

Rapport

fra Skog og landskap

16/2014



skog +
landskap

Norsk institutt for
skog og landskap

LEVETID FOR TRE I UTENDØRS KONSTRUKSJONER I NORGE

Klimatre-prosjektet

Lone Ross Gobakken, Gry Alfredsen, Christian Brischke, Per Otto Flæte



LEVETID FOR TRE I UTENDØRS KONSTRUKSJONER I NORGE

Klimatre-prosjektet

Lone Ross Gobakken, Gry Alfredsen, Christian Brischke, Per Otto Flæte



ISBN: 978-82-311-1000-2

ISSN: 1891-7933

Omslagsfoto: Fasadekledning i ubehandlet osp.
Foto: Lone Ross Gobakken, Skog og landskap

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

FORORD

Ved å forlenge levetiden til trematerialer, kan samfunnet bidra med en positiv miljø- og klimaeffekt. Trekonstruksjoner og trematerialer lagrer karbon i sin bruksfase – og lengre levetid og økt volumbruk av tre vil gi en økning i lagret karbon. Trematerialer som er lokalt produsert bør benyttes i størst mulig grad siden transport av råmaterialer og ferdig produkt vil være en belastning for klima og miljø.

Hovedmålet med KlimaTre-prosjektet er å dokumentere de skogbaserte verdikjedene i Norge sin betydning for klima og verdiskaping. Denne rapporten er en leveranse i delprosjekt 'Klima og verdiregnskap' (KlimaVerdi). Prosjektet (NFR prosjekt 199332) er finansiert av Norges forskningsråd, Skogtiltaksfondet, Treforedlingsindustriens Bransjeforening, Fondet for Treteknisk forskning / Treindustrien samt av deltagende bedrifter.

Predikering av levetiden til trematerialer har blitt tillagt liten vekt, både nasjonalt og internasjonalt. Frem til i dag har man basert seg på cirkatall ut i fra erfaring, heller enn å gå i detalj på de enkelte treslag og materialer samt ulike eksponeringssituasjoner. Målet med denne rapporten er todelt: 1) sammenstille publisert kunnskap om levetid og holdbarhet til trematerialer benyttet utendørs og 2) presentere en liste med predikert levetid for ulike treslag og materialkvaliteter for ulike bruksområder utendørs i Norge. Listen er basert på felttester, litteratur og eksperterfaringer. Listen må anses som ett dynamisk dokument.

Prosjektgruppen har bestått av:

Lone Ross Gobakken, Norsk institutt for skog og landskap

Gry Alfredsen, Norsk institutt for skog og landskap

Per Otto Flæte, Treteknisk

Christian Brischke, Leibniz University Hannover

Prosjektgruppen ønsker å rette en takk til: Fred Evans (Treteknisk) og Mats Westin (SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut) for samarbeid om felttester, Torstein Kvamme (Norsk institutt for skog og landskap) for gjennomlesing av kapitlet om insekter og marine borere samt Sigrun Kolstad og Eva Grodås (begge Norsk institutt for skog og landskap) for hjelp ved evaluering av felttester. En stor takk rettes også til alle samarbeidspartnere i KlimaTre-prosjektet og til Norges forskningsråd.

Ås, desember 2014

Lone Ross Gobakken

Prosjektleder

SAMMENDRAG

Kunnskap om levetid til trebaserte produkter brukt utendørs er viktig for at sluttbruker skal få en riktig forventning til materialets ytelse. Videre er levetidsdata for treprodukter avgjørende for å kalkulere totalkostnaden til bygninger og deres miljøpåvirkning ved for eksempel livsløpsvurderinger (life cycle assessments = LCA). Målet med rapporten er å sammenstille eksisterende kunnskap om levetid for tre i utendørs konstruksjoner, med spesiell fokus på norske forhold. De aktuelle bruksområdene som er inkludert er tre benyttet i jordkontakt, som utvendig kledning og i terrassedekker. Rapporten beskriver begrepet holdbarhet, sammenstiller ulike former for trebeskyttelse og diskuterer ulike metoder for å predikere levetid til tre. Mange faktorer påvirker levetiden til treprodukter, og de to viktigste eksterne faktorene er fuktighet og temperatur. Levetiden til tre i bygningskonstruksjoner avhenger primært av bruksområdet, den naturlige holdbarheten til materialet, trebeskyttelsesprosesser, tilstedeværelsen av vednedbrytende organismer, arkitektur og håndverksmessige kunnskaper. Feil utforming av bygningsdetaljer kan fungere som fuktfeller og dermed føre til blant annet tidlige soppskader. Det er derfor viktig å møte framtidens klimautfordringer med gode kunnskapsbaserte løsninger for optimal trebruk. Sekundært avhenger levetid av grundig og gjentatt vedlikehold. Et eget kapittel gir råd om konstruktiv beskyttelse. Rapporten gir også for første gang i Norge en oversikt over predikert levetid (i år) for de norske treslagene og andre materialkvaliteter i ulike bruksområder.

Nøkkelord:

Furu, gran, holdbarhet, levetid, trebeskyttelse, trematerialer, råtesopp

Innhold

Forord	ii
Sammendrag	iii
1. Introduksjon	1
1.1. Definisjon av levetid.....	2
1.2. Definisjon av holdbarhet.....	2
2. Trebeskyttelse	3
2.1. Naturlig holdbarhet	3
2.2. Konstruktiv trebeskyttelse	4
2.3. Kjemisk trebeskyttelse.....	5
2.4. Overflatebehandling	6
3. Bruksområder og risikoklasser for tre.....	7
4. Metoder for predikering av levetid	8
4.1. Scheffers indeks	8
4.2. Faktometoden.....	9
4.3. Andre tilnærminger	10
4.4. Tilgjengelighet av data	11
5. Faktorerer som påvirker nedbrytingen av tre	12
5.1. Innendørs og utendørs miljø	12
5.2. Biotisk påvirkning.....	15
5.3. Næringsstoffer	15
5.4. pH.....	15
5.5. Trefuktighet.....	16
5.6. Tretemperatur	16
5.7. Klimaforhold	16
6. Predikert levetid til treprodukter i Norge	18
7. Konstruktiv beskyttelse i praksis	22
Referanser	24

1. INTRODUKSJON

Klimaendringer forårsaket av antropogene utslipp av klimagasser antas å være den største miljøtrusselen i vår tid (SFT 2009, IPCC 2013a). I følge FNs klimapanel (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) har CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren økt med mer enn 30 % fra industrialiseringen startet og frem til i dag. CO₂-konsentrasjonen fortsetter å øke med minimum 0,4 % per år, i hovedsak som følge av forbrenning av fossilt brensel (IPCC 2007).

De skogbaserte verdikjedene spiller en viktig rolle i arbeidet med å begrense akkumuleringen av CO₂ i atmosfæren. Skogøkosystemene lagrer karbon, både i vegetasjon og i skogsjord. Skogen i Norge dekker litt over 30 prosent av landarealet. I 2012 var det totale klimagassutslippet i Norge, uttrykt som CO₂-ekvivalenter 52,7 millioner tonn. Dette tallet inkluderer ikke LULUCF sektoren (land use, land-use change and forestry). I CO₂-ekvivalenter utgjør opptaket fra skog nesten 60 % av utslippene fra øvrige sektorer (58,3 %) (National Inventory Submission 2014). I tillegg bidrar trebaserte produkter til å redusere klimagassutslipp, både ved å lagre karbon, ved å erstatte (substituere) produkter som krever mye energi ved produksjon og ved at de benyttes som fornybar energi etter endt livsløp.

Fra myndighetenes side, er det en klar strategi å legge til rette for øket trebruk i varige produkter for å oppnå lang levetid på ett stort volum. Videre satses det på økt uttak av biomasse til energiformål fra skog for å redusere klimagassutslipp. Denne satsingen og strategien er beskrevet i Stortingsmelding nr. 39 (2008-2009) "Klimautfordringene – landbruket en del av løsningen". I de nye retningslinjene fra IPCC (IPCC 2013b), vil 'Harvested Wood Products' (HWP) inkluderes, og dette betyr at Norge fremover vil få ytterligere fokus på levetiden til tre- og trebaserte produkter.

EU sitt byggevaredirektiv (Construction Products Directive - CPD) krever dokumentasjon av levetid på materialer og bygningskomponenter. Dette har ført til et behov for metoder og prosedyrer for å bestemme nedbrytningen og holdbarheten til bygningsmaterialer, og et behov for å lage levetidsprediksjoner.

Det norske MIKADO-prosjektet sammenstilte miljøegenskapene for norske treprodukter gjennom livssyklusen (Wærp et al. 2008, Wærp et al. 2010, Flæte 2009). En av konklusjonene var at 'det er en utfordring å få gode levetidsdata for bygningskomponenter i tre' (Wærp et al. 2008). Dette er ikke bare en norsk utfordring, men også en utfordring i resten av verden (Brischke et al. 2012a,b). For å dokumentere miljøegenskapene til treprodukter ved livsløpsvurderinger (life cycle assessments = (LCA), er det essensielt å ha tilgang til godt dokumenterte levetidsdata. Miljødeklarasjoner, såkalte EPD'er, for byggevarer er knyttet til flere standarder. Kravene til en EPD for en byggevare er spesifisert i ISO 14025 (2010), ISO 21930 (2007), og EN 15804 (2013) som alle er basert på livsløpsvurderinger etter ISO 14040-serien (2006). EPD'er er tredjeparts verifiserte miljødeklarasjoner. Dette skal sikre en uavhengig verifisert miljøinformasjon i henhold til de fire kravene: objektivitet, sammenlignbarhet, troverdighet og adderbarhet. I Norge er det Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner som er programoperatør for den norske ordningen. En av deres oppgaver er å registrere og godkjenne miljødeklarasjoner.

I de nordiske landene er det lang tradisjon for bruk av tre, hovedsakelig bartrær, som konstruksjonsmateriale. Dette til tross for at de stedegne treslagene generelt ikke regnes som spesielt holdbare. I Norge har bartrær, og spesielt gran, tradisjonelt blitt brukt som utvendig kledning. Ubehandlet tre og alternative treslag som fasademateriale har de siste tiår fått fornyet interesse og bruken har økt. En av årsakene er økt interesse og fokus fra arkitekter, samt de dokumenterte gunstige miljø- og klimaegenskapene som er knyttet til bruk av tre. En av hovedutfordringene for prosjektører (arkitekter, entreprenører og ingeniører) er

å sikre forutsigbarhet og dokumentasjon av levetiden til trematerialer benyttet i prosjekter. For en rekke tre- og trebaserte materialer er levetiden svært mangelfullt klarlagt, inkludert flere av de norske treslagene samt nye trebeskyttelsessystemer. Det mangler også fortsatt kunnskap og erfaring med å tilrettelegge for optimal bruk av disse nye materialene slik at man kan velge rett materiale til riktig funksjon i innovative nye bygg og konstruksjoner. Manglende levetidsdata og mangelfull kunnskap kan føre til feil bruk av tre, noe som igjen kan føre til et ufortjent dårlig rykte for trematerialer. Ved bruk av tre utendørs er det svært viktig å skille mellom de ulike bruksområdene siden dette direkte styrer risiko for biologisk nedbrytning.

Målet med denne rapporten er å sammenstille eksisterende kunnskap om levetid for tre i utendørs konstruksjoner, med spesiell fokus på norske forhold. Bruksområdene dekket i denne rapporten er heltre benyttet i jordkontakt, som utvendig kledning og i terrassedekker.

1.1. Definisjon av levetid

I standarden ISO 15686-1 (2011) defineres levetid som 'den tiden etter oppføring hvor bygningen eller bygningsdelene møter kravene til ytelse'. Brischke et al. (2006) støtter denne definisjonen og hevder at tilnærmingen med å vurdere de viktigste påvirkningsfaktorene (faktormodellen) er en fornuftig og egnet basis for videre modellering av levetiden til treprodukter.

Det er viktig å være klar over at utskiftning grunnet manglende yteevne (endt levetid) må skilles fra 'obsolescens' (ISO 15686-1). 'Obsolescens' kan være av funksjonell, teknisk eller økonomisk karakter, og beskriver en tilstand eller et nivå der en bygningsdel blir skiftet ut selv om den fremdeles innehar ønsket funksjon og yteevne. Ett eksempel er at et grånet terrassedekke i tre med mye sprekker skiftes ut som følge av estetiske hensyn og ikke på grunn av råtesopp-skader (endt levetid).

Holdbarhet er ikke det samme som levetid (Brischke et al. 2006). Holdbarhet (definert i avsnittet under) er en materialeegenskap som gir en gitt levetid, og holdbarheten kan påvirkes av en rekke faktorer gjennom hele levetiden til materialet. Levetid er en tidsperiode som spesifiseres i år. Levetiden tar slutt når en kritisk egenskap ikke lenger oppfyller kravet til ytelse, for eksempel fare for å trække gjennom et terrassegulv som følge av råtesopp-skader.

1.2. Definisjon av holdbarhet

Levetidsdata baserer seg på holdbarhetsdata. Det finnes ulike definisjoner av holdbarhet og det er derfor viktig å presisere hva man mener når man bruker dette begrepet. Tabell 1 viser ulike definisjoner på holdbarhet (basert på Brischke et al. 2006). Det er viktig å merke seg at ISO 15686-1 (2011) ikke definerer holdbarhet som en materialeegenskap i motsetning til EN 350-1 (1994) og EN 1001-2 (2005). Motstand mot vednedbrytende organismer er i seg selv en iboende materialeegenskap og kan sidestilles med kvaliteten til de iboende komponentene (ISO 15686-1, 2011).

Tabell 1. Definisjoner på holdbarhet (basert på Brischke et al. 2006).

Kilde	Definisjon
EN 350-1 (1994) og EN 1001-2 (2005)	Holdbarhet: trevirkets motstandsevne mot vednedbrytende organismer. Naturlig holdbarhet: treverkets iboende motstandsevne mot vednedbrytende organismer.
ISO 15686-1 (2011)	Byggets eller bygningsdelenes evne til å yte eller inneha den nødvendige funksjon gjennom en spesifikk tidsperiode og under påvirkning av forventede faktorer under bruk.
Brischke et al. (2006)	Trevirkets holdbarhet er dens motstand mot vednedbrytende organismer under påvirkning fra miljøet. Termen 'Naturlig holdbarhet' gjelder kun ubehandlet tre. Termene 'Forbedret holdbarhet' eller 'holdbarhet' skal benyttes på trematerialer som har økt holdbarhet på grunn av behandling med f.eks. et trebeskyttelsessystem.
Thelandersson et al. (2011)	Kapasiteten til en struktur til å gi nødvendig ytelse gjennom en tiltenkt bruksperiode under påvirkning av vednedbrytende organismer.

2. TREBESKYTTELSE

Trevirkets holdbarhet kan forbedres ved hjelp av en rekke ulike teknikker, bl.a. ved å utnytte variasjonen i trevirkets naturlige holdbarhet, konstruktiv beskyttelse, kjemisk/termisk trebeskyttelse og overflatebehandling.

2.1. Naturlig holdbarhet

I den europeiske standarden EN 350-1 (1994) er naturlig holdbarhet definert som 'den iboende motstanden til tre mot vednedbrytende organismer'. Ekstraktivstoffer anses å være den viktigste årsaken til resistens mot råtesopp i trematerialer (Scheffer og Cowling 1966). Kjerneveden til mange treslag inneholder ekstraktivstoffer som øker motstanden mot biologisk nedbrytning (Fengel og Wegener 1989). Enkelte ekstraktivstoffer har en toksisk effekt på vednedbrytende organismer, men det kan også være at de bare påvirker fuktdynamikken (Stirling og Morris 2006) noe som igjen vil kunne redusere soppvekst. Mengde og type ekstraktivstoffer vil variere mellom og innen treslag. Posisjonen innen en trestamme vil også påvirke ekstraktivinnholdet, og det er gjerne en resistensgradient fra den indre delen til den ytre delen av kjerneveden med høyest resistens i den ytre delen av kjerneveden (Cartwright 1941, Scheffer og Hoop 1949, Gardener og Barton 1958, 1960, Piirto og Wilcox 1981, Hillis 1987, Haupt et al. 2003). Den iboende motstanden mot vednedbrytende organismer avtar normalt oppover i treet (Scheffer 1957), men posisjonen i tverrsnittet i en stokk er viktigere enn posisjonen oppover stokken.

I tillegg til ekstraktivstoffer er det også en rekke andre faktorer som bidrar til variasjon i trevirkets naturlige holdbarhet, og disse er summert slik av Brischke et al. (2006):

- Innen samme treslag; variasjon innen hvert enkelt tre, variasjon mellom trær innen samme bestand, variasjon på grunn av geografi og klima.

- Opprinnelsen til treet (proveniensen) må vurderes sammen med variasjon innenfor samme treslag.
- Reaksjonsved kan gi avvikende motstand mot råtesopp.
- Lagring og tørking kan endre motstanden til tre, men er normalt ikke brukt for å øke motstanden til tre.
- Høy densitet trenger ikke nødvendigvis bety høyere motstand mot vednedbrytende organismer.

2.2. Konstruktiv trebeskyttelse

Den mest effektive måten å beskytte tre mot biologisk nedbrytning er ofte ved konstruktiv beskyttelse. Brischke et al. (2006) lister opp følgende viktige faktorer:

- Temperatur og trefuktighet er nøkkelfaktorer med hensyn til holdbarhet og levetid til treprodukter, og blir påvirket av konstruktiv design og utførelse.
- Ulike designdetaljer i en bygning påvirker levetiden til tre indirekte fordi de bestemmer risikonivået (se også avsnitt 5.7).
- Holdbarheten til et treprodukt er avhengig av bruksområdet og risiko for oppfukting. For å minimere risiko for skader, må vannfeller unngås. Derfor må bl.a. følgende designdetaljer vurderes grundig; kledningens avstand til bakke og skjøter i fasaden, bredde på takoverheng og takutstikk, skjerming av utsatte detaljer, bruk av beslag m.m. (Schmidt 2005).
- Sprekker i trematerialet gir åpning for vann og soppsporer. Risikoen for oppfukting over lang tid påvirkes av skygge fra omkringliggende vegetasjon/konstruksjon og orientering (eksposisjon i forhold til himmelretning).
- Håndverksmessig utførelse vil ha en indirekte effekt på levetiden, men er ikke spesifikk for selve trematerialet. Hovedutfordringen er igjen vannfeller og oppfukting av konstruksjonen bl.a. på grunn av manglende endeforsegling av kledningsbord, åpne sammenføyninger, feilmonterte festemidler (skruer og spikre), mangelfull fuktsikring og manglende kapillærbrytende sjikt, eller brudd på disse under installasjon.

Flere råd er gitt i kapittel 7 – 'Konstruktiv beskyttelse i praksis' på side 22.

Design for optimal holdbarhet – er et godt prinsipp ved bruk av tre i konstruksjoner. For bygningselementer av tre- og trebaserte materialer, omfatter dette variasjoner i dimensjoner, fasonger, sammenføyninger, festemekanismer og behandlinger, inkludert overflatebehandling, som kan påvirke levetiden eller holdbarheten til produktet. Avhengig av forholdene i bruksfasen vil ulike designaspekter ha ulik relativ viktighet. I kombinasjon eller i kontakt med andre materialer, kan holdbarheten til trematerialer bli påvirket av tilgrensende materialer gjennom fysiske eller kjemiske prosesser. Eksempler på dette er forskjellen i termisk påvirkning, oppfukting av tre via tilgrensende vannholdig isolasjonsmateriale eller påvirkningen av korrosjon fra metaller. Designen må styres slik at den best mulig tilpasses de stedegne risikofaktorene.

I Norge er sopp den faktoren som i størst grad reduserer holdbarhet og levetid til trematerialer. For å motvirke soppangrep og sikre ønsket levetid til bygningselementer eller produkter i tre, er det viktig med et design som bidrar til å holde fuktighetsnivået i trevirket under en kritiske grensen som er ofte satt til 20 % trefuktighet (Zabel og Morrell 1992, Evans 2009). Holdbarhet ved design er i stor grad et spørsmål om å forme konstruksjonen og detaljene slik at det oppnås god beskyttelse mot oppfukting. Alternativt, eller en ytterligere fordel, vil være et design som tillater effektiv uttørking av trekomponentene etter at de har blitt oppfuktet til over kritisk grense. Designdetaljer som kan forvente å skape vannfeller må unngås fordi de vil forårsake råteskader. Gitt gunstige forhold vil selv en svært lokal kolonisering av råtesopp med tiden utvikle seg og kan gjøre betydelig skade i en større trekonstruksjon.

2.3. Kjemisk trebeskyttelse

Målet med kjemisk trebeskyttelse er å hindre angrep fra vednedbrytende organismer, spesielt med hensyn på yteved av ikke-holdbare treslag. Bruk av kjemisk trebeskyttelse kan oppgradere 'ikke-holdbar' yteved til 'svært holdbar' i henhold til EN 350-1 (1994).

Ingen byggematerialer varer evig, men riktig bruk er med på å øke levetiden betraktelig. Leightley (2003) kom med følgende liste over egenskaper som ideelt sett bør kjennetegne ett godt trebeskyttelsesmiddel.

- god effektivitet mot en rekke vednedbrytende organismer til lav kostnad
- ikke skadelig for mennesker og andre "non-target" organismer
- stabilt i den forventede levetiden
- god inntrengning
- enkelt og sikkert å bruke
- bryter ikke ned trestrukturen
- enkelt å anskaffe
- mulig å benytte kommersielt
- enkelt å resirkulere

Det er ikke realistisk å oppfylle alle disse kriteriene, men det er svært viktige å strekke seg etter disse kriteriene ved utvikling av nye trebeskyttelsessystemer.

Videre er det flere faktorer som spiller inn når et treslag skal behandles med et trebeskyttelsesmiddel og Brischke et al. (2006) nevner følgende:

- treslagets permeabilitet
- impregneringsgrad
- radielt vs. tangentielt sagde materialer
- orientering av marg
- materialtykkelse
- type behandling
- faglig utførelse

Tradisjonell trebeskyttelse besto av tjæreoljebaserte systemer som kreosot, organisk løselige midler som pentaklorfenol eller vannbårne arsener som CCA (kobber, krom, arsen). Det ble innført restriksjoner ved bruk av CCA fra 1. oktober 2002. CCA-impregnert virke har lang holdbarhet og vil fremdeles være i omloop i flere tiår framover. Det er viktig å merke seg at det ikke er selve impregneringsprosessen som er ilagt restriksjoner, det er kjemikaliene krom og arsen som er forbudt å impregnere inn i tre

Andre generasjon trebeskyttelse for privat bruk består hovedsakelig av biocider, inkludert kobberorganiske forbindelser. Behandlet virke skal leveres avfallsmottak etter bruk.

Tredje generasjon trebeskyttelsesmidler inkluderer ikke-metalliske biocider, stoffer utvunnet fra naturlige råstoffer og tremodifisering. Mange metallfrie biocider er utviklet for landbruksformål, for så senere å bli testet som trebeskyttelsesmiddel. De er ofte selektive, og en kombinasjoner av ulike biocider vil ofte være nødvendig for å hindre bredspektret mikrobiologisk aktivitet. Økt fokus på skadelige stoffer i forhold til menneskers helse og til miljøet har bidratt til utvikling av biocid frie trebeskyttelsesprosesser de siste tiårene (Burmester 1970, Tjeerdsma et al. 1998, Sailer et al. 2000, Rapp 2001, Kamdem et al. 2002, Welzbacher og Rapp 2003, Westin et al. 2004). Disse prosessene går gjerne under samlebetegnelsen tremodifisering. Det har blitt forsket på og arbeidet med modifisering av tre de siste 50 årene, men det har vært spesiell sterk fokus og vekst de siste to tiårene. En bred definisjon av modifisering av tre er: en prosess som endrer og bedrer egenskapene til tre uten bruk av gift (Hill 2006). Tremodifisering kan være en biologisk, kjemisk eller fysisk endring av materialegenskapene med mål om å forbedre virkesegenskapene og forlenge levetiden.

Det kan være svært nyttig, både fra et levetidsperspektiv og fra et klima- og miljøperspektiv å tenke mer på nisjeprodukter, og finne frem til treprodukter med optimal holdbarhet tilpasset hver enkelt applikasjon. Man bør tenke mer på bruksklasse ved bruk av tre utendørs, og deretter velge det best egnede trebeskyttelsesmiddelet. Derfor er kunnskap og informasjon svært viktig for å få riktig produkt på rett plass.

2.4. Overflatebehandling

En overflatebehandling gir trekledningen en ønsket struktur og farge, og i tillegg beskytter den treoverflaten mot ytre påkjenninger. Faktorer som værpåkjenning, konstruksjonsdetaljer, tradisjon, husets egenart, type trekledning, miljøprofil, vedlikeholdsintervall og estetiske preferanser er avgjørende for valg av type overflatebehandling (Gobakken 2009). Overflaten på en ubeskyttet utendørs trekledning vil raskt brytes ned av sollyset. UV -strålene påvirker ligninet, en av hovedkomponentene i tre, og ligninet vaskes bort fra overflaten ved nedbør. De ytterste trefibrene vil løsne, overflatesopper vil etablere seg og overflaten vil få en værgrå farge. For å unngå en slik utvikling, kan trekledningen overflatebehandles. En overflatebehandling har i prinsippet 3 funksjoner: 1) gi et pent utseende (fargestabilitet og glans), 2) beskytte mot vanninntrengning slik at trevirket blir mer dimensjonsstabil (mindre krymping og svelling) og 3) beskytte mot sopppangrep. Overflatebehandlingen opptrer som en slags værhud som kan vedlikeholdes og fornyes i hele levetiden til trekledningen. Effektiviteten til maling varierer mye og avhenger også av vedlikeholdsintervallene (Feist 1982). Som et resultat av defekt overflatebehandling vil vann kunne tas opp slik at desorpsjon hindres og fuktakkumulering finner sted (Derbyshire og Carey, 2001).

Beis lar treets struktur og mønster forbli synlig, og danner ett tynt lag på treoverflaten. Dekkbeis og maling gir en mer dekkende overflate enn beis ved at de inneholder mer fyllstoffer og fargepigmenter. En beis eller maling til utendørs bruk består bl.a. av pigmenter, bindemiddel, tynnings-/løsemiddel og sopphindrende stoff (fungicid). Både løsemiddeltynnet og vanntynnet maling og (dekk)beis blir benyttet i dag. De ulike typene av overflatebehandling systematiserer man gjerne slik:

- Løsemiddeltynnet overflatebehandling
 - oljemaling/dekkbeis/beis
 - linoljemaling
 - tretjære
- Vanntynnet overflatebehandling
 - akryl dekkbeis/maling
 - hybridmaling (akryl/alkyd)
 - slammaling (f. eks. Falurød)

I løsemiddeltynnete produkter er alkydolje benyttet som bindemiddel og løsemiddelet er vanligvis «white spirit». Bindemidlet i vanntynnete produkter kan være lateks eller kombinasjoner av lateks og emulgert olje, og løsemiddelet er vann. Vedlikeholdsintervallet er normalt 2–4 år for beis, 4–8 år for dekkbeis og 6–12 år for maling, men dette er avhengig av værforhold, hvilken himmelretning veggen er eksponert for og type produkt (Jacobsen 2009, Gobakken 2009).

For 15-20 år siden var råtesopp-skader i kledningsbord i trefasader et problem, og vanntynnete akrylmaling av mindre god kvalitet var i mange tilfeller årsaken til dette (Mohn Jenssen og Mattsson 1988, Hjort 1989). I dag er råtesopp et minimalt problem i trefasader siden man har fått gode grunningsprodukter med sopphindrende stoffer. Svertesopp på overflaten av kledning er nå et langt mer alvorlig problem (Gobakken 2009). Det skilles mellom svertesopp og råtesopp. Svertesopp kjennetegnes ved svarte prikker og mørk misfarging på overflaten av bart treverk eller en overflatebehandling. Svertesopp forårsaker

ikke råte, men soppen gir en misfarging som kan være sjenerende, spesielt på lyse flater. Råtesopper derimot, bryter ned treverket slik at både vekt og styrke reduseres.

En terrasse i tre vil med tiden bli værgrå og angrepet av svertesopp om den ikke overflatebehandles og vedlikeholdes jevnlig – og dette gjelder stort sett ved valg av alle typer materialkvaliteter. Kopperimpregnert furu er det vanligste og normalt det billigste materialet, men det finnes flere gode alternativer. Ett terrassedekke i kopperimpregnert furu kan stå ubehandlet, eller det kan påføres en terrasseolje eller en terrassebeis. Bruk av treolje med høyt tørrstoffinnhold og soppdreper eller en vanntynnbar beis vil utsette gråningen av terrassen, og videre tilføre en ønsket farge. Jevnlig overflatebehandling vil redusere oppflising og sprekker i overflaten. Nytt impregnert treverk inneholder ofte mye vann og bør derfor tørkes ned til trefuktighet under 18 % før en overflatebehandling.

3. BRUKSOMRÅDER OG BRUKSKLASSER FOR TRE

I Europa er det definert fem bruksklasser for tre og de er vist i Tabell 2.

Tabell 2. Bruksområder og fuktforhold i ulike bruksklasser etter EN 335 (2013) og Brischke et al. (2006).

Bruks- klasse	Generell brukssituasjon	Trefuktighet	Fuktbelastning under bruk
1	Innvendig, dekket til, tørr	Maks 20 %	Ingen
2	Innvendig eller dekket til, oppfukting 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

Bruksklasse 1 og 2: I bruksklasse 1 (typisk innendørs) og 2 (typisk baderom eller tildekket utendørs) er det liten fare for råteangrep ved bruk av våre nordiske treslag, men i risikoklasse 2 kan overflaten bli angrepet av svertesopp.

Bruksklasse 3 (basert på Evans og Flæte 2009): Det har vært utført få forsøk på å bestemme holdbarheten til forskjellige treslag utendørs over mark. Dette skyldes at holdbarhet tradisjonelt har vært bestemt i jordkontakt (EN 350-1 1994, EN 350-2 1994) hvor råteangrep skjer mye raskere. Holdbarhet graderes for kjerneved, fordi yteveden i de fleste treslag anses som 'ikke holdbar'. Man regner med at holdbarheten over mark generelt følger samme gradering som i jordkontakt, bare mye langsommere. Utfordringen med å gjøre akselererte tester over mark er at om man innfører for drastiske påkjenninger vil resultatene bli urealistiske sammenlignet med vanlig bruk. Bruker man for milde testbetingelser vil det ta altfor lang tid før man får resultater.

Bruksklasse 4 (basert på Evans og Flæte 2009): Nordiske treslag, med unntak av eik kjerneved, har alle dårlig holdbarhet og levetid i jordkontakt. Det er fortrinnsvis importerte lauvtreslag som kan gi en holdbarhet tilsvarende 'meget holdbar' eller 'holdbar'. Kjerneved av furu eller lerk vil kunne ha en levetid på 5-7 år i jordkontakt avhengig av jordsmonnet. Normalt testes holdbarhet til trematerialer i jordkontakt etter standarden EN 252 (1989).

Bruksklasse 5 (basert på Evans og Flæte 2009): I sjøvann har man i tillegg til råtesopprisiko også stor sannsynlighet for angrep av marine borere – spesielt pælemark (Teredo-arter) eller pælelus (Limnoria-arter). Ingen norske treslag og få utenlandske er motstandsdyktige mot marine borere. For å beskytte seg mot disse skadegjørerne, må man bruke behandlet rundvirke. Den impregnerte yteveden vil da beskytte kjerneveden som ikke er holdbar mot marine borere.

I Norden har det i lang tid vært vanlig å produsere impregnert trevirke ut fra hvilke bruksmiljø det impregnerte virket skal anvendes i. Allerede i 1976 etablerte Nordisk Trebeskyttelsesråd (Nordiska Träskyddsrådet - NTR) 4 impregneringsklasser for impregnert trevirke. Impregneringsklassene for furu og andre lett impregnerbare bartreslag er beskrevet i NTR Dokument nr 1:2013 (Nordiska Träskyddsrådet 2012):

- Klasse NTR M - for marint bruk
- Klasse NTR A - for jordkontakt
- Klasse NTR AB - for bruk over mark; kledning, terrasse mv.
- Klasse NTR B - for bruk over mark; vinduer, utvendige dører mv.

Impregneringsmidlene må være godkjent av NTR etter gjeldende krav i NTR-dokument nr. 2. I Norge må produsenten være tilsluttet Norsk Impregneringskontroll for å kunne produsere i henhold til de nordiske impregneringsklassene.

4. METODER FOR PREDIKERING AV LEVETID

Det finnes flere ulike tilnærminger og modelltyper for å predikere levetid til trematerialer. Avhengig av hvilken applikasjon som blir analysert, kan modelltype og dennes struktur variere betydelig. Ingeniør- eller tekniske modeller inkluderer grenseverdier (LSD= limit state design), i motsetning til biologiske tilnærminger der målsettingen er å vise hele nedbrytningsforløpet frem til endt levetid (Brischke og Thelandersson 2014). Under er et utvalg modeller og metoder for predikering av levetid beskrevet.

4.1. Scheffers indeks

Klimaindeksen presentert av Scheffer (1971) var det første forsøket på å korrelere klimadata med råterisiko. Grad av risiko for ulike klima i USA var kalkulert ved empirisk å bestemme råteintensiteten ut ifra felttester på fire ulike lokaliteter der variablene var temperatur og distribusjon av nedbør:

$$\text{Klimaindeks} = \frac{\sum_{Jan}^{Des} [(T - 35)(D - 3)]}{30}$$

Der \sum_{Jan}^{Des} er summen av månedene januar til desember, T er gjennomsnittlig dagtemperatur per måned (°F), og D er gjennomsnittlig antall dager med mer enn 0,001 tomme regn per måned. Jo høyere klimaindeks jo høyere risiko for råte i trematerialet. Unøyaktigheten i Scheffer sin klimaindeks ble senere påpekt av bl.a. De Groot (1982) og Norén (2001). Tilleggsfaktorer som for eksempel konstruksjonsdetaljer og påvirkning av meso- og mikroklima må vurderes. Databasen som ble brukt for å utvikle denne klimaindeksen synes

også å være ufullstendig, og tilnærmingen er en overforenkling av prediksjon av levetid til trekomponenter.

COST Action E2 (Wood Durability) utførte en sammenlignende test ved ett utvalg forskningsinstitusjoner for å utvikle en europeisk ekvivalent til Scheffer index (Carey 2000, Van Acker 2003, Grinda og Carey 2004). Selv om forskjeller i nedbrytningsintensitet mellom lokalitetene ble observert, var det liten korrelasjon mellom nedbrytningsintensiteten og makroklima på grunn av den grove tilnærmingen i Scheffers klimaindeks (Grinda og Carey 2004).

4.2. Faktormetoden

Standarden ISO 15686 definerer og beskriver levetidsplanlegging, og faktormetoden er den metoden som beskriver hvordan estimert levetid skal beregnes (ISO 15686-1 2011).

Metoden har fått navn etter måten selve utregningen av estimert levetid (Estimated Service Life – ESL) utføres, ved å multiplisere referanselevetid (Reference Service Life – RSL) med ulike påvirkningsfaktorer (Tabell 3). Påvirkningsfaktorene tar hensyn til avvik i påvirkning sammenlignet med referanseforholdene:

$$ESL = RSL \times \text{Faktor A} \times \text{Faktor B} \times \text{Faktor C} \times \text{Faktor D} \times \text{Faktor E} \times \text{Faktor F} \times \text{Faktor G}$$

Faktormetoden tar med flere faktorer enn Scheffers klimaindeks, som bare tar hensyn til faktor E i forhold til nedbør og temperatur. Faktor D og E er spesielt viktige å ta hensyn til, fordi de inkluderer alle biotiske og abiotiske faktorer som påvirker trekomponenter utendørs og innendørs.

Tabell 3. Påvirkende faktorer benyttet ved estimert levetid i henhold til faktormetoden (ISO 15686-1 2011). Eksempler relatert til trebaserte produkter er basert på Brischke et al. (2006).

Påvirkende faktor	Beskrivelse	Eksempler relater til trebaserte produkter
A	Kvalitet til komponent	Motstand mot vednedbrytende sopp, f.eks. trebeskyttelsessystemer
B	Designnivå	Konstruktiv beskyttelse, beskyttelse ved design, f.eks. takutstikk
C	Håndverksmessig utførelse	Skjøter, kapillære spalter
D	Innendørs miljø	Temperatur, relative fuktighet, kondens
E	Utendørs miljø	Klima, slagregn, skygge
F	Bruksbetingelser	Slitasje, mekanisk påvirkning
G	Vedlikeholds nivå	Utbedringer, f.eks. overflatebehandling

Nedbrytningsfaktorer som påvirker levetiden til en bygningskomponent er spesifisert i ISO 6241 (1984) og er delt inn i mekaniske, elektromagnetiske, termiske, kjemiske og biologiske faktorer (Tabell 4). Disse fem faktorene blir inkorporert i faktormetoden som faktor E1-E5 eller D1-D5.

Tabell 4. Forringende faktorer som påvirker levetid til bygningskomponenter (i henhold til ISO 6241 1984).

Type	Klasse	Eksempler relater til tre eksponert utendørs
Mekaniske faktorer	Gravitasjon, krefter og deformasjoner, kinetisk energi, vibrasjoner og støy	Snø- og regnbelastning, trykk og tyngde som følge av isdannelse, thermo- og hydroekspansjon, daglige forskjeller i temperatur, fryse-smelte sykler, slagregn.
Elektromagnetiske faktorer	Stråling, elektrisitet, magnetisme	Sol og termisk stråling
Termiske faktorer	Ekstreme nivåer eller raske vekslinger i temperatur.	Varme og frost
Kjemisk faktorer	Vann og løsningsmidler, oksiderende midler, reduserende midler, syrer, baser, salter, kjemisk nøytrale.	Vann, oksiderende forbindelser (oksygen, ozon, karbondioksid, svoveldioksid, nitrogenoksider), synergistiske effekter av oksiderende midler, syrer, salter, sjøvann, sotpartikler, kjemisk inkompatibilitet, kontaminert jord.
Biologiske faktorer	Planter, mikrobiell og animalsk	Sopp, bakterier, insekter, marine borere.

Ulempen med faktormetoden er at dens multiplikative karakter kan lede til høy feilmargin. Faktorene som vurderes i denne metoden trenger å bestemmes svært nøyaktig, ikke fra estimer, ellers vil usikkerheten øke med hver supplerende faktor. Derfor har flere forfattere foreslått å modifisere faktormetoden på ulike måter (Dickinson 2005, Nicolella og De Pascale 2005, Re Cecconi og Iacono 2005, Englund 2006).

4.3. Andre tilnærminger

Antar man at levetid av treet er bestemt av en rekke dose-respons forhold, må det første trinnet mot et levetidsprediksjonskonsept være å identifisere de viktigste nedbrytningsfaktorene. Disse må igjen kvantifiseres i form av dose. Faktorklassifiseringen etter ISO 15686-1 (2011) ble derfor funnet kun å være delvis egnet fordi noen viktige nedbrytningsfaktorer (som mikroklima og mesoklima) er utilstrekkelig tatt hensyn til samt at vektingen av andre faktorer (som biotisk påvirkning) er uforholdsmessig lav.

Innsats innen forskning på levetidsestimering er intensivert i flere land det siste tiåret. Omfattende forskning på modellering av soppnedbrytning og termittangrep har blant annet blitt utført i Australia (Foliente et al. 2002, Leicester et al. 2003a, b, 2005). Ett resultat fra denne forskningen er 'Timber service life design guide' og tilhørende programvare 'TimberLife' (http://www.fwpa.com.au/Technical_Manuals_For_Timber_Service_Life_Design_Guide). I Europa har ulike forskningsgrupper fokusert på levetid til trekomponenter med ulike tilnæringsmåter (Brischke 2007, 2010, 2011a, Van de Kuilen 2007, Kutnik 2008, Viitanen et

al. 2008, 2009, Van den Bulcke et al. 2009, Gobakken og Lebow 2009, Gobakken et al. 2010, Thelandersson et al. 2009). Ulike studier fra Nord-Amerika og Asia tar for seg råterisikoestimeringer og andre levetidsproblemstillinger (Morris 2005, Lacasse et al. 2007, Wang et al. 2007, Iwamae and Suzuki 2008, Larkin and Laks 2008, Morris et al. 2008, Carll 2009). Det har skjedd store fremskritt i levetidsplanlegging og -estimering de siste årene, også for tre. Allikevel er det et klart behov for avanserte testmetoder (Lacasse 2008) og databaser med levetidsdata for bygningsmaterialer og komponenter – siden dette i stor grad fortsatt mangler (Brischke et al. 2012b). Metoder for ytelsesbasert holdbart design er mye mer utviklet for eksempel for betong, med en solid basis i fysiske modeller (Sarja og Vesikari 1996).

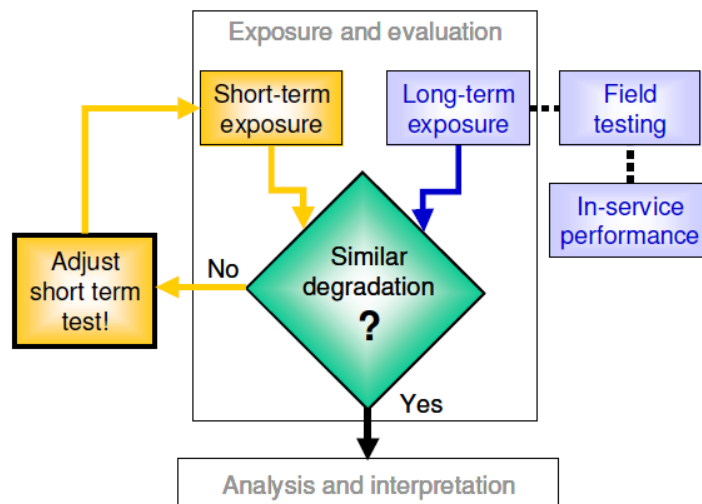
4.4. Tilgjengelighet av data

Påliteligheten til en prediksjonsmodell er avhengig av datagrunnlaget. Potensielle datakilder som kan være egnet for levetidsestimering er listet i Tabell 5. Deres nivå av tilgjengelighet, pålitelighet, nærhet til virkelig bruk og prioritering for anvendelse i en prediksjonsmodell er angitt.

Tabell 5. Datakilder evaluert med hensyn til tilgjengelighet, pålitelighet og nærhet til virkelig bruk av tilgjengelige data (Brischke et al. 2006).

Datakilde	Tilgjengelighet	Pålitelighet	Nærhet til virkelig bruk	Prioritet for vurdering
Ytelse i brukssituasjon	lav	moderat	høy	høy
Resultat fra felttester	høy	høy	moderat	høy
Resultat fra lab tester	høy	høy	lav	moderat
Inspeksjoner	moderat	lav	moderat	moderat
Ekspertkunnskap	moderat	moderat	moderat	moderat

Ytelse i brukssituasjoner er nærmest virkeligheten når representative eksponeringsforhold er til stede, men det er begrenset med tilgjengelige data fra slike studier. Lett tilgjengelige resultater fra laboratorietester og felttester har imidlertid en lavere sammenlignbarhet med virkeligheten. Mer informasjon og bedre forståelse av nedbrytningsmekanismene for trematerialer er nødvendig for å forbedre testmetodenes bruk til levetidsestimering. I tillegg til data fra testmetoder med høy pålitelighet, kan data hentes fra inspeksjoner eller fra eksperter. Imidlertid kan antallet eksperter for enkelte områder være begrenset, og data fra inspeksjoner kan være preget av subjektivitet og må tolkes grundig. Veiledning i hvordan bearbeide innsamlede data for levetidsestimering er gitt i ISO 15686 serien. Resultater fra kortsiktig og langsiktig eksponering må sammenlignes for å avgjøre om observerte nedbrytningsmønstre korrelerer for de to eksponeringene (Figur 1).



Figur 1. Systematisk metodologi for levetidsprediksjon av bygningskomponenter i henhold til ISO 15686-2 (2011).

Med hensyn til dagens behov for både egnede testmetoder som kan gi pålitelige data for levetidsestimering og en felles databaseplattform, er det uunngåelig å bruke resultater og erfaring framkommet fra metodene som er brukt ved testing og forskning frem til i dag. Det er imidlertid viktig å tolke eksisterende data med omhu. For å sikre mest mulig riktige levetidsestimater, må informasjonen i databaser for holdbarhetsdata være pålitelig og et uavhengig fagfellelevurderingssystem vil være til stor hjelp for å oppnå dette. Det er nå et initiativ for å etablere en global database med holdbarhetsdata (Brischke et al. 2012b).

Fremtidig forskning innen feltet holdbarhet og levetidsestimering bør fokusere på utviklingen av realitetsorienterte testmetoder, på komparative studier mellom laboratorier, felt- og bruksfase ytelse, og på undersøkelser av sammenhengen mellom direkte faktorer og nedbrytning, og dermed ikke bare i laboratorieskala (Brischke et al. 2006, Brischke og Thelandersson 2014).

For mer dybdeinformasjon om ulike tilnærminger og modeller for predikering av levetid til tre, henvises det til artikkelen 'Modelling the outdoor performance of wood products – a review on existing approaches' av Brischke og Thelandersson (2014).

5. FAKTORER SOM PÅVIRKER NEDBRYTNINGEN AV TRE

5.1. Biotisk påvirkning

Bakterier

Bakterier kan angripe tre som har stått under grunnvannsspeilet og i tømmer som har vært lagret i ferskvann eller blitt overrislet. Vannlagring og overrisling benyttes som konserveringsmetode for å unngå sopp- og insektskader. Bakterieangrep resulterer i at trevirkets permeabilitet, dvs. evnen til å transportere væske, øker (Vadla og Wilhelmsen 1982). Dette vil blant annet gi seg utslag i at vannlagret grantømmer kan bli skjoldet når det beises pga. ujevnt opptak av beis i veden. Det er derfor viktig at trematerialer som skal brukes til møbler, lister eller vinduer, ikke er vannlagret. Bakteriene gir også et høyere opptak av vann i treet og kan derfor bidra til etablering av råtesopp. Årsaken til denne økede permeabiliteten er at bakteriene bryter ned lukkemekanismene mellom cellene. Den skaden

bakterier forårsaker i trematerialer er liten sammenlignet med skader forårsaket av basidiomyceter (råtesopper), men bakterier er i stand til å overleve og bryte ned under mye hardere miljøbetingelser enn de fleste råtesoppene (Singh et al. 1987, Nilsson 1992, Clausen 1997). Bakterier kan ofte påvises sammen med blant annet muggsopper i bygninger med fuktskader, og her kan de forårsake sterk lukt. (Basert på Evans 2009)

Sopp

Det er forskjell mellom misfargende sopp, slik som mugg eller blåvedsopp, og vednedbrytende sopp. Brunråte er den vanligste og mest destruktive typen råtesopp i tre ved lagring og bruk, og forårsaker signifikant svekkelse i trematerialets styrke allerede ved lave nivåer av massetap (Eaton og Hale 1993). Relativt få hvitråtesopper anses som viktige vednedbrytere av kommersielt tømmer i Norge. Termen gråråte (eller mykråte) beskriver mykgjøring av trematerialet ved angrep av ascomyceter og deuteromyceter (Eaton og Hale 1993). Gråråte opptrer når vekst og aktivitet av de generelt mer aktive basidiomycetene (brun-og hvitråtesopper) er svekket (ved høyt fuktighetsnivå, liten lufttilgang, høye temperaturer) eller hemmet (trebeskyttelsesystemer, ekstraktiver) (Eaton og Hale 1993). Det kan være vanskelig å se angrep av gråråte i fuktige trematerialer.

Den gjensidige avhengigheten mellom arter, slik som vednedbrytende sopp, sopper som ikke bryter ned tre og bakterier, har blitt studert en rekke ganger. Både synergistiske (Henningsson 1967, Schmidt 2006) og antagonistiske effekter (Weindling 1934, Doi og Bürgel et al. 1994) har blitt observert. I mange tilfeller er en rekke arter involvert i nedbrytningen av tre, og antagonisme og synergi avgjør suksessen av vedlevende sopparter. Forholdet mellom massetap og styrketap avhenger henholdsvis av type råtesopp og den komponenten av cellevegg som brytes ned (Wilcox 1977, Curling et al. 2002, Brischke et al. 2006b).

Effekten av misfargende sopp (blåved, muggsopp og svertesopp) på trekomponenter er vanligvis begrenset til estetiske aspekter, og disse soppenes påvirkning på levetid er dermed sterkt avhengig av ytelseskravene. Selv om blåved, muggsopp og svertesopp ikke svekker treets mekaniske styrke, indikerer de at fuktbetingelsene kan være uakseptable. I visse tilfeller kan de skjule eller være starten på alvorligere råteangrep.

Et soppangrep i en trekomponent er i seg selv ikke nødvendigvis helsefarlig. Soppsporer og sopphyefragmenter kan allikevel være allergifremkallende (Nasjonalt folkehelseinstitutt 2013), og det finnes flere eksempler på at muggsoppsporer har fremkalt allergi hos arbeidere på blant annet tørrsorteringsanlegg i trelastindustrien. Lukt fra sopp og/eller bakterieangrep kan også medføre helseskade hos beboere i angrepne hus (Nasjonalt folkehelseinstitutt 2013).

Insekter

Insekter gnager i trevirke av to grunner: 1) for å få mat, 2) for å lage tilholdssted. I Norge utgjør biller og maur de viktigste kategoriene av skadedyr i trevirke. Bare noen få insektarter er primærskadegjørere og går på tilsynelatende uskadd virke, mens de fleste artene er sekundærskadegjørere og kommer som en følge av for høy fuktighet og/eller råteskade. Blant billene (orden Coleoptera) er det husbukk (*Hylotrupes bajulus*) og stripet borebille (*Anobium punctatum*) som mest forårsaker skader av økonomisk betydning på bygningsvirke. I ubarket tørt bartrevirke kan man få angrep av blåbukk (*Callidium violaceum*) og myk borebille (*Ernobius mollis*), men de holder seg gjerne ytterst i splintveden og forårsaker ikke vesentlig styrkereduksjon av trevirket. Et generelt råd er likevel å unngå bruk av ubarket virke. Insektangrep kan ha alvorlig innvirkning på styrkeegenskapene i trevirket. Yteved av gran og furu er generelt mer utsatt enn kjerneved. Råteborebille (*Hadrobregmus pertinax*) er et eksempel på en bille som lever i råteskadet trevirke, der fuktighet er det egentlige problemet. En annen art er bolverksbille (*Nacerda melanura*) som også lever i råteskadet virke og trebåter. Splintvedbiller (*Lyctidae*) kan angripe materialer fra løvtrær.

Vanlig splintvedbille (*Lyctus linearis*) finnes etablert i Norge, mens andre arter som parkettbilleren (*Lyctus brunneus*) kan komme med importert tre. Andre arter i slekten *Lyctus* blir nå og da funnet som skadegjørere i treverk i hus og skip. Mer detaljert informasjon om skadeinsekter i trevirke finnes på nettsidene til Norsk institutt for skog og landskap (http://www.skogoglandskap.no/tidsskrifter/insekter_i_ved), Nasjonalt Folkehelseinstitutt (www.fhi.no/skadedyr) og i boken «Treskadeinsekter i bygninger» (Mattson 2010).

I alt er det kjent 60 utendørslevende arter av maur (familie Formicidae) i Norge. Maur spiser ikke tre, men de gnager i treverk for å anlegge kolonier. Angrep kan pågå i flere år uten at det er særlig synlig siden overflaten på treverket i liten grad gjennombores. Helt friskt treverk kan angripes. Ofte brukes imidlertid fukt-, råteskader, hull, sprekker og andre skader som inngangsport for maur. De mest kjente skadegjøreren blant maur er stokkmaurene. Stokkmaur vandrer ut av boet for å finne mat og de lever av å jakte på smådyr, sukkerholdig saft fra bladlus, sukkerholdige plantedeler og noen ganger døde dyr. Ett tegn på at det finnes kolonier av stokkmaur i et hus er at man ser mange maur som vandrer ut og inn. Unntaksvis kan også andre maurarter etablere seg i hus og gnage i treverk. Brun tremaur (*Lasius brunneus*) er registrert i hus, og den kan gnage i treverk. En annen trelevende art som kan etablere seg i hus er blanksvart tremaur (*Lasius fuliginosus*). I de tilfellene hvor andre maurarter gnager i treverket, er dette gjerne et resultat av at treverket er råteskadet eller at andre insekter har gjort skade først. Maur kan etablere seg i moderne hus i forbindelse med varmekabler og isopor/annen isolasjon. Det er særlig sukkermaur (også kalt svart jordmaur) (*Lasius niger*) og tvillingsukkermaur (også kalt svart søsterjordmaur) (*Lasius platythorax*) som etablerer seg her. Selv om disse maurene ikke gjør mye skade kan det være utrivelig når disse små maurene vandrer rundt i huset. Mer informasjon om maur finnes her: <http://www.nhm.uio.no/fagene/zoologi/insekter/norhym/>, www.fhi.no/skadedyr og <http://www.skogoglandskap.no/temaer/maur>.

I tillegg til artene nevnt over, kommer det andre arter inn i Norge særlig i forbindelse med import av gjenstander. De fleste av disse artene kan ikke reinfisere treverk og vil dø ut med gjenstandene de ble importert med. Mange av disse arter overlever ikke utendørs på grunn av vinteren, men kan leve i hus og bygninger (synantrop).

Termitter (orden Isoptera) finnes per i dag ikke i Norge, men de forårsaker store skader i Sør-Europa. I Nord-Europa finnes arter som er etablert i hus og gjør skade utenfor sitt naturlige utbredelsesområde. Termitter ernærer seg hovedsakelig på dødt plantemateriale, blant annet trevirke. I Europa har færre enn ti arter blitt identifisert i naturlige habitat og *Reticulitermes* er den vanligste slekten. Artene som anses som de største skadegjørerne i bygninger er de underjordiske artene, hovedsakelig *Reticulitermes lucifugus* og *Reticulitermes santonensis*.

Marine bore

Tre i sjøvann er utsatt for angrep av marine bakterier, sopp og ulike borende organismer. Generelt bidrar mikroorganismer (sopp og bakterier) lite til nedbrytning av tre i denne eksponeringsklassen. Særlig borende muslinger, også kalt pælemark, kan forårsake store skader på relativt kort tid. De kan angripe trevirke i vann der saltkonsentrasjonen er høyere enn 0,7 ‰, noe som i praksis betyr langs hele norskekysten der det ikke er brakkevann. Det er to grupper mollusker blant de marine borene, arter fra familiene boreskjell (Pholadidae) og pæleskjell (Teredinida). Blant de mest kjente i norske farvann er pælemark (også kalt skipsorm, *Teredo navalis*) og pelelus (*Limnoria lignorum*). Pælemark og pælekrepsskader kan gjøre stor skade på båter og bryggestolper fordi de borer ganger i treverk. Pælemark gjør omfattende skade i hele treets tverrsnitt, mens pælekrepsskader angriper treverket fra overflaten. For mer informasjon se faktaark fra Fartøyvernsenterenes Felleståd http://www.fartoyvern.no/media/196353/info_om_paelemark_og_andre_boredyr.pdf.

5.2. Næringsstoffer

Tilgjengeligheten av næringsstoffer kan være en begrensende faktor for soppvekst. Misfargende sopp bruker ulike sukkerarter som næringskilde, og mens muggsopp bare penetrerer noen få millimeter av tresubstratet kan blåvedsopp kolonisere hele det nærende tresubstratet (Schmidt 2006). Vednedbrytende sopp tar hovedsakelig næring fra celleveggkomponenter, og soppvekst kan bestemmes ved tilgjengelighet av løselig sukker (Terziev og Nilsson 1999), nitrogen (Schmidt 2006) og enkelte sporstoffer (Schwantes 1996). Hvis man antar at sporer er allestedsnærværende, vil en eller flere arter alltid være i stand til å infisere tre, uavhengig av den faktiske næringskombinasjonen. Høyere næringsinnhold, f.eks. i jordkontakt, kan forårsake angrep av andre arter, men påvirkningen av næringsstoffer er oftest overskygget av andre faktorer slik som konstante fuktforhold i jordkontakt.

5.3. pH

De fleste treslag har en pH verdi mellom 3,3 og 6,4, og kjerneved har oftest lavere pH verdier enn yteved (Wagenführ og Schreiber 1985, Fengel og Wegener 1989). Vednedbrytende sopp kan tolerere pH verdier fra 2 til 8, men de mest relevante soppene foretrekker pH nivåer mellom 5 og 6 (Bavendamm 1974). Normalt er derfor påvirkningen av pH på råtesopp og levetid ubetydelig bortsett fra ved ekstreme betingelser.

5.4. Trefuktighet

Trefuktigheten er avhengig av luftfuktighet, nedbør og vannopptak som følge av jordkontakt eller lekkasjer, og anses som den viktigste faktoren for etablering og vekst av råtesopp i tre.

Vann tjener fire funksjoner for soppvekst i trevirket (Zabel og Morrell 1992):

- 1) Deltar i hydrolyse
- 2) Diffusjonsmedium for enzymer og løselige substrat-molekyler
- 3) Løsemiddel eller medium for livssystemer
- 4) Middel for kapillær svelling i tre

Det partielle damptrykket inne i et substrat er et mål på mengde fuktighet som er til disposisjon for soppen, og er ofte et uttrykk for vannaktiviteten. Vannaktiviteten er avhengig av kjemisk sammensetning, temperatur og pH i treverket. Viitanen (1996) og Schwantes (1996) rapporterte om sammenhengen mellom fuktminimum og temperatur; jo mer temperaturen avviker fra soppens optimum, jo høyere må vannaktiviteten være for at soppen skal kunne vokse. For praktiske formål er minimum og maksimum for soppvekst uttrykt ved prosent trefuktighet (Moisture Content = MC). Ammer (1963) fant minimum ved MC=30 %, og optimum MC er angitt til mellom 40 og 70 % for de mest relevante råtesoppene (Wälchli 1980). Et bemerkelsesverdig unntak til denne regelen er Ekte hussopp (*Serpula lacrymans*) som kan transportere vann over lengre avstander og frem til stedet med enzymaktivitet (Wälchli 1980, Grosser 1985). Derfor er Ekte hussopp i stand til å vokse i trevirke med en trefuktighet under 20 %, gitt at det finnes en ekstern fuktkilde (Schmidt 2006). Den øvre grensen (maksimum) for trefuktighet for de fleste råtesopper er 90 % (Bavendamm 1974). Et bredt optimum for trefuktighet ble observert for f.eks typer av blåvedsopp (MC=40-130 %). Den øvre trefuktighetsverdien kan sees på som en indirekte begrensning på grunn av oksygeninnhold. Overlevelse og vekst for de fleste sopparter er begrenset i et oksygenfritt miljø over en lengre periode: Kjellersopp (*Coniophora puteana*) overlevde i syv dager uten oksygen og Ekte hussopp i to dager (Bavendamm 1936), mens Svovelkjuke (*Laetiporus sulphureus*) overlevde i mer enn to år (Scheffer 1986).. Minimum oksygeninnhold for råtesopp er mellom 10 og 20 vol % (Rypáček 1966). Soppetablering er dermed midlertidig hindret ved for eksempel våtlagring (Liese og Peek 1987). Den unike relevansen 'trefuktighet' har til den direkte nedbrytningen av tre er bevist og diskutert i mange studier av

holdbarhet til tre og trebaserte produkter (Viitanen og Ritschkoff 1991, Rapp et al. 2000, Rydell et al. 2005), og er fastslått i ulike standarder (f.eks. EN 335 2013, EN 460 1994).

Fibermetningspunktet i trevirke er ca. ved 32 % trefuktighetinnhold, men dette er svært avhengig av treslag, kjerneved/yteved og en rekke andre faktorer. Likevel setter man 20 % trefuktighet som grenseverdi for risiko for soppvekst (Zabel og Morell 1992). Denne verdien inneholder en sikkerhetsmargin, og fuktigheten må generelt være betydelig over 20 % for at råtesopp skal kunne etablere seg og vokse.

5.5. Tretemperatur

Tretemperatur er den nest viktigste faktoren knyttet til soppaktivitet. Generelt er minimums temperatur for soppvekst 0°C siden vann i væskeform er nødvendig for soppenes vekst, gitt at frysepunktet ikke er senket ved hjelp av modifierende kjemikalieblandinger i hyfene eller i trevirket. Temperaturintervallet for soppvekst er, i følge Zabel og Morrell (1992), mellom 0 og 45°C. Optimumstemperaturen for soppaktivitet er normalt mellom 20 og 35°C, men dette er sterkt avhengig av soppart (Wälchli 1977). Soppene deles gjerne inn i tre grupper: 1) psykrofile - minimum under 0°C, maksimum ved 20°C, optimum mellom 0 og 17°C, 2) mesofile – minimum over 0°C, maksimum over 50°C, optimum mellom 15 og 49°C – og de fleste sopp tilhører denne gruppen, 3) termofile - minimum på 20°C, tolererer og vokser over 50°C (Cooney og Emerson 1964). Studier av tretemperatur, altså temperaturen inne i trematerialet, på nedbrytningsrate i felt er sjeldne. Sammenligninger man mellom ulike lokaliteter med hensyn til deres gjennomsnittlige temperatur viser det en tendens mot kortere levetid på lokaliteter i varmere klima (Beesley et al. 1983, Augusta et al. 2004, Grinda og Carey 2004).

5.6. Klimaforhold

Scheffer (1971) antok at lengden på regnperioden var en viktigere faktor enn mengde nedbør. Resultater fra laboratorietester utført av Viitanen (1996) og felttest av Rapp og Brischke (2004) viste at liten fluktuasjon i temperatur gav høyere nedbrytningsrate enn en stor fluktuasjon. Derfor synes det som om en jevn og konstant klimapåvirkning, spesielt med tanke på fuktighet og temperatur, er en viktig nedbrytningsfaktor.

'Critical in-situ conditions' - CIC

Modeller og indekser som beskriver risiko for biologisk nedbrytning på en bred geografisk skala har en relativ lav forklaringsgrad med faktisk påvist angrep av råtesopp og svertesopp i konstruksjoner (Grinda og Carey 2004, Noren 2001). Makro-, meso- og mikroklima har nesten ingen direkte innflytelse på selve levetiden (Brischke et al. 2006). Brischke et al. (2006) foreslår at «materialeklimaet», bestemt av temperatur i treet og trefuktighet, bør vurderes som primær inngangsfaktorer når levetid skal estimeres for trematerialer. Disse faktorene kan variere mye innenfor et lite område av trematerialet på grunn av valgt design, utført håndverk og samspillet med inntilliggende komponenter. Hvis bare en liten del av trematerialet (f.eks. hjørnet av et utendørs kledningsbord) er angrepet av råtesopp, er gjerne levetiden til hele komponenten (dvs. hele kledningsbordet) kommet til en ende. Betegnelsen CIC (= 'critical in-situ condition') er innført som ett forklarende begrep for å vektlegge de faktorer og interaksjoner som påvirker og kontrollerer levetiden til trematerialer i ulike applikasjoner (Gobakken et al. 2008, 2014). CIC kan beskrives ved materialeklimaet (trefuktighet og temperatur i trematerialet), men vil også inkludere andre parametere som tjener som utløsende faktorer for en bestemt komponent. Trevirke kan oppleve eksponentiell soppnedbrytning forårsaket av variasjon i klimafaktorer innen et lite område og ved små feil i trekomponenten. Realistiske og brukbare data for estimering av levetid er bare mulig å innhente ved å kontrollere og forstå faktorene som er målspesifikke for trekomponenten eller

deler av en komponent. Å utføre målinger på riktig måte og i riktig del av en trekomponent, er viktig for å få brukbare data for videre bearbeiding.

Klima 2000

Forskningsprosjektet Klima 2000 (varighet 2000-2007) var et av de største forskningsprogrammene innen byggenæringen det siste tiåret. Hovedhensikten med Klima 2000 var å videreutvikle utvalgte konstruksjonstyper og -detaljer, for å optimalisere design med hensyn til motstandsevne mot klimapåvirkninger.

I sluttrapporten ble det påpekt at sammenhengen mellom materialers egenskaper, konstruksjoners virkemåte, bygningers utforming, geografiske plassering og de klimapåkjenningene de blir utsatte for er svært kompleks. Omfanget av byggskader i Norge, sammen med det store utvalget av materialer og systemløsninger på markedet, illustrerer behovet for klarere kriterier og bedre anvisninger for prosjektering og utførelse av kritiske konstruksjonsdetaljer knyttet til bygningers ytre klimaskjerm. Allikevel finnes det forholdsregler som kan minske risikoen for klimarelaterte skader på byggverk. Man ser at gode byggetradisjoner og -praksis til en viss grad blir neglisjert i jakten på kostnadseffektive løsninger. Det bygde miljø har en forventet levetid fra omkring 60 til over 100 år. Vi må allerede nå ta hensyn til økte klimabelastninger på bygninger som oppføres de neste tiårene, dersom den forventede levetiden skal opprettholdes. Prosjektet leverte en rekke rapporter med tiltak som skal ta høyde for og forbedre fremtidens konstruksjoner i forhold til klima.

Varslede klimaendringer som følge av global oppvarming vil ytterligere forsterke sårbarheten til bygninger og annen infrastruktur. Endringer i klimaet vil naturligvis ha ulik virkning på ulike typer bygninger, avhengig av bruk, størrelse, utforming, oppbygging, materialvalg og lokalisering. Generelt forventer vi at fremtidens bygningskonstruksjoner i deler av landet må tåle enda større ytre klimapåkjenninger enn i dag, spesielt fuktpåkjenninger. Man må også ta høyde for at belastningene fra nedbør, vind, solstråling og temperatur i enkelte deler av landet kan bli høyere. Klimaendringene gjør det enda viktigere å kunne spesifisere byggetekniske løsninger for ulike klimapåkjenninger og forskjellige klimasoner. Mer informasjon på <http://tjenester.byggforsk.no/prosjekter/klima2000/>

6. PREDIKERT LEVETID TIL TREPRODUKTER I NORGE

Ut i fra analyse av data fra flere omfattende feltstudier i Norge, gjennomgang av relevant litteratur og eksperterfaringer, er det utarbeidet tabeller for levetid (i år) for ett utvalg av trematerialer i ulike bruksområder utendørs i Norge. Tabellene (Tabell 6, 7 og 8) må anses som ett dynamisk dokument, og gir levetidsdata for materialer av bartre (Tabell 6), løvtre (Tabell 7) og furu yteved behandlet med ulike trebeskyttelsessystemer (Tabell 8).

Tabell 6. Bartrematerialer, bruksområder og levetid med hensyn på råtesopp. Levetid i år er oppgitt som minste levetid ('worst case'), samt forventet levetid gitt en god konstruksjon. Over mark data er hentet fra testfelt i Bergen og Ås, jordkontakt data er hentet fra testfelt i Sørkedalen. I tillegg er antall år til oppnådd evaluering nivå 2 og nivå 3 er gitt i tabellen. Evalueringskriteriene er basert på en skala fra 0-4 hvor nivå 0 = ingen råte og nivå 4 = prøven knekker som følge av råte.

	Ref*	Bruk	År til oppnådd nivå 3		År til oppnådd nivå 2		Worst case (år)	Forventet (år)
			Bergen	Ås/ Sørkedalen	Bergen	Ås/ Sørkedalen		
Bartrevirke:								
Furu kjerneved (<i>Pinus sylvestris</i>)	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	>10	>15 4	6	8 3	<15 <15 <5	60 >15 <5
Furu yteved (<i>Pinus sylvestris</i>)	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	6	7 2	4	7 3	<10 <5 <5	>15 >5 <5
Gran A (<i>Picea abies</i>) Smale årringer (1 mm)	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	8	8 4	6	7 3	<10 <10 <5	60 >5 <5
Gran B (<i>Picea abies</i>) Medium årringer (3 mm)	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	8	5 2	6	7 2	<10 <10 <5	60 >5 <5
Gran C (<i>Picea abies</i>) Brede årringer (6 mm)	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	8	5 2	5	7 2	<10 <10 <5	60 >5 <5
Sitka gran (<i>Picea sitchensis</i>) voksested: Vestlandet	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	8	8 2	5	7 2	<10 <10 <5	60 >5 <5
Lerk, kjerneved (<i>Larix sibirica</i>) voksested: Russland	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	>15	>15 >10	7	>10 5	<15 <15 <5	60 >15 <5
Edelgran (<i>Abies alba</i>)	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	5	5 3	5	4 2	<5 <5 <5	>15 <10 <5
Einer (<i>Juniperus communis</i>)	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	>20	>20 >10	>10	>15 7	- - <10	- - >10
Western Red Cedar (<i>Thuja plicata</i>) voksested: USA	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	>10	>10 4	7	9 3	<10 <10 <5	60 >10 <5
Douglas gran (<i>Pseudotsuga menziesii</i>) voksested: USA	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	>20	>20 >15	>10	>10 10	<15 <15 <10	60 >15 >10

*Referanse 1: Forsøksoppsettet er beskrevet i Flæte et al. (2008), forsøket er fortsatt pågående. Referanse 2: Forsøksoppsettet er beskrevet i Flæte et al. (2011), forsøket er fortsatt pågående. Referanse 3: Forsøksoppsettet er beskrevet i Westin og Alfredsen (2011), forsøket er fortsatt pågående. Ref. 4 Forslag fra ekspertgruppe.

Tabell 7. Løvtrematerialer, bruksområder og levetid med hensyn på råtesopp. Levetid i år er oppgitt som minste levetid ('worst case') samt forventet levetid gitt en god konstruksjon. Over mark data er hentet fra testfelt i Bergen og Ås, jordkontakt data er hentet fra testfelt i Sørkedalen. I tillegg er antall år til oppnådd evaluering nivå 2 og nivå 3 er gitt i tabellen. Evalueringskriteriene er basert på en skala fra 0-4 hvor nivå 0 = ingen råte og nivå 4 = prøven knekker som følge av råte.

	Ref.*	Bruk	År til oppnådd nivå 3		År til oppnådd nivå 2		Worst case (år)	Forventet (år)
Løvtrevirke:			Bergen	Ås/ Sørkedalen	Bergen	Ås/ Sørkedalen		
Lønn (<i>Acer platanoides</i>)	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	6	7 3	3	5 3	<5 <5 <5	>15 >5 <5
Lind (<i>Tilia cordata</i>)	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	5	7 3	5	7 1	<5 <5 <5	>15 >5 <5
Osp (<i>Populus tremula</i>)	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	7	7 3	4	7 2	<5 <5 <5	>15 >5 <5
Bjørk (<i>Betula pendula/pubescens</i>)	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	8	7 3	5	7 2	<5 <5 <5	>15 >5 <5
Or (<i>Alnus glutinosa/Alnus incana</i>)	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	5	7 2	3	7 1	<5 <5 <5	>15 >5 <5
Rogn (<i>Sorbus aucuparia</i>)	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	>10	8 3	3	7 2	<5 <5 <5	>15 >5 <5
Selje (<i>Salix caprea</i>)	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	8	8 5	5	7 3	<5 <5 <5	>15 >5 <5
Eik (<i>Quercus robur/ Q. petraea</i>)	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	>10	>10 5	8	7 4	<10 <10 <5	60 >15 <10
Ask (<i>Fraxinus excelsior</i>)	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	>10	>10 5	5	7 4	<10 <10 <5	>20 >5 <5
Alm (<i>Ulmus glabra</i>)	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	>10	>10 5	5	7 3	<10 <10 <5	>20 >5 <5
Bøk (<i>Fagus sylvatica</i>)	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	5	6 3	3	5 2	<5 <5 <5	>15 >5 <5
Merbau (<i>Intsia bijuga</i>)	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	>20	>20 >15	>10	>15 >10	<15 <15 <15	60 30 <15
Teak (<i>Tectona grandis</i>)	4 1 1	Kledning Terrasse Jordkontakt	>20	>20 >15	>10	>15 >10	<15 <15 <15	60 30 >10
Robinia kjerneved (<i>Robinia pseudoaccacia</i>)	4 3 3	Kledning Terrasse Jordkontakt		>15 9		>10 6	<15 <15 <10	60 >20 <10

*Referanse 1: Forsøksoppsettet er beskrevet i Flæte et al. (2008), forsøket er fortsatt pågående. Referanse 2: Forsøksoppsettet er beskrevet i Flæte et al. (2011), forsøket er fortsatt pågående. Referanse 3: Forsøksoppsettet er beskrevet i Westin og Alfredsen (2011), forsøket er fortsatt pågående. Ref. 4 Forslag fra ekspertgruppe.

Tabell 8. Furu yteved impregnert med ulike trebeskyttelsessystemer, bruksområder og levetid med hensyn på råtesopp. Levetid i år er oppgitt som 'worst case', samt forventet levetid gitt en god konstruksjon. Over-bakke data er hentet fra testfelt i Bergen og Ås, jordkontakt data er hentet fra testfelt på Ås og i Sørkedalen. I tillegg er antall år til oppnådd evalueringen nivå 2 og nivå 3 gitt i tabellen. Evalueringskriteriene er basert på en skala fra 0-4 hvor nivå 0 = ingen råte og nivå 4 = prøven knekker som følge av råte. For beskrivelse av NTR klasser se kapittel 3 og NTR liste nummer 89 (2013). WPG = 'weight percent gain', et mål på behandlingsgrad.

	Ref.*	Bruk	År til oppnådd nivå 3		År til oppnådd nivå 2		Worst case (år)	Forventet (år)
Trebeskyttelses-systemer**			Bergen	Ås/ Sørkedalen	Bergen	Ås/ Sørkedalen		
CCA (NTR A)	1,2	Jordkontakt		>20		>15	<20	<30
CCA (NTR AB)	4 1,2,3	Kledning Terrasse	>20	>20	>10	>20	<30 <30	60 30
Kopperbasert (NTR A)	1,2	Jordkontakt		>20		>10	<15	>20
Kopperbasert (NTR AB)	4 1,2,3	Kledning Terrasse	>15	>20	>10	>15	<30 <30	60 30
Furfurylert WPG 30	4 1,2,3 3	Kledning Terrasse Jordkontakt	>15	>20 >10	>10	>15 7	<30 <30 <15	60 30 >20
Acetylert WPG 25	4 3 3	Kledning Terrasse Jordkontakt		>20 >20 >20		>20 >20 >15	<30 <30 <15	60 30 >20
Varmebehandlet, 212°C	4 1,3 1,3	Kledning Terrasse Jordkontakt		>10 8		8 7	<10 <10 <10	60 >15 <10
Råtallolje	1	Jordkontakt		>15		>10	<15	>15

*Referanse 1: Forsøksoppsettet er beskrevet i Flæte et al. (2008), forsøket er fortsatt pågående. Referanse 2: Forsøksoppsettet er beskrevet i Flæte et al. (2011), forsøket er fortsatt pågående. Referanse 3: Forsøksoppsettet er beskrevet i Westin og Alfredsen (2011), forsøket er fortsatt pågående. Ref. 4 Forslag fra ekspertgruppe.

**Behandlet furu yteved.

Tabell 9. Vedlikehold og renovering av malte flater utendørs er avhengig av type maling og eksponering fra 'Report from WoodExter Final report' (Jermer 2011).

Original overflatebehandling	Farge	Eksponering	Posisjon	Vedlikeholdsintervall ¹	Vedlikehold ²	Utbedring ²
Ubehandlet		beskyttet	vertikal	-		- utskifting av detaljer/deler
			horisontal	-		
		eksponert	vertikal	-		
			horisontal	-		
Impregnert, beiset el.l., filmtykkelse 0 – ca. 20 µm	lys	beskyttet	vertikal	3-4 år	- rengjøring er avhengig av overflatestrukturen og mengde misfarging. Årlig rengjøring ved bruk av myk børste og/eller vann fra hageslange (ikke høytrykk) sammen med en mild såpe. - påføring av beis el. l.(filmtykkelse 0-ca 20 µm) på alle overflater	- same prosedyre som for vedlikehold
			horisontal	2-3 år		
		eksponert	vertikal	2 år		
			horisontal	1 år		
	mørk	beskyttet	vertikal	4-5 år		
			horisontal	3 år		
		eksponert	vertikal	2-3 år		
			horisontal	2 år		
Dekkbeis el.l., filmtykkelse ca. 20 - 60 µm	lys	beskyttet	vertikal	5 år	- kontroller overflaten for defekter/skader (sprekker, avflassing, svertesoppvekst mv. - årlig rengjøring ved bruk av myk børste og/eller vann fra hageslange (ikke høytrykk) sammen med en mild såpe. - påføring av dekkbeis el. l.(filmtykkelse 20-ca 60 µm) på alle overflater	- fjerne beis/maling med mangelfull vedheft - rengjøring med kraftigere såpe og bruk av myk børste og/eller vann fra hageslange (ikke høytrykk) + påføring av soppdreper - påføring av dekkbeis eller maling
			horisontal	3-4 år		
		eksponert	vertikal	3-4 år		
			horisontal	2 år		
	mørk	beskyttet	vertikal	6-7 år		
			horisontal	4 år		
		eksponert	vertikal	4 år		
			horisontal	3 år		
Maling el.l., filmtykkelse ca. 30 - 60 µm	lys	beskyttet	vertikal	opp til 12 år	- kontroller overflaten for defekter/skader (sprekker, avflassing, svertesoppvekst mv. - årlig rengjøring ved bruk av myk børste og/eller vann fra hageslange (ikke høytrykk) sammen med en mild såpe. - påføring av maling el. l.(filmtykkelse 30-ca 60 µm) på alle overflater	- fjerne beis/maling med mangelfull vedheft - rengjøring med kraftigere såpe og bruk av myk børste og/eller vann fra hageslange (ikke høytrykk) + påføring av soppdreper - påføring av maling
			horisontal	5-7 år		
		eksponert	vertikal	opp til 10 år		
			horisontal	3-5 år		
	mørk	beskyttet	vertikal	opp til 12 år		
			horisontal	4-6 år		
		eksponert	vertikal	opp til 10 år		
			horisontal	3-5 år		

¹⁾ tilnærmet, ikke-bindende og veiledende årstall for vedlikeholdsintervall

²⁾ kontroller anbefalinger gitt av produsenten av overflatebehandlingen

7. KONSTRUKTIV BESKYTTELSE I PRAKSIS

Treverk kan være meget holdbart når trekomponenten monteres riktig og man velger riktig trekvalitet. For å oppnå dette, er det viktig å vite hvilke prosesser som bryter ned treet og hvordan disse kan stanses eller reduseres. Det er ofte detaljutformingen som avgjør levetiden. Tørt tre råtner ikke, og det vil si at dersom treverk har en fuktighet under 20 % vil treverket ikke råtne. Et godt prinsipp for å hindre råtesopp-skader er en kontinuerlig og bevisst bruk av konstruktiv trebeskyttelse, samt å tilføre annen trebeskyttelse der risiko for råtesopp-skader tilsier dette (Evans 2009). Generelle råd og prinsipper for bruk av tre i bygninger og konstruksjoner er listet opp under.

Fuktsikring

Det viktigste prinsippet ved konstruktiv trebeskyttelse er å holde treverket tørt.

- Minimere fuktbelastning under bygging slik at man ikke bygger inn fuktighet.
- Standarder for kledninger og konstruksjonstre stiller krav til maksimalt fuktinnhold ved levering. Kledning bør leveres med et gjennomsnittlig fuktinnhold på ca. 17 %.
- Trematerialer og andre byggematerialer må lagres tørt under byggeprosessen.
- Begrense påkjenning fra regn/slagregn, snødrev, smeltevann og kondensvann i størst mulig grad.
- Velg dimensjoner og profiler som ikke forårsaker mye svelling og krymping, og som tolererer dimensjonsendringer.
- Led overflatevann vekk fra konstruksjonen.
- Unngå vannfeller og kapillært oppsug via endeved.
- Sørg for god lufting slik at treverket kan tørke raskt etter oppfukting.
- God lufting i kryperom.
- Fuktsperre mellom betong og tre.
- Opparbeid tilstrekkelig og fungerende drenering rundt grunnmur.
- Unngå vegetasjon tett på trekonstruksjonen.
- Utfør jevnlig tilsyn og vedlikehold.
- Fjerne skitt og rusk som kan holde på fuktigheten i konstruksjonens sammenføyninger.
- Velg overflatebehandling eller annen trebeskyttelse som er egnet for formålet, og behandle endeflater grundig.

Tak

- Minimere fuktpåvirkningen på trematerialer i fasader ved å velge overbygg og brede takutstikk.
- Luftede, kalde tak bør ha utvendig nedløp og ha fall på minst 5°, avhengig av areal på takflaten og konstruksjonsdetaljer.
- Skråskjære, overflatebehandle, bruke beslag eller dekke til oppadvendte kuttflater.
- God ventilasjon i yttertak. Varmelekkasje kan føre til snøsmelting og videre isdannelse.
- Takflaten bør luftes gjennom ventiler på gavlveggen der det er mulig, samt i raftet eller i mønet.
- Unngå lekkasjer ved jevnlig inspeksjon av risikopunkter og vedlikehold av taket.

Utvendig kledning

- Utlektet kledningen gir luftespalte bak kledningen som kan drenere bort fuktighet tilført fra utvendig side og ventilere ut eventuell fukt fra indre delen av veggen.
- Årringorientering i overflaten på kledningsbord bør være stående grunnet sprekkdannelse og fuktopptak. Fortrinnsvis bør kledningen bli produsert fra innerplank hvor margsiden monteres vendt utover.
- Alle endeflater må forsegles/beskyttes.
- Skjøter bør i størst mulig grad unngås fordi endeveden vil absorbere vann.
- Endeflatene skråskjæres i skjøter og forsegles på stående kledning.
- Kledningen avsluttes mot et beslag eller vannbrett rundt vinduer.

- Unngå knusning av trefibrene i trevirkets overflater siden endeveden som oppstår i den knuste sonen lettere vil suge vann.
- Sikre god avstand, minst 30 cm, mellom underkant av panel og jordoverflaten for å unngå oppfukting ved bl.a. tilbakeslag av nedbør.

Beslag, spiker og skruer

- Bruke festeanordninger som gir minimalt tilført stress til treverket for å unngå sprekkdannelse.
- Bruk spiker og skruer på en korrekt måte og unngå å sette dem for nærme enden på kledning- og terrassebord.
- Holdbarheten til spiker, skruer og beslag som skal benyttes må være like god som trematerialet, dvs. minimum galvanisert.
- Feste av stående kledning må ikke gå gjennom over og underligger fordi det kan gi uheldig oppsprekking.

Overflatebehandling

- Systembehandling bør benyttes når overflatebehandling skal påføres nytt treverk; bygge opp en film med grunning, mellomstrøk og toppstrøk.
- Grunningen må inneholde sopphindrende stoffer.
- Mellomstrøket er sjiktet som skal beskytte, stabilisere og gi et godt grunnlag for neste strøk.
- Toppstrøket er et rent slitesjikt som må fornyes ved hvert vedlikeholdsintervall.
- Mellomstrøk og toppstrøk bør inneholde sopphindrende stoffer som spesielt hindrer vekst av svertesopp.
- Grunning bør påføres trekledningen innen 3 uker etter at den er satt opp for å hindre værslitasje i overflaten.
- Ferdiggrunnet kledning fra fabrikk er blitt vanlig, og er også anbefalt brukt for å sikre en overflatebehandlet kledning med god holdbarhet.
- Selv om kledningsbordene er ferdig behandlet med grunning og mellomstrøk, bør ett toppstrøk påføres når kledningen er montert på veggen for å behandle og forsegle spikerhull og kappflater.
- Jevnlig rengjøring er et effektivt tiltak for å holde svertesoppveksten på malte flater på et minimum.
- Viktig å behandle (male) endeved og spiker/skruehull. Endeveden må få flere strøk med grunning og toppstrøk, og fornyet behandling av tilgjengelig endeved må gjøres ved hvert vedlikeholdsintervall.
- Overflatebehandlingen bør gjøres i sommermånedene for å sikre tørt underlag og god tørk.
- Ikke beis eller mal vegger i sterkt solskinn siden risikoen for blæring i malingen da er tilstede.

REFERANSEN

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

Augusta U, Rapp AO, Eckstein D (2004). Dauerhaftigkeit der wichtigsten heimischen Hölzer bei realitätsnaher Prüfung unter bautypischen Bedingungen. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt G-99/14 der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung.

Bavendamm W (1936). Erkennen, Nachweis und Kultur der holzverfärbenden und holzzersetzenden Pilze. I: Abderhalben E (Red.), Handbuch Biologische Arbeitsmethoden, Abt. XII, Teil2/II (pp. 927-1134). Berlin, Urban & Schwarzenberg.

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

Beesley J, Creffield JW, Saunders IW (1983). An Australian test for decay in painted timbers exposed to the weather. Forest Products Journal 33: 57-63.

Brischke C (2007). Investigation of decay influencing factors for service life prediction of exposed wooden components. Doctoral thesis, University of Hamburg, Hamburg.

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

Brischke C, Welzbacher CR, Rapp AO (2006b). Detection of fungal decay by high-energy multiple impact (HEMI) testing. Holzforschung 60: 217-222.

Brischke C, Rapp AO (2010). Service life prediction of wooden components – Part 1: Determination of dose response functions for above ground decay. International Research Group on Wood Protection, Document No. IRG/WP 10-20439.

Brischke C, Frühwald Hansson E (2011a). Modeling biodegradation of timber - Dose-response models for above-ground decay and its climate-dependent variability. Proceeding of the 1st International conference on structural health assessment of timber structures (SHATIS '11), Lisbon, Portugal, 16-17 June 2011.

Brischke C, Frühwald Hansson E, Kavurmaci D, Thelandersson S (2011b). Decay hazard mapping for Europe. International Research Group on Wood Protection, Document No. IRG/WP 11-20463.

Brischke C, Meyer L, Alfredsen G, Humar M, Francis L, Flæte PO, Larsson-Brelid P (2012a). Durability of timber products – Part 1: Inventory and evaluation of above ground data on natural durability of timbers. International Research Group on Wood Protection, Document No. IRG/WP12-20498.

Brischke C, Meyer L, Alfredsen G, Humar M, Francis L (2012b). Durability of timber products – Part 2: Proposal for an IRGWP - Durability Database. International Research Group on Wood Protection, Document No. IRG/WP 12-20497.

Brischke C, Thelandersson S (2014). Modelling the outdoor performance of wood products – A review on existing approaches. Construction and Building Materials 66, 384-397.

Browne FL (1960). Wood siding left to weather naturally. *Southern Lumberman* 201: 141-143.

Burmester A (1970). Formbeständigkeit von Holz gegenüber Feuchtigkeit - Grundlagen und Vergütungsverfahren (BAM Bericht Nr. 4). Berlin, Bundesanstalt für Materialforschung.

Bürgel J, Horvath E, Haschka J, Messner K (1994). Biological control with *Trichoderma harzianum* in relation to the formation for spores the production of soluble metabolites. International Research Group on Wood Protection, Document No. IRG/WP 94-10073

Carey JK (2000). The COST Euro Index for fungal decay - A progress report. I: Proceedings of COST E22 Workshop, Gozd Martuljek, Slovenia, 3-5 July 2000.

Carey JK (2002a). L-joint trials. Part 1: Observations on the process of colonisation and decay. International Research Group on Wood Protection, Document No. IRG/WP02-20250.

Carey JK (2002b). L-joint trials. Part 2: The relationship between colonization by decay fungi and long-term performance (Document No. IRG/WP 02-20251). Stockholm: International Research Group on Wood Protection.

Carll CG (2009). Decay hazard (Scheffer) Index values calculated from 1971-2000 climate normal data. General Technical report FPL-GTR-179. Forest Service, Forest Products Laboratory, United States Department of Agriculture.

Cartwright KSG (1941). The variability in resistance to decay on heartwood of home-grown western red cedar (*Thuja plicata* D. Don) and its relation to position in the log. *Forestry* 15: 65-75.

Clausen CA (1997). Enhanced removal of CCA from treated wood by *Bacillus licheniformis* in continuous culture. International Research Group on Wood Protection. Document No. IRG/WP 97-50083.

Cooney DG, Emerson R (1964). Thermophilic fungi. W H Freeman, San Francisco.

Curling SF, Clausen CA, Winandy JE (2002). Experimental method to quantify progressive stages of decay of wood by basidiomycete fungi. *International biodeterioration and biodegradation* 49: 13-19.

De Groot RC (1976). Your wood can last for centuries. Department of Agriculture, Forest Service, New Orleans, United States,

De Groot RC (1982). An assessment of climate index in predicting wood decay in houses. *Durability of Building Materials* 1: 169-174.

Derbyshire H, Carey JK (2001). Evaluating joinery preservatives: Performance prediction using BS EN 330 L-joint trails (IP2/01). Watford, BRE.

Dickinson DJ (2005). The factor method in wood preservation - A proposal for future progress from the COST E37 Task Force. I: Proceedings of COST E37 5th Meeting of Task Force 'Performance Classification', Oslo, Norway, 18 June 2005.

Doi S, Yamada A (1992). Preventing wood decay with *Trichoderma* spp. *Journal of the Hokkaido Forest Research Institute* 6: 1-5.

Eaton RA, Hale MDC (1993). Wood - Decay, pests and protection. First Edition, Chapman & Hall, London.

Englund F (2006). How to win friends and influence the market - Service life prediction and performance-based durability assessments of wood products in construction. International Research Group on Wood Protection, Document No. IRG/WP 06-20348.

EN 252 (1990). Wood preservatives. Field test methods for determining the relative protective effectiveness in ground contact. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.

EN 335 (2013). Durability of wood and wood-based products - Use classes: definitions, application to solid wood and wood-based products. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.

EN 350-1 (1994). Durability of wood and wood-based products. Part 1: Guide to the principles of testing and classification of the natural durability of wood. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.

EN 350-2 (1994). Durability of wood and wood-based products. Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.

EN 351-1 (2007). Durability of wood and wood-based products - Preservative-treated solid wood - Part 1: Classification of preservative penetration and retention. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.

EN 460 (1994) Durability of wood and wood-based products. Natural durability of solid wood. Guide to the durability requirements for wood to be used in hazard classes. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.

EN 1001-2 (2005). Durability of wood and wood-based products. Terminology, Vocabulary. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.

EN 15804 (2013). Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.

Evans FG (2009). Soppskader i tre. Fokus på tre nr. 51. Tilgjengelig via <http://www.treteknisk.no/fullstory.aspx?m=1174&amid=15421>. Sitert 6. mars 2014.

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 6. mars 2014.

Feist WC (1982). Weathering of wood in structural uses. I: R. Meyers & R. Kellog (Red.), Structural uses of wood in adverse environment New York: Van Nostrand Reinhold, pp. 156-178.

Fengel D, Wegener G (1989). Wood: Chemistry, ultrastructure, reactions (2nd ed.). Berlin: De Gruyter.

Flæte PO (2009). Energiforbruk og utslipp fra skogproduksjonskjeden med utgangspunkt i aktivitetsdata fra 2007 - fra frø til industritomt. Norsk institutt for skog og landskap. Tilgjengelig via

https://www.sintef.no/project/MIKADO/Energiforbruk%20og%20utslipp_Flaete13022009.pdf.
Sitert 6. mars 2014.

Flæte PO, Alfredsen G, Evans F. (2008). Comparison of four methods for natural durability classification after 2.5 years. *ProLigno* 4(3):15-24.

Flæte PO, Alfredsen G, Evans FG. (2011). Natural durability of wood tested in different environments in Northern Europe. International Research Group on Wood Protection, 42th Annual Conference, Queenstown, New Zealand, IRG/WP 11-10756.

Foliente GC, Leicester RH, Wang C-H, Mackenzie C, Cole I (2002). Durability design for wood construction. *Forest Products Journal* 52: 10-19.

Gardener JAF, Barton GM (1958). The extraneous component of western red cedar. *Forest Products Journal* 8: 189-192.

Gardener JAF, Barton GM (1960). The distribution of dehydroquercitin in Douglas fir and western larch. *Forest Products Journal* 10: 171-173.

Gobakken LR, Mattsson J, Alfredsen G (2008). In-service performance of wood depends upon the critical in-situ conditions. International Research Group on Wood Protection, Stockholm. IRG Document No: IRG/WP 08-20382.

Gobakken LR, Lebow PK (2009). Modelling mould growth on coated modified and unmodified wood substrates exposed outdoors. *Wood Science and Technology* 44: 315-333.

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

Gobakken LR, Mattsson J, Alfredsen G (2014). The importance of critical in-situ conditions on in-service performance of wooden buildings. *AGARICA* vol. 34: 29-35.

Grinda M, Carey J (2004). The COST Euro Index for fungal decay – Five years results. In *Proceedings of COST E22 Final Workshop, Estoril, Portugal, 22-23 March 2004*.

Grosser D (1985). *Pflanzliche und tierische Bau- und Werkholzschädlinge*. Stuttgart: DRW.

Haupt M, Leithoff H, Meier D, Puls J, Richter HG, Faix O (2003). Heartwood extractives and natural durability of plantation-grown teakwood (*Tectona grandis* L.) - A case study. *Holz als Roh- und Werkstoff* 61: 473-474.

Henningsson B (1967). The physiology, inter-relationship and effects on the wood of fungi which attack birch and aspen pulpwood (Research Note 19). Department of Forest Products, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

Hill CAS (2006). *Wood modification: chemical, thermal and other processes*. New York: John Wiley & Sons, Ltd.

Hillis WE (1987). *Heartwood and tree exudates*. New York: Springer.

Hösli JP, Osusky A (1978). Das Verhalten der verthyllten Randzone von rot kernigem Buchenholz beim Abbau durch *Coniophora puteana* (Schum.) Fr. und *Trametes versicolor* (L. ex Fr.) Pilat. *Material und Organismen* 13: 51-58.

ISO 6241 (1984). *Performance standards in buildings - Principles for their preparation and factors to be considered*. International Standardization Organization.

ISO 14040 (2006). Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework. International Standardization Organization.

ISO 15686-1 (2011). Building and constructed assets - Service life planning - Part 1: General principles. International Standardization Organization.

ISO 15686-2 (2011). Building and constructed assets - Service life planning - Part 2: Service life prediction procedures. International Standardization Organization.

ISO 21930 (2007). Sustainability in building construction - Environmental declaration of building products. International Standardization Organization.

IPCC (2007). The Physical Science Basis. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4), Tilgjengelig via https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml#1. Sitert 6. mars 2014.

IPCC (2013a). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. IPCC Fifth Assessment Report: Climate Change 2013 (AR5). Tilgjengelig via https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml#1. Sitert 6. mars 2014.

IPCC (2013b). Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol. Tilgjengelig via <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/>. Sitert 6. mars 2014.

Iwamae A, Suzuki H (2008). Durability of crawl space based on damage due to wood rot. Proceedings of 8th Symposium of Building Physics in the Nordic Countries, Copenhagen, June 16-18, 2008: 747-754.

Jermer J (Editor). (2011). WoodExter - Service life and performance of exterior wood above ground - Final report. Editor Jöran Jermer. SP Report 2011:53

Kamdem DP, Pizzi A, Jermannaud A (2002). Durability of heat-treated wood. Holz als Roh- und Werkstoff 60: 1-6.

Kollmann F (1951). Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe (2nd ed.). Berlin: Springer.

van de Kuilen J-WG (2007). Service life modelling of timber structures. Materials and Structures 40: 151-161.

Kutnik M (2008). Assessment of the service life of outdoor timber constructions under various use conditions. In: Proceedings of COST E 37 Workshop: Enhanced durability focusing on differences in end-use related requirements, Heraklion, Greece, April 20-22, 2008.

Lacasse MA, Manning M, Rousseau M, Cornick SM, Plescia S, Nicholls M, Nunes S (2007). Results on assessing the effectiveness of wall-window interface details to manage rainwater. 11th Canadian Conference on Building Science and Technology, Banff, Alberta, March 22-23, 2007: 1-14

Lacasse MA (2008). Advances in service life prediction – an overview of durability and methods of service life prediction for non-structural building components. In: Proceedings of

the Annual Australasian Corrosion Association Conference, Wellington Convention Centre, Wellington, NZ, November 16-19, 2008: 1-13.

Larkin GM, Laks PE (2008). To decay or not to decay: An accelerated field test of the validity of the Scheffer Index. International Research Group on Wood Protection, Document No. IRG/WP 08-20392.

Leicester RH, Wang C-H, Cookson LJ (2003a). A risk model for termite attack in Australia. International Research Group on Wood Protection. Document No. IRG/WP 03-10468.

Leicester RH, Wang C-H, Nguyen MN, Thornton JD, Johnson G, Gardner D, Foliente GC, MacKenzie C (2003b). An engineering model for the decay of timber in ground contact. International Research Group on Wood Protection, Document No. IRG/ WP 03-20260.

Leicester RH, Wang C-H, Nguyen MN, Foliente GC (2005). Engineering models for biological attack on timber structures. In Proceedings of the 10th Conference on Durability of Building Materials and Components, TT4-217, Lyon, France.

Leightley L (2003). Protection of wood using combinations of biocides. In: Wood deterioration and preservation. Advances in our changing world (Ed. Goodell B, Nicholas DD, Schultz TP) American Chemical Society, Washington, DC, pp. 390-398.

Liese W, Peek R-D (1987). Erfahrungen bei der Lagerung und Vermarktung von Holz im Katastrophenfall. Allgemeine Forstzeitschrift 42: 909-912.

SFT (2009). Miljøstatus (2009). Statens forurensningstilsyn, Tilgjengelig via www.miljostatus.no/miljostatus2009. Sært 6. mars 2014.

Mattsson J. (2010). Treskadeinsekter i bygninger. Mycoteam as. ISBN: 978-82-910-7012-4

Morris PI (2005). Service life prediction based on hard data. In: Proceedings of COST E 37 Workshop: Service life prediction: The contribution to Sustainability, Oslo, Norway, 19-21 June 2005.

Morris PI, McFarling S, Wang J (2008). A new decay hazard map for North America using the Scheffer Index. International Research Group on Wood Protection, Document No. IRG/WP 08-10672.

Nasjonalt folkehelseinstitutt (2013). Anbefalte faglige normer for inneluft. Revisjon av kunnskapsgrunnlag og normer rapport. Rapport 2013:7

National Inventory Submission (2014). United Nations. Framework Convention on Climate Change. http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/8108.php

Nicolella M, De Pascale A (2005). Service life of building components. Analysis and proposals of definition of the modifying factors. In Proceedings of the 10th Conference on Durability of Building Materials and Components, TT4-180, Lyon, France.

Nilsson T, Singh AP, Daniel G (1992). Ultrastructure of the attack of *Eusideroxylon zwageri* wood by tunnelling bacteria. *Holzforschung* 46: 361-367.

Norén J (2001). Assessment and mapping of environmental degradation factors in outdoor applications. Dissertation, KTH, Stockholm. von Pechmann, H., Graessle, E. & Wutz, A.

(1964). Untersuchungen über Bläuepilze an Kiefernholz. Forstwissenschaftliches Centralblatt 83: 290-314.

Nordic Wood Preservation Council (2013). Wood preservatives approved by the Nordic Wood Preservation Council. List no 89.

Nordiska Träskyddsrådet (2013). Nordiska träskyddsklasser och produktkrav för impregnerat trä. Del 1: Furu och andra lätt impregnerbara barrträslag. NTR Dokument nr 1.

Piirto DD, Wilcox WW (1981). Comparative properties of old and young growth giant sequoia of potential significance to wood utilization. Bull. 1901. Division of Agricultural Sciences, University of California.

Rapp AO (2001). Review on heat treatments of wood. (Ed.) Proceedings of the Special Seminar on Heat Treatments, Antibes, France, 9 February 2001. EUR 19885. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

Rapp AO, Brischke C (2004). The influence of macro and micro climate on decay. In Proceedings of COST E22 Final Workshop, Estoril, Portugal, 22-23 March 2004.

Rapp AO, Peek R-D, Sailer M (2000). Modelling the moisture induced risk of decay for treated and untreated wood above ground. Holzforschung 54: 111-118.

Re Cecconi F, Iacono P (2005). Enhancing the factor method – Suggestions to avoid subjectivity. In Proceedings of the 10th Conference on Durability of Building Materials and Components, TT4-172, Lyon, France.

Rydell Å, Bergström M, Elowson T (2005). Mass loss and moisture dynamics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) exposed outdoors above ground in Sweden. Holzforschung 59: 183-189.

Rypáček V (1966). Biologie holzerstörender Pilze. Jena: Gustav Fischer.

Sailer M, Rapp AO, Leithoff H, Peek R-D (2000). Vergütung von Holz durch Anwendung einer Öl-Hitzebehandlung. Holz als Roh- und Werkstoff 58: 15-22.

Sarja A, Vesikari E (1996). Durability design of concrete structures. RILEM report 14. Chapman & Hall.

Scheffer TC (1957). Decay resistance of western red cedar. Journal of Forestry 55: 434-442.

Scheffer TC (1971). A climate index for estimating potential for decay in wood structures above ground. Forest Products Journal 21: 25-31.

Scheffer TC (1986). O₂ requirements for growth and survival of wood decaying and sapwood-staining fungi. Canadian Journal of Botany 64: 1957-1963.

Scheffer TC, Hopp H (1949). Decay resistance of black locust heartwood. Techn. Bull. No. 984. Washington DC: US Department of Agriculture.

Schmidt H (2005). Vorbeugender baulicher Holzschutz - Außenbereich. In J. Müller (Ed.), Holzschutz im Hochbau. Stuttgart: Fraunhofer IRB. pp. 169-187.

Schmidt O (2006). Wood and tree fungi. Biology, damage, protection, and use. Berlin: Springer.

Schwantes HO (1996). Biologie der Pilze: Eine Einführung in die angewandte Mykologie. Stuttgart: Ulmer.

Singh AP, Nilsson T, Daniel GF (1987). Ultrastructure of the attack of wood of two high lignin tropical hardwood species, *Alstonia scholaris* and *Homalium foetidum*, by tunnelling bacteria. Journal of the Institute of Wood Science 11: 26-42.

Skog og landskap (2008). Karbonbinding i skog. Fagartikkel. Tilgjengelig via http://www.skogoglandskap.no/fagartikler/2008/karbonbinding_i_skog. Sitert 6. mars 2014.

Stortingsmelding nr. 39 (2008-2009). Klimautfordringene – landbruket en del av løsningen. Tilgjengelig via <http://www.regjeringen.no/nb/dep/lmd/dok/regpubl/stmeld/2008-2009/stmeld-nr-39-2008-2009-.html?id=563671>. Sitert 6. mars 2014

Stirling R, Morris PI (2006). The influence of extractives on western red cedar's equilibrium moisture content. International Research Group on Wood Protection, Document No. IRG/WP 06-40331.

Terziev N, Nilsson T (1999). Effect of soluble nutrient content in wood on its susceptibility to soft rot and bacterial attack in ground test. Holzforschung 53: 575-579.

Thelandersson S, Isakson T, Ekstrand-Tobin A, Johansson P (2009). Modeling of onset of mould growth for wood exposed to varying climate conditions. International Research Group on Wood Protection, Document No. IRG/WP 09-20414.

Thelandersson S, Suttie E, Toratti T, Viitanen H, Isaksson T, Frühwald E, Grüll G, Jermer J (2011). Service life of wood in outdoor above ground applications: Engineering design guideline. Division of Structural Engineering Lund Institute of Technology, Lund University Report TVBK-3061, Lund 2011.

Tjeerdsma BF, Boontsra M, Pizzi A, Tekely P, Militz H (1998). Characterisation of thermally modified wood: Molecular reasons for wood performance improvement. Holz als Roh- und Werkstoff 56: 149-153.

Vadla K, Wilhelmsen G (1982). Virkesbehandling. Landbruksforlaget, Oslo.

Van Acker J (2003). Service life prediction and creation of a Euro decay index - Exterior applications out of ground contact. In Proceedings of COST E22 Workshop, Zagreb, Croatia, 22-23 September 2003.

Van den Bulcke J, Acker Van J, Smet de J (2009). An experimental set-up for real-time continuous moisture measurements of plywood exposed to outdoor climate. Building and Environment 44: 2368-2377.

Viitanen H, Ritschkoff A-C (1991). Brown rot decay in wooden constructions. Effect of temperature, humidity and moisture. Department of Forest Products, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

Viitanen H (1996). Factors affecting the development of mould and brown rot decay in wooden material and wooden constructions. Doctoral Dissertation, Department of Forest Products, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

Viitanen H, Peuhkuri R, Ojanen T, Toratti T, Makkonen L (2008). Service life of wooden materials – mathematical modeling as a tool for evaluating the development of mould and decay. In: Van Acker, J, Peek, R-D (Eds.) Proceedings of the COST Action E 37 Final

conference: Socio-economic perspectives of treated wood for the common European market, Bordeaux, September 29-30th 2008. Ghent University, Belgium, 97-106

Viitanen H, Toratti T, Peuhkuri R, Ojanen T, Makkonen L (2009). Evaluation of exposure conditions for wooden facades and decking. International Research Group on Wood Protection, Document No. IRG/WP 09-20408.

Wagenführ R, Schreiber C (1985). Holzatlas (2nd ed.). Leipzig: VEB Fachbuchverlag.

Wälchli O (1977). Der Temperatureinfluß auf die Holzzerstörung 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.

Weindling R (1934). Studies on a lethal principle effective in the parasitic action of *Trichoderma lignorum* on *Rhizoctonia solani* and other soil fungi. Phytopathology 24: 1153-1179.

Welzbacher CR, Rapp AO (2003). Comparison of thermally modified wood originating from four industrial scale processes – Durability. International Research Group on Wood Protection, Document No. IRG/WP 02-40229.

Westin M, Rapp AO, Nilsson T (2004). Durability of pine modified by 9 different methods International Research Group on Wood Protection, Document No. IRG/WP 02- 10434.

Westin M, Alfredsen G (2011). Durability of modified wood in UC3 and UC4 Results from lab tests and 5 years testing in 3 fields. International Research Group on Wood Protection, Document No. IRG/WP 11-10756.

Wilcox WW (1977). Review of literature on the effects of early stages of decay on wood strength. Wood and Fiber Science, 9, 252-257.

Wang J, Wu X, Jiang M, Morris PI (2007). Decay hazard classification in China for exterior above-ground wood. International Research Group on Wood Protection, Document No. IRG/WP 07-20357.

Wærp S, Flæte PO, Svanæs J (2008). MIKADO – Miljøegenskaper for tre- og trebaserte produkter over livsløpet. Et litteraturstudium. SINTEF Byggforsk, Prosjektrapport 12.

Wærp S, Grini C, Folvik K, Svanæs J (2010). Livsløpsanalyser (LCA) av norske treprodukter. SINTEF Byggforsk.

Zabel RA, Morrell JJ (1992). Wood microbiology, decay and its prevention. Orlando, FL: Academic Press.