

Kritiskt fukttillstånd för konstruktionsvirke av gran

Tekn. Lic Björn Källander
Stora Enso Timber AB
SE-79180 Falun

Sammanfattning

Denna rapport baseras på två studier som genomförts i syfte att fastställa kritiskt fuktillstånd för hyvlat konstruktionsvirke av gran, med specifikt fokus på mögelpåväxt:

- 1) Källander, Björn, Ormarsson, Sigurdur, Mattsson, Jonas: Fuktförändringar, klimat och mögelpåväxt vid lagring av granvirke - Studie av virkespaket i industriell miljö. Stora Enso Timber AB, Falun 2014.
- 2) Källander, Björn, Ormarsson, Sigurdur, Elustondo, Diego: Fuktförändringar, klimat och mögelpåväxt vid lagring av granvirke - Laboratoriestudie och modellering av industriellt torkat virke. Luleå Tekniska Universitet, Skellefteå, 2014.

Studierna har initierats av Skogsindustrierna Produktkommitté trä. Industriförsök har genomförts på Stora Enso Gruvöns sågverk. Lagring av virke i laboratorium och tomografering (CT-scanning) av virke under lagring har genomförts på Luleå Tekniska Universitet i Skellefteå. Finit Element- (FE-) modellering har utförts av Danmarks Tekniska Universitet i Köpenhamn. Analys av mögelpåväxt med mikroskop har genomförts av SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut i Borås.

Virke till försöken, torkning och lagring i industrimiljö samt klimatmätning-utrustning har tillhandahållits av Stora Enso Timber AB. Utveckling av FE-modell, lagring i laboratorium och CT-scanning samt mikroskopianalys har finansierats av Skogsindustrierna / Arbio.

Studierna har gjorts på inplastade paket med hyvlade plankor. Fuktförändringar, klimat och resulterande mögelpåväxt har fastställts. Finit Element- modeller för beräkning av fuktförändringar i virkespaket vid olika inledande fuktfördelning och klimat har utvecklats och verifierats experimentellt. Paketerna har lagrats vid sågverk och i laboratorium i medeltemperaturer mellan 10 °C och 26 °C.

Resultaten har påvisat mögeltillväxt vid relativa luftfuktigheter RF mellan 86 % och 91 %, på virke med medelfuktkvoter på virket mellan 21,8 % och 24,4 %. Ingen mögelpåväxt har påvisats vid relativ luftfuktighet 83 % eller lägre, eller i virke med medelfuktkvot mellan 15,5 % och 20,5 %. Detta innebär att kritiskt fuktillstånd för mögelpåväxt har fastställts ligga omkring RF 85 %.

Klimatet inne i virkespaketen styrs av virkesytornas fuktighet. Den relativa luftfuktigheten i de mycket små mängder luft som är inneslutna i paketen anpassas efter virkesytorna och jämvikt uppnås efter relativt kort tid. Detta innebär att det är fuktkvoten i virkesytan som är avgörande för mögelpåväxt snarare än virkets medelfuktkvot.

Fukttransport från det inre av virket till ytan är långsam. Även virke med hög fuktkvot i de inre delarna kommer att uppvisa torra ytor då avdunstning från virkesytan kommer att vara snabbare än tillförseln av fukt inifrån. Detta innebär att den fukt som industriellt torkat virke innehåller vid leverans inte i sig kan leda till fuktförhållanden på ytan som ger upphov till mögel i bruksstadiet. Mögelpåväxt förutsätter att fukt tillförs utifrån.

Bakgrund

BOVERKETS KRAV PÅ FUKTSÄKERHETSPROJEKTERING

BOVERKET har under lång tid arbetat för att förbättra luftkvaliteten inomhus och reducera mängden skadliga emissioner. Ett område som studerats är fukt, där Boverket har definierat målet att fukt inte ska leda till negativa effekter på inomhusmiljön genom emissioner från mögel, bakterier eller andra material i mer än 5 % av byggnaderna (Boverket, 2010). Vid byggnation krävs en fuktsäkerhetsprojektering.

Vid fuktsäkerhetsprojektering av en byggnad krävs att högsta tillåtna fukttillstånd beräknas, definierat som högsta tillåtna fukttillstånd = kritiskt fukttillstånd – säkerhetsmarginal (BBR 6:52 och 6:53).

Boverket tolkar kritiskt fukttillstånd som en materialegenskap. Vid det kritiska fukttillståndet förändras materialets egenskaper drastiskt eller så sker det mikrobiell tillväxt på materialytan. För mögel och bakterier ska kritiskt fukttillstånd användas för de material och produkter som mögel och bakterier kan förväntas växa på (Boverket 2014).

En svårighet har varit att etablerade och generellt accepterade gränser för klimat där mögel kan uppkomma har saknats. I Boverkets regler anges: "Saknar materielelet eller produkten värden för kritiskt fukttillstånd så ska en relativ fuktighet (RF) på 75 procent användas som kritiskt fukttillstånd".

RF 75 % ligger under nivåer som är praktiskt tillämpbara i Sverige. Om gränsen RF 75 % skulle börja tillämpas skulle det få till följd att trä inte skulle få användas inomhus i Sverige under sommar-halvåret. I icke uppvärmda utrymmen skulle inte trä få användas under höst och vår. Det är alltså av stor betydelse att fastställa korrekta värden för kritiskt fukttillstånd.

FÖRESLAGEN LABORATORIEMETOD FÖR FASTSTÄLLANDE AV KRITISKT FUKTTILLSTÅND

Boverket anger ett förslag på metod att fastställa kritiskt fukttillstånd. "En metod för bestämning av kritiskt fukttillstånd finns i rapporten "Bestämning av kritiskt

fukttillstånd för påväxt av mögel på byggnadsmaterial" samt "Exempel på provningsmetod är Sveriges Tekniska Forskningsinstituts (SP) metod SP MET 4927" (Boverket, 2014). I båda fallen hänvisar Boverket till en laboratoriemetod för studie av små provkroppar som besprutas med en lösning av vatten och mögelsporer. Metoden studerar alltså tillväxt av mögelssvampar snarare än kombinationen av etablering och tillväxt.

Metoden som anges har stor potential men är även ifrågasatt. Metoden fokuserar på mögelpåväxt på trätytor i definierade klimat istället för att bestämma materialens faktiska resistens mot biologisk påverkan, samtidigt som den ignorerar kemiskt betingade emissioner liksom andra typer av biologisk påverkan (Wessén o Honkanen, 2014). Laboratoriemetodens spridning och repeterbarhet har inte fastställts, och laboratoriemetodens resultat har heller inte korrelerats till mögelpåväxt på material utanför laboratorium. Metodens angivna gränser för kritiskt fukttillstånd saknar därmed i praktiken förankring i verkliga driftsförhållanden (Källander, 2014).

En principiellt avgörande punkt är metodens fokus på små befuktade provkroppar utan hänsyn till storlekseffekter vid verkliga belastningsfall. I en träkonstruktion innebär den kombinerade effekten av volym och ett trämaterials hygroskopicitet, permeabilitet och hysteres att den för sporer tillgängliga fukten i en yta är beroende av om ytan är under uppfuktning eller uttorkning. Fukt som tas upp i ytan på en torr plank i ett tillfälligt fuktigt klimat kommer att transporteras in i virket och därmed avlägsnas från ytzone. Hygroskopiska material som trä kommer sannolikt därmed att missgynnas av mätmetoden i jämförelse med icke hygroskopiska material som plast eller mineralull.

Metodens effektivitet och korrelation till förhållanden i bruksstadiet måste därför bestämmas innan den kan användas för att fastställa kritiskt fukttillstånd för olika material. Fram till dess sådana tester har genomförts bör alternativa metoder för fastställande av kritiskt fukttillstånd användas.

FASTSTÄLLANDE AV KRITISKT FUKTTILLSTÅND

Boverket definierar inte nivåer för kritiskt fukttillstånd men anger att materialdata för kritiskt fukttillstånd kan vara redovisat för en fuktnivå, en temperaturnivå och varaktigheten tills dess mögel började växa på materialet eller produkten (Boverket, 2014).

Målet för de studier som denna rapport refererar har varit att experimentellt fastställa kritiskt fukt-tillstånd för hyvlat granvirke i enlighet med ovan. Detta görs genom mätningar i fullskala snarare än med hjälp av små prover i laboratoriemiljö.

Metodik i studierna

Studierna baseras på att bestämma vid vilken fuktkvot och vid vilket klimat som mögelpåväxt kan påvisas efter lagring av trävirke i inplastade paket. Ett inplastat virkespaket kan ses som en extrem form av inbyggnad av virke. Virkespaketet är inte bara inplastat på fem sidor, utan varje plankor är dessutom omgiven av plankor med likartad fuktkvot. Fukt som migrerar ut från det inre av en plankor mot ytan har mycket liten möjlighet att dunsta bort, till skillnad mot exempelvis fukten i en inbyggd väggregel. Ytan på en enskild plankor kommer att sträva mot en fuktkvot motsvarande omgivande plankors medelfuktkvot.

Granvirke ur ordinarie produktion togs ut från torkarna vid genomsnittliga fuktkvotnivåer från 15 % till 24 %. Plankornas fuktkvot och fuktkvotens fördelning i tvärsnittet bestämdes med torrvikts-metoden före och efter lagring. Under lagringen mättes paketens inre klimat och omgivande klimat för att fastställa sambandet mellan virkets fuktkvot och det resulterande klimatet. Genom att sedan fastställa om mögelpåväxt skett under två månaders lagring kunde mögelpåväxt kopplas till virkets fuktkvotsvärden och paketens inre klimat, varvid kritiskt fukttillstånd etablerats. Av totalt nio studerade paket uppvisade tre mögelpåväxt medan sex inte uppvisade påväxt.

En principiell skillnad mellan studiernas metodik och den av SP föreslagna laboriemetoden är att virket inte på ett artificiellt sätt preparerats med en aktiv mögelsporlösning. Virket är huvudsakligen hanterat på normalt industriellt sätt innan det paketerats, vilket innebär att ytorna på naturligt sätt kontamineras med sporer. Naturlig kontaminering innebär att sporer på virkets ytor representerar en stor mängd olika svamparter istället för ett fåtal utvalda, vilket troligen ökar sannolikheten för angrepp. Sporer måste dock etableras av egen kraft på virkesytan snarare än med hjälp av en preparerad vattenlösning, vilket innebär att testet omfattar inte bara tillväxten av mögel utan även den initiala etableringen.

ATT FASTSTÄLLA MÖGELPÅVÄXT

I de båda studierna har mögelpåväxt bestämts på tre sätt:

- 1) om paketen och virket luktar mögel när plasten öppnats,
- 2) okulär besiktning av plankorna när virkespaketen plockats isär, samt
- 3) mikroskopiundersökningar på SP enligt förfarande för skadeutredningar.

Mikroskopiundersökningarna görs i två steg:

- först inspekteras virket med lupp i 40 gångers förstoring,
- därefter görs tejpavdrag på ytor med misstänkt eller synlig påväxt, samt på slumpmässigt utvalda ytor som inte haft påväxt synlig i 40 gångers förstoring. Tejpavdragen besiktigas med mikroskop i 400 gångers förstoring och förekomst av bakterier, svampsporer och svamphyfer bedöms.

Spår av påväxt på tejpavdragen graderas i fyra nivåer: ingen påväxt, sparsam påväxt, måttlig påväxt och riklig påväxt. Vid skadeutredningar föranleder de högre nivåerna "måttlig påväxt" och "riklig påväxt" åtgärd, medan de lägre nivåerna "ingen påväxt" och "sparsam påväxt" inte föranleder åtgärd om inte konstruktionen är utsatt för fortsatt fuktskada. (Bok, 2012). I analysen av resultaten från lagringsstudierna bedöms därför nivåerna "Ingen påväxt" och "sparsam påväxt" som att påväxt inte sker.

JÄMFÖRELSE AV LAGRINGSTUDIERNAS RESULTAT MED DEN FÖRESLAGNA LABORATORIEMETODEN

Resultat från metoden för analys av prover från skadeutredningar kan inte direkt jämföras med resultat från den föreslagna laboratiemetoden för bestämning av kritiskt fuktillstånd. Den föreslagna laboratiemetoden görs vid 40 gångers förstoring medan analysen av påväxt vid skadeutredningar görs vid 400 gångers förstoring.

Tyvärr saknas också uppgifter om vilka prover från lagringsstudierna som hade synlig påväxt vid 40 gångers förstoring. Rapporten från SP anger bara den samlade bedömningen efter besiktning i 400 gångers förstoring. Lagringsstudiernas resultat kan därför inte användas för verifiering av den föreslagna laboratiemetoden.

Resultat

MÖGELPÅVÄXT

I både studien i industrimiljö och i studien i laboratorium har paket med och utan mögelpåväxt efter lagring påvisats. Båda studierna har alltså omfattat virke både över och under kritiskt fuktillstånd för mögelpåväxt.

Lagringsförsöken i industriell miljö visade påväxt av mögel i två av fem studerade virkespaket. Paket med initial medelfuktkvot 21,8 % respektive 22,2 % uppvisade mögelförekomst. Paket med medelfuktkvot före lagring mellan 15,5 % och 18,9 % uppvisade inte påväxt.

Studien där fyra virkespaket förvarats inomhus i laboratoriemiljö uppvisade mögelpåväxt i ett paket med 24,4 % initial medelfuktkvot, medan virkespaket med fuktkvoter mellan 18,6 % och 22,5 % initial medelfuktkvot inte uppvisade påväxt. Tabell 1 sammanfattar resultaten av alla nio studerade paket.

Ett av de lagrade paketen uppvisade kraftig mögelpåväxt, se Figur 1.



Figur 1. Paket 5 uppvisade kraftig mögelpåväxt efter lagring.

Tabell 1. Fuktkvot, lagringsbetingelser, inre klimat och påväxt under lagring. Paketerna ordnade efter genomsnittliga platåvärden för RF vid lagring.

Paket (nr)	Inledande medelfuktkvot		Lagringsklimat		Påväxt synlig med blotta ögat	Påväxt synlig i 400 ggr förstoring
	Hela paketet (%)	Virkesytor (%)	Temperatur (°C)	RF (%)		
1	15,8	14,9	14,8	74,1	Ingen	--
6	18,6	17,4	20,5	76,9	Ingen	Ingen ¹⁾
4	15,5	14,3	26,2	78,1	Ingen	--
2	18,9	16,0	12,7	78,9	Ingen på ytan, missfärgning inne i veden	Actinomyces - bakterier
7	20,5	19,1	20,5	80,2	Ingen	Ingen ¹⁾
8	22,5	20,8	20,4	83,4	Ingen	Ingen ¹⁾
9	24,4	23,1	20,6	86,2	Tydlig påväxt främst i ytor med stående fibrer	Måttlig till riklig förekomst av mögelsporer och hyfer
3	22,2	20,7	11,3	87,0	Möjlig mögelpåväxt på ytan av 3 plankor	Mögelsporer och hyfer. Actinomyces - bakterier
5	21,8	18,7	24,3	90,5	Kraftig mögelpåväxt	--

¹⁾ Sparsam förekomst av hyfer och sporer funna i 5 av 24 prover vid 400 ggr förstoring. Uppgift saknas om hyfer funna vid 40 ggr förstoring.

Paketerna som lagrats vid RF upp till 83 % uppvisar ingen mögelpåväxt. Missfärgningen inne i veden i prov från Paket 2 har sannolikt uppkommit i timret före sågning vilket förklarar förekomsten av Actinomyces- bakterier i provet. Studierna har alltså fastslagit att RF 83 % ligger under kritiskt fukttillstånd för mögelpåväxt.

Paketerna som lagrats med platåvärden för RF 86 % och högre uppvisar påväxt. Studiernas resultat tyder därmed på att RF 86 % ligger över kritiskt fukttillstånd för mögelpåväxt på hyvlat granvirke.

FÖRÄNDRINGAR I FUKTKVOT UNDER LAGRING

Medelfuktkvoten för virket i de fullstora paketerna i den industriella studien ändrades inte märkbart under lagringen medan spridningen mellan plankorna minskade.

De mindre paketen i laboratorie-studien torkade något under lagringen, med lägre medelfuktkvot utan åtföljande lägre spridning som följd. Tabell 2 visar förändringen i fuktkvot för virkespaketen under lagringen.

Tabell 2. Fuktkvot före och efter lagring.

Test paket (nr)	Lagrings- tid (dygn)	Dimension (mm ²)	Fuktkvot före lagring		Fuktkvot efter lagring	
			Medel- värde (%)	Standard avvikelse (%)	Medel- värde (%)	Standard avvikelse (%)
1	61	47x150	15.8	1.2	15.9	0.6
2	64	47x225	18.9	3.0	18.1	1.7
3	57	50x125	22.2	2.0	22.2	0.9
4	62	47x150	15.5	1.2	15.1	1.0
5	62	47x150	21.8	1.8	21.4	1.4
6	69	45x125	18,6	0,8	18,2	0,6
7	69	45x125	20,5	0,5	19,5	0,7
8	69	45x125	22,5	0,3	20,7	1,0
9	69	45x125	24,4	0,8	22,7	1,0

Både resultaten från torrviktsmätningarna och resultaten från FE-beräkningarna visar att fukttransporten från det inre av ett virkesstycke ut till ytan är långsam. Tabell 3 visar förändringarna i fuktkvot i virkesytorna och fuktfördelning under lagringen.

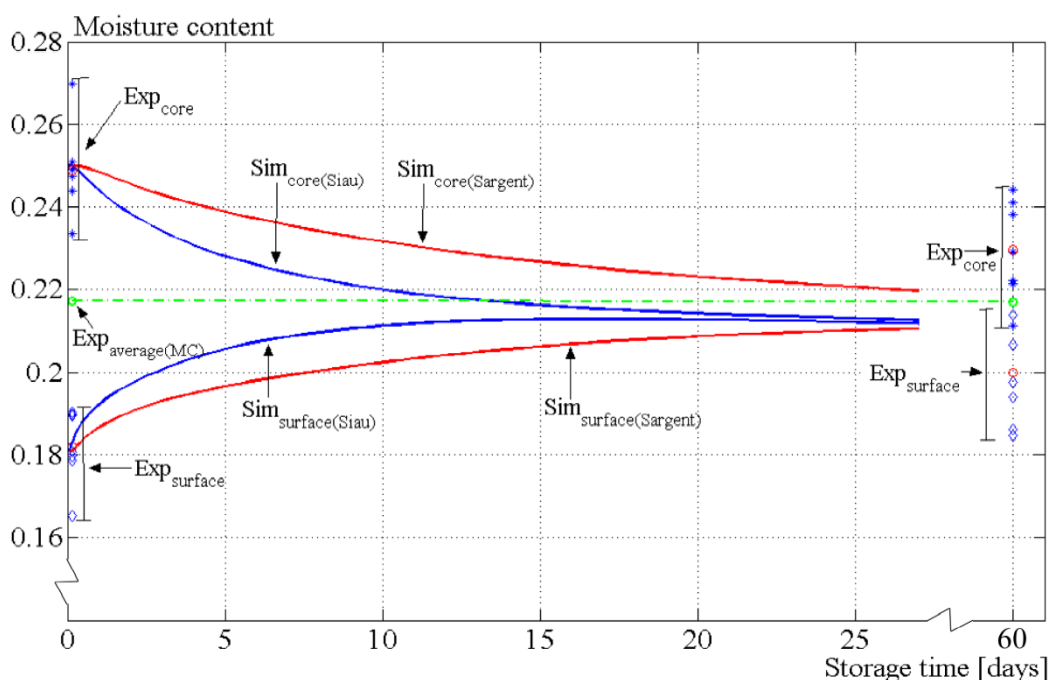
Tabell 3. Förändringar i fuktkvot under lagring av virkespaket.

Test paket (nr)	Start medel- fuktkvo t (%)	Ytskiktens fuktkvot MC				$\Delta MC (MC_{inre} - MC_{ytskikt})$	
		Start medel (%)	Start stand. avv. (%)	Slut medel (%)	Slut stand. avv. (%)	Start ΔMC medel (%)	Slut ΔMC medel (%)
1	15,8	14,9	1,1	-- ¹⁾	-- ¹⁾	1,8	-- ¹⁾
2	18,9	16,0	1,7	16,6	1,2	3,1	2,9
3	22,2	20,7	1,5	21,2	0,8	3,1	1,7
4	15,5	14,3	0,9	14,2	0,8	4,4	2,0
5	21,8	18,7	1,3	20,1	1,4	6,4	3,1
6	18,6	17,4	1,7	18,2	0,7	4,8	1,5
7	20,5	19,0	1,1	19,4	0,8	3,6	1,0
8	22,5	20,8	1,5	20,8	0,5	4,5	0,9
9	24,4	23,0	1,5	22,3	0,6	4,1	0,0

¹⁾Värden från Paket 1 strukna då mätningen gjordes alltför nära virkesänden.

Fuktkvoten i plankorna rör sig mot paketens medelfuktkvot. Skillnaden i fuktkvot mellan plankornas inre delar och ytveden minskar, främst genom att fuktkvotsgradienten sjunker i och med att virkets inre delar blir torrare. Det fuktigaste paketet med 24,4 % medelfuktkvot uppvisar en annorlunda bild i och med att både virkets inre delar och ytveden torkar. I detta paket utjämnas också fuktgradienten under lagringen.

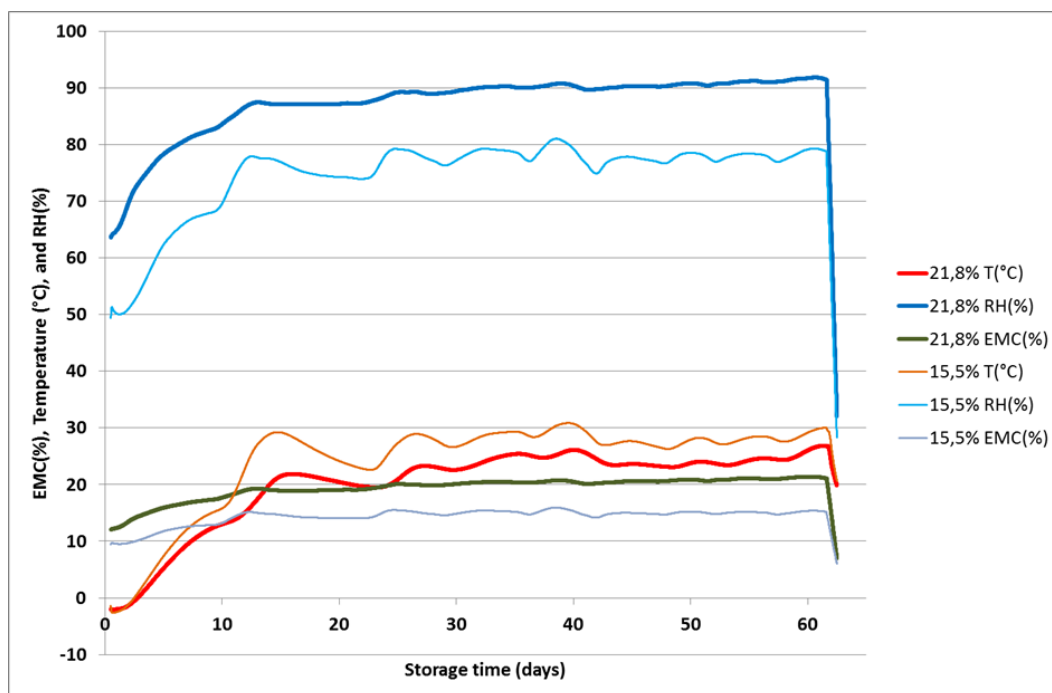
De uppmätta förändringarna i fuktfördelning är långsammare än vad som en modellering baserad på tabellvärden av diffusionskoefficienter ur litteraturen anger. Till viss del förklaras detta av att lagringsstudiernas fuktkvoter mätts med torrviktsmetoden vilken inte kan mäta ytans verkliga fuktkvot, men det kan också vara så att fukttransport i praktiska fall är långsammare än vad teoretiska beräkningar anger. Figur 2 visar uppmätta och beräknade fuktförändringar. De beräknade fuktförändringarna baseras på två olika diffusionskoefficienter, en från ett standardverk (Siau) och ett från en experimentell studie (Sargent). Individuella uppmätta värdena före och efter lagring från den industriella studien.



Figur 2. Simulerad fuktkvotsförändring i en plank i mitten av testpaket samt experimentella fuktkvotsvärden från den industriella studien (Källander Ormarsson, Mattsson, 2014).

Klimatet mellan plankorna i det inre av paketen styrs av fukten i virkesytorna. Massan av luft och den mängd fukt som luften kan innehålla är försumbar i jämförelse med massan av virket eller den fukt virket innehåller.

Figur 3 visar det inre klimatet under lagring av Paket 4 och paket 5 i den industriella studien. Jämviktsfuktkvoten som motsvarar det uppmätta klimatet ligger nära de uppmätta fuktkvoterna i virkesytorna i Tabell 3.



Figur 3. Glidande 24-timmars medelvärde av klimat och motsvarande jämviktsfuktkvot under lagring av Paket 4 och Paket 5 i den industriella studien.

Diskussion

Mögelpåväxt uppkom på virke som lagrats i RF 86 % och högre medan det inte uppkom vid RF 83 % och lägre. Detta tyder på att kritiskt fukttillstånd ligger mellan dessa två värden.

De två paket som uppvisade platåvärden på RF 86 % respektive RF 87 % hade både begränsade angrepp, vilket kan tyda på att dessa två paket låg nära gränsen för påväxt. Avsaknaden av angrepp vid 83 % RF och de begränsade angreppen vid 86 % respektive 87 % kan tolkas som att kritiskt fukttillstånd ligger närmare det högre värdet än det lägre.

Paketet med kraftigast mögelangrepp hade lagrats vid medeltemperatur 24 °C och RF 91 %. Sannolikt har det kraftiga mögelangreppet orsakats av en kombination av både den högre temperaturen och den högre relativa luftfuktigheten jämfört med övriga paket med påväxt.

Resultaten tyder på att fukttransporten är långsammare än vad som tabellerade värden på diffusionskoefficienter ger vid handen. Den långsamma fukttransporten ut från det inre av virket innebär att fukt som når virkesytan i exempelvis en väggregel kommer att avdunsta snabbare än ny fukt tillförs. Detta innebär att den fukt som ett industriellt torkat virke innehåller vid leverans inte kan ge upphov till mögelpåväxt. Mögelpåväxt förutsätter alltså att fukt tillförs virkesytan utifrån för virke som är torkat till skeppningstorr eller lägre.

Slutsatser

Kritiskt fuktillstånd för konstruktionsvirke av gran ligger omkring relativ luftfuktighet RF 85 %.

Den fukt som finns i skeppningstorr virke vid leverans kan inte ge upphov till mögel. Mögelpåväxt förutsätter att fukt tillförs utifrån.

Referenser

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

Boverket: God bebyggd miljö - förslag till nytt delmål för fukt och mögel. Resultat om byggnaders fuktskador från projektet BETSI. ISBN 978-91-86559-79-3. Boverket, Karlskrona, 2010.

Boverket hemsida <http://www.boverket.se/sv/byggande/halsa-och-inomhusmiljo/om-fukt-i-byggnader/nyproduktion-fuktsakerhets-projektering/kritiskt-fuktillstand/> Boverket, 2014.

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.

Källander, Björn: Comments on the proposed technical specification Determination of critical moisture level for mould growth on building materials. Stora Enso Timber AB. Borlänge, 2014.

Källander, Björn, Ormarsson, Sigurdur, Elustondo, Diego: Fuktförändringar, klimat och mögelpåväxt vid lagring av granvirke - Laboratoriestudie och modellering av industriellt torkat virke. Luleå Tekniska Universitet. Skellefteå, 2014.

Källander, Björn, Ormarsson, Sigurdur, Mattsson, Jonas: Fuktförändringar, klimat och mögelpåväxt vid lagring av granvirke - Studie av virkespaket i industriell miljö. Stora Enso Timber AB. Falun, 2014.

SIS Bestämning av kritiskt fukttillstånd för påväxt av mögel på byggnadsmaterial (Laboratoriemetod) Teknisk specifikation SIS/TS XXXXXX:2013. Stockholm, 2013.

Wessén, Bengt och Honkanen, Joakim: Svar från: Eurofins Pegasuslab AB. SIS Remiss TS41 11136. SIS, 2013