LUND UNIVERSITY

Mikrobiell påväxt på fasader

Johannesson, Björn

2003

Link to publication

Citation for published version (APA):
Johannesson, B. (2003). *Mikrobiell påväxt på fasader*. (Rapport TVBM; Vol. 3106). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Total number of authors:
1

General rights
Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.
• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: https://creativecommons.org/licenses/

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

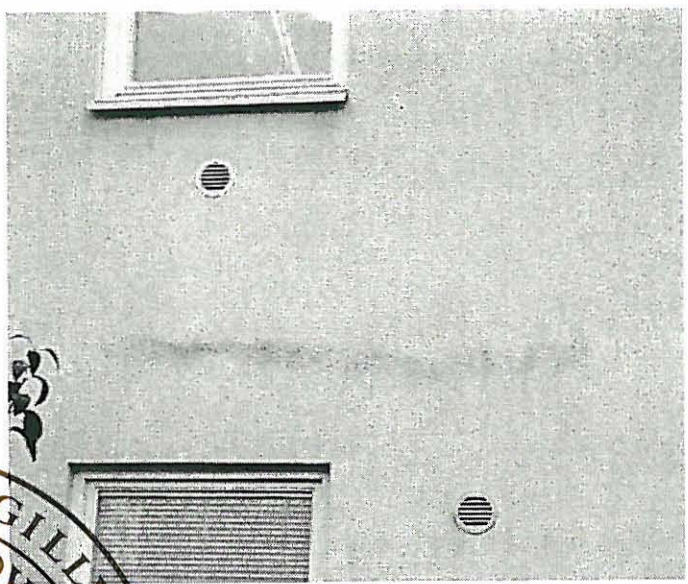
PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
LUNDS UNIVERSITET

Avd Byggnadsmaterial

MIKROBIELL PÅVÄXT PÅ FASADER

Björn Johannesson



TVBM-3106 Lund 2003

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
LUNDS UNIVERSITET

Avd Byggnadsmaterial

MIKROBIELL PÅVÄXT PÅ FASADER

Björn Johannesson

TVBM-3106 Lund 2003

ISRN: LUTVDG/TVBM--03/3106--SE (1-44)

ISSN: 0348-7911 TVBM

Lunds Tekniska Högskola
Byggnadsmaterial
Box 118

221 00 LUND

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

Innehåll

Förord 1

1 Allmän problembeskrivning 2

2 Olika sorters påväxt 3

3 Vanliga mögelsvampar på fasader..... 10

4 Mögelsvamp och dess näringsbehov 13

5 Yttre klimatförhållanden och dess betydelse för biologisk tillväxt 16

6 Fuktens och temperaturens betydelse för tillväxt av mögelsvamp 17

7 Byggnadsteknik och dess relation till mögelpåväxt på fasader..... 20

8 Bedömningar avseende tre skadefall i Stockholmstrakten..... 26

9 Mögelsvampsmissfärgningar och lavor på provväggar i Dalby.... 35

10 Sanering 41

11 Förslag till fortsatta studier 42

12 Slutsatser 43

Referenser 44

Förord

I detta projekt, finansierat av SBUF, har organisk påväxt på fasader studerats. Arbetet har i huvudsak utförts på Tekniska Högskolan i Lund, i samarbete med intressenter på JM och NCC.

I huvudsak har putsade fasader undersökts. Tre nybyggda hus i Stockholmsområdet, ett ca. 20 år gammalt provhus i Dalby samt ett objekt i Ärvinge har undersökts med avseende på missfärgningar förorsakade av bland annat mögelsvamp men även av lavor, mossor och alger.

Denna inledande undersökning behandlar, i alla väsentliga delar, vad för sorts påväxt som bidrar till missfärgningar av fasader. I skriften belyses även olika levnadsvillkor för olika typer av växtlighet som förekommer på fasader där den relativa fuktigheten, temperaturen och förekomsten av kolbaserad näring härstammande från underlaget eller från den omgivande uteluften, är viktiga faktorer.

Det är viktigt att påpeka att missfärgningsproblematiken på fasader med största sannolikhet är ett komplext fenomen som ej endast styrs av en eller ett fåtal mekanismer. Det anses troligt att de aktuella missfärgningarna orsakas av en rad mer eller mindre kopplade fenomen relaterade till fuktigheten i luft och i fasadmaterialet, temperaturen, förekomst av sporer i uteluften, byggtekniska egenskaper så som värmeledning och värmekapacitet i ytterväggar, näringstillgång i fasadfärger, användandet av fungicider i målarfärger, ytans förmåga att binda till sig partiklar från luften, extremt våta och varma perioder som en del av de yttre naturliga klimatvariationerna, UV-strålning, med mera.

Det har påpekats i debatten rörande missfärgningar av fasader att det är en naturlig underhållsfråga. Det vill säga man skall förväntas hålla husfasader rena på samma sätt som man förväntas städa sin bostad inomhus. Undersökningar utförda i samband med slutförandet av denna rapport visar dock att kraftiga missfärgningarna uppträder på vissa fasader efter mycket kort tid (ett till två år) efter färdigställandet. Missfärgningarna har även visat sig vara orsakad av i huvudsak mögelsvamp. Dessa typer av missfärgningar kan ej förväntas vara föremål för sanering med utgångspunkten att en sådan åtgärd är en naturlig underhållsprocess. Inriktningen på forskningen inom området måste istället fokusera på att hitta de bakomliggande mekanismerna som styr missfärgningen och med vetskap om dessa vidtaga signifikanta åtgärder för att undvika att problemen uppstår.

Det är av största betydelse att notera att denna undersökning är begränsad i det avseendet att den strävar efter att utreda de grundläggande förutsättningarna för missfärgningar av fasader förorsakad av mikrobiell aktivitet men dock inte att utforska olika saneringsmetoder. Detta angreppssätt har valts på grund av att man i första hand är intresserad av i största möjliga mån hitta metoder att undvika att fasader missfärgas vid tidig ålder.

1 Allmän problembeskrivning

De senaste åren har uppdagats problem med missfärgningar på putsade fasader. Problemet tycks i huvudsak drabba relativt nytillverkade målade putsade fasader. Missfärgningarna är mycket påtagliga och oestetiska, vilket gör att drabbade hyresgäster och byggföretag känner sig mycket angelägna om att snarast hitta en långsiktig hållbar lösning på problemet.

De aktuella missfärgningarna visar sig främst som svarta strimmor där fuktbelastningen kan tänkas vara hög. Typiska utsatta områden är lokaliserade under fönster längs med fönsterkanterna, takfötter och balkonger längs med kanterna, där avrinning av regnvatten kontinuerligt har förekommit. Missfärgningarna gör sig även ofta synliga på ställen på fasaden som inte på ett naturligt sätt direkt kan hänföras till höga fuktbelastningar då man till exempel kan notera att mindre svarta fläckar i vissa fall förefaller bildas mer eller mindre slumpmässig över stora ytor.

Tillväxten har visats vara mycket koncentrerad till ytan, det vill säga missfärgningen är ej penetrerad in i putsen. Preliminära underökningar indikerar att färgfilmen på putsen förblir intakt vid missfärgningprocessen då fasaden är relativt ny, samt att tillväxten sker på den samma, det vill säga missfärgningen tränger ej igenom färgfilmen. Vid äldre målade putsade fasader förekommer dock ofta en kraftig krackelering i färgskiktet vilket emellertid ej torde vara orsakad av själva mögelväxtprocessen.

Vid okulära besiktningar av ett fåtal skadade objekt konstaterades att de svarta missfärgningarna var långt mer vanliga än tillväxter med grön nyans. Den svarta missfärgningen är huvudsakligen orsakad av den så kallade cladosporiumsvampen medan den mindre förekommande gröna missfärgningen troligen är orsakad av algtillväxt. Båda dessa biologiska angrepp gynnas av ett fuktigt klimat.

Cladosporiumsvampen finns naturligt närvarande i naturen. Förekomsten av svampen anses vara störst i områden där lövträd och friväxande grönområden förekommer i stor utsträckning. Spridningen av sporer via luften gynnas av ett torrt och blåsigt klimat. Initieringen av angreppet på fasader gynnas troligtvis av beskaffenheten hos fasadytan vad det gäller hög ytfuktighet, hög yttemperatur och ytans geometriska struktur.

Initieringsförhållandena för att svampsporer ska fastna på fasader torde vara tämligen gynnsamma vid ett flertal tillfällen årligen. Vid en väl fungerande fasad, avseende utebliven missfärgning, hinner svampsporerna troligtvis bli bortförda från ytan med hjälp av väder och vind utan att initiering och spridning över fasaden inträffar.

Om förhållandena i omgivande luft och invid den målade putsytan är gynnsamma vad avser tillväxtförhållandena sprids svampen över fasaden med egen kraft då sporer kontinuerligt produceras vid den aktuella biologiska processen. Tillväxten torde ej förekomma de första åren efter färdigställande av väggar om starkare fungicider används som tillsatsmedel i putsfärgen.

2 Olika sorters påväxt på fasader

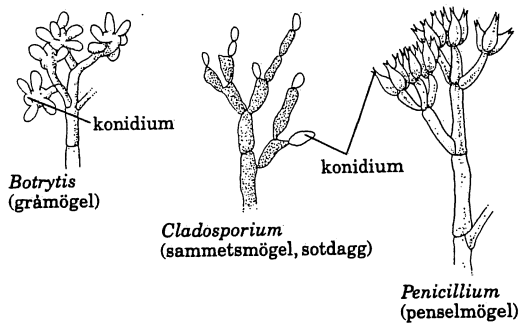
2.1 Allmänt

De flesta av de prover som analyserats i denna undersökning uppvisade förekomst av mögelsvampen *Cladosporium spp.* och i vissa fall även *Penicillum spp.* Med anledning av detta beskrivs i följande avsnitt olika karakteristiska egenskaper hos olika typer av mögelsvampar inom divisionen imperfekta svampar där *Cladosporium spp.* och *Penicillum spp.* ingår. De äldre objekten i denna undersökning var ofta beväxta med lavor vilket föranleder en kort biologisk beskrivning av dessa vad avser bland annat livsbetingelser. Jäst och bakterier hittades även på vissa prover och är kort beskrivna.

Mossor och alger har ej detekterats på de prover som har analyserats i denna begränsade undersökning. Dessa växter är dock vanligt förekommande på utsidan av hus och har inkluderats i denna undersökningen för att göra bilden av missfärgningsproblematiken av fasader något mer allmängiltig.

2.2 Mögelsvampar inom divisionen imperfekta svampar

Den mögelsvamp som har identifierats som den vanligast förekommande på de studerade objekten i denna undersökning är *Cladesporium spp.* Denna svamp tillhör en viss grupp som kallas imperfekta svampar. Imperfekta svampar är en division svampar med synnerligen växlande utseende. Det som utmärker svampar tillhörande divisionen imperfekta svampar, vilkas vetenskapliga namn är *Deuteromycota*, är att de till övervägande delen förökar sig med konidier. Konidier är på könlös väg bildade sporer. Både *Cladosporium* (sammetsmögel, sotdagg) och *Penicillum* (penselmögel) tillhör divisionen imperfekta svampar, se Figur 2.1. Divisionen omfattar ungefär 20 000 arter och är en så kallad onaturlig grupp, då den endast utgör en samling av svampsorter som karakteriseras av utseendet på dess könlöst bildade sporer (konidier). Den korrekta vetenskapliga benämningen är sporer, om tillväxten sker könsligt och konidier om tillväxten sker könlöst.



Figur 2.1: Konider och konidiebärare av svamparna gråmögel, sammetsmögel samt penselmögel.

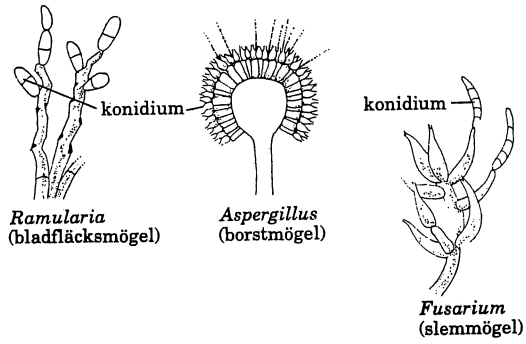
Hyfer (vävnad) är en grenig kärnförsedd celltråd som bygger upp en svamp. En hyf kan bestå av en enda cell, så kallad osepterad, eller bestå av flera celler separerade med tvärgående väggar (septerad). En svamps samtliga hyfer bildar ett mycel. Tillväxten startar med att en konidiespor gror och växer ut till hyfer som bildar mycelet. På vissa celltrådar bildas så kallade konidioforer eller konidiebärare som är den konidiealstrande delen av hyfen. På

konidioforerna bildas en- eller flercelliga förökningskroppar. Denna process sker genom avsnörning från svampmycelet. I vissa fall faller inte konidien av innan en ny anläggs, vilket till exempel gäller för penselmögel, och resultatet blir att långa konidiekedjor bildas. Många svampar inom divisionen imperfekta svampar har ett speciellt konidiestadium under sin livscykel, vilket är viktigt för svampens spridning.

Vissa arter kan även föröka sig genom direkta avknoppningar på hyftrådarna. Processen innebär att hyfen förtjockas samtidigt som ett geleartat lager bildas innan den knoppas av.

För att svamp skall kunna växa krävs näring. På hyfens ytterväggar utsöndras enzymer som har den egenskapen att den förmår bryta ner organiskt material i hyfens omedelbara närhet. Nedbrytningen, med hjälp av enzymer, gör att det organiska materialet omvandlas till mindre enheter eller till speciella kemiska föreningar som svampen sedan kan omsätta i sin metabolism. Vid vissa omständigheter rörande näringstillgången, temperatur och fuktighet kan mögelsvampar producera, för människor och djur, giftiga ämnen, så kallade mykotoxiner.

Hyfomycetes (vävnadssvamp) är en klass imperfekta svampar som karateriseras av att deras konidiebärare utgår från mycel eller en kompakt vävnad, och bildar konidier på könlös väg på samma sätt som beskrivs ovan. Den könlösa förökningen är mindre komplicerad än den könsliga och går snabbare. Till klassen, där könlös förökning ingår, hör exempelvis penselmögel, sammetsmögel och slemmögel, se Figur 2.1 och 2.2.



Figur 2.2: Konidier och konidiebärare av svamparna bladfläcksmögel, borstmögel samt slemmögel.

Mögel utgör ett samlingsnamn på synligt ytligt mycel av systematiskt helt olika svampar. Karakteristiskt för mögelsvamp är att de är mikroskopiskt små svampar som oftast lever av att bryta ned vegetabiliskt material. I huvudsak är mögelsvampar saprofyter, det vill säga, de livnär sig av dött organiskt material. I vissa fall är det stora likheter mellan bakterier och mikroskopiskt små svampar då bakterier kan leva som saprofyter. Svamp kan även leva som parasiter eller i symbios med andra växter samt andra organismer, vilket också är fallet för bakterier.

Sporbildningen är olika intensiv hos olika svampar beroende på egenskaperna hos konidierna. Sporbildningen är även starkt beroende på yttre faktorer där fuktigheten och temperaturen är viktiga. Som exempel kan nämnas att en Pencilliumkoloni av en enkronas storlek kan innehålla omkring 400 miljoner sporer. Sporerna har till varierande grad en sporvägg som skyddar mot uttorkning. Egenskaperna hos sporväggen bestämmer hur lång tid svampen kan inställa livsprocessen för att vid gynnsammare förhållanden återigen gro och bilda ny mycel och konidier. Konidierna är pigmenterade, ofta med melamin, som gör att svampen är mindre känslig för strålningsskador orsakade av det ultravioletta ljuset från solen.

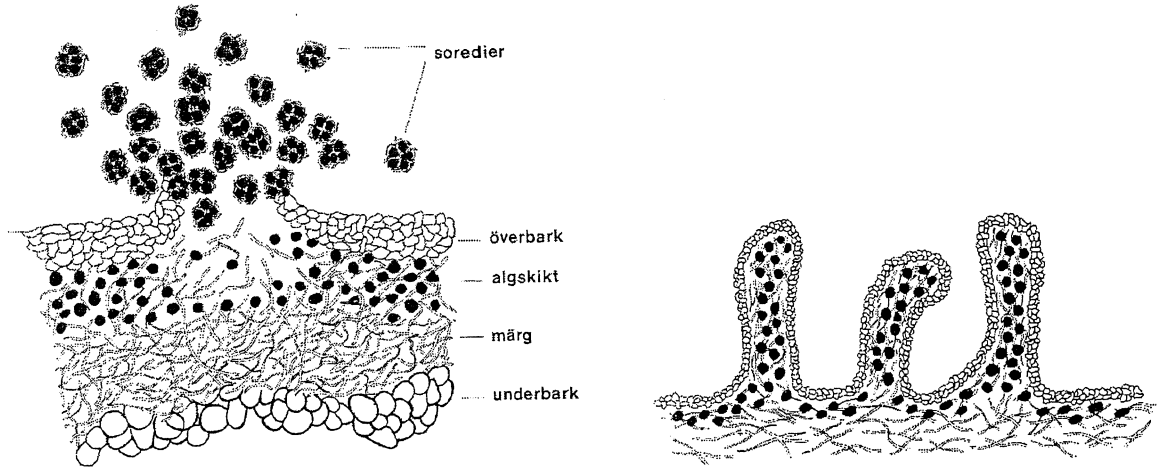
Cladosporium spp. har identifierats som den i särklass vanligaste mögelsvampen på de putsade fasadytor som studerats i denna undersökning. Denna typ av svamp växande på

putsfasader kan således ej ha stora krav på näringstillförsel via växtunderlaget utan skaffar troligtvis en betydande del av erforderlig näring från närliggande organiskt stoff på ytan eller direkt från organiska ämnen i regnvattnet. Som kontrast till denna växtbetingelse kan man jämföra med rostsvampen som till hör divisionen (kroppslösa) basidsvampar. Denna svamp bildar små bruna eller svarta sporkuddar på främst växtblad och stjälkar. Utseendet hos denna påväxt av svamp påminner mycket om formen hos Cladosporiumsvampen. Den stora skillnaden är dock att rostsvampen är försedd med speciella hyfer (haustorier) som kan tränga in i värdväxtens vävnader och därmed leva som en parasit.

Cladosporiumsvampen påträffas bland annat som parasiter på åldrande blad av många olika växter. Andra arter har konstaterats förekomma på ull och bomull. En vanlig art, *Cladesporium herbarum*, kan leva som saprofyt på döda blad, vilket bland annat innebär att svampen är anpassade till stark UV – strålning samt starkt varierande tillgång på vatten. Dessa förutsättningar påminner om växtbetingelserna på en fasadyta på ett hus.

2.3 Lavar

Ett av de studerade objekten med missfärgade fasader är betydligt äldre än de andra. Vid detta objekt i Dalby upptäcktes bland annat olika typer av lavor på de undersökta putsade fasaderna. Med anledning av detta beskrivs lavornas grundläggande egenskaper. Lav är en organism där svamphyfer och alger och/eller cyanobakterier (blågrönalger) lever i samexistens (mutualism eller symbios). Laven bildar busk-, blad- eller skorplika utväxter. Hela växtskiktet hos laven kallas bål. Lavbålen består av i huvudsak tre skikt med väsentligt olika karaktär, se Figur 2.3. Överskiktet kallas överbark och underskiktet, vilket är sammanvuxet med olika typer av underlag, kallas underbark. Underbarkens undersida är försedd med hår eller så kallade rhizin som fungerar som greppklor mot underlaget. Emellan dessa två skikt lever svamphyfer och alger i symbios. Det är dock svårt att identifiera algen i lavbålen, eftersom samexistensen med svampen kraftigt förändrar algcellernas ursprungliga egenskaper. Algcellens förändring är nödvändig för att kunna förse svampen med assimilationsprodukter. Svamphyfernas och algcellernas samlevanad ger vidare upphov till bildande av så kallade lavsyror som utnyttjas vid identifieringen av olika lavarter.



Figur 2.3: Genomskärning av en heteromer lav med soral (vänster) samt isidier i genomskärning (höger).

I mera komplext byggda lavbål består mellanskiktet av dels ett så kallat märgskikt bestående av endast svamphyfer, som ligger närmast underbarken, samt ett skikt under överbarken bestående av i huvudsak alger (algskikt). En sådan byggnad kallas heteromer.

Förökningen av laven kan både ske könlöst med så kallade diasporer eller soredier som innehåller både svampsporer och alger eller på könslig väg där rena svampsporer måste träffa på en lämplig alg. Den könsliga spridningen blir under de flesta rådande förhållandena därför mer slumpartad och långsam jämfört med den könlösa. Den könlösa spridningen sker med två skilda mekanismer. Dels kan det bildas små öppningar i överbarken (så kallade soral) i vilka det bildas små nystan bestående av svamphyfer och algceller som kallas soredier, vilka kan spridas med vind och vatten. Det andra spridningssättet uppkommer av att det i vissa lavors överbark formas isidier som är små fingerliknande utväxter som innehåller algceller och svamphyfer. Isidierna har ett ytskikt bestående av bark, isidierna bryts dock lätt av på grund av mekanisk påverkan, vilket gör att spridningskropparna inuti isidien blottläggs.

Lavar har extremt god överlevnadsförmåga när den väl har fått fäste på ett lämpligt underlag. En lava klarar i flesta fall av flera upprepade kraftiga uttorkningar, den kan ta upp fukt direkt från luften samt att under längre perioder låsa in fukt i sin struktur. Vidare kan den erforderliga fotosyntesen ske vid låga temperaturer. Det skall dock påpekas att lavor på grund av sitt välbalanserade samliv kan vara mycket känslig i förändringar i sin omgivning vad avser luftföroreningar.

Näringen som laven behöver tas upp direkt från regnvattnet och behöver ej passera genom ledningsvävnad. Underlagets beskaffenhet kan även ha stor betydelse för näringsbehovet för laven. Vanliga underlag är sten och bark samt olika typer av fasadmaterial. Regnvattnet bidrar till att lösa ut ämnen från underlaget som laven måste tåla eller dra nytta av i metabolismen. Viktiga parametrar är pH, kalkhalt samt underlagets hårdhet.

Underlaget kan påverkas av det faktum att laven producerar lavsyror och oxalsyra. Många typer av lavar kan även bidra till en mer direkt mekanisk nedbrytning (vittring) av materialet, ett exempel på en lav med extra stor benägenhet att vittra underlaget är den så kallade skorplaven.

Olika typer av så kallade färglavar är vanligt förekommande i Sverige. Till färglavarna hör, till exempel arten tuschlav och besläktade örnlav samt arter ur släktet kantlavar. Dessa typer av lavor kan genom lämplig behandling användas för färgning av garn och tyg. Även lavor ur släktet brosklavar, grenlavar, skägglavar och vägglavar kan ge färgningar. Färgningen är typiskt av nyansen röd, brun eller gul.

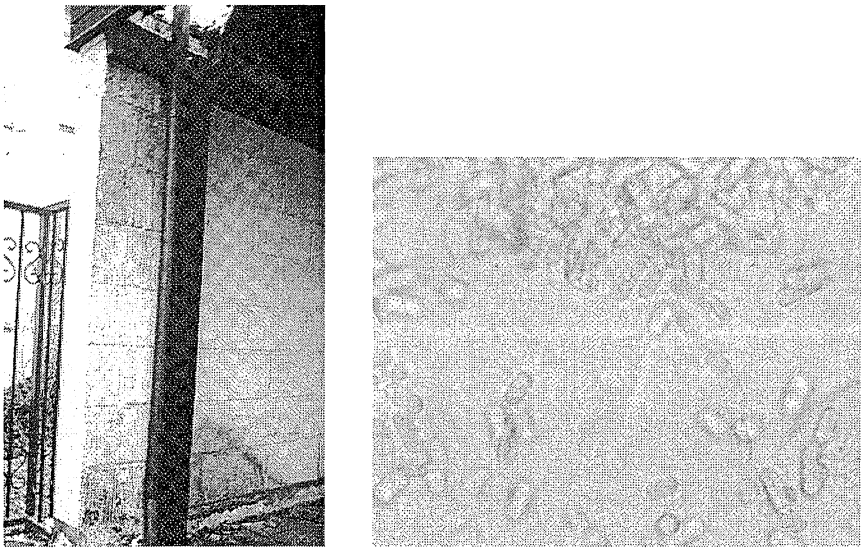
2.4 Alger

Vid förarbetet till denna rapport kunde endast en alg hittas i litteraturen som klarar av livsbetingelser där direkt sötvatten- eller havsvattentillgång ej är nödvändig. Algen är en luftalg och kallas violstensalg *(Trentepohlia iolithus)* som vanligen växer på berg och stenar. Violstensalgens utseende karakteriseras av rödbruna skorpor som växer på underlaget.

I byggrelaterade samanhang är vanliga skador orsakade av alger att de kan täppa till rörledningar och förorena eller förgifta dricksvatten. Det är dock viktigt att notera att grönalger snabbt kan bildas på fasader där fuktbelasningen är extremt stor, till exempel vid läckande stuprör eller på socklar med högt fuktinnehåll orsakat av kapillärsugning från mark.

Alger är ett sammanfattande namn på flera grupper av en – eller fler celliga organismer som kan fotosyntetisera och som lever i fuktiga miljöer. Algen är en så kallad bålväxt, det vill säga växtkroppen är ej uppdelad i rot och skott. Enbart av grönalgen finns det ungefär 5000 arter i Sverige. Grönalgen är encelliga, kolonibildande eller flercelliga och lever ofta som

fastsittande vid ett underlag. Cellväggarna är luddiga i sin struktur vilket gör att underlag ansatta av grönalger blir mycket hala, se Figur 2.4.



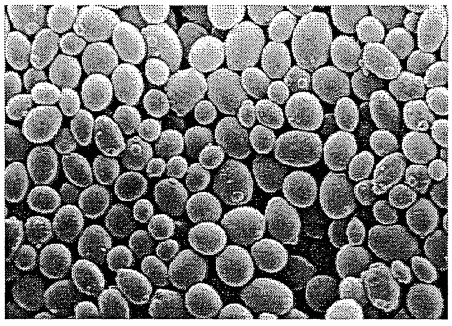
Figur 2.4: Algväxt på fasad som är utsatt för mycket hög fuktbelasning vid läckande stuprör, samt mikroskopbild på algceller.

Huruvida alger kan leva längre perioder på fasadytor som ej är indirekt eller direkt exponerade för havs- eller sötvatten är ej utredd i denna undersökning. Algväxter förekommer emellertid på fuktiga klippor och i fuktig jord, vilka förhållanden inte helt skiljer sig från vissa för väder utsatta fasader.

2.5 Jästsvamp

Jästsvampen är en encellig ofta äggformad sporsäckssvamp som inte bildar något egentligt mycel, se Figur 2.5. Beroende på art varierar längden på den encelliga svampen mellan ca 0.02 – 0.002 mm, emedan tjockleken varierar mellan ca 0.01 – 0.001 mm.

Vegetativ förökning sker med avknoppning, vanligen från ändan av cellen där det i samband med förökningen av modercellen bildas ett så kallat knoppärr. Dessa, i mikroskop synliga, knoppärr används ofta för att identifiera svampen. I vissa fall kan förökningen ske på ett sätt där cellerna ej helt separeras varvid hyfliknande trådar bildas, dessa går under namnet pseudohyfer.



Figur 2.5: Jästsvamp med dess karakteristiska äggformade celler. På bilden syns knoppärr på vissa av cellerna.

De flesta arter av jästsvampen utför endast cellandning som energiavgivande process och kan ej i allmänhet bryta ner socker. Merparten av jästsvamparna lever av dött organiskt material, det vill säga, de är saprofyter.

2.6 Bakterier

På samma sätt som mögelsvamp, lavor och jästsvamp i olika grad medverkar i nedbrytning av material i ett kretslopp, verkar bakterierna. Tillsammans med de mikroskopiska mögelsvamparna är jordbakterierna de viktigaste organismerna när det gäller nedbrytning av biologiskt material. De så kallade heterotrofa bakterierna behöver organiska ämnen för att växa och är således antingen parasiter eller saprofyter. Vissa typer av bakterier lever även i symbios med växters rötter.

Analyser av påväxta putsytor uppvisade förekomst av bakterier på ett fåtal av provytorna. Det intressanta i sammanhanget är dock om bakterieförekomsten kan ge relevant information avseende egenskaper hos de missfärgningsbenägna svamparna och lavorna samt på näringstillgången i ytskiktet. Inget tyder dock på att bakterier på fasad ytan skulle samexistera med svamppåväxten eller på något annat sätt vara en förutsättning för missfärgningar av ytor.

Utvärderingar av vissa undersökningar pekar på att det ej går att utesluta att bakterier kan förorsaka förändringar i färgnyanser på fasader. Man bör således ej dra slutsatsen att alla missfärgningar beror på mögelsvamp eller alger.

2.7 Mossor

På yttre byggnadsdelar förekommer mossor företrädelsevis på tak där de kan utgöra problem för byggnadens funktion på lång sikt.

Mossor utgör ett utveklingsstadium mellan vissa grönalger (bland annat kransalger) och ormbunksväxterna. Det finns ca 1000 arter i Sverige. Den största delen av mossorna är landlevande och karakteriseras av dess allmänna ringa storlek. Mossornas byggnad är förhållandevis enkel och okomplicerad jämfört med högre växters. Mossor består av stam med blad, mer sällan av en bål.

Mossorna delas in i blad- och levermossor. Bladmossorna skiljer sig från levermossor på att bladen alltid är oflikade. Bladmossorna indelas vidare i akrokarper som bildar tuvliknande formationer och pleurokarper som bilder mer mattliknande formationer. Akrokarper har alltid honorganen i stamspetsen, medan pleurokarper har dem på en kort sidogren ett stycke nedanför själva stammen.

Både sexuell och asexuell fortplantning förekommer hos mossor. Den sexuella fortplantningen sker genom att stam och blad (gamofyten) bildar skott med samlingar av antingen hanorgan (anteridier) eller honorgan (arkegon), eller båda. Efter det att de mycket små hanorganen (spermatozoiderna) befruktat arkegonet växer en så kallad sporofyt ut ur arkegonet. Dessa sporofyt kan sprida sina sporer med hjälp av flimmerhårsliknande tandkransar (peristom) till närbelägna platser där en liten fingerliknande förgroddsformation bildas ur sporen som kallas protonema. Protoneman växer sedan till sig och bildar ny gamofyt. Mossorna fortplantar sig, liksom lavar, svampar och alger, med sporer (eller konidier) ej med frön. Till skillnad från vissa typer av svampar, är sporer som gror från mossor relativt kortlivade, vilket gör att spridnings förhållandena är mycket beroende på ett fuktigt och näringsrikt klimat.

Den asexuella spridningen av mossor är mycket vanlig. Speciella vegetativa groddkroppar förekommer både hos blad- och levermossor.

Mossor kan delas in i grupper med avseende på vilket krav de har på kalktillgång eller pH-värde. Dessa grupper kallas kalkkrävande (basicola), kalkgynnade (subneutrofila), kalkskyende (acidofila) samt indifferenta. Till den indifferenta gruppen hör mossor som växer lika bra i sura och basiska miljöer.

Den så kallade takmossan (*Torula ruralis*) förekommer som namnet antyder ofta på takpannor men även på kalkstensmurar och vid sandstränder. Takmossan är kalkgynnad och förekommer i stora delar av norden. Sporhusen är långa, smala och upprätta och har ett korkskruvsliknande peristom.

2.8 Kolonisationsordning hos mögelsvampar

Ett visst mönster avseende ordningsföljden av olika typer av mikroskopiskt mögel som angriper en yta kan identifieras. De typer av mögel som vanligtvis först invaderar en yta (primära kolonisatörer) är olika arter av *Penicillum* (penselmögel) samt *Aspergillus vericolor* (borstmögel, sotdagg). Vanligt förekommande sekundära kolonisatörer är olika arter av Cladosporium, till exempel *Cladosporium herbarum*, *Cladosporium cladosporioides*. Den tertiära kolonisationsfasen domineras av *Fusarium moniliforme* (slemmögel) och *Stachybotrys chartarum*.

Vetskapen om riktlinjer för kolonisationsordningen kan underlätta skadefallsutredningar rörande mögelskador på byggnadsmaterial. Skadefallsrapporter rörande angrepp av *Stachybotrys chartarum* är vanlig på olika byggnadsmaterial, vilket indikerar att skadan är långt gången enligt den skisserade kolonisationsordningen ovan.

Tabell 2.1: Ordningsföljd av mögelpåväxt på väggytor samt olika mögelsvampars minimala krav på relativ fuktighet, vid 25 grader Celsius, för att kunna växa.

Mögel	*Malt extrakt i agar*	*Tapet med cellulosa fibrer*
Primära kolonisatörer		
Penicillium spp.	0.79	0.84-0.89
Aspergillus vericolor	0.79	0.84
Sekundära kolonisatörer		
Cladosporium spp.	0.84	0.98 - 1.00
Tertiära kolonisatörer		
Fusarium moniliforme	0.89	-

Från Tabell 2.1 kan uttydas en klar tendens att de primära kolonisatörerna *Penicillium spp.* och *Aspergillus vericolor* kräver lägst relativ fuktighet för att kunna växa samt att den tertiära kolonisatören *Fusarium moniliforme* kräver högst relativ fuktighet av de tre grupperna.

Från vissa av fasadproverna som analyserats i denna rapport hittades både mögelsvampen *Penicillium spp.* (primär kolonisatör) och *Cladosporium spp.* (sekundär kolonisatör) vilket tyder på att initieringen av påväxten av *Penicillium spp.* kan ha skett vid en relativt låg fuktighet samt att svamptillväxtprocessen har pågått under en längre tid, det vill säga den har kommit in i andra koloniseringsstadiet.

I den naturliga nedbrytningen av till exempel löv samarbetar de olika svamparna i de olika kolonisationsstadierna. Man kan säga att de drar nytta av varandras nedbrytningsprocesser. Huruvida mögelsvampar kan samarbeta för att underlätta varandras levnadsvillkor när de huserar på underlag med relativt liten näringstillgång, som till exempel på målad puts, är ej utrett.

3 Vanliga mögelsvampar på fasader

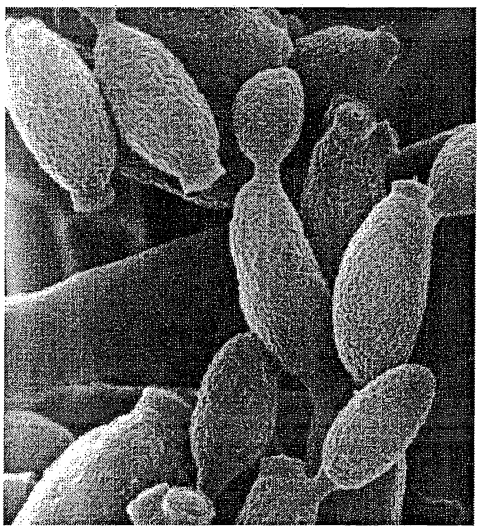
3.1 Cladosporium spp.

Vid kemiska och mikroskopiska undersökningar utförda av AIMEX AB visade det sig att mögelsvampen *Cladosporium spp.*, se Figur 3.1, var den klart övervägande upptäckta mikroskopiska svampen på de studerade putsproverna. Av denna anledning beskrivs olika egenskaper hos *Cladosporium herbarum,* som är en av de mest vanliga typen av ca 30 arter inom släktet, något mer detaljerat.

Kolonier av *Cladosporium herbarum* växer upptill 3-4 cm i diameter när de odlas i en maltlösning med agar (MEA-odling, Malt Extract Agar) på 10 dygn vid 20 grader Celsius, vilket gör att de relativt snabbt kan analyseras. Kolonierna är mörkt olivbruntfärgade. Konidiesporerna är typiskt citron- eller torpedformade med mörkbrunt pigment. Storleken på de citronformade konidiesporerna är typiskt ca 4 µm, emedan de torpedformade varierar i storlekar, med de typiska dimensionerna, 3 – 25 µm.

Cladosporium herbarum är den mest vanliga arten i släktet när det gäller förekomsten av konidiesporer i uteluften. Den torra fragila konidiesporen eller konidiesporkedjan blir lätt luftburen och kan transporteras mycket långa sträckor.

Den optimala temperaturen för tillväxt ligger omkring 18 – 28 Celsius grader, tillväxt är dock möjlig vid så låga temperaturer som –6 Celsius grader, vilket gör att artens tillväxtbetingelser på fasadytor, vad avser temperaturen, borde vara idealiska.



Figur 3.1: Konidier från mögelsvamp tillhörande släktet Cladosporium spp. Konidiebärarna kan skönjas som långa rör i bakgrunden på bilden.

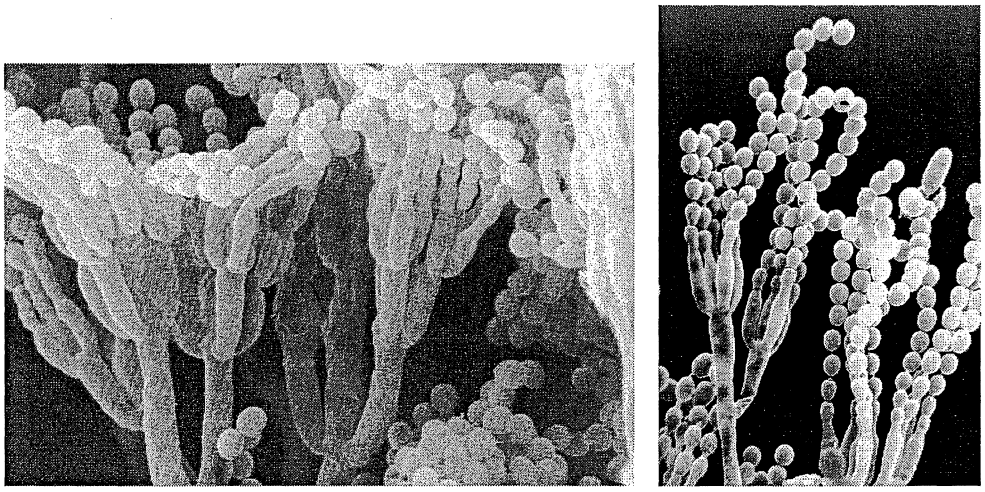
Mätningar som gjorts årligen i den västra hemisfären visar att cladosporiumsporer dominerar sporinnehållet i luften under sensommar och höst. Antal sporpartiklar kan uppgå till ca 50 000 per kubikmeter luft under dessa säsonger. Hälften av svampsporer detekterade i luften i skogsområden är konidier från arten *Cladosporium herbarum.*

Cladosporium är nära sammanknippad med växtrester och växtpollen då dess enzymer är speciellt lämpade för nedbrytning av cellulosa, pectin och lignin.

3.2 Penicillium spp.

En uppsätning fasadputs prover uppvisade förekomst av *Penicillium spp.* Dessa prover visade dock störst förekomst av påväxt av *Cladosporium spp.* Jästsvamp fanns även på proverna där *Penicillium spp.* hittades.
Inom släket *Penicillium* finns det ett stort antal arter. Några av dessa gör skada på byggnadsmaterial. *Penicillium chrysogenum*, se Figur 3.2, upphittas ofta i mögelhus där den växer på tapeter eller i tapetklisterskiktet och i färg. Sporer är vanligt förekommande i inomhusluft och i damm. Optimala temperaturen för tillväxt ligger på 23 grader Celsius men den kan frodas mellan 5 – 37 grader Celsius. Storleken på de ellipsoidformade konidierna är ca 4 µm och de växer i stora klungor.

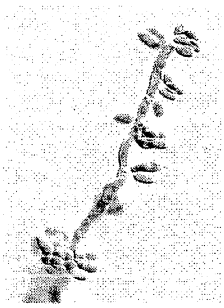
Arten *Penicillium aurantiogriseum* är spridd över hela världen och är vanligt förekommande i säd och som spor-partiklar i luften. *Penicillium aurantiogriseum* är vanlig förekommande i material under nedbrytning. Mögelsvampen avger en jordliknande lukt under nedbrytningsprocessen. Tillväxt kan ske mellan 0 till 33 grader Celsius och optimum ligger på ca. 25 Celsius grader. Konidierna är ca 3 µm i storlek och är något ellipsformade. Konidierna växer på långa konidiebärare i mindre klungor.



Figur 3.2: Konider som bildar klasar sittande på långa konidiebärare. Vänster bild visar svampen Penicillium chrysogenum och högra bilden visar svampen Penicillium roqueforti.

3.3 Aureobasidium spp.

Mögelsvampsarten *Aureobasidium pulluans* är en saprofyt som ofta huserar på åldrande höstlöv, se Figur 3.3. Sporer från *Aureobasidium pulluans* fastnar på löv sommartid utan att attackera lövets celler. På hösten startar mögelsvampen produktion av ett enzym (pektinas) som till viss del bryter ner pektinet i lövets cellväggar. Denna initiala nedbrytning underlättar vidare dekomposition utförd av andra typer av mögelsvampar som, till exempel *Cladesporium herbarum*, som fungerar som en, så kallad, sekundär kolonisatör.



Figur 3.3: Mikroskopbild på mögelsvampen Aureobasidium pulluans. De ovalformade konidierna hålls uppe av konidiebäraren.

Aureobasidium pulluans angrepp är vanliga på fuktiga byggnadsmaterial både inom- och utomhus. Vanliga angreppsplatser är våta utrymmen såsom badrum och kök där silikon-kitt är speciellt känsligt. Mögelsvampen har förmågan att husera på trämaterial samt att tränga igenom färgskikt, vilket resulterar i väl synliga små svarta prickar. Svampen är även resistent mot många typer av fungicider som används i färger.

Tillväxttemperaturen varierar mellan 2 – 25 grader Celsius, emedan optimal temperatur ligger på ca 25 grader.

Kollonier odlade i MEA vid 25 grader Celsius utvecklas till en diameter av ca 6 cm på 7 dygn. Konidien är äggformad med en dimension av ca 5 – 7 µm, men kan även bilda sekundära konidier som är mindre till storleken. Med tiden blir pigmenteringen orsakad av fortgående melaninproduktion allt tydligare på svampens mycel.

4 Mögelsvamp och dess näringsbehov

Reproduktionen av celler kräver reaktioner i två steg. Det första steget består av enkla reaktioner med små organiska molekyler (aminosyror, socker, vitaminer). Det efterföljande steget består av uppsamlingsreaktioner varvid molekyler bildar assemblerade makromolekyler (polymerisation). Båda reaktionsstegen är katalyserade av vissa enzymer och styrs av DNA-sammansättningen. Troligen ger genetisk information kunskap om näringskraven för tillväxt.

Mögelsvampar har förmågan att syntetisera cellmaterial med organiska material som kolkälla (heterotrofi). Kol är det väsenligaste ämnet i alla organiska material och utgör den största viktandelen i en torkad svampcell. Närvaron av användbara näringskällor bestående av kolrika material kommer därför i hög grad bestämma möjligheten för att svampen skall kunna växa på ett underlag. På grund av frånvaron av klorofyll är fotosyntes utesluten, vilket gör att svampen måste leva som saprofyt eller parasit.

Svamp uppvisar en stor tolerans vad avser olika typer av organiska näringskällor. Som exempel kan nämnas att arter tillhörande *Penicillum spp.* kan utsöndra enzymer som möjliggör metabolism med nästan alla näringskällor innehållande kol. Mögelsvamp hämtar vanligen sin näring från kolhydrater, särskilt glykos, och vissa svampar kan utnyttja alkoholer och organiska syror som näring. Kol kan även utnyttjas från källor som till exempel proteiner och fett.

Kväve är den andra viktiga näringskomponenten. De flesta typer av svampar kan utnyttja kväve som finns i olika ammonium- och kväveföreningar. Alla element i svampcellen med mindre förekomst än kol och kväve, som till exempel fosfor och sulfat kan tillgodoses från oorganiska salter. Vissa näringselement förekommer i extremt låga halter (spårämnen, som till exempel koppar, zink och magnesium) och kan i de allra flesta fall tillgodoses från restprodukter från andra närvarande komponenter. De flesta svampar kan syntetisera alla nödvändiga vitaminer.

Undersökningar rörande alkalitetens inverkan på metabolismen hos svampar pekar på att de flesta arter föredrar ett pH-neutralt klimat. Gränserna för inom vilken tillväxt är möjlig anses ligga mellan omkring pH 2.2 till 9.6. Svampen *Penicillum variabile* uppvisar emellertid minimala och maximala förhållande för tillväxt på pH 1.6, respektive pH 11.1.

De flesta svampar kan ej gro utan tillgång till syre. Ofta krävs det dock en mycket blygsam mängd syre för att tillväxt skall kunna ske. Det är en vanlig ståndpunkt att mögelsvampar företrädelsevis växer på yttre ytor på grund av dess syrebehov.

Den huvudsakliga näringsbehovet för mögelsvampen kan antingen förses av växtunderlaget eller genom att smuts och damm eller andra partiklar innehållande betydande koncentrationer av kol och kväve, från externa källor, fastnar på underlaget.

4.1 Växtunderlagets inverkan på tillväxt

I tabell 4.1 redovisas olika minimala relativa fuktigheter för groddning av olika mögelsvampar på målad och omålad tapet. Av speciellt intresse i denna undersökning är att ytorna även försågs med en kolbaserad näringskälla (NaCM). Denna näringskälla skall simulera de typiskt förekommande partiklarna på ytan, som till exempel damm och smuts.

Effekten på skillnaden i minimala relativa fuktigheten för groddning på en emulsionsfärg (på en cellulosa tapet) och obehandlad cellulosa tapet är störst för *Cladosporium cladosporioides* vid 12 °C (0.98 respektive 0.91, se Tabell 4.1). Samma jämförelse vid 25 °C ger att *Penicillium chrysogenum* erhåller störst skillnad i minimala relativa fuktigheter för

groddning på de olika underlagen (0.97 respektive 0.89, se Tabell 4.1). Den generella observationen är att den målade tapeten har betydligt lättare att bli ansatt av mögelpåväxt då det krävs betydligt lägre relativa fuktigheter för att groddning skall ske jämfört med en tapet utan färg vid både 12 °C och 25 °C.

Ungefär hälften av de studerade mögelsvamparna växer lättare på en emulsionsfärg när det samtidigt finns en kolbaserad näringskälla närvarande. Störst skillnad observerades för *Cladosporium sphaerospermum*, vid 12 °C, där relativa fuktigheten 0.96 krävdes för groddning på målad tapet emedan det endast krävdes 0.87 när även näringsämnet var närvarande på ytan. Vid 25 °C var dock denna skillnad mindre för *Cladosporium sphaerospermum* (0.93 respektive 0.89). Det är intressant att observera att tillsatsen av näringsämne till ytan inte har lika stor effekt på sänkningen i relativ fuktighet för groddning när man har tillskott på en omålad tapet jämfört med när man har tillskott av näring på en emulsionsfärgsmålad tapet.

Alla studerade mögelsvampar, som är representerade i Tabell 4.1, gror på de tapeter som är målade med ett varierande värde på minimal relativ fuktighet för groddning. Två av de studerade mögelsvamparna, *Cladosporium sphaerospermum* och *Stachybotrys atra* växte dock över huvudtaget inte på cellulosa tapeten vid 12 °C, vilket är markerat med (----) i Tabell 4.1. Svampen *Stachybotrys atra* började endast växa på cellulosa tapeten vid 25 °C när även den kolbaserade näringskällan var närvarande. Det krävdes i detta fall att den relativa fuktigheten översteg 0.98, se Tabell 4.1.

Tabell 4.1: Minimala relativa fuktigheter, vid 12 °C och 25 °C, för groddning av mögelsvamp på cellulosa tapet samt cellulosa tapet målad med emulsionsfärg. Effekt av näringstillskott (NaCM) på underlaget är även studerad. Värden gällande för cellulosa tapet utan färgskikt är angiven utan parenteser. I fall där inget värde anges kunde ingen påväxt registreras.

	Obehandlad 12 °C		*+NaCM 12 °C*		*Obehandlad 25 °C*		*+NaCMC 25 °C*	
Mögelsvamp	*Målad tapet*	*Tapet*	*Målad tapet*	*Tapet*	*Målad tapet*	*Tapet*	*Målad tapet*	*Tapet*
A. versicolor	0.87	(0.91)	0.83	(0.91)	0.79	(0.84)	0.79	(0.84)
C. cladosporioides	0.91	(0.98)	0.91	(0.96)	0.93	(0.98)	0.93	(0.97)
C. sphaerospermum	0.96	(------)	0.87	(0.96)	0.93	(1.00)	0.89	(0.97)
P. brevicompactum	0.87	(0.91)	0.83	(0.91)	0.84	(0.89)	0.79	(0.84)
P. chrysogenum	0.87	(0.87)	0.83	(0.87)	0.84	(0.84)	0.79	(0.84)
P. spinulosum	0.83	(0.87)	0.83	(0.87)	0.89	(0.97)	0.89	(0.93)
St. atra	0.96	(------)	0.96	(------)	0.98	(------)	0.97	(0.98)
U. consortiale	0.96	(0.98)	0.91	(0.96)	0.93	(0.97)	0.93	(0.97)

I Tabell 4.2 illustreras effekten av groddning av tre olika Cladosporiumsvampar på olika typer av underlag vid 20 °C. Det kan observeras att *Cladosporium sphaerospermum* har en tendens att gro vid lägre relativa fuktigheter på samtliga underlag än jämfört med svamparna *Cladosporium cladosporioides och Cladosporium herbarum*. Det är även ett tydligt resultat att de tre Cladosporiumsvamparna har en större tendens att växa vid lägre relativa fuktigheter på emulsionsfärg när underlaget är puts jämfört med när underlaget är tapet. Detta kan bero på att putsens relativt sätt höga alkalitet kan vara gynnsam för tillväxt. Det borde dock vara färgens sammansättning som ändras något beroende på vilket underlag som används då det är rimligt att anta att mögelsvamparna lever på färgens ytskikt och ej har benägenhet att växa in i underlaget.

Växtunderlagets förmåga att buffra fukt borde inverka kraftigt på växtmöjligheterna för mögelsvampar. Med andra ord är det inte nödvändigtvis den omgivande relativa fuktigheten som styr tillväxtmöjligheten för svampen utan kanske snarare vilken mängd vatten som kan buffras i underlagsmaterialet vid olika luftfuktigheter. Med anledning av detta kan det vara av intresse att ta fram sorptionskurvor för olika typer av material.

Tabell 4.2: Minimala relativa fuktigheter för groddning av Cladosporium på olika underlag vid 20 grader Celsius.

Underlag	*C. cladosporioides*	*C. herbarum*	*C. sphaerospermum*
2% Malt extrakt i agar	0.85	0.85	0.81
Tapet med cellulosa fibrer	0.97	0.97	0.90
Mönstrad tapet	0.93	0.97	0.90
Emulsionsfärg på tapet	0.97	1.00	0.97
Emulsionsfärg på puts	0.93	0.90	0.90
Linoljefärg på glas	1.00	0.97	0.93
Vinyltapet	0.97	0.97	0.90

4.2 Betydelsen av färg- och fasadmaterialets sammansättning

I förlängningen av detta projekt är det mycket viktigt att undersöka huruvida ändringar i främst tillsatsmedel i putsfärg har skett de senaste åren. Olika sammansättningar hos ytmaterialet samt effekten av att tillsätta näring till ytan för mögelsvampstillväxt är redovisade i Tabell 4.1 och 4.2. Denna undersökning inkluderar dock endast en typ av emulsionsfärg (på puts) och säger följaktligen inget om inverkan av sammansättningen hos färger på benägenheten för groddning av mögelsvamp.

En intressant parallellstudie avseende fasadfärgens sammansättning och dess eventuella betydelse för missfärgningsproblematiken vore att även inkludera en mindre mängd existerande objekt bestående av målade träfasader. Av speciellt intresse vore att studera biologisk tillväxt på nya typer av linoljefärg som idag saluförs utan de traditionella tillsatsmedlena för att bekämpa biologiska angrepp. En parallellstudie av detta slag kan eventuellt ge viktiga indikationer om vilka fenomen som skall studeras närmare samt ge vid handen vad som ej är av väsentlig betydelse.

4.3 Allmänt om fungicider i färg

En fungicid är benämningen på ett svampdödande medel. Man skiljer på medel med så kallad fungistatisk effekt och fungicida preparat. Ett medel sägs ha fungistatisk effekt om det endast hindrar tillväxt av svampen då preparatet är i kontakt med svampen, emedan fungicida medel har en dödande effekt på svampen genom kortvarig kontakt med den samma. Ofta är gränsen mellan fungicida och fungistatiska preparat oklar. Ofta ger höga koncentrationer av den aktiva substansen i medlet en större svampdödande förmåga.

I dagsläget är det IPBC (3 – jod – 2 – proponylbutylkarbamate) som är det vanligaste mögelskyddet i vattenburna färger och tolyfluanid dominerar som mögelskydd i lösningsmedelsburna färger. Användningen av dessa fungicider började i mitten av åttiotalet då de ersatte cancerogena preparat som till exempel folpet (lösningsburna färger) och karbendazim (vattenburna färger). Användandet av de mycket effektiva mögelskyddspreparaten pentaklorfenol samt olika typer av kvicksilverföreningar i färg upphörde på sjuttiotalet på grund av att de är mycket svårnedbrytbara.

Fungicider sorterar under benämningen biocider där även bekämpningsmedel mot microbiell aktivitet (bakteriocider) och mot algväxt (algicider) ingår. Algicider används bland annat i vattenbassänger men även på algpåväxta fasader. Agiciderna innehåller olika typer av koppar och ammoniumföreningar.

5 Yttre klimatförhållanden och dess betydelse för biologisk tillväxt på fasader

Missfärgning av fasader kan antagas orsakas av externa källor såsom till exempel tillgången av svampsporer i utomhusluftens mikroklimat i fasadens omedelbara omgivning. Förekomsten av svampsporer i luften är främst avhängig omgivningens beskaffenhet vad det gäller olika typer av växtlighet. Lövträd och friväxande grönområden i generell bemärkelse anses som effektiva källor för generering av svampsporer av typen *Cladiosporium spp*. För en effektiv spridning krävs ett relativt torrt klimat kombinerad med vindens krafter.

Det är rimligt att anta att förekomsten av svampsporer i luften varierar kraftigt från ett geografiskt område till ett annat. Det är därför av intresse att försöka utröna om det kan finnas någon gemensam nämnare vad det gället förekomsten av svampsporskällor i olika områdens omgivning där skador har uppmärksammats. Säsongsvariationer av förekomsten av sporer i luften är även av stort intresse i detta sammanhang.

Klimatförhållandet på putsytan är av central betydelse för hur stor benägenheten för att de luftburna sporerna skall fastna på ytan. En yta som mycket sällan blir torr, till exempel orsakad av att fukt tillåts buffras i puts och underliggande isolering, borde utgöra gynnsamma förhållanden för att luftburna partiklar skall ansluta sig till ytan. Det vill säga, det yttre klimat av betydelse för påväxt av mikroorganismer på fasader ges inte endast av förekomsten av svampsporer i luften utan även av luftens relativa fuktighet, regn och temperatur.

Det är emellertid rimligt att anta att alla fasadytor utsätts för exponering av svampsporer i mer eller mindre utsträckning. Det är därför av central betydelse att undersöka putsfärgens egenskaper med avseende på hur den kan motstå att svampen tar fäste och huruvida färgens ingående komponenter kan motverka svampens tillväxtegenskaper.

Det anses som väsentligt i detta samanhang att utreda huruvida ett extremt klimat kan påverka mögeltillväxt på fasader. Det går inte utesluta att de skadefall som har uppdagats de senaste åren, till stor del, kan ha varit orsakade av ett extremt fuktigt och varmt klimat som endast förekommer med mycket långa tidsintervall, till exempel med statistisk variation på hundra år.

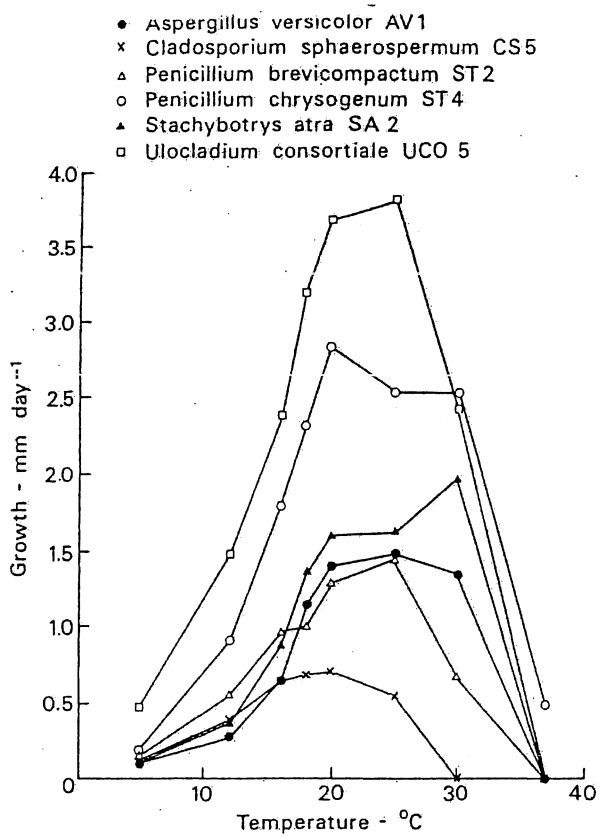
6 Fuktens och temperaturens betydelse för tillväxt av mögelsvamp

Groningsförhållandena för de flesta mögelsvampar är optimal mellan 80 – 100 % relativ fuktighet. Konidier från främst *Penicillium spp.* och *Asperillus spp.* kan emellertid överleva långa torra perioder utan att mista sin grobarhet. I Tabell 6.1 redovisas inkubationstider för mögelsvamp vid olika relativa fuktigheter samt gränsen i relativ fuktighet då ingen tillväxt sker. Mätningarna gäller mögelväxt på halm. Det kan observeras att inkubationstiden är kraftigt beroende av den relativa fuktigheten. Normala fuktighetsvariationer på en ytterväggsfasad ligger i områden där inkubationstiderna är relativt korta. För att helt undvika groning krävs relativa fuktigheter under ungefär 60%. Det är därför viktigt att försöka sträva emot att regnvatten snabbt rinner bort från fasaden samt att undvika allt för stor insugning av vatten i ytskiktet. Vidare är det av central betydelse att värmeförhållandena i väggen är sådana att en temporärt fuktad fasad yta ges möjlighet att torka ut så snabbt som möjligt, vilket kan försvåras i situationer när ytterytan står kall på grund av att mycket isolering i väggkonstruktionen används.

Tabell 6.1: Inkubationstid i dygn för observerad mögelförekomst i cellulosa (stråhalm)

RF (%)	100	90	85	80	77	74	72	70	67	64	60
Grov halm	2	4	8	12	55	68	155	166	867	x	x
Fin halm	4	4	8	17	41	44	83	131	761	867	x

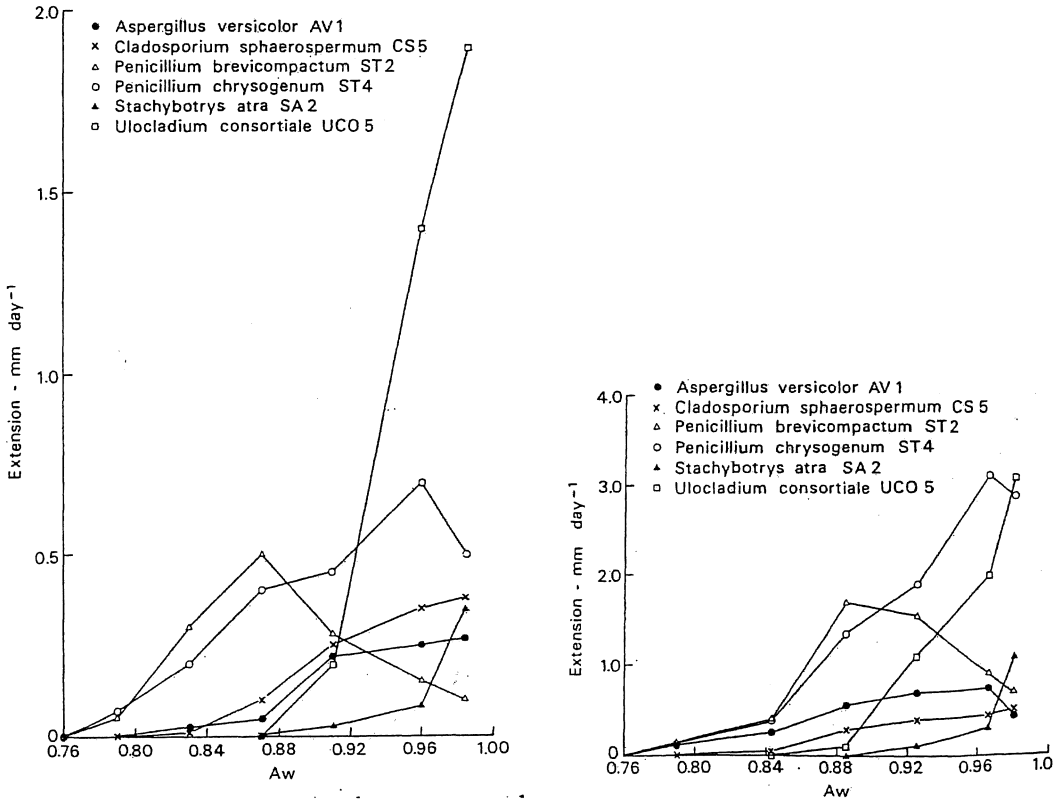
Den optimala temperaturen för tillväxt av olika mögelsvampar har studerats genom att mäta den radiella tillväxthastigheten i en 2% malt extrakt agar (MEA) miljö, se Figur 6.1. För de undersökta mögelsvamparn erhöll *Cladosporium sphaerospermum* den lägsta optimal tillväxthastigheten 0.7 mm/dygn vid 20 °C och den högsta optimal tillväxthastigheten, 3.8 mm/dygn vid 25 °C, erhölls för *Ulocladium consortiale*. Den optimala tillväxt temperaturen var lägst för *Penicillium chrysogenum* och *Cladosporium sphaerospermum*, vilka är de två typer av mögelsvamp släkten som har identifierats på de undersökta putade fasadytorna. Den optimala tillväxthastighetstemperaturen var 20 °C för dessa svampar emedan de andra undersökta mögelsvamparna erhöll temperaturvärden mellan 25 – 30 °C. Värt att notera är också att en signifikant tillväxt observerades även vid så låga temperaturer som 5 – 10 °C.



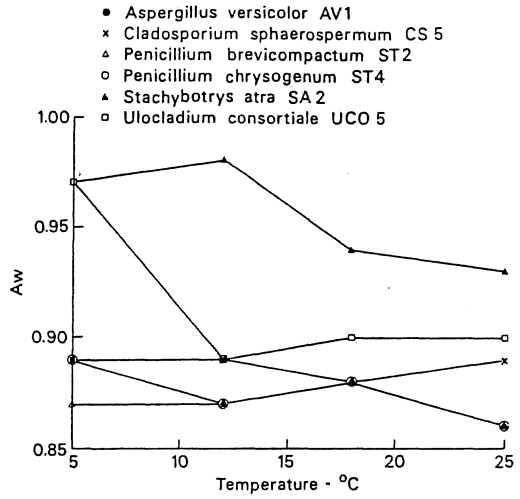
Figur 6.1: Effekten av temperaturen på den radiella tillväxthastigheten av olika mögelsvampar i 2% malt extrakt agar.

Groningshastighetens beroende av den relativa fuktigheten vid 12 °C respektive 25 °C är illustrerad i Figur 6.2. Försöken är utförda i en 2% malt extrakt agar. Den lägsta optimala relativa fuktigheten (Aw) vid 12 °C erhölls för *Penicillium brevicompactum* vilken växte snabbast vid 0.87% relativ fuktighet. De andra undersökta mögelsvamparna växte snabbast vid 98% och 12 °C med undantag för *Penicillium chrysogenum* som uppvisade ett optimum på 96% relativfuktighet vid 12 °C.

De optimala tillväxthastigheterna vid 25 °C och dess beroende på den relativa fuktigheten följer samma huvudsakliga beteende som vid 12 °C. Den markanta skillnaden ligger dock i att tillväxthastigheterna ökar markant när temperaturen höjs från 12 °C till 25 °C.



Figur 6.2: Effekten av den relativa fuktigheten på den radiella tillväxthastigheten av olika mögelsvampar i 2% malt extrakt agar. Den vänstra figuren gäller för mätningar utförda vid 12 °C och den högra figuren gäller för 25 °C.



Figur 6.3: Effekten av temperarturen på den minimala relativa fuktigheten för groddning på emulsionsfärgsmålad puts.

I Figur 6.3 visas effekten av temperarturen på den minimala relativa fuktigheten för groddning på emulsionsfärgsmålad puts. För mögelsvamparna *Stachybotrys atra* och *Ulocladium consortiale* uppmättes ett relativt sett stort beroende av temperaturen på de minimala relativa fuktigheterna för groddning emedan de andra undersökta mögelsvamparna erhöll relativa fuktigheter för groddning som var mindre känsliga för temperaturen och låg i intervall mellan 0.87 och 0.89.

7 Byggnadsteknik och dess relation till mögelpåväxt på fasader

7.1 Allmänt

I debatten om orsakerna till den mikrobiella påväxten har ett antal byggnadstekniska aspekter framförts. I några fall kan man spåra direkta partsinlagor. Företrädare för fasadsystem som tillåter regnvatten att absorberas menar att vattenavvisande system gynnar påväxt. Företrädare för vattenavvisande system hävdar motsatsen. Argumenten från de båda sidorna är mycket svävande.

För att ge visst underlag för den fortsatta debatten beskrivs i det följande några byggnadstekniska faktorer som kan påverka förhållandena med avseende på mikrobiell påväxt, både positivt och negativt. För närvarande är det inte möjligt att göra några välunderbyggda kvantifieringar eller verifieringar. De faktorer som beskrivs är sannolikt inte heltäckande. Det finns sannolikt även andra faktorer som har betydelse. Vidare ska beskrivningen inte uppfattas som ett slutligt ställningstagande för de olika faktorernas inverkan. Det är närmast fråga om ett försök att lista upp möjliga byggnadstekniska faktorer samt en beskrivning av hur dessa faktorer kan påverka situationen.

Ett djupare studium, i form av beräkningar och fältmätningar, sker lämpligen i ett nytt större projekt.

7.2 Näringsinnehåll i målade putsytskikt

Vissa typer av påväxt kräver ingen näring från underlaget. Andra typer av påväxt kräver tillgång till organisk substans. Flertalet av dagens moderna putser och ytskikt innehåller mer eller mindre organiska tillsatser. Som exempel kan nämnas luftporbildande medel, konsistensförbättrande tillsatser och plastdispersioner. Olika typer av putser och ytskikt har olika typ och mängd av tillsatser. Gemensamt är dock att det finns organiska tillsatser i nästan alla putser och ytskikt. Även om mängden i vissa fall är mycket liten så är det tillräckligt för att ge näring åt olika typer av påväxt.

Möjligen kan hävdas att "traditionell kalkputs med kalkavfärgning" inte innehåller några organiska tillsatser. Huruvida påväxt skulle ske även på denna ytputs är obekant.

Materialfabrikanternas information om olika tillsatser är mycket bristfällig. I bästa fall uppges att tillsatser förekommer. En skärpning i detta avseende måste eftersträvas. Användarna av produkterna torde ha stor möjligheter i detta avseende.

Eftersom tillverkarna inte vill uppge vilka tillsatser som utnyttjas planeras i fortsatt projekt att i detalj analysera vilka tillsatser som används i olika kommersiella produkter.

7.3 Fungicider i ytskikt på målad puts

För att undvika, eller minska, mikrobiell påväxt tillsätts normalt olika typer av gifter (fungicider, biocider etc) i ytskiktet. Tidigare användes till exempel kvicksilver, vilket sedan lång tid är förbjudet. Dagens preparat är väsentligt mindre giftiga och miljöfarliga. En konsekvens av detta är även att de är mindre effektiva.

Även om man använder fungicider måste man vara medveten om att dessa urlakas från fasadytskiktet efter en tid. En förutsättning för att de ska vara verksamma är att de är vattenlösliga.. I och med att de är vattenlösliga kommer de att lakas ur och efterhand försvinna. Att försöka eliminera mikrobiell påväxt på lång sikt med vattenlösliga fungicider förefaller meningslöst. Möjligen kan man tänka sig ett preparat som är 'obetydligt' men ändå tillräckligt vattenlösligt. Även om det finns ett sådant preparat måste självklart miljöaspekterna beaktas.

Teoretiskt kan man dock tänka sig att ytskikt är mer känsliga för biologisk påväxt den första tiden efter appliceringen, innan de har härdat. Organiska ytskikt förändrar sina egenskaper relativt kraftigt de första åren. Under denna tid kan fungicider mycket väl vara effektiva. Åldrade ytskikt kanske har bättre motståndsförmåga mot påväxt och därmed inte kräva några fungicider för att motstå biologisk påväxt. Detta kan ha stor betydelse och måste utredas.

Liksom i fallet med organiska tillsatser är tillverkarnas uppgifter bristfälliga. Användarna bör kräva mer detaljerade uppgifter.

7.4 Porstrukturen hos puts och ytskikt

Porstrukturen påverkar främst fuktförhållandena, både fuktupptagning och uttorkning. Ett finporöst material absorberar fukt långsamt men behåller även fukten under lång tid. Vidare kan ett finporöst material absorbera avsevärda mängder fukt från luften när luftfuktigheten är hög.

Ett grovporöst material suger snabbt upp vatten i samband med regn. Å andra sida absorberar ett grovporöst material obetydlig mängd fukt från luften vi hög luftfuktighet.

Spontant förefaller det som ett finporöst material borde vara mer känsligt för påväxt än ett grovporöst med avseende på gynnsamma fukttillstånd. Detta är dock på intet sätt verifierat.

7.5 Ytstrukturen hos ytskiktet

Ytstrukturen hos ytskiktet har främst betydelse för hur lätt luftburna sporer och föroreningar fastnar på ytan. Spontant förefaller en grov ytstruktur innebära bättre förutsättningar för att luftburna partiklar fastnar på ytan. På en helt slät ytan kan däremot partiklar lätt tvättas bort i samband med regn. I ett skadefall som redovisas senare i rapporten (Grubben) förekommer dock kraftig påväxt på en relativt slät yta. Ytstrukturens betydelse måste alltså anses vara oklar.

I detta sammanhang har även ytskiktets porstruktur betydelse. En finporös yta kan absorbera fukt från luften samt suga fram vatten från underlaget och därmed vara fuktig under en längre tid. Detta innebär att ytan under en längre tid kan absorbera partiklar.

Ytans elektrostatiska karaktär är även viktig att studera då denna egenskap hos ytan borde påverka möjligheten för att attrahera partiklar från omgivande luft.

7.6 Arkitektonisk och teknisk utformning av fasaden

Fasader utformade med dåliga avrinningsmöjligheter kommer alltid att öka möjligheterna för att svampväxtinitiering och spridning skall kunna ske. Av de aktuella studerade skadefallen är det främst objekten vid kvarteret Grubben i Stockholm som kan hänföras till en kategori där den arkitektoniska utformningen av fasaden kan påverka mögel påväxten. Den väsentliga skillnaden på dessa fasader, jämfört med de andra fasaderna studerade i detta arbete, är att

ytterväggarna har mycket färre släta ytor än de andra. Denna typ av fasadutformning försvårar snabb avrinning av regnvatten, se Figur 8.1. Typiska väsentliga faktorer som påverkar fuktbelastningen kan även vara till exempel, utformning på takfotsuthäng, avrinningslösningar vid fönster, dörrar och balkonger.

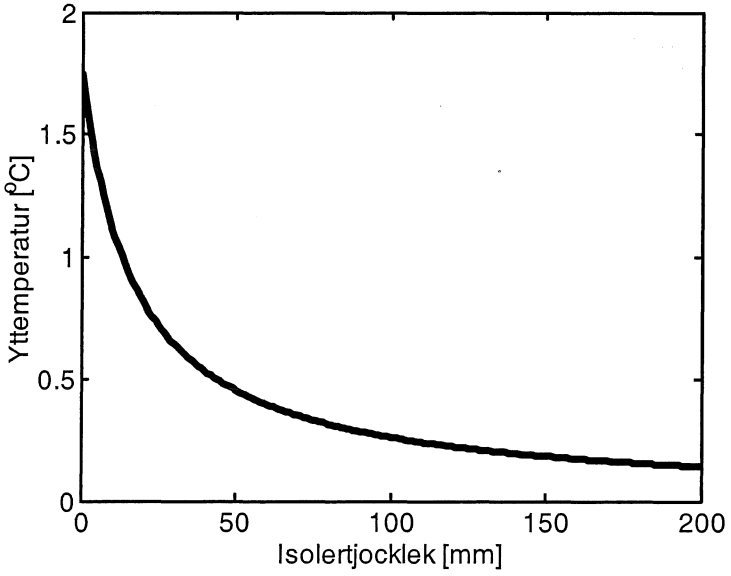
Det skall även noteras att en vanlig orsak till hög fuktbelastning är läckande hängrännor och stuprör

7.7 Byggnadsfysikaliska förhållanden

Den byggnadsfysikaliska utformningen av fasaden kan i huvudsak inverka på två sätt, nämligen genom att temperatur och fuktighet i ytan kan påverkas. Härvid måste betonas sambandet mellan temperatur och relativ fuktighet. Om man till exempel genom en viss konstruktion sänker yttemperaturen med 1 °C kommer den relativa fuktigheten att öka med cirka 5 % RF. Detta innebär att väggens värmeisolering har stor betydelse, både mängden isolering och placeringen av isoleringen. Vidare får det yttre fasadskiktets värmekapacitet stor betydelse. Totalt sett torde olika byggnadstekniska utformningar kunna medföra att den relativa fuktigheten på fasadytan i medeltal under en längre tid kan ändras med 10 % RF, möjligen ännu mer. Med hänsyn till vad som nämnts tidigare om olika mikroorganismers krav på fukt för att kunna växa är den byggnadsfysikaliska utformningen av stor betydelse.

7.7.1 Isolertjocklek

Isolertjockleken påverkar yttemperaturen på utsidan genom att ökad isolertjocklek medför att mindre värme går igenom väggen och därmed kommer yttemperaturen att sjunka. I Figur 7.1 redovisas yttemperaturen på utsidan av en 1-stens tegelvägg med olika mycket tilläggsisolering. I exemplet antas innetemperaturen till 22 °C och utetemperaturen till 0 °C.



Figur 7.1: Yttemperatur som funktion av isolertjocklek. Vid mindre isolertjocklekar varierar yttemperaturern kraftigt jämfört med större tjocklekar.

Observera att yttemperaturen påverkas mest i början, 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 procent.

Observera att ovanstående inverkan av isoleringen är oberoende av var isoleringen placeras. Inverkan vid stationära förhållanden är 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.

7.7.2 Värmekapacitet utan hänsyn till strålning

Värmekapaciteten påverkar temperaturen främst genom att alla temperaturförändringar fördröjs. 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 medför 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. I normala situationer torde inverka vara ganska liten. Enstaka överslagsberäkningar har visat att yttemperaturen på fasaden under natten kan bli en halv grad lägre i fallet med en tunnputs på isolering jämfört med en massiv tegelvägg. (Ytterligare och mer systematiska beräkningar och mätningar planeras i ett kommande projekt.)

Hur värmekapaciteten i väggen totalt inverkar på yttemperaturen 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. Även om inverkan är liten kan den tillsammans med andra inverkande faktorer ha stor betydelse.

7.7.3 Värmekapacitet och 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.

På natten, främst under klara nätter, sker en utstrålning från fasadytan till himlen. Detta medför att yttemperaturen blir lägre än den omgivande 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 uteluften. 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.

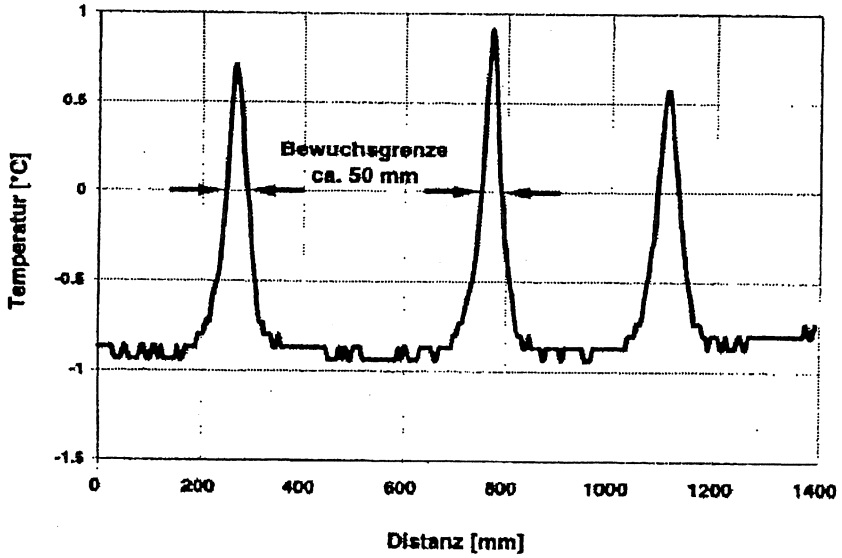
Under alla omständigheter kan konstateras att värmeutstrålningen hos en fasad med liten värmekapacitet medför en hög relativ fuktighet i ytan.

7.7.4 Kombinationen värmeisolering-värmekapacitet-strålning

Genom att kombinera inverkan av värmeisolering, värmekapacitet och strålning torde en relativt stor påverkan 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 ett kommande projekt planeras sådana mätningar och beräkningar.
I det följande redovisas enstaka exempel på den totala inverka 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 utvändig 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. Härvid 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 i övriga partier. Undersökningen indikerar att även små skillnader i yttemperatur kan ha stor betydelse. Ett exempel på resultat (temperatur och påväxt) redovisas i Figur 7.2.

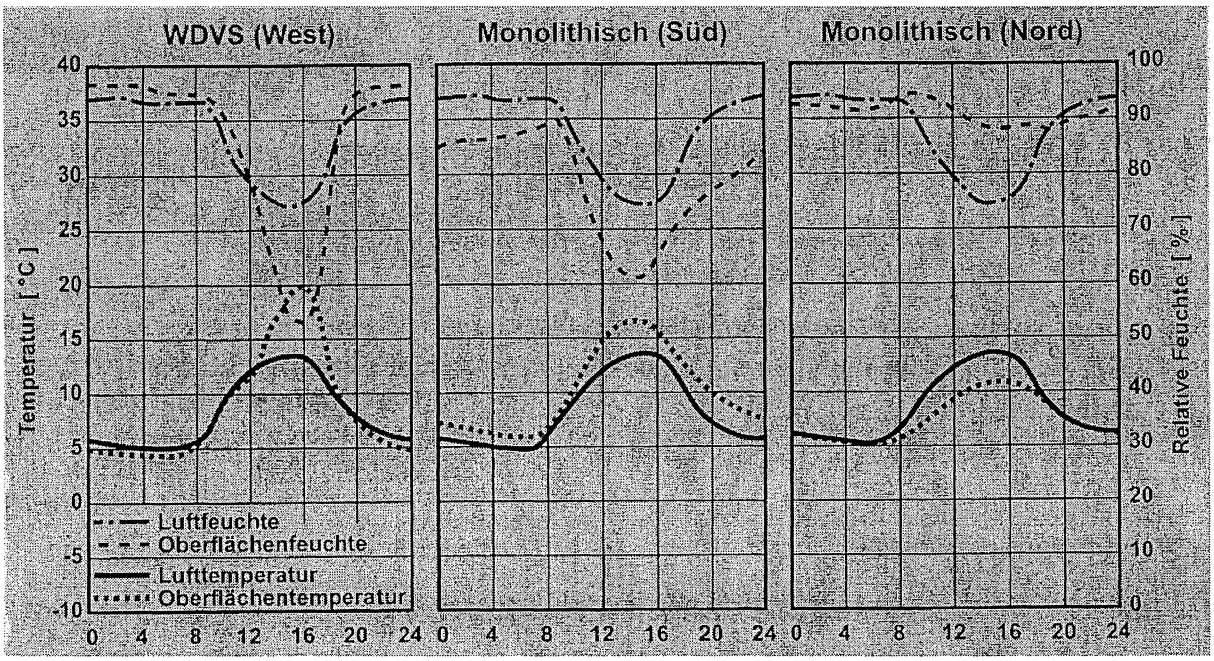


Figur 7.2: Temperatur och påväxt på fasad med puts på isolering. De markanta topparna i temperatur sammanhänger med kramlorna.

Förutom att yttemperaturen medför olika fuktighet i ytan kan lokalt olika yttemperaturer medföra olika förutsättningar för påväxt. Olika temperaturer kan skapa elektrostatiska krafter,

vilket medför att ytan attraherar partiklar olika starkt. Dessa partiklar kan till exempel vara luftföroreningar och svampsporer.

I IBP-Mitteilung 382 från Frauenhofer-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 7.3 .



Figur 7.3: Dygnsvariation i temperatur och relativ fuktighet i uteluft och vid väggytan. Luftfuktighet markerad med prick streckad linje och ytfuktighet med streckad linje. Lufttemperatur markerad med heldragen linje och yttemperatur med punkt-linje. Graf till vänster gäller för puts på isolering i västligt läge, de resterande två figurerna gäller för massiv väggkonstruktion i sydlig och nordligt läge.

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.

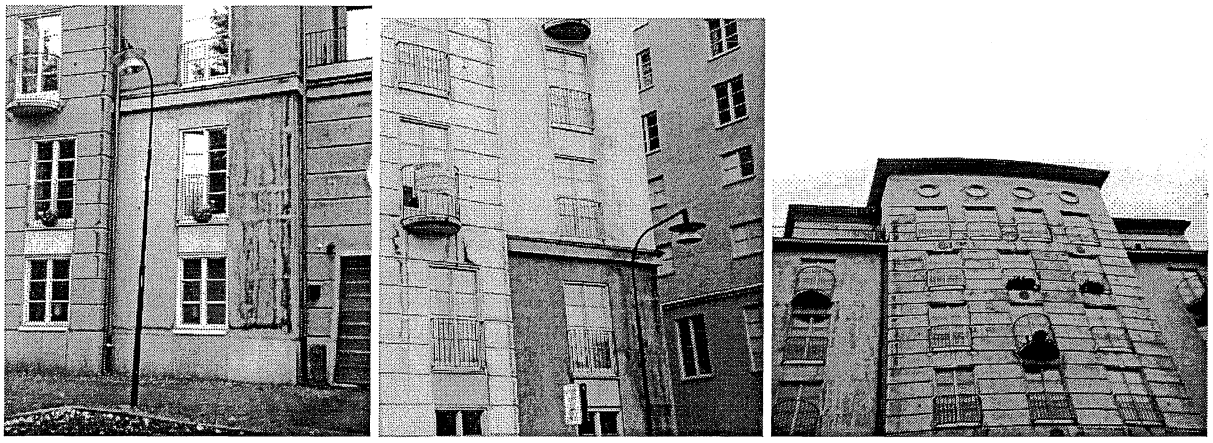
Slutsatsen av undersökningen blir att puts på isolering är mer känslig för mikrobiell påväxt än fasader med massiva murverk.

8 Bedömningar avseende tre skadefall i Stockholmsområdet

Tre besiktningar av missfärgade bostadshus har utförts i Stockholmsområdet. Det skall dock observeras att missfärgningsproblematiken av putsade fasader ej är ett fenomen som kan tillskrivas en viss region utan förekommer snarare vitt spritt över hela landet samt i övriga Europa.

8.1 Svarta missfärgningar på puts i kvarteret Grubben, Stockholm

Svarta oestetiska missfärgningar uppdagades tidigt efter färdigställande av de putsade fasaderna vid objekten i kvarteret Grubben i Stockholm, se Figur 8.1. Undersökning av uttagna prover från fasaderna visade att den huvudsakliga orsaken till missfärgningarna var att mögelsvampen *Cladesporium spp.* hade fått fäste på underlaget och spridit sig över stora ytor, se Tabell 8.1.



Figur 8.1: Missfärgningar på fasader i kvarteret Grubben i Stockholm. Efter mikrobiologisk odling av partiklarna på fasaderna visade det sig att missfärgningarna i huvudsak är orsakad av mögelsvampen Cladesporium spp.

Objekten vid kvarteret Grubben uppfördes ca. 1998 och putssystemet består av ett mineralullsunderlag där kalkcementputs har anbringats i två lager (grundputs och ytputs), mellan putsskikten anbringades ett plast-armeringsnät. Putsskiktets totala tjocklek är i storleksordningen 3-5 mm. Putsen är målad med en färg med för tillfället okänd sammansättning. Putsytans struktur kan karaktäriseras som slät.

Värt att anmärka är att fasaden, i dagens mått mätt, är utsirad i den bemärkelsen att färre större släta fasadytor förekommer. Detta torde bidraga till att en något större lokal fuktbelastning på fasaden förekommer, jämfört med de mer vanligt förekommande släta fasaderna.

Svarta missfärgningar, orsakade av mögelsvampen *Cladesporium spp*, gör sig mycket tydliga på objektets alla fasader i olika väderstreck där dock fasader utmed Barnhusviken tycktes vara värst angripna vilka vetter mot norr. De flesta, men dock ej alla, missfärgningar anses vara hårt kopplade till fuktförhållandena vid väggen. Typiska missfärgningar av detta slag syns tydligt i anslutning till avrinningsområden invid balkonger och fönster samt i

anslutning till socklar. Missfärgningsområdena var generellt sett större ytor där initieringsområdet samt spridningsområdet ofta kunde skönjas.

Tabell 8.1: Mikrobiologisk aktivitet på putsprover uttagna från fasader i kvarteret Grubben, Stockholm. Provenar är analyserade i ljusmikroskop med faskontrast i 200-1000 gångers förstoring.

Underlag	*Mikrobiologisk aktivitet*
Målad puts, 'till synes ren'	Sparsam förekomst av sporer och hyfer från pigmenterat mögel. Ingen synlig påväxt. Odling MEA: Mycket lite växt av *Cladosporium spp och Penicillium spp*
Målad puts, missfärgning 'slöja' (Kungsholms strand 101)	Måttlig påväxt av sporer och hyfer av mörkpigmenterad mögelsvamp. (Putsbiten är överdragen av ett grått 'dammlager') Odling MEA: *Cladosporium spp*, sterilt mögelmycel och jästsvamp.
Målad puts, missfärgning 'svårt angripen' (Kungsholms strand 103)	Mycket riklig påväxt av svart sotliknande lager som består av sporer från pigmenterad mögelsvamp. Odling MEA: *Cladosporium spp, Penicillium spp.* och jästsvamp

Andra material än puts, som finns på eller i anslutning till fasaden, är ej angripna. Det uppmärksammades till exempel att granitsockeln ej är missfärgad trots den stora fuktbelastningen på denna. Ett par av husknutarna var kraftigt missfärgade längsmed hela hushöjden. I anslutning till husknutarna upptäcktes även grön missfärgning, troligen orsakad av algtillväxt.

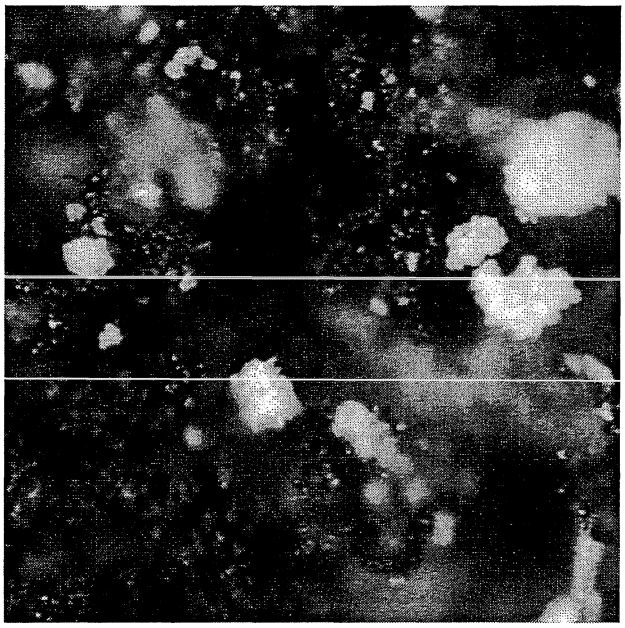
En kallmur i direkt anslutning till huvudobjektet, som konstaterades vara utförd med samma puts-system som den studerade fasaden, noterades ej vara angripen av varken grön eller svart missfärgning, vilket antyder att miljö förhållandet i termer av temperatur och relativ fuktighet har storbetydelse för initiering och tillväxt av mögelsvamp.

Putsade hus i det studerade objektets omedelbara närhet konstaterades vara befriade från missfärgningsproblem.

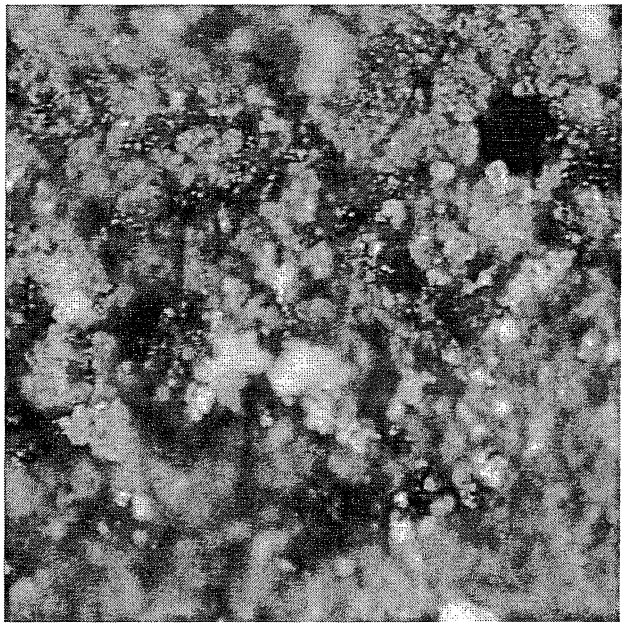
Det noterades att en fasadrenovering har påbörjats på objektet där tvättning sker med spolning av varmvatten under tryck. Enlig information på plats skall väggen behandlas med fungicider och sedan hydrofoberas. Den tvättade väggen var fri från tidigare missfärgningar, vilket styrker hypotesen att missfärgningen inte tränger igenom färgskiktet på ytan.

En mindre flisa från putsen avlägsnades och undersöktes med hjälp av uppvärmning på plats. Putsflisan konstaterades brinna något samtidigt som en tydlig lukt kunde observeras. Detta föranleder oss att noggrant undersöka om putsfärgen eller putsunderlaget innehåller organiska komponenter.

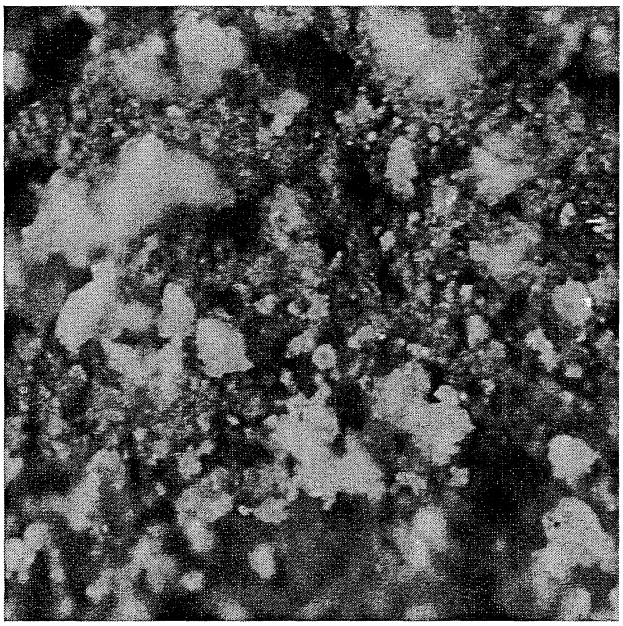
Tre olika typer av prover togs ut från fasaderna i kvarteret Grubben. Dessa prover var valda enligt vissa kriterier. En typ av prov är uttaget från ställen där missfärgningen är mycket kraftig. Ytterligare prover togs där missfärgningen för ögat verkade vara i det närmaste obefintlig, medan de sista typerna av prover som inhämtades var belagda med en svag hinna med missfärgning som har gått under benämningen slöjaktig missfärgning. Mikroskopbilderna i Figurerna 8.2 – 8.4 visar på skillnader i skadegrad orsakad av mögelsvampen *Cladesporium spp*. I dessa bilder syns mögelsvampen tydligt som svarta fiskromsliknande klasar vilka formodlingen är dött och levande material från hyfer, konidiebärare och konidiesporer från svampen *Cladesporium spp*. Bilderna antyder vidare att färgskiktet är intakt, det vill säga svampen eroderar ej färgfilmen utan lever på dess yta. De vita kornen på bilderna i Figurerna 8.2 – 8.4 är troligen salt eller kalkutfällningar härstammande från putsen under färgskiktet.



Figur 8.2: Mikroskopbil, se även Tabell 8.1, av svårt angripen putsprovyta utagen från en fasad i kvarteret Grubbens i Stockholm. Mycket riklig påväxt av svart sotliknande lager bestående av sporer från pigmenterad mögelsvamp. Odlig MEA: Cladesporium spp, Penicillium spp och jästsvamp. Bildkantens längd motsvarar 0.3 mm. Storleken på de enskilda konidierna i klasarna är enligt bilden ungefär 3-5 µm i storlek, vilket stämmer väl överens med vad som finns rapporterat i litteraturen.



Figur 8.3: : Mikroskopbil, se även Tabell 8.1, av putsprovyta med slöjaktig missfärgning utagen från en fasad i kvarteret Grubbens i Stockholm. Måttlig påväxt av sporer och hyfer av mörkpigmenterad mögelsvamp. Grupper av mögel kan skönjas som små kulformade grupperingar. Odlig MEA: Cladesporium spp, sterilt mögelmycel och jästsvamp. Bildkantens längd motsvarar 0.3 mm (Den svarta pricken i övre högra hörnet av bilden är en hålformation i putsytan).



Figur 8.4: Mikroskopbild, se även Tabell 8.1, av putsprovyta, som för ögat tillsynes var ren, uttagen från en fasad i kvarteret Grubbens i Stockholm. Sparsam förekoms av sporer och hyfer fån pigmenterat mögel. Med hjälp av mikroskopbilden är det svårt att identifiera påväxten. Ingen för ögat synlig påväxt på fasad ytan då den studeras utan mikroskop. Odlig MEA: Mycket lite växt av Cladesporium spp, och Penicillium spp. Bildkantens längd motsvarar 0.3 mm.

8.2 Missfärgningar på fasader i kvarteret Majroparken i Stockholm

Objektet är byggt ca. 1998 i tre etapper. Putssystemet består av ett underlag av 200 mm mineralull med tunnputs. Kalkcementputsens totala tjocklek är ungefär 3-6 mm och är försedd med ett plastarmeringsnät som applicerades mellan grundputsskiktet och ytputsskiktet. Putsytans struktur kan karakteriseras som slät.

Det anmärkningsvärda med detta objekt är att missfärgningsproblemen uppdagades och rapporterades tidigt år 2001, vilka sedan dess nästan helt har försvunnit. Fasaden mot öster uppvisade små områden där missfärgningar kunde skönjas. Angreppen syntes främst vid anslutning till stuprör och vid en trevånings högt belägen takkupa samt även på vissa socklar, se Figur 8.5.

Såvida hyresgäster boende i studerat område ej har åtgärdat missfärgningen på egen hand så tyder förhållandena på att problemen kan avhjälpas på naturlig väg. Förutsättningarna för att problemet skall kunna försvinna på naturlig väg kan möjligen vara ett gynnsamt klimat som gör att död svamppåväxt tvättas bort av regn.

Putsade hus, utförda med för underökningens ansvariga okänt puts-system, belägna i det studerade objektets närhet, uppvisade inga tecken på missfärgningsangrepp.

Vid den okulära besiktningen av bostädernas fasader i kvarteret Majroparken bestämdes det att inte utföra mikrobiologiska undersökningar av de aktuella fasaderna då de var mycket lindrigt angripna av missfärgningar. Det finns emellertid anledning att i framtiden även utföra mikrobiologiska och mikroskopiska studier på putsmaterial från fasaderna i kvarteret Majroparken eftersom det har framgått, från de andra studerade objekten, att mögelsvampförekomsten kan vara betydande trots att missfärgningen inte är direkt skönjbar för ögat. I dessa situationer kan spridning av mögelsvamp över fasaden förmodligen ta fart igen, om svamparna har förmåga att ställa in livsprocessen för att senare tillväxa när lämpliga yttre miljö faktorer är gynnsamma.

Figur 8.5: Svart missfärgning av sockel på ett av husen i kvarteret Majroparken. Det anmärkningsvärda med husfasaderna i kvarteret är dock att missfärgningarna har minskat kraftigt på naturlig väg det senaste året.

8.3 Missfärgningar på fasader i kvarteret Ryttaren i Stockholm

Detta objekt, uppfört ca. 1997, skiljer sig markant från de två andra studerade objekten, i Stockholm, vad avser mönstren på missfärgningarna. Karakteristiskt för skadorna var de väl synliga lokala prickmönstren. Prickarna varierade ungefär mellan någon millimeter upp till en centimeter i storlek. Det verkade naturligt att dra slutsatsen att skadorna hade initierats mycket lokalt samt att spridningen från de svarta prickarna var generellt sett mycket liten. Fuktinitierade märken från vissa fläckar kunde dock observeras, vilka var spridda från de svarta prickarna och nedåt i ett relativt väl definierat sträck. Det skall dock observeras att objektet även var utsatt för de typiskt fuktrelaterade missfärgningarna som gör sig synliga som mer utspridda missfärgningar vid områden med hög fuktbelastning. Dessa större utspridda missfärgningarna visade sig dock vid närmare granskning bestå av mindre prickliknande mönsterbildningar.

Tabell 8.2: Mikrobiologisk aktivitet på putsprover från Kv. Ryttaren. Prover är analyserade i ljusmikroskop med faskontrast i 200-1000 gångers förstoring.

Underlag	*Mikrobiologisk aktivitet*
Målad puts, 'till synes ren'	Sparsam till måttlig påväxt av sporer och hyfer av pigmenterad mögelsvamp. Odling MEA: *Cladosporium spp. och jästsvamp*
Målad puts, missfärgning 'slöja'	Sparsam förekomst av sporer och hyfer från pigmenterad mögelsvamp. Odling MEA: *Cladosporium spp.*
Målad puts, missfärgning 'fläck'	Riklig påväxt av sporer och hyfer av pigmenterad mögelsavamp. Odling MEA: *Cladosporium spp., bakterier*

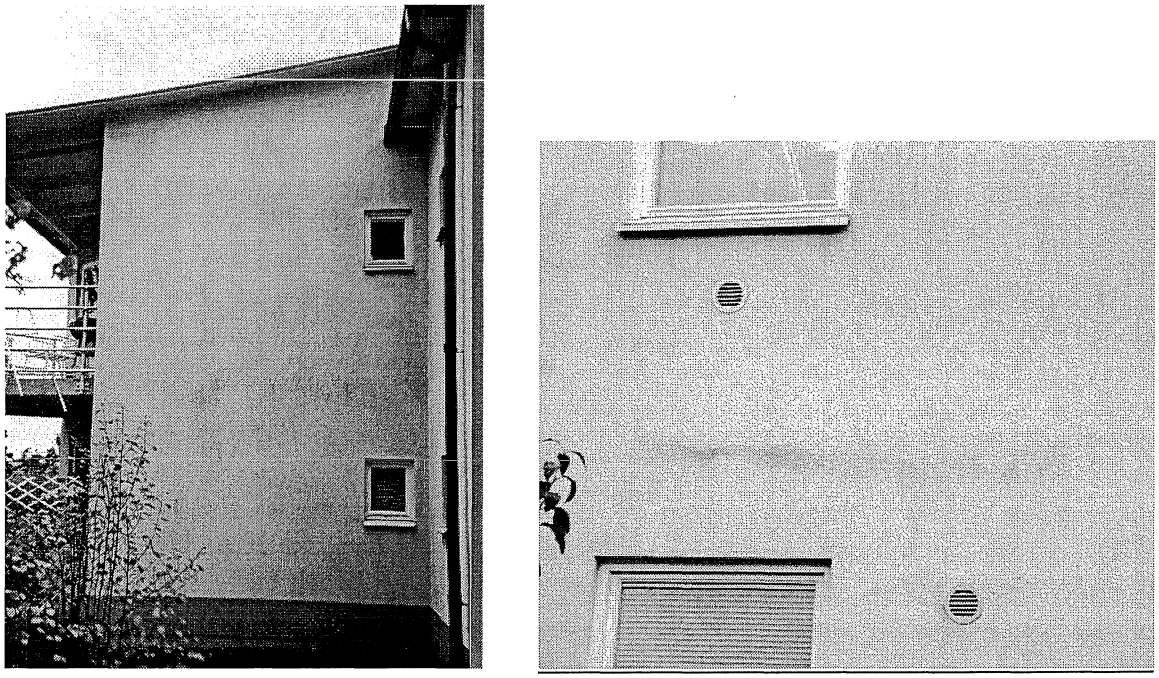
Väggkonstruktionen består av en prefabriserad betongstomme levererad med en 180 mm tjock cellplastisolering på vilken en ca. 10 mm tjock kalkcementputs har anbringats. Viktigt att notera är att putsstrukturen är betydligt mer grov än vid de två andra studerade objekten. Detta kan vara en orsak till att spridningsprocessen av missfärgningarna är betydligt mindre för objektet Ryttaren jämfört med de andra två studerade objekten i Stockholmsområdet. Det går heller inte utesluta att missfärgningsangreppet för aktuellt objekt är av ett helt annat slag än de två andra studerade skadefallen när det gäller spridningsprocessen över fasad ytan.

Klimatet i området verkade generellt sett gynnsamt för missfärgningar på fasader då det uppdagades kraftigt grönlysande algliknande tillväxter på plåttak över kallförråd samt på olika träkonstruktioner i anslutning till fasaden. Träytor i takfotskonstruktioner var även angripna av missfärgning, vilken troligen orsakats av *Cladiosporium spp*. Viktigt att notera att kvarteret Ryttaren är uppförd i en miljö med mycket närbelägna grönområden.

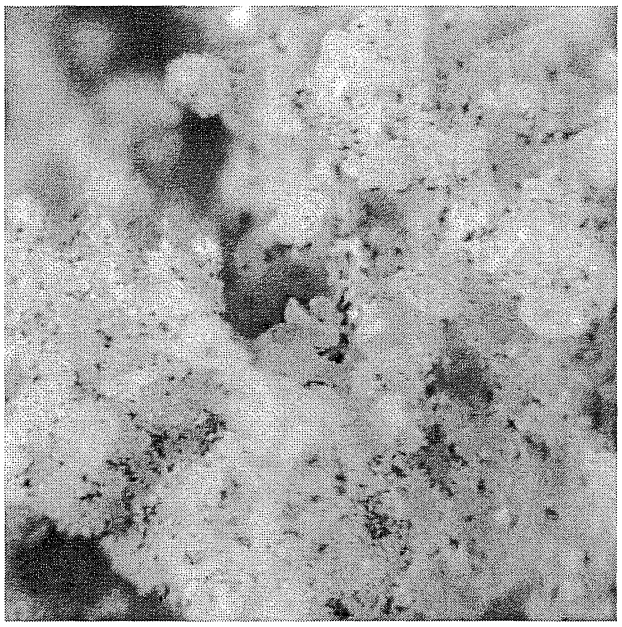
Tre typer av fasadprov från kvarteret Ryttaren har analyserats. Dessa tre olika typer av prov kan karakteriseras som oskadad (ingen synlig missfärgning, Figur 8.9), slöja (svag utbredd missfärgning, Figur 8.8) samt kraftig missfärgning (som vanligen förekommer som mindre prickar eller fläckar på fasadskiktet på de aktuella objekten, Figur 8.7). Proverna är analyserade i ljusmikroskop med faskontrast i 200-1000 gångers förstoring men även odling av partiklar hämtade från fasadproverna i malt-extrakt agar har utförts, se Tabell 8.2.

I Figur 8.7 visas en mikroskopbild på putsprovet med grov missfärgning. Av bilden framgår det att mögelsvampen är utbredd över ytan i form av små koncentrerade prickar. Prickarna tycks även vara mest koncentrerade till kaviteter i den mikroskopiska strukturen. Troligtvis är dessa kaviteter på mikronivån utsatta för varaktigare och högre fuktbelastning än de andra delarna i strukturen på puts ytan.

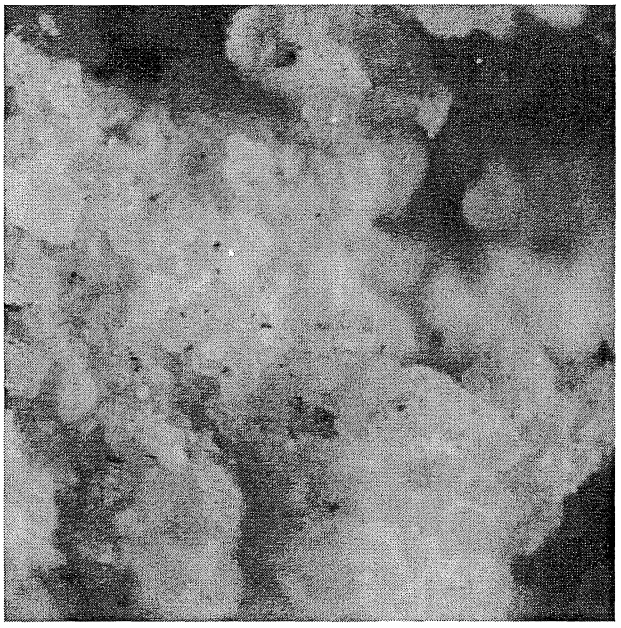
I Figurerna 8.8 och 8.9 visas mikroskopbilder på putsprover med beteckningarna 'slöjaktig' respektive 'till synes oskadad', uttagna från fasader i kvarteret Ryttaren. Den väsentliga upptäckten rörande provet som ej tycktes vara missfärgat av mögel är att mikroskopundersökningen gav att en betydande mängd svamp fanns närvarande, se Figur 8.9. De mikrobiologiska undersökningarna på detta prov tyder även på att svampen är livskraftig, det vill säga om förhållandena för svamptillväxt gynnas av det yttre klimat så kan missfärgningsprocessen initieras och därmed bli synlig för ögat.



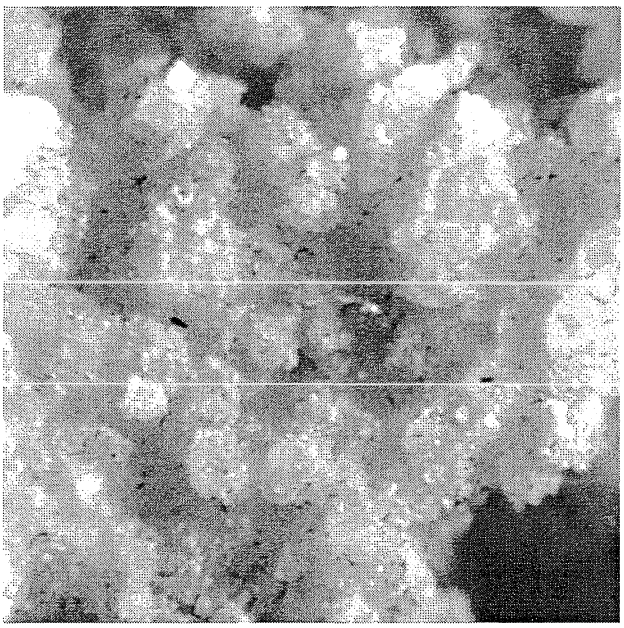
Figur 8.6: Missfärgningar på fasadväggar i kvarteret Ryttaren i Stockholm. Efter mikrobiologisk odling av partiklarna på fasaden visade det sig att missfärgningarna i huvudsak är orsakad av mögelsvampen Cladesporium spp., se även Tabell 8.2. Det anmärkningsvärda med missfärgningen som visas i högra bilden är att den ej tycks vara kopplad till fuktbelastningen, vilket annars nästan alltid är fallet.



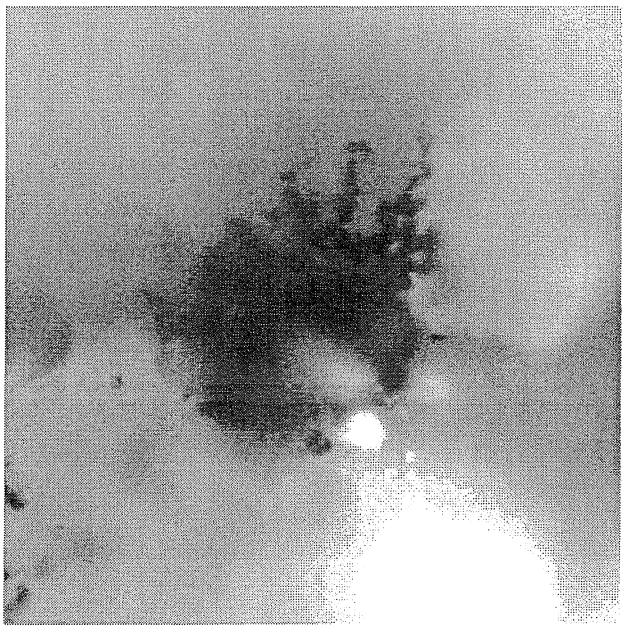
Figur 8.7: Mikroskopbild, se även Tabell 8.2, av putsprovyta med kraftig missfärgningsfläck, uttagen från en fasad i kvarteret Ryttaren i Stockholm. Riklig påväxt av sporer och hyfer av pigmenterad mögelsvamp. Odling MEA: Cladosporium spp samt bakterier. Bildkantens storlek är ungefär 1.2 mm.



Figur 8.8: Mikroskopbild, se även Tabell 8.2, av putsprovyta med slöjaktig missfärgningsfläck, uttagen från en fasad i kvarteret Ryttaren i Stockholm. Sparsam förekomst av sporer och hyfer av pigmenterad mögelsvamp. Odling MEA: Cladosporium spp. Bildkantens storlek är ungefär 1.2 mm.



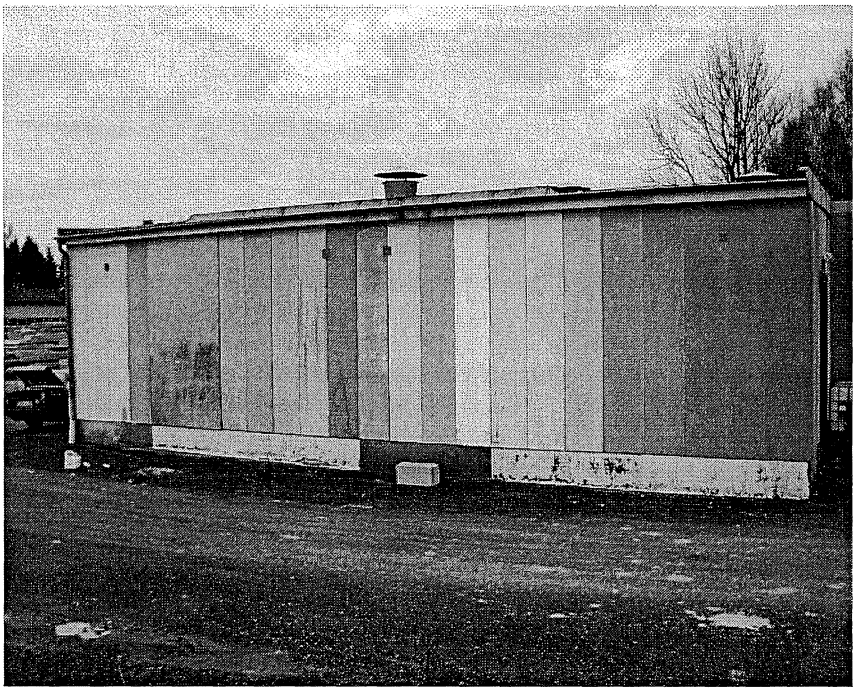
Figur 8.9: Mikroskopbild, se även Tabell 8.2 av putsprovyta som vid okulär besiktning verkade ren, uttagen från en fasad i kvarteret Ryttaren i Stockholm. Sparsam till måttlig förekomst av sporer och hyfer av pigmenterad mögelsvamp. Odling MEA: Cladosporium spp. samt jäst. Bildkantens storlek är ungefär 1.2 mm.



Figur 8.10: Mikroskopbild av putsprovyta med kraftig missfärgningsfläck, uttagen från en fasad i kvarteret Ryttaren i Stockholm. Förstoring av en av fläckarna i figur 8.7. Bilden visar tydligt fingerliknande formationer uppbyggda av konidier med en ungefärlig storlek på 3-5 µm. Formationsutseendet på Cladesporiumsvampen på detta objekt skiljer sig mycket åt det som konstaterades på proverna från kvarterer Grubben. Bildkantens längd motsvarar 0.3 mm.

9 Mögelsvampsmissfärgningar och lavor på provväggar i Dalby

I början av åttiotalet byggdes en kompressorcentral vid SIPOREX AB i Dalby. Lättbetongväggarna på byggnaden indelades i olika sektioner och förseddes med olika typer av putsytskikt och målarfärger. Provväggen, med dess olika sektioner, har använts för att studera olika typer av egenskapsförändringar i sin naturliga miljö, se Figur 9.1.



Figur 9.1: Provvägg i Dalby med olika sektioner. Olika typer missfärgningar kan skönjas på bilden. Huset har under längre perioder varit uppvärmt samt varit kraftigt isolerat på insidan upp till ungefär halva takhöjden, vilket kan vara en förklaring till den markanta gränsen mellan missfärgning och ren yta som syns till vänster i bild.

I denna undersökning har borrkärnor av missfärgade eller påväxta ytskikt, på olika valda sektioner, inhämtats och analyserats. Den markanta skillnaden mellan detta äldre objekt jämfört med de relativt nybyggda objekten i Stockholm (kvarteren, Grubben, Majroparken och Ryttaren) är att lavor av olika typ har identifierats på proverna hämtade från Dalby. Det har vidare, med hjälp av mikroskopbilder, konstaterats att färgskikten på proverna från Dalby är betydligt mer eroderade än jämfört med de nyare objekten i Stockholm. Nedbrytningen av färgen är förmodligen orsakad av UV-strålning, men det går inte utesluta att förekomsten av lavor på väggarna har bidragit till nedbrytningen. En nedbrytning på grund av förekomsten av lavor kan dels bero på en mekanisk- eller kemisknedbrytning, vilken orsakas av de producerade så kallade lavsyrorna. En betydande likhet mellan de nya objekten i Stockholm och det äldre i Dalby är dock att Cladesporiumsvampen förekommer på alla undersökta provytorna, se vidare Tabell 9.1. Då de flesta provsektionerna i Dalby ej är tillsynes påfallande nedsmutsade men trots allt ockuperade med en betydande mängd *Cladesporium spp.* kan man dra slutsatsen att spridning och missfärgning ej behöver gynnas trots att sporer finns närvarande.

Vid provhusväggarna i Dalby gavs möjligheten att studera underlagets inverkan på tillväxten av mögelsvamp på fasadytorna. Den mest intressanta observationen är kanske att

obehandlad lättbetong på visar förekomst av *Cladesporium spp* men spridningen och missfärgningen på grund av mögelsvampen verkar mycket ringa.

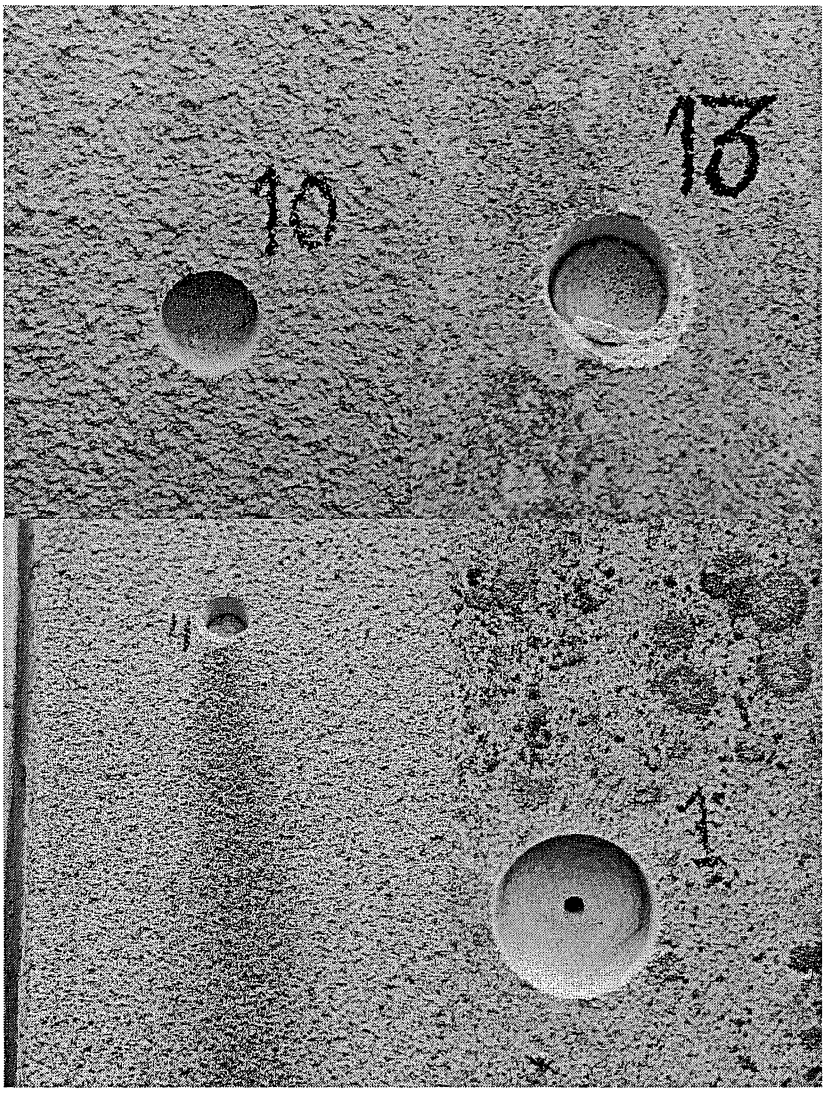
I Figur 9.2 visas fyra av de undersökta fasad typerna, vilka alla var ansatta med mer eller mindre av mögelsvampen *Cladesporium spp.* Anmärkningsvärt att notera i Figur 9.2 är att prov 4 där en orangeröd lava konstaterades växa har spridit rest partiklar som med hjälp av regn vatten har missfärgat fasaden kraftig i området under där lavan växte. Fasadväggsprov 1 i Figur 9.2 visar lavor som lever på ytan emedan prov 13 i samma figur visar prov på missfärgning av lavor som är biologiskt nedbrutna. Lavornas rhizin konstaterades förorsaka erodering på fasadytorna.

Tabell 9.1: Mikrobiologisk aktivitet på putsprover från Dalby. Prover är analyserade i ljusmikroskop med faskontrast i 200-1000 gångers förstoring.

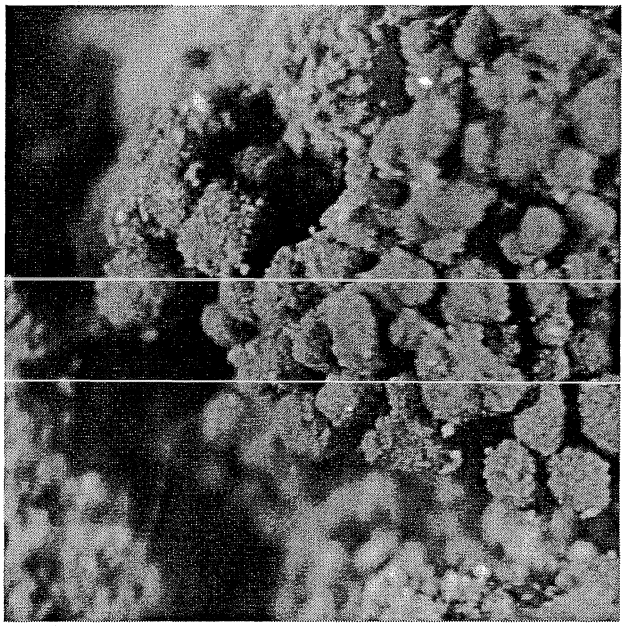
Underlag	*Mikrobiologisk aktivitet*
Fasadfärg (Sektion 7, Prov 1)	Riklig påväxt på hela ytan av mögelsvamp samt lav med mörk och gulbrun nyans. Odling MEA: *Cladosporium spp*
Härdputs (Sektion 11, Prov 4)	Riklig påväxt av orangeröd lav. Odling MEA: *Cladosporium spp*
Obehandlad lättbetong, missfärgning 'mörk fläck' (Sektion 3, Prov 6)	Ytan rikligt påväxt av lav, inget för ögat synlig mögelsvamp. Odling MEA: *Cladosporium spp*
Strukturalfärg, missfärgning 'prick' (Provhus 3, Prov 10)	Orangefärgad lav samt måttlig växt av en gråaktig lav. Odling MEA: *Cladosporium spp.* och sterilt mögelmycel
Färgad puts (Provhus 3, Prov 11)	Riklig påväxt av lav som är nedbruten. Odling MEA: *Cladosporium spp.* och sterilt mögelmycel.
Missfärgning 'grå slöja' (Provhus 3, Prov 13)	Riklig påväxt av lav som är nedbruten. Odling MEA: *Cladosporium spp,* jästsvamp och sterilt mögelmycel.

Figurerna 9.3 – 9.8 visar olika typer av mikroorganisk påväxt på proverna uttagna i Dalby. Främst observerades lavornas, för färgskiktet, eroderande förmåga. Generellt noterades det att proverna var utsatta för mer omfattande påväxt jämfört med proverna från de relativt nytillverkade objekten i Stockholmsområdet. Missfärgningsfenomenen var dock mindre påtagliga på Dalby proverna jämfört med de i Stockholm, vilket med stor sannolikhet förklaras av den ringa förekomsten av mögelsvampen *Cladosporium spp.* på proverna från Dalby.

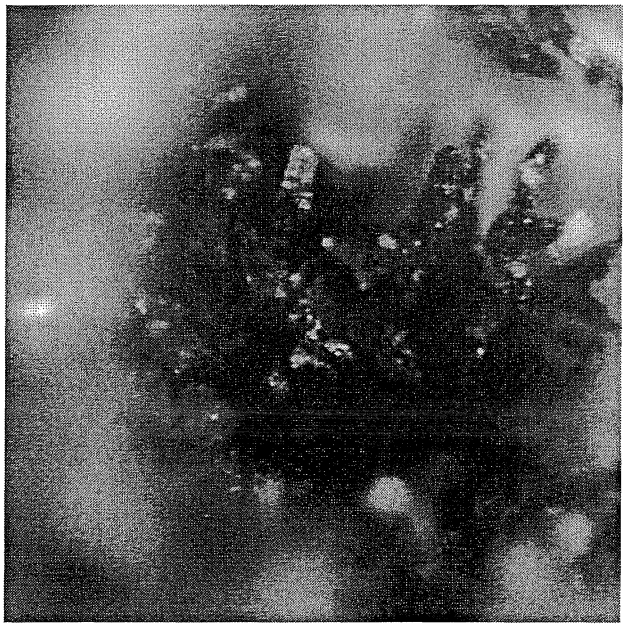
Mikroskopbilden på prov 13 antyder att det kan råda ett symbiosförhållande mellan lav och mögelsvampen *Cladosporium spp.* Anledningen till denna hypotes är att Cladosporiumsvampen växer i en geleaktig massa som via den mikrobiologiska analysen visade sig bestå av nedbruten lav, se Figur 9.5.



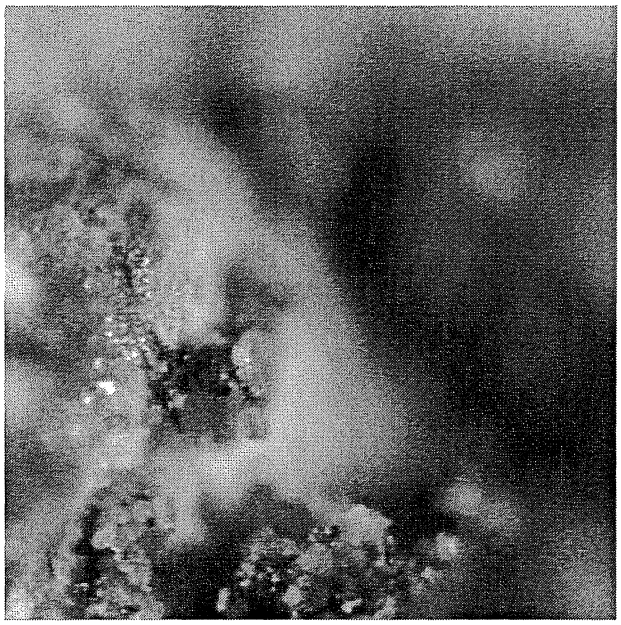
Figur 9.2: Bilder tagna på olika sektioner på provhuset i Dalby, jämför med Tabell 9.1, Prov 1, rikligt påväxt av mögelsvamp (Cladosporium spp), gulbrun lav samt en mörk lav. Prov 4, riklig påväxt av en orangeröd lav samt Cladosporium spp. Prov 10, prick som består av orangefärgad lav, måttlig växt av gråaktig lav, Cladosporium spp samt sterilt mögelmycel. Prov 13, grå slöja som består av påväxt av lav som är nedbruten, Cladosporium spp, jäst och sterilt mögelmycel



Figur 9.3: Provhus 3 (prov 10, se Tabell 9.1) i Dalby. Påväxten består av gulorangefärgad lav, utöver det upptäcktes måttlig påväxt av en grå aktig lav (ej med i bild). Puts på lättbetong med struktalfärg. Bildkantens längd motsvarar 1.2 mm. Storleken på isidierna, som finns till höger i bild, är ungefär 0.1 mm.

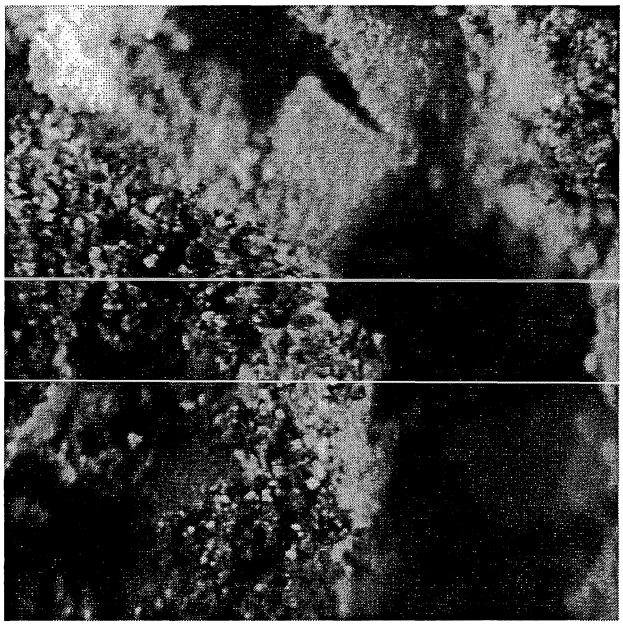


Figur 9.4: Härdputs på lättbetong, Sektion 4 av provvägg i Dalby. På bilden syns en förstoring av en rödfärgad fingerformad lav, Bildkantens längd motsvarar 0.3 mm.

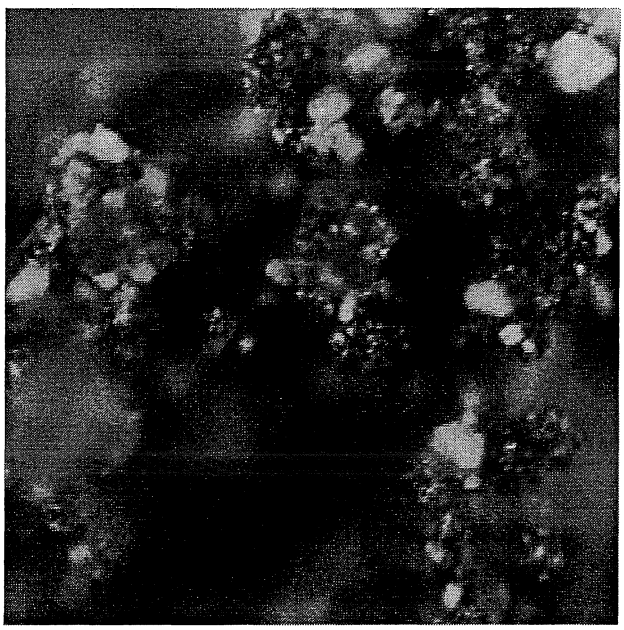


Figur 9.5: Missfärgning 'grå slöja' (Provhus 3 i Dalby, Prov 13, se Tabell 9.1). Mikroskopbilden visar Cladesporiumkonidier invävda i en geleartad massa möjligen bestående av ned bruten lav. Mikrobiologiskanalys utförd av AIMEX AB på detta prov gav resultatet: riklig påväxt av lav som är nedbruten. Odling MEA: Cadosporium spp, jäst och sterilt mögel mycel. Bildkantens längd motsvarar 0.3 mm.

Figur 9.6: Gulbrun lav på puts med fasadfärg (Sektion 7, Prov 1 i Dalby, se Tabell 9.1). Bildkantens längd motsvarar 1.2 mm. Mikrobiologisk analys av delar av detta prov gav även resultatet att Cladesporiumsvamp fanns närvarande på ytan.



Figur 9.7 Strukturalfärg på putsad lättbetong, missfärgning 'prick' (Provhus 3, Prov 10 i Dalby, se Tabell 9.1). Svart stenbitsromsliknande påväxt förorsakad av mögelsvampen Cladesporium spp. som syns i bildens nedre vänstra del. Bildkantens längd motsvarar 1.2 mm. I överkanten av bilden syns att färgskiktet har eroderats.



Figur 9.8: Strukturalfärg på putsad lättbetong, missfärgning 'prick' (Provhus 3, Prov 10 i Dalby, se Tabell 9.1). Svart stenbitsromsliknande påväxt förorsakad av mögelsvampen Cladesporium spp. Bildkantens längd motsvarar 0.3 mm

10 Sanering

Sanering sker vanligtvis i två steg. Först tvättas fasaden med hett vatten under högt tryck. Efter tvättningen förses vanligen fasadytan med någon form av fungicid för att undvika förnyad påväxt. Det är viktigt att se till att fasadmaterialet torkar ut kraftigt efter det att tvättningen har skett. Ett torrt fasadskikt gör att de vatten eller alkohollösliga fungiciderna ges möjlighet att tränga djupt in i materialet. En djup inträngning av fungicider i materialet bidrar till en förlängd aktivitet hos det svampdödande medlet. Det är vanligt att en mögelsanerad fasadyta även behandlas med någon form av hydrofoberande medel. Benägenheten för att en sanerad fasad blir utsatt för förnyad svamp påväxt är ej utredd i denna undersökning.

I fall där mögeltillväxten ej är koncentrerad till ytan, som till exempel ofta är fallet för målade träkonstruktioner, där mögel bildas i trät och växer igenom färgen, skall grundligare förarbeten utföras (det vill säga, högtryckstvättningen är ofta ej tillräcklig).

Varaktighet på effekten av olika saneringsåtgärder beror i hög grad på fungicidernas förmåga att adsorberas på aktuell material.

11 Förslag till fortsatta studier

I denna skrift lämnar vi diskussionen öppen för förslag rörande fortsatta studier. Skiv gärna dina synpunkter nedan och sänd rapporten till Björn Johannesson eller Kenneth Sandin på Avdelningen för Byggnadsmaterial, LTH (andra mer generella synpunkter på innehållet i rapporten tar vi naturligtvis också tacksamt emot).

Den mest uppenbara fortsatta studien bör enligt författaren handla om de aktuella mögelsvamparnas växtbetingelser vad gäller relativ fuktighet, temperatur och näringstillgång från växtunderlag samt näring tillförd från luft och regnvatten.

12 Slutsatser

En bidragande orsak till att huvudsakligen (eller kanske till och med endast) nybyggda hus drabbas av kraftiga missfärgningar av det slag som redovisats i kapitel 8 kan vara att väsentliga annorlunda byggfysikaliska egenskaper verkar i väggkonstruktionen. En hypotes kan till exempel vara att missfärgade putsade väggar är mer väl isolerade än brukligt, vilket bidrar till att ytterväggsytan blir något kallare än normalt, vilket i sin tur skulle kunna bidra till att väggen har sämre förutsättningar att torka ut ordentligt mellan exponering för regn. Detta fenomen kan studeras genom att mäta yttemperaturer på välfungerande och missfärgade putsfasader.

En ogynnsam fuktnivå i putsskiktet kan även uppnås om bakomliggande mineralullsisolering tillåts buffra fukt. Ett av de studerade skadefallsobjekten var dock utförd med cellplast (Kv. Ryttaren) som bakomliggande underlag för putsen, vilket talar för att denna typ av fukt belastning inte är en direkt förutsättning för uppkomst och spridning av missfärgningar på fasader.

Fasadmaterialet kan ha betydelse i flera avseenden. Olika parter inom branschen framhåller gärna sina egna material som optimala för att undvika mikrobiell påväxt. Argumentationen för detta är dock ofta mycket bristfällig. Utan tvekan finns det ett antal egenskaper hos ytskiktsmaterialet som kan påverka situationen.

Att endast miljöomständigheterna vad gäller temperatur, relativ fuktighet samt tillgång av näring från omgivande luft och regnvatten anses ej vara av central betydelse. Snarare verkar det som att fasadmaterialets sammansättning och adsorberande förmåga påverkar mögeltillväxtens omfattning.

Referenser

S. Gravesen, J. C. Frisvad och R. A. Samson (1994), *Microfungi*, Danmark.

R. Moberg och I. Holmåsen (1982), *Lavar, en fälthandbok*, Stockholm.

T. Hallingbäck och I. Holmåsen (1985), *Mossor, en fälthandbok*, Stockholm.

C. Grant, C. A. Hunter, B. Flanningan och A. F. Bravery (1989), *The Moisture Requirements of Moulds Isolated from Domestic Dwellings*, International Biodeterioration, vol. 25 (285-298).

H. M. Kuenzel och K. Sedlbauer (2001), *Biological Growth on Stucco*, Buidings VIII/Wall Durability-Practices.

H. M. Kuenzel och K. Sedlbauer (2001), *Algen auf Wärmedämm-Verbundsystemen*, Institut Bauphysik, IBP –Mitteilung nr. 382, vol. 28.

E. Brandt (1989), *Biologis nedbrytning af materialer*, Dansk Selskab for Materialprovning og –forskning (DSM). Materialnyt nr 1:89.

O. C. G. Adan (1994), *On the fungal defacement of interior finishes*, Endhoven University of Technology.

Impregnering med BORACOL (Produktkatalog) Svenska Reimpregneringsaktiebolaget COBRA.

Ge inte svamparna en chans! (1987), Bostadsstyrelsen, Planverket, Stockholm

I. Samuelsson (1985), *Mögel i hus, Orsaker och åtgärder*, Teknisk rapport, Statens Provningsanstalt, Borås.

H. Nilsson (1986), *Mögelhus*, Colego Förlag, Ljungby.

Examensarbete, Chalmers, (2000), Avdelningen för Byggnadsmaterial, Titel okänd.

Ziegelindustrie 12/2001

IBP-Mitteilung 382, Frauenhofer-Institut für Bauphysik

Nationalencyclopedien, Svenska upplagan.

BAB 10/99, *Außenwände mit Wäörmedämm-verbunsystem, Alge- und pilzwuchs.*

Smith, S.L. and Hill, S.T, (1982), *Influence of Temperature and Water Activity on Germination and Growth of Aspergillus versicolor.* Transaction of British mycological Society Vol. 79, H 3.

LUNDS TEKNISKA
HÖGSKOLA
Lunds universitet