

MÖGELPÅVÄXT PÅ MINERALISKA FASADER

Pilotstudie

Kenneth Sandin

ISRN: LUTVDG/TVBM--02/3107--SE (1-35)

ISSN: 0348-7911 TVBM

Lunds Tekniska Högskola
Byggnadsmaterial
Box 118

221 00 LUND

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

FÖRORD

Mikrobiell påväxt på fasader har alltid förekommit. På senare tid har dock problemet ökat kraftigt. Flera fall med kraftig påväxt på putsade fasader inom några år efter putsningen har rapporterats.

Vid ett seminarium i Göteborg arrangerat av MPI framkom starka önskemål att problemet skulle analyseras i detalj. Innan något större projekt påbörjades beslöts att söka ekonomiska medel till en mindre pilotstudie. Föreliggande rapport är en sammanfattning av denna pilotstudie. En grundligare behandling av vissa moment i pilotstudien redovisas i *Johannesson, 2002*.

Projektet har genomförts i samarbete med JM AB (Johnny Kellner) och NCC Teknik (Bengt Ström) och finansierats av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF genom utvecklingsbidraget 1067.

Lund i augusti 2002

Kenneth Sandin

INNEHÅLL

FÖRORD	3
INNEHÅLL	5
SAMMANFATTNING	7
1 BAKGRUND	9
2 OLIKA TYPER AV MIKROBIELL PÅVÄXT	11
2.1 Alger	11
2.2 Mögelsvampar	11
2.3 Lavar	11
2.4 Mossor	11
3 VANLIGA MÖGELSVAMPAR PÅ FASADER	13
3.1 Cladosporium	13
3.2 Penicilium	13
3.3 Aerobasidium	13
4 OLIKA FAKTORERS INVERKAN PÅ PÅVÄXT	15
4.1 Allmänt	15
4.2 Groningsfasen	15
4.3 Tillväxtfasen	17
4.4 Inverkan av temperatur	17
4.5 Inverkan av fukttillstånd	18
4.6 Inverkan av kombinationen temperatur/fukt	18
4.7 Inverkan av näringstillgång	19
4.8 Inverkan av tiden	19
4.9 Övriga faktorer	19
5 BYGGNADSFYSIKALISK INVERKAN PÅ FÖRUTSÄTTNINGARNA FÖR PÅVÄXT	21
5.1 Allmänt	21
5.2 Väggens U-värde (värmeisolering)	21
5.3 Väggens värmekapacitet utan hänsyn tagen till strålning	22
5.4 Väggens värmekapacitet med hänsyn tagen till strålning	22
5.5 Kombinationen U-värde – värmekapacitet – strålning	23
5.6 Arkitektonisk utformning av fasaden	25
5.7 Byggfukt	25
6 PRAKTIKFALL	27
6.1 Allmänt	27
6.2 Mycket kraftig påväxt på nyproducerad fastighet	27
6.3 Generell påväxt på nyproducerad fastighet	28
6.4 Långsam påväxt på bostadsområde i Stockholmstrakten	29
6.5 Provfasader i Dalby, Skåne	29
7 KOMMENTARER OCH SLUTSATSER	31
8 FUNDERINGAR OM FORTSATT FORSKNING	33
LITTERATUR	35

SAMMANFATTNING

På senare år har problem med mikrobiell påväxt på putsade fasader rapporterats i ökande omfattning. I vissa fall har omfattande påväxt på nya fasader skett efter något år. Inom Tyréns i Stockholm gjordes ett antal undersökningar som resulterade i ett stort antal frågetecken som skulle kräva omfattande forskningsprojekt. Innan sådana projekt startades skulle dock en mindre pilotstudie genomföras för att bättre kunna bedöma situationen.

Föreliggande rapport är en "praktisk" sammanfattning av denna pilotstudie. För mer detaljerade uppgifter hänvisas till *Johannesson, 2002*.

Den dominerande påväxten är mögelsvampar, främst *Cladosporium*. Påväxten gynnas av höga fukttillstånd i fasadytan. Kraven på näring från underlaget är relativt begränsade. Små organiska tillsatser i puts eller ytskikt torde vara tillräckliga för påväxt.

Fukttillståndet i ytan beror av regnbelastning och byggnadsteknisk uppbyggnad av fasaden. Bland annat gäller att en tunn puts på isolering medför ett högre ytfukttillstånd än ett homogent murverk om inverkan av regn inte beaktas. Detta medför i sin tur att puts på isolering bör vara mer känslig för påväxt än ett massivt murverk, vilket även stämmer med praktiska erfarenheter.

Några praktikfall med påväxt beskrivs kortfattat. I samband med detta anges även vilka åtgärder som vidtagits för att lösa problemen. Några uppföljningar av utfallet finns ännu inte.

Att exakt förutsäga risken för påväxt på olika fasader är idag inte möjligt. Väsentligt ökade kunskaper krävs inom ett flertal discipliner. Förhoppningsvis kommer fortsatt forskning inom området att generera kunskap som ligga till grund för mer exakta ställningstaganden.

En frågeställning som inte behandlas i rapporten är hur man ska åtgärda fasader som drabbats av påväxt. Anledningen till att denna fråga inte behandlas är helt enkelt att kunskaperna är alltför bristfälliga. I dagens läge är det bättre att använda begreppet hypotes i stället för kunskap.

1 BAKGRUND

Mikrobiell påväxt på målade träfasader är ett välkänt problem sedan många år. Under senare år har även en mycket snabb och omfattande påväxt på putsade fasader förekommit i enstaka fall. Redan efter något år har påväxt konstaterats. Enstaka fall med påväxt på relativt nya putsfasader har beskrivits både i dags- och fackpress. Denna utveckling är naturligtvis oroväckande och olika hypoteser framförs om orsaken till det inträffade. Som exempel på "förklaringar" kan nämnas

- ytskikten innehåller idag mindre effektiva gifter
- ytskikten innehåller idag mer organiska komponenter
- dagens välisolerade väggar blir fuktigare
- vår närmiljö innehåller idag mer föroreningar
- dagens fasadutformning gynnar påväxt
- klimatet har på senare tid blivit både varmare och fuktigare

Som synes är dessa hypoteser mycket varierande och har ibland karaktären av bortförklaring och ringaktning av problemet. I olika artiklar i dags- och fackpress förekommer helt olika förklaringar till problemet. Flertalet aktörer inom branschen tar dock problemet på största allvar och visar stort intresse att försöka förklara och lösa problemen utan att ta egna hänsyn.

Förutom frågan om varför vi idag får påväxt i större omfattning än tidigare är naturligtvis frågorna

- hur undvika påväxt i framtiden
- hur åtgärdar man inträffad påväxt

av största intresse. För att kunna ge vägledning i dessa avseenden måste orsaken till påväxten först fastställas.

Tyréns i Stockholm uppmärksammade problemet på ett tidigt stadium och i samarbete med Fuktgruppen vid LTH planerades ett relativt stort doktorandprojekt inom området. Innan något större projekt skulle startas beslöts att ett mindre pilotprojekt skulle genomföras för att ge en preliminär uppfattning om problemet. Vid tidpunkten för projektets planering uppmärksammades att JM och NCC hade fullskaleobjekt med riklig påväxt på relativt nya fasader. Efterhand utvecklades ett samarbete som innefattade en övergripande projektstyrning från JM och ett nära samarbete med NCC. Detta samarbete har bland annat medfört en detaljerad analys av påväxten på de nämnda fasaderna.

För att vidga studien har ytterligare fasader inkluderats i ett senare skede. I dessa fall handlar det dock om äldre fasader.

2 OLIKA TYPER AV MIKROBIELL PÅVÄXT

Den mikrobiella påväxten på fasader kan vara av helt olika karaktär. Lavar, alger, jästsvampar, bakterier, mossor och mögelsvampar är de normalt förekommande arterna.

I det följande beskrivs de vanligaste typerna kortfattat. Den fortsatta behandlingen inriktar sig sedan i huvudsak på mögelsvampar, vilket är den typ av påväxt som accelererat kraftigt på senare tid på putsade fasader.

2.1 Alger

Alger, *Algae*, är ett samlingsnamn på flera grupper av växter. En gemensam egenskap är att alger innehåller klorofyll och producerar sin egen föda genom fotosyntes. Alger är sålunda inte beroende av näring från underlaget, de växer både i rent vatten och på sten.

På fasadpartier som är utsatta för stor fuktbelastning är *grönalger* vanliga.

2.2 Mögelsvampar

Mögelsvampar finns i ett mycket stort antal varianter. Gemensamt är att mögelsvampar saknar klorofyll och därmed inte kan skapa sin egen näring med hjälp av luftens koldioxid. Näringen måste anskaffas från andra källor, till exempel från andra organismer eller från organiska ämnen i det substrat de växer på. Organiska komponenter i fasadmaterialet är alltså gynnsamt för tillväxt av mögelsvampar. Tillväxt kan dock ske även med näring från föroreningar som fastnar på ytan. Under alla omständigheter krävs ett relativt högt fuktillstånd.

Mögelsvampar tillväxer genom att *hyfer* (tunna trådar) växer ut och efterhand bildar ett nätverk på ytan, *mycel*. När man i byggnadssammanhang pratar om mögelpåväxt avses normalt detta synliga mycel.

De i fasadsammanhang vanligaste mögelarterna och förutsättningar för mögelpåväxt behandlas i avsnitt 3.

2.3 Lavar

Lavar, *Lichenes*, är en grupp dubbelorganismer, uppbyggda av svampar och alger. Svampen och algen lever i samexistens och bildar en enhetlig växt. Svampen suger upp vatten och salter, vilka algen med hjälp av sin klorofyll omvandlar till syre och organiska ämnen åt sig själv och åt svampen. Denna samexistens medför att lavar är mycket hårdiga och kan överleva långa torkperioder.

Lavar växer utan näringsbehov från underlaget. Regnvatten är normalt tillräckligt för att lavar ska växa.

2.4 Mossor

Mossor, *Bryophyta*, är låga gröna växter som kan leva utan tillgång på näring från underlaget, till exempel på sten. Mossor har dock stora krav på att miljön ska vara fuktig. Vissa mossor trivs bäst i sura miljöer medan andra trivs bäst i basiska miljöer. Detta innebär bland annat att vissa mossor trivs bra på kalkputsade fasader.

3 VANLIGA MÖGELSVAMPAR PÅ FASADER

De vanligaste mögelsvamparna på mineraliska fasader anses vara *Cladosporium*, *Penicilium* och *Aureobasidium*. I detta avsnitt ges en kort beskrivning av de olika mögelsvamparna och grundläggande förutsättningar för att svamparna ska gro och därefter tillväxa. I följande avsnitt beskrivs mer i detalj förutsättningarna för groning och tillväxt. Angivna siffervärden på temperaturer och luftfuktigheter är mycket ungefärliga. För en mer korrekt beskrivning måste även andra faktorer beaktas, t ex underlag och tidsaspekten. Siffror ges främst för att ge en känsla för när tillväxt kan ske. Sambandet mellan olika faktorer behandlas i annat avsnitt.

3.1 *Cladosporium*

Cladosporium förefaller vara den vanligaste mögelsvampen på mineraliska fasader. Inom gruppen *Cladosporium* finns ett trettio-tal olika arter. *Cladosporium* förekommer naturligt i naturen. Förekomsten av svampen anses vara störst i områden med lövträd och grönområden.

Sporförekomsten i uteluften är ofta mycket hög. Antalet sporer kan uppgå till 50 000 per kubikmeter luft under sensommar och höst. Sporererna från *Cladosporium* kan transporteras långa sträckor i luften. Spridningen gynnas av torrt och blåstigt väder. För att sporererna ska få fäste på fasaden och gro krävs relativt hög fuktighet.

Den optimala temperaturen för tillväxt ligger omkring 18-28 grader. Tillväxt kan dock ske vid så låga temperaturer som -6 grader. För att tillväxt ska kunna ske måste luftfuktigheten vara högre än 85-90 %. Ju högre RF desto snabbare tillväxt. Vid RF över 95 % är tillväxten mycket snabb. Vid odling i laboratorium kan mögelsvampen växa upp till 3-4 cm på 10 dygn vid rumstemperatur. Färgen varierar från ljus olivgrön till mörkbrun.

Enligt flera analyser och andra uppgifter anses *Cladosporium* vara helt avgörande för missfärgningar på grund av mikrobiell påväxt. Några vetenskapliga bevis för att så är fallet finns dock inte.

3.2 *Penicilium*

Inom släktet *Penicillium* finns ett mycket stort antal arter. Vissa arter är vanliga i mögelangripna hus och avger en jordliknande lukt.

Penicillium sporer förekommer relativt vanligt i luft och svampen är inte ovanlig vid analyser av angrepp. Sannolikt har dock förekomsten av *Penicillium* mindre betydelse för missfärgningar av mineraliska fasader. Någon ytterligare beskrivning av svamp-typen görs därför inte.

3.3 *Aureobasidium*

Aureobasidium är en vanligt förekommande mögelsvamp på målade träfasader. Den förekommer även på mineraliska fasader. Omfattningen av angreppen på mineraliska underlag är inte utredd. Svampen får dock inte underskattas i sammanhanget.

Svampen tillväxer vid temperaturer 2-25 grader. Ytterligare data har inte införskaffats i denna pilotstudie.

4 OLIKA FAKTORERS INVERKAN PÅ PÅVÄXT

4.1 Allmänt

Påväxten kan indelas i två skilda faser. Först ska på fasaden befintliga sporer gro. Därefter ska svampen tillväxa och bilda ett mycel. Dessa två faser ställer olika krav på miljön och det är därför av största betydelse att behandla de två faserna separat. Vissa faktorer inverkar dock principiellt på samma sätt.

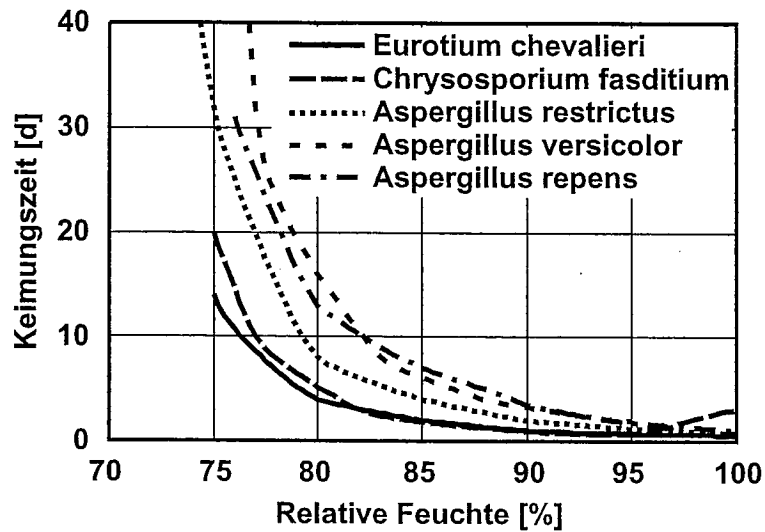
I det följande beskrivs först de två faserna i tillväxten. Därefter behandlas hur olika faktorer (bland annat temperatur, fukttillstånd, näringstillgång, tiden och pH-värde) inverkar på både groning och tillväxt.

4.2 Groningsfasen

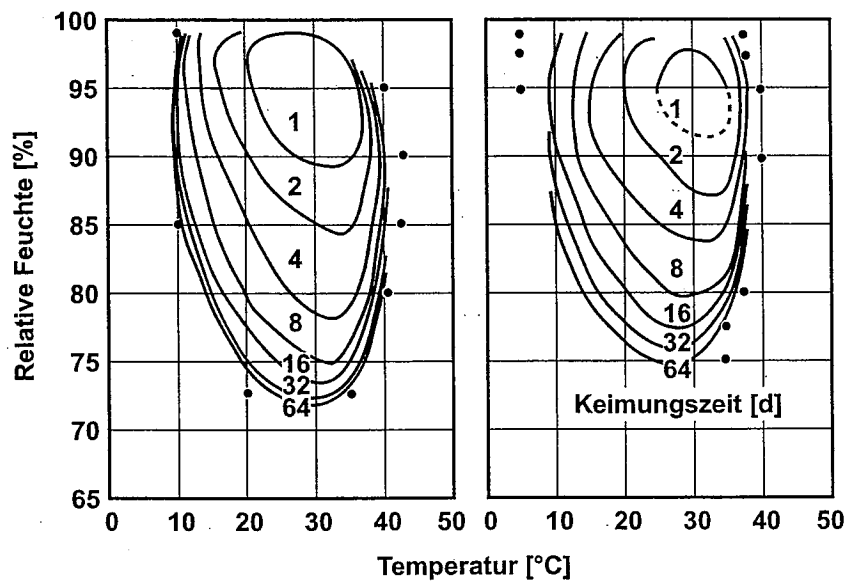
Sporer från mögelsvampar finns praktiskt taget överallt. Sporererna har normalt storleken 0.002-0.02 mm. Så länge sporererna är torra kan de inte gro. När fukttillståndet överstiger en viss nivå under en viss tid börjar sporererna gro. Någon tillgång till näring från yttre näringskällor behövs inte för att sporererna ska gro.

I FIGUR 1 redovisas den tid som krävs innan några olika mögelsporer gror vid temperaturen +20°C. Denna typ av samband har inte hittats för de svampangrepp som är aktuella på fasader. Det principiella sambandet torde dock vara detsamma. Det mest intressanta är att inkubationstiden minskar dramatiskt vid ökande luftfuktighet. Vid 80% RF är inkubationstiden i storleksordningen 10 dygn medan vid 90% RF motsvarande tid är något dygn. En ökning av RF med 10% RF kan alltså medföra att groningstiden minskar till 1/10-del.

Ett mer utvecklat system att beskriva groningstiden är att även inkludera temperaturen. Ett sådant samband ger väsentligt mer information och sambandet kallas på tyska "Isoplethensysteme". I FIGUR 2 visas ett sådant samband för två Aspergillustyper. Här framgår klart att det finns ett optimalt område vid cirka +30°C och 95% RF. Även om denna figur gäller för svampar som inte är aktuella som störande påväxt torde det principiella sambandet vara detsamma för sådana svampar.



FIGUR 1. Groningstid som funktion av RF. (Sammanställning av Sedlbauer, 2001)

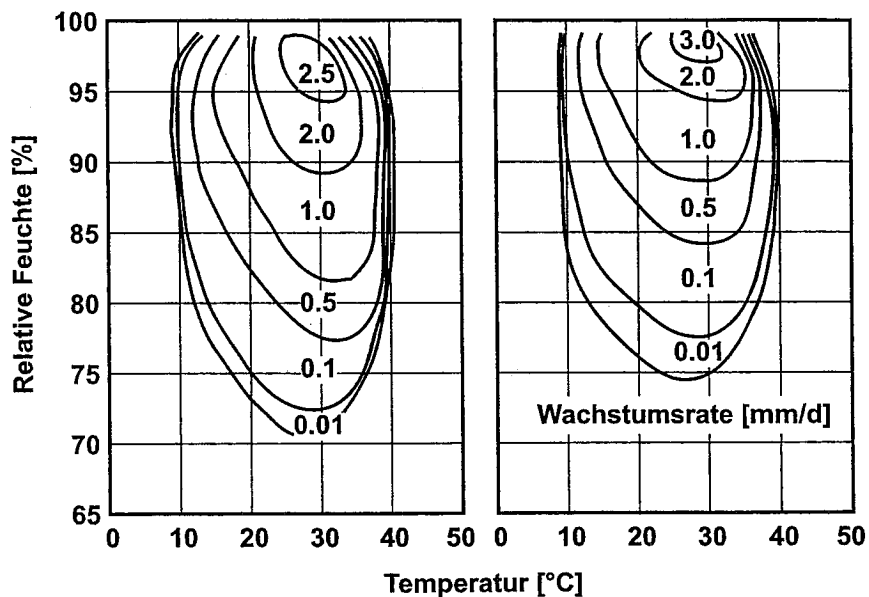


FIGUR 2. Isoplethensysteme för sporgroning. Siffrorna vid linjerna anger groningstiden i dygn. Punkterna anger att ingen groning skett efter 95 dygn. (Refererat i Sedlbauer, 2001 med hänvisning till Smith, 1982)

4.3 Tillväxtfasen

Efter groningsfasen börjar tillväxten av mycel om förhållandena är gynnsamma. För tillväxt krävs bland annat tillgång till näring enligt senare avsnitt. Minimivån på fuktigheten är normalt lägre för tillväxt än för groning. Detta innebär att om sporerna väl har grott så kan tillväxten ske vid lägre fukttillstånd.

I FIGUR 3 redovisas isoplethensystemet med avseende på myceltillväxt för samma mögelsvampar som i FIGUR 2. Som synes av figuren kan tillväxttakten öka med en faktor 5-10 när luftfuktigheten ökar med 5% RF. Även om figuren gäller för svamparter som inte ger störande missfärgningar torde det principiella sambandet vara detsamma för sådana svampar. I detta isoplethensysteme kan tider med olika fukttillstånd direkt adderas. Om fukttillståndet under en tid understiger kravet för tillväxt upphör tillväxten. Direkt när fukttillståndet ökar över minimikravet fortsätter tillväxten.



FIGUR 3. Isoplethensysteme för myceltillväxt. Siffrorna vid linjerna anger tillväxthastigheten i mm/dygn. (Refererat i Sedlbauer, 2001 med hänvisning till Smith, 1982)

4.4 Inverkan av temperatur

Temperaturen har stor betydelse för groning och tillväxt. Mycket grovt kan man säga att groning och tillväxt hos flertalet svampar sker inom intervallet 0 – 50°C med ett optimum vid 30 °C .

Både sporer och mycel är mer känsliga för höga temperaturer än för låga. Låga temperaturer kan överlevas. Både sporer och mycel kan helt förstöras vid kortvarig upphettning till 80 °C.

Speciellt för *Cladosporium* är minimitemperaturen för tillväxt -5 °C. Den optimala temperaturen är 28 °C.

4.5 Inverkan av fukttillstånd

Att ange kritiska fukttillstånd för tillväxten är inte möjligt beroende på att svamparna kan ta fuktighet både från luften och från underlaget.

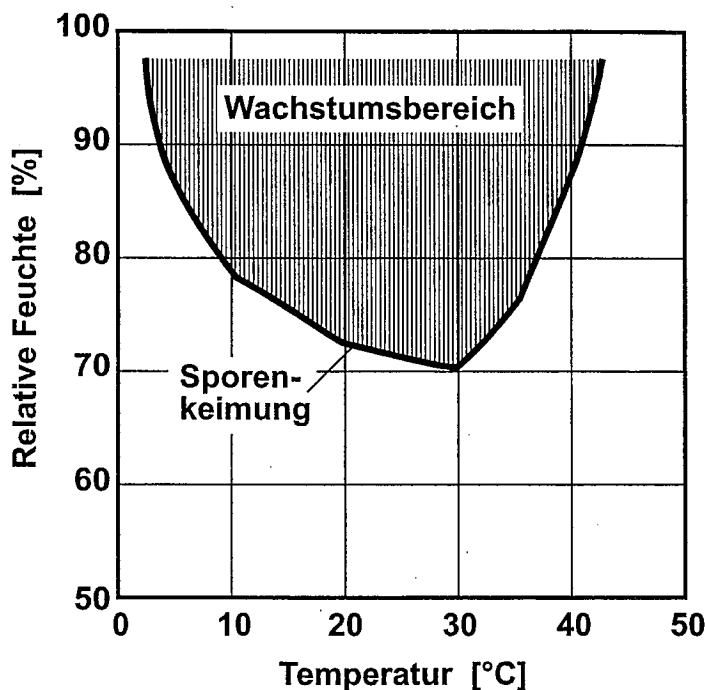
Generellt gäller dock att ingen groning eller tillväxt sker under 70% RF. Vid 80% RF kan flertalet mögelsvampar gro och tillväxa. Vid mycket höga fukttillstånd, i princip fritt vatten, finns inga levnadsbetingelser för svampar. Optimum för tillväxt ligger ofta i intervallet 95-98% RF.

Speciellt för *Cladosporium* ligger minimifuktigheten för groning och tillväxt vid 85% RF. Optimala fuktigheten för tillväxt är 96% RF.

4.6 Inverkan av kombinationen temperatur/fukt

Temperatur och fukttillstånd har var för sig enligt föregående avsnitt en stor betydelse för groning och tillväxt. I praktiken är det kombinationen av temperatur och fukttillstånd som är avgörande för både groning och tillväxt.

I FIGUR 4 redovisas ett sådant principiellt samband mellan temperatur/ fukttillstånd och groning/tillväxt. Den undre kurvan visar vilka betingelser som krävs för att mögelsporerna ska gro. Att kurvan stiger vid temperaturer överstigande 30 grader beror på att erforderliga enzymer är temperaturkänsliga. Ju högre fuktigheten är efter groningen desto snabbare sker sedan tillväxten. För att i detalj visa tillväxtens fukt- och temperaturberoende används isoplethen-diagram enligt FIGUR 3. För i fasadsammanhang intressanta mögelsvampar saknas sådana diagram. Det principiella sambandet enligt FIGUR 3-4 är dock mycket intressant och avgörande i sammanhanget.



FIGUR 4. Principiellt samband mellan temperatur/fukt och groning/tillväxt av mögelsvampar. Under den heldragna kurvan kan svampsporerna inte gro. (Sedlbauer, 2001).

4.7 Inverkan av näringstillgång

Förutom fukt- och temperaturlillståndet är tillgången på näring i underlaget den viktigaste faktorn för mögelpåväxt. Även föroreningar på ytan kan vara tillräckliga för mögelpåväxt. För att påväxten ska bli omfattande krävs dock i allmänhet att det finns näring i underlaget. Kraven på näring är normalt mycket blygsamma. Organiska tillsatser i putser är tillräckligt för att skapa en omfattande påväxt. Principiellt anses gälla att ju mer organiska komponenter det finns i underlaget desto lägre fukttillstånd krävs för mögeltillväxten.

Sammantaget innebär ovanstående att groningen inte är speciellt beroende av näringstillgång. Tillväxten ökar däremot kraftigt vid ökande näringstillgång, till exempel organiska tillsatser i putser.

4.8 Inverkan av tiden

Groningsfas och tillväxt uppvisar ett klart tidsberoende. Vid konstanta förhållanden finns det för många mögelsvampar ett direkt samband mellan fukttillstånd, temperatur och tid tills sporer gror respektive hur snabb tillväxten är. I fasad-sammanhang kompliceras situationen av att betingelserna fluktuerar.

Att direkt summera tider med olika betingelser är inte helt korrekt. För kvalitativa bedömningar torde dock begreppet "våttid" vara användbart. Detta innebär att man summerar tiden då fukttillståndet överstiger en viss nivå. Att för närvarande göra mer exakta uppskattningar torde inte vara möjligt. Ett exempel på kriterium för mögelangrepp skull kunna vara att tillväxt sker om "den relativa fuktigheten är högre än 80 % under 4 timmar per dag" eller "högre än 90 % under 1 timma per dag".

4.9 Övriga faktorer

Det finns ett antal andra faktorer som kan påverka mögelpåväxten, till exempel pH-värde, saltinnehåll i underlaget, ljusförhållanden, tillgång till syre och ytans beskaffenhet. I fasadsammanhang torde pH-värde och ytans beskaffenhet vara av störst betydelse.

pH-värde

Det optimala pH-värdet för flertalet mögelsvampar ligger mellan 5 och 7. Tillväxt kan dock ske vid pH-värden mellan 2 och 11. Speciellt kan nämnas att *Cladosporium* växer i pH-området 3-8. Härvid ska observeras att detta pH gäller i ytan. Även en KC-puts får relativt snabbt ett lågt pH-värde i ytan.

Ytans struktur

Ytans struktur har betydelse ur flera synpunkter. En yta med stor "råhet", dvs synliga ojämnheter och håligheter, absorberar både föroreningar och sporer lättare än en helt slät yta. Detta bör medföra en ökande risk för mögelpåväxt.

Även mikrostrukturen torde ha stor betydelse, främst genom att olika mikrostruktur medför att olika mycket fukt binds till ytan. En finporös yta binder mycket fukt i de små porerna, även vid lägre relativa fukttillstånd. I ett grovporöst

material binds mindre fukt vid lägre fukttillstånd. Ett finporöst material kan därför medföra gynnsammare förutsättningar för mögelpåväxt.

Fungicider

Fungicider har använts under lång tid i ytskikt. Tidigare användes mycket starka och effektiva gifter, till exempel kvicksilverföreningar. Idag tillåts dessa starka gifter inte av miljöskäl. Dagens fungicider är väsentligt svagare.

Användandet av fungicider är omdiskuterat. För att en fungicid ska vara verksam måste den vara vattenlöslig, vilket innebär att den efterhand lakas ur. Efterhand kan man alltså förvänta att effekten avtar, vilket kräver förnyad behandling.

Att återigen börja använda starka fungicider torde inte vara realistiskt, varför frågan inte behandlas ytterligare.

5 BYGGNADSFYSIKALISK INVERKAN PÅ FÖRUTSÄTTNINGARNA FÖR PÅVÄXT

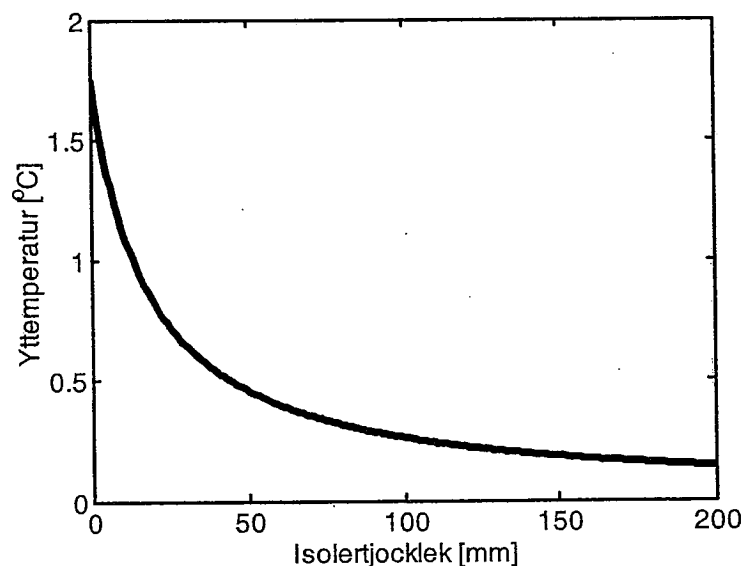
5.1 Allmänt

Byggnadens byggnadsfysikaliska utformning och materialval torde ha en stor betydelse för eventuell mögelpåväxt. Vissa sådana faktorer har behandlats tidigare. Som exempel på materialberoende faktorer kan nämnas tillgång till näring, fungicider, porstruktur och ytstruktur. Tidigare har även inverkan av några rent byggnadsfysikaliska storheter beskrivits. Detta gäller främst under vilka fukt- och temperaturtillstånd mögelsvampar gror och tillväxer.

I fortsättningen i detta avsnitt behandlas explicit hur utformningen av byggnaden kan påverka situationen. Huvudvikten läggs vid hur fukt- och temperaturtillståndet i fasadytan påverkas av olika faktorer.

5.2 Väggens U-värde (värmesolering)

Isolertjockleken påverkar yttemperaturen på utsidan genom att ökad isolertjocklek medför att mindre värme går igenom väggen och därmed kommer yttemperaturen att sjunka. I FIGUR 5 redovisas yttemperaturen på utsidan av en 1-stens tegelvägg med olika mycket isolering vid stationära förhållanden. I exemplet antas innetemperaturen till 22°C och utetemperaturen till 0°C.



FIGUR 5. Yttemperatur som funktion av isolertjocklek.

Observera att yttemperaturen påverkas mest vid små isolertjocklekar. De första 5 cm isolering medför till exempel att temperaturen sjunker 1.3°C, vilket medför att den relativa fuktigheten i ytan ökar med 7-8 % RF. Ökar man isolertjockleken från 15 till 20 cm sjunker yttemperaturen med 0.05°C, vilket medför att den relativa fuktigheten endast ökar med någon tiondels procentenhet.

Observera att ovanstående inverkan av isoleringen är oberoende av var isoleringen placeras. Vid stationära förhållanden är inverkan densamma vid invändig och utvändig isolering. Placeringen av isoleringen har dock stor betydelse om man studerar det icke stationära fallet, vilket alltid är aktuellt med hänsyn till dygnsvariationer i temperatur och strålning. Orsaken till detta är främst fasadens värmetröghet, vilket behandlas i följande avsnitt. Inverkan av isolertjocklek och värmetröghet ska i princip adderas, vilket medför att effekten sammantaget kan bli avsevärd.

5.3 Väggens värmekapacitet utan hänsyn tagen till strålning

Värmekapaciteten påverkar temperaturen främst genom att alla temperaturförändringar fördröjs mer eller mindre. Om utomhustemperaturen sjunker relativt snabbt, till exempel på natten, hinner yttemperaturen inte följa med om värmekapaciteten är stor i den yttre delen av väggen. Detta innebär att ytan blir något varmare än utomhustemperaturen. Ett exempel på vägg med stor värmekapacitet är en massiv tegelvägg. Om däremot den yttre delen av väggen har en liten värmekapacitet, till exempel en tunn puts på värmeisolering av mineralull eller cellplast, följer temperaturen i ytan nästan helt utomhustemperaturen. Temperaturen i en sådan fasad blir sålunda lägre på natten än i en fasad med stor värmekapacitet. Resultatet blir att den relativa fuktigheten blir högre. Å andra sidan får fasaden med liten värmekapacitet en högre temperatur på dagen när temperaturen stiger.

Enstaka överslagsberäkningar har visat att yttemperaturen på natten kan bli en halv grad lägre i fallet med en tunnputs på isolering jämfört med en massiv tegelvägg.

Hur värmekapaciteten totalt inverkar är inte självklart. Överväger den högre temperaturen på dagen eller den lägre temperaturen på natten? Några beräkningar av den totala inverkan har inte gjorts men sannolikt medför en liten värmekapacitet att risken för mikrobiell påväxt ökar på grund av att RF i ytan ökar med några procent under natten/morgonen. Även om inverkan är liten kan den tillsammans med andra inverkande faktorer ha stor betydelse.

5.4 Väggens värmekapacitet med hänsyn tagen till strålning

Genom värmestrålning vid fasadytan påverkas temperaturförhållandena i mycket hög grad. Vid solsken absorberar fasaden stora mängder värmeenergi och får en högre temperatur än utomhusluften. En mörk fasad med liten värmekapacitet kan mycket väl få en temperatur som är 30-40 grader högre än uteluften. Detta medför att den relativa fuktigheten blir mycket låg under förutsättning att det inte finns en stor fuktkapacitet i fasaden. Ju mörkare kulören är på fasaden desto högre blir yttemperaturen vid solsken.

På natten, främst under klara nätter, sker en utstrålning från fasadytan till himlen. Detta medför att yttemperaturen blir lägre än lufttemperaturen. Ju mindre värmekapacitet fasaden har, desto lägre blir yttemperaturen. Om värmekapaciteten är extremt liten, till exempel som i fallet med en tunnputs på cellplast eller mineralull, kan sannolikt yttemperaturen bli ett antal grader lägre än utetemperaturen. Detta medför att den relativa fuktigheten i ytan blir 10-15 % RF högre än i ute-

luften. Med tanke på att RF i uteluften under natten normalt är 80-90 % är risken för kondens uppenbar.

Konsekvensen av denna kondensation blir olika beroende på om fasaden kan absorbera kondensvattnet eller om det stannar som en vattenfilm på ytan. Vilket som är mest ogynnsamt med hänsyn till mikrobiell påväxt är inte utrett, även om olika parter i debatten påstår detta.

Under alla omständigheter kan konstateras att värmeutstrålning hos en fasad med liten värmekapacitet medför hög relativ fuktighet i ytan.

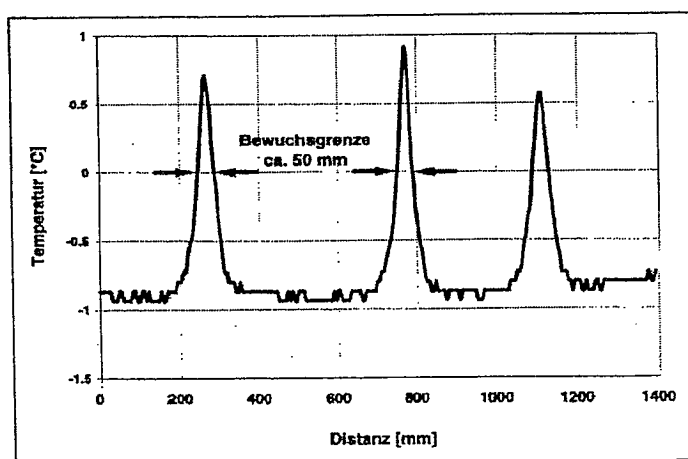
5.5 Kombinationen U-värde - värmekapacitet - strålning

Genom att kombinera inverkan av värmeisolering, värmekapacitet och strålning torde en relativt stor inverkan på yttemperaturen, och därmed ytfuktigheten, kunna erhållas. Några egna systematiska studier i form av mätningar eller beräkningar av detta har inte rymts inom aktuellt projekt.

I det följande redovisas enstaka exempel på den totala inverkan genom hänvisning till mätningar utförda i Tyskland. Dessa resultat får dock inte generaliseras, eftersom det handlar om enstaka mätningar som i vissa fall inte är direkt jämförbara. Den totala inverkan kan mycket väl vara större än vad som redovisas i dessa rapporter.

I *Ziegelindustrie 12/2001* konstateras att var fjärde fasad med utvändigt tilläggsisolering är utsatt för mikrobiell påväxt. Orsaken till problemen anses vara den låga värmekapaciteten i kombination med långvågig utstrålning.

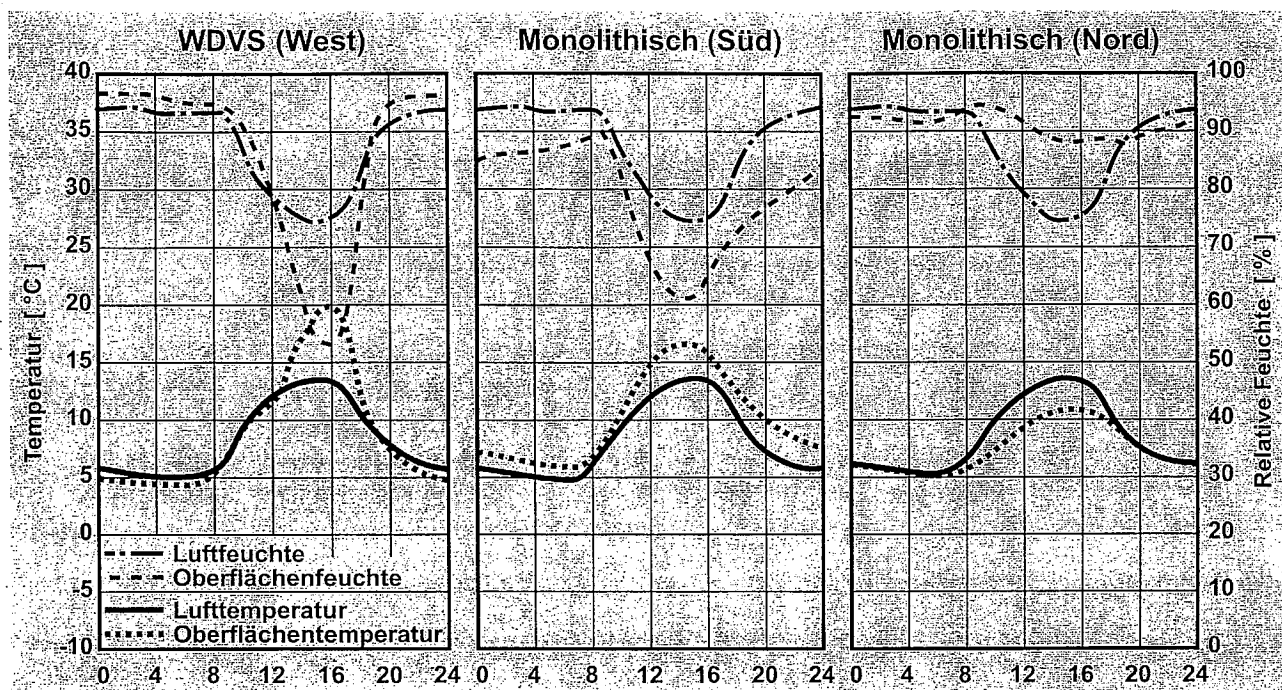
I *DAB 10/99* redovisas mätningar av yttemperaturer och mikrobiell påväxt på en fasad med puts på isolering. Här konstateras att det inte finns någon påväxt vid kramlorna, som går in i den bakomliggande väggen. Mätningar visar samtidigt att temperaturen vid kramlorna är cirka 1 grad högre än på övriga partier. Undersökningen indikerar att även små skillnader i yttemperatur kan ha stor betydelse. Ett exempel på resultat (temperatur och påväxt) redovisas i FIGUR 6.



FIGUR 6. Temperatur och påväxt på fasad med puts på isolering. De markanta topparna i temperatur sammanhänger med kramlorna. (DAB 10/99)

Förutom att ytemperaturen medför olika fuktighet i ytan kan lokalt olika ytemperatur medföra olika förutsättningar för påväxt. Olika ytemperatur kan skapa elektrostatiske krafter, vilket medför att ytan attraherar partiklar olika starkt. Dessa partiklar kan till exempel vara luftföroreningar (näring för tillväxt) eller svampsporer.

I *IBP-Mitteilung 382* från Fraunhofer-Institut für Bauphysik redovisas mätningar av temperatur och relativ fuktighet på fasadytor där väggen består antingen av ett homogent murverk eller puts på isolering. Resultaten redovisas i FIGUR 7.



FIGUR 7. Dygnsvariation i temperatur och relativ fuktighet i uteluft och vid i fasadytan. Den vänstra bilden avser puts på isolering i västläge. Mittenbilden avser homogent murverk i söderläge. Den högra bilden avser homogent murverk i norrläge. (IBP-Mitteilung 382)

Tyvärr är fasadorienteringen inte densamma vid mätningarna. Tendensen är dock uppenbar. På natten blir RF cirka 97 % i ytan på fasaden med puts på isolering. I ytan på faserna med homogena murverk blir RF cirka 85-92 %. Det högre värdet gäller för en fasad mot norr och det lägre för en fasad mot söder.

Slutsatsen av undersökningen är att puts på isolering är mer känslig för mikrobiell påväxt än fasader med massiva murverk.

5.6 Arkitektonisk utformning av fasaden

Den arkitektoniska utformningen har mycket stor betydelse för mögelpåväxten, främst påväxt av lokal karaktär. Även rent tekniska detaljer har stor betydelse i detta sammanhang.

En arkitektonisk utformning som gynnar lokalt kraftig vattenbelastning medför alltid ökande risk för lokal mögelpåväxt. Som exempel på detta kan nämnas utstående fasadpartier som både direkt utsätts för ökad regnbelastning och indirekt kan medföra ett ökande vattenflöde vid sidan av dessa utstående partier. Ett annat välkänt exempel är bristande avvattning från horisontella ytor till exempel tak (avsaknad av taksprång) och murkrön.

Exempel på tekniska detaljer som kan medföra en kraftig mögelpåväxt är bristande avvattning vid balkonger, vilket kan medföra att vatten lokalt rinner ner på fasaden vid sidan av balkongerna. Även brister i övriga plåtarbeten, till exempel fönsterbleck, kan medföra kraftig lokal påväxt.

5.7 Byggfukt

Byggfukt kan i vissa fall medföra en ökad fuktbelastning på fasadytan. I enstaka skadefall i Tyskland anses byggfukten vara orsak till att mögelpåväxt inträffade efter mycket kort tid.

I ett fall konstaterades att mögelpåväxten hade ett klart samband med den utvändiga isoleringen. På partier med cellplastisolering fanns inga mögelangrepp. På lokala partier med mineralull fanns däremot kraftiga angrepp. Orsaken till detta anges vara att mineralullen tillät byggfukten att vandra ut från den invändiga stommen och kondensera i putsen. På partier med cellplast var däremot denna fukttransport väsentligt mindre och medförde inga problem med mögelpåväxt.

I det aktuella fallet konstaterades även påväxt på vissa lokala ställen där isoleringen bestod av cellplast. Denna påväxt förklarades med glipor mellan cellplastskivorna.

Generellt torde inverkan av byggfukt vara av mindre betydelse i sammanhanget. En mycket snabb påväxt det första året kan dock ha sin förklaring i detta fenomen.

6 PRAKTIKFALL

6.1 Allmänt

Inom pilotprojektet har fyra praktikfall studerats mer eller mindre ingående. I två av fallen uppkom påväxt efter mycket kort tid, något eller några år. I ett tredje fall kom påväxten efter en längre tid. I detta fall ökade påväxten efterhand och efter 6-7 år bedömdes att fasaderna måste åtgärdas. Det fjärde fallet är provbyggnader inom SIPOREX gamla fabriksområde i Dalby, där det finns ett stor antal provfasader med olika ålder.

Tre av de fyra fallen beskrivs utförligt i *Johannesson, 2002*. I det följande ges en kortfattad beskrivning av fallen.

6.2 Mycket kraftig påväxt på nyproducerad fastighet

Fastigheten uppfördes i Stockholm 1998. Fasaden består av kalkcementputs på mineralull. Ytskiktet uppges vara kalkfärg. (Sannolikt innehåller dock färgen organiska komponenter.)

Kraftig påväxt skedde mycket snabbt, inom något år, och finns i alla väderstreck. Påväxten är mest markant där vattenrinning kan förväntas på fasaden. Även på andra ställen finns dock påväxt.

Påväxten illustreras i FIGUR 8.



FIGUR 8. Påväxt på en ny fasad i Stockholm.

Vid analys konstaterades att på kraftigt angripna ytor förekom "Mycket riklig påväxt av svart sotliknande lager som består av sporer från pigmenterad mögelsvamp". Vid odling konstaterades främst *Cladosporium*. På ytor som till synes inte hade någon påväxt förekom "Sparsam förekomst av sporer och hyfer från pigmenterat mögel". Vid odling konstaterades "Mycket liten växt av *Cladosporium*". Vidare konstaterades att angreppen är ett rent ytfenomen, några angrepp längre in i putsen kunde inte upptäckas.

Analysresultaten visar att angrepp i princip förekom överallt. Yttre betingelser har dock medfört olika snabb tillväxt.

Fasaderna åtgärdades 2002 genom följande åtgärder:

1. Tvätt med varmt vatten under tryck
2. Fungicidbehandling genom manuell rollning
3. Behandling med vattenavvisande preparat
4. Målning med silikonhartsfärg

6.3 Generell påväxt på nyproducerad fastighet

Fastigheten är belägen i Stockholmstrakten och uppfördes 1997. Väggen består av bärande betongstomme med 180 mm utvändig cellplastisolering och 10 mm kalkcementputs. Även ytskiktet uppges vara KC-baserat.

Påväxten har skett successivt och fortsätter att öka. Vid besiktning hösten 2001 fanns en generell påväxt på i princip alla ytor som utsätts för regn. Påväxten hade en helt annan karaktär än i fallet enligt avsnitt 6.2. I aktuellt fall var påväxten mindre iögonenfallande och gav på långt håll intrycket av nedsmutsning. Vid närmare betraktande visade sig påväxten ske i form av "små prickar".

Två speciellt intressanta iakttagelser kunde göras. På en fasad förekom en markant "månformad" påväxt mitt på fasaden. Till omfattning påminner påväxten om ett typiskt drag med putsbräda. Den andra iakttagelsen var att påväxten klart kunde förknippas med slagregn direkt mot fasaden. Under taksprånget fanns ett område, cirka ½ m ner, utan några synliga angrepp. Nedanför detta område fanns generell påväxt. Samma sak gällde i princip vid balkonger, även om bilden här var geometriskt annorlunda.

Vid analys konstaterades att på de markant angripna ytorna förekom "*Riklig påväxt av sporer och hyfer av pigmenterad mögelsvamp*". Vid odling konstaterades främst *Cladosporium*.

På ytor med en slöjaktig missfärgning (generell påväxt) förekom "*Sparsam förekomst av sporer och hyfer från pigmenterad mögelsvamp*". Vid odling konstaterades bland annat *Cladosporium*.

På ytor som till synes inte hade någon påväxt förekom "*Sparsam till måttlig påväxt av sporer och hyfer av pigmenterad mögelsvamp*". Vid odling konstaterades bland annat *Cladosporium*.

Analysresultaten visar en klar skillnad där kraftig påväxt förekommer och där påväxten är av mindre omfattning. Det finns dock ingen skillnad mellan måttligt synlig påväxt och till synes ren yta. Det senare indikerar att angreppen finns överallt och att det enbart är en tidsfråga när påväxten blir synlig.

Fasaderna är ännu inte åtgärdade.

6.4 Långsam påväxt på bostadsområde i Stockholmstrakten

Aktuellt bostadsområde omfattar cirka 40 000 m² fasadyta. Fasaden är uppbyggd med SERPOROC-systemet, det vill säga en tjock KC-puts på mineralull. Ytskiktet består av KC- och CD-färg.

Fasaderna färdigställdes 1992-93. Beträffande påförandet av ytskiktet har olika uppgifter förekommit. Enligt de senaste uppgifterna sprutades ytskiktet. Exakt när påväxten började är inte helt klarlagt. Påväxten har ökat efterhand. 1996-97 ansågs påväxten mycket besvärande. 1998 betraktades påväxten som ett stort problem. Under senare år har påväxten accelererat kraftigt.

Påväxten är mindre på fasadpartier som är skyddade mot regn.

Enligt uppgift kan man ibland se skarvarna i mineralullsskivorna genom att det här inte förekommer någon påväxt. (Detta stämmer väl med tyska undersökningar där man funnit ett tydligt samband mellan defekter i isolering och ingen mögelpåväxt. Den direkta orsaken torde vara att skarven är en köldbrygga, vilket medför att putsen här blir varmare och torrare.)

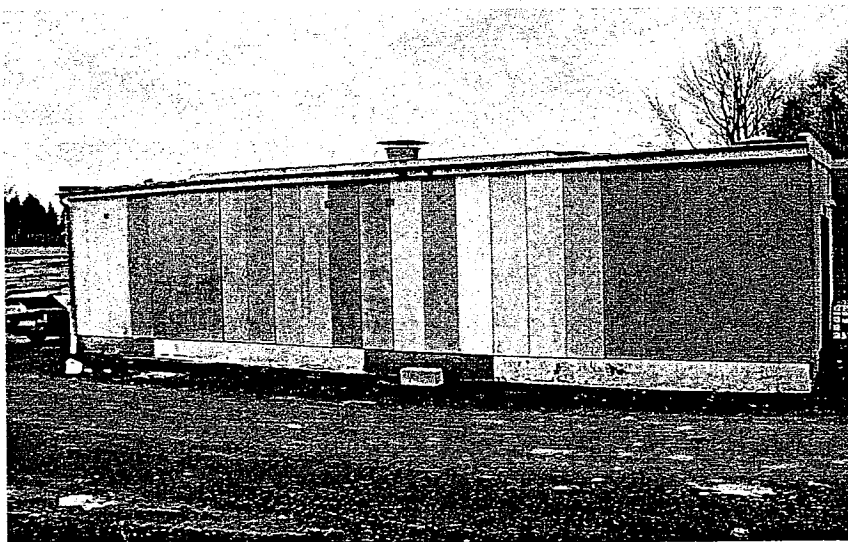
Vid analys har konstaterats att påväxten i huvudsak består av Cladosporium.

Fasaderna åtgärdades 2001 av två olika entreprenörer med något olika metoder. Vissa fasader tvättades med "hetvatten och algtvätt" medan andra tvättades med "varmvatten och algtvätt". Härefter behandlades fasaderna med fungicid (Boracol). Slutligen behandlades vissa fasader med ett vattenavvisande preparat.

Vid besiktningar 2002 har ingen ny påväxt konstaterats.

6.5 Provfasader i Dalby, Skåne

På fabriksområdet tillhörande SIPOREX i Dalby har ett antal provbyggnader uppförts med olika ytbehandlingar på lättbetong. Den äldsta är uppförd på 1970-talet. Provväggarna varierar, både med avseende på värmeisolering, ytskikt, orientering och inomhusklimat. Ett exempel på provbyggnad illustreras i FIGUR 9.



FIGUR 9. Provbyggnad med olika fasadelement i Dalby.

Vid besiktning och provtagning 2002 uttogs ett stort antal borrhärdar för analys. Detaljresultat av dessa analyser redovisas i *Johannesson, 2002*.

En generell likhet med de tidigare redovisade objekten är förekomsten av mögel-svampen *Cladosporium*. En väsentlig olikhet med tidigare objekt är förekomsten av lavangrepp. Detta är dock naturligt med hänsyn till åldern på fasaderna.

Vid analys av en påväxttyp som är vanligt förekommande överallt i Sverige och som ofta i folkmun benämns "rödalga" konstaterades att det var en lavsort.

Observationerna i Dalby är mycket intressanta och bör analyseras ytterligare. Det faller dock utanför ramen för detta pilotprojekt.

7 KOMMENTARER OCH SLUTSATSER

I pilotprojektet har konstaterats att problem med mikrobiell påväxt, främst mögelsvampar, på putsade fasader är ett generellt problem överallt. Problemet har bland annat observerats i Sverige, Danmark, Tyskland, Israel och Sydamerika. Dessa länder är bara exempel som påträffats i litteratur och vid personliga kontakter.

Generellt gynnas mögelpåväxten av höga fukttillstånd i fasadytan. Mögelangrepp kan ske vid RF överstigande 85 % och accelererar kraftig vid högre RF. Kraven på näring från underlaget är relativt begränsade och små tillsatser av organiska komponenter är tillräckligt för påväxt.

Fasaddelar som är utsatta för mycket slagregn är av naturliga orsaker blötare än andra delar och därmed mer utsatta för påväxt. Extremt kraftig påväxt kan ofta förklaras av extremt kraftig vattenbelastning.

Fukttillståndet i fasadytan beror inte bara på regnbelastningen. Den byggnadstekniska uppbyggnaden av väggen kan ha en avgörande betydelse. En ökande värmeisolering i väggen medför att yttemperaturen på utsidan sänks, vilket i sin tur medför ett högre fukttillstånd. Om man jämför normala isolertjocklekar (100 – 300 mm) är denna inverkan relativt begränsad. Jämför man däremot fallen helt utan isolering med en kraftig isolering blir inverkan mycket stor.

Den största byggnadstekniska inverkan torde värmekapaciteten hos den yttre delen av väggen ha. Hos en fasad med liten värmekapacitet i den yttre delen av fasaden kommer temperaturen på nätterna att bli väsentligt lägre än utetemperatur, vilket i sin tur medför ett högre fukttillstånd och mer omfattande kondensation. Sannolikt kan RF bli 10-15 % RF högre i fasadytan än i uteluften i extrema fall. Detta medför utan tvekan kondensation i många fall.

Ett exempel på fasad med liten yttre värmekapacitet är en relativt tunn puts på värmeisolering. Finns däremot värmeisoleringen på insidan av ett murverk blir den yttre värmekapaciteten stor. Detta innebär att risken för påväxt är väsentligt större på puts på isolering än på ett putsat murverk vid samma värmeisolering i väggarna. Detta stämmer väl med den praktiska erfarenheten.

Kombinerar man både värmekapacitet och värmeisolering blir effekten väsentligt större. En köldbrygga vid till exempel ett bjälklag innebär ibland att värmeisoleringen lokalt blir sämre samtidigt som värmekapaciteten ökar. Båda dessa faktorer medför att temperaturen ökar och fukttillståndet minskar. Detta kan man se på många fasader. Ett typiskt exempel är en målad träfasad där fasaden i helhet uppvisar kraftig påväxt medan man kan se horisontella stråk utan påväxt. Att det inte finns påväxt i dessa stråk beror på att de bakomliggande reglarna medför både en ökande värmekapacitet och en sämre värmeisolering.

Att exakt förutsäga hur risken för påväxt förändras med olika åtgärder är för närvarande inte möjligt. För att kunna göra bättre förutsägelser krävs väsentligt ökade kunskaper inom flera områden. Ur byggnadsteknisk synvinkel krävs omfattande beräkningar och mätningar av fukt- och temperaturtillstånd i fasadytan. Ur mykologisk synvinkel krävs att förutsättningarna för angrepp klarläggs i detalj.

Som exempel kan nämnas isoplethendiagram för de vanligaste mögelsvamparna. Även betydelsen av underlagets närings- och fungicidinhåll måste studeras ytterligare.

Ovanstående kommentarer avser förutsättningarna för påväxt. Detta har betydelse för hur situationen ska hanteras i fortsättningen. En annan väsentlig frågeställning är hur man ska åtgärda befintliga fasader som fått angrepp av mögelpåväxt. Detta har inte kunnat studeras i denna pilotstudie eftersom inga erfarenheter finns. Problemställningen är så pass ny att det inte finns några undersökningar eller dokumenterade fullskaleförsök. Innan åtgärder mot förekommande påväxt kan anges måste kunskaperna om förutsättningarna för påväxt bli väsentligt bättre. Situationen kan jämföras med läkarvetenskapens utveckling genom tiderna. En åderlåtning är inte alltid den bästa metoden mot vissa sjukdomar. Kunskaperna om de bakomliggande faktorerna måste bli bättre innan trovärdiga åtgärdsförslag kan utarbetas. Den idag tillämpade metoden, rengöring-fungicidbehandling-vattenavvisande impregnering, torde för närvarande vara den minst skadliga och förhoppningsvis den mest verkningsfulla.

8 FUNDERINGAR OM FORTSATT FORSKNING

Den fortsatta hanteringen av problemställningen kan ske på olika nivåer. I princip kan man skilja på en *defensiv* och en *offensiv* fortsättning.

Defensiv fortsättning

En del som är verksamma inom branschen anser att den påväxt som drabbat fasader på senare år är en engångsföreteelse beroende på extremt varma och fuktiga vintrar. Kort sagt vill dessa negligera problemet. Med denna inställning kan en defensiv fortsättning vara den riktiga. Denna defensiva fortsättning innebär i princip att man inte gör någonting. Framtiden får utvisa om man behöver vidta åtgärder. Möjligen ska situationen bevakas.

Offensiv fortsättning

En del som är verksamma inom branschen tar problemet på största allvar och anser att omfattande forskningsprojekt ska startas. I denna forskning ska då ingå byggnadstekniska och mykologiska analyser. Förutom att man lägger stor vikt vid att framtida påväxt ska undvikas ska även metoder utarbetas för att åtgärda pågående påväxt.

Egna kommentarer

De olika uppfattningarna enligt ovan är normala inom branschen. Undertecknad tillhör forskarbranschen och förespråkar självklart den offensiva fortsättningen. Samtidigt är jag medveten om konfliktsituationen mellan olika intressenter. Jag överlåter åt läsaren att själv ta ställning till fortsättningen.

LITTERATUR

BAB 10/99, *Außenwände mit Wärmedämm-verbundsystem, Algen- und pilzbewuchs.*

IBP-Mitteilung 382, *Algen auf Wärmedämm-Verbundsystemen.* Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 2001.

Johannesson, B, 2002, *Mikrobiell påväxt på fasader.* Rapport TVBM-3106, Avdelningen för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

Sedlbauer, K, 2001, *Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen.* Universität Stuttgart. 2001.

Smith, S.L & Hill, S.T, 1982, *Influence of temperature and water activity on germination and growth of Aspergillus restrictus and Aspergillus versicolor.* Transactions of the British Mycological Society Vol. 79, H 3.

Ziegelindustrie nr 12/2001.