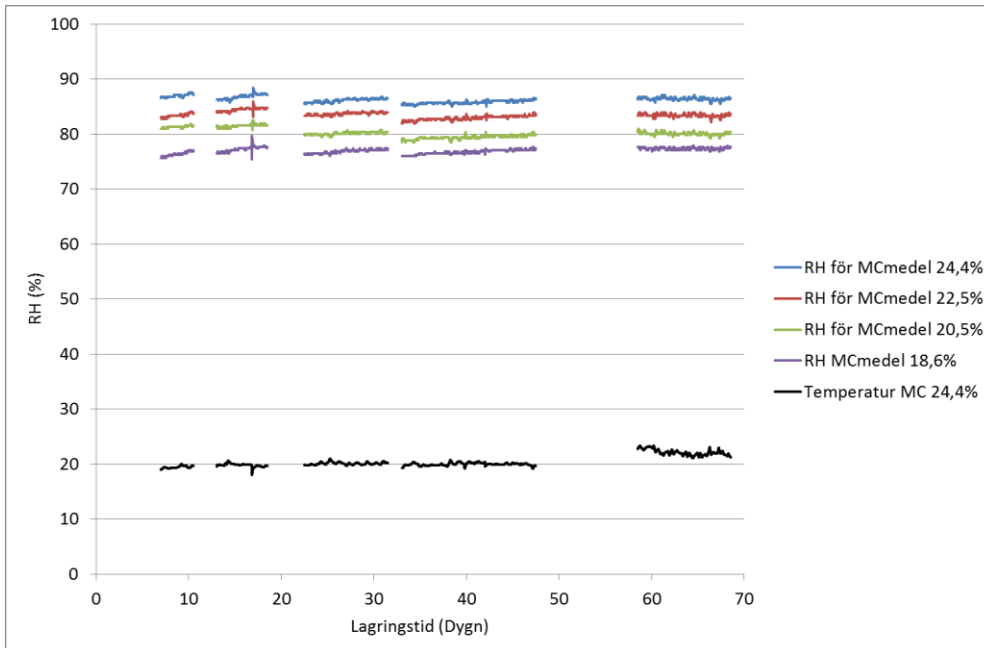
Skillnaden i inre klimat syns tydligt när kurvorna för RH och EMC från de olika paketen läggs in på samma diagram. Diagrammen visar också området inom vilket klimatet i paketen varierar, plåtvärdet på RH varierar mellan 77 % RH för paketet med 18,6 % medelfuktkvot och 87 % RH för paketet med 24,4 % medelfuktkvot. Figur 14 visar RH för de olika paketen under lagringen.



Figur 14. Relativ luftfuktighet (RH) i de fyra paketen under lagring. Spikar orsakade av att paketen öppnats för CT-scanning.



För att jämföra de inre klimaten och korrelera dem med virkets fuktkvot och iakttagen mögelpåväxt beräknades medelvärden för temperatur och RH sedan paketen bedömts ha uppnått relativt stabila klimatvärden. Figur 15 visar RH- kurvorna för de perioder som använts för medelvärdesberäkningen.



Figur 15. Perioder använda för beräkning av medelvärden för lagringsklimat.

Tabell 3 visar beräknade medelvärden för uppmätta klimat under lagringen.

Tabell 3. Medelvärden av fuktkvot och klimat vid lagringen.

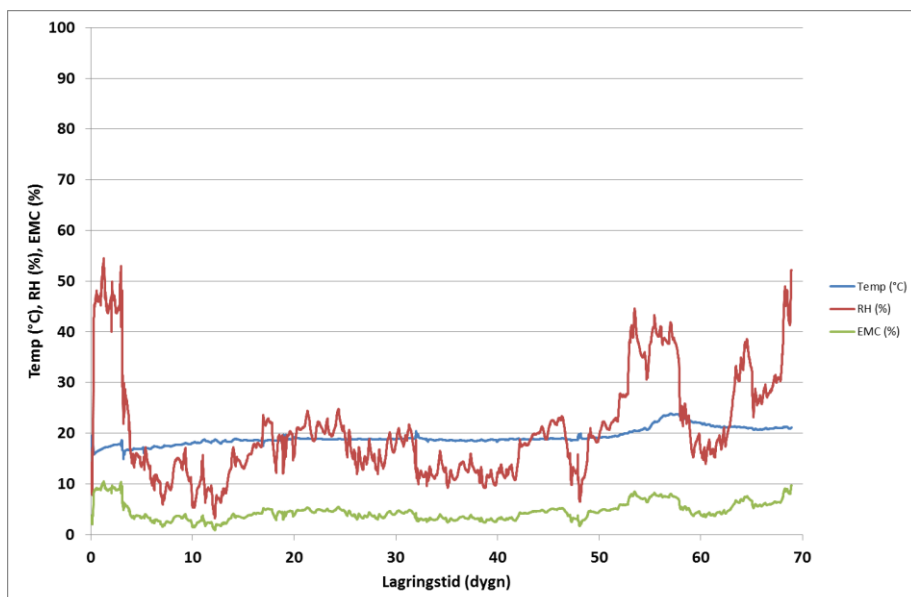
Fuktkvot före lagring		Medelvärden lagringsklimat	
Paketet (%)	Virkesytorna (%)	Temperatur (°C)	RH (%)
18,6	17,4	20,5	76,9
20,5	19,1	20,5	80,2
22,5	20,8	20,4	83,4
24,4	23,1	20,6	86,2

Det kan noteras att RH i alla de uppmätta paketen ligger klart över gränsvärdet 75 % RH som fastslagits av Boverket som "Kritisk fuktnivå" för trämaterial.

I studien är det bara paketet med 24,4 % medelfuktkvot som uppvisat mögelpåväxt. I paketet låg RH som högst mellan 86 % och 87 % under lagringen. Paketet med 22,5 % medelfuktkvot och platåvärden på RH omkring 83 % uppvisade ingen påväxt. Detta är en klar indikation på att "Kritisk fuktnivå" ligger betydligt högre än 75 % RH.

Omgivande klimat under lagringen är som väntat både betydligt torrare än klimatet inne i paketen och uppvisar större variationer över tiden. Jämviktsfuktkvotens medelvärde under lagringen är 4,5 %. Se Figur 16.





Figur 16. Omgivande klimat under lagringen. Medelvärde av fyra loggrar placerade under paketen.

5 CT-scanning under lagringen

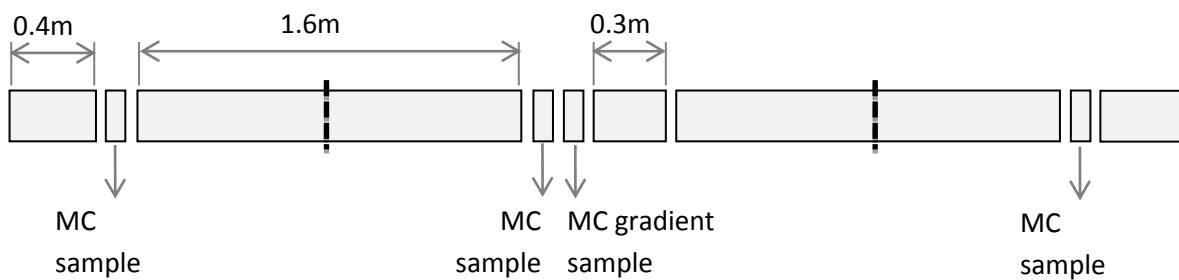
Virkespaketen CT-scannades, röntgades med datortomograf, före och efter lagringen samt vid fyra tillfällen under lagringstiden för att bestämma förändringar i fuktfördelning under lagringstiden, se Tabell 4.

Tabell 4. Tidpunkter för öppning och tomografering av testpaket.

Mätning (nr)	Datum	Lagringstid (dygn)
1	2014-03-28	0
2	2014-04-08	11
3	2014-04-16	19
4	2014-04-29	32
5	2014-05-15	48
6	2014-06-05	69

Alla CT-scanningar gjordes i mitten av varje 1,6 m långt paket. Slutlig bestämning av fuktkvot och fuktkvotsfördelning med torrviktsmetoden gjordes sedan på prover kapade så nära de scannade tvärsnitten som möjligt, motsvarande de streckade linjerna i Figur 17.





Figur 17: Position av linje för CT-scanning av tvärsnittet.

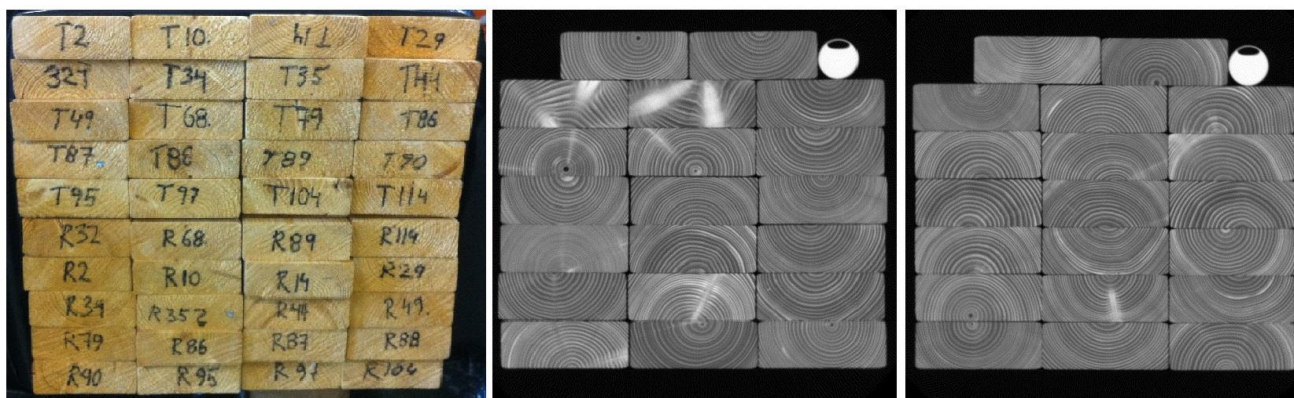
För att virkespaketen skulle få plats i tomografen flyttades virket om inför varje mätning. Figur 18 visar virkespaketet med medelfuktkvot 20,5 % uppdelat för tomografering.



Figur 18. Uppdelning av virkespaket med 20,5 % startfuktkvot för tomografering.

Paketen tomograferades och packades därefter återigen in i plast för fortsatt lagring. Varje planka märktes för att läget i paketet och orienteringen inte skulle ändras under lagringen.

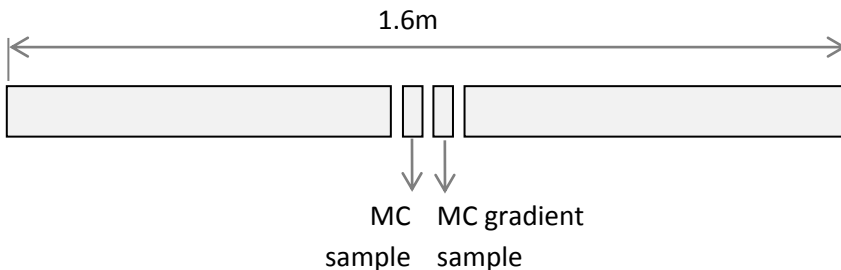
Tomograferingen gjordes över tvärsnittet mitt på paketet. Figur 19 visar råbilderna från tomograferingen av paketet i Figur 18.



Figur 19. Råbilder från tomografering av paketet med 20,5 % startfuktkvot.

5.1 Bestämning av torrdensitet

Densitetsvärdena från CT-scanningen under lagring måste kompenseras för torrdensitet för att fuktkvoten ska kunna bestämmas. Detta gjordes genom att proverna som använts för torrviktsbestämning av slutfuktkvoten CT-scannades omedelbart efter torkningen. Figur 20 visar position för uttag av torrviktsprover som sedan scannades.



Figur 20. Position för uttag av torrviktsprover som sedan scannades

Då proverna deformeras kraftigt under torkningen till absolut torrhet kunde proverna inte scannas staplade som de ursprungliga 1,6 m långa paketen. Istället scannades torrviktsproverna i grupper om 6 prover som separerades från varandra med hjälp av cellplast. Figur 21 visar torrviktsprover placerade i CT-scannern och den resulterande torrdensitetsprofilen.



Figur 21. Sex torrviktsprover placerade i tomografen och torrviktsprofil från scanningen.

5.2 Analys av data från CT-scanningarna

CT-scanning ska generera bilder som visar den interna densitetsprofilen i materialet. Fuktkvoten i varje punkt i tvärsnittet bestäms sedan genom att göra en separat scanning av ett prov efter torkning till absolut torrhet, varefter man kan separera den torra massan och fukten.

Ursprunglig densitetsprofil (ρ) tillsammans med densitetsprofilen från det torra materialet (ρ_{OD}) och den volymetriska krympningen α ger fuktkvoten (%) enligt ekvation 1:

$$MC = 100 \left(1 - \left(1 - \frac{\alpha}{100} \right) \frac{\rho_{OD}}{\rho} \right)$$

Ekv. 1

Metoden förutsätter att de deformerade profilen efter torkning anpassas till den ursprungliga så att varje torr pixel motsvarar samma position i det ursprungliga fuktiga tvärsnittet. Anpassningen görs med speciellt framtagen mjukvara, "UnwarpJ Registration" från "ImageJ".

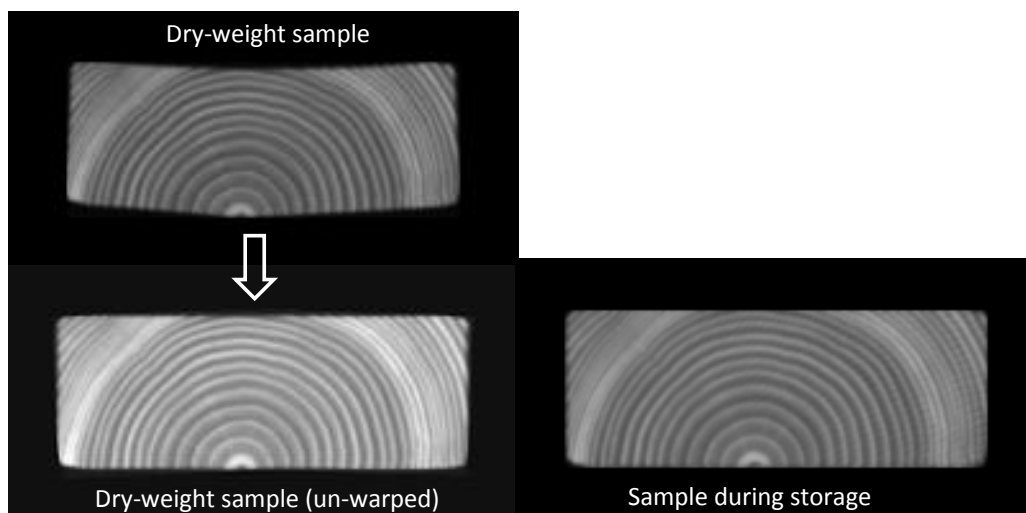
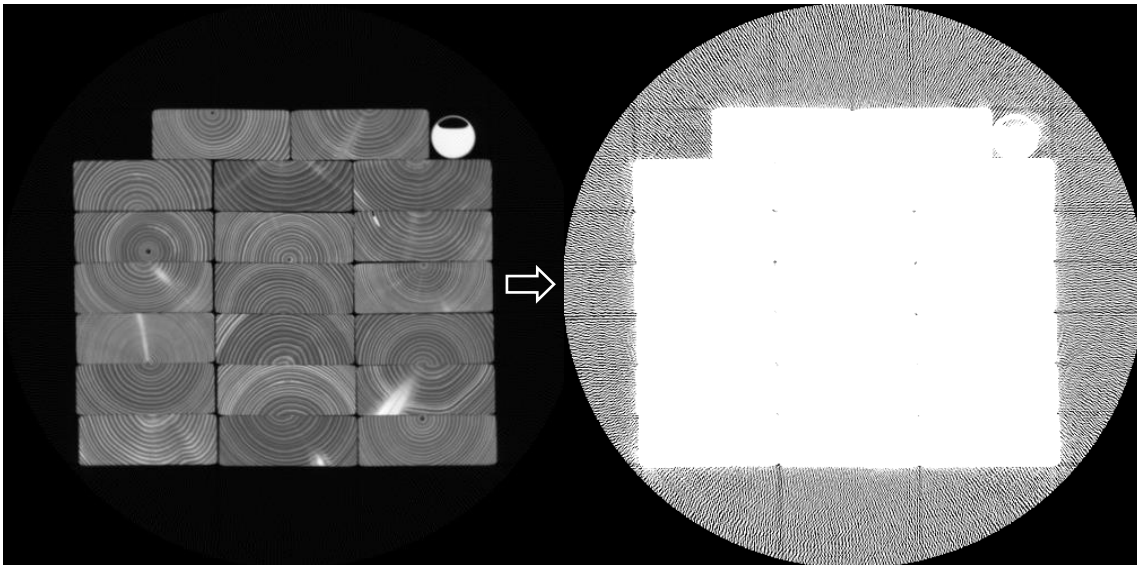


Figure 22: Anpassning av torrt tvärsnitt till ursprungligt från lagringen.

Tyvär visade det sig att scanningen av fler plankor i en stapel gav upphov till interferens när CT-scannern anpassade de deformerade plankornas tvärsnitt. Interferensen ledde till brus på mätvärdena vars nivå var högre än de uppmätta skillnaderna i fuktkvot under lagringen. Bruset hade en förödande effekt på både upplösning och noggrannhet.

Storleken på störningen visas i Figur 23 där kontrasten i CT-scannern har ökats för att visa luften i stapeln. Brusnivån i analysen visade sig motsvara +/- 40 kg/m³, vilket för genomsnittlig gran med torrdensitet omkring 420 kg/m³ motsvarar slumpmässiga mätfel på fuktkvoten på +/- 10%.



Figur 23. CT-scannad bild justerad för att visa effekten av interferens in luften omkring paketet.

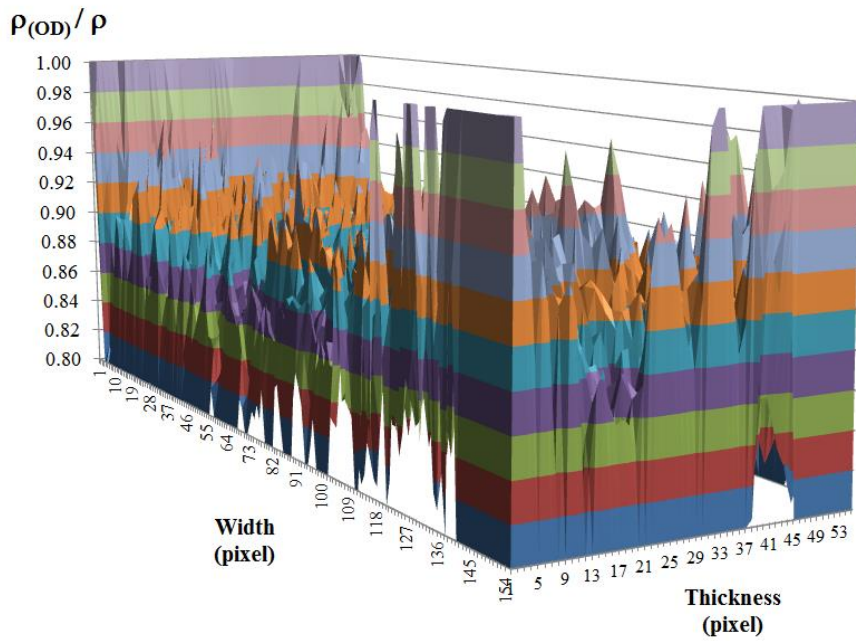
Störningarna ledde till att normala procedurer för analys och rapportering av CT-scanningar inte kunde användas. För att minimera den negativa effekten av störningarna infördes två nya element i analysen:

- 1) Data nära plankornas ytor togs bort från analysen, och
- 2) CT-bilderna filtrerades för att minska brusnivån.

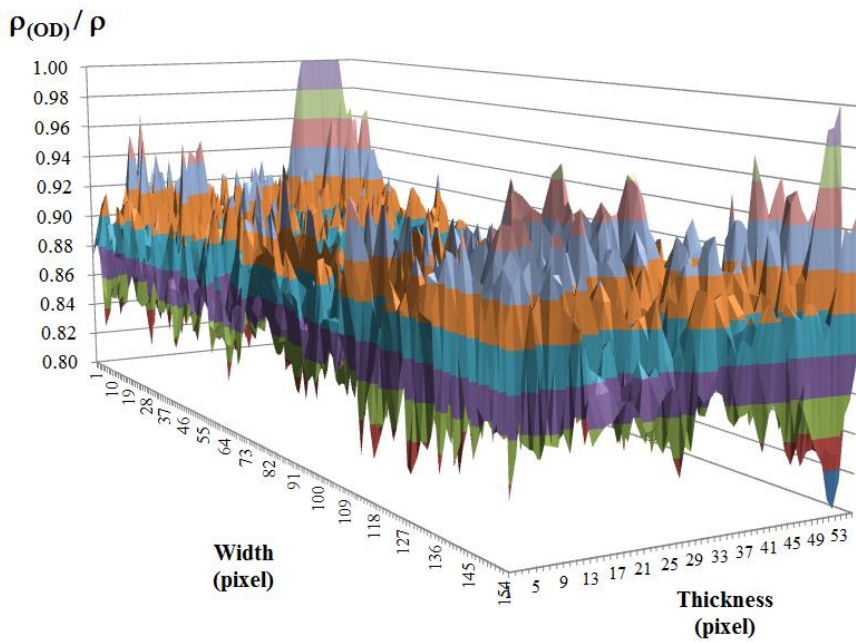
Mätvärden nära plankornas ytor ströks då det visade sig att interferensen ökade markant i anslutning till plötsliga skillnader i densitet, som exempelvis vid ytan av virket. Mätvärden från de 3 mm virke som låg närmast ytan togs därför bort ur analysen. Metoden gav läsbara värden men innebar samtidigt att ett av studiens huvudmål, att bestämma fuktkvoten närmast ytan med hög precision, inte kunde uppnås.

Genom att applicera ett Gaussian filter som spred ut lokala densitetsvärden i enlighet med Gauss sannolikhetsfunktion kunde bruset reduceras kraftigt utan att märkbart påverka medeldensiteten. Ett filter med radie 10 pixel (7.5 mm) gav tillräckligt jämna värden för att individuella värden på fuktkvoten skulle kunna beräknas. Filtringen innebär sannolikt att lokala skillnader i fuktkvot slätas ut, exempelvis längs större årsringar. Om filtringen därmed inverkat negativt på analysen är oklart.

Figur 24, Figur 25, och Figur 26 visar hur metoden reducerar brusnivåerna från obehandlade värden till läsbara fuktkvotnivåer för Planka 72 toppände.

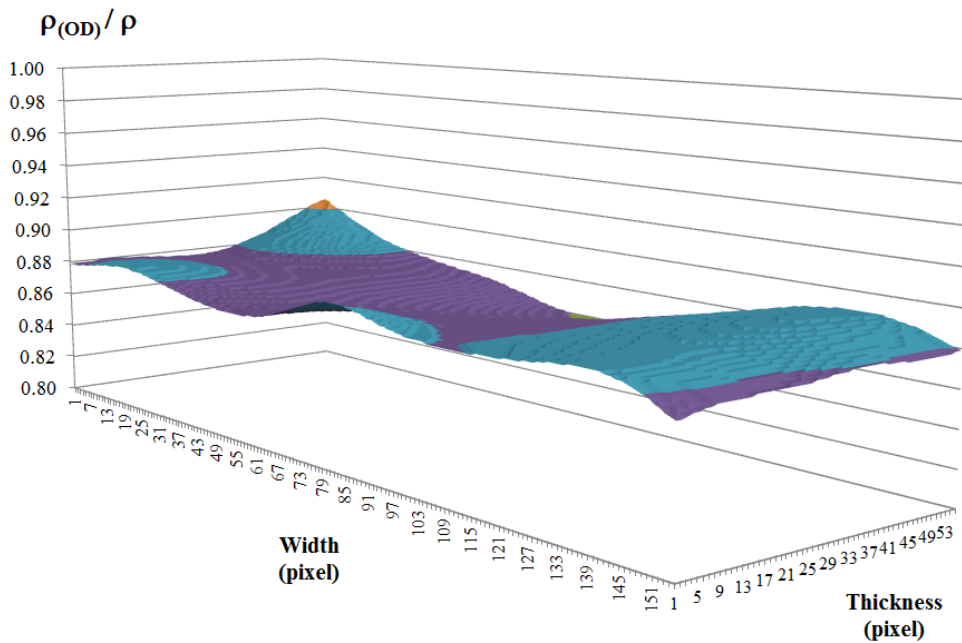


Figur 24: Beräknad ρ_{OD}/ρ - profil före behandling av bilden.



Figur 25. Beräknad ρ_{OD}/ρ profil efter avlägsnande av 3 mm från ytan av plankan.



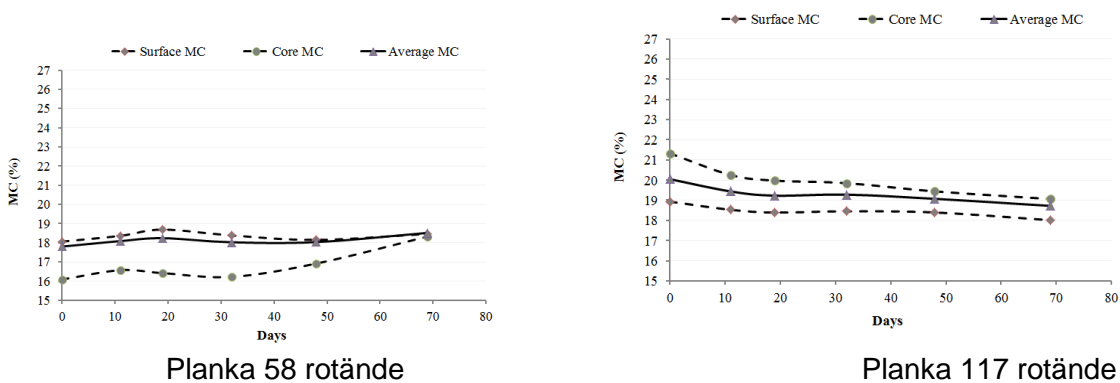


Figur 26. Beräknad profil efter filtrering.

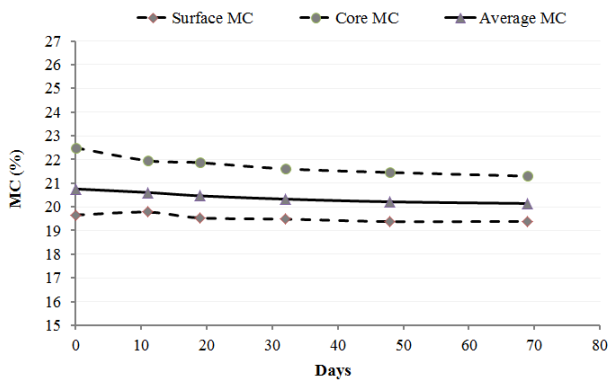
5.3 Resultat från CT- scanningarna

Metoden beskriven i sektion 5.2 har hittills hunnit genomföras på 8 provplankor av de totalt 160 topp- respektive rot- ändar som ingått i studien. Ur varje provsats har två intilliggande plankor analyserats.

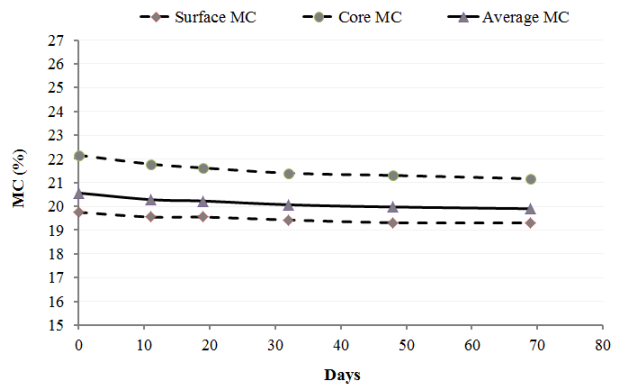
Figurerna 27a, 27b, 27c, och 27d visar beräknad medelfuktkvot, ytans fuktkvot, och centrumdelens fuktkvot under lagringstiden.



Figur 27a. Fuktkvotsförändring under lagring av plankor från paket med 18,6 % medelfuktkvot. Fuktkvot visas i ytan av plankorna, mitten av tvärsnittet, samt medelvärdet.

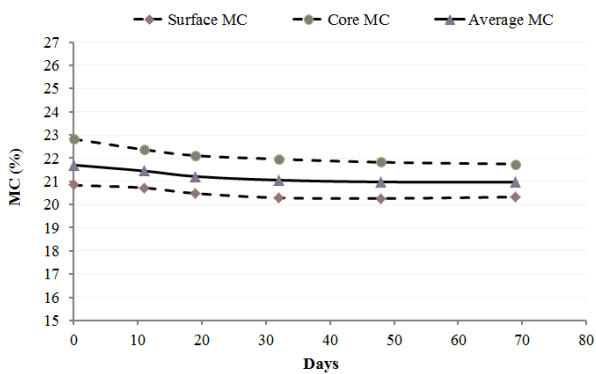


Planka 45 rotände

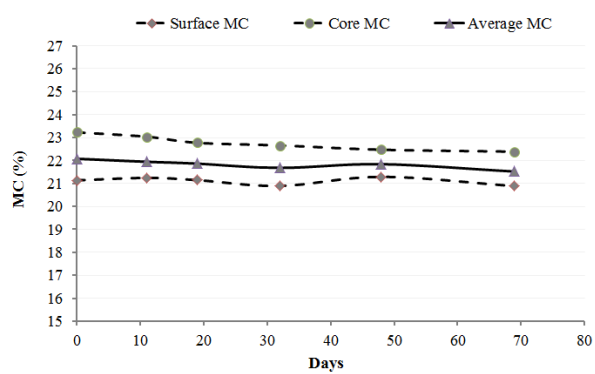


Planka 18 toppände, under plast

Figur 27b. Fuktkvotsförändring under lagring av plankor från paket med 20,5 % medelfuktkvot. Fuktkvot visas i ytan av plankorna, mitten av tvärsnittet, samt medelvärdet.

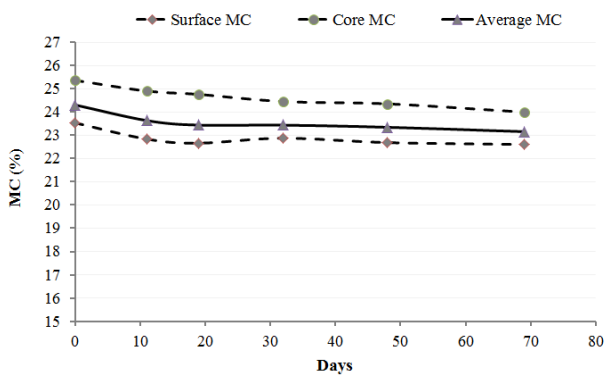


Planka 2 toppände

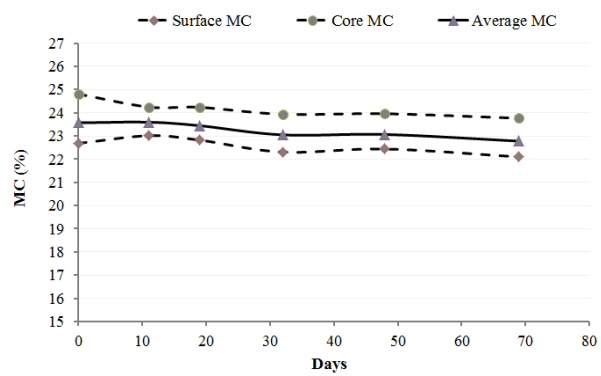


Planka 34 toppände

Figur 27c. Fuktkvotsförändring under lagring av plankor från paket med 22,5 % medelfuktkvot. Fuktkvot visas i ytan av plankorna, mitten av tvärsnittet, samt medelvärdet.



Planka 72 toppände



Planka 80 toppände

Figur 27d. Fuktkvotsförändring under lagring av plankor från paket med 24,4 % medelfuktkvot. Fuktkvot visas i ytan av plankorna, mitten av tvärsnittet, samt medelvärdet.



Resultaten från CT-scanningen har gett något annorlunda resultat än torrviktsmätningarna. Detta kan sannolikt förklaras av störningarna som gjorde att fukten i plankornas ytved inte kunde beaktas. Även med hänsyn tagen till störningarna bekräftar dock CT-scanningarna resultaten från torrviktsmätningarna, där virkets fuktkvot gradvis jämnas ut och närmar sig jämviktstillstånd.

Resultaten från CT-scanningarna tyder på att fuktkvoten i plankornas mittdel sjunkit under lagringen, mellan 2,4 % och 4,0 % beroende på virkets startfuktkvot.

Ytornas fuktkvot har endast sjunkit marginellt eller ökat något under lagringen beroende på startfuktkvot. Ytveden i paketet med 18,6 % startfuktkvot ökad 0,8 % i genomsnitt, medan ytorna i paketet med 24,4 % medelfuktkvot minskade lika mycket, 0,8 %. Förändringarna är små i jämförelse med uttorkningen av plankornas inre delar, men påvisar ändå den förväntade utjämningen av ytornas fuktkvot.

5.4 Slutsatser från CT-scanningen

Mätmetoden där paket med 20 plankor scannades samtidigt gav upphov till störningar som försämrade både upplösning och precision i mätningen. Det står nu klart att mätningarna borde ha gjorts med färre plankor i scannern vid varje enskild mätning.

Det kan heller inte uteslutas att fuktprofilerna påverkats av storleken på testpaketen, där de mindre paketen har avgivit förhållandevis mer fukt till omgivningen än fullstora industriella paket. Detta skulle då gett upphov till torrare ytor än vad som annars varit fallet.

Sedan mätvärden nära virkesytan sällats bort och data filtrerats har viss användbar information om fuktfördelning inom plankorna och förändringar över tiden tagits fram. Resultaten tyder på att fuktkvotsprofilerna i virket anpassas till ett omgivande klimat motsvarande EMC på 18-20 %. Plankor med högre medelfuktkvot uppvisar en generell minskning i fuktkvot, medan plankor med lägre startfuktkvot uppvisar ett mönster där virkets inre delar torkar samtidigt som ytan fuktas upp.

Resultaten kan inte användas för att verifiera FE-modellen eftersom virkets ytfukt inte fastställts. Dessutom var upplösningen och mätnoggrannheten lägre än avsett samtidigt som antalet plankor som analyseras är för lågt. Verifiering av FE-modellen kräver fuktprofilerna i att alla plankor i minst ett paket bestämts med god upplösning vid minst två tillfällen: initial fuktkvot och efter en periods lagring.

För att kunna verifiera FE-modellen föreslås därför att en kompletterande studie görs på ett virkespaket med samma tvärsnitt som de nu studerade. I denna nya studie ska mätprocessen optimeras för att reducera brus. Lägre brus kan då uppnås genom att mäta färre plankor per gång och minska den totala tjockleken på materialet, att öka röntgenstrålningens signalstyrka under mätningen, förlänga exponeringstiden.



6 Förändringar i fuktkvot under lagring mätta med torrviktsmetoden

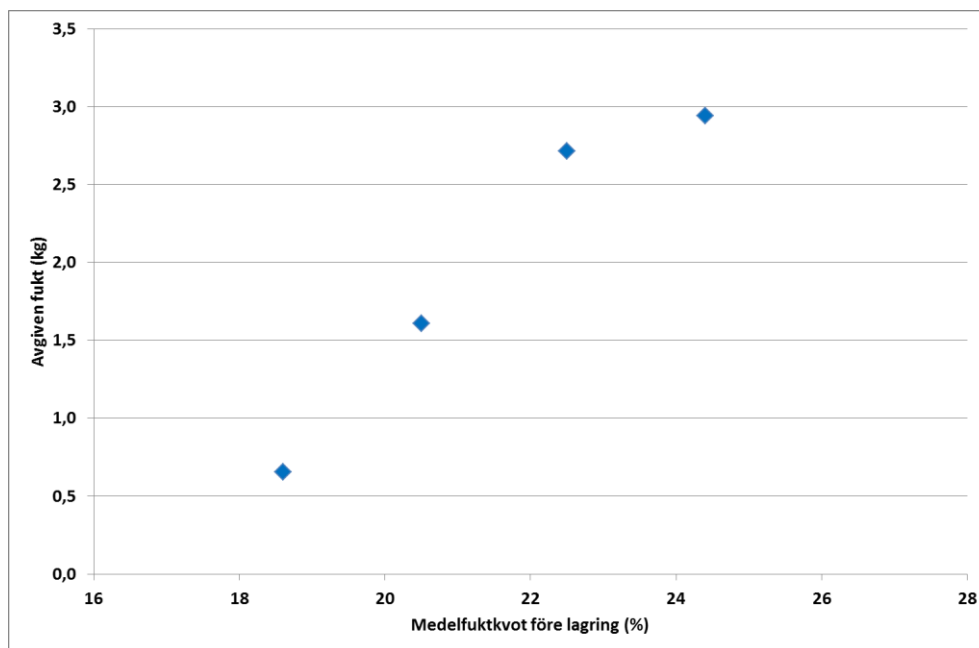
Virket torkade något under lagringen. Minskningen i fuktkvot var större för dessa små paket än för de fullstora paket som studerats i de tidigare undersökningarna. Tabell 5 visar fuktkvotsvärden före och efter lagring.

Tabell 5. Fuktkvotsvärden bestämda med torrviktsmetoden före och efter lagring.

Paket (Namn)	Fuktkvot före lagring (%)		Fuktkvot efter lagring (%)		Förändring [%]
	Medelvärde	Standardavvikelse	Medelvärde	Standardavvikelse	Medelvärde
18,6 %	18,6	0,8	18,2	0,6	0,40
20,5 %	20,5	0,5	19,5	0,7	1,02
22,5 %	22,5	0,3	20,7	1,0	1,77
24,4 %	24,4	0,8	22,6	1,0	1,82

Att fuktkvoten minskade i alla virkespaketen visar att luft fukt avgetts till omgivningen. Fuktkvotsförändringarna ökade med ökande initial fuktkvot. Dock minskade fuktkvoten ungefär lika mycket för de två fuktigaste paketen vilket kan tolkas som att uttorkningen hos dessa begränsades av luftflödet.

Ur virkets medeldensitet fås total mängd vatten som lämnat paketen under lagringen, se Figur 28.



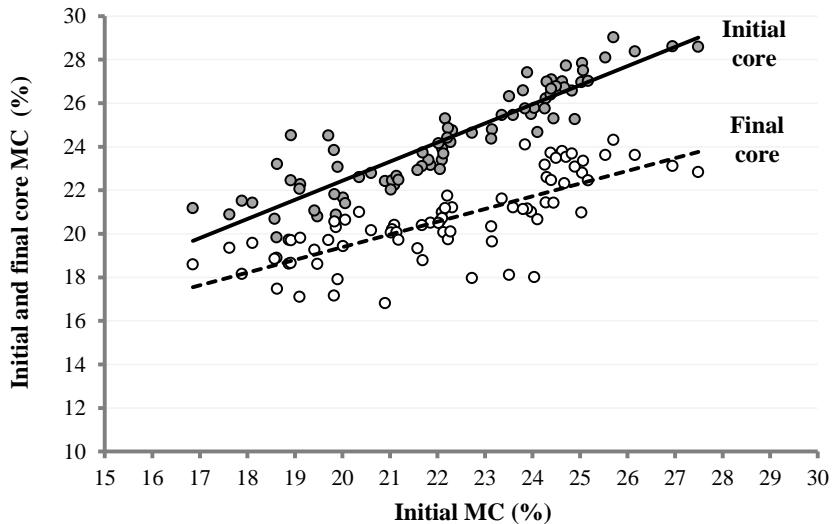
Figur 28. Total mängd avgiven fukt under 69 dygns lagring av testpaketen.

Genomsnittliga fuktflödet ut ur paketen varierar mellan 9,5 g/dygn för paketet med 18,6 % medelfuktkvot upp till närmare 43 g/dygn för paketet med 24,4 % medelfuktkvot.

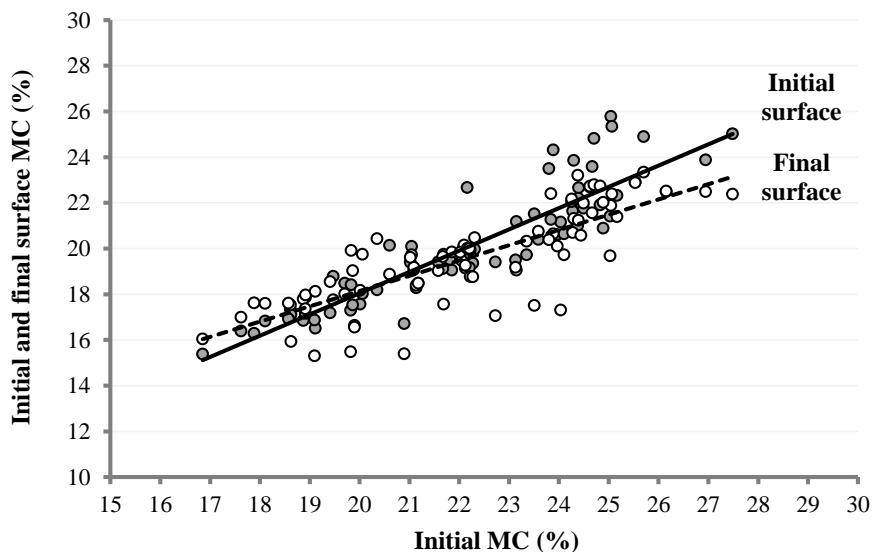


6.1 Förändringar i fuktkvotsprofil

Fuktkvotsgradienten uttryckt som skillnaden i fuktkvot mellan virkets inre delar och ytan minskade under lagringen. Minskningen beror främst på att de inre delarna av plankorna torkade. Ytan på plankor med låg initial fuktkvot fuktades upp något medan ytan på fuktigare plankor torkade. Figur 29 visar fuktkvot i plankornas inre delar före och efter lagring för alla plankor. Figur 30 visar fuktkvot i plankornas ytskikt på motvarande sätt.



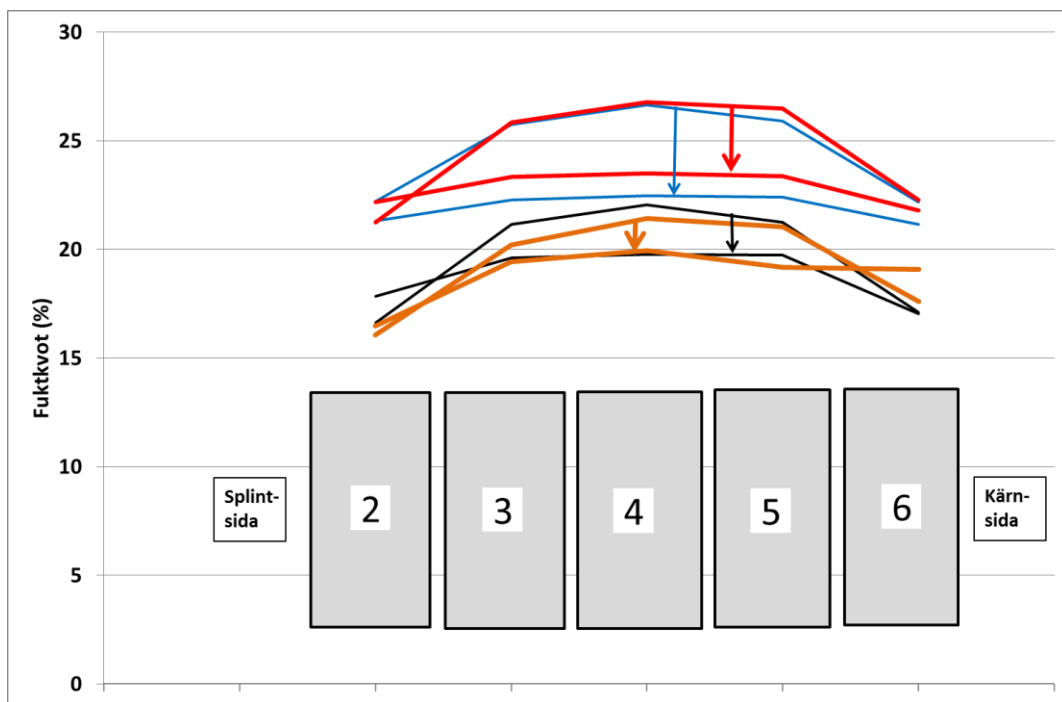
Figur 29. Virkets inre fuktkvot före och efter lagring som funktion av startfuktkvot.



Figur 30. Fuktkvot i virkets ytskikt före och efter lagring som funktion av startfuktkvot.

Fuktkvoten i virkets inre delar minskade mellan 2 % och 5 % under lagringen. Ytans fuktkvot ökade dock inte i motsvarande grad, vilket förklaras av att uttorkningen av de relativt små paketen. Om paketen hade varit täta skulle fukten bara ha omfördelats medan fuktkvoten i paketet jämnats ut. Figur 31 visar exempel på fuktkvotprofiler bestämda med torrviktsmetoden.





Figur 31. Exempel på fuktkvotsprofiler mätta med torrviktsmetoden för och efter lagring. De två övre profilerna representerar plankor från paketet med 24,4 % initial fuktkvot. De två undre profilerna plankor från paketet med 18,6 % initiell fuktkvot. Rektanglarna anger de torrviktsprover som sågats ur tvärsnittet.

Att fuktkvotsgradienten skulle minska under lagringen var väntat. Dock innebär torkningen av paketen att den avsedda slutna miljön inte uppnåtts.

Figur 31 illustrerar även effekten av att mäta medelfuktkvoten i en omkring 10 mm tjock skiva snarare än den sanna yfuktkvoten. Ytans fuktkvot är med stor sannolikhet annorlunda än skivans medelvärde, ytfukten är sannolikt lägre i det fall virket är under uttorkning och likvärdig eller högre om virket först har torkats och ytan sedan börjat fuktas upp igen.

7 Mikroskopianalys av påväxt

Efter lagringen skickades prover från alla testplankor till SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut i Borås för analys i mikroskop. Omkring 30 cm långa avkap från plankorna staplades på pall med kartong mellan varje fuktkvotsgrupp för transporten.

Besiktningen av proverna har gjorts med metodik utvecklad för skadeutredningar. Åtgärder vidtas vid nivåerna "Måttlig" eller "Riklig". Nivåerna "Ingen påväxt" och "Sparsam påväxt" föranleder ingen åtgärd om inte konstruktionen är utsatt för fukttillskott (Bok, 2012). Dessa två lägsta nivåer av mikroskopisk påväxt finns också i allt det testade materialet oavsett fuktnivå vilket tolkas som att det är normalt eller en bakgrundsnivå. I det följande räknas därför nivåerna "Ingen" eller "Måttlig" som att onormal påväxt ej sker.



Av totalt 160 prover analyserades 36 i mikroskop. Proverna valdes ut av SP och besiktigades på den flatsida som varit vänd uppåt under lagringen, se Bilaga 1. Besiktningen gjordes i två steg: först studerades hela virkesytan i 40 gångers förstoring varefter tejpavdrag gjordes på ytor med påväxt. Tejpavdragen studerades sedan i 400 gångers förstoring för att bestämma omfattningen (Bok, 2014).

Tejpavdrag gjordes även på ytor utan synlig påväxt i 40 gångers förstoring. Det saknas information om hur många prover där påväxt kunde ses redan vid 40 gångers och inte bara vid 400 gånger.

Tabell 6. Resultat från mikroskopisk analys i 400 ggr förstoring

Medelfuktkvot (%)	Förekomst sporer				Förekomst hyfer			
	Ingen	Sparsam	Måttlig	Riklig	Ingen	Sparsam	Måttlig	Riklig
18,6	8	0	0	0	6	2	0	0
20,5	5	3	0	0	7	1	0	0
22,5	6	2	0	0	6	2	0	0
24,4	2	1	2	3	3	1	1	3

Alla prover med måttlig respektive riklig påväxt kom från paketet med 24,4 % medelfuktkvot. Inom gruppen kunde dock inget klart samband mellan påväxt och fuktkvot ses. Plankorna R72 och T17 med startfuktkvoter 23,8 % respektive 24,0 % uppvisade båda Måttlig påväxt av sporer. Plankorna T62, R25 och T6 med respektive fuktkvoter 23,9 %, 24,8% och 25,1 % uppvisade Riklig påväxt.

Resultatet tyder på att påväxt påverkas både av omgivande plankor och av den enskilda individen. Sannolikt kan en plankor som ligger intill en torr plankor kan ha hög initial fuktkvot utan mögelpåväxt då fukten som transporteras ut till ytan fortsätter över till den torrare grannen, medan mögelrisken är större om två fuktiga grannar ligger intill varandra.

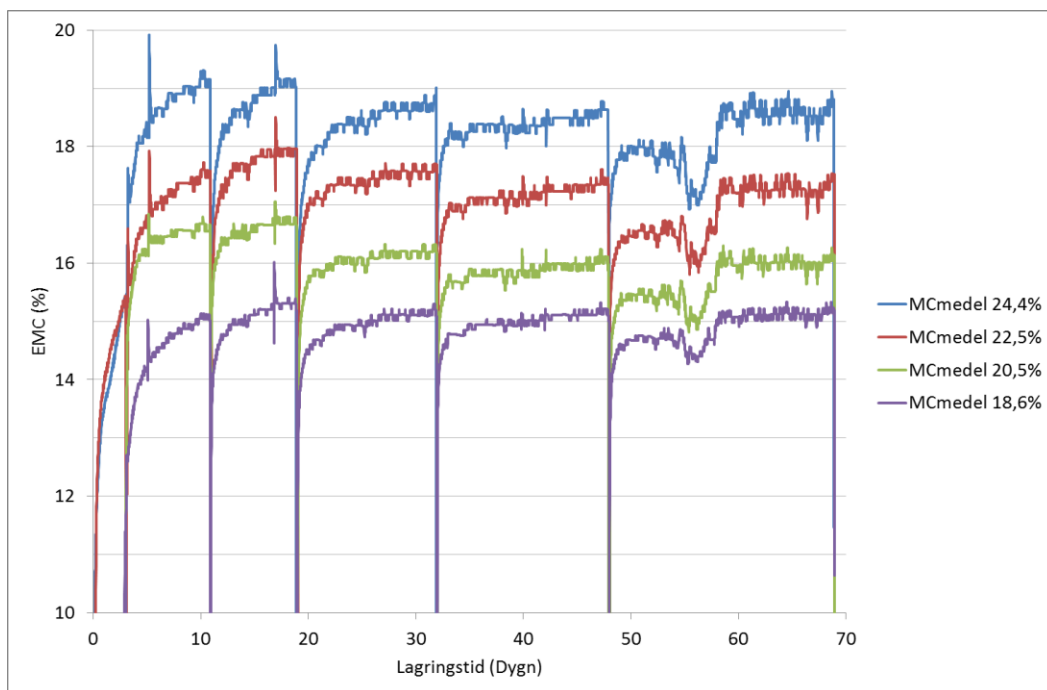
Det bör noteras att nivåerna i tabellen saknar klar koppling till de nivåer som anges i SPs föreslagna metod för fastställande av "kritisk fuktnivå (Johansson, 2014). Resultaten från denna studie på virke under lagring kan därmed inte ge direkt stöd för utvärderingen av föreslagen metod.

8 Jämförelse av klimatmätningarna med fuktkvotsmätningar

Genom att räkna om temperatur (T) och relativ luftfuktighet (RH) till motsvarande jämviktsfuktkvot (EMC) kan klimatet kopplas till virkets fuktkvot.

Platåvärdena för den beräknade EMC under lagringen varierar mellan 15 % för paketet med 18,6 % medelfuktkvot och 19 % för paketet med 24,4 % medelfuktkvot. Den jämviktsfuktkvot som motsvarar klimatet inne i paketet är alltså betydligt lägre än virkets medelfuktkvot. Figur 32 visar EMC som motsvarar det uppmätta klimatet under lagring av de fyra paketen.





Figur 32. Beräknad jämviktsfuktkvot (EMC) i de fyra paketen under lagring.

De beräknade EMC värdena ligger lägre än både virkets medelfuktkvot och ytskitens fuktkvot. EMC ligger lägre oavsett om det jämförs med hela tvärsnittens medelfuktkvot eller bara ytskitens medelfuktkvot. Skillnaden syns både i början och i slutet av lagringen, som visas i Tabell 7.

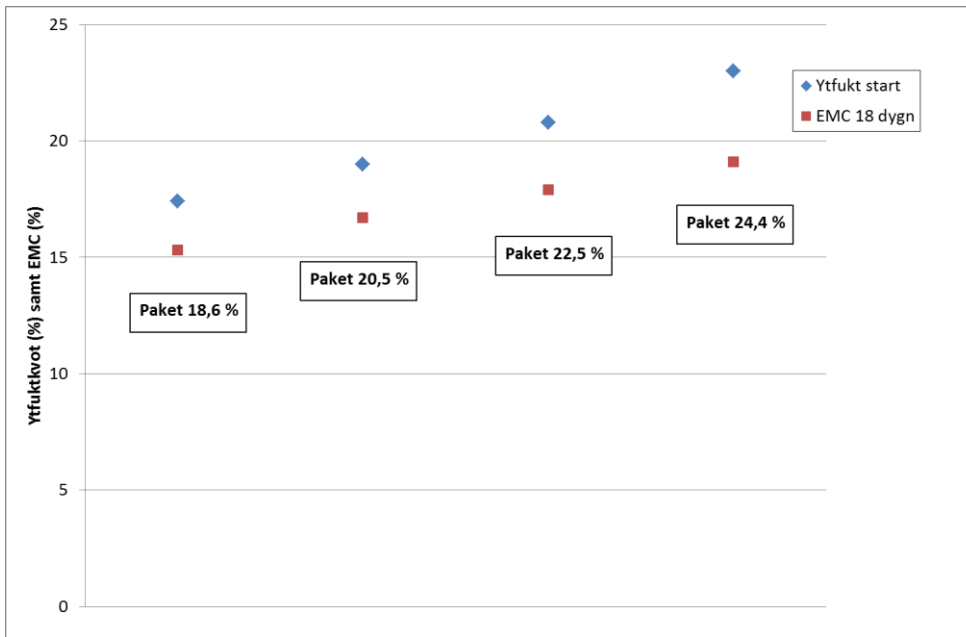
Tabell 7. Beräknad jämviktsfuktkvot (EMC) och uppmätta fuktkvoter i virket före och efter lagring.

Paket beteckning	Fuktkvot före lagring		Jämviktsfuktkvot (EMC)		Fuktkvot efter lagring	
	Tvärsnitt Medelvärde (%)	Ytfukt Medelvärde (%)	Platåvärde 18 dygn (%)	Platåvärde 65 dygn (%)	Tvärsnitt Medelvärde (%)	Ytfukt Medelvärde (%)
18,6 %	18,6	17,4	15,3	15,1	18,2	18,2
20,5 %	20,5	19,0	16,7	16,0	19,5	19,4
22,5 %	22,5	20,8	17,9	17,3	20,7	20,8
24,4 %	24,4	23,0	19,1	18,6	22,7	22,3

Den systematiska skillnaden i EMC jämfört med uppmätt medelfuktkvot i ytskiten förklaras av att torrvmätningen inte kan mäta den sanna ytfuktkvoten mätmetoden med utsågning av omkir

Den lägre EMC- nivån tyder även på att fukten som transporteras ut från virkets inre hinner diffundera ut från paketen snabbare än ny fukt tillförs, trots att paketen är inpackade i plast på fem sidor. Figur 33 visar skillnaden mellan uppmätt fuktkvot före lagring och jämviktsfuktkvoten som motsvarar det uppmätta klimatet efter 18 dygns lagring.





Figur 33. Uppmätt yfuktkvot före lagring och beräknad EMC efter 18 dygn.

Skillnaden är orsakad av att virket i paketen utsätts för torkning. Den fukt som avges från virket ventileras ut från paketet.

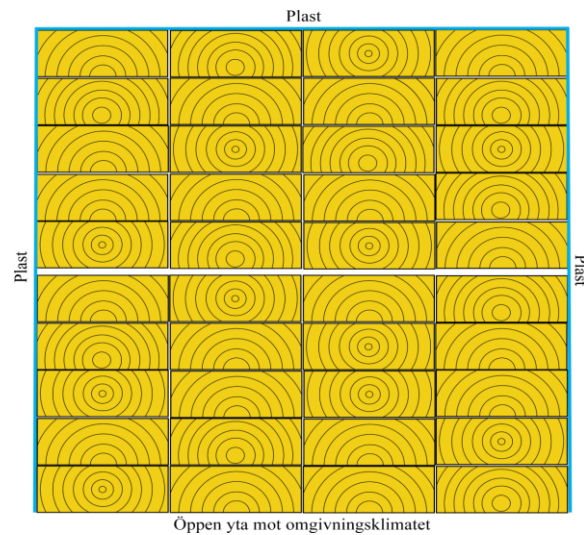
9 Utformning och anpassning av finit elementmodell

För att vidareutveckla fuktsimuleringsmodellen för virkespaket under lagring skall resultat från de fyra försökspaket som ingår i denna studie användas till att kalibrera modellen. Modellen är en tvådimensionell transient fuktmodell av virkespaketet som visas i Figur 34. Eftersom det är sannolikt att plankorna har olika fuktgradient över tvärsnitten när de plastas in så måste varje plank i modellen kunna ha olika initiala fuktkvotsgradienter.

9.1 Geometri

Virkespaketen består av 40 hyvlade plankor av dimensionen 45x125 mm, se Figur 34. De är inplastade på alla sidor utom undersidan. I paketet ligger plankorna klosslagda mot varandra utom i mitten där bindströ ger 7 mm mellanrum mellan plankorna.





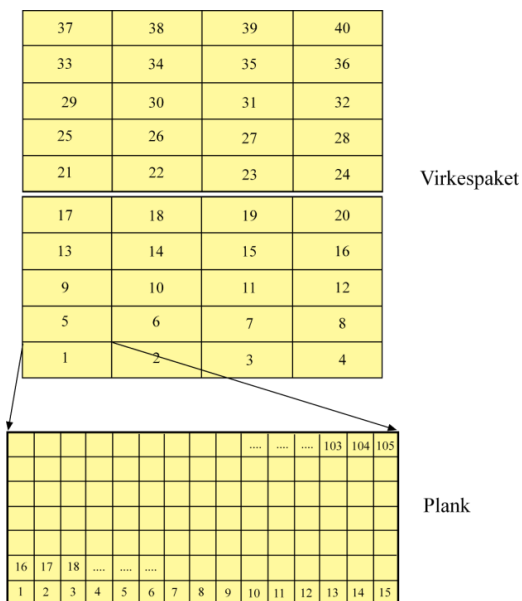
Figur 34: Virkespaketets geometri

9.2 Materialdata, initial fuktkvot och randvillkor för modellen

De diffusionskoefficienter som har använts som ingångsparametrar baseras på vetenskaplig artiklar som (Siau, 1995) (i.e. $D_{wood_Siau} = 1.35 \times 10^{-10} \text{ [m}^2\text{/s]}$) och (Sargent et al. 2010) (i.e. $D_{wood_Sargent} = 0.5 \times 10^{-10} \text{ [m}^2\text{/s]}$). Temperaturen är satt till konstant 20°C för hela simuleringstiden. För att definiera den initiala fuktkvotsgradienten i alla plankorna så har varje plank delas upp i 105 jämnstora rutor som visas i Figur 35. Alla rutorna kan tillsättas olika initial fuktkvoter för att beskriva en godtycklig initial fuktkvotsgradient över plankans tvärsnitt.

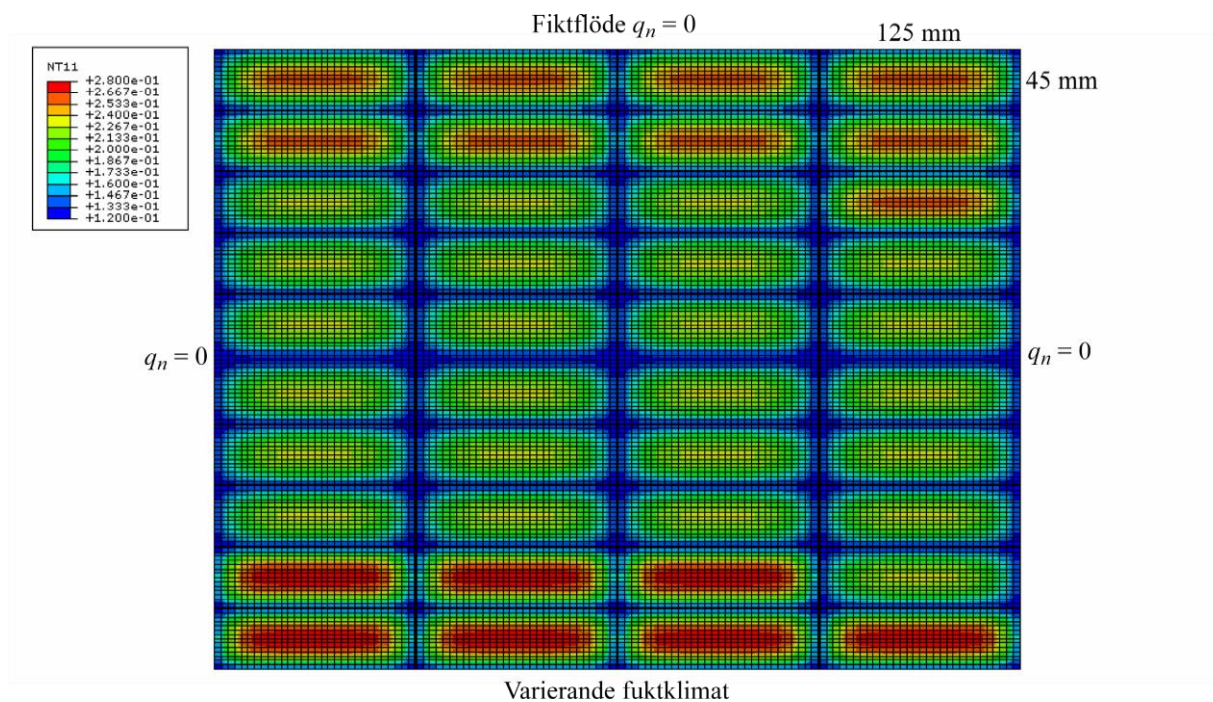
Data för att ange initial fuktfördelning ska komma från CT-scanningarna. Då resultaten från analysen fördröjts har denna anpassning ännu inte gjorts.





Figur 35: Rutmönster för att definiera initial fuktkvotsgradient i simuleringsmodellen

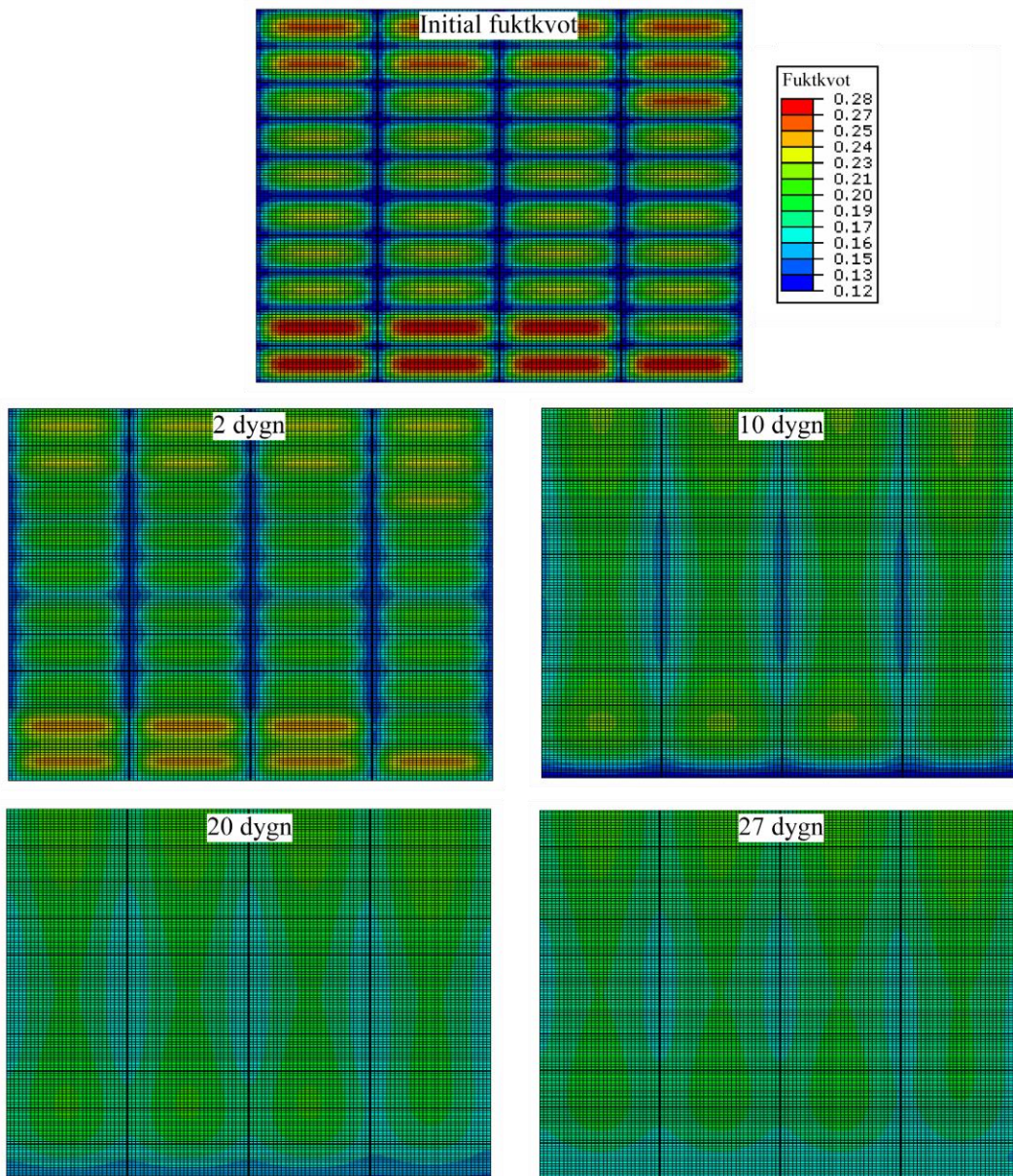
Ett exempel på initiala fuktgradienter och randvillkor som simuleringsmodellen kan betrakta visas i Figur 36.



Figur 36: Exempel på initial fuktkvotsgradient och randvillkor för simuleringsmodellen

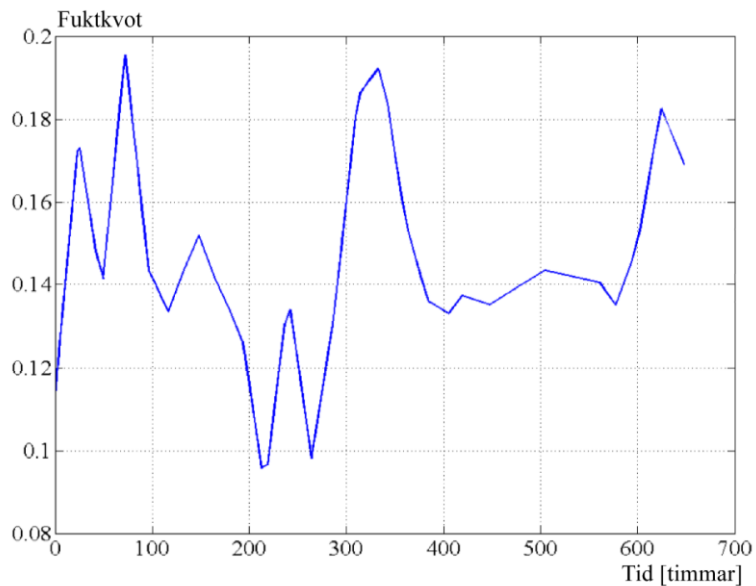
9.3 Exempel på simuleringsresultat:

Som exempel på simuleringsresultat kan man visa färgplottar över virkespaketets fuktvariation vid olika tider under lagringen. Figur 37 visar fuktkvotsvariation för fyra olika tider under lagringen.



Figur 37: Simulerad fuktvariation inom ett virkespaket för olika tider under lagringen när undersidan utsätts för omgivningsklimatvariation som visas i Figur 38.





Figur 38: Variation i omgivningsklimat runt virkespaketen.

FE-modellen som ursprungligen utvecklades för övergripande analys av industriella virkespaket har utökats för att kunna hantera virke med varierande ingångsfuktkvoter. I den nya modellen kan varje enskild plankta tilldelas olika medelfuktkvot liksom fuktprofil. Modellens geometri har anpassats till försöksupställningen i detta projekt.

Modellen har framgångsrikt testats på virkespaket med teoretisk ansatta fuktkvoter. För att kunna kalibrera fuktsimuleringsmodellen så den kan användas för att beräkna faktiska fuktförändringar i paket under lagring måste de experimentella CT-scanningsresultaten som har planerats i projektet tas fram.



10 Diskussion

Även innan kompletterande resultat från CT-scanningarna har lagts in har tydliga resultat uppnåtts.

Fyra virkessatser med medelfuktkvoter varierande från 18,6 % till 24,4 % med likartad densitet och fuktfördelning har tagits fram. Även med olika medelfuktkvot har virket haft ungefär motsvarande fuktkvotsgradienter. Paketens likartade materialegenskaper innebär därmed att studierna av fukttransport, klimat och mögelpåväxt kan antas spegla virkets fuktnivåer.

Klimatet inne i paketen under lagring styrs huvudsakligen av fuktkvoten i plankornas ytskikt. Plankornas medelfuktkvot har endast sekundär inverkan genom fukt från det inre av plankorna kan diffundera ut mot ytan och tillföra fukt till ytveden. Fukttransporten ut till ytan är långsam vilket innebär att fukttransporten från det inre och ut till ytan på ett virkesstycke som inte är inneslutet aldrig kommer att kunna ge upphov till skadliga fuktnivåer.

De studerade virkespaketens ringa storlek och manuella paketering har lett till att virket torkat märkbart under lagringen. Torkningen innebär att det skett en fukttransport ut från plankorna i paketen. Mätresultaten från torrviktsmätningarna visar att plankor i alla skikt i paketen torkat, inte bara bottenskiktet som inte varit täckt av plast.

Fukttransporten ut ur paketen förutsätter luftomsättning inne i paketen. Detta har lett till ett torrare klimat mätts upp under plasten på paketen än det som motsvarar jämvikt med virkets yta. Uppmätta värden på RH ligger alltså lägre än den RH som skulle mätts upp i det inre av fullstora paket med motsvarande fuktkvoter.

"Måttlig" eller "Riklig" mögelpåväxt efter lagring har påvisats med mikroskop i 400 gångers förstoring på ytor från det fuktigaste paketet med 24,4 % medelfuktkvot. Ytor från övriga paket med fuktkvot 22,5 % eller lägre uppvisar "Ingen" eller "Sparsam" förekomst av sporer och hyfer. Virkespaketens fuktnivåer har alltså legat både över och under gränsen för påväxt.

Klimatmätningarna visar att alla paket uppvisar inre klimat med klart högre fuktighet än RH 75 %, den gräns som i dagläget anges av Boverket som "Kritiskt fukttillstånd". Klimatmätningarna har visat att mögelpåväxt i rumstemperatur har skett vid RH över 86 %. Vid RH 83 % har påväxt ej skett. Detta trots att klimatet mätts omedelbart under plasten snarare än i det inre av paketen. Nivån för kritiskt fukttillstånd bör därmed kunna höjas minst till 85 % RH. Sannolikt är verklig nivå högre.

Resultaten från tomograferingen bekräftar bilden från torrviktsmätningar som visar att fuktkvoten inne i paketen under lagring endast långsamt jämnas ut. Fukttransporten från det inre av plankorna mot ytorna har dock i denna studie inte lett till en motsvarande uppfuktning av ytveden, vilket förklaras av att de relativt små paketen torkat mer än fullstora industriella paket.

CT-scanningen har inte gett de förväntade resultaten. För att kunna verifiera FE-modellen krävs att en kompletterande studie görs på ett virkespaket med samma tvärsnitt som de nu studerade. Vid denna studie ska mätförfarandet optimeras för att säkerställa att virkets ytfukt kan bestämmas och ge maximal upplösning och mätnoggrannhet.



11 Slutsatser

Virke från det fuktigaste av virkespaketen har uppvisat mögelpåväxt, medan virket från de tre torrare paketen inte uppvisat mögel. Detta visar att virkespaketens inre klimat har legat både över och under kritiskt fukttillstånd för påväxt i rumstemperatur.

Resultaten visar entydigt att kritiskt fukttillstånd för hyvlat granvirke ligger avsevärt högre än 75 % RH vid rumstemperatur. Resultaten visar att kritiskt fukttillstånd ligger vid 85 % RH eller högre.

Virkespaketens inre klimat mättes med loggrar placerade omedelbart under plasten. Detta har i den tidigare studien (Källander et al, 2014) visats visa ett torrare klimat än om loggrarna placerats mitt inne i paketen. Detta tyder på att kritiskt fukttillstånd kan ligga ännu högre än uppmätt 85 % RH.

Klimatet inne i paketen under lagring styrs huvudsakligen av fuktkvoten i plankornas ytskikt. Virkets medelfuktkvot har endast sekundär betydelse.

Paketens likartade materialegenskaper innebär att studierna av fukttransport, klimat och mögelpåväxt speglar virkets fuktnivåer.

En kompletterande mätning av fuktfördelningens förändring under lagring med optimerad scanningsmetodik bör genomföras snarast möjligt.



12 Referenser

Bok, Gunilla: Kommentarer till mikrobiologisk analys av byggnadsmaterial. SP utlåtande FX222948. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Borås, 2012.

Bok, Gunilla: Mikroskopibesiktning av påväxt på virke. SP utlåtande 3P09075, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Borås, 2014.

Esping, Björn: Trätorkning 2- Torkningsfel åtgärder. p73. ISBN 91-970513-6-5. Träteknik. Stockholm, 1988.

Johansson, Pernilla: Determination of the critical moisture level for mould growth on building materials. PhD thesis. Rapport TVBH.1020. ISBN 978-91-88722-52-2. LTH. Lund, 2014.

SP Fukthaltsberäknare för luft. <http://www-v2.sp.se/energy/ffi/berakningar.asp>



Kontaktperson
 Gunilla Bok
 Energiteknik
 010-516 57 78
 Gunilla.Bok@sp.se

Datum 2014-07-10
 Beteckning 3P09075

Side
 1 (2)

Arbio AB
 Att: Gunilla Beyer
 Box 55525
 102 04 STOCKHOLM

Mikroskopibesiktning av påväxt på virke

Provbitar av hyvlat granvirke hade storleken 12 x 34 cm. Den sidan av provbiten som enligt bifogad bild som var vänd uppåt i virkespaketet analyserades enligt SP Metod 3881. I det första steget av analysen besiktigades hela ytan i 40 gångers förstoring. På de ytor där mögelpåväxt kunde detekteras togs ett tejpavtryck för att i 400 gångers förstoring bestämma storleken på förekomsten.

Kunde inte någon mögelpåväxt hittas i 40 gångers förstoring togs tre slumpmässiga tejpavtryck på ytan som sedan analyserades i 400 gångers förstoring.

Prov	Mikrobiologisk förekomst	
	Hyfer	Sporer
Provnummer		
T58	Ingen	Sparsam
T116	Ingen	Ingen
T119	Ingen	Ingen
T130	Ingen	Ingen
R46	Ingen	Ingen
R119	Ingen	Sparsam
R123	Ingen	Ingen
R128	Ingen	Ingen
T18	Ingen	Ingen
T26	Sparsam	Ingen
T65	Sparsam	Sparsam
T126	Ingen	Ingen
R27	Ingen	Ingen
R1	Ingen	Ingen
R99	Sparsam	Ingen

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Postadress
 SP
 Box 857
 501 15 BORÅS

Besöksadress
 Västeråsen
 Brinellgatan 4
 504 62 BORÅS

Telefon / Fax / E-post
 010-516 50 00
 033-13 55 02
 info@sp.se

Detta dokument får endast återges i sin helhet, om inte SP i förväg skriftligen godkänt annat.



Prov	Mikrobiologisk förekomst	
	Hyfer	Sporer
Provnummer		
R57	Ingen	Ingen
T2	Sparsam	Sparsam
T10	Sparsam	Sparsam
T89	Ingen	ingen
T68	Ingen	ingen
T129	Sparsam	Sparsam
R68	Ingen	Ingen
R34	Ingen	Ingen
R79	Ingen	Ingen
R104	Ingen	Ingen
T6	Riklig	Riklig
T17	Måttlig	Sparsam
T62	Riklig	Riklig
T83	Sparsam	Ingen
R72	Måttlig	Måttlig
R85	Ingen	Ingen
R25	Riklig	Riklig
R78	Ingen	ingen

**SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
Energiteknik - Byggnadsfysik och inommiljö**

Utfört av

Granskat av

Gunilla Bok

Eva Sikander

		Top RH sensor			
TOP 18%		61	58	50	46
		64	81	116	117
		121	120	119	118
		125	124	123	122
		130	129	128	127
ROOT 18%		64	124	119	130
		46	50	58	61
		81	116	117	118
		120	121	122	123
		125	127	128	129
		Bottom RH sensor			

Figur 1:1 Placering av plankor med 18,6 % medelfuktkvot under lagringen.

		Top RH sensor			
TOP 20%		1	11	18	27
		26	42	45	53
		54	55	56	57
		59	63	65	71
		84	99	101	126
ROOT 20%		27	55	65	126
		1	11	18	26
		42	54	53	45
		56	57	59	63
		71	84	99	101
		Bottom RH sensor			

Figur 1:2 Placering av plankor med 20,5 % medelfuktkvot under lagringen.

		Top RH sensor			
TOP 22%		2	10	14	29
		32	34	35	44
		49	68	79	86
		87	88	89	90
		95	97	104	114
ROOT 22%		32	68	89	114
		2	10	14	29
		34	35	44	49
		79	86	87	88
		90	95	97	104
		Bottom RH sensor			

Figur 1:3 Placering av plankor med 22,5 % medelfuktkvot under lagringen.

		Top RH sensor			
TOP 24%		4	6	7	8
		16	17	19	25
		43	62	36	37
		66	72	76	77
		78	80	83	85
ROOT 24%		8	36	72	83
		85	4	6	7
		16	17	19	25
		37	43	62	66
		76	77	78	80
		Bottom RH sensor			

Figur 1:4 Placering av plankor med 24,4 % medelfuktkvot under lagringen.

Fuktkvotsvärden bestämda med torrviktsmetoden

Table 3:1 Initial MC values of the boards in package 18.6 %

(18%) Board #	Slices for MC			1.6m sections		MC gradient		
	Root MC%	Center MC%	Top MC%	Root MC%	Top MC%	Core MC%	Surface MC%	Diff. MC%
46	17.5	20.0	20.9	18.8	20.5	21.7	17.6	4.1
50	18.7	19.5	19.4	19.1	19.5	20.8	18.8	2.0
58	17.3	18.9	19.6	18.1	19.2	19.7	16.9	2.9
61	17.7	19.4	21.5	18.6	20.5	21.1	17.2	3.9
64	17.7	18.6	19.8	18.1	19.2	19.8	17.3	2.5
81	23.6	15.8	19.2	19.7	17.5	27.0	24.1	2.9
116	16.8	16.9	16.9	16.8	16.9	21.2	15.4	5.8
117	17.1	18.9	20.1	18.0	19.5	24.5	17.9	6.7
118	15.8	17.6	17.5	16.7	17.6	20.9	16.4	4.5
119	16.3	19.1	22.1	17.7	20.6	22.3	16.5	5.8
120	18.7	19.7	19.1	19.2	19.4	24.5	18.5	6.0
121	16.9	17.9	17.5	17.4	17.7	21.5	16.3	5.2
122	18.8	19.9	17.3	19.3	18.6	23.1	16.6	6.4
123	16.7	18.9	20.9	17.8	19.9	22.5	17.2	5.3
124	18.0	18.1	17.5	18.0	17.8	21.4	16.8	4.6
125	18.9	19.8	18.1	19.4	19.0	23.8	17.3	6.6
127	17.2	18.6	19.9	17.9	19.2	23.2	17.1	6.1
128	14.6	20.9	22.1	17.8	21.5	22.4	16.7	5.7
129	16.9	19.1	20.0	18.0	19.5	22.1	16.9	5.2
130	17.0	18.6	18.3	17.8	18.4	20.7	16.9	3.8
Mean	17.6	18.8	19.4	18.2	19.1	22.2	17.4	4.8
SD	1.8	1.2	1.6	0.8	1.2	1.8	1.7	1.4

Table 3:1. Initial MC values of the boards in package 20,5 %

(20,5 %) Board #	Slices for MC			1.6m sections		MC gradient		
	Root MC%	Center MC%	Top MC%	Root MC%	Top MC%	Core MC%	Surface MC%	Diff. MC%
1	19.4	23.1	16.7	21.3	19.9	24.8	21.2	3.6
11	19.5	21.1	20.2	20.3	20.6	22.2	19.1	3.2
18	18.2	21.9	22.3	20.1	22.1	23.2	19.1	4.1
26	18.5	19.9	21.1	19.2	20.5	20.9	17.5	3.3
27	20.2	22.1	20.9	21.1	21.5	23.4	20.1	3.3
42	21.0	22.1	20.5	21.5	21.3	23.0	19.7	3.2
45	18.0	20.4	23.0	19.2	21.7	22.6	18.2	4.4
53	16.7	21.0	21.6	18.9	21.3	22.5	20.1	2.4
54	18.4	20.6	20.3	19.5	20.5	22.8	20.1	2.7
55	18.4	20.1	21.1	19.2	20.6	21.4	18.0	3.4
56	17.9	21.8	22.2	19.8	22.0	23.4	19.5	3.9
57	21.3	22.1	19.3	21.7	20.7	23.9	19.6	4.3
59	18.6	19.8	20.9	19.2	20.3	21.8	18.4	3.4
63	18.5	22.0	23.4	20.3	22.7	24.2	19.7	4.4
65	18.3	21.7	22.4	20.0	22.1	23.1	19.1	4.0
71	20.0	21.6	20.9	20.8	21.2	22.9	19.4	3.5
84	20.6	21.0	20.6	20.8	20.8	22.0	19.4	2.6
99	19.7	21.1	21.3	20.4	21.2	22.7	18.3	4.4
101	19.6	21.2	21.4	20.4	21.3	22.5	18.5	4.0
126	16.6	26.4	17.5	21.5	21.9	20.4	16.0	4.3
Mean	19.0	21.5	20.9	20.3	21.2	22.7	19.1	3.6
SD	1.3	1.4	1.6	0.9	0.7	1.1	1.1	0.6



Table 2:3 Initial MC values of the boards in packages labeled 22,5%

(22,5%)	Slices for MC			1.6m sections		MC gradient		
Board #	Root MC%	Center MC%	Top MC%	Root MC%	Top MC%	Core MC%	Surface MC%	Diff. MC%
2	19.8	24.0	23.0	21.9	23.5	25.5	20.6	4.9
10	19.7	23.4	23.8	21.5	23.6	25.5	19.7	5.7
14	20.1	24.3	24.4	22.2	24.3	26.2	21.6	4.6
29	18.7	23.6	25.1	21.1	24.3	25.5	20.4	5.1
32	21.6	22.3	23.1	22.0	22.7	24.8	20.0	4.8
34	19.6	24.1	23.2	21.9	23.6	24.7	20.6	4.0
35	23.8	23.9	20.9	23.8	22.4	27.4	24.3	3.1
44	22.9	24.4	21.2	23.7	22.8	25.3	22.0	3.3
49	22.0	23.8	23.3	22.9	23.5	26.6	23.5	3.1
68	19.3	22.2	26.4	20.7	24.3	25.3	22.7	2.6
79	21.3	22.1	23.1	21.7	22.6	23.7	19.1	4.5
86	21.1	22.2	24.6	21.7	23.4	24.9	19.9	4.9
87	20.4	23.1	22.9	21.8	23.0	24.4	19.5	4.9
88	21.5	22.3	23.4	21.9	22.8	24.2	19.4	4.9
89	22.3	22.2	23.2	22.2	22.7	24.4	19.2	5.3
90	22.2	21.7	23.2	21.9	22.5	23.7	19.7	4.0
95	21.1	22.7	23.0	21.9	22.9	24.6	19.4	5.2
97	22.3	23.5	23.7	22.9	23.6	26.3	21.5	4.8
104	18.9	24.0	23.4	21.5	23.7	25.8	21.2	4.6
114	18.4	25.0	24.0	21.7	24.5	27.0	21.4	5.6
Mean	20.9	23.2	23.4	22.0	23.3	25.3	20.8	4.5
SD	1.5	1.0	1.2	0.8	0.7	1.0	1.5	0.9

Table 3:4 Initial MC values of the boards in package labeled 24,4%

(24,4%)	Slices for MC			1.6m sections		MC gradient		
Board #	Root MC%	Center MC%	Top MC%	Root MC%	Top MC%	Core MC%	Surface MC%	Diff. MC%
4	22.5	25.0	25.9	23.8	25.5	27.8	25.8	2.1
6	21.4	26.2	27.8	23.8	27.0	28.4	22.5	5.9
7	24.3	26.9	28.5	25.6	27.7	28.6	23.9	4.7
8	23.8	25.2	24.1	24.5	24.6	27.0	22.3	4.7
16	21.8	24.9	24.5	23.3	24.7	25.3	20.9	4.4
17	23.7	24.4	24.1	24.0	24.2	27.1	22.7	4.4
19	20.5	24.4	26.0	22.5	25.2	26.4	21.0	5.4
25	23.7	25.5	25.3	24.6	25.4	28.1	22.9	5.2
36	23.1	24.6	25.4	23.9	25.0	27.0	22.7	4.3
37	23.1	24.3	23.4	23.7	23.9	25.8	22.1	3.7
43	22.3	24.7	24.0	23.5	24.4	27.7	24.8	2.9
62	21.2	23.8	26.7	22.5	25.3	25.8	21.3	4.5
66	24.4	27.5	24.9	25.9	26.2	28.6	25.0	3.6
72	19.8	24.8	26.7	22.3	25.8	26.6	21.9	4.7
76	24.5	25.7	26.0	25.1	25.8	29.0	24.9	4.1
77	24.7	24.7	23.5	24.7	24.1	26.7	23.6	3.1
78	27.0	24.3	23.5	25.7	23.9	27.0	23.9	3.1
80	21.5	24.5	25.7	23.0	25.1	26.8	21.8	5.0
83	24.4	25.1	22.9	24.7	24.0	27.5	25.3	2.2
85	24.3	24.4	22.6	24.4	23.5	26.7	22.2	4.5
Mean	23.1	25.0	25.1	24.1	25.1	27.2	23.1	4.1
SD	1.7	0.9	1.6	1.1	1.1	1.0	1.5	1.0



Table 3:5 Final MC values in package 18,6%

(18,6%) Board #	1.6m section		Root gradient		Top gradient	
	Root MC%	Top MC%	Core MC%	Surface MC%	Core MC%	Surface MC%
46	18.1	18.9	19.2	17.7	19.7	18.6
50	18.7	18.9	18.4	17.8	18.8	17.7
58	18.0	18.4	18.6	17.8		
61	17.9	18.9	18.9	18.2	19.6	18.9
64	17.2	18.7	18.7	16.8	19.1	18.2
81	19.3	19.3	19.9	19.3	20.5	19.6
116	17.7	18.0	18.6	16.0		
117	18.3	18.7	19.4	18.0	20.0	17.9
118	17.2	17.9	18.6	16.6	20.1	17.4
119	18.4	18.8	19.5	18.3	20.1	18.0
120	17.9	19.3	19.0	17.2	20.5	18.8
121	17.0	19.2	17.0	16.7	19.3	18.5
122	17.2	18.1	17.9	16.6		
123	16.5	18.6	17.3	15.9	20.0	18.9
124	18.4	18.9	19.2	17.4	19.9	17.8
125	15.3	18.3	15.1	13.9	19.2	17.1
127	14.3	18.4	15.0	14.2	20.0	17.7
128	13.6	18.8	13.8	12.7	19.8	18.1
129	13.7	18.5	14.4	13.2	19.8	17.4
130	18.1	18.1	18.6	17.4	19.1	17.8
Mean	17.1	18.6	17.9	16.6	19.7	18.2
SD	1.7	0.4	1.8	1.8	0.5	0.7

Table 3:6 Final MC values in package 20,5%

(20,5%) Board #	1.6m section		Root gradient		Top gradient	
	Root MC%	Top MC%	Core MC%	Surface MC%	Core MC%	Surface MC%
1	18.7	19.7			19.6	19.1
11	18.8	19.8			20.4	19.2
18	18.7	20.0			20.5	19.8
26	17.4	19.2			20.3	19.0
27	19.1	20.1			21.0	20.0
42	18.4	19.5			20.6	19.5
45	17.1	20.1			21.0	20.4
53	17.8	19.6			20.2	19.7
54	18.5	19.3			20.2	18.9
55	18.3	19.6			20.6	19.7
56	17.4	20.2				
57	17.4	19.7			20.7	20.1
59	16.7	19.8			20.6	19.9
63	16.4	20.3			20.5	19.8
65	18.4	19.9			20.4	19.6
71	15.0	19.3			19.3	19.0
84	14.5	19.7			20.1	19.6
99	13.9	20.7			20.1	18.4
101	13.5	19.0			19.7	18.5
126	17.2	17.4			18.9	17.0
Mean	17.2	19.7			20.3	19.3
SD	1.7	0.7			0.5	0.8



Table 3:7: Final MC values in package 22,5%

(22,5%) Board #	1.6m section		Root gradient		Top gradient	
	Root MC%	Top MC%	Core MC%	Surface MC%	Core MC%	Surface MC%
2	19.6	20.5	20.3	19.6	21.7	20.6
10	20.2	20.9	21.2	20.0	22.1	20.6
14	20.6	20.8	21.4	20.3	21.5	21.1
29	19.7	20.7	20.7	20.4	21.7	21.2
32	19.9	20.8	20.6	19.4	21.8	21.5
34	19.1	21.3	19.2	18.2	22.1	21.2
35	20.0	21.0	20.4	19.6	22.0	21.7
44	20.1	21.0	20.9	20.4	21.9	20.8
49	19.4	21.1	20.1	19.5	22.1	21.3
68	18.4	20.8	20.7	19.3	21.7	20.7
79	17.8	20.5	18.2	17.5	22.0	21.1
86	18.0	20.5	18.3	17.3	21.2	20.2
87	18.0	20.5	18.8	17.7	21.9	20.6
88	17.9	21.0	18.2	17.2	22.0	20.3
89	20.5	20.9	21.6	19.7	21.9	20.3
90	15.0	20.2	16.0	15.0	21.5	20.2
95	13.9	20.0	14.7	13.8	21.3	20.4
97	14.2	18.9	14.7	14.0	21.5	21.0
104	14.4	20.6	14.7	13.9	21.4	20.7
114	20.3	20.5	20.9	19.5	21.0	19.8
Mean	18.4	20.6	19.1	18.1	21.7	20.8
SD	2.2	0.5	2.3	2.3	0.3	0.5

Table 3:8 Final MC values in packages that were labeled 24,4%

(24,4%) Board #	1.6m section		Root gradient		Top gradient	
	Root MC%	Top MC%	Core MC%	Surface MC%	Core MC%	Surface MC%
4	22.2	22.4			22.8	21.9
6	46.7	22.7			23.6	22.5
7	21.9	22.6			23.1	22.5
8		22.6			22.5	21.4
16	21.0	22.3			23.1	22.0
17	21.8	23.1				
19	21.5	22.9			23.7	23.2
25	20.9	22.7			23.6	22.9
36	22.4	22.8			23.8	22.7
37	19.5	22.3			23.2	22.2
43	19.9	22.7			23.5	22.8
62	19.7	23.6			24.1	22.4
66	19.4	22.7			22.8	22.4
72	21.7	22.9			23.7	22.7
76	16.0	23.4			24.3	23.3
77	15.3	22.1			22.3	21.6
78	15.2	22.4			22.6	21.3
80	15.3	22.6			23.5	22.0
83	21.8	22.5			23.4	22.4
85	21.5	22.0			22.5	21.2
Mean	21.2	22.7			23.3	22.3
SD	6.6	0.4			0.6	0.6



CT-scanner data for analyzed planks

Bilaga 4

Table 3: Calculated 15 by 7 MC values for piece 34 top

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	MC for piece 34 top , SCAN 1														
7	17.7	19.2	20.2	20.3	20.5	20.7	20.1	19.4	19.6	20.7	22.0	22.1	22.0	21.8	21.6
6	18.9	20.3	21.1	21.4	21.9	22.2	22.2	21.9	22.2	22.8	23.4	23.2	22.7	22.5	22.5
5	19.4	20.6	21.2	21.6	22.3	22.8	22.8	22.8	23.0	23.5	23.8	23.4	22.6	22.2	22.4
4	19.9	20.8	21.4	22.0	22.7	23.0	23.1	23.2	23.4	23.7	23.8	23.4	22.7	22.2	22.2
3	20.1	20.9	21.8	22.4	22.8	23.2	23.4	23.4	23.5	23.7	23.6	23.4	22.8	22.2	21.8
2	19.5	20.9	22.2	22.8	23.1	23.4	23.6	23.8	23.8	23.7	23.5	23.4	23.1	22.4	21.5
1	17.8	19.9	21.7	22.4	22.5	22.7	23.3	23.5	23.4	23.1	22.7	22.5	22.4	21.6	20.3
	MC for piece 34 top , SCAN 2														
7	19.7	19.7	19.9	19.9	20.1	20.8	21.0	20.3	20.1	21.2	22.2	22.0	21.8	22.1	22.7
6	20.1	20.4	20.8	20.9	21.5	22.2	22.3	22.2	22.2	22.9	23.5	23.1	22.6	22.7	23.0
5	20.0	20.4	20.7	21.1	21.8	22.5	22.7	22.7	22.9	23.5	24.0	23.4	22.5	22.2	22.6
4	20.0	20.2	20.6	21.3	22.1	22.6	22.8	22.9	23.2	23.8	24.0	23.4	22.5	22.1	22.2
3	19.6	20.0	20.6	21.4	22.2	22.7	23.0	23.1	23.4	23.7	23.7	23.3	22.7	22.1	21.9
2	19.4	20.1	21.0	21.7	22.3	22.8	23.3	23.5	23.6	23.7	23.4	23.1	22.9	22.4	21.7
1	18.3	19.6	20.9	21.5	21.9	22.3	22.8	23.1	23.1	23.0	22.5	22.2	22.4	21.8	20.6
	MC for piece 34 top , SCAN 3														
7	18.8	19.5	19.9	20.0	20.1	20.4	20.0	19.3	19.3	20.4	21.5	21.5	21.5	22.0	22.5
6	19.7	20.4	20.8	21.0	21.5	21.9	21.8	21.6	21.7	22.4	22.9	22.5	22.2	22.3	22.8
5	19.9	20.5	20.9	21.3	21.9	22.3	22.3	22.4	22.6	23.0	23.2	22.8	22.1	22.0	22.3
4	20.2	20.8	21.1	21.6	22.2	22.6	22.6	22.7	22.9	23.2	23.2	22.8	22.2	21.8	22.0
3	20.6	21.1	21.7	22.2	22.6	22.8	22.9	23.0	23.1	23.2	23.0	22.8	22.4	21.9	21.6
2	20.1	21.3	22.3	22.8	23.0	23.2	23.4	23.5	23.5	23.4	23.1	22.9	22.8	22.2	21.3
1	17.9	20.2	22.0	22.5	22.6	22.7	23.1	23.3	23.1	22.7	22.3	22.2	22.3	21.6	20.2
	MC for piece 34 top , SCAN 4														
7	17.5	18.9	19.7	19.8	20.0	20.6	20.4	19.7	19.6	20.6	21.6	21.6	21.6	22.0	22.7
6	18.9	20.0	20.6	20.8	21.3	21.9	21.9	21.6	21.7	22.5	23.0	22.6	22.2	22.4	22.8
5	19.5	20.2	20.6	21.0	21.7	22.2	22.3	22.2	22.5	23.0	23.4	22.8	22.2	22.0	22.3
4	19.7	20.4	20.9	21.4	22.0	22.4	22.5	22.5	22.8	23.2	23.4	22.9	22.2	21.7	21.9
3	19.8	20.6	21.3	21.8	22.2	22.6	22.8	22.8	22.9	23.2	23.2	22.8	22.3	21.8	21.5
2	19.3	20.8	21.9	22.4	22.7	22.9	23.1	23.2	23.2	23.2	23.0	22.8	22.7	22.0	20.9
1	17.3	19.9	21.7	22.2	22.3	22.5	22.7	22.8	22.7	22.5	22.0	21.9	22.0	21.2	19.2
	MC for piece 34 top , SCAN 5														
7	19.8	19.9	20.2	20.0	19.9	20.4	20.4	19.6	19.2	20.1	21.1	21.1	21.1	21.6	22.2
6	20.0	20.5	20.9	20.9	21.2	21.7	21.9	21.5	21.5	22.1	22.5	22.2	21.8	22.1	22.6
5	20.2	20.6	20.9	21.0	21.6	22.2	22.2	22.2	22.2	22.6	22.8	22.3	21.7	21.7	22.2
4	21.3	21.4	21.4	21.5	22.0	22.3	22.4	22.3	22.5	22.8	22.8	22.5	21.9	21.5	21.7
3	22.0	22.3	22.4	22.4	22.5	22.6	22.7	22.7	22.8	22.8	22.8	22.4	22.1	21.6	21.5
2	21.2	22.4	23.3	23.4	23.1	23.1	23.2	23.3	23.2	23.0	22.8	22.5	22.5	22.1	21.5
1	19.0	21.0	22.8	23.2	22.9	22.8	23.0	23.1	22.7	22.3	21.9	21.7	22.0	21.7	20.9
	MC for piece 34 top , SCAN 6														
7	18.5	19.1	19.8	19.9	20.0	20.2	19.9	18.9	18.7	19.9	21.1	20.9	20.8	21.8	22.6
6	19.4	19.9	20.4	20.7	21.0	21.6	21.7	21.2	21.3	22.1	22.6	21.9	21.6	22.2	22.8
5	19.7	20.1	20.4	20.8	21.3	21.9	22.2	22.0	22.2	22.8	22.9	22.2	21.7	21.9	22.2
4	20.3	20.4	20.7	21.0	21.5	22.1	22.2	22.2	22.5	22.9	23.0	22.5	21.9	21.6	21.7
3	20.4	20.8	21.1	21.5	21.9	22.2	22.3	22.6	22.8	23.0	23.0	22.6	22.1	21.6	21.5
2	20.1	21.0	21.7	22.1	22.3	22.6	22.8	23.1	23.2	23.2	22.8	22.5	22.4	21.9	21.1
1	18.6	20.3	21.7	22.0	22.3	22.4	22.7	22.9	22.8	22.5	21.8	21.5	21.9	21.3	19.8



Table 4: Calculated 15 by 7 MC values for piece 45 top

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
MC for piece 45 top , SCAN 1															
7	19.0	19.6	19.8	20.1	20.6	21.3	21.6	21.2	20.6	19.8	18.9	18.1	17.7	17.1	16.1
6	19.3	19.9	20.6	21.1	21.7	22.1	22.1	21.9	21.5	21.2	20.6	19.8	19.1	18.4	17.5
5	18.7	19.6	20.7	21.5	22.1	22.3	22.3	22.1	21.8	21.6	21.3	20.6	19.7	18.7	17.8
4	18.4	19.6	21.0	21.9	22.5	22.7	22.7	22.6	22.3	22.0	21.7	21.2	20.1	18.9	17.9
3	17.8	19.5	21.1	22.0	22.7	23.2	23.4	23.3	22.8	22.4	22.1	21.5	20.4	18.9	17.9
2	17.4	19.4	21.1	22.1	23.0	23.6	24.0	24.0	23.4	22.7	22.1	21.6	20.4	18.9	18.2
1	16.8	18.7	20.3	21.3	22.4	23.3	24.0	23.8	22.8	21.9	21.3	20.9	19.8	18.4	18.2
MC for piece 45 top , SCAN 2															
7	19.7	19.5	19.3	19.6	20.5	20.9	20.4	20.2	20.2	19.6	18.9	18.7	18.6	18.3	17.5
6	19.9	19.9	20.2	20.7	21.4	21.5	21.4	21.2	21.1	20.8	20.4	19.9	19.4	19.0	18.5
5	19.2	19.6	20.4	21.1	21.5	21.7	21.6	21.5	21.4	21.2	20.9	20.4	19.6	19.0	18.5
4	18.7	19.5	20.7	21.4	21.9	22.1	22.1	22.1	21.8	21.5	21.4	20.9	20.0	19.1	18.6
3	18.2	19.6	20.8	21.5	22.1	22.6	22.7	22.7	22.3	22.0	21.7	21.2	20.2	19.2	18.7
2	18.1	19.8	20.9	21.7	22.5	23.0	23.3	23.3	22.8	22.3	21.9	21.4	20.4	19.4	19.2
1	17.9	19.2	20.2	21.1	21.9	22.5	22.8	22.8	22.3	21.7	21.2	20.6	19.7	18.9	18.9
MC for piece 45 top , SCAN 3															
7	18.8	19.0	19.1	19.5	20.3	20.8	20.5	20.5	20.2	19.4	18.7	18.6	18.6	18.3	17.2
6	19.1	19.5	20.1	20.7	21.2	21.5	21.4	21.3	21.1	20.7	20.2	19.8	19.4	18.9	18.2
5	18.7	19.4	20.4	21.0	21.4	21.6	21.6	21.4	21.3	21.0	20.8	20.3	19.5	18.9	18.4
4	18.5	19.5	20.7	21.4	21.8	22.1	22.1	22.0	21.7	21.4	21.3	20.8	19.9	19.0	18.7
3	18.1	19.5	20.8	21.5	22.1	22.6	22.7	22.6	22.2	21.8	21.5	21.1	20.1	19.2	18.8
2	17.3	19.5	20.9	21.8	22.5	23.0	23.4	23.3	22.7	22.1	21.7	21.2	20.3	19.4	19.1
1	15.2	18.3	20.1	21.0	21.9	22.6	23.2	23.1	22.3	21.6	21.0	20.4	19.6	18.6	18.3
MC for piece 45 top , SCAN 4															
7	18.6	19.0	19.3	19.6	20.1	20.6	21.0	20.7	20.2	19.6	18.8	18.2	18.1	18.1	18.0
6	18.9	19.4	20.1	20.5	21.0	21.3	21.4	21.2	20.9	20.7	20.1	19.5	19.1	18.8	18.4
5	18.4	19.3	20.1	20.8	21.2	21.4	21.4	21.2	21.0	20.8	20.6	20.1	19.4	18.8	18.2
4	18.1	19.4	20.5	21.1	21.5	21.8	21.8	21.6	21.4	21.2	21.0	20.6	19.7	18.8	18.2
3	17.9	19.4	20.7	21.4	22.0	22.3	22.4	22.3	22.0	21.6	21.4	20.9	20.0	18.8	18.2
2	17.6	19.4	20.7	21.6	22.3	22.9	23.3	23.2	22.6	22.0	21.5	21.1	20.1	18.9	18.3
1	16.6	18.6	19.9	20.9	21.9	22.7	23.4	23.2	22.2	21.4	20.8	20.4	19.4	18.3	17.6
MC for piece 45 top , SCAN 5															
7	18.7	19.0	19.2	19.5	19.9	20.5	20.8	20.6	20.2	19.6	18.7	18.2	18.2	18.1	17.9
6	19.0	19.4	20.0	20.4	20.8	21.1	21.2	21.1	20.9	20.6	20.1	19.4	19.1	18.7	18.1
5	18.7	19.3	20.1	20.7	21.1	21.2	21.2	21.1	20.9	20.7	20.5	20.0	19.3	18.7	17.8
4	18.5	19.4	20.4	21.0	21.4	21.6	21.6	21.4	21.3	21.0	20.8	20.4	19.6	18.7	17.8
3	18.2	19.4	20.6	21.3	21.8	22.1	22.2	22.1	21.8	21.4	21.2	20.7	19.8	18.6	17.7
2	17.8	19.4	20.7	21.5	22.2	22.8	23.2	23.0	22.4	21.8	21.4	21.0	20.0	18.6	17.7
1	16.3	18.5	20.0	20.9	21.9	22.6	23.3	22.9	22.0	21.2	20.7	20.4	19.3	17.8	17.0
MC for piece 45 top , SCAN 6															
7	19.0	19.0	18.9	19.0	19.7	20.5	20.8	20.6	20.2	19.5	18.7	18.3	18.3	18.1	17.4
6	19.2	19.4	19.8	20.1	20.7	21.0	21.1	21.0	20.8	20.5	20.0	19.4	19.1	18.7	18.1
5	18.7	19.2	19.9	20.5	20.9	21.1	21.1	20.9	20.7	20.6	20.3	19.8	19.2	18.7	18.1
4	18.4	19.3	20.2	20.8	21.2	21.4	21.4	21.4	21.1	20.8	20.7	20.3	19.5	18.7	18.1
3	18.1	19.3	20.4	21.1	21.6	22.0	22.1	22.0	21.6	21.3	21.1	20.7	19.8	18.7	18.1
2	18.1	19.4	20.6	21.4	22.1	22.5	22.8	22.7	22.2	21.7	21.4	20.9	20.0	18.7	18.2
1	17.5	18.8	19.8	20.7	21.6	22.2	22.6	22.5	21.8	21.2	20.7	20.3	19.3	18.0	17.5



Table 5: Calculated 15 by 7 MC values for piece 72 top

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
MC for piece 72 Top , SCAN 1															
7	22.9	22.4	22.5	23.0	23.5	23.7	23.7	23.9	24.0	23.8	23.6	23.5	23.4	23.6	24.1
6	23.8	23.5	23.7	24.2	24.7	24.9	24.9	24.8	24.8	24.7	24.7	24.6	24.7	25.3	26.2
5	23.9	23.8	24.0	24.4	24.8	25.2	25.3	25.1	25.0	24.9	24.7	24.7	24.8	25.6	26.7
4	23.7	23.9	24.2	24.6	24.9	25.3	25.5	25.5	25.4	25.2	24.8	24.7	24.7	25.5	26.6
3	22.8	23.4	24.1	24.5	24.7	25.2	25.7	26.0	25.8	25.4	24.8	24.5	24.4	25.0	25.7
2	21.0	22.6	23.7	24.2	24.6	25.0	25.8	26.2	26.1	25.4	24.8	24.2	24.0	24.2	24.6
1	17.9	20.7	22.3	22.9	23.4	24.0	24.7	25.1	25.0	24.5	23.8	22.9	22.5	22.5	22.6
MC for piece 72 Top , SCAN 2															
7	23.6	22.7	22.6	23.1	23.6	23.8	23.6	23.4	23.8	24.0	23.6	22.6	21.3	20.4	20.4
6	24.0	23.8	23.7	24.0	24.5	24.7	24.7	24.5	24.6	24.7	24.3	23.6	22.7	21.8	21.5
5	24.0	24.0	24.0	24.2	24.5	24.7	24.8	24.7	24.7	24.6	24.2	23.5	22.7	22.0	21.9
4	24.0	24.0	24.2	24.4	24.6	24.8	25.1	25.1	24.9	24.7	24.2	23.4	22.7	22.0	22.0
3	23.6	23.9	24.2	24.4	24.5	24.8	25.3	25.4	25.2	24.7	24.1	23.4	22.7	22.2	22.3
2	22.2	23.2	23.9	24.2	24.5	24.8	25.3	25.5	25.4	24.9	24.2	23.5	22.9	22.5	22.7
1	19.6	21.3	22.6	23.0	23.4	23.9	24.3	24.5	24.6	24.2	23.4	22.6	22.0	21.5	21.7
MC for piece 72 Top , SCAN 3															
7	23.3	22.7	22.9	23.4	24.2	24.2	23.7	23.1	23.1	22.6	21.9	21.8	21.4	20.8	20.7
6	23.5	23.4	23.6	24.1	24.7	25.0	24.7	24.2	24.1	23.9	23.1	22.8	22.6	22.1	22.4
5	23.2	23.2	23.4	23.9	24.4	24.9	24.9	24.7	24.4	24.1	23.4	23.0	22.7	22.5	22.7
4	23.0	23.3	23.5	23.8	24.2	24.8	25.1	24.9	24.7	24.3	23.7	23.2	22.7	22.5	22.7
3	22.3	23.2	23.8	24.0	24.3	24.7	25.2	25.2	24.9	24.5	23.9	23.3	22.7	22.5	22.6
2	20.8	22.7	23.7	24.1	24.5	24.8	25.3	25.4	25.3	24.7	24.0	23.4	22.9	22.7	22.4
1	18.1	20.9	22.5	23.2	23.6	24.1	24.5	24.9	24.9	24.1	23.3	22.6	22.0	21.5	20.8
MC for piece 72 Top , SCAN 4															
7	23.9	23.0	23.0	23.4	23.9	23.7	22.6	21.7	22.1	22.4	22.0	21.9	21.8	21.4	21.4
6	24.0	23.4	23.5	24.0	24.5	24.6	24.0	23.4	23.4	23.5	23.0	22.8	22.8	22.8	23.3
5	23.4	23.1	23.3	23.6	24.1	24.6	24.5	24.1	24.0	23.7	23.2	22.8	22.8	23.0	23.7
4	23.2	23.2	23.4	23.5	24.0	24.5	24.7	24.7	24.4	24.0	23.4	23.0	22.9	23.1	23.7
3	22.8	23.3	23.5	23.8	24.0	24.5	24.9	25.0	24.7	24.4	23.7	23.2	22.9	23.0	23.5
2	22.4	23.1	23.6	24.0	24.2	24.6	25.0	25.2	25.1	24.7	24.0	23.4	23.0	23.0	23.1
1	21.2	21.8	22.4	22.9	23.4	23.7	24.2	24.4	24.4	24.1	23.4	22.6	22.1	21.8	21.4
MC for piece 72 Top , SCAN 5															
7	23.3	22.4	22.2	22.7	23.3	23.4	23.1	22.2	22.2	22.5	22.3	22.2	21.8	21.1	21.1
6	23.7	23.4	23.4	23.7	24.1	24.3	24.1	23.7	23.6	23.6	23.4	23.3	22.8	22.6	22.7
5	23.6	23.4	23.5	23.7	24.0	24.3	24.4	24.1	24.0	23.9	23.5	23.2	22.8	22.8	23.2
4	23.6	23.6	23.7	23.8	24.0	24.3	24.7	24.6	24.3	24.0	23.6	23.2	22.7	22.8	23.2
3	23.2	23.4	23.7	23.8	24.0	24.3	24.7	24.9	24.6	24.1	23.7	23.1	22.7	22.7	23.0
2	22.2	22.9	23.5	23.8	24.0	24.3	24.9	25.3	25.1	24.5	23.9	23.3	22.8	22.7	22.6
1	20.2	21.4	22.3	22.7	23.1	23.5	24.2	24.8	24.7	24.0	23.3	22.5	21.9	21.4	20.7
MC for piece 72 Top , SCAN 6															
7	22.4	22.1	22.0	22.4	22.8	23.0	22.5	21.5	21.6	22.2	22.3	22.1	21.9	21.9	23.0
6	23.4	23.2	23.1	23.4	23.7	23.9	23.7	23.3	23.3	23.4	23.3	23.1	22.8	22.9	23.7
5	23.5	23.4	23.4	23.4	23.6	23.9	24.0	23.8	23.7	23.5	23.3	23.0	22.8	23.0	23.6
4	23.7	23.5	23.5	23.6	23.7	24.0	24.2	24.2	24.0	23.6	23.3	22.9	22.7	22.9	23.5
3	23.2	23.3	23.4	23.5	23.7	24.0	24.5	24.6	24.3	23.8	23.3	22.8	22.6	22.8	23.4
2	22.2	22.7	23.2	23.5	23.7	24.0	24.7	24.9	24.7	24.0	23.4	22.8	22.5	22.7	23.5
1	20.1	21.1	22.0	22.5	22.8	23.2	23.8	24.1	23.9	23.4	22.6	21.9	21.4	21.6	22.4



Table 6: Calculated 15 by 7 MC values for piece 117 root

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
MC for piece 117 root , SCAN 1															
7	17.4	18.1	18.5	18.4	18.1	17.4	17.0	18.2	19.6	20.8	21.9	21.6	19.6	17.7	17.5
6	18.7	19.4	20.0	20.1	19.8	19.4	19.3	20.2	21.5	22.7	23.1	22.4	20.7	19.1	18.4
5	18.9	19.5	20.3	20.6	20.3	20.2	20.1	20.7	22.1	23.0	22.9	22.0	20.4	19.2	18.4
4	19.4	19.6	20.4	20.8	20.4	20.3	20.5	21.1	22.3	23.1	22.7	21.5	20.3	19.4	18.7
3	19.8	19.3	19.8	20.3	20.2	20.3	20.5	21.1	22.0	22.6	22.1	21.2	20.4	20.0	19.5
2	19.3	19.0	19.4	19.8	19.9	20.2	20.6	20.7	21.0	21.4	21.3	21.1	21.0	20.7	20.2
1	17.2	17.7	18.4	18.6	18.7	19.2	19.6	18.9	18.6	18.9	19.4	19.7	20.2	20.0	19.1
MC for piece 117 root , SCAN 2															
7	17.9	17.9	18.0	18.0	17.8	17.3	16.9	17.8	18.9	20.0	20.9	20.5	19.0	18.0	18.4
6	19.0	19.2	19.6	19.7	19.4	19.1	18.9	19.4	20.5	21.4	21.9	21.3	20.1	18.9	18.7
5	18.9	19.4	20.0	20.1	19.8	19.5	19.4	19.8	20.8	21.5	21.5	20.9	19.8	18.9	18.3
4	18.6	19.3	20.0	20.2	19.8	19.5	19.5	20.0	21.0	21.5	21.3	20.5	19.7	19.0	18.6
3	17.9	18.6	19.4	19.8	19.6	19.4	19.6	20.1	20.8	21.3	21.0	20.3	19.8	19.4	18.9
2	17.7	18.4	19.0	19.5	19.5	19.6	19.8	20.1	20.5	20.9	20.7	20.3	20.2	19.8	19.2
1	16.9	17.5	18.0	18.5	18.5	18.6	18.9	18.8	18.9	19.1	19.1	19.2	19.3	18.8	17.7
MC for piece 117 root , SCAN 3															
7	18.1	18.3	18.1	17.6	17.3	16.6	16.0	17.4	19.0	20.6	21.7	21.1	19.5	17.9	17.9
6	19.1	19.4	19.4	19.2	18.8	18.6	18.3	19.2	20.6	21.9	22.3	21.6	20.2	18.8	18.5
5	18.8	19.4	19.6	19.5	19.2	19.0	18.9	19.4	20.7	21.7	21.8	21.0	19.7	18.7	18.1
4	18.0	18.9	19.5	19.6	19.3	19.1	19.1	19.6	20.8	21.5	21.2	20.4	19.5	18.9	18.3
3	16.8	17.9	18.9	19.4	19.2	19.1	19.2	19.7	20.6	21.2	20.8	20.2	19.6	19.4	18.8
2	16.8	17.6	18.3	19.0	19.1	19.2	19.4	19.7	20.3	20.5	20.4	20.3	20.2	19.9	19.4
1	17.4	17.4	17.6	18.0	17.8	18.2	18.6	18.5	18.6	18.8	19.1	19.5	19.6	19.0	18.1
MC for piece 117 root , SCAN 4															
7	18.3	18.0	18.1	18.3	18.0	17.5	17.3	18.1	18.9	20.2	21.3	20.7	19.0	17.7	18.0
6	19.1	19.2	19.5	19.6	19.4	18.9	18.7	19.4	20.4	21.6	22.1	21.4	20.0	18.8	18.6
5	18.7	19.2	19.8	19.9	19.4	19.1	18.9	19.4	20.5	21.5	21.6	20.8	19.7	18.7	18.3
4	17.9	19.0	19.8	19.9	19.4	19.0	19.0	19.4	20.6	21.4	21.2	20.3	19.5	19.0	18.6
3	16.7	18.5	19.4	19.5	19.1	18.9	19.1	19.4	20.3	21.1	20.9	20.2	19.8	19.5	19.3
2	16.7	18.3	19.1	19.3	19.1	19.2	19.4	19.4	19.8	20.3	20.4	20.3	20.3	20.2	19.6
1	16.5	17.5	18.0	18.2	18.3	18.6	18.6	18.2	17.7	18.2	18.8	19.4	19.7	19.3	18.2
MC for piece 117 root , SCAN 5															
7	19.0	18.2	18.1	18.0	17.7	17.3	16.9	17.8	18.7	20.0	21.1	20.6	19.0	17.6	17.2
6	19.4	19.3	19.4	19.3	19.0	18.6	18.4	19.0	20.1	21.2	21.8	21.2	19.9	18.7	18.2
5	18.9	19.2	19.5	19.4	19.0	18.7	18.6	19.0	20.1	21.1	21.2	20.6	19.5	18.6	18.2
4	18.5	19.0	19.4	19.4	18.9	18.7	18.6	19.1	20.1	20.9	20.8	20.1	19.4	18.8	18.5
3	18.0	18.6	19.1	19.2	18.7	18.6	18.7	19.1	19.9	20.5	20.4	19.9	19.4	19.3	18.9
2	18.2	18.6	18.9	19.0	18.8	18.8	19.1	19.2	19.4	19.9	20.0	20.0	20.0	19.8	19.2
1	17.5	17.7	18.0	18.1	18.0	18.2	18.3	17.9	17.6	17.9	18.4	18.9	19.4	19.0	17.8
MC for piece 117 root , SCAN 6															
7	18.0	17.6	17.7	17.7	17.6	17.2	16.9	17.4	17.9	19.0	20.2	20.1	18.8	17.5	16.7
6	19.0	19.0	19.2	19.1	18.8	18.5	18.3	18.6	19.5	20.5	21.2	20.8	19.7	18.6	17.9
5	18.7	19.0	19.3	19.3	18.8	18.6	18.3	18.6	19.6	20.5	20.7	20.3	19.4	18.6	18.1
4	17.9	18.7	19.3	19.2	18.6	18.4	18.3	18.6	19.6	20.4	20.3	19.7	19.1	18.7	18.5
3	16.6	18.0	18.7	18.8	18.4	18.2	18.4	18.7	19.5	20.2	20.1	19.5	19.3	19.2	19.1
2	16.6	17.7	18.4	18.6	18.4	18.3	18.6	18.7	19.3	19.8	19.8	19.6	19.8	19.8	19.5
1	16.6	17.1	17.4	17.6	17.4	17.4	17.6	17.6	17.8	18.2	18.5	18.7	19.1	19.0	18.2

Table 7: Calculated 15 by 7 MC values for piece 2 top

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
MC for piece 2 top , SCAN 1															
7	22.1	21.0	20.7	20.7	20.6	20.3	19.7	19.8	20.7	21.1	21.3	20.7	20.0	19.3	18.3
6	22.2	22.0	21.9	21.9	21.9	22.1	22.0	22.1	22.3	22.3	22.3	22.0	21.3	20.6	19.9
5	21.6	21.8	21.9	21.9	22.2	22.5	22.7	22.8	22.6	22.5	22.4	22.1	21.5	20.8	20.2
4	21.4	21.7	21.9	22.0	22.3	22.8	22.9	22.9	22.9	22.8	22.5	22.2	21.7	20.9	20.3
3	21.2	21.7	21.9	22.2	22.6	22.9	23.0	23.0	23.0	22.9	22.7	22.3	21.7	20.9	20.2
2	20.9	21.7	22.1	22.5	22.9	23.1	23.1	23.1	23.2	23.1	22.9	22.3	21.6	20.8	20.1
1	19.6	20.7	21.4	22.0	22.3	22.3	22.1	22.1	22.3	22.2	22.0	21.2	20.3	19.6	19.3
MC for piece 2 top , SCAN 2															
7	22.4	21.2	20.7	20.6	20.5	20.6	20.0	20.0	20.6	21.1	21.3	20.8	20.1	19.5	18.6
6	22.2	21.9	21.7	21.7	21.7	21.9	22.0	21.9	22.0	22.1	22.3	21.9	21.2	20.6	19.9
5	21.4	21.6	21.7	21.6	21.7	22.2	22.3	22.3	22.3	22.2	22.1	21.8	21.3	20.6	20.0
4	21.1	21.4	21.5	21.6	21.9	22.3	22.4	22.3	22.3	22.3	22.1	21.7	21.4	20.6	20.0
3	21.1	21.3	21.4	21.7	22.1	22.4	22.5	22.5	22.5	22.5	22.2	21.8	21.5	20.6	19.9
2	20.8	21.3	21.6	22.1	22.6	22.8	22.8	22.8	22.7	22.7	22.3	21.9	21.4	20.6	19.9
1	18.9	20.1	20.9	21.7	22.1	22.2	22.0	21.9	21.9	21.7	21.4	20.8	20.1	19.5	19.0
MC for piece 2 top , SCAN 3															
7	21.3	20.3	20.1	20.4	20.3	20.2	20.0	20.1	20.7	21.1	21.3	20.7	19.9	19.3	19.1
6	21.9	21.6	21.5	21.5	21.4	21.6	21.7	21.9	21.9	21.9	22.0	21.7	20.9	20.3	19.9
5	21.4	21.5	21.5	21.5	21.5	21.8	22.1	22.2	22.0	21.9	21.7	21.5	21.0	20.3	19.9
4	21.2	21.4	21.4	21.5	21.7	22.0	22.3	22.2	22.1	22.0	21.7	21.5	21.1	20.5	19.8
3	21.1	21.2	21.2	21.5	21.8	22.2	22.3	22.3	22.3	22.1	21.8	21.6	21.4	20.5	19.6
2	20.5	21.1	21.3	21.7	22.1	22.4	22.6	22.5	22.4	22.3	22.1	21.9	21.5	20.5	19.6
1	18.5	19.7	20.4	20.9	21.5	21.8	21.8	21.7	21.5	21.3	21.3	21.0	20.2	19.3	18.6
MC for piece 2 top , SCAN 4															
7	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.1	20.0	20.1	20.3	20.6	20.7	20.3	19.8	19.4	18.8
6	21.3	21.4	21.4	21.3	21.3	21.5	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7	21.4	20.9	20.4	19.9
5	21.1	21.3	21.4	21.3	21.4	21.7	21.9	22.0	21.9	21.7	21.6	21.4	20.9	20.3	19.9
4	20.8	21.2	21.3	21.3	21.6	21.8	22.0	22.0	22.0	21.8	21.6	21.3	20.9	20.3	19.9
3	20.5	21.1	21.3	21.5	21.7	22.0	22.2	22.1	22.1	22.0	21.7	21.3	20.9	20.3	19.8
2	19.9	21.0	21.5	21.9	22.2	22.3	22.4	22.4	22.3	22.2	21.8	21.3	20.8	20.2	19.7
1	18.1	20.0	20.9	21.4	21.7	21.6	21.6	21.6	21.4	21.3	20.9	20.3	19.5	18.9	18.4
MC for piece 2 top , SCAN 5															
7	21.3	20.3	20.0	20.0	19.9	19.9	20.0	20.2	20.4	20.7	20.9	20.4	19.6	19.3	19.3
6	21.7	21.4	21.3	21.2	21.1	21.4	21.7	21.7	21.7	21.6	21.7	21.4	20.7	20.3	20.0
5	21.1	21.3	21.2	21.1	21.2	21.6	21.8	21.9	21.7	21.6	21.5	21.2	20.8	20.2	19.8
4	20.9	21.1	21.1	21.1	21.4	21.7	21.9	21.9	21.8	21.7	21.4	21.2	20.9	20.2	19.6
3	20.8	21.1	21.1	21.3	21.6	21.9	22.0	22.0	21.9	21.8	21.6	21.3	21.0	20.2	19.4
2	20.2	21.0	21.2	21.6	22.0	22.2	22.3	22.3	22.2	22.0	21.8	21.4	20.9	20.1	19.3
1	17.8	19.6	20.5	21.0	21.4	21.6	21.7	21.5	21.3	21.1	20.9	20.3	19.6	18.9	18.3
MC for piece 2 top , SCAN 6															
7	22.1	20.7	20.2	20.1	20.0	20.0	19.4	19.6	20.3	20.8	21.0	20.3	19.4	18.9	18.6
6	22.0	21.6	21.3	21.1	21.1	21.3	21.4	21.5	21.7	21.7	21.7	21.3	20.6	20.0	19.7
5	21.3	21.4	21.2	21.1	21.1	21.5	21.7	21.8	21.7	21.6	21.5	21.2	20.7	20.0	19.7
4	21.1	21.2	21.1	21.1	21.2	21.6	21.7	21.8	21.7	21.7	21.4	21.1	20.7	20.0	19.6
3	20.9	21.1	21.1	21.2	21.5	21.7	21.8	21.9	21.9	21.8	21.6	21.2	20.8	20.1	19.5
2	20.3	21.1	21.4	21.7	22.0	22.1	22.1	22.1	22.1	22.0	21.8	21.3	20.8	20.2	19.8
1	18.4	20.0	20.7	21.3	21.6	21.4	21.2	21.1	21.2	21.2	21.0	20.4	19.7	19.3	19.2



Table 8: Calculated 15 by 7 MC values for piece 18 top

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
MC for piece 18 top , SCAN 1															
7	19.7	20.1	20.5	20.5	20.1	19.4	19.1	19.5	19.5	19.3	18.9	18.2	17.4	17.2	17.3
6	19.8	20.7	21.5	21.7	21.4	21.0	20.9	21.1	20.9	20.5	19.9	19.3	18.7	18.3	18.5
5	19.7	20.5	21.4	21.8	21.8	21.8	21.8	21.9	21.7	21.0	20.3	19.7	19.1	18.9	19.0
4	19.6	20.2	21.0	21.6	22.0	22.3	22.5	22.6	22.3	21.6	20.6	20.0	19.6	19.4	19.5
3	19.5	19.8	20.5	21.3	22.1	22.6	22.7	22.9	22.7	22.0	21.1	20.2	19.7	19.7	20.0
2	19.7	19.8	20.5	21.3	22.0	22.6	22.9	23.2	22.9	22.3	21.3	20.3	19.7	19.8	20.2
1	19.4	19.4	19.9	20.6	21.2	21.7	22.1	22.5	22.3	21.8	20.8	19.5	18.7	18.9	19.1
MC for piece 18 top , SCAN 2															
7	17.9	19.5	20.2	20.1	19.9	19.5	19.1	19.4	19.6	19.2	18.7	18.0	17.2	16.6	15.8
6	19.1	20.4	21.2	21.3	21.2	20.9	20.7	20.9	20.7	20.2	19.7	19.0	18.4	18.1	18.0
5	19.4	20.3	21.0	21.3	21.4	21.5	21.5	21.6	21.3	20.6	19.8	19.2	18.8	18.6	18.7
4	19.5	19.9	20.5	21.2	21.6	21.9	22.1	22.1	21.9	21.2	20.2	19.5	19.1	19.0	19.2
3	19.5	19.7	20.2	21.0	21.7	22.1	22.4	22.5	22.3	21.6	20.6	19.7	19.3	19.5	19.9
2	19.8	19.7	20.2	21.0	21.8	22.2	22.6	22.8	22.6	22.0	21.1	20.1	19.6	19.8	20.4
1	19.7	19.5	19.6	20.3	21.0	21.5	22.0	22.5	22.2	21.7	20.8	19.6	19.0	19.1	19.3
MC for piece 18 top , SCAN 3															
7	18.9	19.5	20.1	20.0	19.7	19.4	18.9	19.2	19.5	19.4	19.0	18.3	17.4	17.0	17.0
6	19.7	20.5	21.1	21.2	21.1	20.8	20.5	20.6	20.6	20.2	19.7	19.0	18.4	18.2	18.3
5	19.6	20.3	21.0	21.2	21.3	21.3	21.3	21.3	21.2	20.5	19.7	19.1	18.7	18.5	18.7
4	19.5	19.9	20.5	21.1	21.5	21.8	21.9	21.9	21.7	21.0	20.1	19.4	19.0	19.0	19.1
3	19.5	19.6	20.1	20.9	21.6	22.0	22.3	22.4	22.2	21.5	20.5	19.7	19.2	19.4	19.7
2	19.7	19.7	20.1	20.9	21.7	22.2	22.6	22.7	22.5	21.9	21.0	20.0	19.5	19.7	20.0
1	19.3	19.2	19.5	20.2	20.9	21.5	21.9	22.2	21.9	21.4	20.7	19.5	18.8	18.9	18.8
MC for piece 18 top , SCAN 4															
7	19.4	19.8	20.1	20.0	19.7	19.2	18.8	19.2	19.4	18.9	18.4	17.8	17.0	16.4	16.1
6	19.6	20.4	21.0	21.1	20.9	20.5	20.4	20.5	20.5	19.9	19.4	18.8	18.2	17.9	18.0
5	19.3	20.1	20.8	21.1	21.2	21.1	21.1	21.2	21.0	20.3	19.6	19.0	18.6	18.4	18.6
4	19.2	19.7	20.4	20.9	21.2	21.5	21.7	21.8	21.5	20.8	19.9	19.2	18.9	18.9	19.0
3	19.3	19.4	19.9	20.6	21.3	21.8	22.0	22.1	21.9	21.3	20.4	19.6	19.1	19.3	19.8
2	19.7	19.6	19.8	20.6	21.4	21.9	22.3	22.6	22.4	21.8	20.9	19.8	19.3	19.7	20.4
1	19.6	19.2	19.3	19.9	20.6	21.1	21.8	22.1	21.9	21.5	20.6	19.4	18.7	18.9	19.4
MC for piece 18 top , SCAN 5															
7	19.3	19.6	20.0	20.0	19.8	19.3	18.9	19.3	19.5	19.3	18.9	18.1	17.1	16.7	16.3
6	19.7	20.3	20.9	21.0	20.8	20.5	20.4	20.5	20.5	20.0	19.5	18.8	18.2	17.9	17.9
5	19.4	20.1	20.7	21.0	21.0	21.0	21.1	21.2	20.9	20.2	19.5	19.0	18.5	18.3	18.5
4	19.3	19.7	20.3	20.8	21.2	21.4	21.6	21.7	21.4	20.6	19.8	19.2	18.9	18.8	19.0
3	19.1	19.4	19.8	20.6	21.3	21.7	21.9	22.0	21.8	21.2	20.3	19.5	19.0	19.2	19.7
2	19.0	19.2	19.7	20.6	21.4	21.9	22.2	22.4	22.1	21.5	20.6	19.7	19.2	19.5	20.0
1	17.9	18.5	19.1	19.9	20.7	21.2	21.7	21.9	21.5	21.0	20.2	19.1	18.5	18.7	19.0
MC for piece 18 top , SCAN 6															
7	20.4	19.9	19.8	19.7	19.5	19.1	18.8	19.2	19.4	19.2	18.7	17.9	17.1	16.6	16.1
6	20.0	20.4	20.8	20.9	20.7	20.4	20.3	20.4	20.3	19.8	19.3	18.7	18.1	17.8	17.8
5	19.6	20.1	20.6	20.9	20.9	20.9	21.0	21.0	20.7	20.0	19.3	18.8	18.3	18.3	18.5
4	19.5	19.7	20.2	20.6	21.1	21.3	21.4	21.5	21.2	20.5	19.7	19.0	18.7	18.7	19.1
3	19.2	19.3	19.7	20.5	21.2	21.6	21.8	21.9	21.7	21.0	20.1	19.3	19.0	19.1	19.7
2	18.8	19.1	19.7	20.5	21.3	21.8	22.1	22.3	22.1	21.5	20.6	19.7	19.1	19.4	19.9
1	17.1	18.2	19.1	20.0	20.7	21.2	21.7	21.9	21.6	21.1	20.3	19.3	18.7	18.7	18.7



Table 9: Calculated 15 by 7 MC values for piece 80 top

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
MC for piece 80 top , SCAN 1															
7	21.4	22.8	23.6	23.5	23.0	22.5	22.4	23.1	23.1	22.4	21.7	21.3	21.0	20.5	20.1
6	23.4	24.3	24.5	24.5	24.4	24.3	24.4	24.9	24.8	24.0	23.5	23.2	22.8	22.4	22.2
5	23.9	24.3	24.3	24.3	24.5	24.6	24.9	25.4	25.2	24.3	23.9	23.6	23.1	22.8	22.6
4	24.1	24.2	24.0	24.1	24.3	24.6	24.9	25.4	25.1	24.4	24.1	23.8	23.3	22.9	22.8
3	24.1	23.9	23.8	23.9	24.2	24.3	24.8	25.2	24.9	24.3	24.0	23.7	23.2	22.8	22.7
2	24.3	23.8	23.8	23.9	24.1	24.3	24.8	25.1	24.8	24.3	23.9	23.6	23.2	22.8	22.7
1	23.2	22.7	22.6	22.7	23.0	23.2	23.6	23.8	23.8	23.2	22.7	22.2	22.0	21.7	21.8
MC for piece 80 top , SCAN 2															
7	24.4	23.8	23.6	23.4	23.0	22.4	22.4	22.9	22.9	22.4	21.9	21.5	20.8	20.5	20.9
6	25.4	25.0	24.6	24.3	24.3	24.0	24.1	24.5	24.3	23.8	23.3	22.9	22.3	22.0	22.1
5	25.6	25.3	24.6	24.2	24.2	24.2	24.3	24.8	24.5	23.8	23.5	23.0	22.5	22.1	22.1
4	26.4	25.6	24.8	24.3	24.3	24.2	24.3	24.7	24.4	23.8	23.5	23.1	22.6	22.3	22.1
3	26.7	25.7	25.0	24.6	24.3	24.2	24.3	24.5	24.2	23.6	23.3	23.1	22.6	22.3	22.1
2	26.2	25.3	25.0	24.9	24.6	24.4	24.5	24.6	24.2	23.6	23.3	23.1	22.8	22.3	22.1
1	24.2	23.4	23.6	23.8	23.8	23.6	23.6	23.6	23.2	22.7	22.2	21.9	21.6	21.3	20.8
MC for piece 80 top , SCAN 3															
7	23.8	23.5	23.5	23.2	22.8	22.7	23.0	23.2	22.7	22.1	22.1	22.0	21.6	21.0	20.0
6	24.8	24.7	24.4	24.3	24.1	24.1	24.3	24.7	24.3	23.7	23.4	23.1	22.6	22.2	21.7
5	24.9	24.8	24.3	24.0	24.0	24.1	24.3	24.8	24.6	23.8	23.5	23.1	22.5	22.1	21.8
4	25.3	24.9	24.3	24.0	24.0	24.0	24.3	24.8	24.4	23.8	23.4	23.1	22.6	22.1	21.9
3	25.4	24.8	24.3	24.1	24.0	24.0	24.3	24.6	24.3	23.6	23.3	23.0	22.5	22.1	21.8
2	25.1	24.5	24.3	24.3	24.2	24.3	24.6	24.8	24.3	23.8	23.4	23.1	22.6	22.2	21.8
1	23.2	22.9	23.2	23.3	23.2	23.5	23.8	23.8	23.5	23.0	22.5	22.0	21.5	21.0	20.7
MC for piece 80 top , SCAN 4															
7	22.2	22.9	23.0	22.7	22.6	22.2	22.2	22.7	22.8	22.2	21.5	21.0	20.6	20.4	20.5
6	24.1	24.3	24.1	23.9	23.9	23.8	23.9	24.3	24.2	23.5	23.0	22.6	22.1	21.9	21.9
5	24.6	24.4	24.0	23.8	24.0	24.0	24.1	24.6	24.3	23.6	23.3	22.8	22.3	22.0	22.0
4	24.9	24.5	24.0	23.8	23.9	23.9	24.1	24.4	24.0	23.4	23.3	22.9	22.4	22.1	22.0
3	25.0	24.4	23.8	23.7	23.8	23.8	23.9	24.1	23.6	23.2	23.2	22.9	22.4	22.0	21.9
2	24.7	24.1	23.8	23.7	23.5	23.5	23.8	23.8	23.5	23.1	23.0	22.8	22.3	22.0	21.8
1	22.7	22.5	22.7	22.7	22.3	22.1	22.2	22.6	22.6	22.1	21.7	21.4	21.1	20.7	20.4
MC for piece 80 top , SCAN 5															
7	23.2	23.2	23.2	23.0	22.7	22.5	22.7	23.2	22.8	22.0	21.6	21.5	21.0	20.3	19.6
6	24.3	24.3	24.1	23.9	23.9	23.8	24.1	24.5	24.2	23.4	23.0	22.8	22.3	21.8	21.4
5	24.2	24.1	23.8	23.7	23.8	23.8	24.1	24.6	24.3	23.5	23.2	22.8	22.3	21.9	21.8
4	24.4	23.9	23.5	23.4	23.6	23.7	24.0	24.5	24.2	23.5	23.2	22.9	22.4	21.9	21.8
3	24.6	23.8	23.3	23.3	23.3	23.5	23.9	24.3	23.9	23.3	23.2	22.8	22.3	21.9	21.8
2	24.6	23.7	23.4	23.5	23.5	23.7	24.1	24.3	24.0	23.5	23.2	22.8	22.4	22.0	21.8
1	23.1	22.4	22.4	22.6	22.7	22.9	23.2	23.3	23.1	22.6	22.1	21.7	21.3	20.9	20.4
MC for piece 80 top , SCAN 6															
7	23.9	23.2	23.0	22.8	22.6	22.2	22.3	22.7	22.7	22.1	21.6	21.4	21.1	20.9	21.0
6	24.3	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8	23.9	24.3	24.1	23.3	22.9	22.6	22.3	22.0	22.1
5	23.6	23.3	23.3	23.4	23.7	23.8	24.0	24.5	24.1	23.3	23.1	22.8	22.3	21.9	21.9
4	23.4	23.1	23.0	23.3	23.5	23.7	24.0	24.3	23.8	23.3	23.2	22.8	22.3	21.9	21.8
3	23.7	23.2	22.9	22.9	23.2	23.4	23.8	24.0	23.3	22.9	23.0	22.8	22.2	21.8	21.5
2	23.9	23.3	23.0	22.9	22.8	23.2	23.8	23.8	23.3	22.8	22.8	22.6	22.1	21.6	21.2
1	22.5	22.0	22.0	21.9	21.6	21.7	22.3	22.6	22.3	21.7	21.4	21.0	20.6	20.0	19.4



Table 10: Calculated 15 by 7 MC values for piece 58 root

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
MC for piece 58 root , SCAN 1															
7	17.8	17.7	17.9	18.4	18.5	17.3	15.5	14.7	15.6	17.7	18.6	18.4	18.4	18.3	17.8
6	17.3	17.7	18.2	18.7	18.5	17.4	15.2	14.0	14.9	17.2	18.4	18.5	18.5	18.5	18.3
5	16.6	17.7	18.5	18.7	18.5	17.4	15.2	13.6	14.4	16.7	18.2	18.6	18.6	18.5	18.5
4	16.1	17.6	18.4	18.6	18.5	17.7	15.8	14.3	14.8	16.6	18.1	18.7	18.6	18.4	18.3
3	15.9	17.4	18.1	18.3	18.5	18.1	16.9	16.0	16.4	17.3	18.2	18.7	18.6	18.4	18.2
2	15.8	17.3	17.8	18.1	18.4	18.5	18.2	18.5	18.9	18.9	18.9	18.9	18.8	18.8	18.9
1	16.2	17.6	17.9	18.2	18.7	18.8	19.2	20.5	21.5	20.5	19.6	19.1	19.1	19.4	19.8
MC for piece 58 root , SCAN 2															
7	16.3	17.4	18.1	18.7	18.5	17.3	16.4	16.3	16.6	18.0	18.7	18.7	18.8	19.1	19.6
6	16.8	17.7	18.3	18.7	18.3	17.2	15.9	15.5	15.9	17.4	18.4	18.7	18.7	18.9	19.2
5	16.8	17.9	18.7	18.8	18.4	17.4	15.7	15.0	15.4	16.9	18.2	18.7	18.6	18.7	18.9
4	16.4	17.9	18.7	18.9	18.6	17.7	16.0	15.3	15.7	16.8	18.1	18.7	18.6	18.5	18.6
3	16.1	17.8	18.5	18.7	18.7	18.2	17.2	16.7	17.1	17.5	18.3	18.7	18.6	18.5	18.5
2	15.9	17.9	18.4	18.5	18.8	18.7	18.4	18.8	19.4	19.1	18.9	18.8	18.8	18.9	18.9
1	15.9	18.4	18.8	18.8	19.0	19.0	19.4	20.6	21.8	21.0	19.6	19.0	19.1	19.6	20.1
MC for piece 58 root , SCAN 3															
7	18.2	18.1	18.4	18.9	18.8	17.9	17.4	17.3	16.8	17.8	18.6	18.8	18.9	18.9	18.9
6	17.5	18.1	18.6	18.8	18.4	17.4	16.5	16.3	16.2	17.3	18.4	18.8	18.7	18.8	18.8
5	17.1	18.1	18.9	18.9	18.3	17.0	15.5	15.4	15.7	16.7	18.2	18.8	18.7	18.6	18.7
4	16.8	18.1	18.9	18.9	18.5	17.3	15.5	15.3	15.8	16.6	18.1	18.7	18.6	18.4	18.3
3	16.6	18.1	18.8	18.9	18.7	18.0	16.6	16.6	17.0	17.4	18.2	18.8	18.7	18.5	18.1
2	17.2	18.4	18.7	18.8	18.9	18.7	18.2	18.6	19.2	19.0	18.9	18.9	18.9	19.0	18.8
1	18.5	19.4	19.2	19.0	19.2	19.1	19.4	20.4	21.5	21.1	20.0	19.4	19.5	20.0	20.4
MC for piece 58 root , SCAN 4															
7	18.2	17.7	18.0	18.6	18.5	17.4	16.3	15.9	16.4	18.1	18.8	18.6	18.5	18.6	18.7
6	17.4	17.8	18.3	18.7	18.4	17.4	15.8	15.1	15.7	17.4	18.6	18.7	18.6	18.7	18.7
5	16.8	17.9	18.6	18.8	18.4	17.3	15.4	14.4	15.1	16.8	18.3	18.8	18.7	18.7	18.6
4	16.4	17.8	18.7	18.8	18.6	17.5	15.7	14.7	15.1	16.6	18.1	18.8	18.7	18.6	18.4
3	16.2	17.7	18.4	18.6	18.6	18.1	16.7	16.2	16.6	17.3	18.2	18.7	18.7	18.6	18.4
2	16.5	17.9	18.2	18.4	18.6	18.5	18.1	18.4	19.1	18.9	18.9	18.9	18.8	18.9	19.0
1	17.4	18.7	18.7	18.6	18.8	18.7	19.0	20.4	21.7	21.1	19.8	19.2	19.1	19.6	20.1
MC for piece 58 root , SCAN 5															
7	16.6	17.4	18.1	18.9	18.9	17.1	14.8	13.9	15.2	17.8	18.9	18.7	18.8	19.1	19.7
6	16.7	17.6	18.3	18.9	18.7	17.4	15.1	13.5	14.9	17.5	18.7	18.7	18.7	18.9	19.1
5	16.4	17.5	18.4	18.7	18.7	18.0	15.9	13.9	14.8	17.4	18.6	18.8	18.8	18.8	18.8
4	15.7	17.2	18.1	18.3	18.6	18.4	17.0	15.2	15.7	17.5	18.7	18.9	18.9	18.7	18.5
3	15.0	16.8	17.7	18.1	18.5	18.7	18.1	17.3	17.5	18.5	18.9	18.9	18.8	18.7	18.4
2	14.2	16.6	17.8	18.3	18.8	18.9	19.0	19.5	20.2	20.1	19.5	19.1	19.0	19.0	18.9
1	13.6	16.6	18.4	19.0	19.3	19.4	19.8	21.3	22.7	21.9	20.3	19.6	19.5	19.6	19.6
MC for piece 58 root , SCAN 6															
7	16.0	17.5	18.3	18.9	18.8	17.7	16.9	16.8	17.0	18.1	18.6	18.3	18.5	18.8	18.9
6	16.4	17.6	18.4	18.9	18.7	17.9	17.0	16.8	17.2	18.1	18.7	18.6	18.5	18.6	18.6
5	16.3	17.6	18.5	18.8	18.8	18.3	17.5	17.1	17.4	18.1	18.7	18.8	18.7	18.6	18.5
4	15.9	17.5	18.3	18.6	18.8	18.8	18.3	17.9	17.9	18.3	18.8	18.9	18.8	18.6	18.5
3	15.6	17.4	18.1	18.4	18.9	19.0	19.0	19.0	19.2	19.0	19.0	18.9	18.8	18.7	18.5
2	15.6	17.5	18.4	18.8	19.1	19.3	19.6	20.4	21.0	20.4	19.6	19.2	19.0	19.0	18.9
1	15.8	18.1	19.3	19.6	19.6	19.6	20.2	21.5	22.7	21.9	20.4	19.6	19.5	19.6	19.5

