

# Nedbrytning av trä orsakat av rötsvampar vid olika fuktkvoter

Erik Josefsson

TVBM-5105 Examensarbete  
Byggnadsmaterial LTH 2016

Rapport

ISRN: LUTVDG/TVBM-16/5105-SE (1-48)

ISSN: 0348-7911 TVBM

Byggnadsmaterial  
Lunds Tekniska Högskola  
Box 118  
221 00 Lund

[www.byggnadsmaterial.lth.se](http://www.byggnadsmaterial.lth.se)

## Förord

Detta projekt är ett examensarbete för civilingenjörsutbildningen Väg- och vattenbyggnation. Projektet har utförts på avdelningen för Byggnadsmaterial på Lunds Tekniska Högskola våren 2016 och omfattar 30 högskolepoäng.

Jag vill tacka Sanne Johansson som varit handledare som har hjälpt till med att hitta bra litteratur och varit till god hjälp i laboratoriet. Vill även tack Lars Wadsö som varit examinator och bland annat har sågat upp träbitar och kommit med många goda råd.

Vill också tacka övriga medarbetare på avdelningen som hjälpt till med material och verktyg.



## Sammanfattning

Trä och andra organiska material riskerar att angripas av mikrobiell påväxt under vissa temperatur- och fuktförhållanden. Mögel- och rötsvamp kan börja växa på trä om fukthalten är tillräckligt hög. Röttsvampar bryter ner träets olika beståndsdelar i olika utsträckning beroende på svamp- och träart. Det som påverkar röttsvampars tillväxt är bland annat fukthalt, temperatur, pH-värde och syrehalt. En del av den forskning som görs på röttsvampar har som syfte att undersöka fuktens inverkan på tillväxten och att försöka hitta tröskelvärden vid vilket röttsvampar kan växa. Tröskelvärden är den fuktkvot som man vill understiga i träet för att inte riskera angrepp från svampar. För att röttsvampar ska kunna bryta ner veden måste fuktkvoten minst vara mellan 22-30 % beroende på typ svamp.

Syftet med denna studie var att undersöka hur röttsvampar växer på trä vid olika fukthalter. En ny metod har testats där trä med röttsvamp läggs ihop med trä utan röttsvamp och där fuktkvoten i varje prov är konstant. Under nedbrytningen minskar träets torrmasa och den procentuella massförlusten används som ett mått på nedbrytningen. Två typer av röttsvampar, brunröttsvampen *Postia placenta* och vitröttsvampen *Trametes versicolor*, har använts under försöken. Gran, *Picea abies*, testades vid fuktkvoterna 22, 26, 30, 40 och 50 %. Totalt gjordes 30 stycken prov som inkuberades i 35 dagar. Proverna plastades in och placerades i lådor med vatten eller mättade saltlösningar i botten för att fukthalten skulle vara så konstant som möjligt under försökstiden.

Röttsvampar brukar delas in i tre olika typer efter sättet de bryter ner de olika delarna i veden:

- Brunröta, bryter ner hemicellulosa och cellulosa och förekommer oftast på barrträd. Är generellt sett mer aggressiv än vitröttsvampen.
- Vitröta, bryter ner hemicellulosa, cellulosa och lignin och växer oftast på lövträd.
- Mjukröta, bryter delvis ner ligninet och cellulosan i kärnveden och kan växa under fuktiga och syrefattiga förhållanden.

Resultaten visade att brunröttsvampen, *Postia placenta*, orsakade en massförlust för prov där fukthalten översteg 25 %; vid 50 % fuktkvot var massförlusten nära 10 %. Massförlusten var som mest 5-6 % för träbitar angripna av vitröttsvampen, *Trametes versicolor*. Fuktkvoten sjönk i de flesta träproverna med några undantag där fuktkvoten har ökat under försöket. Resultaten ligger i närheten av resultat från liknande försök.

Resultaten visar att massförlusten ökar med ökande fuktkvot. Fuktkvoten har dock sjunkit i de flesta proverna vilket innebär att för säkra slutsatser kring lägsta fuktkvot för nedbrytning är svårt att dra. Endast fuktkvoterna vid start och slut är kända och hur fuktkvoten i träbitarna har varierat under försöket är inte känt.

## Abstract

Wood and other organic materials run the risk of decay caused by rot-fungi under certain temperature and moisture conditions. If the moisture content in the wood is high enough, mold and decay fungus can grow. Rot-fungi decompose the different components of the wood to different extent depending on species of fungus and wood type.

Factors affecting how decay fungi grow on wood are moisture, temperature, pH-value and oxygen. Most studies made on rot-fungi investigates how moisture affects the growth of the fungus and what the threshold value for decay is. The threshold value is the minimum wood moisture content for decay. The minimum wood moisture content for decay is between 22-30 % depending on species of fungus.

The purpose of this project was to investigate how rot fungi grows on wood at different wood moisture content. A new method has been tested where wood with decay fungus was put together with wood without decay fungus and the moisture content in each sample was constant. During the decay, the dry mass of the wood decreases and the mass loss in percent is a measure of the decay. Two types of rot fungi, the brown rot fungi *Postia placenta* and the white rot fungi *Trametes versicolor*, was used in the experiments. Norway spruce, *Picea abies*, was tested at the wood moisture contents 22, 26, 30, 40 and 50 %. Tests were made on 30 piles of wood with an incubation time of 35 days.

Rot fungi are divided into three groups based on how wood is decayed:

- Brown-rot decompose hemicellulose and cellulose and usually grows on conifers.
- White-rot decompose hemicellulose, cellulose and lignin. Usually grows on hardwoods.
- Soft-rot decompose lignin in the heartwood. Grows at high moisture levels and low oxygen levels.

The brown-rot fungi, *Postia placenta*, caused a mass loss for samples with an end wood moisture content of 25 % and above; the mass loss for the samples initially at 50 % moisture content was almost 10 %. The highest mass loss for the white-rot fungi were 5-6 %. The wood moisture content decreased in most samples with a few exceptions where it increased. Results are similar to other studies made on rot fungi.

The relationship between wood moisture content and mass loss is easy to see from results. The mass losses were higher for the samples with high moisture content. The moisture content decreased in many samples, which makes it hard to determine the minimum wood moisture content value for decay. The moisture contents at the start and at the end of the experiment are known but the moisture content during the tests are unknown.

# Innehåll

Förord.....	I
Sammanfattning.....	III
Abstract.....	IV
1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte.....	1
1.3 Avgränsningar.....	1
1.4 Frågeställningar.....	2
1.5 Historik.....	2
2. Teori.....	3
2.1 Svampar, Fungi.....	4
2.2 Trä.....	5
2.3 Rötsvampar.....	8
Tidigare studier på ämnet rötbeständighet.....	18
3. Material och Metod.....	19
Material.....	19
Metod.....	21
4. Resultat.....	25
Massförlust.....	25
Fuktkvot.....	28
Temperatur och RF i rummet.....	30
5. Diskussion.....	31
Nedbrytning.....	31
Fläkt.....	32
Fuktkvot.....	33
Felkällor.....	34
Permeabilitet och hygroskopicitet.....	34
SEM-bilder.....	34
6. Slutsatser.....	37
7. Framtida studier.....	39
Referenser.....	41





# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

Trä har använts som byggnadsmaterial i tusentals år. Men eftersom det är ett organiskt material kan det under vissa förutsättningar brytas ner. Forskning kring orsaker och förbyggande åtgärder mot skadat virke har pågått länge och eftersom det kommer nya material och nya konstruktionslösningar finns alltid risken att icke förutspådda problem uppstår.

Risk för rötskador finns i träkonstruktioner med höga fuktkvoter, över ca 30 % under en längre tid. Fuktkvoten i inbyggt trä ska normalt sett inte överstiga 12 %. Att höga fukthalter uppstår kan exempelvis bero på vattenläckage från vattenledningar, otäta tak, dålig dränering eller dåligt isolerade konstruktionsdelar.

Trä innehåller olika ämnen som finns naturligt för att skydda mot angrepp. Annat kemiskt skydd, till exempel impregnering, förbättrar motståndskraften ytterligare. I första hand bör dock konstruktivt förbyggande åtgärder vidtas vilket innebär att konstruktioner i trä utförs så att inte fuktkvoten i träet överstiger 20 %.

## 1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet var att testa en ny metod för att undersöka om rötsvampar kan kolonisera vid låga fuktkvoter. Metoden går ut på att testa hur träbitar med svamp koloniserar träbitar utan svamp vid olika fuktkvoter. Arbetet gjordes också för att undersöka hur väl metoden fungerar och om den eventuellt går att förbättra.

## 1.3 Avgränsningar

Det finns flera faktorer som påverkar rötsvampars tillväxt: fukthalt, temperatur, syre och pH-värde, typ av trä och rötsvamp.

Examensarbetet har lagt fokus på att studera fukthaltens inverkan.

Proverna inkuberades i 5 veckor. För att kunna konstatera hur stor nedbrytning är vid låga fuktkvoter krävs längre inkuberingstid. Rötsvampar växer i olika takt och för att se märkbar tillväxt tar det i vissa fall lång tid.

Endast splintved på gran, *Picea abies*, har testats. Kärnved och splintved har olika egenskaper och splintved angrips normalt lättare av rötsvampar.

Endast två olika rötsvampar har använts i testerna, vitrötesvampen *Trametes versicolor* och brunrötesvampen *Postia placenta*.

Totalt testades 30 prover med 10 träbitar i varje prov.

## 1.4 Frågeställningar

Projektet hade följande frågeställningar:

- Vilken är den lägsta fuktkvot vid vilken rötsvampar kan etablera sig?
- Hur ser sambandet mellan massförlust och fukthalt ut?
- Hur väl fungerar den använda metoden?

## 1.5 Historik

Runt en fjärdedel av jordens landmassa är skog och i Sverige är andelen skog mellan 55-60 % (CBD, 2016). I tusentals år har människan använt trä till allt från små verktyg till stora konstruktioner och eftersom trä är organiskt har man fått leva med faktumet att det är nedbrytbart. Historiskt har det varit allmänt känt att trä kan skadas och försvagas. I Gamla testamentet i Bibeln, tredje Moseboken 14.15, skrivs det om att ett hus har blivit sjukt av gröna och röda fläckar på väggarna. För att bli av med rötan fördes allt material ut från byn.

Kunskapen om vad svampars roll i nedbrytning av trä är förhållandevis ny. Inte förrän 1870-talet kunde Robert Hartig fastställa att svampar var orsaken till nedbrytning av trä (Rayner & Boddy, 1988). Före det, fram till 1800-talet ansågs röta vara ett straff från Gud. I mitten av 1800-talet trodde man att svamptillväxt var en konsekvens av att trä bryts ner och inte tvärtom som senare konstaterades. Från mitten av 1800-talet togs de första stora stegen mot dagens kunskap om rötsvampar och dess roll i nedbrytningsprocessen.

## 2. Teori

Svampar är ett eget rike i den biologiska taxonomin och finns i många olika former.

Till skillnad från växter saknar svampar klorofyll och tillsammans med bland annat djur och växter är de flercelliga organismer (Eukaryota). Svampar kan delas in i divisioner efter sättet deras sporer sitter:

- Basidiesvampar (basidiomycota)  
De bildar sina sporer på basidier och de flesta rötsvampar hör till divisionen basidiomycota
- Sporsäckssvampar (ascomycota)  
De flesta mögelsvampar tillhör denna division
- Kopplingssvampar (zygomycota)  
Även här finns det mögelsvampar

Rötsvampar hör till divisionen basidiesvampar, basidiomycota, och brukar delas in i tre olika grupper efter sättet de bryter ner veden på:

- Brunrötesvampar
- Vitrötesvampar
- Mjukrötesvampar

**Brunrötesvampar** bryter ner cellulosa och hemicellulosa. Efter nedbrytningen blidas ett brunt pulver som är det återstående ligninet, därav namnet brunröta. Rötsvampar i hus är oftast brunrötesvampar och de vanligaste är hussvampen, *Serpula lacrymans* och källarsvampen, *Coniophora puteana*. *Serpula lacrymans* är den vanligaste och mest aggressiva rötsvampen inomhus i norra och centrala Europa.

**Vitrötesvampar** bryter ner cellulosa, hemicellulosa och lignin. I naturen förekommer de främst i lövträd och är inte lika vanligt i huskonstruktioner. Sidenticka, *Trametes versicolor*, är en av de mest effektiva vitrötesvamparna. Fönsktickan, *Fomes Fomentarius*, har en grå hård fruktkropp och ofta växer på björk eller andra lövträd.

**Mjukrötesvampar** hör till divisionerna Ascomycota och Deuteromycota och bryter ner cellulosan och ligninet i veden. Vid god tillgång på syre kan mjukrötesvampar inte konkurrera med brun-, och vitrötesvampar utan förekommer oftast på ved med höga fuktkvoter och vid varma eller kalla temperaturer. De kan angripa stubbar eller döda trädstammar men kan också angripa impregnerat virke som telefonstolpar.

## 2.1 Svampar, Fungi

Svampar hör till domänen eukaryoter och är heterotrofer, vilket innebär att de konsumerar organiska material för att få energi. De lever på kol från olika organiska material, oftast växter, och består till 90 % av vatten. De reproducerar sig sexuellt via sporer och även asexuellt och lever för det mesta på land.

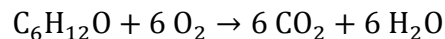
Svampceller kan definieras som hyfer, vilka är tubformade med cellväggar som separeras med skiljeväggar, septa. Hyferna består av olika typer av kolhydrater, främst kitin och glukaner.

Ett nät eller större mängd av hyfer kallas mycel men övergången däremellan är flytande. Diametern på en hyf är mellan 0,1-0,4  $\mu\text{m}$  för mikrohyfer som *Phellinus pini* och 60  $\mu\text{m}$  för de största hyferna hos Äkta hussvamp, *Serpula lacrymans* (Schmidt, 2006). Eftersom varje individuell hyf är så pass liten att det krävs mikroskop för att se dem definieras svampar som mikroorganismer. Svampar kan trots denna definition bilda stora och relativt starka fruktkroppar som exempelvis Fnöskticken, *Fomes fomentarius*.

Förenklat kan röttsvampars liv delas in i två faser: den vegetativa fasen när mycelet växer och den reproduktiva fasen när fruktkroppen har utvecklat förmågan att släppa ut sporer. *Serpula lacrymans* kan producera mellan 300 000 och 360 000 och *Piptoporus betulinus* 31 000 000 sporer per timme och  $\text{cm}^2$  hyfarea (Schmidt, 2006).

De flesta svampar är saprofyter som är organismer som lever på döda växtdelar men kan även vara parasiter som lever på levande växtdelar.

Alla respirerande organismer producerar vatten under respirationen. Den kemiska reaktionen vid röttsvampars nedbrytning av cellulosa kan förenklat beskrivas på följande vis (Schmidt, 2006):

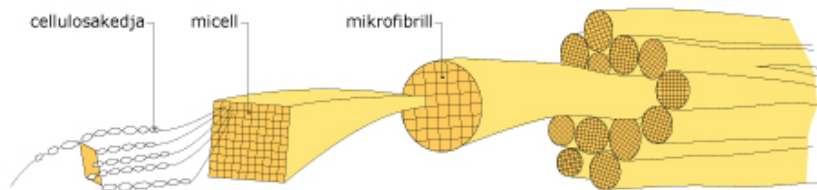


Kolhydrater tillsammans med syrgas omvandlas till koldioxid och vatten. Detta innebär att fuktnivån stiger vilket gynnar svamptillväxt. Runt 56 % av den nedbrutna cellulosan blir vatten och 40 % blir svampmassa (Schmidt, 2006). Vid mindre nedbrytning ökar fuktnivån marginellt men vid större massförluster kan vattentillskottet vara avgörande, speciellt om fuktkvoten ligger nära det lägsta för tillväxt.

## 2.2 Trä

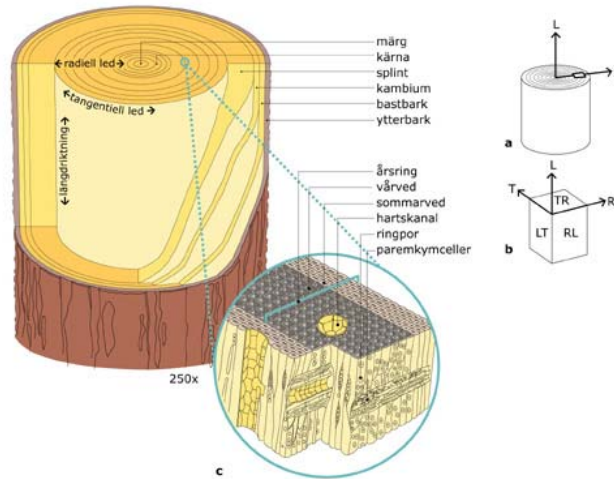
Trä består av cellulosa, hemicellulosa och lignin. Dessa tre beståndsdelar är rötsvampars huvudsakliga näringskälla och kan brytas ner i olika utsträckning beroende på svamp och träsamansättning. Förhållandet mellan cellulosa, hemicellulosa och lignin kan variera mycket i ett och samma träd och mellan olika träd. Vanligtvis är cellulosa den dominerande beståndsdel, runt 40-50 % av torrvikten för barr- och lövträd. Cellulosa ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) är en molekyl som är uppbyggd med  $\beta$ -D-glykosenheter som bildar kedjor, se Figur 1, som i sin tur bildar fibriller eller mikrofibriller (Rayner & Boddy, 1988). Cellulosan tillsammans med hemicellulosan och ligninet gör att trä är ett mekaniskt starkt material.

Hemicellulosa är uppbyggda av glykosenheter och kan också innehålla xylos, mannos, galaktos och arabinos. I barrved är glukomannaner den vanligaste hemicellulosan. Andelen hemicellulosa brukar vara mellan 25-30 % barrträd och 25-40 % i lövträd. Lignininnehållet är 25-35 % i barrträd och 18-25 % i lövträd (Rayner & Boddy, 1988). Olika typer och sammansättningar av komponenterna hemicellulosa, cellulosa och lignin förklarar delvis de tre rötsvampstyperna vit-, brun- och mjukrötesvampar.



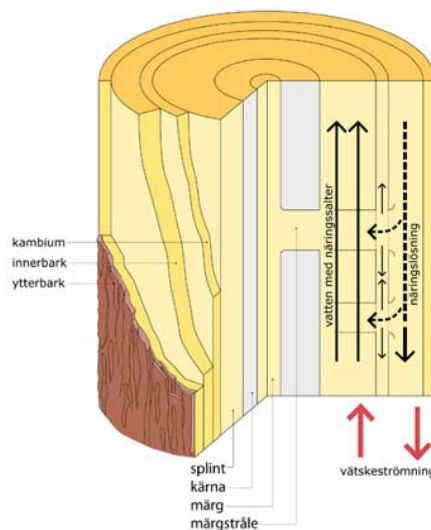
Figur 1. Fiberväggens uppbyggnad (Svenskt trä A, 2003).

Stammens tvärsnitt består från centrum och ut av mærg, kärnved, splintved och bark, se Figur 2. Beständigheten mellan kärnved och splintved skiljer sig. Främst eftersom de har olika fuktabsorberande egenskaper, splintveden absorberar fukt lättare och kärnvedens fuktkvot överstiger sällan 25 % vilket är gränsen för mögel och blånadssvampar. Detta gör att kärnveden passar bättre för utomhusexponering, till exempel träpanel (Burström, 2011).



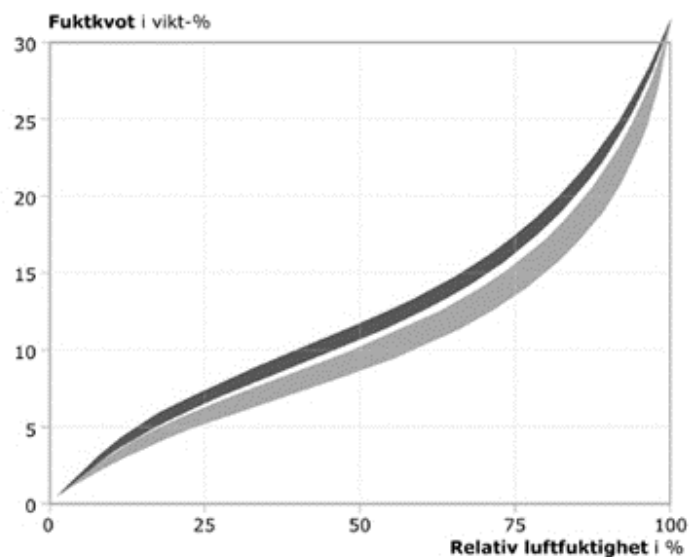
Figur 2. Stammens uppbyggnad (Svenskt trä B, 2003).

Fukt- och näringstransporten i stammen sker främst i longitudinell riktning och till viss del i radiell riktning via mærgstrålarna, se Figur 3. Fukten kan röra sig tangentiellt och radiellt men genomsläppligheten i dessa riktningar är inte lika stor. För bok, *Fagus sylvatica*, är permeabiliteten 65 000 större longitudinellt än tangentiellt. I kärnveden i tall, *Pinus*, är permeabiliteten 55 gånger större longitudinellt än radiellt (Rayner & Boddy, 1988).



Figur 3. Illustration av hur vatten och näringsämnen transporteras i trädstammen (Svenskt trä B, 2003).

Sambandet mellan fuktkvoten i träet och den relativa fuktigheten i luften illustreras vanligtvis med sorptionskurvor, se Figur 4. Kurvan ser olika ut beroende på om materialet fuktas upp, absorption, eller avger fukt, desorption. Absorptionskurvan ligger under desorptionskurvan. Sorptionskurvor är svåra att bestämma och kan variera mellan olika mätningar på samma material. Särskilt svårt är det att avgöra hur kurvan ser ut i intervallet 98-100 % RF (Nevander & Elmarsson, 2013). För gran, *Picea abies*, brukar fuktkvoten för hög relativ fuktighet, runt 97-100 %, ligga mellan 25-30 % beroende på om det är absorption eller desorption.



Figur 4. Hygroskopisk sorptionskurva för gran, *Picea abies*, vid runt 20 °C. Desorptionsisotermen är överst och absorptionsisotermen är den undre (Svenskt trä C, 2003).

## 2.3 Rötsvampar

Rötsvampar lever på levande eller döda organiska material och växer och bryter ner under vissa förhållanden.

### *Förutsättningar för tillväxt*

Faktorer som påverkar svampars tillväxt är:

- Fukt
- Temperatur
- Syre
- pH-värde
- Näring, ljus och gravitation

**Fukt:** Fukthalten i träet är det som har störst inverkan på rötsvampars tillväxt. Vid normala temperaturförhållanden kräver rötsvampar en fuktkvot på minst 22-30 % (Schmidt, 2007), se Tabell 1, men det exakta tröskelvärdet för svamptillväxt är fortfarande inte helt fastställt. Idag är det allmänt känt att fuktförhållandena för röta blir kritiska om det finns fritt vatten tillgängligt i cellväggarna. Detta tillstånd kallas fibermättnadspunkten som ligger vid runt 30 % fuktkvot för de flesta träarter. Skillnader i träegenskaper beroende på träart, behandling eller del av stammen, kärn- el splintved, gör att fibermättnadspunkten och risken för röta vid samma fuktförhållanden varierar. Vissa rötsvampar kan växa och under fibermättnadspunkten om det finns tillgång till vatten i närheten. Äkta hussvamp, *Serpula lacrymans*, har en exceptionell förmåga att transportera vatten långa sträckor genom exempelvis murbruk vilket innebär att den kan attackera torrt material om det finns en vattenkälla en bit ifrån (Schmidt, 2006). Svamparna avger enzymer som är beroende av vatten och hyferna består till 90 % av vatten. Vattnet används också för att transportera näringen i hyferna. Svampar och andra respirerande organismer producerar vatten men vattentillskotten under respirationen brukar överskattas (Schmidt, 2006). Runt 56 % av cellulosan som bryts ner blir vatten vilket kan öka fuktnivån något.



Tabell 1. nedan visar värden på lägsta fuktkvoten som några inomhussvampar kan växa, sammanställd av Schmidt, 2007.

Tabell 1. Värden på minsta, högsta och optimala fuktkvoter (%) då svampar kan växa (Schmidt, 2007).

	Minimalt för kolonisering	Minimalt för nerbrytning	Optimalt för nerbrytning	Maximalt för nerbrytning
<i>Serpula lacrymans</i>	21	26	45-140	240
<i>Leucogyrophana pinastri</i>	30	37	44-151	184
<i>Coniophora puteana</i>	18	22	36-210	262
<i>Antrodia vaillantii</i>	22	29	52-150	209
<i>Donkiopora expansa</i>	21	26	34-126	256
<i>Gleophyllum abietinum</i>	20	22	40-208	256
<i>Gloeophyllum sepiarium</i>	28	30	46-207	225
<i>Gloeophyllum trabeum</i>	25	31	46-179	191

**Temperatur:** De flesta rötsvampar trivs bäst i temperaturer mellan 20-35 °C men det finns svampar som klarar av låga temperaturer, runt 0 °C och i enstaka fall, *Coniophora puteana*, ner till – 20 °C (Schmidt, 2006). Temperaturförhållanden som överstiger 40-45 °C under en längre tid är i de flesta fall för höga. Vid temperaturer under de optimala sjunker svamparnas tillväxttakt och vid riktigt låga temperaturer blir de helt inaktiva. Värmebehandling av trä i befintliga byggnader kan vara effektivt mot vissa svamparter, exempelvis *Serpula lacrymans* som dör efter några timmar i temperaturer över 70 °C (Schmidt, 2006), se Skydd, sida 17.

**Syre:** Svampar är aerobiska organismer som behöver syre under respirationen. Rötsvampar avger vid respiration koldioxid, vatten och energi i form av värme. Om tillgången på syre är låg och koldioxidhalten är hög sjunker svampens nedbrytningstakt. Saprotrofer tenderar att klara av syrebrist sämre än vissa parasiter som lever i kärnved. *Serpula lacrymans* och *Coniophora puteana* överlevde i 2 respektive 7 dagar utan syre och parasiten *Laetiporus sulphures* överlevde i 2 år (Schmidt, 2006). Virke förvaras i vissa fall i vatten för att minska risken för svampangrepp. På så sätt blir fukthalten hög och halten syrgas lägre. Denna metod förebygger rötangrepp från de flesta rötsvampar med några undantag. Mjukrötesvampar kräver inte lika mycket syre och överlever i trä med fuktkvoter på upp till 200 %.

**pH-värde:** Rötsvampars optimala pH-värde är runt 4-6 men de kan överleva mellan 2,5-9 (Schmidt, 2006). Svampar avger ofta olika syror när de växer vilket ibland kan leda till låga pH-värden om det inte finns något som neutraliserar det. Exempelvis trivs äkta hussvamp, *Serpula lacrymans*, bra i konstruktioner med betong, lättbetong och murbruk eftersom det innehåller kalk som kan neutralisera de oxalsyror som svampen avger vid respirationen.

**Fluktuation:** Temperatur och fuktnivå i en byggnad fluktuerar i olika utsträckning, bland annat beroende på geografisk position, väderstreck, ventilation, isolering och markförhållanden. Utvändiga konstruktionsdelar, exempelvis fönsterkarm och fasad, fluktuerar mycket i temperatur och fuktnivå från dag till natt. Inomhus är förhållandena mer eller mindre stabila beroende på isolering, lufttäthet, luftcirkulation och konstruktionstyp. Variationer i temperatur och fuktnivå under dygnet och under året kan göra att svamp eller mögel tidvis har förutsättningar att växa. Rötsvampar som har etablerat sig kan bli inaktiv under ogynnsamma förhållanden och börja växa igen när de blir gynnsamma (Viitanen, 1994). Det är därför viktigt att beakta och uppskatta hur fuktnivån varierar över dygnet och över året.

Svampar behöver inte ljus för att växa eftersom de är kol-hetrotrofa. Mycelet kan växa inne i träd och i jorden helt fritt från ljus. Ljuset har däremot en viktig funktion eftersom det används som signal för svampen att den kan blida en fruktkropp som sen kan släppa ut sporer. Svampar använder gravitationen för att orientera sig så att ytor där sporer släpps ut hamnar rätt.

Rötsvampar kan angripa trä i alla steg i den industriella processen. Från att trädet står levande i skogen till att det slutligen används som byggnadsmaterial i hus finns risken att virket skadas av rötsvampar.

Träets olika steg från att det står i skogen till att det används som virke kan förenklat beskrivas enligt följande:

Levande i skogen → Fällning → Transport → Uppsågning i sågverk → Förvaring → Virke i huskonstruktioner

I levande tillstånd kan trädet motverka kolonisering av svampar och bakterier eftersom de producerar extraktivämnen som fungerar som naturliga fungicider. Rötsvampar kan både vara parasiter, det vill säga lever på levande växtdelar, och saprofyter vilket innebär att organismer som lever på döda växtdelar. Vanliga anledningar till att levande träd blir sjuka är att grenar beskärts, avgaser från trafik eller att djur tuggar på bark och grenar. Röta kan uppstå mer eller mindre snabbt, i vissa fall flera år innan etablering och ibland är svampen inte synlig vilket kan leda till att träd försvagas och faller som en följd av långvarig röta inne i stammen.

När trädet fälls dör det och risken för röta eller andra angrepp ökar. Det är därför viktigt att det fällda trädet inte blir liggande i skogen för länge innan det transporteras till förvaring eller uppsågning. En metod som tidigare använts för att förebygga mikrobiologisk påväxt var att våtлага virket. Genom att fukta upp virket till en hög fuktkvot skapas förhållanden som få mikroorganismer trivs i. Idag förvaras stockarna vanligtvis på land och bevattnas när det är varmt för att undvika blånadssvamp, insekter eller sprickbildning i timret (Svenskt trä D, 2003).

När virket har sågats upp i sågverken torkas det för att sänka fuktkvoten innan det emballeras. Om det blir håll i emballaget finns det risk för röta under transporten.

Inomhusrötsvampar är viktigast att förhindra, sett ur ett ekonomiskt perspektiv, eftersom inbyggt virke har genomgått den industriella processen. En av rötsvamparna som orsakat störst ekonomisk skada är Äkta hussvamp, *Serpula lacrymans* (Schmidt, 2007), som har en förmåga att växa och sprida sig över stora ytor när den har etablerat sig. Fönsterkarmar som oftast är gjorda av trä löper

relativt stor risk att angripas av rötsvampar eftersom fukt tenderar att komma in i anslutning till vägg och via kondens (Schmidt, 2007).

Äkta hussvamp, *Serpula lacrymans*, är intressant att studera eftersom den orsakar stora ekonomiska kostnader i europeiska byggnader. Svampen är den farligaste rötsvampen i norra och centrala Europa. *Serpula lacrymans* är speciellt farlig eftersom dess sporer gror på fuktigt trä eller annat material med cellulosa och att mycelet sedan kan växa till trä genom att växa genom material som inte har någon näring, till exempel murbruk eller lättbetong. För att kolonisera behövs inte någon hög fuktkvot, runt 21 %, men den kan sedan överleva vid lägre fuktkvoter om hyferna, som kan växa sig stora, har tillgång till vatten. Den förekommer även i kyligare och varmare klimat i Japan, Korea, Indien, Pakistan och Sibirien. Undersökningar på rötskador i hus har visat att *Serpula lacrymans* har varit inblandade i 16 % av fallen i Norge, 22 % i Danmark, 54 % i Polen och Nordtyskland och 59 % i Sverige (Schmidt, 2006). Resultaten ska dock bedömas med viss försiktighet eftersom undersökningarna skiljer sig i utförande och dessutom kan identifieringen av svamparna i vissa fall vara inkorrekta. Forskning på svampen har gjorts sedan 1800-talet och den är mest undersökta rötsvampen. *Serpula lacrymans* växer oftast i källare och grunden på äldre byggnader. Hus med dålig ventilation och otäta tak och väggar riskerar att angripas (Schmidt, 2006). Svampen och dess mycel kan växa inne i väggar, golv och tak vilket gör att det i vissa fall tar lång tid innan den upptäcks (Schmidt, 2006).



Figur 5. Äkta hussvamp, *Serpula lacrymans* (Wikipedia C, 2016).

Källarsvamp, *Coniophora puteana*, hör till släktet *Coniophora* som består av runt 20 arter. Bland rötsvampar i hus i Europa är svampen den näst vanligaste efter *Serpula lacrymans*. Den har en fruktkropp med färgen ljus- till mörkbrun och som namnet antyder växer den i källare i fuktiga gamla byggnader men också på lagrat virke, trä i markkontakt och på träbroar. Källarsvampen växer förhållandevis snabbt och trivs i temperaturer mellan 20 och 28 °C (Schmidt, 2006).

### Rötsvampar i levande träd

Träd som faller som en följd av storm eller kraftigare vindar har nästan alltid koloniserats och brutits ner mycket av rötsvampar. Det enda undantaget är efter kraftiga stormar eller orkaner då även friska och starka träd kan fällas.

Stubbar kan angripas av mjukrötesvampar och andra basidiomiter som kan sprida sig ner i rötterna. Efter att ett träd sågas ner dör i många fall vedcellerna i stubben. En del stubbar kan överleva längre, speciellt lövträd, eftersom de till skillnad från barrträd kan bilda nya skott som växer ut till nya grenar (Rayner & Boddy, 1988).

Rottickan, *Hetrobasidion annosum*, orsakar stora ekonomiska kostnader för skogsindustrin. Infektion kan dels ske via sporer i stubben och dels genom mycel i jorden. Några svampar inom släktet *Hetrobasidion* kan kolonisera levande rötter som efter viss nerbrytning dör och kan orsaka så kallad 'röd röta' i kärnveden. De ekonomiska kostnaderna uppgick år 1998 enligt Schmidt (2006) till 56 miljoner euro i Tyskland årligen och runt 500 miljoner euro årligen i hela EU.

'Barkbjörkssjukdom' eller 'beech bark disease' förekommer i Europa och Nordamerika drabbar oftast björkträd som är 60 år eller äldre på grund av att distributionen av vatten i trädet på ett eller annat sätt försämras. Faktorer som bidrar till sjukdom kan vara en torr sommar, angrepp från insekten, *Cryptococcus fagisuga*, eller angrepp från svampar i släktet *Nectira* (Schmidt, 2006).

Fnösktickan, *Fomes fomentarius*, växer oftast på björk och bok men förekommer även på andra lövträd, exempelvis ek-, lönn- och pilträd. Svampens fruktkropp är mörk- till ljusgrå och kan växa i över 30 år, se Figur 6. Träd som har försvagats på grund av skadad bark eller brutna grenar riskerar att infekteras. Efter långvarig svamptillväxt av en eller flera svampar kan trädet förlora så mycket av hållfastheten att det fälls av vinden. Fnösktickan har historiskt använts för att göra upp eld och att göra kläder (Schmidt, 2006).



Figur 6. Fnösktickan, *Fomes fomentarius* (Wikipedia A, 2016).

Sidenticka, *Trametes versicolor*, är en av de mest effektiva vitrötesvamparna. Finns i hela världen och är vanlig på döda träd i Europa, särskilt bokträd, *Fagus*, men även björkträd, *Betula*, sällan på barrträd. Fruktkroppen har varierande färg, se Figur 7, ofta brunt, rött och blått.



Figur 7. Sidenticka, *Trametes versicolor* (Wikipèida B, 2016).

## Almsjuka

Almsjuka är en sjukdom som drabbar almträd och orsakas av sporsäckssvampen *Ophiostoma ulmi*. Sjukdomen importerades troligen från Ostasien till Frankrike och Nederländerna runt år 1917 och fick på engelska namnet 'Dutch Elm disease' eftersom de första omfattande undersökningarna år 1923 gjordes i Nederländerna. 1923 upptäcktes sjukdomen i England, 1930 i USA och 1939 hade den spritt sig till stora delar av Europa och det forna Sovjet. Dess utbredning sjönk mellan 1940 och 1960 med spreds på nytt via en ny närbesläktad svampart, troligtvis från Rumänien/Ukraina, till Europa och mellersta Asien. I England dog runt 25 miljoner almar mellan åren 1970-2000 (Schmidt, 2006)

Sjukdomen har dödat flera hundra miljoner träd runt om i världen och de ekonomiska förlusterna har varit stora. Ett infekterat träd kan smitta närliggande träd via rötterna men största orsaken till spridningen är skalbaggen *Scolytus scolytus* och andra arter i släktet som kan sprida sjukdomen långa sträckor mellan träd.

### *Rötsvampar i byggnader*

Fukt är som tidigare nämnts en förutsättning för tillväxt av rötsvampar så åtgärder som håller fuktnivåerna under kritiskt nivå minskar skaderisken. Fukt i trä eller andra organiska material kan bland annat uppstå i form av regn, läckage, kondens, hög relativ fuktighet i luft eller från mark. För att skydda trä som är innanför klimatskalet är det viktigt att det är fukt- och lufttätt. Hus som byggs idag är generellt sett bättre isolerade och lufttätare vilket har både för- och nackdelar. Bättre isolering sänker energiåtgången och konstruktionen innanför klimatskalet blir varmare vilket är bra ur fuktsynpunkt. Nackdelen är dock att fukt som tar sig in i konstruktionen inte ventileras ut eftersom värmetransporten genom ytterväggen är låg (Nevander & Elmarsson, 2013). Hus som är lufttäta i kombination med att ventilationen inte är tillräcklig riskerar att få höga fuktnivåer, speciellt om fuktillskott från exempelvis människor, växter och matlagning är högt (Nevander & Elmarsson, 2013).

Vanliga orsaker till fuktskador kan vara otäta tak, stopp i häng- och stuprännor, läckage i badrum eller otillräcklig dränering. Läckage från hushållsmaskiner så som disk- och tvättmaskin orsakar i många fall höga fuktnivåer som är svåra att torka ur.

Regnvatten kan ta sig in i byggnaden om exempelvis tak, vägg eller fönster är felaktigt konstruerade. Årliga regnmängder kan variera mycket över landet vilket gör att byggnader belastas olika mycket beroende på var i landet det byggs. Även om totala regnmängder under ett år för en plats är en bra indikator på fuktbelastningen är det också intressant att studera extremfallen, när det regnar mycket under korta perioder. Vid extrema regnmängder måste hängrännor, stuprör och rännstenar vara designade för att föra bort vattnet. En sammanställning av undersökningar gjorda i England på 1970 och 80-talet av Bricknell (1991) visar att i 78 % av fallen var regn orsaken till rötskada. Regn i kombination med vind sätter extra höga krav på väggens täthet.

Vatten från mark: Fukt från mark kan uppstå om marken är dåligt dränerad. I många källare i äldre byggnader kan den höga fuktigheten var påtaglig och mögel eller röta kommer med stor sannolikhet uppstå förr eller senare (Bricknell, 1991).

Fukt i luften kan bilda kondens och göra att material blir fuktiga. Fukttillskott från människor, vattning av blommor, matlagning och torkning av tvätt kan skapa höga fuktnivåer i hus (Nevander & Elmarsson, 2013). Stora fuktillskott i kombination med undermålig ventilation ökar risken för mikrobiell påväxt.

Tilläggsisolering av vindar minskar förvisso energiförbrukningen men risken för mikrobiell påväxt ökar eftersom vindsutrymmet blir kallare vilket leder till hög relativ fuktighet. Även om rötsvampar inte trivs i låga temperaturer kan de börja växa när både fukt- och temperaturförhållandena är de rätta (Nevander & Elmarsson, 2013).

### *Metoder att identifiera svampar*

Traditionellt: Det finns flera olika metoder att identifiera rötsvampar. Metoderna är mer eller mindre exakta. Den traditionella metoden är att se på svampens fruktkropp, sporer och/eller hyfer (Schmidt, 2007) som kan ha olika färg och form. Metoden har dock sina begränsningar på grund av att vissa svampar inte bildar fruktkroppar. Fördelen med metoden är att identifieringen sker snabbt om fruktkroppar eller hyfer har utvecklats. Vissa svampar är dock svåra att skilja åt på släktnivå, vilket är fallet för *Anrodia*, *Coniophora*, *Leucogyophana*.

Molekylära metoder: För mer noggranna och mer exakta identifieringar finns molekylära metoder. De används för att identifiera och klassificera organismer genom att titta på organismers molekylära struktur. Dessa metoder har använts sedan 1980-talet för att identifiera rötsvampar. Det har kommit kritik på grund av att identifiering tar lång tid och kan leda till felaktiga slutsatser på grund av att fel referenssvamp har identifierats eller att ett prov innehåller flera svampar. Detta stämmer inte för alla metoder, vissa laboratorier kan identifiera runt 10 svamparter på en dag. Olika DNA-tekniker har lett till stora framsteg inom identifiering och klassificering av svampar de senaste decennierna (Schmidt, 2007). En annan molekylär metod att titta på svampars protein kan de identifieras på artsnivå. Dessa tekniker är användbara för att identifiera många rötsvampar som förekommer i hus. Även rötsvampar som är nära besläktade, *Serpula lacrymans* och *S. himantioides* (Schmidt, 2007).

### *Mögel och missfärgning*

Mögel och blånad är exempel på svampar som inte bryter ner veden. Dessa svampar är beroende av att det finns tillgång till näring så som socker, stärkelser och protein med mera.

Mögelsvampar bryter inte, till skillnad från rötsvampar, ner trä utan de lever på stärkelser i veden. I miljöer där den relativa fuktigheten är högre än 80 % finns risk för att mögel ska börja växa (Nevander & Elmarsson, 2013). Mögel kan börja växa på mat och andra naturliga material, till exempel läder, böcker och tyg. Den ideala relativa fuktigheten för mögeltillväxt är 95 %. I byggnader med dålig ventilation och läckage finns risk för mögeluppkomst. Personer som vistas i hus där det växer mögel kan få problem med hälsan. Människor kan få allergiska reaktioner om man kommer i direkt kontakt eller andas in sporer. Viss exponering av mögelsporer i ung ålder har generellt en god effekt för att undvika allergier senare i livet (Schmidt, 2006).

Blånadssvampar är inte en rötsvamp men de bryter ner cellväggen vilket leder den till att vedens förmåga att absorbera vatten ökar. De har därför en indirekt påverkan på rötsvampars tillväxt. Blånadssvampar kan vara blå, grå eller svart till färgen och börjar framförallt växa i splintveden på nyfallet eller lagrat barrträd men finns också i lövträd som björk och bok. För många arter ligger optimala fuktkvoten för tillväxt mellan 30 – 120 %.

En av de vanligast förekommande skadorna på stockar och uppsågat virke är röd missfärgning som orsakas av ett antal olika vitrötesvampar eller strålsvampar. Främst skadas barrträd (gran, tall, ädelgran) av svamparna som gör att gula eller rödbruna ränder bildas i stocken. Röd missfärgning riskerar att bildas på virke som har lagrats i fuktigt och varmt klimat under en längre period. Svamparna angriper ändträet och i sprickor i barken på stockarna. När svampen etablerats överlever

den långa perioder av torra och ogynnsamma förhållanden och kan sedan aktiveras och börja växa när de rätta fuktförhållandena råder (Schmidt, 2006). Dessa svampar trivs vanligtvis när fuktkvoten ligger mellan 50 – 120 % och de växer förhållandevis långsamt så oftast hinner inte hållfastheten försämrans om missfärgning upptäckts tidigt. Massförlust och således försämrade hållfasthet kan dock uppstå om svamparna får tid att växa vilket innebär att svamparna blir rötsvampar med tiden (Schmidt, 2006).

### *Virus och bakterier*

Virus är små partiklar, 10- 2 000 nm, som infekterar eukaryoter (Eukaryota) som är domänen där rikena djur, växter, svampar, amöbor och protister ingår. De förökar sig genom att ta sig in och ta över andra celler eftersom de saknar egen metabolism och förmåga att föröka sig. Växtvirus penetrerar skotten eller lövvävnaden hos växter och kan försämma trädväxten. Vid virusinfektion kan klorofyllet i löven helt eller delvis försvinna vilket gör att lövet får en ljusare färg och fotosyntesen försämrans avsevärt. Över 1000 virusarter finns beskrivna i Europa och de kan uppstå i de flesta löv- och barrträden (Schmidt, 2006).

Viorider är mindre än virus och kan orsaka missfärgning och försämma tillväxten så mycket att växten till slut dör.

Bakterier kan påverka växter positivt eller negativt. De kan leva i symbios med växter och förbättra dess tillväxt genom att de frigör näring i jorden som gör den bördigare. Men bakterier kan också göra att växter blir sjuka eller på andra sätt skadas. Päronepest drabbar, som namnet antyder, päronesträd men är något missvisande eftersom även andra växter, exempelvis äppleträd, hagtorn och rosväxter, kan få sjukdomen som orsakas av bakterien *Erwinia amylovora*. Bakteriesläktet *Agrobacterium* infekterar rötterna hos många växter och hos vissa fröväxter kan det orsaka det som på engelska heter 'crown gall' och 'hairy root disease' (Schmidt, 2006).

Bakterier förekommer i trä både som primära och sekundära kolonisatörer ofta tillsammans med att svampar koloniserar. Splintveden infekteras lättare om bark eller grenar är skadade. Träkonstruktioner som är våta i utomhusmiljö kan koloniserar av bakterier.

Bakterier bryter sällan ner trä under naturliga förhållanden men i laboratorium har försök gjorts bakterier bryter ner pektin, hemicellulosa och cellulosa. Vissa bakterier kan bryta ner vedens cellväggar.

Aktinobakterier lever ofta i jord och spelar en viktig roll i nedbrytningen av växter. De växer på trä i markkontakt och påverkar, precis som blånadssvamp, permeabiliteten i veden.



### *Skydd*

När trädet lever producerar det extraktivämnen som har fungicid effekt. I de flesta träslag har kärnveden större mängd extraktivämnen än splintveden. Den höga halten extraktivämnen i kombination med att kärnveden inte tar upp lika mycket vatten gör det till ett material med god beständighet.

Byggnader ska i första hand utformas så trä inte uppnår tröskelvärdet för biologisk påväxt, vilket brukar kallas konstruktivt skydd. För trä som är utomhusexponerat, exempelvis trappor och trallgolv, krävs oftast någon form av impregnering. Virke kan tryck- eller vakuumimpregneras med olika träskyddsmedel (Burström, 2011). Träskyddsmedel kan vara kreosot, koppar, krom, arsenik eller organiska skyddsmedel. Impregnering är hårt reglerat och träskyddsmedel som innehåller krom eller arsenik får bara användas till konstruktioner i mark eller vatten (Burström, 2011).

Risken för svampangrepp minskar om trädet fälls på hösten eller vintern eftersom det inte finns lika mycket sporer i luften. Skador från bland annat rottickan och andra svampar har ökat på grund av att träden fälls på sommaren i högre utsträckning idag än tidigare (Karjalainen, 1996).

Trä kan behandlas genom uppvärmning, ofta mellan 160-230 °C, för att ändra egenskaperna i vedcellerna. Värmen gör att strukturen i träet förändras och absorptionsförmågan minskar vilket förbättrar resistens mot röta. Även sanering på befintliga byggnader kan utföras genom att värma upp rötskadade utrymmen till höga temperaturer och på så sätt döda rötsvampen. Metoden är inte särskilt vanlig men har bland annat använts i Danmark för att döda *Serpula lacrymans* (Schmidt, 2007). Värmebehandling kräver mycket energi och blir således dyrt och dessutom kan det ta lång tid speciellt för stora trädelar. Värmebehandling används framförallt på byggnader av kulturhistoriskt värde (Schmidt, 2007).

### *Hållfasthet*

Rötsvampars inverkan på hållfastheten har studerats med olika infallsvinklar och metoder (Råberg, et al. (2012), Witomski, et al. (2015) och Curling, et al. (2012)). Standardmättet för att kvantifiera rötsvampars nedbrytning av trä är massförlust men vid undersökningar av hållfasthet är inte detta mått lika bra eftersom sambandet mellan massförlust och försämrad hållfasthet inte är linjärt. I början av nedbrytningen, massförlust mindre än 5 %, kan böjhållfastheten försämrades med upp till 50 % (Curling, et al., 2002). Tester gjorda av Witomski et al. (2015) på tall, *Pinus sylvestris*, har visat att böjhållfastheten försämrades med 50 % efter 7 % massförlust orsakat av brunrötesvamp och för vitrötesvampar var försämringen 20 % vid samma massförlust. Vitrötesvampars inverkan är inte lika stor som brunrötesvampens eftersom det bryter ner träet på olika sätt. De bryter ner hemicellulosa, cellulosa och lignin simultant och brunrötesvampar bryter enbart ner cellulosan och hemicellulosan som är de delar som utgör den största delen av träets böjhållfasthet. Ligninet är det som påverkar tryckhållfastheten. Tryckhållfastheten försämrades inte i samma utsträckning. Tester gjorda av Witomski et al. (2015) visar på ett linjärt förhållande mellan massförlust och tryckhållfasthet. Vid en massförlust på 1 % försämrades tryckhållfastheten med 1 % för trä nerbrutet av vitrötesvamp och för brunrötesvamp var försämrades hållfastheten med 2 % för varje 1 % massförlust.

### **Tidigare studier på ämnet rötbeständighet**

Många försök har gjorts runt om i världen för att bättre förstå vad som orsakar uppkomst av röta. Med tanke på hur många olika faktorer som påverkar om svamp börjar växa, (fukt, syre, pH-värde, temperatur, svampart, trädart och träbehandling), finns det näst intill oändligt många infallsvinklar att undersöka från. Vad som är gemensamt för majoriteten av dessa studier är att försöka komma fram till det lägsta värdet på fuktkvoten vid vilken rötsvampar kan växa. En sammanställning gjord av Schmidt (2007) av lägsta fuktkvoten som rötsvampar kan växa finns i Tabell 1.

Resultat från vissa studier kan dock ifrågasättas. I försök gjorda av Meyer och Brischke (2015) och Steinen et al. (2014) med flera har träbitar placerats på varandra och bildat en stapel i en Erlenmayer-flaska med maltextrakttagare i botten. Fuktkvoten i stapeln ökar från botten till toppen. Massförlusten vid de låga fuktkvoterna kan ifrågasättas eftersom svampen har nära tillgång till vatten i underliggande träbitar.

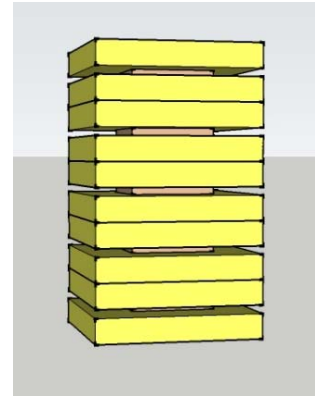
### 3. Material och Metod

Syftet med försöket var att undersöka hur rötsvampar växer i trä vid olika fuktkvot. I detta försök har 5 fuktkvoter testats (22, 26, 30, 40, 50 %).

I detta försök hölls fuktkvoten i träproverna så konstant som möjligt.

Försöket genomfördes i fem steg:

1. Tunna träskivor utan rötsvamp, så kallat rent trä, torkades och vägdes så att torrvikten blev känd.
2. Rötsvamp etablerades i de tunna skivorna vid hög fuktkvot (60 %) i runt 10 dagar.
3. Tjocka skivor, rent trä, torkades och vägdes så att torrvikten blev känd.
4. De tunna skivorna staplades tillsammans med de tjocka skivorna av rent trä vid en viss fuktkvot under 5 veckor, se Figur 8 till höger.
5. Alla skivorna vägdes, torkades och vägdes så att både fuktkvoten och massförlusten kan beräknas.



Figur 8. Träprov med tjocka och tunna träbitar.

De tjocka bitarna fuktades upp till olika fuktkvoter. Experimentet utfördes för att testa hur en svamp klarar av att angripa ett material när den redan är etablerad i ett angränsande material.

Målet med projektet var att hitta samband mellan massförlust och fukthalt under de rådande förhållandena.

#### **Material**

##### **Trämateriäl**

Gransplint, *Picea abies*, från Halland både för de små och de stora bitarna.

##### **Rötsvampar**

Brunrötesvamp, *Postia placenta*

Vitrötesvamp, *Trametes versicolor*

##### **Fuktnivåer**

5 st: (22, 26, 30, 40, 50 %). Fuktnivåer som klassas som låga i detta sammanhang, 30 % och under, är fler eftersom dessa fuktnivåer som är av störst intresse.

##### **Temperatur och relativ fuktighet i rummet**

Rumstemperatur, runt 22 °C.

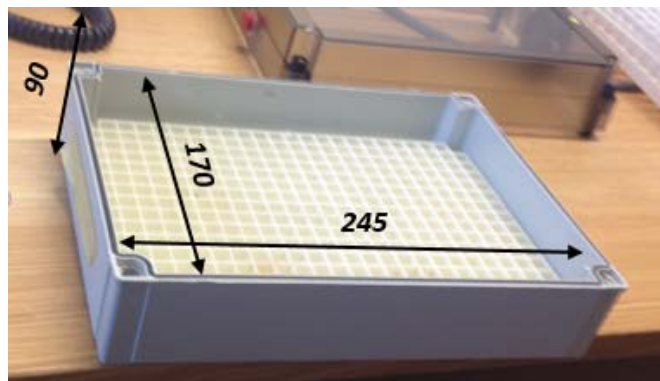
Relativ fuktighet 25-35 %.

### **Inkubering**

Staplarna förvarades i plastlådor. De med fuktkvoter över 30 % hade vatten på botten på lådorna, de med lägre fuktkvot hade mättade saltlösningar. Staplarna var inslagna i plast med hål i botten som var till för att begränsa uttorkningen och samtidigt tillåta viss luftning.

### **Lådor**

Proverna låg i lådor med invändiga mått på 245x170x90 mm, se Figur 9. I botten låg två petriskålar med vatten för att minimera uttorkning och ovanpå dem ett plastgaller för att förhindra att träproverna fuktas upp. Varje låda hade en fläkt för att skapa luftcirkulation. Fläktarna skapar ett undertryck i lådan vilket gör att luft tar sig in i lådan. Hur mycket detta påverkar fukthalten i proverna beror på hur täta lådorna är vilket är svårt att uppskatta. Lådorna hade små hål för skruvar och sladdar. Totalt användes 10 stycken lådor.



Figur 9. Låda som användes under försöken.

### **Träprover**

En stor träbit av rent trä, gran, är 40x40x6 mm, se Figur 10. Varje prov består av 10 stora träbitar och 5 små träbitar, gran, med rötsvamp som tillsammans bildar ett prov. Stapeln med träbitar hölls ihop av ståltråd och lades i en plastpåse med små hål i botten för att förebygga uttorkning och samtidigt tillåta viss luftning. Totalt gjordes 30 prover som innehöll 300 träbitar.



Figur 10. Träbit som användes i prover.

## Metod

### 1. Rötsvampar

I detta försök användes två stycken rötsvampar, *Postia placenta* och *Trametes versicolor*. *Postia placenta* är en brunrötesvamp och *Trametes versicolor* är en vitrötesvamp. Svamparna ympades i separata Petri-skålar med agar.

### 2. Tunna skivor

De tunna bitarna sågades upp till storleken 20x20x2 mm.

### 3. Torkning av tunna skivor

De tunna skivorna torkades i ugn vid 105 °C i 24 timmar.

### 4. De tunna skivornas torrmasa

Skivornas torra massa bestämdes genom vägning på en våg i enheten gram med 5 decimalers noggrannhet.

### 5. Sterilisering av de tunna skivorna

Skivorna steriliseras innan de läggs på agarplattan med rötsvamp. Om inte detta görs finns det risk för att mögel växer och utkonkurrerar rötsvampen. Eftersom förhållandena för mögeltillväxt är goda hade detta varit ett möjligt scenario.

Skivorna steriliserades genom uppvärmning i ugn vid temperaturen 105 °C i 24 h.

### 6. Uppfuktning av de små bitarna

De små bitarna fuktades upp till optimal fukthalt för tillväxt av rötsvamp, 60 %.

### 7. Inkubation av de små bitarna

De tunna skivorna läggs på ett nät i en Petri-skål med agar med rötsvamp, se Figur 11. Nätet är till för att hindra direkt kontakt mellan agar och träskivorna. Petri-skålarna inkuberades i runt 10 dagar.



Figur 11. De små träbitarna före inkulering.

8. Såga upp tjocka skivor

De tjocka skivorna har måtten 40x40x6 mm.

- Splintved från gran, *Picea abies*, från Halland testas eftersom splintveden är mer känslig för rötsvampsangrepp.

9. Torkning av de tjocka skivorna

De tjocka skivorna torkas vid 105 °C.

10. De tjocka skivornas torrmasa

Torrmasa bestäms genom vägning.

11. Sterilisering av de tjocka skivorna

De tjocka skivorna steriliserades vid temperaturen 105 °C.

12. Uppfukting av de tjocka skivorna

Skivorna fuktas upp till rätt fukthalt. I detta försök testades 5 olika fukthalter.

Fuktkvoterna ligger mellan 22-50 %, (22, 26, 30, 40, 50 %).

$$FK = \frac{m_1 - m_{0,1}}{m_{0,1}}$$

FK = Fuktkvot

$m_1$  = massa efter uppfuktning (g)

$m_{0,1}$  = torrmasa (g)

$$MF = \frac{m_0 - m_{0,1}}{m_0}$$

MF = massförlust

$m_{0,1}$  = torrmasa efter 35 dagar (g)

$m_0$  = torrmasa före försök (g)

Massförlusten underskattas något eftersom även mycelet som finns i träbiten ingår i torrmassan efter försöket.

### 13. Göra stalpar som utgör prover

Tjocka och tunna skivor lades på varandra och bildade staplar som består av 10 stycken tjocka och 5 stycken tunna skivor, se Figur 12. Stapeln som utgör ett prov med en viss fuktkvot är runt 40x40x75mm stor. Varje låda innehåller 3 prover. Många av de tjocka bitarna utan rötsvamp hade lägre fuktkvoter än de tunna men detta påverkade bara fuktkvoten i de stora bitarna marginellt eftersom de har mycket större massa.



Figur 12. Ett prov med 10 stora träbitar och 5 små som hölls ihop med ståltråd.

### 14. Prover

Proverna låg i plastpåsar med hål i botten för att minimera uttorkning. På petri-skålarna låg ett plastgaller för att förhindra kontakt mellan trä och vattnet. Varje låda hade en fläkt på ena kortsidan för att få bättre luftcirkulation.

### 15. Petri-skålar

I botten av varje låda låg två petri-skålar med vatten för prover med fukthalten 30 % eller högre och saltlösning för prover med fukthalt 22 och 26 %.

För prover med 22 % användes kaliumnitrat,  $\text{KNO}_3$  och för 26 % användes kaliumsulfat,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ .

### 16. Inkubering

Lådorna lades ett rum med ett relativt stabilt klimtat, temperatur 21 °C och relativ fuktighet 30 % i 35 dagar.

### 17. Slutvägning

Efter 35 dagar togs proverna ur plastpåsar och varje träbit vägdes separat.

### 18. Torkning

De stora träbitarna torkades i ugn, 105 °C i 24 h.

### 19. Slutvägning

Efter att träbitarna varit i ugnen i 105 °C i 24 h vägdes bitarna. Med kända värden på torrmasa i slutet, torrmasa i starten och fuktig massa i slutet kan fuktkvot och massförlust efter beräknas.

$$FK_{\text{slut}} = \frac{m_2 - m_{0,1}}{m_{0,1}}$$

$FK_{\text{slut}}$  = Fuktkvot efter 35 dagar

$m_2$  = fuktig massa efter 35 dagar (g)

$m_{0,1}$  = torrmasa efter 35 dagar (g)



## 4. Resultat

I detta kapitel presenteras massförlust och fuktkvot vid försökets slut.

### Massförlust

Resultaten från försöken visar ett tydligt samband mellan massförlust och fuktkvot, se Figur 14, Figur 15 och Figur 16. Brunrötesvampen, *Postia placenta*, orsakade störst massförlust.

Vid 50 % fuktkvot var massförlusten 9,6 %, se Tabell 2, och som högst 12,5 %.

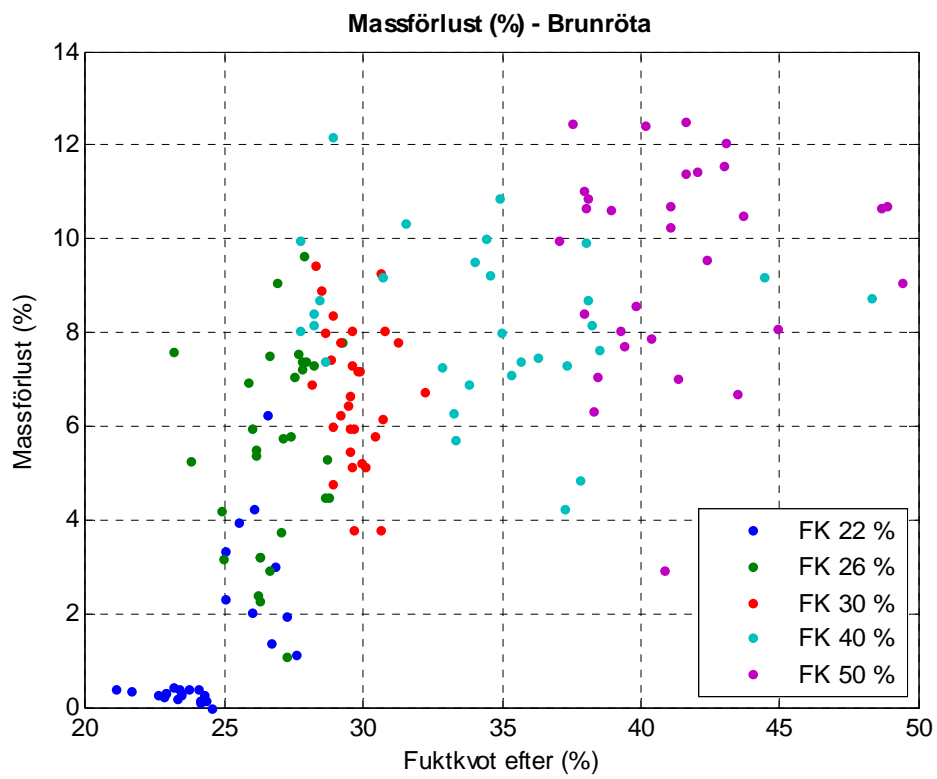
För vitrötesvampen, *Trametes versicolor*, var massförlusten runt 4 % i snitt vid 50 % fuktkvot efter 5 veckor. Under fibermättnadspunkten, fuktkvot 30 %, var massförlusten i praktiken obefintlig, under 1 %, se Tabell 2. Vid 40 % fukthalt var medelmassförlusten 1,8 %.

Tabell 2. Medelmassförlust för respektive fukthalt och svamp.

Låda	Fukthalt, start (%)	Svamp	Massförlust, medel (%)
1	22	Brunröta	1,2
2	26	Brunröta	5,6
3	30	Brunröta	6,7
4	40	Brunröta	8,2
5	50	Brunröta	9,6
6	22	Vitröta	0,3
7	26	Vitröta	0,2
8	30	Vitröta	0,6
9	40	Vitröta	1,8
10	50	Vitröta	3,9

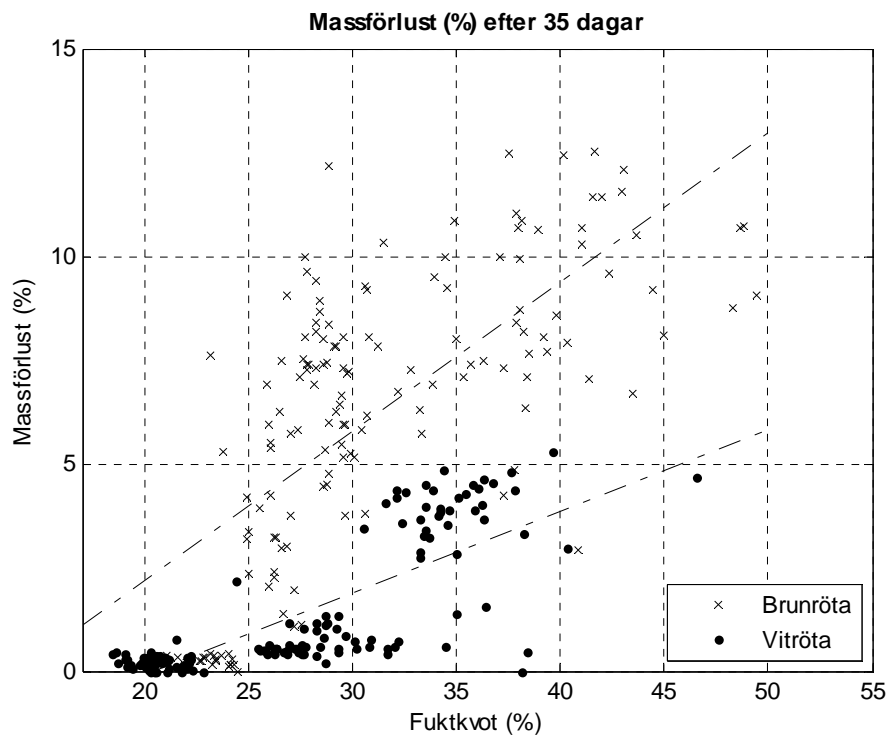


Figur 13. Träprov med 50 % fuktkvot som hade mycket mycel på utsidan.

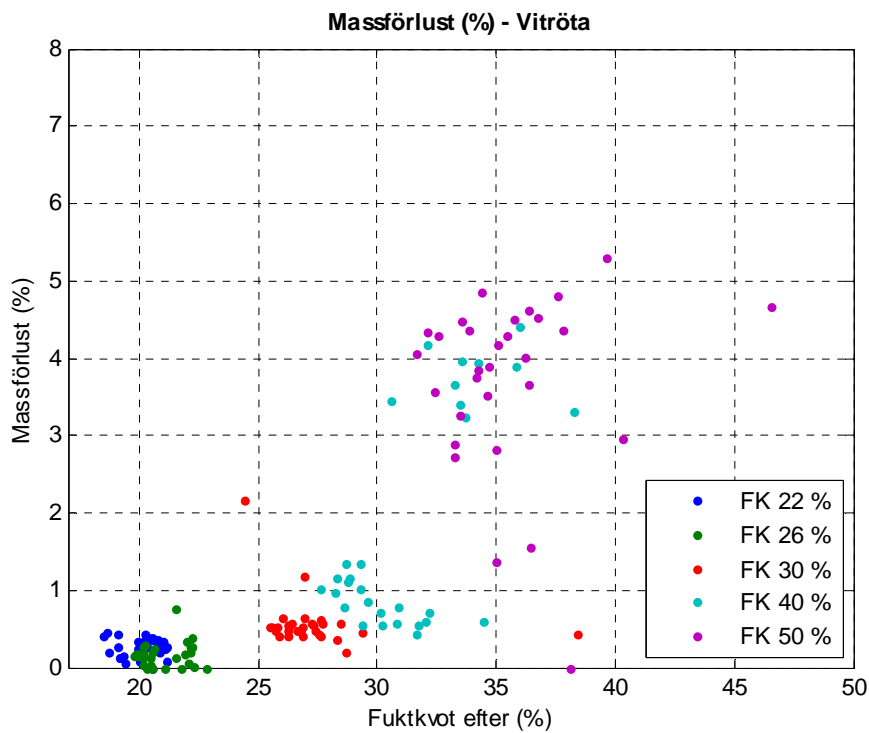


Figur 14. Diagram över massförlust och fuktkvot efter 35 dagar.

I Figur 15 illustreras skillnaderna i nedbrytning mellan brun- och vitrötesvampen.



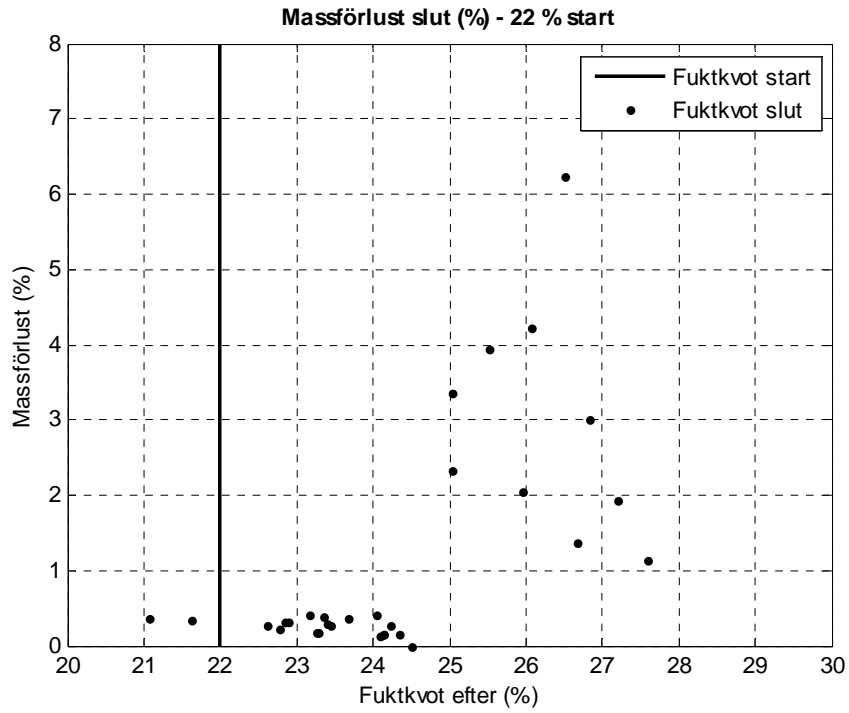
Figur 15. Massförlust och fuktkvot i slutet av försöket för brun- och vitröta.



Figur 16. Massförlust orsakad av vitrötesvamp och fuktkvot vid slutet av försöket.

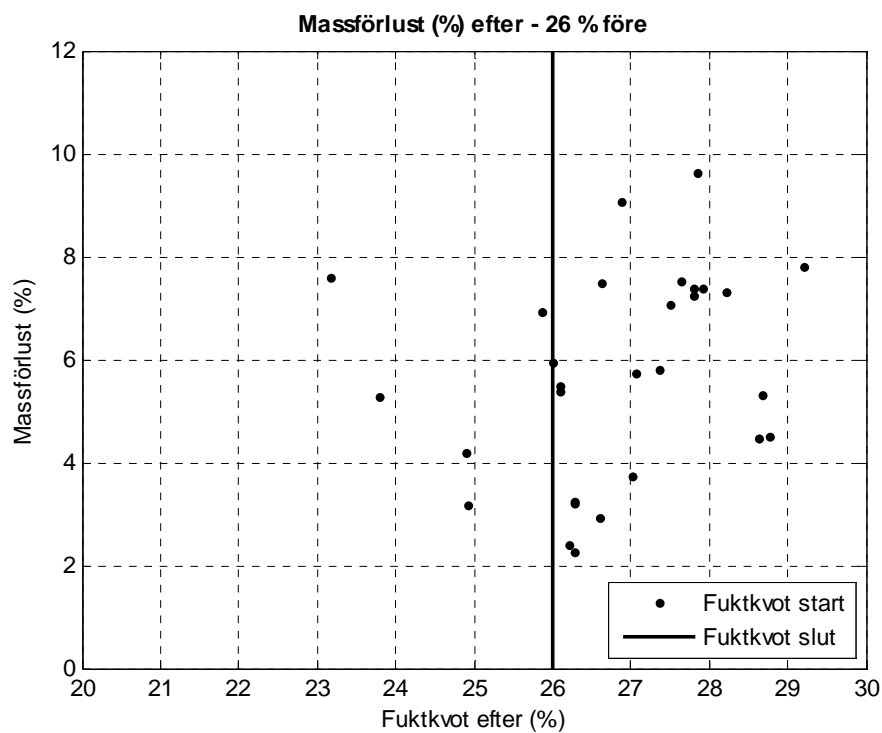
## Fuktkvot

Fuktkvoten efter 35 dagar sjönk de flesta proverna. För några prover med låga fuktkvoter, 22 %, har den stigit till runt 23-27 %, se Figur 17.



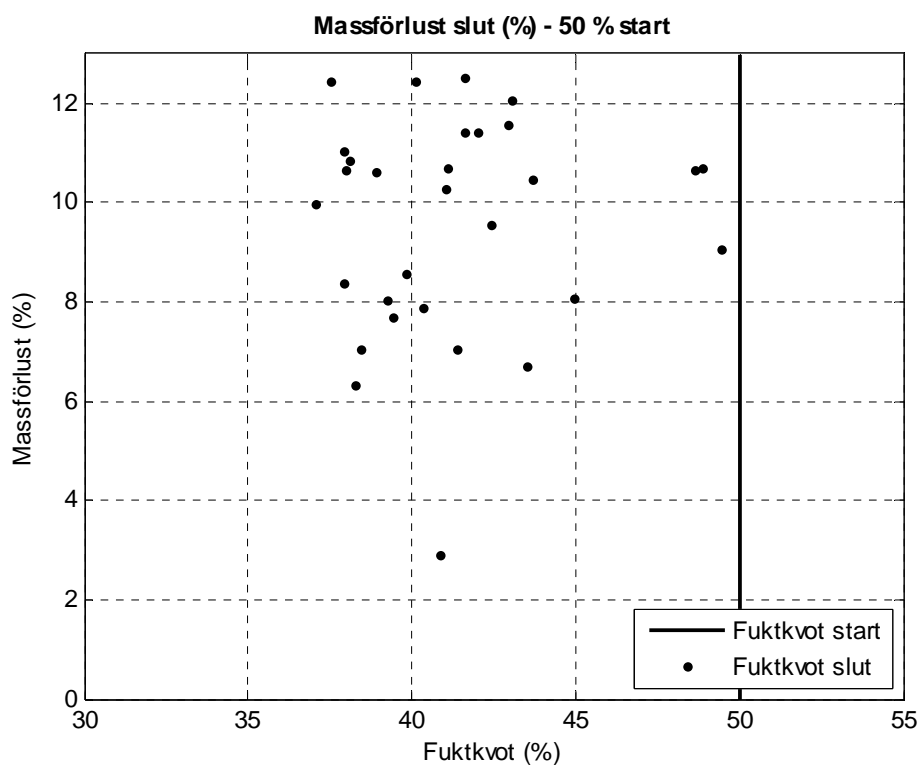
Figur 17. Diagram som visar massförlust och fuktkvot i slutet på försöket. Fuktkvoten för träbitarna i starten var i detta fall 22 %.

För brunrötesvamp med 26 % fuktkvot i starten ökade fuktkvoten i många bitar, se Figur 18.



Figur 18. Diagram som visar massförlust och fuktkvot i slutet på försöket. Fuktkvoten i starten var 26 %.

Fuktkvoten i lådorna med höga fukthalter har sjunkit från 50 % till mellan 37-45 %, se Figur 19.



Figur 19. Diagram på massförlust och fuktkvot i slutet av försöket. Fuktkvot i starten var 50 %.

### Temperatur och RF i rummet

Temperatur och relativ fuktighet i luften, RF, loggades under försökstiden i rummet. RF varierade mellan 20-40 % och temperaturen var 22-23 °C.

## 5. Diskussion

### Nedbrytning

Resultaten visar ett tydligt samband mellan fuktkvot och nedbrytning. Brunrötesvampen *Postia placenta* orsakade störst massförluster, som högst 12,5 %. I Figur 21 syns hyfer från *Postia placenta* i vedceller.

Figur 14 visar att brunrötesvampen växer om fuktkvoten är 25 % eller högre. Detta överensstämmer med sammanställningen gjord av Schimdt (2007), se Tabell 1, som visar att den lägsta fuktkvoten för några svampar ligger mellan 22-37 %. Det är dock osäkert om 25 % fuktkvot är den lägsta vid vilken *Postia placenta* kan växa eftersom bara fuktkvoter vid försökets start och slut är kända. Vilken fuktkvot proverna har haft mellan dag 1 och dag 35 är inte helt säkert men troligtvis har uttorkningsförloppet varit någorlunda linjärt.

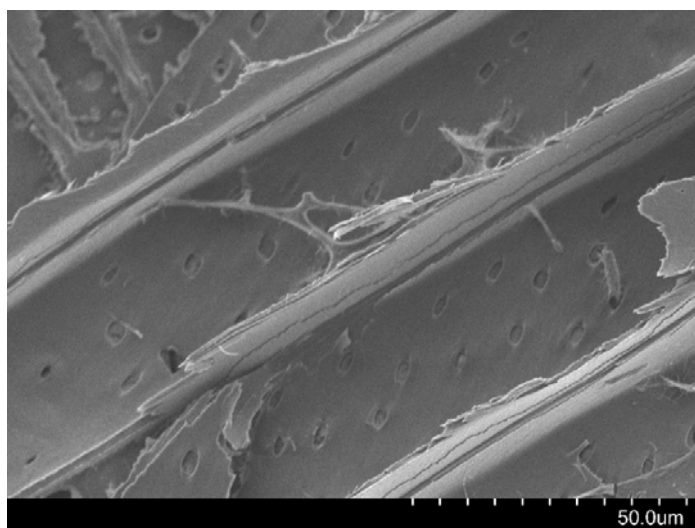
Vitrötesvampen *Trametes versicolor* orsakade inte lika stora massförluster, som mest runt 5-6 % efter 7 veckor. Träprover med en fuktkvot mellan 25-30 % hade små massförluster, 0-2 %, och svamparna hade möjligtvis kunnat växa mer om försöket hade pågått under längre tid. Tidigare försök där *T. versicolor* har växt på gran har haft massförluster på runt 35 % vid 45 % fuktkvot efter 16 veckor (Meyer & Brischke, 2015).

Även om vitrötesvampar bryter ner hemicellulosa, cellulosa och lignin samtidigt växer de långsammare än brunrötesvampar och förekommer oftast på lövträd i naturen (Schmidt, 2006). Barr- och lövträd har olika typer och olika mängd hemicellulosa, cellulosa och lignin vilket delvis förklarar varför brunrötesvampar växer mer på barrträd och vitrötesvampar på lövträd.

Många av proverna med fuktkvoter mellan 25-30 % hade massförluster som var högre än 5 % vilket innebär att hållfastheten har försämrats avsevärt, se (Råberg, et al. (2012), Witomski, et al. (2015) och Curling, et al. (2012)) under rubriken *Hållfasthet* sida 17. Träbitar som förlorat mer än 8 % var oftast lätta att bryta itu och var i vissa fall svåra att hålla ihop när de skulle vägas, se Figur 20. Hållfastheten försämrades inte märkbart hos träbitar nedbrutna av vitrötesvamp även om massförlusten för några bitar var 6 %.



Figur 20. Träbitar som tappat mellan 8-12 % hade stora sprickor efter torkning och var lätta att bryta itu.



Figur 21. I vedcellerna syns hyfer från brunrötesvampen, *Postia placenta*. SEM-bild där hela skalstreckat är 50 μm.

## Fläkt

Fläkten var igång under hela försöket och hade till syfte att öka syretillförseln vilket förbättrar förutsättningarna för svamptillväxt. Däremot bidrog troligtvis fläkten till en viss uppvärmning och därför en uttorkning vilket försämrar tillväxten. Prov placerade närmast fläkten var generellt sett mer uttorkande än de som var placerade i mitten och längst bort. Det är svårt att bedöma hur försöket hade gått om fläktarna inte hade använts eller om de bara hade varit igång delar av dygnet. Troligtvis hade träproverna inte torkats ut lika mycket.



## Fuktkvot

Fuktkvoten sjönk i de flesta proverna vilket troligtvis beror på att lådorna inte var helt täta.

Temperatur och RF loggades i rummet och RF låg mestadels mellan 25-35 % vilket är lågt men normala fuktnivåer inomhus i april och maj (Nevander & Elmarsson, 2013). Låga RF-nivåer i rummet var sannolikt del i orsaken till varför fuktkvoten sjönk.

I starten på försöket fuktades träbitarna upp med hjälp av pipetter och stora skillnader i fuktkvot i starten och slutet av försöket kan bero på feldosering. Fuktkvoten i starten hade kunnat kontrolleras om proverna hade vägts, men eftersom kontaminering av träbitarna ville undvikas i så stor utsträckning som möjligt hade det dock varit svårt att väga proverna i starten av försöket.

De tunna bitarna hade hög fuktkvot när de lades ihop med de tjocka bitarna vilket ökar fuktkvoten i de tjocka bitarna något i början.

På många prov hade kondens bildats på insidan av plasten, se Figur 22, och troligtvis har en del kondens drivits ut genom luftningshålen i botten.



Figur 22. Kondens hade bildats på insidan av plasten på prover med höga fuktkvoter.

Tre prover i en låda skiljer sig från övriga lådor i det att proverna fuktades upp. Fuktkvoten var, om doseringen av vatten var korrekt, 22 % i starten av försöket. Medelfuktkvoten för proverna var 24 % vilket motsvarar ett vattentillskott på 0,03, 0,06 och 0,12 gram vatten för respektive prov. Saltlösningen hade som syfte att skapa rätt fuktförhållanden i lådan, runt 92 % RF vilket motsvarar runt 20-22 % fuktkvot i gran. Om inte saltlösningen var helt mättad kan det vara en förklaring till att fuktkvoten steg.

Fukt tillkommer under nedbrytningen, runt 50-60 % av den nedbrutna massan, vilket ökar fuktkvoten om ingen uttorkning sker. Dessutom minskar torrmassan som också bidrar till en ökning av fuktkvoten.

### Felkällor

I resultaten finns det givetvis ett antal potentiella felkällor. Felaktig avläsning av vikt skulle kunna vara anledningen till att vissa resultat blivit fel. Dosering med pipett kan ha utförts inkorrekt vilket leder till att provet får fel startfuktkvot. För stora otätheter i lådorna kan ha varit orsaken till att många prover torkade.

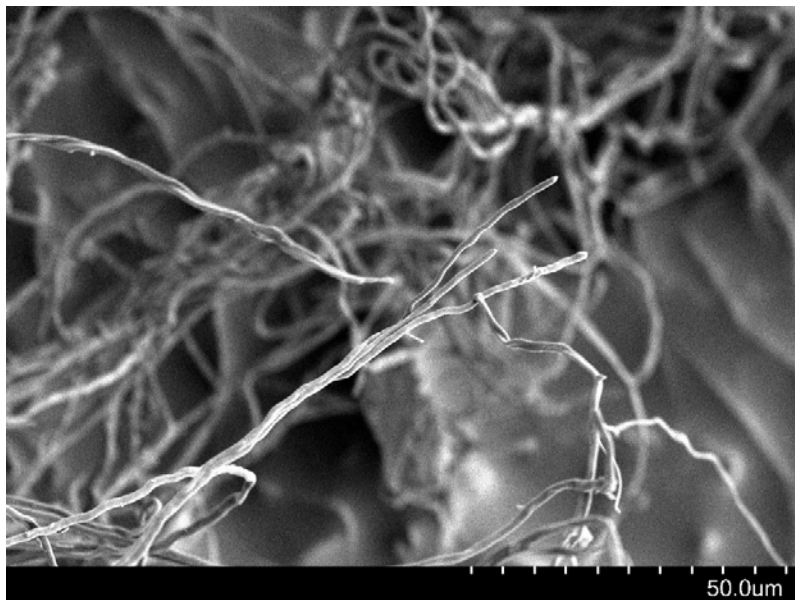
### Permeabilitet och hygroskopicitet

Även om alla träbitar var av gran varierade fuktkvoten något mellan träbitarna, vilket är förväntat eftersom träbitarna har olika densitet och absorptionsförmåga.

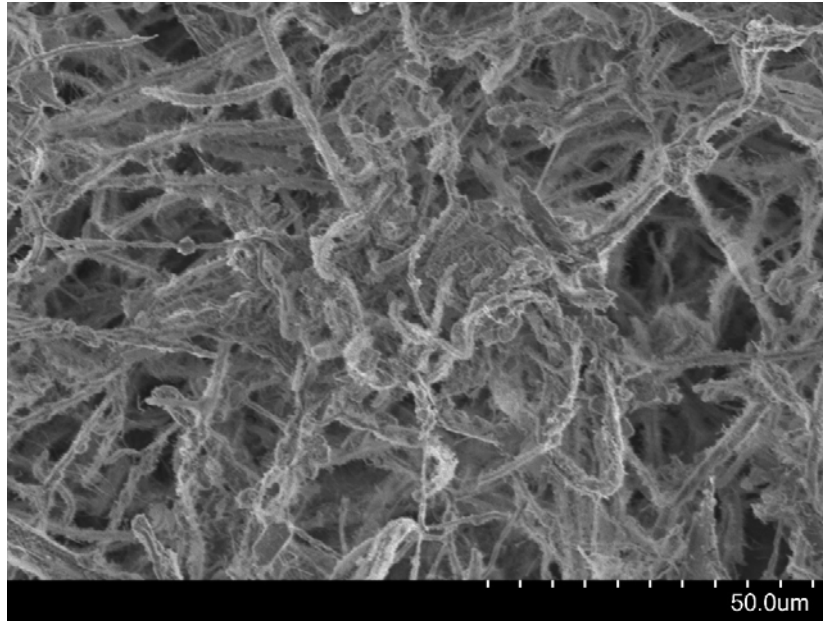
Hur träbitarnas hygroskopicitet förändras efter nedbrytning är svårt att avgöra eftersom tidigare studier på området har kommit fram till olika resultat. Några studier gjorda på tall, *Pinus*, har visat att hygroskopiciteten ökar något efter nedbrytning som antas bero på att den inre ytan ökar som gör att mer vatten kan bindas (Karppanen, et al., 2008). Men det finns också studier som har fått motsatt resultat, det vill säga att hygroskopiciteten minskar vid nedbrytning (Anagnost & Smith, 1997), (Karppanen, et al., 2008).

### SEM-bilder

Rent trä och trä nedbrutet av brun- och vitrötesvamp har undersökts med SEM, Scanning Electron Micrograph, (Hitachi SU3500). I Figur 23 och Figur 24 syns skillnaderna i hyferna på brun- och vitrötesvampen. Brunrötesvampen *Postia placenta* har tjockare hyfer, se Figur 24, än vitrötesvampen *Trametes versicolor*, se Figur 23, som också har mer släta hyfer.



Figur 23. Hyfer, *Trametes versicolor*. Skalstreck är 50  $\mu$ m.



Figur 24. Mycel, brunröta, *Postia placenta*. Skälstrecket är 50 µm.



## 6. Slutsatser

Följande slutsatser kan dras från försöken:

- Sambandet mellan massförlust och fuktkvot var tydligt.
- Fuktkvoten i proverna sjönk i de flesta fall med den använda metoden.
- Med stor sannolikhet växer inte brunrötesvampen *Postia placenta* i gran, *Picea abies*, om fuktkvoten understiger 25 %. Men eftersom det en osäkerhet i hur fuktnivåerna i proverna har varierat under försöket kan inte tröskelvärde för svamptillväxt helt fastställas utifrån detta experiment.



## 7. Framtida studier

Metoden att undersöka rötsvampars tillväxt vid olika fukthalt kan utvecklas och förbättras. Tanken med den använda metoden var att fukthalten i proverna skulle vara konstant men proverna torkade i de flesta fallen ut. För att undvika detta skulle man i framtida studier kunna använda andra lådor eller påsar som är tätare. Det hade varit intressant att göra försök där tiden som fläkten är i drift minskas till 1-2 timmar om dygnet för att avgöra om fukthalten då blir mer konstant.

Förslag på framtida studier:

- Använda tätare lådor.
- Använd andra plastpåsar.
- Göra försök med fler prover.
- Minska tiden fläkten är igång, förslagsvis 1 timme om dygnet.
- Testa något lägre fuktkvoter, runt 20 %.
- Undersök kortare och längre försökstider.
- Placera lådorna i ett fuktigare klimat för att förhindra uttorkning, förslagsvis ett rum eller skåp där RF är 90 %.
- Försök med *Trametes versicolor* eller andra vitrötesvampar på lövtröd och med längre inkuberingstid för att undersöka om man då får stora massförluster vid låga fukthalter.





## Referenser

- Anagnost, S. E. & Smith, W. B., 1997. Hygroscopicity of decayed wood: implications for weight loss determinations.. *Wood Fiber Science*, 29(3), pp. 299-305.
- Bricknell, J., 1991. Surveying to determine the presence and extent of an attack of dry rot within buildings in the United Kingdom. i: D. Jennings & A. Bravery, red. *Serpula Lacrymans*. East Kilbride, UK: John Wiley & Sons, pp. 95-115.
- Burström, P. G., 2011. *Byggnadsmaterial*. 2:7 red. Lund: Studentlitteratur AB.
- CBD, 2016. *Convention on Biological diversity*. [Online]  
Available at: <https://www.cbd.int/countries/profile/default.shtml?country=se>  
[Använd 28 april 2016].
- Curling, S., Clausen, C. & Winandy, J., 2002. Relationships between mechanical properties, weight loss and chemical composition of wood during incipient brown-rot decay. *Forest Products Journal*, 52(7/8), pp. 34-39.
- Karjalainen, R., 1996. Genetic relatedness among strains of *Heterobasidion annosum* as detected by random amplified polymorphic DNA markers. *J. Phytopathology*, Volym 144, pp. 399-404.
- Karppanen, O., Venäläinen, M., Harju, A. M. & Laakso, T., 2008. The effect of brown-rot decay on water adsorption and composition of Scots pine hearthwood. *Annals of forest science*, Volym 65, p. 610.
- Meyer, L. & Brischke, C., 2015. Fungal decay at different moisture levels of selected European-grown wood species. *International Biodeterioration & Biodegradation*, Volym 103, pp. 23-29.
- Nevander, L. & Elmarsson, B., 2013. *Fukthandbok*. Tredje utgåvan red. Mölnlycke: Elanders Sverige AB.
- Rayner, A. & Boddy, L., 1988. *Fungal Decomposition of Wood*. Bath: Bath Press Ltd..
- Råberg, U., Daniel, G. & Terziev, N., 2012. Loss of strength in biologically degraded thermally modified wood. *Bioresources.com*, 7(4), pp. 4658-4671.
- Schmidt, O., 2006. *Wood and Tree Fungi*. Leipzig: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Schmidt, O., 2007. Indoor wood-decay basidiomycetes: damage, casual fungi, physiology, identification and characterization, prevention and control. *Mycol Progress*, Volym 6, pp. 261-279.
- Steinen, T., Schmidt, O. & Huckfeldt, T., 2014. Wood decay by indoor basidiomycetes at different moisture and temperature. *Holzforschung*, 68(1), pp. 9-15.
- Svenskt trä A, 2003. *Träguiden*. [Online]  
Available at: <http://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-uppbyggnad/traets-uppbyggnad/cellstruktur/?previousState=1>  
[Använd 02 06 2016].

Svenskt trä B, 2003. *Träguiden*. [Online]

Available at: <http://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-uppbyggnad/traets-uppbyggnad/stammens-uppbyggnad/?previousState=1>

[Använd 02 06 2016].

Svenskt trä C, 2003. *Träguiden*. [Online]

Available at: <http://www.traguiden.se/om-tra/byggfysik/fukt/fukt/fuktinnehall-och-sorptionskurvor/?previousState=1>

[Använd 10 06 2016].

Svenskt trä D, 2003. *Träguiden*. [Online]

Available at: <http://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/sagverksprocessen/sagprocessen1/sagprocessen/?previousState=1>

[Använd 10 06 2016].

Viitanen, H., 1994. Factors affecting the development of biodeteriation in wooden constructions. *Materials and Structures*, Volym 27, pp. 483-493.

Wikipedia A, 2016. *Wikipedia*. [Online]

Available at: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fomes\\_fomentarius\\_2009\\_G1.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fomes_fomentarius_2009_G1.jpg)

[Använd 01 06 2016].

Wikipedia C, 2016. *Wikipedia*. [Online]

Available at: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2011-10-27\\_Serpula\\_lacrymans\\_cropped.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2011-10-27_Serpula_lacrymans_cropped.jpg)

[Använd 01 06 2016].

Wikipedia B, 2016. *Wikipedia*. [Online]

Available at: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c5/Trametes\\_versicolor\\_a1.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c5/Trametes_versicolor_a1.JPG)

[Använd 01 06 2016].

Witomski, P., Olek, W. & Bonarski, J. T., 2015. Changes in strength of Scots pine wood (*Pinus silvestris* L.) decayed by brown rot. *Construction and building materials*, 102(2016), pp. 162-166.