

AGARICA

Mykologisk tidsskrift utgitt av Norges sopp- og nyttevekstforbund



Spesialutgave

2014 vol. 34



AGARICA

Mykologisk tidsskrift utgitt av Norges sopp- og nyttevekstforbund / A mycological journal published by Agariplantus norvegicus.

Tidsskriftet AGARICA publiserer originalartikler med hovedfokus på mykofloristikk og taksonomi og tar dessuten sikte på å formidle god populærvitenskap. Ulike typer manuskript mottas, herunder regulerbare artikler, mindre kommentarer (notes), oversiktsartikler (reviews) eller populariserte utgaver av mer omfattende forskningsartikler. AGARICA publiserer norsk-, svensk-, dansk, og engelskspråklige bidrag. Tidsskriftet har fagfellellevurdering og artiklenes endelige utforming gjøres i samarbeid mellom forfatter og redaksjonen. I utgangspunktet utkommer et årlig nummer av AGARICA (men ved større tilstrømming av artikler utkommer to).

Redaksjonskomiteen består av:

Anders K. Wollan, (redaktør)

anders.wollan@nhm.uio.no

Gro Gulden, gro.gulden@nmh.uio.no

Klaus Høiland, klaus.hoiland@bio.uio.no

Even W. Hansen, even.w.hansen@sabima.no

Gry Alfredsen, gry.alfredsen@skogoglandskap.no

Håvard Kauserud, haavarka@bio.uio.no

Jon-Otto Aarnæs, (redaksjonssekretær)

jonottoa@broadpark.no

Ønsker du å abonnere på AGARICA gå til hjemmesiden til Norges sopp- og nyttevekstforbund eller direkte til <http://www.Agarica.no>.

Norges sopp- og nyttevekstforbund
Fredrik A. Dahls vei 20, 1430 Ås
www.soppognyttevekster.no
E-post: post@soppognyttevekster.no

Forsidebilder øverst: Laftehjørne. Foto: Johan Mattsson. Under til venstre: Spore av *Myxotrichum chartarum*. Foto: Maria Nunez. Under til høyere: Mycel av duftkjuke (*Gloeophyllum odoratum*). Foto: Johan Mattsson.

I venstre kolonne denne siden fra toppen: Kondensmuggsopp (*Cladosporium* sp.). Foto: Mycoteam as.

Fjordgata 76, Trondheim Foto: Mycoteam as.

Raggråtemugg (*Chaetomium globosum*). Foto: Mycoteam as.

Gråråte. Foto: Mycoteam as.

Spesialutgave – Soppskader i bygg og trekonstruksjoner

Det har vært spennende å prøve noe Agarica ikke har gjort før: å lage en spesialutgave. Denne utgaven har et tema som er litt på siden av det vanlige stoffet vi har i Agarica. På den annen side er det et tema som angår oss alle: Soppskader i bygninger og trekonstruksjoner. Vi synes at vi har fått til en spennende og faglig interessant blanding av artikler, og det er en rød tråd i rekkefølgen på artikler: det starter med to introduksjonsartikler om forutsetning for soppvekst i trematerialer, fortsetter med skader og tester for å evaluere holdbarhet, og avslutter med ulike tiltak mot soppvekst. Vi håper og tror at dette er et nummer som vil ha lang levetid.

Jeg ønsker å rette en stor takk til de følgende, uten deres innsats hadde det ikke blitt noe spesialutgave:

- Heidi Lyngstad, Per Otto Flæte, Andreas Treu og Anders Wollan for utvelgelse av sammendrag,
- alle forfatterne,
- Agarica redaksjonen, dette var en lag-innsats. Jon-Otto Aarnæs og Anders Wollan sin uvurderlige innsats, humør og stå-på vilje må fremheves,
- Johan Mattsson som var den som tok initiativet til dette spesialnummeret og som også har vært en viktig bidragsyter når det gjelder manuskripter samt en god støttespiller.

Special issue – Fungal damages in buildings and wooden constructions

It has been exciting to try something Agarica has never tried before; to make a special issue. This issue is dealing with a topic that is a bit different from the normal topics published in Agarica. On the other hand this topic is something that relates to us all; Fungal damages in buildings and wooden constructions. We believe we have been able to gather an exciting and interesting mix of papers. We start with two introduction papers dealing with the premises for fungal growth in wooden materials, continue with damages and tests to evaluate performance, and at last we give examples of actions to be taken into account to avoid fungal deterioration. We hope this issue will have a long service life.

I want to acknowledge the following persons, without their effort it would not have been a special issue:

- Heidi Lyngstad, Per Otto Flæte, Andreas Treu and Anders Wollan for selection of abstracts,
- All authors,
- The editorial board of Agarica, this was a team effort. The effort and enthusiasm of Jon-Otto Aarnæs and Anders Wollan have to be highlighted,
- Johan Mattsson was the one who initiated this special issue and has also been a very important contributor, both regarding manuscripts and support as an expert within the field.

Gry Alfredsen,
redaktør for spesialutgaven
- Soppskader i bygg og trekonstruksjoner, Agarica vol. 34

Bygningsmykologi

Fagkompetanse og forskning
løser hverdagsproblemer



Mykologiske fagekspertter




MYCOTEAM
.....
www.mycoteam.no

Tlf. +47 46 97 55 00
Pb. 5 Blindern
N-0313 Oslo
post@mycoteam.no

Introduksjon til bygningsmykologi

Johan Mattsson, Mari Sand Austigard

Mycoteam as, Pb. 5 Blindern, NO-0313 Oslo

Kontakt: johan@mycoteam.no

English title: Introduction to building mycology

Mattsson J, Austigard MS, 2014. Introduksjon til bygningsmykologi. *Agarica* 2014, vol. 34, 3-9.

NØKKELOORD

Bygningsmykologi, økologi, nedbrytning, råtesopp, muggsopp

KEYWORDS

Building mycology, ecology, deterioration, wood-decaying fungi, mould fungi

ABSTRACT

Building mycology is the part of mycology that deals with fungi in buildings and building materials. The physical environment in buildings often resembles that in nature. Nourishment and suitable temperature for fungi is usually present and only the absence of water prevents fungal activity. In cases of moisture problems and water leakages, a range of species of mould and wood-decaying fungi can start growing. Fungal attacks might occur in all kinds of building constructions and -materials all over the world. The consequence of this is that building mycology is of importance in every type of building construction from stave churches with pine materials of extremely high quality to new concrete buildings and North Sea drilling rigs made of steel. Fungal damages can cause cosmetic degradation and deterioration of building materials, and cause problems for inhabitants due to negative impact on the indoor environment. Historically, fungal growth in buildings

has always been a problem and the desire to avoid such damages has greatly influenced the building design, choice, choice of materials and maintenance measures. Many different species may potentially occur in buildings, but in practice there is a limited number of species of mould and decay fungi habitually detected in structural damages. The article shows the variation in fungal species that occur in the built environment and how they tend to grow.

SAMMENDRAG

Bygningsmykologi er den delen av mykologien som er knyttet til bygninger og bygningsmaterialer. Det fysiske miljøet i og på en bygning kan ligne på det som er i naturen. Nærings- og temperaturforhold innendørs er som regel egnet for soppvekst, og det er kun fravær av vann som forhindrer soppangrep. Ved fukt- og vannskader kan det forekomme mugg- og råtesoppskader i alle typer bygninger og bygningsmaterialer, i alle typer klima og i alle geografiske områder. Av den grunn kan man finne soppskader i alt fra stavkirker med furumaterialer som har høy materialkvalitet, til nye betongbygninger og borerigger av stål i Nordsjøen. Soppskadene kan både gi kosmetiske skader på og svekkelser i bygningsmaterialer. De kan også gi problemer for brukere på grunn negativ belastning på innemiljøet. Soppvekst i bygninger har bestandig vært et problem, og gjennom historien har dette i stor grad påvirket utforming av bygningenes utseende, materialbruk og vedlikeholdstiltak. Det er potensielt mange ulike arter som kan opptre i bygninger, men i praksis er det et begrenset antall arter av muggsopp og råtesopp som påvises ved bygningsskader.



Figur 1. Nordportalen på Urnes stavkirke er fremdeles uten råtesoppkader, etter ca. 1.000 års eksponering for vær og vind!

The North gate at Urnes Stave Church is still, after almost 1.000 years of exposure to out-door climate, without any decay problems! Photo: Mycoteam as.

Artikkelen viser variasjonen i hvilke sopparter som forekommer og hvor i bygningene de vanligvis opptrer.

HISTORISK TILBAKEBLIKK

Treverk som bygningsmateriale kan ha lang holdbarhet. Verdens eldste stående trebygning, en pagode i Horyu-ji-templet i Nara, Japan, ble bygget i år 607. Det er estimert at 60-70% av det opprinnelige treverket fremdeles står i konstruksjonen (Mattsson 2010). I Norge finnes det ikke like gamle trebygninger, men stavkirkene er kjent for å være bygninger med spesielt lang levetid. Det er kun 28 av de anslagsvis tusen stavkirkene som ble bygget i perioden 1150-1250 som fremdeles står. Det

er flere grunner til at disse bygningene er blitt borte, både planlagt rivning, brann og råtesoppkader. Selv om det har vært gjort en del reparasjoner og utskiftninger viser de gjenværende kirkene likevel at treverk i Norge også kan ha meget lang levetid – særlig hvis det står beskyttet for nedbør og ikke har direkte bakkekontakt (Fig. 1).

Den samtidige, generelle bygningsmassen var ikke like gjennomført konstruert som stavkirkene. Begrensninger i økonomi, kunnskap og tilgang på materialer, og kanskje en mer pragmatisk holdning til at man måtte regne med å skifte ut materialer jevnlig, preget bygningene. Grunnmur var ikke vanlig, og trematerialene ble lagt mer eller mindre

direkte på bakken. Råtesopp-skader kom selvsagt etter hvert på disse trematerialene. I slike situasjoner vil gjerne arter som rosenkjuke (*Fomitopsis rosea*), hvitjuker (*Antrodia*-arter) og svartsonekjuke (*Phellinus nigro-limitatus*) etablere seg (Mattsson 1991).

Regelmessig utskifting av råtesopp-skadede materialer var noe man måtte regne med, men detaljer om dette er lite beskrevet i eldre litteratur. Dette skyldes trolig nettopp at de var en så vanlig del av hverdagen at man ikke nevnte det. I tingbøker fra 1600-tallet finnes det imidlertid beskrivelse av reparasjonsbehov på embedsgårder ved personsifte. Ved skader i den nedre delen av laftingen ble det sagt at det var behov for «oppveining» av bygningen. Dette betydde at man med hevstangprinsippet kunne heve bygningen så mye at det var mulig å skifte ut de skadede materialene. Ved råtesopp-skader i takkonstruksjonen ble det

sagt at bygningen måtte «påhugges», dvs. at man hogg til nye omfar og la nytt tak. Erfaring fra befaringer i tømmerbygninger viser at skader i takkonstruksjoner og øvre del av veggene ofte forårsakes av vedmusling (*Gloeophyllum sepiarium*), barksopper (*Corticaceae* sp.) og rutetømmerkjuke (*Antrodia xantha*) (Harmsen 1982).

Etter hvert ble konstruksjonene forbedret ved at man beskyttet tømmerveggene med et offersjikt i form av ulike typer av kledning og overflatebehandlinger (Fig. 2). Konstruktiv beskyttelse i form av takrenner og nedløpsrør gjorde også at husene ble mindre utsatt for råtesopp-skader.

Utover 1700-talet ble det dårligere tilgang på tømmer i Norge på grunn av omfattende eksport, og det ble mer vanlig å dekke tømmerveggene med panel. I 1763 skrev presten Hans Strøm på Vestlandet: «Paa det at de saaledes



Figur 2. Delvis bruk av kledning gir en god beskyttelse av de mest fuktbelastede delene av lafteveggene.

Local use of cladding boards protects the most exposed parts of the timber walls. Photo: Mycoteam as.

kan bevares mod foraadnelse, maa de flittig fornyes med bordklædning eller med lange svaler og skoder. Disse er nu om stunder saa meget mere fornødne at i akt tage, som bygningstømmer til nye huse falder baade bekostelig og vanskelig at erholde.» (Sæther 1989). Det var i tillegg en oppfatning i samtiden om at tømmerkvaliteten var dårligere enn tidligere, og at dette var en av årsakene til behovet for å beskytte tømmerveggene. I 1784 skriver sorenskriver Melchior Falch, på Vestlandet «*Det tømmer som naa faaes til at bygge huse af, er baade uselt og slet imod det forrige, hvorover det ikke heller kan vare længe*» (Sæther 1989).

Med et offersjikt av tynne kledningsbord oppsto det en ny økologisk nisje utvendig på bygninger, der det etter vår erfaring ofte oppstår angrep av vedmusling. I moderne tid, særlig i forbindelse med enkelte overflatebehandlings-

produkter, ble også andre arter, slik som tåresopp (*Dacrymyces stillatus*) og rottåre (*Ditiola radicata*) mer vanlig (Mattsson 2010).

BYGNINGSØKOLOGI

Bygninger som helhet og de fleste bygningsmaterialer forutsettes å ha en lang levetid. For å oppnå dette, strever man etter å bygge og bruke bygninger på en slik måte at det ikke oppstår skadelig fuktbelastning (Geving og Thue 2002). Ved å holde treverk tørt og unngå høye verdier av relativ luftfuktighet, unngår man vekstgrunnlag for mugg- og råtesopp.

Det er gjort flere undersøkelser angående hvilke konstruksjoner som vanligvis blir angrepet av sopp, og hvilke forutsetninger som skal til for at soppskader oppstår. Generelt anses en kritisk grense for vekst av muggsopp



Figur 3. Det ytre sjiktet av treverk er uskadet mens de indre delene er sterkt nedbrutt.

The outer wooden cells are sound while the inner part is heavily decayed. Photo: Mycoteam as.

å være relativ luftfuktighet (RF) på 75 % (Samson et al. 2004) og for råtesopp ca. 18-20 % fuktkvote i treverk (Cockcroft 1981). Johansson (2012) og Viitanen (1996) har ved laboratorieforsøk vist at det er en del variasjoner i hvilke fuktverdier som er gunstige for soppvekst, avhengig av blant annet temperatur og næringstilgang. Videre har Sivertsen og Mattsson (2011) vist at det kan være enkelte avvik mellom litteraturangivelser av fuktnivåer og praktiske erfaringer ved en skadeutvikling. Til tross for slike variasjoner kan man generelt sett si at de nedre grenseverdiene for relativ luftfuktighet og fuktkvote i treverk med hensyn på soppvekst som hovedregel stemmer godt.

Når det gjelder næring, er de fleste mugg- og råtesoppene godt utviklet til å kunne nyttiggjøre seg næringsstoffer i treverk. Nunez et al. (2012) har vist at både treverk og moderne materialer med lett tilgjengelig cellulosekilde, slik som gipsplater, vindspærre, tapet og trefiberbaserte plater ofte blir angrepet av muggsopp ved fukt- og vannskader. Det er imidlertid en rekke muggsopparter som kan bryte ned andre organiske forbindelser, slik at de kan leve av både mykgjørere og bindemidler i for eksempel lim, maling og fugemasser. Det er også vanlig å finne angrep av muggsopp i forbindelse med forurensninger på overflater, noe som gjør at man kan finne muggsopp-skader på blant annet malte overflater, murflater og til og med stål (Mattsson 2004).

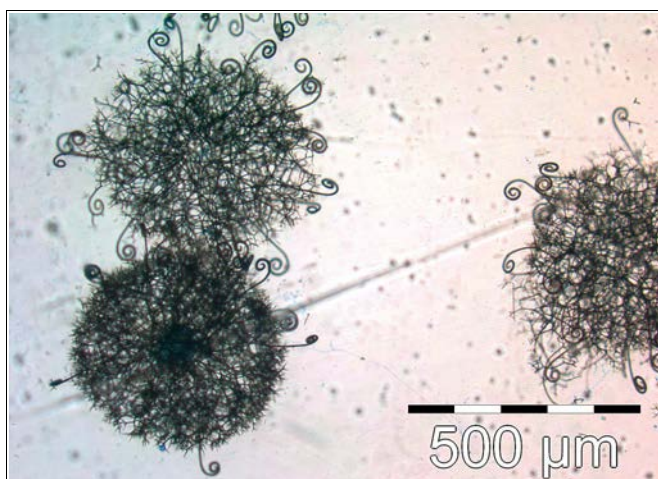
Fordi de økologiske forholdene kan variere sterkt over små avstander, kan forskjellen mellom friskt virke og en etablert skade ofte være noen få millimeter. Dette er vanlig å registrere i forbindelse med tømmervegger. Et godt eksempel er råteskadene som er observert på Svalbard, der det rett under en uskadet overflate kan være omfattende råtesopp-skader (Mattsson 2010) (Fig. 3). I slike tilfeller er det vanskelig å oppdage skaden uten å gjennomføre en destruktiv undersøkelse.

BYGNINGSMYKOLOGI

Gjennom 30 år med bygningsmykologiske undersøkelser har Mycoteams rådgivere erfart at det ofte er stor avstand mellom antagelser hos de involverte og hva som egentlig er problemet. Det er ofte stor forvirring rundt begrepene «sopp», «råte» og «mugg». Man kan oppleve at entreprenører er opptatt av å beskytte stenderverk og bunnsviller mot råte ved hjelp av impregnering, uten å være klar over at muggsopp-skader kan være et mer alvorlig problem dersom bygningsmaterialene blir fuktet opp i løpet av byggeprosessen. Ofte kan man også høre at en håndverker har funnet «råte, men det er ikke sopp». En utbredt antakelse er at det er stor fare for rask utvikling av omfattende angrep av ekte hussopp dersom treverk blir vått. Dette viser at det fortsatt er et stort behov for kunnskap om bygningsmykologi i Norge.

Gjennomgang av analyseresultater fra 3434 prøver av råtesopp-skadet treverk fra bygninger i Norge (Alfredsen et al. 2006) har vist at de vanligst forekommende råtesoppene var hvitkjukesopper (*Antrodia*-arter) (18,5 %), tett fulgt av kjellersopp (*Coniphora puteana*) (16,3 %) og ekte hussopp (*Serpula lacrymans*) (16,0 %). På Svalbard, der det er et arktisk klima med ekstremt lav gjennomsnittstemperatur, permafrost og begrenset nedbør, er mønsteret av soppangrep vesentlig annerledes. Den dominerende råtesoppen i 362 analyserte råteprøver var husnettssopp (*Leucogyrophana mollis*). Andre brunråtesopper ble kun påvist i enkelte tilfeller, og ekte hussopp var fraværende (Mattsson et al. 2010).

Når det gjelder muggsopp-skader i bygninger, er det også et klart mønster i hvilke arter som forekommer (Mattsson 2004). Ved kondenssskader finner man gjerne kondensmuggsopper (*Cladosporium*) og kjedekondensmuggsopper (*Ulocladium*), mens det ved vannskader er arter innen penselmuggsopper (*Penicillium*), raggråtemugg (*Chaetomium*



Figur 4. Svart kjellermugg (*Myxotrichium chartarum*) er vanlig å finne i utlektede kjellervegger.

The mould fungus Myxotrichium chartarum is commonly found in thermal insulated basement walls. Photo: Mycoteam as.

globosum) og svart vannskademugg (*Stachybotrys chartarum*) som dominerer (Nunez et al. 2012). I tilfeller der det har vært lange perioder med en høy relativ luftfuktighet, er arter innen slekten strålemuggsopp (*Aspergillus*) vanlig. Enkelte materialer og konstruksjoner utsettes for spesielle skadetyper. Utlektede kjellervegger har for eksempel ofte angrep av svart kjellermugg (*Myxotrichium chartarum*) (Nunez et al. 2012) (Fig. 4). I tillegg kommer det inn tilfeldige muggsopp-sporene med uteluft og varer/gjenstander som kan etablere seg hvis det er gunstige forhold.

Med kjennskap til hvilke vekstkrav ulike sopparter har, kan man ofte forutse hvilke arter som har etablert seg ved kjente fuktbelastninger. Dermed kan man med stor sannsynlighet anslå hva som forekommer av skader i en bygning og hvor de er.

UNDERSØKELSER

For å kunne undersøke og vurdere sopp-skader, kreves det en tverrfaglig kompetanse. I tillegg til en grunnleggende forståelse og kunnskap om aktuelle biologiske organismer, må man ha erfaring med hvilke konstruksjoner som

finnes og hvordan skader kan opptre i disse.

Bygnings-skader opptre i materialer og konstruksjoner som er utsatt for fuktbelastning over tid. Etter en vannskade blir det gjerne påvist muggsopp-skader i moderne bygningsmaterialer i løpet av en uke, mens muggsoppvekst i tømmerbygninger gjerne oppstår i løpet av tre-fire uker (Mattsson og Stensrød 2009). Det er gjerne inne i lukkede konstruksjoner som tilfarergulv, utlektede kjellervegger, baders-vegger/-gulv og yttervegger at fuktigheten blir stående lengst. Fordi lekkasjevann vasker med seg deponerte sopp-sporene inn i disse fuktige miljøene, er det

gjernere her skadene utvikler seg. Muggsoppvekst er et overflatefenomen, men når overflatene er innelukket i konstruksjonen blir allikevel skaden skjult. Råtesopp-skader utvikles inne i vedcellene på treverk, og dette vanskeliggjør muligheten for å kunne oppdage etablerte skader før skadene er godt utviklet. Konsekvensen er at det ofte kan være vanskelig å oppdage skadene på et tidlig tidspunkt.

For å lage en god tiltaksplan må det utføres grundige undersøkelser, slik at man kan stille en riktig diagnose på skaden og unngå å bare behandle symptomene. Mange ønsker å finne enkle mirakelkurer slik som å påføre soppgift. Dersom man ikke finner fram til og fjerner årsaken til soppveksten kan skaden videreutvikle seg uansett om det blir påført kjemikalier eller ikke. Behandling med kjemikalier gir en nødvendig belastning på bygningens ytre og indre miljø, og fordi det ikke gir varig beskyttelse mot nye skader gir det bare en falsk trygghet. For å sikre et godt resultat og hindre nye skader, må man kartlegge skadens omfang, konsekvens og årsak, og treffe tiltak deretter.

REFERANSER

- Alfredsen G, Solheim H, Jenssen KM, 2006. Råtesopp i norske bygninger. *Agarica* 2006, vol. 26, 78-86.
- Cockcroft R, 1981. Some wood-destroying basidiomycetes. Volume 1 of a collection of monographs. International Research Group on Wood Preservation, Papua New Guinea.
- Coggins CR, 1980. Decay of timber in buildings. Dry rot, wet rot and other fungi. The Rentokil library. East Grinstead.
- Evans F, Klem GS, 1992. Trebeskyttelse. Universitetsforslaget, Oslo.
- Geving S, Thue JV, 2002. Fukt i bygninger. Håndbok 50, Norges Byggeforskningsinstitutt, Oslo.
- Harmsen L, 1982. Trænedbrydende svampe i ganvtræ. *Svampe* 5:11-58.
- Johnsson P, 2012. Critical Moisture Conditions for Mould Growth on Building Materials. Licentiate thesis, Lunds universitet.
- Mattsson J, 1991. Soppskader fra Kaanans land til Karmøy. *Blekksoppen* nr. 53 (årgang 19), 18-23. Oslo.
- Mattsson J, 1995. Råte- og insektskader. Tilstandsanalyse og utbedringstiltak. FOK-programmets skriftserie nr. 23. Norges forskningsråd.
- Mattsson J, 2004. Muggsopp i bygninger. Mycoteam AS, Oslo.
- Mattsson J, 2010. Råtesopp i bygninger. Forekomst, påvisning, vurdering og utbedring. Mycoteam AS, Oslo.
- Mattsson J, Flyen AC, Nunez M, 2010. Wood-decaying fungi in protected buildings and structures on Svalbard. *Agarica* 2010, vol. 29, 5-14.
- Mattsson J, Stensrød O, 2009. Håndbok om vannskader. Årsak, undersøkelser, tiltak og gjenoppbygging. Mycoteam AS, Oslo.
- Nunez M, Sivertsen MS, Mattsson J, 2012. Substrate and construction preferences for Actinomycetes and 20 mould genera. Proceedings in Healthy Buildings 2012, Brisbane.
- Sivertsen MS, Mattsson J, 2011. Growth conditions for fungal decay in wooden constructions – practical experience versus literature. Proceedings from IRGWP Annual Meeting, Queenstown, New Zealand, International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 11-10758.
- Samson RA, Hoekstra E, Frisvad J, Filtenborg O, 2004. Introduction to food- and airborne fungi. CBS, Utrecht.
- Sæther P, 1989. Byggeskikk på Sunnmøre. *Tidskrift for Sunnmøre Historielag*, Ålesund.
- Viitanen H, 1996. Factors affecting the development of mould and brown rot decay in wooden material and wooden structures. Effect of humidity, temperature and exposure time. PhD dissertation, Uppsala.

Faktorer som påvirker levetiden til tre utendørs

Gry Alfredsen¹, Lone Ross Gobakken¹, Per Otto Flæte², Christian Brischke³

¹Norsk institutt for skog og landskap, Pb 115, NO-1431 Ås

²Norsk Treteknisk Institutt, Pb 113 Blindern, NO-0314 Oslo

³Leibniz University Hannover, Faculty of Architecture and Landscape Sciences, Institute of Vocational Sciences in the Building Trade (IBW), Herrenhäuser Str. 8, D-30419 Hannover, Germany

Kontakt: alg@skogoglandskap.no

English title: Factors affecting the durability of outdoors exposed wood

Alfredsen G, Gobakken LR, Flæte, PO, Brischke C, 2014. Faktorer som påvirker levetiden til tre utendørs. *Agarica* 2014, vol. 34: 11-18.

NØKKELOORD

Trefuktighet, temperatur, konstruktiv beskyttelse, vednedbrytende organismer

KEYWORDS

Wood moisture content, temperature, durability by design, wood-deteriorating organisms

ABSTRACT

The aim of this paper is to give a short introduction to mechanisms of wood protection with focus on the main factors that are affecting the service life of wood used outdoors.

SAMMENDRAG

Målet med denne artikkelen er å gi en kort innføring i trebeskyttelse, med fokus på faktorer som påvirker levetiden til tre benyttet uten-dørs.

TRE SOM BYGNINGSMATERIALE I NORGE

De nordiske landene har en lang tradisjon med bruk av tre, hovedsakelig bartrevirke, som konstruksjonsmateriale, og dette til tross

for at de stedeagne treslagene generelt ikke anses som spesielt holdbare. I Norge har bartrær, og spesielt gran, tradisjonelt blitt brukt som utvendig kledning. Interessen er nå økende for å bruke ubehandlet tre og også andre treslag enn gran. Årsaken er blant annet økt interesse for bruk av tre blant arkitekter samt de gunstige klima- og miljøegenskapene knyttet til tre som byggemateriale. En av hovedutfordringene med bruk av tre er at prosjekterende arkitekter, entreprenører og ingeniører er avhengige av dokumentasjon og forutsigbarhet av levetiden til trematerialer. For en rekke trematerialer er dette mangelfullt klarlagt, inkludert flere av de norske treslagene samt for nye trebeskyttelses-systemer. Manglende dokumentasjon kan føre til ulike former av skader på grunn av ugunstig bruk av tre, noe som igjen kan føre til et ufortjent negativt rykte til trematerialer.

LEVETID

I den europeiske standarden ISO 15686-1 (2000) defineres levetid som 'den tiden etter oppføring hvor bygningen eller bygningsdelene møter kravene til ytelse'. Det er viktig å huske at holdbarhet ikke er det samme som levetid (Brischke et al. 2006). Holdbarhet (definert i senere avsnitt) er en egenskap som gir en gitt levetid. Oldbarheten påvirkes av en rekke faktorer gjennom brukstiden til produktet. Levetid er en tidsperiode som spesifiseres i antall år. Levetiden tar slutt når en egenskap når sin kritiske grense for ytelse, for eksempel når det er fare for å trække gjennom terrasse-

gulvet som følge av råtesopp-skade i terrassebordene. Levetid for treprodukter er viktig å kvantifisere på en vitenskapelig måte, både fordi forutsigbarhet er viktig for forbrukeren og fordi det er viktig med gode data i analyser som viser miljø- og klimapåvirkningen til de ulike trematerialene i et livsløpsperspektiv.

Økt levetid for treprodukter innebærer mindre arbeid og lavere kostnader for brukeren. Dessuten gir økt levetid et positivt bidrag til produktets miljø- og klimapåvirkning. Dette blant annet fordi 1) jo lenger et treprodukt er i bruk jo lenger vil det holde på det lagrede karbonet, 2) jo lenger man venter med en utskiftning jo bedre siden enhver utskiftning medfører miljøbelastninger. Det er viktig å skille 'faktisk levetid' fra 'maksimal levetid', for eksempel utskiftning som skyldes estetiske hensyn versus at materialet byttes ut grunnet omfattende råtesopp-skader.

HOLDBARHET

Holdbarheten til trematerialer kan defineres på mange ulike måter og ulike definisjoner er sammenstilt av Brischke et al. (2006). Brischke et al. (2006) har følgende definisjon: 'Holdbarheten til tre er dens motstand mot vednedbrytende organismer samt påvirkning fra miljøet'. Siden det finnes ulike definisjoner av holdbarhet er det viktig å presisere hva man mener med begrepet holdbarhet når man benytter seg av det.

Trevirkets naturlige holdbarhet kan forbedres ved hjelp av en rekke ulike teknikker, blant annet ved å utnytte mulighetene i den iboende naturlige holdbarheten (for eksempel ved å utnytte kjerneveden i en del treslag), trebeskyttelsessystemer og overflatebehandling. Konstruktiv beskyttelse har til hensikt å minimere fuktbelastningen på konstruksjonsdetaljer, og dette vil øke levetiden og redusere risiko for råte.

Naturlig holdbarhet

I den Europeiske standarden EN 350-1 (1994) er den naturlige holdbarheten til treslag definert som 'den iboende motstanden til tre mot vednedbrytende organismer'. Ekstraktivstoffer anses å være den viktigste kilden til råteresistens i ubehandlet tre (Scheffer og Cowling 1966) og kjerneveden inneholder ofte mer ekstraktivstoffer enn yteveden. Ekstraktivstoffenes effekt på vednedbrytende organismer kan være toksisk. Men det kan også være en effekt av fuktdynamikk ved at trevirkets evne til å ta opp fuktighet reduseres, hvilket også reduserer risikoen for soppangrep (Stirling og Morris 2006).

Ekstraktivinnholdet kan variere mellom treslag og også innen det enkelte treslaget. Ekstraktivinnholdet varierer dessuten innen en trestamme, og det vil normalt variere mer i tverrsnittet enn i lengderetning (Brischke et al. 2006). Bestandsegenskaper, geografi, klima, reaksjonsved, lagring og tørking er andre faktorer som påvirker den naturlige holdbarheten til trematerialer (Brischke et al. 2006). I den senere tid har lite holdbare treslag som osp blitt brukt ubehandlet i utvendig kledning (Fig. 1)

Konstruktiv beskyttelse

'Design for durability' – er et godt råd. Angrep av råtesopp står for den største andelen av biologisk nedbrytning av trematerialer i bygninger i Norge. For å motvirke råtesoppangrep er det viktigste prinsippet å holde trefuktigheten på ett nivå under 20% (Evans 2009a). Denne grensen brukes trolig som en generell grense fordi man da er på den sikre siden og godt under fibermetningspunktet hvor fritt vann blir tilgjengelig for soppen. Konstruktiv beskyttelse er i stor grad et spørsmål om å forme konstruksjonen og detaljene slik at vannfeller unngås og at fuktighet blir ledet raskt og effektivt bort (Fig. 2). Design som tillater en god uttørring av trekomponentene er å foretrekke. Gitt



Figur 1. Ubehandlet osp som utvendig kledning.
Untreated Aspen as cladding in an external wall.
Photo: Lone Ross Gobakken.

gunstige vekstforhold for sopp vil selv en svært avgrenset råtesoppsskade med tiden spre seg og sette en større trekonstruksjon i fare.

Trebeskyttelsessystemer

Målet med bruk av trebeskyttelsessystemer er å hindre angrep av vednedbrytende organismer, og da spesielt i yteved av ikke-holdbare treslag. Det er ulike typer trebeskyttelsessystemer på markedet i Norge i dag, og de kan grovt deles inn i fire grupper: 1) kobberbaserte systemer, 2) metallfrie biocidbaserte systemer, 3) tremodifisering – ulike prosesser som forbedrer treverkets egenskaper uten bruk av gift og 4) tre-plast kompositter. Faktorer som spiller inn når et tremateriale skal behandles med et trebeskyttelsesmiddel er i følge Brischke et al. (2006): permeabiliteten til treslaget, impregneringsgrad, radielt vs. tangentielt sagde materialer, orientering av marg, material-



Figur 2. Konstruktiv beskyttelse – beslag på vannbrett under vindu, behandling av endevved, avstand mellom endevved og vannbrett.

Protection by design – fitting on water bar, treatment of end grain, gap between water bar and endgrain. Photo: Lone Ross Gobakken.

tykkelse, type behandling og faglig utførelse. Mer informasjon om ulike trebeskyttelsessystemer finnes på www.skogoglandskap.no og www.treteknisk.no.

Overflatebehandling

En god overflatebehandling skal i prinsippet oppfylle følgende funksjoner: 1) beskytte trevirke mot råtesoppsskader, svertesoppsskader og nedbrytning fra UV lys, 2) gi et pent utseende (glans og fargestabilitet), 3) gi lange vedlikeholdsintervaller, 4) holde fuktigheten i treverket på et akseptabelt lavt nivå og 5) utjevne fuktvariasjonene i kledningsbordene. For 15-20 år siden var råtesoppsskader i kledningsbord i trefasader et alvorlig og relativt omfattende problem, men pr. i dag er slike skader et minimalt problem siden man har gode grunningsprodukter med effektive fungicider. Dette forutsetter imidlertid at overflatebehandlingen utføres og vedlikeholdes riktig.

Svertesoppvekst på overflaten av utvendig kledning er et estetisk problem (Fig. 3). Bruk av systembehandling, dvs. en oppbygging av en værhud bestående av grunning, mellomstrøk og toppstrøk med tilpassede fungicider er vanligste fremgangsmåte i dag, for å forebygge svertesoppvekst

FAKTORER SOM PÅVIRKER TREMATERIALERS LEVETID

Brischke et al. (2006) lister opp følgende faktorer som påvirker trematerialers holdbarhet:

- **Materialtemperatur og trefuktighet** er hovedfaktorer med hensyn på holdbarhet til treprodukter, og disse faktorene er direkte påvirket av konstruktiv design og utførelse. Husk: Tørt tre råtner ikke. Disse to faktorene er beskrevet i mer detalj under.
- **Design og utførelse av detaljer** i en bygning påvirker levetiden til tre fordi de bestemmer risikonivået for en eventuell biologisk nedbrytning (for mer utfyllende informasjon se Gobakken et al. (2013)).
- Holdbarheten til et treprodukt avhenger av **bruksområdet**. Ulike bruksområder har ulik fuktrisiko og dermed også ulik råterisiko.
- **Dimensjonen** til en komponent påvirker også risikoen for råte.
- **Sprekker** i tremateriale gir åpninger for vann og sopp sporer, og risikoen for sprekkdannelse påvirkes av graden av fuktvariasjon i materialet.
- **Håndverksmessig utførelse** vil ha en indirekte effekt på levetid, men er ikke spesifikt for trematerialet.



Figur 3. Svertesopp på malt trefasade.

Blue stain fungi on coated wooden facade. Photo: Lone Ross Gobakken.

Materialtemperatur

Generelt er minimumstemperatur for soppvekst 0°C siden vann i væske form da ikke er tilgjengelig. I den tidlige fasen av den logaritmiske vekstkurven har mange sopparter en tilnærmet dobling av spesifikk vekstrate ved økning på 10°C (Zabel og Morrell 1992). Optimumstemperaturen for soppaktivitet er mellom 20°C og 35°C, men dette er sterkt avhengig av soppart (Wälchli 1977). Man deler gjerne sopp inn i tre grupper: 1) psykrofile – minimum generelt ved 0°C og maksimum 20°C. Ved lavere temperaturer er ikke er noe fritt vann tilgjengelig for soppen om ikke frysepunktet kjemisk modifiseres i hyfer eller treverk (Brischke et al. 2006), 2) mesofile - minimum over 0°C og maksimum under 50°C, de fleste sopp tilhører denne gruppen, inkludert vednedbrytende sopp som vokser best mellom 15°C og 40°C, 3) termofile - minimum på 20°C, tolererer og vokser over 50°C (Cooney og Emerson 1964).

Fuktighet

De viktigste faktorene som påvirker trefuktigheten er luftfuktighet, nedbør og vannopptak som følge av jordkontakt eller lekkasjer (Brischke et al. 2006). Soppmycelet er ikke i stand til å absorbere vann som er bundet til celleveggen, så minimum fuktinnhold for vednedbrytning av råtesopp må være over fibermetningspunktet (Schmidt 2006). Vann må være tilstede for at frie radikaler (knyttet til den første fasen med oksidativ nedbrytning) og enzymene som frigjøres av sopp skal kunne bryte ned celleveggkomponenter. Trefuktighet oppgis ofte som vanninnhold i prosent av trevirkets tørrvekt. Ammer (1963) fant at minimum trefuktighet for soppvekst er ved 30% og at optimum ofte er mellom 40 og 70% (Wälchli 1980). Den øvre fuktgrensen for de fleste basidiomyceter er 90% trefuktighet (Bavendamm 1974). Et bemerkelsesverdig unntak fra denne regelen er Ekte hussopp (*Serpula lacrymans*), som kan transportere

vann over lange avstander fram til stedet med enzymaktivitet (Wälchli 1980, Grosser 1985). Ekte hussopp er derfor i stand til å vokse i treverk med en trefuktighet under 20%, gitt at det finnes en ekstern fuktkilde (Schmidt 2006). Jo høyere fuktinnhold det er i treet jo lavere er oksygeninnholdet. Dette er årsaken til at sopp ikke etablerer seg i våt-lagret trevirke (Liese og Peek 1987).

Bruksområde

Ved bruk av tre utendørs, er det viktig å skille mellom de ulike bruksområdene fordi hvert bruksområde har ulik risiko for biologisk nedbrytning. I Europa er det definert fem bruksklasser for tre (Tabell 1).

BIOLOGISK NEDBRYTNING

Sopp

Det er forskjell på misfargende sopp, slik som muggsopp og blåvedsopp, og vednedbrytende sopp. Muggsopp og blåvedsopp livnærer seg av fritt sukker og bryter generelt ikke ned celleveggen i treverket og forårsaker styrketap slik råtesopper gjør. Brunråtesopp er den vanligste og mest destruktive typen råtesopp i tre ved lagring og bruk, og kan forårsake betydelige svekkelser i trevirkets styrke allerede ved lave nivåer av massetap (Eaton and Hale 1993). Relativt få hvitråtesopper anses som viktige vednedbrytere av tømmer i bygg. Termen gråråte beskriver mykgjøring av tre angrepet av sekksporesopp og imperfekte sopp (Eaton and Hale 1993). Gråråtesopper kan angripe treverket ved forhold som ikke begunstiger vekst av stilksporesopper, dvs. ved høyt fuktnivå, lav oksygentilgang, høy temperatur, tilstedeværelse av trebeskyttelsesmidler eller ekstraktiver (Eaton og Hale 1993). Siden veden ikke krymper før den er tørr, kan det være vanskelig å se tilstedeværelse av angrep av gråråte i fuktig tre. Et eksempel på gråråte er gitt i Fig. 4.

Bakterier

Den skaden bakterier forårsaker på treverk er liten sammenlignet med skader forårsaket av stilksporesopper, men bakterier er i stand til å overleve og bryte ned treverk under mye hardere miljøbetingelser (temperatur og fuktighet) enn de fleste vednedbrytende sopper (Butcher 1983). Bakterier kan angripe tre som står under grunnvannspeilet og i tømmer som er lagret i ferskvann eller er overrislet med vann for å unngå sopp-skader. Bakterieangrep resulterer i at treverkets permeabilitet, dvs. evnen til å oppta væske, øker. Det er derfor viktig at trevirke som skal brukes til for eksempel møbler, lister eller vinduer, ikke har vært vannlagret. Bakteriene gir et høyere opptak av vann i treet og kan bidra til videre etablering av råtesopp. Årsaken til denne økede permeabiliteten i treet er at bakteriene bryter ned lukkemekanismene mellom cellene (Evans 2009a).

Insekter

Treborende insekter lager ganger i trevirke av tre grunner: 1) for å få mat, 2) for å etablere reir, 3) for å forpuppe seg. I Norge

utgjør biller og maur de viktigste kategoriene av treskadeinsekter. Av de om lag 900 insektene vi har i Norge som er knyttet til ved er det bare 12-13 arter som vanlig forekommer i treverk på eller i hus. Det er kun tre av de norske insektene som kan sies å skade konstruksjonsvirke i alvorlig grad: stripet borebille, husbukk og stokkmaur (Evans 2009b).

Marine borere

Tre som er eksponert i sjøvann under høyvannsgrensa er utsatt for angrep av marine bakterier, sopp og marine borere. Det er marine borere som hovedsakelig bidrar til nedbrytningen av treverket (for eksempel båter og bryggestolper), og de kan forårsake store skader på relativt kort tid. Blant de mest kjente marine borene i norske farvann er pælemark (også kalt skipsorm, en av de mest kjente artene er *Teredo navalis*) og pælelus (*Limnoria lignorum*). De er avhengige av at saltkonsentrasjonen er høyere enn 0,7% i vannet. Med andre ord, langs hele kysten der det ikke er brakkevann (Evans og Flæte 2009).

Tabell 1. Bruksområder og fukforhold i ulike bruksklasser etter EN 335 (2013) og Brischke et al. (2006).

Applications and moisture conditions in different use classes according to EN 335 (2013) and Brischke et al. (2006).

Risiko-klasse	Generell brukssituasjon	Trefuktighet	Fuktbelastning under bruk
1	Innvendig, dekket til, tørr	Maks 20%	Ingen
2	Innvendig eller dekket til, oppfukning kan forekomme	Tidvis >20%	Av og til
3.1	Utendørs, over mark, eksponert for værbelastninger, begrenset risiko for langvarig fuktbelastning	Tidvis >20%	Av og til
3.2	Utendørs, over mark, eksponert for værbelastninger, perioder med fukt men ikke konstant	Ofte >20%	Hyppig
4	Utendørs, jordkontakt og/eller ferskvann	Hovedsakelig eller permanent > 20%	Konstant
5	I sjøvann	Permanent >20%	Konstant



Figur 4. Gråråte.

Soft rot. Photo: Mycoteam as.

KONKLUSJON

Tre som bygningsmateriale kan ha en levetid på hundrevis av år hvis man bruker materialer tilpasset bruksområdet, utformer gode konstruktive detaljer og følger anbefalte vedlikeholdsintervaller. Men med uheldig materialvalg og utførelse som danner vannfeller kan levetiden bli svært kort. Husk derfor: tørt tre råtner ikke og djevelen er i detaljene.

REFREANSER

Ammer U, 1963. Untersuchungen über das Wachstum von Rotstreifepilzen in Abhängigkeit der Holzfeuchtigkeit. Forstwissenschaftliches Centralblatt 82: 360-391.

Bavendamm W, 1974. Die Holzschäden und ihre Verhütung. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.

Brischke C, Bayerbach R, Rapp AO, 2006. Decay-influencing factors: A basis for service life prediction of wood and wood-based products. Wood Material Science and Engineering 1: 91-107.

Butcher JA, 1983. Report on questionnaire: Facility for accelerated stake tests in unsterile soil. Proceedings from IRG Annual Meeting, Surfers Paradise, Queensland, Australia, International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 2169.

- Cooney DG, Emerson R, 1964. Thermophilic Fungi. An Account of their Biology, Activities, and Classification. XII, 188 S., 74 Abb., 8 Tab, 6 Taf. San Francisco, London 1964, W. H. Freeman & Comp.
- CEN, 1994. Durability of wood and wood-based products. Part 1: Guide to the principles of testing and classification of the natural durability of wood. EN 350-1. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.
- CEN, 2013. Durability of wood and wood-based products - Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products. EN 335. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.
- Eaton RA, Hale MDC, 1993. Wood: Decay, Pests and Protection,. Chapman & Hall, London, New York, 546,
- Evans FG, 2009a. Soppskader i tre. Fokus på tre nr. 51. Tilgjengelig via <http://www.treteknisk.no/fullstory.aspx?m=1174&amid=15421>. Sitert 24. september 2013.
- Evans FG, 2009b. Insekter i tre. Fokus på tre nr. 50. Tilgjengelig via <http://www.treteknisk.no/fullstory.aspx?m=1174&amid=15424>. Sitert 24. september 2013.
- Evans FG, Flæte PO, 2009. Treslag og holdbarhet. Fokus på tre nr. 2. Tilgjengelig via <http://www.treteknisk.no/fullstory.aspx?m=1174&amid=15502>. Sitert 24. september 2013.
- Gobakken LR, Mattson J, Alfredsen G, 2014. The importance of critical in-situ conditions for in-service performance of wood. *Agarica* 34: 29-36.
- Grosser D, 1985. Pflanzliche und tierische Bau- und Werkholzschildlinge. Stuttgart: DRW.
- ISO, 2000. Building and constructed assets - Service life planning - Part 1: General principles. ISO 15686-1. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.
- Liese W, Peek RD, 1987. Erfahrungen bei der Lagerung und Vermarktung von Holz im Katastrophenfall. *Allgemeine Forstzeitschrift* 42: 909-912.
- Scheffer TC, Cowling EB, 1966. Natural resistance of wood to microbial deterioration. *Annual Review of Phytopathology* 4: 147-170.
- Schmidt O, 2006. Wood and tree fungi. Biology, damage, protection, and use. Berlin: Springer.
- Stirling R, Morris PI, 2006. The influence of extractives on western red cedar's equilibrium moisture content. Proceedings from IRG Annual Meeting, Tromsø, Norway, International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 06-40331.
- Zabel RA, Morrell JJ, 1992. Wood microbiology, decay and its prevention. Orlando, FL: Academic Press.
- Wälchli O, 1977. Der Temperatureinfluß auf die Holzerstörung durch Pilze. *Holz als Roh- und Werkstoff* 35: 45-51.
- Wälchli O, 1980. Der echte Hausschwamm - Erfahrungen über Ursachen und Wirkungen seines Auftretens. *Holz als Roh- und Werkstoff* 38: 169-174.

Dry rot fungus (*Serpula lacrymans*) in Norwegian buildings

Mari Sand Austigard, Johan Mattsson, Ingeborg Bjorvand Engh,
Hege Bull Jenssen
Mycoteam as, Pb. 5 Blindern, NO-0313 Oslo

Corresponding author: mari@mycoteam.no

Norsk tittel: Ekte hussopp (*Serpula lacrymans*) i norske bygninger.

Sand Austigard M, Mattsson J, Bjorvand Engh I, Bull Jenssen H, 2014. Dry rot fungus (*Serpula lacrymans*) in Norwegian buildings. *Agarica* 2014, vol. 34: 19-28.

KEYWORDS

Dry rot, cause of damage, construction, *Serpula lacrymans*, severity of damage

NØKKEWORD

Ekte hussopp, konstruksjon, *Serpula lacrymans*, skadegrad, skadeårsak

SAMMENDRAG

Ekte hussopp (*Serpula lacrymans*) er vanlig i norske bygninger. Den blir gjenstand for større oppmerksomhet enn andre råtesopper ettersom den ofte gir store skader, samtidig som utbedring byr på spesielle utfordringer. Soppen foretrekker moderate temperatur- og fuktighetsnivåer, og kan forventes å vokse bedre i kjellere enn i øvrige etasjer i en bygning. Preferansene angående substrat gjør at man kan forvente hyppigere skader i teglsteinsbygninger med tre i etasjeskillere og tak. Formålet med denne studien har vært å gjøre bruk av informasjonen som er tilgjengelig i Mycoteams database om skader forårsaket av *S. lacrymans*, og samtidig se nærmere på skadenes beskaffenhet med hensyn til konstruksjonstyper og skadeårsaker. Artikkelen har to hovedkilder for data, (1) Mycoteams database med data fra 678 prøver (tilsendt eller samlet inn av Mycoteams rådgivere) og (2)

data innhentet av Mycoteams rådgivere i saker der de har vært engasjert for oppfølgig av kartlegging og utbedring av skader forårsaket av ekte hussopp. Denne delen omfatter 73 skadesaker, og de innsamlede prøvene inngår i de 678 prøvene i databasen. For prøvene fra databasen (1) ble bygningsdel, konstruksjon og prøvemateriale studert. Som ventet er de fleste prøvene hentet fra kjellere. Nesten like mange er hentet fra hovedkroppen av huset («midten»), men av disse kom svært få fra våtrom. Bare 10% av prøvene var hentet fra loft. Med hensyn til konstruksjon var den største gruppa av prøver hentet fra etasjeskillere. For skadesakene (2) ble bygningsdel, bygningstype, alder på skaden, bygningsendringer og alvorlighetsgrad på skaden studert. De fleste skadene hadde oppstått i kjellere, og fuktinnsig var den viktigste skadeårsaken. Størstedelen av skadene hadde liten eller moderat alvorlighetsgrad. Årsaken til skadene var ulik i de forskjellige bygningsdelene. I kjellere var de fleste skadene forårsaket av fuktinnsig, mens lekkasjer var viktigste skadeårsak på loft og i midten av bygningen. Som ventet var de fleste skadene oppstått i teglsteinsbygninger med etasjeskillere og takkonstruksjoner i tre, men nesten en tredel hadde oppstått i tømmerhus. Det vanligste var at skaden var gammel og inaktiv, men nesten en firedel var oppblomstring av gamle skader. Nylige bygningsendringer hadde signifikant innvirkning på alder på skaden. Nylige bygningsendringer hadde signifikant innvirkning på alder på skaden. Der det var gjort nylige endringer i konstruksjonen var hoveddelen av skadene gamle med ny oppblomstring. Studien viser at *S. lacrymans* ofte

gir alvorlige skader, men mange er små eller moderate i størrelse og alvorlighetsgrad. Skadene kan utvikle seg langsomt over lang tid, og ikke bli oppdaget før det settes i gang reparasjoner eller oppussing. Konstruksjonsendringer kan gi oppblomstring av gamle skader, og dette må tas med i betraktning hos planleggere, håndverkere og huseiere.

ABSTRACT

Dry rot (*Serpula lacrymans*) is commonly found in Norwegian buildings, and is often given more attention than other decay fungi because it often causes extensive damage and poses challenges regarding remediation. The fungus prefers moderate temperature and moisture conditions, and should be expected to grow better in basements than upper floors of buildings. Its documented substrate preferences should imply it to be found mainly in brick buildings with wooden floors and roofs. The aim of the study was to make use of the data available in the Mycoteam database regarding *S. lacrymans* damages and to look into the nature of the damages regarding constructions and causes of damage. The present work has two main data sources, (1) the Mycoteam database with data from 678 samples (received for analysis or collected by Mycoteam consultants) and (2) data collected by Mycoteam's consultants in cases where they have been engaged to monitor the survey and repair of dry rot damages. This part comprises 73 damage cases, and the samples collected during the surveying are part of the 678 samples from the database.

Regarding the samples from the database (1) location, construction and sample material was studied. As expected most of the samples were collected in basements. Almost as many were collected in the main bulk of the houses ("middle"), but very few came from "wet" rooms. Samples from attics comprised 10% of the total. Regarding construction, samples collected in floor con-

structions (joist structures) were the largest group. Regarding the damage cases (2) location, building type, age of the fungal growth, changes made to the building and severity of the damage was surveyed. Most damages originated in basements, and moisture seeping into the structure was the most important cause of damage. The majority of the damages had small or moderate impact. Cause of damage was different in the different parts of the houses; in basements the major cause of damage was moisture seep, while leakages were most important in attics and the middle of the houses. As expected most damages occurred in brick buildings with wooden floor and roof constructions, while nearly one third occurred in log houses. The fungal growth was most frequently old and inactive, but nearly one fourth were old with new resurgence. The age of the damage was significantly influenced by recent changes to the structure. In buildings where the construction had been changed the majority of the damages were old with new resurgence. The study shows that *S. lacrymans* often causes severe damages, but many are small and most are moderately large. The damages can develop slowly over time, and only be discovered during repair or refurbishment. Constructional changes can cause new or resurging *S. lacrymans* damages, and this must be considered by planners, carpenters and house owners.

INTRODUCTION

Dry rot (*Serpula lacrymans* (Wulfen) J. Schröt.) is commonly found in Norwegian buildings. In an earlier survey comprising 3434 samples of decayed wood analysed by Mycoteam, dry rot occurred in 16% of the samples (Alfredsen et al. 2006). Because dry rot can cause extensive damage and poses some challenges regarding remediation, this fungus is often given much attention compared to other decay fungi. In addition, a lot

of information regarding this fungus is available in the media and on the Internet, often of an oversimplified and misleading nature. This can cause house owners considerable uncertainty and concern.

In an earlier questionnaire investigation, dry rot was stated a common problem all over Europe, especially in older buildings. A slight preference for basements or the lowest floor was found. The methods of repair varied, but failure (i.e. resurgence after repair) was reported to be low (Koch 1990). In a Finnish study specifically investigating the success of repair, repair was successful in all cases where the damage was known to be caused by dry rot and the repairs were done with care (Paajanen 1989).

Serpula lacrymans prefers temperature conditions of 20°C, and its growth is inhibited at temperatures below 3 °C and above 26°C (Jennings and Bravery 1991, Watkinson and Eastwood 2012). The minimum moisture content for growth in wood is around 20%, while optimum growth occurs at about 30-40%. Thirty percent wood moisture content and poor ventilation at the wood surface is needed for spore germination (Singh 1994). This implies that the fungus should be expected to grow well where wooden materials are moist but not wet, and the temperatures are not too high. These conditions are more likely to be found in basements than upper floors of buildings. In attics, where the temperature will be very low in winter and very high in summer, fewer damages by *S. lacrymans* would be expected. The growth of *S. lacrymans* has been shown to be enhanced by building materials containing calcium and iron (Low 2000, Paajanen 1993, Palfreyman et al. 2000; Schilling 2009). This should imply that this fungus is found mainly in brick buildings with wooden floors and roofs. Indeed, it has been theorised that *S. lacrymans* did not occur in buildings until the 16th century, when mortared brick buildings came into extensive use

(Bech-Andersen and Elborne 1999). On the other hand, a description clearly reminiscent of dry rot occurs in the Bible (Gen. 3, 33-48).

There are different attitudes towards dry rot damages in different countries. In Sweden, damage by *S. lacrymans* is habitually considered as extremely serious, and house owners are often advised to tear the house down rather than attempt to repair it (Mattsson 2012). In Norway, dry rot damages are treated as more serious than other fungal decay damages, and the use of fungicides in remediation is always recommended. It is therefore of interest to consider to what extent dry rot damages have large and serious consequences.

The aim of the work presented in this article was to make use of the data available in the Mycoteam database connected to samples of *S. lacrymans* to give a better basis for evaluation of such damages in the future. In order to achieve this we also aimed to employ the knowledge of the Mycoteam inspectors to investigate the nature of the damages as well as the constructions they occurred in.

MATERIALS AND METHODS

All samples that were identified in the Mycoteam laboratory as *S. lacrymans* between June 18, 2010 and April 2, 2013 have been surveyed; 678 samples in all. The material consists both of samples sent to Mycoteam for identification and samples collected on damage sites by Mycoteam's consultants. Three parameters have been investigated regarding these data: location (room type; attic, basement, living room etc.), construction (wall/ floor/ceiling etc.) and sample material.

In a separate study 74 damage cases inspected by Mycoteam consultants have been examined. Here the data have been collected during 2012 and 2013 by ten different consultants employed in Mycoteam from buildings mainly located in the southern part of Norway. One damage case was

excluded from the study as the exceptional size of the damage influenced the results considerably. The samples from these 73 cases were part of the 678 samples mentioned above. For each damage case the following data have been collected from the database and from the consultant involved:

Location: basement, attic or middle (everything in between). A single damage case may concern both basement and middle or attic and middle; such cases have been placed in the storey where the damage is considered to have originated (generally basement or attic).

Cause of damage: seep (moisture seeping through walls or floors), leakage (broken pipes, leaking roofs etc.), moisture (high relative humidity, mostly moisture rising from wet ground), seep combined with leakage, or seep combined with moisture.

Building type: brick house, brick house with wooden floors and roofs, log house, or wood framed house.

Age of the fungal growth: old and inactive, old and active, old with new resurgence, and new. Damages assessed to be 5-10 years old or more are termed "old". "New" damages are assessed to have developed for less than five years. Age assessments are done by the Mycoteam consultants in cooperation with the laboratory personnel, based on experience and a set of macroscopical features of the entire damage, the fungal mycelium and the decayed wood.

Changes made to the building: none, lack of necessary maintenance (e.g. leaks not attended to), attempted repair, constructional change, and change of use.

Severity of damage: The severity of each damage case was classified according to Table 1.

Table 1. Severity of the damage cases studied was classified according to the impact on load carrying elements of the construction concerned.

Severity level	Amount of damage
0	Minor impact. No load carrying elements* attacked.
1	Small impact. 1-3 load carrying elements attacked.
2	Moderate impact. 4-10 load carrying elements attacked.
3	Extensive impact. More than 10 load carrying elements attacked.

*Beams, posts etc. In log house walls, 3 logs have been considered as one load carrying element in order to avoid bias versus post and beam constructions.

The data have been investigated using the JMP (SAS Institute inc. 2010) statistical software. Where both factor and result variables were categorical, contingency analyses were performed, and the Pearson test was used to look for significantly influential parameters. Where the response variable was continuous, analysis of variance was performed, and the F test was used to look for significantly influential parameters. In both tests, a parameter was regarded as significantly influential on the result variable if $p < 0.01$.

RESULTS

Analysis of database information

In the material of 678 identified *S. lacrymans* samples 27 different substrates were analysed. The main bulk was wood material (49%) or wood combined with fungal material (10%). Twenty eight percent of the samples were fungal material, either fruiting bodies (5%) or other fungal material (23%). The rest of the samples were from a large diversity of sources, among others mortar (3 samples) and air (6 samples, found in air sampling for mould fungi).

The location was unknown for 27% of the samples. Most of the samples were

collected in basements (38%). Samples from attics comprised 10% of the total. Only 4% of the samples were collected from “wet” rooms (bathrooms and kitchens). If all locations in between attics and basements (kitchens, bedrooms, living rooms etc.) were combined they comprised 25% of the samples, making the main bulk of the house (“middle”) the second most common location for dry rot damages.

The construction was unknown for 29% of the samples. The rest of the samples have been collected from 28 different construction types. The samples collected from floor constructions (joist structures) were the largest group, comprising 17% of the samples. Thirteen percent were collected from flooring and 11% from outer walls. Only 5% of the samples were collected from roof constructions.

If samples where construction was unknown were excluded, 65 of the attic samples, 153 of the “middle” samples and 194 of the basement samples remained. Of the attic samples with known construction the largest group (42%) were collected from roof con-

structions. 28% were collected from floor constructions. Of samples from the middle with known construction the largest groups were outer walls (34%) and flooring (36%), while 23% were collected from floor constructions. Of the basement samples with known construction 32% were collected from floor constructions and 15% in flooring. The diversity in construction was considerably larger in the basement samples than in the "middle" and attic samples (Fig. 1).

Damage cases inspected by consultants

The consultants found that 64% of the 73 damage cases had originated in basements, 25% in attics and 11% in between.

The severity of the damage cases is shown in Fig. 2. Twelve percent of the cases had minor impact. The majority of the cases had small (30%) or moderate (40%) impact. Only 18% of the cases had extensive impact. The level of damage was compared to the part of the building concerned (attic, basement or “middle”, i.e. everything in between) in a contingency analysis. No significant influence

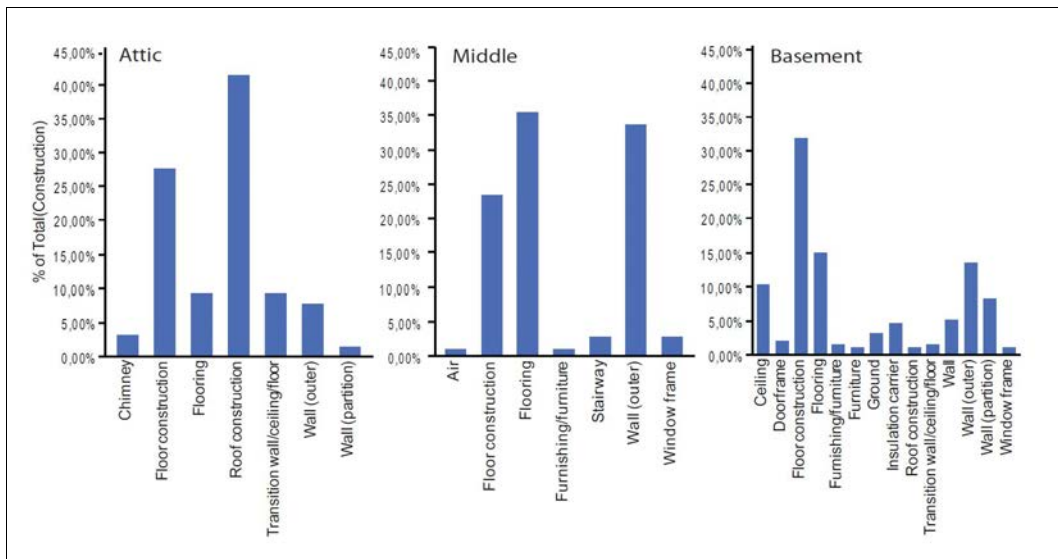


Figure 1. Construction in samples collected in Attics, Middle and Basements. Around one third of the samples are collected in floor constructions in all three locations. In attics, the largest amount of samples (42%) are collected from roof constructions.

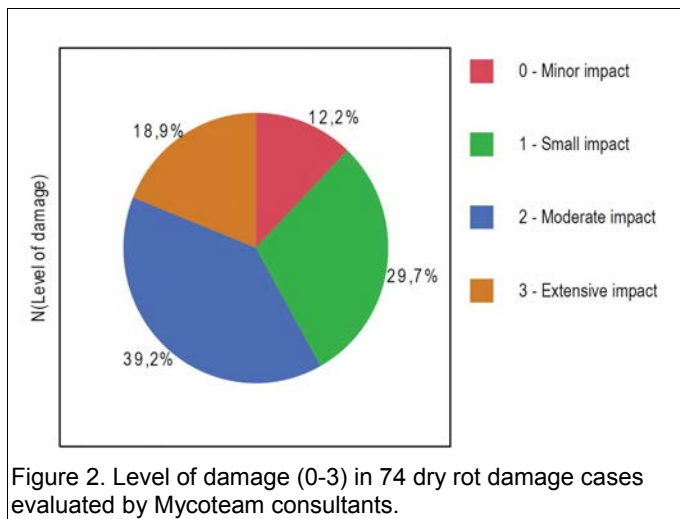


Figure 2. Level of damage (0-3) in 74 dry rot damage cases evaluated by Mycoteam consultants.

Most of the damage cases (52%) occurred in brick buildings with wooden floor and roof constructions. Thirty percent of the cases occurred in log houses, 15% in other wooden houses and only 3% in houses that were reported to be purely brick constructions. There was a significant correlation between building type and part of house ($Prob > ChiSq = 0.0008$). In brick houses with wooden floor and roof constructions, attic and basement damages comprised almost equal proportions (47% and

on severity of damage from part of building was found in a Pearson test ($P > ChiSq = 0.1229$).

Most of the damage cases (60%) were caused by moisture seeping into the building structure. 30% of the cases were caused by leakages and 3% by moisture (high relative humidity). Seven percent of the cases were caused by seep combined with leakage or moisture. The cause of damage was compared to the part of the house concerned in a contingency analysis. Significant correlations were found between the cause of attack and the part of house ($Prob > ChiSq < 0.0001$). In attics 72% of the damages were caused by leakages, 6% by seep of moisture, and 22% by seep combined with leakage. In basements 85% of the damages were caused by seep, 9% by leakages, 4% by moisture and 2% by seep combined with leakage. In the middle of the houses 38% of the damages were caused by seep and 63% by leakages.

45%, respectively) and 8% of the damages were found in the middle of the houses. In log houses more damages were located in basements (82%) than in the middle of the houses (18%), and no damages were found in attics. In wooden houses, the majority of the damages (91%) were located in basements,

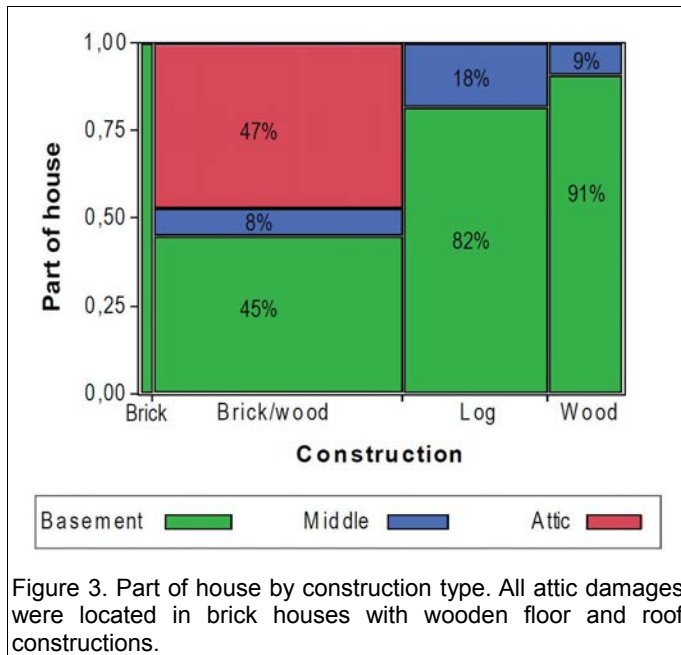


Figure 3. Part of house by construction type. All attic damages were located in brick houses with wooden floor and roof constructions.

and 9% were located in the middle (Fig. 3).

In the majority of the cases (48%), the fungal growth was found to be old and more or less inactive. 11% of the cases had old and active growth. Twenty-two percent of the cases were found to be old growth with new resurgence, while 18% were found to be new.

In more than half of the cases (56%), no known changes had been made to the building prior to the damage being discovered. In 16% of the cases, repair had been attempted earlier. Fourteen percent of the buildings had undergone constructional changes. Eight percent had suffered from lack of maintenance in later years, while 3% had been subjected to change of use. In a contingency analysis, the age of the damage was found to be significantly influenced by changes made to the structure ($\text{Prob} > \text{ChiSq} = 0.0011$). Where no changes had taken place, 61% of the damage cases were old and inactive and 12% were old with new resurgence. In buildings where the construction had been changed, 70% of the damages were old with new resurgence and only 20% were old and inactive. In buildings where attempts on repair had been made, 67% were old and inactive, and 25% were old with new resurgence.

DISCUSSION

“Mycobase” survey

The large proportion of basement damages was not unexpected. Hegarty (1991) states that *S. lacrymans* is most commonly found in basements and cellars because that is where its temperature and moisture preferences are most frequently met. The middle part of the house was found to be the second most common location. This could partly be because in a multi-storey house the basement and attic constitute smaller areas than the storeys in between. A dry rot damage incident in basements or attics can in most cases be expected to concern the storey immediately above or under it. In addition, leaking drainage pipes

wetting the facade or plumbing leaks can be expected to cause damages in the middle parts of the house. It is worth notice that only 4% of the samples were found in bathrooms or kitchens. This is probably because *S. lacrymans* prefers cooler growth conditions than the ones found in such rooms. In addition, water damages connected to such “wet” rooms often offer very wet conditions, more suited to the preferences of other decay fungi. The relatively low proportion of samples found in attics confirms the expectation that attics constitute challenging ecological conditions for *S. lacrymans*.

The fact that such a large proportion of the Mycobase samples were collected from floor constructions indicates that these are good substrates for *S. lacrymans*. Floor constructions are often large wooden joists anchored in the brick wall. Massive brick walls acts like a buffer to temperature variations, and if water enters the wall it is absorbed into the brick and mortar (Watkinson and Eastwood 2012). Thus, there is a high risk for the moisture to be kept stable at a suitable level for the fungus over an extended period. Brick walls are generally rich in calcium and iron (impurities, fastenings etc.). Iron is shown to be important for efficient growth (Paajanen 1993, Schilling 2009), while the effect of calcium in the mortar is not as clear (Low 2000, Schilling 2009, Watkinson and Eastwood 2012). The preference of the fungus towards stable moist conditions is also illustrated by the fact that the majority of the damages were caused by seep rather than leakages. It should be noted that the joists in the floor construction are of high importance to the stability of the building, and there might be some bias towards sampling from this part of the construction.

Damage cases inspected by consultants

The proportion of basements and attics compared to other locations was considerably

larger in the 73 inspected damage cases than in the 678 surveyed “Mycobase” samples. This is probably partly due to the fact that the consultants left none of the damage locations unrevealed while the database samples had been more randomly collected. Also, where a damage case reaches over more than one floor sampling will tend to take place in all floors concerned whereas the damage cases have been placed in the storey where they originated.

The fact that 43% of the cases had minor or small impact indicates that dry rot attacks do not necessarily cause devastating damage. This study concerned *S. lacrymans* only, but the database used contains a large number of samples from other types of decay fungi. In a study on data from the period of January 2001 to March 2003 only 16% of the samples in the Mycoteam database were *S. lacrymans* (Alfredsen et al. 2006). An interesting point for further study would be whether other common decay fungi in Norwegian houses cause damages of different severity from *S. lacrymans*. There were no distinct differences in level of damage in different locations in the houses. This illustrates that the severity of the damage is influenced mainly by the growth conditions at the growth place of the fungus, i.e. wood moisture content and temperature, and the length of time these conditions are present (Jennings and Bravery 1991, Singh 1994). Favourable conditions can potentially occur in all parts and types of buildings, dependant on the external and internal climate factors one single point in the building is exposed to (Gobakken et al. 2008).

Interestingly, quite a number of the damages were found in “pure” wooden houses; log houses or other wooden houses. This seems to contradict the statement by Koch (1991) that dry rot has not been detected in houses built entirely of wood. It is important to keep in mind that these houses are built on foundation walls and have chimneys, which

often consist of mortared stones or plastered concrete. In addition, stone wool insulation can act as an iron supplicant for the fungus (Paajanen 1993). During inspections after a large flood in southern Norway in 1995, damages caused by *S. lacrymans* were found in 25% of the examined old wooden houses. These damages were mostly small and insignificant (Mattsson 2010).

The significant differences between brick, log and wooden buildings regarding the part of the house where the damage occurred are interesting. In brick and wood houses the damages are spread out on the entire building. This illustrates the fact that brick and wood buildings offer favourable conditions in the entire structure and only water is needed (Singh 1994, Jennings and Bravery 1991). The larger proportions in basements and attics illustrate that the main entry points for moisture are leaky roofs and moisture seep through foundation walls. In log houses experience shows that the main points of *S. lacrymans* damage are the bottom log in the outer wall and the floor joists between the basement and the first floor. This corresponds well with most of the damages in log houses being found in the basement. The logs in log house walls are probably sufficiently massive to offer stable conditions some way above basement level. The even larger proportion of basement damages in wooden houses may be due to the smaller diameter of the wood in the walls causing more fluctuation in wood moisture and temperature. The fact that none of the cases in log or wooden houses were found in attics is probably due to the fact that in wooden house attics, the roof constructions are never embedded in massive brick constructions. Thus, there are no massive brick constructions to help the fungus survive the adverse conditions offered by a hot attic in summer.

The fact that no known changes had been made to the majority of the buildings indicates

that damages can develop over time, hidden and unknown by the inhabitants until the mycelium attacks visible parts of the construction. It is not uncommon that decay damages are discovered only when the building is refurbished or rehabilitated (Mattsson 2010). In a majority of the unchanged buildings, the damage was old and more or less inactive; many of these damages were probably discovered during repair work on the building. The same is probably the case in buildings where repair had been attempted earlier, as the majority of these also were old – but the fact that new resurgence was found in nearly one fifth of these illustrates the importance of thorough work when repairing dry rot damages. Some experts consider it to be of great importance to ascertain whether the fungal mycelium is dead, the logic being that a dead mycelium does not need killing (Sundberg and Munch 1994). However, there is a high risk that some part of the mycelium is alive and able to cause resurgence (Bech-Andersen 1996).

The relatively small numbers of houses that had suffered from lack of maintenance or change of use is rather surprising, based on earlier experience. The authors have experienced several cases where the change from residential house to recreational house has caused rapid development of dry rot damages. The influence from changes to the building is an interesting case for a future study of a larger set of data, including a longer time span and other common decay fungi.

Even though only a small number of the buildings had undergone constructional changes, the fact that the majority of damages in these were old damages with new resurgence is an important finding. It shows that constructional changes in old buildings should be done with care, and only after a thorough examination of the existing construction (Singh 2000). Based on the experience of Mycoteam's consultants,

re-insulation (especially if stone wool is used) and additions (e.g. concrete foundations cast directly onto existing foundations and the wooden beams based on them) are the most common changes causing resurgence of old *S. lacrymans* damages.

CONCLUSION

The present survey shows that *S. lacrymans* frequently causes severe damages. The fungus often attacks floor constructions, which are of large importance to the stability of a building. However, the variation in damage severity is large and quite a few cases are small and insignificant. It is also shown that dry rot damages are more often caused by slow seep of moisture over time than by leakage incidents. Thus, the damages can develop slowly over time, and only be discovered when the buildings is subjected to repair or refurbishment. Constructional changes can cause resurgence of old, inactive dry rot damages, and this must be considered by planners, carpenters and house owners.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank the laboratory workers of Mycoteam, who analyse more than 200 *S. lacrymans* samples every year. We also wish to thank all the consultants who are perpetually at work trying to give house owners back their good night's sleep despite dry rot peeping out behind the panelling, and yet have taken the time to answer all our questions regarding recent damage cases.

REFERENCES

- Alfredsen G, Solheim H, Mohn Jenssen K, 2006. Råtesopp i norske bygninger. *Agarica* 2006, vol. 26: 78-86.
- Bech-Andersen J, 1996. *Ægte Hussvamp og svamp i huse* (7th ed.). Holte: Hussvamp Laboratoriets Forlag.

- Bech-Andersen J, Elborne SA, 1999. The dry rot fungus (*Serpula lacrymans*) in nature and its history of introduction into buildings. Proceedings from IRG Annual Meeting, Rosenheim, Germany, International Research Group on Wood Preservation, IRG-WP 99-10300.
- Gobakken LR, Mattsson J, Alfredsen G, 2008. In-service performance of wood depends upon the critical in-situ conditions. Case studies. Proceedings from IRG Annual Meeting, Istanbul, Turkey, International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 08-20382.
- Hegarty B, 1991. Factors Affecting the Fruiting of the Dry Rot Fungus *Serpula lacrymans*. In: Jennings DH, Bravery AF (eds.), *Serpula lacrymans: Fundamental Biology and Control strategies*. John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- Jennings DH, Bravery AF, 1991. *Serpula lacrymans: Fundamental Biology and Control Strategies*. John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- Koch AP, 1990. Occurrence, prevention and repair of Dry Rot. Proceedings from IRG Annual Meeting, Rotorua, New Zealand, International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 90-1439.
- Koch AP, 1991. The current status of Dry rot in Denmark. In: Jennings DH, Bravery AF (eds.), *Serpula lacrymans: Fundamental Biology and Control strategies*. John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- Low GA, 2000. An investigation of selected effects of environment on the dry rot fungus, *Serpula lacrymans*. PhD thesis, University of Abertay Dundee.
- Mattsson J, 2010. Råtesopp i bygninger. Myco-team AS, Oslo.
- Mattsson J, 2012. Varför är hussvamp farligare i Sverige än i Norge? *Byggnadskultur* 2/2012, 34-38.
- Paajanen L, 1989. Repairs of dry rot damages. A follow-up survey. Proceedings from IRG Annual Meeting, Lappeenranta, Finland, International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 89-1400.
- Paajanen L, 1993. Iron promotes decay capacity of *Serpula lacrymans*. Proceedings from IRG Annual Meeting, Orlando, USA, International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 93-10008.
- Palfreyman JW, Martin P, Young ME, Low GA, 2000. Assessing the relationship between the dry rot fungus *Serpula lacrymans* and selected forms of masonry. *International Biodeterioration & Biodegradation* 46: 141-150.
- Schilling JS, 2009. Effects of calcium-based materials and iron impurities on wood degradation by the brown rot fungus *Serpula lacrymans*. *Holzforschung* 64(1): 93-99.
- Singh J, 1994. *Building Mycology: Management of decay and health in buildings*. Chapman & Hall, London.
- Singh J, 2000. Fungal problems in historic buildings. *Journal of Architectural Conservation*, 6(1): 17-37.
- Sundberg H, Munch O, 1994. Detection of fungal growth. Denmark: European Patent Office. EP0478682B1.
- Watkinson SC, Eastwood DC, 2012. *Serpula lacrymans*, Wood and Buildings. *Advances in applied microbiology* 78: 121-49.

The importance of critical *in-situ* conditions for in-service performance of wood

Lone Ross Gobakken¹, Johan Mattsson² and Gry Alfredsen¹

¹Norwegian Forest and Landscape Institute, P.O.Box 115, NO-1431 Ås, Norway

²Mycoteam as, P.O.Box 5 Blindern, NO-0313 Oslo, Norway

Corresponding author:
gol@skogoglandskap.no

Norsk tittel: Kritiske *in-situ* forhold og betydningen for holdbarhet av tre i bygninger

Gobakken LR, Mattsson J, Alfredsen G, 2014. The importance of critical in-situ conditions for in-service performance of wood. *Agarica* 2014, vol. 34, 29-36.

KEYWORDS

Climatic factors, critical in-situ conditions (CIC), fungi, moisture, service life prediction, temperature, wood

NØKKELOORD

Klimatiske faktorer, kritiske in-situ forhold (CIC), sopp, fuktighet, levetidsprediksjon, temperatur, tre

SAMMENDRAG

En detaljert fortællelse av hvilke faktorer og interaksjoner som er involvert i nedbrytningsprosessen av tre er avgjørende for å beregne levetidsdata for tre i bygninger. Det kan observeres eksponentiell soppkolonisering på tre forårsaket av små variasjoner i mikroklimaet og ved uheldige detaljering og design av en trekomponent. I denne artikkelen presenterer vi begrepet: kritiske in-situ forhold (CIC), og vil med det rette oppmerksomheten mot viktigheten av å se på detaljer i konstruksjonen, og de spesifikke klimatiske faktorer og interaksjoner involvert. Innhenting av realistiske og anvendbare data for prediksjon av levetiden er kun mulig ved å kontrollere og forstå hvilke faktorer som er spesifikke for

den enkelte trekomponent. Måling av temperatur, trefuktighet og relativ luftfuktighet må utføres på riktig måte og i den aktuelle delen av trekomponenten, slik at innhentede data er av høy kvalitet og kan benyttes inn i videre analyser. Målet med denne artikkelen er å eksemplifisere CIC i bruksfasen av et trebygg eller annen applikasjon i tre. Tre kasestudier ble gjennomført; 1) fangsthytte på Svalbard 2) bygning på Bryggen i Bergen, og 3) yttervegg på bolighus i Ås, og resultatene er presentert i denne artikkelen.

ABSTRACT

Wood is a unique building material, but as a natural product is intended to deteriorate. A detailed understanding of the factors and interactions involved are important when working with service life prediction of wooden components in buildings. Wood may experience rapid fungal degradation caused by variation in the climatic factors within a limited area and by minor imperfections in the wooden component. In this paper we put forward the term: “critical in-situ conditions” (CIC) to bring the attention to the importance of looking into details in the construction design, the specific climatic factors and interactions involved. Gaining realistic and useful data for prediction of service life is only possible by controlling and understanding the factors that are specific for a wooden component or even only a part of it. Performing measurements in a correct way and in the proper part of the wooden component are vital for getting useful data for further processing. The objective in this paper is to exemplify the CIC in in-service

situations and to describe the factors and interactions that determine the service life. Case studies were performed on a hunting cabin on Svalbard, on a building at Bryggen in Bergen, and on an external wall of a residence house in Ås, The results are presented in this article.

INTRODUCTION

Wooden components in buildings are under constant risk of biological deterioration. As long as wood has been used in any kind of construction, prolonging its service life has been of concern. Durability and service life is a product characteristic that needs to be documented in the Construction Products Regulation (Council of the European Union 2011) before a building product is sold and used. Service life for a building or a construction component is defined as the “period of time after installation during which a building or its parts meets the performance requirements” (ISO15686-1 2000). Wooden buildings that are properly designed to shed exterior water and to avoid trapping moisture from interior sources, can give a service life of more than 100 years (Williams et al. 2000), but a much shorter service life is often the case. Life expectancy of wood and wood based products is related to a number of factors (Gobakken 2009, Brischke et al. 2006, Carll and Highley 1999, Singh 1999, Viitanen 1994, 1996), including wood properties, quality of manufacturing, handling, storage, installation, maintenance, building design, preservative treatments, wood moisture content, wood temperature, macroclimate, mesoclimate and microclimate.

It has been shown that several climatic index models on a broad geographical scale (Scheffer 1971) have a poor correlation between climatic variables and hazard for decay (Grinda and Carey 2004, Norèn 2001). Brischke et al. (2006) stated that macroclimate, mesoclimate and microclimate have almost no direct influence on service life. Further, Brischke et al. (2006) proposed that the “material climate”, determined by the wood temperature, the wood moisture content and their interaction, should be considered as the primary input when predicting service life for wooden components. These factors can vary extensively within even a small area of the wooden component due to the design, the craftsmanship and the interaction between components. If only a small part of the wooden component (i.e. corner of an outdoor cladding board) is attacked by decay fungi, most often the service life of the whole component (i.e. the whole cladding board) has come to an end.

To get high quality and reliably data for service life prediction we need proper understanding of the factors affecting the specific wooden components in a construction. Wood

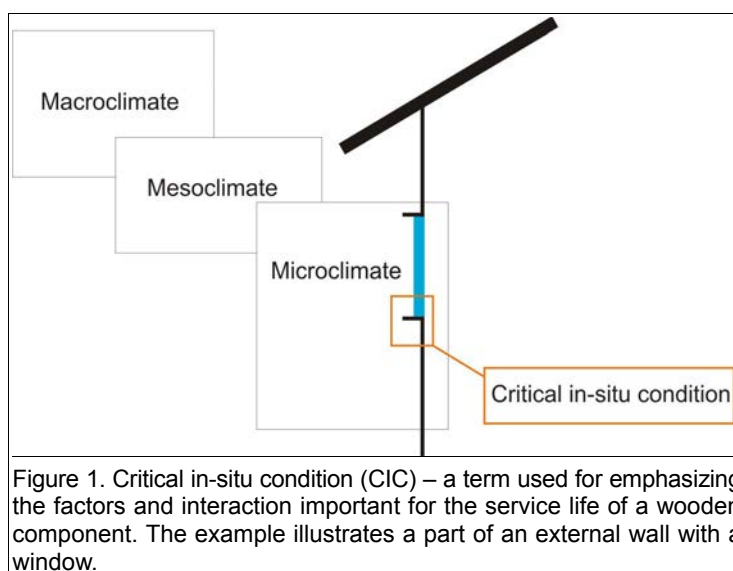


Figure 1. Critical in-situ condition (CIC) – a term used for emphasizing the factors and interaction important for the service life of a wooden component. The example illustrates a part of an external wall with a window.

Table 1. Surface temperature of the facades of Laxebu, May 26th 2003.

Wall	Location	Temperature (°C)
North	Ambient air, in shadow	1.4
	Between snow and wall	5.6
	Upper NE corner	6.8
	Upper NW corner	7.4
	Upper part of the facade, mid-section	10.1
East	Between snow and wall	3.2
	Center of the wall	6.8
	Upper part of the facade, mid-section	8.2
	Upper SE corner	9.7
	Ambient air, upper SE corner	5.8
South	Upper SE corner	29.3
	Upper part of the facade, mid-section	29.7
West	Between snow and wall	5.2
	Lower NW corner, above the snow	1.5
	NW corner, mid-section of the facade	23.4
	Upper NW corner	30.2
	Upper SW corner	43.3

moisture content, wood temperature and material resistance are believed to be the most important factors for fungal decay (Brischke et al. 2006). In a supervised environment with a simple wooden construction or only wooden specimen one can manage to predict a certain service life by controlling wood moisture content, wood temperature and material resistance (AWPAE-10-91 1991, Viitanen 1996). This operation is obviously far more complicated in in-service applications and points out that there are several other implications or interactions, i.e. wood in combination with other materials, that can be the triggering factor for biodeterioration in real life situations. Every wooden component in an in-service situation has a different service

life induced by a variety of biodeterioration influencing factors. When facilitating data for service life prediction, data from in-service studies, field tests and laboratory tests are all necessary to increase the quality and quantity of the input data.

The objective in this paper is to exemplify the new term *Critical In-situ Condition* (CIC) in in-service situations and describing the factors and interactions that control the service life. Three case studies were performed with the purpose of recognizing various CICs and the main contributing factors in in-service situations where wooden components are used.

CONCEPT IDEA AND CASE STUDIES

The phrase *Critical In-situ Condition* (CIC) is introduced as an explanatory term to emphasize the factors and interactions that control the service life of a wooden component. The CIC can be described by the material climate but will also include other parameters that serve as triggering factors for a specific component. In Fig. 1 the term is illustrated, together with the established terms used for describing the climatic levels.

All climatic levels will have an impact on the biodeterioration process of wood, but the factors within the lowest level (here: factors relevant for the CIC) may often overrule those above. Climatic data on a macro, meso and even micro level can in some incidents indicate an erroneous expectation of biological activity.

Hunting cabin on Svalbard

There are several hunting cabins from early 1900th century at Svalbard. They are all categorized as cultural heritage buildings and it is therefore of special interest to protect

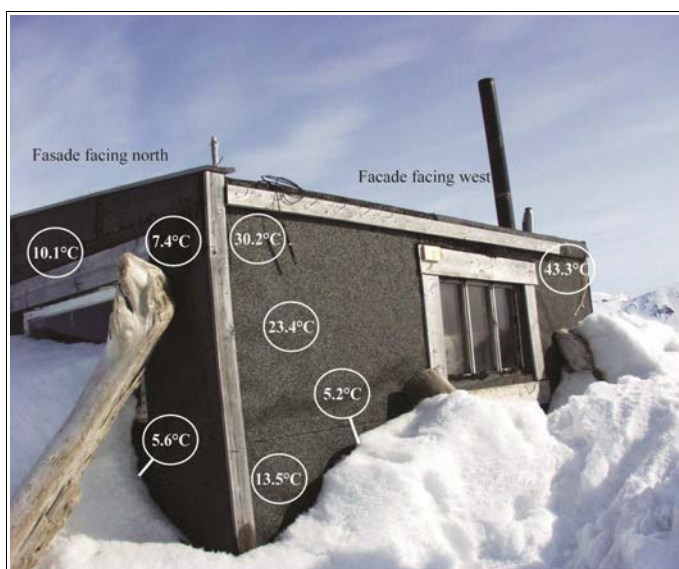


Figure 2. The temperature on the surface of the outer facade (towards north and west) had large variation. Photo: Johan Mattsson.

these cabins from deterioration. Svalbard has an arctic climate and Ny-Ålesund, which is located at 78°55'N, has a yearly precipitation of 370 mm and a mean temperature of -6.4°C . One cabin outside Ny-Ålesund, Laxebu, was chosen for further inspection. The cabin is constructed in wood with asphalt shingles as outside cover on the roof and the walls. Windows, doors and outside trim is made of wood (climatemps.com 2013).

Relative humidity and temperature (Rotronic Hygrolog) were monitored indoors and on external walls for a longer period. Temperature data on the outside facades from May 26th 2003 are listed in Table 1 and visualized in Fig. 2. The air temperature that day was about $+2^{\circ}\text{C}$.

The temperature varied from 5.2°C to 43.3°C on the surface of the facades depending on cardinal direction and distance from the snow. Despite the arctic climate, measurements of temperature on the facades showed conditions to be favorable for fungal activity. Decay of soft rot and brown rot was detected in window framing and trim in external walls.

Svalbard has a cold and dry climate, and is not a typical environment for biodeterioration. The recording of surface temperature and the presence of water from melting snow show that even though the local climate data apparently indicate no decay risks what so

ever, detailed measurements and observations reveal favorable conditions.

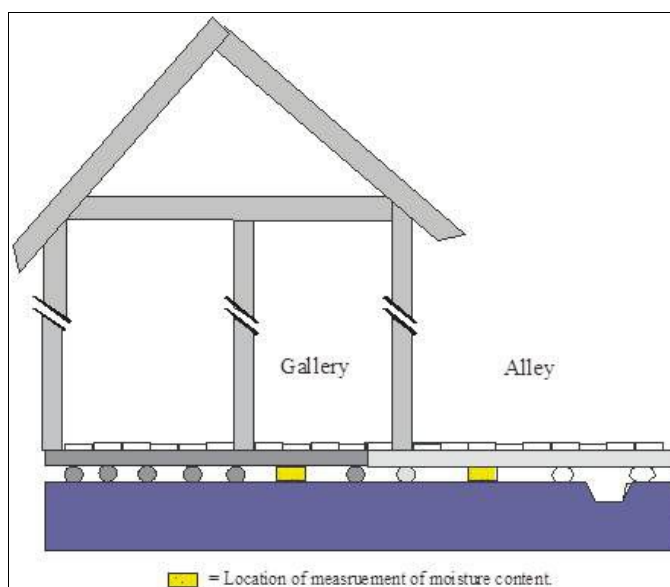


Figure 3. Wood moisture content was measured in sound wood samples installed under wooden pavement boards in the gallery and in the alley (marked with yellow).

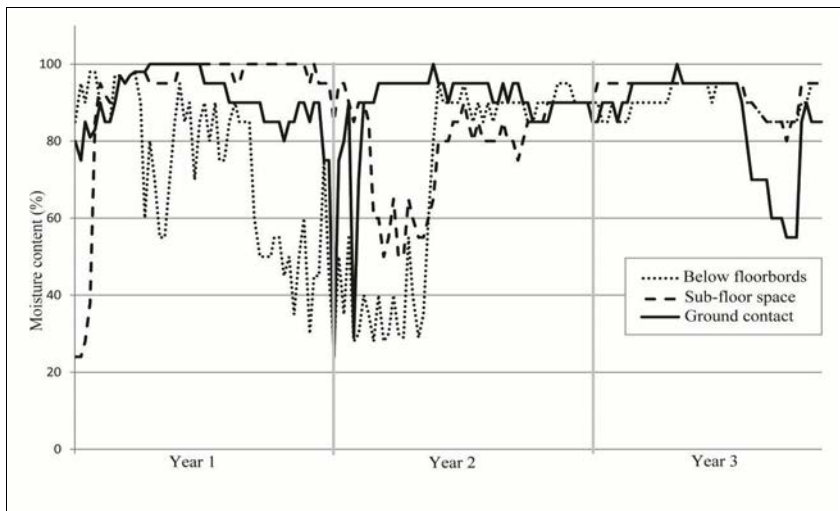


Figure 4. Wood moisture content in the three different positions at the alley test site over a period of three years.

The measurements from Svalbard show that biodeterioration can happen in such a harsh climate due to favorable temperature and wood moisture content *in-situ*.

Bryggen (Wharf) in Bergen

The world heritage site Bryggen is the remains from an old dock quarter along the central harbor of Bergen, Norway. The buildings were rebuilt after a fire in 1702 and they are made of wood. Bergen has an oceanic climate with high humidity caused by extensive rainfall and moderate temperature variation. The total precipitation per year is 1958 mm and the mean temperature is 7.8°C. Bergen is located at 60°23'N (climatemps.com 2013).

The buildings at Bryggen are placed directly on the soil. The foundation of the building that was chosen for the investigation consisted of four layers of pine logs. Only two of the layers were above the soil after accumulation of soil and dust throughout 300 years of exposure and use. Measurements of wood moisture content were carried out outdoors under wooden pavement boards where it was exposed to rainfall (alley) and

under floorboards in the gallery where it was protected against rain (Fig. 3). The measurements were performed by mounting sensors in the wood at 12 positions and the values measured with Protimeter Mini III at fixed time intervals. One of the disadvantages of using a resistance measuring

instrument is the inaccuracy in measurement above fiber saturation point and measurements above this must be taken as indicative values only. Wood moisture content was measured in sound samples of spruce sapwood, dimension 50 x 26 x 13 mm, installed on the ground, in the subfloor space (approximately 10 cm above the ground) and hanging in the air just below the floorboards. In each position, wood moisture content was recorded every week for three years.

The moisture content was above 20% through the whole investigation period in the samples in all levels in the alley test site (Fig. 4). The wood moisture content was only insignificantly affected by fluctuation in air temperature and precipitation through the year. The parallel measurements in the gallery showed that the samples in soil contact were the only samples that had constant moisture content above 20% (Fig. 5). Samples from the other two positions had moisture content around 20%. The samples just below the floorboard had lower wood moisture content than the samples in the sub-floor space. Both positions are above ground, but there were

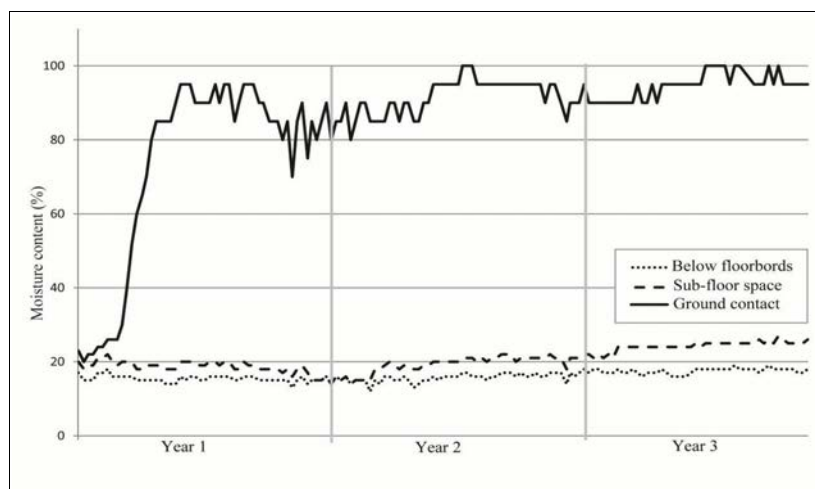


Figure 5. Wood moisture content in the three different positions at the gallery test site over a period of three years.

clearly more humid only 10 cm under the floorboard than just below it. No obvious differences were detected when compared to climatic changes during the year.

Bergen has, in a Norwegian context, a warm and humid climate and should be ideally for fungal growth. But it is the specific in-situ conditions and the variation of critical factors in and around the wooden details that lead to “success or failure” for the component. Soil contact and direct contact with other moist materials are potentially a high risk situation for wood and wooden components. A few centimetres above soil, like the sample in the sub-floor space and below the floorboards, will form another hazard class and the risk for fungal decay will be reduced considerably. The direct exposure to rain in the alley site gave high moisture content in all the samples, both those in soil contact and those above.

Student residence building, Ås, Norway

A student residence building located in Ås (59°39'48"N), south-east of Norway, had extensive growth of blue stain fungi on the coated spruce cladding. The house was built

in 1958 and has been painted several times, first with linseed oil paint and then several times with a solvent borne alkyd paint. There was noticeably less fungal growth on the cladding in the areas in front of the studs and timber work (Fig. 6) on the east wall. A thermograph camera (FLIR ThermoCAM™ P620) was used to

investigate the temperature distribution at the surface of the wall. The investigation was done on March 12, 2008 with an air temperature of 4.5°C. Fig. 7 shows the differences in temperature on the same section of the wall as shown in Fig. 6.

The difference in temperature between the areas in front of the studs and timber work and the areas between was about 1°C. The studs and timber work serves as thermal bridges and give the parts of the cladding in front of them a higher temperature than the rest. The predominant factors for fungal growth are temperature, wood moisture content, nutrients and duration of time (Mattsson 1995). If any of these factors are sub-optimal, biological activity will be restrained or not occur.

DISCUSSION

The macro and meso climatic data for the area around the hunting cabin on Svalbard gave an initial expectation that no fungal decay could appear. The investigations done at the hunting cabin showed that favorable growth conditions *in-situ* were measured and fungal decay was detected. A surface temp-



Figure 6. Mould growth on coated wooden cladding on a residence house in Ås. Photo: Precision Technic Nordic.

floorspace at the alley site showed a distinct variation in relative humidity within a short distance in a use situation defined as the same hazard class.

In the case study from Ås the time of wetness on the surface of the cladding where the thermal bridges was detected are to believe to have been shorter than for the rest of the facade. This indicate less susceptible conditions for fungal growth and resulted in a distinct mould growth pattern on the surface of

erature between 5.2 °C and 43.3 °C on the walls of the cabin combined with melt water from the snow resulted in conditions for brown rot decay. Within very short distances on the wall of the small hunting cabin wood temperature and wood moisture varied from favorable to unfavorable for fungal growth.

The results from Bryggen in Bergen showed the impact of direct precipitation or absence of direct precipitation on wooden components in-ground and above-ground. Small distances and variation within a hazard class plays a major role for the moisture content in the wood. The difference in moisture content in the samples from below the floorboards and in the sub-

the cladding.

In order to predict the service life for single materials and constructions, it is necessary to have detailed information regarding climatic conditions in the specific

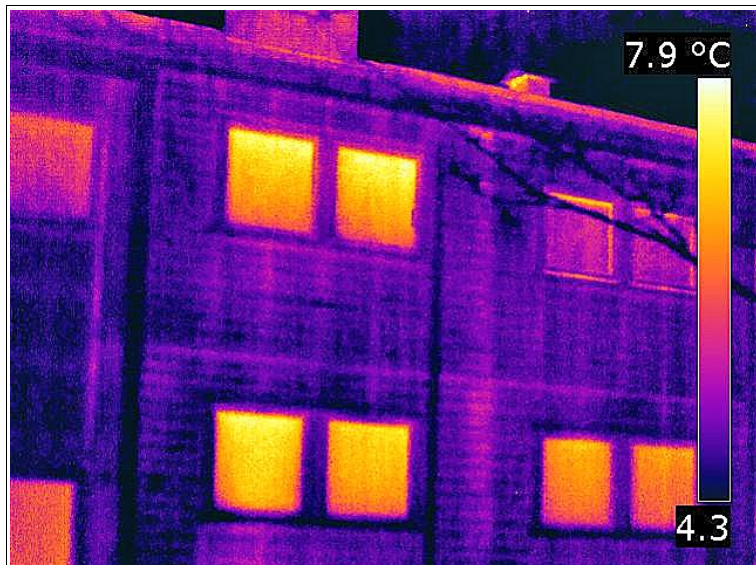


Figure 7. Thermograph image of the same section of the wall as in Fig. 6. Photo: Precision Technic Nordic.

ecological niche where the microorganisms are active. Measurements of wood moisture content, wood temperature and relative humidity in in-service studies and field tests are therefore essential, and have to be measured in critical details in the construction, i.e. the bottom end of a cladding or the corners of windows and doors. When considering the CIC one also has to be aware that different fungal species have evolved to live in different ecological niches and have different requirements for colonization and growth. Identifying the fungal species can give additional information and contribute to a more complete understanding of the factors and interactions involved.

A good understanding of the CIC for wooden components will facilitate an understanding for where and how measurement must be performed. To understand and control the CIC it is essential to collect experience and to focus further research to identify the processes controlling local *in-situ* deterioration.

REFERENCES

- AWPAE-10-91 1991. Standard method of testing wood preservatives by laboratory soil-block cultures. American Wood-Preservers' Association Standard.
- Brischke C, Bayerbach R, Rapp AO, 2006. Decay-influencing factors: A basis for service life prediction of wood and wood-based products. *Wood Material Science and Engineering* 1: 91-107.
- Carll CG, Highley T, 1999. Decay of Wood and Wood-Based Products Above Ground in Buildings. *Journal of Testing and Evaluation* 27(2): 150-158.
- Climatemps.com, 2013. <http://www.climatemps.com/>. Cited December 6. 2013.
- Council of the European Union, 2011. Construction Products Regulation (CPR) (EU), No 305/2011.
- Gobakken, LR, 2009. Surface mould growth on painted and unpainted wood; - influencing factors, modelling and aesthetic service life. Philosophiae doctor (PhD) thesis, Norwegian University of Life Sciences 2009/32 ISBN 978-82-575-0900-2.
- Grinda M, Carey J, 2004. The COST euro index for fungal decay - five years results. In: COST Action E22 Final Workshop. Estoril, Portugal.
- ISO 15686-1, 2000. Building and constructed assets - Service life planning - Part 1. General principles. International Organization for Standardization.
- Mattsson, J, 1995. Råte- og insektskader. Tilstandsanalyse og utbedringstiltak. FOK-programmets skriftserie nr. 23. Norges forskningsråd.
- Norèn J, 2001. Assessment and mapping of environmental degradation factors in outdoor applications. Dissertation, KTH, Stockholm.
- Scheffer TC, 1971. A climate index for estimating potential for decay in wood structures above ground. *Forest Products Journal*, 21(10): 25-30.
- Singh J, 1999. Review: Dry Rot and Other Wood-Destroying Fungi: Their Occurrence, Biology, Pathology and Control. *Indoor and Built Environment* 8(1): 3-20.
- Viitanen H, 1994. Factors affecting the development of biodeterioration in wooden construction. *Materials and Structures* 27(8): 483-493.
- Viitanen H, 1996. Factors affecting the development of mould and brown rot decay in wooden material and wooden structures. Effect of humidity, temperature and exposure time. PhD dissertation. Department of Forest Products. The Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala.
- Williams RS, Jourdain C, Daisey GI, Springate RW, 2000. Wood properties affecting finish service life. *Journal of Coatings Technology*, 72(902): 35-42.

Fungicidal properties of lignocellulose insulation and building materials

Miha Humar¹, Boštjan Lesar²

¹University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology, Jamnikarjeva 101, Si-1000 Ljubljana, Slovenia

²Zimic group, U., Bratov Komel 29, 1210 Ljubljana - Šentvid, Slovenia

Corresponding author: miha.humar@bf.uni-lj.si

Norsk tittel: Sopphemmende egenskaper til isolering og bygningsmaterialer fra lignocellulose

Humar M, Lesar B, 2014. Fungicidal properties of lignocellulose insulation and building materials. *Agarica* 2014, vol. 34: 37-45.

KEYWORDS

Wood decay fungi, building boards, wood, wood fibre, wood plastic composites, thermal insulation, durability

NØKKELOORD

Vednedbrytende sopp, bygningsmaterialer, trefiber, tre-plastikk kompositter, isolasjon, holdbarhet

SAMMENDRAG

Bruken av isolasjonsmaterialer basert på tre-basert lignocellulose øker fra år til år i byggeindustrien. Til tross for den økende bruken, er det mangel på data om yteevnen til disse materialene med hensyn på vednedbrytende sopp. I denne studien er holdbarheten til 12 hyppig brukte materialer testet i henhold til den europeiske standarden EN 113.

Materialene som er inkludert i studien er: fem ulike isolasjonsprodukter basert på trefiber, isolasjonsmateriale basert på hamp, løs celluloseisolering, OSB-plater, kryssfinerplater og tre-plastkompositter. Materialene ble testet med hensyn på tre brunråtesopper

(*Antrodia vaillantii*, *Gloeophyllum trabeum* and *Serpula lacrymans*) og tre hvitråtesopper (*Trametes versicolor*, *Hypoxylon fragiforme* and *Pleurotus ostreatus*). Gjennomsnittlig massetap til de testede isolasjonsmaterialene etter soppeksonering var generelt høyere enn massetapet for heltre gran (*Picea abies*) og/eller heltre bok (*Fagus sylvatica*). Dette indikerer at isolasjonsmaterialenes resistens mot råtesopp er lavere enn den iboende motstanden man finner i kontrollprøvene av gran og bok. Når man bruker disse isolasjonsmaterialene i bygninger, må man derfor være spesielt påpasselig med å unngå oppfukning av disse materialene i bruksfasen for å oppnå den levetiden de er tiltenkt. Ytelsen til den løse celluloseisolasjonen som var tilsatt borsalt oppfylte kriteriene til holdbarhet som er gitt i EN 113 standarden.

ABSTRACT

Consumption of wood based lignocellulose insulating materials in the building industry increases from year to year. In spite of increased consumption, there is a lack of data on the performance of these materials against wood decay fungi. In this study, the durability of 12 frequently used materials was tested according to the EN 113 procedure. The materials include: five different insulation materials based on wood fibre, hemp fibre insulation, cellulose loose-fill insulation, OSB board, plywood and wood plastic composites. They were exposed to three brown rot fungi (*Antrodia vaillantii*, *Gloeophyllum trabeum* and *Serpula lacrymans*) and three white rot

fungi (*Trametes versicolor*, *Hypoxyylon fragiforme* and *Pleurotus ostreatus*). The average mass loss of the tested insulation materials after exposure to the fungi was in general higher than the mass loss of Norway spruce (*Picea abies*) and/or beech wood (*Fagus sylvatica*), indicating that the resistance of these materials against fungi is lower than the resistance of control spruce or beech wood. Construction measures must therefore prevent wetting of these materials in use in order to achieve the desired service life. The resistance of cellulose loose-fill insulation with added boron salt, however, fulfils the requirements of the EN 113 standard.

INTRODUCTION

Buildings are a key to energy efficiency policy in the EU, since nearly 40% of final energy consumption (and 36% of greenhouse gas emissions) originates from private houses, offices, shops and other buildings. This energy is mainly consumed by heating, cooling, hot water, cooking and other applications. Moreover, the sector provides the second largest untapped and cost-effective potential for energy savings after the energy sector itself (European Commission 2013). Many existing measures have been reported to the Commission through National Energy Efficiency Action Plans (NEEAP). These reports show that building-related measures represent a very high share of reported energy savings (for example, 58% for Italy, 63% for Ireland, 71% for Slovenia and 77% for Austria) (NEEAP 2013). Green Public Procurement in several EU countries supports the use of environmentally friendly materials in building applications (European Commission 2012), and some lignocellulose insulation materials have recently been attracting more attention. The consumption of natural-based insulation materials can therefore be expected to increase in the near future in Europe.

About 30 million m³ of insulation materials were produced in Europe in 2005. Approximately 96% of all insulation materials are conventional ones, made of glass wool, mineral wool, expanded polystyrene etc. In 2005 only 4% of insulation materials are made of renewable resources! Among natural-based materials, the key ones are: light fibre boards produced according to wet process (28%), wooden wool (20%), cellulose fibres (32%) and other natural fibres like hemp fibres, flax fibres, sheep wool (20%) (Barbu and Pieper 2008). These materials are predominantly used for insulation of timber frame houses and only partly for insulation of brick or concrete buildings.

Natural based insulation materials on the European market are usually produced from wood, cellulose and wood fibres, hemp, flax etc. The aforementioned composites are predominately used for the production of prefabricated houses and insulation of building envelopes. However, lignocellulose insulation in building envelopes is seldom used alone; it is usually combined with various panel composites, such as OSB, plywood etc. These materials define the building envelope, so the properties of all the components must be studied in detail. However, the majority of these materials have been developed in industry; not much data is therefore available on their performance against degrading organisms. The producers usually focus only on data important for the building physics. For example, the producers usually report thermal conductivity coefficient λ , water vapour diffusion resistance coefficient μ , specific heat capacity c and fire resistance. The majority of producers do not list the resistance of the insulation materials to fungi or insects, despite the fact that fungi are the most important threat to wood and lignocellulose based materials in central and northern Europe. The present research was performed in order to elucidate the fungicidal properties of lignocellulose

insulation and building materials available on the Central European market.

MATERIALS AND METHODS

The fungicidal properties of 12 different building materials made of natural fibres were determined according to procedure EN 113 (CEN 2004): OSB, poplar plywood, three wood plastic composites (WPC), five ligno-cellulose based fibres, insulation made of hemp fibres and cellulose loose-fill insulation. The basic properties and applications of the tested materials are listed in Table 1. Norway spruce (*Picea abies*) and common beech (*Fagus sylvatica*) specimens were used for control. The dimensions of the specimens followed the requirements of standard EN 113 (CEN 2004), with the exception of the specimens of cellulose insulation, which were pressed into tablets (r = 1.5 cm, thickness = 1.5 cm, density 70 kg/m³). After oven drying (103 °C; 24 h), the mass of the specimens was determined. Steam sterilised specimens were exposed to three brown rot fungi (*Antrodia vaillantii*, *Serpula lacrymans* and *Gloeophyllum trabeum*) and three white rot fungi (*Trametes versicolor*, *Pleurotus ostreatus* and *Hypoxylon fragiforme*). Brown root fungi, in particular, are the most important degraders of wood in indoor conditions in Central Europe. Control beech wood specimens were not exposed to *Serpula lacrymans*. In every respective growth jar, two samples were exposed. One of them was made of insulation material, and the other was control specimen (beech or spruce). After 16 weeks of exposure, specimens were cleaned of mycelia and their mass loss was gravimetrically determined. The mass loss was expressed in grams and percentages. The experiment was performed with five replicate specimens.

RESULTS AND DISCUSSION

The mass loss and moisture content of the tested materials was investigated in this study.

Since the density of the tested materials varies significantly, from 50 kg/m³ to 750 kg/m³, mass losses are expressed in percentages and in grams. Due to space restrictions, only mass losses expressed in percentages are discussed.

Control Norway spruce wood specimens lost between 10% (*A. vaillantii*) and 25% (*S. lacrymans*). White rot fungi were more aggressive and degraded between 13% (*T. versicolor*) and 34% (*H. fragiforme*) of spruce wood. Beech wood specimens were more susceptible to decay by both brown and white rot fungi. The least effective brown rot fungus on beech wood was *A. vaillantii* (14%) and *G. trabeum* was found to be the most aggressive (29%). The most aggressive was *H. fragiforme* (40%) while *T. versicolor* was found to be the least effective (17%) (Fig. 2, Table 2). These mass losses indicate that most of the fungi were active on controls, with the exception of *A. vaillantii* and *Trametes versicolor* that did not cause prominent mass loss of the controls. Mass losses of beech and spruce wood specimens were in line with previous studies (Lesar and Humar 2011). These data clearly reflect the susceptibility of spruce and beech wood to fungal decay. Standard EN 3502 (CEN 1995) classifies spruce wood into susceptible wood species (durability class 4), while beech wood is classified as a very susceptible wood species (durability class 5). The moisture content of spruce and beech wood exposed to the fungi varied between 21% and 44% (Table 2). Such moisture content levels are appropriate for the growth and development of fungi in wood (Schmidt 2006, USDA FPL 2010). However, the low mass loss of beech wood exposed to *T. versicolor* and spruce wood to *A. vaillantii* is rather surprising. Additionally, a past test has shown that *A. vaillantii* does not degrade control wood as much as wood treated with biocides like boron and copper compounds (Lesar and Humar 2011). This fungus was therefore included in this study, since it

Table 1. Description and basic information about the materials used in the investigation.

Abbrev.	Description	Composition	Application
NS	Norway spruce	Norway spruce sapwood	Construction
BE	Beech	Common beech	Flooring
OSB	OSB/3 construction board, thickness 18 mm	Softwood, formaldehyde free adhesive	Walls, flooring ...
VPLT	Poplar plywood, thickness 18 mm	Poplar wood, adhesive	Walls
WPC1	Wood plastic composite	Wood particles, polyethylene	Decking
WPC2	Wood plastic composite	Wood particles, polyethylene	Decking
WPC3	Wood plastic composite	Wood particles, polyethylene	Decking, support construction
KON	Hemp fibre insulation	Hemp fibres, adhesive, NaHCO ₃	Insulation of outer and interior walls, ceiling, flooring
LV1	Wood fibre insulation	Wood fibres, aluminium sulphate, paraffin, sodium silicate, hydrophobic emulsion, adhesive	Secondary roof
LV2	Flexible insulation made of wood fibres	Wood fibres, Polyolefin, aluminium phosphate	Insulation of roofing construction
LV3	Façade insulation made of wood fibres	Softwood fibres, adhesives based on the natural resins, hydrophobic emulsion	Façade insulation
LV4	Wood fibre insulation	Wood fibres, aluminium sulphate, paraffin, adhesive	Insulation of roofing and flooring construction.
LV5	Wood fibre insulation designed for sound insulation	Wood fibres, aluminium sulphate, paraffin, pigment	Noise barrier of interior walls
CEL	Cellulose loose-fill insulation	Disintegrated cellulose from paper, boron compounds	Insulation of walls and roofs in timber frame constructions

performs fairly well in more demanding substrates. It should also be noted that control specimens were exposed next to the ligno-cellulose ones, so it may be that the fungi degraded the easily accessible nutrients first, followed by complex material such as wood.

The mass loss of the OSB specimens exceeded 3% (limit prescribed by standard EN 113) with specimens exposed to two fungal cultures only, *A. vaillantii* (7%) and *H. fragiforme* (11%). This result confirmed

the strong degradation ability of *A. vaillantii* in more demanding conditions, since the mass loss of the OSB boards was only a bit lower than the mass loss of the control specimens. In contrast, specimens made of poplar plywood (VPLT) were considerably more susceptible to decay than OSB. Only two wood degrading fungi caused insignificant mass loss: *G. trabeum* and *P. ostreatus*. Other fungi were more effective. *A. vaillantii* caused a mass loss of the 25%, while the white rot fungi *T.*

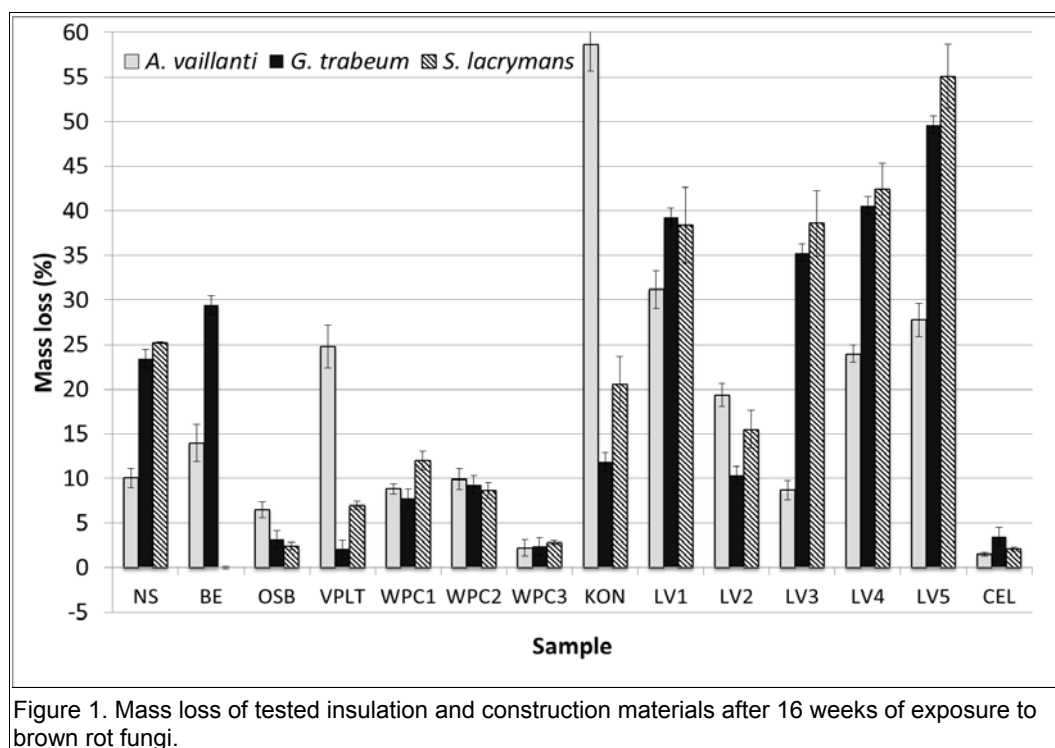
Table 2. Mass loss expressed in g, and moisture content of tested insulation and construction materials after 16 weeks of exposure to wood decay fungi.

Abbr.	Brown rot fungi						White rot fungi					
	<i>A. vaillantii</i>		<i>G. trabeum</i>		<i>S. lacrymans</i>		<i>T. Versicolor</i>		<i>P. ostreatus</i>		<i>H. fragiforme</i>	
	Δm (g)	u (%)	Δm (g)	u (%)	Δm (g)	u (%)	Δm (g)	u (%)	Δm (g)	u (%)	Δm (g)	u (%)
NS	0.70	44	1.98	23	2.00	44	0.64	34	1.20	28	1.80	36
BE	1.48	40	2.98	23	/	0	2.38	25	3.67	22	6.42	35
OSB	0.80	36	0.39	14	0.27	29	0.31	23	0.25	20	1.34	30
VPLT	1.85	124	0.15	13	0.51	49	3.11	61	0.24	19	3.30	66
WPC1	1.03	11	0.88	12	1.46	11	0.84	9	1.28	11	1.01	12
WPC2	1.27	12	1.14	12	1.11	11	1.28	10	1.32	12	1.48	12
WPC3	0.63	4	0.70	4	0.81	4	0.60	4	0.42	4	0.66	4
KON	0.69	215	0.14	7	0.26	221	0.46	11	0.21	16	0.32	265
LV1	1.50	75	1.87	26	1.80	57	0.47	20	0.94	31	0.97	32
LV2	0.23	121	0.11	10	0.17	135	0.19	17	0.25	30	0.24	94
LV3	0.42	36	1.73	11	1.77	40	0.19	18	0.87	18	1.77	40
LV4	0.79	44	1.35	32	1.38	50	0.76	16	0.68	21	0.96	28
LV5	0.46	96	0.82	34	0.91	59	0.24	12	0.37	29	0.63	78
CEL	0.05	39	0.13	10	0.07	68	0.09	17	0.14	38	0.14	38

versicolor and *H. fragiforme* degraded more than 40% of the VPLT specimens (Figs. 1 and 2). The high mass loss of the poplar plywood VPLT is understandable, since poplar is a susceptible wood species (EN 350-2, CEN 1995). Another reason for the higher degradation of poplar plywood is linked to the moisture content. The moisture content of the OSB was considerably lower than the moisture content of plywood (Table 2). Particles in the OSB are covered with adhesives, which slow down both wetting and colonization. A similar performance of OSB boards, which are made predominately of softwood species, in comparison to plywood made of hardwoods, was reported by Medved (2008) and Chung et al. (1999).

Samples made of wood plastic composites WPC1 and WPC2 lost approximately the same percentage of mass regardless of the fungal species used. Fungi degraded between 9% and 12% of the mass of the WPC1 and WPC2 specimens. The similar mass losses of these samples are understandable, since these

specimens were made of perforated elements for decking applications. WPC1 and WPC2 were produced by two different companies, the only visible difference between them being colour. Samples made of WPC3 performed considerably better than samples WPC1 and WPC2. These specimens were made of non-perforated supports for decking (Table 1). Mass losses of the specimens made of WPC3 were lower than 3%, which indicates the influence of the specific surface of WPC on their performance. Similar differences as observed in mass losses were determined in moisture content after exposure to the fungi. The moisture content of WPC1 and WPC2 after exposure to the fungi was between 10% and 12%, while the moisture content of the parallel specimens made of WPC3 remained below 5% (Table 2). There are presumably a variety of explanations for the differences in performance of the WPC specimens against wood decay fungi. The first is the moisture content of samples WPC1 and WPC2 compared to WPC3. Only moist wood is suscept-



ible to degradation and WPC3 seems to have been too dry. Further factors that influence degradation are the size of the particles, wood species used, presence of biocides and the ratio between wood and plastics (Morrell et al. 2010). Ratio between wood and plastic in WPC 1 and WPC 2 was 60: 40, while ratio of 50 : 50 is reported at WPC3. The specific surface also has an impact. Samples WPC1 and WPC2 had a much higher specific surface than WPC3. Fungal hyphae were therefore able to access the wood particles in the plastics considerably more easily, which resulted in more decay.

The highest variability in mass loss and moisture content was determined with specimens made of hemp fibres. The mass loss of specimens varied between 12% (*G. trabeum*) and 58% (*A. vaillantii*) with specimens exposed to brown rot fungi and between 14% (*P. ostreatus*) and 34% (*T. versicolor*) with specimens infested by white rot fungal species

(Figs. 1 and 2). The greater mass loss of hemp insulation exposed to brown rot fungi was to be expected, since hemp fibres contain between 60% and 70% cellulose (Kymalainen and Sjoberg 2008), which is the most important source of energy for brown rot fungi. Even greater differences were measured in the moisture content of hemp insulation. The moisture content of samples exposed to *G. trabeum*, *T. versicolor* and *P. ostreatus* was below 16%. However, the moisture content of hemp insulation exposed to *A. vaillantii*, *S. lacrymans* and *H. fragiforme* was more than 10 times higher (Table 2). The reasons for this difference presumably originate in the degradation mechanism of the various fungal organisms tested. For example, it is well documented that water is a by-product during cellulose degradation by *S. lacrymans* (Schmidt 2006), which is reflected in a higher moisture content.

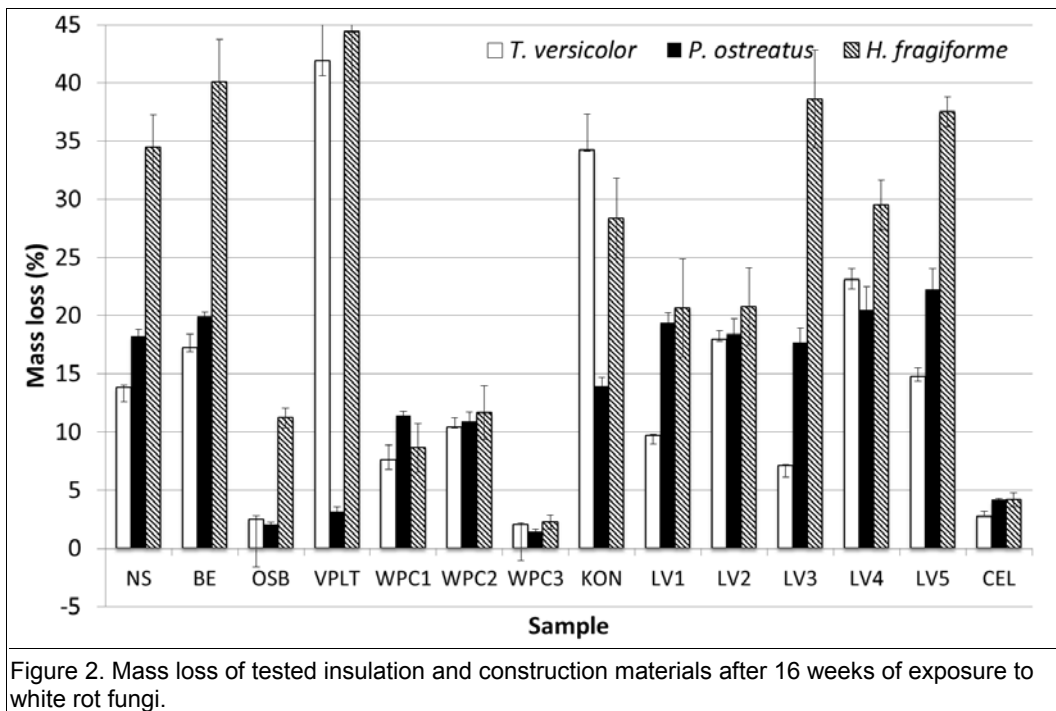


Figure 2. Mass loss of tested insulation and construction materials after 16 weeks of exposure to white rot fungi.

Insulation boards made of wood fibres (LV1, LV2, LV3, LV4, LV5) used in the present research are designed for various applications, such as façade insulation, building insulation, roof and floor insulation etc. (Table 1). The density of the insulation boards depends on the desired application and thus varies between 50 kg/m³ and 270 kg/m³ (Table 1). Regardless of the density of the tested boards, mass losses when they were exposed to the same fungi were comparable. The lowest mass loss caused by brown rot fungi was determined with specimens LV3 exposed to the fungus *A. vaillantii* (9%) and the highest mass loss of the insulation boards was determined with specimens LV5 exposed to *S. lacrymans* (55%). White rot fungi were slightly less effective decomposers. The lowest mass loss among the tested insulation materials made of wood fibres and exposed to white rot fungi was determined with *T. versicolor* (LV3, 7%), while the most effective degrader was *H. fragiforme* (LV3, 39%).

(Fig. 1, Table 2). The slightly higher mass loss of insulation materials exposed to brown rot fungi in comparison to white rot fungi can be explained by the composition of the tested materials. Insulation materials made of wood fibres are predominately made of softwoods (Medved 2008), which are more frequently degraded by brown rot fungi. The average mass losses of the samples made of wood fibres exposed to white rot fungi are similar to the mass losses of the control beech and spruce wood specimens exposed to white rot fungi. On the other hand, the mass losses of wood fibres insulation exposed to brown rot fungi were approximately 40% higher than the mass losses of the control beech and spruce wood samples exposed to brown rot fungi. There are presumably several reasons for this. Firstly, insulation made of wood fibres has a considerably lower density than the control wood. Secondly, wood fibres have a higher specific surface, so the cellulose is more exposed to the fungi and the

fungi can access the cellulose more easily than with the wood. This presumption is further supported by the findings of Chung et al. (1999). The final possible reason for higher mass losses from the wood decay fungi originates in the higher moisture content of the insulation. Brown rot fungi were able to overcome the effect of the water repellents in wood, while water repellents slowed down moisturizing of the samples exposed to white rot fungi (Table 1).

Considerably lower mass losses than reported for insulation made of wood fibres were determined for cellulose loose-fill (CEL). The highest mass loss of the cellulose samples was determined in specimens exposed to *S. lacrymans* (4%). Mass losses of cellulose samples exposed to other fungi were lower than 3%. Comparison of the various insulation and building materials clearly showed that, apart from wood plastic composites (WPC3), cellulose exhibited the highest resistance to wood degrading fungi. The most important reason for the good performance is that cellulose loose-fill contains approximately 15% of boron compounds, such as boric acid or borax (Fogel and Lloyd 2002, Herrera et al. 2007). Boron compounds are well known fungicides, insecticides and flame retardants. Relatively low loadings are required for protection of wood against wood decay fungi, up to 0.8 kg m⁻³ BAE (boric acid equivalent) (Lesar and Humar 2009). On the other hand, considerably higher retention is necessary for protection against mould and staining fungi (2 kg m⁻³ BAE) (Fogel and Lloyd 2002). The most important reason for the reported concentration of boron compounds in insulation is to achieve sufficient fire retardation (Fogel and Lloyd 2002). Another benefit of boron compounds in cellulose insulation is that boron diffuses from the insulation to the wooden construction during the service life and contributes to the overall performance of the building (Viitanen 1991).

Boron penetration increases with increasing moisture content. At a relative humidity of 80%, boron diffuses 8 mm in a few years, while diffusion of 4 mm was determined at a relative humidity of 35% (Bech-Andersen 1987).

CONCLUSIONS

The performance of building and insulation materials against wood decay fungi clearly showed that the fungicidal properties of the materials depend on their physical and chemical composition. The durability of most of the materials tested, with the exception of cellulose insulation and some wood plastic composites, was lower than the durability of the reference materials (beech and spruce wood). The majority of the insulation materials were extremely susceptible to fungal decay, particularly brown rot. This result was to be expected, since most of the composites contain only adhesives, water repellents and fire retardants and do not contain any biocides. In order to limit fungal decay, their moisture content must be lower than 20% (Zabel and Morell 1992).

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge the financial support of the Slovenian Research Agency in the framework of the projects P4-0015 and L4 5517. The technical support of Alojz Šmuc is also acknowledged.

REFERENCES

- Barbu MC, Pieper O, 2008. Light Fibreboards for insulation purposes, Lightweight wood-based composites; production, properties and usage, Proceedings of the COST E49 internal workshop. Bled, Slovenia.
- Bech-Andersen J, 1987. Practical experiments with Boracol 10 RH used as a fungicide repair process after attack by the dry rot fungus (*Serpula lacrymans*). Proceedings from IRG Annual Meeting, Honey Harbour, Ontario, Canada, The International Research

- Group on Wood Preservation, IRG/WP 87-3458.
- Chung WY, Wi SG, Bae HJ, Park BD, 1999. Microscopic observation of wood-based composites exposed to fungal deterioration. *Journal of Wood Scienc*, 45: 64-68.
- CEN, 2004. Wood preservatives. Test method for determining the protective effectiveness against wood destroying basidiomycetes. Determination of the toxic values. EN 113. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.
- CEN, 1995. Durability of wood and wood-based products - Natural durability of solid wood - Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe. EN 3502. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.
- European Commission. 2012. Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012, Official Journal of the European Union, C 115/1.
- European Commission. 2013. Report from the commission to the European parliament and the council, Financial support for energy efficiency in buildings. Brussels. Available via http://ec.europa.eu/energy/efficiency/buildings/doc/report_financing_ee_buildings_com_2013_225_en.pdf. Cited October 21. 2013.
- Fogel JL, Lloyd JD, 2002. Mould performance of some construction products with and without borates. *Forest Products Journal* 52: 38-43.
- Herrera J, Omodon ME, Dillavou CL, 2007. The Sporocidal and sporostatic effect of sodium polyborate and boron treated cellulose insulation on common indoor fungal species. *Micologia Aplicada International* 19: 35-49.
- Kymalainen HR, Sjoberg AM, 2008. Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations. *Building and Environment* 43: 1261-1269.
- Lesar B, Humar M, 2009. Re-evaluation of fungicidal properties of boric acid. *European Journal of Wood and Wood Products* 67: 483-484.
- Lesar B, Humar M, 2011. Use of wax emulsions for improvement of wood durability and sorption properties. *European Journal of Wood and Wood Products* 69: 231-238.
- Medved S, 2008. Wood-based panels in construction. In: *Building with Wood in Slovenia*. Kitek Kuzman M (ed.). Ljubljana, Biotechnical Faculty.
- Morrell JJ, Stark NM, Pendleton DE, McDonald AG, 2010. Durability of Wood-Plastic Composites. Tenth International Conference on Wood & Biofiber Plastic Composites and Cellulose Nanocomposites Symposium. Madison, Forest Products Society.
- NEEAP, 2013. National Energy Efficiency Action Plans (NEEAP), http://ec.europa.eu/energy/efficiency/end-use_en.htm
- Schmidt O, 2006. Wood and tree fungi, Biology, Damage, Protection and use. Springer-Verlag, Berlin.
- USDA Forest Products Laboratory, 2010. Wood Handbook Wood as an Engineering material General Technical Report FPL-GTR-190. Centennial Edition, US Department of Agriculture Forest Service, Madison, Wisconsin.
- Viitanen H, 1991. Preservative effect of cellulose insulation material against some mould fungi and brown rot fungus *Coniophora puteana* in pine sapwood. Proceedings from IRG Annual Meeting, The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 91-1484.
- Zabel R, Morell JJ, 1992. Wood microbiology, Academic press, San Diego.

Comparison of decay assessment methods for field trials

Erik Larnøy¹, Franziska Friese², Gry Alfredsen¹, Holger Militz²

¹Norwegian Forest and Landscape Institute, Box 115, NO-1431 Ås, Norway

²Georg-August-University of Göttingen, Wood Biology and Wood Products, Büsgenweg 4, D-37077 Göttingen, Germany

Corresponding author: lae@skogoglandskap.no

Norsk tittel: Sammenligning av evalueringsmetoder for råte i felttester

Larnøy E, Friese F, Alfredsen G, Militz H, 2014. Comparison of decay assessment methods for field trials. *Agarica* 2014, vol. 34, 47-53.

NØKKELOORD

Blokktest, evalueringsmetoder for råte, furu yteved, råtesopp

KEY WORDS

Block-test, decay assessment methods, Scots pine sapwood, wood decay fungi

ABSTRACT

To gain knowledge about the decay resistance of wood protection systems, field exposure is necessary. Traditional evaluation of field trials has mainly been based on visual evaluation and a pick-test with a knife. The aim of this study was to compare different supplementary field trial evaluation methods. The block-test method for above ground field tests (use class 3) was used and included untreated Scots pine sapwood (*Pinus sylvestris* L.) as control, chitosan impregnated samples (high and low molecular weight), Cu-HDO and CCA impregnated samples. The samples were exposed at the field tests facilities in Göttingen, Germany, for 4 years (2004 to 2008). The following evaluation methods did not significantly correlate with mass loss and are according to this study not recommended as supplementary methods for field evaluation: Bomb calorimeter,

MoE_{dyn} Ultrasound water saturated, TGA change in cellulose, hemicellulose or extracts. The following methods gave significant correlation with mass loss: MoE_{dyn} ultrasound climatized, MoE_{dyn} vibration water saturated, chitin assay, ergosterol assay, TGA change lignin content, equilibrium moisture content and the traditional pick-test.

SAMMENDRAG

Felttester er nødvendig for å oppnå kunnskap om råteresistensen til nye trebeskyttelsesystemer. Tradisjonelt har feltevalueringstester blitt evaluert visuelt og med en pirketest med kniv. Målet med denne studie var å sammenligne ulike supplerende evalueringsmetoder. Blokktest-metoden for evaluering over bakke (risikoklasse 3) ble brukt og inkluderte furuyteved (*Pinus sylvestris* L.) som kontroll, kitosanimpregnert furuyteved (høy og lav molekylvekt), et kobbermiddel samt CCA. Prøvene ble eksponert i felt i Göttingen, Tyskland, fra 2004 til 2008. De følgende evalueringsmetodene hadde ingen signifikant korrelasjon med massetap og er, basert på denne studien, derfor ikke anbefalt som supplerende evalueringsmetoder for feltevaluering: bombekalorimeter, MoE_{dyn} Ultralyd vannmettet, TGA endring i cellulose, hemicellulose eller ekstraktivstoffinnhold. De følgende metodene ga signifikant korrelasjon med massetap: MoE_{dyn} Ultralyd klimatisert, MoE_{dyn} Vibrasjon vannmettet, kitinanalyse, ergosterolanalyse, TGA endringer i lignin innhold, likevektsfuktighet samt den tradisjonelle pirketesten med kniv.

INTRODUCTION

Wooden building and construction materials are continuously exposed to fungi, which under suitable conditions are able to colonize and degrade wood. In northern Europe, there is a tradition for the use of wood (mainly conifers) as construction materials. The natural durability classification of the heartwood according to EN 350-2 (CEN 1994) is 4 (slightly durable) for *Picea abies* (L.) Karst. and 3-4 (moderately-slightly durable) for *Pinus sylvestris* L.. Hence, in outside exposure situations with high moisture hazards, wood protection systems will be needed. With the increased focus on non-biocidal wood protection systems, a range of new products have been developed. In order to provide documentation on performance and service life of these new systems both laboratory and field tests are needed.

For above ground testing there is a range of standard and non-standard methods available. The block-test was developed to expose wood close to the ground, to an environment with high humidity and high biological activity (Pfeffer et al. 2008). The advantages of the block-test were: 1) fast colonisation by fungi, 2) possibility of non-destructive evaluation while the test runs, 3) significant results after a relatively short exposure time (4 years), and 4) simple preparation of the samples and test setup.

Field tests need several years of exposure before any conclusions can be drawn. The time span depends on the location of the test site and the climate conditions. Visual inspection combined with a pick-test (EN 252, CEN 1989) is the most common method applied to assess wood decay in field trials. But this method is hampered with some degree of subjectivity and could

underestimate early internal decay (Grinda and Göller 2005a). The data produced are regarded as trustworthy, yet rough estimates of the actual state of decay (Van den Bulcke et al. 2011). Therefore several researchers have been searching for a method to quantify the degradation in an objective way, for example by linking the visual criterion with strength or stiffness (Grinda and Göller, 2005a,b, Edwin and Ashraf, 2006). Pilgård et al. (2011) compared quantitative real-time PCR with visual evaluation, ergosterol, chitin and microscopic analysis. The qPCR method based on basidiomycete DNA content in the wood had the highest sensitivity. Microscopy was recommended to provide valuable supplementary info. Hence, as a supplement to the traditional wood decay evaluation, both physical and biochemical assessment methods can provide new and useful information in the testing of new wood protection systems. The aim of this study was to compare and evaluate different decay assessment methods after four years of exposure in use class 3.

MATERIALS AND METHODS

For this study, the block-test (Pfeffer et al. 2008) for use class 3 was used (Fig. 1). The samples were exposed from 2004 to 2008 in

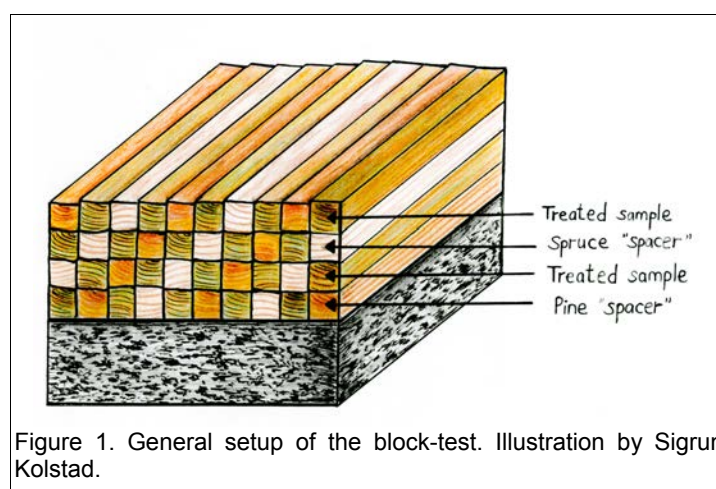


Figure 1. General setup of the block-test. Illustration by Sigrun Kolstad.

Table 1. Methods used for assessing decay and the change in wood properties.

Method	Control	Cu-HDO	CCA	Chitosan LMW	Chitosan HMW	Reference/method
Chitin assay	X	X	X	X	X	Eikenes et al. (2005)
MOE _{dyn} Vibration (Grindosonic)	X	X	X	X	X	Machek et al. (1998)
MOE _{dyn} Ultrasound (Pundit)	X	X	X	X	X	Alfredsen et al. (2006)
Visual/pick evaluation of decay	X	X	X	X	X	EN 252 (1989)
Thermo gravimetric analyses (TGA)	X	X	X	X	X	Grønli et al. (2002)
Equilibrium moisture content (EMC)	X	X	X	X	X	Gravimetric
Surface mold growth	X	X	X	X	X	ASTME24-06 (2004)
Calorimetric value (Bomb Calorimeter)	X					SIS-CEN/TS 14918 (2005)
Ergosterol assay	X					Eikenes et al. (2005)

Göttingen, Germany. Samples of Scots pine sapwood (*Pinus sylvestris* L.) without defects were used. Between each sample Norway spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst.) spacers were inserted. The block-test samples were 20 x 20 x 300 mm. Treatments expected to exhibit variation in decay protection were included: untreated Scots pine sapwood as control, high molecular weight chitosan impregnation (HMW), low molecular weight chitosan impregnation (LMW), Cu-HDO and

CCA impregnated. Each treatment had n = 12 replicates. The sample stakes were vacuum-pressure impregnated with the respective solutions for one hour at vacuum-pressure and one hour at 8 bars pressure. Cu-HDO had a target concentration of 11 kg/m³ and a concentration of 2.07% in liquid phase for above ground application. The chitosan was impregnated into the wood stakes with a concentration of 5%. The CCA with target retention of 5kg/m³ had a liquid concentration of 0.83%.

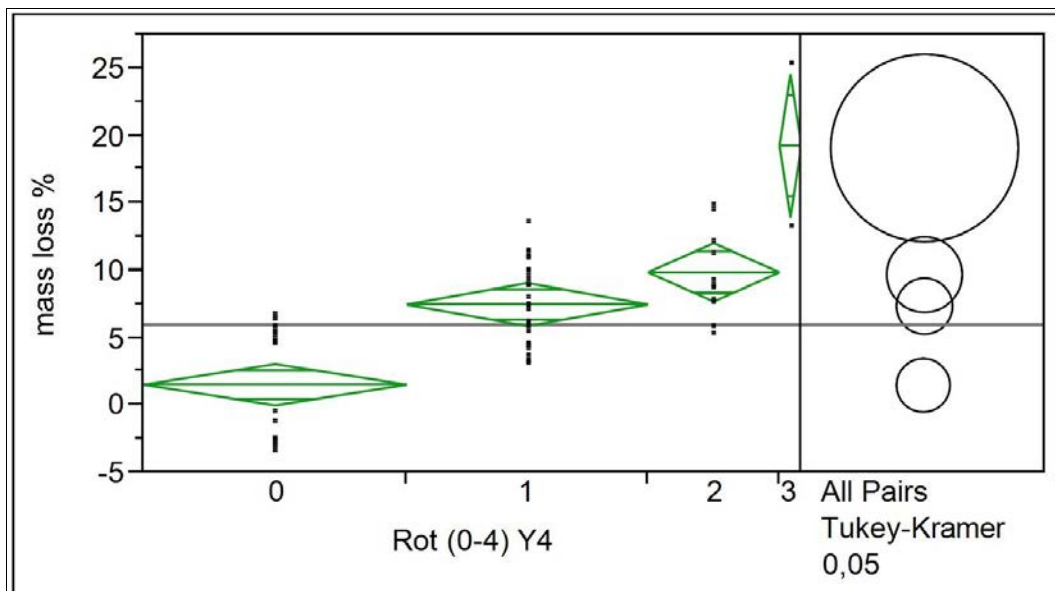


Figure 2. One-way analysis of mass loss after 4 years in % by pick-test, all treatments.

The untreated control samples were impregnated with water.

The methods used to quantify fungal decay and determine the change in wood properties and references for details about the different procedures are given in Table 1.

JMP software V.9.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) was used for statistical analysis. The comparison between different test methods was found using bivariate fit and ANOVA.

RESULTS AND DISCUSSION

All treatments achieved expected uptake of treatment solution (Table 2). After four years of exposure none of the block-test samples failed (reached rating 4, breaking in impact test). The highest mean decay rating was found for the control and LMW chitosan treated samples. All test samples in the block-test were totally covered with surface discolouring fungi already after one year. The highest mass loss was found for the two chitosan treatments and the control. No mass loss was found for

CCA after four years of above ground exposure in the block-test.

Bivariate fit was used to analyse the effect of the different quantitative evaluation methods compared to per cent mass loss (Table 3). The following parameters did not significantly correlate with mass loss and are not applicable for mass loss evaluations: Bomb calorimetry, MoE_{dyn} Ultrasound water saturated, TGA change in cellulose, hemicellulose or extractives. The pick-test showed a good correlation with mass loss, supporting the future use of the method (Fig. 3). The chitin and ergosterol essays showed good correlation with mass loss. These methods require destructive sampling, but the sample size needed is small and samples can be harvested at intervals during field exposure. Drill holes need to be properly sealed and water traps avoided. It is important to ensure equal moisture content in the samples when measuring MoE since the moisture content will affect the MoE results. The MoE_{dyn} ultrasound with conditioned samples showed

very good results but requires a conditioning period of the samples prior to measurements. The MoE_{dyn} vibration also showed very good results, but requires a water saturation impregnation before measurements. Both drying the samples to stable moisture content at 20°C and 65% relative humidity or water saturation impregnation could have a potential effect on fungal activity.

In Fig. 3 are mean mass loss of the different layers in the block illustrated. Except the untreated samples in the bottom layer (significant increase in decay), and the top layer of the chitosan LMW

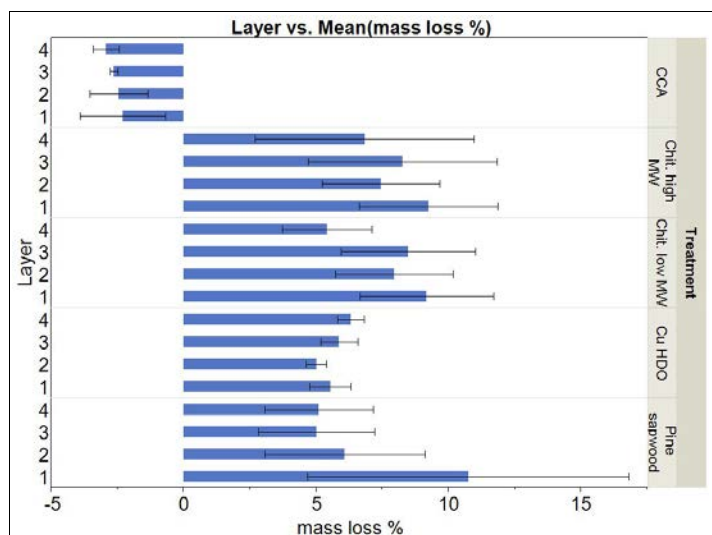


Figure 3. The bottom layer (1) had higher mass loss than the other layers and no significant differences were found between layer 2, 3 and 4. Each error bar is constructed using 1 standard deviation from the mean.

Table 2. Mean and standard deviation data from the different decay assessment methods. 'Some measurements were not performed and data is therefore not available (n.a.)'.

Method	N=12	Control	Chitosan LMW	Chitosan HMW	CU HDO	CCA
Uptake of impregnation agent (kg/m ³)	Mean	-	26.18	14.60	14.91	5.88
	Stdev	-	7.63	7.78	0.56	0.30
Mass loss (%)	Mean	8.89	8.72	9.20	5.67	0
	Stdev	6.37	3.26	2.50	0.72	0
Visual/pick test (0-4)	Mean	1.58	1.58	1.17	0	0
	Stdev	0.67	0.67	0.39	0	0
Ergosterol (ug/g dry wood)	Mean	13.40	n.a	n.a	n.a	n.a
	Stdev	6.21	n.a	n.a	n.a	n.a
Bomb calorimeter (MJ/kg dry wood)	Mean	19.26	n.a	n.a	n.a	n.a
	Stdev	0.98	n.a	n.a	n.a	n.a
Chitin (mg/g dry wood)	Mean	0.80	n.a	n.a	0.32	0.42
	Stdev	0.42	n.a	n.a	0.06	0.04
MoE _{dyn} ultrasound (loss in %) / (20C /65%RH)	Mean	22.58	15.87	15.32	n.a	2.11
	Stdev	9.67	5.17	4.36	n.a	1.18
MoE _{dyn} ultrasound (loss in %) / (water saturated)	Mean	-1.50	-10.48	-20.44	-8.03	11.19
	Stdev	14.50	6.77	6.17	7.60	4.51
MoE _{dyn} vibration (loss in %) / (water saturated)	Mean	23.08	23.06	20.79	-1.69	-1.73
	Stdev	17.47	9.60	10.66	4.24	2.47
TGA cellulose (loss in %)	Mean	-1.23	0.004	-2.4	0.30	2.70
	Stdev	1.97	0.97	2.11	0.78	1.12
TGA hemicellulose (loss in %)	Mean	0.87	0.83	1.07	1.48	-1.06
	Stdev	1.24	1.68	1.05	1.48	1.07
TGA lignin (loss in %)	Mean	0.58	-0.43	1.38	-0.69	-2.24
	Stdev	1.33	0.74	1.91	0.59	0.46
TGA extractives (loss in %)	Mean	-0.23	-0.45	-0.06	-1.08	0.61
	Stdev	0.69	1.46	0.73	0.83	0.49
Equilibrium moisture content (% moisture)	Mean	13.67	13.23	13.24	13.89	12.83
	Stdev	0.60	0.52	1.08	0.94	0.69

samples (significant decrease in decay), none of the other treatments showed any significant variations between layers.

CONCLUSIONS

- The following parameters did not significantly correlate with mass loss and are not recommended for mass loss evaluations: Bomb calorimetry, MoE_{dyn} Ultrasound water saturated, TGA change in cellulose, hemicellulose or extractives.
- The following methods gave significant correlation with mass loss: MoE_{dyn} Ultrasound climatized, MoE_{dyn} Vibration water saturated, chitin- and ergosterol assays, lignin content using TGA and EMC.
- The bottom layer in the block-test had the highest mass loss. The remaining layers had lower mass loss and no significant difference in mass loss was found between them.
- The visual evaluation and pick-test correlate very well with mass loss.

Table 3. The effect of the different evaluation methods compared to per cent gravimetric mass loss using ANOVA. 'Some measurements were not performed and data is therefore not available (n.a.)'.

Method	N=12	Untreated	Chitosan LMW	Chitosan HMW	CU HDO	CCA
Ergosterol (ug/g dry wood)	r ² Prob > F	0.43 <0.05	n.a n.a	n.a n.a	n.a n.a	n.a n.a
Bomb calorimeter (MJ/kg dry wood)	r ² Prob > F	0.00 0.94	n.a n.a	n.a n.a	n.a n.a	n.a n.a
Chitin (mg/g dry wood)	r ² Prob > F	0.98 <0.05	0.40 <0.05	0.51 <0.05	0.05 0.49	0.66 <0.05
MOE _{dyn} ultrasound- 20C°/65%RH (loss in %)	r ² Prob > F	0.97 <0.05	0.67 <0.05	0.75 <0.05	n.a	0.04 0.54
MOE _{dyn} ultrasound-water saturated (loss in %)	r ² Prob > F	0.67 <0.05	0.15 0.21	0.00 0.99	0.26 0.08	0.14 0.24
MOE _{dyn} vibration-water saturated (loss in %)	r ² Prob > F	0.92 <0.05	0.47 <0.05	0.83 <0.05	0.00 0.90	0.02 0.69
TGA cellulose (loss in %)	r ² Prob > F	0.25 0.10	0.09 0.34	0.00 0.88	0.06 0.44	0.15 0.20
TGA hemicellulose (loss in %)	r ² Prob > F	0.00 0.85	0.11 0.29	0.01 0.72	0.14 0.22	0.01 0.77
TGA lignin (loss in %)	r ² Prob > F	0.59 <0.05	0.02 0.62	0.02 0.66	0.51 <0.05	0.42 <0.05
TGA extractives (loss in %)	r ² Prob > F	0.02 0.65	0.26 0.09	0.13 0.26	0.00 0.91	0.23 0.11
Equilibrium moisture content (% moisture)	r ² Prob > F	0.60 <0.05	0.18 0.17	0.02 0.69	0.01 0.91	0.01 0.80
Visual/ pick test (0-4)	r ² Prob > F	0.64 <0.05	0.56 <0.05	0.02 0.66	n.a n.a	n.a n.a

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank Eva Grodås, Sigrun Kolstad, Kari Hollung and Monica Fongen at the Norwegian Forest and Landscape Institute for their excellent laboratory help and for the chemical analysis.

REFERENCES

- Alfredsen G, Larnøy E., Militz H, 2006. Dynamic MoE testing of wood: the influence of wood protecting agents and moisture content on ultrasonic pulse and resonant vibration. *Wood Research* 51 (1): 11-20.
- ASTM E24-06, 2004. Standard method of evaluating the resistance of wood product surfaces to mold growth. American Society for Testing and Materials.
- Edwin L, Ashraf M, 2006. Assessment of bio-deterioration of rubber wood exposed to field conditions. *International Biodeterioration and Biodegradation* 57(1): 31-36.
- Eikenes M, Hietala A, Alfredsen G, Fossdal CG, Solheim H, 2005. Comparison of chitin, ergosterol and Real-Time PCR based assays for monitoring colonization of *Trametes versicolor* in birch wood. *Holzforschung* 59: 568-573.

- CEN, 1989. Field test method for determining the relative protective effectiveness of a wood preservative in ground contact. EN 252. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.
- CEN, 1994. Durability of wood and wood based products - Natural durability of solid wood - Part 2: Guide to the natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe. EN 350-2. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.
- Grinda M, Göller S, 2005a. Some experiments with stake tests at BAM test field and in the BAM fungus cellar. Part 1: Comparison of results of visual assessments and determinations of static moduli of elasticity (MoE). Proceedings from IRG Annual Meeting, Bangalore, India, International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 05-20319.
- Grinda, M, Göller S, 2005b. Some experiences with stake tests at BAM test fields and in the BAM fungus cellar. Part 2: Comparison of static and dynamic modulus of elasticity (MoE). Proceedings from IRG Annual Meeting, Bangalore, India, International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 05-20320.
- Grønli MG, Varhegyi G, Di Blasi C, 2002. Thermogravimetric analysis and devolatilization kinetics of wood. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 41: 4201-4208.
- Machek L, Militz H, Sierra-Alvares R, 1998. A dynamic approach to assess the modulus of elasticity in wood decay testing. Proceedings from IRG Annual Meeting, Maastricht, The Low Countries, The International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 98-20139.
- Pfeffer A, Krause A, Militz H, 2008. Testing modified wood and natural durability in use class 3 with the block-test approach. In: Proceedings of Cost Action E37 Final Conference in Bordeaux 2008, Socio-economic perspectives of treated wood for the common European market. p. 77-84.
- Pilgård A, Alfreðsen G, Björdal CG, Børja I, Fossdal CG, 2011. qPCR as a tool to study basidiomycete colonization in wooden field stakes. *Holzforschung* 65: 889-895.
- SIS-CEN/TS 14918, 2005. Solid Biofuels – Method for the determination of calorific value.
- Van den Bulcke J, De Windt I, Defoirdt N, Van Acker J, 2011. Non-destructive evaluation of wood decay. Proceedings from IRG Annual Meeting, Queenstown, New Zealand, The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 11-20479.

Application potential of 2nd generation PCR techniques and sequencing platforms in performance tests of wood protection products – Opinion paper

Ari M. Hietala

Norwegian Forest and Landscape Institute, PO Box 115, 1431 Ås, Norway

Corresponding author:
ari.hietala@skogoglandskap.no

Norst tittel: Applikasjon potensiell av andre generasjon PCR teknikker og sekvenserings-plattform i performans tester av trebeskyttelses-produkter – Opinion artikkel

Hietala AM, 2014. Application potential of 2nd generation PCR techniques and sequencing platforms in performance tests of wood protection products – Opinion paper. *Agarica* 2014, vol. 34: 55-62.

KEYWORDS

cDNA, DNA, metagenomics, metatranscriptomics, next generation sequencing, real-time PCR

NØKKELOD

cDNA, DNA, metagenomics, metatranscriptomics, next generation sequencing, real-time PCR

SAMMENDRAG

Polymerase chain reaction (PCR, på norsk polymerase kjedereaksjon), en metode for å lage kopier av en bestemt DNA-sekvens, har vært banebrytende innenfor naturvitenskap. Tretti år etter metodens oppfinnelse i 1983 er PCR et standard og uerstattelig verktøy med mange anvendelsesområder innen medisinsk og biologisk forskning. Sammenlignet med en del andre forskningsområder, har nye PCR applikasjoner og sekvenseringsteknikker vært nokså lite brukt i forskningsmiljø engasjert i trebeskyttelse. Målet med denne artikkelen er å diskutere potensialet til andre generasjons

PCR-applikasjoner og sekvenseringsplattform innen trebeskyttelse for 1) profilering av mikrobiell vekst og aktivitet i forskjellige råte-faser i behandlet ved og 2) dokumentering av endringer som skjer i mikrobiell komposisjon i substratet i løpet av råteprosessen.

ABSTRACT

Polymerase chain reaction (PCR), a biochemical technology that generates copies of a particular DNA sequence, has revolutionized life sciences. Thirty years after its development in 1983, PCR is a standard and indispensable technique in medical and biological research for a variety of applications. Compared to many other fields, novel PCR applications and sequencing platforms have been rather slowly adopted by research groups engaged in wood protection. Regarding laboratory and field experiments for testing the efficacy of wood treatments, this opinion article discusses the potential of 2nd generation PCR applications and sequencing platforms for profiling 1) the growth and activity of wood decay microbes upon feeding and detoxification of treated wood, and 2) for recording the successional changes that take place in microbial community along with progress of wood decay.

BACKGROUND

The development of new or modified wood preservative systems is time consuming, because long term field tests are needed to evaluate the treatment efficacy against wood decay organisms. There is clearly a need to develop/adopt accelerated test and analysis methods that allow assessment of treatment

efficacy already during an early phase of wood colonization (Nicholas and Crawford 2003). One solution could be to recruit state-of-the-art molecular methods that enable ultrasensitive detection and monitoring of microbial growth and activity. It would be equally important to develop a better understanding of the many variables that influence microbial mineralization of wood; more knowledge on the success of microbial colonization of treated wood and the interaction of the various types of microorganisms involved in the process would be particularly welcome (Nicholas and Crawford 2003).

The polymerase chain reaction (PCR) is a quantum leap technology that enables rapid amplification of selected DNA stretches across several orders of magnitude, generating up to millions of copies of a targeted DNA sequence. The method, carried out in automated thermal cyclers, consists of cycles of repeated heating and cooling steps for DNA denaturation and enzymatic replication (Arnheim and Erlich 1992). Upon DNA denaturation, double-stranded DNA unwinds and separates into single strands through the breaking of hydrophobic stacking attractions between the complementary bases. During replication of the DNA, a heat-stable polymerase assembles a new DNA strand from DNA building-blocks, the nucleotides, by using single-stranded DNA as a template and DNA primers, short DNA fragments complementary to the end regions of the targeted DNA sequence, as initiation sites of the replication. As PCR progresses, the DNA generated is itself used as a template for further replication, this setting in motion a chain reaction in which the DNA template is exponentially amplified.

PCR is nowadays a standard, indispensable technique used for a variety of applications in medical and biological research, such as diagnosis of infectious diseases, functional analysis of genes and DNA-based

phylogeny. Database search with the keywords “wood decay” and “wood decay and PCR” resulted in 4150 and 94 articles, respectively (Web of Knowledge v. 5.10, 14.06.2013). The relatively low number of wood decay related articles involving the use of PCR would suggest that the full potential of the technology has not yet been realized by the scientific community engaged in analyses of wood decay and performance testing of wood treated for increased durability. There are several articles that discuss thoroughly the potential of primarily 1st generation PCR applications in wood decay tests (Alfredsen et al. 2007; Diehl et al. 2008; Gelhaye and Morel 2009). To supplement these previous review articles, the aim of this opinion paper is to highlight the potential of 2nd generation PCR applications and sequencing platforms for analysis of laboratory and field experiments designed to test durability provided by various wood treatments. It should be noted that very few wood protection related studies are currently available on this theme, this being reflected in the rather short reference list.

Application: profiling of fungal growth rate in wood

When investigating protection provided by a particular wood treatment, monitoring substrate colonization level provides a useful reference, as accumulation of microbial biomass mirrors their ability to access and utilize the structural and non-structural carbohydrates present in wood. The properties of colonized wood in service depend on the feeding mode of the associated microbes (i.e. bacteria, and stain, soft-rot, brown-rot and white-rot fungi) and the period how long they have been active. An optimum method for detection and quantification of microbial growth in wood should thus be sensitive, quantitative and species-specific, the latter feature being of particular importance in field

experiments where a whole range of microbes coexists. Traditional techniques used in detecting bacteria and fungi in decayed wood and building materials include isolation and culturing on laboratory media, microscopy coupled with chemical staining, chitin and ergosterol assays and the enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) (see e.g. Eikenes et al. 2005). Excluding ELISA, none of these methods alone can give information on both the quantity and identity of the decay fungus in question. Since the sensitivity of ELISAs can be impaired by wood extractives (Jellison and Goodell 1988), none of these conventional methods fulfill the criteria for an optimal detection method.

In conventional PCR, also commonly referred to as end-point PCR, the PCR product is size-selected and visualized in gel electrophoresis that is performed after completion of the PCR run. Since the PCR product generated is proportional to the amount of template only during the exponential phase of the PCR product accumulation, conventional PCR is not well suited for quantitative purposes. Real-time PCR (qPCR), a 2nd generation PCR technique, represents currently the most sensitive and accurate method for microbial detection and quantification. The qPCR procedure follows the general principle of polymerase chain reaction but with the difference that the PCR product is detected as the reaction progresses in a cycle-by-cycle manner, this enabling PCR product quantification during the exponential phase of PCR reaction. The continuous recording of PCR product accumulation is achieved by non-specific fluorescent dyes that intercalate with double-stranded DNA or by incorporation of target sequence specific oligonucleotide probes that are commonly labeled with a fluorescent reporter (Arya et al. 2005).

In particular, highly variable regions within the rDNA gene cluster have been applied as the target sequence, since these

sequences are in most cases species-specific, and their high genomic copy number (generally above 100) allows target sequence detection and quantification even during the very early phases of wood colonization that is characterized by low microbial biomass. This highly sensitive approach has been broadly applied to quantify microbes in their natural environments, including fungi in association with wood decay tests (e.g. Eikenes et al. 2005; Pilgård et al. 2010). It is noteworthy that extractability of nucleic acids from environmental samples can show considerable sample-to-sample variation due to e.g. the amount of substrate polysaccharides, which can co-precipitate with DNA and result in low DNA yield. This applies also to wood that is treated with various preservatives, chitosan and Poly-QAC treated wood showing particularly low DNA recovery rate (Pilgård et al. 2010). To correct for this source of error, a standard amount of an external reference DNA can be routinely added to each sample upon DNA extraction; based on the recovery rate of the reference DNA, a conversion factor is calculated to correct the target DNA amount estimate (Pilgård et al. 2010).

Compared to conventional microbial detection methods, including end-point PCR, the main benefits of qPCR include superior sensitivity, high-throughput nature (depending on the platform, up to 384 samples can be amplified simultaneously) and fast analysis as the PCR data can be generated in a matter of 2-3 hours without the involvement of time-consuming down-stream analyses such as gel electrophoresis. The downside of the technique is that rather extensive assay specificity tests with DNA extracted from closely related species need to be performed if a particular assay is to be used under field conditions where a range of microbes coexist.

Application: profiling of fungal gene expression upon wood colonization

A common application of PCR is the study of patterns of gene expression, a process by which information from a gene is used in the synthesis of a functional gene product. Upon protein synthesis, a gene's DNA is first transcribed into messenger RNA (mRNA), which in turn is translated into protein. The advantage of proteome analysis is that the real functional molecules of the cell are being studied, but the downside is that the currently available techniques are not straightforward. Thus, due to robust assay methodology producing highly repeatable results, gene expression profiling remains an important part of life sciences.

RT-qPCR provides a sensitive method for measuring mRNA abundance of targeted genes. In this technique, reverse transcription (RT) first generates a single-stranded DNA template from mRNA, this template being called complementary DNA (cDNA). To establish the transcript level of a candidate gene, the cDNA template is then amplified with gene coding-sequence-specific primer/primer-probe sets in standard qPCR. Like for DNA, the yield of RNA shows sample-specific variation that needs to be corrected in order to enable direct comparisons of gene expression between different samples. This normalization procedure is done by relating the target gene transcript level to that of a housekeeping gene, genes required for the maintenance of basic cellular function, and thus constitutively expressed in all cells of an organism. Actin, tubulin and glyceraldehyde 3-phosphate dehydrogenase (GAPDH) are commonly used housekeeping genes in studies of gene expression by wood decay fungi (e.g. MacDonald and Master 2012).

The ability to quantify the level at which a particular gene is expressed within a cell exposed to given conditions can give a wealth of information. An understanding of how a wood treatment influences feeding and

cellular metabolism of wood decay fungi would be useful when considering treatment modifications to further improve durability of treated wood. The high sensitivity of qPCR allows monitoring of microbial transcriptional activity even during the very early phase of exploratory growth in a substrate. Concomitant transcript level profiling of genes encoding cell wall degrading enzymes and gene products involved in detoxification processes should be highly useful for deciphering e.g. fungal responses to different wood treatments and treatment levels. In this context, it is noteworthy that the genomes of a number of standard wood decay fungi have already been sequenced (e.g. the brown rot fungus *Postia placenta*; Martinez et al. 2009) or are in the process of being sequenced (e.g. the white rot fungus *Trametes versicolor*; www.jgi.doe.gov/). The access to annotated genomes enables rapid design of primer/primer-probe sets to monitor the expression of specific gene family members. As an example, a recent study by Tang et al. (2013) showed that exposure of the brown rot fungus *Fibroporia radiculosa* to wood treated with micronized copper quat (MCQ) induced genes involved in production of oxalic acid, an organic acid participating in neutralization of toxic cations via formation of insoluble chelates. White-rot fungi appear to use the same detoxification pathway when challenged by wood with increased durability due to high natural cation content (Nagy et al. 2012b).

When considering the use of transcript profiling to examine the impacts of wood treatments on fungal activity, certain constraints of the approach should be kept in mind. Above all, the information gathered by mRNA profiling is time dependent, the expression of genes reflecting the architecture of wood cell wall, the phase of decay and the need to detoxify substrate components or degradation products. For example, lignin degradation/modification and hemicellulose

harvesting precede normally the utilization of cellulose, the genes involved showing temporally differing expression peaks (MacDonald and Master 2012). In wood with high natural durability, the so-called reaction zone of Norway spruce characterized by high polyphenol and lignan content, the decay process by the white-rot fungus *Heterobasidion parviporum* is very slow due to the fungal need to detoxify the tissue (Nagy et al. 2012a).

The main advantage of RT qPCR, when compared to conventional techniques such as northern blotting, is the high sensitivity, high throughput nature and rapidity of the assay. Again, major challenge is to design assays that are specific, i.e. specific to the focused gene. This can be particularly challenging when targeting multigene families composed of genes with highly similar gene sequences due to recent gene duplications. The incorporation of a probe can provide the specificity required, but in some cases it will be very difficult to obtain a specific assay. In such a case amplicon sequencing by a next generation sequencing platform (see below) will provide the resolution needed as the number of sequences obtained per each sequence variant/gene should reflect the transcript levels of the corresponding genes/alleles.

Application: community profiling of microbes associated with wood decay

As reviewed by Clausen (1996), bacteria are probably the most common wood-inhabiting microorganisms. As pioneer wood colonizers, they are part of a succession of microorganisms and may act synergistically with fungi to either contribute to the breakdown of wood or to remove compounds that may be toxic to decay fungi. Since the 1950s, bacterial inhabitants of preservative-treated wood have been recognized, but the research focus has always been placed on wood-inhabiting decay fungi, primarily white- and brown-rot

fungi (Clausen 1996). Little is still known about the nature of microbial succession in impregnated or modified wood and the role of bacteria in paving the way for lignocellulose-feeding wood decay fungi. Technologies that allow efficient profiling of the entire microbial community would provide very detailed information about the sequence of colonization of treated wood, and about the beneficial and antagonistic interactions between bacterial and fungal (stain-soft rot-white rot-brown rot) species.

The high demand for low-cost sequencing has driven the development of high-throughput DNA sequencing (commonly referred to as next-generation sequencing, NGS) technologies such as sequencing by synthesis (Illumina), pyrosequencing (454) and Ion semiconductor sequencing (Ion Torrent), these platforms parallelizing the sequencing process and producing up to millions of sequences concurrently in a matter of few hours. Due to the continuous increase in their cost-effectiveness and rapidity, such platforms are becoming a standard tool in life science research laboratories. For profiling the diversity of bacterial community, sequencing of the hypervariable region V6 of the 16S rRNA gene is commonly used (Jünemann et al. 2012). For fungal community profiling, the internal transcribed spacer (ITS) region 1 (Blaalid et al 2012) or 2 (Kubartova et al. 2012) of the 18S-ITS1-5.8S-ITS2-28S -gene cluster is commonly targeted. To sequence PCR products from multiple samples simultaneously, the universal bacterial or fungal primers are, in addition to sequencing adapters, commonly tagged with sample-specific barcodes, an approach referred as “barcoded primer” PCR (bcPCR). The sequences generated are then classified as belonging to specific taxa based on sequence blasting at reference databases such as the NCBI Genbank Sequence Database (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>).

A number of samples can be processed to metagenomics in a matter of 2-3 working days, this involving also the sequencing procedure. The approach commonly reveals the presence of up to several thousand OTUs (Operative Taxonomic Unit) in a biological sample, this allowing a broad coverage of the microbial community present as problems that arise due to the high selectivity of laboratory media used for conventional community profiling by fungal isolation are circumvented. Regarding this approach, one should be aware that PCR can also introduce bias. Fungi can vary considerably in the length of the ITS1-5.8S-ITS2 sequence and the choice of polymerase (Dabney and Meyer 2012) and the primer pair (Ihrmark et al. 2012) can be of high importance to avoid fungi with short target sequences being more efficiently amplified than those with longer ones. Further, it should be kept in mind that a metagenomics assay can detect also DNA from inactive or dead cells as long as the target molecule is intact, this potentially providing also a record of organisms that are no longer present due to their association with an earlier successional phase. Metatranscriptomics, high throughput sequencing of transcripts present, would allow profiling of both the active microbial community and the genes expressed at a given time (Damon et al. 2013). A constraint of these meta approaches is that only a fraction of bacteria and fungi have so far been sequenced for 16S or ITS rDNA, respectively, or subjected to genome sequencing. Thus a great number of e.g. metagenomics derived sequences from microbial community studies cannot currently be identified at species or even genus level.

In the field of wood protection, Mathieu et al. (2013) used pyrosequencing of ITS1 region to explore fungal communities associated with untreated wood exposed to soil contact for 6 to 9 months. Their data showed a significantly higher fungal species diversity

in softwood (pine) than in hardwood samples (beech and oak), ascomycetous species being generally dominant on all tree species. The author is not aware of any study where a metagenomics approach has been used to investigate changes in microbial community in service wood, nor is there any study available yet where a metatranscriptomics approach is used to characterise microbial communities associated with wood in general.

Conclusions and future prospects

It is natural that large scientific fields such as medical research have the resources and the critical mass of people to develop/adopt cutting edge technologies without delays. The recent technological advances have resulted in several robust, sensitive, cost-effective and high through-put PCR applications and sequencing platforms. These techniques allow rigorous addressing of many research questions that have been difficult or impossible to explore in the past due to technological and economic constraints. It is the opinion of the author that time is ripe for smaller research sectors such as the wood protection area to make use of these tools, when investigating factors that affect microbial growth, activity and succession in wood with increased durability.

ACKNOWLEDGEMENTS

The writing of this article was financially supported by The Research Council of Norway, project number 335008.

REFERENCES

- Arnheim N, Erlich H, 1992. Polymerase chain reaction strategy. *Annual Review of Biochemistry* 61: 131-156.
- Alfredsen G, Hietala AM, Fossdal CG, Solheim H. 2007. Molecular methods as a tool within the field of wood protection – available methods and new possibilities. *Proceedings IRG Annual Meeting, Jackson Lake Lodge, Wyoming, USA, International Research*

- Group on Wood Protection, IRG/WP 07-20361.
- Arya M, Shergill IS, Williamson M, Gammersall L, Arya N, Patel HRH, 2005. Basic principles of real-time PCR. *Expert Review of Molecular Diagnostics* 5: 209–219.
- Blaalid R, Carlsen T, Kumar S, Halvorsen R, Ugland KI, Fontana G, Kausarud H, 2012. Changes in the root-associated fungal communities along a primary succession gradient analysed by 454 pyrosequencing. *Molecular Ecology* 21: 1897–1908.
- Eikenes M, Hietala AM, Alfredsen G, Fossdal CG, Solheim H, 2005. Comparison of quantitative real-time PCR, chitin and ergosterol assays for monitoring colonization of *Trametes versicolor* in birch wood. *Holzfor-schung* 59: 568–573.
- Damon C, Lehembre F, Oger-Desfeux C, Luis P, Ranger J, Fraissinet-Tachet L, Marmeisse R, 2012. Metatranscriptomics Reveals the Diversity of Genes Expressed by Eukaryotes in Forest Soils. *PLoS ONE* 7: e28967. doi: 10.1371/journal.pone.0028967
- Dabney J, Meyer M, 2012. Length and GC-biases during sequencing library amplification: A comparison of various polymerase-buffer systems with ancient and modern DNA sequencing libraries. *BioTechniques* 52: 87–94.
- Diehl SV, Prewitt ML, Kang, YM, Magnum L, Tang, J.D. 2008. Wood decay research using molecular procedures, what can it tell us? Proceedings Americas regional Meeting, Costa Rica, International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 08-10678.
- Gelhay E, Morel M, 2009. Molecular microbiology and wood protection. International Research Group on Wood Preservation, 40th Annual Conference, Beijing, China, IRG/WP 09-20416.
- Ihrmark K, Bødeker ITM, Cruz-Martinez K, Friberg H, Kubartova A, Schenck J, Strid Y, Stenlid J, Brandström-Durling M, Clemmensen KE, Lindahl BD, 2012. New primers to amplify the fungal ITS2 region – evaluation by 454-sequencing of artificial and natural communities. *FEMS Microbiology Ecology* 82, 666–677.
- Jellison J, Goodell B, 1988. Immunological detection of decay in wood. *Wood Science and Technology* 22: 293–297.
- Jünemann S, Prior K, Szczepanowski R, Harks I, Ehmke B, Goesmann A, Stoye J, Harmsen D, 2012. Bacterial community shift in treated periodontitis patients revealed by ion torrent 16S rRNA gene amplicon sequencing. *PLoS ONE* 7(8): e41606. doi: 10.1371/journal.pone.0041606
- Kubartova A, Ottosson E, Dahlberg A, Stenlid J, 2012. Patterns of fungal communities among and within decaying logs, revealed by 454 sequencing. *Molecular Ecology* 21: 4514–4532.
- MacDonald J, Master ER, 2012. Time-dependent profiles of transcripts encoding lignocellulose-modifying enzymes of the white rot fungus *Phanerochaete carnosae* grown on multiple wood substrates. *Applied and Environmental Microbiology* 78: 1596–1600.
- Martinez D, Challacombe J, Morgenstern I, Hibbett D, Schmoll M, Kubicek CP, Ferreira P, Ruiz-Duenas FJ, Martinez AT, Kersten P, Hammel KE, van den Wymelenberg A, Gaskell J, Lindquist E, Sabat G, Splinter BonDurant S, Larrondo LF, Canessa P, Vicuna R, Yadav J, Doddapaneni H, Subramanian V, Pisabarro AG, Lavin JL, Oguiza JA, Master E, Henrissat B, Coutinho PM, Harris P, Magnuson JK, Baker SE, Bruno K, Kenealy W, Hoegger PJ, Kües U, Ramaiya P, Lucas S, Salamov A, Shapiro H, Tu H, Chee CL, Misra M, Xie G, Teter S, Yaver D, James T, Mokrejs M, Pospisek M, Grigoriev IV, Brettin T, Rokhsar D, Berka R, Cullen E, 2009. Genome, transcriptome, and secretome analysis of wood decay fungus *Postia placenta* supports unique mechanisms of lignocellulose conversion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106: 1954–1959.
- Mathieu Y, Dassé A, Lebayon I, Kutnik M, Harvenget L, Gelhay E, Buée M, 2013. High-throughput sequencing highlighted

- contrasted pioneer fungal communities associated to coniferous and deciduous wood preservation assays. Proceedings IRG Annual Meeting, Stockholm. Sweden, International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 13-10800.
- Nagy NE, Balance S, Kvaalen H, Fossdal CG, Solheim H, Hietala AM, 2012a. Xylem defense wood of Norway spruce compromised by the pathogenic white-rot-fungus *Heterobasidion parviporum* shows a prolonged period of selective decay. *Planta* 236: 1125-33.
- Nagy NE, Kvaalen H, Fongen M, Clarke N, Fossdal CG, Solheim H, Hietala AM, 2012b. The pathogenic white-rot fungus *Heterobasidion parviporum* responds to spruce xylem defense by enhanced production of oxalic acid. *Molecular Plant-Microbe Interaction* 25: 1450-1458.
- Nicholas DD; Crawford D, 2003. Concepts in the development of new accelerated test methods for wood decay. *Wood deterioration and preservation: advances in our changing world*. Washington, DC: American Chemical Society, c2003. ACS symposium series 845: 288-312.
- Pilgård A, Alfredsen G, Hietala AM, 2010. Quantification of fungal colonization in modified wood – qPCR as a tool for studies on *Trametes versicolor*. *Holzforschung* 64: 645-651.
- Tang JD, Parker LA, Perkins AD, Sonstegard TS, Schroeder SG, Nicholas DD, Diehl SV. 2013. Gene expression analysis of copper tolerance and wood decay in the brown rot fungus *Fibroporia radiculosa*. *Applied and Environmental Microbiology* 79: 1523-1533.

Critical factors for mould growth in Scandinavian buildings - A review

Maria Nunez

Mycoteam as, PO Box 5, NO-0313 Oslo 3, Norway

Corresponding author:
maria.nunez@mycoteam.no

Norwegian title: Kritiske faktorer for etablering av muggsopp-skader i bygninger i Skandinavia - En oversikt

Nunez M, 2014. Critical factors for mould growth in Scandinavian buildings - A review. *Agarica* 2014, vol. 34, 63-68.

KEY WORDS

Hygrothermal performance, growth requirements, indoor air, moulds, building ecology

NØKKELOORD

Hygrotermiske egenskaper, vekstkrav, inn klima, muggsopper, bygningsekologi

SAMMENDRAG

Kunnskap om artenes fysiologiske krav til etablering er viktige for å kunne velge bygningsløsninger som hindrer muggsoppvekst i fuktutsatte konstruksjoner. Fire abiotiske faktorer må være tilstede for at muggsopp kan kolonisere bygningsmaterialer: nok næring, gunstig temperaturforhold, gunstig fuktforhold, og nok tid. Ved å vite de kvantitative verdiene av disse variablene i en bestemt konstruksjon, kan vi forutsi sannsynligheten for at materialene kan angripes av muggsopp over tid, og det er også mulig å komme med gode estimater på hvilke arter det er som etablerer seg i de forskjellige materialene i forbindelse med fuktskader.

ABSTRACT

Knowledge on physiological demands of indoor species can facilitate building design

to prevent the risk of mould growth after moisture damage. Four abiotic factors are necessary for moulds to grow on building materials: suitable substrates, favourable temperature, adequate relative humidity (RH), and sufficient germination time. By knowing these variables in a given building construction, we can predict which materials can be colonized by moulds, as well as which species are most likely to establish on different substrates after moisture damage.

INTRODUCTION

Moulds are cosmopolitan micro organisms that grow and sporulate quickly on organic matter, including building materials. The presence of few spores on dusty surfaces is not considered abnormal, as indoor environments are not sterile. However, moisture damage can trigger mould growth and exponential spore production, causing negative effects in occupants' health (Borhegag et al. 2001). Cleaning and removal of infected materials after water damage can significantly improve the indoor environment (Pitkäranta et al. 2011).

Most mould species thrive under normal building conditions: they find sufficient nourishment in building materials, tolerate temperatures between -2 to +30°C, and need a relative humidity (RH) above 75 % in order to grow, depending on the mould species (Pasanen et al. 1992). The key to prevent indoor mould is to control moisture. Other parameters as elapsed time after water damage and micro climate are also important in mould growth prediction (Gobakken et al. 2008).

Buildings materials are not equally subject to mould growth. Mould growth occurs mainly on wood and wooden products, rich in organic compounds, and seldom in mineral insulation, ceramic products, and glues, low in organic compounds (Hyvärinen et al. 2002). The risk of mould growth increases if the material is soiled or covered with dust (Yang et al. 1996).

Once the material is wet, the time it takes for mould to start growing depends mainly on variations in temperature and RH within constructions. At optimal conditions, moulds can grow on porous building materials after just few days/weeks (Rowan et al. 1999).

The minimal RH required for mould growth decreases as nutrient availability and temperature increase (Grant et al. 1989). As an example, moulds that do not grow at 85% RH at 0°C can grow when temperature rises to 20°C (Fig. 1).

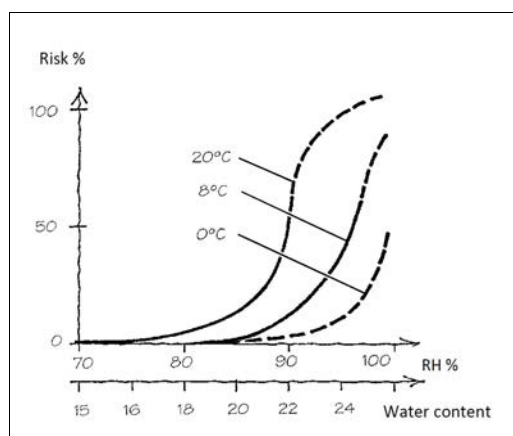


Figure 1. Risk for mould growth in relation to RH and temperature (Edwardsen 1992 after Grant et al. 1989).

HYGROTHERMAL PERFORMANCE OF BUILDING MATERIALS

Building design is an ever increasing research field that aims to control moisture damage in buildings. Several standards and recommendations in order to avoid moisture are produced

every year (Lstiburek 2002, ASHRAE 2009, SINTEF Byggforsk series). Still, moisture damage continues to be a problem.

Each building material has its critical moisture level, which varies with temperature and elapsed time. The moisture and heat transport in different building materials have been addressed by Nevander et al. (2007). Computer tools such as WUFI (www.wufi.de) have been developed to calculate the hygrothermal performance of building envelope designs. Divergences between real-life conditions and theoretical WUFI calculations are also addressed. Several mathematical models have been developed in order to predict the hygrothermal performance of building materials against mould growth (Rowan et al. 1999, Sedlbauer 2001, Viitanen 1997).

Viitanen and Ritschkoff (1991) studied the development of mould on wooden products by artificial inoculation in the laboratory. At 75% RH and 20°C temperature they could not detect mould growth even after one year. Johansson (2012) evaluated the critical moisture levels for ten different materials at constant and variable RH and temperature, both in laboratory conditions and in the field. She also provided a new method for evaluating the critical moisture level of any building material.

Viitanen (1997) predicted the establishment of mould on wood at both constant and changing RH and temperature. He showed that moulds can grow after few weeks/months at constant RH higher than 80 % and temperature between 5 - 50°C. Between 0 - 5°C moulds grew slowly, and only when RH was above 90%. Above 95% RH, mould growth initiated after few days when the temperature was between 25 - 40°C, while growth took about 4 - 8 weeks at temperatures between 10 - 20°C.

At variable RH and temperature, mould growth was slow, and the damage scope was reduced, because dry periods inhibited fungal growth.

Table 1. Critical moisture levels for mould growth in building materials in Denmark (after Valbjørn 2003).

Materials	Side	No growth	Weak growth	Moderate growth	Extensive growth
Wood, early damaged fibreboard, wall paper, dusty mineral insulation, dusty organic insulation	Warm	< 75 %	75-80 %	80-85 %	> 85 %
	Cold	< 85 %	85-90 %	90-95 %	> 95 %
Gypsum boards	Warm	< 85 %	85-90 %	90-95 %	> 95 %
	Cold	< 90 %	90-95 %	90-95 %	> 95 %
Concrete, stone	Warm	< 95 %	> 95 %	> 95 %	Long-term moisture damage
	Cold	< 95 %	> 95 %	--	
Mineral insulation	Warm	< 99 %	> 99 %	Only if dusty	Dusty and long-term moisture damage
	Cold		> 99 % and dust		

As a criterion to assess the moisture performance of building substrates, Viitanen (1997) developed a mould index with values from 0 to 6. The mould index has been calculated for several building materials as concrete, gypsum board, different types of thermal insulation, and several wood products in later versions of the model (Viitanen and Ojanen 2007).

Until now, mathematical models have treated mould as a group, without distinguishing between growth preferences of different mould species.

CRITICAL RH FOR MOULD DAMAGE IN BUILDING MATERIALS IN SCANDINAVIA

Norwegian, Swedish and Danish building institutes have published the critical RH for mould growth in different building materials. Data from Denmark focus on temperature differences between the cold and the warm side of the material (Table 1). Swedish building authorities postulate that building materials

where the critical RH is unknown must follow the 75 % norm (Table 2). Norwegian recommendations for wood take into consideration different constructions in order to calculate

Table 2. Critical moisture levels for mould growth in building materials in Sweden (after Johansson et al. 2005).

Material groups	Critical moisture levels (RF)
Dusty materials	75 – 80 %
Wood- and wood-based materials	75 – 80 %
Gypsum board with paper	80 – 85 %
Mineral insulation	90 – 95 %
Expanded polystyrene (EPS)	90 – 95 %
Concrete	90 – 95 %

the risk of moisture damage (Table 3). Norwegian recommendations for concrete are also described in Rydbeck (2006).

COMMON INDOOR MOULD GENERA

All moulds occurring indoors have been described from nature. Andersen et al. (2011)

Table 3. Critical moisture levels for wood in Norway (after Rydock 2006).

Material/construction	Description	Critical levels (moisture content, %)
Wood	Above grade	20%
	Below grade	15%
	Under parquet floor	12%
Plate flooring with tight coating, without floor heating	Chipboard	12%
	Waterproof chipboard	11%
	Fibreboard	9%
	Plywood	15%
Plate flooring with tight coating, floor heating	Chipboard	7%
	Waterproof chipboard	7%
	Fibreboard	7%
	Plywood	7%
Board flooring (solid wood)	Whole-year warm building	10%
	Summer house	16%
Façade, wooden panelling that will be painted	Outdoor panelling (with primer)	20%
	Outdoor panelling	15%
	Indoor panelling	15%
	Chipboard	12%
	Fibreboard	9%

found at least 45 species of indoor moulds in Danish buildings, after sampling 5300 surfaces with visible mould growth by means of contact Petri dishes. Hyvärinen (2002) found fungi from at least 22 genera from 1140 visibly damaged samples of building material in Finish houses. Common genera indoors are *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Chaetomium*, *Stachybotrys*. Since growth requirements vary for each species (deHoog et al. 2000), species composition in different construction niches is probably determined by the prevailing environmental parameters, specific physiological requirements of the involved species, and species interactions, besides the advantage of the first occupant or assembly history (Fukami et al. 2010).

Optimal temperature and RH conditions for mould growth obtained from laboratory tests can to a certain extent be extrapolated to the building environment. In buildings, these abiotic factors are seldom constant. Further, species are exposed to competition from other micro organisms, and even predation (Yang 1996).

MOISTURE SOURCES AND INDICATOR MOULD

The most common moisture damages that trigger mould growth are infiltration, condensation, leakage, insufficient drying of new constructions, and high RH. Residents also contribute to increase moisture indoors.

Substrate preferences for water-damaged building materials have been extensively addressed in previous publications (Pasanen et al. 1992, Gravesen et al. 1999, Nielsen 2002, Andersen et al. 2011). However, few studies focus on building constructions as ecological niches (Pessi et al. 2002).

Nunez et al. (2012) summarized the ecological trends of the most common mould genera found indoors, based on a database of building control assessments compiled over a seven-year period (2001-2006). Results show that several genera are specialised in different constructions, for example *Cladosporium* and *Ulocladium* species occur preferably on outer walls with condensation problems, *Chaetomium* and *Stachybotrys* species on cellulose-rich substrates in bathrooms after leakage,

Ascotricha and *Myxotrichum* species on cellulose-rich substrates in below-grade foundation walls, *Chrysosporium* species on wood and wood products in non-insulated rooms as crawlspace and attics, and *Hyalodendron* species on wood in cold attics. Among genera occurring in the same type of construction, there are often differences on substrate preferences.

ECOLOGICAL SUCCESSION OF INDOOR MOULD GROWTH

Grant et al. (1989) described the typical succession of mould species after water damage. Different species colonize the substrate depending on their physiological needs. Species growing at under 80% RH (xerophilic species) are called primary colonizers, and typically use simple sugars as nourishment. Examples of these are *Aspergillus* and *Penicillium* species. As RH rises to 80-90%, secondary colonizers such as *Acremonium*, *Cladosporium* and *Ulocladium* species thrive. At RH above 90%, tertiary colonizers (hygrophilic species), capable of degrading cellulose and other crystalline sugars and typically developing sexual spores, such as *Chaetomium*, *Myxotrichum* or *Ascotricha* species, constitute the mature phase in the succession. As the substrate begins to dry, primary colonizers can re-colonize the substrate again. Yang (2007) established the relationships between growth requirements of tertiary colonizers and the time needed for them to grow, in order to determine the age of mould damage (referred as microbial forensics).

Knowledge on building microbial physiology and ecology can be used to infer how environmental factors determine the distribution of taxa in building materials and structures, and choose building designs that ultimately help improve the occupants' welfare.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to all my Mycoteam colleagues for inspiring discussions on indoor building design and biology.

REFERENCES

- Andersen B, Frisvad JC, Søndergaard IS, Rasmussen S, Larsen LS, 2011. Associations between fungal species and Water-Damaged Building Materials. *Applied and Environmental Microbiology* 77: 4180-4188.
- ASHRAE 160-2009. Criteria for moisture-control design analysis in buildings. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- Bornehag CG, Blomquist G, Gyntelberg F, Järholm B, Malmberg P, Nordvall L, Nielsen A, Pershagen G, Sundell J, 2001. Dampness in Buildings and Health. *Indoor Air* 11: 72-86.
- Edvardsen KI, 1992. Hus og helse. Statens Bygningstekniske Etat, Oslo.
- Fukami T, Dickie IA, Wilkie JP, Paulus BC, Park D, Roberts A, Buchanan PK, Allen, RB, 2010. Assembly history dictates ecosystem functioning: evidence from wood decomposer communities. *Ecology Letters* 8: 1283-1290.
- Gobakken LR, Mattsson J, Alfredsen G, 2008. In-service performance of wood depends upon the critical in-situ conditions. Case studies. The International Research Group on Wood Protection, 39th Annual Conference, Istanbul, Turkey, IRG/WP 08-20382.
- Grant C, Hunter CA, Flannigan F, Bravery AF, 1989. The moisture requirements of moulds isolated from domestic dwellings. *International Biodeterioration and Biodegradation* 25: 259-284.
- Gravesen S, Nielsen PA, Iversen R, Nielsen KF, 1999. Microfungal Contamination of Damp Buildings - Examples of Risk Constructions and Risk Materials. *Environmental Health Perspectives* 107(Suppl 9): 505-508.
- de Hoog GS, Guarro J, Gené J, Figueras MJ, 2000. Atlas of clinical fungi. CBS, Utrecht.
- Hyvärinen A, Meklin T, Vepsäläinen A, Nevalainen A, 2002. Fungi and actinobacteria in moisture-damaged building materials: concen-

- trations and diversity. *International Biodeterioration and Biodegradation* 49: 27–37.
- Johansson P, Samuelson I, Ekstrand-Tobin A, Mjörnell, K, Sandberg PI, Sikander E, 2005. Microbiological growth on building materials – critical moisture levels. State of the art. SP Swedish National Testing and Research Institute, Borås.
- Johansson P, 2012. Critical moisture conditions for mould growth on building materials. Rapport TVBH-3051, Lund University.
- Lstiburek J, 2002. Moisture control for buildings. *ASHRAE Journal*, Report 02-045: 36-41. Building Science Press.
- Nevander LE, Elmarsson B, 2007. Fukthandboken – praktik och teori. AB Svensk byggtjänst, 3. Utg. Elanders Infologistics Väst AB, Mölnlycke.
- Nielsen KF, 2002. Mould growth on building materials. Secondary metabolites, mycotoxins and biomarkers. Ph.D. thesis. Biocentrum-DTU, Technical University of Denmark, Hørsholm.
- Nunez M, Sivertsen MS, Mattsson J, 2012. Growth preferences on substrate, construction, and room location for indoor moulds and Actinomycetes. *Proceedings of Healthy Buildings 2012*, Vol 1, 5H.3.
- Pasanen AL, Juutinen T, Jantunen MJ, Kalliokoski P, 1992. Occurrence and moisture requirements of microbial growth in building materials. *International Biodeterioration and Biodegradation* 30: 273-283.
- Pessi AM, Suonketo J, Pentti M, Kurkilahti M, Peltola K, Rantio-Lehtimäki A, 2002. Microbial growth inside insulated external walls as an indoor air biocontamination source. *Applied and Environmental Microbiology* 68: 963-967.
- Pitkäranta M, Mekling T, Hyvärinen A, Nevalainen A, Paulin L, Auvinen P, Lignell U, Rintala H, 2011. Molecular profiling of fungal communities in moisture damaged buildings before and after remediation – a comparison of culture-dependent and culture-independent methods. *BMC Microbiology* 11: 235-251.
- Rowan NJ, Johnstone CM, McLean RC, Anderson JG, Clarke JA, 1999. Prediction of toxigenic fungal growth in buildings by using a novel modelling system, *Applied and Environmental Microbiology* 65: 4814-4821.
- Rydock JP, 2006. Byggfukt. Uttørring og forebyggende tiltak. Byggforskserien 474.533.
- Sedlbauer K, 2001. Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components. Ph.D. thesis, University of Stuttgart, Germany.
- SINTEF Byggforsk series. Kunnskapssystemer. Available at <http://bks.byggforsk.no/>. Cited August 20 2013.
- Valbjørn O, 2003. Undersøgelse og vurdering af fugt og skimmelsvampe i bygninger. By og Bygg Anvisning 204, Hørsholm.
- Viitanen HA, 1997. Modelling the time factor in the development of mould fungi - the effect of critical humidity and temperature conditions on pine and spruce sapwood. *Hozforschung* 51: 6-14.
- Viitanen HA, Ritschkoff AC, 1991. Mould growth in pine and spruce sapwood in relation to air humidity and temperature. Swedish University of Agricultural Sciences, Dept. Forest Products, Uppsala, Report 221.
- Viitanen H, Ojanen T, 2007. Improved model to predict mold growth in building Materials. X ASHRAE symposium.
- Yang CS, 1996. Fungal colonization of HVAC fiber-glass air-duct liner in the USA. *Proceedings of the Indoor Air Conference* 3: 173-177.
- Yang CS, Foarde KK, Vanosdell DW, 1996. Assessment of fungal (*Penicillium chrysogenum*) growth on three hvac duct materials. *Environment International* 22: 425-431.
- Yang CS, Heinsohn PA, 2007. A retrospective and forensic approach to assessment of fungal growth in the indoor environment, in: *Sampling and analysis of indoor microorganisms*, New Jersey.

Muggsoppспорer i luftprøver

Johan Mattsson, Ingrid Grønli, Cathrine Marie Whist, Anne Tine Ødegaard
Mycoteam as, Pb. 5 Blindern, NO-0313 Oslo

Kontakt: johan@mycoteam.no

English title: Mould spores in air samples
Mattsson J, Grønli I, Whist CM, Ødegaard AT, 2014

Mattsson J, Grønli I, Whist CM, Ødegaard AT, 2014. Muggsoppспорer i luftprøver. *Agarica* 2014, vol. 34, 69-76.

NØKKEWORD

Aspergillus, *Cladosporium*, luftanalyser, muggsoppспорer, *Penicillium*, årstidsvariasjoner

KEYWORD

Air samples, *Aspergillus*, *Cladosporium*, Mould spores, *Penicillium*, season variations

ABSTRACT

There are natural variations in the amounts and types of mold spores in the air outdoors. When sampling airborne mold in indoor air quality investigations the background levels from outdoor air must be taken into account. The sampling of airborne mold spores in indoor air quality investigations, one must therefore take into account the background levels is of mold spores at any time in the outdoor air. The results in this article are based on air analysis of viable mold spores. The result of three years of sample analysis shows the variation of amounts and types of mould spores that occur through the seasons. The genus *Cladosporium* species with *C. herbarum*, *C. cladosporoides*, *C. sphaerospermum* and *C. macrocarpum* is certainly the most frequently occurring in outdoor samples. Normal finding is also a species of the genus *Penicillium*, mainly *P. chrysogenum*. A large group of the spores present in air

samples, especially in summer and autumn are sterile and shows only vegetative growth. They are by that reason not identified. Moreover, it is often occurrence of spores from basidiomycetes and ascomycetes, but they are never identified. Knowledge of what one would expect of the quantities and types of mold spores in outdoor air makes future assessment of indoor air quality with respect to mold spores easier because it is possible to predict with a greater accuracy what is due to a random distribution of outdoor air and what is likely due to local mold damage.

SAMMENDRAG

Det er naturlige variasjoner i mengder og typer av muggsoppспорer i luften utendørs. Ved prøvetaking av luftbårne muggsoppспорer i inneklimateundersøkelser, må man derfor ta hensyn til hvilke bakgrunnsverdier det er av muggsoppспорer til enhver tid i uteluften. Resultatene i artikkelen er basert på luftanalyser av spiredyktige muggsoppспорer. Resultatene av tre års prøveanalyser viser hvilke mengder og typer som forekommer, samt hvordan fordelingen av disse sporene varierer gjennom året prøver tatt ute og inne. Slekten kondensmuggsopper *Cladosporium* med artene kondensmugg (*C. herbarum*), småsporet kondensmugg (*C. cladosporoides*), flercelle-sporet kondensmugg (*C. sphaerospermum*) og storsporet kondensmugg (*C. macrocarpum*) er absolutt mest hyppig forekommende i utendørsprøvene. Vanlig å finne er dessuten noen arter i slekten penselmuggsopper (*Penicillium*), særlig penicillinmugg (*P. chrysogenum*). En stor gruppe av de sporene som forekommer i luftprøver, særlig om sommeren og høsten opptrer som sterilt vev ved dyrking. Disse blir av den grunn ikke identifiserte, men

antas å tilhøre gruppene stilksporesopper og sekksporesopper i langt større grad enn muggsopper. Kunnskap om hva man kan forvente av mengder og typer av muggsoppsspore i uteluften gjør fremtidig vurdering av inneklima med henblikk på muggsoppsspore enklere. Dette fordi man da med større sikkerhet kan forutsi hva som skyldes en tilfeldig spredning fra uteluften og hva som trolig skyldes lokale muggsoppskader innendørs.

INTRODUKSJON

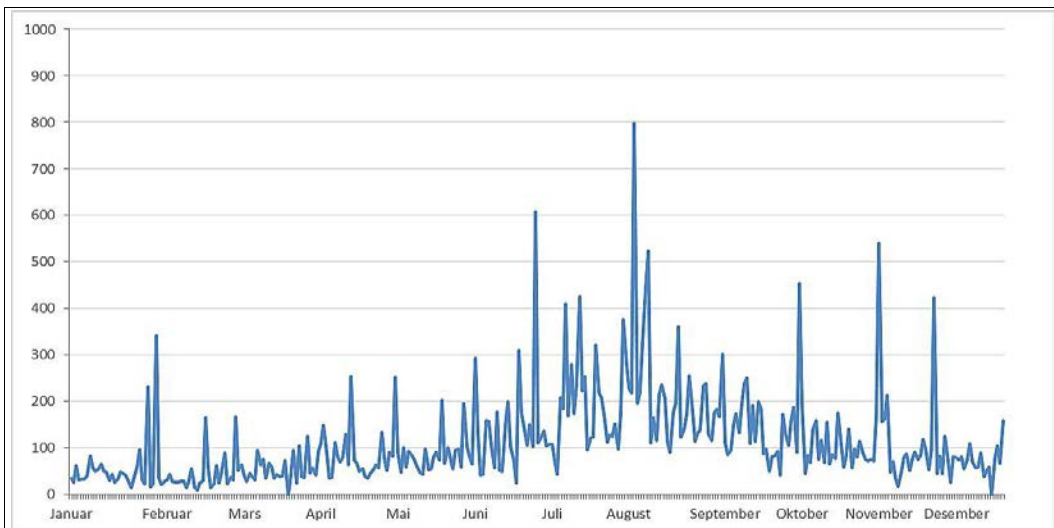
Muggsopp er svært vanlig forekommende utendørs i forbindelse med nedbrytning av lett tilgjengelige næringsstoffer og i planter og planterester (Domsch et al. 1980, Samson et al. 2004). Dette betyr at det er normalt med spredning av muggsoppsspore i uteluft. Avhengig av årstider, værtyper og lokale forhold kan både mengder og typer muggsoppsspore variere (Samson et al. 2004, Mattsson 2004).

I Norge har svært mange boliger og andre bygninger der personer oppholder seg (skoler, barnehager, kontorer o.l.) naturlig ventilasjon eller mekanisk avtrekksventilasjon (Skåret og Blom 1994 a, b). Det betyr at de har en tilførsel av friskluft via lufteluker i vegger, luftespalter over vinduer, avtrekk via luftkanaler på bad og kjøkken samt eventuelt pipeløp som går over tak. Ved en slik ventilasjon vil de muggsoppsporene som er i uteluften komme inn ved normal utlufting. I et anlegg for balansert ventilasjon forekommer det som regel filtrering av tilluft (Hestad 2005). Dette innebærer at svært få muggsoppsspore kommer inn i bygningen via ventilasjonsluften.

I løpet av de seneste 30-40 årene har det vært stort fokus på muggsoppskader i bygninger og hvilken effekt de kan ha på inneklima og helse. Det er etter hvert godt kjent at muggsoppeskponering kan føre til helsemessige plager (Holme et al. 2010), både i form av plager som tretthet, hodepine, konsentrasjonsproblemer og slimhinneirritasjoner

samt luftveisplager som hoste, astma og allergireaksjoner (Nasjonalt folkehelseinstitutt 2013). Det finnes ikke kunnskap om hvilken eksponering som skal til for at en spesiell reaksjon oppstår (Nasjonalt folkehelseinstitutt 2013). På grunn av at helsemessige reaksjoner er basert på individuelle tålegrenser, finnes det ikke en angitt grense for hva som er normalt eller akseptabelt av mengde eller type av muggsoppsspore i luft (WHO 2009). Ved undersøkelse av inneklima er det derfor normalt at man klarlegger hvilke mengder og typer av muggsoppsspore som forekommer i inne luften (Adams et al. 2013, Mattsson 2004, Samson et al. 2004). For å kunne avklare hva som kommer fra eventuelle kilder innendørs i forhold til det som naturlig er kommet inn med ventilasjonsluften, må man ta referanseprøver av uteluften.

Selv om det ikke er dokumentert en klar sammenheng mellom muggsoppeskponering og helse, er det en klar sammenheng mellom opphold i muggsoppskadede bygninger og helseeffekter (Folkehelsa 2013). Det er derfor viktig å klarlegge eventuelle muggsoppskader i bygninger. Fordi mange skader skjer inne i lukkede konstruksjoner, slik som utlektede kjellervegger, kjellergulv, krypekjellere og takkonstruksjoner (Holøs 1995, Nunez 2012), er disse skadene vanskelige å oppdage ved en visuell undersøkelse (Mattsson 2004). Luftanalyser kan gi en god forståelse for opprinnelsen til sporene – enten de kommer utenfra eller om det er en kilde innendørs (Adams et al. 2013). Det mønster man kan påvise av arter og mengder av muggsoppsspore i luftprøver ulike steder i en bygning kan derfor både gi viktig indikasjon på hvor skadene forekommer, samt hvilken belastning de har på inneklimate. For å eliminere påvirkningen fra uteluften må man derfor kunne skille ut hva som er naturlig forekommende muggsoppsspore som er kommet inn via ventilasjonsluften. Med kunnskap om hvordan konstruksjoner er oppført, hvordan luft-



Figur 1. Grafisk fremstilling av gjennomsnittlig kde (kolonidannende enhet)/m³ pr. dag. Mengden muggsopp sporer er basert på 3 års prøvetaking av uteluft (n = 5876).

Graphic illustration of the average cfu (colony forming unit)/m³/day. Mould amounts based on 3-year sampling of outdoor air (n = 5876).

bevegelser forekommer i bygninger og hvilke økologiske krav ulike muggsopparter har for etablering og vekst, kan man ofte avklare hvor eventuelle skjulte skader er og hvorfor de forekommer der.

Mycoteam har analysert luftprøver av muggsopp sporer siden 1988. Dette har gitt et omfattende kunnskapsgrunnlag for å se hva som er normalt å finne i uteluften ved forskjellige årstider.

Denne artikkelen beskriver hvilke mengder og typer av spiredyktige muggsopp sporer¹ som er vanlig forekommende i luftprøver.

MATERIALE OG METODER

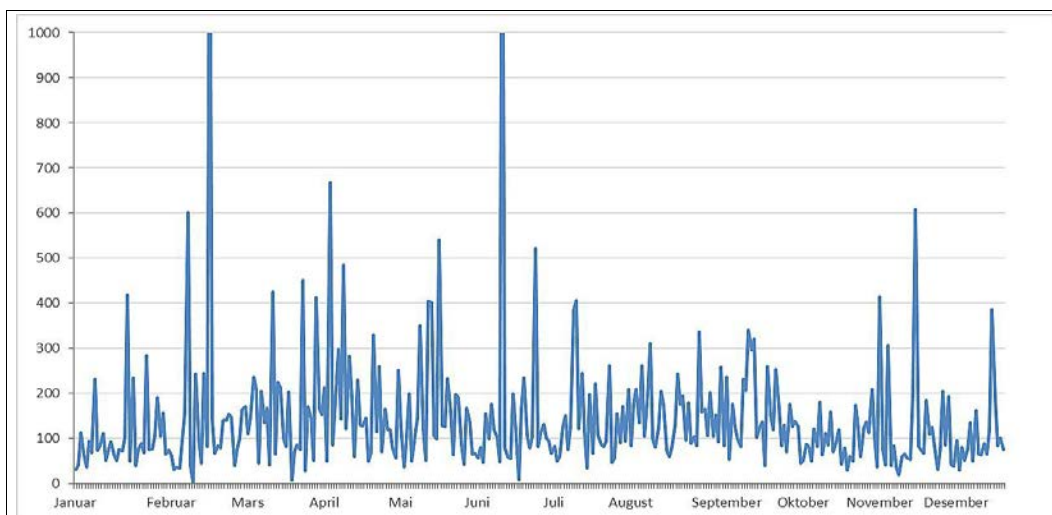
Luftprøvene er tatt med MicroBio 2 (MB2; Parret inc., Bromley, Kent, England), som er et håndholdt, batteridrevet instrument. Ved prøvetakingen suges 100 liter luft i løpet av et minutt inn via 220 hull i et lokk. Luften passerer over en dyrkningsskål (55 millimeter i

1 kde: Etablerte kolonier på dyrkningsskålene kommer fra spiredyktige muggsopp sporer og hyfefragment. Antall kde angis/m³ luft.

diameter) med et egnet næringsmedium. Den høye lufthastigheten som er inn mot skålen fører til at sporene fester seg til den klebrige overflaten. Ved hvert prøvetakingstilfelle ble det tatt to luftprøver, en på MEA (2% malt extract agar) og en på DG18 (Dichlorane glycerol 18% agar).

Prøvene ble dyrket i 7 døgn ved 22 °C. Analysene gjennomføres ved lysmikroskopi-ering (400x og 1.000x forstørrelse) og de oppdyrkede muggsoppene ble hovedsakelig identifisert til slektsnivå. Alle norske navn som benyttes i denne artikkelen er i henhold til Norsk soppnavn 4. utgave (2011).

Materialet som denne artikkelen er basert på er tatt ulike steder i hele Norge gjennom en periode på 3 år (2008 – 2010). Totalt er det tatt 5876 prøver av uteluften på 2938 ulike steder. Prøver fra inneluften er tatt på 6100 ulike steder og hentet fra 8938 ulike rom i forskjellige type bygninger. Det er totalt registrert 18 059 kolonier av muggsopp i uteprøver og 94 938 kolonier av muggsopp i inneprøver.



Figur 2. Grafisk fremstilling av gjennomsnittlig kde/m³ pr. dag. Muggsopp mengder basert på 3 års prøvetaking av inneluft (n = 6100).

Graphic illustration of the average cfu/m³/day. Mould amounts based on 3-year sampling of outdoor air (n = 6100).

RESULTATER

Målingene av spiredyktige muggsoppssporene i uteluften gjennom tre år (2008 - 2010) viser en klar årstidsvariasjon for uteprøver (Fig. 1). Det fremgår som forventet at det utendørs er en økning av antall muggsoppssporene i den varme årstiden og utover høsten, i forhold til den kalde perioden om vinteren.

Tilsvarende data for inneluft viser ikke den samme årstidsvariasjonen (Fig. 2). Prøvene av inneluft er tatt fra bygninger der det er skader eller er mistanke om at det er skader. Disse representerer altså ikke normal innhold av muggsopp.

Resultatene viser at sporer fra slekten kondensmuggsopper (*Cladosporium*) er vanlig utendørs og at de følger en årstidsvariasjon med høyest verdier i perioden juni - september (Fig. 3). De tilsvarende prøvene tatt innendørs viser ikke tilsvarende årstidsvariasjon.

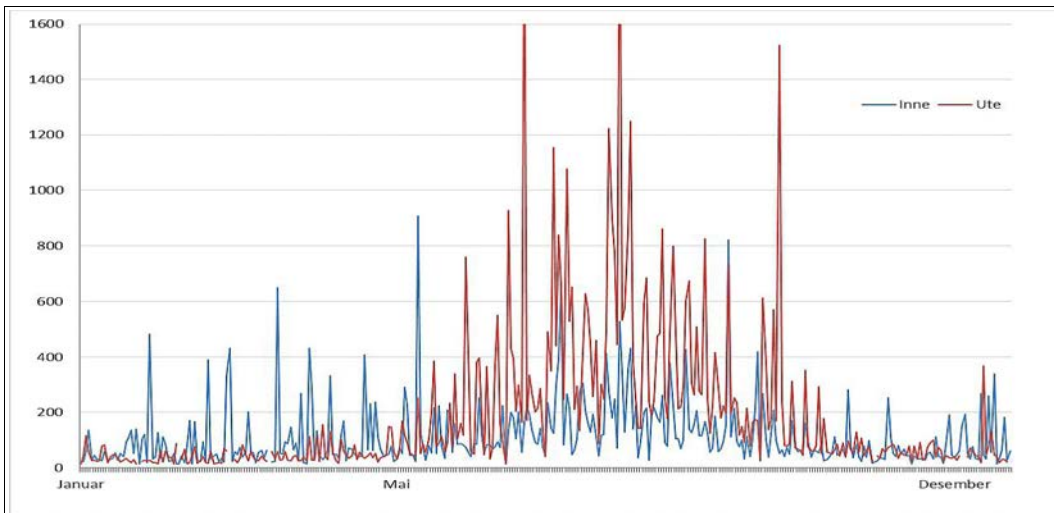
Tilsvarende resultater for slekten strålemuggsopper (*Aspergillus*) viser generelt lavere verdier i uteprøvene og viser ingen årstidsvariasjon. Dessuten er denne slekten mest vanlig innendørs og resultatene utendørs

viser ingen årstidsvariasjon (Fig. 4).

Slekten penselmuggsopp (*Penicillium*) som også er en vanlig i forbindelse med fukt og vannskader i bygninger viser tilsvarende resultater som strålemuggsopper (*Aspergillus*), med lave verdier i uteprøver og ingen årstidsvariasjon.

Totalt ble det identifisert 109 muggsopp-slekter og -arter i prøvene fra inneluft og 67 i uteluften. Figur 4 og 5 viser den relative hyppigheten av de vanligste slekter og arter i de analyserte prøvene. Det fremgår der at sporer fra slektene penselmuggsopper (*Penicillium*), kondensmuggsopper (*Cladosporium*) og strålemuggsopper (*Aspergillus*) var klart dominerende og forekom hyppig i prøvene både ute og inne. Den relative fordelingen mellom de ulike muggsoppene er tydelig (Figs. 5 og 6).

To muggsopparter som er vanlig forekommende i vannskader er raggråtemugg (*Chaetomium globosum*) og svart vannskademugg (*Stachybotrys chartarum*) (Mattsson 2004). Analysene viser at de var sjelden forekommende i luftprøver. Resultatene viser



Figur 3. Grafisk fremstilling av gjennomsnittlig kde/m³ pr. dag av kondensmuggsopper på 3 års prøvetaking av uteluft (røde linjer, n = 5876) og inneluft (blå linjer, n = 6100).

Graphic illustration of the average cfu/m³/day through 3-year sampling of *Cladosporium spp.* in outdoor air (red line, n = 5876) and indoor air (blue line, n = 6100).

at i de tilfeller de ble identifisert, skjedde dette klart oftere i inneprøver enn i uteluften (Tabell 1).

DISKUSJON

Vurdering av inneklima med henblikk på eksponering fra muggsoppskader skjer ofte på grunnlag av luftanalyser. Slike luftanalyser er ofte basert på en kortvarig filtrering av en bestemt mengde luft. Analyse av slike prøver viser dermed et øyeblikksbilde av hva som fantes av spiredyktige muggsoppsporer i den luft som er suget inn i måleinstrumentet. Dette betyr at det er en rekke muligheter for feilkilder og man må utvise en forsiktighet i å tolke resultatene, særlig med henblikk på eventuell kobling mot helsemessige aspekter

(Nasjonalt folkehelseinstitutt 2013). Våre resultat med henblikk på forekomst og fordeling av ulike slekter og arter stemmer imidlertid godt overens med andre undersøkelser fra Belgia (Nolard 2001) og Sverige (Holme et al. 2010).

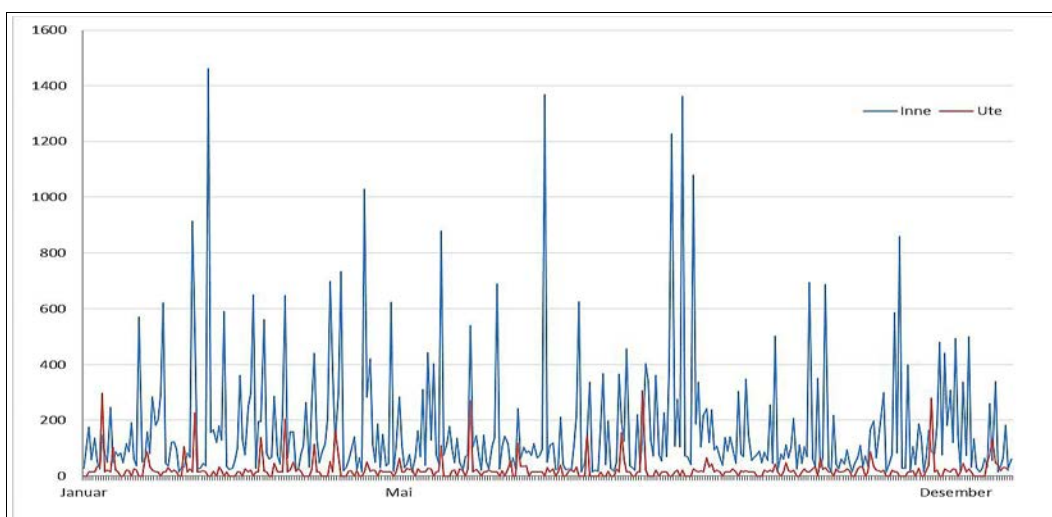
Resultatene fra uteluften gir et bilde av årstidsvariasjonen på artssammensetning og mengder i løpet av året i Norge, men det vil være store lokale variasjoner på grunn av forskjeller i klima og været dagen prøven ble tatt. Prøvene av inneluft og resultatene fra disse som er med her er alle tatt fra bygninger der det er, eller er mistanke om fukt og inneklimaproblemer. Disse resultatene gir derfor et bilde av hvilke typer muggsopp som er å finne i bygninger med vannskader eller fuktproblemer.

Det kan forekomme lokale variasjoner i luftanalyser som det er viktig å ta hensyn til ved tolkningen. Bruk og lufting av lokalet, ventilasjon, renhold, oppvirvling av deponert støv eller håndtering av

Tabell 1. Forekomst av to muggsopparter i prøvesettet som er vanlig forekommende i vannskader ($n_{ute} = 5876$, $n_{inne} = 6100$).

Presence of two mould species that is commonly found in water damages ($n_{outdoor} = 5876$, $n_{indoor} = 6100$).

Art	Inneluft	Uteluft
<i>Chaetomium globosum</i>	691 tilfeller (1,20 %)	29 (0,30 %)
<i>Stachyotrys chartarum</i>	146 (0,25 %)	2 (0,02 %)

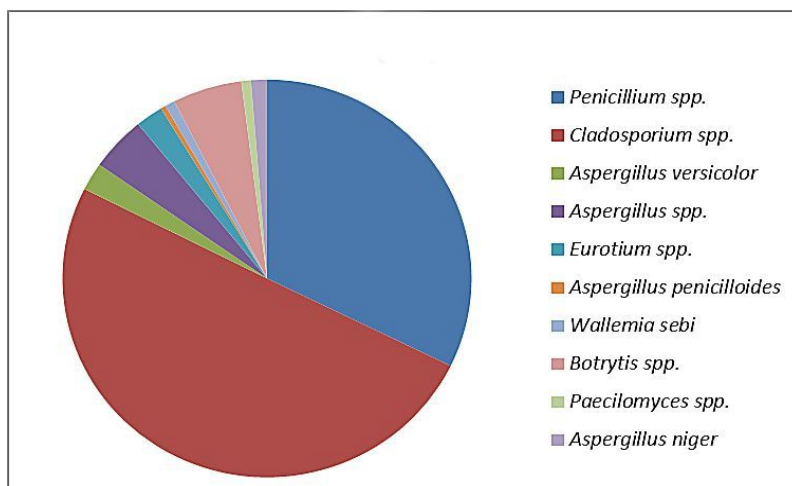


Figur 4. Grafisk fremstilling av gjennomsnittlig kde/m³ pr. dag av strålemuggsopper på 3 års prøvetaking av uteluft (røde linjer, n = 5876) og inneluft (blå linjer, n = 6100).

Graphic illustration of the average cfu/m³/day through 3-year sampling of Aspergillus spp. in outdoor air (red line, n = 5876) and indoor air (blue line, n = 6100).

muggsoppinfiserte materialer kan gi en åpenbar feilkilde i forhold til normalsituasjonen. Videre kan årsidsvariasjonen i bygningsfysikken med tanke på luftbevegelser forårsake vesentlig forskjeller i eksponering gjennom

et år (Mattsson 2002). Ved tolkning av luftanalyser må man derfor ha en god kjennskap til den aktuelle bygningen og forutsetningen som var tilstede ved prøvetakingen.



Figur 5. Relativ fordeling av de ti vanligst forekommende muggsopp-slektene og arter i uteluft.

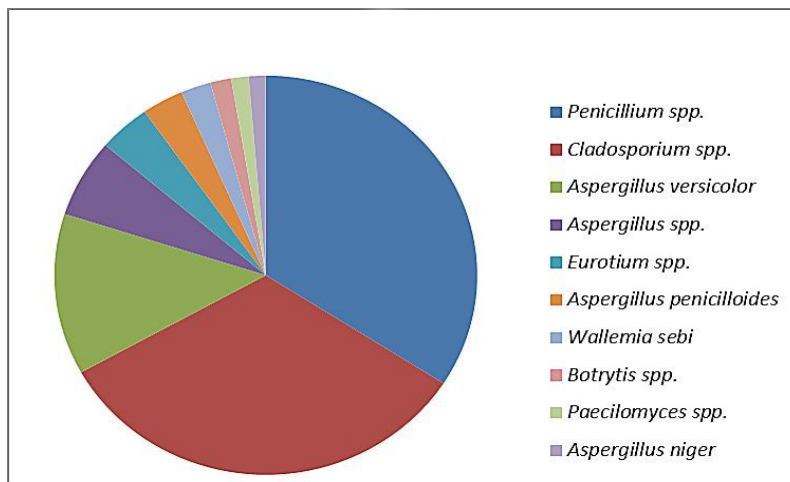
Relative distribution of the ten commonly occurring mould genera and species in outdoor air.

Sporer av kondensmuggsopp (*Cladosporium*) er vanligst å finne i uteluft og denne viser en klar årstidsvariasjon i mengde. Dette betyr at forekomst av slike sporer i inneluften ofte kan skyldes en naturlig spredning fra uteluft. Skader innendørs av kondensmuggsopp (*Cladosporium*) er ofte godt synlig på overflater med kondensproblemer (Mattsson 2004). Det betyr at man lett kan avklare eventuelle kilder av sporer til disse artene. Sporer av penselmuggsopper (*Penicillium*) og strålemuggsopper (*Aspergillus*) viser ingen årstidsvariasjon i luften utendørs. Ved skader innendørs vokser disse slektene ofte i forbindelse med vannskader (Mattsson og Stensrød 2009) eller generelle problemer med høy relativ luftfuktighet. Slike skader er ofte vanskeligere å oppdage, og tilstedeværelse i luftanalyser gir derfor viktig indikasjon på at det finnes en skade og hvor eventuelle skader er. Sporer fra raggråtemugg (*Chaetomium globosum*) og svart vannskademugg (*Stachybotrys chartarum*) spres kun i begrenset omfang til luften. Siden artene er meget sterkt knyttet til vannskadede gips- og sponplater

(Mattsson og Stensrød 2009) gir selv lave verdier en avgjørende opplysning om lokale vannskader.

Slekt- og artsdiversiteten i ute- og inneprøver viser at det er funnet klart flere slekter og arter innendørs enn utendørs. I uteprøvene er det i denne tre års perioden funnet 67 ulike slekter eller arter, mens det i inneluften er funnet 109. Mens penselmuggsopp (*Penicillium*) er funnet like hyppig i uteprøver (Fig. 5) som i inneprøver (Fig. 6) er kondensmuggsopper (*Cladosporium*) klart mer dominerende slekt i uteprøver og funnet i 50% av prøven (Fig. 5) mens de er funnet i 33% av inneprøver (Fig. 6). Strålemuggsopp (*Aspergillus*) viser et motsatt bilde av kondensmuggsopp (*Cladosporium*) og er oftere funnet i 22% av inneprøver (Fig. 6) og bare i 6% av uteprøvene (Fig. 5).

Disse forholdene viser dermed at en målrettet prøvetaking og vurdering av muggsopp-sporer i luft kan gi viktig informasjon om både hvordan inneklimate er, samt hvor og hvorfor eventuelle skader forekommer i bygninger. Ved tolkning av luftprøver er både artssammen-



Figur 6. Relativ fordeling av de ti vanligst forekommende muggsopp-slektene og arter i inneluft.

Relative distribution of the ten commonly occurring mould genera and species in indoor air.

setning og mengden av spiredyktige sporer viktige for å kunne gi et riktig og godt svar.

KONKLUSJON

Luftanalyser av muggsoppssporene kan gi vesentlig informasjon om eventuelle skjulte fukt og muggskader inne i konstruksjoner og eksponering til innneklimaet. Ved eventuelle skader innendørs gjenspeiles dette i form av et avvik i artssammensetning og mengder i forhold til uteluften.

For å kunne avklare om det er et avvik i inneluften, må man sammenligne resultatene med referanseprøver av uteluften for å vurdere hva som er forventet forekomst.

REFERANSER

- Adams R, Mileto M, Taylor JW, Burns TD, 2013. Dispersal in microbes: Fungi in indoor air are dominated by outdoor air and show dispersal limitation at short distances. *The ISME Journal* (2013), 1-12. International Society for Microbial Ecology.
- Domsch KH, Gams W, Anderson T, 1980. *Compendium of soil fungi*. Academic press, London.
- Hestad T, 2005. Filtrering av luft i ventilasjonsanlegg. Byggforskserien A 552.331. SINTEF Byggforsk, Oslo.
- Holme J, Hägerhed-Engman L, Mattsson J, Sundell J, Bornehag C-G, 2010. Culturable mold in indoor air and its association with moisture-related problems and asthma and allergy among Swedish children. *Indoor Air* 2010 20: 329-340.
- Holøs S, 1995. Mould growth in Norwegian homes. *Proceedings to Indoor air quality in practice. Moisture and Cold Climate Solutions*, Oslo.

- Norges sopp- og nyttevekstforbund, 2011. *Norske soppnavn*, 4. utgave 2011.
- Norsk folkehelseinstitutt, 2013. *Anbefalte faglige normer for innneklima. Revisjon av kunnskapsgrunnlag og normer*. Oslo.
- Mattsson J, 2002. Negative influence on IAQ by air movement from mould contaminated constructions into buildings. *Proceedings in Indoor Air 2002*, Monterey.
- Mattsson J, 2004. *Muggsopp i bygninger. Forekomst, påvisning, vurdering og utbedring*. Mycoteam, Oslo.
- Mattsson J, Stensrød O, 2009. *Håndbok om vannskader. Årsak, undersøkelser, tiltak og gjenoppbygging*. Mycoteam, Oslo.
- Nolard N, 2001. Indoor moulds: A public health problem in Belgium: Overview of 15 years experience, i: Johanning E, (red.), *Bio-aerosols, Fungi and Mycotexins: Health Effects, Assessment, Prevention and Control*, s. 48-53.
- Nunez M, Sivertsen MS, Mattsson J, 2012. Substrate and construction preferences for Actinomycetes and 20 mould genera. *Proceedings in Healthy Buildings 2012*, Brisbane. International society of indoor air quality and climate.
- Samson RA, Hoekstra E, Frisvad J, Filtenborg O, 2004. *Introduction to food- and airborne fungi*. CBS, Utrecht.
- Skåret E, Blom P, 1994a. Ventilasjon av boliger. Prinsipper og behov. Byggforskserien A 552.301. SINTEF Byggforsk, Oslo.
- Skåret E, Blom P, 1994b. *Naturlig og mekanisk avtrekksventilasjon i småhus*. Byggforskserien A 552.302. SINTEF Byggforsk, Oslo.
- WHO Europe, 2009. *WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness and Mould*. Copenhagen: World Health Organization.

Effekten av sinkoksid (ZnO) i linoljemaling på svertesoppvekst

Lone Ross Gobakken, Eva Grodås, Sigrun Kolstad
Norsk institutt for skog og landskap, Pb. 115, NO-1431 Ås

Kontakt: gol@skogoglandskap.no

English title: The effect of zinc oxide (ZnO) in linseed oil paint on growth of blue staining fungi and surface moulds

Gobakken LR, Grodås E, Kolstad S, 2014. Effekten av sinkoksid (ZnO) i linoljemaling på svertesoppvekst. *Agarica* 2014, vol. 34, 77-83.

NØKKELOORD

Svertesopp, linoljemaling, sink, trekledning

KEYWORDS

Mould fungi, linseed oil paint, wooden cladding, zinc

ABSTRACT

Heavy growth of mould and blue stain fungi have been recorded on several white-painted wooden churches in Norway shortly after surface treatment the last years. Often linseed oil paint has been used as surface treatment. Modern linseed oil paint contains less amount and other types of fungicides than previously, and this may cause better growing conditions for mould and blue stain fungi. An increase of active zinc in linseed oil paints can be a possible way to make the paint film more resistant to surface fungi. The aim of this study was to investigate the effect of increased zinc content in linseed oil paint on the growth of mould and blue stain fungi, and to control the stability of zinc in linseed oil paints over time. The study includes model coatings with different amounts of zinc additives, as well as two commercial linseed oil paints as a reference. Model paints with 7% zinc or more had less surface mould after 27 months

of outdoor exposure than other model paints and the two commercial products. Model paints with 7% zinc or more had significantly less loss of zinc over time than the other test paints.

SAMMENDRAG

Kraftig vekst av svertesopp¹ er de senere årene blitt registrert på flere hvitmalte trekirker i Norge kort tid etter overflatebehandling, og det er ofte linoljemaling som er benyttet. Moderne linoljemaling inneholder mindre mengder og andre typer fungicider enn tidligere, og dette kan gi svertesopper bedre vekstvilkår. Økning av tilsatt mengde sink i linoljemaling kan være en mulig måte å gjøre malingsfilmen mer resistent mot svertesoppvekst. Målet med studiet var å undersøke effekten av økt sinkinnhold i linoljemaling på svertesoppvekst og kontrollere stabiliteten til sink i linoljemalinger over tid. Studiet inkluderte modellmalinger med ulike mengde sinktilsetning, samt to kommersielle linoljemalinger som referanse. Modellmalinger med 7% sinkinnhold eller mer hadde mindre svertesoppvekst etter 27 måneders utendørs eksponering enn øvrige modellmalinger og de to kommersielle produktene. Modellmalinger med 7% sinkinnhold eller mer hadde signifikant mindre tap av sink over tid enn øvrige testmalinger.

¹ Svertesopp er en fellesbetegnelse for muggsopparter med mørkfargede hyfer og sporer, og som danner blå til svart misfarging i de øvre cellelag i ved og på overflaten av maling og lakk. Svertesopp opptrer også på andre materialer enn tre, slik som for eksempel plast og utvendige pussystemer.

INNLEDNING

Det er de senere årene blitt registrert kraftig svertesoppvekst på flere hvitmalt trekirker som relativt nylig er malt med linoljemaling. Resepten på dagens linoljemalinger er endret i forhold til hva den var for få år siden på grunn av stadig strengere krav til godkjenning og merking av biocider (Riksantikvaren 2012), og med et ønske om å lage en maling med forbedrede filmdannende egenskaper. Dette har ført til at flere linoljemalingsprodukter i Norge antas å ha fått egenskaper som gjør de mindre resistente mot svertesopp. Per i dag kan en maling inneholde inntil 2% sinkoksid før produktet må merkes med ”miljøskadelig”, og for malingsprodusenten kan dette være en motivasjonsfaktor til å lage linoljemaling med ett sinkinnhold som er lavere enn dette. Innholdet av sinkoksid i kommersielle linoljemalinger tilgjengelig i Norge og Sverige varierer fra produkt til produkt (fra 0% til 25% sinkoksid –informasjon hentet fra datablader for 9 ulike produkter linoljemaling i 2009). Tilsats av mengde og typer av andre soppdreperer varierer tilsvarende i de samme linoljemalingsproduktene. Sinkoksid er ett soppdremende middel mer enn ett soppdrepende middel. Sinkoksid påvirker cellulære funksjoner, noe som forårsaker deformasjoner i soppens hyfer og etterhvert vil soppfyfene dø (He et al. 2011). Sinkoksid benyttes som ett hvitt pigment i maling og fungerer godt som absorberent av UV-stråler (Moezzi et al. 2012).

Hypotesen var at en linoljemaling med et innhold av sinkoksid høyere enn 2% vil ha bedre motstandsevne mot svertesopp enn linoljemalinger med ett sinkoksidinnhold på 2% eller lavere. Målet med dette studiet var derfor å undersøke linoljemalinger med en gradient i konsentrasjon av sinkoksid og studere effekten på vekst av svertesopp. Videre ønsket man å studere stabiliteten av sinkoksid i malingsfilmen over tid.

MATERIALE OG METODER

Utendørs eksponering av malte paneler

Prøvepanelene ble tilvirket fra seks høvlede kledningsbord av gran innhentet fra lokalt byggemarked. Kledningsbord med ulik årringbredde ble benyttet for å tilstrebe variasjon i materialet, men densiteten til hvert panel ble ikke målt. Syv prøvepaneler med størrelse 20x100x375mm (i henhold til EN 927-3, CEN 2006) ble tilvirket fra hvert av de seks kledningsbordene. For å sikre mest mulig homogent tremateriale som underlag for alle testmalinger, ble ett prøvepanel fra hvert av kledningsbordene malt med samme testmaling. Tabell 1 viser de ulike testmalinger som er benyttet og tilsatt mengde sink oppgitt av produsent.

Maling K1 og Maling K2 er kommersielle malinger og var tilsatt fungicid, henholdsvis diklofluanid og isotiasolin i Maling K1 og diklofluanid i Maling K2. Modellmalingerne hadde ikke tilsatt av fungicid.

Prøvepanelene ble påført ett strøk grunning og to toppstrøk. For modellmalingerne besto grunningen av ett tynt strøk med den aktuelle malingen tilsatt 10% terpentin og toppstrøkene besto av uførtynnet modellmaling. Grunning og toppstrøk på prøvepaneler med maling K1 og maling K2 ble

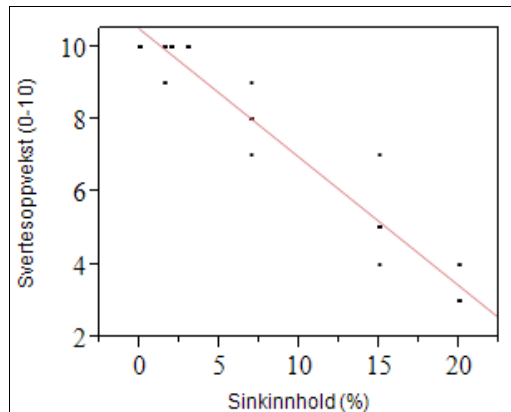
Tabell 1. Oversikt over malingerne og oppgitt sinkoksidinnhold.

Paints included in the test and the content of zinc oxide.

Testmaling	Opgitt sinkinnhold (%etter vekt)
Modellmaling 0	0%
Modellmaling 2	2%
Modellmaling 7	7%
Modellmaling 15	15%
Modellmaling 20	20%
Maling K1	3%
Maling K2	1-2,5 %

utført i henhold til produsentenes anvisninger. Grunning på prøvepaneler med maling K1 bestod av maling K1 tilsatt 10% White Spirit, og grunning for maling K2 besto av maling K2 tilsatt 20% White Spirit. Mengde grunning og toppstrøk ble påført i samme mengde (våttvekt) på alle prøvepaneler.

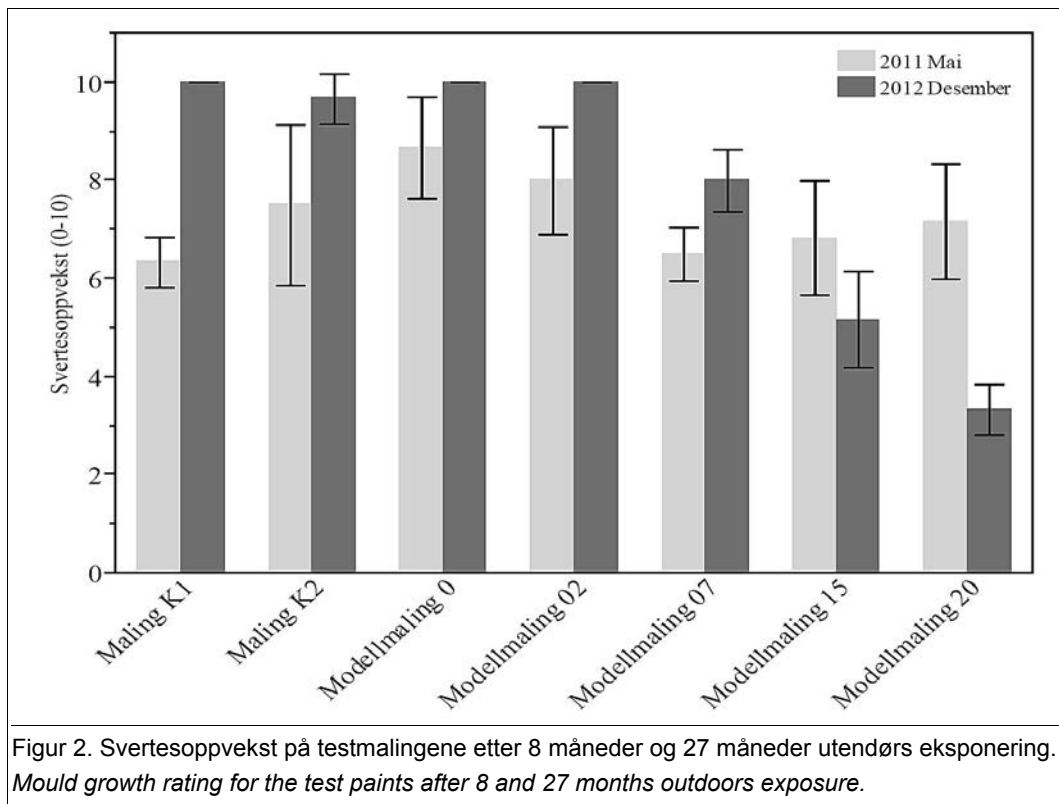
Med ett gjentak på 6 prøvepaneler for hver testmaling, ble tre prøvepaneler eksponert mot nord og tre mot sør. Panelene ble montert liggende i 45 graders vinkel i ett utendørsfelt på Ås, Norge. Til sammen ble 48 paneler satt ut den 22. september 2010. Grad av svertesoppvekst ble avlest 3.mai 2011 og 18.desember 2012. Svertesoppveksten ble evaluert og gradert i henhold til EN 927-3 (CEN 2006) og EN ISO 4628-1 (2003), hvor svertesoppveksten graderes etter to skalaer. Begge skalaer går fra 0 til 5 (0 = ingen/ikke synlig med 10x forstørrelse, 5 = svært



Figur 1. Svertesoppvekst korrelert med sinkinnhold i de syv linoljemalingene ($R^2=0,9508$).

Mould growth rating correlated with amount of zinc in the seven linseed oil paints ($R^2=0,9508$).

mange/større enn 5 mm). Den første skalaen beskriver antall soppkolonier og den andre



Figur 2. Svertesoppvekst på testmalingene etter 8 måneder og 27 måneder utendørs eksponering. *Mould growth rating for the test paints after 8 and 27 months outdoors exposure.*



Figur 3. Svertesoppvekst på testmalingene etter 13 måneder utendørs eksponering. M0=modellmaling 0, M02=modellmaling 02, M07=modellmaling 07, M15=modellmaling 15, M20=modellmaling 20, K1=maling K1, K2=maling K2, NA=prøvepaneler ikke med i testen.

Mould growth on the test paints at 13 months outdoors exposure. M0=modellmaling 0, M02=modellmaling 02, M07=modellmaling 07, M15=modellmaling 15, M20=modellmaling 20, K1=maling K1, K2=maling K2, NA=test samples not within the test. Photo: Skog og landskap.

skalaen beskriver størrelsen på soppkoloniene. I videre analyser er evalueringstall for antall soppkolonier og evalueringstall for størrelse på soppkolonien summert, og hvert panel får da en gradering fra 0 til 10.

Det ble registrert en del avflassing av maling på prøvepaneler med Modellmaling 15 og Modellmaling 20 etter 27 måneder slik at bart treverk var synlig på panelene. Evaluering av svertesopp ble på disse panelene utført på områder hvor malingsfilmen var intakt.

Stabilitet av sink i linoljemaling

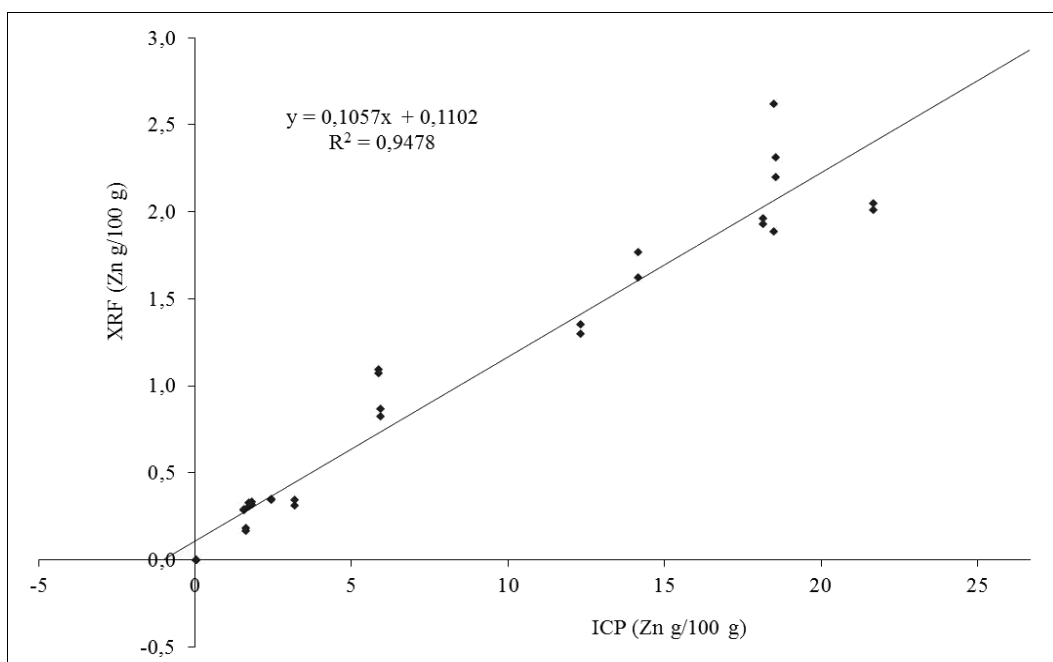
For å kontrollere mengden sink i de ulike testmalingene før utendørs eksponering, ble den reelle mengden analysert ved hjelp av to metoder; Induktivkoblet plasma-optisk emisjonsspektrometer (ICP) og røntgenfluorescens (XRF). De ulike testmalingene ble malt på agarskåler av glass. For ICP-analysen, ble malingen skrapet av glasset når den var tørr, og overført til en digel og tørket ved 103 °C natten over. Malingen ble forasket ved 590 °C i 3 timer, dekomponert i en syreblanding av salpetersyre og perklorisyre og analysert på ICP for mengde sink (Zn). Ett håndholdt XRF-instrument ble benyttet til å måle sinkinnholdet i malingen som var påført agarskålene og måleresultatene ble lest av for videre analyse.

XRF ble også benyttet til å måle sink i malingsfilmen på de utendørs eksponerte prøvepanelene etter 8 måneder og 27 måneder for å kontrollere nedgangen i sinkinnhold over tid.

RESULTATER OG DISKUSJON

Svertesoppvekst på utendørs eksponerte paneler

Det er en tydelig lineær sammenheng mellom initial sinkinnhold i testmalingene og svertesoppvekst (Fig. 1) etter 27 måneder ekspos-



Figur 4. Analysert sinkinnhold i testmalingene. Sammenligning av ICP og XRF.
Analysed zinc content in the test paints. Comparison of ICP and XRF.

nering ($R^2 = 0,9508$); høyere sinkinnhold ga mindre svertesoppvekst.

Modellmalinger med 7% sinkinnhold eller mer hadde signifikant mindre svertesoppvekst enn de andre malingene etter 27 måneders eksponering (Fig. 2). Denne effekten ble ikke påvist etter 8 måneder, selv om en tendens kan anes. Figur 3 viser svertesoppvekst på de ulike testmalingene etter 13 måneder.

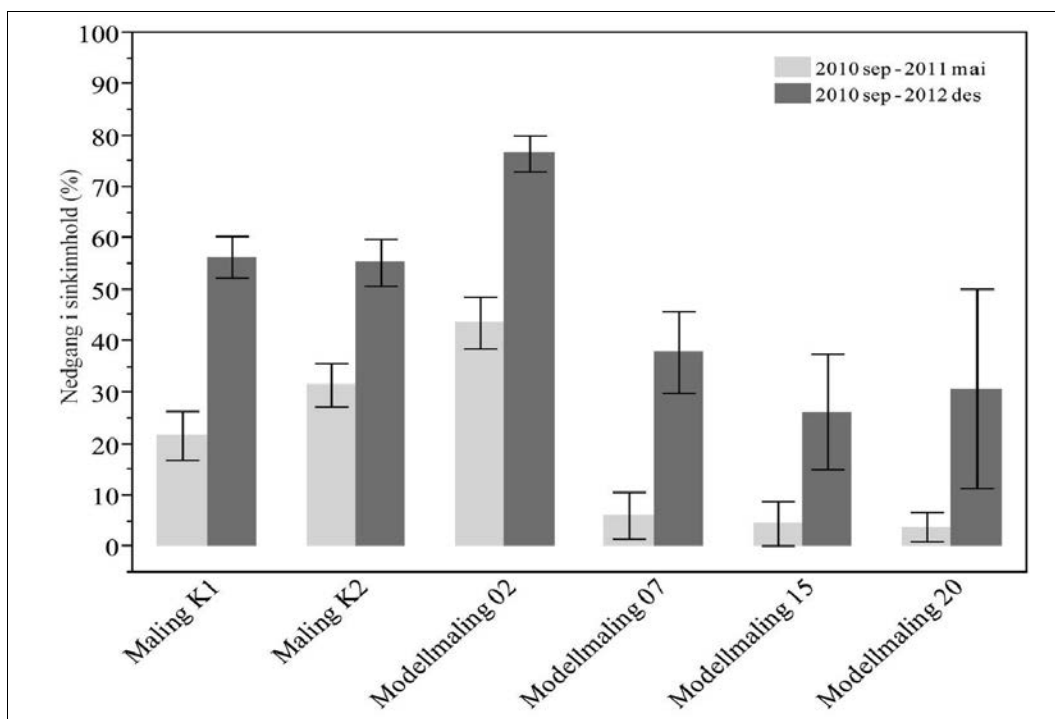
Maling K1 og modellmalinger med 7% sinkinnhold eller mer hadde tilnærmet lik gradering av svertesopp etter 8 måneder, men dette var altså ikke tilfellet etter 27 måneder.

Det ble registrert mindre svertesoppvekst på Modellmaling 15 og Modellmaling 20 etter 27 måneder enn 8 måneder. I tidligere studier er det registrert tilsvarende nedgang i svertesoppvekst på enkelte kombinasjoner av maling og tresubstrater (Gobakken og Westin 2008, Jacobsen og Gobakken 2009, Gobakken et al. 2010). Årsaken til denne effekten er trolig en kombinasjon av at nedbør vasker

vekk løst heftede sporer og hyfer (Gobakken et al. 2010) og at en forvitring og nedbrytning av selve malingsfilmen også tar med seg mørkfargede hyfefragmenter og sporer (Jacobsen og Gobakken 2009). Høyt sinkinnhold i en maling gir en sprø maling som vil kritte og flasse av i større grad.

3.2 Stabilitet av sink i utendørs eksponerte paneler

Korrelasjonen var som forventet svært god ($R^2 = 0,9478$) mellom de to metodene (ICP og XRF) for analyse av sinkinnhold i maling (Fig. 3). XRF underestimerer imidlertid konsekvent mengden sink i malingen. Årsaken til dette er at XRF ikke bare detekterer den kjemiske sammensetningen i selve malingsfilmen, men i hele deteksjonsområde som omfatter mer enn selve malingsfilmen. I dette sammenligningsstudiet var malingen påført glass som ikke skal inneholde sink. Analyseresultatene fra ICP bekreftet at det



Figur 5. Prosentvis nedgang i sinkinnhold i forhold til opprinnelig sinkinnhold for de ulike testmalingene. 8 og 27 måneder utendørs eksponering.

Decrease (%) in zinc compared to initial zinc content for the test paints. 8 and 27 months outdoors exposure.

oppgitte innholdet av sink i malingene gitt av produsentene.

Modellmaling 07, Modellmaling 15 og Modellmaling 20 hadde minst tap (tilsvarende 30-40% av opprinnelig sinkinnhold på henholdsvis; 7%, 15% og 20%) av sink i malingsfilmen i løpet av hele testperioden (Fig. 4), og den samme effekten var også tydelig etter kun 8 måneder eksponering.

Modellmaling 02 hadde ett gjennomsnittlig tap av sink tilsvarende 76% av opprinnelig sinkinnhold på 2%, og var den testmalingen som var minst stabil med hensyn til utlekking av sink. Maling K1 og Maling K2 var noe mer stabil med hensyn på utlekking av sink og hadde etter 27 måneder eksponering ett gjennomsnittlig tap på henholdsvis 56% og 55% av opprinnelig sinkinnhold. Resultatene tyder

på at sink er mer stabilt i modellmalingene ved tilsats utover 2%.

KONKLUSJON

Ett innhold av sinkoksid i linoljemaling på mer enn 2% og opp mot 7-10% vil trolig hemme vekst av svertesopp bedre enn flere kommersielle linoljemalinger. Allikevel må ikke sinkinnholdet være for høyt siden dette vil redusere den tekniske levetiden til malingsfilmen ved at maling vil kritte og flasse av i større grad.

Målet må være å finne frem til en resept på linoljemaling som kombinerer en tilstrekkelig mengde sinkoksid og andre effektive fungicider slik at svertesoppveksten blir hemmet over lengre tid og samtidig opprettholder en malingsfilm som har god vedheft til underlaget.

En estetisk og teknisk levetid på en linoljemaling må forventes å være på 5-7 år, og da må man trolig akseptere et sinkinnhold utover 2% og en miljømerking som tilsier at produktet noe mindre miljøvennlig enn andre linoljemalinger som tilbys på det norske markedet. Utlekking av sink fra malingsfilmen kan være en miljøbelastning, og ved en økning i tilsetning av sinkkoksider bør dette veies opp mot malingens evne til å hemme svertesoppvekst.

TAKK

Monica Fongen, Norsk institutt for skog og landskap, utførte deler av analysearbeidet og Riksantikvaren har finansiert deler av studiet, og forfatterne ønsker å takke begge for medvirkningen.

REFERANSER

CEN, 2006. Paint and varnishes. Coating materials and coating systems for exterior wood. Part 3: Natural weathering test. EN 927-3. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.

EN ISO 4628-1, 2003. Paints and varnishes - Evaluation of degradation of coatings - Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance - Part 1: General introduction and designation system. European Committee for Standardization.

Gobakken LR, Westin M, 2008. Surface mould growth on five modified wood substrates coated with three different coating systems when exposed outdoors. *International Biodeterioration & Biodegradation* 62(4): 397-402.

Gobakken, LR, Høibø OA, Solheim H. 2010. Factors influencing surface mould growth on wooden claddings exposed outdoors. *Wood Material Science & Engineering* 5(1): 1-12.

He L, Liu Y, Mustapha A, Lin M, 2011. Antifungal activity of zinc oxide nanoparticles against *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*. *Microbiological Research* 166(3): 207-215.

Jacobsen, B, Gobakken LR, 2009. Svertesopp på trefasader. Rapport fra Norsk Treteknisk Institutt 78.

Moezzi, A, McDonagh AM, Cortie MB, 2012. Zinc oxide particles: Synthesis, properties and applications. *Chemical Engineering Journal* 185-186(0): 1-22.

Riksantikvaren, 2012. Informasjonsark 3.9.14 Linoljemaling og svertesopp.

Muggsopp-skader i 214 moderne baderom

Johan Mattsson, Bjarte Sæthre
Mycoteam as, Pb. 5 Blindern, NO-0313 Oslo

Kontakt: johan@mycoteam.no

English title: Mould damages in 214 modern bathrooms

Mattsson J, Sæthre B, 2014. Muggsopp-skader i 214 moderne baderom. *Agarica* 2014, vol. 34, 85-91.

NØKKELOORD

Baderom, membran, lekkasjer, muggsopp, inneklima

KEYWORD

Bathroom, membrane, leakages, mould fungi, indoor air quality

ABSTRACT

Modern bathrooms are often subjected to severe moisture exposure during normal use due to showering right on the tiled walls and inadequate ventilation. This places high demands on material and technical solutions in order to be able to avoid a critical moisture exposure and subsequent growth of mould, both in structures and surfaces. A thorough examination of 214 bathrooms that was six years old showed three main types of moisture problems and subsequent mould damage: high relative humidity in the room, free water surfaces and leaks into the structures. Commonly occurring errors were: too thin moisture barrier, inadequate sealing of the moisture barrier on the mixer and the shower rod, poor sealing of the transition between the floor membrane and drain. Moreover, it was generally many leaks from embedded toilet cisterns. In the wet materials, there was a rapid growth of moulds. The dominant species was *Chaetomium globosum* but also *Stachybotrys*

chartarum was commonly encountered. Mould damages led to a degradation of cellulosic surfaces of plasterboard and wooden materials, so that the technical properties of the material were reduced. In some cases the damage also had a negative impact of indoor air quality in adjacent rooms.

SAMMENDRAG

Moderne bad blir ofte utsatt for kraftig fuktbelastning ved normal bruk på grunn av dusjing rett på flislagte vegger og mangelfull utlufting. Dette stiller store krav til materialvalg og teknisk utførelse for at man skal unngå for stor fuktbelastning og påfølgende vekst av muggsopp, både på overflater og inn i konstruksjoner. En inngående undersøkelse av 214 seks år gamle bad viste tre hovedtyper av fuktproblemer med påfølgende muggsopp-skader: høy relativ luftfuktighet i rommet, fritt vann på overflater og lekkasjer inn i konstruksjonene. Vanlig forekommende feil var for tynn fuktsperre, mangelfull tetting ved gjennomføringer for blandebatteri og feste til dusjstang, samt mangelfull tetting av overgangen mellom gulvmembran og sluk. Dessuten var det gjennomgående mange lekkasjer fra innebygde toalettsisterner. Skadene førte til både lokal oppfukning rundt lekkasjepunktet og omfattende lekkasjer over flere etasjer. I de våte materialene var det en kraftig vekst av muggsopp. Den dominerende arten var raggråtemugg (*Chaetomium globosum*) men også svart vannskademugg (*Stachybotrys chartarum*) var vanlig forekommende. Muggsopp-skadene førte til nedbrytning av celluloseholdige overflater på gipsplater og trematerialer. Oppfuktingen førte også til at de tekniske egenskapene til materialet ble redusert. I enkelte tilfeller førte skadene

dessuten til en negativ belastning på inne-klimaet i tilstøtende rom.

INNLEDNING

Før 1970-tallet var det begrenset bruk av vann i badrom ved at det i hovedsak har vært benyttet badekar. Faren for vannskader under slike forhold er stort sett knyttet til eventuelle utettheter ved sluket og om det søles vann utover gulvet slik at det kan fukte opp tilstøtende materialer (Kjeldsen 2003). Bruken av bad har endret seg vesentlig siden 1970-tallet, da en enkel og effektiv tilgang på varmtvann har gitt økt mulighet for bruk av dusj. En slik endring økte samtidig faren for en direkte fuktbelastning av overflater og bakenforliggende konstruksjoner. I tillegg medførte bruken av dusj en økt produksjon av vanndamp. Endringen i fuktbelastning i form av både mengden vann og hvor lenge fuktbelastningen varer, førte til et økt behov for å fuktsikre overflater og konstruksjoner.

Materialvalg og teknisk bedre løsninger av risikoutsatte konstruksjoner ble prioritert og moderne bad har gode forutsetninger for å kunne tåle den ekstreme fuktbelastningen som dusjing direkte på vegger og gulv representerer. Til tross for dette forventes det likevel ikke at levetiden til badet er lengre enn ca. 20 år (Fiskum 2003). Moderne bad skal utføres med et høyt fokus på materialvalg og utførelse for at de skal møte kravene til TEK 10 (Kommunal- og regionaldepartementet 2010). Det forutsettes derfor at bad er konstruert for å kunne tåle den fuktbelastningen de utsettes for (Gåsbak og Hellstrand 2006). Likevel viser det seg at badet er det rommet i en bolig som har størst skadefrekvens. Skadene skyldes flere årsaker, både dårlige produkter, monteringsfeil og bruk (Gåsbak 2007).

Det forekommer en del overflatiske muggsopp-skader i bad, særlig i vinduskarmen og på fuktutsatte silikonfuger som følge av kondens. Slike skader er stort sett et kosmetisk problem og har liten effekt på inneklimate

(Mattsson 2004). Vann som trenger inn i vegger og gulv fører imidlertid til langvarig fuktbelastning og en klart økt fare for utvikling av omfattende muggsopp-skader og angrep av råtesopp (Gåsbak 2007, Mattsson 2010). Fliselagte overflater og skjulte røropplegg gjør det vanskelig å kunne kontrollere om det er oppstått fukt- eller vannskader inne i konstruksjonen (Larsen 2004). Det er derfor en klar fare for at skjulte skader blir oversett (Gåsbak og Hellstrand 2005).

Artikkelen beskriver hvor det typisk er fuktbelastning i moderne bad og hvilke muggsopp-skader som oppstår på grunn av dette.

MATERIALE OG METODE

214 seks år gamle bad i en murbygning skulle gjennomgå en komplett rehabilitering på grunn av omfattende lekkasjer og muggsopp-skader. Veggene var bygget opp delvis med støpte vegger med smøremembran og fliser, og delvis med lettvegger bestående av stålstendere med OSB-plater (en type trefiberplate), gipsplate, smøremembran og veggfliser. Himlingen var nedsenket malt gips-himling, og gulvet var støpt med smøremembran og gulvfliser. Badet hadde mekanisk avtrekksventilasjon.

Badene var bygget i leiligheter i en 16 etasjers høy betongbygning. Badene ble innledningsvis undersøkt ved en visuell kontroll av tilgjengelige overflater samt fuktmåling i form av indikasjonsmåling på overflater.

Videre ble det tatt luftanalyser hvor både spiredyktige muggsopp-sporene og totaltelling av muggsopp-sporene (levende og døde) ble registrert. Dette ble gjort for å se om det var noen tegn til unormal belastning av inneklimate i form av mengder og/eller typer av muggsopp-sporene i romluften. I samtlige bad ble vegger og gulv åpnet i forbindelse med rehabiliteringen og det ble da gjennomført en videre visuell undersøkelse og prøvetaking av lukkede konstruksjoner. Muggsopp-skader ble kartlagt

med hensyn til plassering, omfang og årsak.

Materialprøver av smøremembran og muggsoppskader ble mikroskopert med henblikk på mengde og type av muggsoppskader. Smøremembranen ble snittet og undersøkt i stereolupe og tykkelsen på membranen ble målt. Luftanalyser av spiredyktige muggsopp sporer og totalt antall muggsopp sporer ble tatt med MicroBio 2, respektive Air-O-Cell. Prøvetaking av spiredyktige muggsopp sporer ble utført ved at 100 liter luft suges inn i måleapparatet. Sopp sporer og fragmenter av sopp i denne luften vil feste seg på et dyrkningsmedium. Som referanse ble tatt det prøve

av uteluften. For å fange opp flest mulig ulike muggsopp typer ble det benyttet to typer dyrkningsmedier (MEA og DG18). Etter 7 dagers dyrking ved 20°C ble antall kolonidannende enheter telt og omregnet til antall pr. kubikkmeter luft (= antall kde/m³). Muggsoppslekter og –arter ble identifisert ved bruk av stereolupe og mikroskop. Øvre og nedre tellegrense for instrumentet er henholdsvis 25 kde/m³ og 5300 kde/m³.

Luftanalyser tatt med en Air-O-Cell kvantifiserer det totale antallet muggsopp sporer (levende og døde) i inneluften. Metoden gir ikke en fullgod kvalitativ analyse av hvilke muggsopp sporer som forekommer i prøven. Ved prøvetaking ble det sugd inn 75 liter luft i måleapparatet. Sopp sporer i luften ble avsatt på en glassflate med et klebrig stoff. Etter prøvetaking kunne denne glassflaten prepareres og analyseres i mikroskop. Totalt antall sopp sporer pr. kubikkmeter luft ble beregnet (= antall sporer/m³).



Figur 1. Misfarging av silikonfuge på grunn av vekst av hussvertemugg.

Discoloration of silicone joints due to growth of (Aureobasidium pullulans). Foto: Mycoteam as.

Etter egnet preparering ble prøvene analysert og vurdert med henblikk på forekomst av antall og type muggsopp. Kombinasjonen av de to metodene ga muligheten til både en rask kvantitativ analyse og en mer tidkrevende, kvalitativ analyse.

Alle norske navn som benyttes i denne artikkelen er i henhold til Norsk soppnavn 4. utgave (2011).

RESULTATER

Visuell kontroll

Den innledende visuelle kontrollen av badene viste mange steder en misfarging av fuge-masse i dusjhjørnet på grunn av vekst av svartesopp, hovedsakelig hussvertemugg (*Aureobasidium pullulans*) (Fig. 1).

Utover dette var det ingen synlige tegn til etablerte muggsoppskader inne i badene. Ved undersøkelse av tilstøtende rom til badene, var det synlig vekst av muggsopp (penselmuggsopper (*Penicillium* sp.) og fuktstrålemugg

(*Aspergillus versicolor*) på veggflater og gulv-lister i 3 av de 214 undersøkte leilighetene.

Kontroll av våtromsmembran

Prøvene som ble tatt ut fra 136 av badene viste at tykkelsen på våtromsmembranen i dusjsonen var under anbefalt grense på en millimeter i 99,3% av tilfellene (Tabell 1).

Tabell 1. Tykkelse av smøremembran (n = 136).
Thickness of membrane (n = 136).

Gjennomsnittlig tykkelse	Antall
< 0,3 millimeter	59 (43,4 %)
0,3 – 0,5 millimeter	57 (41,9 %)
0,5 – <1 millimeter	19 (14,0 %)
1 millimeter eller mer	1 (0,7 %)

Teknisk utførelse

En oppsummering av de ulike teknisk mangelfulle utførelsene og årsak til fuktskader er vist i Tabell 2.

Muggsopp-skader

Våre undersøkelser viste at det i 15 av 214 leiligheter (7%) var en unormal belastning av innneklimaet på grunn av spredning av muggsopp-sporene fra lokale muggsopp-skader til romluften. De resterende 199 leilighetene viste ikke tegn til noen uakseptabel eksponering av muggsopp-sporene til romluften.

Veksten av muggsopp var ikke synlig på de flislagte overflatene. Ved avdekking viste det seg imidlertid at det var kraftig vekst i de fleste tilfellene og både på gipsplaten og den tilstøtende OSB-platen (Fig. 2). Samtlige muggsopp-skader var dominert av raggråtemugg. I tillegg var det en markant forekomst av svart vannskademugg og i mindre grad penicillinmugg (*Penicillium chrysogenum*) og fuktstrålemugg.

Tabell 2. Oppsummering av skadeårsaker i undersøkte bad (n = 214).

Summary of causes of damage in the examined bathroom (n = 214).

Teknisk detalj	Antall
Manglende tetting ved feste til dusjstang	126 (59%)
Muggsopp-skader ved feste til dusjstang	75 (35%)
Manglende veggboкс ved blandebatteri	214 (100%)
Muggsopp-skader ved blandebatteri	163 (76%)
Manglende anslutning membran mot sluk	137 (64%)
Utette innebygde toalettsisterner	182 (85%)

Ved avdekking av konstruksjoner ble det påvist muggsopp-skader ved innfestingen til dusjstangen i 35% av de 214 badene. Tilsvarende var det muggsopp-skader i veggen ved blandebatteriet på 76% av badene. Skadebildet var tydelig da de flislagte veggene ble avdekket. Det var da godt synlig at muggsopp-skaden



Figur 2. Kraftig vekst av raggråtemugg i en dusjvegg.
Extensive growth of Chaetomium globosum in a shower wall.
Foto: Mycoteam as.



Figur 3. Karakteristisk muggsoppskade i avdekket dusjvegg. *Characteristic mould damage in exposed shower wall.* Foto: Mycoteam as.

fulgte mønstret til oppfuktingen fra festet til dusjstangen og gjennomføringen til blande-batteriet (Fig. 3).

Det viste seg at det var teknisk svikt i mange av de innebygde toalettsisternene (85%). Disse lekkasjene skyldtes både svakheter i produktet og feilaktig montering (Fig. 4).

DISKUSJON

Baderom forventes å være bygget slik at det ikke oppstår følgeskader på grunn av den fuktbelastningen som oppstår ved vanlig bruk. Gulv- og veggfliser, mørtelfuger samt murflater har meget liten næringstilgang for muggsopp. Materialer på bad som oftest har en synlig vekst av muggsopp er silikonfuger i dusjhjørner og ved badekar. Den vanligste muggsopparter på slike steder er vist å være hussverte-sopp (*Aureobasidium pullulans*)

(Mattsson 2004). Holme med fl. (2008) viste at synlige fuktproblemer på bad skyldtes kondensering på overflater, kondensering på vinduer, punktvis fuktbelastning av vann samt i enkelte tilfeller lekkasjer. De foretok imidlertid ikke noen prøvetaking av eventuelle muggsoppskader som viste hvilke arter som forekom i ulike skader. Ara med fl. (2004) viste at det i japanske bad var en klar dominans av kondensmuggsopper (*Cladosporium*) samt forekomst av gjærsopp på overflater inne på badene. Hussvertesopp ble påvist i 3,3% av de undersøkte tilfellene. Det ble ikke foretatt avdekkinger for å sjekke skjulte

skader i noen av disse undersøkelsene for kontroll av skjulte skader.



Figur 4. Lekkasje på innebygget toalettsisterne og vekst av svart vannskademugg var vanlig forekommende i de undersøkte badene. *Leakage of built-in toilet cistern and growth of *Stachybotrys chartarum* was commonly encountered in the surveyed bathrooms.* Foto: Mycoteam as.

Hvis vann trenger inn i konstruksjoner oppstår det en langvarig fuktbelastning. Dette gir en vesentlig annerledes fuktbelastning enn en kortvarig fuktbelastning eller kondensering på overflater inne på badet. Fuktbelastning i konstruksjoner kan derfor gi vekstgrunnlag for andre arter enn hva man finner på overflater. Da disse skadene er skjulte kan de pågå over lang tid før de blir oppdaget. I vegger og gulv i moderne bad er det ofte bruk av materialer som lett blir angrepet av muggsopp, slik som gipsplater og ulike trebaserte veggplater. Selv om muggsopp normalt ikke regnes for å forårsake nedbrytning, kan muggsopp føre til lokalt kraftig cellulosedebrytning (Domsch med fl. 1980). Stivheten i gipsplater er avhengig av en intakt papirbane. Konsekvensen av en nedbrytning av cellulosen i papirbanen er direkte svekkelse av stivheten i veggkonstruksjonen. Redusert styrke i veggplatene øker faren for bevegelser i overflaten og oppsprekking av smøremembran. Dette kan føre til ytterligere lekkasjer og at veggflisene kan løsne. Den samme problemstillingen gjelder også for trefiberbaserte veggplater, der både muggsopp og råtesopp kan føre til en direkte nedbrytning av platen. I tilstøtende områder til fuktskadede baderomsvegger kan konsekvensen bli et luktproblem og en negativ belastning av inneklimateet. Med en god avtrekksventilasjon ble mesteparten av luktproblemer og eventuell spredning av muggsoppspor inne på badene fjernet med ventilasjonsluften uten at de tilstøtende boligrommene ble påvirket (Skåret med fl. 1994). Det var imidlertid en klart negativ belastning av inneklimateet på grunn av muggsoppspor i 7% av de 214 undersøkte leilighetene. Dette skjedde på grunn av at det var luftbevegelse fra de etablerte muggsoppskadene inne i veggene eller på overflater i den tilstøtende siden av dusjveggen, hvilket var inne på soverom og stuer.

Allerede i løpet av seks år med normal bruk av var det mange av badene som hadde fukt- og muggsoppskader. Med tanke på den aktive oppfuktingen av vegg og gulvkonstruksjoner, var det trolig at skadeutviklingen hadde fått en vesentlig videreutvikling hvis badene ikke hadde blitt fullstendig rehabilitert etter seks år. Konsekvensen av dette ville blitt enda mer omfattende, både med tanke på konstruksjoner og inneklimateet.

En kompliserende faktor ved vannlekkasjer i en boligblokk er at vannet ofte følger rørføringer og sjakter nedover i etasjene. Dette fører til at skadeomfanget kan bli omfattende. I tillegg er det ofte meget vanskelig å klarlegge hvor selve lekkasjen er. I ett tilfelle viste det seg at vann som kom til syne i himlingen i 4. etasje kom fra en lekkasje i 16. etasje. Slike skader er både kompliserte og kostbare å utbedre.

Bad er kostbare å bygge og inneklimateet er viktig for alle brukere, uansett om man har anlegg for astma-/allergiplager eller ikke (Norsk folkehelseinstitutt 2013). Med dagens kunnskap om tekniske løsninger og tilgang på egnede materialer, burde det ikke være vanskelig å unngå at det oppstår fukt- og muggsoppskader på moderne bad. De undersøkte badene var oppført på en måte som etter vår erfaring er representativ for norske bad. Man kan derfor forvente at det er svært mange andre bad som har mer eller mindre tilsvarende skjulte skader. Siden lekkasjepunktene hovedsakelig var koblet til mangelfull fuktsikring og for tynn påføring av smøremembran, er det åpenbart at mange av skadene kunne vært unngått ved en korrekt utførelse av detaljer. For å få til dette må både produkter, kunnskapsnivå og tredjepartskontroller bli bedre. Hvis dette er mulig å oppnå, vil faren for fukt- og muggsoppskader i nye bad reduseres vesentlig.

REFERANSER

- Ara K, Aihara M, Ojima M, Toshima Y, Yabune C, Tokuda H, Kawai S, Ueda N, Tanaka T, Akiyama K, Takatori K, 2004. Survey of fungal contamination in ordinary houses in Japan. *Allergology International* 53: 369-377.
- Domsch KH, Gams W, Anderson T, 1980. *Compendium of soil fungi*. Academic press, London.
- Fiskum L-E, 2003. Levetider for sanitærinstallasjoner i boliger. Byggforskserien 700.330. SINTEF Byggforsk, Oslo.
- Gåsbak J, 2007. Feil og skader i badrom. Byggforskserien 727.813. SINTEF Byggforsk, Oslo.
- Gåsbak J, Hellstrand V, 2005. Tilstandsanalyse av våtrom. Tilstandsregistrering på nivå 2 og 3. Byggforskserien 727.815. SINTEF Byggforsk, Oslo.
- Gåsbak J, Hellstrand V, 2006. Bad og andre våtrom. Byggforskserien 527.204. SINTEF Byggforsk, Oslo.
- Holme J, Geving S, Jenssen JA, 2008. Moisture and Mould Damage in Norwegian Houses. *Proceedings of the 8th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries*, vol. 3. (DTU Byg Report R-189).
- Kjeldsen G, 2003. Eldre lover, forskrifter og anbefalinger for bad og andre våtrom. Byggforskserien 614.018. SINTEF Byggforsk, Oslo.
- Kommunal- og regionaldepartementet, 2010. FOR 2010-03-26 nr 489: Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift). Lovdata.no.
- Larsen HJ, 2004. Tilstandsanalyse av våtrom. Tilstandsregistrering nivå 1. Byggforskserien 727.817. SINTEF Byggforsk, Oslo.
- Mattsson J, 2004. Muggsopp i bygninger. Mycoteam AS, Oslo.
- Mattsson J, 2010. Råtesopp i bygninger. Forekomst, påvisning, vurdering og utbedring. Mycoteam AS, Oslo.
- Norges sopp- og nyttevekstforbund, 2011. *Norske soppnavn*, 4. utgave 2011.
- Norsk folkehelseinstitutt, 2013. *Anbefalte faglige normer for inneklimate*. Revisjon av kunnskapsgrunnlag og normer. Oslo.
- Skåret E, Blom P, 1994. Ventilasjon av boliger. Prinsipper og behov. Byggforskserien A 552.301. SINTEF Byggforsk, Oslo.

Salt (NaCl) as protection of Historical Wood against fungal deterioration

Johan Mattsson, Cathrine Marie Whist, Maria Nunez, Mari Sand Austigard
Mycoteam as, Pb. 5 Blindern, NO-0313 Oslo

Kontakt: johan@mycoteam.no

Norsk tittel: Salt (NaCl) som beskyttelse av
antikvarisk treverk mot soppangrep

Mattsson J, Whist CM, Nunez M, Austigard
MS, 2014. Salt (NaCl) as protection of
Historical Wood against fungal deterioration.
Agarica 2014, vol. 34, 93-99.

KEYWORD

World heritage site, log buildings, mould fungi,
wood-decaying fungi, salt, fungicidal effect

NØKKELOORD

Verdensarv, tømmerbygninger, muggsopp, råte-
sopp, salt, sopphekkende effekt

SAMMENDRAG

Både naturlig forekomst og utilsiktet forekomst
av salt (natriumklorid) i forbindelse med
antikvarisk verdifulle bygninger har vist seg å
gi god beskyttelse mot angrep av muggsopp
og råtesopp. Saltet fikseres ikke i treverket, så
på grunn av fordampning av vann fra treverket
kan salt akkumuleres i relativt høye konsen-
trasjoner i treoverflaten. Under stabilt fuktige
forhold er det ikke registrert vesentlig kjemisk
nedbryting av treverk som følge av salt. I
tilfeller der salt har vært et tradisjonelt element
i eksponeringen på trematerialer, kan riktig
bruk av salt være en viktig støtte for beskyt-
telse av tre i vernede bygninger med stor
fuktbelastning.

ABSTRACT

Both natural and accidental occurrence of
salt (sodium chloride) on Norwegian wooden
cultural heritage is shown to protect wood

against biodeterioration. As the salt is not
fixed in the wood, relatively high salt concen-
trations can accumulate on wooden surfaces
due to water evaporation. Salt accumulation
in stable humid conditions does not seem to
produce extensive chemical deterioration of
the wood. In cases where salt has been a
traditional element in exposure of wood, a
proper use of salt can be an important com-
pliment for the protection of wood in protected
buildings with high moisture exposure.

INTRODUCTION

Decay of wood is a natural result of fungal
activity under damp conditions. The rate of
deterioration is influenced by different abiotic
factors, where the main factors are water
availability and favourable temperature
(Domsch et al. 1980, Rayner and Boddy 1988).
When these crucial conditions for growth are
present, it is only a matter of time before the
decay is so extensive that repair, or even
replacement, has to be done. Based on both
long field experience and laboratory tests,
which constructions within the buildings that
are most vulnerable are well known. It is also
relatively well known how fast biodeterior-
ation progresses in different constructions
regards to both decay (Mattsson 2010) and
mould growth (Samson et al. 2004, Mattsson
2004).

In some historically valuable wooden
buildings biodeterioration is restricted despite
suitable wood moisture and temperature for
fungal growth. Thorough examination has
proven that lack of decay is caused by an
unusual amount of sodium chloride on the
surface of the wood. Wood deterioration has

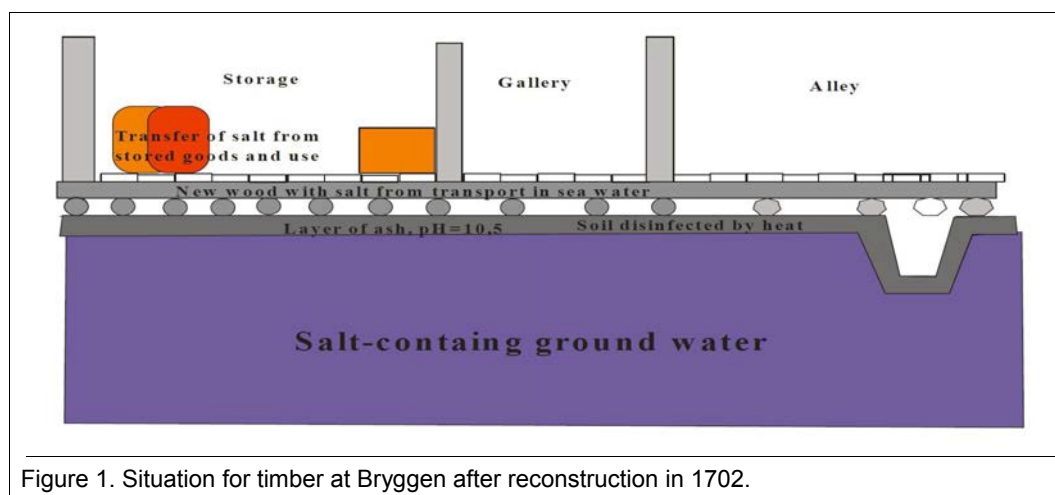


Figure 1. Situation for timber at Bryggen after reconstruction in 1702.

been far more extensive in neighbouring buildings with no similar occurrence of sodium chloride.

Our studies have shown that the salt has been applied by either accident or natural causes. Due to the good protecting effect, we suggest to work more in direction of salt use as a protecting agent in cases where this product can be suitable. Particular areas where this may be appropriate are harbour areas where use of salt traditionally has been done or where natural exposure of sea water has been occurring.

MATERIAL AND METHODS

Survey of several timber buildings at Bryggen ("The Wharf") in Bergen city at the Norwegian West coast has been carried out through different projects during the period 1996-2007. The buildings are inscribed in UNESCO's list of World Heritage Sites. They were constructed shortly after a great fire in 1702, and have been used as storage buildings since then. An explosion on a ship in the harbour in April 1944 caused severe damages on the roofs, which led to extensive leakage in several of the buildings. After the recognition of the historic value in the 1970's and the inscription by UNESCO of the site as a World Heritage

Site, the buildings have been relatively well maintained (Bjørkhaug 2004). The original use resulted in salt accumulation in part of the materials (Fig. 1).

After the long term exposure of timber to rain and leakages the salt has been washed away in some cases, while in others logs still have significant amount of salt on their surface. (Fig. 2).

The building in Fjordgata 76 at the harbour area in the city Trondheim in the middle of Norway was erected during the start of 19th century. Some modifications were done by inserting secondary layers of particle boards and gypsum boards on the walls, ceilings and floors. The roof on the building was partly destroyed by fire in two neighbouring buildings in May 2007. During fire fighting the building got soaked with excessive amount of sea water. The building remained without roof for 11 months until the survey was carried out in April 2008 (Fig. 3).

After visual survey, several material samples have been collected for microscopical analysis. These samples have been analysed with a light microscope for up to x1000 magnification in order to reveal any established fungal growth and identification of the fungal species.

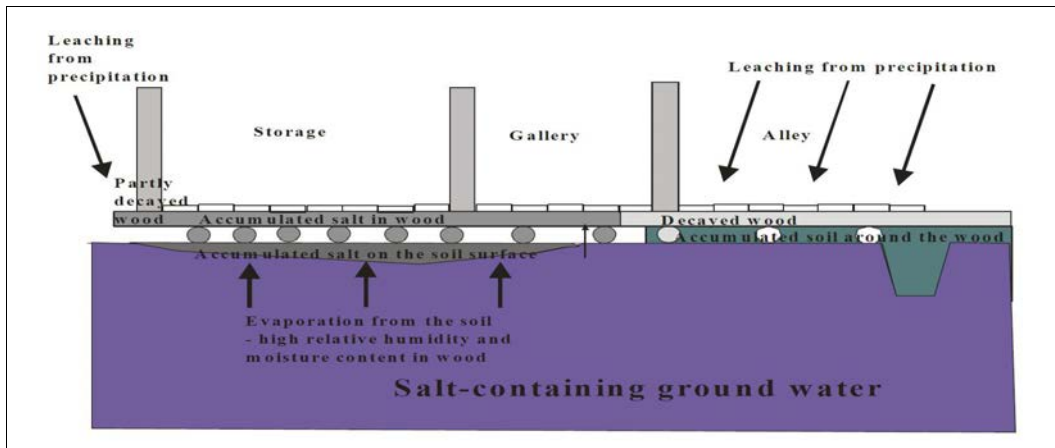


Figure 2. Situation for timber at Bryggen after 300 years exposure.

RESULTS

Wooden materials at Bryggen in floor constructions, crawlspaces and walls that did not have direct exposure to precipitation had no fungal decay. Materials that have been exposed to precipitation for a long time, i.e. the timber walls at the eavesdrop and in the passage, were strongly decayed by several brown-rot fungi; e.g. *Antrodia*-species, *Coniophora puteana*, *Leucogyrophana mollis*, *Phystiosporinus vitreus*, and *Phellinus nigrolimitatus*. Some of the most moisture-exposed wood was decayed by white-rot fungi and soft-rot fungi (Mattsson et al. 2004).

During the building survey at Fjordgata, wet timber was found in several areas. Neither in these areas, nor in dry materials could any growth of mould fungi or wood-decaying fungi be found.

In the areas where there was no sign of biodeterioration despite the favourable micro-climatic conditions regarding to moisture and temperature, the materials generally had a

visible occurrence of crystals of sodium chloride on the surface (Fig. 4). The surfaces had little or no visible chemical degradation caused by the salt.

DISCUSSION

Salt has been introduced from different sources at Bryggen, mainly from sea water transportation of wood, from tidal floods, and from salt storage and salted fish through



Figure 3. Fjordgata 76, Trondheim, 11 months after the fire. Photo: Mycoteam as.

many years (Bjørkhaug et al. 2004). In Fjordgata 76 the building became completely soaked by water from fire extinction. Due to lack of fresh water in the fire trucks, sea water was pumped up from Trondheimsfjorden and used by the fire brigade. It is estimated that 2-3 million litres of sea water were used on the three buildings. Because of an unclear status responsibility regarding owners, insurance company, and antiquarian authorities the building was left water-soaked for a long period after the fire. This led to salt accumulation on the wooden surfaces during the natural drying-out process.

In order to degrade cellulose wood-decaying fungi need free water in the wood and a favourable temperature for growth. The moisture content in wood has to be at least 20% and the temperature over +3-4 °C for growth. Optimum temperature are around 20-25 °C for most fungal species. At higher temperatures the activity declines. Lethal temperature is normally over 40 °C. Meteorological data (www.met.no) shows that the average temperature and annual precipitation through the last

30 years has been 7,6 °C and 2250 millimetres in Bergen. Trondheim has an average temperature of 4,9 °C and annual precipitation of 850 millimetres. This implies that the climate in both Bergen (with a clearly oceanic climate) and Trondheim (with a weakly oceanic climate) is normally so humid and with such favourable temperatures, that fungal growth can be expected on exposed wooden materials outdoors. Materials in moist constructions such as crawlspaces or in soil contact can also be expected to be at great risk of fungal decay.

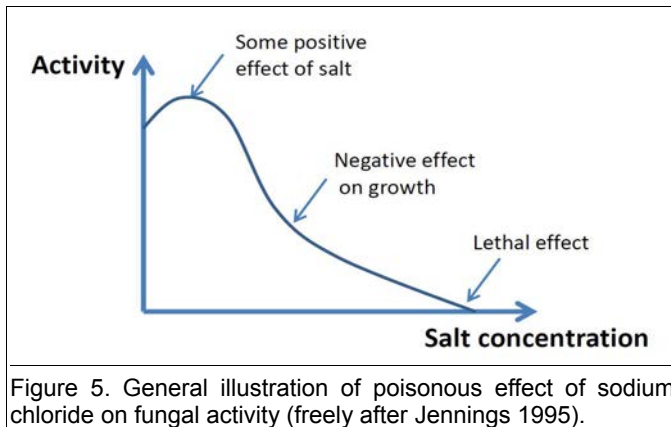
The microclimate at both sites was shown to be so favourable for fungal growth that extensive decay could be expected after few years. Monitoring wood moisture content during three years in three different places (soil contact, 10 cm above soil and 30 cm above soil) at Bryggen in Bergen showed good growth conditions for fungi in almost all materials (Gobakken et al. 2013).

Even though the humid conditions at both sites are very suitable for both mould fungi and wood-decaying fungi, there is a significant lack of established growth in the inspected areas where salt accumulates on surfaces.

Under normal conditions after a water damage, mould fungi are established after 3-4 weeks on wooden materials (Mattsson 2004). Wood-decaying fungi often establish growth after few months of wet conditions. Critical constructions, such as softwood (*Picea abies* and *Pinus sylvestris*) in soil contact and in crawlspaces are often found to have extensive decay after 4-5 and 20-30 years respectively in Norway (Mattsson 2010). In wooden materials with similar exposure at Bryggen in



Figure 4. Accumulated salt crystals on wooden surfaces in a crawlspace under buildings at Bryggen in Bergen. Photo: Mycoteam as.



Bergen, there was no significant fungal growth even after 300 years of exposure to wet conditions.

A similar result with surprisingly low fungal activity was found at the fire-damaged building in Trondheim. It is normal to find extensive growth of mould fungi and eventually also wood-decaying fungi in water-damaged wood after fire extinction. These damages

occur already after few days and weeks. In Fjordgata 76, there was no such fungal growth on the wet, but salt-influenced materials even after 11 months with suitable growth conditions for mainly mould fungi and partly also wood-decaying fungi. The significant absence of fungal damage – especially mould fungi, can be explained by the presence of salt on the surfaces.

Sodium chloride has a limiting effect on biological activity already at relatively low concentrations (Jennings 1995, Samson et al. 2004) (Fig. 5). As water evaporates, salt accumulates on surfaces. This results in unfavourable growth conditions for any airborne fungal spores that might settle on wooden surfaces.

Since we have found no fungal activity on wooden surfaces with accumulated salt,

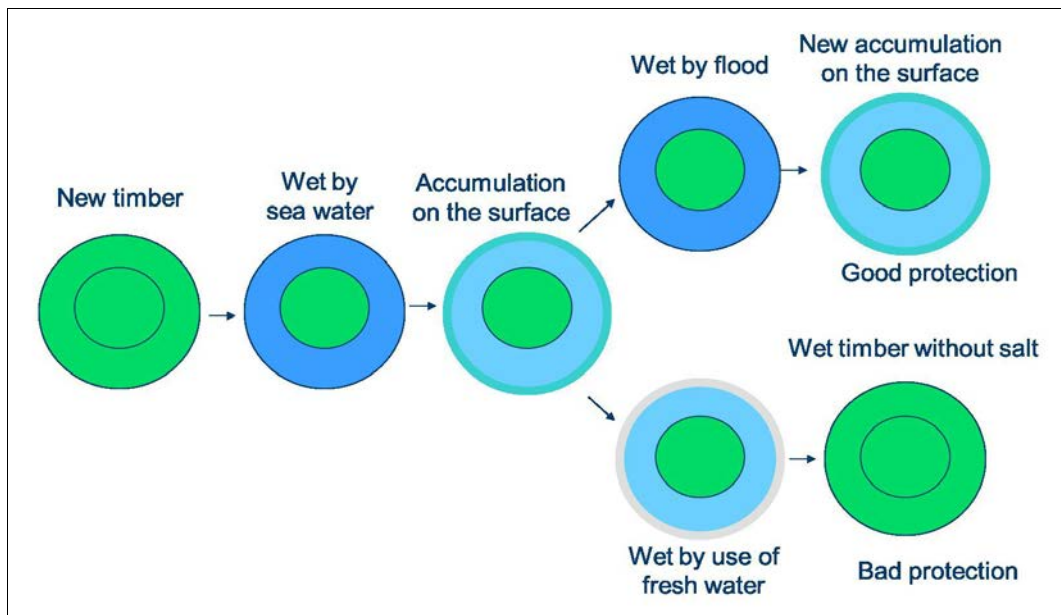


Figure 6. General development of biodeterioration depending on salt accumulation on wood surfaces, as in the case of Bryggen in Bergen where the sea water repeatedly influences the wood.

salt seems to be a very efficient protection against decay even under very favourable moisture conditions.

Chemical delignification might occur in the outer layers of wooden fibres due to crystallisation. Our investigations have shown that this is not a general problem at either Bryggen or Trondheim. There can be several explanations for this; one might be that in damp conditions salt crystallisation occurs on the very surface, where chemical decay is very restricted. Another explanation can be that since there are relatively stable damp conditions, few cycles of crystallization occur.

In both cases it is obvious that the main reason for the excellent service life of wet wooden materials is the occurrence of salt on the surfaces (Fig. 6). This fact can have a major impact on the search for environmental friendly, inexpensive and reversible methods for wood protection in selected historical wooden buildings.

The most efficient method to prevent fungal activity is to keep the materials sufficiently dry, that means wood moisture content under 18-20%. This might be impossible in special constructions or due to climatic conditions. In order to decrease the risk of biodeterioration in such cases alternative measures should be taken. In cases where the use of salt has been a traditional practice, intended or not, this should actively be used as a method to limit fungal activity and insect attacks.

Both existing wooden constructions and newly inserted wooden materials can be treated with salt so they acquire a similar amount of superficial accumulated salt as they would by traditional use and exposure. This can be done by:

- Traditional handling of the wood (transport, use). At Bryggen in Bergen, this has been done by transporting new timber that was to be used at repair work by floating the wood in sea water – as it was done

traditionally.

- Local treatment of wood or soil by salt. This should specifically be done in connection with materials that could have an amount of salt from traditional use or exposure of salt.

There is an ongoing discussion on global basis about the potential effect of climatic changes on cultural heritage. Our experience is that climatic changes can have a critical impact on the service life of wooden materials. Increased precipitation and temperature can both result in increased rate of biodeterioration due to more humid conditions at the local micro-climate of wooden surfaces.

Major changes in the constructions and physical conditions of antiquarian valuable buildings are almost never an option due to regulations and economy. Even in cases of obvious decay, available restoration measures are usually limited. It is therefore of great interest to take effective preventive actions in agreement with both historical tradition and regulations for protection of cultural heritage.

Salt usually causes a limited superficial chemical degradation of lignin – at least in short terms and at stable humid conditions. It is also possible to reverse a treatment of salt on wood, due to the fact that sodium chloride is water soluble. By just cleaning the wooden surface with pure water, the superficial amount of salt can be removed relatively easy without any harm to the wood.

In cases where salt traditionally has been a natural element in wooden materials, such as buildings in harbour areas, buildings for food storage, and boats, the practical use of the preventive effect of salt should be evaluated thoroughly. Controlled use of salt can be an important factor for wood preservation in protected buildings with critical moisture exposure.

REFERENCES

- Bjørkhaug L, 2004. Bryggen in Bergen. Introduction, in: Christensson A (ed.), Safeguarding Historic Waterfront Sites. Bryggen in Bergen as a case. Stiftelsen Bryggen, Bergen, pp. 13-29.
- Domsch KH, Gams W, Anderson T, 1980. Compendium of soil fungi. Academic press, London.
- Gobakken L, Mattsson J, Alfredsen G, 2014. The importance of critical *in-situ* conditions for in-service performance of wood. *Agarica* 2014, vol. 34: 29-36.
- Jennings DH, 1995. The physiology of fungal nutrition. University press, Cambridge, pp. 622.
- Mattsson J, 2004. Muggsopp i bygninger. Forekomst, påvisning, vurdering og utbedring. Mycoteam, Oslo.
- Mattsson J, 2010. Råtesopp i bygninger. Forekomst, påvisning, vurdering og utbedring. Mycoteam AS, Oslo.
- Mattsson J, Oftedahl T, Lyngstad H, Whist CM, 2004. Building Physics and Microbiology in Bryggen, Bergen. Safeguarding Historic Waterfront Sites. Bryggen in Bergen as a case, in: Christensson A, (ed.), Stiftelsen Bryggen, Bergen, pp. 88-96.
- Meteorologisk institutt (www.met.no/klima/klimastatistikk/klimadata/). Cited 3. July 2013.
- Rayner ADM, Boddy L, 1988. Fungal decomposition of wood. Its biology and ecology. John Wiley & Sons, Chichester.
- Samson RA, Hoekstra E, Frisvad J, Filtenborg O, 2004. Introduction to food- and airborne fungi. CBS, Utrecht.

Muggsoppeskader i bygninger på Svalbard

Johan Mattsson¹, Anne Cathrine Flyen², Ingrid Grønli¹, Cathrine Marie Whist¹

¹Mycoteam as, Pb. 5 Blindern, NO-0313 Oslo

²Norsk institutt for kulturminneforskning (NIKU), Pb. 736 Sentrum,
NO-0105 Oslo

Kontakt: johan@mycoteam.no

English title: Mould damages in buildings on Svalbard

Mattsson J, Flyen AC, Grønli I, Whist, CM, 2014. Muggsoppeskader på Svalbard. *Agarica* 2014, vol. 34, 101-109.

NØKKELOD

Arktis, svertesopp, muggsopp, fuktskader, luftanalyser, inneklima, Svalbard

KEYWORD

Arctic, bluestain fungi, mould, moisture damage, air analysis, indoor air quality, Svalbard

ABSTRACT

Mould can grow on any surface where there is access to cellulosic material. Under good conditions mould can occur on wooden materials within 3-4 weeks, while modern building materials with cellulosic surfaces (gypsum paper, wood particle board) often are attacked by mould within a week. Several years of field research on the arctic archipelago Svalbard, (until 1925: Spitsbergen), has shown that despite the extremely cold and dry climate mould does grow both on exterior wood surfaces and indoors. We have sampled mould fungi from surfaces both outdoors and indoors, mainly at abandoned cabins built around 1910-20. The analyses have revealed in 21 different mould species. The most dominant species in the material samples were *Hormonema dematioides*. Furthermore are 11 mould genus identified. Air samples outdoors and in

the various types of buildings had generally low levels of mould spores. However, in some cases so high values were recorded that the indoor air quality was not acceptable. In air samples the most dominant genus was *Cladosporium*, followed by *Acremonium*, *Cladophialophora* and *Penicillium*.

SAMMENDRAG

Muggsopp kan vokse på alle overflater der det er tilgang på celluloseholdig materiale. Under gode forhold kan vekst av muggsopp oppstå på treverk i løpet av 3-4 uker, mens det på moderne bygningsmaterialer med celluloseholdige overflater (gipspapir, trefiberplater) ofte blir muggsoppeskader etter en uke. Flere års feltundersøkelser på den arktiske øygruppa Svalbard, som het Spitsbergen frem til 1925, har vist at det til tross for ekstremt kaldt og tørt klima forekommer muggsopp både på utvendige treoverflater og innendørs. Vi har tatt materialprøver både fra utendørs eksponerte overflater og inne i fuktbelastede bygninger, hovedsakelig fra fraflyttede fangsthytter fra ca. 1910-20. Analysene fra materialer viser forekomst av 21 identifiserte muggsopparter, hvor den mest dominerende arten var *Hormonema dematioides*. I tillegg er det påvist uidentifiserte muggsopparter i 11 andre muggsoppselekter. Ved luftanalyser utendørs og inne i ulike typer av bygninger, ble det påvist et generelt lavt nivå av muggsoppesporer i luften. I enkelte tilfeller var det imidlertid så høye verdier at inneklimate var uakseptabelt. I luftprøver som ble tatt innendørs var den mest dominerende slekten *Cladosporium*, fulgt av *Acremonium*, *Cladophialophora* og *Penicillium*.

INNLEDNING

Muggsopp er vanlig forekommende over hele verden. Begrensninger for etablering og vekst er hovedsakelig tilgang på næring og fysiske forhold som temperatur og mengden tilgjengelig vann (Rayner og Boddy 1988, Samson et al. 2004). Under gunstige forhold, er det bare et spørsmål om tid før det oppstår muggsoppvekst. Vanligvis kan det forventes vekst når den relative luftfuktigheten er over 75% RF. Ved høyere fuktverdier øker risikoen for vekst markant (Viitanen 1996, Johansson 2012).

Alle norske navn som benyttes i denne artikkelen er i henhold til Norsk soppsnavn 4. utgave (2011). Ulike arter muggsopp har forskjellige økologiske vekstkrav. Dette fører til at de fyller forskjellige nisjer, avhengig av næringstilgang, fuktkilde og temperatur (Samson et al. 2004, Mattsson 2004). På uten-dørs eksponert treverk dominerer svertesopp, særlig hussvertemugg (*Aureobasidium pullulans*) og tvillingsvertemugg (*Hormonema dematioides*). På innvendige kondensflater er det vanlig å finne arter i slekten kondensmuggsopper (*Cladosporium*) og kjedekondensmugg (*Ulocladium chartarum*). I forbindelse med sterkt fuktbelastet treverk og celluloseholdige materialer er det vanlig å finne penselmuggsopper (*Penicillium* spp.) (Nunez et al. 2012, Mattsson 2004).

Ettersom vekstkravene til muggsopp er artsavhengige kan man forvente å se det samme skadebildet på fuktbelastede materialer på Svalbard (som er en del av Arktis) som i fastlands-Norge. En vesentlig forskjell er imidlertid at det på Svalbard er et arktisk klima som innebærer at det er et begrenset omfang av materialer som har samme eksponering som det er i fastlands-Norge. I Longyearbyen er årsgjennomsnittet - 6,0 C og 210 mm for hhv temperatur og nedbør (www.met.no). I tillegg når permafrosten i store deler av året helt opp i jordoverflaten ettersom den fryser nedenfra og opp. Dette er

langt fra optimale fysiske forhold for vekst av muggsopp (Samson et al. 2004, Mattsson 2004). I tillegg er begrenset tilfang av vegetasjon, som en naturlig næringskilde, en hemmende faktor for forekomst og mangfold av muggsopp. Derfor kan man ikke forvente at det skjer noe særlig innsmitting eller vekst av muggsopp store deler av året på Svalbard. Til tross for dette ble det i 2008 rapportert omfattende muggsoppeskader i gamle fangsthytter flere steder på Svalbard (Mattsson og Flyen 2008). Flyen og Mattsson (2010) viste dessuten at det var kraftig belastning på inneklimate i enkelte fangsthytter på øygruppa. Dette er et paradoks ettersom disse fangsthyttene står i et miljø der uteluften anses å være blant den reneste på hele jorden.

Fangsthyttene på Svalbard er en del av den internasjonale kulturarven på øygruppa (Dahle et al. 2000). De er viktige historiefortellende elementer og kulturminnemyndighetene har et sterkt ønske om å bevare dem for ettertiden (Dahle et al. 2000 og Sandodden et al. 2013). Noen av hyttene brukes til overnatting i fritidsøyemed. Disse hyttene er bygget før 1945 og er dermed automatisk fredet i henhold til Svalbards miljøvernlov og underlagt sterke restriksjoner med hensyn både på bruk, vedlikehold og restaurering (Svalbardmiljøvernloven 2001). Alle fangsthyttene er bygget i tre med svært enkle konstruksjoner stort sett rett på bakken, hvilket gjør dem utsatt for biologisk nedbrytning. For å velge riktig strategi for vedlikehold og istandsetting av hyttene er det viktig å forstå hvilke følger den mikrobiologiske aktiviteten kan ha for konstruksjoner, materialer og inneklimate (Gayarde et al. 2003).

Under feltarbeid i perioden 2003-2010 har vi foretatt undersøkelser og prøvetaking fra bygninger og bygningsstrukturer flere steder på Svalbard. Denne artikkelen viser resultatet fra dette arbeidet og beskriver forskjellen på muggsoppsporere i uteluften på Svalbard og fastlands-Norge. Videre beskrives

hvilke muggsopparter som vokser på ulike bygningsmaterialer knyttet til de fredede bygningene og konsekvensen av disse skadene.

MATERIALE OG METODER

Alle norske navn som benyttes i denne artikkelen er i henhold til Norske soppnavn 4. utgave (2011).

Bygninger

Gjennom feltundersøkelsene i perioden 2003 – 2010 har vi undersøkt en rekke bygninger og bygningsrester som er knyttet til tidligere tiders fangst og industriaktivitet på Svalbard. Disse bygningene er fra starten av 1900-tallet og de ligger langt utenfor bosettingene og uten veiforbindelse. Bygningene består hovedsakelig av trematerialer. Konstruksjonene er enkle og de står som regel i direkte jordkontakt. Vegger og tak er enten massive tømmerkonstruksjoner med trepanel eller bindingsverksvegger med panel på begge sider. I en del tilfeller er vegger og tak tekket med takpapp for å unngå trekk. Ettersom de fleste av disse bygningene bare brukes i perioder, står de uoppvarmet i lange deler av året. Når de først varmes opp skjer det med vedfyring i løpet av en kort periode. Tre av de undersøkte bygningene har et noe annet bruksmønster, ettersom de står i bosettingene og er i noe mer kontinuerlig bruk med elektrisk oppvarming. Alle de undersøkte bygningene står nær kysten.

Totalt ble ca. 100 bygninger eller bygningsstrukturer undersøkt i de periodene feltarbeidet ble gjennomført. Dessuten ble det tatt med overflateprøver og treprøver til laboratoriet for videre analyse. Undersøkelsene ble utført i seks perioder; mai og desember i 2003, mai i 2004, januar og august 2009 samt august 2010.

Prøver

Totalt har vi analysert 363 materialprøver; 192 av disse var treprøver mens 171 var tapeprøver av ulike overflater. En tapeprøve tas ved at en glassklar tape festes på overflaten og rives av igjen. Eventuelle organismer fester seg til limet i tapen og blir med på tapebiten når denne rives løs fra overflaten. Både treprøvene og tapeprøvene undersøkes under mikroskop på laboratoriet i etterkant.

Luftprøvene ble tatt med en MicroBio (MB2). Denne suger inn 100 liter med luft som passerer over en dyrkningsskål der muggsoppsporene deponeres på den klebrige overflaten. På hvert prøvested er det tatt to prøver, en med næringsagar av typen MEA (maltekstraktagar) og en med DG 18 (dichloran 18% glycerolagar). Totalt ble det 89 prøver på MEA og 89 på DG 18.

Analyser

Analysene av materialprøvene er foretatt ved å legge tapeavtrekkene direkte på et objektglass med en prepareringsløsning av Cotton blue i 2% melkesyreløsning. Materialprøvene er analysert ved at det enten er tatt tapeavtrekk fra valgte deler av overflaten eller at det er tatt ut treverk som er kuttet i tynne snitt som er lagt på objektglasset og farget opp med prepareringsvæsken.

Luftanalysene ble satt til dyrking i 7 dager ved 22 °C før muggsoppkoloniene ble identifisert ved mikroskopering. Ved oppdyrking dannes det en koloni for hver kolonidannende enhet (kde) som er deponert på dyrkningsskålene. De kolonidannende enhetene består hovedsakelig av isolerte muggsopp-sporene, men det kan dessuten forekomme ansamlinger av sporer eller hyfefragmenter som ved oppdyrking vil gi samme kolonidannelse som enkeltsporer gjør. Antall kolonier på skålene regnes om slik at mengden angis i kolonidannende enheter per luftmengde, dvs. antall kde/m³ luft.

RESULTATER

I de 363 materialprøvene ble det identifisert 21 ulike muggsopparter og 17 slekter (Tabell 1). Den mest vanlig forekommende arten var tvillingsvertemugg (*Hormonema dematioides*), en art som normalt gir en grå farge på utvendig eksponert treverk.

Av de 178 luftprøvene var det 116 som ga opphav til muggsoppkolonier. Etter oppdyrking ble de indentifisert til slekt; arter fra totalt 22 slekter ble identifisert (Fig. 1).

I luftprøvene som var tatt ute varierte antall kde på MEA-skålene fra 0 kde/m³ til 355 kde/m³, med et gjennomsnitt på 62 kde/m³. På DG18 varierte det fra 0 opp til 374 kde/m³, med et gjennomsnitt på 50 kde/m³. Innendørs varierte mengden muggsopp sporer fra 0 opp til 6.869 kde/m³ luft, med et gjennomsnitt på 701 kde/m³ på MEA. På DG 18 varierte antallet mellom 0 og 6.257 kde/m³, med et gjennomsnitt på 767 kde/m³ luft.

I de 14 bygningene der luftprøver ble tatt, viste resultatene at fem av dem ikke hadde tegn til unaturlig forekomst av mengder eller typer muggsopp sporer. Fire bygninger hadde små innslag enten av typer av muggsopp eller av mengder som skilte seg ut fra referanseluften utendørs. I fem bygninger var det en så spesiell forekomst enten av antall og/eller arter at det var et uakseptabelt inneklime.

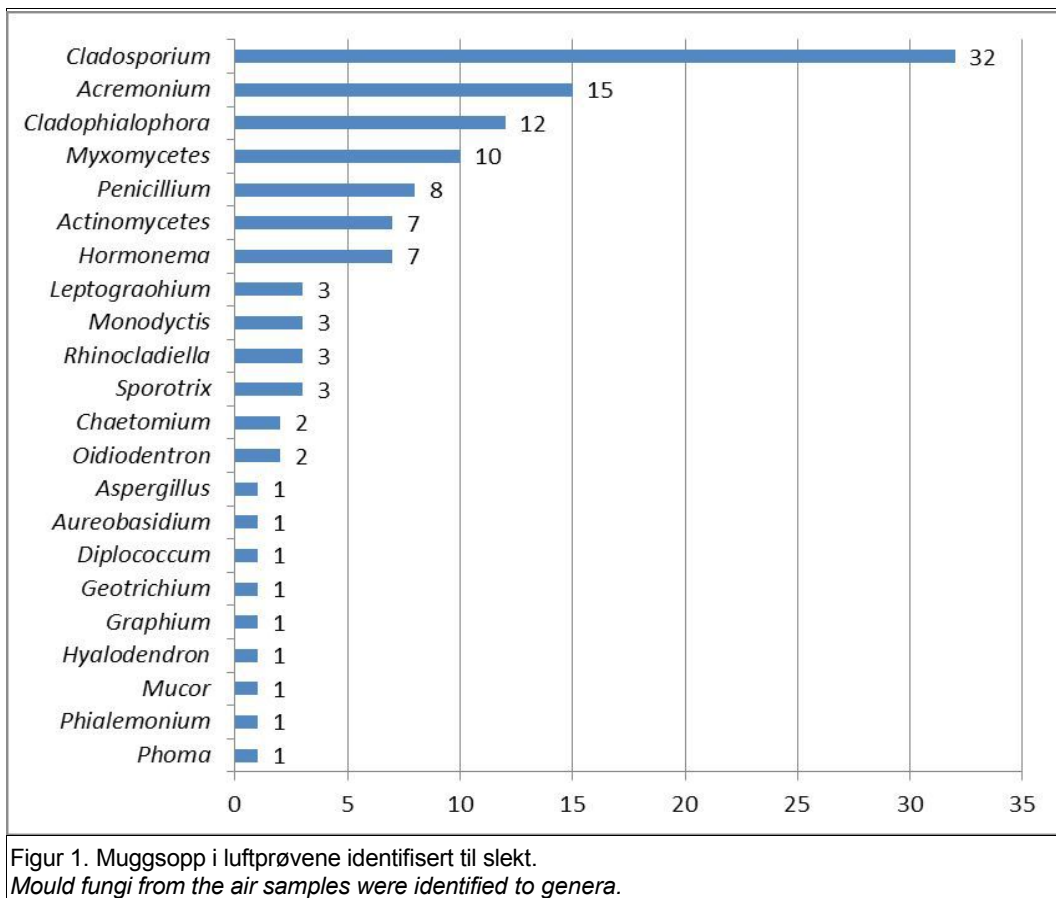
DISKUSJON

Analysene viser at det er en dominans av svertesopp og kondensmuggsopper. I tillegg forekommer en rekke arter og slekter som er kjent fra fuktskader i kjølige konstruksjoner generelt. Samtidig er det et klart fravær eller i hvert fall svært sjelden forekomst av arter som er vanlig forekommende i fukt- og vannskader i bygninger i Fastlands-Norge, slik som svart vannskademugg (*Stachybotrys chartarum*) og raggråtemugg (*Chaetomium globosum*) (Mattsson 2004, Mattsson og Magnusen 2005). Med tanke på kombinasjonen

Tabell 1. Identifiserte muggsopparter/-slekter fra 363 material- og overflateprøver fra Svalbard.

Mould species/mould genera identified from 363 material and surface samples from Svalbard.

Art/slekt	Antall funn
<i>Hormonema dematioides</i>	66
<i>Cladosporium</i> spp.	39
<i>Cladophialophora</i> spp.	20
<i>Acremonium</i> spp.	16
<i>Cladosporium cladosporoides</i>	16
<i>Aspergillus penicilloides</i>	15
<i>Aureobasidium pullulans</i>	10
<i>Penicillium</i> spp.	8
<i>Chaetomium globosum</i>	6
<i>Phialemonium obovatum</i>	6
<i>Phialophora olivaceae</i>	5
<i>Penicillium chrysogenum</i>	4
<i>Leptographium lundbergii</i>	3
<i>Leptographium</i> spp.	3
<i>Rhinoctadiella</i> spp.	3
<i>Sporotrix</i> spp.	3
<i>Aspergillus versicolor</i>	2
<i>Chaetomium</i> spp.	2
<i>Cladosporium sphaerospermum</i>	2
<i>Didymium nigripes</i>	2
<i>Monodictis</i> spp.	2
<i>Oidiodentron</i> spp.	2
<i>Phoma</i> spp.	2
<i>Trichoderma viride</i>	2
<i>Geotrichium</i> spp.	2
<i>Aspergillus</i> sp.	1
<i>Diplococcum</i> sp.	1
<i>Eurotium herabriorum</i>	1
<i>Mucor</i> sp.	1
<i>Penicillium citrinum</i>	1
<i>Penicillium glabrum</i>	1
<i>Phialemonium</i> sp.	1
<i>Scopulariopsis brevicaulis</i>	1
<i>Sporobolomyces roseus</i>	1
<i>Thysanophora penicilloides</i>	1
<i>Trichothecium roseum</i>	1
<i>Ascotricha</i> sp.	1
<i>Phialophora repens</i>	1



av det spesielle klimaet som gjelder både utendørs og inne i de fleste bygningene og de økologiske kravene til ulike muggsopparter, er et slikt resultat forventet.

På Svalbard er det store svingninger i temperatur og fuktighet i utvendig treverk (Mattsson og Flyen 2008, Flyen og Mattsson 2010). I tillegg fører en kombinasjon av vind og snø/iskrystaller til en tydelig slitasje av de ytre vedcellene i treverket på utendørs eksponert treverk (Blanchette et al. 2002). Konsekvensen er at det er begrenset med etablering og vekst av svertesopp på disse materialene. De dominerende artene som er påvist på slike treoverflater er tvillingsvertemugg (*Hormonema dematioides*) og hussvertemugg (*Aureobasidium pullulans*) (Fig. 2).

Inne i de gamle fangsthyttene og industrielle bygningene er det til dels kraftige muggsoppskader. Dette skyldes hovedsakelig at bygningene er konstruert på en lite fukt-sikker måte. Bjelkelag ligger rett på bakken, der den øvre delen av den frosne jorden tiner slik at bakken og de tilstøtende bygningsmaterialene blir våte. På grunn av takpappen som vegger og tak på svært mange av fangsthyttene, og gjør dem damptette, vil vannet som kappilært trekker inn i konstruksjonen i liten grad fordampe igjen. I løpet av sommeren oppstår en situasjon med lang våttid og en gunstig temperatur i forbindelse med de våte materialene. Dette skyldes først og fremst lange perioder med solskinn (Gobakken et al. 2008, Mattsson og Flyen 2008). Det samme



Figur 2. Vekst av svertesopp skjer gradvis på nye trematerialer, særlig i forbindelse med direkte fuktbelastet treverk.

Growth of blue-stain fungi occurs gradually on new wood, particularly in connection with areas with moisture exposed wood. Foto: Mycoteam as.

problemet er vist å forekomme også i Antarktis (Held et al. 2011). Vi har sett at lokalt gunstige vekstforhold fører til angrep av flere muggsopparter på både bygningsmaterialer (Fig. 3) og gjenstander (Fig. 4).

Skadebildet i form av etablerte muggsopparter ligner det som er vanlig forekommende i tilsvarende skader på det norske fastlandet, særlig i skader som er oppstått i oppvarmede rom (Fig. 5), for eksempel fuktstrålemugg (*Aspergillus versicolor*), penselstrålemugg (*Aspergillus penicilloides*), penselmuggsopper (*Penicillium* spp.) og raggråtemugg (*Chaetomium globosum*) (Mattsson og Stensrød 2009).

I Norge er det vanlig at man har en klar økning av antall kde i den varme årstiden i forhold til om vinteren (Mattsson et al. 2014).

Luftanalysene av uteluften på Svalbard om sommeren viser at det er lave verdier av kolonidannende enheter på Svalbard. Om vinteren er det ikke hensiktsmessig å ta luftprøver på Svalbard. Dels skyldes dette at snø og is naturlig gir liten sporespredning fra eventuelle kilder på bakken. I tillegg fryser agarskålene raskt ved prøvetaking i minusgrader, særlig MEA. Selv DG18 fryser hvis temperaturen går under 5-10 minus grader. Fordi avsetningen av sporene på prøveskålene er avhengig av en myk og klebrig overflate har dette trolig en vesentlig kvantitativ og kvalitativ innvirkning på resultatene ved prøvetaking vinterstid. Vi har derfor valgt å ikke ta luftanalyser om vinteren, selv om Duncan et al. (2010) har rapportert om måleresultater fra Antarktis som er tatt ved temp-



Figur 3. Muggsoppskaden er godt etablert der det er en kombinasjon av stor fuktbelastning og gunstig temperatur, det vil si langs nedre del av veggen.

The mould damage is well established where it is a combination of high moisture exposure and favorable temperature, i.e. along the lower part of the wall. Foto: Mycoteam as.

eraturer langt under frysepunktet.

Det er kjent fra litteratur (Samson et al. 2004, Arenz et al. 2011 og Duncan et al. 2010) og ved erfaring at spredning av muggsopp kan skje ved transport av varer som enten har deponerte sporer eller etablerte skader. Vi har sett tilsvarende problemstillinger i forbindelse med blant annet undersøkelser i forbindelse med installasjoner offshore, og regner med at det samme kan ha skjedd ved transport av varer til Svalbard. Den lokalt rikelige forekomsten av muggsopp sporer i luften innendørs skyldes klart en lokalspredning fra etablerte muggsoppangrep på tilstøtende materialer, fordi det ikke var samme mengder eller typer av muggsopp sporer i referanseprøvene utendørs.

Fordi alle bygningsmaterialer på Svalbard som er eldre enn 1945 er fredede kultur-

minner, er det klare begrensninger knyttet til både undersøkelser og gjennomføringen av både utbedring og forebyggende tiltak. Det er derfor en klar fare for at man overser enkelte skader, særlig de som er i gulvene. Våre undersøkelser har dessuten vist eksempel på at hensynet til verneinteressene har ført til at muggsopp skadene ikke ble utbedret på en faglig tilfredsstillende måte. Resultatet ble at det etter utført utbedring fremdeles var en uakseptabel belastning på inneklimate i en fangsthytte (Flyen og Mattsson 2010).

KONKLUSJON

Det er vist at det til tross for et ekstremt klima (kjølig og tørt) forekommer til dels omfattende muggsopp skader i gamle bygninger på Svalbard. En avgjørende faktor for vekst av muggsopp i et så ekstremt klima er at det fins



Figur 4. På grunn av høy relativ luftfuktighet i bygninger uten permanent oppvarming, kan det vokse kondensmuggsopper (*Cladosporium* sp.) på ulike overflater.

Due to high relative humidity in unheated buildings can growth of Cladosporium sp. occur on various surfaces. Foto: Mycoteam as.

Bygningenes vernestatus setter klare begrensninger i hvilke undersøkelsesmetoder som kan benyttes, selv om det er mulig og som regel nødvendig å søke vernemyndighetene om tillatelse til prøvetaking og også til åpning av konstruksjonene. Dette kan føre til begrensning i tilgang ved undersøkelser slik at skadeomfanget ikke blir fullstendig avklart. Det er dermed en klar fare for at utbedrings-tiltak ikke blir tilfredsstillende gjennomført.

enkelte områder med gunstig mikroklima i deler av bygningene. Fuktbelastning fra tining av permafrost, tette bygninger og soloppvarming tidvis døgnet rundt av midnattssol er tilstrekkelig for etablering og vekst av muggsopp. Flere av artene som ble funnet er generelt kjent for å opptre under kjølige forhold, men også vanlige muggsopparter er registrert.

Angrep av muggsopp fører til kosmetiske skader, lokal nedbrytning av enkelte materialer samt en klart negativ belastning av inneklimateat.



Figur 5. I forbindelse med enn vannlekkasje ble det en lokalt kraftig vekst av raggråtemugg (*Chaetomium globosum*).

In connection with a water leakage there was a locally rapid growth of Chaetomium globosum. Foto: Mycoteam as.

REFERANSER

- Arenz BE, Held BW, Jurgens JA, Blanchette RA, 2011. Fungal colonization of exotic substrates in Antarctica. *Fungal Diversity* 49(1): 13-22.
- Blanchette RA, Held BW, Farrel RL, 2002. Defibrillation of wood in the expedition huts of Antarctica: an unusual deterioration process occurring in the polar environment. *Polar Record* 38: 313 – 322.
- Dahle K, Bjerck HB, Prestvold K, 2000. Kulturminneplan for Svalbard 2000 – 2010. Sysselmannens rapportserie 2/200. Sysselmannen på Svalbard.
- Duncan SM, Farrell RL, Jordan N, Jurgens JA, Blanchette RA, 2010. Monitoring and identification of airborne fungi at historic locations on Ross Island, Antarctica. *Polar Science* 4: 275-283.
- Flyen A-C, Mattsson J, 2010. Håndtering av råteskader i kulturminner på Svalbard. Skadeårsaker og løsningsmetoder. NIKU-Rapport 177/2010. Norsk institutt for Kulturminneforskning.
- Gayarde C, Ribas Silva M, Warscheid T, 2003. Microbial impact on building materials: an overview. *Materials and Structures* 36: 342 – 352.
- Gobakken L, Mattsson J, Alfredsen G, 2014. The importance of critical *in-situ* conditions for in-service performance of wood. *Agarica* 2014, vol. 34, 29-36.
- Held BW, Arenz BE, Blanchette RA, 2011. Factors influencing the deterioration of historic structures at deception island, Antarctica. Polar settlements – location. Techniques and conservation, ICOMOS- Monuments and Sites. International Polar Heritage Committee. ISBN 978-82-996891-3-7. 35 – 43.
- Johnsson P, 2012. Critical Moisture Conditions for Mould Growth on Building Materials. Licentiate thesis, Lunds universitet.
- Mattsson J, 2004. Muggsopp i bygninger. Forekomst, påvisning, vurdering og utbedring. Mycoteam, Oslo.
- Mattsson J, Flyen A-C, Nunez M, 2010. Wood-decaying fungi in listed buildings and structures on Svalbard. *Agarica* 2010, vol. 29: 5–14.
- Mattsson J, Flyen A-C, 2008. Biodeterioration in buildings in Svalbard (Spitsbergen). Historical Polar Bases – Preservation, and Management. ICOMOS Monuments and Sites XVII. International Polar Heritage Committee, ISBN 978-82-996891-2-0, pp. 23-29.
- Mattsson J, Magnusen K, 2005. NBI-blad 701.401 Muggsopp i bygninger. SINTEF Byggforsk, Oslo.
- Mattsson J, Stensrød O, 2009. Håndbok om vannskader. Årsak, undersøkelser, tiltak og gjenoppbygging. Mycoteam, Oslo.
- Mattsson J, Grønli I, Whist CM, Ødegaard AT, 2014. Muggsoppspor i luftprøver. *Agarica* 2014, vol. 34, 69-76.
- Meteorologisk institutt. Klimastatistikk, www.met.no. Sitert 15. august 2013.
- Norges sopp- og nyttevekstforbund, 2011. Norske soppnavn, 4. utgave 2011.
- Nunez M, Sivertsen MS, Mattsson J, 2012. Substrate and construction preferences for Actinomycetes and 20 mould genera. Proceedings in Healthy Buildings 2012, Brisbane. International society of indoor air quality and climate.
- Rayner ADM, Boddy L, 1988. Fungal decomposition of wood. Its biology and ecology. John Wiley & sons, Chichester.
- Samson RA, Hoekstra E, Frisvad J, Filtenborg O, 2004. Introduction to food- and airborne fungi. Centraalbureau voor schimmelcultures, Utrecht.
- Sandodden IS, Yri HT, Solli H, 2013. Kulturminneplan for Svalbard 2013 – 2023. Sysselmannen på Svalbard, 112 sider.
- Statistics Norway, www.ssb.no/en/. Sitert 15. August 2013.
- Svalbardmiljøvernloven 2001. LOV-2001-06-15-79 Lov om miljøvern på Svalbard.
- Viitanen, H, 1996. Factors affecting the development of mould and brown rot decay in wooden material and wooden structures. Effect of humidity, temperature and exposure time. PhD dissertation. SLU, Uppsala.

Errata

In Agarica 2013, vol. 33: p, 78 (in Solheim H, 2013. *Passalora juniperinae* (Georgescu & Badea) H. Solheim comb. nov.– new in Norway or just overlooked?) the following new combination was proposed: *Passalora juniperina* (Georgescu & Badea) H. Solheim com. nov, (Basionym: *Cercospora juniperina* Georgescu & Badea, Anal. Inst. Cerc. Exp. For. Ser. 1, 2: 46, >1937).

Unfortunately it is illegitimate since it was registered neither in Index Fungorum nor in Mycobank. This is now done with entry MB 807159.

Anders K Wollan
Editor of Agarica, vol 33

Innholdsfortegnelse AGARICA vol. 34

- 3 | **Johan Mattsson, Mari Sand Austigard:** Introduksjon til bygningsmykologi
- 11 | **Gry Alfredsen, Lone Ross Gobakken, Per Otto Flæte, Christian Brischke:** Faktorer som påvirker levetiden til tre utendørs
- 19 | **Mari Sand Austigard, Johan Mattsson, Ingeborg Bjorvand Engh, Hege Bull Jenssen:** Dry rot fungus (*Serpula lacrymans*) in Norwegian buildings
- 29 | **Lone Ross Gobakken, Johan Mattsson, Gry Alfredsen:** The importance of critical *in-situ* conditions for in-service performance of wood
- 37 | **Miha Humar, Boštjan Lesar:** Fungicidal properties of lignocellulose insulation and building materials
- 47 | **Erik Larnøy, Franziska Friese, Gry Alfredsen, Holger Militz:** Comparison of decay assessment methods for field trials
- 55 | **Ari M. Hietala:** Application potential of 2nd generation PCR techniques and sequencing platforms in performance tests of wood protection products – Opinion paper
- 63 | **Maria Nunez:** Critical factors for mould growth in Scandinavian buildings - A review
- 69 | **Johan Mattsson, Ingrid Grønli, Cathrine Marie Whist, Anne Tine Ødegaard:** Muggsoppsporere i luftprøver
- 77 | **Lone Ross Gobakken, Eva Grodås, Sigrun Kolstad:** Effekten av sinkkoksidd (ZnO) i linoljemaling på svertesoppvekst
- 85 | **Johan Mattsson, Bjarte Sæthre:** Muggsoppkader i 214 moderne baderom
- 93 | **Johan Mattsson, Cathrine Marie Whist, Maria Nunez, Mari Sand Austigard:** Salt (NaCl) as protection of Historical Wood against fungal deterioration
- 101 | **Johan Mattsson, Anne Cathrine Flyen, Ingrid Grønli, Cathrine Marie Whist:** Muggsoppkader i bygninger på Svalbard
- 110 | **Errata: Solheim H, 2013. *Passalora juniperinae* (Georgescu & Badea) H. Solheim comb. nov.– new in Norway or just overlooked? Agarica 2013, vol. 33: p, 78.**