

Mekanismstudie av mögelfragments och mögeltoxiners spridningsvägar

Aime Must, Tord af Klintberg, Lennart Larsson, Folke Björk

Bakgrund

Då hus drabbas av fuktskada och mögel, uppstår skadan ofta i byggkonstruktionens inre delar, se Figur 1. Människor som vistas i fuktskadade byggnader får symtom som beskrivs som Building Related Symptoms (BRS). Mögel och bakterier avger partiklar (debris, stoft) med, bl. a. toxiner som vid inandning kan ge sådana symtom. Mögel kan orsaka astmaproblem hos barn och mögellukt är korrelerad till sådana besvär, (Hägerhed L 2006)

Det är dock inte ännu klarlagt på ett vetenskapligt sätt hur dessa partikulära ämnen transporteras från insidan av väggar och bjälklag ut till andningsluften (Bloom E. m. fl. 2007) och (Bloom E. m. fl. 2008). Mykotoxiner har dock hittats på horisontella ytor i hus där mögelväxt pågår inuti byggnadskonstruktionen, (Must A. 2010 personligt samtal). Frågeställningen är huruvida partikelbundna toxinet kan gå igenom golv eller väggmaterial eller om det erfordras otätheter såsom springor eller liknande för att transporten ska ske och om det i så fall behövs ytterligare förutsättningar?



Fig. 1 Mögel kan ofta dölja sig inuti en byggnadskonstruktion. Foto: Aime Must

Frågeställningen är särskilt relevant med hänsyn till forskning i USA där man visat att mögel i inomhusmiljöer kan föreligga inte bara som sporer utan även som mycket mindre, mykotoxininnehållande, fragment. (Górny R. m. fl. 2003). Dessa fragment är så små att de sedimenterar mycket långsamt, och de skulle kunna ha en möjlighet att tränga igenom mycket små otätheter eller bristningar i byggnadsmaterial, eller i skarvar mellan olika byggdetaljer.

Deltagande parter

Arbetet är ett samarbete mellan Lunds universitet, IVL och KTH. De tre deltagande parterna har utifrån egen kunskaps horisont avseende mögelväxt bidragit till upplägget av detta projekt. De tre parterna är:

1. Docent Lennart Larssons grupp vid sektionen för Medicinsk mikrobiologi vid Lunds Universitet. Gruppen förfogar över metoder som identifierar och kvantifierar toxiner, som kan vara bundna till partiklar ner till nanostorlek, se artikel "Mass Spectrometry-Based Strategy for Direct Detection and Quantification of Some Mycotoxins Produced by *Stachybotrys* and *Aspergillus* spp in Indoor Environments" av Bloom m.fl.
2. Aime Must vid IVL har 25 års erfarenhet av analyser, utredningar av fukt-mögelskador och miljöfrågor i byggnader. Hon har tagit initiativ för att identifiera särskilt riskabla kombinationer av miljöer och material i byggkonstruktioner och utvecklar på så sätt byggbranschen i en positiv riktning.
3. Folke Björks grupp på KTH/Byte med sikte på fuktskadesäkert byggande som bland annat utvecklat Spaltmetoden vars byggnadskonstruktioner minskar risken för mögelangrepp. Se artikeln "Air-Gaps in Building Construction avoiding Dampness & Mould", publicerad i Structural Survey.

Projektets anknytning till SBUFs mål och inriktning

Det ingår i SBUFs mål och inriktning att skapa ett mervärde för kund bland annat när det gäller funktion och kvalitet. Dessutom ingår att skapa en bättre arbetsmiljö för branschföretagens anställda och att få en långsiktigt hållbar tillväxt inom byggsektorn.

Då fuktskador och vidhängande mögelväxt är ett problem i byggnader så finns det ett värde i att få identifiering, kvantifiering och spridningsvägar av och för mögeltoxiner utredda. Att kunna kvantifiera toxiner skapar också i förlängningen en möjlighet att sätta gränsvärden för dessa. Sådana gränsvärden saknas överhuvudtaget i dagens läge. Om detta problem blir mer genomlyst och känt så minskas också onödigt rädsla för "mögel" bland allmänheten som nu kan orsakas av bl.a. hysteriska tidningsrubriker. Frånsett bostadsägare och boende så drabbas även branschföretagens anställda då de ska utföra sanering av mögelskadade fastigheter. En större kunskap om mögeltoxiner och deras spridningsvägar gagnar alltså även dem.

Syfte och avgränsningar

Syfte

Syftet med arbetet var att genom mekanismstudier undersöka om mögel och mögeltoxiner kan transporteras från insidan av byggnadskonstruktioner och ut till rumsluften. Frågan är: Kan toxiner gå igenom byggnadsmaterial eller går de bara igenom otätheter? Om dessa toxiner bara går igenom otätheter så blir följdfrågan: Vilka lufthastigheter och andra förhållanden erfordras för en sådan transport?

Avgränsningar

Detta projekt är avgränsat till mekanismstudier på toxiners spridningsmöjligheter i en byggkonstruktion.

Experimentets genomförande

Försöken genomfördes så att ett väl specificerat mögelhaltigt preparat placerades i en tät uppställning. I testerna användes fyra varianter på denna uppställning, som framför allt skiljde sig åt i med vilken hastighet som luften gått över det mögelhaltiga preparatet. Detta preparat bestod av en odling av speciella stammar av mögel och toxinerna i preparaten var analyserade. För alla uppställningarna gällde att luften tillförs genom en slang av PVC med tvärsnittsarean 0,5 cm². Med varmtrådsanemometer (TSI från Finland) mättes att luften rörde sig 60 cm/s, alltså var flödet 30 cm³/s. Pumpen var en membranpump av fabrikatet Teddington och modellen SP 720 EC. Luften filtrerades efter passage en av provkammaren genom ett Teflonfilter med 0.5 µm pordiameter som satt i en 37-mm (ID) filterhållare. På detta sätt kunde toxiner i luften samlas upp. Syftet med experimentet var primärt att undersöka huruvida det behövs springor i en konstruktion för att transport av toxiner ska ske eller om transport även sker med diffusion genom materialet. Vid alla provtillfällen genomfördes två parallella försök; ett prov med mögelpreparat i uppställningen samt med ett noll-prov utan mögel i uppställningen.

Uppställning 1

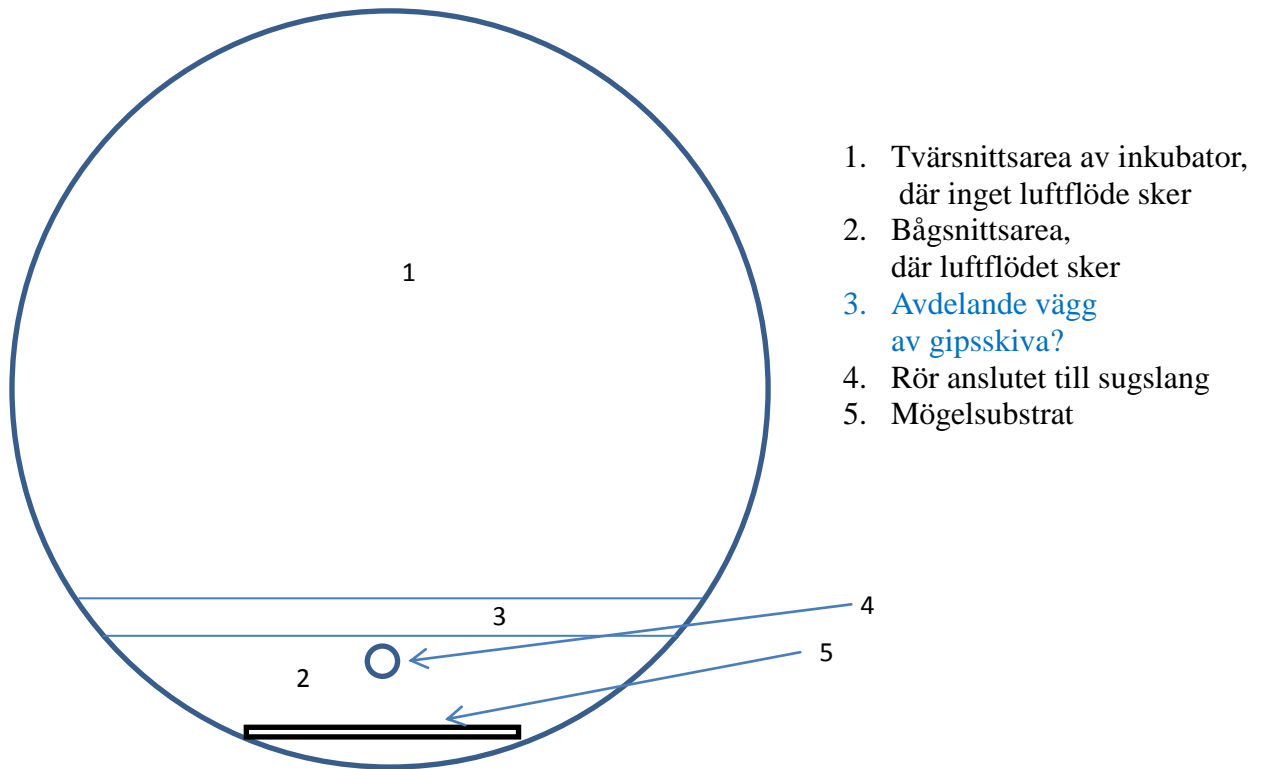
Uppställning 1 består av en specialsvepsad inkubator, se Figur 2, Denna inkubator är sammansatt av två special-svepsade rostfria kärl (A och B) som bultas ihop i varandra med en gipsskiva emellan sig, se Figur 2. Gipsskivan har en slits som är 3mm bred och 120 mm lång. I uppställningen strömmar luft in i kärl A, passerar över preparatet och rör sig via springan till kärl B. De mögelpartiklar som passerat samlas sedan på ett filter i utloppet från kärl B. Om mögelfragment tar sig igenom gipsskivan eller genom slitsen så borde dessa fragment kunna uppträda i luften i kärl "B" och då också samlas på filtret. Lufthastigheten över mögelpreparatet är beräknad att vara ca 2 mm/s. Beräkningen är gjord utifrån att luftens hastighet i slangen är känd.



Figur 2 Inkubator använd i uppställning 1, 2 och 3, i det tredje försöket var kammaren med mögelprovet i ett avdelat rum, se Figur 3.

Uppställning 2

Uppställning 2 består av samma specialsvepsade inkubator, som visas i Figur 2, men där det inre rummet blivit delat till ett bågsnitt med en avdelande vägg se Figur 3. Tvärsnittsytan av kanalen där luftflödet sker är cirka 30 cm², vilket är cirka 60 gånger ytan av slangens tvärsnittsytan. Lufthastigheten över möglet kan då beräknas till ca 1 cm/s.



Figur 3 Tvärsnitt av Uppställning 2 som visar bågsnittarean (punkt 2) begränsat av en avdelande vägg och inkubatorns insida. Här visas också mögelsubstratets placering samt det rör som var anslutet till sugslang.

Uppställning 3

I uppställning 3 placeras substratet i ett provrör som försetts med ett hål för anslutning av slangen, se Figur 4. Här sköljer luften över mögelsubstratet med en hastighet av ca 6 cm/s.



Figur 4 Uppställning 3, vilket är ett urborrat provrör med diameter 2,5 cm.

Uppställning 4

I uppställning 4 placerades preparatet inne i själva PVC-slangen som också anslöts till filterhållaren. Lufthastigheten var därför här 60 cm/sek.

Filtrering av luften

Luften som passerade igenom uppställningen pumpades igenom en 37-mm (ID) filterhållare med Teflonfilter (0.5 μ m pordiameter) med en lufthastighet på 0.6 m/ sekund under en tidsperiod på 360 timmar. Pumparna är av märket Teddington SP 720 EC, se Figur 5.



Figur 5 Luftpump (Teddington SP 720 EC) som användes i försöket. Pumpen gav en lufthastighet på 60 cm/s.

Experimentens förlopp

Testperioden för det första försöket var 300 timmar. Resterande försök genomfördes under 360 timmar, det vill säga att pumparna var igång under 360 arbetstimmar, vilket innebär att pumparna gick mellan 30-50 timmar per vecka. En försöksperiod tog sålunda 9 veckor. Efter detta sändes filterproverna till analys, försöket utvärderades och utvärderingen låg till grund för nästa försök.

Olika försök

Totalt genomfördes sex olika försök och varje försök tog i genomsnitt totalt 3 månader att genomföra. Försöken påbörjades i Mars 2009.

1. Försöket genomfördes i uppställning 1 med en Stachybotrysodling. Denna odling hölls fuktig under hela försökets gång.
2. Försöket genomfördes i uppställning 1 med en Aspergillusodling som hölls torr under försöksperioden.
3. Försöket genomfördes i uppställning 2 med en Aspergillusodling som hölls torr under försöksperioden.
4. Försöket genomfördes i uppställning 3 med en Stachybotrys-odling som hölls torr under försöksperioden.
5. Försöket genomfördes i uppställning 3 med en Aspergillusodling som hölls torr under försöksperioden.
6. Försöket genomfördes i uppställning 4 med en Aspergillusodling som hölls torr under försöksperioden.

Analys med masspektrometri

Proverna analyseras/identifieras med avseende på mykotoxiner. Proverna analyseras med kemisk analys, med hjälp av masspektrometri, enligt metodik som utarbetats vid docent Lennart Larssons laboratorium vid Lunds Universitet för att påvisa ämnen från bakterier och mögel. I detta projekt analyserades 5 stycken mykotoxiner samt ergosterol (en kemisk markör för svampbiomassa).

Resultat

Resultatet visar att mögeltransporter är en långsam process i låga lufthastigheter och att det finns en klar korrelation mellan lufthastighet och mängd mögelfragment som fastnar i filtret. Eftersom pumpen gav en konstant lufthastighet så var medellufthastigheten omvänt korrelerad till uppställningens tvärsnittsarea över mögelsubstratet. Resultatet gav vid hand att en lufthastighet på 1,5 cm per sekund eller lägre inte gav några detekterbara mängder av mögel medan en hastighet 6 cm/s gav låga halter. Detta vid en försöksperiod på 360 timmar. Det hittades ingen ergosterol i filtren, däremot mögelspecifika ämnen, verrukarol för *Stachybotrys* och sterigmatocystein för *Aspergillus*. Denna diskrepans kan förklaras av att masspektrometerns detektionskänslighet är mycket högre för verrukarol och sterigmatocystein än för ergosterol".

Tabell 1 Detekterade mögelspecifika ämnen vid olika lufthastigheter. Lufthastighet anger beräknad medelhastighet över mögelsubstratet

Försök	Lufthastighet (m/s 10^{-3})	Mögelart	Försökstid (timmar)	Mögelspecifikt ämne	Mängd (nanogram)
1	2	<i>Stachybotrys</i>	300	-	0
2	2	<i>Aspergillus</i>	360	-	0
3	10	<i>Aspergillus</i>	360	-	0
4	60	<i>Stachybotrys</i>	360	Verrukarol	3
5	60	<i>Aspergillus</i>	360	Sterigmatocystein	5
6	600	<i>Aspergillus</i>	360	Sterigmatocystein	750

Sammantaget kan det sägas att det krävs en tillräckligt hög lufthastighet för att mögelfragment ska kunna transporteras till filtret. Detta ger även vid handen att (dessa ämnen inte går igenom byggmaterial utan att) det krävs springor för att transport ska kunna ske. Försök 4 och 5 gav ett mätbart resultat, men halterna är nätt och jämt detekterbart med nuvarande analysutrustning.

Dessutom visar resultaten att en lufthastighet på cirka 6 cm/s transporterade fragment av både *Stachybotrys* och *Aspergillus*.

Diskussion

Experimentet visar att mögelfragment måste ha ett luftflöde och en öppning för att förflytta sig från insidan av en byggnadskonstruktion till ett rum. Lufthastigheten behöver dock inte vara speciellt hög för att transport ska kunna ske. I detta fall var hastigheten cirka 6 cm/s. I sammanhanget kan det sägas att en varmtrådsanemometer kan mäta ner till lufthastigheter på cirka 5 cm/s.

I ett modernt passivhus så accepteras ett läckage på 0.3 l per sekund och kvadratmeter omgivande yta vid 50 pascal över eller undertryck. (Stångåstaden 2011). Boverkets byggregler (BBR7 och framåt) krävde mellan åren 1998 och 2007 en lufttäthet på 0,8 l/m²s vid 50 Pa över eller undertryck.. Detta tryck skapas exempelvis vid vindstyrkor över 10 m/s, övertrycket förhåller sig till kvadraten på vindhastigheten; $\Delta p = 0.6 \cdot v^2$ (Olander 1994). Läckagen uppstår till största delen i spalter mellan vägg och fönster/dörr.

Om en tänkt vägg på 15 m² har tre kvadratiska fönster på 1 m² vardera så är den sammanlagda spalten mellan vägg och fönster 12 meter lång. Om väggens luftläckage skulle vara 0,8 liter per sekund och m² så ger detta 12 liter per sekund. Om läckaget sker i spalten mellan vägg och fönster så blir flödet 1 dm³ per sekund och meter vägg. Om spalten vore 2 mm bred så skulle medelhastigheten bli 50 cm/s. Om detta luftflöde passerar ett hålrum som är tio gånger vidare så blir hastigheten där cirka 5 cm/s, vilket är i samma storleksordning som det uppmätta resultatet i denna studie.

En mögelhyf kan vara cirka 1-2 µm i diameter och en spor kan vara mellan 1 och 10 µm i diameter. En kropp som är cirka 10 µm i diameter faller med cirka 6 mm/s, medan en kropp som är 1 µm i diameter faller med 0,07 mm/s (Olander 1982). Det förefaller alltså som högst möjligt att mögel som växer i en yttervägg kan släppa fragment som tar sig in genom spalter till inomhusluften där den mycket långsamt faller mot golvet. Avgörande för detta förlopp är lufthastigheten som uppstår i håligheter inuti ytterväggen. Denna diskussion är tillämplig på problemen med mögelväxt i klimatskalet på de putsade enstegstätade fasaderna som debatterades i pressen under 2007 (Samuelsson m.fl. 2007).

Det är intressant att det fanns fragment både av Aspergillus och av Stachybotrys vid dessa låga lufthastigheter. Fragment från Aspergillus anses allmänt vara mer lättrorliga än fragment från Stachybotrys och här ligger halterna i samma storleksordning.

Slutsats

- Det krävs en lufthastighet på cirka 6 cm/s för att detekterbara mängder av mögelfragment ska kunna transporteras i ett luftflöde.
- Dessa mögelfragment går inte igenom byggnadsmaterial utan transporten fodrar en otäthet för att genomföras.
- Toxiska fragment av Aspergillus sp och Stachybotrys sp transporteras i hastigheter som ligger på 6 cm/s.

Källförteckning

1. Hägerhed L, Indoor Environmental Factors and its Associations with Asthma and Allergy Among Swedish Pre-School Children, Report TVBH-1015 Lund 2006 Building Physics LTH
2. Bloom E, Bal K, Nyman E, Larsson L. Optimizing a GC-MS method for screening of *Stachybotrys* mycotoxins in indoor environments. *J Environ Monit.* 2007 9:151-156
3. Bloom E, Bal K, Nyman E, Must A, Larsson L. Mass spectrometry-based strategy for direct detection and quantification of some mycotoxins produced by *Stachybotrys* and *Aspergillus* spp. in indoor environments. *Appl Environ Microbiol.* 2007 73:4211-4217.
4. Olander L. 1992 Ventilation, Studentlitteratur ISBN 91-44-17041-6
5. Olander L 1994 Arbetsmiljöinstitutet, Ventilationsenheten (ITV) Undersökningsrapport 1994:17
6. Sebastian A and Larsson L. Characterisation of the microbial community in indoor environments: a chemical-analytical approach. *Appl Environ Microbiol* 69:3103-3109, 2003.
7. Stångåstaden 2011
[http://www.stangastaden.se/boendeinfo/varaomraden/lambohov/Documents/Hemma_nsgatan%20Folder_svensk%20\(2\).pdf](http://www.stangastaden.se/boendeinfo/varaomraden/lambohov/Documents/Hemma_nsgatan%20Folder_svensk%20(2).pdf)
8. Samuelsson I. Mjörnell K. Jansson A. Fuktskador i putsade, odränerade träregelväggar – lägesrapport oktober 2007. SP Rapport 2007:36
9. Wady L, Shehabi A, Szponar B, Pehrson C, Sheng Y and Larsson L. Heterogeneity in microbial exposure in schools in Sweden, Poland and Jordan revealed by analysis of chemical markers. *J Exp Anal Environ Epidem* 14:293-299, 2004
10. Górný R, Reponen T, Willeke K et al. Fungal fragments as indoor air biocontaminants. *Appl. Environ. Microbiol.* 2002 68: 3522-3531.
11. Boverket, BFS 1998:38 BBR 7. Karlskrona 1998.