

Kunskapsläge och råd kring fuktsäker projektering och tillämpning av fuktkrav i BBR för träkonstruktioner

Lägesrapport 2009, WoodBuild E1

Sammanställd av Lars-Olof Nilsson

ISRN: LUTVDG/TVBM--09/3151--SE (1-56)

ISSN: 0348-7911 TVBM

Lunds Tekniska Högskola
Byggnadsmaterial
Box 118

221 00 LUND

Tel: 046-2227415
Fax: 046-2224427
www.byggnadsmaterial.lth.se

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Bakgrund	3
WoodBuild	3
Uppdraget	3
Medverkande	4
Tillkännagivande	4
1. BBRs syfte & krav	5
2. BBRs krav – vad saknas	7
RÅD 1:	7
3. Samband mellan mikroorganismer på byggnadsmaterial och hygien/ohälsa	8
RÅD 2:	9
4. Påväxt av mögel på virke	10
4.1 Definition av Påväxt – tillväxt	10
4.2 Analys av påväxt	10
4.3 Acceptabel påväxt	12
RÅD 3:	13
5. Kritiska fukttillstånd för mikroorganismer på byggnadsmaterial	14
6. Kritiska fukttillstånd för trä. Inverkan temperatur och varaktighet.	16
RÅD 4:	18
Kritiska fukttillstånd som fuktkvot	19
7. Kritiska fukttillstånd för trä. Inverkan av temperatur och fuktvariationer	21
RÅD 5:	24
8. Svenskt uteklimat, som $RF(T,t)$	25
RÅD 6:	29
9. Konsekvenser, allmänt	30
RÅD 7: Allmänt	31
10. Fuktkritiska situationer, allmänt	32
10.1 Sågverk: Sågning/torkning/hyvlning/leverans	32
10.2 Lagring/transport/lagring/byggplats	34
RÅD 8:	36
10.3 Väderskydd	37
RÅD 9:	37
RÅD 10:	37
11. Fuktkritiska konstruktioner	38
11.1 Principlösningar	38
11.1.1 Uteluftventilerade krypgrunder	38
11.1.2 Vindar och tak	40
11.1.4 Ytterväggar	41
RÅD 11:	42
11.2 Projekteringsverktyg	42
11.2.1 Wufi	42
11.2.2 Delphin, Domus, Moist, Match	43
11.2.3 1D-Ham	44
11.2.4 HAM-tools	44
11.2.5 Andra	44
RÅD 12:	44
11.3 Beräkning av $RF_{akt}(T,t)$ för några typfall	45
11.3.1 Fasadpanel på träregelvägg	45

11.3.2 Fasadtegel på träregelvägg	48
11.3.3 Krypgrunder	49
. RÅD 13:	52
12. Kritiska fukttillstånd för mineralull och cellplast	53
. RÅD 14:	53
Referenser.....	54

Bakgrund

Boverket har gett ut nya byggregler BBR 2006 vars syfte och krav framgår av kapitel 1. I dessa anges att för material där kritiska fuktillstånd ej är väl undersökta och dokumenterade skall 75 % RF användas. Eftersom begreppet är nytt saknas information även för traditionella byggmaterial såsom trä och en rad följdfrågor uppstår.

- Avser BBR ett fortvarighetstillstånd eller ett maximalvärde under hela processen från leverans till inbyggnad?
- Vilken är temperaturens inverkan på risken för tillväxt?
- I vilka konstruktionsdelar kan mögel tillåtas och i så fall i vilka delar?
- Hur fungerar olika byggmetoder i förhållande till de nya reglerna?

WoodBuild

Denna statusrapport har utgivits av forskargruppen inom delprojekt E1 i WoodBuild, som är ett stort forskningsprojekt inom ramen för Bransch-Forskningsprogrammet 2006-2012 för skogs- och träindustrin. Det grundläggande syftet med WoodBuild är att utveckla trä som byggmaterial för framtidens hållbara byggande.

Det bör noga noteras att detta är en ”state-of-the-art”-rapport och ingen slutrapport. Rapportens syfte är att förmedla idag kända fakta beträffande trämateriallets egenskaper, speciellt kopplingen mellan fuktnivå och mögeltillväxt. Den tar också upp ett antal frågor där bestämmelserna i BBR enligt vår mening bör nyanseras. Slutligen anges ett antal rekommendationer i avvaktan på att bättre kunskap skall vinnas i forskningsprojektet och genom provningar.

Rapporten ger kunskapsläget i november 2009. Innehåll och råd kommer att uppdateras då nya rön och verktyg tas fram inom WoodBuilds olika delprojekt.

Rapporten vänder sig dels till forskare med en beskrivning av var väsentliga brister i kunskapsläget finns, dels till träproducenter, träleverantörer och deras kunder för att ge en vägledning om hur man kan hantera fuktsäkerhetsprojektering av träkonstruktioner baserat på dagens kunskap.

Uppdraget

Uppdraget har utförts på följande sätt. En workshop planerades och avhölls den 6 oktober 2008 med 59 deltagare från Boverket, universitet, högskolor, institut, träindustrin och byggindustrin.

Workshopresultaten diskuterades, och en handlingsplan för delprojektets fortsättning togs fram, i projektgruppen med deltagare från LTH och SP. Kunskapsinventeringar, väderdataanalyser och analys av fuktkritiska situationer och fuktkritiska träkonstruktioner inleddes under hösten 2008. Lägesredovisning inom de olika delmomenten gavs vid ett antal videomöten under hösten 2008 och våren 2009 då också utkast till en utredningsrapport diskuterades. En reviderad version av denna och ett utkast till en guide har sedan granskats av medlemmarna i projektgruppen, varefter den reviderats inför möten i maj och juni 2009 med implementeringsgruppen inom WoodBuild. Synpunkter från denna, från projektgruppen och från andra har därefter inarbetats i ett nytt utkast 3 till utredningsrapporten.

Denna version har sedan skickats ut på remiss till ett stort antal remissinstanser och omfattande, både övergripande och detaljerade remissvar har erhållits. Dessa har sammanställts och diskuterats med implementeringsgruppen samt tillställts projektmedlemmarna för synpunkter. Slutligen har en sista version utarbetats, baserad på erhållna remissvar och synpunkter från projektgruppen.

Medverkande

I delprojekt E1 har personer vid flera avdelningar vid LTH och SP medverkat, med större och mindre insatser:

- LTH-Byggnadsfysik: Jesper Arfvidsson, Lars-Erik Harderup, Petter Wallentén
- LTH-Byggnadsmaterial: Lars-Olof Nilsson, Anders Sjöberg
- LTH-Konstruktionsteknik: Sven Thelandersson, Tord Isaksson
- SP-Byggnadsfysik: Annika Ekstrand-Tobin, Pernilla Johansson, Bertil Johnsson, Kristina Mjörnell, Lars Olsson, Ingemar Samuelson

Undertecknad har sammanställt bidragen från dessa, egna insatser och remissynpunkter till denna rapport.

Tillkännagivande

Projektet är ett delprojekt inom WoodBuild, initierat inom ramen för Branschforskningsprogrammet 2006-2012 för skogs- och träindustrin. Programmet finansieras gemensamt av staten, näringslivet och andra intressenter inom, eller med anknytning till, den svenska skogs- och träindustrin.

Lund i november 2009

Lars-Olof Nilsson, projektledare

1. BBRs syfte & krav

De syften, föreskrifter och råd som ges i Boverkets Byggregler BBR06 och som är relevanta för fukt i träkonstruktioner beskrivs nedan. Utöver BBR ges Boverkets syn i Boverkets egen Konsekvensutredning, här betecknad med BvKU.

I avsnitt 1:4 *Byggprodukter med bestyrkta egenskaper* beskrivs vad som krävs för att material eller produkter skall kunna anses ha bestyrkta egenskaper. I 2:1 *Material och produkter* sägs i en föreskrift att ”*De byggmaterial och byggprodukter som används ska ha kända egenskaper i de avseenden som har betydelse för byggnadens förmåga att uppfylla kraven i dessa föreskrifter och allmänna råd*”. I rådet sägs att egenskaperna skall vara dokumenterade.

För konstruktioner innebär detta att väsentliga materialegenskaper som kritiska fuktillstånd och fukttransportegenskaper hos de material som ingår skall vara kända/bestyrkta. Detta innebär då inte bara de träbaserade materialen utan också alla andra material som används i en konstruktion.

I kapitel 6.5 *Fukt* ges föreskrifter och råd som avser fuktförhållanden. I det första avsnittet (6.51) ges en allmän föreskrift: ”*Byggnader ska utformas så att fukt inte orsakar skador, elak lukt eller hygieniska olägenheter och mikrobiell tillväxt som kan påverka människors hälsa*”. I det allmänna rådet i 6.51 sägs att kraven bör verifieras med hjälp av fuktsäkerhetsprojektering.

Man ger också en hel del råd om hanteringen under byggtiden:

- byggnader, byggprodukter och byggmaterial bör skyddas mot fukt och mot smuts
- kontroll av att material inte har fuktskadats bör ske genom besiktningar, mätningar eller analyser som dokumenteras
- utförandet av byggnadsdelar och byggnadsdetaljer som har betydelse för den framtida fuktsäkerheten bör dokumenteras.

I Konsekvensutredningen beskrivs syftet mera i detalj. Boverket avser, med BBR kap 6.5 *Fukt*, att minska antalet hälsoproblem på grund av fukt- och mögelproblem i byggnadskonstruktioner. Eftersom det är mycket svårt att verifiera krav som uttrycks i termer av ohälsa, och svårt även om de uttrycks i form av mögelpåväxt, har Boverket istället valt att uttrycka kraven på god hälsa i form av fuktkrav.

En föreskrift (6.52 *Högsta tillåtna fuktillstånd*) är att för varje använt material skall ett ”högsta tillåtet fuktillstånd” (” RF_{OK} ” används här) redovisas. BBR säger att detta skall utgå från

1. det kritiska fuktillståndet (” RF_{krit} ”) för materialet
2. osäkerheten i beräkningsmodell, ingångsparametrar (t.ex. materialdata) eller mätmetoder.

Det kritiska fuktillståndet skall vara ”väl undersökt och dokumenterat”. Om det inte finns sådana uppgifter om ett material skall $RF_{krit} = 75\%$ användas.

En annan föreskrift (6.53 *Fuktsäkerhet*) är att ett material aldrig får vara fuktigare än det högsta tillåtna fuktillståndet, dvs kravet är $RF \leq RF_{OK}$, ”om detta inte är orimligt med hänsyn till byggnadsdelens avsedda användning”. Det innebär i praktiken att man föreskriver att fuktsäkerhetsprojektering skall genomföras där man under projekteringen visar att materialen inte kommer att få högre fuktillstånd än de högsta tillåtna.

Dessa två föreskrifter (6:52 och 6:53) har av vissa tolkats så att det inte är möjligt att bygga med trä eller andra organiska material i vårt klimat eftersom det så gott som alltid, året runt, är fuktigare i utomhusluften än 75 % RF.

Det har tidigare figurerat ej verifierade uppgifter, t ex i Träguiden (2008), som gav en helt annan bild av de kritiska fukttillstånden. När Boverket då genom BBR06 inför begreppet kritiskt fukttillstånd uppstod naturligtvis en stor förvirring.

BBR ger som råd i 6:52 bland annat följande: ”*Uppgifter om kritiska fukttillstånd kan normalt tillhandahållas av materialleverantören*”. En virkesleverantör förväntas alltså kunna redovisa dokumentation av det kritiska fukttillståndet för det virke som levereras.

BBR ger i rådstexten i 6:53 undantag från föreskriften, att det aldrig får vara fuktigare än det kritiska fukttillståndet, för fasadpanel. Det enda uttryckta undantaget görs för alla regnskydd med bakomliggande luftspalt. Avsikten är naturligtvis att möjliggöra användning av fasadpanel av trä. Baksidan på en sådan kommer periodvis att vara så fuktig, så länge, att man inte kan undvika att det kommer att växa mögel på den. Detta accepteras av BBR06, men detta är det enda stället i en byggnad där undantag görs. Detta kan motiveras med att det är en byggnadsdel som utsätts för direkt regn; det gör inte trämaterial i andra byggnadsdelar.

2. BBRs krav – vad saknas

Det kritiska fukttillståndet ” RF_{krit} ” nyanseras inte i BBR, t ex med avseende på temperaturen eller hur länge det är fuktigt eller hur fuktförhållandena varierat.

. RÅD1:

Nyansera BBRs krav på kritiska fukttillstånd, med hänsyn till temperaturnivå, varaktighet och variation hos fuktbelastningen, se nedan.

Det är förvånande att man i BBR inkluderar osäkerheterna i beräkningen av de förväntade fukttillstånden i det högsta tillåtna fukttillståndet. Det är också egendomligt att man i 6:53 säger att ”*fukttillståndet skall beräknas utifrån de mest ogynnsamma förutsättningarna*”. Hanteringen av osäkerheter, dels i det kritiska fukttillståndet och dels i prognoser över det förväntade, borde klargöras på ett tydligare sätt.

Boverket föreslår att osäkerheter beaktas enbart genom att reducera ”det kritiska fukttillståndet RF_{krit} ” till ett ”högsta tillåtna fukttillstånd RF_{OK} ”. Reduktionen uppges vara beroende av osäkerheten i de fuktberäkningar som behövs för att förutsäga fukttillståndet RF i materialet, eller på materialets yta. Förutom att RF_{krit} beror på såväl temperatur som varaktighet måste man ge en tydligare definition av begreppet eftersom RF_{krit} normalt uppvisar statistisk spridning som t.ex. kan skattas från experiment. Därför måste RF_{krit} antingen definieras som ett medelvärde eller en definierad fraktil och också kopplas till en tydligare definition av vilket gränstillstånd som det representerar.

Det är vidare mer logiskt att bestämma RF_{OK} enbart med hänsyn till de osäkerheter som finns beträffande materialets resistens mot mögelpåväxt och inte blanda in osäkerheter som är kopplade till beräkning, mätning eller annan prediktion av den klimatpåverkan (RF_{akt}) som kan förväntas i byggnadsdelen. Man bör i stället lägga en separat säkerhetsmarginal på RF_{akt} som beaktar dessa osäkerheter som ju är av en annan karaktär. Genom detta får man större möjligheter att på ett generellt sätt kartlägga de osäkerheter som är aktuella.

Vidare bör man när det gäller säkerhetsmarginaler kunna differentiera med hänsyn till konsekvenserna av att det kritiska fukttillståndet överskrids, t ex om det blir en sparsam påväxt, om det blir en elak lukt eller om det blir en riklig, för ögat synlig, påväxt.

Ovanstående frågor behandlas forskningsmässigt inom WoodBuild med målsättningen att ta fram ett ramverk för rationell hantering av osäkerheter i hela kedjan.

3. Samband mellan mikroorganismer på byggnadsmaterial och hygien/ohälsa

Området mikroorganismer, fuktiga byggnader och hygien/ohälsa är komplext och det är svårt att i några rader sammanfatta detta. Omfattande forskning har utförts och mycket pågår, men kunskapen är fortfarande mycket begränsad.

Det finns en mängd studier där man undersökt sambandet mellan mögel/fukt och olika hälsoaspekter. Sammanställningar av dessa finns t ex i Bornehag, Blomquist et al. (2001), Johanning (1999), Piecková E (1999) och Korpi, Järnberg et al. (2006). Det mesta av detta gäller synlig fukt eller synlig mögelpåväxt på invändiga ytor. Det finns dock fortfarande osäkerheter i hur sambanden ser ut mellan ohälsa och förekomst av mögel inne i en konstruktion och exponering i inomhusluften.

Det finns några studier som undersökt svenska förhållanden. Hägerhed-Engman (2006) har visat ett statistiskt samband mellan ”elak lukt” vid golvsockeln och brukarnas ohälsa. Denna elaka lukt har naturligtvis en källa i golv eller väggkonstruktionen. Bloom (2009) har visat att det finns mykotoxiner, dvs giftiga ämnen som produceras av svampar och som kan ha en hälsopåverkan i höga halter, i innemiljön och hittat samma mykotoxiner i mögelpåväxt i konstruktioner. I en studie där 13 hus med fukt- och mögelproblem åtgärdades kunde Ekstrand-Tobin (2003) konstatera att åtgärderna lett till förbättrad hälsa hos personer som bodde i husen. Detta stämmer också överens med omfattande erfarenheter från skadeutredare.

Selmastudien (2007) undersöker samband mellan miljöexponeringar i inomhusmiljön tidigt i livet och utveckling av astma, allergi och andra kroniska sjukdomar. Studien är främst inriktad mot miljöexponeringar av kemiska ämnen och tonar ner betydelsen av mikrobiologiska ämnen.

I ett pågående projekt vid SP, ”Mould in Office”, MiO (2009), undersöks ”friska hus” och om de är fria från mögel. En fråga man avser att besvara är ”Vad är normal frekvens av mögel i en ”frisk” kontorsbyggnad?” Den typen av information saknas; normalt undersöks bara problemlus.

Enligt Socialstyrelsen (1999) måste kraven på inomhusmiljö i byggnader anpassas till känsliga personer. Det räcker alltså inte att åstadkomma en innemiljö som är acceptabel för de flesta. Alla byggnader skall ha sådan innemiljö att även känsliga personer kan bruka dem.

Fuktkraven i BBR finns i kapitlet Hygien och hälsa. Begreppet ”hygien” inkluderar dålig lukt. Det innebär att fuktkraven också bör ses som ett sätt att undvika sådan påväxt av svampar och bakterier som kan ge upphov till så kallad elak lukt eller ”mögellukt”. Det är väl känt att actinomyceter, strålsvampar, kan ge upphov till sådan lukt, men det är inte klarlagt vilken mögelpåväxt som kan avge lukt eller under vilka förhållanden sådan påväxt framkallar lukt. Däremot är det känt att det behövs mycket begränsade luktkällor för att innemiljön skall vara acceptabel. Det är därför rimligt att, på grund av denna kunskapsbrist, ställa krav som begränsar alla typer av mögelpåväxt och inte bara sådan som eventuellt ger upphov till elak lukt, så länge vi inte säkert kan definiera denna.

. RÅD 2:

Eftersom det inte kan uteslutas att mikroorganismer i fuktiga byggnader kan påverka hälsan hos brukarna i en byggnad bör mögelpåväxt inom klimatskalet undvikas av försiktighetsskäl.

Begreppet ”klimatskal” har inte någon allmänt accepterad definition. I denna rapport, där det sägs att onormal mögelpåväxt inte accepteras ”inom klimatskalet”, avses med klimatskalet den konstruktion som skiljer inne- och uteklimat åt, där det i uteklimat också ingår regn. Det innebär att ”inom klimatskalet” också inkluderar baksidan/insidan av regnskyddet och inte bara värmeisoleringsmaterialen och de vindskydd och ångspärrar som normalt omger dessa. Detta rimmar väl med BBRs uttryckta undantag (råd i 6:53) från fuktkravet för påväxt på ytterväggars regnskydd, dvs detta skall betraktas som en del av klimatskalet, men att man här gör ett undantag. Något motsvarande undantag görs inte för t ex yttertakspanelens insida i tak och vindar (råd i 6:53:25). Den ingår naturligtvis i klimatskalet, men det gör hela takpanelen och den därpå liggande taktäckningen också. Här blir det svåra gränsdragningsfall var det kan accepteras mer än normal mögelpåväxt. På regnskyddets delar som vetter utåt är det självklart att sådan påväxt måste accepteras, men inte på insidan av underlagstäckningen.

På material utanför klimatskalet måste rimligtvis påväxt av mögel accepteras, men material som riskerar ge så kraftig lukt att det vid särskilda lufttrycksförhållandena och lufttätheter i klimatskalet kan nå inomhusluften måste undvikas. Konsekvenserna av att de kritiska fukttillstånden överskrids måste alltså vara kända.

BBRs undantag för fasadskal bör alltså nyanseras och anses gälla för andra byggnadsdelar utanför klimatskalet, särskilt sådana som normalt utsätts för vatten från regn, t ex strö- och bärläkt under takbeläggning, takfotsvirke etc.

4. Påväxt av mögel på virke

4.1 Definition av Påväxt – tillväxt

BBR använder både begreppet tillväxt och begreppet påväxt, utan att definiera skillnaden. I WoodBuild har ett förslag gjorts för att definiera denna skillnad, se figur 4.1.

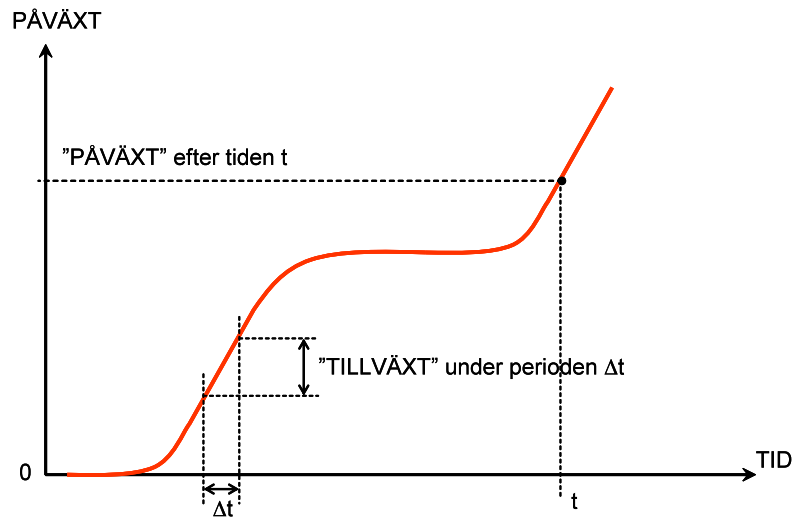


Fig. 4.1 Definition av begreppen tillväxt och påväxt

”Påväxt” är enligt förslaget i figur 4.1 ett totalt mått på hur långt mögelpåväxten kommit, dvs vad som totalt kan ses t ex i mikroskop vid en viss tidpunkt. ”Tillväxt” är ett mått på hastigheten i mögelpåväxten under en viss tidsperiod. En viss påväxt kan alltså uppkomma t ex genom långsam tillväxt under lång tid eller genom snabb tillväxt under kort tid.

Man har ibland hävdade att det bara är tillväxten som är oönskad; påväxten i sig skulle då kunna vara acceptabel, bara den inte skett i byggnaden! Det finns inte stöd för en sådan uppfattning; tvärtom har Bloom (2009) visat att mykotoxiner också förekommer i inaktiv mögelpåväxt. Det finns möjligen en ökad risk för framtida tillväxt under perioder med fuktigt klimat om påväxt redan är etablerad på materialet, Johansson (2003).

4.2 Analys av påväxt

Med en mikrobiologisk analys kan man bedöma förekomst av mögel. Oftast är ett mögelangrepp inte synligt för blotta ögat. Genom att analysera prover från materialytor kan man verifiera om det finns ett lokalt angrepp. En mikrobiologisk analys av byggnadsmaterial på laboratorium kan göras på olika sätt. Det finns inget standardiserat sätt som används av alla laboratorier. Utgångspunkten är dock den samma: att avgöra om ett byggnadsmaterial har en påväxt av mikroorganismer och i så fall i vilken utsträckning och vilken typ av organism (ibland art) som det rör sig om.

Vid analysen klassificeras angreppen i omfattning. De olika laboratorierna kallar frekvenserna något olika, men innebörden motsvarar sparsam, måttlig eller riklig påväxt. Detta är inte heller någon standardiserad uppdelning, utan baseras på de olika laboratoriernas erfarenhet.

Samuelson och Blomqvist (1995) jämförde olika laboratoriers analyser och bedömde att dessa kunde, trots att de är mycket olika och bygger på helt olika principer, mycket väl kan tolkas på ett likartat sätt.

Tabell 4.1 Resultat av analysen bör enligt Samuelson och Blomquist (1995) placeras inom någon av följande grupper

<i>Frekvens av hyfer och sporer</i>	<i>Kommentar</i>
Ringa förekomst	Anger att enstaka organismer kan förekomma vid normal hantering
Måttlig förekomst	Anger att viss tillväxt skett under perioder av gynnsamma förhållanden
Riklig förekomst	Anger att provet har riklig förekomst av mikroorganismer som kunnat tillväxa på materialet

Tabell 4.2 Mögelindex enligt Viitanen & Ritschkoff (1991)

0	no growth
1	some growth detected only with microscopy (trace)
2	moderate growth detected with microscopy (coverage more than 10 to 25%)
3	some growth detected visually (coverage below 10%)
4	moderate growth detected visually (coverage 10-50%)
5	plenty of growth detected visually (coverage above 50%)
6	very heavy growth (coverage 100%, very thick growth)

Numera är skalan som används på VTT något förändrad, enligt uppgift av Hannu Viitanen (jan 2009). ”Om det finns mögelpåväxt på materialet som bara syns i mikroskop, är det normalt 1 eller 2, om påväxten är liten. Men, om det finns mycket påväxt, då skall indexen bli 3 eller 4, och om det finns mycket påväxt och också lukten är kraftig, kan indexet bli 5.”

Tabell 4.3 Bedömning av mögelpåväxt enligt SP-metod 2899

<i>Frekvens av påväxt</i>	<i>Klassning</i>	<i>Beskrivning (bedömning i mikroskop)</i>
Ingen	0	Det finns ingen påväxt på materialet
Sparsam	1	Liten, eller mycket spridd, påväxt
Medel	2	Svagt, utspritt angrepp. Gles påväxt, eventuellt med enstaka konidioforer.
Fläckvis riklig	3	Fläckvis kraftig påväxt på materialet, ofta med utvecklade konidioforer
Generellt riklig	4	Hela materialet har en kraftig påväxt
Mycket riklig	5	Hela materialet är mer eller mindre täckt av sammanvuxen påväxt och syns (oftast) med blotta ögat

Ovanstående skalor för mögelpåväxt har använts, och används i forsknings-sammanhang. För mykologisk analys av prover från befintliga byggnader, där man vill kvantifiera graden av påväxt, används som regel en tregradig skala. Detta görs både av Botaniska Analysgruppen vid Göteborgs Universitet och av SP. Deras tregradiga skala för mögelpåväxt redovisas i Tabell 4.4. Förfarings-sättet beskrivs i detalj av Hallenberg & Gilert (1987).

Metoden är ett sätt att direkt kunna bedöma mikrobiologiska påväxt på ett materialprov. Proverna studeras först vid 40-60x förstoring. Från materialytan prepareras ett antal prover för vidare mikroskopisk analys vid högre förstoring. I mikroskopets okular finns ett rutnät. För att

kvantifiera mängden som finns i preparatet räknas de rutor där sporer eller hyfer förekommer. Antalet rutor i vilka hyfer/sporer förekommer blir då ett mått på frekvensen. Detta, tillsammans med hur det ser ut på ytan, kommer att leda till att påväxten klassas som ingen, sparsam, måttlig eller riklig. Analysen görs av personal som är väl tränad att kvantifiera och identifiera svampstrukturer och olika typer av materialytor.

Tabell 4.4 Tregradig skala för mögelpåväxt vid mykologisk analys av prover uttagna ur befintliga byggnader, använd av Botaniska Analysgruppen vid Göteborgs Universitet och av SP.

Frekvens av hyfer och sporer	Kvantifiering %-andel provyta	Kommentar
Ingen förekomst	0	
Sparsam förekomst	1-9	Anses motsvara en normal frekvens för helt opåverkat material
Måttlig förekomst	10-19	Innebär en mindre förhöjning som t ex kan uppstå under en kortvarig nedfuktning. Hur resultatet skall tolkas får avgöras från fall till fall.
Riklig förekomst ¹	>20	Tyder på fuktskada och kan ofta ge dålig lukt.

¹Om frekvensen är större än vad som motsvarar ”Riklig” kan ett eller flera utropstecken användas.

4.3 Acceptabel påväxt

Vad som är en acceptabel påväxt varierar med var i konstruktionen materialet finns. Det är aldrig acceptabelt att tillåta att mögel växer på ett sådant ställe i konstruktionen så att innemiljön kan påverkas t ex genom spridning av elak lukt. Utvändigt kan påväxt tillåtas i en högre omfattning, eftersom detta inte har någon inverkan på människors hälsa, utan främst är ett estetiskt problem.

Om det redan finns en sparsam påväxt vid inbyggnad, accepteras ingen ytterligare tillväxt under byggtiden eller under brukstiden.

Om man kunde acceptera en mer omfattande påväxt av mögel, än ingen alls, skulle det kritiska fuktillståndet blir högre, se figur 4.2.

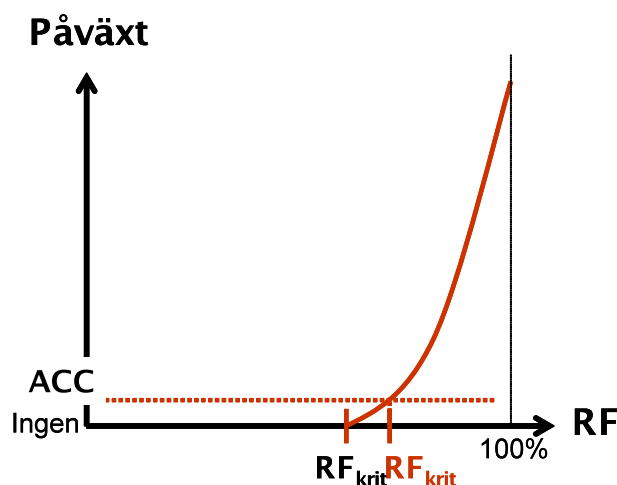


Fig. 4.2 Möjligt samband mellan acceptabel mögelpåväxt och kritiskt fuktillstånd

Att ta ställning till vad som är acceptabel mögelpåväxt i en byggnad är svårt. I brist på vetenskapligt underlag för sambandet mellan olika grad och typ av påväxt och ohälsa är det naturligtvis enkelt att använda en försiktighetsprincip, för säkerhets skull. Det är det som BBR gör. Å andra sidan kan man använda en viss rimlighetsprincip. Mögelpåväxt som historiskt inte har gett upphov till kända inomhusmiljöproblem skulle man då kunna överväga att acceptera. Ett sådant, viktigt exempel är den mögelpåväxt som sannolikt uppkommit under byggtiden där virkesytor tillfälligt varit för fuktiga efter ett kortvarigt regn så att mer än normal, men inte synlig, mögelpåväxt uppkommit. Om byggnadsdelen sedan aldrig mer blir fuktig under byggnadens livslängd sker inte någon ytterligare tillväxt. Det måste finnas massor med sådana exempel där detta skett men som aldrig gett upphov till några problem. Sådana områden i byggnader blir av naturliga skäl inte undersökta eftersom de är torra sedan länge och det finns inget som tyder på att de skulle utgöra källan till inomhusmiljöproblem. Få, om ens några, skadefall är kända där detta undersökts.

Undantaget i BBR 6.5 som anger att påväxt accepteras på fasadpanel borde vara tillämpligt också för andra delar som ibland utsätts för regn, exempelvis de spikläkt som panelen fästs på, strö- och bärläkt under takbeläggningar, takfoten etc. Byggnader som inte har ett inomhusklimat bör undantas från att alltid ha ett lägre fuktillstånd än det kritiska, t ex förråd, garage, vissa idrottsarenor, lagerhallar osv. BBRs krav gäller rimligen inte för ouppvärmade byggnader.

. **RÅD 3:**

Acceptera ”sparsam” mögelpåväxt (=1 tabell 4.3) inom klimatskalet under en byggnads livslängd. Sådan anses motsvara en normal frekvens för helt opåverkat material, se tabell 4.4.
--

Målsättningen med en fuktsäkerhetsprojektering i detta avseende blir alltså att undvika mer än normal mögelpåväxt.

5. Kritiska fukttillstånd för mikroorganismer på byggnadsmaterial

Olika mikroorganismer har olika lägsta krav för att växa. Förenklat kan man säga att det för varje art, varje temperaturnivå, varje varaktighet och varje näringsunderlag finns ett värde på minimimängden fukt som måste finnas tillgänglig för att arten skall kunna växa till. I figur 5.1 visas exempel på grupper av mikroorganismer, indelade efter fuktkraven, samt kraven på relativ fuktighet i kombination med temperaturen.

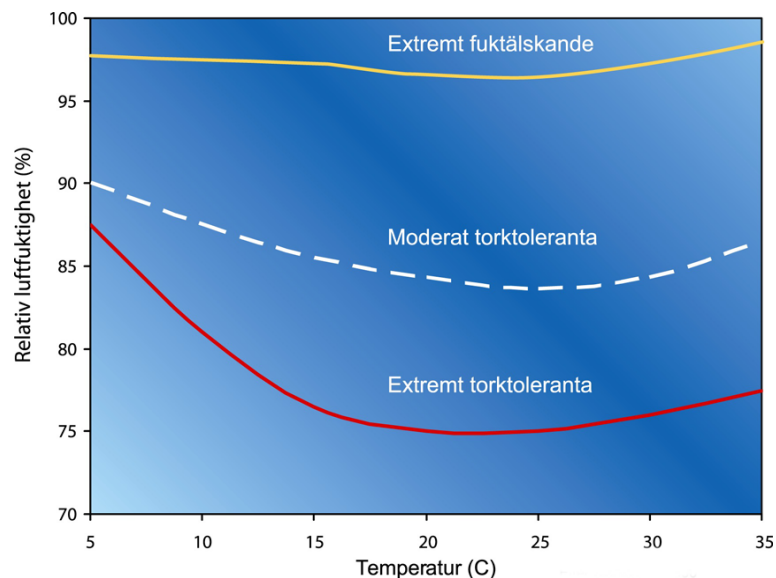


Fig. 5.1 Exempel på kritiska fukttillstånd vid olika temperaturnivåer för olika typer av mikroorganismer, Clarke et al (1996).

Temperaturnivån påverkar tydligt det kritiska fukttillståndet, se figur 5.1 och 5.2. Som regel är det kritiska fukttillståndet högre vid låga temperaturer och vid mycket höga temperaturer.

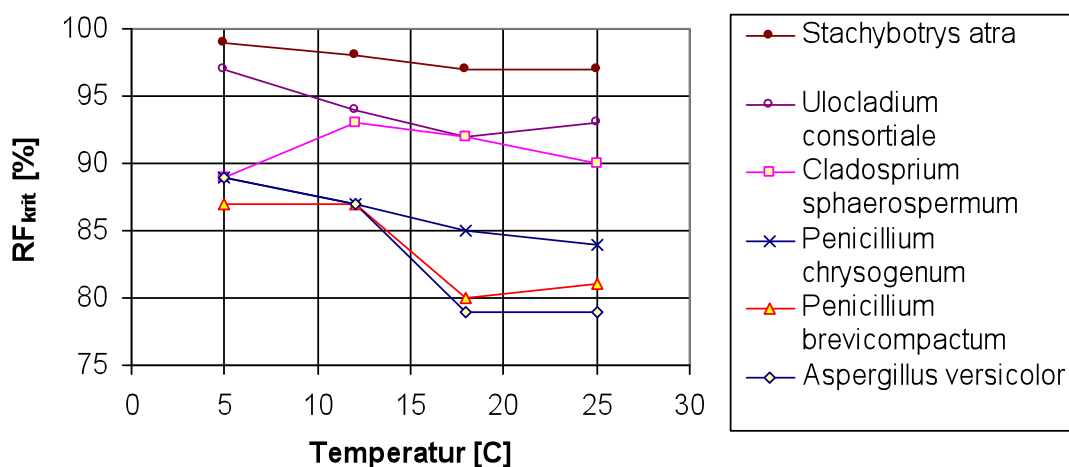


Fig. 5.2 Kritiska fukttillstånd vid olika temperaturnivåer för några mögelsvampar på emulsionsmålat papper, Grant et al (1989).

Sedlbauer et al (2002) beaktar typen av substrat och skiljer mellan olika känsliga material, se figur 5.3.

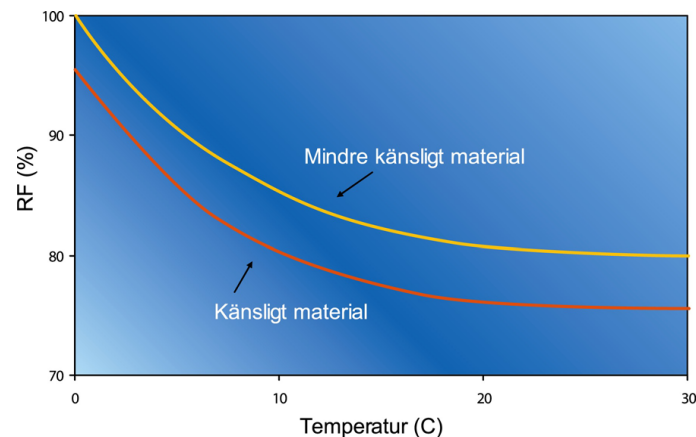


Fig. 5.3 Exempel på hur olika material är olika känsliga för påväxt. Vid samma temperatur och relativ fuktighet kan ett material få påväxt, men inte ett annat, efter Sedlbauer et al (2001).

Kunskapen om sambanden mellan vilka svamparter som är förhärskande på ett visst material är relativt begränsad. Etableringen av en påväxt är känslig för successionsordningen mellan svamparna, dvs historiken, och fuktnivån kan innebära att en viss svampart blir dominerande medan en annan fuktnivå skulle favorisera en annan svampart. I en del fall förknippas vissa material med vissa svamparter, t ex mycket fuktig gipskartong och *Stachybotrys*.

Kritiska fuktillstånd skulle kanske inte behöva kopplas så starkt och med så stor upplösning till materialtyper. Det kommer att vara orimligt att testa alla upptänkliga varianter av material för alla situationer. Man bör kanske hellre diskutera effekten av substrat som ytterligare en parameter som bestämmer näringstillgång och ytstruktur som miljö för organismerna. Ett rimligt scenario är några få klasser av ytor/material på skalan från helt sterila och rena till mycket gynnsam miljö för organismerna. I detta sammanhang kommer träslag m.m. troligen att ha liten betydelse. Större inverkan kan t ex graden av nedsmutsning ha, också på oorganiska material, som annars antas vara mindre känsliga för mikrobiell påväxt.

De kritiska fuktillstånd som finns i litteraturen gäller för de material som använts i respektive forskarstudie. Inför praktisk tillämpning av ett materials kritiska fuktillstånd måste visas vilka egenskaper varje enskilt material har. Det kan t ex ske genom att man låter prova ett nytt material med avseende på $RF_{krit}(T,t)$ i någon eller några viktiga punkter.

BBR ålägger leverantören att kunna tillhandahålla sådan information, dvs kunna leverera ett material med ”bestyrkta egenskaper”. Det är naturligtvis orimligt att prova varje enskild leverans vilket är just motivet för begreppet bestyrkta egenskaper. Man visar då dels att materialet/produkten har dessa egenskaper och dels att den produktions- och leveransprocess man använder är så väl under kontroll att man verkligen kan leverera material/produkter som inte varierar mer än vad som beskrivs av de egenskaper som anges som bestyrkta.

Vid leverans är därför inte avsikten att materialens/produkternas egenskaper testas utan det är den fortsatta processen som också är föremål för styrning och kontroll. För träprodukter innebär detta då en verifierad hantering dels från sågverk till leverans och dels från leverans till inbyggnad där processens olika delar naturligtvis kan delas upp ansvarsmässigt.

6. Kritiska fukttillstånd för trä. Inverkan temperatur och varaktighet.

Det är viktigt att förutom den kritiska fuktnivån och dess koppling till bl a temperatur även ta hänsyn till att det finns en tidsaspekt innan påväxt uppkommer även under gynnsamma förhållanden. Tillväxten hos svampar sker i olika faser. Även under gynnsamma förhållanden finns det ofta en latenperiod innan växten kommer igång. Om man under denna tid avbryter de gynnsamma förhållandena, det vill säga eliminerar fukten, kan man undvika att materialet angrips av mögelsvampar. Detta kan innebära att avbryta fukttillförsel vid en vattenskada eller vid regn på en byggarbetsplats.

Ett problem är att man ofta inte vet hur lång latenstiden är. Denna fas beror bland annat på hur fuktigt materialet är.

”Väl undersökta och dokumenterade” $RF_{krit}(T,t)$ för trä redovisas i Viitanen (1996), se figur 6.1 och 6.2.

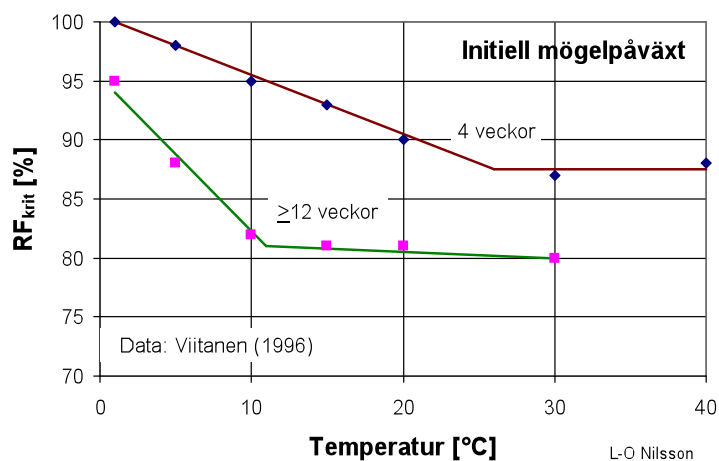


Fig. 6.1 Kritiska fukttillstånd för "initieell" mögelpåväxt på trä vid olika temperaturnivåer och varaktigheter, data från Viitanen (1996).

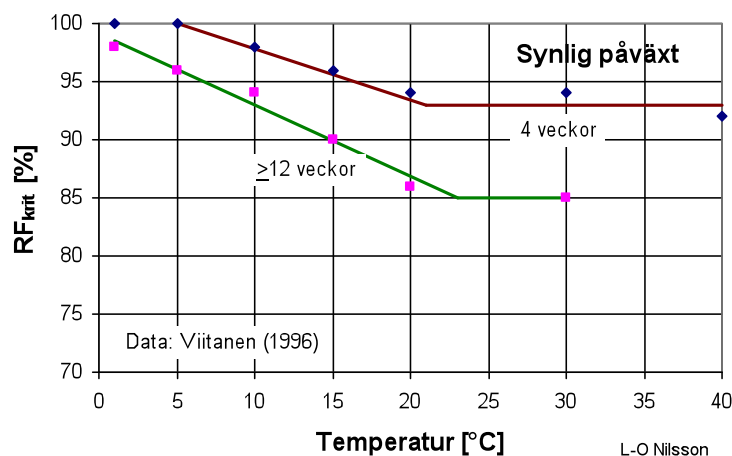


Fig. 6.2 Kritiska fukttillstånd för "synlig" mögelpåväxt på trä vid olika temperaturnivåer och varaktigheter, Viitanen (1996).

I figur 6.1 anges mögelpåväxten som ”initieell”. Detta motsvarar nivå 1 i Tabell 4.2 och Tabell 4.3, dvs. spår av påväxt kan observeras i mikroskop. ”Synlig” påväxt enligt figur 6.2 motsvarar nivå 3 i Tabell 4.2.

Det virke som användes i de av Viitanens undersökningar som ligger till underlag för dessa diagram utgjordes av gran som torkats i laboratoriet på VTT. Proverna togs ut på ett visst avstånd under sågad yta, vilket innebär att de kan antas motsvara hyvlat virke, vilket i stort sett uteslutande används för konstruktionsändamål i byggandet. Man bör observera att diagrammen i Fig. 6.1 och 6.2 representerar medelvärde av ett antal prover och att det naturligtvis finns en spridning kring medelvärdet, som dock inte har redovisats. Man kan även förvänta sig att i material från byggvaruhandeln eller från sågverk finns större variationer än de som kan observeras vid laboratorieförsök, Hallenberg (1994). Viitanen (1996) redovisar även försök direkt på sågad yta (efter torkning), vilka visar en signifikant högre benägenhet för mögelpåväxt.

Ett exempel där sågad yta förekommer i byggsammanhang är råspont. I en pågående studie på SP, som har vissa likheter med ovanstående studier, har virke från byggvaruhandeln använts. Man har då konstaterat att kraftigare mögelpåväxt på råspont och vissa andra träbaserade produkter uppkommer inom en vecka vid 90, 93 och 95 % RF vid 22°C, se figur 6.3.

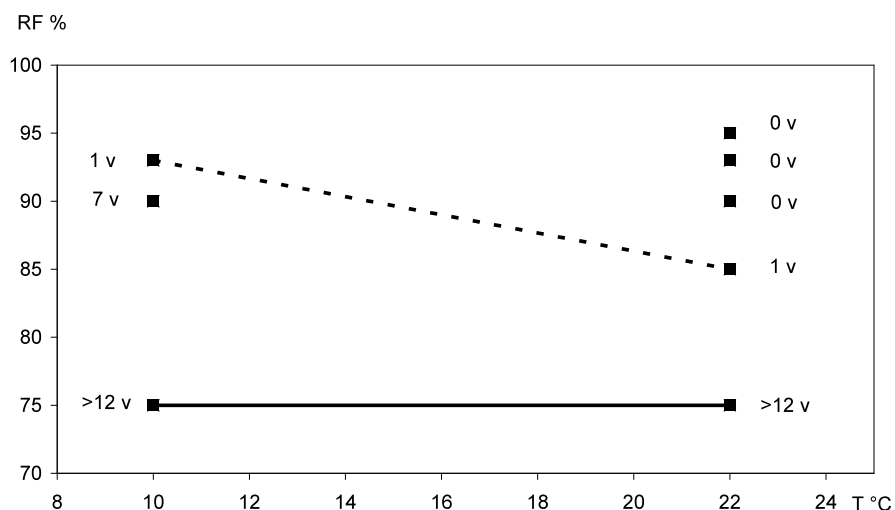


Fig. 6.3 Antal veckor utan påväxt av mögel på obehandlat trä (råspont) på något av sex prover (klass 0 - 1 tolereras) - i 8 stationära klimat vid 10 och 22 °C.

Viitanen (1996) har inga observationer för kortare perioder än 4 veckors varaktighet. Nilsson (2007) har föreslagit ett sätt att tillsvidare hantera mycket korta varaktigheter (enstaka dygn) av extrem fuktbelastning, t ex enstaka regn under byggtiden eller kortvarig exponering mot mycket fuktig, varm uteluft. Med utgångspunkt från observationer av Smith & Hill (1982) för *Aspergillus restrictus* men på ett näringsmedium, inte på trä, kan en uppskattning göras, se figur 6.4.

Förslaget i figur 6.4 är visserligen inte baserat på data från påväxt på trä, men borde vara på ”säkra sidan” om man använder det på så sätt att acceptabel varaktighet i det markerade övre högra hörnet är högst ett dygn.

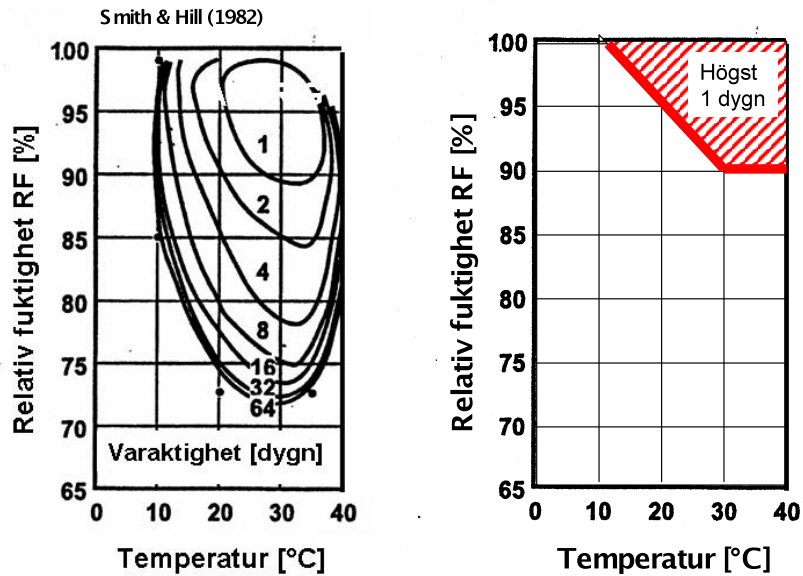


Fig. 6.4 Möjlig beskrivning, högra diagrammet, av kritiskt fuktillstånd för trä för riktigt korta varaktigheter.

Med detta som utgångspunkt kan nedanstående kritiska fuktillstånd $RF_{krit}(T,t)$ för acceptabel mögelpåväxt på trätytor användas tillsvidare. De måste anses motsvara BBRs krav på att vara ”väl undersökta och dokumenterade”, även om underlaget för de riktigt korta varaktigheterna är magert.

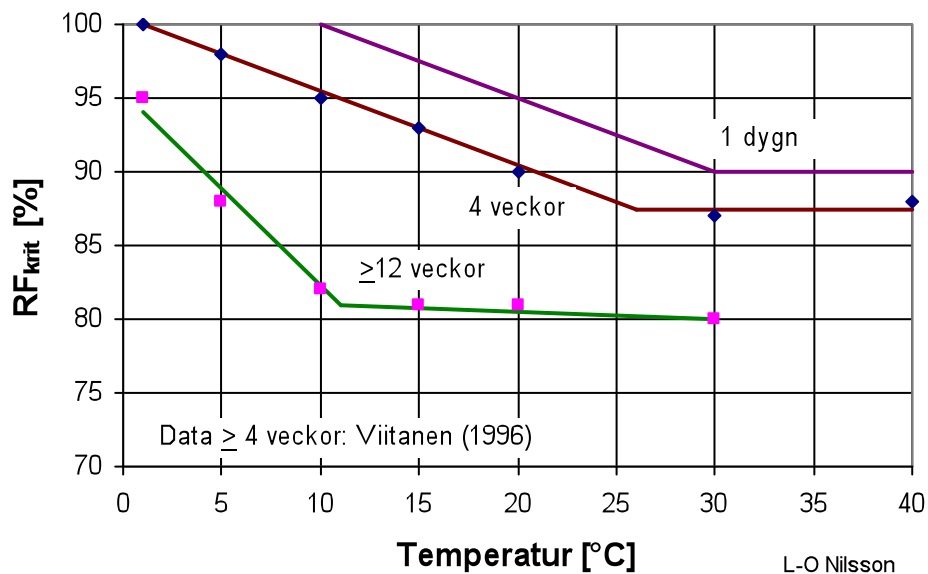


Fig. 6.5 Lämpliga kritiska fuktillstånd för trä tillsvidare, med hänsyn tagen till temperaturnivå och varaktighet hos fuktillståndet. Baserade på data från Viitanen (1996) och Smith & Hill (1982)

. RÅD 4:

Använd ”väl undersökta och dokumenterade” $RF_{krit}(T,t)$ enligt Viitanen (1996), kompletterade med bedömning för höga fuktillstånd vid olika temperaturer och korta varaktigheter, för virkesytor i klimatskalet!

De preliminära resultaten i figur 6.3 indikerar att antingen ger olika metoder olika nivåer eller varaktigheter hos kritiska fukttillstånd eller att de kritiska fukttillstånden är mycket olika för olika träbaserade material. Figuren gäller för råspont från byggvaruhandeln utan känt ursprung, lagrings- och hanteringssätt. Det finns också erfarenheter av att viss plywood använt som takskeivor på vindar förefaller vara särskilt möglingsbenäget.

Kritiska fukttillstånd som fuktkvot

Kritiska fukttillstånd för trä uttrycks så gott som alltid i relativ fuktighet, RF. Detta beror dels på att man alltid styr omgivningsklimatet när man konditionerar prover vars mögelpåväxt man sedan kvantifierar och dels på att RF för materialytor är materialoberoende. Samma kritiska fukttillstånd, som RF, kan användas t ex för olika nedsmutsade materialytor.

I många fall önskar man istället använda den fuktkvot som en viss RF motsvarar. Detta är inte helt enkelt, eftersom sambandet mellan RF och fuktkvot dels beror på fukthistorien, se figur 6.6, och dels påverkas av temperaturen. Dessutom är det fuktkvoten i materialytan man avser när det gäller mögelpåväxt. I ett virkesstycke som torkats är det som regel stora fuktgradienter under lång tid så att virkesytorna kan vara betydligt torrare än medelfuktkvoten.

För trä som torkats gäller desorptionsisotermer, den övre kurvan i figur 6.6, som samband mellan fuktkvot och relativ fuktighet. De kritiska RF vid olika varaktigheter vid +20°C i figur 6.5 motsvarar då fuktkvoter enligt tabell 6.1.

Tabell 6.1 Kritiska fukttillstånd uttryckta som fuktkvot i virkesytan, vid +20°C och desorption, för de varaktigheter som anges i figur 6.5.

Varaktighet	RF (%)	Fuktkvot (vikt-%)
≥ 12 veckor	80	19
4 veckor	90	23
1 dygn	95	28

Som jämförelse kan också fuktkvoten ca 17 % vid 75 % RF ges, som motsvarar det fuktkrav som BBR ställer om väl undersökta och dokumenterade kritiska fukttillstånd saknas.

Vid senare uppfuktning gäller scanningkurvor, dvs fuktkvoterna vid respektive RF-nivå är då lägre, ca 2 vikt-%. Fuktkvoterna vid andra temperaturer är något högre vid låga temperaturer och något lägre vid högre.

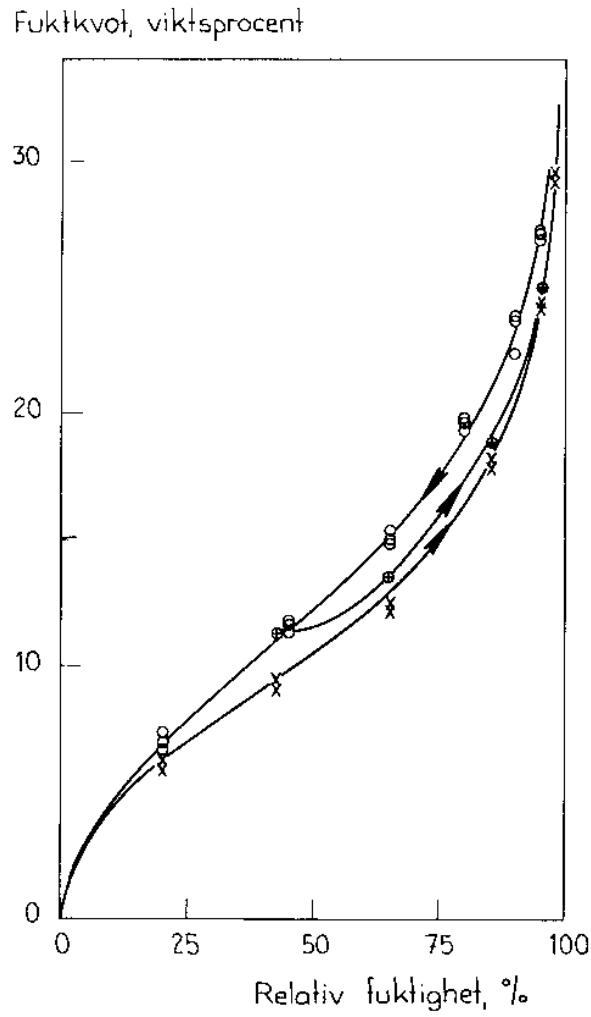


Fig. 6.6 Desorptions-, absorptions- och scanningsisotermer för furu med densiteten 510 kg/m³, vid +20°C, Ahlgren (1972). Den är tillämpbar också för gran och helt andra densiteter.

7. Kritiska fukttillstånd för trä. Inverkan av temperatur och fuktvariationer.

Tidigare studier har sällan behandlat mögelpåväxt under varierande klimatpåverkan. Rowan et al (1999) & Rowan et al (1997) hade dock modeller redan för mer än tio år sedan. Den avgörande frågan är hur sporgroning och mögelpåväxt sker om det inte varit fuktigt så länge som de varaktigheter som krävs men sedan blir fuktigt igen, dvs hur man ”adderar” varaktigheter och eventuellt ”subtraherar” torrperioder däremellan.

WUFI-Bio, Sedlbauer et al (2003), har ett sätt att beskriva $RF_{krit}(T,t)$ där man också kan ”addera” varaktigheter. I WUFI-Bio simuleras fukthalten i mögelsporer. Denna jämförs med det kritiska vatteninnehållet som krävs för att sporer skall gro. När grobarhet har inträffat uppskattas den efterföljande påväxten med hjälp av tillväxtkurvor. För att köra programmet krävs indata i form av temperatur och relativ fuktighet under en tidsperiod. Indatafil kan skapas direkt från WUFI, matas in från mätningar eller från utdata från andra beräkningsprogram (textfil).

Upphovsmännen rekommenderar att modellen endast skall användas för invändiga ytor, dvs inte för träytor utomhus, men borde också vara tillämplig för virkesytor i klimatskalet. Så som modellen är uppbyggd sker en viss återhämtning; om man tidigare nått en viss ”grad av sporgroning”, minskar denna om det är torrt under en lång period. När det blir fuktigare fortsätter sporgroningen från den lägre nivån. När väl en tillväxt initieras, efter sporgroning, fortsätter denna vid varje kommande tillfälle då fuktigheten når över en viss nivå. Påväxten har naturligtvis ingen återhämtning; det mycel som bildats finns kvar även under en uttorkningsperiod. Detta verkar rimligt. Vad man däremot kan ifrågasätta är den korta uppfuktningstid för sporgroning som modellen ger, Kumlin (2009). Den verkar inte rimlig. Möjligen skulle modellen kunna modifieras så att spormodellen ges en större fuktkapacitet så att det krävs längre varaktigheter för att överskrida det kritiska fukttillståndet för sporgroning. Detta bör analyseras närmre.

WUFI-BIO 2,0 kan gratis laddas hem från: <http://www.wufi.de/indexe.html>.

Inom WoodBuild har Thelandersson et al (2009) tagit fram en modell ("dos-responsmodellen") för att hantera fuktvariationer. I den ingår en viss ”återhämtning” under torra perioder så att sporgroning till viss del måste ”börja om” efter en torrperiod. Modellen är ännu begränsat verifierad, men är kalibrerad mot Viitanens data, och kan ännu inte betraktas som ”väl undersökt och dokumenterad”. Den har dock stor potential att beskriva effekten av varierande temperatur- och fuktförhållanden på träytor när mätningar har visat hur långa återhämtningsperioderna är.

Modellen har nu jämförts med WUFI-Bio för Lund respektive Kiruna. Samma klimatdata är inkörda i WUFI och i "dos-responsmodellen". WUFI kräver timdata - dygnsmedelvärdena har använts och fått gälla under 24 timmar. Resultaten visas i nedanstående figurer.

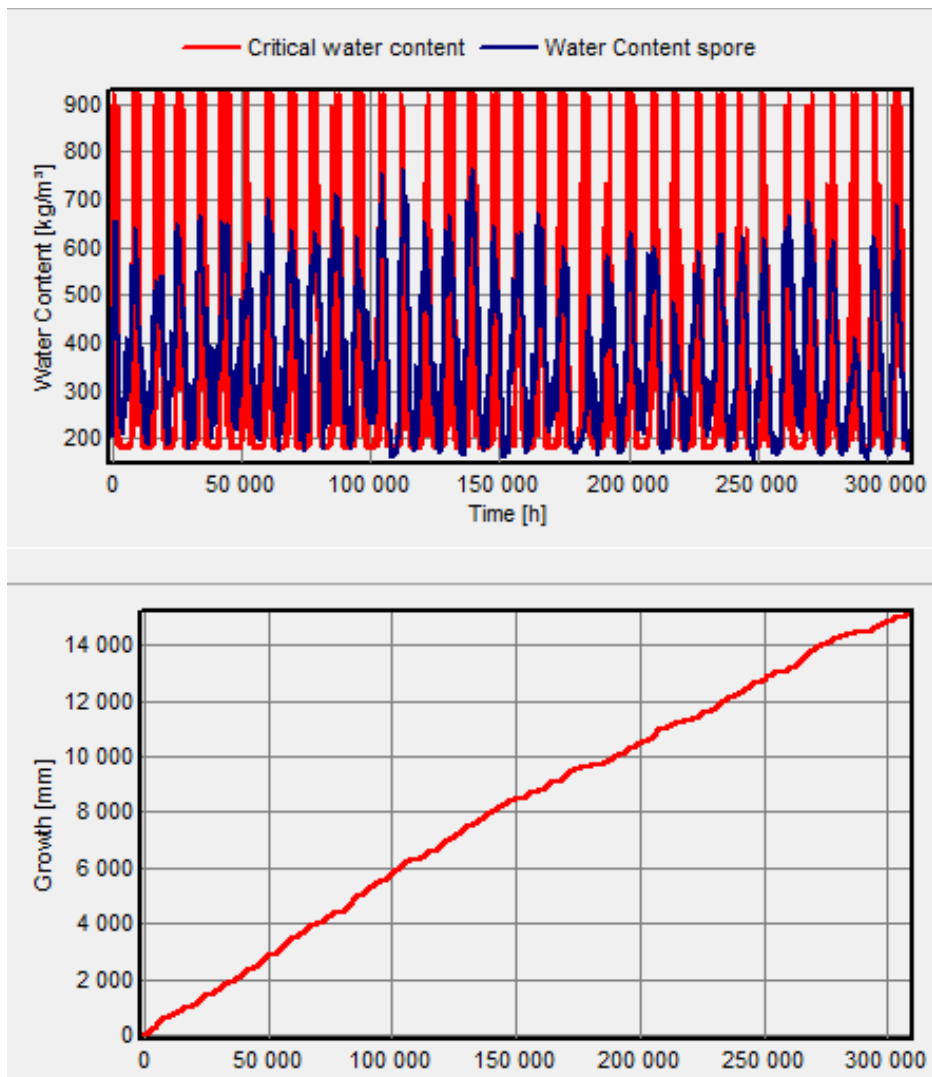


Fig. 7.1 Mögelpåväxt på ytor som exponerats i ett klimat, skyddat mot regn, motsvarande klimatet i Lund 1961-1996 enligt WUFI-BIO, Substrate class 0, initiell RF = 75 %.

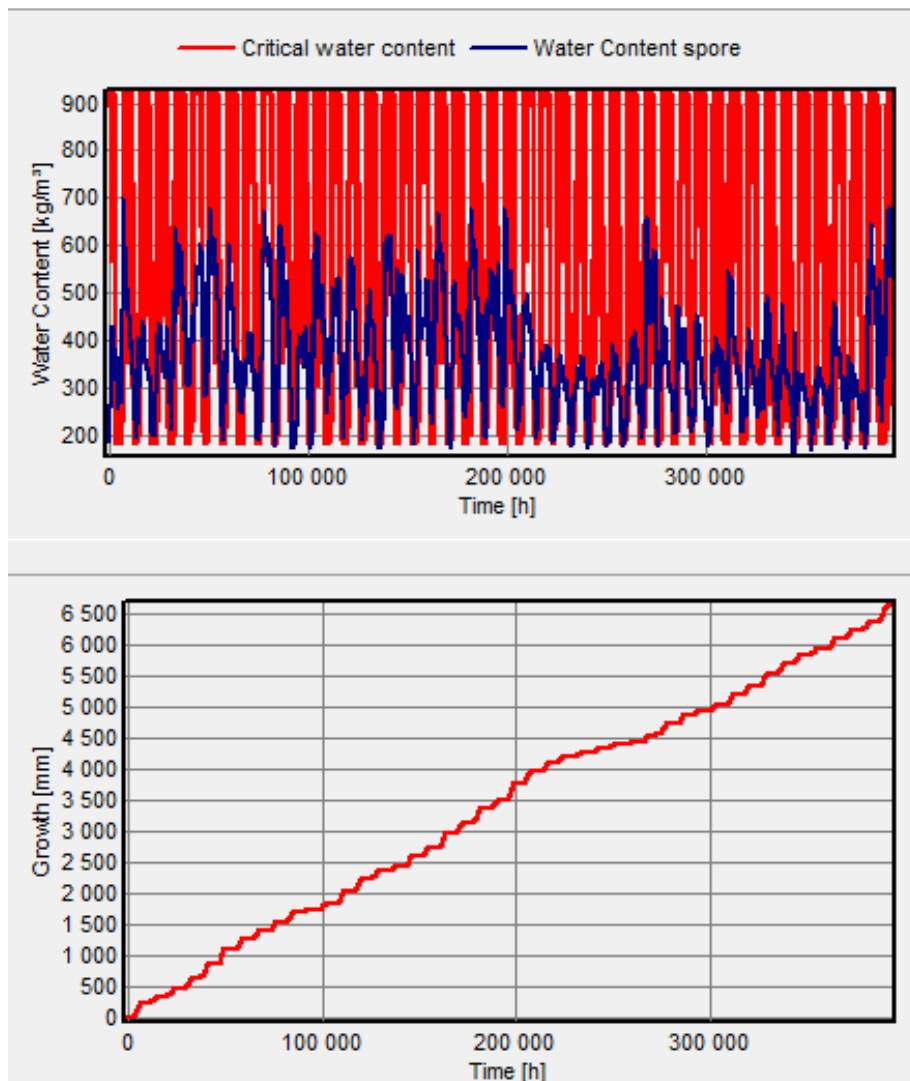
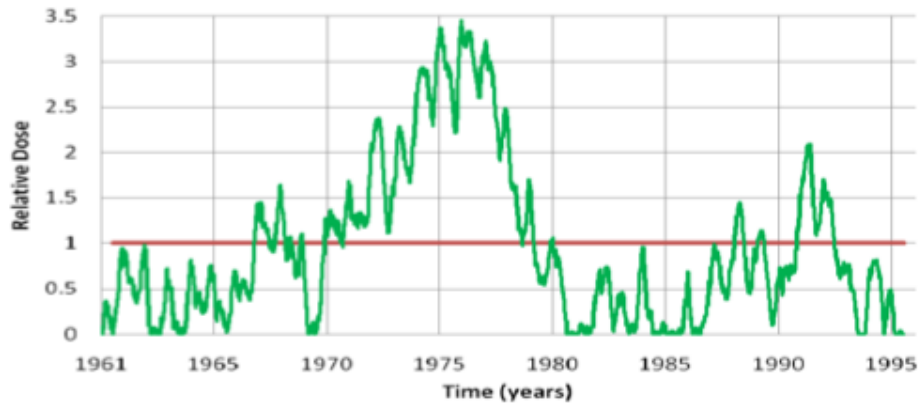


Fig. 7.2 Mögelpåväxt på ytor som exponerats i ett klimat, skyddat mot regn, motsvarande klimatet i Kiruna 1961-1996 enligt WUFI-Bio, Substrate class 0, initiell RF = 75 %.

Lund



Kiruna

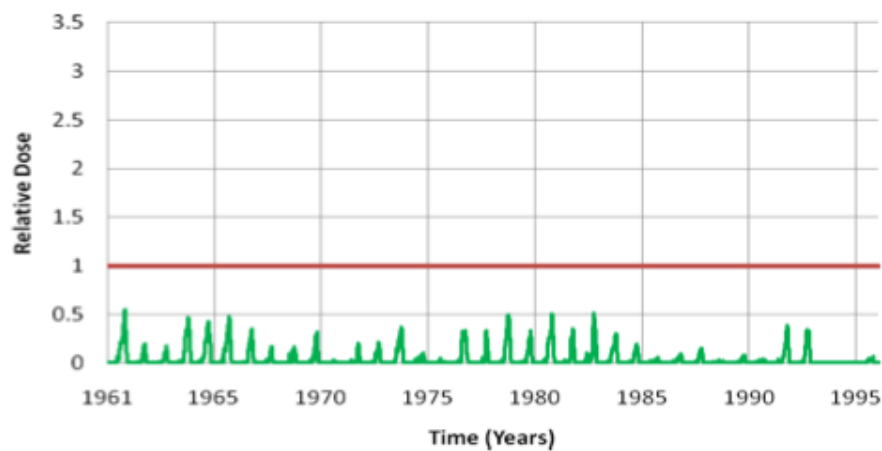


Fig. 7.3 Mögelpåväxt på ytor som exponerats i klimat, skyddat mot regn, motsvarande klimatet i Lund (upptill) respektive Kiruna (nedtill) 1961-1996 enligt dos-responsmodellen,

Enligt WUFI-Bio har möglet växt drygt 14000 mm i Lund åren 1961-1996 medan Kiruna kommer undan med 6500 mm åren 1961-2007! WUFI-Bio ger inte rimliga resultat i det här fallet, vilket kanske är väntat med tanke på de förbehåll som ges för användning av det. ”Dos-responsmodellen” ger stor skillnad mellan mögelpåväxt i Kiruna och Lund. I Kiruna blir det ingen alls under alla dessa år, medan betingelserna har varit gynnsamma för mögelpåväxt i Lund under några år under 1970-talet och några perioder kring 1990.

Det bör observeras att dos-respons-modellen inte är verifierad mot verkliga data. Resultaten i figur 7.3 behöver därför inte vara korrekta; de visar bara på framtida möjligheter. De stämmer t ex inte med den analys som görs i kapitel 8.

. RÅD 5:

Vänta på verifierade resultat från WoodBuild för att hantera fuktvariationer. Välj tillsvidare lösningar, som klarar de kritiska fuktillstånden med hänsyn till kritisk varaktighet enligt kapitel 6. Exempel ges i kapitel 8.

8. Svenskt uteklimat, som $RF(T,t)$

En första beskrivning av konsekvenserna av ovan föreslagna kritiska fuktillstånd kan erhållas genom att jämföra dem med uteluftens fuktighet på olika platser i landet. Jämförelsen skall då göras genom att ta hänsyn till temperaturnivån och fuktighetens varaktighet. En sådan jämförelse kan vara relevant för exponering av virke under transport och lagring före och under byggtiden samt i viss mån för byggnadsdelar där träytor exponeras för uteluft utan att utsättas för regn. Konsekvensen för olika byggnadsdelar beskrivs i kapitel 10.

Klimatdata från SMHI finns tillgänglig för en rad orter i Sverige. Licensavtal med SMHI medger användning av data inom WoodBuild t.o.m. 2012-12-31.

SMHIs väderdata skiljer sig mycket för olika parametrar. Det är t ex först fr.o.m. 1996 som automatstationer har mätt timvis nederbörd. Genomgående kan man säga att SMHI har lagt större fokus på tretimmarsvärden än timvärden, förmodligen av historiska skäl. Den mest begränsande faktorn är dock mätning av den långvågiga strålningen från himlen. Denna strålning har aldrig mätts på mer än fyra platser i Sverige samtidigt och uppvisar dessutom stora luckor i tiden. För vertikala konstruktioner är den långvågiga strålningen från himlen inte så viktig eftersom strålningsutbytet med omgivningen till stor del sker mot ytor som har luftens temperatur. För horisontella konstruktioner är det dock viktigt, åtminstone initialt, att ta med den långvågiga strålningen i beräkningarna. Långvågig strålning har mätts längre perioder i Lund, Luleå (1983-1999), Stockholm (1983-1998), Borlänge (1990-1998). Under dessa perioder finns timvis data för nederbörd endast för 1996-1999. Resterande perioder finns som 3-, 6-, 12- och 24-timmarsvärden. Nederbörden måste alltså fördelas på de timmar som ligger emellan mätpunkterna. Harderup (1998) löste t ex detta genom att använda olika fördelningsmodeller.

De kritiska temperaturer och luftfuktigheter som uppstår i olika konstruktioner skiljer sig naturligtvis från motsvarande uppmätta värden i fria luften vid klimatstationerna. Det är ännu inte klart hur man skall gå från klimatvärden till konstruktionsvärden och ge ett generellt och robust svar. Här pågår ett arbete inom forskningsprogrammen Framtidens Trähus och WoodBuild. Detta bör på sikt leda fram till ”belastningsfall” som byggnadsdelar skall projekteras för, på samma sätt som man gör sedan länge för projektering av bärande system.

Uppdaterade klimatdata från ett antal svenska väderstationer har analyseras statistiskt på ett nytt sätt än som gjorts tidigare av Harderup (2000), se också KlimatData; nu i form av $RF_{luft}(T_{luft},t)$, luftfuktighet som funktion av lufttemperatur och uttrycks i form av varaktigheter av $RF_{luft}(T)$ över olika kritiska gränser $RF_{krit}(T)$. Några exempel visas i nedanstående diagram.

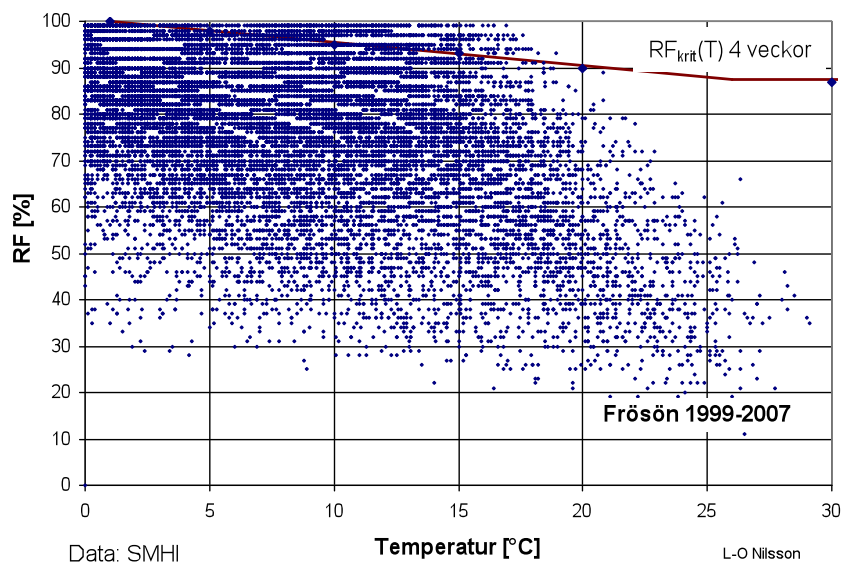


Fig. 8.1 Uteluftens fuktighet som funktion av lufttemperatur på Frösön under perioden 1999-2007. Varje punkt representerar ett tretimmarsvärde. Punkterna jämförs med kritiska fuktillstånd enligt Viitanen (1996) vid en varaktighet på en månad.

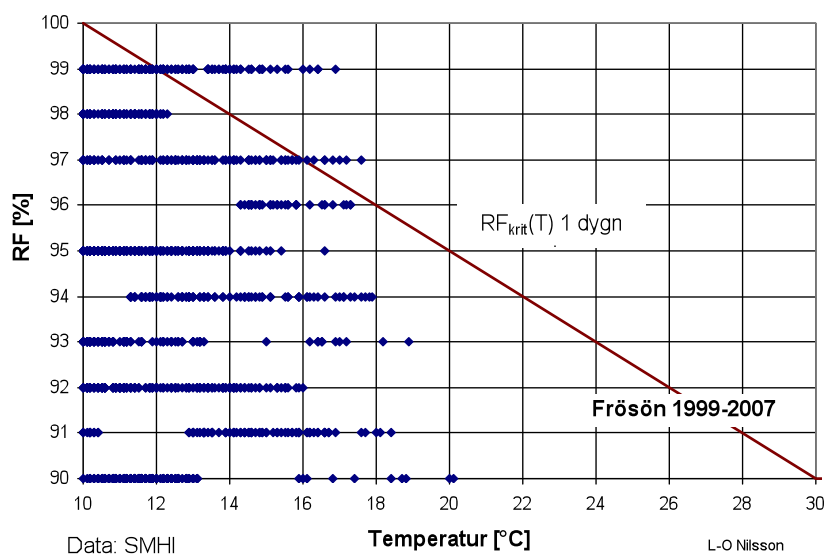


Fig. 8.2 Uteluftens fuktighet som funktion av lufttemperatur på Frösön under perioden 1999-2007; en detalj ur övre högra hörnet av figur 8.1. Varje punkt representerar ett tretimmarsvärde. Punkterna jämförs med kritiska fuktillstånd enligt figur 6.5 vid en varaktighet på ett dygn.

Jämförelserna i figur 8.1 och 8.2 är svåra att tolka eftersom punkterna inte hänger samman. De blir intressanta först när varaktigheten över en kritisk nivå kan utvärderas. Detta har gjorts i nedanstående tre diagram där samma klimatdata som i figur 8.1 och 8.2 redovisas som sammanlagda varaktigheter under tre månader, en månad respektive ett dygn och ställda i relation till dessa tre tidsperioder. Maximalt möjligt värde i diagrammen är alltså 1.0, vilket skulle uppnås om alla tretimmarsvärden på RF under tre månader, en månad respektive ett dygn ligger över den kritiska $RF_{krit}(T, t)$ för respektive varaktighet.

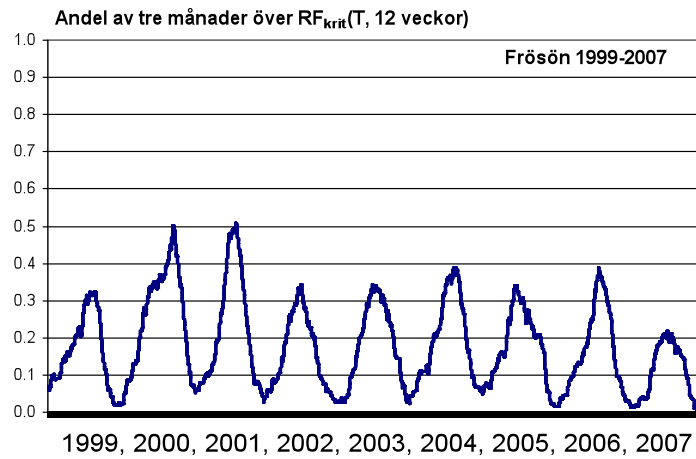


Fig. 8.3 Sammanlagd varaktighet under tre månader av $RF(T)$ över den kritiska $RF_{krit}(T,t)$ för varaktigheten tre månader, som andel av tre månader. Frösön 1999-2007

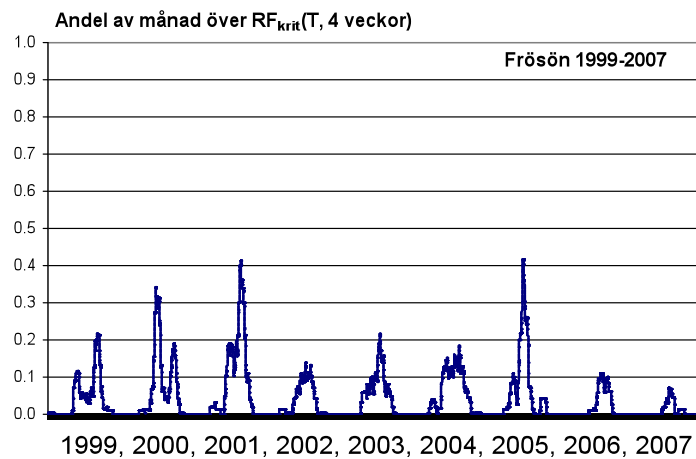


Fig. 8.4 Sammanlagd varaktighet under en månad av $RF(T)$ över den kritiska $RF_{krit}(T,t)$ för varaktigheten en månad, som andel av en månad. Frösön 1999-2007

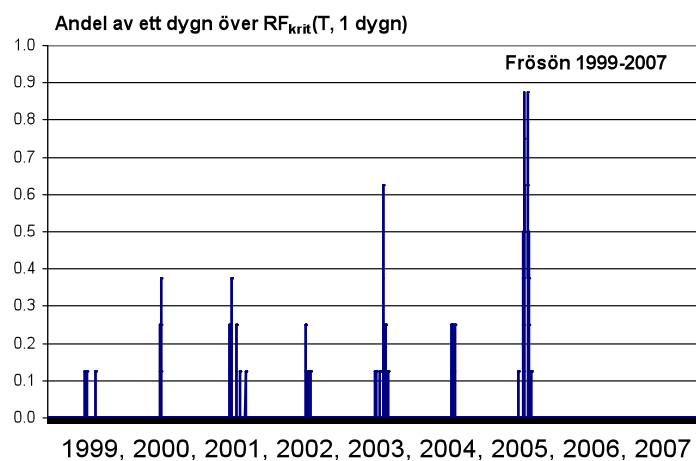


Fig. 8.5 Sammanlagd varaktighet under ett dygn av $RF(T)$ över den kritiska $RF_{krit}(T,t)$ för varaktigheten ett dygn, som andel av ett dygn. Frösön 1999-2007

Motsvarande sammanställning har gjorts, för varaktigheten en månad, i figur 8.6 för några orter i Sverige.

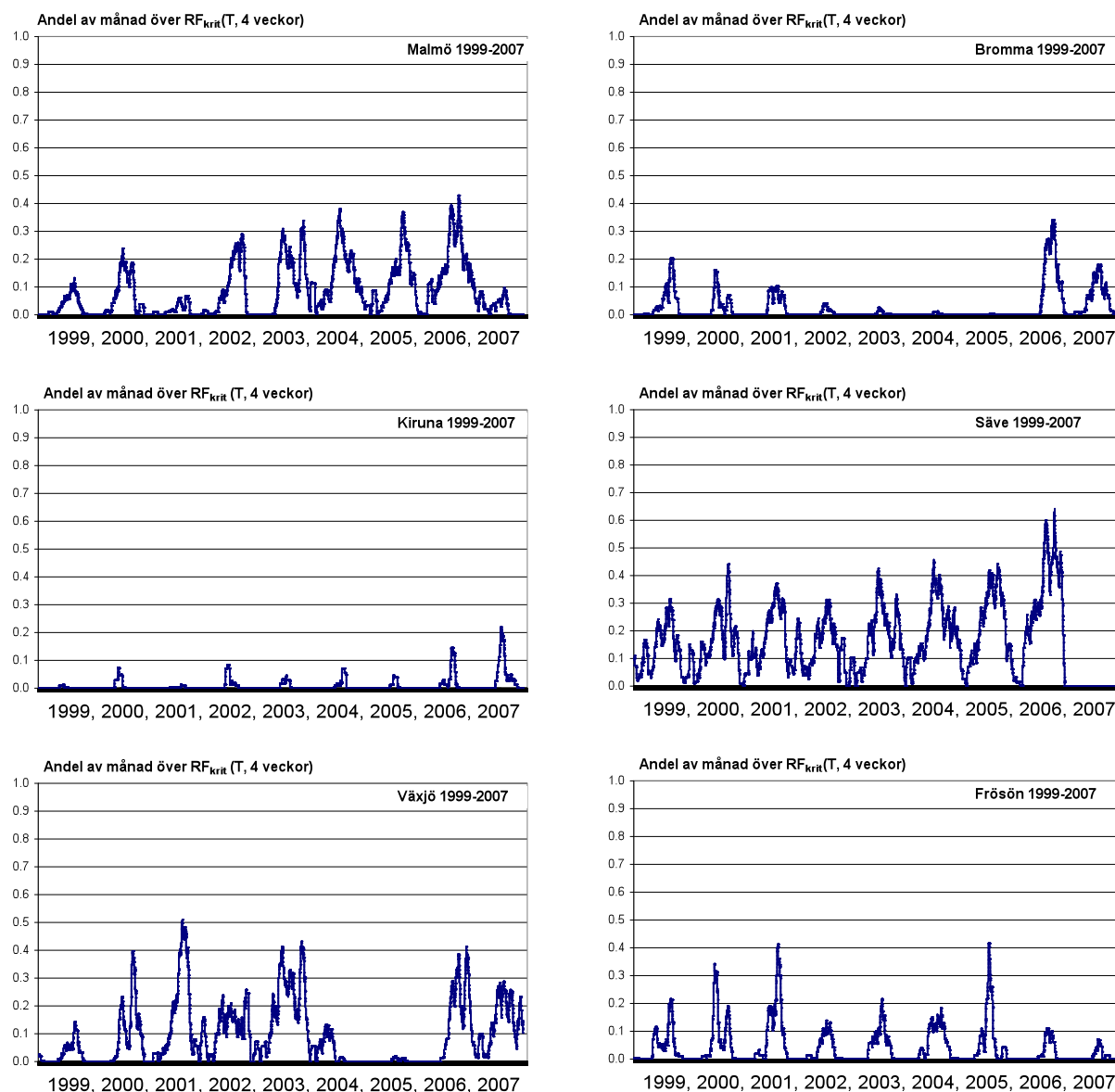


Fig. 8.6 Sammanlagd varaktighet under en månad av RF(T) över den kritiska RF_{krit}(T,t) för varaktigheten en månad, som andel av en månad. Olika orter i Sverige 1999-2007

Som framgår av figurerna 8.1-8.6 fanns det inte något tillfälle under 1999-2007 då uteluftens fuktighet var högre än den kritiska enligt figur 6.5 under en så lång tidsperiod att man överskred varaktigheten för respektive kritisk RF. Varaktigheten av RF(T) över de kritiska var alltid störst under sommaren/början av hösten och varierade relativt mycket mellan åren 1999 till 2007.

Skillnaderna är stora inom landet. Under sensommaren/tidig höst 2006 var uteluftens RF(T) på Säve flygplats utanför Göteborg över den kritiska under mer än 60 % av en månad. I Kiruna var RF(T) aldrig över den kritiska under mer än 20 % av en månad.

Skillnaderna är också stora mellan olika varaktigheter, se exemplen i figur 8.1-8.3 för Frösön. $RF_{krit}(T,t)$ för den långa varaktigheten tre månader överskreds under upp till ca 50 % av tiden under år 2000, medan för den kortare varaktigheten på en månad överskreds $RF_{krit}(T,t)$ under upp till ca 40 % av tiden men andra år, nämligen 2001 och 2005. För den riktigt korta varaktigheten på ett dygn överskreds $RF_{krit}(T,t)$ enligt figur 6.5 under upp till 90 % av ett antal dygn under sommaren 2005 på Frösön.

Frågan är om detta sätt att utvärdera klimatdata är korrekt eller är mycket på osäkra sidan. Det beror på hur varaktigheter egentligen skall "adderas" och om detta har vi inte alls tillräcklig kunskap idag. När klimatdata visar att $RF(T)$ under en viss period inte är högre än den kritiska för den varaktigheten kan man visserligen påstå att mögelpåväxt inte skulle uppkomma under den perioden. Om $RF(T)$ sedan är högre än den kritiska under en näraliggande period, men inte heller här tillräckligt länge, kan det hända att de båda varaktigheterna tillsammans, under en längre tidsperiod, är tillräckliga för att mögelpåväxt skall uppkomma. Denna metodik bör kunna användas för att ta fram regler för hantering av trä i kedjan sågverk till bygge och under byggtiden, men inte använda direkt för utvärdering under längre perioder.

Om detta har vi inte tillräckliga kunskaper idag. En viss indikation har framkommit vid studier av fuktkritiska situationer inom projektet, se kapitel 9.

. RÅD 6:

Utnyttja lokala väderdata, uttryckta som RF som funktion av temperatur och varaktighet, som underlag för bedömning av **inverkan av uteluftens fuktighet** på fuktkritiska situationer och vissa fuktkritiska konstruktioner.

Då det finns stora variationer mellan olika år kan man fråga sig vilket år/tidsperiod man ska använda för respektive ort. För ett pågående byggprojekt finns det inte klimatdata förrän i efterhand, och då till en hög kostnad för enskilda företag. Vad man kan göra är att se historiska klimatdata för en ort som ett riskscenario; det skulle kunna inträffa igen!

Ett sätt att utnyttja väderdata är att också följa upp det klimat som varit under tiden man bygger, genom att följa uteluftens temperatur och relativa fuktighet med givare som är skyddade mot regn. Genom jämförelser med kritiska fuktillstånd vid olika varaktigheter kan man få signaler om när varaktigheterna börjar bli för långa och då vidta åtgärder i tid, t ex flytta virkespaket till uppvärmda eller avfuktade utrymmen.

9. Konsekvenser, allmänt

Ovan föreslagna kritiska fukttillstånd $RF_{krit}(T,t)$ medför att det ibland krävs nya insatser och lösningar! Det måste accepteras att en del av nuvarande trähantering och träkonstruktioner är för riskfyllda och därför måste utvecklas!

I följande två kapitel görs en genomgång av sådana situationer och konstruktioner som kan betraktas som "fuktkritiska" dvs sådana som kräver särskild omsorg under transport, lagring, leverans, byggtid och brukstid. Allmänna råd ges nedan.

Om de kritiska fukttillstånden formuleras som i kapitel 4, figur 6.5, innebär det i praktiken att monterade träkonstruktioner och virkespaket inte får utsättas ens för kortvarigt regn, vid temperaturer över $+10^{\circ}\text{C}$, om inte alla ytor omedelbart kan torkas ner till högsta tillåtna fukttillstånd på kortare tid än den kritiska varaktigheten. Trä som ändå råkar utsättas för regn måste direkt kontrolleras med fuktmätningar och man måste åstadkomma en omedelbar start av torkning av samtliga virkesytor som är för fuktiga.

Vid höga temperaturer, t ex om virke är solbelyst, får virkesytorna inte utsättas för hög luftfuktighet över 90 % RF om de inte omedelbart får chans att torka. Vid lägre temperaturer kan virkesytor däremot exponeras för fuktig uteluft under så långa tider som anges av varaktigheten för respektive kritiskt fukttillstånd. Här spelar temperaturen stor roll.

Virkesytor kan exponeras mot uteluftens fuktighet under begränsade tidsperioder; omgivande klimat (T & RF) bör därför registreras kontinuerligt under hela processen och jämföras med de kritiska fukttillstånden.

Vid planering och projektering bör en säkerhetsmarginal mellan kritiska och aktuella fukttillstånd användas. Denna skall väljas med hänsyn till hur väl man känner eller kan förutsäga dessa. För närvarande är underlaget för val av säkerhetsmarginal ytterst bristfälligt. Det pågår ett intensivt arbete inom WoodBuild för att utveckla ett sätt att behandla osäkerheter och risker. Tillsvidare föreslås en säkerhetsmarginal på 5 % RF mellan de kritiska och aktuella fukttillstånden, om de aktuella fukttillstånden predikteras med hjälp av flera års klimatdata från SMHI och med noggrant verifierade simuleringsverktyg.

En sådan säkerhetsmarginal förefaller vara ett rimligt sätt att hantera osäkerheter för fuktpåverkan med längre varaktigheter i samband med projektering. Analyser av den typ som finns i figur 8.3-8.6 visar att en sådan säkerhetsmarginal "ryms". För den mycket korta kritiska varaktigheten på ett dygn, som är mest osäker och som valts på "säkra sidan", verkar det dock orimligt att använda en säkerhetsmarginal uttryckt i % RF. 5 % RF skulle i så fall innebära att man ställer krav som motsvarar en kritisk varaktighet på mer än 4 veckor, jämför figur 6.5. En framkomlig väg skulle kunna vara att välja en säkerhetsmarginal uttryckt i acceptabel varaktighet, t ex 12 timmar istället för ett dygn.

. RÅD 7: Allmänt

- Trä till klimatskalet ska skyddas mot nederbörd och miljöer som är så fuktiga att de kritiska fukttillstånden $RF_{krit}(T,t)$ överskrids.
- Träytor skall alltid skyddas mot nedsmutsning, för att de kritiska fukttillstånden inte skall sänkas.
- Välj en säkerhetsmarginal på 5 % RF mellan de kritiska fukttillstånden med långa varaktigheter enligt figur 6.5 och de aktuella fukttillstånden, om de aktuella fukttillstånden predikteras med hjälp av flera års klimatdata från SMHI och med noggrant verifierade simuleringsverktyg.

10. Fuktkritiska situationer, allmänt

Fuktkritiska situationer i hela processen från sågning till inbyggnad beskrivs här nedan och avgörande parametrar identifieras, med hänsyn tagen till exponering för regn och fuktig uteluft. Här skall ges en vägledning hur man skall kunna hantera BBRs krav på att $RF_{luft}(T_{luft},t)$ i uteluften inte får överskrida $RF_{krit}(T,t)$.

Flera fuktkritiska situationer studeras i WoodBuilds delprojekt B och i Framtidens trähus (FTH). De första mätdata har gjorts tillgängliga för delprojekt E1, som exempel. Djupare analyser görs senare i delprojekt B och i FTH.

10.1 Sågverk: Sågning/torkning/hyvling/leverans

Virket som lämnar sågverken måste förutsättas vara fritt från onormal mögelpåväxt. Även om stockblånad accepteras i vissa leveransvillkor kan det inte vara rimligt att acceptera ytblånad för virke till klimatskalet i en byggnad. Här fordras en ren process under alla årstider där nedsmittning av virkesytor undviks, se Hallenberg & Gilert (1987). Hyvlingen skapar naturligtvis nya, fräscha ytor.

Förekomsten av mögelpåväxt måste kontrolleras med en mykologisk analys som innebär att virkesprov tas och lämnas för analys i mikroskop, jfr kapitel 4. Detta kan naturligtvis inte ske i en löpande industriell process, men processen måste styras och kontrolleras så att virke med bestyrkta egenskaper kan garanteras, vilket då inkluderar graden av mögelpåväxt.

Hantering efter torkning är viktig, och hur långt torkningen drivits är avgörande för risken för mögelpåväxt i själva virkespaketet. Torkning sker till en viss målfuktkvot enligt den svenska standarden SS-EN-14298:2004. Målfuktkvoten kan vara en medelfuktkvot från 7 till 18 vikt-%. För respektive målfuktkvot accepteras att medelvärdet avviker något från målfuktkvoten. Exempel på acceptabel avvikelse enligt denna torkstandard ges i Tabell 10.1.

Tabell 10.1 Exempel på acceptabel avvikelse hos medelvärdet för några målfuktkvoter samt övre gräns som bara får överskridas för ca 3 % av virket.

Målfuktkvot MC (vikt-%)	OK variation (vikt-%)	MC _{övre} (vikt-%)	RF (%) vid +20°C
12	-1.5 1.5	15.6	65-70
15	-2.0 1.5	19.5	80
18	-2.5 2.0	23.4	90

Kring medelvärdet varierar fuktkvoten efter torkning mellan olika virkesstycken. Man räknar med en variation enligt normalfördelningen men med ett lägre standardavvikelse för lägre målfuktkvoter. I figur 10.1 ges exempel för tre målfuktkvoter, 12, 15 respektive 18 vikt-%.

Variationen får inte vara för stor. SS-EN-14298:2004 anger att 93.5 % av fuktkvoterna måste ligga inom ± 30 % av målfuktkvoten, dvs. högst 3.25 % får ligga över den övre gränsen 1.3 x målfuktkvoten. Dessa övre gränser har beräknats och anges dels i Tabell 10.1 och dels i figur 10.1, som vertikal, streckade linjer.

I ett virkespaket riskerar man enligt SS-EN-14298:2004 att ha ca 3 % av virket som har en fuktkvot högre än dessa övre fuktkvotsgränser. Dessa virkesstycken skapar då en RF inne i virkespaketet, på sina egna ytor, som motsvarar respektive fuktkvot enligt desorptionskurvan (egentligen en scanningkurva, beroende på hur torkprofilen ser ut), jfr figur 6.5. De RF som

den övre fuktkvotsgränsen motsvarar för respektive målfuktkvot har avlästs i denna figur och anges i tabell 10.1.

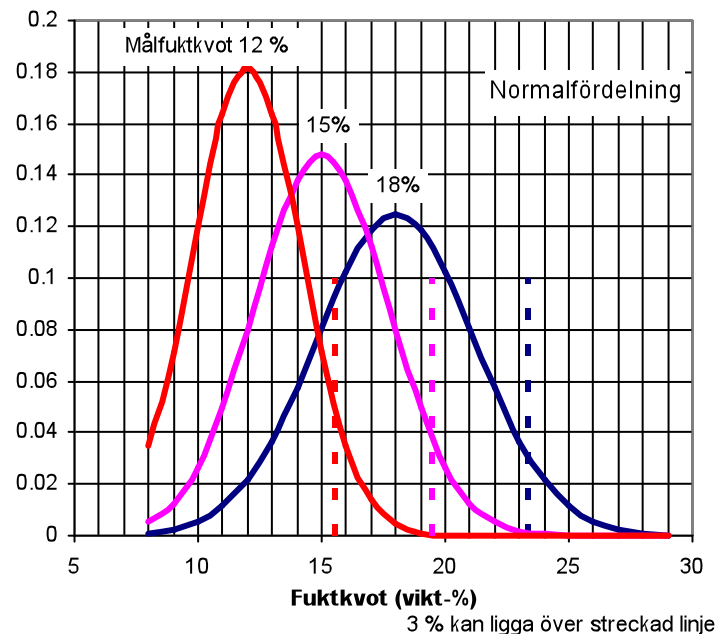


Fig. 10.1 Accepterad variation i torkstandarden mellan olika virkesstycken torkade till tre olika målfuktkvoter

Detta innebär att så länge ett virkespaket inte öppnats, och därmed inte kunnat torka ytterligare, riskerar man att få dessa RF på några ställen inne i virkespaketen. Detta innebär att man kan riskera att få en viss risk för mögelpåväxt inne i virkespaketet beroende på dels målfuktkvoten och dels hur länge det dröjer innan virkespaketen öppnas och får torka. En jämförelse mellan RF-värdena i tabell 10.1 och de kritiska fukttillstånden vid olika varaktigheter i figur 6.5 ger följande ungefärliga, acceptabla tider som ett virkespaket får vara oöppnat om man bara torkat till en spridning enligt vad torkstandarden accepterar:

Målfuktkvot 12: Ingen tidsgräns

Målfuktkvot 15: Ca tre månader

Målfuktkvot 18: Några veckor under +20°C; ett par dagar vid högre temperatur, mindre än ett dygn över +30°C!

Här finns en säkerhetsmarginal genom att det är fuktnivån på virkesytorna som är avgörande. Om ett enstaka virkesstycke är något för fuktigt i ett virkespaket men är omgivet av torrare virkesstycke kommer dess ytor att snabbt bli torrare genom fuktvandring till omgivande virkesstycken. Sannolikheten för att två för fuktiga virkesstycken, enligt fördelningen i figur 10.1, skulle hamna intill varandra är mycket liten.

Här finns stora möjligheter att minska dessa risker genom att torka till samma målfuktkvoter men med betydligt mindre spridning. Skulle man t ex kunna halvera den spridning som torkstandarden accepterar blir tidsgränserna enligt ovan betydligt längre.

Målfuktkvot 15: Ingen tidsgräns

Målfuktkvot 18: Någon månad.

10.2 Lagring/transport/lagring/byggplats

Enligt kapitel 8 ovan är varaktigheterna hos höga fuktigheter i utomhusluft vid olika temperaturnivåer, RF(T), inte så långa att man överskrider de kritiska fuktillstånden. Detta skulle innebära att enbart exponering för uteluftens fuktighet inte är något större problem även om RF som regel är långt över 75 %. När det är riktigt fuktigt är det oftast samtidigt kallt och höga RF(T) har relativt kort varaktighet.

Kritiska varaktigheter skulle kunna överskridas om trä blir utsatt för på samma gång en hög temperatur och en luftfuktighet över 90 % RF. Vid höga luftfuktigheter är det oftast relativt kallt i utomhusluften i Sverige, men samtidig hög temperatur och hög luftfuktighet på virkesytorna kan inträffa om virke som torkats till en hög fuktnivå ligger förpackat och blir solbelyst, också under kallare årstider. Temperaturskillnader mellan virkesytor och luften, t ex vid snabba klimatväxlingar, skulle kunna ge sådana kritiska förhållanden. Avkylning kan t ex ge kondens under täckningen av ett virkespaket. Detta behandlas av Esping et al (2005).

Inom projektet FTH, Olsson (2009), har SP monterat givare på fabrik och följt klimatet kring virkesytorna i nio väggelement till hus på olika platser i Sverige under processen fram till inbyggnad. Man har också tagit prover för mykologisk analys. Resultaten är ännu inte publicerade, men de har gjorts tillgängliga för detta projekt. RF(T) var inte högre än de kritiska fuktillstånden under så långa perioder som motsvarar den varaktighet som krävs för att mögelpåväxt skall uppkomma. Inte i något av dessa nio fall erhöles någon mögelpåväxt vid enbart exponering för uteluftens fuktighet. Däremot blev det mögelpåväxt i några andra fall där träkonstruktionen utsattes för regn.

Exponering för regn är ytterst riskfylld. Det motsvarar RF = 100 %, vilket kräver varaktigheter på bara något dygn. Så länge virkesytorna är fria och snabbt kan få chans att torka genom att komma i kontakt med tillräckligt torr luft finns det då en viss möjlighet att sänka RF på ytorna inom ett dygn.

När virkesdelar väl monterats finns det ”fickor” där vatten från regn kan sugas in och har svårt att torka bort igen. Ett exempel ges i figur 10.2.

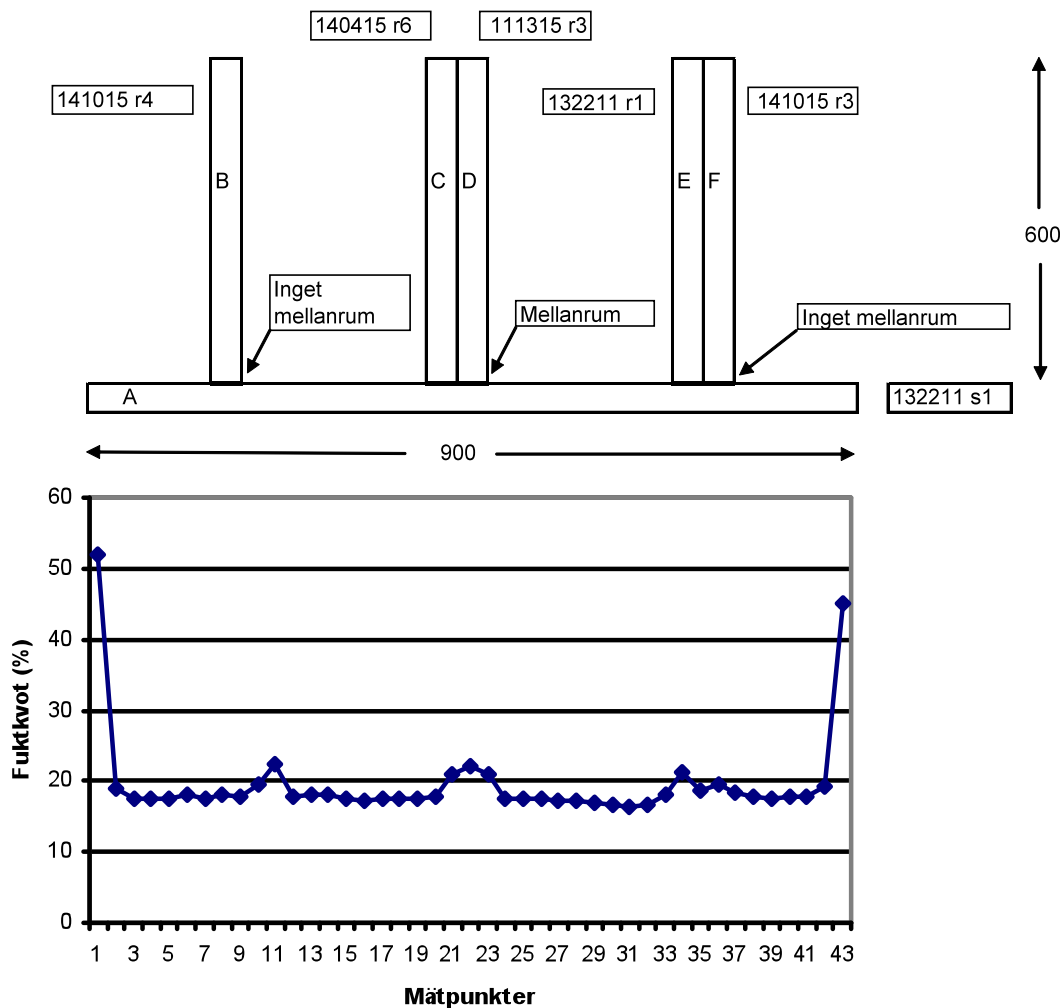


Fig. 10.2 Fuktkvotsfördelningar i en bottensyll under stående reglar efter ett långvarigt regn (24h), Segerholm (1998)

I figur 10.2 syns tydligt att vatten sugts upp i ändträet hos bottensyllen med mycket höga fuktkvoter som följd. Uppfuktningen bör bli liknande vid en syllskarv och där är uttorkningsmöjligheterna mycket begränsade. Uppfuktningen av bottensyllen under de stående reglarna visade sig vara kopplad till spikarna som reglarna skråspikats med, Segerholm (1998). Uttorkning efter regnpåverkan har tyvärr inte undersökts. Detta görs nu i WoodBuild.

De punkter i ett träregelsystem som särskilt måste kontrolleras efter ett regn är kontaktpunkterna mellan virkesdelar där det finns risk att regnvatten sugits in i ”fickor” i kontaktpunkterna.

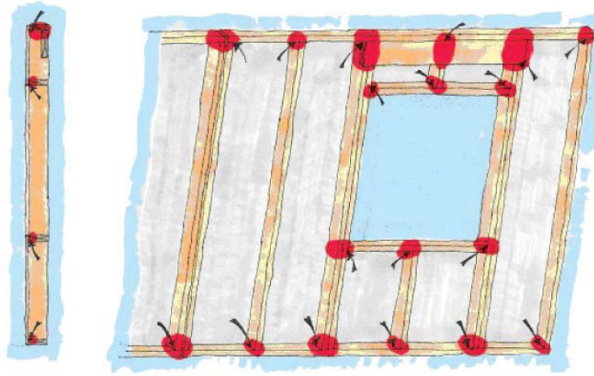


Fig. 10.3 Exempel på lämpliga mätpunkter i ett träregelsystem, Esping et al (2005)

I sådana kontaktpunkter blir träytorna naturligtvis uppfuktade om regnvatten kommer in mellan virkesdelarna. Om regnet är kortvarigt kan en begränsad mängd vatten sugas in i ändträet så att fuktnivån snabbt sjunker i virkesytan. Dessa kontaktpunkter, se figur 10.3, måste kontrolleras med fuktmätningar och uttorkningsmöjligheter omedelbart skapas. Träytorna skall komma under de kritiska fuktkvoterna enligt kapitel 6 inom den varaktighet som gäller för respektive fuktnivå och temperaturnivå. Detta innebär att man har mycket kort tid på sig vid temperaturer över +15-20°C medan lägre temperaturer ger större möjligheter att hinna få virkesytorna tillräckligt torra. Kunskaperna om erforderliga uttorkningstider för denna typ av anslutningar mellan virkesdelar är ytterst begränsad idag.

Av ovanstående kan man dra följande slutsatser. Vi har ännu inte tillräckligt med data för att säkert uttala oss om det är en risk att oskyddat virke utsätts för tillfällig, extremt hög lokal RF i luften under transport, lagring och på byggplats. Data från pågående studier tyder på att kortvariga höga RF vid låg temp inte bidrar till mögelpåväxt men vi behöver göra fler analyser för att kunna uttala oss säkrare om detta. Det vi däremot ser är att om virket utsätts för fritt vatten så leder det i många fall till stor risk för oacceptabel påväxt.

. RÅD 8:

- Virke till klimatskalet får inte ha någon onormal mögelpåväxt, eller ytblånad, då det paketeras för leverans från torkning.
- Virke till klimatskalet bör under transport, lagring och under byggskedet skyddas mot fritt vatten, t ex nederbörd, stänk och vattenansamlingar, och så fuktiga miljöer att de kritiska fukttillstånden $RF_{krit}(T, t)$ riskerar att överskridas.
- Virke måste levereras så torrt att ingen virkesdel i ett virkespaket eller i ett slutet byggnadselement har en fuktkvot som motsvarar $RF(T)$ över den kritiska eftersom varaktigheten riskerar att bli lång.
- Virke måste byggas in så torrt att ingen virkesdel i en sluten byggnadsdel har en fuktkvot som motsvarar $RF(T)$ över den kritiska.

10.3 Vädskydd

De kritiska fuktillstånden ovan innebär att varaktigheten för en extremt stor fuktbelastning måste vara mycket kort. Om en virkesyta utsätts för regn eller mycket hög luftfuktighet, och temperaturen hos virkesytan samtidigt är över +10°C, är risken mycket stor för att en oacceptabel mögelpåväxt skall uppkomma. I praktiken innebär det att trädetaljer som monterats i en konstruktion eller i ett element, inte hinner torka tillräckligt snabbt om det utsätts för regn. Regnvattnet kan tränga in i skarvar och överlapp och därmed ge en hög fuktbelastning på de dolda ytorna under mer än ett dygn.

En konstruktionsdetalj som visat sig vara extra svår att hantera är styrsyllar på blöta betongplattor. Dessa sätts på plats strax innan montering av väggelementen. Om det då står vatten på betongplattan eller det regnar innan hela huset eller vädskyddet kommit på plats, riskerar styrsyllarna att utsättas för fritt vatten. Om trä eller andra fuktupptagande material används i styrsyllar måste det vara torrt och säkerställas med hjälp av en fuktsäker monteringsprocess som beaktar risken för nederbörd i kritiska skeden.

Ett röt- och mögelsäkert material i styrsyllarna löser inte problemet under själva byggnads- och uttorkningsfasen¹!

Det finns idag mycket begränsade studier av klimatförhållanden under/inuti vädskydd. Det man kan säga hittills är följande.

. RÅD 9:

- Träkonstruktioner till klimatskalet bör inte utsättas för regn överhuvudtaget! Om detta ändå skulle inträffa måste de omedelbart kontrolleras med avseende på fuktnivå och vid behov ges möjlighet att snabbt torka ut. Undantag enligt BBR är fasadpanel.
- Montering av fuktkänsliga byggnadsdelar får inte ske så att de riskerar att utsättas för vatten. Planering av detta måste finnas med i en fuktskyddsbeskrivning.

. RÅD 10:

Träkonstruktioners behov av skydd mot uteluftens fuktighet bedöms utifrån lokala väderdata och exponeringstidens längd. Använd tillsvidare metoden i kapitel 8!

¹ Tryckimpregnerat trä är historiskt belastat genom att det under 1960- och 1970-talen fanns en särskild typ av impregnerat trä på marknaden som ansågs överrepresenterat när det gäller problem med mögellukt i småhus. Tryckimpregnering ger vanligtvis inte heller något särskilt skydd mot mögel.

11. Fuktkritiska konstruktioner

Några typfall av fuktkritiska träkonstruktioner (träregelytterväggar med fasadpanel respektive tegelskal, uteluftventilerade vindar och tak, uteluftventilerade krypgrunder), inklusive anslutningar och detaljer, analyseras här med avseende på a) beskrivning av alternativa utformningar, b) redovisning av idag tillgängliga projekteringsverktyg för dessa konstruktioner (uppgifter från delprojekt B), c) beräkningar av $RF_{akt}(T,t)$ för några viktiga typfall (förstudie inom delprojekt B).

Man kan alltid beskriva mikroklimatet i olika byggnadsdelar relativt uteklimatet, t.ex. att en viss situation normalt alltid är mindre gynnsam för mögelpåväxt än utomhus, dvs använda responsen mot uteklimatet som referens.

11.1 Principlösningar

Alternativa principer för utformning av mer eller mindre fuktsäkra lösningar till ett antal fuktkritiska träkonstruktioner presenteras nedan.

11.1.1 Uteluftventilerade krypgrunder

Uteluftventilerade krypgrunder drabbas ofta av fukt- och mögelskador. Risken för skador och olägenheter kan minskas genom att noggrant rengöra marken och täcka hela markytan med plastfolie. Genom att lägga värmeisolering på marken och på insidan av grundmurarna kan risken för fuktskador reduceras ytterligare. Trots dessa åtgärder blir det tidvis fuktigt i grunden, speciellt under sommaren. Dagens konventionella uteluftventilerade och välisolerade krypgrund är därför en riskkonstruktion för mögel och elak lukt om bottenbjälklaget eller blindbotten är av trä eller träbaserade material. Risken för mikrobiell aktivitet i marken, även efter noggrann rengöring och bortschaktning av matjord, gör den också tveksam.

Det som orsakar problemen i grunden är att temperatur- och fuktförhållandena under de varma delarna av året är gynnsamma för mögeltillväxt. Dessutom är lufttrycksförhållandena i kryprum normalt sådana att luften i kryprummet söker sig upp genom otätheter i bjälklaget och kan föra med sig bl.a. elak lukt och mögelsporer. Luften kan eventuellt även föra med sig radongas. Det grundläggande problemet med uteluftventilerade krypgrunder beror på markens värmetröghet. Genom att marken har hög värmekapacitet ”minns” kryprummet utomhustemperaturen från föregående vinter. På våren och sommaren är därför temperaturen i kryprummet lägre än temperaturen utomhus. Det innebär att när uteluften strömmar in i kryprummet så avkyls den och därmed stiger relativa luftfuktigheten (RF) – ofta upp till området 80 – 100 %. Under vintern är förhållandena de omvända.

Åtgärder för att sänka den relativa fuktigheten i nya uteluftventilerade grunder är att minska ånghalten och/eller höja temperaturen.

Åtgärder för att sänka ånghalten i kryprummet

Den klassiska åtgärden för att sänka ånghalten är att minska fukttillförseln genom att placera en *plastfolie på hela marken* och helst också på grundmurarna för att hindra avdunstningen. Denna åtgärd är standard i Sverige sedan många år. Dessutom rekommenderas – som vid alla grunder – marklutning från huset och dränering i marken för att skydda mot ytvatten och grundvatten. Denna åtgärd räcker inte till för att skapa acceptabel fuktnivå, se beräkning som redovisas i figur 11.3.8.

Med en *avfuktare* i kryprummet kan fuktigheten hållas låg vilket förhindrar mögelpåväxt. Avfuktaren styrs med en hygrostat och håller därmed alltid relativa fuktigheten på en acceptabel nivå. För att få undertryck i grunden gentemot bostaden används en avfuktare med frånluft. Avfuktare kräver en årlig driftskostnad. Dessutom behövs insatser eller lösningar för övervakning, drift och underhåll samt klok placering av luftutsläpp. Vidare är det mycket viktigt att grunden lufttätas effektivt även mot uteluften för att hålla fuktbelastningen på en låg nivå. Undertrycket förhindrar att förorenad luft och radon läcker upp i bostaden genom små otätheter.

Åtgärder för att höja temperaturen i kryprummet

Med en *värmeisolering på marken och grundmurar* reduceras inverkan av markens värmetröghet och temperaturen i grunden följer bättre med när temperaturen utomhus förändras. Dessutom ger en sådan värmeisolering ett visst diffusionsmotstånd mot avdunstningen från fuktig mark – större eller mindre beroende på vilket material som väljs. Helst bör grundmursisoleringen placeras på utsidan och under sulan. Uppvärmningen av utrymmet över isoleringen under våren går mycket snabbare och man undviker kryprummets låga temperaturer under vår och försommar. Å andra sidan blir marken under isoleringen kallare och detta innebär dels att man kanske måste öka grundläggningsdjupet med hänsyn till tjällyftning och dels att det blir extra viktigt att rensa bort organiskt material under isoleringen. En fördel med lägre temperatur under isoleringen är att markavdunstningen minskar. Beräkning med Crawl visar på acceptabel fuktnivå, se figur 11.3.8-12. Vid tjock isolering kan detta alternativ kombineras med undertrycksventilation och vid mindre isolering med avfuktare, Olsson, 2006.

Ett mera kontroversiellt sätt att höja temperaturen i kryprummet är att *sätta in en värmekälla* av något slag. Undersökningar har visat att ganska små energimängder behöver tillföras för att åstadkomma stora förbättringar i klimatet. Både avfuktare och värmare är aktiva åtgärder som kräver en extra investering och drar med sig driftskostnader. Valet är i första hand en ekonomisk fråga, men man kan lägga till att ett driftstopp i en avfuktare omedelbart påverkar klimatet till det sämre medan ett avbrott i uppvärmningen först får effekter efter viss tid beroende på värmetrögheten i bjälklag, grundmurar och mark. Detta alternativ måste kombineras med plastfolie på mark och grundmurar för att hindra ökad ånghalt.

En ofta rekommenderad lösning för att höja temperaturen på undersidan av bjälklaget är att förse det med en *värmeisolering mot kryprummet*. Detta minskar risken för hög RF på bjälklagets undersida, men har en negativ inverkan på övriga delar av kryprummet då åtgärden medför att grunden blir kallare och därmed även fuktigare. Man måste även vara omsorgsfull vid utformningen av anslutningen mellan grundmur och bjälklag.

Andra sätt som provas för att öka temperaturen på undersidan av bjälklaget är *att fylla hela kryprumsvolymen med en stor eller många mindre luftkuddar*. Utöver att höja temperaturen under bjälklaget reducerar dessa lösningar också effektivt ventilationen. Detta kan ha både positiva och negativa effekter. Positivt är att nerkyllningen av marken under kudden/kuddarna förhindras, men å andra sidan hindras också uppvärmningen under den varma årstiden och eventuell elak lukt, radon etc. vädras inte ut. Dessa lösningar behöver studeras ytterligare med hänsyn till bl.a. inverkan på grundläggningsdjup och vad som händer i den (förhållandevis) kalla, fuktiga marken under kuddarna.

Genom att skapa ett *undertryck* med en frånluftsfläkt så förhindras att elak lukt, radon mm läcker upp i bostaden. För att uppnå ett undertryck med en liten fläkt krävs att kryprummet görs lufttätt. Noggrann lufttätning är oftast en förutsättning för att uppnå undertryck. Detta alternativ bör kombineras med värmeisolering på marken för att erhålla acceptabel fuktnivå. Dessutom behövs insatser eller lösningar för övervakning, drift och underhåll samt placering av luftutsläpp. Funktionskontroll skall alltid göras efter färdigställande, Olsson, 2006.

Att bygga kryppgrunden och huset under vintern medför högre risk för mögelpåväxt under det första året efter uppförandet av huset eftersom temperaturen blir väsentligt lägre i grunden. Sammanfaller detta med ett högriskår ökar risken för skador ytterligare, Elmroth et al, 2002.

Generella förutsättningar för ett fuktsäkert byggande är också ett noggrant arbetsutförande samt att allt fuktkänsligt material skyddas i samtliga led av byggprocessen.

För uteluftsventilerade kryppgrunder med träbjälklag är det svårt att helt eliminera risken för mögel. Eftersom säkerhetsmarginalen är liten räcker det med små fel och brister i material och arbetsutförande eller ovanliga klimat ute eller inne för att starta ett mögelangrepp i grunden, Elmroth et al (2002).

11.1.2 Vindar och tak

Det principiella ”fuktproblemet” med tak och vindar är att konstruktionen är fukttätt på den kalla sidan. Därför måste fukt inifrån hindras från att tränga upp i konstruktionen, särskilt p.g.a. luftläckage. Detta kräver i princip en ”absolut” lufttätthet. Invändig ångspärr måste dessutom vara tätare än takbeläggningen. I annat fall måste taket/vinden avfuktas, ventileras (ibland) eller ha en stor fuktkapacitet för att absorbera fukt under perioder med negativ fuktbalans.

Ventilerade tak och kalla vindar är riskkonstruktioner när isolergraden i bjälklaget ökar. Underlagstak och takstolar hamnar i kall och fuktig miljö vilket kan ge tillväxt av mikroorganismer. Beräkningar av temperatur och relativ fuktighet under en årscykel visar att konstruktionerna inte utan vidare klarar kraven på fuktsäkerhet enligt BBR06.

Problemen kan beskrivas på följande sätt: ju mer isolering desto mindre uppvärmning av vindsutrymmet. Att äldre tiders vindar klarade sig berodde dels på sämre isolergrad dels på att skorstenen gav viss temperaturhöjning. Dessutom kyls takytan ned på grund av långvågig strålning under klara, kalla nätter. Detta leder till uppfuktning inne i taket. Under sådana förhållanden kan ventilationen tillföra fukt som kondenserar i taket. Ventilationen är då till nackdel och ökar risken för fuktproblem. En undersökning i ett examensarbete vid Chalmers, Ahrnens & Borglund (2007), visade en mycket hög frekvens av mikrobiell aktivitet; i 72 % av 72 undersökta vindar hade ”riklig” påväxt eller riklig förekomst av sporer.

För att minska risken och för att uppfylla kraven i BBR06 kan temperaturen höjas på känsliga material. Ett sätt att göra detta är att värmeisolera på underlagstakets ovasida. Hur mycket som krävs behöver utvärderas med beräkningar för aktuell byggnad i aktuellt klimat. I ett examensarbete från KTH, Hansson & Lundgren (2009), genomfördes flera känslighetsberäkningar med programmet WUFI. Resultatet från dessa beräkningar visade att risken för mögeltillväxt på råsponten minskade då en isolering placerades ovanför takpappen. Dock kunde ett läckage motsvarande en otäthet på 0,6 l/s m² vid 50 Pa ge problem även i bjälklagsisoleringen. Risken för problem ökade med ökande isolering och det även då taket isolerades på takpappens utsida. Är isolermängden ovanpå underlagstaket avsevärt mindre än

isolermängden i bjälklaget skall vinden ventileras men med måttlig mängd. Om isolermängden är stor, av samma storleksordning eller större än isoleringen i bjälklaget, kan ventilationen stängas helt.

Andra sätt att göra vindarna mera fuktsäkra kan vara att byta ut fuktkänsligt material i underlagstaket mot ånggenomsläpplig folie. Även i ett sådant fall bör man stänga av ventilationen på vinden helt. Dock måste man i dessa alternativa konstruktioner säkerställa att fuktigt material inte byggs in. Speciellt bör ventilationen vara igång under tiden en gjuten betong torkar ut, Harderup & Arfvidsson (2008).

Genom att styra ventilationen av vinden så att den ventileras bara om uteluften är torrare får man ett bättre klimat. Genom att värma luften på vinden kan man sänka den relativa fuktigheten till acceptabla värden. Att tillföra värme på klimatskärmens utsida är en nödlösning som kan användas i ett befintligt objekt men är tveksam vid nyproduktion. Denna lösning kan också vara riskabel om bjälklaget inte är lufttätt eftersom temperaturökningen kan leda till ett mera mögelvänligt klimat vid den högre fuktnivå som då uppkommer.

Lufttätheten i bjälklaget är nödvändig för att förhindra luftrörelser inifrån och ut. Lufttätt bjälklag och säkerställt undertryck inne i byggnaden eliminerar risken för konvektion.

Exempel på möjliga åtgärder för bättre fuktsäkerhet i ventilerade tak och kalla vindar:

- Säkerställ ett byggsystem och en byggmetod som ger lufttätt bjälklag eller undertryck inne i byggnaden i förhållande till taket.
- Värmeisolera ovanpå underlagstaket.
- Reducera ventilationen av taket.
- Styr ventilationen av taket så att den ventileras bara när uteluften är torrare
- (Höj temperaturen på vinden med värmekabel eller värmefläkt)
- Använd ångbroms istället för vanlig underlagstäckning för att möjliggöra en bättre uttorkning av ett tak eller en vind utan ventilation.
- Indragen, invändig ångspärr ger bättre förutsättningar för god lufttäthet och därmed minskad risk för konvektion.

11.1.4 Ytterväggar

En dominerande fuktkälla för ytterväggar är slagregn. Slagregn måste avledas med ett dränerande system som tillåter att regn som passerar fasadskalet kan rinna ut ur väggen utan att nå längre in. Normalt åstadkoms detta med en dränerande luftspalt, bakom en fasadpanel, någon typ av skiva eller ett tegelskal. Oberoende av vilket fasadskalet är måste luftspalten hållas öppen nedåt för rinnande vatten så att detta inte stannar upp på spikläkt, brukstuggor etc. Den dränerande spalten måste också ha fullgod funktion kring fönster, dörrar och andra ”genomföringar”!

Ytterväggen måste projekteras för rinnande vatten på baksidan av fasadskalet, dvs fasadskalet kan inte ses som ett fullgott motstånd mot fuktinträning. Vatten måste förutsättas kunna rinna in bakom fasadskalet vid vissa tillfällen.

Ett blött fasadskal som blir uppvärmt dagtid och kan ge s k ”sommarmarkondens” är en svår, men kortvarig fuktkälla som väggen också måste klara. Ånga kan då tillfälligt drivas inåt i en yttervägg under dagar med både regn och solsken.

För ytterväggar är det sammanfattningsvis viktigt att tänka på följande:

- Ytterväggen bör ha ett dränerande och eventuellt ventilerande fasadskal.
- För samtliga ytterväggar är det viktigt med väl utförda anslutningar och genomföringar.
- Om fukt kommer in så ska den också komma ut, dvs. tvåstegslösningar bör alltid rekommenderas, även vid anslutningar och genomföringar.
- Indragen ångspärr ger bättre förutsättningar för god lufttäthet och därmed minskad risk för konvektion.
- Utvändig fasadskiva av t.ex. mineralull medför att trästommen hamnar i ett varmare och därmed även torrare klimat.

I undantaget i BBR rörande påväxt på fasadpanelens insida ingår rimligtvis också spikläkten för fasadpanelen, men de måste utformas så att vatten kan rinna ut ur luftspalten utan att nå in innanför spikläkten. Acceptera inte lukt från fasadpanelen eller spikläkten. Var noga med lufttätheten, särskilt i nedre delen av ytterväggar.

. RÅD 11:

Välj konstruktionsprincip med utgångspunkt från ovanstående konstruktionsprinciper. Fuktsäkerhetsprojektera lösningen, med hänsyn tagen både till byggtiden och brukstiden.

11.2 Projekteringsverktyg

Det finns en mängd beräkningsverktyg för fukt- och temperaturberäkningar. Många av dessa är inte tillräckligt bra eller tillräckligt användarvänliga för att fungera som projekteringsverktyg. Flera är mer avsedda som forskningsverktyg och kan bara användas av några få. Gemensamt för dem alla är att det fordras säkra uppgifter om materialegenskaper hos de använda materialen. Detta är en stor brist idag.

En annan brist som gör att verktygen idag inte lämpar sig väl för projektering är att det ännu inte finns någon verifierad strategi eller metodik för att

- 1) Bestämma dimensionerande klimatbelastning med hänsyn till dess variabilitet
- 2) Att tolka resultaten i form av $RF(t)$, $T(t)$ på ett tillförlitligt sätt med hänsyn till alla osäkerheter i kedjan.

En kortfattad beskrivning av tillgängliga verktyg ges nedan.

11.2.1 Wufi

WUFI4.2 PRO finns för forskningsändamål, genom avtal med upphovsmännen vid IBP i Holzkirchen, gratis tillgänglig fram till 2012 inom WoodBuild. En svensk version har utvecklats i samarbete med LTH. Möjligheter till kompletteringar finns. Kurs för projektörer genomfördes under hösten 2008.

Programmet WUFI är en familj av beräkningsprogram som under en period av ca 20 år efterhand utvecklats vid Fraunhofer Institut für Bauphysik i Holzkirchen. WUFI Pro 4.2 samt WUFI 2D 3.2 hanterar kopplad värme- och fukttransport i en respektive två dimensioner. Till programmet finns en klimatdatabas kopplad. Den innehåller för närvarande väderdata från

127 städer i Europa, USA och Japan. För Sverige finns data från 12 orter. I materialdatabasen finns materialdata för ett antal material från Europa och USA inlagda.

Ett exempel på grafisk resultatredovisning ges i figur 11.2.1.

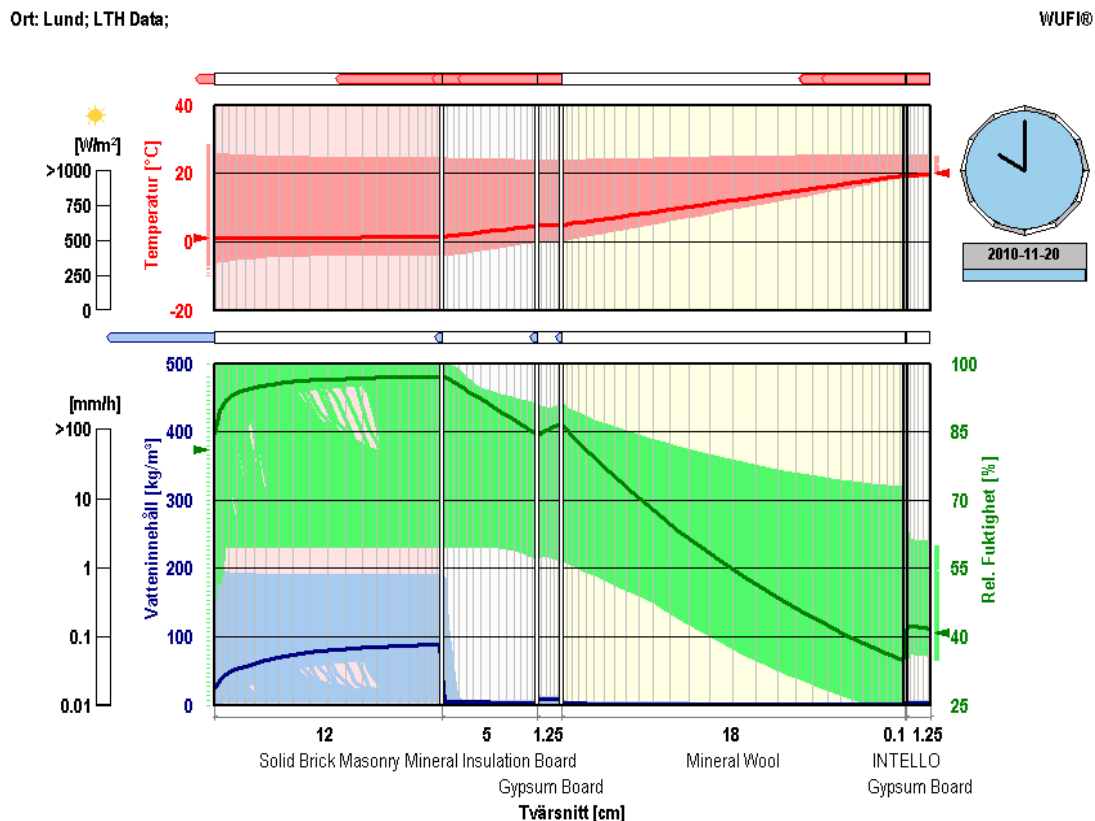


Fig. 11.2.1 Exempel på resultat av beräkning med Wufi för en fasadteglyttervägg: temperaturprofil överst, RF-profil respektive fukthaltsprofil, nederst. Markerade områden visar variationen i de värden som beräkningen gett.

Programmet är förhållandevis lätt att använda. Det är emellertid viktigt att notera att det krävs både kunskap och förståelse för att kunna hantera programmet på ett sätt som ger relevanta beräkningsresultat. Programmet har under lång tid, med tyskt klimat och tysk materialdata, verifierats. Detta återstår att göra för svenska förhållanden och svensk materialdata.

WUFI är inte lämpat för ventilerade konstruktioner. WUFI Plus kan eventuellt användas för ventilerade vindsutrymmen eftersom det inkluderar hantering av flera klimatdelar samtidigt.

11.2.2 Delphin, Domus, Moist, Match

Delphin är ett beräkningsprogram för kopplad värme- luft och fukttransport. Det kan även hantera transport av andra ämnen t.ex salt eller föroreningar. Programmet är utvecklat i Dresden och har ett antal användare i Europas och USA:s forskningsvärld. Ett nätverk av forskare finns samarbetar och bygger tillsammans upp en materialdatabas. Delphin är ett FoU-program och därmed inte användarvänligt.

Domus är ett beräkningsprogram för kopplad värme- och fukttransport. Programmet är utvecklat i Brasilien. Det har ingen större spridning i Europa. Domus kan inte rekommenderas i dagsläget eftersom vi har för lite erfarenhet från programmet.

Moist är ett en-dimensionellt beräkningsprogram för kopplad värme- och fukttransport. Det är utvecklat vid NIST i USA i början av 90-talet. Då var det gratis tillgängligt inom USA. Programmet har inte uppdaterats på länge och dess användning är numera begränsad och kan därför inte rekommenderas.

Match är ett en-dimensionellt beräkningsprogram för kopplad värme- och fukttransport. Det är utvecklat vid DTU i början av 90-talet. Programmet hade ganska många användare på 90-talet men har idag tappat sin position till förmån för WUFI. Match uppdateras inte längre och kan därför inte rekommenderas.

11.2.3 1D-Ham

PC-programmet 1D-HAM kan användas för att lösa kombinerade transienta värme-, luft- och fukttransportproblem i en dimension genom en yttervägg bestående av flera materialskikt. Programmet är baserat på finita differenser med explicit framåtdifferensmetod. Sambandet mellan värme-, luft- och fukttransport mellan beräkningsceller och luftflödet genom konstruktionen löses analytiskt. I programmet är värden på omgivande klimat och materialparametrar valbara. Vissa materialparametrar såsom ånggenomsläpplighet, värmeledningsförmåga, volymetrisk värmekapacitet samt värme- och fuktmotstånd anges med konstanter. Sorptionskurvan för varje material approximeras med räta linjer, och vid 100 % relativ fuktighet antas att allt vatten absorberas. Omgivande klimat kan antingen representeras av konstanter, valda ur tabeller eller diagram, eller som värden på klimatparametrarna för varje timme under ett år. Programmet använder samma klimat ett antal gånger tills sluttiden har uppnåtts. Programmet tar hänsyn till absorption av kortvägig strålning. Beräkningsresultat (temperatur, relativ fuktighet, fukthalt, ånghalt på ytorna eller i respektive materialskikt) kan skrivas för valfri tidsperiod.

11.2.4 HAM-tools

HAM-tools från Chalmers har visat sig vara ett utmärkt verktyg för forskning men konstruerades inte med avsikten att vara ett projekteringsverktyg. Det lämpar sig därför inte alls till det just nu. Däremot kommer HAM-tools att användas som en referens i forskningsprojekt. HAM-tools finns gratis tillgänglig på <http://ftvlrvv.ibpt.org>. Kurs genomfördes under hösten 2008.

11.2.5 Andra

Där Wufi inte duger; vad skall man använda då? Det beror helt på tillämpningen. TorKaS kan t ex användas för beräkning av uttorkning av betonggolv innan man börjar lägga trägolv eller monterar träväggar. Handberäkningar kan man komma långt med. Egenutvecklade, verifierade beräkningsprogram, t ex i Excel, är högst användbara. Man måste naturligtvis i alla sammanhang ha nödvändiga kunskaper om fukt för att kunna göra sådana beräkningar.

. RÅD 12:

Klargör först konstruktionens funktionssätt ur fuktsynpunkt. Avgör därefter vilka beräkningar som behövs. Välj sedan beräkningsverktyg eller formulera krav för upphandling av beräkningstjänsten.

11.3 Beräkning av $RF_{akt}(T,t)$ för några typfall

För att demonstrera vad som är möjligt ges nedan ett antal exempel på beräkningar för några fuktkritiska konstruktioner. Beräkningsresultaten skall inte tas som intäkt för konstruktionernas lämplighet utan är bara exempel under de speciella förutsättningar som använts.

11.3.1 Fasadpanel på träregelvägg

Fasadpanel har ofta vatten rinnande på baksidan. Väggen innanför skyddas med en isolering utanpå träregelväggen med fuktökänslig isoleringsskiva.

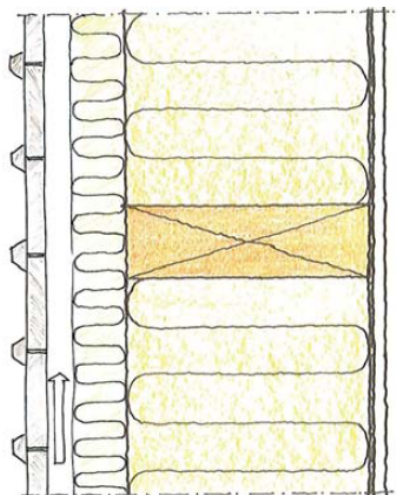


Fig. 11.3.1 Exempel på en yttervägg med värmeisolering utanför träregelväggen

Beräkningar för ett sådant fall visas i nedanstående figurer. Klimatet som använts gäller för en norrvägg i Oslo. Vägghkonstruktionen består av träpanel/puts på yttre skiva, luftspalt, 20 mm Västkustskiva, 170 mm regler med mellanliggande mineralull, plastfolie, 45 mm regler med mellanliggande mineralull, gipsskiva.

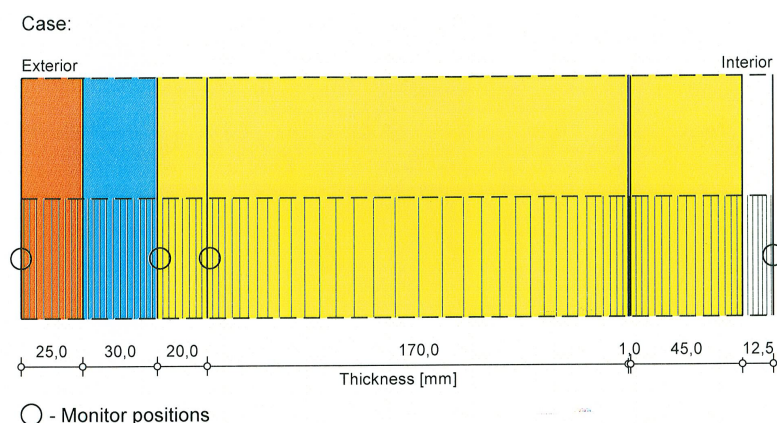


Fig. 11.3.2 Geometri för en Wufi-beräkning för en yttervägg med värmeisolering utanför träregelväggen

Beräkningen genomförd i en dimension mitt för en regel under en treårsperiod med start i början av oktober. I beräkningen har klimatet i luftspalten antagits som uteklimat dock utan slagregn.

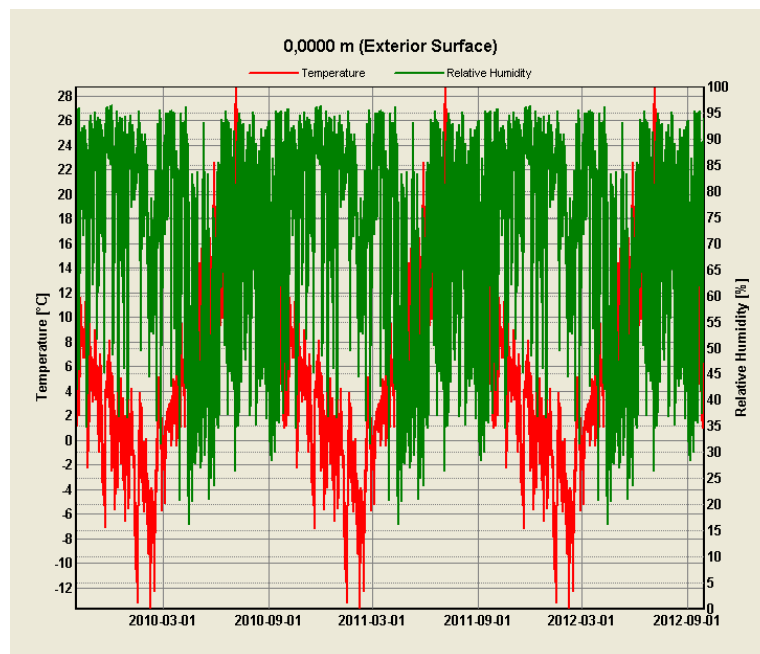


Fig. 11.3.3 Beräknade temperaturer och relativ fuktigheter i luftspalten på Västskustskivans utsida

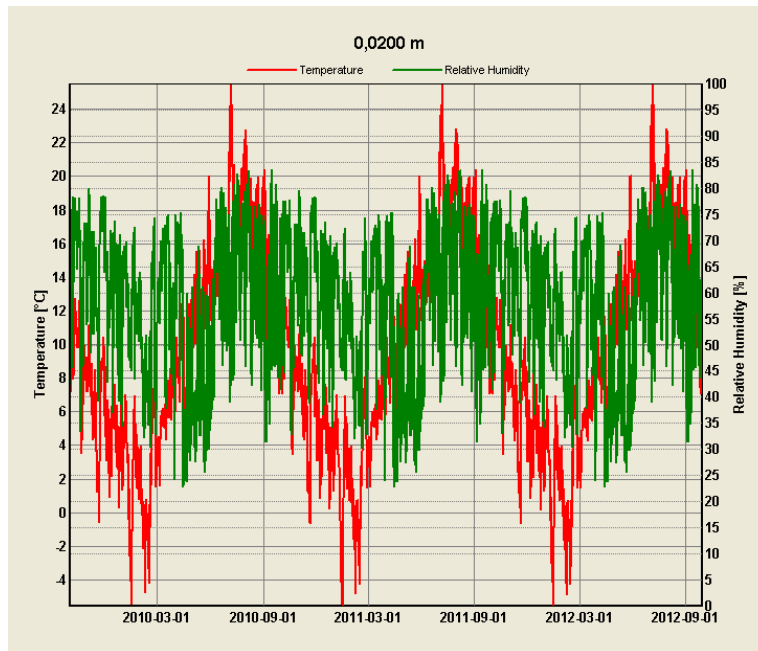


Fig. 11.3.4 Beräknade temperaturer och relativ fuktigheter i luftspalten på Västkustskivans insida, mot träregelns utsida

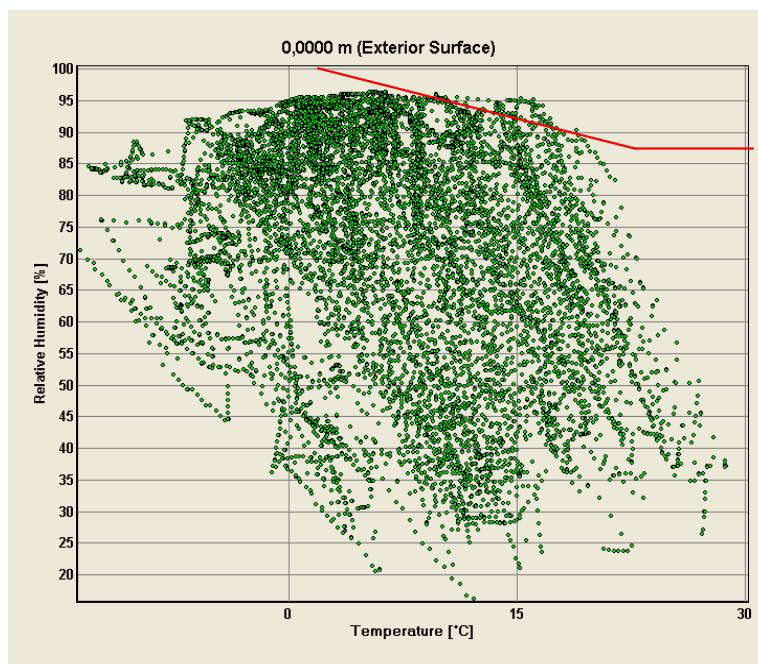


Fig. 11.3.5 Beräknade temperaturer och relativ fuktigheter i luftspalten på Västkustskivans utsida, som isoplet, dvs som RF som funktion av temperatur, jämförd med det kritiska fukttillståndet för en månads varaktighet.

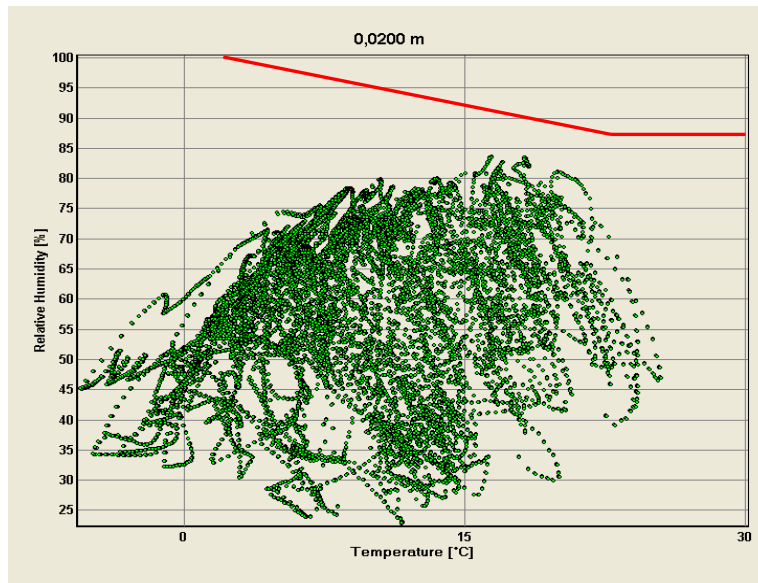


Fig. 11.3.6 Beräknade temperaturer och relativ fuktigheter i luftspalten på Västkustskivans insida, mot träregelns utsida, som isoplet, dvs som RF som funktion av temperatur, jämförd med det kritiska fukttillståndet för en månads varaktighet.

Beräkningen visar att det blir betydligt torrare bakom Västkustskivan, dvs denna värmeisolering skyddar träregelns utsida från uteluftens fuktighet.

Motsvarande beräkningar måste göras med hänsyn tagen till att regn kan rinna in bakom fasadpanelen och dräneras bort i luftspalten. Ett fall som påminner om detta visas i nästa avsnitt.

11.3.2 Fasadtegel på träregelvägg

Fasadtegelskal med dåligt ventilerad luftspalt och isolering utanpå träregelvägg är en fuktkritisk konstruktion. Teglet är blött under långa perioder efter regn och ger då en fuktbelastning på väggen bakom som är betydligt värre än vad uteluften motsvarar.

Här ges ett exempel på hur man med hjälp av beräkningar kan visa effekterna av olika tjocklek på värmeisoleringen i en sådan vägg. För att träreglarna i en träregelvägg skall hamna gynnsammare ur fuktsynpunkt rekommenderas bl.a. att man lägger en heltäckande isoleringsskikt utanför reglarna. Vad händer om tjockleken på värmeisoleringen innanför detta isolerskikt ökas? Beräkningarna nedan visar temperatur och relativ fuktighet i snittet mellan isoleringsskikten, d.v.s. vid utsidan av träregeln. Vi kan, med dessa beräkningars hjälp, visa att den relativa fuktigheten ökar ju tjockare isolering som väljs. Slutsatsen blir att man, vid ökande tjocklek på den inre isoleringen, även bör öka tjockleken på det isolerskikt som ligger utanför träreglarna.

Beräkningarna är gjorda med WUFI Pro 4.2.

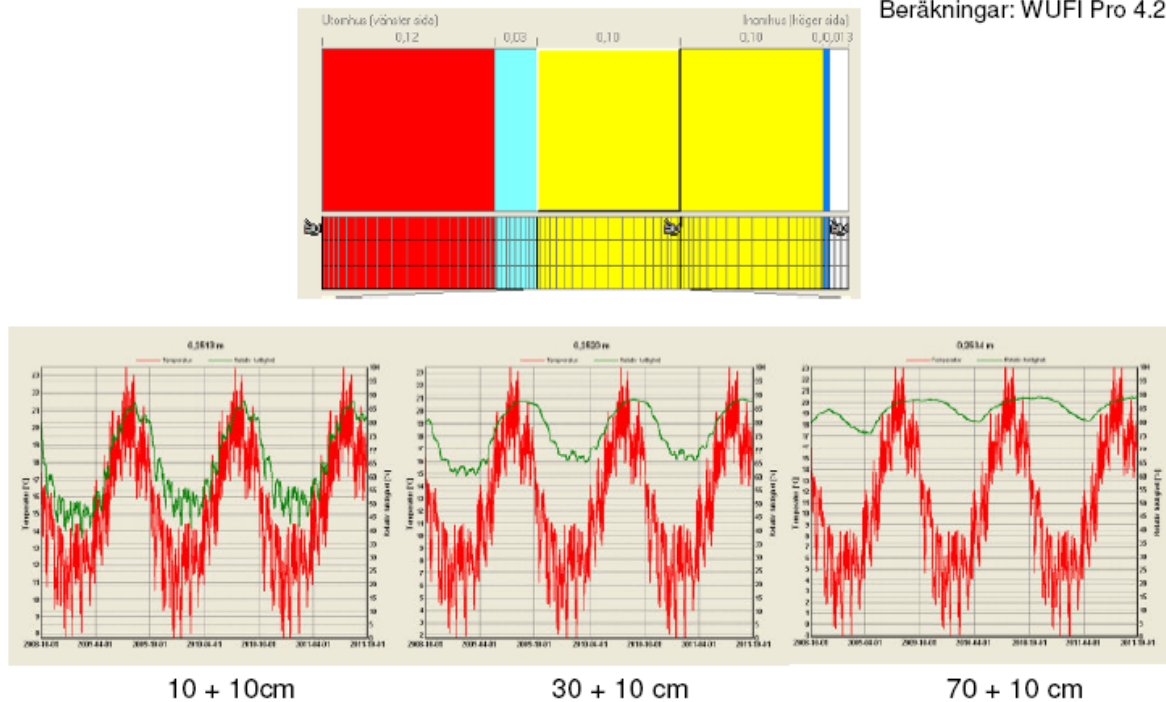


Fig. 11.3.7 Exempel på beräkningsresultat då tjockleken på den inre värmeisoleringen gradvis ökat. Diagrammen visar temperatur och relativ fuktighet i skiktet mellan de båda isolerskikten, d.v.s. det klimat som träreglarna utsätts för.

11.3.3 Krypgrunder

För beräkning av temperatur- och fuktillstånd i krypgrunder är PC-programmet CRAWL det enda kommersiellt tillgängliga, www.buildingphysics.com. Programmet är både lättanvänt och mycket snabbt och väl lämpat för översiktliga parameterstudier. Nackdelen är att det endast går att använda periodiska randvillkor för utomhus temperaturen vilket medför att det inte går att undersöka effekten av hur verkligt utomhusklimat kan ge olika risk för fuktproblem för varierande sviter av år.

I figur 11.3.8 och 11.3.9 visas exempel på resultat från CRAWL. Resultaten baseras på två av de beräkningsfall som diskuterades i avsnitt 11.1.1. Indata har antagits från förväntade förhållanden och utomhusklimatet har valts för Skåne. Diagrammen redovisar relativ fuktighet och temperatur utomhus och i krypgrunden under en årscykel.

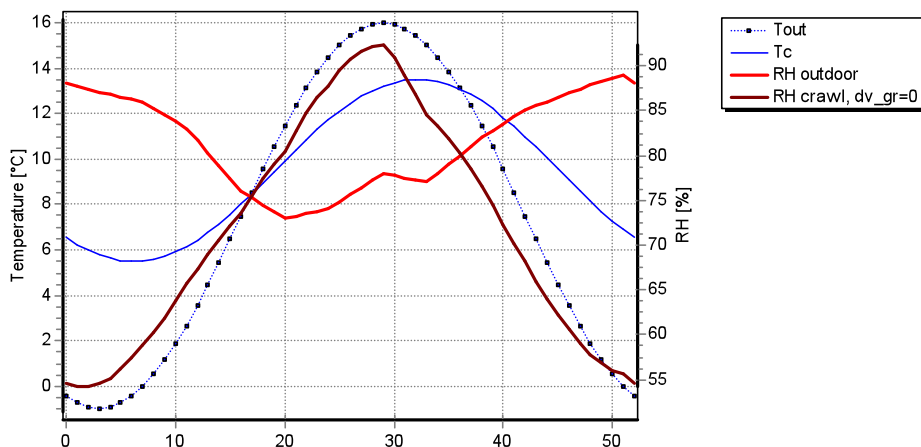


Fig. 11.3.8. Plastfolie på hela marken. Beräkning med Crawl visar en relativ fuktighet på 80-92 % RF i grunden under veckorna 20-36.

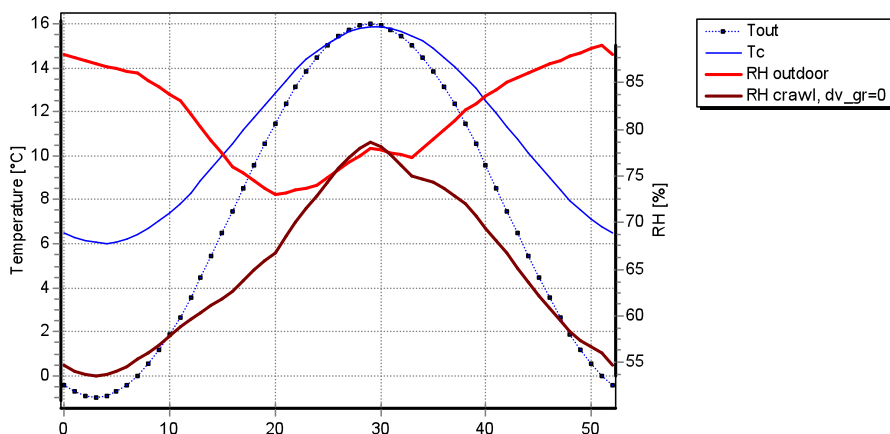


Fig. 11.3.9. Omkring 20 cm tjock värmeisolering samt plastfolie på mark och grundmur. Beräkning med Crawl visar en relativ fuktighet större än 75 % under veckorna 26-32.

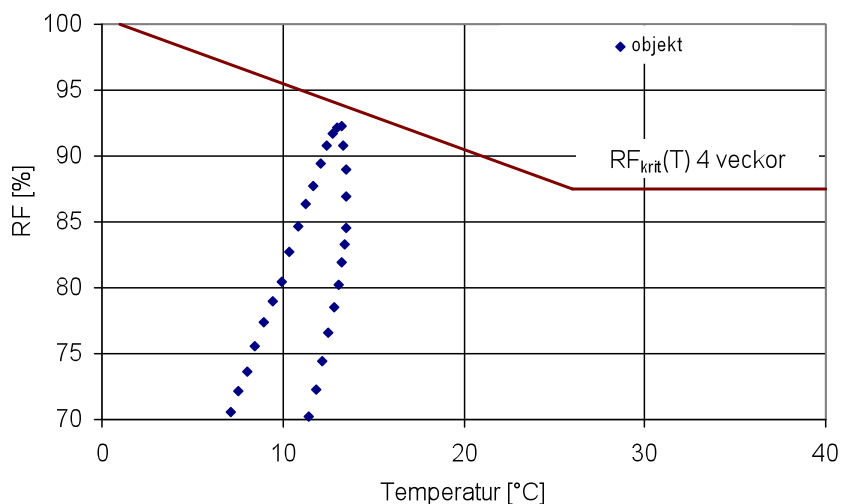


Fig. 11.3.10. Plastfolie på hela marken. Beräkningsresultat för veckor från Crawl visas i figur 11.3.8.

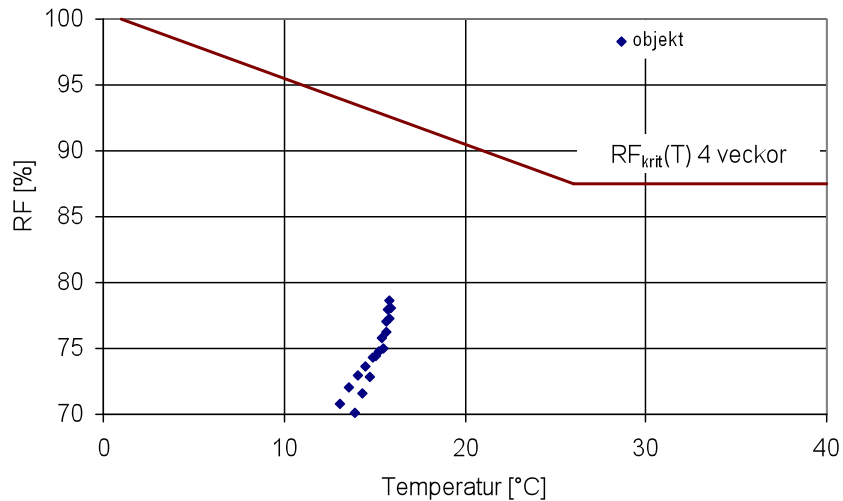


Fig. 11.3.11. Omkring 20 cm tjock värmeisolering samt plastfolie på mark och grundmur. Beräkningsresultat för veckor från Crawl visas i figur 11.3.9.

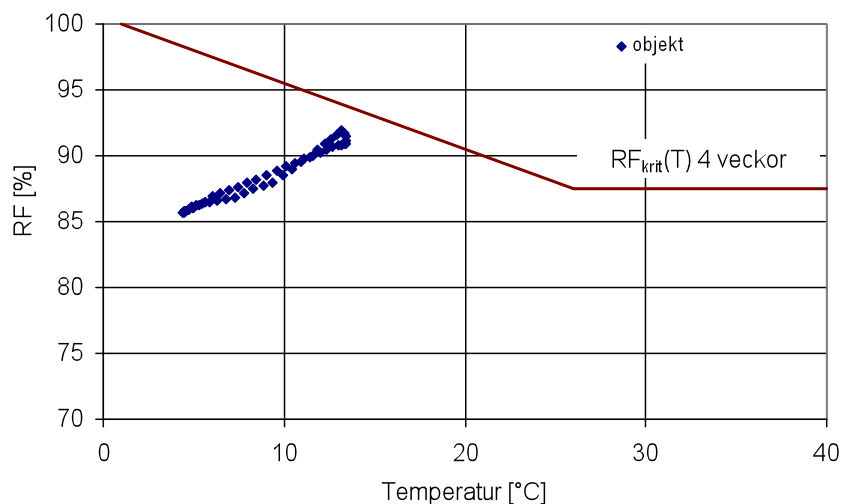


Fig. 11.3.12. Beräkningsresultat för veckor från Crawl utan plastfolie och utan värmeisolering på mark och grundmur.

Beräkningsresultat för kryprum finns även i Svensson (2001). Dessa beräkningar baseras på en termisk modell som utvecklats av Johan Claesson. Modellerna för beräkning fukt samt bedömning av mögel är enkla. Resultat från Svenssons (2001) simuleringar visar att det inte räcker att studera enskilda år vid framtagning av kritiska år, utan det krävs sviter av år med verklig klimatdata. Resultaten visar också att fuktkritiska år för uteluftventilerade krypgrunder inte är desamma för olika orter i Sverige under den studerade tidsperioden (1973-90). En del av beräkningarna har verifierats med fältmätningar i totalt 16 olika småhus runt om i Sverige. PC-programmet som Svensson utvecklade i samarbete med Johan Claesson och Lars-Erik Harderup är i högsta grad ett FoU-program helt i avsaknad av användargränssnitt.

Figur 11.3.13 visar beräknad årsmedelrisk för mögel i Ronneby under perioden 1973-90. Från figuren framgår tydligt att risken för fuktproblem kan variera mycket mellan enskilda år. Observera att modellen för risk för mögel i det här fallet baseras på den enkla modell som finns i bland annat Fukthandbok av Nevander & Elmarsson (1994). Resultaten i figur 11.3.13 visar tydligt att det inte är tillräckligt med periodisk varierande utomhusklimat för att korrekt

bedöma den maximala risken för mögel i en kryppgrund. Beräkningar med annat utomhusklimat resulterar dels i annorlunda risknivåer för enskilda år, dels i olika år med maximal risk för mögel.

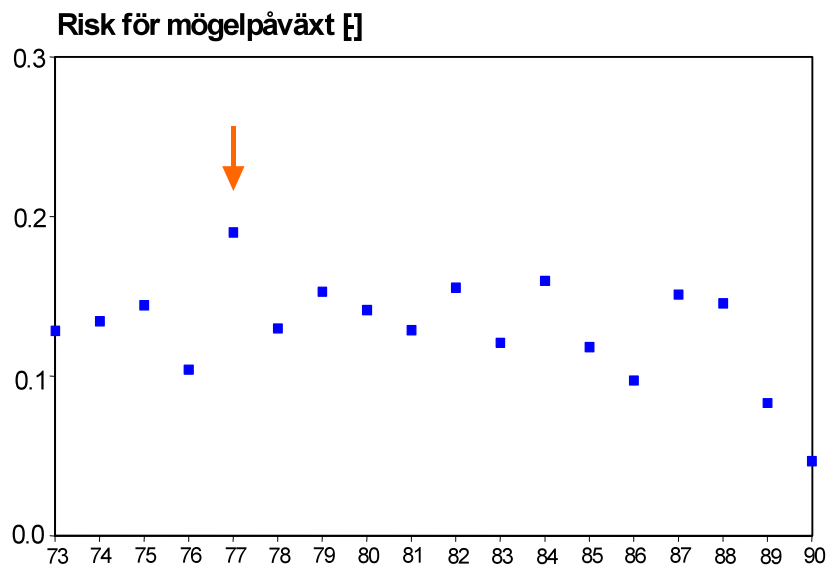


Fig. 11.3.13. Beräknad årsmedelrisk för mögelpåväxt i kryppgrund i hus i Ronneby under perioden 1973-90.

. RÅD 13:

Det finns utmärkta beräkningsverktyg för de flesta situationer och byggnadsdelar, men många av dem är inte särskilt användarvänliga utan kräver väldigt mycket utbildning och erfarenhet av användaren.

Definiera nödvändig beräkning och köp beräkningstjänsten av någon som har denna utbildning och erfarenhet.

12. Kritiska fukttillstånd för mineralull och cellplast

Trädelar i många träkonstruktioner skall ”fuktskyddas” av en utanpåliggande värmeisolering. Då måste värmeisoleringen ha ett kritiskt fukttillstånd som är högre än för trädetaljen! Enligt SP-rapport 2005:11, Johansson et al (2005), är $RF_{krit} = 90-95 \%$ för mineralull och expanderad cellplast. Då kan vi ha svårt att uppfylla BBRs krav för systemet! Observera detta i de olika typfallen!

Det är rimligt att anta att kritiska fukttillstånd för mineralull och cellplast också är temperaturberoende och beroende av varaktigheten hos fukttillståndet. Det borde också vara så att olika produkter har olika kritiska fukttillstånd.

. RÅD 14:

Kräv materialleverantören på väl undersökta och dokumenterade uppgifter om kritiska fukttillstånd för de utanpåliggande värmeisoleringsmaterial som skall användas i aktuell konstruktion.

Kräv att de är nyanserade med avseende på temperaturnivå och varaktighet.

Välj i första hand värmeisoleringsmaterial som har $RF_{krit} = 100 \%$, för alla temperaturnivåer och lång varaktighet.

Säkerställ att värmeisoleringsmaterial skyddas mot nedsmutsning under transport, lagring och byggtid.

Referenser

- Ahlgren, L. (1972) Fuktfixering hos byggnadsmaterial. Rapport 36, institutionen för byggnadsteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- Ahrmens, C & Borglund, E (2007) Fukt på kallvindar - en kartläggning av småhus i Västra Götalands län. Examensarbete 2007:11, avdelningen för byggnadsteknologi, Chalmers, Göteborg 2007
- Bloom, E. (2009) Mycotoxins in indoor environments. Determination using mass spectrometry. Doktorsavhandling, Medicinsk mikrobiologi, Lunds Universitet
- Boverket (2006) Boverkets Byggregler BBR, kap 6.5 Fukt, Karlskrona
- Ekstrand-Tobin, A. (2003). Hälsopåverkan av åtgärder i fuktiga byggnader Dissertation No 859. Division of Energy Systems, Department of Mechanical Engineering. Linköping, Linköpings Universitet: 147.
- Esping, B., Salin, J.-G. & Brander, P: (2005) Fukt i trä för byggindustrin. Fuktegenskaper, krav, hantering och mätning. SP INFO 2005:24, SP Träteknik
- Elmroth A, Harderup L-E, Hedström J, Samuelson I, Svensson Tengberg C. (2002). Går det att bygga fuktsäkra kryppgrunder? Bygg&teknik, nr 5/02, s. 20-22, 25-26.
- Grant, C., Hunter, C.A., Flannigan, B and Bravery, A.F. (1989). The moisture requirements of moulds isolated from domestic dwellings. Internat. Biodet. 25:259-284.
- Hallenberg, N. & Gilert, E. (1987) Mögelpåväxt på trä. BFR-rapport R94:1987
- Hansson, D. Lundgren, N. (2009) *Problematiken isolerade vindbjälklag i uteluftsventilerade kallvindar*, Examensarbete 2009:06 inom Byggteknik och Design, KTH Stockholm.
- Harderup E. (1998). Metoder att välja korrektioner vid fuktberäkningar med variabelt utomhusklimat. Doktorsavhandling, rapport TVBH-1011, avd Byggnadsfysik, Lunds universitet.
- Harderup, E (2000) Klimatdata för fuktberäkningar, Fuktgruppens informationskrift T14:2000, Byggtjänst, Stockholm
- Harderup, L-E. Arfvidsson J. (2008) *Fuktsäkerhet i kalla vindstrymmen*, Rapport TVBH-3050, Lund 2008, ISBN 978-91-88722-38-6.
- Hocking, A.D. (1993), Responses of Xerophilic Fungi to Changes in Water Activity, in Stress Tolerance of Fungi, Mycology Series Volume 10 (ed. D. H. Jennings)
- Hägerhed-Engman, L. (2006) Indoor Environmental Factors and its Associations With Asthma and Allergy Among Swedish Pre-School Children. Doktorsavhandling, rapport TVBH-1015, Avd Byggnadsfysik, Lunds universitet.

Johanning, E., Ed. (1999). *Bioaerosols, Fungi and Mycotoxins: Health Effects, Assessment, Prevention and Control*. New York, Eastern New York Occupational and Environmental Health Center, Albany, New York.

Johansson, P. (2003). *Mögel på nytt och begagnat byggnadsvirke*. SP Rapport 2003:17. Borås, SP Energiteknik.

Johansson, P., Samuelson, I., Ekstrand-Tobin, A., Mjörnell, K., Sandberg, P. & Sikander, E. (2005) *Kritiskt fuktillstånd för mikrobiell tillväxt på byggmaterial – kunskapsammanfattning*, SP-rapport 2005:11, SP, Borås

Korpi, A., J. Järnberg, et al. (2006). 138. *Microbial volatile organic compounds (MVOCs). The Nordic Expert Group for Criteria Documentation of Health Risks from Chemicals*, Arbetslivsinstitutet.

Kumlin, A. (2009) *Beräkningar med Wufi-Bio för några renodlade typfall med fuktvariationer*. Personlig korrespondens i oktober 2009.

MiO (2009) *Mould in Office*”, beskrivning av projektet, Ingemar Samuelson, FuktCentrum 2009.

Nevander, L-E & Elmarsson, B. (1994) *Fukthandbok*, Svensk Byggtjänst, Stockholm

Nilsson, L.-O. (2007) *Byggvägledning 9 Fukt*, Svensk Byggtjänst, Stockholm

Olsson L. (2006) *Lösningar på krypgrundsproblematiken*. *Bygg&teknik*, nr 8/06, s. 12-16.

Olsson L. (2009) *Opublicerade data från pågående studier inom forskningsprogrammet Framtidens Trähus*. SP, Borås

Piecková E, Jesenská Z: *Microscopic fungi in dwellings and their health implications in humans*. *Ann Agric Environ Med* 1999, 6, 1–11.

Samuelson, I. and G. Blomquist (1995). *Mikrobiologisk nedbrytning av byggnadsmaterial - en jämförelse mellan olika analysmetoder*. Borås, Sveriges Provnings- och forskningsinstitut.

Samuelson, I. (1995). *Fuktbalans i kalla vindsutrymmen*. SP Rapport 1995:6

Sedlbauer, K. (2001) *Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components*. Dissertation Universität Stuttgart 2001

Sedlbauer, K., Krus, M. & Breuer, K. (2003) *Mould Growth Prediction with a New Biohygrothermal Method and its Application in Practice*. Materials Conference, Lodz, 2003

Segerholm, I. (1998) *Klimatexponering och fuktförhållanden i byggnadsvirke från torkning och användning*, rapport P-98:15, institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola, Göteborg

Segerholm, I. (1998) *Fukt i trä - Syll/regel-element utsatt för simulerad nederbörd*, rapport P-98:16, institutionen för byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola, Göteborg

Selmastudien (2007) Swedish Environmental Longitudinal, Mother and child, Asthma and allergy study. Projektbeskrivning 2007, www.selmastudien.se/pdf/projektbeskrivning.pdf

Smith, S. L. and Hill, S.T. (1982), Influence of temperature and water activity on germination and growth of *Aspergillus restrictus* and *A. Versicolor*, *Trans. Br. Mycol. Soc.* 79 (3).

Socialstyrelsen (1999). Socialstyrelsens allmänna råd om tillsyn enligt miljöbalken – fukt och mikroorganismer. SOSFS 1999:21 (M)

SP (2004). Kritiskt fuktillstånd för mikrobiell tillväxt på byggnadsmaterial: kunskapssammanfattning. SP-raport AR 2005:04. Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. Borås.

SS-EN14298:2004 Sågat virke – Bedömning av torkningskvalitet, SIS

Svensson C. (2001). Effekter av åtgärder i uteluftsventilerade krypgrunder med fukt- och mögelskador. Licentiatavhandling, rapport TVBH-3038, avd Byggnadsfysik, Lunds universitet.

Thelandersson, S., Isaksson, T., Ekstrand-Tobin, A. & Johansson, P. (2009) Modelling of onset of mould growth for wood exposed to varying climate conditions. IRG/WP 09-20414, 40th Annual Meeting, Beijing, China, 24-28 May 2009

Träguiden (2008)

<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=1123&contextPage=4962> 2008-10-12

Viitanen, H. (1996) Factors affecting the development of mould and brown rot decay in wooden materials and wooden structures. Effect of humidity, temperature and exposure time. Doktorsavhandling, SLU Uppsala.

Viitanen, H. A. and A.-C. Ritschkoff (1991). Mould growth in pine and spruce sapwood in relation to air humidity and temperature. Uppsala, Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för virkeslära Rapport nr 221