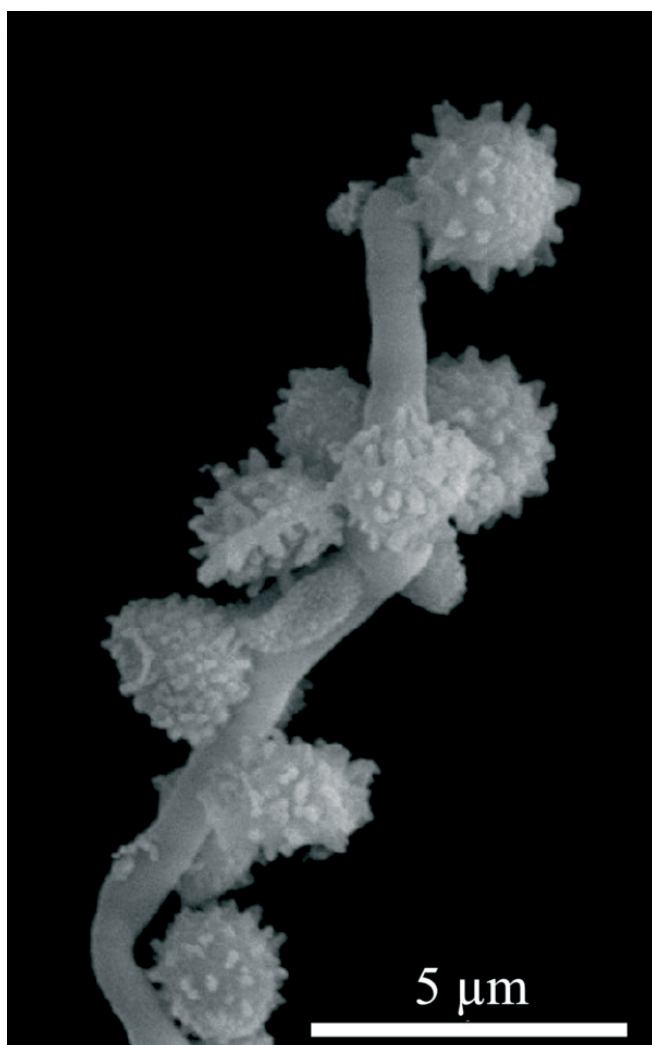


Kritiskt fukttillstånd för mikrobiell tillväxt på byggmaterial – kunskapssammanfattning



Pernilla Johansson, Ingemar Samuelson,
Annika Ekstrand-Tobin, Kristina Mjörnell,
Per Ingvar Sandberg, Eva Sikander

Kritiskt fukttillstånd för mikrobiell tillväxt på byggmaterial – kunskapssammanfattning

Abstract

Microbiological growth on building materials – critical moisture levels. State of the art

Microorganisms require nutrition, oxygen and a certain microclimate to germinate and grow on the surface of materials. Different organisms have different environmental requirements and moisture is always essential. This state of the art report focuses on identifying critical moisture levels for building materials found in the literature.

Based on this literature review with references we suggest the following levels for critical moisture levels:

- wood and woodbased materials 75-80 % RH,
- paper on plasterboard 80-85 % RH,
- mineral insulation materials 90-95 % RH,
- extruded polystyren EPS 90-95 % RH
- and concrete 90-95 % RH.

These levels are recommended for materials that are clean. Contaminated or soiled material will lower the critical moisture level to 75-80% RH.

Keywords: microorganisms, mould, building materials, relative humidity

**SP Sveriges Provnings- och
Forskningsinstitut**
SP Rapport 2005:11
ISBN 91-85303-442-9
ISSN 0284-5172
Borås 2005

**SP Swedish National Testing and
Research Institute**
SP Report 2005:11

Postal address:
Box 857,
SE-501 15 BORÅS, Sweden
Telephone: +46 33 16 50 00
Telefax: +46 33 13 55 02
E-mail: info@sp.se

Innehållsförteckning

Förord	4
Sammanfattning	5
Syfte	5
Tillvägagångssätt, genomförande	5
Sammanställning av litteratur om mögel på byggmaterial med avseende på fuktkrav	6
Avgränsning	6
Allmänt om mögel på byggmaterial	6
Faktorer som påverkar omfattning och hastigheten på angrepp	6
Att studera byggmaterials benägenhet att mögla	9
Genomgång av byggmaterial som studerats	12
Trä	12
Mineralullsisolering	13
Papperstapet	13
Träbaserat skivmaterial	14
Undertaksskivor (ceiling tiles)	15
Betong	15
Gipsskivor med papp	16
Plastfolie (polyeten)	17
Cellplast	18
Klassning av materialgrupper	19
Andra källor där kritiskt fukttillstånd anges	20
Förslag till ”kritiskt fukttillstånd för mikrobiell tillväxt”	21
Definition av kritiskt fukttillstånd	21
Modell för kritiskt fukttillstånd med hänsyn till skada/olägenhet av mikrobiell tillväxt	21
Förslag till kritiska fukttillstånd	23
Bilaga 1	25
Sammanställning av källreferenser, uppdelat på respektive byggnadsmaterial.	25
Bilaga 2	29
Förväntad relativ fuktighet och temperatur i olika byggnadsdelar	29
Bilaga 3	30
Risken för påverkan på innemiljön vid olika lokalisering av mikrobiell tillväxt	30
Referenser	31

Förord

Boverket har givit SP i uppdrag att sammanställa befintlig kunskap om kritiska fukttillstånd för byggmaterial med avseende på tillväxt av mikroorganismer. Inom uppdraget har genomgång och sammanställning av litteratur (publicerat till och med oktober 2004) gjorts.

Borås maj 2005

Sammanfattning

Boverket har givit SP i uppdrag att sammanställa befintlig kunskap om kritiska fukttillstånd för byggmaterial med avseende på tillväxt av mikroorganismer. Inom uppdraget har genomgång och sammanställning av litteratur gjorts.

Kritisk relativ fuktighet för mikrobiell tillväxt är cirka 75 % RF. Det finns dock materialgrupper som, under förutsättning att de inte är förorenade, har högre kritiskt fukttillstånd. Nedanstående tabell är ett förslag till nivåer för kritiska fukttillstånd baserat på genomgången litteratur. Förslaget är baserat på uppskattningar av risken för mikrobiell tillväxt där värdena är valda så att risken för mikrobiell tillväxt är i storleksordningen några procent.

Materialgrupp	Kritiskt fukttillstånd [% RF]
Smutsade material	75-80
Trä och träbaserade material	75-80
Gipsskivor med papp	80-85
Mineralullsisolering	90-95
Cellplastisolering (EPS)	90-95
Betong	90-95

Syfte

Syftet med projektet har varit

- att göra en genomgång av nyare relevant litteratur (från cirka 1990 till oktober 2004) beträffande kriterier för mikrobiell tillväxt, speciellt inriktat på relativ fuktighet.
- att med genomgången som underlag utarbeta förslag till kritiskt fukttillstånd för mikrobiell tillväxt på olika byggmaterial.

Tillvägagångssätt, genomförande

Uppgifter om relevant litteratur om mikrobiell tillväxt och dess koppling till relativ fuktighet har samlats genom

- sökning i databaserna Web of Science och Science Direct.
- kontakt med sakkunniga inom områdena mikrobiologi och fuktförekomst i byggmaterial. De personer som kontaktats är Nils Hallenberg (Göteborgs Universitet), Aino Nevalainen (Kuopio Universitet), Hannu Viitanen (VTT), Lars-Olof Nilsson (LTH), Kristian Fog Nielsen (SBI tidigare By og Bygg) och Johan Mattson (Mykoteam).
- de undersökningar, referenser och litteratur som utförts/finns på SP.
- referenslistor i den litteratur som insamlats enligt ovan.

Dessutom har en del litteratur som inte är sökbar, till exempel tekniska rapporter och inlägg på konferenser, ingått i insamlingen.

Sammanställning av litteratur om mögel på byggmaterial med avseende på fuktkrav

Avgränsning

De studier som valts till sammanställningen har relevans kring frågan om vilken RF som är kritisk för att mögel skall angripa materialet. Vid urvalet av litteratur har ingen hänsyn tagits till hur redovisade försök varit upplagda. Istället redovisas kortfattat hur studierna genomförts och vilka slutsatser som dragits från resultaten.

Allmänt om mögel på byggmaterial

En karaktäristisk egenskap hos mögelsvampar är att de bildar sporer för att sprida sig över större ytor. Sporer finns alltid i luften i varierande mängd och kan sedimentera på ytor. Det finns i den aspekten inga rena materialytor.

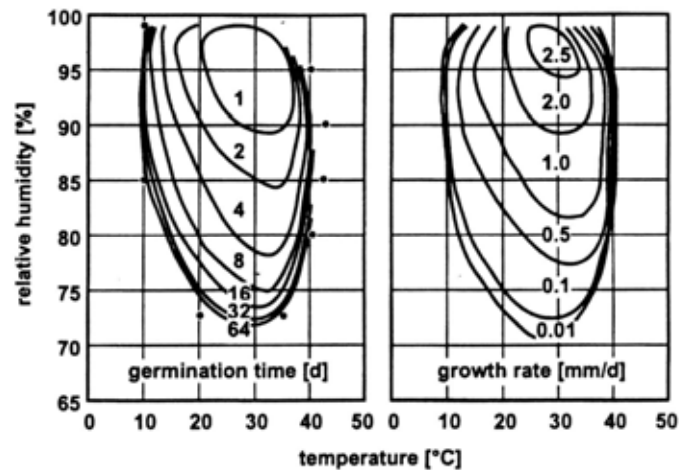
För att sporer skall gro och svampen växa till behöver vissa krav på miljön där svampen skall leva vara uppfyllda. Ett sådant krav är att det skall finnas tillgång till näring för svampen. Denna kan finnas hos byggnadsmaterialet. Nedsmutsning av byggnadsmaterial är en annan källa till näring för mögelsvamp. Andra krav avser pH, temperatur och tillgång till syre. Alla dessa krav är normalt uppfyllda i en byggnad. En faktor som kan begränsa ett angrepp, och därför betraktas som den viktigaste, är tillgången till fukt. Under en viss relativ fuktighet kan svampen inte växa.

Tillväxt av mögelsvampar kan hämmas eller hindras av gift som tillsätts som fungicid på byggmaterial.

Faktorer som påverkar omfattning och hastigheten på angrepp

Fukt och temperatur

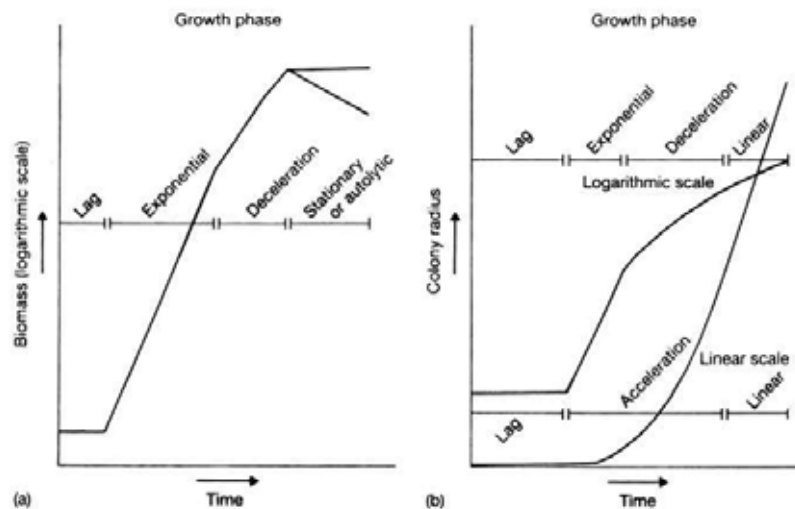
För varje art och varje temperaturnivå finns det ett värde på minimimängden fukt som måste finnas tillgänglig för att arten skall kunna växa till. Detta kan beskrivas genom så kallade isopleter, vilka är artspecifika och olika beroende på näringsmedia. Ett exempel ges i Figur 1 (Sedlbauer et al., 2002).



Figur 1 Isopleter för mögelsvampen *Aspergillus restrictus*. Vänster: Isopleter för groende sporer. Höger: Isopleter för mycelietillväxt. Figureerna är hämtade från (Sedlbauer et al., 2002).

Varaktighet

Förutom fukt och temperatur, är tiden en kritisk faktor för mikrobiell tillväxt. Tillväxten för svampar sker i olika faser, se figur nedan (Cooke et al., 1993).



Figur 2 Modeller av mikrobiell tillväxt under idealiserade förhållanden. a) Mycelial biomassproduktion i ett flytande medium med tillräcklig men begränsad närings-tillförsel b) koloniutbredning på ett fast medium. Bilden hämtad ur (Cooke et al., 1993).

Även under gynnsamma förhållanden finns det ofta en latensperiod ("Lag" i Figur 2) innan växten kommer igång. Svampväxt kan förhindras genom att förhållandena i substratet (t ex fukteliminering) regleras under latensperioden (Chang et al., 1995). Detta får också konsekvenser för hur fort en uppfuktning, till exempel vid en vattenskada eller i samband med regn på en byggarbetsplats, måste avbrytas för att inte ett angrepp av mögelsvamp skall uppkomma. (Chang et al., 1995) kunde visa att vattenmättade undertaksskivor som torkades ut snabbt, med hjälp av fläkt, inte angreps av mögel. Vid en mer långsam uttorkning angreps dock skivorna.

(Horner et al., 2001) visade att det på uppfuktade gipsskivor med papp och undertaksskivor kunde växa mögel inom så kort tid som 48 timmar i ett omgivande klimat under 50 % RF (temperaturen anges inte i referensen). De drar slutsatsen att tidsgränsen på hur länge ett material får vara fuktigt (genomblött) innan det finns risk för mögelangrepp är 2-3 dagar.

Förmodligen kommer ett material som varit uppfuktat en gång, och där angreppen kommit igång, att i framtiden vara mer känsligt för ett angrepp. (Johansson, 2003) har jämfört möglingsbenägenheten vid hög relativ fuktighet (95-95 %) mellan gammalt virke avsett för återanvändning och nytt virke från byggvaruhandeln. Det gamla virket angreps snabbare än nytt, och hade i flera fall redan från försökets början angrepp av mögel.

Nedsmutsning

Ett material som i sig själv har god motståndskraft mot mögelsvamp kan ändå angripas om det är nedsmutsat.

(Chang et al., 1996) studerade angrepp av en mögelsvamp (*Penicillium chrysogenum*) hos tre olika typer av material i en ventilationskanal och kunde konstatera att alla material angreps då de tillfördes organiskt damm, även de material som inte möglade i sig själva (glasfiberboard och galvaniserat stål), vid 97 % RF, 21°C. Galvaniserat stål provades efter en kraftig nedsmutsning vid 90 %, 94 % samt 97 % och uppvisade angrepp vid alla fuktnivåerna.

(Grant et al., 1989) har också experimentellt visat att tillförsel av näring till ett material medför att materialet kan angripas av mögel vid lägre fuktnivåer, i detta fall studerades tapet.

Nedsmutsning av material kan även leda till andra problem kopplade till mikrobiell tillväxt. Virke som smutsas med jord löper större risk att alstra elak lukt än rent virke (Johansson, 1999).

Frågan är om det ens är relevant att tro att material någon gång kommer att vara helt rent, med tanke på hur ofta det utsätts för någon typ av nedsmutsning (Ekstrand-Tobin, 2003).

Återkommande uppfuktning med mellanliggande perioder av torka

Då ett byggmaterial exponeras för varierande klimat påverkas mögelangreppet.

(Pasanen et al., 2000) skriver i en sammanfattning av tidigare studier ((Adan, 1994), (Viitanen, 1997)) kring groning och fortsatt tillväxt av mögel att man har kunnat konstatera att varaktigheten av perioder med fukt och torka under fluktuerande förhållanden är avgörande för svampars utveckling. Erforderlig tid är längre för svampar som skall växa vid hög RF och det slutliga angreppet är lägre än vid konstanta gynnsamma förhållanden. Detta kunde de också själva konstatera i ett försök där material fuktades upp och torkades ut i fyra steg (Pasanen et al., 2000). De drar också slutsatsen från sina resultat att en snabb uttorkning av ett material leder till minskad livskraft hos svampsporer, medan en långsammare uttorkning ger möjlighet till anpassning hos svampen till att leva vid lägre fukthalter. De konstaterar vidare att vissa arter av mögel som exempelvis *Penicillium* är mer toleranta för tuffa miljöer än andra.

(Rautiala et al., 2000) kunde inte hitta några skillnader i grobarhet mellan prover av träbaserat material från en pågående fuktskada och från områden där det var ett år sedan en fuktskada inträffat, och där det vid provtagningstillfället var torrt. Det ges dock ingen uppgift om fuktnivåer under året från det att fuktskadan inträffat. (Johansson, 2003) visade att prover av trä där angrepp fanns redan tidigare fick kraftigare angrepp vid 95-95 % RF än prover som inte hade sådan påväxt. Dessa prover hade förvarats torrt ett år efter provtagningstillfället. Även (Hallenberg et al., 1988) visade att träprover med angrepp som etablerats under verkets lagringstid fick en minskad mögelresistens.

Sammantaget tyder detta på att återkommande perioder av gynnsamma klimatförhållanden, om än inte sammanhängande, ökar risken för ny tillväxt av mögel.

Att studera byggmaterials benägenhet att mögla

Det finns många undersökningar där man studerat angrepp av mögel på byggmaterial. Ur vilken aspekt detta är studerat varierar emellertid. Det kan till exempel vara hur fort ett angrepp utvecklas, när sporer börjar gro eller hur stor utbredning angreppet får över en yta av materialet. Provningsmetodiken som används varierar också mellan studierna. Det finns två grundläggande sätt som provningar kan läggas upp på:

- A. Materialet utsätts för bestämda klimat (RF och temperatur) och den blandning av sporer som finns på naturligt på materialet ges möjlighet att gro och växa till.
- B. Materialet tillförs sporer av en eller flera kända arter innan det placeras i ett bestämt klimat där de får möjlighet att gro ut och växa. För att inte de sporer som funnits på materialet tidigare skall påverka slutresultatet kan proverna steriliseras. Detta kan ske på olika sätt.

Olika material angrips av mögel i varierande omfattning och med olika hastighet då de exponeras för samma klimat. Detta beror på inneboende faktorer hos materialet, vilka svampar som används, om materialet är smutsat etc. Det finns begränsningar med alla laboratorieprovningar, och överensstämmelse med verkliga förhållanden är svår att uppnå. De provningar som ingår i denna sammanställning är upplagda på olika sätt vilket försvårar jämförelse mellan studierna. Nedan följer en diskussion om vad som (i stort) skiljer provningarna åt och varför de är svåra att jämföra.

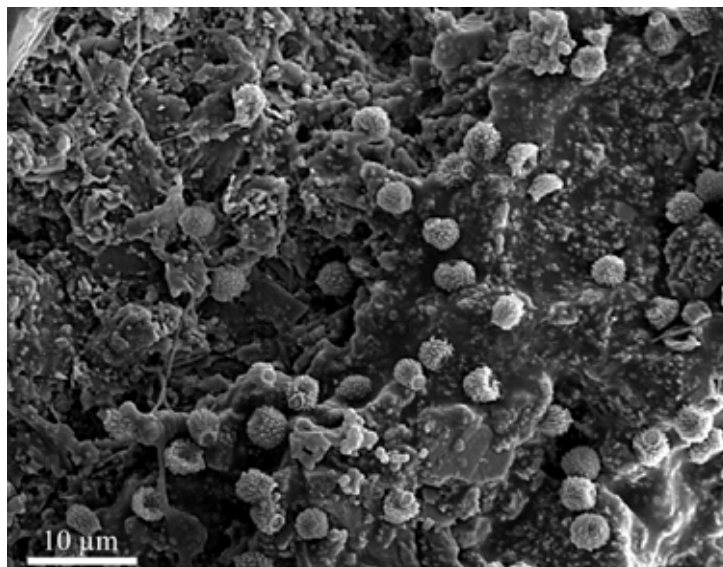


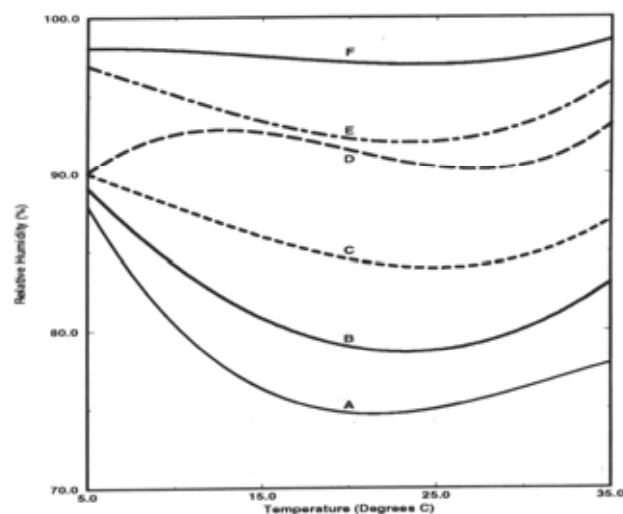
Foto 1 Sporer på väv, 2000x förstoring.

Vilka svamparter som studeras

(Hyvärinen et al., 2002) kunde vid studie av mögelpåväxt visa att det finns samband mellan svampart och typ av material. Detta kunde även (Doll et al., 2001) konstatera då de lät den naturliga floran på en gipsskiva, direkt från produktion, växa ut. Olika delar av gipsskivan, två typer av papper samt ”grundmaterialet”, blev angripna av olika arter. De drar slutsatsen att byggnadsmaterial med olika fukt- och näringsegenskaper kommer att tillåta tillväxt av mycket skilda svamppopulationer under samma testförhållanden.

Fuktkraven för att kunna växa är olika för olika arter. Tillväxten är också beroende av temperatur. I Figur 3 (Clarke et al., 1996) visas kurvor för begränsning av tillväxt för några typer av mögelsvampar. Om man i en provning väljer ett klimat med låg RF och en art i klass E eller F kommer förmodligen resultaten att visa materialet inte angrips av mögel. Hade man istället valt en svamp från grupp A hade resultatet förmodligen blivit att materialet kan angripas vid det aktuella klimatet. Olika arter konkurrerar med varandra om näring. Ju färre antal arter man använder vid en provning, desto större är risken att man missar effekter av interaktion mellan svamparna, som kunnat påverka slutresultaten.

Slutsatsen från ovanstående resonemang är således att det kan ha betydelse för provningsresultaten vilken/vilka svamparter som ingår i försöken.



Figur 3 Begränsningskurvor för tillväxt hos sex representativa mögelarter. A) extremt torktoleranta, B) torktoleranta, C) moderat torktoleranta, D) något fuktkrävande, E) fuktkrävande och F) extremt fuktkrävande. Bilden hämtad från (Clarke et al., 1996).



Foto 2 Odling av mögel på agarplattor.

Mätmetoder

Metoder för att kvantifiera ett angrepp på de provade materialen varierar mellan studierna. De olika sätt som man har använt i den genomgångna litteraturen är

1. utbredning av mögel på ytan (antingen grundat på vad som är synligt med ögat eller med en mikroskopisk analys), t.ex. (Viitanen, 2001), (Johansson, 2002)
2. utveckling av CO₂ (Pasanen et al., 1992)
3. tidpunkt för sporgroning, t.ex. (Grant et al., 1989)
4. diameter på kolonier
5. antal kolonibildande enheter/g material
6. totalantal sporer
7. mängd ergosterol

Alla angreppssätt har naturligtvis sina begränsningar, vilket inte diskuteras mer här, med ett undantag. Vår bedömning är att när man granskar ett material **endast** utifrån angrepp som är synligt för blotta ögat finns stor risk att man missar existerande påväxt, eftersom det ofta kan finnas växt som inte syns. Detta varierar naturligtvis med använd art och materialegenskaper. Till exempel är det alltid svårt att se angrepp med blotta ögat på porös isolering, och det krävs vana från mikroskopering för att kunna upptäcka angrepp. I flera av de genomgångna studierna finns påpekande om att angrepp fanns, trots att det inte syntes utan mikroskop. I en studie av (Pasanen et al., 2000) fanns det ibland skillnader mellan hur odlingsbara enheter korrelerade till synligt/ej synligt mögel, ibland inte. Angrepp på prover av återvunnet material var synligt endast i 17 av 94 fall (18 %) (Johansson, 2003). När man studerade träprover som hängt i fuktiga krypgrunder under fyra månader (Pasanen et al., 2001) kunde endast ett fåtal av proverna uppvisa för blotta ögat synlig växt, medan påväxten på de övriga inte var synlig med blotta ögat trots att odling visade att angreppen var stora.

Slutsatsen är att val av metod för kvantifiering av mögelangrepp utgör ytterligare en svårighet vid jämförelse mellan studier.

Tidpunkt för utvärdering

Tidpunkten för analys av angreppen varierar mellan de olika studierna. Beroende på hur täta tillfällena är kan man följa angreppets utveckling över tiden. Vanligen görs emellertid endast en bedömning efter ett antal veckor, ofta fyra. Man får då ingen information om när angreppet startade. Olika tidpunkter för analys kan ge varierande resultat, beroende på var i tillväxten ett angrepp befinner sig (Figur 2). Detta innebär ytterligare en svårighet när studier skall jämföras.

Svårighet att ange exakta värden

Till sist vet vi av erfarenhet att det är svårt att förutse vad som kommer att hända i en biologisk process. Även om optimala förhållanden råder finns det tillfällen då en mögelsvamp ändå inte växer. Slutsatser om biologiska processer innebär därför förenklingar.

Genomgång av byggmaterial som studerats

Trä

Trä är ett material som lätt möglar och angreppen kan komma snabbt om förutsättningarna är goda.

(Hallenberg et al., 1988) provade virkes motståndskraft mot mögelangrepp genom att placera prover i olika konstanta klimat och låta det som fanns på materialet växa ut. Ingen mikrobiell tillväxt kunde konstateras vid 65 % RF, däremot fanns det varierande grad av angrepp vid något högre RF och benägenheten att mögla ökade med ökande RF-nivå, Tabell 1.

Tabell 1 Antalet prover med aktiv påväxt (totalt 95 prover i försöket). Data från (Hallenberg et al., 1988).

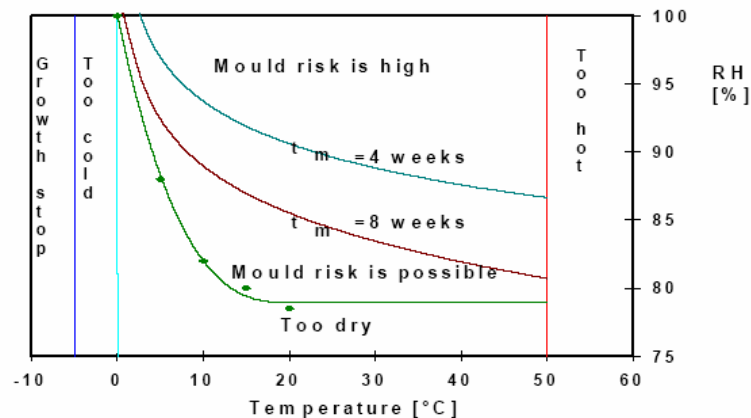
Bedömning	Fuktnivå			
	65 %	75 %	85 %	95 %
Ingen	95	82	53	36
Sparsam	0	0	4	3
Medel	0	4	17	27
Riklig	0	9	21	29

(Pasanen et al., 2001) placerade träprover hängande i krypgrunder under fyra månader. Klimatet i grunderna översteg 90 % RF under en del av försöket, i övrigt låg det runt 80 %. Proverna analyserades efter två respektive fyra månader, och man kunde konstatera att det efter två månader, då första analysen gjordes, fanns angrepp på proverna.

(Fog Nielsen et al., 2004) provade hur byggmaterial angreps av mögel i tre klimat: 70, 80 och 90 % RF (25°C) och kunde efter 7 månader i 70 % RF inte konstatera någon mikrobiell tillväxt på träprover. Däremot fanns en massiv växt vid 80 % RF.

(Viitanen et al., 1991) studerade mikrobiell tillväxt på trämaterial vid olika RF och temperaturer. Det kunde inte konstateras några angrepp vid 75 % RF, inte ens efter ett år. Vid 80 % RF fanns angrepp, men tillväxthastigheten var långsam och angreppen var inte särskilt omfattande. Det är möjligt att de varit större om provningen varat längre än de 12 veckor som nu var fallet. Fuktkraven för att ett angrepp var lägre vid högre temperaturer än vid lägre. Dessutom var tillväxthastigheten snabbare vid högre temperaturer. Till exempel var omfattningen av mögelangrepp vid +10 °C och RH 96 %, nästan samma som vid +30 °C och RH 87 %. Proverna angreps fortast vid +40 °C. Vid +50 °C kunde inga angrepp konstateras, trots att den relativa fuktigheten var 100 %.

Virke kan få förändrad motståndskraft, t ex genom olika torkmetoder som förändrar näringstillgången vid ytan för svamparna (Terziev, 1996), eller genom att ytan sågas (Viitanen, 1994). I (Viitanen, 2004) finns en modell över kritiska fukt- och temperaturgränser för mikrobiell tillväxt.



Figur 4 En överblick över kritiska temperaturer och fuktighetsgränser för mikrobiell tillväxt. Hämtad ur (Viitanen, 2004).

Mineralullsisolering

I en provning av mögelresistens hos lösullsisolering av olika typ och fabrikat (Konsumentverket, 2002) vid 95 % RF och 30 °C angreps olika typer av material i olika omfattning vid samma provning. Sågspån av trä samt cellulosafiber behandlade med brandhämmande medel (vilket är okänt) angreps i störst omfattning. Cellulosafiber med tillsatts av borsalter angreps i något mindre grad. Material av stenull och glasull angreps inte alls, eller i begränsad omfattning, beroende på fabrikat.

I en studie (Chang et al., 1996) där man provade hur isoleringsmaterial för ventilationskanaler (fibrous glass ductboard) vid 97 % RF kunde man konstatera att de inte angreps av den svamp som ingick i försöket (*P. chrysogenum*).

(Fog Nielsen et al., 2000) och (Fog Nielsen et al., 2004) kunde inte finna några angrepp av mögel på mineralullsisolering under något klimat som ingick i studien, lägst 69 %, högst 95 % RF. Inte heller fanns angrepp på cellulosaisolering som innehöll borsalter.

(Viitanen, 2004) konstaterade att ren mineralull kan angripas vid 97-98 % RF, om exponeringstiden är lång (flera månader).

(Samuelson et al., 1995) undersökte tillväxt på mineralull som belagts med mögelsporer som fått gro under två dagar vid 100 % RF och därefter lagrats i en månad vid 90 % RF. Samtliga prover visade angrepp av mögel på både stenull och glasull.

Papperstapet

(Grant et al., 1989) studerade fuktkraven för tillväxt av mögelsvampar från byggnader, en studie som har legat till grund för många senare studier inom området. Bland annat undersökte man den minsta vattenaktivitet som krävdes för att någon av nio arter skulle växa på tapet. Först hade man odlat proverna på maltagar och kunde konstatera att vissa av arterna hade lägre fuktkrav då än på tapeten. Man testade växt på tapeter vid två temperaturer, 12 och 25 °C, och såg att vid den högre temperaturen var fuktkraven något lägre (84 % RF) för att någon av arterna skulle

börja växa, än vid den lägre temperaturen (87 % RF). När proverna tillfördes näring sjönk fuktkraven.

Tabell 2 Lägsta erforderliga relativa fuktighet vid ytorna för mikrobiell tillväxt.
Hämtat från (Grant et al., 1989).

Woodchip paper				Painted Woodchip paper			
Obehandlad		Tillförd näringskälla		Obehandlad		Tillförd näringskälla	
12 °C	25 °C	12 °C	25 °C	12 °C	25 °C	12 °C	25 °C
87	84	87	84	83	79	83	79

(Rowan et al., 1999) har liksom (Grant et al., 1989) undersökt vid vilken fuktnivå mögel tillväxer på papper, denna gång vid 20 °C och proverna har inokulerats med svamparter som påträffats i och isolerats från byggnader. Efter 110 dagars inkubering är den lägsta RF som mögel uppkommit på 77 % för en art för att följas av nästa vid 82 % RF.

(Fog Nielsen et al., 2000) fann mögelangrepp vid lägst 80 % RF på papperstapet.

Träbaserat skivmaterial

(Ritschkoff et al., 2000) studerade spånskivor, träfiberskivor och plywood och fann att alla materialen angreps vid 90 % RF vid högre temperaturer än 15 °C (Figur 5). Det anges i texten att provningar gjorts även vid 80 % RF, men inga resultat redovisas. Om 90 % RF är ett gränsvärde för angrepp anges inte.

(Pasanen et al., 1992) inkuberade prover av träfiberskivor och plywood från byggnader i 55 dagar. Man drog slutsatsen att påväxten kan ske över 82 % RF, se även Tabell 3. I tabellen framgår att det växer vid 96-98 % RF men inte vad som händer i området mellan 82-96 % RF. Se Tabell 3.

(Wang, 1992) undersökte hur tre typer av träfiberskivor, två typer av spånskivor och ett plywoodmaterial stod emot angrepp av mögel och blånadssvampar vid olika kombinationer av fukt och temperatur, totalt 16 st. Svamparna växte snabbast vid $RF \geq 90\%$. Ju högre temperatur desto snabbare tillväxthastighet. Vid 80-85 % RF fanns ingen eller mycket liten växt, beroende på temperatur. Ingen växt inträffade vid 80 % RF och 7, 15 eller 20 °C under inkubationstidens tio veckor, däremot vid 80 % och 25 °C. Vid 85 % RF blev alla material förr eller senare, oavsett temperatur, angripna av svamp.

Tabell 3 Effekt av RF vid utvecklande av CO₂ från mikroorganismer på byggmaterial efter inkubation i 31 och 55 dagar vid 20-23 °C. Efter tabell i (Pasanen et al., 1992).

Material	Yield of CO ₂ (μmol g ⁻¹) after					
	31 days			55 days		
	RH 75-76%	80-82%	96-98%	75-76%	80-82%	96-98%
Wallpaper	<10	30-70	110-130	20-30	40-60	150-170
Wood	<10	<10	100-230	<10	<10	150-240
Plywood	<10	<10	240-330	<10	10-20	240-450
Gypsum board	<10	<10	50-110	—	—	—
Fibre board	<10	<10	50-150	—	—	—

—, not incubated for 55 days.

TABLE 3
Effect of RH on Final Propagule Count of Building Materials after Incubation at 20-23°C

Material	Propagule (CFU g ⁻¹)					
	Untreated samples			Inoculated samples		
	RH 75-76%	80-82%	96-98%	75-76%	80-82%	96-98%
Wallpaper	5 × 10 ²	5 × 10 ²	1 × 10 ⁷	3 × 10 ⁶	4 × 10 ⁶	4 × 10 ⁶
Wood	ND ^a	ND	3 × 10 ⁷	2 × 10 ⁵	1 × 10 ⁵	1 × 10 ⁶
Plywood	5 × 10 ⁴	1 × 10 ⁵	2 × 10 ⁶	2 × 10 ⁵	8 × 10 ⁵	3 × 10 ⁶
Gypsum board ^b	5 × 10 ³	1 × 10 ²	2 × 10 ⁶	4 × 10 ⁵	2 × 10 ⁵	2 × 10 ⁶
Fibre board ^b	<10 ²	<10 ²	6 × 10 ⁶	4 × 10 ⁴	4 × 10 ⁴	1 × 10 ⁶

^aND, not detected, below detection limit of method (10CFU g⁻¹)

^bIncubation time 31 days

Undertaksskivor (ceiling tiles)

(Chang et al., 1995) studerade hur tre arter av mögelsvamp växte på nya och gamla undertaksskivor (oklart vilket material dessa bestod av) vid olika RF och kunde konstatera att minsta RF där tillväxt initierades var vid 85-90 %, se Tabell 4. De gamla proverna var också de enda som tillät tillväxt av alla tre arterna, vilket kan tyda på att mer näring fanns tillgänglig i form av organisk smuts, eller att hygroskopiciteten ökade av dammet.

Tabell 4 Lägsta erforderliga RF % för tillväxt på undertaksskivor (Chang et al., 1995).

Material	Minsta RF (%) där en/flera av arterna började växa
Undertaksskivor, sannolikt bestående av gips eller trä	85-90
Undertaksskivor av glasfiber	94-97
Begagnade undertaksskivor	85-90

Betong

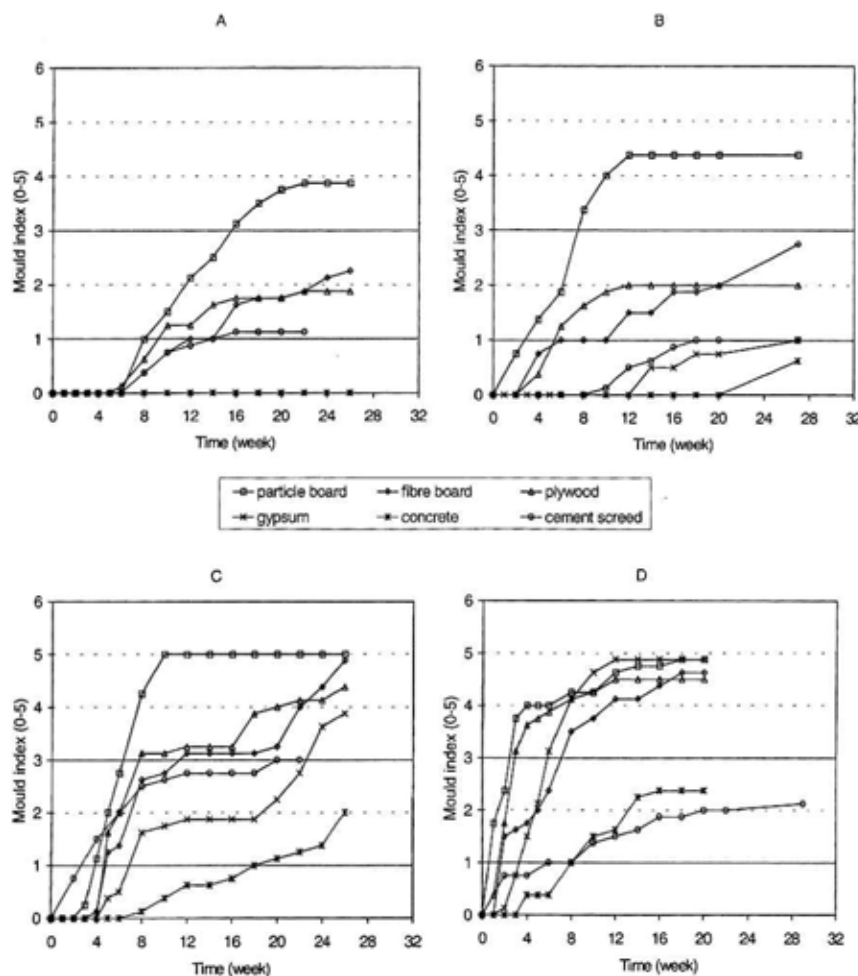
Betong är ett mineraliskt material som har en hög mögelresistens. Tillsatsämnen och ytbehandling av organiskt material kan dock göra det möjligt för angrepp att uppstå. (Blomsterberg et al., 1997) studerade skolor där tilluften till lokalerna togs in genom kanaler i marken. I en av dessa skolor kunde man i den ena byggnaden se att det fanns kraftiga angrepp på betongen på tilluftskanalens sidor. Dessa kunde ses med blotta ögat, men prover från de skadade områdena analyserades också i mikroskop. I en annan byggnad på samma skola fanns samma typ av tilluftskanal, men där fanns inga angrepp av mögel. Skillnaden var att i det första fallet hade man använt en

biologiskt nedbrytbar mineralolja mot formen. Denna har förmodligen utgjort näring för svamparna.

(Viitanen, 2004) har undersökt betong och liknande material med avseende på mögelresistens, kritiskt RF samt hur tiden inverkar på angreppet. I en engelsk sammanfattning står att gränsen för tillväxt på ren betongyta i direktkontakt med luft (ytan) är högre än 88-90 % RF. Man har sett att ren betong kan klara sig utan angrepp upp till 97-98 % RF. Smutsas den ner med organiska ämnen sjunker den kritiska RF till 84 %.

(Fog Nielsen et al., 2004) fann gränsvärde för angrepp på betong vid 95 % RF.

(Ritschkoff et al., 2000) fann ingen växt på betong vid 90 % RF och 15 °C, dock en liten växt vid 90 % RF och 23 °C efter 28 dagar. Däremot växte det mycket vid 97 % RF, och snabbare vid 23 °C än 15 °C, se Figur 5.



Figur 5 Mögelbenägenheten för träbaserade och stenbaserade byggmaterial vid konstanta fuktighets- och temperaturförhållanden: A = 90 % RF, 15 °C, B = 90 % RF, 23 °C, C = 97 % RF, 15 °C och D = 97 % RF, 23 °C. Hämtat från (Ritschkoff et al., 2000).

Gipsskivor med papp

(Pasanen et al., 1992) inkuberade prover av byggmaterial från fuktskadade byggnader och uppmätte CO₂ produktion som en indikator på mögelangrepp. Redan efter två dagars inkubering kunde man mäta en ökning av CO₂ halt från gipsskivor vid 96-98 % RF, men vid 75-76 % respektive 80-82 % kunde man inte uppmäta någon CO₂ förändring alls under försöket, som

pågick i 31 dagar. De drar dock slutsatsen, efter odling, att det kan ske tillväxt över 82 % RF. Man nämner dock inget om det växer i området mellan 82-96 % RF.

(Ritschkoff et al., 2000) fann ingen växt av mögel vid RF 90 %, 15 °C. Däremot fanns det växt efter 13 veckor vid 90 % och 23 °C. Vid 97 % RF och 23 °C var påväxten av samma omfattning som på spånskiva. Se även Figur 5.

(Horner et al., 2001) och (Pasanen et al., 2000) fuktade upp prover av gipsskiva för att simulera vattenskada. Proverna angreps snabbt. (Horner et al., 2001) skriver att det växte mögelsvamp-hyfer redan efter 48 h efter det att ”fuktskadan” (som varade i 10 min) börjat torka (omgivande RF var 32 %).

(Fog Nielsen et al., 2000) kunde inte konstatera någon påväxt på prover vid mikroskopering vilket skulle kunna bero på svårigheter att analysera. Man kunde dock uppmäta ergosterol vid 90 % RF, vilket är ett tecken på att svamp fanns närvarande.

I en annan studie provades byggmaterial vid olika kombinationer av temperatur och klimat (Fog Nielsen et al., 2004). Ingen växt förekom på gipsskivor vid 75 % RF vid 20 °C, liten växt fanns vid 86 % RF och kraftig växt vid 90 % RF efter 17 veckor. Detta styrks av en annan studie (Must et al., 2004) där man kunde konstatera påväxt vid 85 % RF men inte vid 75 % RF.

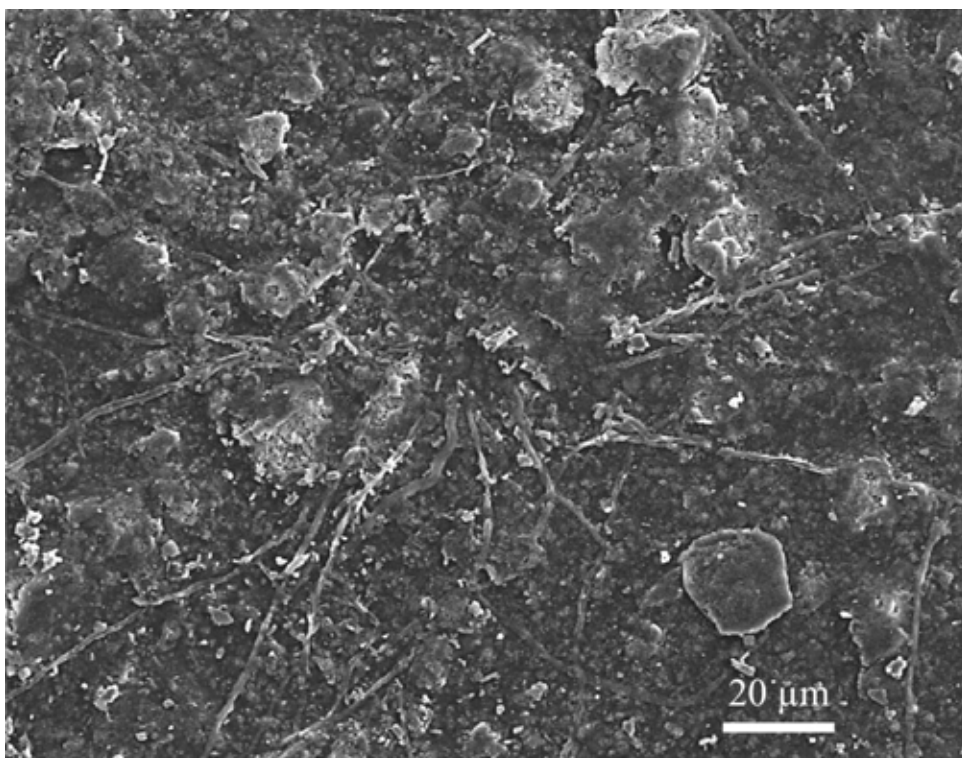


Foto 3 Svamphyfer på papper på gips, 750x förstoring.

Plastfolie (polyeten)

Det finns i litteraturen ett fåtal referenser där man analyserat mikrobiell tillväxt på plastfolie (däremot finns det en mängd studier kring bionedbrytbarhet hos plaster). Vår erfarenhet från skadefall är att denna typ av material kan angripas av mögel, vilket det också finns stöd för i litteraturen. När (Hyvärinen et al., 2002) analyserade angrepp på ett stort antal prover av olika byggmaterial från fuktskadade byggnader hittade man angrepp även på plast. Proverna var associerade med en stor mängd arter. Man drog slutsatsen från detta att eftersom polyeten innehåller

så få näringsämnen i sig själv kan det vara så att mikroorganismerna utnyttjar damm som fastnar på materialet som näringskälla.

Cellplast

Den enda referens som hittades beträffande detta material var (Viitanen, 2004) som fann mikrobiell påväxt på EPS vid långtidsexponering för 97 % RF.

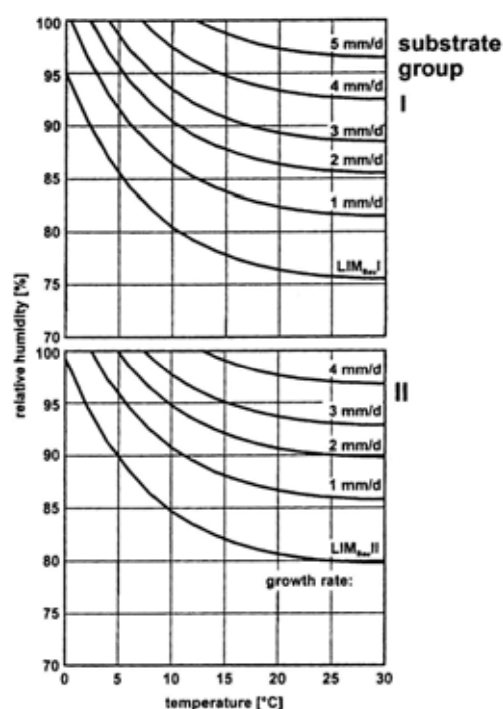
Klassning av materialgrupper

(Hyvärinen et al., 2002) analyserade prover av olika byggmaterial med avseende på angrepp av mögel. Proverna hade klassats som skadade innan analys och detta definierades som allt från fuktfläckar till kraftiga synliga angrepp. Tydliga skillnader i angrepp fanns mellan materialen. Trä och papper angreps mycket, medan mineralull och keramiskt material samt färg och lim angreps mindre. Dock fanns det angrepp även på sådana material som inte klassas som biologiskt nedbrytbara.

(Sedlbauer et al., 2002) har föreslagit fyra kategorier av substrat för mikrobiell växt se Tabell 5 och Figur 6.

Tabell 5 Kategorier av substrat för mikrobiell påväxt enligt (Sedlbauer et al., 2002).

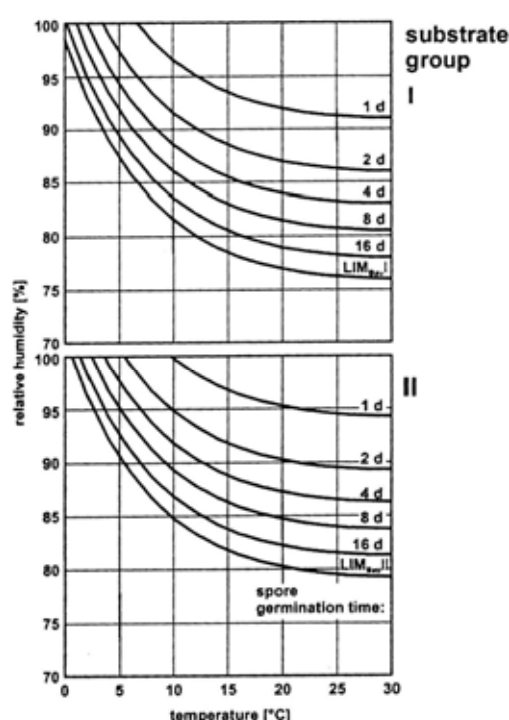
Substrat kategori 0:	Optimalt biologiskt medium
Substrat kategori I:	Biologiskt återvinningsbara material som tapet, papper på gips-skivor, skivor av biologiskt nedbrytbara material, fogmassor.
Substrat kategori II:	Porösa byggmaterial som puts, mineraliska material, visst trämaterial och oskyddade isolermaterial som inte hamnar i kategori 1.
Substrat kategori III:	Material som varken är biologiskt nedbrytbara eller innehåller näringsämnen.



Figur 6 a (Sedlbauer et al., 2002)
Generaliserat isoplethsystem för myceltillväxt.

Överst: Isoplethsystem för substratgrupp I.

Nederst: Isoplethsystem för substratgrupp II.



Figur 6 b (Sedlbauer et al., 2002)
Generaliserat isoplethsystem för sporgroning.

Överst: Isoplethsystem för substratgrupp I.

Nederst: Isoplethsystem för substratgrupp II.

Andra källor där kritiskt fuktillstånd anges

Tabell 6 Kritiskt fuktillstånd för trä och träbaserade material beskrivet i (AMA, 2003) och Fukthandboken (Nevander et al., 1994).

Kritiskt fuktillstånd	Referens
Vid inbyggnad, högst 0,18 kg/kg fuktkvot	(AMA, 2003)
Ingen risk <70 % RF (<0,15 kg/kg fuktkvot) Liten-måttlig risk 70-85 % RF (0,15-0,20 kg/kg fuktkvot)* Stor risk >85 % RF (>0,20 kg/kg fuktkvot)*	(Nevander et al., 1994)
* vid för mikrobiell tillväxt gynnsam temperatur	

I (Svensk-Standard, 1992) definieras allmänna riskklasser avseende biologiska angrepp. Riskklasserna beskrivs i tabellen nedan.

Tabell 7 Den allmänna definition för indelning i riskklasser avseende biologiska angrepp på trä eller träbaserade produkter enligt (Svensk-Standard, 1992).

	Definition av användningsområde
Riskklass 1	Helt skyddat från väderpåverkan samt ej utsatt för nedfuktning.
Riskklass 2	Helt skyddat från väderpåverkan men med hög omgivande luftfuktighet vilket kan leda till tillfällig men ej ihållande nedfuktning.
Riskklass 3	Oskyddat mot väderpåverkan utan kontakt med marken. Antingen ständigt utsatt eller helt skyddat för väderpåverkan men utsatt för ofta återkommande nedfuktning.
Riskklass 4	I direkt kontakt med mark eller sötvatten och sålunda ständigt utsatt för nedfuktning.
Riskklass 5	I ständig direkt kontakt med saltvatten.

Vidare finns tillämpningen av dessa riskklasser samt risken för biologiskt angrepp på massivt trä respektive olika skivmaterial beskrivet i tabellen nedan. I tabellen har Riskklass 5 gällande för material som är helt eller delvis är nedsänkt i salt-vatten exkluderats.

Tabell 8 Riskklassindelning av trä och träbaserade skivmaterial (plywood, spånskiva, strimlespånskiva, träfiberskiva), samt dess fuktegenskaper i de olika riskklasserna 1- 4. Medtagna kommentarer avser endast risk för mögel- och rötangrepp. (Svensk-Standard, 2004a), (Svensk-Standard, 2004b).

Risk-klass	Tillämpning av riskklass hos olika skivmaterial samt massivt trä	Risk för mögel och rötangrepp
1	Skivmaterial: FK < än vid lagring i 20 °C, RF 65 % Massivt trä: FK < 0,20 kg/kg	Obetydlig
2	Skivmaterial: FK helt eller delvis ≥ än vid lagring i 20 °C, RF 90 % Massivt trä: FK helt eller delvis tillfälligt > 0,20 kg/kg	Möjlig
3	FK ≥ 0,20 kg/kg	Hög
4	FK > 0,20 kg/kg.	Mycket hög

Förslag till ”kritiskt fukttillstånd för mikrobiell tillväxt”

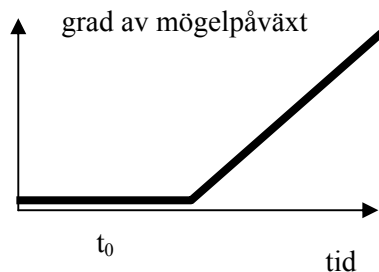
Definition av kritiskt fukttillstånd

Kritiskt fukttillstånd är det fukttillstånd över vilket det finns risk för att ett material förändras negativt till följd av fuktpåverkan. Förändringen kan ske gradvis eller snabbt. Mikrobiell tillväxt sker alltid gradvis och är dessutom beroende av ett flertal faktorer som svampart, relativ fuktighet, temperatur, typ av underlag, dess struktur och varaktighet. Det är därför omöjligt att entydigt ange ett kritiskt fukttillstånd.

En fråga är vad man avser med att materialet ”förändras negativt”. Mikrobiell tillväxt sker successivt och påväxten är inte alltid synlig för ögat. Påväxt kan i sig oftast anses vara negativt, medan man i vissa sammanhang nöjer sig med att uppfatta mögel negativt endast om det orsakar en försämrad inommiljö. Man tar då i det senare fallet också hänsyn till var möglet växer och hur stor risken är att gaser eller partiklar från mögelhärden skall kunna påverka inommiljöns luftkvalitet.

Modell för kritiskt fukttillstånd med hänsyn till skada/olägenhet av mikrobiell tillväxt

Vid studier av mikrobiell tillväxt på material finner man oftast kurvor av följande principiella utseende:



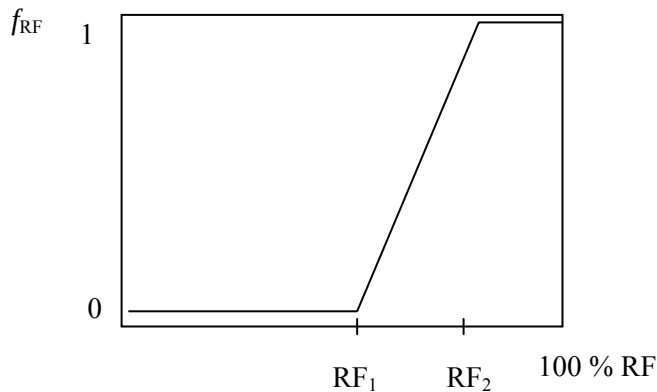
Figur 7 Principiellt utseende på mikrobiell tillväxt på material

Tiden t_0 fram till att mikrobiell tillväxten startar liksom lutningen på kurvan är olika för olika material och för olika temperaturer och relativa fuktigheter. Genom att istället för verklig tid välja en ekvivalent tid, definierad som

$$t_{ekv} = \sum_{tid} f_{RF} \cdot f_{temp} \cdot \Delta t$$

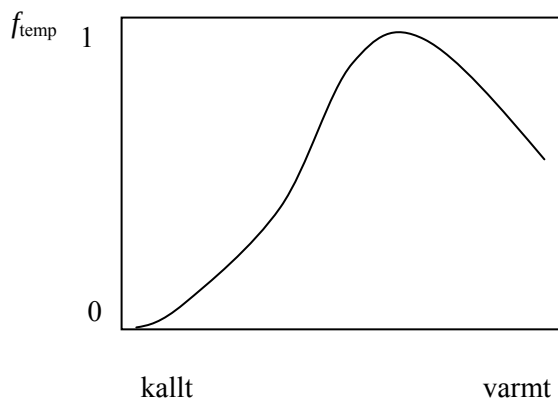
kan vi göra figuren mer allmängiltig.

Faktorn f_{RF} beskriver effekten av RF på mikrobiell tillväxt och är mycket låg under ca 60-70 % RF och hög vid RF över 80-90 %. Olika mögelarter har varierande tillväxtkaraktistika vad avser näringstillgång och klimat.



Figur 8 Faktorn f_{RF} beskriver principiella effekten av RF på mikrobiell tillväxt.

Faktorn f_{temp} beskriver effekten av temperaturen på mikrobiell tillväxt. De flesta arter har en optimal tillväxt vid 25 – 30 °C. Vid låga temperaturer sker tillväxten betydligt långsammare och vid högre temperaturer avstannar tillväxten.



Figur 9 Faktor f_{temp} beskriver principiella effekten av temperatur på mikrobiell tillväxt.

Man kan nu beskriva kravet så att

$$t_{ekv} \leq t_0$$

där t_{ekv} beräknas över byggnadens livstid. Detta görs säkrast genom att se till att RF alltid ligger under RF_1 , se figur 8, dvs $f_{RF} \approx 0$. Dessa värden är därför de kritiska värden som redovisas i tabellen nedan. Genom att acceptera något högre värden vid lägre temperaturer tas viss hänsyn till hur f_{temp} varierar med temperaturen enligt figur 9.

Det finns ytterligare en faktor som kan ha betydelse. Det är om den beräknade ekvivalenta tiden, t_{ekv} , har olika inverkan beroende på om den utgör en sammanhängande period med hög RF eller om den är en summa av korta perioder med hög RF.

Tyvärr saknas i litteraturen systematiska studier av mögel på material och det finns därför nästan inga data att sätta in i formlerna ovan. Vi har därför tvingats göra starka förenklingar och egna uppskattningar och bedömningar baserade på de forskningsresultat som finns och de erfa-

renheter vi har från skadeutredningar och laboratorieförsök när vi utarbetat förslaget i tabell 9 på kritiska fukttillstånd. I tabellen har vi också antagit att all mikrobiell tillväxt är att betrakta som skada/olägenhet oavsett var i byggnadskonstruktionen den sker. Högre gränsvärden och därmed högre risk för mikrobiell tillväxt skulle kunna accepteras om placeringen i byggnadsskalet är sådan att sannolikheten för att möglet påverkar inommiljön negativt är liten.

Mikrobiell tillväxt och spridning av gaser och partiklar från växande mögel sker i stor utsträckning slumpmässigt eller i varje fall utom kontroll och vi måste därför acceptera att det är omöjligt att ange bestämda gränser för kritiska fukttillstånd. De värden vi anger är baserade på uppskattningar av risken för mikrobiell tillväxt och vi har valt värdena så att vi bedömer risken för mikrobiell tillväxt är i storleksordningen några procent.

Förslag till kritiska fukttillstånd

Kritiskt fukttillstånd för mikrobiell tillväxt är cirka 75 % RF. Det finns dock materialgrupper som, under förutsättning att de inte är förorenade, har högre kritiskt fukttillstånd. Nedanstående tabell anger förslag till kritiska fukttillstånd för olika materialgrupper utifrån genomgången litteratur.

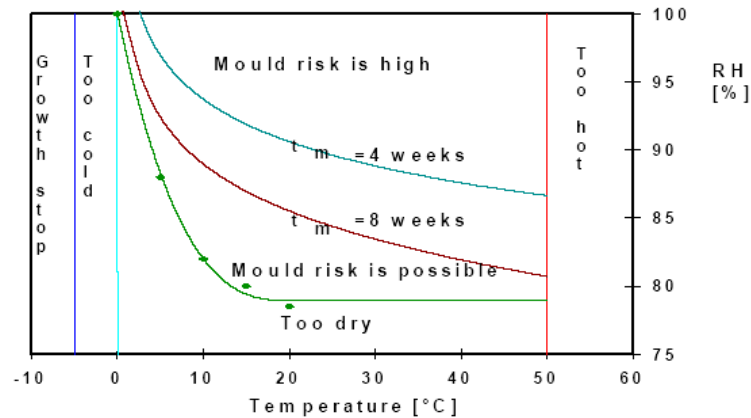
Tabell 9 SPs förslag till kritiska fukttillstånd utifrån genomgången litteratur. Förslaget är baserat på uppskattningar av risken för mikrobiell tillväxt där värdena är valda så att risken för mikrobiell tillväxt är i storleksordningen några procent.

Materialgrupp	Kritiskt fukttillstånd [%RF]
Smutsade material	75-80*
Trä och träbaserade material	75-80
Gipsskivor med papp	80-85
Mineralullsisolering	90-95
Cellplastisolering (EPS)	90-95
Betong	90-95

* Uppskattning/erfarenhet från SP.

Kommentarer till tabell över kritiska fukttillstånd

- A. Värdena i tabellen avser lång varaktighet.
- B. De angivna värdena avser fukttillståndet i materialets yttersta skikt.
- C. Om materialen har fuktats upp t ex av regn eller läckage krävs åtgärder. SPs erfarenhet är att det normalt krävs att materialet torkas ut (till värden som underskrider det kritiska fukttillståndet) inom några dagar eller veckor för att inte sporer skall gro och tillväxt ske. För betong uppskattar vi att uttorkningen bör ske inom några veckor eller månader. För gipsskivor med papp finns uppgifter i litteraturen som visar att materialet inte skall utsättas för fritt vatten alls.
- D. Värdena i tabellen avser kritiskt fukttillstånd vid rumstemperatur. För trä och träbaserade material finns underlag som visar att det kritiska fukttillståndet blir högre vid lägre temperaturer. Se figur 10 nedan. För övriga material har vi inte funnit liknande figurer.



Figur 10 En överblick över kritiska temperaturer och fuktighetsgränser för mikrobiell tillväxt. Hämtad ur (Viitanen, 2004).

- E. Värdena i tabellen avser rena material. Om material smutsas ned minskas materialets resistens mot mögeltillväxt och nivån för smutsat material skall gälla. Nedsmutsningen kan exempelvis ske genom ovarsam hantering eller genom att partiklar, smuts etc i luft förorenar materialet.
- F. Om det kritiska fukttillståndet överskrids är det inte säkert att tillväxt av mögel sker, men det finns risk för tillväxt.
- G. Litteraturstudien har visat att det inte finns någon entydig gräns för tillväxt av mögel för de material som anges. Olika undersökningar visar också något olika resultat för samma materialgrupp. Dels är provmetoderna olika, dels kan materialen inom en materialgrupp vara olika. En materialtillverkare kan genom egna undersökningar och provningar visa att ett material har högre kritiskt fukttillstånd än det i tabellen angivna.
- H. Det kan finnas material som behandlats på olika sätt för att erhålla ett högre kritiskt fukttillstånd, t ex genom tillväxthämmande medel eller fungicidbehandling. Sådana material har vi inte hittat data för i litteraturen. Även i detta fall bör en materialtillverkare som vill använda ett högre kritiskt fukttillstånd redovisa data som styrker detta. Även materialets kritiska fukttillstånd efter ett antal år i konstruktionen bör beaktas och redovisas (utvärdering av behandlingens beständighet).
- I. En osäkerhet vid val av kritiskt fukttillstånd är att material provas vid ett klimat där materialet visas ha påväxt (t ex 85 % RF) och vid ett annat klimat där det visas ej ha påväxt (t ex vid 75 % RF). Glappet mellan dessa klimat kan vara stort. I detta exempel ligger det kritiska fukttillståndet för materialet mellan 76 % RF och 84 % RF. Dessutom skall mätosäkerheten i undersökningarnas fuktmätningar beaktas.
- J. För att vara säker på att värdena i tabellen inte överskrids under byggnads- eller brukskedena rekommenderas att val av material, konstruktion och produktionsmetod, görs genom att lägga till en säkerhetsfaktor till det kritiska fukttillståndet.

Bilaga 1

Sammanställning av källreferenser, uppdelat på respektive byggnadsmaterial.

Gips

Referens	Bakgrund/design	Sammanfattning av resultat
(Pasanen et al., 1992)	12 prover från byggnad påfördes sporer och inkuberades i 3 olika klimat under 31 dygn.	CO ₂ produktion ökade från och med dag 2 vid 96-98 % RH (20-23 °C). Ingen ökning kunde mätas vid 75-76 % och 80-82 % Dock visade odling ökande CFU- halter/g material. Man konstaterar att vid RF>82 % RF angrips materialet. Se Tabell 3.
(Ritschkoff et al., 2000)	Nya osteriliserade prover påfördes sporer och utsattes för olika klimat under 28 veckor.	Vid 97 % RF och 23 °C var angreppet på gipsskivan jämförbart med angrepp på träbaserat skivmaterial (particle board). Vid 90 %, 15 °C fanns ingen växt. Vid 90 %, 23 °C, detekterades växt efter 13 (28) veckor.
(Horner et al., 2001)	Prover från byggvaruhandlare autoklaverades, doppades i sterilt vatten 10 min, påfördes sporer. Placerades i fuktkammare. Analyserades med stereomikroskop.	Olika klimat redovisas, inga tabeller eller diagram, men hyfer växer på material vid 32 % RF efter 48 h. Efter 72 h har konidiorer bildats.
(Pasanen et al., 2000)	Livskraften hos svampar testades vid olika torknings- och uppfuktningsförhållanden (fuktades upp genom att stå i vatten i 4 veckor, torkades ut under 7 veckor, hög luftfuktighet (95 %) 8 veckor, torkade 7 veckor). Prover för analys togs ut efter hand. Analyserade CFU, svampar och actinomyceter och totalantal sporer.	Om materialet fuktas genom kapillärsugning kommer materialet att snabbt bli angripet. Inga gränsvärden konstateras.
(Doll et al., 2001)	Prover direkt från tillverkaren placerades i olika klimat (95 % RH, 0,1 Sat MC, 0,2 Sat. MC) under 5 veckor, varefter de analyserades med hjälp av mikroskop.	Olika arter växte på fram resp baksidan av gipsen (papp), samt på gipsen direkt. Trots att det är en stor variation på svampar som förekommer är gränsvärdet för deras miniväxt 95 % genom kapillärsugning.
(Nielsen et al., 2000)	3 steriliserade (gammastrålade) prover påfördes sporer, inkuberades i 25 °C i 70, 80 och 90 % Proverna fotograferades 1 gång/månad. Efter 7 mån genomfördes flera olika analyser.	Ingen växt kunde konstateras med hjälp av mikroskop, förmodligen pga svårigheter att analysera. Uppmätte ergosterol vid 90 % RF.
(Fog Nielsen et al., 2004)	Steriliserade (gammastrålade) prover påfördes sporer. Flera olika RF och temperaturkombinationer. Digitalfotografering och stereomikroskop efter 7, 14 och 28 dagar, senare 1 gång i månaden till 4 eller 7 månader. Utbredning, artdiversitet, ergosterol, sekundära metaboliter och mykotoxiner analyserades.	Angrepp fanns vid 95 % RF. Fanns även angrepp vid 90 % RF, men då var dessa associerade till kontaminerade fibrer och partiklar.

Träbaserat skivmaterial

Referens	Bakgrund/design	Sammanfattning av resultat
(Ritschkoff et al., 2000)	Nya osteriliserade prover av tre skivmaterial (particle board, fibre board och plywood) påfördes sporer och utsattes för olika klimat under 28 veckor.	Se Figur 5. Proven möglade över 90 % RF. Har även testats vid 80 %, inga resultat publicerade från detta klimat. Lägre temp (15 °C) och lägre RF medförde långsammare tillväxt.
(Pasanen et al., 1992)	Två typer av skivmaterial (plywood och fibre board) från byggnad påfördes sporer och inkuberades i 3 klimat 72-75 %, 80-82 % samt 96-97 % RF under 3 veckor.	Se Tabell 3. Man konstaterar att angrepp finns över RF 82 %. Mellan 82 % och 96 % har det dock inte provats, så gränsen då det börjat växa kan ligga någonstans mellan 82 och 96 %.
(Pasanen et al., 2000)	Livskraften hos svampar på två typer av skivmaterial (particle board och wood board) testades i olika torknings- och uppfuktningsförhållanden.	Man konstaterar att det finns en gräns för växt av mögel vid MC 20 % eller RF 80-85 %.
(Fog Nielsen et al., 2004)	Steriliserade (gammastrålade) prover påfördes sporer och inkuberades i flera olika RF och temperaturkombinationer. Digitalfotografering och stereomikroskop efter 7, 14 och 28 dagar, senare 1 gång i månaden till 4 eller 7 månader. Utbredning, artdiversitet, ergosterol, sekundära metaboliter och mykotoxiner analyserades.	Ingen växt kunde konstateras vid 25 °C och RF 69 %, dock fanns angrepp vid 78 %. Vid 20 °C och 76 % kunde ingen växt analyseras, dock fanns angrepp vid 86 %.
(Wang, 1992)	Olika typer av skivmaterial (tre typer av fiberboards, två particle boards och en plywood) påfördes sporer, exponerades för olika kombinationer av RF (80, 85, 90, 95 % RF) och temperatur (7, 15, 20, 25 °C).	Vid 90 och 95 % RF angreps alla material vid alla temperaturer, vid 80 % bara vid 25 °C.

Betong

Referens	Bakgrund/design	Sammanfattning av resultat
(Ritschkoff et al., 2000)	Nya osteriliserade prover påfördes sporer och utsattes för 80, 90 och 97 % RF, 5, 15, 23 och 30 °C, 28 veckor.	Se Figur 5. Vid 15 °C och 90 % kunde ingen växt konstateras. Vid samma RF men 23 °C : mkt liten växt efter 28 dgr. Vid 97 % RF växte mögel vid båda temperaturerna, men snabbare vid 23 °C än 15 °C.
(Viitanen, 2004)		Angrepp vid 88-90 % RF vid ytan, 97-98 % djupare ner i materialet.
(Nielsen et al., 2000)	Steriliserade (gammastrålade) prover påfördes sporer, inkuberades i 25 °C i 70, 80 och 90 % Proverna fotograferades 1 gång/månad. Flera olika analyser genomfördes efter 7 mån .	Ingen växt vid något av klimaten.

Trä

Referens	Bakgrund/design	Sammanfattning av resultat
(Pasanen et al., 1992)	12 prover från byggnad påfördes sporer och inkuberades i 3 fuktillstånd 72-75 %, 80-82 % samt 96-97 % RF under 55 dagar.	Se Tabell 3. Man konstaterar att angrepp finns över RF 82 %. Mellan 82 % och 96 % har det dock inte provats, så gränsen då det börjat växa kan ligga någonstans mellan 82 och 96 %.
(Fog Nielsen, 2002)	Steriliserade (gammastrålade) prover påfördes sporer och inkuberades i 25 °C i 70, 80 och 90 % RF. Proverna fotograferades 1 gång/månad. Efter 7 mån genomfördes flera olika analyser.	Kraftig växt vid 80 % RF.
(Viitanen et al., 1991)	6 prover påfördes sporer och inkuberades i olika klimat.	Ingen växt vid 75 % RF. 80 % lägsta RF där mögel växte.
(Hallenberg et al., 1988)	Materialet inkuberades vid 65, 75, 85 samt 95 % RF.	Fanns prover med riklig påväxt redan vid 75 % RF.

Mineralull och andra värmeisoleringsmaterial

Referens	Bakgrund/design	Sammanfattning av resultat
(Chang et al., 1995)	Kanalisolering av glasfiber (Fibrous glass ductboard) köpta i byggvaruhandel, steriliserades, påfördes sporer och inkuberades. Analyserades en gång per vecka i 6 veckor.	Ingen ökning av CFU g ⁻¹ vid 97 % RF (21 °C). Uppfuktning av proverna medförde en ökning efter 1 vecka, men sjönk till ursprungsläget efter 3 veckor. Nedsmutsning ökade angreppens omfattning.
(Chang et al., 1995)	Kanalisolering av glasfiber (flexible duct), köpta i byggvaruhandel, steriliserades, påfördes sporer och inkuberades. Analyserades en gång per vecka i 6 veckor.	Någon ökning av CFU g ⁻¹ 97 % RF (21 °C) mest efter 3 veckor. Uppfuktning av materialet ledde till liten ökning, nedsmutsning till en ökning efter 21 dagar.
(Viitanen, 2004)		Angrepp av mögel vid 97-98 % RF efter lång exponeringstid (flera månader).
(Fog Nielsen, 2002)	Steriliserade (gammastrålade) prover påfördes sporer och inkuberades i 25 °C vid 70, 80 och 90 % RF. Proverna fotograferades 1 gång/månad. Efter 7 månader genomfördes flera olika analyser.	Ingen påväxt kunde upptäckas vid något av klimaten.
Råd och rön (Konsumentverket, 2002)	Olika typer av lösullsisolering sprayades med sporer och inkuberades i 95 % RF och 30°C.	Sågspån av trä samt cellulosafiber som behandlats med brandhämmande angreps mest. Cellulosafiber med borsalter stod emot mögelangrepp bättre. Material av stenull och glasull angreps inte alls, eller i begränsad omfattning, beroende på fabrikat.

Tapet av papper

Referens	Bakgrund/design	Sammanfattning av resultat
(Rowan et al., 1999)	Prover av woodchip wallpaper autoklaverades, påfördes sporer och placerades i varierande klimat.	Analyserades efter 110 dagar, lägsta RF då någon art kunde växa var vid 77,3 %, nästa art 82,2 % (20 °C).
(Pasanen et al., 1992)	12 prover från byggnad påfördes sporer och inkuberades i 3 klimat under 55 dgr.	Se Tabell 3. Tillväxt över 82 % RF.
(Grant et al., 1989)		Se Tabell 2.
(Fog Nielsen, 2002)	Steriliserade (gammastrålade) prover påfördes sporer och inkuberades i 25 °C i 70, 80 och 90 % RF. Proverna fotograferades 1 gång/månad . Efter 7 mån genomfördes flera olika analyser.	Växt fanns vid 80 % RF.

Undertaksskivor

Referens	Bakgrund/design	Sammanfattning av resultat
(Chang et al., 1995)	Tre typer av material användes, två nya och ett 10 år gammalt. Materialen innehöll en varierande mängd glasfiber. Proverna autoklaverades, påfördes sporer på ena sidan och inkuberades 28 dagar.	Se Tabell 4. Minsta RF för <i>P. glabrum</i> : mellan 85-90 % för ökning 2-3 gånger av CFU g ⁻¹ . Det var bara på det gamla materialet som alla tre arterna växte, detta tolkas som att det var mer känsligt. Hos det nya materialet fanns en undre gräns för växt vid 94-97 % RF.
(Chang et al., 1995)	Prover som ovan fuktades ner till 40 % MC innan de ympades, placerades i 70 % för att torka. Några av proverna placerades i fukt-kammare med fläkt.	Snabb upptorkning inom 3 dagar med fläkt gav ingen ökning av CFU g ⁻¹ . Växt uppkom dock i fuktkammare utan fläkt.
(Horner et al., 2001)	Prover från byggvaruhandlare autoklaverades, doppades i sterilt vatten i 10 min och påfördes sporer. Placerades i fuktkammare. Analyserades med stereomikroskop.	Olika klimat redovisas, inga tabeller eller diagram, men hyfer växer på material vid 32 % RF efter 48 h, först i öppna porer.

Bilaga 2

Förväntad relativ fuktighet och temperatur i olika byggnadsdelar

Tabell 1 Förväntad relativ fuktighet och temperatur i olika byggnadsdelar i sommar- och vinterfallet i vårt skandinaviska klimat. (Samuelson, 1985). Exempelen avser endast RF som kan förväntas som följd av RF och temperatur i uteluften. Till detta skall läggas de risker för lokalt inträngande fukt via otätheter, kontakt med fuktiga material o dyl. Alla fuktkällor skall beaktas vid fuktdimensionering.

Ventilerat kalltak - undersida underlagstak av råspont			
	Vinter	85 - 100 %	< 5°C
	Sommar	40 - 70 %	>15°C
Yttervägg med fasadsten - utsida vindskydd			
	Vinter	85 - 95 %	<5°C
	Sommar	40 - 95 % högt värde efter regn	>15°C
Flytande golv - under isolering mot betongplatta			
vid ytterkant betongplatta	Vinter	80 - 95 %	5 - 10°C
	Sommar	80 - 95 %	ca 15°C
en bit in på plattan	Vinter	80 - 85 %	ca 15°C
	Sommar	80 - 85 %	15 - 18°C
Krypgrund - mot blindbotten			
	Vinter	70 - 85 %	<5°C
	Sommar	80 - 95 %	>10°C

Bilaga 3

Risken för påverkan på inommiljön vid olika lokalisering av mikrobiell tillväxt

I Byggnadsverksförordningen (1994:1215) §5 står om vilka tekniska egenskapskrav på byggnadsverk, m m som ställs enligt lag.

”5 § Byggnadsverk skall vara projekterade och utförda på ett sådant sätt att de inte medför risk för brukarnas eller grannarnas hygien eller hälsa, särskilt inte som följd av

1. utsläpp av giftig gas,
2. förekomst av farliga partiklar eller gaser i luften,
3. farlig strålning,
4. förorening eller förgiftning av vatten eller mark,
5. bristfälligt omhändertagande av avloppsvatten, rök och fast eller flytande avfall, eller
6. förekomst av fukt i delar av byggnadsverket eller på ytor inom byggnadsverket.”

Risken för att en mikrobiell påväxt ska påverka människan beror på dess placering i förhållande till inommiljön. Sannolikheten för en ohälsosam exponering är störst om föroreningen finns i inommiljön och avtar ju mer avskärmd källan är därifrån. Om luft kan transporteras från källan till inommiljön ökar risken för påverkan. Vid undertryck inomhus i förhållande till den skadade byggnadsdelen finns det således alltid en risk att luft sugas in och tar med sig luftburna ämnen från skadan. Risken för påverkan i inommiljön av en mikrobiologisk skada bedöms efter skadans placering och sannolika luftförelser mellan skadan och inommiljön.

Tabell 9. Exempel på placering av mikrobiell påväxt och risken för eventuell kontaminering av inomhusmiljön.

Mikrobiella påväxtens lokalisering	Förhållanden	Exempelvis förekommande	Risk för inommiljön
Uteluftsventilerat tak/vind	Övertryck inne ökar risken för skador men förhindrar samtidigt luftströmning från vinden/taket ner till vistelsevolymen	vid självdragsventilation utan varm murstock, effekten ökar med byggnadens höjd	Liten
Uteluftsventilerat tak/vind	Undertryck inne innebär att risk för skada på grund av konvektion är eliminerad. Men undertrycket förstärker luftströmning från vinden/taket ner till inomhusmiljön	vid mekanisk F-ventilation, balanserad FT-vent, självdrag med varma murstockar, effekten ökar vid blåst	Medel
Ytterväggars nederdel	Undertryck inne mot ute förstärker luftströmning från väggens nedre delar in till vistelsevolymen	vid mekanisk F-ventilation, balanserad FT-vent, effekten ökar vid blåst	Medel-Stor
Krypgrunder	Undertryck inne mot krypgrunden förstärker luftströmning från grunden in till inomhusmiljön	vid självdragsventilation, mekanisk frånluftsventilation, balanserad FT-vent, effekten ökar vid blåst	Medel- Stor
Invändiga ytor	Hög relativ fuktighet vid aktuella ytor.	Våtrum, sommartid i källarum utan uppvärmning, i otillräckligt ventilerade sovrum, vid hög fuktproduktion, vid låga ytemperaturer	Stor

Referenser

- Adan, O.C.G., 1994. On the fungal defacement of interior finishers, Eindhoven University of Technology.
- AMA, 2003. Ama Nytt Hus 1/2003.
- Blomsterberg, Å., Sikander, E. and Ruud, S., 1997. Moderna självdragsventilerade skolor - utvärdering av ventilation och fukt. A13:1997.
- Chang, J.C.S., Foarde, K.K. and VanOsdell, D.W., 1995. Growth Evaluation of Fungi (Penicillium and Aspergillus spp) On Ceiling Tiles. Atmospheric Environment, 29(17): 2331-2337.
- Chang, J.C.S., Foarde, K.K. and VanOsdell, D.W., 1996. Assessment of Fungal (Penicillium chrysogenum) Growth on Three HVAC Duct Materials. Environment International, 22(4): 425-431.
- Clarke, J.A. et al., 1996. Energy Systems Research Unit in collaboration with Department of Bioscience/Biotechnology, Energy Systems Unit. Dept of Bioscience and Biotechnology, University of Strathclyde.
- Cooke, R.C. and Whipps, J.M., 1993. Ecophysiology of Fungi. Blackwell Scientific Publications.
- Doll, S.C. and Burge, H.A., 2001. Characterization of Fungi Occuring on "New" Gypsum Wallboard., Conference Proceedings IAQ 2001. Moisture, Microbes, and Health Effects: Indoor Air Quality and Moisture in Buildings, San Francisco, California.
- Ekstrand-Tobin, A., 2003. Hälsopåverkan av åtgärder i fuktiga byggnader Dissertation No 859, Linköpings Universitet, Linköping, 147 pp.
- Fog Nielsen, K., 2002. Mould growth on building materials - Secondary metabolites, mycotoxins and biomarkers, Technical University of Denmark.
- Fog Nielsen, K., Nielsen, P.A. and Holm, G., 2000. Growth of Moulds on Building Materials under Different Humidities., Proceedings of Healthy Buildings 2000, Espoo, Finland.
- Fog Nielsen, K.F., Holm, G., Uttrup, L.P. and Nielsen, P.A., 2004. Mould Growth on Building Materials under Low Water Activities. Influence of Humidity and Temperature on Fungal Growth and Secondary Metabolism. International Biodeterioration & Biodegradation, 54: 325-336.
- Grant, C., Hunter, C.A., Flannigan, B. and Bravery, A., 1989. The moisture requirements of mould isolated from domestic dwellings. International Biodeterioration(25): p 259-284.
- Hallenberg, N. and Gilert, E., 1988. Betingelser för mögelpåväxt på trä. Klimatkammarstudier. SP Rapport 1988:57, Byggnadsfysik, Borås.
- Horner, E., Morey, P.R., Ligman, B.K. and Younger, B., 2001. How Quickly must gypsum board and ceiling tile be dried to preclude mold growth after a water accident?, ASHRAE Conference IAQ 2001. Moisture, Microbes and Health Effects: Indoor Air Quality and Moisture in Buildings, San Francisco.
- Hyvärinen, A., Meklin, T., Vepsäläinen, A. and Nevalainen, A., 2002. Fungi and actinobacteria in moisture-damaged building materials - concentrations and diversity. International Biodeterioration & Biodegradation(49): 27-37.
- Johansson, P., 1999. Mögellukt från jordkontaminerat byggnadsvirke. SP Rapport 1999:05, SP Sveriges Provnings- och forskningsinstitut, Borås.
- Johansson, P., 2002. Mögel - syns inte alltid! In: S.S.P.-o. forskningsinstitut (Editor), Borås.
- Johansson, P., 2003. Mögel på nytt och begagnat byggnadsvirke, SP Energiteknik, Borås.
- Konsumentverket, 2002. Lösull - Enkel och effektiv isolering. Råd & Rön(nr 8).
- Must, A. and Land, C.J., 2004. Luftburna mögelsvampar och mykotoxiner i svenska problemhus - Anpassning till byggprocessen, In press.
- Nevander, L.E. and Elmarsson, B., 1994. Fukthandbok - Praktik och teori. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm.
- Nielsen, K.F., Nielsen, P.A. and Holm, G., 2000. Growth of moulds on buidling materials under different humidities, Healthy Buildings 2000, Espoo, Finland.
- Pasanen, A.-L. and al, e., 1992. Occurence and Moisture Requirements of Microbial Growth in Building Materials. International Biodeterioration and Biodegradation, 30: p 273-283.

- Pasanen, A.-L. et al., 2000. Fungal growth and survival in building materials under fluctuating moisture and temperature conditions. *International Biodeterioration & Biodegradation*(46): 117-127.
- Pasanen, P.O., Kolari, S., Pasanen, A.-L. and Kurnitski, J., 2001. Fungal Growth on Wood Surfaces at Different Moisture Conditions in Crawl Spaces., Conference Proceedings IAQ 2001. Moisture, Microbes, and Health Effects: Indoor Air Quality and Moisture in Buildings, San Francisco, California.
- Rautiala, S. et al., 2000. Moisture conditions and fungi in wood and wood based material samples collected from damp buildings, *Proceedings of Healthy Buildings 2000*, Espoo, Finland.
- Ritschkoff, A.-C., Viitanen, H. and Koskela, K., 2000. The Response of Building Materials to the Mould Exposure at Different Humidity and Temperature Conditions, *Proceedings of Healthy Buildings 2000*, Espoo, Finland.
- Rowan, N.J., Johnstone, C.M., McLean, C.R., Anderson, J.G. and Clarke, J.A., 1999. Prediction of Toxigenic Fungal Growth in Buildings by Using a Novel Modelling System. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(11): 4814-4821.
- Samuelson, I., 1985. Mögel i hus. Orsaker och åtgärder, 1985:16. Statens Provningsanstalt, Borås.
- Samuelson, I. and Blomquist, G., 1995. Mikrobiologisk nedbrytning av byggnadsmaterial - en jämförelse mellan olika analysmetoder. SP RAPPORT 1995:59, Sveriges Provnings- och forskningsinstitut, Borås.
- Sedlbauer, K., Krus, M. and Zillig, W., 2002. A New Model for Mould Prediction and its Application on Dwellings with Mould on the Outer Facades, *Building Physics 2002 - 6th Nordic Symposium*, Trondheim, Norway, pp. 659-666.
- Svensk-Standard, 1992. SS-EN 335-1. Träskydd - Definition av riskklasser avseende biologiska angrepp - Del 1: Allmänt.
- Svensk-Standard, 2004a. SS-EN 335-2. Träskydd - Definition av riskklasser avseende biologiska angrepp - Del 2: Massivt trä.
- Svensk-Standard, 2004b. SS-EN 335-3. Träskydd - Definition av riskklasser avseende biologiska angrepp - Del 3: Träbaserade skivor.
- Terziev, N., 1996. Low-Molecular Weight Sugars and Nitrogenous Compounds in Scots Pine, SLU, Uppsala, 7-32 pp.
- Wang, Q., 1992. Wood-Based Boards -- Response to Attack by Mould and Stain Fungi, Svenska lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Viitanen, H., 1994. Factors affecting the development of biodeterioration in wooden constructions. *Materials and Structures*(27): p 483-493.
- Viitanen, H., 1997. Modelling the time factor in the development of mould fungi - the effect of critical humidity and temperature conditions on pine and spruce sapwood. *Holzforchung*, 51: 6-14.
- Viitanen, H., 2001. Factors Affecting Mould Growth on Kiln Dried Wood, 3rd European COST E15 Workshop on wood drying: Softwood drying to specific end-uses, Scandic Hotel Kalastajatorppa, Helsinki, Finland.
- Viitanen, H., 2004. Critical conditions for the mould growth in concrete and in other materials contacted with concrete - durability of concrete against mould growth. VTT-WORK-6.
- Viitanen, H. and Ritschkoff, A.-C., 1991. Mould growth in pine and spruce sapwood in relation to air humidity and temperature. Report no 221, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products, Uppsala.

SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut utvecklar och förmedlar teknik för näringslivets utveckling och konkurrenskraft och för säkerhet, resurshushållning och god miljö i samhället. Vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling. Vår forskning sker i nära samverkan med högskola, universitet och internationella kolleger. Vi är mer än 500 ingenjörer och forskare som bygger våra tjänster på kompetens, effektivitet, opartiskhet och internationell acceptans.



SP Energiteknik
 SP RAPPORT 2005:11
 ISBN 91-85303-442-9
 ISSN 0284-5172



SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut

Box 857
 501 15 BORÅS
 Telefon: 033-16 50 00, Telefax: 033-13 55 02
 E-post: info@sp.se, Internet: www.sp.se

A Member of

 **United Competence**