

Miljøovervåkning av fredete bygninger - erfaringer og anbefalinger



Treteknisk 

NIKU

 MYCOTEAM

Innhold

1.	Innledning.....	3
1.1	Oppdragsbeskrivelse.....	3
1.2	Prosjektets formål.....	3
1.3	Hva er miljøovervåking.....	3
2.	Klima og kulturminner – kunnskapsstatus.....	5
2.1	Tidligere forskning.....	5
2.2	Klimatiske forhold.....	6
3.	Bygninger og skader.....	8
3.1	Bygningsfysikk.....	10
3.2	Bygningsøkologi.....	11
3.3	Bygningsbiologi – biologiske skader i bygg.....	12
3.4	Mekaniske og kjemiske skader.....	17
4.	Automatisk fredete bygninger; konstruksjon, eierskap, bruk og geografisk plassering.....	21
4.1	Oversikt over bygningene.....	21
4.2	Kritiske klimasituasjoner for bygningene.....	24
4.3	Materialbruk og materialeegenskaper.....	26
5.	Erfaringer med miljøovervåking av kulturminner.....	28
5.1	Miljøovervåking av kulturminner, internasjonale prosjekter.....	28
5.2	Miljøovervåking av kulturminner, nasjonale prosjekter.....	30
6.	Modellering av klimaendringer – konsekvenser for skader og miljøovervåking.....	37
7.	Utvalg av bygninger for overvåking.....	39
8.	Miljøovervåking, gjennomføringsmetoder.....	40
8.1	Hensikten med overvåkingen.....	40
8.2	Bygningsundersøkelse - før oppstart av MOV.....	40
8.3	Registrering av endringer.....	43
8.4	Detaljeringsnivå for miljøovervåking.....	44
8.5	Måleperiode: Øyeblikksmålinger, kort- og langtidslogging.....	46
8.6	Meteorologiske målinger - instrumentering.....	47
8.7	Miljøovervåking kombinert med modelleringsverktøy for bygninger.....	48
9.	Diskusjon og anbefalinger.....	49
9.1	Diskusjon.....	49
9.2	Anbefalinger.....	50
	Referanser.....	54
	Vedlegg.....	58

1. Innledning

1.1 Oppdragsbeskrivelse

Riksantikvaren v/ Marte Boro bestilte 2. november et arbeid med fokus på «Miljøovervåking for å måle effekten og konsekvensen av klimaendringene på automatisk fredete bygninger». I bestillingen ble det satt opp seks hovedtemaer som man ønsket en avklaring på:

- State of the Art: Tidligere miljøovervåking i middelalderbygninger – erfaringer og nytte.
- Bygningsbiologi i automatisk fredete bygninger.
- Bygningsfysikk, bygningsbiologi og inneklime i uoppvarmede bygninger.
- Dokumentasjon ved oppstart av overvåking av enkeltobjekter/bygningsdeler.
- Byggeskikk, materialkvalitet, detaljløsninger.
- Klimamodeller.

Arbeidet omfatter automatisk fredete bygninger, det vil si bygninger innenfor følgende kategorier (antall oppgitt av Riksantikvaren):

- Stavkirker; 28
- Steinkirker fra før 1537; 157
- Automatisk fredete trebygninger; 424 (250 fra før 1537)
- Automatisk fredete steinbygninger; 4
- Bygninger på Svalbard bygget til og med 1945; antall ukjent.

Arbeidet er utført i perioden 2. november – 4. desember 2015 av Mycoteam AS, NIKU og Norsk Treteknisk institutt. I forbindelse med arbeidet har det dessuten vært samarbeid med Meteorologisk institutt og oppdragsgiver. Den avgrensede tidsrammen har medført visse begrensninger i muligheten for å hente inn informasjon ut over den kunnskapen som finnes hos de deltagende institusjonene.

1.2 Prosjektets formål

Automatisk fredete bygninger påvirkes av vær og vind, og belastningene dette medfører kan gi uønskede konsekvenser for bygningene. Det er bekymring for at endringer i klimaet kan resultere i større og endrede konsekvenser for bygningene.

Prosjektet skal vurdere mulighetene for miljøovervåking for å måle effekt og eventuelle konsekvenser av klimaendringene på automatisk fredete bygninger. Det skal pekes på relevante måleparametre og framgangsmåter slik at det kan legges til rette for utvikling av hensiktsmessig metode for miljøovervåking. Prosjektet skal videre presentere forslag til gjennomføring av miljøovervåking av automatisk fredete bygninger i Norge.

1.3 Hva er miljøovervåking

Miljøovervåking er en systematisk innsamling av data ved hjelp av etterprøvbare metoder, som baserer seg på hypoteser om sammenhengen mellom årsak og virkning. Overvåkingen omfatter både påvirkning, effekter og miljøtilstand. Målet er å dokumentere miljøtilstanden og utviklingen av denne.

(<http://www.riksantikvaren.no/Tema/Miljoeovervaaking>)

I dette prosjektet vil miljøovervåkning (MOV) i bygninger dreie seg om overvåkning av bygninger for å vurdere endring av bygningens tilstand sett i sammenheng med innvirkende klimafaktorer. Eksempler på faktorer som kan inngå i miljøovervåkning av en bygning er temperatur generelt, solinnstråling, temperatursvingninger rundt null grader, relativ luftfuktighet, nedbør generelt og slagregn. Hensikten med overvåkingen vil være avhengig av relevante problemstillinger for hvert enkelt overvåket objekt.

Det er usikkert i hvilken grad det historiske klimaet er av betydning for arbeidet med MOV slik målet er formulert for dette prosjektet. Vi har derfor ikke brukt tid på å kartlegge kunnskapsstatus for historisk klima i Norge. Historisk klima i Norge var et prioritert forskningstema for Arkeologisk museum i Stavanger på 1980 og 1990- tallet (Myhre 1995. Wishman 2007). Om dette miljøet ikke lenger er aktivt, vil klimaforskerne på DNMI høyst sannsynlig kunne skaffe denne informasjonen om den skulle vise seg nødvendig for MOV-arbeidet.

2. Klima og kulturminner – kunnskapsstatus

2.1 Tidligere forskning

Kunnskap om klimaforandrings konsekvenser for den bygde kulturarven er fremdeles i et tidlig stadium. Problemstillingen ble imidlertid belyst allerede i 1991 på et seminar om teknisk bygningsvern som Riksantikvaren arrangerte på Raulandsakademiet. Der ble det blant annet påpekt at en endring av de fysiske, klimatiske forholdene i stor grad kan påvirke nedbrytningshastigheten på treverk. (Mattsson 1993). Klimaendringenes effekter kan generelt forventes å gi flere skader på kulturminner (Sabbioni et al 2010). Dette vil få betydning for forvaltningen da bevaringsforholdene endres (Kaslegard, 2010), men også fordi risikoen for tap av en ikke fornybar ressurs vil øke etter hvert (Phillips 2015). Det er mange usikkerhetsfaktorer som må beregnes, og det er vanskelig å forutsi de faktiske konsekvensene.

Det finnes et antall internasjonale policydokument som har løftet problematikken og behovet for mer kunnskap om temaet. UNESCO utga for eksempel *Policy Document on Climate Changes and World Heritage* i 2007, men allerede i 2005 kom en rapporten *Climate Change and the Historic Environment* fra English Heritage som mente at all forskning om og av kulturminnesektoren bør inkludere aspekter vedrørende klimaendringer. Dette, og ytterligere fokus på konsekvenser for materialer, ble gjentatt i en rapport fra UCL (Cassar et al. 2005), og etter det har f.eks. ICOMOS hatt regelmessige arbeidsgrupper og seminarer hvor man har tatt frem forslag på overvåkingstemaer og relevante måleinstrument (Leblanc 2010). Dessuten gir utlysinger og prosjekt innenfor JPI samt EUs 6. og 7. rammeprogram for forskning og utvikling, inklusive det nye Horizon 2020, tydelige tegn på en økt oppmerksomhet for problematikken.

På nordisk nivå er ministerrådets *Klimaendringer og Kulturarv i Norden* (Kaslegard 2010) et viktig grunnlagsdokument. Rapporten behandler ulike effekter av klimaendringer på henholdsvis bygd miljø, arkeologiske kulturminner og kulturmiljø og landskap i Norden. I sammendraget anbefales blant annet:

- Identifisering og overvåking av spesielt sårbare kulturminner
- Strategisk beredskapsplanlegging som tar høyde for klimaendringene

Man understreker også forvaltningens behov for langsiktig miljø- og skadeovervåking, samt de overføringsverdier som finnes mellom de nordiske landene. Svenske Riksantikvarieämbetets prosjekt *Klimat- och miljöeffektens påverkan på kulturhistoriskt värdefull bebyggelse* (2013) utgjør f.eks. en nyttig State of the art-oversikt om temaet presentert i fire delrapporter.

Som følge av en tydeligere forskningsagenda med hensyn til klima og kulturarv, er et antall større prosjekt og satsninger gjennomført i de senere år:

- RegClim (2003-2006), utviklet scenarier for klimautvikling i Norden ved en global oppvarming. Modellberegninger viste blant annet at vi kan forvente mer ekstrem nedbør og vind i Norge.
- Noah's Ark (2004-07), forskningsprosjekt under EU's 6. rammeprogram, som hadde til hensikt å studere fremtidige klimaendringers effekter på den materielle kulturarven. Fokus var først og fremst på uteklimaets

konsekvenser for fasader på eldre bygninger (Sabbioni et al. 2010). Prosjektet utviklet blant annet et sårbarhets-atlas over Europa basert på en kombinasjon av klimamodeller og modeller for hvordan klimafaktorer påvirker nedbrytningen av ulike materialer.

- Climate change and the historic environment (2005) som ble utgitt av UCL i samarbeid med Europarådet ble en grunnstein og STOA med formål om å peke ut utfordringer, konsekvenser og kunnskapsluker om kulturarv og klimaforandringer.
- Climate for Culture (2009-14) var det hittil største europeiske forskningsprosjekt noensinne innenfor kulturarvsområdet. Målet var å kartlegge faremomenter for kulturarven som følge av globale klimaforandringer, ved å særlig fokusere på hvordan fremtidens uteklime vil påvirke inneklime i verneverdige bygg.
- SmooHS (-2012), EU-prosjekt hvor man i et delprogram laget en veiledning for overvåking; "Monitoring of historic structures". Inkluderte anbefalinger for flere ikke-destruktive metoder og måleinstrumenter for diagnostisering av forvitningsprosesser som sprekker, hygroskopisk fuktvandring, salt- og råterelaterte skadebilder og andre langsomt forsvakende skadeprosesser i tømmer.
- CHARTS (2013), interregprosjekt med «best practice»-rapport og fokus på risiko- og sårbarhetsvurderinger (ROS) i miljøovervåking. Metodikken i CHARTS ligger dessuten til grunn for Västra Götalandsprosjektet (2014-2016) og omfatter kulturarven som helhet, ikke bare bygninger. Viser blant annet til at risikomatriser er svært hensiktsmessige for prioritering av utsatte kulturmiljøer og ved produksjon av strategiske handlingsplaner.

I sammendrag kan det konstateres at:

- Prosjektene har hatt et overordnet fokus på klima og påvirkning på kulturarv.
- Miljøovervåking er ikke vektlagt i alle prosjektene, men deler av kunnskapen kan brukes videre.
- Klimaendringer frembringer tilpasninger og endringer i en rekke sektorer. Et generelt våtere og mer ekstremt klima vil gi økt fysisk, kjemisk og biologisk påkjenning på de aller fleste av de materialene som bygningene består av.
- Bruken av bygningene vil stille krav til hvordan et effektivt system for styring av inneklime skal være. Det betyr at forvaltningsstrategier må ta hensyn til både langsiktige og preventive tiltak for klimatilpasning og daglig bruk i form av oppvarming, avfuktning og ventilasjon.

2.2 Klimatiske forhold

Klimaet er en beskrivelse av gjennomsnittsværet på ett sted eller område, slik det framkommer når enkeltobservasjoner bearbeides statistisk etter internasjonale retningslinjer. Klimaendringer er når gjennomsnittsværet endrer karakter (<https://metlex.met.no/wiki/Klimaendringer>).

Store deler av teksten i dette avsnittet er basert på Hygen (2008).

Meteorologisk institutt forventer en økning i temperatur, spesielt for Norden. Det kan forventes mer nedbør i Norge i fremtiden, i størrelsesorden 10 % økning. For Vestlandet er økningen estimert til å være opp mot 20-30 %. Også for Svalbard forventes det mer nedbør, men her er usikkerheten større. Hvilken tilstand nedbøren kommer i (snø, sludd, regn) er styrt av temperaturen, og kan være avgjørende for bygningsarven. Ettersom det er forventet økning av

nedbørsmengder i store deler av landet samtidig med en forventet økning av gjennomsnittlig temperatur, vil det være naturlig å anta at deler av landet vil få mer våt, tung snø enn før. Samtidig vil en del områder få mindre tung, våt snø og mer regn i vintermånedene.

Permafrost er grunn som er frossen hele året. Fastlandet i Norge har i høyere liggende fjellområder store deler med permafrost, i tillegg til mesteparten av Svalbard. Det er forventet at den kraftigste temperaturøkningen vil komme i nordområdene. Økning av lufttemperatur vil ha innvirkning på permafrosten (Sollid et al 2007).

Havnivået vil i fremtiden stige, styrt av issmelting og termisk ekspansjon av havvannet. I store deler av landet er ikke denne økningen i havnivå merkbar fordi det samtidig foregår en landhevning som kompenserer. Det finnes allikevel områder i Norge som ikke har landhevning, og som vil merke mer til økt havnivå. Det er stor usikkerhet rundt fremtidig økning i havnivået, og hvor merkbart det blir påvirket av landhevingen i området. Det er først og fremst bygninger nær havoverflaten som vil bli påvirket. Økt havnivå kan føre til oversvømmelser, økt vanntrykk, fuktskader, utglidninger i grunn m.m.

Vind er luftbevegelser i atmosfæren forårsaket av trykkforskjeller (lavtrykk og høytrykk). Vind vil i hovedsak blåse fra høytrykk mot lavtrykk. Temperaturforskjeller skaper trykkforskjeller, men også topografi har sterk påvirkning på vindhastighet og retning. For eksempel kan vinden bli presset over fjellkjeder eller inn i daler/fjorder. I Norge er kysten på Vestlandet, Trøndelag og Nord-Norge steder som normalt blir utsatt for kraftig vind. Hvordan styrke og retning til vind vil bli i fremtiden svært usikkert, men det finnes indikasjoner på at kraftig vind vil forekomme noe oftere over det meste av Norden, spesielt i vinterhalvåret. På Svalbard er det også grunn til å tro at vindbelastningen på kulturminnene kan bli kraftigere i perioder. For å fastsette gode vinddata er det nødvendig med lokale målinger. Små endringer i målepunkt eller omgivelser kan potensielt gi store utslag på måledataene.

3. Bygninger og skader

I en gammel bygning vil det alltid ha oppstått skader gjennom bygningens levetid, enten på grunn av slitasje på bygningsmaterialer eller på grunn av hendelser som gir ekstra påkjenning på materialer og konstruksjoner. Klimaendringene fører ikke nødvendigvis til nye typer skader. Det er mer sannsynlig at det kan skje en forverring av eksisterende skader eller nyetablering av den samme typen av skader som allerede er vanlig forekommende.

Skadehistorikken på bygninger er tidvis knyttet til værbelastning og klima, slik det er vist i kirkeregnskaper fra 16- og 1700-tallet (finnes i Riksantikvarens arkiv) hvor det er rapportert om skader på tårn og vinduer pga. vind. Skadene skyldes likevel trolig først og fremst til uegnede konstruksjoner, dårlig tilpassede løsninger ved tidligere skadeutbedring og ombygginger uten kunnskap om bygningenes opprinnelige tilpasning til klima og påkjenninger, og ikke minst manglende generelt vedlikehold. En påstand er at de automatisk fredete bygningene som fortsatt står viser tilpassede konstruksjoner og tilstrekkelig vedlikehold. At flere av dem er omfattende restaurert er også et aspekt i denne sammenheng.

Bygningsarven kan være sårbar for klimaendringer på flere måter. De fleste materialer brytes raskere ned i et varmere og fuktigere klima, og flere ekstremværhendelser kan både gi akutte og langsomme skader på bygninger og kulturminner. De klimatiske forholdene spiller dessuten sammen og forsterker påvirkningene. Samtidig kan også andre forhold enn vær og klima gi påkjenninger på bygninger, konstruksjoner, materialer og overflater, og disse kan forsterke påkjenningene fra vær og klima. Dette kan for eksempel være feil bruk av reparasjonsmaterialer, feil styring av inneklima eller mangel på vedlikehold.

Det kan imidlertid oppstå skader som er direkte knyttet til vær og klimaendringer. Ved en vurdering av hva som er forventet eller normal skadeutvikling er det en fordel om man kan skille mellom skader som forårsaket av værbelastning over en kortere eller lengre periode og de som har andre årsaker. I tillegg må man kunne se om de klimarelaterte skadene er utviklet ved en jevn, normal belastning eller om det er skjedd ved en ekstrem situasjon. Uten en slik avklaring vil en videre vurdering av hvordan både normalt klima og eventuelle klimaendringer påvirker videre skadeutvikling være svært unøyaktig.

Bygningssskader deles gjerne opp i ulike skadetyper, vanligvis ut fra hva som er mekanismen bak skaden. EU-prosjektet Climate for Culture opererer med biologiske, mekaniske og kjemiske skader. I følgende tekst er skadene delt inn i biologiske skader og mekaniske og kjemiske skader. Overgangen mellom kategoriene er flytende.

Klimaavhengige og ikke klimaavhengige skader

Eksempler på direkte klimaavhengige skader kan være økt sannsynlighet for flomskader på grunn av mer ekstremvær, med påfølgende økt sannsynlighet for muggsoppskader, eller risiko for utvidelse av områdene der det kan oppstå skader forårsaket av husbukk dersom temperaturen i kyststrøkene i Norge øker eller vintertemperaturen i indre deler av Sør-Norge reduseres. Det må forventes at utslaget av klimaendringer blir størst i områder der man fra før har en marginal forutsetning for skader på grunn av klimaet, for eksempel områder som Røros og

Svalbard, der et tørt og kaldt klima i dag har en begrensende innvirkning på skadeutvikling. Skader i bygninger kan være helt avhengige, delvis avhengige eller helt uavhengige av klima:

Klimaavhengige skader: Eksempelvis flomskader på grunn av mer ekstremvær og utvidelse av området for husbukkangrep.

Delvis/indirekte klimaavhengige skader: Eksempelvis råteskader i krypekjeller som skyldes fuktbelastning fra grunnen, overflatevann eller kondensering på grunn av temperatursforskjell mellom uteluft og den kjøligere krypekjelleren. Normalt er det en klar årstidsavhengig fuktbelastning. Dette er en lokal fuktsituasjon som kan oppstå oftere om det skjer en endring i klimaet.

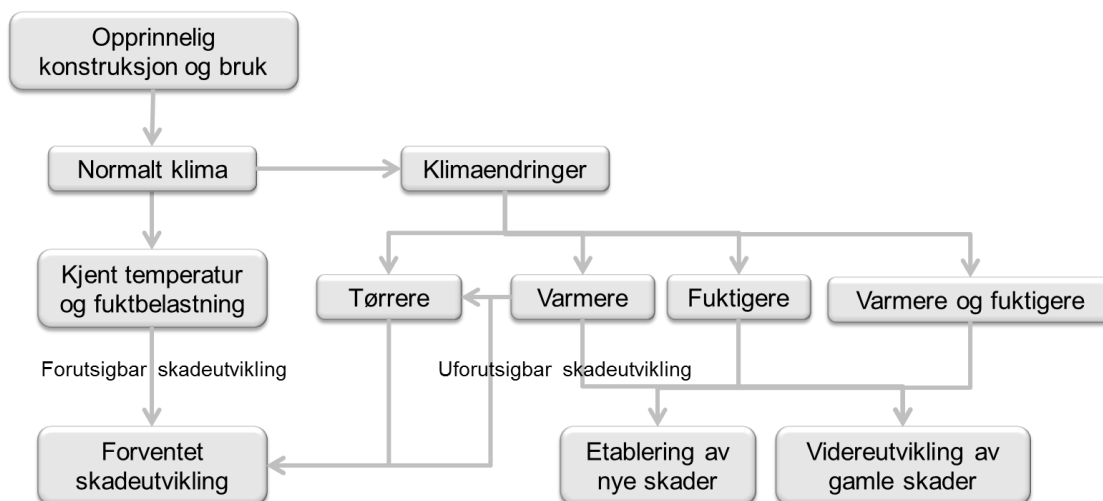
Klimauavhengige skader: Eksempelvis svikt i takkonstruksjon på grunn av større vektbelastning enn konstruksjonen kan bære. Dette kan være en langsom endring som til slutt gir fullstendig svikt i konstruksjonen eller en brå kollaps.



Figur 1. Ved å skille mellom skader som er klimauavhengige (foto til venstre, råteskade grunnet taklekkasje) og de som er klimaavhengige (foto til høyre, muggsoppskade på inventar etter en lang regnværsperiode), kan man spesifisere hvilke problemstillinger som det er aktuelt å følge opp med en tilpasset miljøovervåkning.

En erfaren fagperson kan hente mye informasjon om årsaken til skaden og skadeutviklingen ved vurdering av skader. Denne kunnskapen er nødvendig for å kunne vurdere risikoen for eventuelle fremtidige skader.

Klimaendringer gir ikke nødvendigvis økning i bygningsskader. For å kunne forutsi hvilke effekter som eventuelt oppstår, må man avklare hvilke endringer og eventuelle kombinasjonseffekter som påvirker hver enkelt bygning/bygningsdel. En skjematisk illustrasjon av dette er vist i figuren nedenfor.



Figur 2. Skjematisk illustrasjon av hvordan klimaendringer kan påvirke skadeutvikling forårsaket av biologiske skadegjørere.

3.1 Bygningsfysikk

Bygningsfysikk er læren om hvordan fysikkens lover virker på det bygde miljø. Som oftest handler det om varme-, fukt- og lufttransport i bygninger og gjennom bygningers klimaskjerm. Kunnskap om isoleringsgrad, luftskiftefrekvens, ventilasjon og fuktighet er avgjørende. Varmetap, kondens eller annen fuktbelastning er bygningsfysiske forhold som kan gi uønskede konsekvenser for bygningen eller inneklimate i bygningen. Det er generelt viktig å ha forståelse for mikroklimatiske variasjoner i en bygning.

I en bygning vil det pågå en kontinuerlig og naturlig prosess for å likestille lufttrykk, temperatur og fuktforhold med omgivelsene (uteluft). Luften i en bygning vil bevege seg fra områder med overtrykk til områder med undertrykk. Når varm luft møter kalde overflater, avkjøles luften. Dersom luften avkjøles til under duggpunktstemperaturen, avgis fukt i form av kondens. Klimatiske endringer vil kunne resultere i endrede fysiske forhold rundt og i bygninger.

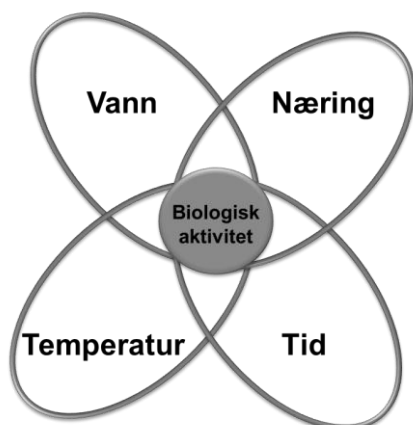
Trebygninger fra middelalderen er ofte utette og har ofte lave isoleringsegenskaper, noe som gir stor luftgjennomgang i vegger og tak. Dette bidrar imidlertid til en naturlig ventilasjon gjennom yttervegger/tak, piper og vinduer i. Når ventilasjonen er god i oppvarmede hus blir luftfuktigheten lav. Resultatet er at det sjelden oppstår kondens selv om overflatetemperaturen kan være lav. Dersom det utføres endringer i bygningen for å hindre varmetap, kan dette få konsekvenser for blant annet interiør og dekor. Materialer og malte overflater stiller krav til et bestemt bevaringsklima og kan bli skadet ved store fluktuasjoner i RF og brå endring av inneklimate (Se f.eks Haugen og Olstad 2006 og Olstad og Haugen 2012).

Trevirke har som de fleste naturlige materialer en evne til å ta opp og avgi fukt. I de ulike stadiene mellom fukt som damp og fukt som bundet vann i treverk, vil det også være overføring av energi. Damp har mer energi enn bundet vann. Det kreves energitilskudd for å tørke ut tre. Tørt treverk som tar til seg fuktighet sender overskuddsenergien tilbake i rommet. Derfor kan laftebygg ta til seg solvarmen i løpet av dagen og bruke tid på å gi tilbake denne energien i løpet av natten. Derfor blir inneklimate i laftebygg mer ensartet enn i andre type

konstruksjoner. Dette er også en grunn til at råteskader oppstår på grunn av høy relativ luftfuktighet i mindre grad enn forventet i konstruksjoner med mye tre.

3.2 Bygningsøkologi

De bygningsfysiske forholdene som har innvirkning på bygningsbiologiske skader kalles for bygningsøkologi. Forutsetningen for biologisk aktivitet er betinget av temperatur, fuktighet og tilgang til egnede næringsstoffer over tid (figur 3).



Figur 3. Fire nøkkelfaktorer som påvirker skadeutvikling av sopp og skadedyr i bygninger. Hentet fra Mattsson 1995.

Det er stort sett godt kjent hvilke forutsetninger som skal til for at bygningsbiologiske skader skal utvikles. Ved stabile fysiske forhold er skadeutviklingen i en gammel bygning derfor nokså forutsigbar. Ved en klimaendring kan det imidlertid oppstå uforutsigbare virkninger på bygningsøkologien i forhold til både temperatur og fuktighet. Dette kan gi uventet og ukjent effekt med tanke på skadeutvikling (figur 4).



Figur 4. Hentet fra Haugen & Mattsson 2011.

Endringer i bygningsøkologien påvirker utviklingsmuligheten for bygningsbiologiske skader. Dette kan føre til både en hemmende effekt eller en økt skadeutvikling. Sterk nedbør over kort tid er for kortvarig til at det vil oppstå

nye skader eller videreutvikling av gamle skader, med mindre det oppstår en flomsituasjon. Ved lengre perioder (f.eks. en regnfull sommer/høst) kan det oppstå både nye muggsopp-skader og eventuelt noe videreutvikling av etablerte råteskader. Dette påvirker imidlertid ikke utvikling av treskadeinsekter. Ved langvarige eller helt permanente endringer kan det oppstå andre typer av skader. Dette gjelder særlig angrep av råtesopp og treskadeinsekter.

3.3 Bygningsbiologi – biologiske skader i bygg

Vekst og utvikling av ulike skadeorganismer kan gi bygnings-skader eller negativ innvirkning på innklimaet i bygningen. Det er derfor viktig med kunnskap om ulike organismers vekstkrav og levevilkår for å kunne forutsi konsekvensene av klimaendringer – både på skadegjørere vi er kjent med fra før og nye arter av skadegjørere som kan komme til å dukke opp. Biologiske skadegjørere kan forårsake alt fra mindre, lokale angrep til store strukturelle skader – til og med i bærende konstruksjoner. Konsekvensen av dette kan være setningsskader og kollaps.

Bygningsbiologi er kunnskap om hvordan skadeorganismer påvirker en bygning. De viktigste skadegjørerne er råtesopp, muggsopp og treskadeinsekter. De ulike organismene har forskjellige vekstkrav, og det er ulike minimumsnivåer av fysiske forhold som begrenser aktiviteten. En grov inndeling i forskjellige krav til vann og temperatur er vist i tabell 1.

Tabell 1. Eksempler på aktuelle typer organismer som kan gi skader i bygninger og under hvilke forhold de hovedsakelig oppstår.

Krav til fritt vann	Råtesopp
Krav til høy relativ luftfuktighet	Muggsopp, stripet borebille
Temperaturbetinget	Husbukk, maur
Temperatur- og fuktighet	Råtesopp, husbukk, stripet borebille, maur

Råteskader i laftetømmer

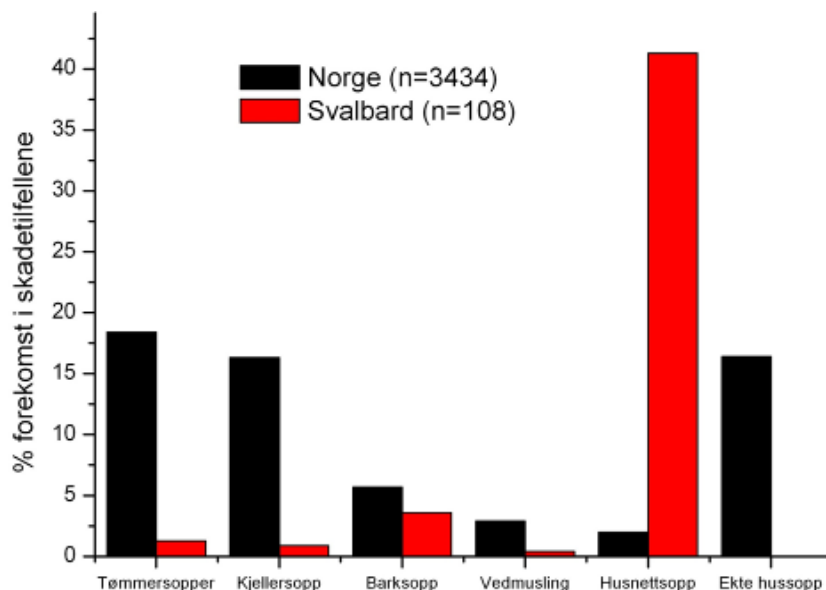
Mildere vintre resulterer i lengre vekstsesong for skadeorganismer. Det er pr i dag lite eksakt kunnskap om de ulike vekstkravene til de viktigste skadeorganismerne. Det er ofte de samme råtesoppene som opptrer i slike skader, og kunnskap om blant annet temperaturkrav for vekst vil kunne bidra til bedre forståelse av den totale situasjonen. Dette er et felt der det er behov for mer kunnskap om de organismene som forårsaker skade. I oppvarmede laftebygninger vil det være viktig å overvåke temperaturforholdene inne i laftestokkene, da temperaturen her vil være høyere enn i uteluften som følge av oppvarming og varmetap fra innsiden. Skader kan dermed være i aktiv utvikling selv i vinterhalvåret ved milde vintre. Dette medfører at vekstsesongen for råtesopp blir lengre og skadeutviklingen raskere. Så vidt oss bekjent, er det lite kunnskap om temperaturforhold i kjernen av tømmerstokker, og dette er også forhold som må belyses og undersøkes nærmere i det kommende arbeidet med miljøovervåking.

3.3.1 Utbredelse av biologiske skadegjørere i bygninger

Mugg- og råtesopp

Mugg- og råtesopparter forekommer over hele landet og er i liten grad begrenset av geografi og klima (Alfredsen m.fl. 2005, Mattsson m.fl. 2014). Fordelingen av ulike sopper er mer direkte knyttet til den lokale bygningsøkologien som er i ulike materialer, konstruksjoner eller deler av bygningen (Austigard m.fl. 2014, Nunez m.fl. 2013, Mattsson 2004, 2010a). Spesielle vekstforhold kan gjøre at enkelte

arter utkonkurrerer skadegjørere som er vanligere ellers. Råteskader på Svalbard er hovedsakelig forårsaket av én råtesoppart, husnettsopp (figur 5) (Mattsson m.fl. 2010, 2014).



Figur 5. Forekomst av antall registrerte funn av ulike råtesopparter i % av skadetilfellene i Norge og på Svalbard (fra Mattsson med flere 2010). Det påpekes at antall registrerte prøver er vesentlig høyere på fastlandet (3434 registreringer) enn på Svalbard (108 registreringer), men det er likevel et klart mønster i resultatene

Treskadeinsekter

Skadedyr som opptrer i bygninger har en naturlig begrensning i utbredelsen i dagens klima. Dette gjelder blant annet stripet borebille, husbukk og stokkmaur. Det vil høyst sannsynlig bli endringer i utbredelse og omfang av angrep dersom klimaet endrer seg.

Stripet borebille er avhengig av en vedvarende høy relativ luftfuktighet.

Tradisjonelt er det derfor størst skader av dette insektet langs kysten, selv om den også kan opptre i mer begrenset omfang i fuktutsatte konstruksjoner som krypekjellere i tørre innlandsstrøk (Mattsson 2010b) (figur 6). Hvis en klimaendring fører til mildere vintre og høyere relativ luftfuktighet i den varme årstiden, kan man regne med at både utbredelsen og skadeomfanget av stripet borebille vil øke, både innover i landet og langs kysten.

Husbukk: Høy og stabil sommertemperatur og en ikke for kald vintertemperatur er kriterier for utvikling av husbukk (Mattsson 2010b). Husbukk har en svært avgrenset utbredelse i Norge (figur 7). Dette ble kartlagt for ca 50 år siden (Knudsen 1967, Knudsen og Bakke 1967). Det ikke vært foretatt noen systematiske undersøkelser for å følge opp Knudsens arbeid.

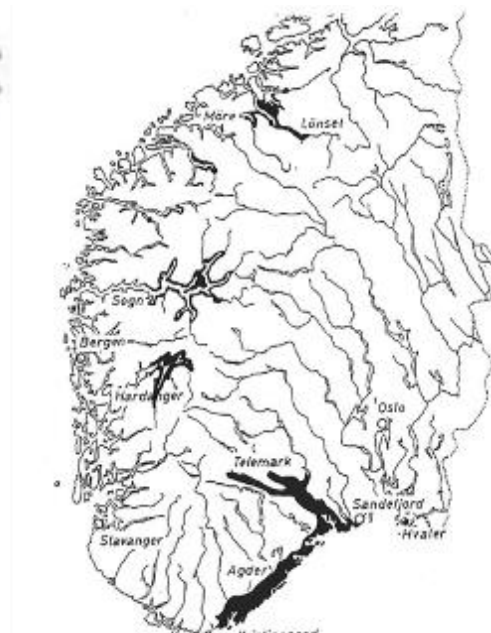
Vi regner med at økt temperatur både sommer og vinter kan gi kraftigere skadeutvikling der husbukken allerede er etablert (Mycoteam, 2009). I tillegg antar vi en spredning fra kjerneområdet i de dalfører der den allerede forekommer til mer høytliggende lokaliteter i samme områder. Det vil trolig også komme spredning innover i Sør-Norge, der det tidligere har vært for kaldt om vinteren. De voksne husbukkene kan fly, så i prinsippet kan en spredning skje raskt. Eventuell spredning vil allikevel skje utover fra kjerneområdene og ikke plutselig i større avstander fra kjente skader. Det er derfor mindre trolig at det i

løpet av kort tid vil oppstå husbukkskader i for eksempel Oppland eller Nord-Trøndelag, med mindre dette skjer på grunn av en aktiv transport av allerede infiserte materialer. Det kan gå mange år fra insektene etablerer seg til de blir oppdaget, da dette krever detaljert bygningsundersøkelse og kunnskap om insekter.

Det er meldt om observasjoner av husbukk utenfor det kjente utbredelsesområdet (Riksantikvaren, v/ Marte Boro, pers. med.), men dette er foreløpig ikke bekreftet eller undersøkt nærmere. Skadeomfang, skadeårsak og populasjonsstørrelse er følgelig ikke kjent. Det kan ikke utelukkes at det allerede har vært lokale endringer i klimatiske forhold som har en gunstig effekt for larveutviklingen, eller at det i løpet av et lengre tidsperspektiv kan skje slike endringer.



Figur 6. Omtrentlig geografisk utbredelse av stripet borebille i Norge (Kilde Folkehelseinstituttet). Den største forekomsten er i kystnære strøk.



Figur 7. Utbredelsen av husbukk i Norge (fra Knudsen 1967).

Stokkmaur: Tre arter av stokkmaur er kjent i Norge, og artene har tydelige geografiske avgrensninger i utbredelsen (figur 8). Stokkmaur etablerer reir fortrinnsvis i råteskadet treverk i områder med høy solinnstråling. Det er rikelig tilgang på råteskadet trevirke, så dette er ikke en begrensende faktor. Stokkmaur er ikke avhengige av fuktighet. En ytterligere spredning av stokkmaur i Norge vil derfor trolig først og fremst henge sammen med en økning av temperaturen. Faren for økt forekomst av stokkmaurskader i gamle bygninger er dermed i teorien stor hvis det oppstår en kombinasjon av høyere temperatur og fortsatt tilgang på råteskadet treverk.



Figur 8. Omtrentlig geografisk utbredelse av stokkmaurartene i Norge (Kilde Folkehelseinstituttet).

3.3.2 Utviklingshastighet for bygningsbiologiske skader

En miljøovervåkning har til hensikt å kunne påvise om en endret klimabelastning på bygninger fører til en økt skaderisiko og skadeutvikling. For å kunne skille mellom en forventet og en endret skadeutvikling, må man klarlegge hva som er en normal skadeutvikling i den aktuelle bygningen.

En god registrering og vurdering av etablerte skader ved et gitt tidspunkt gir en referanseverdi på både skadeårsak, skadeomfang og skadeutvikling (Mattsson 1995). Med dette grunnlaget kan man vurdere om en eventuell ny/ytterligere skadeutvikling er som forventet eller om det er unormale forhold. Vurderingen er kunnskaps- og erfaringsbasert og vil derfor til en viss grad være subjektiv.

Muggsopp

Muggsopp vokser på materialoverflater og bryter ned lett tilgjengelige næringsstoffer. Muggsopp forårsaker ikke svekkelser eller nedbrytning av selve materialstrukturen. Selv om enkelte muggsopparter kan vokse i ned mot 75% relativ luftfuktighet, regner man normalt med stor sannsynlighet for vekst når den relative luftfuktigheten er over 85% (Mattsson 2004, Samson med flere 1988). Muggsopp kan utnytte kortvarig fuktbelastning, etablerer seg raskt og kan ha en rask utvikling.

Noen måneder er tilstrekkelig for utvikling av omfattende muggsoppvekst ved normalt gunstige forhold. Ved svært gunstige forhold kan det oppstå en kraftig oppblomstring i løpet av få uker. Lange varmeperioder sommerstid kan føre til kraftig muggsoppvekst i steinkirker. Vekst oppstår da som følge av kondensering av varm uteluft i kalde deler av bygningen.

Det er normalt ikke mulig å aldersbestemme en muggsoppskade ut fra hvordan skaden generelt ser ut. Det er imidlertid flere metoder som kan benyttes for gi et anslag på omtrentlig alder.

Råtesopp

Råtesopp er avhengig av fritt vann i vedcellene for å kunne bryte ned trevirke. Dette betyr at etablering av råteskader kun skjer ved en høy fuktkvote i trevirket. Flere arter har imidlertid evne til å fortsette utviklingen av et etablert angrep ved lavere fuktverdier fordi det frigjøres vann ved nedbrytningen av cellulosen. Det

skjer ingen vekst av råtesopp i tørt treverk, dvs. et fuktinnhold under 20 vektprosent (f.eks. Eaton & Hale 1993).

De fleste råteskadene kan vurderes i forhold til skadens årsak og alder. De økologiske kravene sammen med soppenes og det skadede trevirkets utseende gir en god pekepinn på hva som er årsaken til skaden (Austigard med flere 2014, Mattsson 1995, 2010a). Dette innebærer at det er mulig å se hva som har vært av «normal» skadeutvikling. Hvis det har vært en gjentatt, periodisk oppfukning, kan det ha vært en periodisk videre vekst av soppskaden istedenfor en helt jevn skadeutvikling på grunn av jevn fukttilgang. Det kan være små forskjeller i skadebildet mellom disse to formene for fuktbelastning.

Treskadeinsekter; stripet borebille og husbukk

Flere insektarter, særlig husbukk, kan av flere årsaker leve i tørt treverk. For alle arter av treskadeinsekter er det imidlertid betydelig bedre utviklingsmuligheter i fuktig treverk enn i tørt. Selv om husbukklarver kan utvikle seg i tørt treverk, har de en optimal utvikling ved ca. 85% relativ luftfuktighet (Mattsson 2010b) – hvilket tilsvarer omtrent 20% fuktkvote (f.eks. Kollmann & Côté 1968). Den mest effektive metoden for å unngå videreutvikling av angrep av stripet borebille er å redusere den relative luftfuktigheten til under ca. 65 %. Dette kan man ofte enkelt oppnå ved en økt utlufting og/eller økt temperatur.

Hvis man finner skader av husbukk eller stripet borebille er det ikke enkelt å se/høre om det er en aktiv skadeutvikling eller om det er snakk om gamle, utdødde skader. I en bygning med et for insektene gunstig klima kan man anta at det har vært en jevn innsmitting over lang tid. Dette betyr at utflygningshullene i en treoverflate trolig har oppstått over lang tid, kanskje siden bygningen ble oppført. Med en jevn utvikling gjennom bygningens levetid kan man anslå at det har vært mulighet for en årlig utvikling som er skadens totale omfang delt på bygningens alder (Mattsson 1995). Hvis det for eksempel er en 500 år gammel skade (originalmaterialer), er den årlige, gjennomsnittlige skaden på $1/500 = 0,2$ %. Registreres det et vesentlig avvik fra dette tallet bør man reagere.

Biologiske skader på Svalbard

Hittil har bevaringsforholdene i arktiske områder for kulturminner gravd ned i grunnen vært relativt gode på grunn av det kalde klimaet og permafrosten. Til tross for kaldt klima og lite nedbør, er det imidlertid registrert omfattende soppskader i bygninger og konstruksjoner over bakken og i tinesonen på Svalbard. Skadebildet domineres av et færre antall arter som er tilpasset utvikling i det spesielle klimaet. Studier og prøvetaking har vist at det skjer en relativt rask etablering og vekst av både muggsopp og råtesopp (Mattsson & Flyen 2008). Ved en eventuell temperaturøkning på Svalbard kan man forvente at dette både gir lengre vekstseson og høyere temperatur i vekstseseongen for råtesopper.

Det er ikke registrert treskadeinsekter i bygningsmaterialer på Svalbard. Dette skyldes en kombinasjon av et kaldt klima og mangel på naturlig forekomst av treskadeinsekter. På grunn av lang avstand mellom fastlandet og Svalbard er den eneste mulighet for spredning gjennom materialtransport. Selv om insektene transporteres til Svalbard, vil begrenset tilgang på egnet treverk og kalde vintre trolig fremdeles begrense muligheten for utvikling av insektskader, selv med en viss temperaturøkning.

3.3.3 Inneklima og skader

Ytre klimatiske forhold gir en naturlig belastning av inneklimaet i uoppvarmede bygninger og konstruksjoner. Dette skjer dels fordi temperaturen inne kan være lavere enn den er ute. Da uteluften trekker inn i den kjølige bygningen, senkes temperaturen. Konsekvensen av dette er at den relative luftfuktigheten endres i motsatt retning, og det vil lett kunne oppstå kondensering. En tommelfingerregel er at endring av temperaturen med 5 °C gir en endring på ca. 20% relativ luftfuktighet. Muggsoppskader forekommer i hele landet, og er også påvist på Svalbard (Mattsson med flere 2014b).

I tillegg til de forutsigbare forandringene, kan en unormal endring av ytre klimatiske forhold også ha en innvirkning på forholdene innendørs. Et eksempel på dette ble registrert i forbindelse med den langvarige fuktige perioden i Sør-Norge høsten 2000. I løpet av en nedbørsperiode på tilnærmet 100 dager ble den relative luftfuktigheten klart høyere enn normalt. Konsekvensen av dette var utvikling av først og fremst muggsoppskader på innvendige overflater, både på bygningsmaterialer og gjenstander. Eksponeringstiden på drøyt tre måneder var ikke tilstrekkelig lang for utvikling av råteskader eller angrep av treskadeinsekter. De hyppigst forekommende skadene inne i uoppvarmede bygninger var i kjølige kjellere og på kaldtloft, men det var også tilfeller av at lagrede gjenstander, særlig skinn, lær og eldre bøker ble tydelig angrepet av muggsopp. Omfanget av skader varierte stort mellom ulike bygninger. Det var imidlertid en tendens til større sannsynlighet for skader i uoppvarmede steinbygninger enn i tilsvarende uoppvarmede trebygninger.

Inneklimaet (temperatur og relativ luftfuktighet) i en uoppvarmet bygning er generelt styrt av uteklimaet, men det er ofte variasjoner i temperatur og relativ luftfuktighet fra område til område inne i bygningen. Bruk, dvs antall personer og bruksfrekvens, påvirker klimaet inne i bygningen.

For å unngå skader på malt dekor på tre stilles det strenge krav til RF-fluktuasjonsområde og antall og størrelse på RF-fluktuasjoner. Det stilles mindre krav til temperaturen, men det ønskes generelt en lav temperatur. En oppsummerende oversikt over litteratur angående dette er gitt av Olstad og Haugen (2012).

De forventede klimaendringene vil sammen med senere tiders energisparekrav gi ytterligere utfordringer når det gjelder klimakomfort og bevaring av bygninger, interiør og gjenstander.

3.4 Mekaniske og kjemiske skader

For de ikke- biologiske skadene er fuktighet ofte en viktig forutsetning. Fukt er ikke nødvendigvis skadelig i seg selv. Fuktighet i for store mengder som ikke blir luftet/tørket ut, eller er på feil sted, kan gi betydelige problemer. Fuktrelaterte skader kan være kjemiske eller mekaniske, og sammen med andre faktorer kan fukt forårsake problemer som korrosjon, frost-sprengning, telehiv, svinn og svelling og saltvandring.

Mekaniske skader

Mekaniske skader er i hovedtrekk ment som skader i form av trykk, strekk eller bøyning og skader forårsaket av slitasje, vibrasjon eller erosjon. Materialers fysiske egenskaper kan variere med temperatur eller endringer i relativ fuktighet. Materialers dimensjon varierer med temperatur og fuktighet (svelling/krymping). Størrelsesendringer inn i et materiale eller forskjell i endringer på et materiale som fins inne i et annet kan føre til skader (eks vann som fryser inne i puss).

Slike skader oppstår når en terskelverdi overstiges. Eksempler på mekaniske skader kan være:

- Frostsprengning i puss
- Frostsprengt tegl eller takstein i tegl
- Saltsprengning i puss
- Oppsprekking av treverk
- Kollaps i tak grunnet snølast

Nedbør

Nedbør i form av regn medfører fuktbelastning på bygningsarven. En vesentlig del av de bygningstekniske skader og problemer som forekommer, skyldes fukt i en eller annen form.

Mye nedbør på kort tid vil også øke faren for flom, jordsig eller ras. Selv om dette i seg selv er plutselige hendelser, vil effektene av dem kunne opptre etter lang tid. Krefter som oppstår under slike hendelser kan være slag fra stein og masser eller vanntrykk, som vil gi stor belastning på bygget. Ved flom kan byggene få betydelig fuktpåkjening som kan være vanskelig å få tørket opp i etterkant. Flom kan også påvirke grunnen slik at det oppstår jordsig og setningsskader rundt eller under bygg.

Snølast

Snø er med sin egenvekt en belastning for konstruksjoner. Kombinert med vind kan skjeve snøoppsamlinger oppstå rundt eller på bygninger. For tak er forhold som takets form, termiske egenskaper/varmegjennomgang, overflateruhet, og snømengde med på å påvirke belastningene. Store tunge snømengder kan svekke takkonstruksjoner og over tid føre til kollaps. Det kan også føre til plutselig kollaps, og dessuten føre til skader på taktekkning, på takutstikk og på renner og nedløp. Lokale forhold kan også gi skjevbelastninger på taket, som kan være kritisk med tanke på byggets bæreevne.

Klimaet i Norge har alltid stilt strenge krav til utforming av bygninger, og store snømengder er ikke noen ny problemstilling. Nedbørsmengden er forventet å øke, og der temperaturen holder seg under 0°C vil også snømengden øke. For områder der temperaturen øker til over 0°C vil nedbøren som før hadde kommet som snø bli sludd/regn, og total mengde snø reduseres. Derimot kan den nedbøren som kommer som snø være våt og tung. Et vått vinterklima kan også medføre at snø og is demmer opp for vann som dermed kan finne veien inn i bygningen. Mer spesielle situasjoner som vegetasjon/busker på tak kan forårsake mer snøoppsamling på tak som kan gi betydelige nedbøyninger og i verste fall sammenbrudd. Torv på taket, som det er mye av på middelalderbygninger, gjør det vanskelig for snøen å skli av.

Frostsprengning

Hvis vann trenger inn i sprekker og / eller porer i et bygningsmateriale og deretter fryser til is vil ekspansjonen gjøre at materialene sprenes i stykker. Dette fenomenet kalles frostsprengning. Kulturminner konstruert med murverk av stein og mørtel utsettes spesielt lett for denne type nedbryting. Effekten vil blant annet være oppsprekking av fuger og stein samt avflassing av puss. Hvorvidt det er fugene eller steinen som fryser i stykker vil avgjøres av de enkelte mørtel- og steintypenes egenskaper, som for eksempel porestruktur, fuktsugings- og uttørkingsevner. Kulturminner med murverk utsatt for fuktinntrengning vil være truet av denne type skader. Flater med dårlig avrenning, oppsprukne fuger og

skadet puss er eksempler på deler av murverkskonstruksjoner hvor slike skader lett kan oppstå.

Faren for frostsprengning vil endre seg i takt med at klimaet blir varmere. På lang sikt vil bygninger med stein, mur og tegltak bli utsatt for flere fryse/tinehendelser. Dette vil spesielt være tilfellet i nordlige og høyereliggende strøk i Norge.

Permafrost

Tining av permafrost under bygninger vil kunne føre til store setningsskader. Grunnen blir mindre stabil og faren for utglidninger eller sig øker. Tining av permafrost kan dessuten gi vesentlig dårligere bevaringsforhold for kulturminner som er nedgravd i grunnen i disse områdene.

Saltkrystallisering og forvitring

Saltkrystallisering oppstår som følge av vanngjennomtrengning i yttervegger og grunnmurer, og gir skader ved at salter går fra væskeform til fast form. Når saltene krystalliseres og utvides, øker trykket på bygningsmaterialene rundt. Dette trykket kan sprengte i stykker både mørtel og stein med store krefter. Andre effekter er nedbrytning av leire og leirholdige materialer og forvitring av metaller og karbonholdig stein.

Vind

Vindlast på bygninger er en dynamisk og kompleks lastpåkjenning. Det vil utsette bygg og bygningsdeler for trykk- og sugkrefter. Global stabilitet til bygget settes på prøve. Også enkeltdeleler må sikres mot vindbelastning. I tillegg til brudd og ødeleggelser vil vind kunne skape svingninger i konstruksjoner. Dette skjer spesielt for høye bygningsdeler (tårn) der slankheten er stor og stivheten er liten. Svingninger vil være ubehagelige og en forvarsel til et eventuelt sammenbrudd. Resonanseffekter kan oppstå om konstruksjonens egenfrekvens sammenfaller med vind.

Vinden kan i tillegg transportere og lede regn (slagregn), salter, kjemikalier og fuktighet. Samtidig vil den for mer tørre dager bidra til bedring for tørking av materialer. Mer spesielle situasjoner kan være vind som forårsaker velt av elementer på bygningsarven (feks tre) eller være en utløsende faktor for ras.

Lyn og torden

Lyn og tordenvær forventes i fremtiden å øke for norsk klima (Midtbø m. fl. 2011). Faren ved lyn og tordenvær er som oftest knyttet til elektriske apparater eller elektriske ledere. Bygninger med høy risiko for lynnedslag, for eksempel på en åpen høyde, anbefales det tiltak for å forhindre at lynnedslag får tre inn i bygningen og elektrisk anlegg. I verste fall kan lynnedslag forårsake brann igjennom overspenning i elektriske anlegg.

Kjemiske skader

Kjemiske skader oppstår som følge av kjemiske reaksjoner i materialet. Det som oppfattes som skade er imidlertid det synlige resultatet av den kjemiske reaksjonen. Samtidig er det slik at en svekkelse i materialet kan være mulig å måle med apparatur og likevel være usynlig. Eksempler på kjemiske skader er:

- Korrosjon i metaller
- Nedbrytning av tekstiler
- Nedbrytning av overflater og maling
- Nedbrytning av stein

En annen form for kjemisk skade er fotokjemisk av organisk materiale på grunn av lys. Treverk blir brutt ned i overflaten av sollys, spesielt av de ultrafiolette strålene. Strålene bryter ned ligninet, som er trevirkets bindemiddel. Nedbrutt lignin kan vaskes ut. Treoverflaten vil da med tiden bli mer og mer grå fordi cellulosefibrene blir stående igjen og på grunn av soppangrep på ligninets nedbrytningsprodukter.

4. Automatisk fredete bygninger; konstruksjon, eierskap, bruk og geografisk plassering

4.1 Oversikt over bygningene

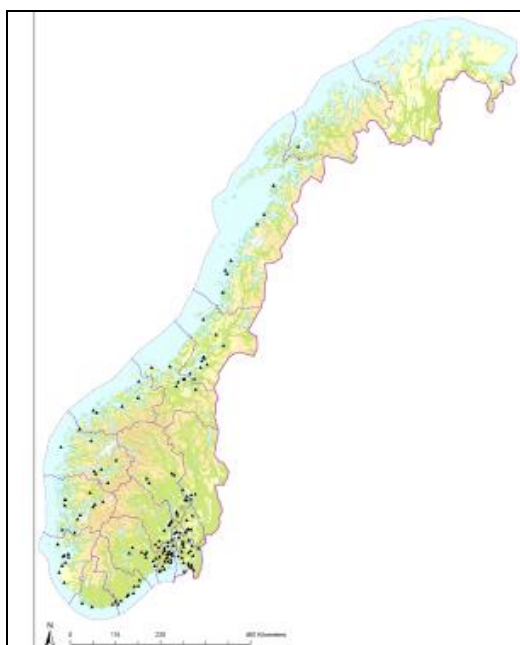
Automatisk fredete bygninger omhandler i hovedsak bygninger bygget før reformasjonen i 1537 (middelalderbygg) og samiske bygninger eldre enn 100 år. Det kan grovt inndeles i kirker og profane bygninger. Vanlige bygningsmaterialer var tre og stein. De fleste bevarte middelalderbygningene i Norge er i tre. Den dominerende byggeteknikk for tre under middelalderen var lafting, og det ble i hovedsak brukt gran og furu på grunn av lett tilgjengelighet og rettvokst stamme.

Tilstanden til disse fredete byggverkene er avhengig av byggets bruk, utforming, materialvalg, hva slags vedlikehold/reparasjoner som er gjort, klimaet rundt og i bygget eller andre avgjørende faktorer. Registrerte automatisk fredete bygninger finnes i Askeladden. Dokumentasjonen varierer fra bygning til bygning. En oversikt over antall automatisk fredete bygninger er vist i tabell 2 under.

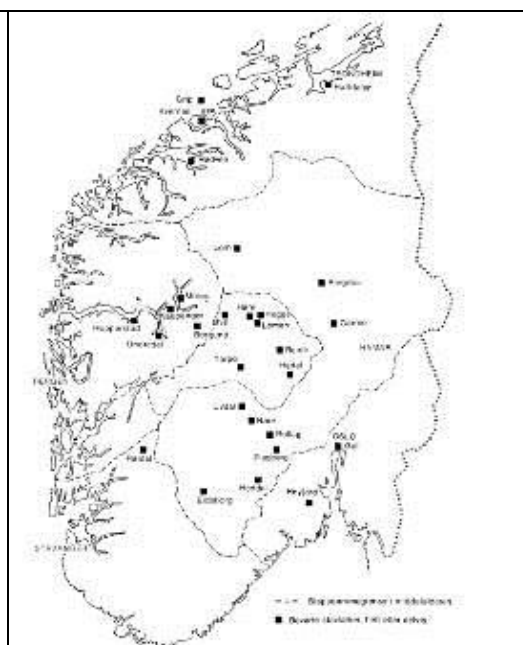
Bygningene er spredt over store deler av landet og de består av varierende konstruksjoner og materialer. De har derfor i utgangspunktet store forskjeller i hva de normalt utsettes for av klimabelastning og bruk. Dette innebærer et behov for en tilpasset oppfølging og vedlikehold av den enkelte bygningen.

Tabell 2. Oversikt over automatisk fredete bygninger i Norge.

Steinkirker, middelalder	Trekirker, middelalder	Automatisk fredete profane trebygninger	Automatisk fredete profane steinbygninger	Svalbard, fredete bygninger	Samiske fredete kulturminner
157	28	424 (250 fra før 1537)	4	Ukjent antall	ca 1200



Figur 9. Markering av middelaldersteinkirker



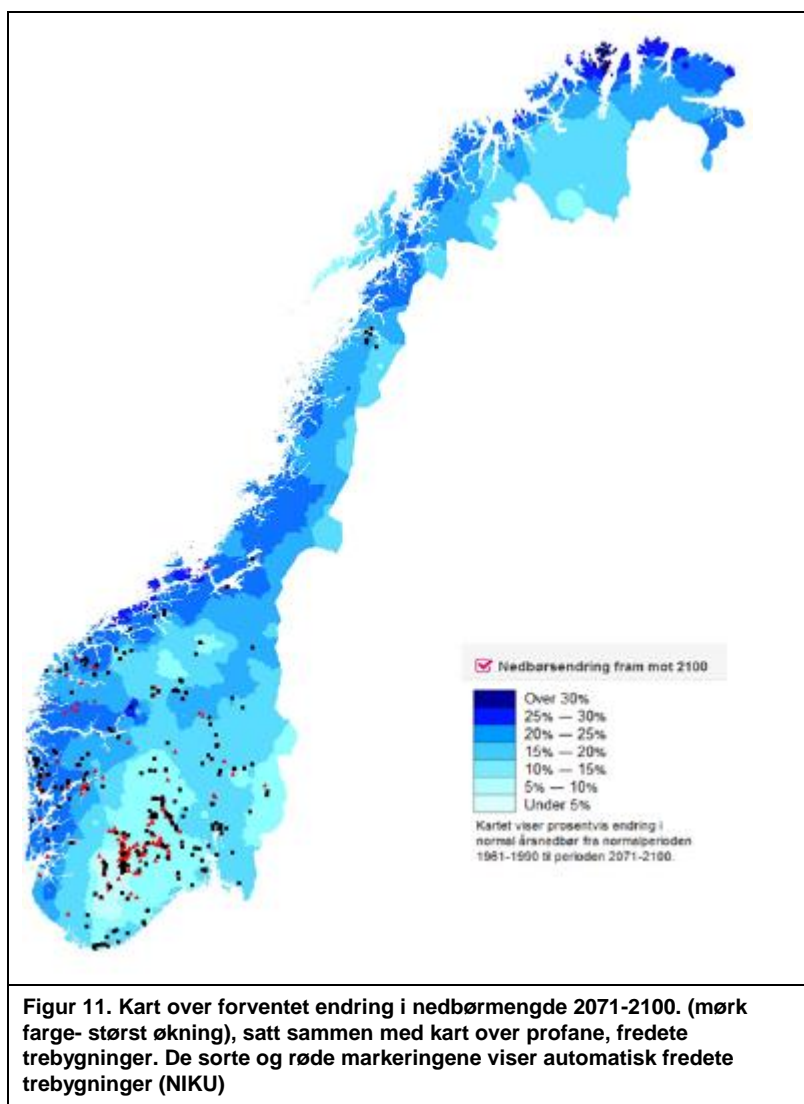
Figur 10. Kart over bevarte stavkirker (hentet fra www.stavkirke.info).

Automatisk fredete profane trebygninger:

Det er listet flere typer bygninger i denne kategorien. Flertallet er loft og stabbur. Flere bygninger er markert som flyttet, og cirka 20 bygninger er museumsbygninger. Konstruksjon er generelt ikke beskrevet, annet enn for grindløene. De fleste av bygningene er laftede tømmerbygninger.

Det er ikke mulig å forstå utfra de oversiktene som foreligger, hvor stor del av bygningene som, kalde eller varme, er i daglig bruk. Vurdert etter betegnelsene, som ikke ser ut til å være entydige, er det få bolighus. Dette betyr sannsynligvis at kun et fåtall av bygningene er oppvarmet til bruk om vinteren. Hvordan bygningene brukes og eventuelt varmes opp påvirker hvilken betydning et endret fremtidig klima vil få for den enkelte bygning.

Det er ikke vurdert hvor bygningene ligger plassert i forhold til fremtidens klimascenarier. Et eksempel på sammenheng mellom fremtidens klima, vist ved fremtidig nedbørmengde, og bygningene er gitt i figur 11.



Skadehistorikken for denne gruppen bør for en stor del av bygningene fremgå av dokumentasjonen etter det såkalte Middelalderprogrammet (Haslestad 1991).

Automatisk fredete profane steinbygninger:

De automatisk fredete profane steinbygningene er: Akershus festning i Oslo (forvaltet av Forsvarsbygg), Steinhuset på Gran på Hadeland (forvaltet av Stiftelsen Steinhuset på Gran), Håkonshallen i Bergen (forvaltet av Statsbygg) og Austråt på Ørlandet (forvaltet av Nordenfjeldske Kunstindustrimuseum). Bortsett fra Steinhuset på Gran er dette store og komplekse bygninger som driftes og eies av det offentlige. De er alle bygget om og tilpasset samtidens vekslende krav gjennom historien. Bygningene er offentlige museer i bruk og må forventes å ha et vedlikeholdsprogram. Tilstand og gjentakende skader bør være dokumentert over lengre perioder. Dokumentasjonen er ikke undersøkt.

Dette kan være bygninger som er egnet til overvåkning med lokal oppfølging.

Trekirker, middelalder (Stavkirkene):

De 28 stavkirkene er spredd rundt i den sørlige halvdel av Norge. Stavkirkene har forskjellig bruk og oppvarmingsregime; noen er museumskirker med sjelden bruk, som for eksempel Eidsborg og Uvdal, enkelte er menighetskirker som sjelden brukes i den kalde årstiden for å unngå oppvarming, som Heddal, og noen er oppvarmede menighetskirker med forskjellig oppvarmingsregime som Hedalen og Ringeby. Stavkirkene har forskjellig eierskap. NIKU har oversikt over eierskap og oppvarmingsregime i stavkirkene.

Den opprinnelige stavkirkekonstruksjonen er i flere tilfeller bygget om eller til, slik at flere av kirkene er en blanding av den opprinnelige stavkonstruksjonen og tilbygg i tømmer, ofte panelt. Flere av kirkene har dekor direkte på innvendige overflater (Olstad & Kaun 2011).

Stavkirkene er per 2015 satt i stand gjennom Riksantikvarens Stavkirkeprogram. For flere av kirkene foreligger endrings-, skade- og istandsettingshistorikk i Riksantikvarens arkiv.

Steinkirker, middelalder:

Også steinkirkene er preget av en viss endringshistorikk. Materialbruken er dominert av sten, tilbygg og takkonstruksjon er tre. Kirkene er overflatebehandlet på forskjellig måte, men trolig dominerer bruken av kalk. Sementpuss er brukt til utbedring av murer. Materialbruk er ikke kartlagt. Flere av kirkene har dekor direkte på innvendige overflater (Olstad & Kaun 2011).

De fleste MA-steinkirkene er menighetskirker i bruk som eies og forvaltes av menighet og kommune. Noen er museumskirker som eies og forvaltes av museer eller Fortidsforeningen. Informasjonen om MA-steinkirkene er i mindre grad enn for stavkirkene samlet og organisert. Det finnes informasjon om den enkelte kirke, i varierende kvalitet og mengde, i Riksantikvarens arkiv. Ettersom det ikke finnes en oversikt over hvorledes steinkirkene brukes, er det liten kunnskap om hvor mange som varmes opp og med hvilket oppvarmingsregime.

Den største konsentrasjonen av steinkirker fra middelalderen finnes rundt Oslofjorden. For øvrig er de bevart rundt i hele landet til Trondenes i nord, og vil bli utsatt for forskjellig klimatisk belastning. Plassering av steinkirkene sett i forhold til fremtidige klimascenarier er ikke vurdert.

Automatisk fredete, samiske bygninger

Det anslås at det i dag eksisterer rundt 1200 automatisk fredete, samiske bygninger i Norge. Samiske bygninger eldre enn 100 år er automatisk fredet. I

perioden 2011-2017 intensiverer Sametinget registreringen av bygninger fra før 1925. Kriterier for hva som kan regnes som samiske bygninger er utarbeidet i Sametingets forvaltningsplan, Vern og forvaltning av samiske byggverk 2003. Det viktigste kriteriet er at bygningene står i en samisk kulturell og historisk sammenheng. Hoveddelen av de registrerte bygningene er bygget i tre.



Figur 12. Stabbur i Sør-Varanger (t.v.), bolighus i Kåfjord (t.h.). Fra Sametinget: Orientering om automatisk fredete samiske bygninger, <https://www.sametinget.no/Miljoe-areal-og-kulturvern/Samisk-bygningsvern/Orientering-om-automatisk-fredete-samiske-bygninger>

Automatisk fredete kulturminner på Svalbard

De automatisk fredete kulturminnene på Svalbard skiller seg en del ut fra de automatisk fredete middelalderbygningene på fastlandet. Som de samiske kulturminnene er de unge. Grensen for automatisk fredning på Svalbard er 1945. De langt fleste automatisk fredete bygningene er i statens eie. Ingen kjente kulturminner er eldre enn år 1600. Bygningene er i det alt vesentlige enkle trekonstruksjoner. Svært mange av dem er ikke i bruk, og mange er i dårlig teknisk forfatning. Mange bygninger har rast sammen og ligger som ruiner med bygningsdeler og materialer spredd rundt.

Dokumentasjonen for bygningene varierer. Mange av kulturminnene er registrert i Askeladden, men selve informasjonen som er lagret der er først og fremst knyttet til stedsangivelse, grov beskrivelse av kulturminnet og noen ganger også kulturhistorien. Lite informasjon er lagret om tilstand og belastninger/omgivelser. Noe mer informasjon ligger i et lite, lokalt arkiv på Sysselmannens kontor i Longyearbyen.

4.2 Kritiske klimasituasjoner for bygningene

Det er mer forsknings- og undersøkelsesbasert kunnskap om kirkebygningene enn de profane bygningene. Basert på kirkeregnskaper og nyere undersøkelser er vann og vind de kritiske klimaelementene for de fredete kirkebygningene. NIKU har gjort vurderinger i Skoger i gamle kirke (Haugen & Olstad 2014) og i et antall stavkirker i Valdres (Haugen & Olstad 2014), Sogn og Fjordane og Numedal. Vurderingene er gjort i forhold til utsatthet for kirkebygningene i fremtidens klima og det er pekt på spesielle områder som må overvåkes for hver stavkirke. Det er lagt vekt på eksteriør og konstruksjon. Hovedproblemet for de fleste bygningene er nedbør og vannavrenning. Nore stavkirke er istandsatt ifølge stavkirkeprogrammet slik at den tåler antatt vindbelastning. Utførte tiltak er basert på dagens herskende vindretning. Dersom dette endrer seg ved at det for eksempel kommer kraftige kastevinder fra en annen retning, kan bygningen være utsatt for skader forårsaket av vind.

Takkonstruksjoner kan være utsatt for råteskader og angrep av treskadeinsekter, både ved normale forhold og ved lekkasjer. I bygninger som ligger i husbukkdistrikt kan man forvente å finne spredte husbukkskader i deler av takkonstruksjonene så lenge temperaturen er over 40-45 °C. Høye sommertemperaturer bidrar til å redusere sannsynligheten for slike skader. I områder med en vedvarende høy relativ luftfuktighet (særlig kyststrøk) kan det også være spredte angrep av stripet borebille.

I krypekjellere er det ofte vedvarende fuktbelastning som følge av oppstigende vanndamp fra grunnen, innsig av overflatevann samt sommerkondensering. En generelt økt temperatur innebærer at det kan bli mer regn på frossen grunn og dermed overflatevann som eventuelt kan renne inn i krypekjellere. I tillegg kan en varmere sommertemperatur øke faren for sommerkondensering. Hvis sommerkondensering pågår i perioder over 3-4 uker, er det en klar fare for muggsopp-skader på innvendige overflater.

Kritiske klimasituasjoner for stavkirker

Takkonstruksjoner kan være utsatt for råteskader i forbindelse med lekkasjer. Det kan også være angrep av treskadeinsekter, både ved normale, tørre forhold og ved lekkasjer. I områder med husbukk er det risiko for angrep, men med tanke på den svært lange eksponeringstiden som disse materialene har vært utsatt for, er det trolig at eventuelle skader i yteveden har rukket å komme inn til kjerneveden som larvene ikke klarer å fordøye. Det er dermed trolig at slike angrep har stanset av seg selv. I tillegg kan høye sommertemperaturer bidra til å helt eller delvis redusere sannsynligheten for slike skader. Basert på skadeerfaring fra disse bygningene er det lite sannsynlig at det forekommer aktive råteskader og aktive angrep av treskadeinsekter i forbindelse med utvendige deler av tak, fasader samt på loft og i tårn.

Inne i kirkene er det også liten fare for at det oppstår sopp- og insektskader. Den største sannsynligheten for skader er i forbindelse med treverk i jordkontakt og i krypekjellere. Disse konstruksjonene har en tidvis kritisk høy fuktbelastning på grunn av innsig av overflatevann, vanndamp fra grunnen eller sommerkondensering.

Ved en antatt klimaendring i form av økt temperatur, kan man forvente at dette er gunstig for samtlige skadeorganismer som kan tenkes å etablere seg i stavkirkene. Dette forutsetter ofte at det er en tilstrekkelig langvarig oppvarming for å påvirke veksthastigheten over tid.

Kritiske klimasituasjoner for steinkirker

Skadeerfaringen fra steinkirker er at det ofte er lokale, men kraftige råteskader i de deler av takkonstruksjonene som ligger ned mot/inn i murkronen. Disse skadene skyldes hovedsakelig tidligere lekkasjer og de forekommer både mot nord og sør. Under tørre forhold utvikles ikke skadene videre, men det handler ofte om arter som har evne til å overleve lange perioder med uttørking. Det er derfor fare for at det ved en eventuell ny oppfukning både kan skje en videreutvikling av eksisterende skader og etablering av nye.

Oppfukning av murene som følge av slagregn, dårlige takrenner og opptrekk fra grunnen er et dominerende problem, særlig dersom sement er brukt i fuging eller reparasjoner (Haugen og Olstad 2014).

Inne i kirkene kan det være problemer med høy relativ luftfuktighet i den varme årstiden på grunn av store temperaturforskjeller inne og ute. Dette kan resultere i sommerkondensering.

Kritiske klimasisituasjoner for tømmerbygninger

Tømmerbygninger er utsatt for råteskader og sekundære insektangrep i tømmervegger og takkonstruksjoner. Skadene oppstår over lang tid og da særlig i de mest fuktbelastede delene, slik som nov, horisontale sprekker i stukkene og eventuelle stokker som stikker noe ut fra horisontallinjen i vegg. Materialer som er eksponert mot grunnen i krypekjellere samt nederste omfar i ytterveggene er ekstra utsatt for skader, særlig i overgangen mot grunnmuren. Mangelfull drenering rundt bygningene og fortettet vegetasjon inntil ytterveggene kan også medføre økt skaderisiko.

Det forekommer i tillegg gamle skader forårsaket av tidligere lekkasjer. Under tørre forhold utvikles ikke skadene videre, men det handler ofte om arter som har evne til å overleve lange perioder med uttørking. Det er derfor fare for at det ved en eventuell ny oppfukning både kan skje en videreutvikling av eksisterende skader og etablering av nye.

Kritiske klimasisituasjoner for konstruksjoner på Svalbard

Bygningene på Svalbard er utsatt for skader ettersom de står med treverk direkte på bakken eller på pæler som stikker ned i permafrosten. Det er først og fremst treverk som står i jordkontakt og som er i kontakt med våt jord i tinesonen om sommeren som er utsatt for råteskader (Mattsson og Flyen 2008). Disse skadene har et omfang fra øvre delen av tinesonen og 20-30 cm opp over bakken. Enkelte horisontale, utendørs eksponerte materialer blir også angrepet av råtesopp. Gråfargen som er typisk på utendørs treverk skyldes vekst av svertesopp. Innendørs kan det oppstå muggsoppvekst, særlig bygninger som av og til blir oppvarmet eller i forbindelse med lekkasjer.

4.3 Materialbruk og materialegenskaper

I forhold til nyere bygninger har flesteparten av de automatisk fredete bygningene relativt enkel materialbruk. Det dreier seg for det meste om naturstein, tegl og tre. I tillegg kommer festemidler i form av smidde spiker, kalkmørtel og – puss og overflatebehandlinger som f.eks. tjære, linoljemaling og limfarge (i interiøret).

Grunnleggende ved studiet av tradisjonell materialbruk og byggeteknikk er bevisstheten om at forskjellige material har ulike egenskaper, holdbarhet og dimensjonsstabilitet, og derfor er egnet til forskjellige formål.

Tre har lang tradisjon som byggemateriale i Skandinavia, og er som regel valgt på grunn av lett tilgang, men også for sin elastisitet, seighet, strekk- og trykkstyrke. Virke med kjerneved ble gjerne brukt i særlig utsatte deler. Til konstruksjonsformål har løvtrær av type ask, bjørk, eik og bøk gode mekaniske egenskaper, men på grunn av tilgjengelighet, retthet og/eller bestandighet er ofte furu og gran benyttet. For utskjæringer/dekorering er myke treslag foretrukket.

Naturstein har en hardhet, mineralsammensetning og porøsitet som veksler avhengig av bergarten og som har påvirket plassering og bruk. Segmenterte bergarter som f.eks. kalkstein kunne enkelt brytes i klov og mures opp med enkle teknikker. Hardere og tettere bergarter som forskjellige typer av gråstein

krevede mer innsats ved utvinning og transport, men ga helt andre forutsetninger for stabilitet.

Hva gjelder teglstein ble den, selv om det som regel var dyrt, brukt til en mengde forskjellige formål som hvelving, støttende mur og vegger, ornamenter mm. Porøsitet og frostbestandighet er avhengig av produksjonsmetode samt mengden og typen tilslag (f.eks. sand og kalk).

Materialeegenskaper kan ha stor betydning for for eksempel holdbarhet og dimensjonsstabilitet. De ulike byggematerialene har egenskaper som vil gjøre at de reagerer ulikt på endrede fysiske forutsetninger. Det er derfor viktig å bruke virke med riktige egenskaper til den enkelte konstruksjonsdel - spesielt i gamle hus, der det som oftest er tatt hensyn til virkesegenskaper da huset ble bygget. Ved miljøovervåking er det ikke bare viktig å vite hva slags material det er som overvåkes, men også bakgrunnen til hvorfor det ble brukt.

5. Erfaringer med miljøovervåking av kulturminner

Det er gjennomført en del internasjonale og nasjonale FoU-prosjekter som er kategorisert som miljøovervåkningsprosjekter. Erfaringene fra disse prosjektene kan være nyttige for det videre arbeidet, men det er usikkert om de anvendte registreringsmetodene kan overføres direkte til et eventuelt miljøovervåking for automatisk fredete bygninger. Prosjektene er summarisk beskrevet og vurdert nedenfor. Listene kan ha mangler.

5.1 Miljøovervåking av kulturminner, internasjonale prosjekter

Climate for Culture (EU)

Mål: Utrede 1) hva effekten av klimaendringene blir på Europas materielle kulturarv, 2) hvilke strategier som trengs for å forebygge skader på den materielle kulturarven.

Metode: Samkjøring av historisk klima og beregnede fremtidige klimascenarier med effekten det har på inneklima og materialer.

Vurdering: Har styrket forskningsfeltet i flere sektorer.

Overføringsverdi: Stor: prosesser for beslutningsstøtte mht risikominimering og styring av inneklima. Kunnskap om korrelasjon mellom (modellerte) klimaendringer og deres effekt samt konsekvens på (modellert og målt) inneklima og bygningsmaterialer.

Kommentar: Prosjektet opererte på flere nivåer og kombinerte miljø- med klimaovervåking. En viktig innovasjon i CfC var måten man bokstavelig talt kunne flytte (teoretiske) representative bygg gjennom tid og rom for å simulere forskjellige konsekvenser av ulike klimascenarier. Basert på forventete endringer i inneklima ble det mulig å vurdere skaderisikoer for kjemiske, mekaniske og biologiske skader på kort og lang sikt i bygninger med varierende bruk og konstruksjon. Huijbregts et al (2013) mener imidlertid at metoden har en del usikkerhetsmomenter. Blant annet finnes det en usikkerhet i det at man ikke vet hvis og hvordan bygningene vil bli brukt og varmet opp i fremtiden. Klimascenariene er også svært avhengig underliggende prognoser, derfor er det svært viktig med flere kilder og fleksible modelleringsmetoder. Dessuten vil gjenstander og overflater også etterhvert tilpasses langsiktige forandringer. Som løsning på problemet med den store mengden analoge data over historiske RH og T som ble innsamlet i samband med prosjektet Climate for Culture, ble det utviklet en brukbar gratis software som konverterer analoge målingsdata fra thermo-hygrografer til digitalt format.

Noah's Ark (EU)

Mål: Identifisere de mest kritiske klimafaktorene med hensyn til den bygde kulturarven og utvikle metoder for å analysere mulige konsekvenser.

Metode: Korrelering av fremtidige værscenarier med detaljerte registreringer av bygd europeisk kulturarv.

Vurdering: Prosjektet la grunnen for implementert klimarelatert miljøovervåking av eldre bebyggelse. Bakgrunnsdata begynner å bli utdatert men metodikken er fremdeles brukbar.

Overføringsverdi: Oppdatert og hensiktsmessig sårbarhetsatlas (Sabbioni et al., 2009) i flere scenarier er av stor betydning.

Smart monitoring of historic structures (SMOOHS)

Mål: Utrede og utvikle nye effektive tekniske overvåkingsmetoder for eldre bygninger.

Metode: Overvåking (tre år) av RF, T, lys, emisjoner, bevegelser etc. i ulike deler og materialer i eldre bygninger, validering mot lab-tester, analyse av nedbrytnings- og skadeprosesser.

Vurdering: Fokus på tekniske metoder og utstyr. En del software for bl.a. samkjøring av data ble utviklet.

Overføringsverdi: God. Et av sluttproduktene var retningslinjer for «Monitoring of historic structures».

Healthy and Energy Efficient Living in Traditional Houses (2010-2013), Interregprosjekt

Mål: Å utvikle analysemetoder og nennsomme klimatilpasningsstrategier i tradisjonelt oppførte bygninger.

Metode: Antikvarisk-tekniske tilstandsvurderinger og målinger samt modelleringer av inneklime, energieffektivitet og hygrotermiske egenskaper i bygningene.

Vurdering: Prosjektet fikk utviklet og validert en del interessante bottom-up overvåkings skjemaer for innhenting av klimadata slik at brukere ble engasjert.

Overføringsverdi: Arbeidsprosesser for bygninger hvor undersøkelsene og datainnsamlingen er på ikke-ekspert nivå.

Miljøovervåking Luleå Stift 2007-2010

Mål: Å formulere brukbare strategier for vurdering av klimarelaterte risikoer for malte gjenstander i tre.

Metode: Kirkebygningene ble kategorisert etter et antall kriterier (konstruksjon, materialer, oppvarmingsystem) og grundig dokumentert og målt ihht til temperatur og relativ fuktighet. Deretter utviklet man en metode for registrering av tilstand og forandringer i fargelagene ved bruk av fotografering med lange tidsintervall (1-3 år). Overvåking ble gjort i 53 (fredete) kirkebygg.

Vurdering: Prosjektet vitner om at det er vanskelig å vite om hvorvidt klimamålingene gir et representativt datamateriale eller ikke. Metoden er enkel og konkret, men krever inngående vurderinger av eksperter.

Overføringsverdi: Viss overføringsverdi mht forholdsvis enkle målemetoder.

Kulturarv och klimatförändringar i Västra Götaland (2014-2016)

Mål: Å få overordnet grep om klimaendringenes konsekvenser for kulturarven i regionen ved å registrere hvilke kulturmiljøer i regionen som påvirkes av klimaendringene; kartlegge hvordan de påvirkes på kort og lang sikt; anbefale retning og omfang av fortsatte arbeider. Kartlegge kunnskapshull.

Metode: Kulturmiljøene registreres og kategoriseres etter type og sårbarhet. Ytre påvirkningsfaktorer (f.eks. klima) kartlegges og konsekvenskriterier fastsettes. Innsamlet informasjon om kulturminnene vektet siden mot kriteriene og danner grunnlag for prioritering og ytterligere handlingsplaner.

Vurdering: Prosjektet er først og fremst en inkubator for arbeidsmetoder for slike problemstillinger.

Overføringsverdi: Mye organisatoriske erfaringer; hvordan kan forskjellige sektorer og myndigheter dra veksler på hverandres kunnskap og arbeidsmåte.

5.2 Miljøovervåking av kulturminner, nasjonale prosjekter

Gamle hus da og nå – Status for SEFRAK-registrerte bygninger i utvalgte kommuner.

Mål: Å undersøke hvor mange av de opprinnelige SEFRAK-registrerte bygningene (eldre enn 1900 i 18 kommuner) som går tapt, og i hvilken grad de gjenstående bygningene er endret eller truet.

Metode: Øyeblikksregistrering med foto og skjemaer med et tidsintervall på 5 år, fra 2000.

Vurdering: Prosjektet er forholdsvis «grovmasket». Det etter-registrerer endring eller tap, og har ingen «tidlig-varslings-funksjon», dvs overvåkingen kan ikke varsle om en sakte endring. (Damman 2015)
Prosjektet er pågående.

Overføringsverdi: Behandling og lagring av stor mengde informasjon. Muligens hvorledes foto for registrering brukes og lagres.

Fortidens minner i dagens landskap.

Mål: Å undersøke hvor mange av de automatisk fredete kulturminner (16 kommuner) som går tapt, og i hvilken grad de gjenstående arkeologiske kulturminner er skadet på ny eller ytterligere truet.

Metode: Øyeblikksregistrering i felt basert på kartmateriale. Det registreres med et tidsintervall på 5 år. Oppstart 2000.

Vurdering: Prosjektet er forholdsvis «grovmasket». Det etter-registrerer endring eller tap, og har ingen «tidlig-varslings-funksjon», dvs overvåkingen kan ikke varsle om en sakte endring. Prosjektet er pågående.

Overføringsverdi: Behandling og lagring av stor mengde informasjon.

Overvåking av kulturlag i middelalderbyene

Mål: Å dokumentere og analysere sammenhengen mellom bevaringsforhold og bevaringstilstand i kulturlagene.

Metode: Installerte sonder som måler fukt i jordlag, temperatur, redoksverdier og/eller oksygen. Det registreres kontinuerlig (vanligvis fire ganger pr døgn) noe som gir indikasjoner på bl.a. hvilke kjemiske og biologiske prosesser som har innvirkning, og deres betydning for bevaring av kulturlagene. Lengden på perioden varierer fra prosjekt til prosjekt, men minimum 3 år pr lokalitet. Oppstart 2002.

Vurdering: Erfaringer med vurderingen av den løpende informasjonen som gjøres månedlig og prosjektlengde. Det jobbes med system som varsler hvis verdier overstiger fastsatte nivåer. Overvåkingen kan brukes som bakgrunn for avbøtende tiltak når nødvendig.

Overføringsverdi: Erfaring med kontinuerlig overvåking. Bakgrunn for valg av målepunkter. Behandling og lagring av stor mengde informasjon.

Bruk av skanner(Lidar) for registrering av kulturminner i landskap

Mål: Å ta i bruk høyteknologiens potensial til å utvikle ikke-destruktive metoder for å identifisere og kartlegge kulturminner.

Metode: Bruk av Lidar-skanning som innebærer at man fra fly eller helikopter kan skanne terrenget med laser. Pulsene sendes mot bakken og returneres når de treffer trær, steiner, hus eller kulturminner. Data over bakkenivå fjernes, og man sitter igjen med selve markoverflaten. Der trer gravhauger, rester av gamle veier og andre kulturminner frem. Dataene fra LiDAR-skanning er svært omfattende. Det halvautomatiske programmet Cultsearcher, utviklet av blant andre Riksantikvaren, leter gjennom dataene og oppdager mer eller mindre runde kulturminner i/under terrenget. Oppstart 2002.

Vurdering: Overordnet registrering.

Overføringsverdi: Usikkert om erfaringer med dette prosjektet kan bidra til miljøovervåkning av bygninger.

Registrering av temperatur og relativ luftfuktighet i enkeltbygninger

Mål: NIKU har siden 1990-årene, i forbindelse med andre prosjekter, utført en rekke registreringer av RF og T i bygninger, både kirker og profanbygninger. Å registrere RF og T inne i en bygning for å vurdere oppbevaringsklimaet for interiører, eller gjenstander inne i interiørene i den hensikt å gi råd om oppvarmingsrutiner eller annet som kan bedre oppbevaringsklimaet.

Metode: Kontinuerlige registreringer av RF og T med utplasserte klimaloggere. «Manuell» vurdering av innsamlet klimadata.

Vurdering: Har gitt steds-spesifikk og generell kunnskap om inneklimate. Flere systemer har vært i bruk, og det er vanskelig å sammenligne klimadata fra forskjellige systemer.

Overføringsverdi: Kunnskap om hvor loggere bør utplasseres. Vurdering av klimainformasjon.

Sysseimannens overvåkingsprogram

Mål: Å øke innsynet i noen av prosessene som bryter ned kulturminnene på Svalbard (Bjerck1999). Systemet ble første gang prøvd ut på 4 lokaliteter i 1997.

Metode: Overvåkingssystemet var delt inn i tre ulike faser: Etablering: montering av referansepunkter i felt og dokumentasjon av referansetilstand på kulturminnet ved hjelp av planskisse, verbal beskrivelse og flyfoto (helikopter). Etter hvert ble det også utviklet et system for bakkefotografering av mindre områder med mye gjenstander. Overvåking: nye flyfoto (mellom 1-5 år etterpå), ajourføring av planskisse, eventuelt avlesing av målepunkter og beskrivelse av endringer. Analyse: sammenligne data fra ulike år for å generere data om utviklingen

Vurdering: Stoppet etter sju år i 2004.

Overføringsverdi: Usikker i forhold til miljøovervåkning av automatisk fredete bygninger på fastlandet, men muligheter for overføringsverdi for automatisk fredete bygninger på Svalbard.

Overvåking av klima i trebruer

Mål: Statens vegvesen har bygget en rekke trebruer som står eksponert for vær og vind. Ved å avklare variasjoner i trefuktighet i trebruene vet man hvilken belastning de utsettes for og hvilken levetid man kan forvente at de har.

Metode: Fem bruer er valgt ut for overvåking. Trebruene er trykkimpregnerte. Fordi det ikke er noen gode kalibreringskurver for måling av fuktkvot i treverk

med hjelp av elektrisk ledningsevne, måles relativ luftfuktighet inne i treverket. Temperatur og relativ luftfuktighet registreres hver fjerde time.

Vurdering: Trefuktigheten i bruelementene har blitt beregnet basert på de målte verdiene av relativ luftfuktighet og temperatur basert på kalibreringsfunksjoner. Kalkulerte trefuktighetsverdier har i hovedsak ligget under 20 % trefuktighet. Kalibreringsfunksjonene har imidlertid vist seg å være sensitive for blant annet temperatursvingninger. For overvåkning av trefuktighet i uimpregnert tre bør det derfor vurderes å benytte elektrisk motstandsmåling da det har foregått mye utviklingsarbeid på dette området de siste årene.

Overføringsverdi: Erfaringene av bruk av ulike metoder kan bidra til at man kan vurdere hvilke metoder som er best egnet i hvert tilfelle.

Svalbard – bygningsbiologi i et arktisk klima

Mål: Avklare temperatur og fuktforhold i forbindelse med råteskadet treverk i konstruksjoner i og over tinesonen (Mattsson med flere 2008, 2010, 2011, 2012, 2014b). Denne kunnskapen kan vise hvilke tiltak som kan gjennomføres for å redusere sannsynligheten for fremtidige råteskader i de automatisk fredete bygningene på Svalbard.

Metode: Det har vært benyttet ulike metoder for å måle temperatur, relativ luftfuktighet og trefuktighet. Måleperiodene har variert fra øyeblikksmålinger og korttidsmålinger til langtidsmålinger.

Vurdering: De ulike målingene har vist at man kan oppnå en god forståelse av de fysiske forholdene på forskjellige måter. De har også vist at denne kunnskapen er viktig for å kunne tolke skadene som er forårsaket av biologiske skadegjørere.

Overføringsverdi: Erfaringene med hvordan ulike metoder kan benyttes for å avklare en situasjon er også mulige å bruke i andre geografiske områder og bygninger.

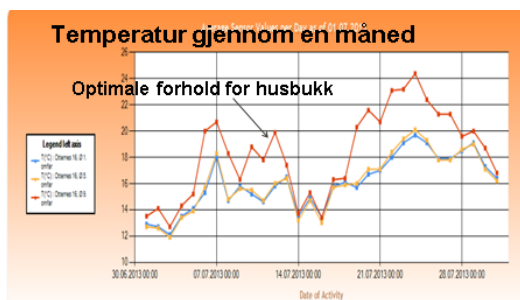
Lærdalsøyri – Miljøovervåkning med henblikk på en spesifikk organisme (husbukk)

Mål: Selv om man kan se hvor det har vært angrep av husbukk i de gamle bygningene i Lærdalsøyri, er det få steder der det er aktive angrep. En avklaring av temperatur og fuktforhold i ulike materialer bidrar til å vise hvilke utviklingsmuligheter det er for husbukk i det aktuelle treverket.

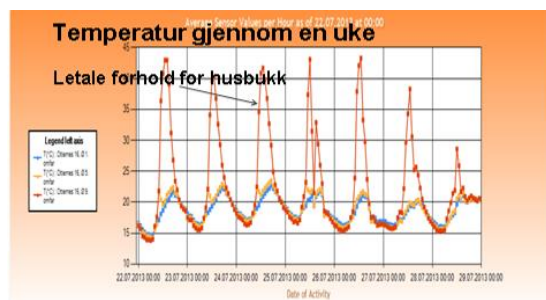
Metode: Det ble montert små, robuste fuktloggere med batteridrift, som hver halvtime registrerte temperatur, relativ luftfuktighet og fuktkvote i treverket. Loggerne samlet opp data, slik at de kunne leses av årlig. Data kan også overføres via mobilnett, slik at de kan leses av kontinuerlig.

Vurdering: En avklaring av de faktiske fysiske forholdene gir meget viktig avklaring av hvor og hvorfor angrep av husbukk forekommer i forbindelse med de gamle bygningene i Lærdalsøyri (Mattsson og Stensli 2015).

Overføringsverdi: Erfaringene fra disse målingene har meget stor overføringsverdi med henblikk på hvor og hvordan man skal gjennomføre detaljert miljøovervåkning på enkeltbygninger. I tillegg har prosjektet vist hvor viktig det er at man tolker og fremstiller resultatene på en optimal måte (figur 13 og 14).



Figur 13. Ved å fremstille resultatene med et døgnmiddel, ser det ut som den øvre delen av veggene har optimale forhold for husbukk.



Figur 14. Resultatene fremstilt med timeverdier viser et helt annet bilde. Den antatt optimale delen av veggene viser seg å ha så høy temperatur at den dreper larvene til husbukk.

Røros – økologi og målinger i utendørs trekonstruksjoner

Mål: For å avklare hvorfor det skjer en rask nedbrytning av treverk på Røros ble det montert fuktloggere i treverk med ulike væreksponeering.

Metode: Det ble brukt loggere som målte temperatur og relativ luftfuktighet hver halvtime. Fordi det viste seg at disse loggerne ikke var tilstrekkelig fuktsikre, måtte det bygges spesielle innkassinger for å beskytte utstyret.

Vurdering: Resultatene fra lokale målinger i treverk med forskjellig væreksponeering viste at temperaturen var viktigere enn trefuktigheten for utvikling av råteskader i værekspontert treverk på Røros. Dette viste at man med vegetasjon foran treverket eller enkle solskjermingskonstruksjoner kan bidra til å redusere sannsynligheten for at det oppstår råteskader. Prosjektet viser hvor viktig det er med en inngående kunnskap om temperatur og fuktforhold for at man skal kunne forebygge en negativ effekt av klimaendringer (Mattsson og Austigard 2015).

Overføringsverdi: Kunnskapen fra dette prosjektet har stor overføringsverdi til andre prosjekter der man ønsker å avklare hva som er de kritiske faktorene for råteskader og hvilke tiltak man kan etablere for å redusere problemene.

Bryggen i Bergen – økologi og målinger i bygninger i et fuktig miljø; fuktighet vs. saltinnhold

Mål: Til tross for et meget fuktig klima og fuktutsatte konstruksjoner var det et overraskende fravær av råteskader i fundamentene på Bryggen i Bergen. For å avklare hvilke faktorer som bidro til dette, ble det blant annet gjennomført en fuktmåling i treverk ulike eksponeringsmiljøer.

Metode: Det ble montert faste målepunkter for fuktkvotepåvisning i treverk i treklosser. Disse ble plassert på grunnen og 10 respektive 30 cm opp fra grunnen. Målepunktene var i passasjen (utsatt for regn), svalgang (noe beskyttet fra nedbør), i krypter under bygningen og i dråpefallet mellom to bygninger. Fuktkvoten ble avlest ukentlig i snaut tre år.

Vurdering: Prosjektet ga viktig informasjon om hvilken fuktbelastning det var i ulike konstruksjoner i forskjellige årstider. Videre viste resultatene at man kan få mye viktig informasjon med en metode som krever lite tilgang til avansert og følsomt teknisk utstyr.

Overføringsverdi: Erfaringene med hvor gode resultat enkle registreringer kan gi, er en viktig kompetanse å ta med seg videre til når det gjelder å etablere en faglig god miljøovervåking i mange automatisk fredete bygninger, der økonomiske rammer trolig er en vesentlig faktor å ta hensyn til.

Laftet tømmerbygning, kystnært på Østlandet. Byggeår ca 1890

Mål: Fordi en eldre tømmerbygning fikk omfattende problem med råteskader utendørs i områder der det hadde vært benyttet moderne malingsprodukter, ble det startet opp et overvåkingsprogram for å avklare hva som var årsaken til skadene og hvilke tiltak som var aktuelle å gjennomføre.

Metode: En kombinasjon av regelmessige visuelle undersøkelser og en automatisk logging av temperatur, relativ luftfuktighet og fuktkvote i treverket. Loggingen har pågått i fem år og er fremdeles i drift.

Vurdering: Resultatene har vist hvordan fuktsituasjonen i tømmerveggene varierer med årstider og værbelastning. Dette bidrar til å avklare hvor det utvikles råteskader og hvilke tiltak man må planlegge i forhold til både vedlikehold og reparasjoner.

Overføringsverdi: De omfattende fuktmålingene er det godt grunnlag for hvordan man kan etablere en tilsvarende oppfølging på andre bygninger. I tillegg kan en sammenligning av de lokale måleverdiene gjennom fem år med mer omfattende meteorologiske data fra to værstasjoner ca. 1 respektive 3 km unna gi meget gode erfaringer av hvor godt samsvar det er mellom reelle meteorologiske data, modellerte data og konkrete måleverdier.

To laftede trebygninger i innlandsklima (Telemark og Vestfold)

Mål: Avklare hvordan fuktforholdene er i fuktkritiske konstruksjoner (krypekjellere) etter at det er gjennomført reparasjoner av aktive hussoppangrep.

Metode: I de to krypekjellerne er det montert fuktloggere. I den ene er det noe eldre utstyr som hver halvtime registrerer temperatur og relativ luftfuktighet. Avlesning skjer ved at man reiser ut og laster ned data. I den andre er det montert mer moderne fuktloggere som hver time registrerer temperatur, relativ luftfuktighet og fuktkvote i treverket. Avlesning skjer kontinuerlig via mobilnett til server på kontoret.

Vurdering: Begge metodene gir viktig kunnskap og dokumentasjon på hvordan fuktforholdene er i de tidligere skadeutsatte konstruksjonene – både generelt og i forhold til årstidsvariasjoner og ekstremvær.

Overføringsverdi: De lokale, detaljerte fuktmålingene er det godt grunnlag for hvordan man kan etablere en tilsvarende oppfølging på andre bygninger. I tillegg kan en sammenligning av de lokale måleverdiene gjennom flere år med mer omfattende meteorologiske data fra værstasjoner i regionen avklare hvor godt treff det er mellom reelle meteorologiske data, modellerte data og konkrete måleverdier.

Teglbygning med takkonstruksjon i tre, byggeår ca 1870

Mål: En avklaring på hvor stor fare det er for oppfukting av innmurt, til dels råteskadet treverk i teglvegger – særlig overgangen mellom tak og yttervegger.

Metode: Veggene er totalt 60 cm tykk, og det ble montert sensorer for relativ luftfuktighet og temperatur 10, 25 og 40 cm inn i veggene. I innmurte bjelkeender ble det satt inn sensorer for trefuktighet. I isolasjonssjiktet i etasjeskillet ble det montert sensorer for temperatur, relativ luftfuktighet og trefuktighet. Trefuktsensorene ble skrudd inn i treklosser som ble lagt i isolasjonen på etasjeskillet, under et øvre vindspærresjikt.

Vurdering: Resultatene etter to år med logging viser generelt at relativ luftfuktighet i teglveggen holder seg på under 70 %, og at den følger temperaturutviklingen slik at temperaturen er lav når relativ luftfuktighet er høy. I én periode økte relativ luftfuktighet i teglen selv om temperaturen var økende i

samme periode, og mest i ytre del av veggen. Tidsrommet samsvarer godt med en periode med uvanlig mye regn i området. Til tross for ekstra fukttilførsel i denne perioden kom aldri relativ luftfuktighet i teglen over 70 %, og det var ikke mulig å registrere utslag på trefuktigheten i bjelkeendene.

Overføringsverdi: Overvåking av fuktighet og temperatur i flere dybder i teglveggen kombinert med trefuktighet i etasjeskillet gir mulighet til å registrere effekten av etterisoleringen på sannsynligheten for nye råteskader i bjelkeendene. I tillegg vil dataene gi god oversikt over effekten av eventuelle klimaendringer i form av for eksempel økte nedbørsmengder. Fordi det ofte er etablerte, inaktive råteskader i overgangen mellom takkonstruksjonen og toppen av murveggene i steinkirker, har erfaringene fra dette måleprosjektet en stor og viktig overføringsverdi til tilsvarende skader i steinkirkene.

Lomen stavkirke - Østlandet, innenlandsklima.

Mål: Følge opp fuktforholdene der det har vært reparert en hussoppskade i en stav som står ned mot en fuktutsatt jordbakke.

Metode: Små treklosser med målepunkter for fuktkvot i treverk ble plassert ulike steder i området ved den reparerte staven. Avlesning har skjedd manuelt relativt regelmessig når ansvarlig utførende lokalt har vært ved kirken.

Vurdering: Resultatene har vist at det er kritisk høye fuktverdier i treverket i bunnen av den reparerte staven og ellers i krypekjelleren. Dataene fra fuktmålingene illustrerer at det er ugunstig å etablere en nyreparert konstruksjon med et gjenstående fuktproblem.

Overføringsverdi: Stor. Selv om metoden er teknisk ukomplisert, er den samtidig billig å etablere og driftssikker. Det er en god oppfølgingsmulighet uten at man er avhengig av datateknologi, strømforsyning og andre teknisk kritiske forhold. Resultater på papir og innskannet til aktuelle instanser sikrer en enkel og fremtidig god tilgjengelighet av data, for eksempel via excel.

Som en oppsummering kan det konstateres at det finnes en rekke større og mindre prosjekter som på en eller annen måte har gått inn i saksfeltet kulturarv, klimaendringer og miljøovervåking. Som regel har tilnæringsmåten vært tverrdisiplinær og involvert teknikk, humaniora, naturvitenskap samt i en del tilfeller samfunnsvitenskap. Norske aktører (bla NIKU og Mycoteam) har deltatt i flere av samarbeidene. Et gjennomgående fokusområde for prosjekter med hovedsakelig tekniske og naturvitenskaplige innslag har vært samband mellom skader og forandret temperatur, relativ fuktighet og fuktinnhold i materialer. Prosjekter som har utgått fra problemstillinger mer knyttet til humaniora og samfunnsvitenskap har overvåket endringer på et overordnet nivå med formål å legge retningslinjer for nasjonale forvaltningsstrategier, støtteordninger og lignende.

Erfaringer fra prosjekter med langvarig overvåking av bygninger og konstruksjoner har gitt oss kunnskap om hvilke faktorer som kan bidra til utvikling eller akselerasjon av skader. Viktige faktorer er:

- Klimatiske forhold – eksempelvis økning i temperatur, økt nedbørsmengde, økt relativ luftfuktighet i perioder med høy temperatur (sommerhalvåret).
- Mikroklima – lokal oppfukning som følge av takdrypp, defekte takrenner, uheldig konstruksjonsdetaljer.
- Overflatebehandling – moderne malingsprodukter som har andre egenskaper enn det som er benyttet tidligere.

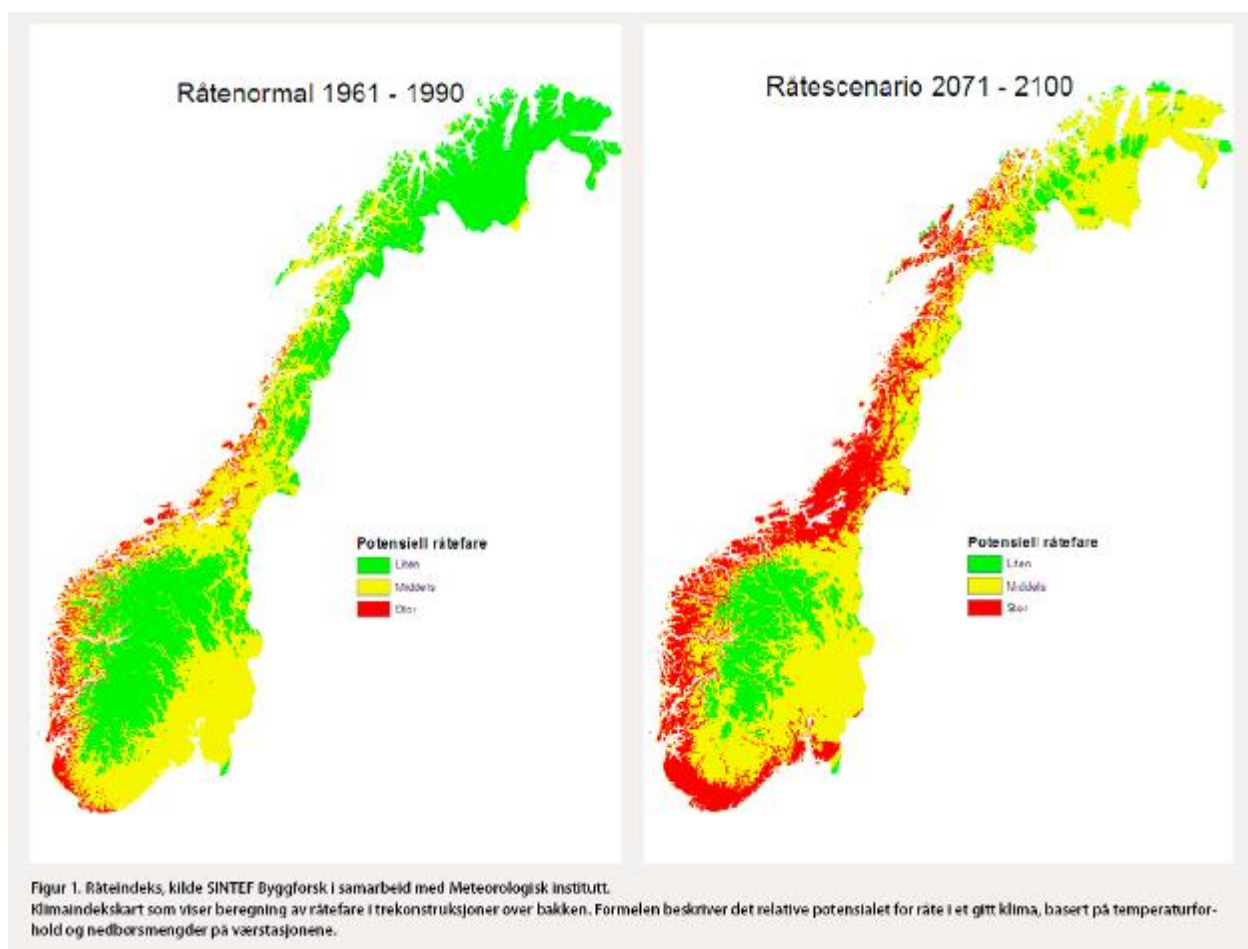
- Materialkvalitet – små endringer av en eller flere av forholdene over kan resultere i at materialkvaliteten er utslagsgivende for eventuell skadeutvikling eller ikke.
- Endret bruk av bygningen. Dette vil ofte resultere i endrete temperatur- og fuktforhold i utsatte bygningsdeler.
- Konstruksjonsendringer. Etterisolering, ombygging av eldre konstruksjoner, bruk av nye materialer med andre egenskaper og oppføring av nyere bygningsmasse i nærheten er blant faktorene som vil kunne resultere i endrede lokale temperatur- og fuktforhold som påvirker den gamle bygningsmassen.
- Tilgroing / gjengroing. Endrete lys / skygge-forhold.

Mer spesifikke resultater fra hoved- og delprosjektene er tilgjengelige i vedlegg til rapporten, samt i en rekke publikasjoner og rapporter (se referanselista).

6. Modellering av klimaendringer – konsekvenser for skader og miljøovervåking

Klimaforskere har utviklet ulike modeller som brukes å forutsi fremtidens klima i et gitt antall år. Dette forutsetter tilgang til hva som kan defineres som et normalklimate. Meteorologisk institutt har gode og langvarige måleserier på værobservasjoner fra hele landet og dette ligger til grunn for beregninger av hva som kan betegnes for et lokalklima ulike steder over hele landet.

For å underlette overvåking og risikovurdering er det blitt utarbeidet en klimaindeks som er tenkt å vise sannsynlighet for råteskader i bygninger (Scheffer 1971). Indeksen er også brukt til å beregne klimasoneinndeling under norske forhold (Lisø med flere 2006, Riksantikvaren 2010) (figur 15).



Figur 15. Illustrasjon hentet fra Riksantikvarens informasjonsark «3.15.2 Klimaendringer og bevaringsverdige bygninger».

Nyere forskning som blant annet er basert på systematiske europeiske nedbrytningsforsøk nedbrytning av utendørs eksponert treverk (Briscke med flere 2010) og feltundersøkelser av råteskader og uskadet treverk (Mattsson 2010a, Gobakken med flere 2014) har vist at sannsynligheten for råteskader i større grad kan forklares med lokale faktiske fukt- og temperaturforhold enn med generelle modeller over potensiell råtefare. Endringer i makroklima er dermed

kun av betydning for biologiske skader dersom de innvirker på materialklimaet på en slik måte at vekstforholdene endres. Dersom klimamodeller skal ha nytteverdi for å vurdere sannsynlighet for biologiske skader i en bygning må nivået på modelleringen velges ut fra hva som er interessant å vite i den enkelte bygningen. Råteindekskartet kan gi en overordnet pekepinn på klimatiske forskjeller mellom ulike deler av landet, men det er meget viktig at denne typen av illustrasjoner brukes med meget stor forsiktighet og med forståelse for hva det ikke kan gi av informasjon.



Figur 16. Lokale forhold (mikroklima) har svært stor betydning for utvikling av biologiske skader. Vanligvis vil fuktforhold i treverket være styrende for om det oppstår råteskader. I tilfeller der alt tømmeret er fuktig kan imidlertid temperaturen bli utslagsgivende, slik at omfanget av råteskader er avhengig av solinnstråling (foto til venstre). Omfanget av muggsopp-skader kan avgjøres av små forskjeller i næringstilgang, selv med helt like fukt- og temperaturforhold (foto til høyre).

Det er vanskelig å forutsi hvordan utviklingen av skader som er avhengig av flere faktorer vil endre seg ved å gjennomføre en generell modellering av enkelte klimaforhold, slik som økt temperatur eller nedbør. Enkelte problemstillinger, slik som utbredelse av treskadeinsekter som i hovedtrekk er temperaturavhengig, kan på et generelt grunnlag beregnes utfra klimamodeller. Dette vil imidlertid ikke gi en avklaring på sannsynligheten for at det kan oppstå angrep i den enkelte bygningen.

Det er ofte et fokus på at klimaendringene vil gi varmere og våtere klima med mer vind. Vi kjenner ikke til hvor mye det er avklart om temperaturøkningen, endring i nedbørsmønstret og vindbelastning kan føre til at enkelte materialer blir tørrere, hvilket i så fall skulle redusere sannsynligheten for utvikling av skader som er fuktavhengige. Andre detaljer som er relevante for bygninger er om klimaendringene innebærer at svingningene blir større, om soleksponeringen øker eller minsker på grunn av skydekke og hvordan vindbelastningen kan endres med hensyn til vindstyrke.

Ved modellering av det fremtidige klimaet opererer Meteorologisk institutt med et rutenett på 1 km². Det er ikke gjort noen inngående forskning på hvor godt dette rutenettet stemmer overens med det aktuelle klimaet i ulike bygninger. En undersøkelse der man korrelerer meteorologiske målinger med målinger i enkeltbygninger vil bidra til å avklare dette.

7. Utvalg av bygninger for overvåking

Utvalg av bygninger for overvåking vil henge sammen med det overordnede målet for overvåkingen. Utvalget skal gjøres fra automatisk fredete bygninger i Norge, inkludert Svalbard. Endelige utvalgsparemetre må defineres i samarbeid med oppdragsgiver i det videre arbeidet.

Før utvalg av bygninger fra de forskjellige fredningskategoriene velges for MOV må :

- Konstruksjonstyper kartlegges
- Bruk og oppvarming vurderes
- Eksisterende dokumentasjon for bygningene vurderes mht tilgjengelighet og kvalitet. Dokumentasjonen gjennomgås for et utvalg bygninger
- Bygningene sees i sammenheng med klimakart/forventet endring i områder

Ved valg av objekter må det også tas praktiske hensyn. Registreringene skal være mulige å gjennomføre. Utvalget vil henge sammen med hva man ønsker å oppnå og hvem det er hensiktsmessig at følger opp registreringen. F.eks. kan noen bygninger overvåkes svært inngående, mens andre overvåkes på et mer generelt nivå.

Planlegging av MOV er en iterativ prosess, ettersom utvalg av bygninger og metoder henger sammen og påvirker hverandre. Den overordnede hensikten vil være styrende.

Følgende er viktig ved utvalg av bygninger til MOV. Listen er ikke uttømmende:

- Utvalget av bygningstyper og klimasoner må være representativt
- Bygninger som nylig er undersøkt og dokumentert vil gjøre referanseundersøkelsen enklere
- Plassering av bygningen i forhold til meteorologiske målestasjoner
- Det må tas hensyn til veggfast dekor i utvalget av bygninger
- Profane steinbygninger kan være bygninger som er egnet til overvåking med lokal oppfølging fordi de har etablert FVD
- Bygninger i daglig bruk eller museumsbygninger kan være bygninger som er egnet til overvåking med lokal oppfølging fordi de allerede blir ettersett

8. Miljøovervåking, gjennomføringsmetoder

8.1 Hensikten med overvåkingen

Hensikten med overvåkingen må defineres slik at alle involverte kjenner målet for arbeidet. Hensikten vil definere nivået på overvåkingen, hvor eventuelle referanseområder skal etableres og hvilke lokale registreringsposter som må etableres. Hensikten definerer også hvilke profesjoner som skal gjennomføre referanseundersøkelsen og hvilke som skal følge opp undersøkelsen.

8.2 Bygningsundersøkelse - før oppstart av MOV

Restriksjoner mot inngrep i automatisk fredete kulturminner

I forbindelse med fredete bygninger er det krav om at man i størst mulig grad skal benytte seg av ikke-destruktive undersøkelsesmetoder. Dette er regulert i paragraf 3 og 8 i Lov om kulturminner:

«§ 3. Forbud mot inngrep i automatisk fredete kulturminner. Ingen må - uten at det er lovlig etter § 8 - sette i gang tiltak som er egnet til å skade, ødelegge, grave ut, flytte, forandre, tildekke, skjule eller på annen måte utilbørlig skjemme automatisk fredet kulturminne eller fremkalle fare for at dette kan skje.»

§ 8. Tillatelse til inngrep i automatisk fredete kulturminner.

Vil noen sette igang tiltak som kan virke inn på automatisk fredete kulturminner på en måte som er nevnt i § 3 første ledd, må vedkommende tidligst mulig før tiltaket planlegges iverksatt melde fra til vedkommende myndighet eller nærmeste politimyndighet. (...).» For hele §8, se:

<https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1978-06-09-50>

Tilsvarende gjelder for kulturminnene på Svalbard, der dette er regulert i Svalbardmiljøloven. Inngrep i bygningen for å kunne registrere tilstand for bygningens struktur eller overflater må kun gjøres etter avtale med antikvariske myndigheter og eier, og være minst mulig. Den som utfører arbeidet må utvise skjønn for å velge egnet område for bruk av for eksempel fuktmåler som stikkes inn overflaten, bruk av råtedrill, eller festepunkter for måleinstrumenter for langtidslogging. Bruk av kniv som undersøkelsesverktøy brukes kun i unntakstilfeller, og aldri på lett tilgjengelige, synlige overflater. Å finne egnede steder for inngrep i overflaten er mest krevende på malte, dekorerte eller tapetserte interiører. Her bør man finne registreringsmetoder som ikke krever inngrep, eller minimale inngrep. Inngrep bør også i størst mulig utstrekning unngås på malte, eller på annen måte overflatebehandlede eksteriørelementer.

Bygningsundersøkelse - formål

Forutsetningen for en målrettet overvåking er et definert referansepunkt, dvs. en tilstrekkelig undersøkelse og dokumentasjon av bygningens og/eller et utvalgt områdes tilstand. Standardene NS 3424 og NS-EN 16096 (Standard Norge 2012a, b) bør brukes som et generelt rammeverk for bygningsundersøkelsen. Ytterligere undersøkelse og dokumentasjon vil være nødvendig. Eksisterende dokumentasjon kan som regel bare brukes som bakgrunn for den undersøkelsen som må gjøres for å etablere «starttilstanden»/referansepunktet for overvåkingen.

En tverrfaglig, grundig bygningsundersøkelse er en forutsetning for å kunne forstå hvilke belastninger en bygning har vært utsatt for frem til nå og hva som har forårsaket etablerte skader på undersøkelsestidspunktet. Ved en slik undersøkelse grunnleggende forhold om bygningens konstruksjon, inkludert bygningsfysikk, bygningsbiologi samt risikokonstruksjoner og etablerte skader undersøkes og vurderes.

Med tanke på bygningenes høye alder og dermed tilsvarende eksponeringstid, kan man anta at de mest kritiske risikokonstruksjonene har rukket å utvikle seg til skader. Det kan imidlertid tenkes at enkelte konstruksjoner kan bli mer utsatt for fuktbelastning og dermed utvikles til risikokonstruksjoner hvis det skjer en vesentlig endring av de fysiske forholdene ved en klimaendring. Dette bør man avklare som en del av vurderingsgrunnlaget før man starter opp en miljøovervåking. Man må være klar over at det i enkelte risikokonstruksjoner kan utvikles skader selv ved små endringer og i løpet av kort tid. For samiske kulturminner og kulturminner/bygninger på Svalbard gjelder at disse i utgangspunktet kan sies å bestå av relativt risikoutsatte konstruksjoner. De er enkle bygninger i lette konstruksjoner. På Svalbard er også de fleste ute av bruk, og mange av de automatisk fredete bygningene er delvis ruiner som er svært utsatt for endringer i vær og klima.

Den eller de som utfører registreringen av tilstanden må ha tilstrekkelig kompetanse til å utføre undersøkelsen og dokumentasjon av tilstanden. Dokumentasjonen av tilstanden må ikke gi mulighet for tolkning, og skal kunne brukes av personer som ikke deltok i undersøkelsen. Nivået på og omfanget av undersøkelsen vil avhenge av definert mål for MOV for den aktuelle bygningen.

Bygningsundersøkelse – tolkning av skadebildet

En forutsetning for en miljøovervåking av bygninger er at man har en grunnleggende forståelse for det aktuelle objektet. Dette forutsetter en innledende bygningsundersøkelse, der man kan avklare hvilke materialer og konstruksjoner som forekommer, hvilke fysiske faktorer som gjelder, hva som har unngått skader samt hvilke områder som er blitt skadet. Det er viktig at man skiller mellom klimaavhengige og klimauavhengige skader for å kunne følge skadeutviklingen i forhold til eventuelle endrede klimabelastninger.

Råteskader og angrep av treskadeinsekter utvikles sjelden på overflatene av treverk, spesielt der klimaet er tørt og kaldt (Mattsson 1995). På grunn av at skadene vanligvis utvikles inne i materialer og konstruksjoner, er det generelt vanskelig å oppdage og undersøke bygningsbiologiske skader. Ofte innebærer en grundig undersøkelse et visst behov for destruktive metoder for å avdekke og klarlegge skadene.

Vurdering av interiøroverflater krever oftest malerikonservatorekspertise og en detaljert vurdering av overflatens tilstand er nødvendig. Det må gjøres et utvalg av referanseområder for å minske datamengden ved overvåking.



Figur 17. Konstruksjonsundersøkelser krever ofte inngrep i bygningen. Her fuktmåling med hammerelektrode i avdekket laftevegg.



Figur 18. Interiører krever egnede typer undersøkelser for registrering av tilstand. Ofte kreves et meget detaljert nivå. Kvernes stavkirke, limfargedekor i skipet.

Bygningsundersøkelsens nivå og omfang

Det er viktig at man i forkant definerer målet for overvåkingen av bygningen. Dette vil bestemme hvor omfattende en bygningsundersøkelse skal være, og hvilket faglig nivå undersøkelsen krever.

Bygningsundersøkelsen som gir avklarer og dokumenterer tilstanden i bygningen (setter referansepunktet) må utføres av personer med spesialkompetanse tilpasset bygningen og problemstillingen. Kompetansebehovet varierer med målet for overvåkingen. I tabellen nedenfor vil nivå 3 og 4 være aktuelle for en slik undersøkelse.

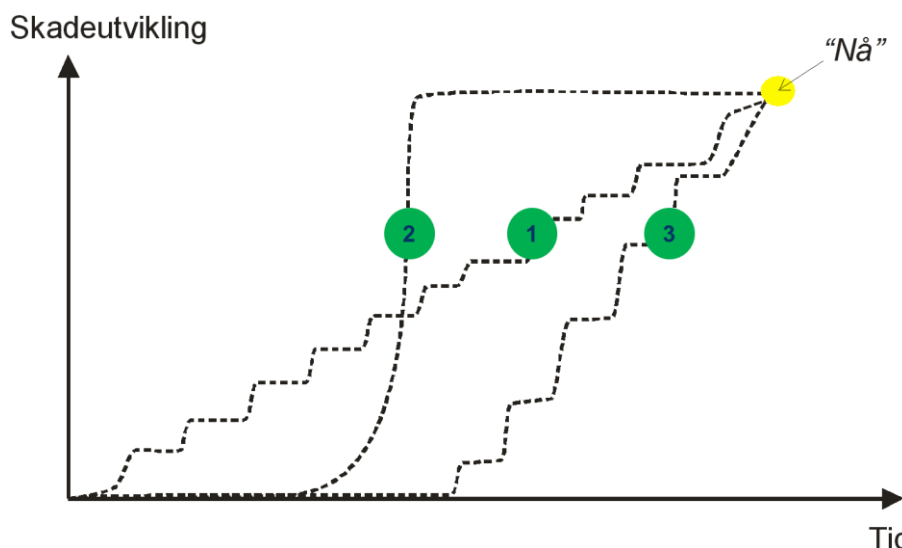
Tabell 3. Kompetansenivå ved befaringen bestemmer hvor detaljert vurdering det er grunnlag for å gjennomføre i ettertid.

Nivå	Fokus	Kunnskapsnivå	Utstyr
1 Forenklet	Beskrivelse av grunnforutsetningene for bygningen.	Begrenset behov for spesialkompetanse.	Ingen behov for måleutstyr.
2 Utvidet	Påvise risikokonstruksjoner og etablerte skader.	Generell skadekompetanse.	Enklere inspeksjonsutstyr.
3 Spesialist	Gjennomføre en god skadevurdering og tiltaksbeskrivelse, inklusive vurdering av aktuell miljøovervåkning.	God spesialkompetanse.	Godt inspeksjonsutstyr for fuktmåling, prøvetaking og lignende. Utstyr for laboratorieanalyser.
4 Ekspert	Avklare skadenes alder og utviklingshastighet. Anslå effekt av skader og risikoen for ytterligere utvikling ved ulike endringer av forholdene.	Inngående spesialkompetanse.	Eventuelt spesialutstyr, slik som råtedrill, fiberoptikk.

Ved en systematisk punktundersøkelse kan man benytte den informasjonen som ligger i både etablerte skader og fravær av skader. Noen skader er alvorlige, men mange er uproblematiske fordi de er små, de utvikler seg svært sakte, eller de er helt inaktive. En etablert skade betyr ikke nødvendigvis at konstruksjonen har høy sannsynlighet for nye skader, dersom årsaken til at skaden i sin tid oppsto er utbedret.

Når man skal vurdere en etablert skade, er det viktig at man i detalj klarer å tolke hva som har skjedd. Figur 19 viser forskjeller mellom ulike skadeforløp. Selv om situasjonen ved en undersøkelse kan se lik ut («Nå» i figur 19), er det en

vesentlig forskjell i skadebildet om det har vært en jevn utvikling hele tiden – som regel ved at skaden har fulgt årstidsvekslingene – eller om skaden har oppstått i enkelte perioder med spesielle forhold.



Figur 19. Selv skader som ser like ut kan ha svært forskjellig skadeutvikling. 1) skyldes en normal, sesongmessig skadeutvikling, mens 2) skyldes en enkelthendelse med kraftig fuktbelastning og deretter tørre forhold. 3) illustrerer en rask, sesongmessig skadeutvikling som er oppstått underveis på grunn av endrede forhold.

Risikoanalyse

En korrekt utført risikoanalyse er et godt verktøy for å prioritere mellom aktuelle miljøovervåkningsmetoder. Begrepene «sannsynlighet for skade» og «risiko for skade» brukes ofte om hverandre. En risikoanalyse kombinerer sannsynlighet for skade og konsekvens av skade, og er nyttig for å gi klarhet i disse begrepene. En gitt endring i klimaet kan gi økt sannsynlighet for en viss type bygningsskade. Konsekvensen av skaden vurderes i hvert tilfelle (misfarging, nedbrytning o.l.). Ut fra dette kan man beregne hvilken risiko skaden innebærer (f.eks. ødeleggelse av originalt materiale). En riktig utført risikoanalyse gir god nyansering av problemene og et bedre beslutningsgrunnlag enn synsing på grunnlag av den enkeltes erfaringer.

Tabell 4. Beregning av risiko på grunnlag av sannsynlighet og konsekvens.

Sannsynlighet	Konsekvens		
	K1 - liten	K2 - middels	K3 - stor
S1 – lite	1	2	3
S2 – middels	2	4	6
S3 – stor	3	6	9

8.3 Registrering av endringer

Flere av de miljøovervåkningsmetoder og systemer som løper i dag og som er gjennomført i Norge er på et nokså overordnet nivå. Det samles inn informasjon til problemstillinger som for eksempel hvor mange kulturminner som forsvinner hvert år og hvor mange bygninger som er endret eller forsvunnet siden forrige registrering.

For å kunne måle konsekvenser av klimaendringene og effekten på fredete bygninger må man sannsynligvis gå langt mer detaljert til verks. Endringene vil merkes i utsatte deler av bygningen, og overvåking av endringer må derfor baseres på det som er avdekket i forbindelse med den innledende bygningsundersøkelsen, samt utfallet av risikoanalysen. Før man vurderer metoder for overvåking må man definere hva man ønsker å oppnå med overvåkingen og hvordan innsamlede overvåkingsdata skal benyttes. Det er for eksempel stor forskjell på overvåking av en større konstruksjonsdel i forhold til en overflate i interiør.

Det finnes en del metodeutvikling og erfaringer fra andre typer undersøkelser som sannsynligvis kan være til nytte både i utvikling av metode for overvåking og i deler av selve overvåkingen. Dette er for eksempel metoder for dokumentasjon og vurdering av tilstand, verneverdi og sårbarhet, samt metoder for overvåking av andre typer kulturminner enn bygninger.

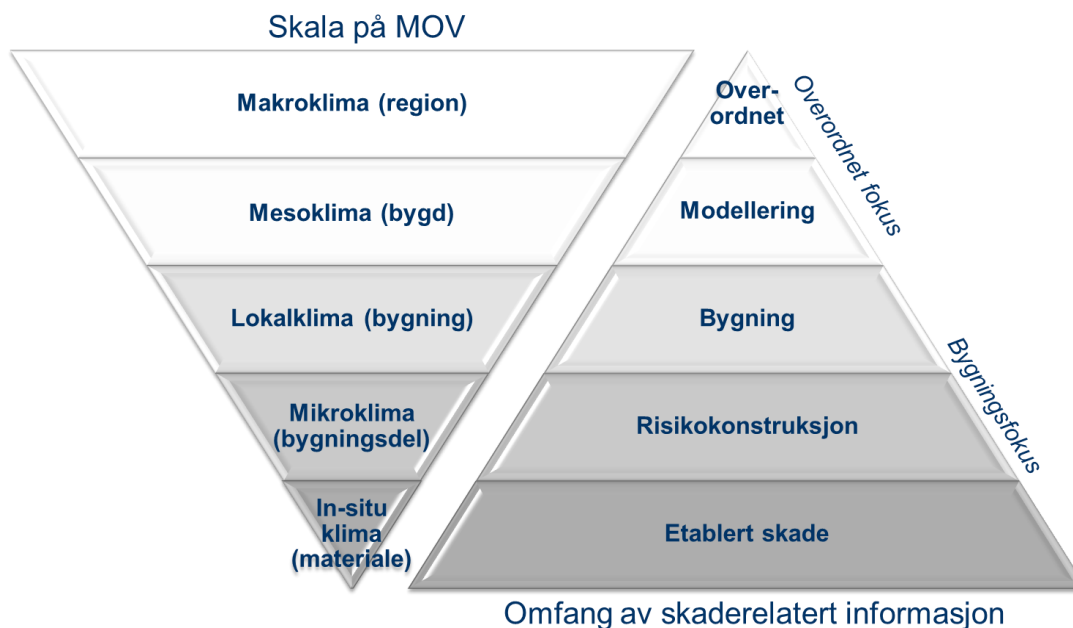
8.4 Detaljering av eller nivå for miljøovervåking

Det er nødvendig med en tverrfaglig tilnærming for å prioritere detaljering av tilstandsanalyse og påfølgende miljøovervåking. Med en individuell risikoanalyse for hver bygning og problemstilling kan man etablere en prioritert liste i forhold til risiko og begrensende faktorer (antikvariske hensyn, økonomi o.l.). Dette vil gi et godt grunnlag for å avgjøre hvilke tiltak som er aktuelle å gjennomføre. Ved en oppfølgende miljøovervåking av enkeltbygninger er det viktig at man definerer hvilke problemstillinger man ønsker å belyse, slik at man gjennomfører metoden på riktig detaljeringsnivå.

Metoden for miljøovervåkingen avgjøres av skalaen og hensikten. En mer overordnet miljøovervåking kan gjelde større områder, for eksempel en del av Europa, en landsdel eller en region. En slik grov top-down skala gir generelle indikasjoner med stor overføringsverdi, men begrenset skaderelatert informasjon om enkeltbygninger (jfr. sårbarhetsatlasen fra EU-prosjektet Noah's Ark).

Omvendt kan en geografisk meget avgrenset miljøovervåking, for eksempel av en konkret skade, en enkelt bygningsdel eller en interiøroverflate, ha begrenset overføringsverdi til bygninger i andre områder. En slik detaljering gir imidlertid meget inngående skaderelatert informasjon. Dersom man overvåker på detaljert nivå i flere bygninger under samme forhold vil overføringsverdien kunne bli større. Det gis da mulighet til statistiske bottom-up analyser hvor man kan få en overordnet forståelse av aktuelle problemstillinger. Dersom dette gjøres i bygninger med ulik klimatisk eksponering vil man dessuten kunne få kunnskap som kan brukes for å vurdere mulige konsekvenser av endringer i klimaet regionalt og globalt.

En miljøovervåking hvor det tillempes en flerskala-overvåking kan således generere overføringsverdier for både makro- og mikronivå. Dette var et av hovedpoengene i EU-prosjektet Climate for Culture, der analysene ble gjennomført på flere nivåer og kombinerte miljø- med klimaovervåking.



Figur 20. Illustrasjon av sammenhengen mellom geografisk størrelse på miljøovervåkingen og mengden skaderelatert informasjon på det aktuelle nivået.

I bygninger er det store variasjoner i fysiske forhold, både mellom ulike bygninger og i ulike deler av enkeltbygninger. I tillegg er det variasjoner over tid på grunn av årstider, døgnvariasjoner og bruk av bygningene. Det er derfor viktig med riktig detaljering, både med tanke på plassering og tidsintervall, for å ha nytte av målingene.

Makroklima, overordnet informasjon

Med en så stor skala viser man for eksempel hvordan klimaendringer kan påvirke store landskapsområder, dvs. på et regionalt nivå.

Mesoklima, modellering av lokale endringer

Hvis man ønsker å illustrere en generell endring i risiko for skadeutvikling, kan man beregne sannsynlige endringer via modelleringen som gjøres av Meteorologisk institutt på 1 x 1 km-nivå.

Lokalklima, bygningsnivå

Dette nivå har fokus på lokalklimaet for enkeltbygninger. Forskjeller mellom ulike himmelretninger og konstruksjoner vises godt med denne skalaen på klima.

Mikroklima, enkelte bygningsdeler

Denne skalaen er godt egnet for å belyse risikoforhold for enkelte bygningsdeler. Vurderinger på dette nivået gir god mulighet for å kunne fange opp belastninger som kan ha betydning for skadeutvikling i den aktuelle delen av bygningen.

In-situ klima, skadenivå

Det er vist at de fysiske forholdene som danner grunnlaget for at det kan oppstå bygningsbiologiske skader kan være meget lokale. Det samme gjelder for enkeltdeler av interiøret i en bygning. I forbindelse med konkrete skader må man derfor ha detaljert fokus for å kunne fange opp viktige detaljer om skaden og eventuell risiko for videre skadeutvikling. En oppfølging av et slikt begrenset område alene kan være litt for avgrenset fordi det er lett å overse andre kritiske forhold i forbindelse med bygningen. Dette betyr at man bør kombinere dette med en oppfølging på et mer generelt nivå, minst et nivå opp, gjerne to.

Datamengde

Alle de automatisk fredete bygningene er registrert i Askeladden, og klimaovervåkingsdata vil kunne innlegges der og deretter koples til andre relevante måleparametre. Data fra miljøovervåking må være lett tilgjengelig for tilsynshavere og forvaltning, både nå og i fremtiden. Alle dokumenter må lagres elektronisk i Askeladden og i papirversjon på den enkelte adresse. Det må tas høyde for teknologisk utvikling; gamle måleverdier som ligger på utdaterte lagringsformater er av svært begrenset verdi slik de foreligger. Dersom dette ikke ivaretas fortløpende blir det fort ressurskrevende å hente fram slike data.

Jo mer detaljert logging og jo tettere tidsintervall desto større utfordring mht dataoppbevaring og tilgjengelighet. Dersom måleperioden blir for kort vil resultatene kunne bli påvirket av årstidsvariasjoner og tilfeldigheter, og tolkning blir vanskelig. Dette må balanseres slik at det blir samlet inn nok data, men ikke så mye at det blir uhåndterlig. Avhengig av hensikten kan det være bedre med detaljert måling over en kort tidsperiode enn en svært overordnet måling over en lang tidsperiode.

8.5 Måleperiode: Øyeblikksmålinger, kort- og langtidslogging

Dette avsnittet har lagt hovedvekt på registreringer av endringer i bygningskroppen, først og fremst knyttet til fuktighet og temperatur. Vurdering av ikke fuktavhengige mekaniske skader, for eksempel setninger, krever ofte målinger over tid. Drøftingen av måleperioder er også lite relevant for registrering av endringer i malte overflater. For malt dekor er det en utfordring å finne egnede metoder. Metoder for registrering av endringer i malt dekor er beskrevet i et svensk delprosjekt av Climate for Culture (i regi av Uppsala Universitet, Campus Gotland) og etter utprøvinger i Hedalen og Urnes (Lasyk m.fl 2012., Olstad m.fl 2012).

Øyeblikksmålinger

Øyeblikksmålinger har en styrke i at de ofte er enkle, raske og rimelige å gjennomføre. De har imidlertid av naturlige grunner klare begrensninger i informasjonsverdi. I tillegg vil usikkerheten være ekstra stor hvis man måler forhold som normalt sett har raske svingninger, for eksempel relativ luftfuktighet, mens en tilsvarende måling i jord eller en lukket konstruksjon vil gi mer pålitelig informasjon fordi det er langsommere svingninger der. Tilsvarende vil en fuktkvotemåling i et tynt trestykke gi dårligere informasjon enn dybdemålinger i grove materialer.

Med en forståelse for hvilke variasjoner man normalt sett har i en konstruksjon eller materiale gir likevel øyeblikksmålinger god informasjon. Dette gjelder for eksempel når man gjennomfører en måling for å bekrefte en hypotese – særlig hvis man måler gradienter eller sammenlignbare forskjeller (sol/skygge, overflate/dybdemåling).

Øyeblikksmåling krever at informasjonen fra målingene dokumenteres forløpende på egnet skjema. Gjentas målingen flere steder og på flere tidspunkter kan man få et godt bilde på utviklingen og på forskjeller i ulike deler av en bygning.

Kortidslogging

Kortidslogging er ofte praktisk gjennomførbart i forbindelse med befaringer, kortere besøk og ved spesielle hendelser. Ved å gjennomføre en registrering av

forholdene over noen timer eller dager, kan man avklare viktige variasjoner i de fysiske forholdene. Dette kan gjelde normale døgnvariasjoner og endringer ved bruksforhold. I andre tilfeller kan korttidslogging gi viktig avklaring av hvor raskt en oppvarming/nedkjøling eller oppfukning/uttørking av materialer og konstruksjoner skjer.

For å unngå feiltolkning er det viktig at måleverdier fra korttidslogging ses i sammenheng med for eksempel årstidsvariasjoner, døgnvariasjoner og lignende. Dette krever god kjennskap til normalklima på målestedet.

Langtidslogging

Langtidslogging kan med større sikkerhet enn øyeblikksmålinger og korttidslogging gi en god avklaring av hva som foreligger av variasjoner i for eksempel temperatur, relativ luftfuktighet og fuktinnhold i materialer eller i konstruksjonen. Langtidslogging pågår gjerne over flere måneder og år, og dersom relativ luftfuktighet er en viktig parameter vil minimumsintervallet være 1 år. Dersom utvikling i de målte parametrene skal kunne sammenholdes med utvikling i regionalt klima må måleperioden være tilstrekkelig lang til at naturlige variasjoner ikke spiller inn.

Regelmessig manuell avlesning av fuktverdier

Krever innsats av personale, for eksempel en gang i uken eller måneden, men hvis dette utføres av personer som likevel er tilstede innebærer dette lite tidsforbruk og små kostnader. Dette kan gi meget god informasjon ved måling av fuktinnhold i treverk, der fuktvariasjonene skjer langsomt. Prosessen krever at dokumentasjon av innsamlet informasjon gjøres slik at den er tilgjengelig for andre. Teknisk utstyr er ofte enkelt, driftssikkert og rimelig i innkjøp. Man er dermed i liten grad avhengig av avansert teknisk utstyr som trenger en kontinuerlig strømtilførsel og sikker lagring/nedlastning av data.

Kontinuerlig, automatisk registrering av verdier.

Det skjer stadig utvikling innenfor utstyr for kontinuerlig registrering av måleverdier. Til måling av relativ luftfuktighet, temperatur og trefuktighet finnes for eksempel systemer som gir kontinuerlig logging i fastmonterte loggere, og dataene sendes via en gateway til en server som kan nås fra en hvilken som helst datamaskin med internettilgang. Etter montering er dette lite ressurskrevende. Løsningen krever at det er dekning for mobilt nettverk på stedet der det skal gjøres miljøovervåking.

Bruk av prøveklusser - kontroll av vekst

Dette er en meget rimelig metode som avklarer om det er utviklingsmuligheter for biologiske skadegjørere. Etter eksponering kan man se om det er oppstått etablering av aktuelle organismer, først og fremst ulike muggsopparter og eventuelt råtesopp. I den grad det forekommer nedbrytning kan man se hvor raskt denne har skjedd. Metoden måler ikke de fysiske forholdene, men gir isteden en avklaring på om det er reelle vekstforhold på det aktuelle stedet.

8.6 Meteorologiske målinger - instrumentering

Værobservasjoner som Meteorologisk intitutt gjennomfører på større målestasjoner omfatter blant annet temperaturmålinger, måling av relativ luftfuktighet og nedbør, vindretning og vindbelastning samt solintensitet. Det er også mulig å etablere lokale målestasjoner som enten instrumenteres etter lokale behov eller ved å benytte enkle, standardiserte værstasjoner som finnes kommersielt tilgjengelige for huseiere. I tillegg kan man oppnå en meget god

registrering med standardloggere for temperatur, relativ luftfuktighet og trefuktighet som er vanlig brukt i mange måleprosjekt.

Etablering av lokale værmålestasjoner ved enkeltbygninger kan være av verdi for miljøovervåking. Målestasjonene bør registrere temperatur, relativ luftfuktighet, nedbør, vind og solinnstråling. Dataene sees i sammenheng med målere for temperatur, relativ luftfuktighet og trefuktighet på og i bygningene.

Vi regner med at Meteorologisk institutt kan beskrive dette mer inngående ved behov.

8.7 Miljøovervåking kombinert med modelleringsverktøy for bygninger

Modellering av fukt og temperatur i bygninger eller deler av bygninger kan være et godt verktøy for å vurdere mulige konsekvenser av endringer i temperatur og nedbør. WUFI er et mye brukt beregningsverktøy for fukt- og varmetransport i bygningskomponenter. Dette systemet gir en god, generell estimering av temperatur og fuktighet, men fordi det er basert på generelle klimadata for enkelte regioner av Norge, er oppløseligheten noe mangelfull. Informasjon fra organisasjonen Byggdoktorene i Sverige (pers med) sier at oppløseligheten blir betydelig bedre hvis det er mulig å legge inn reelle måleverdier fra det aktuelle området eller bygningen som klimagrunnlag for beregningene. I en bygning der det har oppstått skader og man har tilgang til lokale klimadata kan man dermed bruke modellering av konkrete bygningsdetaljer med og uten skader til å kontrollere om modelleringen gir samme resultat som «fasit».

For vernede bygg kan et MOV kobles til et program som beregner en forventet oppførsel av bygget. Dette kan hele tiden korrigeres mot de målereelle data, og hvis en kjører en adaptiv algoritme kan programmet tilpasse seg byggets reelle ytelse. Det være seg ytelse når det gjelder energibruk, fuktnivå, stabilitet og mer. Ved avvik i forhold til forventede verdier kan det utløses en alarm som sier noe om hvilke sensorer som ikke svarer på forventede verdier. En årsak kan for eksempel være at noen har glemt å lukke et vindu eller at et strekkstag har løsnet. Et økt antall sensorer som inngår i måleoppsettet vil medføre økende grad av detaljerte alarmer på hva som kan ha oppstått. En alarm vil ofte utløse et behov for en befaring.

9. Diskusjon og anbefalinger

9.1 Diskusjon

Klimapåvirkning på tradisjonell arkitektur er et helt sentralt spørsmål for norsk kulturminneforvaltning. Automatisk fredete bygninger er noen av de mest verdifulle kulturminnene vi har. De fleste av disse bygningene er så gamle og har en så lang bevaringshistorie gjennom varierende klimaforhold at de vil være svært interessante som referansemateriale ved miljøovervåking. Resultatene og kunnskapen man opparbeider fra en slik overvåking vil også kunne ha overføringsverdi til annen bygningsmasse.

De automatisk fredete bygningene i Norge har forholdsvis store variasjoner i geografisk og klimamessig plassering, og i konstruksjon, materialer, bruk, endring og bevaringstilstand. Som følge av den lange eksponeringstiden disse bygningene har hatt frem til nå, er de fleste problemstillingene omkring bygningsskader godt kjent. Uten endringer i de fysiske forholdene kan man forvente tilnærmet tilsvarende skadeutvikling i fremtiden som det har vært frem til nå. Endringer i klimaet generelt vil gi endringer i de fysiske forholdene i enkeltbygninger som ikke er like lette å forutsi. Resultater fra miljøovervåking i og nær enkeltbygninger kombinert med måledata fra meteorologiske stasjoner kan gi et godt grunnlag for å vurdere sannsynlig effekt av klimaendringene på den bygde kulturarven. Unntak er de samiske kulturminnene og kulturminnene på Svalbard. Disse består for det meste av enkle konstruksjoner som ikke er på langt nær like gamle som middelalderbygningene, og heller ikke like motstandsdyktige mot nedbrytning. Disse må derfor vurderes i et litt annet og kortere perspektiv. Spesielt for Svalbard er også at svært mange av bygningene ligger utsatt til for kyst-/bølgeerosjon. Her bør det derfor også vurderes om det skal være en form for overvåking knyttet til kysterrosjon.

Hvis miljøovervåkingen skal gi verdifull informasjon for forvaltning av bygningene må den rettes inn mot eksisterende eller potensielle skader på bygningsdeler og interiør. Ulike skader har forskjellige utviklingsmønstre. Detaljering av og oppfølgingsintervaller for miljøovervåking av den enkelte bygning, bygningsdel og detalj må avpasses etter hva man forventer vil være de viktigste problemstillingene. Innsamling av data over tid kan bidra til at det er mulig å vurdere om iverksatte tiltak har ønsket effekt. Dette forutsetter referansemålinger i forkant av tiltak og oppfølgende målinger etter at tiltaket er utført. På en tilsvarende måte kan en systematisk miljøovervåking påvise om og hvordan lokalklimatiske forhold i forbindelse med klimaendringer påvirker utsatte konstruksjoner.

En effektiv og hensiktsmessig miljøovervåking for automatisk fredete bygninger forutsetter at man tar hensyn til en rekke aspekter inklusive klima, vær, beliggenhet, kulturhistoriske verdier, bygningskonstruksjoner, bygningsmaterialer og forskjellige typer skader. Samspillet mellom disse er komplekst men likevel nødvendig å forstå, ettersom de alle påvirker hverandre. Tolkning av data fra miljøovervåking krever god og tverrfaglig kompetanse. Dette kan være utfordrende også for spesialister. Sentralt i dette arbeidet står en inngående kjennskap til den aktuelle bygningen og konstruksjonen. En riktig innrettet miljøovervåking gir et nødvendig beslutningsgrunnlag for videre forvaltning og vedlikehold av den bygde kulturarven.

9.2 Anbefalinger

9.2.1 Pilotprosjekt

Vi anbefaler at det gjennomføres et tredelt pilotprosjekt i løpet av kommende år som danner grunnlaget for et mer omfattende miljøovervåkningsprosjekt for automatisk fredete bygninger.

Ved oppstart av pilotprosjektet vil det være nødvendig å hente inn kompetanse fra mange fagområder slik at det blir et velfundert prosjekt basert på bred, tverrfaglig kunnskap. Her kan nevnes behov for kompetanse på materialer og materialbruk, byggeskikk og konstruksjoner, klima og oppvarmingsregimer, bygningsfysikk, bygningsøkologi, bygningsbiologi, overflatebehandling, konservering, kunnskap om den automatisk fredete bygningsmassen i Norge og på Svalbard, klimascenarier og meteorologi. Inneværende rapport vil være et godt utgangspunkt for diskusjonen.

Fullskala og Forenklet MOV

Vi anbefaler å etablere metodikk for miljøovervåking på to nivåer, Fullskala MOV og Forenklet MOV. Fullskala MOV innebærer en grundig forundersøkelse med påfølgende registrering, mens Forenklet MOV innebærer en enklere forundersøkelse og påfølgende registrering.

En Fullskala MOV kan utføres etter følgende mal:

- 1) Definer hensikten med overvåkingen.
- 2) Velg objekter for overvåkingen.
- 3) Definer målet for overvåkingen for hver bygning.
- 4) Samle eksisterende dokumentasjon for hver bygning.
- 5) Registrer tilstand ved oppstart; en grunnleggende bygningsundersøkelse må gjennomføres før oppstart av miljøovervåkingen. Registrert informasjon må dokumenteres slik at den er lett leselig og det ikke gis tolkningsmuligheter.
- 6) På bakgrunn av bygningens egenart og registrert tilstand: Sett opp et sett med parametere som skal overvåkes. Disse vil danne grunnlag for muligheten for å lese av resultater, og er vesentlige for at eventuelle endringer skal kunne avleses/avkodes/følges over tid.
- 7) Vurdering av detaljering og tidsintervall for overvåking, instrumentering, datalagring etc.
- 8) Overvåking/registrering av endring.

Ekspertgruppen i pilotprosjektet må utarbeide tilstandsskjemaer og sjekklister på to nivåer tilsvarende Fullskala MOV og Forenklet MOV for hver av bygningskategoriene. Skjemaene må utarbeides på grunnlag av NS 3424 og NS-EN 16096, med tilpasninger basert på erfaring med de aktuelle bygningene. I avsnitt 8.2 er bygningsundersøkelsen diskutert mer inngående. Ekspertgruppen må også utvikle/sette opp de aktuelle måleparametrene.

Miljøovervåkingen kan gjennomføres med enkle og/eller kompliserte metoder og tekniske systemer, med ulik detaljering og ulike tidsintervaller. Det må gjennomføres en vurdering av hvilket opplegg som er egnet i det aktuelle tilfellet, se avsnitt 8.4 og 8.5.

Ved Fullskala MOV bør det etableres lokale målestasjoner for værdata der dette ikke finnes i tilstrekkelig nære omgivelser. I innværende forslag til pilotprosjekt ligger en avklaring av hvor store avstander det kan være mellom målestasjoner og aktuelle bygninger.

Den dokumenterte bygningsundersøkelsen gir et utgangspunkt som blir referansen for fremtidige overvåkingsresultater. For Fullskala MOV over lengre perioder må det vurderes å etablere et nytt referansepunkt ved å utføre en ny bygningsundersøkelse etter et gitt antall år, eksempelvis en 5-10-årsperiode. De to undersøkelsene må være utarbeidet på samme måte slik at informasjonen er direkte sammenlignbar.

Pilotprosjekt del 1 – Gjennomgang av dokumentasjon

Tilgjengelig dokumentasjon for alle de automatisk fredete bygningene går gjennom, og det lages en oversikt med noen stikkord for hver bygning. Dette vil danne grunnlag for utvelgelsen i senere deler av pilotprosjektet.

Pilotprosjekt del 2a – Fullskala MOV av utvalgte bygninger

For gjennomføring av pilotprosjektet velges det ut et lite antall bygninger bygninger, minimum en mur- og en trebygning. For å redusere antallet parametre velges bygninger med lik bruk, som ikke varmes opp og som ligger i samme klimasone. Her bør meteorologisk kompetanse hentes inn. Det kan være en fordel at bygningene er forholdsvis like i størrelse. Det kan være aktuelt å bruke bygninger på Folkemuseet på Bygdøy til dette, da det her vil være mulig å finne representative bygninger i ulike kategorier innenfor én klimasone. I tillegg kan sammenligning av meteorologiske måleverdier på Bygdøy og Blindern være av verdi for å vurdere hvor store avvik det er mellom to målestasjoner i relativt kort avstand. Kriterier for utvalg av bygninger til miljøovervåking (punkt 2 i malen) gjennomgås i forbindelse med utvalg av pilotbygningene.

Bygningene bør være godt dokumentert og gjerne være bygninger som nylig er vurdert og hvor eier kjenner bygningen. Metode for innsamling av eksisterende dokumentasjon (pkt. 4 i malen) gjennomgås i den forbindelse.

Bygningene undersøkes av en tverrfaglig ekspertgruppe. Metode for bygningsundersøkelse (pkt 5 i malen) gjennomgås i den forbindelse.

Ekspertgruppen utvikler/bestemmer de aktuelle parametrene som skal benyttes i overvåkingen (pkt 6 i malen).

Overvåking etableres og løper ca ett år. Metode for overvåking: målepunkter, registreringsmetoder, instrumentering etc., lagring av data (pkt 7 i malen) gjennomgås i den forbindelse.

Pilotprosjekt del 2b – Forenklet MOV av utvalgte bygninger

Parallelt med arbeidet med 2a gjennomføres det Forenklet MOV på de samme bygningene. På den måten får man helt sammenlignbare data fra de to metodene Dette innebærer at man kan optimalisere metodene i forhold til hverandre og kvalitetssikre registreringer og målinger. Registreringen bør skje i samarbeid mellom spesialister og lokale personer for å avklare eventuelle vanskeligheter i gjennomføring og resultatbehandling.

Pilotprosjekt del 3 - Bruk av eksisterende registreringer

Som et parallelt prosjekt anbefales at man benytter seg av bygninger der det allerede eksisterer data fra miljøovervåking. Dette gir mulighet for samkjøring av data fra miljøovervåking med meteorologiske data fra nærliggende målestasjoner med tanke på avvik mellom datasettene. Tre pågående prosjekter kan gi gode grunnlagsdata (se omtale i avsnitt 5.2 samt i vedlegg). Disse prosjektene må suppleres med utstyr og overvåking, blant annet bør det monteres nedbørsmålere ved de ulike bygningene.

- Tømmerbygning, kystnært på Østlandet
- Tømmerbygning, Vestfold
- Tømmerbygning, Telemark

Pilotprosjekt del 4 - Påbegynne kartlegging av utbredelse av husbukk

Det er sterkt behov for en oppdatering av de 50 år gamle utbredelseskartene for å kunne anslå sannsynlighet for husbukkskader i trebygninger i forbindelse med antatte klimaendringer. Vi foreslår å etablere en hjemmeside der eiere kan registrere adresse, bygningsbeskrivelse og beskrive skadebildet med ord. Hjemmesiden kan med fordel bygge videre på eksisterende plattformer, som f.eks. www.heksesot.com og *Flått og flue*, www.flattoqflue.no. Hjemmesiden skal ha både registreringsmulighet og sørge for informasjon til brukerne. Ved tvilstilfeller kan man be om ytterligere informasjon i form av bilder, tekst, prøver og eventuelt gjennomføre en befaring av utvalgte bygninger. En slik løsning vil gi en rask innledende avklaring av utbredelse og skadeomfang. Ved å engasjere både eiere av automatisk fredete bygninger, antikvarisk verdifulle bygninger og moderne bygninger, får man muligheten for blant annet et stort antall bygninger, en stor aldersvariasjon og ulike materialkvaliteter. Dette sikrer en god oppløselighet i materialet.

9.2.2 Videreføring: MOV med utgangspunkt i resultater fra de tre pilotprosjektene

Etter gjennomføring og evaluering av pilotprosjektet på disse metodene, kan man bruke erfaringene til å utvikle strategi og metode for miljøovervåking av automatiske bygninger generelt. En grundig gjennomgang av hver enkelt av de automatisk fredete bygningene vil være svært kostnadskreven. Vi anbefaler derfor at et lite antall bygninger innenfor hver bygningskategori velges ut til miljøovervåking på nivået Fullskala MOV. Bygningene bør velges ut basert på variert geografisk beliggenhet. I tillegg bør det være variasjon i bygningstype og bruk. Et bredt spekter av ulike bygningstyper som består av laftede bygg, steinbygninger og stavkirker samt både oppvarmede bygninger (bebodd eller i regelmessig bruk) og uoppvarmede bygninger bør være med i utvalget av kartleggingsbygg. Det bør også vurderes om et samisk kulturminne og en bygning på Svalbard skal tas med.

På grunnlag av disse undersøkelsene evalueres framgangsmåte og kriterier for Forenklet MOV, og Forenklet MOV utføres for de øvrige bygningene innenfor hver kategori. For kategorier med svært mange bygninger må det vurderes å gjøre et utvalg også til Forenklet MOV.

Skjema for Forenklet MOV fylles ut lokalt av eier/tilsynshaver etter inspeksjon, gjerne to ganger i året, mens skjemaet for Fullskala MOV fylles ut av en ekspertkonsulent med lengre mellomrom mellom hvert tilfelle, for eksempel hvert femte år. Ekspertgruppen for de utvalgte bygningene i Fullskala MOV må ha et

ansvar for oppfølging av Forenklet MOV og opplæring/instruksjon av utførende personell for Forenklet MOV.

år vurdering er at kombinasjonen Fullskala MOV på utvalgte bygninger og Forenklet MOV på øvrige bygninger vil kunne gi en god mulighet for å følge med på eventuelle endringer og et godt grunnlag for å vurdere eventuelle tiltak.

Referanser

- Alfredsen G, Solheim H, Jenssen KM, 2006. *Råtesopp i norske bygninger*. Agarica 2006, vol. 26, 78-86.
- Austigard MS, Mattsson J, Bjorvand Engh I, Bull Jenssen H, 2014. *Dry rot fungus (Serpula lacrymans) in Norwegian buildings*. Agarica 2014, vol. 34: 19-28.
- Birkemoe, T, 2010. *Husbukk (Hylotrupes bajulus)*. Norwegian institute of public health. Information-sheet of the house longhorn beetle.
- Brischke, C., Bayerbach, R., Rapp, A., 2006. *Decay-influencing factors: A basis for service life prediction of wood and wood-based products*. Wood Material Science and Engineering (1):91-107.
- Cassar, M. and R. Pender (2005). "Climate change and the historic environment", <http://discovery.ucl.ac.uk/2082/1/2082.pdf>
- Climate for Culture, EU FP7, <http://www.climateforculture.eu/index.php?inhalt=furtherresources.software>
- Damman, Å. 2015 *Gamle hus da og nå. Status for SEFRAK-registrerte bygninger i utvalgte kommuner*. <http://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/176495>
- Eaton, RA og Hale, MDC, 1993. *Wood. Decay, pests and protection*. Chapman & Hall, London.
- JPI on Cultural Heritage and Global Change. <http://www.jpi-culturalheritage.eu>
- Gobakken LR, Mattsson J, Alfredsen G, 2014. *The importance of critical in-situ conditions for in-service performance of wood*. Agarica 2014, vol. 34, 29-36.
- Haslestad, A.1991. *Middelalderprogrammet*. I: Vern og virke, s. 38-39 ill.
- Haugen, A.,1997. *Uppvärmning och bevarande av medeltida stenkyrkor. En byggnads-och klimatteknisk studie av naturstensmurverk*. Upublisert Phd, Arkitekthøyskolen i Oslo
- Haugen, A. & Olstad, T.M. 2006. *Kirkeklima, kirkekunst og klimarelaterte skader*. - Ss.283-289 i Egenberg, I.M., Skar, B. & Swensen, G.(eds.) Kulturminner og miljø. Strategiske insituttprogrammer 2001-2005. NIKU Tema (18).
- Haugen, A., Olstad, T. M. 2014. *Hvorledes sikre og forvalte norske kirkebygninger i fremtidens klima. Lomen stavkirke*. NIKU Oppdragsrapport, 177/2014
- Haugen, A., Olstad, T. M. 2014. *Hvorledes sikre og forvalte norske kirkebygninger i fremtidens klima. Pilotprosjekt Skoger gamle kirke*. NIKU Oppdragsrapport, 115/2014.
- Haugen A, Mattsson J, 2011. *Preparations for climate change's influences on cultural heritage*. International Journal of Climate Change Strategies and Management. Vol 3, No. 4, 2011. DOI 10.1108/17568691111175678.
- Huijbregts Z., et al. (2013). *Computer modelling to evaluate the risks of damage to objects exposed to varying indoor climate conditions in the past, present, and future*.
- Hygen, H.O. 2008. *Klimaforhold og klimaendringer i Norden*. Meteorologisk institutt, Oslo.

- Knudsen, P, 1967. *Distribution and Abundance of Hylotrupes bajulus L. (Col., Cerambycidae) and Anobium punctatum de Geer (Col., Anobiidae) along the Sognefjord in West Norway*. Norsk entomologisk tidskrift vol 14, hefte 1, 1967. pp. 44-55.
- Knudsen, P, Bakke, A, 1967. *The present distribution of Hylotrupes bajulus L. (Col., Cerambycidae) in Norway and its Abundance in some Districts*. Norsk entomologisk tidskrift vol 14, hefte 2, 1967. pp. 94-102.
- Kollmann F, Côte W, 1968. *Principles of wood science and technology*. Springer-Verlag, Berlin.
- Krøgli, SO, Puschmann, O, Eiter, S, Wallin, HG, Dramstad, W, 2012. *Langtidsovervåking av fredete kulturmiljøer*. Oppdragsrapport fra Skog og Landskap 16/2012.
- Ł. Lasyk, M. Łukomski, T. M. Olstad, A. Haugen, *Digital Speckle Pattern Interferometry for the Condition Surveys of Painted Wood: Monitoring the Altarpiece in the Church in Hedalen, Norway*. J. Cultural Heritage, 13S (2012) 102-108
- Leblanc, F. (ICOMOS), 2011.
http://ip51.icomos.org/~fleblanc/documents/monitoring/doc_monitoring_e.html
- Lisø, K.R, Hygen, H.O, Kvande, T, and Thue, J.V, 2006. *Decay potential in wood structures using climate data*. Building Research & Information 34, 546-551.
- Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1978-06-09-50>
- Marstein, N.; Stein, M. *Advanced Measuring of the Climatic Conditions in the Medieval Wooden Churches in Norway*. Proceedings of the ICOM Committee for Conservation: 8th Triennial Meeting, Sydney, Australia, 6–11 September 1987; pp. 889–896.
- Mattsson, J., 1995. *Råte- og insektskader. Tilstandsanalyse og utbedringstiltak*. FOK-programmets skriftserie nr 23. Norges Forskningsråd
- Mattsson, J, 2004. *Muggsopp i bygninger*. Mycoteam AS, Oslo.
- Mattsson J, Flyen AC, 2008. *Biodeterioration in buildings in Svalbard (Spitsbergen)*. Historical Polar Bases – Preservation and Management. ICOMOS International Polar Heritage Committee. ISBN 978-82-996891-2-0, pp 23-29.
- Mattsson J, Flyen AC, Nunez M, 2010. *Wood-decaying fungi on protected buildings and structures on Svalbard*. Agarica 2010, vol. 29, 5-14.
- Mattsson, J., 2010a. *Råtesopp i bygninger*. Mycoteam, Oslo
- Mattsson, J, 2010b. *Treskadeinsekter i bygninger. Forekomst, påvisning, vurdering og utbedring*. Mycoteam AS, Oslo.
- Mattsson J, Flyen AC, 2011. *Preventive methods against biodeterioration of protected building materials in Svalbard*. Polar settlements – Location, techniques and conservation. ICOMOS International Polar Heritage Committee. ISBN 978-82-996891-3-7, pp 44-50.
- Mattsson, J, Flyen, A.C, 2012. *How can sign of biodeterioration save cultural heritage?* Proceedings at 2nd European Workshop on Cultural Heritage Preservation, Oslo, Norway, September 24 to 26, 2012. Norwegian Institute for Air Research.
- Mattsson J, Austigard MS, 2014a. *Introduksjon til bygningsmykologi*. Agarica 2014, vol. 34, 3-9.

- Mattsson J, Flyen AC, Grønli I, Whist, CM, 2014b. *Muggsoppskader på Svalbard*. *Agarica* 2014, vol. 34, 101-109.
- Mattsson J, Whist CM, Nunez M, Austigard MS, 2014c. *Salt (NaCl) as protection of Historical Wood against fungal deterioration*. *Agarica* 2014, vol. 34, 93-99.
- Mattsson J, Grønli I, Whist CM, Ødegaard AT, 2014d. *Muggsoppsporere i luftprøver*. *Agarica* 2014, vol. 34, 69-76.
- Mattsson J, Austigard MS. 2015. *Fungal decay and microclimate in log constructions at Røros, Norway*. 1st International Symposium on Building Pathology, Porto.
- Mattsson J, Stensli OM. 2015. *Microclimate in Norwegian historic buildings and damages caused by the House Longhorn Beetle (Hylotrupes bajulus)*. 1st International Symposium on Building Pathology, Porto.
- Midtbø, K.H, Haugen, J.E, Køltzow, M.A.Ø. 2011. *Lynstudien - Klimaendringenes betydning for forekomsten av lyn, tilpassingsbehov i kraftforsyningen*. Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo.
- Mycoteam, 2009. *Husbukk - Status og tiltak*. Intern prosjektrapport til Riksantikvaren.
- Myhre, B. 1995. *Introduction to the seminar Sources for Climatic Data in Norden - mainly in the period 1860-1993*. AMS VARIA-24 11-13
- Nunez, M., Sivertsen, M.S., Mattsson, J. 2012. *Indoor mould ecology: Substrate and construction preferences for Actinomycetes and 13 mould genera*. *Healthy Buildings 2012*. Brisbane (In press).
- Oevering, P, Pitman, A.J, 2001. *The impact of global warming of the UK distribution of the house longhorn beetle Hylotrupes bajulus (L)*. The International Research Group on Wood Protection. Paper prepared for the 32nd Annual meeting, Nara, Japan, May 20-25th 2001. IRG/WP 01-10414.
- Olstad, T.M. 1994. *Mediaeval wooden churches in cold climate – parish churches or museums?* in *Preventive Conservation: Practice, Theory and Research*, ed. A. Roy and P. Smith, IIC, London (1994) 99–103.
- Olstad, T. M., Haugen, A. & T.-N. Nilsen. 2001. *Polychrome wooden ecclesiastical art – Climate and dimensional changes*. - NIKU Publications 110: 1-24
- Olstad, T.M. & Haugen, A. 2012. *Kirker og oppvarming- hva skjer?* Meddelelser om konservering 1. 2012. 21-29
- Olstad, T.M, Gustavsen, L., Haugen, A., Stein, M. 2012. *Testing av to skannemetoder for dokumentasjon av limfargedekorerte overflater i Urnes stavkirke*. NIKU Oppdragsrapport nr 14/2012
- Olstad T.M., Kaun, S. 2011. *Limfargedekor og kalkmaleri i norske kirker, utbredelse og tilstand*. NIKU Oppdragsrapport, 274/2011.
- Petersén, A., Martens, V. 2011. *Sammenstilling av miljøovervåkingsundersøkelser frem til 2010 i middelalderbyene Tønsberg, Trondheim og Oslo*, NIKU Oppdragsrapport;55/2011, Riksantikvaren
- Phillips, H. 2015. *The capacity to adapt to climate change at heritage sites—The development of a conceptual framework*. *Environmental Science & Policy* 47: 118-125.
- Riksantikvaren (2012). <http://www.riksantikvaren.no/Norsk/Tema/Bygninger/>

- Riksantikvarieämbetet. 2013. *Klimat- och miljöeffektens påverkan på kulturhistoriskt värdefull bebyggelse*. <http://www.raa.se/kulturarvet/klimat-och-miljo/klimatanpassning-och-kulturhistoriskt-vardefull-bebyggelse/klimat-och-miljoeffektens-paverkan-pa-kulturhistoriskt-vardefull-bebyggelse/>
- Røros municipality, 2014. <http://www.uthusprosjektet.no> Cited 15. January 2014.
- Sabbioni, C., et al., *How mapping climate change for cultural heritage? The Noah's Ark project*. Climate Change and Cultural Heritage, Proc. Ravello Int. Workshop. Centro Universitario Europeo per i Beni Culturali, 2009: p. 37-41.
- Sabbioni, C., P. Brimblecombe, and M. Cassar, *The atlas of climate change impact on European cultural heritage: scientific analysis and management strategies*. 2010: Anthem Press.
- Scheffer, T.C, 1971. *A climate index for estimating potential for decay in wood structures above ground*. Forest products Journal, 21(10): 25-30.
- Sogn avis (Local newspaper), 2013. *Opphevar freding*. Article published January 7th 2013. www.sognavis.no.
- Sollid J.L., Holmlund P, Isaksen K, Harris C . 2007. *Recent warming of mountain permafrost in Svalbard and Scandinavia*. J. Geophys. Res, 2007
- Standard Norge. 2012a. *Norsk Standard NS 3424:2012. Tilstandsanalyse av byggverk*. Innhold og gjennomføring. Oslo.
- Standard Norge. 2012b. *Norsk Standard NS-EN 16096:2012. Bevaring av kulturminner. Tilstandsanalyse av fredete og verneverdige byggverk*. Oslo
- Statistics Norway, 2014. Online at <http://www.ssb.no/a/aarbok/tab/tab-024.html>. Cited 15. January 2014.
- UNESCO. 2007. *Policy document on the Impacts of Climate Change on World Heritage Properties*. <http://whc.unesco.org/en/CC-policy-document/>
- Viitanen, H. 1995. *Models of the critical time of humidity and temperature conditions for the development of mould fungi in pine and spruce sapwood*. IRG/WP 95 – 20066. International Research Group of Wood Protection. Stockholm.
- Wedvik, B., Stein, M, Stornes J.M og Mattsson, J. In press: *On-site Radioscopic Qualitative Assessment of Historic Timber Structures: Identification and Mapping of Biological Deterioration of Wood*. International Journal of Architectural Heritage.
- Wikipedia, 2013a. Online at http://en.wikipedia.org/wiki/Climate_of_Svalbard. Cited 28. November 2013.
- Wishman, E.H. 2007. *Vær og klima over indre strøk av Østlandet 1781-1790. Et bidrag til Norges klimahistorie basert på fire embetsmenns meteorologiske og klimarelaterte observasjoner og andre nordiske kilder*. (Abstract in English). AmS-Varia 46. ISBN 82-7760-133-6.
- Aandstad S, Ryvarden L, 1987. *Aphylophorales on wooden fences in Norway*. Windahlia 17:49-54. Göteborg. ISBN 91-86022-33-4. <http://www.climateforculture.eu/index.php?inhalt=furtherresources.software>

Vedlegg

Insektskader – vurdering av bekjempelse med insektgift

Ved vurdering av skader som er forårsaket av treskadeinsekter som har et larvestadium som lever av treverket, er det viktig å være klar over at bruk av insektgift i automatisk fredete bygninger generelt sett ikke er hensiktsmessig. I et angrep av stripet borebille er det for eksempel maksimalt 3 generasjoner som er tilstede i treverket fordi larven har en utviklingstid på 2-3 år. Med en skade som har utviklet seg mer eller mindre siden en 500 år gammel bygning ble oppført, betyr det at maksimalt 0,6 % av den totale skaden er aktiv og dermed fremdeles i treverket. Man oppnår dermed ytterst lite effekt med en giftbehandling, først og fremst fordi nesten alle insektene allerede har forlatt treverket. I tillegg har insektgift liten inntrengning i treverk, hvorfor man ikke får en dybdevirkning mot eventuelt levende larver. Moderne preparat av insektgift brytes dessuten naturlig ned av oksygen og sollys. Det betyr at en bekjempelse kun har en kortvarig effekt før giften er brutt ned og treoverflaten enda en gang står uten ekstra beskyttelse.

Trevirke – mekaniske egenskaper og holdbarhet

Mekaniske egenskaper til tre

Styrkeegenskapene i tre blir ofte relatert til de mekaniske egenskapene. Etter retningen av de ytre krefter som påvirker et legeme, snakker vi om følgende typer av mekanisk belastning: Strekk, trykk, skjær, bøyning og torsjon. I trevirket har vi de tilsvarende mekaniske egenskaper: Strekkfasthet, trykkfasthet, skjærfasthet, bøyefasthet og torsjonsfasthet. På grunn av trevirkets anisotrope oppbygging varierer egenskapene sterkt i de ulike retningene. Vi skiller mellom Lengde-, radial- og tangentialretning. Mekaniske egenskaper i fiberretning(lengderetning) er høyere sammenlignet med egenskapene på tvers av fiberretning. Faktorer som påvirker mekaniske egenskaper til trevirke er treslag, fuktighet, kvist, helning/vinkel på fiber, densitet, sprekker, vankant, reaksjonsved (trykkved/strekkved), biologiske skader m.m. En treslagsbedømmelse kan fortelle mye om egenskapene til trevirket. De forskjellige treslag har egenskaper egnet til forskjellige formål. Til konstruksjonsformål har løvtrær av type ask, bjørk, eik og bøk gode mekaniske egenskaper, men på grunn av tilgjengelighet, retthet og/eller bestandighet er ofte furu og gran benyttet. For utskjæringer/dekoreringen er myke treslag foretrukket.

De fleste av trevirkets egenskaper avhenger av fuktigheten i virket. Fuktigheten kan variere betydelig i ulike typer virke, samt at det påvirkes av bearbeiding og lagring. Normalt beregnes fuktigheten som massen (vekten) av vann i prosent av tørrmassen til trevirket. I nyhogd tømmer av gran og furu kan kjerneveden ha en fuktighet på 30-40 %, mens yteved har en fuktighet på 110-130 %. I hogstmoden skog vil kjerneveddiameteren utgjøre 50-70 % av tverrsnittet, mens denne vil være lavere på tynningsvirke.

I et stående tre eller nysaget trevirke vil cellehulrommene i yteveden være helt eller delvis fylt med vann, såkalt fritt vann, mens celleveggen vil være mettet av hygroskopisk bundet vann. Summen av fritt vann og bundet vann gir et uttrykk for trevirkets fuktighet. Normalt beregnes fuktigheten som massen (vekten) av vann i prosent av tørrmassen til trevirket. For faste biobrensler angis imidlertid fuktighet gjerne som massen av vann i prosent av fuktig masse. Ved tørking vil først det frie vannet fjernes fra cellehulrommet. Når det frie vannet er fjernet er fuktigheten ca. 30 %, og det er nå igjen stort sett bare bundet vann i celleveggen. Dette kalles fibermetningspunktet. Videre tørking av virket bidrar til at virket krymper, mekaniske egenskaper forbedres og den elektriske ledningsevnen reduseres, samt at faren for angrep av vednedbrytende sopper reduseres.

Holdbarhet/levetid

Kjerneved utgjør den indre delen av veden i en trestamme der det ikke finnes levende celler lenger, og der reservestoffer som f.eks. stivelse er fjernet eller omdannet til kjernevedekstrakter. Kjernevedstoffene i furu gir større motstand mot biologisk nedbrytning. Registreringer av eldre bygninger her til lands tyder på at kjerneved av furu var et viktig kvalitetskriterium for trevirke som skulle brukes i bygningskonstruksjoner utsatt for ytre klimapåkjenninger.

I de fleste tilfeller er råteangrep viktigste årsak til at trevirke brytes ned. Nedbrytningen foregår gjerne i flere trinn, der bakterier, muggsopper og fargeskadesopper deltar i en tidlig fase av nedbrytningen, mens mer aggressive råtesopper overtar på et senere stadium. De fleste råtesopper er avhengig av at trevirket er fuktig for å kunne utvikle seg (trefuktigheten må normalt være over 25

%). Et lavt vannopptak og høy råteresistens er derfor fordelaktig for trevirke som brukes i et utendørs klima, slik som for eksempel til utvendig kledning.

Når det gjelder naturlig holdbarhet til trevirke av ulike treslag bygges vurderingen av denne som regel på praktisk erfaring. I tillegg er naturlig holdbarhet for en del treslag klassifisert i standarden NS-EN 350-2. Dataene i standarden er basert på informasjon som er hentet for treslagets kjerneved i jordkontakt, men også fra ulike andre kilder, innbefattet historiske registre, praktisk erfaring, laboratorieprøvinger og andre data. Klassifiseringen av naturlig holdbarhet omfatter mange av treslagene som vokser i Norge, men en del norske lauvtreslag, deriblant vanlig osp, er ikke beskrevet. En viktig begrensning med standarden er at klassifiseringen normalt gir en indikasjon på yteevnen til treslagenes kjerneved i jordkontakt.

Det aller meste av trevirket benyttes imidlertid i konstruksjoner over bakken uten jordkontakt. Her er miljøbetingelsene for nedbrytning som regel svært forskjellig fra situasjoner der trevirket benyttes i jordkontakt. Blant annet skiller de to bruksområdene seg vesentlig med hensyn på soppflora og fuktighet. Trevirke som brukes utendørs over bakken har normalt mye lengre varighet enn trevirke i jordkontakt. Til tross for disse forskjellene finnes det ikke noe tilsvarende standard som klassifiserer ulike treslags holdbarhet ved bruk over bakken. En rangering av ulike treslags holdbarhet over bakken ut fra inspeksjon av eksisterende bygninger er heller ikke særlig egnet fordi dette i de fleste tilfeller medfører at man studerer materialer som har vært utsatt for ulike påkjenninger som kan overskygge betydningen av egenskapene til trevirket. For å kunne sammenligne holdbarhet til ulike materialer er det derfor viktig å kunne teste disse under de samme miljøbetingelsene i kontrollerte forsøk for å kunne rangere treslagenes holdbarhet. Testresultatene kan videre benyttes i modellverktøy til å bestemme trekonstruksjoners levetid basert på blant annet trevirkets holdbarhet, bygningstekniske spesifikasjoner og klimavariabler. For tiden jobbes det med utvikling av slike modellverktøy.

Testing av holdbarhet – noen resultater

Bruk i jordkontakt:

Det er utarbeidet en standard for testing av trevirkets naturlige holdbarhet: "Tre og trebaserte produkters holdbarhet. Holdbarhet av heltre", NS-EN 350-1.

Holdbarhet til tre mot råteangrep klassifiseres i fem klasser:

1. Meget holdbar
2. Holdbar
3. Middels holdbar
4. Lite holdbar
5. Ikke holdbar

Holdbarheten mot råteangrep for bartrevirke er et uttrykk for trevirkets relative holdbarhet i forhold til yteved av furu (*Pinus sylvestris* L.). Et hvert treslags yteved regnes for å tilhøre holdbarhetsklasse 5 (ikke holdbar) så sant andre resultater ikke er påvist.

Data for de vanligste treslagene i Europa finnes i NS-EN 350-2. Disse bygger på informasjon som er hentet fra ulike kilder, innbefattet historiske registre, praktisk erfaring, laboratorieprøvinger og andre data. Klassifiseringen gir en indikasjon på yteevnen til trevirke i jordkontakt.

Holdbarhetsklasser for noen aktuell treslag i følge NS-EN 350-2:

- Gran (*Picea abies* (L.) Karst.): 4
- Kjerneved av furu (*Pinus sylvestris* L.): 3-4
- Kjerneved av lerkeartene europeisk lerk (*Larix decidua* Mill.), japansk lerk (*L. leptolepis* (Sieb. & Zucc.) Gord.), hybridlerk (*L. x eurolepis* A. Henr.) og vestamerikansk lerk (*L. occidentalis* Nutt.): 3-4
Undersøkelser, både i laboratorium og ved testing i felt, viser at lerkearter som vokser i Russland, slik som sibirsk lerk (*Larix sibirica* Ledeb.), også har en holdbarhet mot soppangrep tilsvarende holdbarhetsklasse 3-4.
- Kjerneved av eik (*Quercus robur* L., *Q. petraea* (Matt.) Liebl.): 2

Bruk over bakken (uten jordkontakt)

De mest kritiske miljøene for holdbarheten til trevirke som brukes over bakken finnes på steder der trevirket er fuktig i lange perioder, slik som nær bakken og i konstruksjoner som skaper vannfeller. I den senere tid har flere forskere innenfor International Group on Wood Protection (IRG) forsøkt å utvikle ulike over-bakke-tester som kan tilfredsstille disse påkjenningene. Flere har funnet lovende resultater ved å plassere testprøvene nær bakken. Nær-bakketesting utsetter testmaterialet for forholdsvis høy biologisk aktivitet samtidig som materialet befinner seg i et realistisk bruksmiljø. Disse testene utsetter trevirket for den hardeste nedbrytningsbelastning som kan forekomme over bakken i praktisk bruk. Dette er hensiktsmessig ut fra at det er under slike forhold at holdbarheten til virke har en viktig betydning.

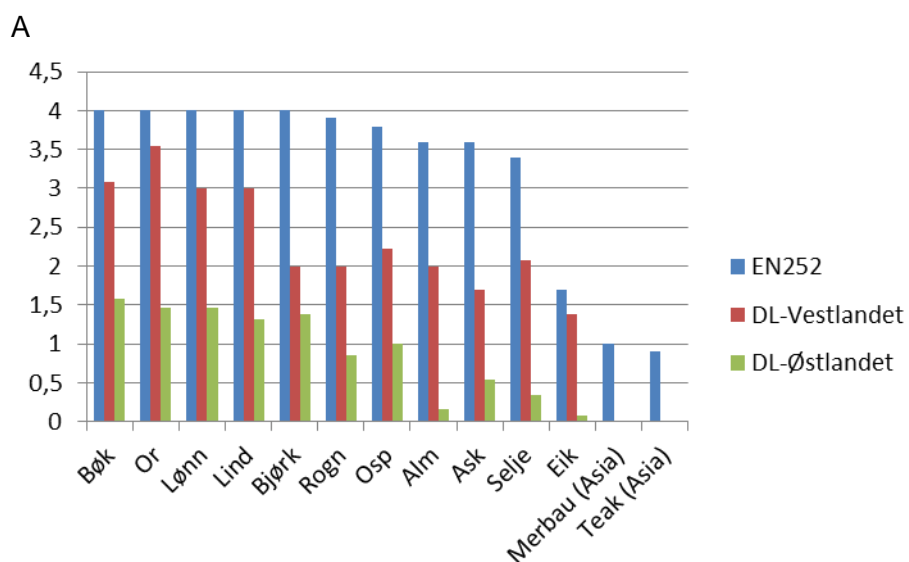
I prosjektet "Klassifisering av norske treslags naturlige holdbarhet – metoder for feltprøving og evaluering av nedbrytningsforløp over bakken" er til sammen flere tusen treprøver testet i laboratorie- og felttester. Prosjektet, finansiert av Norges Forskningsråd, ble gjennomført i samarbeid mellom Norsk institutt for skog og landskap og Treteknisk. I prosjektet har vi valgt å evaluere naturlig holdbarhet til trevirke over bakken ved hjelp av nær-bakke-tester, det vil si at virket har blitt plassert nærme bakken uten å være i jordkontakt i tillegg til at man testet dem i jordkontakt for å sammenlikne.

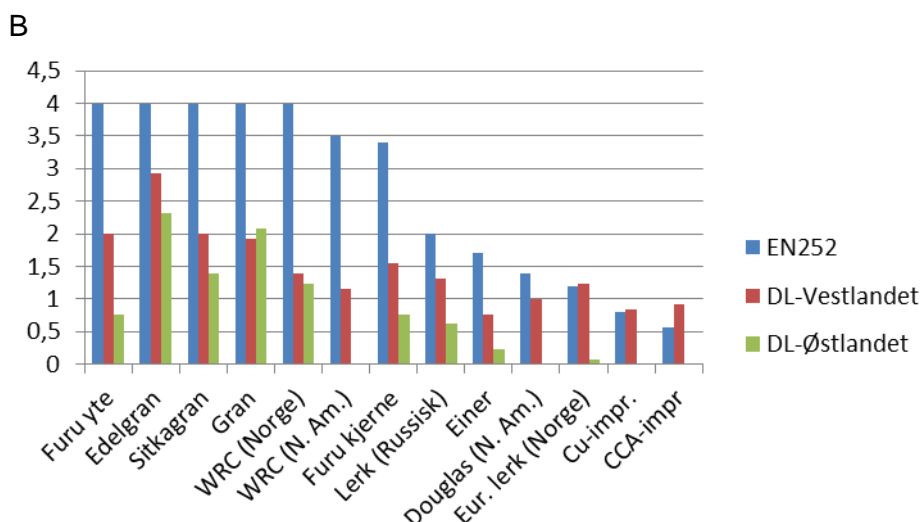
Testing i jordkontakt ble gjennomført på prøvestaver med en dimensjon på 25 x 50 x 500 mm³ i henhold til NS-EN 252. Testing over bakken ble utført som "Double Layer Test" (Figur 1). Her ble prøvestaver med samme dimensjon som ved testing i jordkontakt lagt med flatsidene mot hverandre om lag 20 cm over bakken i to lag hvor de to lagene var faseforskjøvet en halv stavbredde. På denne måten dannes det vannfelle mellom de to lagene. I hver av testene er det benyttet minimum 10 prøvestaver for hver virkestype.



Figur 1. Felttesting i jordkontakt (NS-EN 252) og over bakken (Double Layer Test)

Figur 2 viser resultater etter 6 års testing i feltforsøk i jordkontakt i Treteknisks akkrediterte testfelt, samt i Double Layer i vestlandsklima (Bergen) og i østlandsklima (Ås) som administreres av Skog og Landskap.





Figur 2. Råteangrep etter 6 års testing i jordkontakt (EN 252) og over bakken (DL-Vestlandet og DL-Østlandet). Råtetall 0: Ingen angrep, råtetall 4: prøven knekker under inspeksjon (fullstendig angrepet av råte). A: Lauvtrevirke, B: Bartrevirke.

Resultatene viser, som forventet, raskere nedbrytningsgrad i jordkontakt enn over bakken. I tillegg er virket som er testet over bakken i hovedsak mer nedbrutt i testen på Vestlandet i forhold til på Østlandet. Dette kan forklares med høyere råterisiko i et fuktig vestlandsklima enn i tørrere østlandsklima. I jordkontakt har en del av treslagene blitt fullstendig nedbrutt allerede etter 6 år. Dette gjelder blant annet bøk, or, lønn, lind, bjørk, furu yteved, edelgran, sitkagran, vanlig gran og western red cedar (WRC) vokst i Norge. Disse treslagene hadde en gjennomsnittlig levetid i jordkontakt på 3-4 år. Den laveste nedbrytningsgraden i jordkontakt har kobber- (Cu-impr.) og CCA impregnert (CCA impr.) yteved av furu, selv om mengden impregneringsmiddel i virket kun tilsvarer opptaksnivå for bruk over bakken (klasse AB i henhold til Nordisk Trebeskyttelsesråd).

Prosjektperioden er forlenget over, men forsøkene følges fortsatt opp. Endelig klassifisering av de norske treslagene kan ikke gjøres for alle prøvene har nådd råtetall 4 (knekker). I et norsk klima vil dette ta minst 10 år til. Men for en del av treslagene kan vi gi levetidsklassifisering tidligere. Dette prosjektet har allerede bidratt til artikler ved en rekke konferanser. Presentasjonen fikk overraskende god respons på årets IRG konferanse i New Zealand. Det er fordi levetidsestimering av trekonstruksjoner seiler opp som et viktig forskningsområde samtidig som det per i dag foreligger overraskende få data. Generering av data tar tid. Det vil bli initiert nye forskningsprosjekter for å følge opp og gå mer i detalj på utfordringene og mulighetene knyttet til utnyttelse av naturlig holdbarhet av norske treslag i Norge. I framtidige forsøk må også fuktighetslogging inngå.

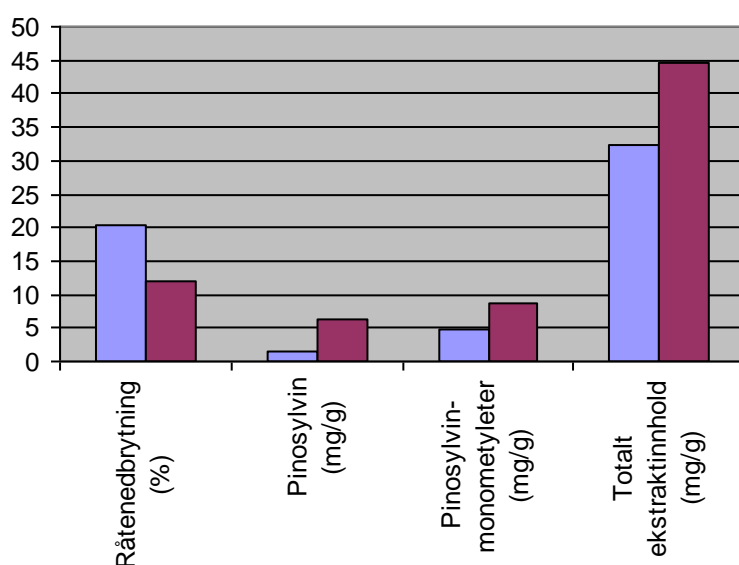
Variasjon i trevirkets holdbarhet

Kjerneved utgjør den indre delen av veden i en trestamme der det ikke finnes levende celler lenger, og der reservestoffer som f.eks. stivelse er fjernet eller omdannet til kjernevedekstrakter. På våre breddegrader regner man med at furu begynner å danne kjerneved ved en alder på om lag 15 år. Det er funnet at selve prosessen knyttet til kjerneveddannelse hos furu foregår i en smal overgangssone tilsvarende om lag en årring. I denne sonen endres vedens struktur og kjemi. Parenkymcellenes vegger lignifiseres og cellevevet settes inn med ulike ekstraktstoffer. Trakeidenes linseporer blokkeres, de aspirerer, og

kommunikasjonen mellom disse og cellene i yteveden opphører. Vevet dør, og vedens permeabilitet reduseres. Dessuten avtar vedens fuktighet betydelig.

Ekstraktstoffene omfatter en rekke ulike kjemiske forbindelser, og mange av dem har stor betydning for kjernevedens egenskaper, slik som lukt, farge og motstand mot biologisk nedbrytning. Det blir også hevdet at disse forbindelsene reduserer vedens permeabilitet. Til forskjell fra cellulose, lignin og hemicellulose utgjør ikke ekstraktstoffene en del av selve vedstrukturen, men de finnes i cellehulrom og innleiret i porer. Mengden ekstraktstoffer og sammensetningen kan variere mye mellom ulike typer virke.

I figuren nedenfor er innholdet av pinosylvin, pinosylvinmonometyleter og totalt ekstraktstoffinnhold presentert for to typer furukjerneved. Figuren viser også nedbrytningen av parallelle prøver i en råtetest med brunråtesoppen *Poria placenta*. Det er benyttet gjennomsnittsverdier for alle prøver av de to vedtypene.



Figur 3. Råtenedbrytning (massetap) fra råtetest og innhold av pinosylvin og pinosylvinmonometyleter og totalt ekstraktinnhold i to typer furukjerneved.

Figur 3 viser at kjerneveden fra det ene materialet (blå) i gjennomsnitt er mindre råteresistent enn den andre kjerneveden (lilla), og at dette er assosiert med lavere innhold av pinosylvin og pinosylvinmonometyleter. I tillegg er det totale ekstraktinnholdet i gjennomsnitt lavere i den indre kjerneveden.

Behandling av furutrær på rot for å øke holdbarheten

Hos mange treslag har materialer laget av kjerneved bedre naturlig holdbarhet enn materialer av yteved. Furu er et slikt treslag, men yteveden er derimot lett å impregnere med trevernmidler som bidrar til at motstanden mot for eksempel råte øker. På denne måten kan den lett nedbrytbare yteveden bli forbedret til å få høyere råtemotstand enn kjerneveden. I eldre tider, før impregnering av trevirke tok til, blir det hevdet at furuyteveden ofte ble fjernet i materialer som skulle ha god varighet. Blant gamle tradisjonsbærere og i en del eldre litteratur beskrives også metoder for å behandle furu på rot for å øke virkets holdbarhet. I de senere år har det vært stor interesse for å ta i bruk igjen slike behandlingsmetoder, men god dokumentasjon av effekten av slike metoder har manglet.

Generelt består behandlingen av trærne av å skade stammebarken, for eksempel ved stripebarking (slindebarking) og/eller å fjerne deler av den grønne

krona. Ulike kilder har imidlertid ulike oppfatninger om behandlingsform og – styrke, og hvor lenge trærne må stå etter at de er behandlet blir hos enkelte hevdet å være noen få år mens andre mener opp til 25 år.

En metode for å behandle furutrær ved å skade barken er beskrevet av Ekman i Skogvårdsforeningens Tidsskrift 1903(4/5), side 114-120:

1. Barkingen bør utføres på fritt voksende, kvistfrie furutrær med alder på 60-100 år.
2. Helst tre brede barkingsrander inn til veden. Mellom disse lar en det stå igjen urørt bark på omlag 1-2 tommers bredde. Under hver barkingsrand gjøres et horisontalt innhogg. De gjenstående barklistene tas bort siste året.
3. Utføres barkingen på denne måten oppstår det en tyridannelse i de barkede partiene som blir mest intensiv nærme yten. Tilstrekkelig impregnering, 2 tommer i midten, er dannet etter fem til seks år.
4. Gjennom denne tyridannelsen beskyttes det indre virket omtrent som av et beslag som verner virket mot oppsprekking og råte.

Det blir anbefalt å tilpasse bredden på barkingsranden til trærnes vitalitet. Trær i god vekst med mye kvaeutflod kan barkses hardt, mens det må utføres en mildere form for barking av seint voksende trær.

Ekman begrunner valget av kvistfrie trær med at det er stor kjernevedandel i kvister. Dette fører til at når en kvist blir hogd av, vil såret i liten grad dekkes av kva. Dessuten vil vannet fra yteveden avdunste gjennom kvisten. Dette fører til at cellene dør og de mister derfor sin evne til å vokse over kvisten. Om kvistfri ved er et avgjørende kriterium kan nok diskuteres. Selv om ikke kvisten blir overvokst, vil denne ha en bedre holdbarhet enn vanlig yteved. Ekman mener dessuten at det er gunstig for tyridannelsen med store årringer.

Trolig var det vanlig å kombinere barking og reduksjon av barmassen til trærne. Vreim, 1975, beskriver dette i boka "Laftehus: tømring og torvtekking":

"Dei hogg av toppen og nokre borkremser av treet, men det må stå att 3-4 kvistar øvst som skal dra sevja oppetter i stomnen. Etter vel 2 år er treet heilt kvåegjengi, og dermed er laus ved gjord om til ein feit, varig trestomn. Då var treet daudt, og eit tre skulle helst ikkje fellast levande. Det var ikkje nokon langvarig prosess, og naturen sjølv har frå dei eldste tider gjeve nok av døme som kastar lys over ymse sider av metoden. Han har vore kjend og brukt på Aust-, Sør- og Vestlandet, men er til vanleg ikkje brukeleg no for tida."

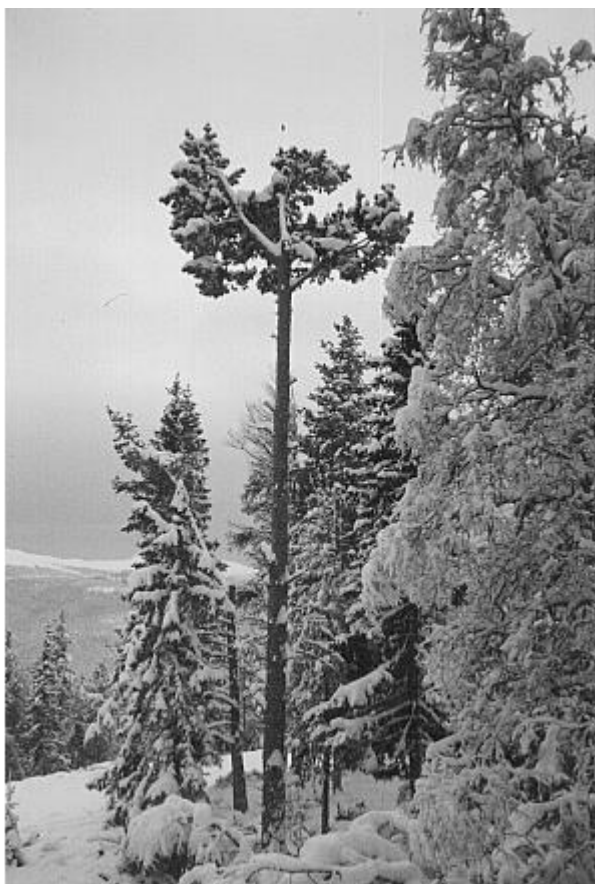
Hvorfor fjerne barmasse og bark?

Barkskade fører til at yteveden i tilknytning til skaden anrikes med kva som danner et mekanisk forsvar mot nedbryterorganismer. I tillegg danner kvaen sammen med fenolske forbindelser, slik som pinosylvin, et kjemisk forsvar mot slike organismer. Denne typen ved må ikke forveksles med den fysiologiske kjerneveden som brer seg perifert fra sentrum av stammen. Den kvaëimpregnerte yteveden kalles i dagligtale tyrived. Den kalles også for patologisk kjerneved.

En teori som er blitt framsatt for å forklare hvorfor man fjerner store deler av barmassen er at dette reduserer vannbehovet til krona. Når vannbehovet minker er det naturlig å anta at trærne også trenger mindre vannledende yteved, og at en større del av yteveden derfor vil konverteres til kjerneved enn normalt.

Erfaringer fra forsøksfelt

På Dovre ble det anlagt to forsøksfelt i 1994. I Numedal er det anlagt tre forsøksfelt i perioden 1995 til 1997, ett felt i henholdsvis Tunhovd, Rollag og Flesberg. På feltene ble trærne behandlet med ulike kombinasjoner av barmassereduksjon og slindebarking. Figur 4 viser et toppkappet og stammekvistet furutre.



Figur 4. Toppkappet og stammekvistet furu.

En del av trærne på forsøksflatene har dødd på grunn av at behandlingen har vært for kraftig. Døde trær har blitt fjernet og det er tatt ut stammeskiver fra disse. Trær som dør kort tid etter første behandling ser ikke ut til å kunne respondere særlig på behandlingen. Disse trærne er i tillegg angrepet av insekter, som muligvis kan være den endelige dødsårsaken. Insektangrepene har medført blåveddannelse og dermed forringelse av virket.

På ett av feltene på Dovre ble det våren 1998 tatt ut 27 trær fra det ene forsøksfeltet og 27 trær fra det andre forsøksfeltet høsten 2000 for å foreta en foreløpig evaluering av de ulike behandlingenes effekt på fysiologisk og patologisk kjerneveddannelse. Ved som var blottlagt som følge av slindebarking hadde et ytre lag på 5-10 mm tykkelse som var kvæimpregnert (patologisk kjerneved). Den kvæimpregnerte veden hadde langt høyere innhold av ekstraktiver og en høyere motstand mot soppnedbrytning sammenlignet med vanlig yteved av furu. Det høye ekstraktivinnholdet kan imidlertid begrense bruksområdene for denne typen ved fordi den svetter kvæ.

Det må settes igjen barkbruer i stammens lengderetning for å kunne holde trærne i live, og for å hindre at veden tørker ut raskt. Produksjonen av ekstraktiver er nemlig avhengig av at det finnes fuktighet i veden. Veden i tilknytning til barkbruene ser ut til å endre seg lite som følge av behandlingen, og følgelig kan dette være inngangsport for råtesopper.

Den fysiologiske kjernevedmengden hadde ikke blitt påvirket på noen måte som kunne tilskrives barmassereduksjonen. Ytevedtilveksten ble derimot markert redusert i trær som var utsatt for sterk kronereduksjon. Det kan derfor tyde på at barmassereduksjon ikke bidrar til å akselerere den fysiologiske kjerneveddannelsen. En forklaring kan være at kjerneveden utvider seg med en forholdsvis konstant årringrate, og at den minskede ytevedtilveksten på den måten fører til at kjernevedandelen øker. Dette vil føre til at det vannledende ytevedarealet etter hvert minker og tilpasses behovet til den reduserte krona. Om dette er tilfellet, så oppnås ingen netto kjernevedtilvekst, men derimot en redusert ytevedtilvekst. Dette vil for mange være vanskelig å akseptere som en vellykket metode i dag, men i eldre tider kan det godt tenkes at dette ikke ble oppfattet som negativt, siden yteveden kanskje skulle fjernes fra bygningsvirket likevel. I tillegg var man vel ikke så opptatt av volumtilvekst.

Det er også mulig at trærne trenger mer tid for å kunne respondere på barmassereduksjonen, noe som forhåpentligvis disse forsøkene kan belyse etterhvert.

Hvorvidt det er hensiktsmessig å behandle furutrær på denne måten i våre dager, kan nok diskuteres, men det er i alle fall viktig å vite hva virket skal brukes til før man vurderer å gå i gang med dette.



Figur 5. Stammeskive fra slindebarket furu.

Figur 5 viser stammeskive fra en slindebarket furu etter tre vekstsesonger. Ytterst i stammetsvernsnittet er det lysere soner med kvaeimpregnert ved. I mellom de lyse sonene ligger barkbruene der veden prøver å vokse over barkskaden. I midten den tørre kjerneveden. I nedre deler av bildet er yteveden tørket ut som følge av at et stort område av barken er fjernet. Kvaeproduksjonen er avhengig av at yteveden ikke tørker raskt ut.

Syrefelling

Med syrefelling menes at trærne felles i vekstsesongen, for deretter å bli liggende en periode med kvistene på. Vanntilførselen avskjæres fra rota mens bladverket fortsetter å transpirere, og på den måten kan vanninnholdet i virket reduseres. Syrefelling av bartrær omtales ofte som tørking på kvisten. Dette er en gammel metode som har vært benyttet til fortørking av skogsvirke. Metoden har vært praktisert i ulike forbindelser, blant annet til vedhogst på våren/forsommeren for å fjerne en del av fuktigheten fra virket gjennom transpirasjon i bladverk, i forbindelse med fortørking av skogsvirke til brenselflis, for å senke vekten på tømmer før fløtning og annen transport. Det blir også hevdet at metoden har vært brukt i forbindelse med hogst av virke til snekkermaterialer og laftetømmer (Godal 1996). I Danmark har syrefelling vært benyttet for å unngå misfarging av bøkevirke som avvirkes i sommerhalvåret (Knudsen & Thomassen 1964). Årsaken til at bøkevirket beholder sin lyshet når det syrefelles, er at den hurtige uttørkingen fører til at margstrålecellenes oksidasjonsfremmende enzymer inaktiveres.

Trevirke med store tverrsnittsdimensjoner er svært utsatt for sprekkdannelser under tørking, noe som er et velkjent problem for mange laftebedrifter. Betydelige sprekkdannelser vil være uheldig på grunn av at styrken i virket vil kunne reduseres, avhengig av konstruksjonstype. I laftede hus vil også sprekkenes føre til uheldig varmegjennomgang i veggene. Ikke minst vil sprekkdannelser være holdbarhetsreduserende på virke som eksponeres for uteklima. Det har lett for å samle seg fuktighet i sprekkenes, noe som fører til at miljøet for råtesopper blir begunstiget. Likeledes kan sprekkdannelsene virke estetisk skjemmende.

I samarbeidsprosjektet "Syrefelling – tørkeforløp og sprekkdannelser" mellom Materialbanken på Røros, Norsk Treteknisk Institutt og Skogforsk ble effekten av syrefelling på tørkeforløp og sprekkdannelser i laftevirke av furu undersøkt. Virket ble syrefelt i slutten av juni og opparbeidet og transportert til sagbruk for kanting til lafteplank på senhøsten samme år. Fuktighetsutviklingen i virket ble målt flere ganger i løpet av to års friluftstørking, og i slutten av perioden ble sprekkeforekomster i virket målt. Resultatene fra undersøkelsen viste ingen effekt av syrefelling sammenlignet med konvensjonelt opparbeidet virke når det gjaldt sprekkdannelser.

Margsprengning/-saging

Margsprengning, som innebærer at man initierer sprekke i virket før tørking, kan bidra til å styre sprekkdannelser i virket til steder der det ikke har så negativ betydning. Teknikken er beskrevet i eldre litteratur som et hjelpemiddel for å redusere alvorlige sprekkdannelser i laftevirke. Det er imidlertid lite som tyder på at dette har vært en vanlig praksis i tidligere tider, og heller ikke i dag blir dette benyttet i særlig utstrekning.

I et prosjekt gjennomført i samarbeid mellom Treteknisk og Skog og landskap ble ulike typer sagsnitt undersøkt for å evaluere effekten på sprekkdannelse i laftevirke (Figur 6).



Figur 6. Lafteplank av furu med ulike typer sagsnitt for å redusere sprekkdannelser i sideflatene.

Resultatene fra denne undersøkelsen viser at å skjære langsgående sagsnitt i lafteplank før tørking av virket kan bidra til å redusere sprekkdannelser i plankens sideflater betydelig. Den største sprekkreduksjonen ble oppnådd ved bruk av motorsag med sagsnitt inn til margin. I disse lafteplankene var gjennomsnittlig sprekkbredde bortimot 60 % mindre enn i de ubehandlede kontrollplankene. Bruk av sirkelsag med sagsnittdybde på 9 cm og 4,5 cm hadde begrenset effekt på gjennomsnittlig sprekkbredde i sideflatene.

Siden margskjæring med motorsag kan gjennomføres raskt, er dette en metode som kan være aktuell å benytte dersom man ønsker å begrense sprekkdannelser i laftevirke under tørkeprosessen.

Riktige virkesegenskaper

Virkesegenskaper/-feil som kan ha betydning for både holdbarhet og dimensjonsstabilitet er blant annet kvist, gankvist, tennarved, årringbredde, krok (langkrok, rotkrok, vinkelkrok, slengkrok, dobbeltkrok), råte, tømmerblått, overflateblått og vridd ved.

Vridd ved er en egenskap som gjerne ikke har vært vektlagt i særlig grad, men undersøkelser i de senere år (for eksempel Forsberg 1999) har vist at fiberhelling har svært stor betydning for formstabilitet til trelast.

Venstrevridd (solvinn) ungdomsved, rettfibret stammeved og høyrevridd aldersved regnes som et vanlig mønster hos de fleste bartrær. Det finnes imidlertid unntak fra dette, og forekomsten av ulike vridningsmønstre er lite kartlagt.

Sterk vridning av fibre kan gi betydelige formendringer under tørking av virket. Tidligere var man opptatt av at tømmer som var venstrevridd ikke skulle brukes i tømmerhus på grunn av at slikt virke er ustabil. Dette underbygges blant annet av et sitat av forstmester P. Kindseth i en artikkel i Dagsposten, gjengitt i Tidsskrift for skogbruk 1927, s 300:

”Nu forekommer der træer som også i ældre alder bibeholder sin dreining med solen (”solvinne”), mens regelen er at de da dreier mot solen (”rangvinne”). Korketrækkeren er altså ”rangvinn”. Gamle tømmerfolk har god greie paa dette. Det heter at en solvinn stokk aldri ligger i ro væggen, den vrir seg ut av maafaret og sprenger ofte naava. Det er ikke bare snak, for slik har det sig. En slik solvinn stok i stuevæggen førte træk og uhygge med sig og blev alt andet end velsignet, kanskje tildelt et mindre hyggelig ophav. At disse solvinne træer møter solen med vikende blik passet kanske ogsaa for saadan avstamning.”

Riktig tømmerkvalitet er derfor avgjørende for å oppnå et godt resultat etter tørking av virket.

I en del konstruksjonsdetaljer har man tradisjonelt benyttet spesifikke materialer. Eksempel på dette er knær (særlig rotknær på grunn av deres sammenhengende fiberforløp). Disse har blitt utstrakt benyttet i sammenføyninger, både i stavkirker, grindverksbygg og båtbygging. I nyere undersøkelser har man testet de mekaniske egenskapene på rotknær, og resultatene viser at tidligere tiders bruk av rotknær har vært tilpasset de egenskapene som forskjellige treslag kan gi.

Andre eksempler på valg av riktige egenskaper er bruk av trelast med stående årringer til bruksområder hvor sprekke-dannelser i trevirket er uheldig og smale årringer, for eksempel tettvekst gran, til utvendig kledning. Gran med smale årringer tar opp lite fuktighet fra nedbør.

Erfaringer fra øyeblikksmålinger - Svalbard



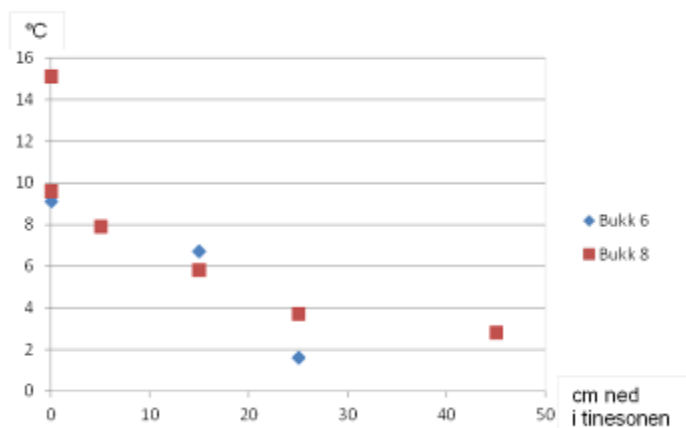
Figur 1a. Fuktmålinger på Svalbard.

Et eksempel fra Svalbard viser at øyeblikksmålinger av temperaturgradienten og den relative luftfuktigheten nedover i tinesonen over permafrosten i bakken medfører en økende sannsynlighet for utvikling av råteskader oppover i tinesonen til noe over jordoverflaten på grunn av økende temperaturer. Dette har stor betydning for å kunne forstå de grunnleggende forutsetningene for råtesopp i tinesonen og hvilke konsekvenser gradienten i bakken kan ha under normale forhold. I tillegg er dette viktig bakgrunnsinformasjon ved risikovurdering av hva som kan skje ved en generell temperaturøkning på Svalbard.



Figur 1b. Fuktmålinger på Svalbard.

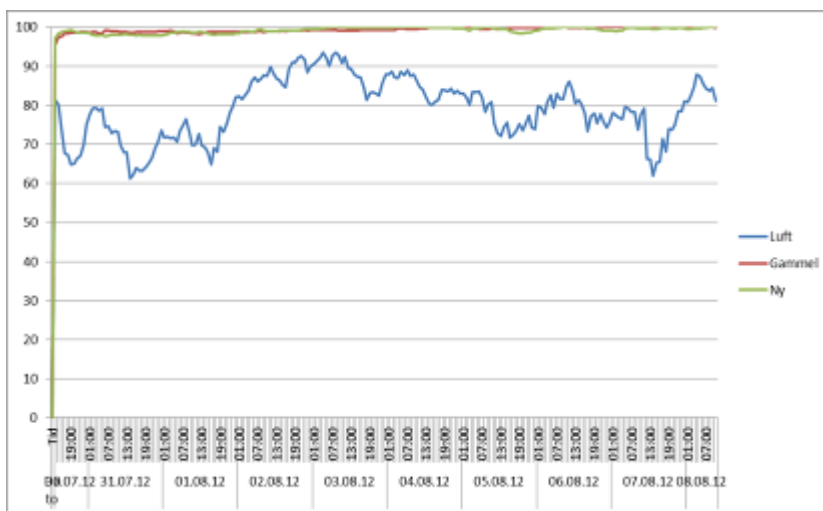
Verdiene som man får ved øyeblikksmåling kan alene gi viktig informasjon. Enda bedre informasjon blir det hvis man setter sammen flere verdier, slik at man tydeligere kan se mønster og forskjeller i ulike eksponeringssteder (figur 2).



Figur 2. Grafisk fremstilling av øyeblikksmålinger av temperatur nedover i tinesonen på Svalbard.

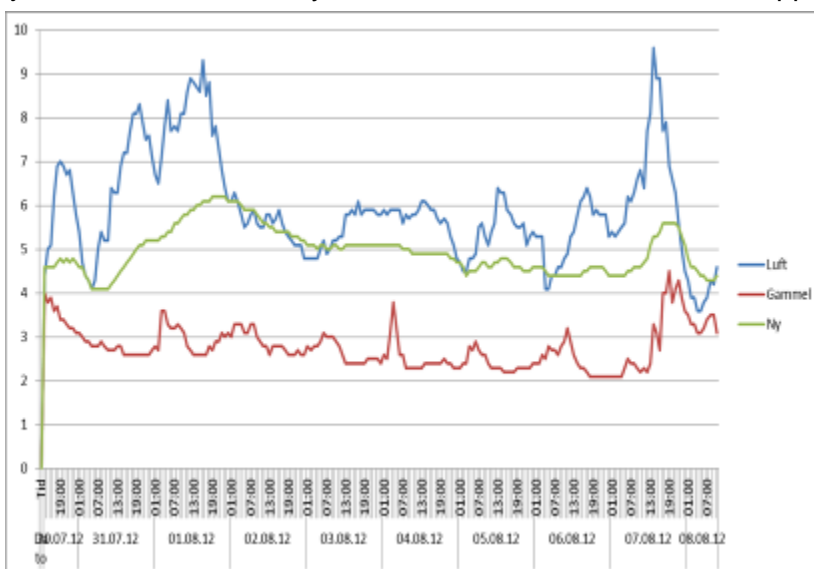
Erfaringer fra korttidslogging - Svalbard

Et eksempel på verdien av en korttidsmåling er en logging som ble gjennomført i løpet av en uke i forbindelse med kontroll av fukt- og temperaturforholdene ved treverket som står i tinesonen på en opprinnelig og en ny taubanebukk til gruve 1b i Longyerbyen. Målingen av relativ luftfuktighet viste at det var like fuktig ved treverket som var rett under jordoverflaten (100% RF) og at de ikke ble påvirket av forholdene i luften (figur 3).



Figur 3. Logging av relativ luftfuktighet i jorden mot nedgravd treverk på opprinnelig og ny taubanebukk til gruve 1B, Longyearbyen.

Loggningen av temperaturen viste imidlertid at det var drøyt to grader varmere i jordsmonnet ved den nye taubanebukken i forhold til den opprinnelige (figur 4).



Figur 4. Temperaturlogging i jorden mot nedgravd treverk på opprinnelig og ny taubanebukk til gruve 1B, Longyearbyen.

Forskjellen i temperaturen i denne målingen skyldes at det ved gjenreising av den nye taubanebukken ble lagt ned en isolasjonsmatte en bit ned underjordoverflaten for å forsøke å redusere tinesonen rundt treverket som står i jordkontakt og på den måten redusere nedbrytningshastigheten. Det ble kjøligere under isolasjonen, men måleresultatene viste samtidig at en sideeffekt var at det på grunn av kombinasjonen av solinnstråling og den underliggende isolasjonen at ble varmere i jorden over isolasjonen. En økning på noen få grader trenger generelt sett ikke å bety så mye, men når det i utgangspunktet er en så lav temperatur at denne har en klart hemmende effekt på utvikling av råteskader, er situasjonen en annen. Loggingen kunne dermed vise at den tekniske endringen av oppbyggingen hadde ført til en økt sannsynlighet for utvikling av råteskader i det nye treverket. Konklusjonen tattet være loggingen ble dermed at man ikke bør gjennomføre slike tiltak i forbindelse med treverk som står i bakkekontakt på Svalbard.

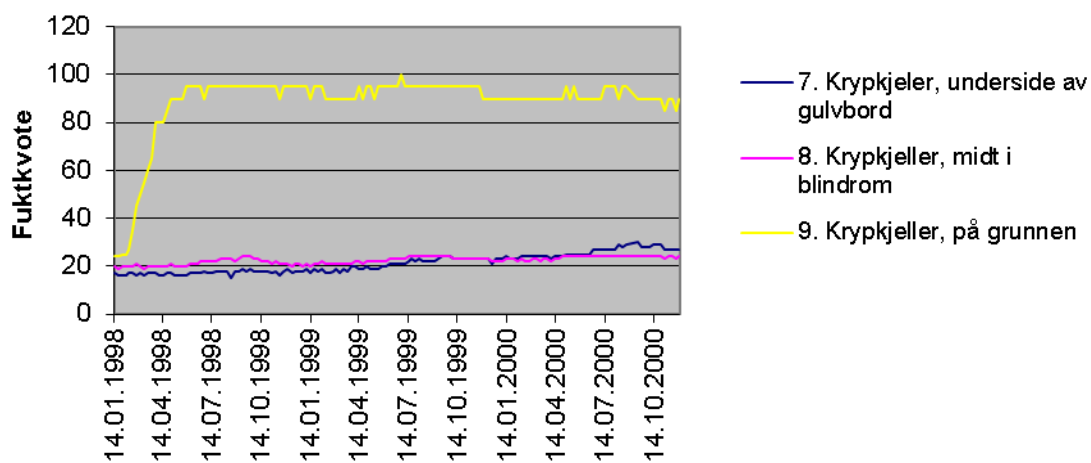
Det er viktig at måleverdier ses i sammenheng med god kjennskap til aktuelle tolkningsmuligheter (fordeler og ulemper) ved for eksempel årstidsvariasjoner, døgnvariasjoner. Dette kan indikere eventuelle endringer i temperaturforholdene i tinesonen eller i materialer og konstruksjoner. Kunnskapen er blant annet viktig for å kunne gjøre en risikoanalyse av faren for råteskader på Svalbard.

Erfaringer fra langtidslogging – Bergen og Svalbard



Figur 1. Prøveklosser, Svalbard og Bryggen i Bergen.

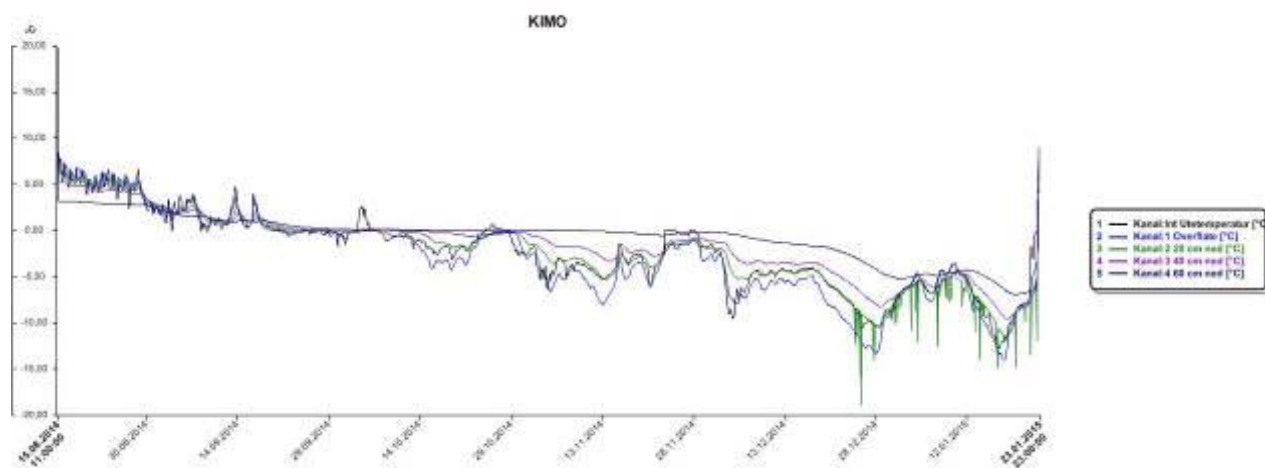
Fuktverdier i krypkjeller



Figur 2. Logging av fuktkvot i treverk gjennom tre år på Bryggen i Bergen



Figur 3. Langtidslogging av temperatur ved en taubanebukk i Longyearbyen



Figur 4. Måling av tilbakefrysing av tinesone ved taubanebukk. Måleperiode august – januar.

Overvåking av trebruer

Statens vegvesen har i de senere årene bygget en rekke trebruer, både som vei- og gangbruer. For å skaffe seg kunnskap om hvordan bruene fungerer over tid, og dermed danne grunnlag for utvikling av prosjekteringsregler, har Vegdirektoratet initiert instrumentering av flere bruer for å undersøke fuktighetsvariasjoner i trevirket, bevegelsen i dekket og spenningen i stagene i de tverrspente dekkene. Det er Treteknisk som har hatt ansvaret for den praktiske gjennomføringen av dette arbeidet.

Siden 2000 er fem bruer utstyrt med instrumenter for overvåking av variasjoner i trefuktighet, bevegelse i dekket og spenningen i stagene i de tverrspente dekkene. De fem bruene er Evenstad bru, Daleråsen bru, Flisa bru, Klemetsrud bru og Måsør bru. Det er benyttet sensorer for måling av relativ luftfuktighet og temperatur inne i trevirket for beregning av trefuktighet. En av årsaken til at man har benyttet slikt utstyr i stedet for elektrisk motstandsmåling er at det ikke finnes gode kalibreringskurver for forholdet mellom elektrisk ledningsevne og trefuktighet impregnert trevirke.

Klemetsrud fotgjenger- og sykkelbru ved Oslo er 87 meter lang og består av 8 spenn, hvorav det lengste er 17 meter. Brua består av et tverrspent dekke av uimpregnert limtre av gran. Det uimpregnerte dekket er kun beskyttet av en membran og asfaltdekke, samt at kreosotimpregnert limtre beskytter ytterkantene. Stolper og tverrbærere er av kopperimpregnert limtre. Grunnen til at et uimpregnert dekke er valgt, er de gode resultatene man har sett fra instrumentering av tidligere bruer. I tillegg til å måle fuktighet i dekket, er det montert lastceller på tre stag i det tverrspente dekket. Det måles fuktighet i 25 mm, 150 mm og 300 mm fra dekkets overflate hver fjerde time.



Figur 1. Klemetsrud bru

Måsør bru er den første trebrua på en Europavei. Den fører Europaveien over elven Figga og er en buebru i tre med flere korte sidespenn innover land. Veilinjen på brustedet har både horisontal og vertikalkurvatur. Buekonstruksjonens spennvidde er 50 meter, målt i veilinjen. På hver side av elven er brua ført videre i form av en viadukt med 4 spenn. Total brulengde er 83 meter. Brubanen utgjøres av et kontinuerlig, tverrspent tredekk over hele bruas lengde. Buens nederste del er av betong med tanke på flomvann i elven. Tredelen av buen er kopperimpregnerte lameller og kreosotimpregnert limtre.

Buen er beskyttet med et kopperbeslag og sjalusi av kreosotimpregnerte bord på yttersidene.

Da dette var en av de første trebruene i et kystklima, ønsket Vegdirektoratet å måle fuktigheten i både buer og dekke.



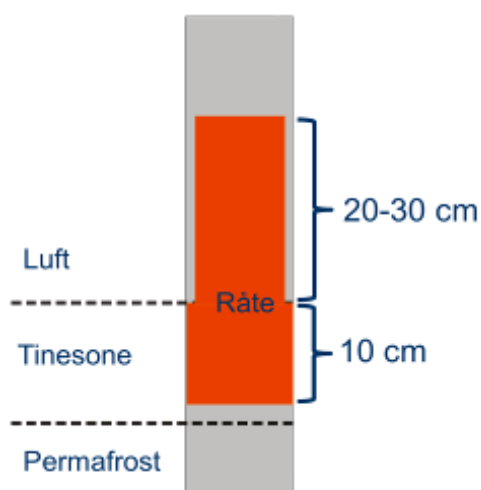
Figur 2. Måsør bru

Trefuktigheten i bruelementene har blitt beregnet basert på de målte verdiene av relativ luftfuktighet og temperatur basert på kalibreringsfunksjoner. Kalkulerte trefuktighetsverdier har i hovedsak ligget under 20 % trefuktighet.

Kalibreringsfunksjonene har imidlertid vist seg å være sensitive for blant annet temperatursvingninger. For overvåkning av trefuktighet i uimpregnert tre bør det derfor vurderes å benytte elektrisk motstandsmåling da det har foregått mye utviklingsarbeid på dette området de siste årene.

Svalbard – bygningsbiologi i et margnalt område for soppskader

Biologisk nedbrytning i arktiske strøk har tidligere vært ansett som et mindre problem takket være ekstremt lave temperaturer og tørre forhold. Vedlikehold og den administrative håndteringen av kulturminner og andre bygninger i denne regionen har blitt påvirket av denne oppfatningen. Imidlertid har nyere forskning de seneste 15 årene (Mattsson et al.) vist at mikroklimaet i både bygninger og materialene kan være overraskende gunstig for biologisk aktivitet, særlig vekst av forskjellige sopparter. Treskadeinsekter har så langt ikke vært observert å være noe problem. Effekten av nedbrytning av bygningsmaterialer fører til et behov for reparasjonsarbeider og forbedring av konstruksjoner for å forhindre videre soppvekst i både nye og opprinnelige materialer.

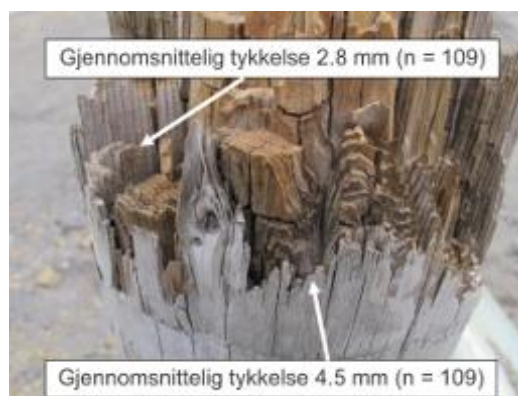


Figur 1. Illustrasjon av hvor råteskadene opptrer i forbindelse med treverk som står i bakkekontakt (fra Mattsson & Flyen 2011?).

Undersøkelser av 60-70 år gammelt treverk i jordkontakt i Longyearbyen har vist et typisk mønster i råteskader, der den ytre delen av treverket er uskadet mens de indre delen er kraftig nedbrutt av råtesopp. Det ytre intakte skallet har en gjennomsnittlig tykkelse på 4,5 millimeter, mens det inne i sprekker i treverket er på 2,8 millimeter. Denne forskjellen kan forklares ved at det er mindre uttørking og ekstreme temperatursvingninger i denne delen av treoverflaten i forhold til de ytre overflatene. En generell temperaturøkning vil ikke endre dette skadebildet, men det indre skadeomfanget og utviklingshastigheten kan forventes å øke.



Figur 2. råtekontroll i stolper på Svalbard.





Figur 3. Taubanebukker med råteskader.

Logging i ulike tidsomfang er gjennomført i flere omganger på Svalbard.

Siden lav temperatur er det som først og fremst begrenser soppaktiviteten, vil en økning av temperaturen ha en vesentlig betydning for sannsynlighet for utvikling av sopp-skader. Man kan dermed forvente at eventuelle klimaendringer i retning av høyere temperaturer i stor grad vil øke sannsynligheten for vekst av muggsopp og råtesopp i fredete bygninger og konstruksjoner på Svalbard.

- Skriv om vanskeligheten og begrensningene i hvordan man kan gjennomføre gode nok målinger.
 - Geografisk avstand.
 - Adkomstmulighet.
 - Formelle søknadskrav.

Lærdalsøyri – Miljøovervåkning med hensyn til en spesifikk organisme (husbukk)

Husbukklarver trenger både en god temperatur og høy fuktkvot i treverket for å ha en optimal utvikling. Dette skulle tilsi at det er mest skader i forbindelse med soloppvarmede trematerialer med fuktbelastning fra nedbør.

I tømmerbygninger i Lærdalsøyri ble det ikke funnet aktive husbukkangrep etter tegn til tidligere husbukkskader i sør- og vestvendte vegger som hadde soloppvarming og periodisk oppfukning fra slagregn. Det ble heller ikke funnet skader i nordvendte vegger, der fuktforholdene er gode på grunn av manglende uttørking ved solinnstråling. Det ble derimot funnet skader i fuktutsatte deler av østvendte vegger.



Figur 1. Soloppvarming i kombinasjon med morgendugg gir gunstige utviklingsmuligheter for husbukklarver på østvegg i forhold til nordvegg. På en solekspontert sør- eller vestvegg er det altfor varmt for larvene.

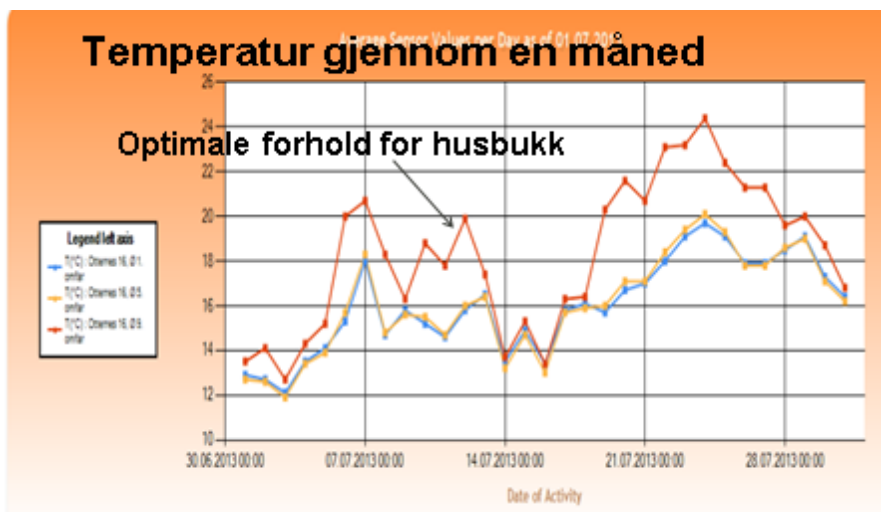


Figur 2. Det er et mønster i skadebildet som ser ut til å kunne stemme med en optimal kombinasjon av soloppvarming og oppfukning.

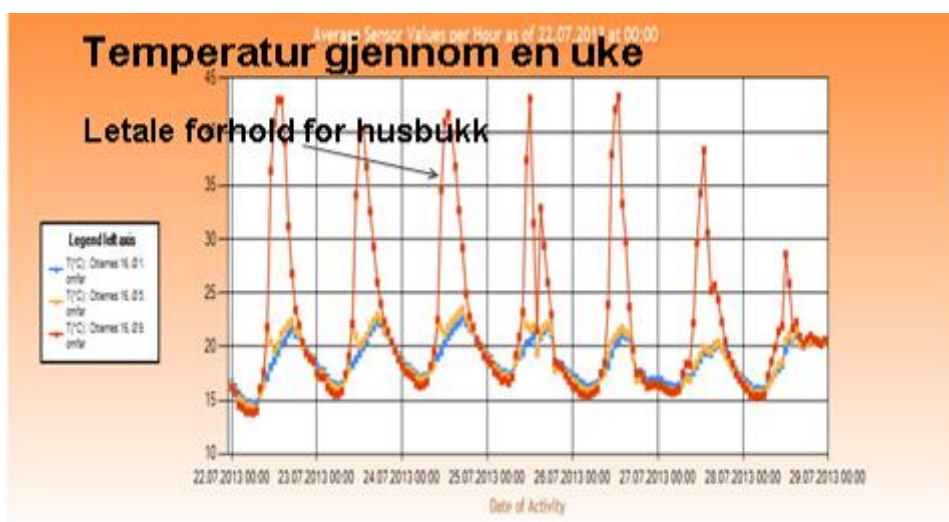
Temperatur og fuktighet i utvalgte punkter er logget over tid. Ut fra loggeverdiene fant man store variasjoner i temperatur, relativ luftfuktighet og fuktkvot i treverket i de ulike målepunktene, også innenfor enkeltvegger. En sørvendt gavlvegg hadde tre ulike klimasoner:

- Øverst i vegg ble oppfuktet ved nedbør, men også utsatt for temperatur som kan være kritisk høy for husbukklarver. Det var lite tegn til angrep i dette treverket.
- Midt på vegg var det en redusert eksponering for både nedbør og solinnstråling. På innsiden av vegg i dette området var det en klar misfarging av treoverflaten og tydelige tegn til et aktivt husbukkangrep.
- Nederst på vegg var det en klart redusert fuktbelastning og lavere temperatur. I disse materialene var det ikke synlige tegn til angrep av husbukk.

Resultatene tyder på at det er gunstige utviklingsmuligheter for husbukklarver i områder med en god oppvarming og jevn fuktbelastning. Samtidig er det dårligere utviklingsmulighet for larver der det er en altfor høy temperatur eller en kombinasjon av høy temperatur og tørre materialer (Mattsson og Stensli 2015).



Figur 3. Temperatur vist med snitt pr. dag



Figur 4. Temperatur vist med snitt pr. time

Overvåking av fuktighet og temperatur ga i dette tilfellet mulighet til å sammenholde mønster i skadebildet og fysiske forhold i trematerialene, noe som ga gode bidrag til å forklare de skadene som er etablert. Dette gir en god mulighet for å både avgrense og skreddersy eventuelle tiltak. Konsekvensen er at man kan oppnå en bedre effekt ved mer avgrensede og mindre kostnadskrevenende tiltak. Samtidig kan man både redusere bruk av insektgift og belastning/utskifting av antikvarisk verdifulle materialer og konstruksjoner.

Fokus ved en miljøovervåking av husbukkskader bør være:

- **Fuktbelastning.** Husbukken har bedre utviklingsmulighet i fuktig treverk enn i tørt.
- **Allerede etablerte skader.** Erfaringene er at hvis enkeltmaterialer først er gunstige for husbukk, er det vanlig at det skjer ny egglegging i det samme materialene istedenfor materialer som ikke er skadet fra før.
- **Gjennomføre bygningsundersøkelse.** Ved å kontrollere hvilke skader som eventuelt finnes, kan man raskt få et godt bilde på «referansenivået» av skader som er utviklet frem til nå. Ved å vurdere angrepets omfang i forhold til bygningens alder, kan man estimere den årligere videreutviklingen av den aktuelle skaden.

Røros – økologi og målinger i utendørs konstruksjoner

Under befaringer av utendørs konstruksjoner på Røros ble det funnet indikasjoner på at temperaturøkning på grunn av solinnstråling hadde betydning for nedbrytning i trematerialene. For å undersøke dette nærmere ble det satt opp levegger slik at man kunne logge temperatur og relativ luftfuktighet i solekspontert treverk og treverk i skyggen (Figur 1). Det ble gjort målinger gjennom tre sommermåneder (Mattsson og Austigard 2015).

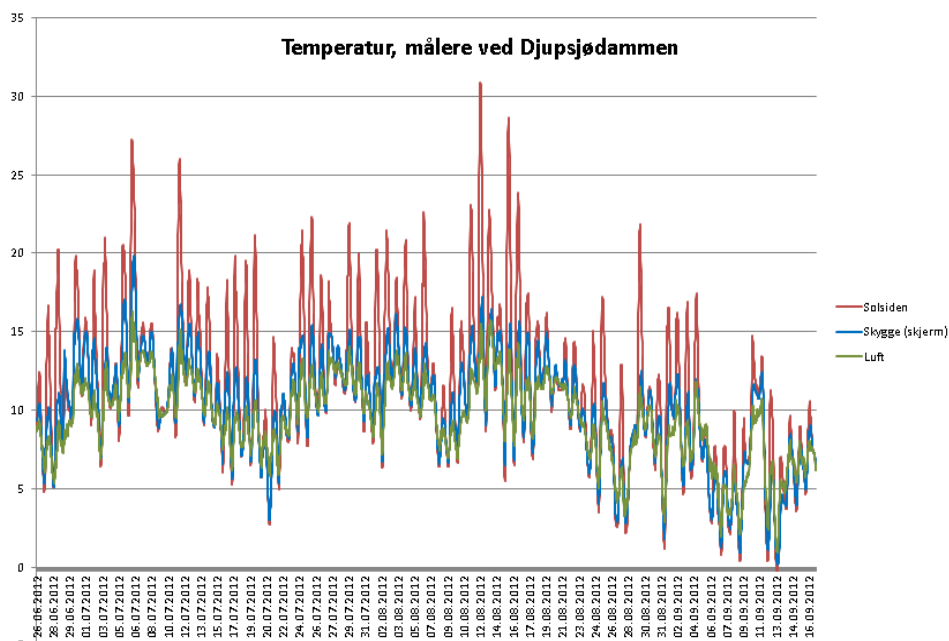


Figur 1. Plassering av loggere sommeren 2012: En logger utenfor solskjermen, og en innenfor. Skjermen er satt slik at den skjærer mot det aller meste av solinnstrålingen, men ikke mot nedbør.



Figur 2. Ved Rambergsjødammen ble loggerne plassert på nord- og sørsida av tømmeret, tilsvarende som ved Langtjønnen i 2011.

Relativ luftfuktighet inne i tømmeret var på 98 - 100 % i hele måleperioden, slik at fukttilgang ikke er en begrensende faktor for biologisk vekst. Resultatet av målingene i ett av punktene er vist i figur x, der man ser at temperaturen er klart lavere i loggepunktet som er plassert bak solskjermen og sjelden overstiger 15 grader Celsius.



Figur 3. Temperatur i tre punkter ved Djupsjødammen, juni-september 2012. Rød strek viser solsiden, blå viser under skygge og grønn viser friluft. Solekspontert tømmer har gjennomgående høyere temperatur enn tømmer som ligger i skygge. I tømmeret bak skjermen er temperaturen sjelden over 15 grader Celsius.

Resultatene underbygger observasjonene av at forskjellen i råteskader mellom soleksponert og ikke soleksponert tømmer er et resultat av temperaturskjeller, og ikke forskjeller i fuktighet. Montering av en eller annen form for solskjerming, evt. planting av skyggevegetasjon, kan være en metode for å forlenge levetiden til tømmer som eksponeres for vær og vind i områder med gjennomgående lav lufttemperatur.

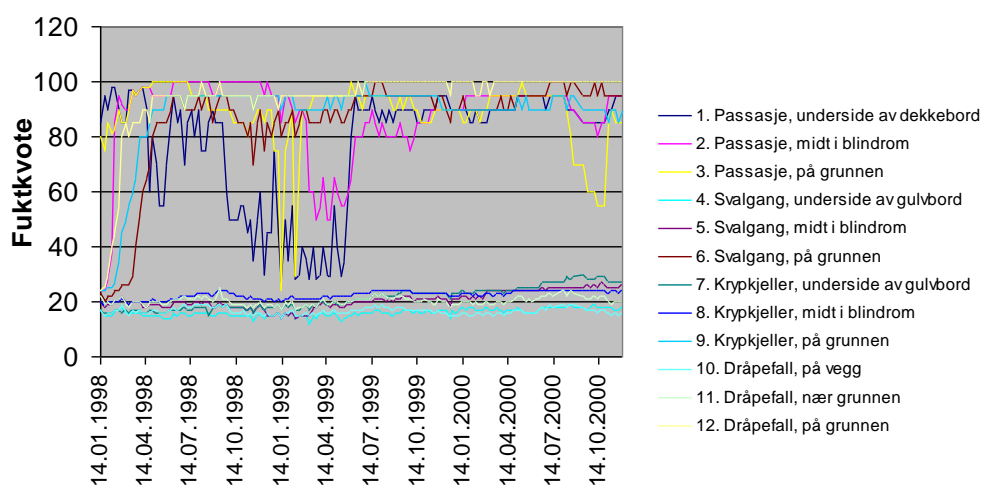
Overvåking av temperatur og fuktighet i disse konstruksjonene ga mulighet til å etterprøve en teori som ble utformet på grunnlag av et observert mønster i skadeutvikling i trematerialer.

Bryggen i Bergen – økologi og målinger i bygninger i et fuktig miljø; fuktighet vs. saltinnhold

I forbindelse med avklaring av mikroklimaet i deler av bygningene på Bryggen i Bergen ble det montert målepunkter for fuktkvotest i prøveklosser. Klosser ble plassert regneksonert, ikke regneksonert, i krypekjeller (ikke regneksonert og dårligere gjennomlufting) samt i dråpefallet mellom to bygninger der det ikke var noen nedbør takket være takrenner.

Prøveklossene ble lagt på jordoverflaten i grunnen samt 10 cm respektive 30 cm opp fra grunnen. Avlesning av fuktkvoten i prøveklossene ble avlest manuelt ukentlig i snaut tre år i perioden januar 1998 – oktober 2000.

Samlet oversikt over fuktmålinger



Figur 1. Resultater fra fuktmåling, Bryggen i Bergen.

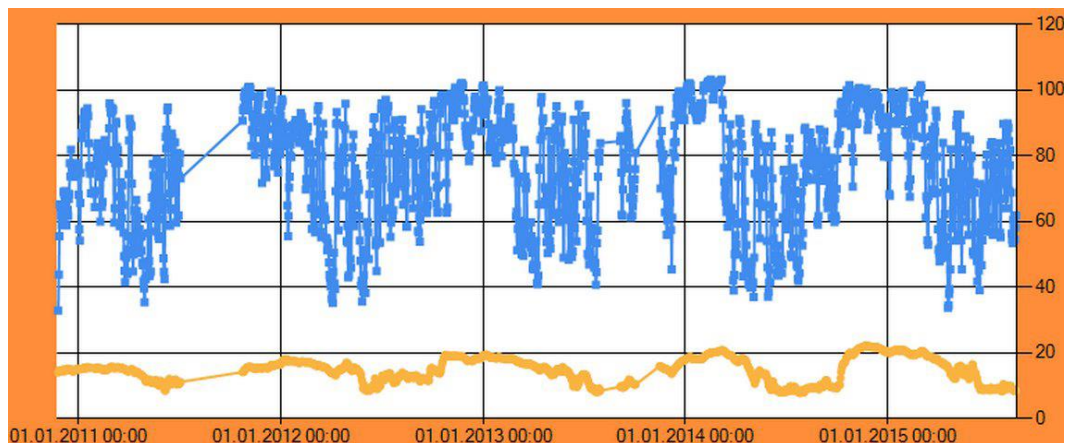
Resultatene viser at de målepunkter som var i treklosser på jorden samt de som var regneksonert hadde svært høye fuktverdier (stort sett godt over fibermetningspunktet) i hele måleperioden. Tilsvarende viste det seg at de målepunktene som var skjermet fra nedbør og opp fra grunnen hadde en stabil fuktkvotest i underkant av 20%.

I måleperioden ble det samtidig plassert sterile treklosser av gran på grunnen med tre forskjellige forutsetninger; ren jord, jord med et askelag og jord med saltlag. Det viste seg at det i løpet av eksponeringstiden ble en vesentlig variasjon i skadebildet. Treklossene på jorden fikk en tydelig misfarging og begynnende råteskader. De treklosser som var på askelaget fikk en enda kraftigere misfarging og begynnende nedbrytning. Treklossene som var på den saltholdige jorden hadde en kraftig anrikning av salt på treverket, men ingen tegn til biologisk aktivitet.

Prosjektet viser at utplassering av sterilt åtemateriale, i dette tilfellet treklosser, kan være en enkel og effektiv versjon av langtidsovervåking av vekstforhold for skadegjørere.

Laftet tømmerbygning, kystnært på Østlandet. Byggeår ca 1890

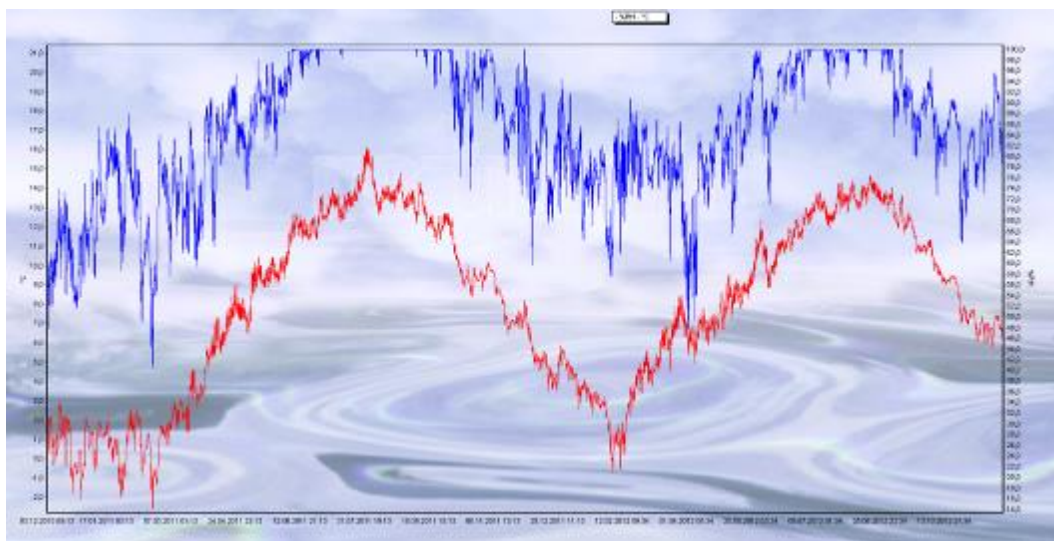
Mycoteam har inspisert flere laftede tømmerbygninger som har hatt en tilsynelatende akselerasjon av råteskader innenfor en kort tidsperiode. Benyttet malingsprodukt ser ut til å være en sterkt medvirkende årsak til skadeutviklingen. I tillegg ser plassering (både lokalt mikroklima, himmelretning og regional plassering ser ut til å ha betydning for skadeutviklingen. Ved en av disse eiendommene, har Mycoteam detaljerte observasjoner over flere tiår. I tillegg er det igangsatt fuktlogging av ytterveggene med ulike overflatebehandlingssystemer. Loggingen har pågått i ca 5 år og pågår kontinuerlig.



Figur 21. Fuktovervåking av utvendige laftestokker. Kurver viser logging av trefuktighet (oransje kurve) og relativ luftfuktighet (blå kurve). Resultater fra 2010-2015. Registreringer over tid gir nyttig kunnskap om risiko for utvikling av skader.

To laftede trebygninger i innlandsklima (Telemark og Buskerud)

Flere av de gamle trebygningene som er en viktig del av den norske kulturarven er bygget med bjelker rett mot eller i nærheten av grunnen. Vi har sett en rekke eksempler på at slike bygninger etter flere hundre års bygningshistorie har lite skader eller at skadeomfanget ikke er kjent. To lokaliteter med en slik historie er inspisert av Mycoteam senere år. Ved et av tilfellene opphørte bruken (og dermed også oppvarmingen) av bygningen for om lag ti år siden. I det andre tilfellet kan tiltak med isolering av gulvene (og dermed redusert varmetap til grunnen) ha vært en medvirkende årsak til akselerert skadeutvikling. Ved begge disse eiendommene er det montert fuktlogging av kryperom og bjelkelag med kontinuerlig overvåkning.



Figur 1. Fuktlogging krypekjeller des 2010- nov 2012. Blå kurve viser relativ luftfuktighet. Forhøyede fuktverdier i sommerhalvåret (mai-september). Samme mønster i 2011 og 2012. Kritiske forhold for utvikling av soppskader.

Teglbygning med takkonstruksjon i tre, byggeår ca 1870

I forbindelse med planlagt etterisolering av etasjeskillet mellom 2. etasje og loftet ble det gjort en grundig undersøkelse av bjelkelaget. Det ble funnet til dels omfattende råteskader, som førte til store utbedringskostnader og uforutsett forlengelse av prosjektet. Sannsynlig årsak var langvarig oppfuktning på grunn av kondensering, men det var uklart om noe av årsaken også kunne være inndrev av fuktighet på grunn av slagregn.

For å bringe på det rene hva slags eksponering etasjeskillet ble utsatt for etter etterisoleringen ble det etablert fuktlogging i vegg, bjelkelag og etasjeskillet. Veggene er totalt 60 cm tykk, og det ble montert sensorer for relativ luftfuktighet og temperatur 10, 25 og 40 cm inn i veggene. I innmurte bjelkeender ble det satt inn sensorer for trefuktighet. I isolasjonssjiktet i etasjeskillet ble det montert sensorer for temperatur, relativ luftfuktighet og trefuktighet. Trefuktsensorene ble skrudd inn i treklosser som ble lagt i isolasjonen på etasjeskillet, under et øvre vindspærresjikt.

Resultatene etter to år med logging viser generelt at relativ luftfuktighet i teglveggen holder seg på under 70 %, og at den følger temperaturutviklingen slik at temperaturen er lav når relativ luftfuktighet er høy. I én periode økte relativ luftfuktighet i teglen selv om temperaturen var økende i samme periode, og mest i ytre del av veggene. Tidsrommet samsvarte godt med en periode med uvanlig mye regn i området. Til tross for ekstra fukttilførsel i denne perioden kom aldri relativ luftfuktighet i teglen over 70 %, og det var ikke mulig å registrere utslag på trefuktigheten i bjelkeendene.

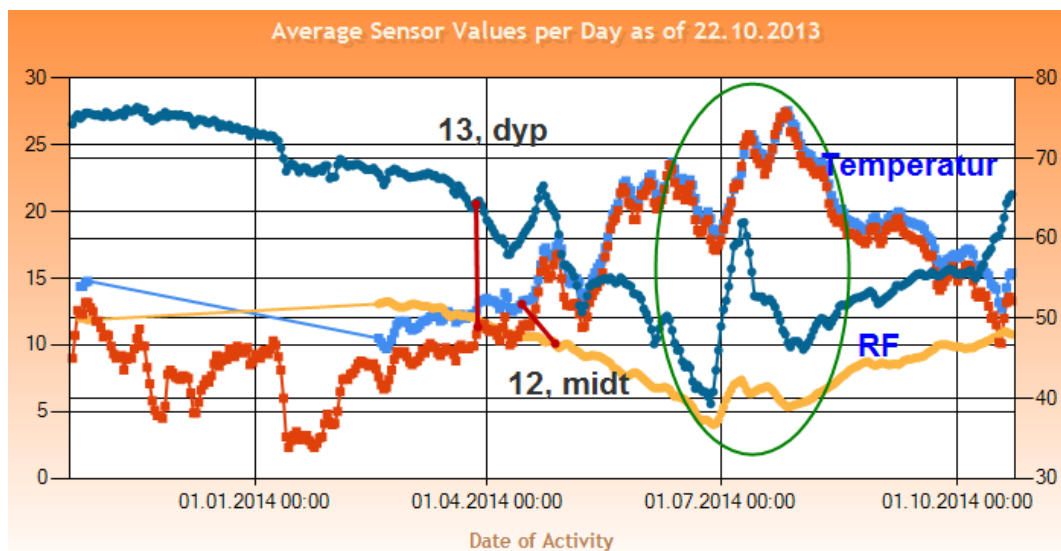
Overvåking av fuktighet og temperatur i flere dybder i teglveggen kombinert med trefuktighet i etasjeskillet gir mulighet til å registrere effekten av etterisoleringen på sannsynligheten for nye råteskader i bjelkeendene. I tillegg vil dataene gi god oversikt over effekten av eventuelle klimaendringer i form av for eksempel økte nedbørmengder.



Figur 1. Fuktensensorer monterte i bjelkeende. Sensorene består av korte skruer kablet til sender for dataoverføring.



Figur 2. Sensorer for temperatur og relativ luftfuktighet i teglveggen. Sensorene er boret inn til tre ulike dybder.



Figur 3. Dataene fra sensorer i tre dybder i teglveggen viser at fuktigheten økte i en periode da temperaturen også økte, spesielt ytterst i veggen («dyp»). Det var store nedbørsmengder i området i denne perioden.

Lomen stavkirke - Østlandet, innenlandsklima.

I forbindelse med istandsetting av stavkirkene og Stavkirkeprogrammet (2001-2015) ble det i 2005 gjort utbedringer av blant annet nordvestre stav i Lomen stavkirke. Staven er plassert i nærheten av jordbakken. Det ble påvist skader forårsaket av ekte hussopp i en stav som er opp mot 900 år gammel. Det har ikke vært vesentlige endringer i konstruksjonen eller bruken av kirken. Det er derfor urovekkende at det relativt plutselig oppstår alvorlige råteskader. Skaden ble spunset og reparert lokalt og det ble igangsatt et enkelt loggeprosjekt for å registrere fuktforholdene i utvalgte trekonstruksjoner mot grunnen. I dette tilfelle vil logging av trefuktighet i utsatte områder være av stor verdi for å vurdere risiko for utvikling / videreutvikling av skader i utsatte konstruksjoner.

En utvidet beskrivelse av resultater og erfaringer er oppsummert i vedlegg.

Skisse av loggingen i krypegrunnen og nedre del av staven er vist i figur x. Det fremgår der at det er kritisk høye fuktverdier i treverket i bunn av den reparerte staven og ellers i krypekjelleren (figur 4).

Dataene fra fuktmålingene i Lomen stavkirke illustrerer at det er ugunstig å etablere en nyreparert konstruksjon med et gjenstående fuktproblem.

Figur 4. Logging av fuktkvot i treverk ved Lomen stavkirke i løpet av tre perioder i 2005 – 2012. Horisontal grå linje ligger på 18 % og indikerer kritisk trefuktighet.

