

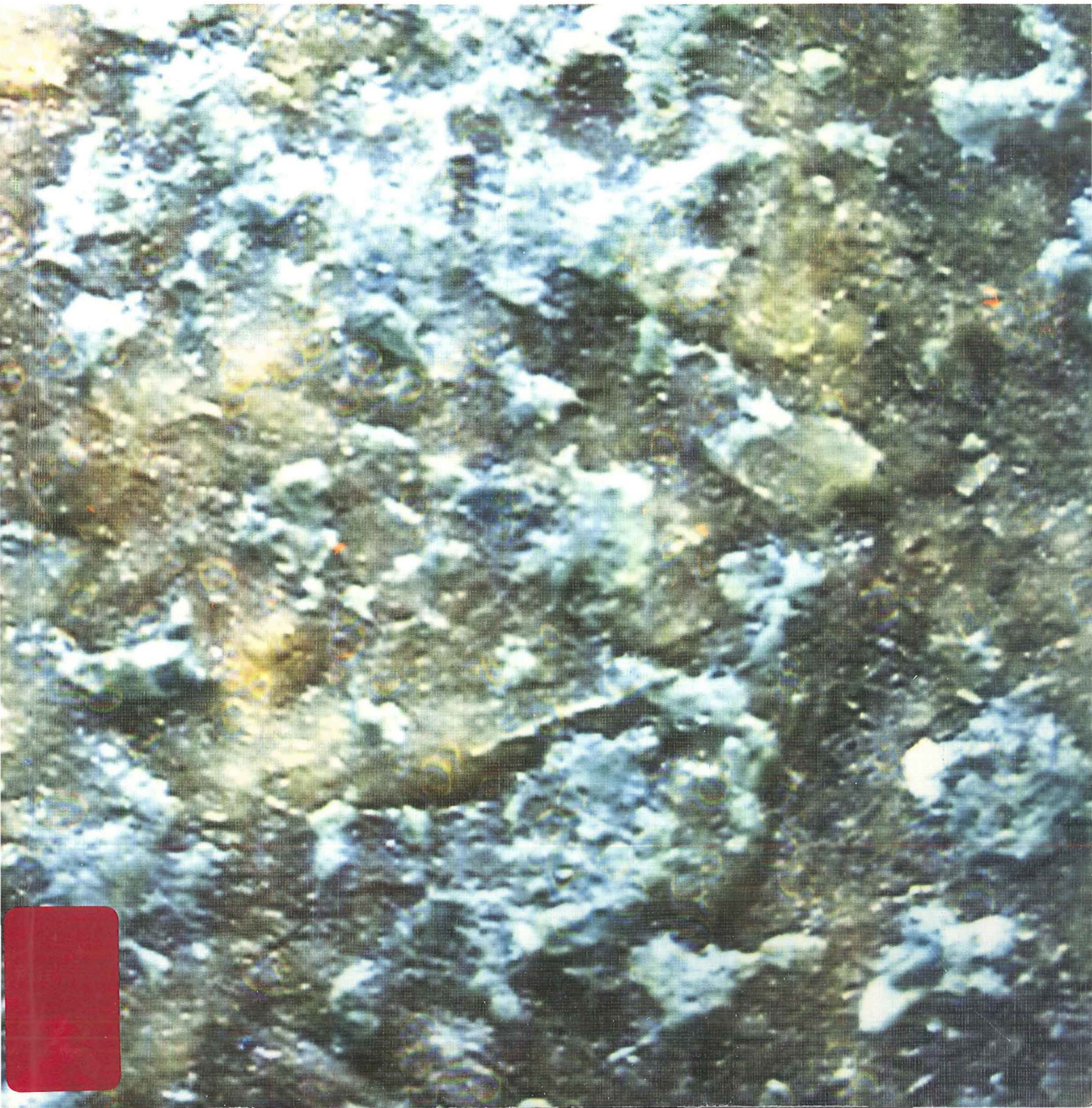
SBI - rapport .

Skimmelsvampe i vandskadede bygninger



Udarbejdet for Bygge- og Boligstyrelsen

SBI-RAPPORT 282 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1997



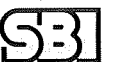
Skimmelsvampe i vandskadede bygninger

SUZANNE GRAVESEN
PETER A. NIELSEN
KRISTIAN FOG NIELSEN

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

ex-3
03 JUNI 1997

01467 P



SBI-RAPPORT 282 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1997

SBI-rapporter er beretninger om afsluttede forskningsprojekter.

SBI-publikationer udgives i følgende serier: Anvisninger, Rapporter, Meddelelser, Byplanlægning og Beton. Publikationerne fås gennem boghandelen eller ved at tegne et SBI-abonnement. Institutets årsberetning, publikationskatalog og publiceringsdiskette er gratis og kan rekvireres fra SBI.

SBI-abonnement er en rabatordning med mange fordele for dem, der vil sikre sig løbende orientering om væsentlige udgivelser inden for byggeforskningsområdet. Ring til SBI og hør nærmere.

ISBN 87-563-0960-0.
ISSN 0573-9985.
Pris: Kr. 125,00 inkl. 25 pct. moms.
Oplag: 1000.
Tekstbehandling: Yelva Jensen.
Omslagsillustration: Skimmelsvampeinficeret spånplade
set i stereomikroskop. Foto: Kristian Fog Nielsen.
Tryk: J. H. Schultz Grafisk A/S.

Statens Byggeforskningsinstitut,
Postboks 119, 2970 Hørsholm.

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:
SBI-rapport 282: Skimmelsvampe i vandskadede bygninger.
1997.

Indhold

Forord	4
Resume	5
Indledning	11
Materialer og metoder	14
Resultater og diskussion	21
Litteratur	42
Summary	45
Bilag 1	48
Bilag 2	49

Forord

I 1994 gennemførtes af SBI en præliminær undersøgelse af svampeinficerede byggematerialer udtaget fra vandskadede bygninger. I undersøgelsen blev der indhøstet erfaringer om vækst af skimmelsvampe på byggematerialer og dannelse af såvel ikke-flygtige som flygtige stofskifteprodukter fra skimmelsvampene under vækst. Ligeledes blev der registreret en række humane effekter efter udsættelse for de inficerede byggematerialer anbragt i de klimakamre, der blev anvendt til forsøgene.

Såvel de byggetekniske som sundhedsmæssige observationer begrundede en fortsat undersøgelse, hvortil der blev bevilget midler fra Bygge- og Boligstyrelsen, og projektet blev udformet som et tværfagligt forskningsprojekt. (Fase 1 er afrapporteret i SBI-meddelelse 115: Mikroorganismer i vandskadede bygninger - en midtvejsrapport, 1996).

Projektets resultater er en syntese af samarbejdet med følgende personer og institutioner: *Lisbeth Larsen*, Miljøafdelingen, ALK Danmark (Allergologisk Laboratorium), som har foretaget mykologiske undersøgelser, *Ken Wilkins*, AMI (Arbejdsmiljøinstituttet), som har undersøgt de flygtige stoffer, *Mikael Østergaard Hansen*, Miljørådgivning (tidligere Birch & Krogboe), som har foretaget bygningsgennemgangen samt indsamling og registrering af inficerede byggematerialer. Flere af Mykologigruppens medlemmer, Institut for Bioteknologi på DTU (Danmarks Tekniske Universitet), har deltaget i projektet. Således har *Jens Frisvad* og *Thomas O. Larsen* artsbestemt forskellige isolater af svampene samt påvist ikke-flygtige og flygtige stoffer fra disse. I projektets fase 2 har *Kristian Fog Nielsen*, ligeledes fra Mykologigruppen, påvist nogle af svampenes sundhedsskadelige stofskifteprodukter (mykotoxiner) direkte på byggematerialer, dels ved laborieforsøg, dels ved feltundersøgelser i vandskadede, danske bygninger.

Peter A. Nielsen, SBI, har opstillet skemaer til brug for bygningsgennemgang og registrering af bygningernes "sygehistorie" samt udarbejdet et scoringssystem til vurdering af materialernes modstanddygtighed. Endvidere har han sammen *Niels H. Bertelsen*, ligeledes SBI, sat de materiale- og fugttekniske vurderinger i perspektiv. *Randi Iversen*, SBI, har undersøgt forskellige fysiske og kemiske faktoreres indflydelse på mikrobiel vækst på byggematerialer og foretaget de endelige opgørelser af de registrerede data om skimmelsvampe, materialer og konstruktioner.

Rapporten er redigeret af *Suzanne Gravesen*, SBI, som ligeledes har været koordinator for projektet.

Projektet er udført under Byggestyrelsens journal nr. B4-1255-13.

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
Afdelingen for Energi og Indeklima, maj 1997
Erik Christophersen

Resume

Rapporten omfatter 2 faser. Fase 1 er afrapporteret i SBI-meddelelse 115: Mikroorganismer i vandskadede bygninger, 1996.

Fase 1: Udvikling af vækstmedium, undersøgelse af vækstbetingelser for Stachybotrys chartarum samt præliminær detektion af ikke-flygtige og flygtige stofskifteprodukter fra svampen.

Projektets første fase har omfattet udvikling af metoder til undersøgelse af vækstbetingelser for skimmelsvampe på byggematerialer. For at kunne variere og dermed belyse forskellige faktoreres indflydelse på væksten under så realistiske betingelser som muligt, er der eksperimentelt udviklet forskellige gips-agar substrater, som er tilsat med skimmelsvampen *Stachybotrys chartarum*, kendt for at kunne etablere sig på langvarigt opfugtede celluloseholdige materialer, fx gipskartonplader.

Gipsgrundsubstraterne er udviklet ud fra to forskellige gipstyper, hvor der efter podning af svampen kunne konstateres vækst i løbet af 2 uger. Efter at det havde vist sig muligt at inducere vækst på de to substrater, blev betydningen af følgende fem faktorer undersøgt: vandaktivitet (a_w), temperatur, nitrat (NaNO_3), salt (NaCl) og cellulose. Surhedsgraden (pH) som faktor er ikke medtaget, idet gipskarton synes at have en stor bufferkapacitet, således at pH stort set forbliver uændret efter forsøg på regulering af pH med syre, henholdsvis base.

Som responsvariable blev valgt diameteren af de fremvoksede svampokolonier samt arealstørrelsen under de toppe, der fremkom ved højtryksvæskekromatografi med diode array detektion (HPLC-DAD) til detektion af ikke-flygtige stofskifteprodukter, som svampen danner under væksten.

Til detektion af flygtige stofskifteprodukter blev der anvendt gas-kromatografi med massespektrometri detektion (GC-MS).

Af resultater fra første fase skal nævnes:

- At der er udviklet en metode, der med visse modifikationer vil kunne anvendes som standard til belysning af forskellige faktoreres indflydelse på vækst og emission fra mikroorganismer på byggematerialer. Dette er vigtigt for at kunne identificere de forhold, der fremmer vækst af mikroorganismer på byggematerialer. Herved er der baggrund for at udarbejde en forebyggelsesstrategi for at undgå mikrobiel vækst i bygninger.
- At det i den eksperimentelle del af undersøgelsen af vækstbetingelserne er vist, at det er *materialernes meget høje fugtindhold og tilgængeligt cellulose*, der har været afgørende for vækst af den sundhedsskadelige skimmelsvamp *Stachybotrys chartarum* på gipsplader.

- At der blev påvist et stort antal ikke-flygtige og flygtige stofskifteprodukter (MVOC) produceret af *Stachybotrys*; således blev der ved dyrkning på gips-agar fundet 65 ikke-flygtige stofskifteprodukter. Ligeledes blev der i denne del af undersøgelsen påvist 13 flygtige stofskifteprodukter. Endvidere blev det meget sundhedsskadelige, ikke-flygtige stofskifteprodukt Satratoxin H, som bl.a findes i sporerne, detekteret ved laboratorieforsøg.

Fase 2: Bygningsgennemgang med registrering af bygningernes "sygehistorie" og indsamling af byggematerialer med efterfølgende vurdering af fugtkritiske konstruktioner og materialer. Identifikation af de forekommende skimmelsvampe samt yderligere detektion og karakterisering af udvalgte mykotoksiner og VOC'er (ikke-flygtige og flygtige stofskifteprodukter). Materiale- og konstruktionsvurderinger ud fra et fugtteknisk perspektiv.

Identifikation af fugtkritiske konstruktioner og materialer

I projektets anden fase er der i tidsrummet fra maj 95 til november 95 ved besøg i 23 forskellige bygninger udtaget prøver af skimmelsvamp-inficerede byggematerialer fra områder i bygninger med længerevarende massive vandskader (i alt 72 materialeprøver). Dette blev gennemført i forbindelse med en gennemgang af vandskadede offentlige bygninger i kommuner, hvor forvaltningen havde ønsket at få en tilstandsvurdering af dens bygninger.

Til brug for denne gennemgang blev der udarbejdet et bygnings-skema (se bilag 1), som blev udfyldt samtidigt med udtagelsen af hvert enkelt materiale. Skemaet har dannet grundlag for beskrivelsen af konstruktioner og materialer og er endvidere brugt i et scoresystem til vurdering af materialernes biotilgængelighed (potentiale for vækst) og dermed til vurdering af risiko for mikrobiel kontaminering ved opfugtning.

- I denne undersøgelse var hovedårsagen til opfugtning af materialer med efterfølgende skimmelsvampevækst *utætte tagkonstruktioner*.
- I halvdelen af de undersøgte tilfælde blev tagene utætte på grund af forskellige typer af *dårligt udførte samlingsdetaljer* og egentlige *sammenbygningsfejl*.
- I en trediedel af de undersøgte tilfælde var der tale om vandindtrængning gennem tagkonstruktioner med ringe fald.
- Materialer som var kritiske med hensyn til mikrobiel vækst var overvejende organiske materialer, navnlig de materialer, der var celluloseholdige som fx træ, jute, papir, karton og pap.

Identifikation af skimmelsvampe

Der blev fra samtlige byggematerialer udtaget prøver ved hjælp af aftryksplader til påvisning af skimmelsvampeforekomsten efter dyrkning, således at der kan tegnes et billede af, hvilke svampe der hyppigst optræder i forbindelse med vandskadede bygninger. Endvidere blev der til identifikation på slægtsniveau af svampe på udvalgte byggematerialer for første gang benyttet en hurtigmetode - mikroskopi af tape-

aftryk - der ikke kræver dyrkning, men dog forudsætter mykologisk ekspertise for at være brugbar.

Analyserne fra de undersøgte 72 materialeprøver viste, at de hyppigst forekommende svampeslægter var (tallene i parentes angiver det antal materialeprøver, som var inficerede med den pågældende svamp): *Penicillium* (49), *Aspergillus* (40), *Chaetomium* (16), *Ulocladium* (15), *Stachybotrys* (14), *Cladosporium* (11), *Acremonium* (10), *Mucor* (10), *Paecilomyces* (9), *Alternaria* (6), *Verticillium* (6) og *Trichoderma* (5). Disse svampe er alle beskrevet i sammenhæng med luftvejsallergi.

Identifikation af ikke-flygtige stofskifteprodukter

I projektets anden fase er der endvidere foretaget undersøgelser af mykotoksinproduktionen under vækst på byggematerialer hos tre udvalgte skimmelsvampe: *Aspergillus versicolor*, *Stachybotrys chartarum* og *Trichoderma spp.*

Disse skimmelsvampe ses ofte i forbindelse med vandskader, hvorfor de ofte betegnes som "vandskadesvampe". En del kan producere mykotoksiner, der er sundhedsmæssigt betænkelige.

Da mykotoksinproduktionen er meget afhængig af det aktuelle svampeisolat, af vækstmediets sammensætning og ikke mindst af den relative fugtighed i materialerne, har det været vigtigt at få dokumenteret, om danske isolater af de ovennævnte svampe producerer sådanne mykotoksiner på byggematerialer i danske bygninger, idet der kan være stor forskel på de enkelte isolater.

For at begrænse det omfattende analysekemiske arbejde er to mykotoksingrupper i første omgang oprenset og identificeret. Det drejer sig om trichothecener fra *Stachybotrys* og *Trichoderma* samt sterigmatocystin, som *Aspergillus versicolor* producerer. De udvalgte mykotoksiner er forsøgt detekteret dels på inficerede materialer fra vandskadede bygninger og endvidere ved laboratorieforsøg med byggematerialer podet (tilsået) med svampesporer.

En del af resultaterne fra denne fase af undersøgelsen vil kunne danne grundlag for en risikoanalyse af svampenes mulige akutte eller senere forekommende sundhedsskadelige virkninger ved udsættelse for disse stoffer i indeklimaet. Her skal fremhæves følgende resultater:

- At *Stachybotrys chartarum* ved vækst på opfugtede byggematerialer kan producere stoffer, der ved en indirekte metode (referencestoffer er ikke kommercielt tilgængelige) er identificeret som de sundhedsskadelige trichothecener satratoxin H og satratoxin G. Toksinerne blev i danske bygninger detekteret på 3 ud af de 3 undersøgte stærkt kontaminede materialer.
- At der i en bygning blev fundet trichothecenet trichodermol. Dette indikerer, at *Stachybotrys chartarum* kan leve tæt sammen med skimmelsvampen *Memnoniella echinulata*, som producerer dette stof og som ligner *Stachybotrys* til forveksling.
- Endvidere viste vækstforsøg, at 4 ud af 5 *Stachybotrys chartarum* isolater producerer de to førstnævnte toksiner under vækst på såvel nye som gamle (ca. 20 år) vandskadede gipsplader, som har en

vandaktivitet på 0,95. Dette vil sige, at det formentlig er materialets fugtighed, der har en afgørende betydning for toksinproduktionen.

- Ved dyrkningsforsøg med *Aspergillus versicolor* har 5 ud af de 5 undersøgte isolater produceret det sundhedsskadelige mykotoksin sterigmatocystin under vækst på opfugtede spånplader, gipsplader, fyrretræ og tapet. Desuden producerede 4 af isolaterne det ligeledes sundhedsskadelige 5-methoxy-sterigmatocystin. Dette er aldrig tidligere vist.
- To af isolaterne producerede så store mængder sterigmatocystin, at det udgør i størrelsesordenen 1 % af den mængde skimmelsvamp (biomasse), som blev skrabet af byggematerialet.
- De i denne undersøgelse isolerede og identificerede mykotoksiner er fra andre fagområder kendte for at være immunundertrykkende og stærkt kræftfremkaldende. I indeklimasammenhænge er der behov for at få klarlagt dosis/respons-sammenhænge og at foretage en risikoanalyse af skimmelsvampenes mulige sundhedsskadelige effekter på mennesker.

Identifikation af flygtige stofskifteprodukter

Mens der findes grundige undersøgelser af forekomsten af flygtige stofskifteprodukter (VOC'er) fra skimmelsvampe (MVOC), som vokser på laboratoriesubstrater, er der kun begrænset viden om dannelsen og den helbredsmæssige betydning af MVOC, der vokser på opfugtede byggematerialer.

Ved et dyrkningsforsøg blev sporer fra tre skimmelsvampeisolater af henholdsvis *Penicillium chrysogenum*, *Stachybotrys chartarum* og *Trichoderma sp.* podet på strålesteriliseret, opfugtet gulvpap.

Der blev udtaget luftprøver fra de inficerede pap-prøver i henholdsvis våd og udtørret tilstand. Dette blev gentaget i alt i tre omgange med ca. 17 dages mellemrum.

- Selv om tidsinddelingen for vækstperioderne var ret grov, synes der at være signifikante ændringer i dannelsen af specifikke flygtige stofskifteprodukter over tid. For både *P. chrysogenum* og *S. chartarum* faldt den relative produktion af alkoholer over tid, mens dannelsen af umættede kulbrinter tiltog.
- De identificerede MVOC'er kan ikke dokumenteres at være årsag til symptomer hos mennesker, når de forekommer i normale indeklimakoncentrationer. Dog er det muligt, at produkter fra stoffernes reaktion med ozon eller NO_x kan være stærkt slimhindeirriterende, eller at de MVOC'er, som kan fremkalde symptomer, ikke blev detekteret.

Byggetekniske forhold

Det skal understreges, at de undersøgte bygninger og de indsamlede materialer ikke er repræsentative for den danske bygningsmasse, idet der kun er medtaget få boliger. Endvidere er udtagne byggematerialer alle fra områder i bygninger, der i undersøgelsen viste sig at have været udsat for længerevarende og massive vandskader.

Årsagerne til opfugtningen af byggematerialerne er således heller ikke repræsentative. Erfaringsmæssigt vides, at der i den ældre boligmasse forekommer en del fugtige ydervægge, der skyldes kondensproblemer.

Efter opgørelsen af de byggetekniske data for de 72 indsamlede byggematerialer i de 23 bygninger, der indgår i undersøgelsen, fremgår det, at de tre helt fremtrædende årsager til opfugtede byggematerialer i de bygninger, materialerne er indsamlet i, er:

- utætheder i og ved tagkonstruktionerne
- indtrængning af grundfugt
- utætte installationer.

Der har som oftest været tale om langvarige opfugtninger over mere end 6 måneder. Den efterfølgende udbredte skimmelsvampevækst kunne have været undgået, såfremt opfugtningen var blevet stoppet relativt hurtigt efter at vandindtrængningen i konstruktionerne og materialerne var begyndt.

For materialerne blev der opstillet et scoringssystem og udregnet et indeks for svampevækst, som skal illustrere de opfugtede materials biotilgængelighed, dvs. potentiale for skimmelsvampevækst. Indekset omfatter vurdering af overfladestruktur, vedligeholdelsestilstand, alder, belastning, slid, rengøringstilgængelighed og renholdningstilstand.

De gips-agar-plader, som blev brugt som model i vækstforsøget, og som grundlag for udvikling af en standardmetode til undersøgelse af skimmelsvampevækst og deres produktion af ikke-flygtige og flygtige stofskifteprodukter fra opfugtede byggematerialer, lod sig kun modvilligt inficere af *Stachybotrys* sporer i små mængder under laboratorieforsøgene. Når der ved en bygningsgennemgang kan konstateres udbredt vækst af denne svamp, kan man derfor formentlig gå ud fra, at skaden skyldes kraftig og langvarig opfugtning (fra måneder til år), eller at der tidligere har været angreb af skimmelsvampe.

Der er forskel mellem de enkelte skimmelsvampes optimale levevilkår. En bestemmende faktor er fugten i luften og i de materialer, hvorpå skimmelsvampene gror. De øvrige betingelser er i de fleste tilfælde opfyldt i større eller mindre grad. Materialernes sammensætning og fysiske tilstand kan være vigtige parametre for, hvilke svampe der etablerer sig på det pågældende sted.

Mange af de konstaterede skimmelsvampeangreb er sket i tilknytning til utætte tage og installationer. Disse konstruktions- og vedligeholdelsesfejl har forårsaget en opfugtning af store dele af konstruktionerne, som så er blevet inficeret med skimmelsvampe. Problemerne kan løses gennem en forebyggende konstruktiv udformning, en omhyggelig kvalitetssikring og en bedre vedligeholdelse.

Man kan ikke helt forhindre vækst af skimmelsvampe i bygninger, men man kan minimere deres omfang gennem forebyggelse og ved konstruktions- og installationsmæssige ændringer.

Denne undersøgelse har vist, at der i de undersøgte bygninger, der i løbet af undersøgelsen alle viste sig at have været udsat for længerevarende og massive vandskader, forekommer skimmelsvampevækst i stort omfang, som frembringer sundhedsskadelige stoffer. Undersøgelsen, der primært er udført på offentlige bygninger med længerevarende vandskader, er imidlertid ikke repræsentativ for den danske

bygningsmasse, bl.a. fordi så få boliger indgår. Endvidere er der kun udført grundige mykotoksin-undersøgelser af tre af de fundne svampe. For at kunne belyse det nødvendige omfang af en sanering eller reovering af skimmelsvampeinficerede bygninger og anvise metoder til at fjerne eller forhindre skimmelsvampevækst, må der fremskaffes større biologisk, byggeteknisk og toksikologisk viden. Ligeledes er det nødvendigt at få et større kendskab til, hvordan og i hvilket omfang bygningsbrugerne bliver udsat for svampenes sundhedsskadelige stoffer.

Indledning

I de senere år har der været et øget antal indeklimaklager i forbindelse med ikke-industrielle offentlige arbejdspladser såsom skoler og børnehaver og kontorer. Klagerne har været mest udtalte i vandskadede bygninger, hvor der har været udbredte angreb af mikroorganismer.

På denne baggrund blev der gennemført et flerårigt pilotprojekt med det formål at undersøge mikroorganismernes betydning for indeklimaet set med en kombineret byggeteknisk og humanbiologisk indfaldsvinkel.

Foruden den rent biologiske information om organismer og emissioner fra disse har det været hensigten at afdække risikokonstruktioner og -materialer for allerede efter første år at kunne give indledende informationer til byggebranchen.

Årsager til vandskade

Konstruktioner som tage med ingen eller lille hældning eller manglende tagudhæng, skjulte rørføringer og beklædte skillevægge har fremmet risikoen for vandskade og dermed muligheden for mikrobiel vækst. Endvidere ses utilstrækkelige omfangsdræn, manglende vedligeholdelse af bygningerne og forkert udført reovering at være en medvirkende årsag til fugtproblemer.

Indeklimaklager i vandskadede bygninger

En del af de symptomer, der rapporteres, kan diagnosticeres som luftvejsallergi (specifik overfølsomhed) eller uspecifik overfølsomhed. Ved overfølsomhed (hyperreaktivitet) forstås en særlig kraftig og hurtigt indsættende reaktion i de udsatte personers hud, slimhinder eller indre organer på påvirkninger, der tåles reaktionsløst af de fleste. Medens det er muligt forholdsvis let at diagnosticere allergier, er den uspecifikke overfølsomhed vanskeligere at verificere.

Endvidere rapporteres symptomer, som muligvis kan tilskrives udsættelse for nogle svampes sundhedsskadelige stofskifteprodukter. Der rapporteres endvidere klager som ved det såkaldte Sick-building-syndrome. Disse klager ligner i et vist omfang klagerne ved påvirkning fra andre indeklimaparametre, og det kan være vanskeligt at identificere årsagerne til de opståede symptomer. Imidlertid kan en bygningsundersøgelse af en vandskadede bygning afklare om forholdene er af en sådan karakter, at man kan fokusere mere på skimmelsvampeforekomsten end på andre forhold, som fx utilstrækkelig ventilation eller støvbelastning.

Mikroorganismer og indeklima

Der vil i enhver bygning være en naturlig baggrundsbelastning af mikroorganismer, som stammer dels fra udendørs luft, dels fra de personer, der opholder sig i bygningen. Den naturlige forekomst af mikroorganismer er velbelyst. Det drejer sig om virus, svampesporer og bakterier.

Svampesporer og de luftbårne bakterier forekommer dels som enkeltpartikler, dels som aggregater (klumper og kæder) og dels hæftet til

andre partikler, fx støv og tekstilfibre. Blandt de dominerende bakterier i indendørs luft er stafylokokker, mikrokokker og streptokokker, som frigøres fra menneskers næse, mund og hud; men andre typer af bakterier ses også. Det drejer sig om de såkaldte gram-negative bakterier, der bl.a. vokser, hvor der er frit vand til stede, fx i befugtere. Selvom foreløbige undersøgelser tyder på, at opfugtede byggematerialer overvejende domineres af skimmelsvampevækst, bør man være opmærksom på, at frigjorte stoffer fra bakteriers cellevægge (endotoksiner) ved indånding kan være med til forstærke forskellige overfølsomhedsreaktioner.

Skimmelsvampe

Der er fundet og identificeret en lang række forskellige skimmelsvampe i bygninger. For de fleste er der en årstidsvariation, ligesom der er påvist forskelle mellem forskellige boliger og mellem forskellige arbejdsmiljøer afhængig af fx beliggenhed, fugtforhold, personbelastning og arbejdsprocesser.

Når skimmelsvampene får gode vækstbetingelser i form af fugtige og våde materialer som fx træ og tapet, hvorfra de kan få næring fra organiske stoffer som fx cellulose, kan de brede sig. Herved kan de udgøre et sundhedsmæssigt problem ved at frigøre sporer og flygtige såvel som ikke-flygtige stoffer til indeluften.

I en vandskaded bygning vil der som oftest være andre skimmelsvampeslægter og -arter til stede foruden dem, der kommer udefra, og som man også finder i tørre bygninger. Sammensætningen af skimmelsvampe vil være afhængig af typen af materialer, der indgår i bygningen samt materialernes fugtighed.

Skimmelsvampenes specifikke stoffer og deres mulige helbredseffekter

I det følgende gives en oversigt over de biologisk aktive komponenter fra skimmelsvampe.

Allergener

Det er nu undersøgt og i et vist omfang påvist, hvilke skimmelsvampearter, der er de hyppigst forekommende i vandskadede danske bygninger. Proteiner fra sporerne fra disse svampe er alle potentielle luftvejsallergener. For de fleste af de fundne skimmelsvampeslægter er allergiske reaktioner beskrevet. Der mangler i dag systematisk viden om omfanget af udsatte personers specifikke og uspecifikke overfølsomhed over for disse skimmelsvampe.

Mykotoksiner

Flere af de skimmelsvampe der vokser på fugtige byggematerialer producerer mykotoksiner.

Mykotoksiner er naturligt forekommende, specifikke stofskifteprodukter fra skimmelsvampe, der har en sundhedsskadelig virkning hos hvirveldyr, når stofferne optages i små mængder gennem munden, via åndedrætssystemet eller gennem huden.

Disse stoffer anses for ikke-flygtige og er knyttet til sporerne eller det substrat, svampen vokser på.

Nogle af stofferne, bl.a. de såkaldte trichothecener og sterigmatocystin, er tidligere detekteret fra luftbårne svampesporer, og er nu for første gang detekteret direkte på inficerede materialer i fugtskadede

danske bygninger (trichothecener fra *Stachybotrys chartarum*) eller på forskellige byggematerialer opfugtet og inficeret i laboratoriet (sterigmatocystin fra *Aspergillus versicolor*). Både trichothecener og sterigmatocystin er immunosuppressive, dvs. at de undertrykker immunsystemet og dermed giver en risiko for at forhindre udsatte personers immunsystem i at virke efter hensigten, nemlig at kunne forsvare organismen mod fremmede stoffer. De omtalte mykotoksiner har fx en stærkt hæmmende virkning på de celler i lungerne (lungemakrofager), som har til opgave at fjerne inhalerede partikler fra de nedre luftveje. Dette gælder også fjernelsen af bakterier og svampesporer. Hos pattedyr kan sterigmatocystin være kræftfremkaldende ved indtagelse gennem føden.

Glukaner

Skimmelsvampe indeholder glukaner (bl.a. β -1-3-D-glukan) i cellevæggen. Disse er farmakologisk aktive, idet de både kan fremkalde inflammatoriske (inflammation = betændelsesreaktioner) og immunologiske effekter. Eksponeringsforsøg med inhalation af isoleret glukan har givet anledning til tilstoppet næse, svie i halsen, hovedpine og træthed. Samme symptomer, som er set ved provokationsforsøg med skimmelsvampeinficerede byggematerialer.

Flygtige organiske stoffer fra skimmelsvampe (MVOC)

Foruden de ovennævnte ikke-flygtige stofskifteprodukter producerer skimmelsvampene flygtige, ofte ildelugtende stoffer under vækst. Disse kan være alkoholer, aldehyder, estere, hydrocarboner eller terpenener. En del af disse stoffer kan komme fra andre kilder, men jordslået lugt som skyldes en blanding af geosmin, 2-isopropyl-3-methoxy-pyrazine og 2-methyl-isoborneol er typiske indikatorer for skimmelvækst.

I store doser kan disse stoffer påvirke slimhinder og centralnervesystemet, men anses ikke for i sig selv at have negative helbredseffekter, når de forekommer i normale indeklimakoncentrationer. Der kan dog også være tale om effekter fra andre flygtige stoffer, som ikke tidligere er beskrevet og som ikke har kunnet detekteres med de anvendte analysemetoder.

Det er endvidere muligt, at produkter fra de flygtige svampestoffers reaktioner med ozon eller NO_x kan vise sig at være slimhindeirriterende.

Materialer og metoder

I det følgende gives en kortfattet gennemgang af de materialer og metoder, der har været brugt i forbindelse med projektet. Resultaterne fra fase 1 er tidligere rapporteret i en midtvejsrapport: SBI-meddelelse 115, 1996.

Fase 1: Fremstilling og tilsåning af gipssubstrater, undersøgelse af vækstbetingelser for Stachybotrys chartarum samt påvisning af ikke-flygtige og flygtige stofskifteprodukter.

For at opnå så realistiske betingelser som muligt blev der ud fra pulveriserede gipsplademasser fra henholdsvis gipskartonplader (DA) og fibergipsplader (FI) fremstillet steril gipsagar i 9 cm petriskåle. Petriskålene blev tilsået med en sporesuspension fra en isolat af svampen *S. chartarum* (IBT nr. 14915), som er isoleret fra en vandskadet bygning.

Regulering og bestemmelse af substraternes vandaktivitet

Til indstilling af den ønskede vandaktivitet blev brugt glycerol ca. 87 % Til bestemmelsen brugtes en Novasina a_w -box, og der udførtes 3-dobbel bestemmelse ved 25 °C.

Tilsætning og regulering af de fem vækstfaktorer, der undersøges for indflydelse på vækst og metabolitdannelse

Nitrat ($NaNO_3$)
1 % natriumnitrat blev tilsat dyrkningsmediet, idet svampen angives at producere toksiner ved tilstedeværelse af nitrat.

Kogsalt ($NaCl$)
5 % salt blev ligeledes tilsat mediet, idet svampen er anført som saltelskende (halofil). Begge stoffer tilførtes det flydende medium inden autoklaving.

Cellulose

Var på forhånd tilsat, idet gipstypen FI havde et stort (ikke nærmere deklareret) indhold af cellulose, mens gipstypen DA havde et lavt indhold.

Temperatur

Temperaturen under inkuberingen blev varieret mellem 20 °C og 30 °C.

Fugtighed

Fugtigheden i substratet er benævnt vandaktivitet (a_w). Det er et udtryk for det vand, der er tilgængeligt for skimmelsvampene. Ved ligevægt med den omgivende luftfugtighed og temperaturer er $a_w \times 100 =$

luftens relative fugtighed (RH). Fugtigheden blev indstillet mellem 96 og 98 % RH. Substratets egen vandaktivitet var på 0,98.

Påvisning af ikke-flygtige stofskifteprodukter fra Stachybotrys

Svampens ikke-flygtige stofskifteprodukter blev påvist, som beskrevet i Filtenborg et al. (1983), fra sporer (intracellulære metabolitter) ved ekstraktion med methanol-chloroform og efterfølgende tyndtlagschromatografi (TLC). Stofskifteprodukter fra substratet (ekstracellulære metabolitter) blev påvist ved direkte applikation af en substratprop på TLC-pladen. En grundigere analyse af de ikke-flygtige metabolitter blev foretaget med højtryksvæske chromatografi med diodearray detektion (HPLC-DAD) efter Frisvad (1989).

Påvisning af flygtige stofskifteprodukter (MVOC) fra Stachybotrys

Flygtige stofskifteprodukter blev opsamlet på kulrør og analyseret med gaschromatografi og massespektrometri (GC-MS) efter Larsen & Frisvad (1994). De fremkomne spektre blev identificeret ved at sammenligne med spektre i en eksisterende database NIST (75000 spektre). Mængden af de fundne stoffer blev kvantificeret ved sammenligning med intern standard.

Statistiske beregninger

Forsøget er udført som et partielt 2^5 faktorforsøg. Til den statistiske behandling af resultaterne er brugt computer programmet MODDE, version 3.0, et pc-windows program specielt udviklet til planlægning og evaluering af eksperimentelt arbejde. Endvidere anvendes multipel lineær regression (MLR) til brug for tilpasning af data til den valgte lineære model med interaktioner.

Fase 2: Indsamling af inficerede byggematerialer fra vandskadede bygninger, bygningsanamnese med efterfølgende vurdering af materialer og konstruktioner, som er kritiske for fugt og skimmelvækst, identifikation af de forekommende skimmelsvampe samt yderligere detektion og karakterisering af udvalgte mykotoksiner og MVOC'er (ikke-flygtige og flygtige stofskifteprodukter).

Indsamling af byggematerialer

I forbindelse med bygningsgennemgang med det formål at give en tilstandsvurdering af de 23 pågældende bygninger, overvejende skoler og andre offentlige ikke-industrielle arbejdspladser, blev der udtaget 72 inficerede bygningsmaterialer, som blev anbragt i aromatætte plasticposer.

Registrering af bygningens "sygehistorie"

Et anamnese-skema for bygningen (skema over bygningens sygehistorie) blev udfyldt med relevante oplysninger for denne undersøgelse (se bilag 1). Skemaet er udarbejdet med henblik på at indsamle de fornødne baggrundsoplysninger til belysning af årsagerne til opfugtning og hvilke omstændigheder, der har haft betydning for at skimmelsvampe har kunnet etablere sig på materialerne. De indhentede erfaringer kan indgå i grundlaget for udarbejdelse af informationsmateriale og har afdækket et behov for yderligere forskning.

Identifikation af skimmelsvampe på byggematerialer

Fra materialerne blev der ved hjælp af 5 cm petriskåle med V-8 agar (kontaktplader) foretaget aftryk, og materialerne blev umiddelbart herefter igen anbragt i de aromatætte poser.

Dyrkningspladen, som er anvendt ved aftryksprøven, har været anbragt på det sted på materialet, hvor væksten var mest synlig for det blotte øje.

Petriskålene blev herefter inkuberet ved 25 °C og inspiceret på tredjedagen og efter en uge. De fremvoksede kolonier blev talt og identificeret, om muligt til art efter gængse taxonomiske standardkriterier. I dyrkningsvaret blev det angivet, hvilke svampe der blev fundet, og hvilke der dominerede prøven. Mængden af de fundne svampekolonier blev angivet som ringe (< 10), moderat (10-50) og massiv (> 50). Identifikation til artsniveau kræver en betydelig mykologisk ekspertise og i visse tilfælde videredyrkning på specialsubstrater, hvilket blev gjort på bl.a. MEA, CYA og CREA (Malt-ekstrakt-agar, Czapek-yeast-agar og Creatinfosfat-agar).

Som en ny metode, ikke tidligere anvendt på byggematerialer i Danmark til identifikation af skimmelsvampe til slægtsniveau, blev den såkaldte tapemetode anvendt. Et stykke cellotape presses mod det inficerede materiale, og anbringes derefter på et objektglas, hvorpå der er anbragt en dråbe rødt farvestof (lacto-fuchsin). Herefter foretages mikroskopi. Denne metode kræver ligeledes mykologisk ekspertise.

Indeks for skimmelsvampevækst

Det er vigtigt allerede i projekteringsfasen at kunne forebygge skimmelsvampevækst i den færdige bygning. For at kunne informere om dette, er det ønskeligt at kunne supplere den eksisterende viden med yderligere viden om risikomaterialer og risikokonstruktioner set i sammenhæng med skimmelsvampes betydning for helbredsgener. Til brug for dette er der udarbejdet et scoringssystem, som omfatter en række forhold ved de indsamlede materialer og deres placering i den færdige bygning, forhold, der anses for kritiske for etableringen og væksten af skimmelsvampe. Arbejdstitlen herfor er "Indeks for byggematerialers potentiale for skimmelsvampevækst", hvor der på en skala fra 0 til 6 angives, hvor stor risiko der er for svampevækst, såfremt materialet opfugtes. Skalaen er således et udtryk for byggematerialernes biotilgængelighed.

Vurderingskema til bestemmelse af byggematerialernes indeks for skimmelsvampevækst.

Materialets tilstand og tilgængelighed	Vurdering
Overfladestruktur	Jævn (0) - Ru (1)
Vedligeholdelsestilstand	God (0) - Dårlig (1)
Alder	Under 2 år (0) - Over 2 år (1)
Belastning, slid m.m.	Lille (0) - Stor (1)
Tilgængelighed for rengøring	Let (0) - Vanskelig (1)
Renholdningstilstand	God (0) - Dårlig (1)
Σ Indeks for skimmelsvampevækst	(0 = lille, 6 = stor)

Der er ikke viden til at kunne give en generel vægtning af de enkelte faktorer, der indgår i indekset. Hver faktor i indekset har derfor her fået samme vægt. En faktor kan enten indgå i indekset med værdien 0 eller 1.

Efterhånden som der erhverves mere viden om skimmelsvampenes etablering og vækst på byggematerialer, kan opgørelsen af indekset forfines.

I indekset indgår materialets overfladestruktur, idet det antages, at jo grovere overfladestrukturen er, jo lettere kan skimmelsvampe etablere sig. På samme måde indgår materialets alder, belastning (slid) og renholdnings- og vedligeholdelsestilstand. Med alderen vil materialets overflade blive beskadiget og være udsat for forskellige nedbrydningsmekanismer. Jo større belastningen er, jo større er risikoen for at materialeoverfladen kan angribes af skimmelsvampe ved fugttilførsel. Det samme gør sig gældende, såfremt overfladen ikke bliver renholdt og vedligeholdt på passende måde. Hvis materialet er placeret et sted i bygningen, hvor det er vanskeligt at renholde og vedligeholde dets overflade, anses dette også for at være en faktor, der forøger risikoen for skimmelsvampevækst.

Graden af biotilgængelighed angiver, hvor stor sandsynlighed (risiko) materialerne har for at blive inficeret af skimmelsvampe efter opfugtning, som kan resultere i en hurtig og kraftig vækst. Dette er udtrykt ved et indeks fra 0 til 6, hvor 0 betyder ringe risiko, og 6 betyder høj risiko. Biotilgængeligheden eller potentialet for svampevækst er et udtryk for samspillet mellem materialets egenskaber og de forskellige påvirkninger, som materialet har været udsat for.

En faktor, som ud over de faktorer, der indgår i indekset for skimmelsvampevækst, er helt afgørende, er byggematerialernes indhold af biologiske nedbrydelige komponenter.

Et materiale kan klassificeres som enten et organisk eller et uorganisk materiale, afhængigt af dets indhold af biologisk nedbrydelige komponenter, især cellulose. Stærkt celluloseholdige materialer som fx træ eller træbaserede materialer øger i sig selv graden af biotilgængelighed. En forudsætning for at en nedbrydning af et materiale kan finde sted, er at det opfugtes over længere tid. Inden for gruppen af organiske materialer bør man desuden differentiere mht. hvor let materialet er at nedbryde, dvs. hvor let tilgængelig fødekilden i materialet er. Fx er

tapetlim, som overvejende består af stivelse, lettere tilgængelig for svampenes enzymer end cellulose.

Påvisning af mykotoksiner

Det følgende er en kort gennemgang af de eksperimentelle omstændigheder, der ligger til grund for påvisningen af mykotoksiner, dels på podede byggematerialer, dels på materialer in situ i bygningerne.

Podning af byggematerialer

Til forsøgene blev der udvalgt en række materialer, dels nye, dels ældre (15-20 år gamle) i det omfang, de kunne skaffes fra eksisterende bygninger.

- Nye gipsplader, rondel 12 cm i diameter
- Nye spånplader, rondel 12 cm i diameter
- Gamle gipsplader skåret i kvadrater ca. 9×9 cm
- Gamle fyrretræsstykker, $4 \times 4 \times 0,8$ cm, 3 stk. placeret i hver petriskål.
- Akustikplader med mineraluld og glasvævsunderside, skåret i kvadrater ca. $9 \times 9 \times 0,8$ cm. Disse blev placeret med glasvævssiden opad i petriskålene.

Efter placering i 14 cm (diameter) plasticpetriskåle blev materialerne sendt til Risø, hvor de blev strålesteriliseret med 20 kGY γ -stråling. Efterfølgende blev materialerne opfugtet i sterilbænk med ca. 1 ml autoklaveret dobbeltdestilleret vand i bunden i ca. 2 timer.

I alt 18 stk. byggematerialer af hver slags blev podet med renkulturer af 18 isolater af følgende skimmelsvampe fra danske bygninger:

- 5 isolater af *Aspergillus versicolor*
- 8 isolater af *Trichoderma* spp.
- 5 isolater af *Stachybotrys chartarum*

De podede petriskåle blev inkuberet ved 25 °C uden belysning i et velventileret rum 2-3 måneder. En gang ugentlig blev petriskålene tilset og sterilt vand tilsat, når materialerne var tørret ud.

I slutningen af forsøgsperioden (dec. 1996) blev 5 tapetserede gipsrondeller (nye) ligeledes podet med de 5 isolater af *A. versicolor*. Som podemateriale blev der tilsat 5×10^4 sporer til limen og 5×10^4 sporer på overfladen af tapetet.

Indsamling af byggematerialer til detektion af mykotoksiner

I en række bygninger i Københavnsområdet blev der udtaget materialeprøver med vækst af *Stachybotrys chartarum*:

- Skole med kraftige fugtskader som følge af utætte nedløbsrør fra et fladt tag. En gipsvæg mellem to klasselokaler blev brudt op, og fra bagsiden, som var sort af *Stachybotrys chartarum*, blev den sorte biomasse skrabet af med en hobbykniv og opsamlet på et $0,45 \mu\text{m}$ filter ved hjælp af støvsuger med special mundstykke (ref. til ALK-næbbet her). Desuden blev der hjemtaget 3 sorte mineraluldsbats

$0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$, som grænsede op til de vandskadede gipsplader, idet skimmelsvampevæksten fra gipspladerne var trængt ind i mineraluldspladerne.

- Barak benyttet til administrative formål på et hospital. Barakken havde en fugtskade i gulvet som følge af dårlig dræning. Som følge af udtørring var myceliemassen begrænset. Myceliet blev opsamlet, som beskrevet ovenfor.
- Kælder i bolig med fugtskader i ydervægge som følge af manglende ventilation og dårlig dræning omkring huset. De fugtskadede gipsvægge i soveværelset havde kraftig vækst af *S. chartarum* bag skabe og bag en seng. På grund af den kraftige vækst var det kun nødvendigt at udtage $800-1000 \text{ cm}^2$ af gipsvæggens dækpap til analyse. Dækpappet blev fjernet med en skalpel.
- Privat hjem med fugtskadede badeværelse som følge af manglende ventilation. Der blev udtaget en natriumsilicatplade med glasvæv, hvorpå der var påsat klinker. På selve natriumsilicatpladen var væksten af *S. chartarum* svag, mens den derimod var massiv i glasvævslaget med limen som substrat for denne vækst.

Kemiske analyser

Ekstraktion af mykotoksiner

Både de podede materialer (laboratorieprøverne) og materialerne udtaget fra de vandskadede bygninger (miljøprøverne) blev ekstraheret ved henstand i methanol og dichlormethan eller ved afskrabning af myceliemassen, som efterfølgende blev ekstraheret med methanol.

Detektion af sterigmatocystin fra *Aspergillus versicolor*

Ekstraktet blev analyseret ved hjælp af HPLC-DAD. Sterigmatocystin blev detekteret ved at have samme retentionstid og UV-spektrum som en standard. Detektionsgrænsen for sterigmatocystin var 1 ng ($10 \mu\text{l}$ blev injiceret), og lineære kalibreringskurver kunne opnås i området 5-1000 ng.

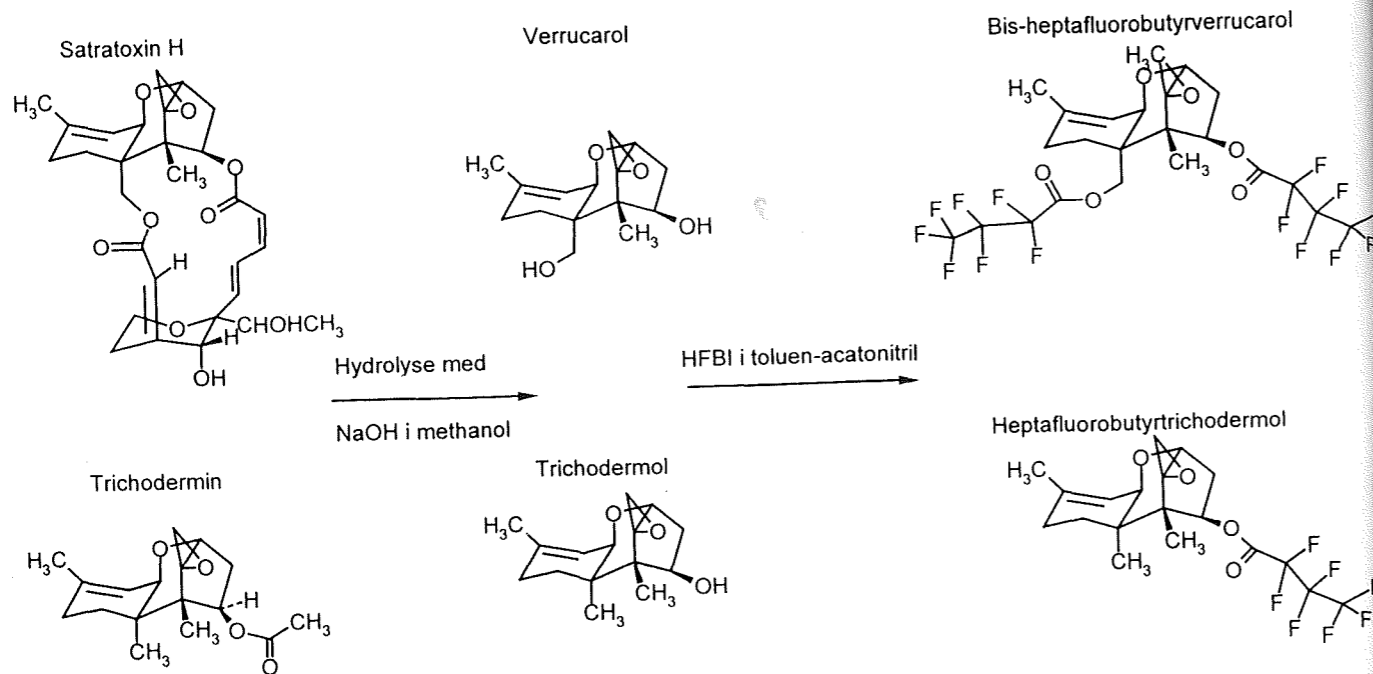
Påvisningen af sterigmatocystin blev yderligere bekræftet med TLC med AlCl_3 farvning.

Detektion af trichothecener fra *Stachybotrys* og *Trichoderma*

Prøverne blev oprenset på C18 eller Silicagel SPE moduler og hydrolyseret til henholdsvis verrucarol (trichothecener fra *Stachybotrys*) og trichodermol (trichothecener fra *Trichoderma*). Verrucarol og trichodermol blev derivatiseret til deres heptafluobutylerede di- og monoe-ster: HFB-verrucarol og HFB-trichodermol med heptafluorbuturyl-imidazol.

De to nævnte stoffer blev efterfølgende analyseret med GC-MS med negativ kemisk ionisering med methan som reaktionsgas. Detektionsgrænsen for verrucarol var 5 pg ($1 \mu\text{l}$ blev injiceret) og lineære kalibreringskurver kunne opnås i området 10-2000 pg ($0,5 \text{ g}$ verrucarol modsvarer ca. 1 g satratoksin G eller H).

Identifikation af stofferne krævede både samme retentionstid og samme MS-spektrum som standarder af verrucarol og trichodermol.



Figur 1. Påvisning af trichothecener ved hydrolyse og derivatisering af satratoksin H og trichodermin.

Påvisning af MVOC (flygtige stoffer fra svampene)

Nyt gulvpap (520 g/m² blev udskåret i stykker på 9 × 20 cm, strålesteriliseret med 25 kGy γ stråler, tilsat 10 ml sterilt vand, podet med henholdsvis *Stachybotrys chartarum* (IBT 14915), *Penicillium chrysogenum* (IBT 15996) og *Trichoderma spp.* (IBT 8866) og anbragt i lukkede, sterile 1l glaskolber. Efter 10-11 dage blev VOC'er i ca. 0,9-1,8 l luft opsamlet på Tenax TA rør og analyseret ved hjælp af GC-MS.

Prøverne blev herefter udtørret ved hjælp af steril luft (ca. 20 ml/min i 2-3 døgn gennem 0,45 μ m filter.

Da alle prøverne var tørre efter ca. 10 døgn, blev der atter tilsat sterilt vand (5 ml) til hver prøve, og luften blev igen opsamlet efter 7 døgn på samme måde som beskrevet ovenfor. Denne cyklus blev gentaget 3 gange.

Resultater og diskussion

Fase 1: Fremstilling af gipssubstrater, undersøgelse af vækstbetingelser for *Stachybotrys chartarum* samt påvisning af ikke-flygtige og flygtige stofskifteprodukter.

Laboratorieforsøg med dyrkning af *Stachybotrys chartarum* på de gængse svampesubstrater har erfaringsmæssigt været vanskelige at gennemføre, da *Stachybotrys* øjensynlig stiller meget specifikke krav til substratet for at kunne vokse. Imidlertid har det her været muligt at udvikle et dyrkningsmedium ud fra selve gipskartonplade-materialet til undersøgelse af 5 forskellige faktors indflydelse på svampens vækst og emissioner. Ved podning på substratet (prik-podning) går der fra tre til fire uger før kraftig vækst er etableret, hvorfor det må antages, at udbredt vækst på materialer i bygninger har taget fra måneder til år for at nå en udbredelse af m²-omfang, såfremt der kun er tilført en ringe mængde sporer til det opfugtede materiale.

Anderledes forholder det sig, hvis der tilføres en stor mængde sporer (5×10^4). Her vil der kunne etableres kraftig vækst i løbet af 8-10 døgn.

Ved at fremstille et gipsplade-agar-substrat som tilgodeser *Stachybotrys*' vækstkrav blev der hermed udviklet en metode, der vil kunne anvendes som standard til accelererede forsøg med forskellige byggematerialer og forskellige svampe, hvilket var det ene af projektets delmål.

Det kan ud fra forsøgene med de forskellige vækstfaktorer konkluderes, at materialets vandaktivitet (a_w), er den vigtigste parameter for vækst. En vandaktivitet på 0,96 = 96 % fugtindhold, som i sig selv er meget høj, gav en markant dårligere vækst end en a_w på 0,98, hvilket igen vil sige, at hvis gipskartonpladerne er tørre ($a_w < 0,50$) ved opsætning og forbliver tørre i bygningens levetid, er der ikke mulighed for mikrobiel vækst.

Der kunne ved de gaschromatografiske analyser ikke påvises luftformede stofskifteprodukter (flygtige metabolitter - MVOC) under forsøget med forskellige faktors indflydelse på væksten af *Stachybotrys*. Det har dog været muligt at påvise flygtige stoffer i den senere fase af projektet (Fase 2).

Der blev i faktorforsøget påvist et antal forskellige ikke-flygtige stofskifteprodukter ved HPLC analyserne. Under afviklingen af Fase 1 var det ikke teknisk muligt at identificere de enkelte stofskifteprodukter, bl.a. fordi der ikke findes kommercielt tilgængelige referencestoffer. Dette lykkedes dog for enkelte af de vigtigste stoffers vedkommende i Fase 2.

Sammenhængen mellem de undersøgte faktorer og produktionen af stofskifteprodukter er ikke statistisk signifikant; men den umiddelbare konklusion er, at høj vandaktivitet og højt celluloseindhold virker fremmende på dannelsen af stofskifteprodukter, både hvad angår diversitet og mængde. Produktionen af stofskifteprodukter, som er undersøgt ved temperaturer i intervallet 20-30 °C, viser at tempera-

turer i dette interval spiller en sekundær rolle, hvis materialet er fugtigt nok. Et tillægssforsøg, hvor de tilsåede gipsplader blev inkuberet ved henholdsvis 25 og 5 °C, simulerende en sommer- og vintersituation, viste, at der ved 5 °C sker en markant hæmning af svampevæksten og en betydelig reduktion af de ikke-flygtige metaboliter: fra 32 til 15 for den ene gipstype, fra 18 til 4 for den anden gipstypes vedkommende.

Fase 2: Indsamling af inficerede byggematerialer fra vandskadede bygninger, bygningsanamnese med efterfølgende vurdering af risikomaterialer og -konstruktioner, identifikation af de forekommende skimmelsvampe samt yderligere detektion og karakterisering af udvalgte mykotoksiner og MVOC'er (ikke-flygtige og flygtige stofskifteprodukter).

Indsamling af inficerede byggematerialer fra vandskadede bygninger

I tabel 1-4 er der foretaget en opgørelse af de 72 materialeprøver fra de 23 bygninger, der har indgået i undersøgelsen. Opgørelsen omfatter: bygningernes opførelsesår, årsag til opfugtning, opfugtningsperiode og materialernes biotilgængelighed (modstandsdygtighed over for skimmelsvampevækst).

Tabel 1.

Opførelsesår	Antal materialer
Før 1960	32
1960-1970	12
1970-1980	25
1980-1990	0
1990	3

Tabel 2.

Årsag til opfugtning	Antal materialer
Utæt tag	37
Indtrængning af grundfugt	12
Utætte installationer	9
Andet	14

Tabel 3.

Opfugtningsperiode	Antal materialer
Mindre end 6 måneder	1
Længere end 6 måneder	62
Ikke oplyst	9

Tabel 4. Byggematerialernes indeks for skimmelsvampevækst.

Indeks (0-6)	Antal materialer
0	0
1	0
2	0
3	4
4	21
5	28
6	19

Hovedårsagen til opfugtning af materialer med efterfølgende skimmelsvampevækst var i denne undersøgelse først og fremmest utætte tage (tabel 2). I halvdelen af tilfældene var tagene utætte p.g.a. forskellige typer af dårlige samlingsdetaljer og egentlige sammenbygningsfejl. Derudover var der i en tredjedel af tilfældene tale om tagkonstruktioner med ingen eller ringe fald.

Dernæst gav indtrængning af grundfugt og utætte installationer anledning til skimmelsvampevækst, dog ikke i samme grad og ikke i samme omfang som tagkonstruktionerne.

Som mindre betydende årsager til opfugtning af byggematerialer i denne undersøgelse kan nævnes indtrængning af rengøringsvand og kondensdannelse.

Som det ses af tabel 3 havde materialerne generelt været opfugtet længere end seks måneder i alt.

I tabel 4 vises resultaterne af vurderingen af graden af byggematerialernes biotilgængelighed, udtrykt ved "Indeks for skimmelsvampevækst". Ifølge det udarbejdede scoringssystem viser indekset, at materialerne overvejende fordeler sig på høje grader af biotilgængelighed (en score på 4-6), hvilket er ensbetydende med en ringe modstandsdygtighed mod infektion af skimmelsvampe.

Bygningsanamnese med efterfølgende vurdering af risikomaterialer og konstruktioner

I tabel 5-10 er byggematerialerne fordelt på materialegrupper. Tabellerne omfatter: Beskrivelse af materialegrupper, fordeling efter organisk henholdsvis uorganisk oprindelse, biotilgængelighed samt forekomst af materialegrupperne sammenholdt med årsagen til opfugtningen.

Derudover er de enkelte materials biotilgængelighed og omfanget af svampevæksten på materialerne sammenholdt med årsagen til opfugtningen.

Tabel 5. Antal indsamlede inficerede materialer fordelt på materialegrupper (n=72).

Træ =	16
Træbaserede materialer: lægter, brædder, lister, træfiber- plader (bløde, hårde imprægnerede) og spånplader	
Linoleum =	8
Linoleumsgulvbelægning	
Isoleringsmateriale til installation =	8
Materialer anvendt til isolering af in- stallationer: mineralfibre, papir, pap, lærred m.m.	
Gips =	8
gipskartonplader (evt. malede), gips- væg- og gipsloftsplader	
Mineralfibre =	7
Mineralfiberholdige materialer: mineralfibermåtte, mineralfiberlofts- plade, akustikplade, mineraluldiso- lering	
Tapet =	5
Forskellige typer tapet med lim: papir, savsmuld, hessian, dog ikke plasttapet	
Glasvæv =	4
Glasvæv brugt i forbindelse med ma- lebehandling på vægge m.m.	
Alufolie =	3
Aluminiumsfolie anvendt som damp- spærre	
Andet =	8
Polyvinylchloridplast (pvc), polystyrenskum, teglsten, kork, plast	

Som det ses af tabel 5, indeholder de nævnte materialegrupper be-
slægtede materialer, som i opgørelserne er henregnet under ét.

Tabel 6. Materialegrupperne fordelt efter organisk henholdsvis uorganisk oprindelse.

Organiske materialer	Træ	16	
	Linoleum	8	
	Isoleringsmat. til installation	8	
	Gips ¹	8	
	Tapet	5	
	Antal materialer (i %)	45	63 %
Uorganiske materialer	Mineralfibre	7	
	Puds	5	
	Glasvæv	4	
	Alufolie	3	
	Andet ²	8	
	Antal materialer (i %)	27	27 %

- 1) Gips alene er et uorganisk materiale, men til produktion af gipsplader tilsættes
cellulosefibre i gipsmassen, og de er ofte forsynet med et kartonlag på ydersiderne.
2) Hovedparten af materialerne rubriceret under Andet er af uorganisk beskaffenhed.

Tabel 7. Graden af biotilgængelighed (potential for vækst) i materialegrupperne.

Matr. grupper	3	4	5	6
Træ	1	1	9	5
Linoleum	0	2	5	1
Isoleringsmateriale til installation	0	0	1	7
Gips	1	3	2	2
Mineralfibre	0	3	2	2
Tapet	1	2	2	0
Puds	1	1	2	1
Glasvæv	0	3	1	0
Alufolie	0	2	1	0
Andet	0	4	3	1

Tre grupper af materialer har en høj grad af biotilgængelighed nemlig
Træ, Linoleum og Isoleringsmateriale til installation. For gruppen Træ
er der opgjort flest materialer med en biotilgængelighed på 5, nemlig 9
ud af 16 materialer (56 %), men der er desuden 31 % med en biotil-
gængelighed på 6.

For Isoleringsmateriale til installation er en biotilgængelighed på 6
fundet på 7 ud af 8 materialer. For Linoleum er der fundet en biotil-
gængelighed på 5, på 5 ud af 8 materialer.

For de øvrige materialegrupper fordeler graden af biotilgængelighed sig ligeligt.

Tabel 8. Hyppighed af forekomsten af de enkelte materialegrupper sammenholdt med årsagen til opfugtningen.

Materialegrupper	Utæt tag	Grundfugt	Utætte install.	Andet
Træ	11	1	0	4
Linoleum	0	4	1	3
Isoleringsmateriale til installation	2	0	6	0
Gips	4	3	0	1
Mineralfibre	7	0	0	0
Tapet	2	2	0	1
Puds	3	0	0	2
Glasvæv	4	0	0	0
Alufolie	3	0	0	0
Andet	1	2	2	3
Total	37	12	9	14

I denne tabel ses en markant overvægt af "Utæt tag" som årsag til opfugtning. Alle materialegrupper, undtagen Linoleum, er repræsenteret. 30 % af de inficerede materialer kan henregnes til gruppen Træ og 19 % til gruppen Mineralfibre. I flere tilfælde kan der være tale om smitte fra det ene materiale til det andet. Det skal understreges, at rene mineralfiber-materialer, som er uorganiske materialer, ikke i sig selv kan give anledning til vækst, men at der ved aflejring af støv og snavs og opfugtning gives mulighed for svampevækst.

Generelt kan det konkluderes, at "Utæt tag" giver anledning til svampevækst for alle berørte materialegrupper.

I kategorien "Utætte installationer" er 6 ud af 9 materialer henregnet til materialegruppen Isoleringsmateriale til installation, og fugtkilden til svampevæksten kan tydeligt lokaliseres.

Tabel 9. Materialernes biotilgængelighed sammenholdt med årsagen til opfugtningen.

Biotilgængelighed	Utæt tag	Grundfugt	Utætte install.	Andet
3	2	1	0	1
4	11	5	3	3
5	16	5	0	6
6	8	1	6	4

Som årsag til opfugtningen er "Utæt tag" også her af størst betydning. Ud af de 37 materialer, der er opgjort under "Utæt tag" (51 % af alle opgjorte materialer), har 65 % af disse en biotilgængelighed på 5 eller derover.

Tabel 10. Omfanget af svampevæksten i m² på det enkelte materiale opgjort i forhold til årsagen til opfugtningen.

Omfang (m ²)	Utæt tag	Grundfugt	Utætte install.	Andet
0-0,5	9	2	0	0
0,5-1	1	0	1	1
1-2	3	0	2	1
Flere	7	0	2	4

Omfanget af svampevæksten er kun blevet oplyst for 33 ud af de 72 inficerede materialer (46 %). "Utæt tag" er atter overrepræsenteret som årsag til inficerede materialer. 45 % af materialerne falder i gruppen "0-0,5 m²" og 35 % falder i gruppen "Flere m²". Skimmelsvampene inficerer således hyppigst små områder på materialerne, men har også på en trediedel af materialerne givet anledning til langt mere udbredt svampevækst.

Omfanget af svampevæksten under "Grundfugt" er begrænset til små inficerede områder, jævnfør ovenstående.

Identifikation af de forekommende skimmelsvampe

Tabel 11 angiver hvilke 12 skimmelsvampeslægter, der hyppigst er fundet på de indsamlede materialer. Svampene er endvidere artsbestemt, hvor det har været muligt. Identifikationen er foretaget efter sædvanlige taksonomiske kriterier og ved brug af særlige indikative dyrkningsmedier.

For at fremme forståelsen af de følgende afsnit gives her en summarisk indføring i grundbegreberne inden for biologisk systematik.

Inden for såvel dyre-, plante- som svamperiget har man en underinddeling i familier, fx rosenfamilien, som omfatter forskellige slægter, fx jordbær (*Fragaria*), potentil (*Potentilla*) og rose (*Rosa*). Slægten omfatter arter, fx hunderose (*Rosa canina*) og rynket rose (*Rosa rugosa*). På samme måde navngives skimmelsvampene, fx slægten penselskimmel (*Penicillium*), som omfatter mere end 100 arter, fx arten gylden penselskimmel (*Penicillium chrysogenum*) og glat penselskimmel (*Penicillium glabrum*). Slægten vandkandeskimmel (*Aspergillus*) omfatter fx arten broget vandkandeskimmel (*Aspergillus versicolor*) og sort vandkandeskimmel (*Aspergillus niger*).

I teksten forekommer endvidere betegnelsen isolat, som angiver et isoleret individ af en given art.

Tabel 11. Forekomst af svampeslægter og -arter på de indsamlede byggematerialer (n=72). Svampefundene angiver hvor mange gange i alt arterne er fundet på materialerne.

Svampeslægt		Svampeart	Svampefund	
Penicillium	68 %	Penicillium spp. ¹⁾	35	
		<i>P. chrysogenum</i>	12	
		<i>P. palitans</i>	1	
		<i>P. flavigenum</i>	1	I alt 49
Aspergillus	56 %	Aspergillus spp.	20	
		<i>A. versicolor</i>	7	
		<i>A. terreus</i>	1	
		<i>A. ustus</i>	3	
		<i>A. fumigatus</i>	1	
		<i>A. niger</i>	3	
		<i>A. sydowii</i>	2	
		<i>A. ochraceus</i>	2	
		<i>A. candidus</i>	1	I alt 40
Chaetomium	22 %	Chaetomium spp.	16	I alt 16
Ulocladium	21 %	Ulocladium spp.	7	
		<i>U. oudemansii</i>	6	
		<i>U. chartarum</i>	2	I alt 15
Stachybotrys	19 %	Stach. chartarum	14	I alt 14
Cladosporium	15 %	Cladosporium spp.	3	
		<i>C. cladosporioides</i>	2	
		<i>C. sphaerospermum</i>	3	
		<i>C. herbarum</i>	3	I alt 11
Acremonium	14 %	Acremonium spp.	10	I alt 10
Mucor	14 %	Mucor spp.	2	
		<i>M. plumbeus</i>	3	
		<i>M. spinosus</i>	5	I alt 10
Paecilomyces	10 %	Paecilomyces spp.	4	
		<i>P. lilacinus</i>	2	
		<i>P. variotii</i>	1	I alt 7
Alternaria	8 %	Alternaria spp.	2	
		<i>A. alternata</i>	4	I alt 6
Verticillium	8 %	Verticillium spp.	5	
		<i>V. lateritium</i>	1	I alt 6
Trichoderma	7 %	Trichoderma spp.	5	I alt 5

1) spp. = flere ikke-identificerede arter.

De tolv skimmelsvampeslægter, som var hyppigst forekommende i denne undersøgelse, rummer alle arter, der er beskrevet at kunne give allergiske reaktioner ved indånding hos disponerede personer, fx er *Alternaria alternata*, *Cladosporium herbarum* og *Ulocladium chartarum* vigtige inhalationsallergener. Udsættelse for sporer fra *Aspergillus fumigatus* og *Paecilomyces variotii* kan føre til allergisk lungebetændelse.

Som det ses af tabel 11 er slægterne *Penicillium* og *Aspergillus* de slægter, der hyppigst har angrebet materialerne i denne undersøgelse. *Stachybotrys chartarum* er den art, der hyppigst har inficeret de opfugtede byggematerialer. Dette er en vigtig observation, da der samtidig for første gang er detekteret nogle af de meget sundhedsskadelige mykotoxiner fra denne svamp direkte fra byggematerialerne i danske bygninger.

Ligeledes er der grund til at hæfte sig ved fundene af *Aspergillus versicolor*, en af de hyppigst fundne *Aspergillus*-arter i denne undersøgelse. Ved at inficere forskellige typer af byggematerialer med sporer fra denne svamp er der for første gang, så vidt vides, konstateret produktion af sterigmatocystin direkte på de podede byggematerialer. Denne svamps sundhedsskadelige potentiale er nærmere beskrevet under afsnittet toksikologiske forhold (se side 39).

Trichoderma står sidst på ranglisten blandt de 12 hyppigst fundne slægter, men da den ofte forekommer meget udbredt, når den er til stede, og da den ligeledes kan producere stoffer beslægtet med de stoffer *Stachybotrys* producerer (ikke påvist i denne undersøgelse), er der grund til at fremhæve denne svamp.

For den hyppigst fundne *Penicillium*-art, *P. chrysogenum*, kendes ikke til mykotoksinproduktion på byggematerialer.

Slægten *Chaetomium*, som ligeledes optræder hyppigt i denne undersøgelse, vides at producere mykotoksiner ved laboratorieforsøg, og der vil derfor være behov for at undersøge denne svamps stofskifteprodukter under vækst på byggematerialer.

Ud over de fundne skimmelsvampeslægter er der hyppigt isoleret gærsvampe fra materialerne. Disse er dog ikke medtaget i oversigten. Visse gærsvampe kan som skimmelsvampe give anledning til luftvejsallergi.

De følgende tabeller beskriver sammenhænge eller forhold vedrørende de mest betydende eller fremherskende svampeslægter eller materialegrupper.

Der vil overalt blive henvist til materialegrupperne med de betegnelser, der er brugt i tabel 2, fx Træ. Hvor der i teksten refereres til fx "Utæt tag" eller fx "0-0,5 m²" er der tale om en henvisning til en af de brugte grupperinger i den pågældende tabel.

Tabel 12. De hyppigst forekommende skimmelsvampeslægter på de undersøgte materialegrupper. Antal svampefund pr. materialegruppe.

Mat. gruppe	Pen ¹⁾	Asp	Cha	Ulo	Sta	Cla	Acr	Muc	Pae	Alt	Ver	Tri
Træ	10	11	1	2	3	3	4	3	1	2	1	1
Lin.	6	8	1	1	0	0	1	1	2	0	2	0
Iso.	3	4	5	1	3	1	1	0	0	0	0	0
Gips	6	4	4	5	4	1	1	1	1	2	1	0
Mif.	5	0	3	1	0	2	0	0	1	0	0	1
Tapet	5	2	0	1	0	2	0	1	0	1	0	0
Puds	3	1	0	1	2	0	0	1	1	0	0	1
Gla.	3	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0
Alu.	3	0	0	1	1	1	1	2	0	0	1	1
Andet	5	9	2	0	0	1	2	1	1	1	1	1
Fund												
Σ	49	40	16	15	14	11	10	10	7	6	6	5
%	68	56	22	21	19	15	14	14	10	8	8	7

1) Forkortelse af navnene af de hyppigst forekommende skimmelsvampeslægter på materialegrupperne. Herunder ses de uforkortede navne:
Pen = *Penicillium*, *Asp* = *Aspergillus*, *Cha* = *Chaetomium*, *Ulo* = *Ulocladium*, *Sta* = *Stachybotrys*, *Cla* = *Cladosporium*, *Acr* = *Acremonium*, *Muc* = *Mucor*, *Pae* = *Paecilomyces*, *Alt* = *Alternaria*, *Ver* = *Verticillium*, *Tri* = *Trichoderma*.

Slægterne *Penicillium* og *Aspergillus* er de hyppigst fundne svampeslægter på de undersøgte materialer med en hyppighed på henholdsvis 68 % og 56 %.

Penicillium er som eneste svampeslægt fundet i alle materialegrupper. *Penicillium* optræder med en lille overvægt i gruppen Træ på 20 %, og med 12 % på hver af grupperne Linoleum og Gips.

Aspergillus genfindes i 48 % af tilfældene i to materialegrupper, nemlig Træ med 28 % og Linoleum med 20 %. Dernæst følger grupperne Isoleringsmateriale til installationer og Gips med hver 10 % af tilfældene.

Chaetomium ses hovedsagelig på Isoleringsmateriale til installation (31 %), på Gips (25 %) og på Mif. (Mineralfiberholdige materialer) (19%).

Ulocladium er i 33 % af tilfældene fundet på Gips.

Stachybotrys er fortrinsvis fundet på Gips (29 %), på Isoleringsmateriale til installation (21 %) og på Træ (21 %).

Acremonium er i 4 ud af 10 tilfælde fundet på Træ.

De fire materialegrupper der hyppigst er inficerede er: Træ, Linoleum, Isoleringsmateriale til installation og Gips.

Tabel 13. De fire hyppigst forekommende skimmelsvampearter på de undersøgte materialegrupper. Antal svampefund per materialegruppe.

Mat. grupper	Chae. spp. ¹⁾	Stach. chart.	Pen. chrys.	Asp. versi.
Træ	1	3	1	1
Linoleum	1	0	2	1
Isoleringsmat. til installation	5	3	0	2
Gips	4	4	4	0
Mineralfibre	3	0	1	0
Tapet	0	0	3	1
Puds	0	2	0	0
Glasvæv	0	1	1	0
Alufolie	0	1	0	0
Andet	2	0	0	2
Total	16	14	12	7

1) Forkortelse af navnene af de hyppigst forekommende skimmelsvampearter på materialegrupperne. Herunder ses de uforkortede navne:
Chae. spp. = *Chaetomium spp.*, *Stach. chart.* = *Stachybotrys chartarum*, *Pen. chrys.* = *Penicillium chrysogenum*, *Asp. versi.* = *Aspergillus versicolor*.

De tre skimmelsvampearter *Stachybotrys chartarum*, *Penicillium chrysogenum* og *Aspergillus versicolor* er de hyppigst fundne arter på materialerne. *Stachybotrys chartarum* er oftest fundet på materialegrupperne Træ, Isoleringsmateriale til installation og Gips. *Penicillium chrysogenum* er oftest fundet på Gips og Tapet. *Stachybotrys chartarum* og *Penicillium chrysogenum* findes således begge på materialegruppen Gips og samtidigt på tre ud af de fire undersøgte materialer.

For *Aspergillus versicolor* kan der ud fra denne undersøgelse ikke angives nogen specielle materialegrupper. Fra praksis er den kendt for at inficere en lang række bygningsmaterialer, som fx opfugtede gulvstrøer, våde, snavsede mineraluldsbats og opfugtet tapet.

Tabel 14. Omfanget af svampevæksten i m² på det enkelte materiale i relation til de enkelte skimmelsvampeslægter.

Svampeslægter	0-0,5 m ²	0,5-1 m ²	1-2 m ²	Flere m ²
<i>Penicillium</i>	4	2	2	5
<i>Aspergillus</i>	0	0	2	5
<i>Chaetomium</i>	1	0	2	1
<i>Ulocladium</i>	2	0	0	1
<i>Stachybotrys</i>	3	1	0	4
<i>Cladosporium</i>	0	0	0	0
<i>Acremonium</i>	0	0	0	1
<i>Mucor</i>	0	0	1	2
<i>Paecilomyces</i>	0	0	0	1
<i>Alternaria</i>	1	0	0	0
<i>Verticillium</i>	0	0	0	0
<i>Trichoderma</i>	0	1	0	2

I tabellen ses et "0" flere steder og fx for *Cladosporium* ses der "0"er i hele søjlen. Dette betyder, at der enten ikke er fundet *Cladosporier* i disse 33 tilfælde, eller at en anden slægt har været dominerende på dyrkningsprøverne.

Penicillium findes i varierende omfang og hyppighed. Dog ses en tendens til overvægt i laveste og højeste kategori, henholdsvis "0-0,5 m²" og "Flere m²".

Aspergillus fordeler sig på "1-2 m²" og "Flere m²", og inficerer således generelt større områder.

Stachybotrys forekommer fortrinsvis i laveste og højeste kategori, dvs. enten ringe vækst eller udbredt vækst.

Trichoderma ses ikke så hyppigt på materialerne, men når den er til stede, giver den anledning til udbredt vækst.

Tabel 15. Fordelingen af de enkelte skimmelsvampeslægter på materialerne grupperet under årsag.

Svampeslægter	Utæt tag	Grundfugt	Utætt install.	Andet
<i>Penicillium</i>	14	7	2	5
<i>Aspergillus</i>	5	6	1	5
<i>Chaetomium</i>	5	1	5	0
<i>Ulocladium</i>	3	2	0	1
<i>Stachybotrys</i>	5	3	1	1
<i>Cladosporium</i>	1	0	0	2
<i>Acremonium</i>	1	0	0	0
<i>Mucor</i>	3	1	0	0
<i>Paecilomyces</i>	2	0	1	0
<i>Alternaria</i>	1	1	0	1
<i>Verticillium</i>	0	0	0	0
<i>Trichoderma</i>	3	0	0	0

Tabellen er opstillet med udgangspunkt i den dominerende svampeslægt. På flere dyrkningsplader er der angivet mere end én dominerende slægt, oftest to, som så begge er medtaget. At en slægt ikke er repræsenteret i tabellen betyder ikke nødvendigvis, at den ikke er til stede, blot at den ikke er dominerende.

Væksten på materialerne grupperet under "Utæt tag" udgøres i halvdelen af tilfældene af *Penicillium*. *Aspergillus*, *Chaetomium* og *Stachybotrys* er ligeledes hyppige fund. *Trichoderma* dominerer i tre tilfælde, og kun under kategorien "Utæt tag".

Chaetomium dominerer på materialer grupperet under "Utætte installationer".

Hvor opfugtning af materialet skyldes "Grundfugt" eller "Andet" er arter af *Penicillium* og *Aspergillus* dominerende.

Detektion og karakterisering af udvalgte mykotoksiner fra inficerede byggematerialer

Der er tidligere påvist mykotoksiner fra skimmelsvampearterne *Stachybotrys chartarum*, *Chaetomium spp.*, *Penicillium chrysogenum*, *Trichoderma sp.* og *Aspergillus versicolor*, når disse svampe har vokset på agarsubstrater eller på levnedsmidler.

Endvidere har man for *Stachybotrys chartarum*s vedkommende kunnet påvise produktion af mykotoksin fra vandskadede bygninger i USA og Sverige.

Da mykotoksinproduktionen er meget afhængig af det enkelte skimmelsvampeisolat, vækstmediets sammensætning og den relative fugtighed, var det vigtigt at undersøge, om danske isolater af de ovennævnte skimmelsvampearter var i stand til at producere mykotoksiner på byggematerialer fra danske bygninger.

Det er nu endelig fastslået, at *Stachybotrys chartarum* kan producere meget sundhedsskadelige stoffer på opfugtede byggematerialer også i danske bygninger.

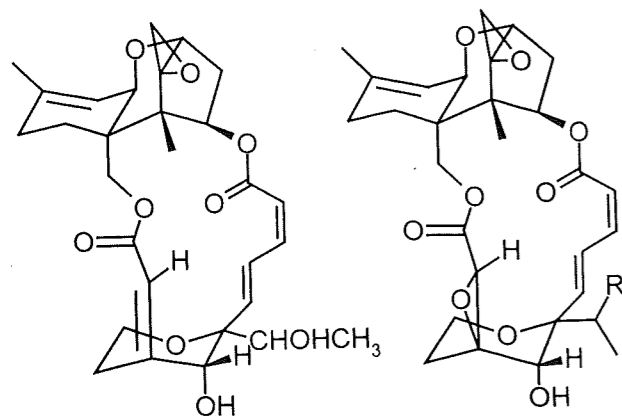
Til gengæld kunne der i denne undersøgelse ikke påvises mykotoksiner af typen trichothecener fra *Trichoderma* under vækst på spånplade, gipsplade eller fyrretræ.

Tabel 16. Mykotoksinproduktion på indsamlede byggematerialer.

Prøve- sted	Materiale	Areal (cm ²) af vækst	Verrucarol ¹ (nmol)	Satra toxin H ² (µg)	Tricho- dermol
Bade- værelse	Silicat- plade	4-25	0,38	0,20	Nej
Skole	Gipsplade, afskrab	600-1000	2,2	1,2	Nej
Skole	Mineral- fiberplade/ gipsplade	2500	37	20	Spor- mængder
Privat	Gipsplade		27	14	Ja
Hospital	Kalciumsili- katplade med cellulosefibre		0	0	Nej

- 1) Total mængde på materialer.
2) Beregnet som satratoksin H.

På tre ud af tre materialer stærkt inficerede med *Stachybotrys chartarum* blev toksiner af trichothecen-gruppen detekteret (satratoksin H og G). Vækstforsøg i laboratoriet viste, at fire ud af fem isolater producerede disse stoffer under vækst på nye og gamle (ca. 20 år) opfugtede gipsplader.



Satratoxin H og G

Figur 2. Den kemiske struktur af mykotoksinerne fra *Stachybotrys chartarum*, detekteret direkte fra byggematerialer i danske bygninger.

Det er vigtigt at understrege, at *S. chartarum* kun producerer satratoksiner ved høj relativ fugtighed (RH). For gipsplader skal fugtigheden være mindst 95 %, for at svampen producerer disse stoffer. Man skal derfor ikke altid forvente at finde stoffer, fordi der har været vækst af *S. chartarum*.

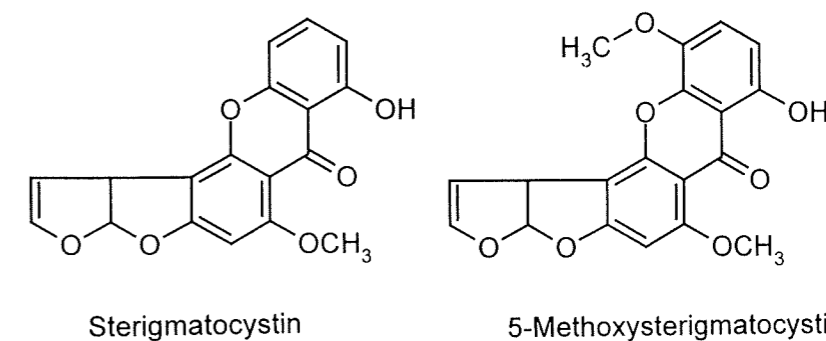
Tabel 17. Mykotoksinproduktion af *S. chartarum* på podede byggematerialer.

IBT nr.	Alder (døgn)	Materiale	Verru- carol (nmol)	Satra toxin H (µg)	Tricho- dermol
7711	50	Gammel gipsplade	25	13	Nej
7711	50	Ny gipsplade	18	9,5	Nej
14915	100	Gammel gipsplade	0,31	0,16	Ja
14915	100	Ny gipsplade	0,32	0,17	Ja
14916	100	Ny gipsplade	13	8,1	Nej
9263	100	Ny gipsplade	0,31	0,17	
9263	100	Gammel gipsplade	0	0	
9262	100	Gammel gipsplade	0	0	
9262	100	Ny gipsplade	0,31	0,16	
9263 ¹	100	Gammel gipsplade	0	0	
14915 ¹	50	Gammel gipsplade	3,8	2,0	Ja
14915 ¹	100	Gammel gipsplade	Spormængde		

1) Blandingsfunga af *A. versicolor* og *Trichoderma*.

Dette understreger betydningen af hurtig udbedring af årsager til vandskader og hurtig udtørring af opfugtede byggematerialer.

Ved vækst på opfugtede spånplader, gipsplader, fyrretræ og tapet podet i laboratoriet, blev det endvidere vist, at fem ud af fem *A. versicolor* isolater producerede mykotoksinet sterigmatocystin. Desuden producerede fire af isolaterne det ligeledes sundhedsskadelige 5-methoxysterigmatocystin.



Figur 3. Den kemiske struktur af de to mykotoksiner fundet på forskellige byggematerialer podet med sporer fra *Aspergillus versicolor*.

To af isolaterne producerede så store mængder sterigmatocystin, at det udgjorde i størrelsesordenen 1 % af den mængde skimmelsvamp (biomasse), som blev skrabet af byggematerialet.

Tabel 18. Mykotoxinproduktion af *A. versicolor* på podede byggematerialer.

IBT nr.	Alder (døgn)	Materiale	Sterigmatocystin (mg)	5-Methoxysterigmatocystin (mg)*
14940	100	Fyrretræ	0,22*	0,06
14940	100	Ny gipsplade	0,07	0,05
14940	100	Spånplade	ND.**	ND.
14940	25	Tapet	0,49*	0,37
15903	100	Fyrretræ	0,38*	ND.
15903	100	Gammel gipsplade	0,06*	ND.
15903	100	Ny gipsplade	0,05	ND.
15903	100	Spånplade	0,06*	ND.
15903	100	Tapet	0,18*	ND.
15942	100	Ny gipsplade	0,37*	0,06
15942	50	Spånplade	0,38*	0,34
15942	25	Tapet	2,55*	0,59
16000	100	Gammel gipsplade	0,44*	0,20
16000	100	Ny gipsplade	0,81*	0,25
16000	50	Spånplade	0,22*	0,30
16000	25	Tapet	2,74*	0,88
18238	100	Ny gipsplade	0,11	0,03
18238	50	Spånplade	0,81*	0,59
18238	25	Tapet	1,62*	0,35
16000 ¹	100	Gammel gipsplade	0,03	0,03
16000 ²	50	Gammel gipsplade	ND.	ND.
15942 ³	100	Gammel gipsplade	ND.	ND.
15942 ⁴	100	Gammel gipsplade	ND.	ND.

1) *A. versicolor* IBT 16000 og *Trichoderma viride* SBI 25A.

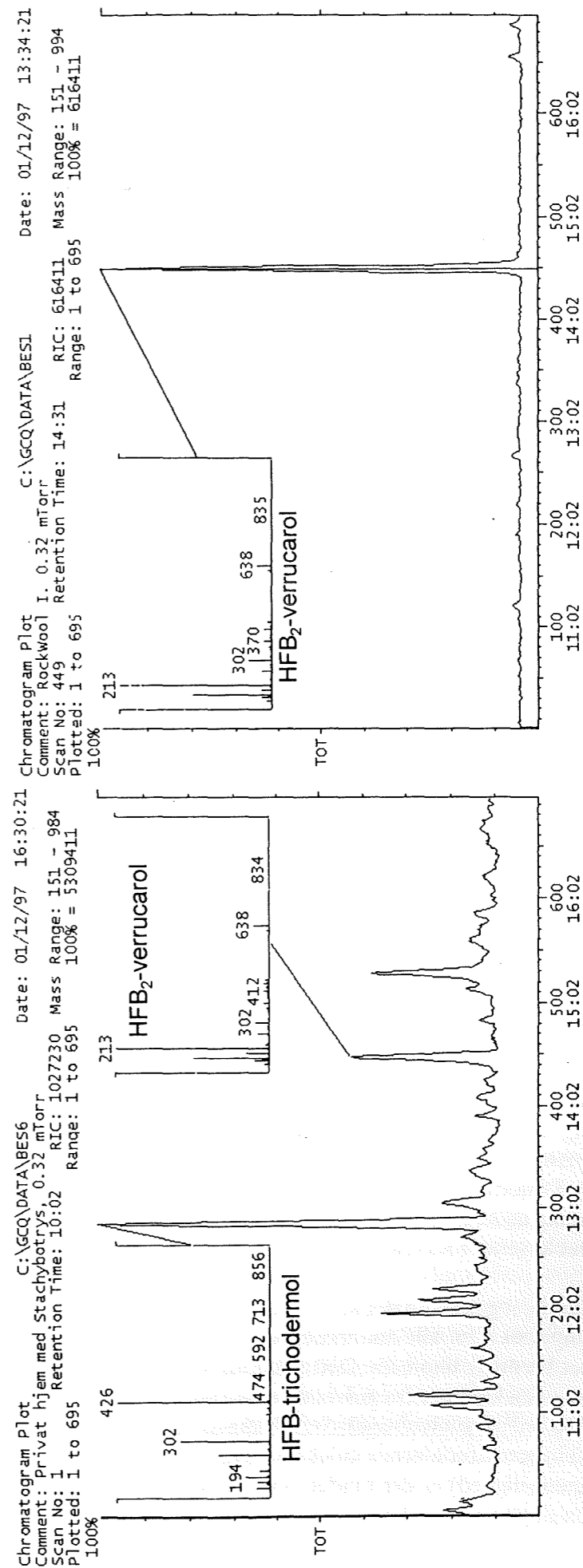
2) *A. versicolor* IBT 16000, *Trichoderma viride* DTI 1 og *S. chartarum* ALK 9.

3) *A. versicolor* IBT 15942 og *S. chartarum* IBT 14915.

4) *A. versicolor* IBT 15942, *Trichoderma viride* SBI 25A og *S. chartarum* IBT 14915.

* Bekræftet med TLC med AlCl₃ farvning.

** = Non detected (detektionsgrænse 1-10 mg).



Figur 4. Påvisning af mykotoxin fra privat hjem og skole ved hjælp af HPLC-DAD.

Detektion og karakterisering af MVOC'er fra inficerede byggematerialer

Mens der findes grundige undersøgelser af forekomsten af flygtige stofskifteprodukter (VOC'er) fra skimmelsvampe, som vokser på laboratoriestrater, er der kun begrænset viden om produktion og sundhedsmæssig betydning af VOC fra skimmelsvampe, der vokser på opfugtede byggematerialer.

Til laboratorieforsøgene blev sporer fra tre skimmelsvampeisolater af henholdsvis *Penicillium chrysogenum*, *Stachybotrys chartarum* og *Trichoderma sp.* podet på strålesteriliseret, opfugtet gulvpap. Der blev udtaget luftprøver fra de inficerede pap-prøver i henholdsvis våd og udtørret tilstand. Dette blev gentaget i alt i tre omgange med 17 dages mellemrum, hvorefter de opsamlede luftprøver blev analyseret (se bilag 2).

Tabellen i bilag 2 viser for *P. chrysogenum* og *S. chartarum*s vedkommende at 2-methyl-1-propanol var den dominerende flygtige metabolit. Derudover dannede begge betydelige mængder umættede kulbrinter samt lidt dimetyldisulfid. Desuden dannede *P. chrysogenum* 3-pentanon, 3-pentanol og 1-octen-3-ol, mens *S. chartarum* dannede flere aromatiske forbindelser. *Trichoderma sp.* producerede meget lidt VOC i sammenligning, men også her dominerede 2-methyl-1-propanol. Selv om tidsinddelingen for vækstperioderne var ret grov, synes der at være signifikante ændringer i dannelsen af specifikke-flygtige stofskifteprodukter over tid. For både *P. chrysogenum* og *S. chartarum* faldt den relative produktion af alkoholer over tid, mens dannelsen af umættede kulbrinter tiltog.

Sammenfattende bemærkninger om fugtforhold, materialer, skimmelsvampevækst, allergi og toksikologiske forhold

Det skal understreges, at de undersøgte bygninger og de indsamlede materialer ikke er repræsentative for den danske byggemasse, idet der kun er medtaget få boliger.

Det kan konkluderes, at årsagen til opfugtning af materialer med efterfølgende skimmelsvampevækst i de vandskadede bygninger, der er med i denne undersøgelse, først og fremmest er utætte tage, herunder forskellige typer af dårlige samlingsdetaljer og egentlige sammenbygningsfejl. Dernæst giver indtrængning af grundfugt og utætte installationer anledning til skimmelsvampevækst, dog ikke i samme grad og ikke i samme omfang.

Svampevækst på utætte installationer kan ret let lokaliseres. Den er af begrænset omfang og sædvanligvis kun relateret til de hjælpematerialer, der har været anvendt i forbindelse med isoleringen af installationerne.

Ud fra denne undersøgelse kan det konkluderes, at utætte tage giver anledning til svampevækst for alle materialegrupper. Eneste materialegruppe der ikke er berørt er linoleum. Dette skyldes formentlig, at den væsentligste opfugtning kommer fra gulvask og sne og vand, der via fodtøj er bragt med ind på linoleumsgulve med ikke-svejste samlinger.

Med hensyn til byggematerialernes indeks for skimmelsvampevækst (graden af biotilgængelighed) er der fundet indekstallet 5 eller 6 for 65 % af de opgjorte materialer relateret til utætte tage.

Materialer, der har et højt indekstal, dvs. 5 eller 6, er træbaserede materialer, linoleum og materialer anvendt i forbindelse med isolering af installationer. Disse materialer er af organisk beskaffenhed. En trediedel af de opgjorte materialer relateret til utætte tage udgøres af de træbaserede materialer.

Omfanget af svampevæksten kan opdeles i to kategorier for de utætte tage, således at der enten findes mange små inficerede områder eller alvorlig udbredt vækst på flere kvadratmetre.

Svampeplæggerne *Penicillium*, *Aspergillus* og *Chaetomium* er de hyppigst fundne svampeplægter på alle de undersøgte materialer med en hyppighed på henholdsvis 68 %, 56 % og 22 %. *Stachybotrys chartarum* og *Penicillium chrysogenum* er de næsthypigste fundne arter på materialerne med 19 % henholdsvis 17 %. *Aspergillus versicolor* ses på 10 % af materialerne.

I kategorien "Utæt tag" har *Penicillium* i halvdelen af tilfældene været årsag til svampevæksten. Af de øvrige svampeplægter er *Aspergillus*, *Chaetomium* og *Stachybotrys* hyppige fund. *Trichoderma* dominerer i øvrigt i tre tilfælde, og kun for utætte tage. *Chaetomium* dominerer på materialer grupperet under "Utætte installationer".

Hvor opfugtning af materialet skyldes "Grundfugt" eller "Andet" er arter af *Penicillium* og *Aspergillus* dominerende.

Penicillium findes i varierende omfang og hyppighed på materialerne med tendens til både at inficere små områder og give anledning til udbredt vækst. *Stachybotrys* findes ligeledes i små inficerede områder og som udbredt vækst. *Aspergillus* og *Trichoderma* ses hovedsagligt som udbredt vækst.

Der er forskel mellem de enkelte skimmelsvampes optimale levevilkår. En bestemmende faktor er fugten i luften og i de materialer, hvorpå skimmelsvampene gror. De øvrige betingelser er i de fleste tilfælde opfyldt i mere eller mindre grad. Materialernes sammensætning og fysiske tilstand kan være vigtige parametre for, hvilke svampe der etablerer sig på det pågældende sted.

Mange af de konstaterede skimmelangreb er sket i tilknytning til utætte tage og installationer. Disse konstruktions- og vedligeholdelsesfejl har forårsaget en opfugtning af store dele af konstruktionerne, som så er blevet inficeret med skimmelsvampe. Problemerne kan undgås gennem en forebyggende konstruktiv udformning, en omhyggelig kvalitets sikring og en bedre vedligeholdelse.

Man kan ikke helt forhindre vækst af skimmelsvampe i bygninger, men man kan minimere deres omfang gennem forebyggelse og ved konstruktions- og installationsmæssige ændringer.

De tolv skimmelsvampeplægter, som var hyppigst forekommende i denne undersøgelse, rummer alle arter, der er beskrevet at kunne give allergiske reaktioner ved indånding hos disponerede personer, fx er *Alternaria alternata*, *Cladosporium herbarum* og *Ulocladium chartarum* vigtige inhalationsallergener. Udsættelse for sporer fra *Aspergillus fumigatus* og *Paecilomyces variotii* kan føre til allergisk lungebetændelse.

Omfanget af svampeoverfølsomhed er dog utilstrækkeligt belyst.

Toksikologiske forhold

Selvom mykotoksineres molekylvægte er lave (< 1000) i forhold til luftvejsallergeners (> 10.000), har de dog så høje molekylvægte og smelte-

og kogepunkter, at stofferne næppe kan frigøres til luften som flygtige stoffer (MVOC'er), men at spredningen sker med de luftbårne sporer.

Ved indånding af sporerne vil mykotoksinerne kunne frigives til de øvre luftveje eller til lungerne.

Den viden, der i dag er tilgængelig om mykotoksineres effekt, bygger overvejende på erfaringer fra veterinærmedicinen, som på dette område overvejende har beskæftiget sig med forgiftninger hos dyr efter indtagelse af muggen føde. Stofferne er imidlertid af en så alvorlig sundhedsskadelig karakter, at man ikke kan undlade at gøre opmærksom på deres tilstedeværelse i bygninger.

Indåndede mykotoksineres effekt på mennesker afhænger som andre sundhedsskadelige stoffer af forskellige faktorer, bl.a.:

- størrelsen af den dosis, man udsættes for, dvs. mængden af sporer, der indåndes,
- eksponeringsforholdene, fx er det ved museforsøg vist, at giftvirkningen af et bestemt mykotoksin er ca. 20 gange større ved indånding som aerosol end ved indtagelse gennem føden,
- frigivelseshastigheden af mykotoksinerne til kroppen,
- nedbrydningshastigheden af de enkelte mykotoksiner i kroppen,
- den individuelle sårbarhed, dvs. at forskellige individer reagerer forskelligt på en given toksinmængde,
- synergistisk effekt, idet ikke-toksiske stoffer ofte øger effekten af mykotoksiner.

Stoffer fra Stachybotrys chartarum

Dyreforsøg har vist, at når stoffet indtages gennem føden, har satratoxin H en akut dødelig dosis (LD 50) for mus på mindre end 50 µg/kg og en sikker dødelig dosis for heste på ca. 1 mg.

I forbindelse med påvirkninger i indeklimaet er det stoffernes mulige undertrykkende virkning på immunsystemet, der anses for at være det største problem, idet de doser, der skal til for at give denne virkning, ligger i en størrelsesorden på mindst 10^{-5} under de akut toksiske.

Stofferne er ligeledes giftige for huden, hvilket i praksis viser sig ved kløe og rødme, i alvorlige tilfælde ved væskende udslæt.

Nyligt publicerede finske forsøg viser en klar sammenhæng mellem forskellige *S. chartarum* isolaters produktion af satratoksiner og sporerens effekt på lungevævet hos mus efter indånding.

Stoffer fra Aspergillus versicolor

Der kendes en række mykotoksiner fra denne svamp. Sterigmatocystin er det mest kendte og mest sundhedsskadelige. Det har som satratoxin H ligeledes en undertrykkende virkning på immunsystemet og er endvidere kræftfremkaldende ved indtagelse gennem føden. I WHO's register over kræftfremkaldende stoffer er sterigmatocystin klassificeret som særdeles kræftfremkaldende (klasse A2).

I laboratoriekulturer, fx på tapetklister-agar producerer, næsten alle *A. versicolor* isolater sterigmatocystin, og det blev i denne undersøgelse vist, at stoffet også produceres under realistiske forhold, dvs. på stærkt opfugtede byggematerialer podet med svampen.

De identificerede MVOC'er anses ikke for at kunne være årsag til symptomer hos mennesker, når de forekommer i normale indeklima-

koncentrationer. Dog er det muligt, at produkter fra stoffernes reaktion med ozon eller NO_x kan være stærkt slimhindeirriterende.

Konklusion

Denne undersøgelse har vist, at der i de undersøgte bygninger forekommer skimmelsvampevækst i stort omfang, som frembringer sundhedsskadelige stoffer. Undersøgelsen, der primært er udført på offentlige bygninger med længerevarende vandskader, er imidlertid ikke repræsentativ for den danske bygningsmasse, bl.a. fordi få boliger indgår. Endvidere er der kun udført grundige undersøgelser af toksiner fra tre svampe.

De isolerede og identificerede mykotoksiner er fra andre fagområder kendte for at være immunundertrykkende og stærkt kræftfremkaldende. I indeklimasammenhænge er der behov for at få klarlagt dosis/responssammenhænge og at foretage en risikoanalyse af skimmelsvampenes mulige sundhedsskadelige effekter på mennesker.

For at kunne belyse det nødvendige omfang af en sanering eller renovering af skimmelsvampeinficerede bygninger og anvise metoder til at fjerne eller forhindre skimmelsvampevækst, må der fremskaffes større biologisk, byggeteknisk og toksikologisk viden. Ligeledes er det nødvendigt at få et større kendskab til, hvordan bygningsbrugerne bliver udsat for svampenes sundhedsskadelige stoffer.

Litteratur

- Adan, O.C.G. (1994).
On the Fungal Defacement of Interior Finishes.
Eindhoven University of Technology. Eindhoven.
- Biological Particles in Indoor Environments (1993). Report No. 12.
European Collaborative Action. Indoor Air Quality & its Impact on
Man. Commission of the European Communities. Luxembourg.
- Bygningsreglement (1995).
Bygge- og Boligstyrelsen. København.
- Bygningers fugtisolering (1993).
SBI-anvisning 178. Statens Byggeforskningsinstitut.
Hørsholm.
- Cooke, R.C. & J.M. Whipps (1993).
Ecophysiology of Fungi.
Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- Croft, W.A., B.B. Jarvis & C.S. Yatawara (1986).
Airborne Outbreak of Trichothecene Toxicosis.
Atm. Environm., vol.20, no.3, 549-552.
- Dales, R.E. et al. (1991a).
Respiratory health effects of home dampness and molds among
Canadian children. AM J. Epidemiol 134: 196-203.
- Dales, R.E., Burnett, R. & Zwanenburg, H. (1991b).
Adverse health effects among adults exposed to home dampness and
molds. Am. Rev. Respir. Dis 143, 505-509. Atm. Environm., 20(3): 549-
552.
- Dillon, K., Heinsohn, P.A. & J.D. Miller (eds.) (1996).
Field guide for the Determination of Biological Contaminants
in Environmental Samples. American Industrial Hygiene
Association. AIHA Biosafety Committee. Fairfax, VA.
- Filténborg, O. & J.C. Frisvad (1980).
A Simple Screening-Method for Toxigenic Moulds in Pure Cultures.
Lebensmittel. u. Technol. 13: 128-130.
- Filténborg, O., J.C. Frisvad & J.A. Svendsen (1983).
Simple Screening Method for Molds Producing Intracellular
Mycotoxins in Pure Cultures.
App. and Environm. Microbiol., Feb., 45(2): 581-585.

- Flannigan, B. (1987).
Comment: Mycotoxins in the Air.
Intern. Biodet. 23: 73-78.
- Flannigan, B. (1992)
Indoor Microbiological Pollutants - Sources, Species, Characterisation
and Evaluation. In: H. Knöppel & P. Wolkoff (eds.). Chemical, Micro-
biological, Health and Comfort Aspects of Indoor Air Quality. State of
the Art in SBS. Kluwer, Dordrecht, 73-98.
- Garraway, M.O. & R.C. Evans (1984).
Fungal Nutrition & Physiology. Wiley-Interscience Publication. New
York.
- Gravesen, S., J.C. Frisvad & R.A. Samson (1994).
Microfungi. Munksgaard. København.
- Gravesen, S., P.A. Nielsen & T.O. Larsen (1994)
Emissioner fra mikroorganismer. Delprojekt A.
Sundhedsskadelige emissioner fra mikroorganismer, som angriber
fugtskadede bygninger. Bygge-og Boligstyrelsen. København.
- Gravesen et al. (1996).
Mikroorganismer i vandskadede bygninger. SBI-meddelelse 115
Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm.
- Husman, T. (1996).
Health effects of indoor-air microorganisms. Scand J. Work Environ.
Health, 68: 207-218.
- Indeklimahåndbogen (1995).
SBI-anvisning 182. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm.
- ISIAQ-guideline (1996).
Control of moisture problems affecting biological indoor air quality.
TFI-1996, International Society of Indoor Air Quality and Climate,
Ottawa, Canada.
- Johanning, E. & Yang, C.S. (eds.) (1995).
Fungi and Bacteria in Indoor Air environments Health Effects, Detec-
tion and Remediation. Proceedings of the International Conference,
Saratoga Springs, New York, Oct 6-7, 1994. New York.
- Johanning, E. et al. (1996).
Health and immunology study following exposure to toxigenic fungi
(*Stachybotrys chartarum*) in a water-damaged office environment. Int.
Arch Occup. Environ Health. 68: 207-218.
- Larsen, T.O. & J.C. Frisvad (1994).
A simple method for collection of volatile metabolites from fungi based
on diffusive sampling from Petri dishes.
J. Microbiol. Methods. 19: 297-305.

Larsen, F.O. et al. (1996).

"The indoor microfungus *Trichoderma viride* potentiates histamine release from human bronchoalveolar cells". *Apmis, Acta pathologica, microbiologica et immunologica Scandinavia*, 104: 673-679.

Miller, J.D. et al. (1988).

Fungi and Fungal Products in some Canadian Houses. *Intern. Biodet.* 24: 103-120.

Nikulin, M. et al. (1994).

Stachybotrys atra Growth and Toxin Production in Some Building Materials and Fodder under Different Relative Humidities. *App. and Environm. Microbiol.*, Sept., 60(9): 3421-3424.

Nikulin, M. et al. (1997).

Effects of Intranasal Exposure to spores of *Stachybotrys atra* in Mice *Fundam. Appl. Toxicol.* 35: 182-188

Pasanen, A.-L. et al. (1994).

Stachybotrys atra Corda May Produce Mycotoxins In Respirator Filters in Humid Environments. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 55(1): 62-65.

Samson, R.A. (ed.) et al. (1994).

Health Implications of Fungi in Indoor Environments. *Air Quality Monographs*, vol. 2. Elsevier, Amsterdam.

Skimmelsvampe i offentlige bygninger. (1995).

Forlaget Kommuneinformation. København.

Sorenson, W.G. et al. (1987).

Trichothecene Mycotoxins in Aerosolized Conidia of *Stachybotrys atra*. *App. and Environm. Microbiol.*, June, 53(6): 1370-1375.

Suneson, A.-L. (1995).

Volatile Metabolites from Microorganisms in Indoor Environments Sampling, Analysis and Identification (Thesis). Umeå University. Umeå.

Thörn, Å., Lewné, M. & Belin, L. (1996).

Allergic alveolitis in a School environment. *Scand J. Work Environ. Health*, 22: 5-13.

Verhoeff, Arnoud P. (1996).

Home dampness and respiratory morbidity: Overview of epidemiological studies. *Allergistämman*. Stockholm.

Summary

SBI report 282: Microfungi in water damaged buildings

A multidisciplinary collaborative study of 72 samples of mould infected building materials from 23 mainly public buildings has been conducted in Denmark.

The results of the investigation can be summarized as follows:

Identification of growth conditions on building materials

- Studies of different physical and chemical factors on the conditions for growth showed, that a high moisture content combined with available cellulose were the main factors for growth of the mould *Stachybotrys chartarum* cultivated on gypsum board agar.

Identification of construction types and materials susceptible to humidification

- In this study the main reason for water damage of building materials with subsequent infection of moulds, was water leakage through roofs.
- In one third of the buildings investigated the water leakage was due to various defects in flat roofs.
- Building materials most vulnerable to mould attacks were water damaged, aged organic materials containing cellulose, such as wooden materials, jute, wallpaper, and cardboard.

Identification of microfungi isolated from infected building materials

- The microfungi genera most frequently isolated from the 72 samples of building materials were *Penicillium* (68 %), *Aspergillus* (56 %), *Chaetomium* (22 %), *Ulocladium* (21 %), *Stachybotrys* (19 %), *Cladosporium* (15 %), *Acremonium* (14 %), *Mucor* (14 %), *Paecilomyces* (10 %), *Alternaria* (8 %), *Verticillium* (8 %), and *Trichoderma* (7 %). These are all known to cause different types of inhalation allergy.

The species most frequently encountered were *Stachybotrys chartarum*, *Penicillium chrysogenum* and *Aspergillus versicolor*.

Identification of mycotoxins from building materials under field- and experimental conditions

- Under field conditions the toxic trichothecenes satratoxin H and G and trichodermol were detected by scraping fungal material from each of 3 materials investigated, which were heavily contaminated with *S. chartarum*. This is the first time that satratoxin H and G have been detected in Danish buildings.

The mycotoxin trichodermol, detected for the first time on building materials, indicates a co-existence with the mould *Memnoniella echinulata*, which is morphologically similar to *S. chartarum* and which produces this mycotoxin.

- Under experimental conditions 4 out of 5 isolates of *S. chartarum* produced satratoxin H and G when growing on new as well as old (approx. 20 years old), gypsum boards with a high humidity (corresponding to a relative humidity of the air above 95 %) and artificially infected with spores of *S. chartarum*.
- Under experimental conditions each of 5 isolates of *Aspergillus versicolor*, growing on new and old gypsum boards, wallpaper, pine wood and chipboard, produced the mycotoxin sterigmatocystin, which constitutes a potential health hazard.
- Furthermore 4 of the 5 isolates investigated produced the mycotoxin 5-methoxy-sterigmatocystin. This is the first time this mycotoxin has been detected in building materials.
- The production of sterigmatocystin from 2 of the isolates was 1 % of the total biomass removed. This is considered a large amount.

Identification of volatile metabolites from the building materials

- Production of specific volatile metabolites from moulds inoculated on cardboard seem to significantly alter over time.

When present in concentrations normal for a typical indoor climate there is no documented evidence of negative health effects.

Concluding remarks

It should be stressed, that the buildings and materials investigated in this study are selected and as they were known to have problems and are not necessarily representative of the mass of Danish buildings. Furthermore few private houses are included in the study.

The main reasons for water ingress, which caused damage to buildings were found to be:

- leakage through roofs
- rising damp
- defective plumbing installations

In order to establish the degree of renovation in water damaged, mould-infected buildings and to recommend methods for removal or prevention of mould growth, more biological, technical and toxicological knowledge must be gained.

Other disciplines have established that the mycotoxins detected in this study are immunosuppressive or carcinogenic following ingestion of mouldy food.

More investigation is needed into dose/response relationships for exposure following inhalation in the indoor climate, and to establish a risk-analysis of the potential allergenic and toxigenic health effects

following exposure to fungal substances liberated from infected building materials.

Bilag 1

BYGNING:
ADRESSE:

Dato:
Signatur:

Bygningsbeskrivelse

Alder:
Etage:
Kælder:
Anvendelse:
Tagform:
Tagbeklædning:
Facadebeklædning:
Vedligeholdelsesstandard:
Udvendig renovering:
Årstal for renovering:

Lokalebeskrivelse

Placering i bygning:
Anvendelse:
Loft:
Facadevæg:
Indvendige vægge:
Gulv:
Vinduesglas:
Opvarmning:
Vedligeholdelsesstandard:
Indvendig renovering:
Årstal for renovering:

Ventilation

Alder:
Recirkulation:
Befugter:
Køleflade:
Varmeflade:
Indblæsningsluftmængde:
Luftskifte:
Vedligeholdelsesstandard:
Renovering:
Årstal for renovering:

Materiale

Prøve nr:
Fugtbelastning:
Årsag:
Periode for fugtbelastning:
Skimlet:
Udbredelse
Karakter:

Prøvetagningssted

Placering:
Konstruktionsopbygning:

Dyrkningssvar

Svampe:
Omfang:

Bemærkninger

Skitse

Bilag 2

compound	<i>P.chrys.</i>	<i>S.chart.</i>	<i>T.viride</i>
isoprene	30 ^I ,80 ^{II} ,20 ^{III}	~4 ^I ,3 ^{II} ,4 ^{III}	
2-propanol	420 ^I ,110 ^{II} ,20 ^{III}	390 ^I ,65 ^{II} ,75 ^{III}	80 ^I
2-heptene	80 ^I ,20 ^{II} ,7 ^{III}		
2-methylfuran? ^{L,S}		15 ^I ,7 ^{II}	3 ^{II}
2-butanol	80 ^I	8 ^I	
2-methyl-1-propanol ^L	650 ^I ,85 ^{II}	1000 ^I ,20 ^I	180 ^I ,55 ^{II} ,30 ^{III}
3-pentanone	23 ^I		
dimethylhexadiene		25 ^I ,110 ^{II} ,25 ^{III}	
3-pentanol	20 ^I		
1-pentanol			55 ^I
2-hexanone ^L			20 ^I
dimethyldisulfide	20 ^I	40 ^I ,5 ^{II} ,3 ^{III}	
1,3-octadiene	25 ^I ,30 ^{II} ,8 ^{III}		
octadiene isomer	20 ^I ,30 ^{II} ,9 ^{III}		
α-pinene	160 ^I		
β-pinene	80 ^I		
anisole		210 ^I ,7 ^{II} ,3 ^{III}	
1-octen-3-ol ^L	170 ^I ,45 ^{II} ,3 ^{III}		
methyl benzoate		trace ^{III}	

Table 2. VOCs from new cardboard mat, inoculated, γ radiation sterilized. Figures are peak areas /10⁶, corrected for control. Blanks indicate ≤ control. ^{I,II,III} = first, second and third wet cycles. Mold indicators in air (L) or dust (S).

I denne rapport beskrives undersøgelser af skimmelsvampevækst på 72 byggematerialer fra områder i 23 bygninger, som i undersøgelsen viste sig at have været udsat for længerevarende og massive vandskader. Forskellige faktorerers indflydelse på vækst og emission fra skimmelsvampe omtales. Forekomsten af fugtkritiske konstruktioner og materialer og af skimmelsvampe og deres stofskifteprodukter beskrives. På byggematerialer er svampegiftene satratoxin og sterigmatocystin fundet. Disse kan have en potentiel sundhedsskadelig virkning ved indånding. For mennesker kendes den skadelige dosis ikke. Rapporten henvender sig til personer inden for det sundhedsfaglige og byggetekniske område.