

Fuktteknisk vurdering av etterisolerte trehus frå før 1960

Eivind Dalseg

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2015

Hovedveileder: Stig Geving, BAT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg, anlegg og transport



NORGES TEKNISK-
NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET
INSTITUTT FOR BYGG, ANLEGG OG TRANSPORT

Oppgavens tittel: Fuktteknisk vurdering av etterisolerte trehus bygd før 1960	Dato:09.06.2015		
	Antall sider (inkl. bilag): 78		
	Masteroppgave	x	Prosjektoppgave
Navn: Eivind Dalseg			
Faglærer/veileder: Stig Geving			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere:			

<p>Ekstrakt:</p> <p>Etterisolering av trehus fører med seg ei rekkje problemstillingar knytt til fuktighet i veggsjiktet. Gamle trehus er ofte avhengige av ein viss varmetransport gjennom veggen for å turke tilstrekkeleg ut. Målet med denne oppgåva er å undersøkje korleis ulike parametrar påverkar fuktbalansen i veggsjiktet. Samstundes er det utarbeidd ein oversikt over kva kunnskap som allereie finnst på området. Berekningane er gjort i WUFI pro. 5.2. Faktorar som ulike dampspærresjikt, klima, isolasjonstjukkuleik og tjukkuleik på laft er undersøkt. Resultata syner at det krevjast tilstrekkeleg kompetanse dersom det skal gjennomførast tiltak lik dei som er omskrive her. Det er gjort simuleringar på innvendig og utvendig isolering av laft, samt innvendig isolering av reisverkshus (med og utan innblåsing i holrom).</p> <p>Fleire eldre bygningar er under strenge verneomsyn, noko som resulterer i betydelege avgrensingar i moglege tiltak. I tillegg er tre eit levande materiale, noko som gjer at konstruksjonen endrar seg over tid. Samtidig varierte og byggeskikken med geografien i mykje</p>
--

større grad før i tida. Dette skaper utfordringar, og eit behov for tilstrekkeleg kunnskap om veggsjiktet før ein kan sette i gong etterisoleringstiltak. Resultata i denne rapporten syner stor variasjon i fuktighet basert på ulike oppbyggingar av veggsjiktet. Dampsperresjikt er og ein viktig del av dette, og bør i hovudsak baserast på veggjukkelleik og klima. Det er og knytt store utfordringar til fasadar med ulufta kledning, då spesielt med tanke på reisverk. I slike tilfelle bør det vurderast om kledningen bør utførast på nytt dersom bygget ikkje er verna.

Stikkord:

1. Etterisolering

2. Fuktsikkerhet

3. Trehus

4. WUFI

(sign.)

Forord

Denne masteroppgåva er utarbeida våren 2015 ved institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU. Tema for oppgåva har vore fukttekniske vurderingar av etterisoleringstiltak på eldre bygningsmasse. Vurderingane har vorte gjort på bakgrunn av simuleringar gjort i WUFI pro 5.2. Oppgåva oppstod som følgje av prosjektarbeid gjort av underteiknande hausten 2014, der litteratur om energioppgradering av liknande bygg vart gjennomgått.

Eg vil òg gjerne takke rettleiaren min Stig Geving for utforming og avgrensing av ei spanande og interessant oppgåve. Tips til litteratur og formatering har vore til stor hjelp under arbeidet.

Trondheim den 08.06.15

Eivind Dalseg

Abstract

This report contains information about problems related to moisture in old wooden buildings built before 1960 with added additional insulation. Already known knowledge are gathered and discussed through a literature study presented in this report. Based on this study there are done several simulations on well-known problematic insulation strategies. The simulations are done in WUFI pro 5.2, which is a popular computer tool for mapping heat and moisture transport through constructions. Parameters like different vapour barriers, climate, insulation thickness, cladding and wall thickness are researched. The results of this report shows that there are great challenges related to such refurbishment solutions. Knowledge is the key to success in projects that cover old buildings. It is especially important to map out the existing construction, for example are there any existing vapour barriers, how thick are the walls, etc. All these factors are of great importance when trying to estimate the moisture development inside the walls.

Some other important factors to consider are air and moisture leakages from cracks and spaces due to changes over time in the construction. Wood is a living material, which changes material data based on moisture and temperature conditions. This makes leakages very plausible and very common in old buildings. This report includes the effects of some such problems, and the results show that they critically affect the moisture and temperature conditions in the wall. It is therefore of outmost importance that vapour and wind barriers are placed correct and made as whole as possible and placed correct.

Samandrag

Denne oppgåva tek føre seg fuktproblematikk knytt til ulike etterisoleringstiltak på typiske laft og reisverkshus bygd før 1960. Det er undersøkt kva kunnskap som allereie eksisterer på dette området gjennom eit litteraturstudie. Basert på denne litteraturstudien er det gjort ei rekkje simuleringar på ulike oppbyggingar av veggsjikt i WUFI 1D, der det blant anna effekten av ulike sperresjikt, klima og isolasjonstjukkuleikar er undersøkt. Det er gjort vurderingar av dei ulike løysingane basert på VTT-modellen presentert i (Hukka & Viitanen, 1999). Resultata av denne rapporten syner at det er store utfordringar knytt til etterisolering av gamle hus. Det er viktig at både utførande og prosjekterande har tilstrekkeleg kompetanse ved slike prosjekt. Spesielt viktig er det å dokumentere oppbygginga av veggsjiktet før tiltak vert sett i gong. Gamle sperresjikt, tjukkuleik på berekonstruksjon, type ytterkledning og innvendig panel er alle faktorar som påverkar kva tiltak som ikkje gir opphoping av fukt.

Ved prosjektering av etterisoleringstiltak er det og viktig å take omsyn til utetthetar og endringar i bygningsmassen som følgje av tida. Tre er eit levande materiale som endrar dimensjonar etter fukt og temperaturforhold, noko som gjer at konstruksjonar som har stått ei god stund kan ha endra seg mykje sida dei vart bygd. Det er difor og nytta faktorar som slagregnelekkasjar og luftlekkasjar for å take omsyn til slike uforutsette hendingar. Derimot er det svært viktig å i størst mogleg grad prøve å redusere omfanget av slike, ettersom dei har relativt stor påverknad på fuktforholda i veggsjiktet, då spesielt ved bruk av damptette sperresjikt.

Innhold

Forord.....	iii
Abstract.....	iv
Samandrag.....	v
Figurliste	viii
Tabelliste.....	ix
1. Innleiing	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Formål	1
1.3 Avgrensing	1
1.5 Struktur.....	2
1.6 Metode.....	3
2 Grunnlag	5
2.1 Freding og vern av bygningar	5
2.1.1 Kulturminneloven	5
2.1.2 Plan- og bygningslova.....	5
2.1.3 Bevaringsverdig	6
2.2 Fuktskader	6
2.2.1 Utbreiing	7
2.2.2 Fuktkjelder	8
2.2.3 Soppvekst.....	9
2.3 Berekningsmodellar	11
2.3.1 WUFI pro. 5.2.....	11
2.3.2 Soppvekst.....	12
2.4 Energisparing og økonomi	17
2.5 Etterisolering og fukt – kva kunnskap finnst frå før?.....	18
3 Metode	21
3.1 Generelt	21
3.2 Innvendig isolert laftevegg (case A)	23
3.2.1 Innleiing	23
3.2.2 Oppbygging av veggsjikt	24
3.2.3 Inputparametrar.....	24
3.2.4 Variabeloppsett	26
3.2.5 Monitorposisjonar	27
3.3 Innvendig isolert reisverksvegg med og utan innblåsen isolasjon (case B).....	27

3.3.1	Innleiing	27
3.3.2	Oppbygging av veggsjikt	27
3.3.3	Inputparametrar	28
3.3.4	Variabeloppsett	31
3.3.5	Monitorposisjonar	32
3.4	Utvendig isolert laftevegg (case C)	32
3.4.1	Innleiing	32
3.4.2	Oppbygging av veggsjikt	33
3.4.3	Inputparametrar	33
3.4.4	Variabeloppsett	35
3.4.5	Monitorposisjonar	36
4.	Resultat og vurdering.....	37
4.1	Case A: Innvendig isolert laftevegg	37
4.1.1	Resultat	37
4.1.2	Vurdering	42
4.2	Case B: Innvendig isolert reisverksvegg med og utan innblåsen isolasjon.....	43
4.2.1	Resultat	43
4.2.2	Vurdering	48
4.3	Case C: Utvendig isolert laftevegg.....	49
4.3.1	Resultat	49
4.3.2	Vurdering	53
5.	Konklusjon.....	55
	Referanser	57
	Vedlegg 1: Inputverdiar i WUFI for case A	63
	Vedlegg 2: Inputverdiar i WUFI for case B	65
	Vedlegg 3: Inputverdiar i WUFI for case C	67

Figurliste

Figur 1 Hensynssoner i Trondheim sentrum.....	6
Figur 2 Fordeling av skadekjelder for prosessforårsaka byggskader for perioden 1993-2002 (SINTEF Byggforsk, 2010)	7
Figur 3 Risiko knytt til nedbryting av trekonstruksjonar basert på klimaindeks i (Scheffer, 1971). (Lisø, et al., 2006).....	8
Figur 4 Testhuset bygd i Lund i Sverige.....	13
Figur 5 $f_T(\tau)$ og $f_\phi(\tau)$ saman med isoplettane kalkulera frå desse.....	13
Figur 6 kritisk relativ fuktighet for muggvekst.....	15
Figur 7 Utetemperatur i dei aktuelle byane.....	21
Figur 9: Sinuskurve for "låg fuktbelastning"	22
Figur 8: Sinuskurve for "normal fuktbelastning"	22
Figur 10 Slagregn i høvesvis Bergen (A), Trondheim (B), Røros (C) og Oslo (D)	23
Figur 11 Simulering av kledning	25
Figur 12 «Referansecase» Figur 13 «Referansecase» med kledning.....	25
Figur 14 Maksimal muggindeks gjennom 5.året i ytre del av isolasjon	37
Figur 15 Variasjon i relativ fuktighet i Trondheim.....	38
Figur 16 Variasjon i relativ fuktighet i Bergen	38
Figur 17 Variasjon i relativ fuktighet på Røros	39
Figur 18 Variasjon i relativ fuktighet i Oslo	39
Figur 19 Utturking av laftet i Bergen.....	40
Figur 20 Utturking av laftet på Røros	41
Figur 21 Effekt av slagregnslekkasje	41
Figur 22 Effekt av luftskifte til innvendig side	42
Figur 23 Muggindeks i kritiske punkt for case B	44
Figur 24 Relativ fuktighet med og utan original kledning i Bergen på innvendig side av reisverket (pos. 4/ 5)	46
Figur 25 Relativ fuktighet med og utan original kledning på Røros på innvendig side av reisverket (pos. 4/5)	46
Figur 26 Effekt av ulike dampsperrsjikt i kombinasjon med original kledning innvendig i Trondheim.....	47
Figur 27 Effekt av lufta kledning på tiltak med innblåsing. Relativ fuktighet på bakside av kledning/plate mot innblåst isolasjon (pos. 2).	48
Figur 28 Effekt av lufta kledning på tiltak med innblåsing. Relativ fuktighet i innvendig del av innblåsen isolasjon (pos. 3).	48
Figur 29 Muggindeks i kritiske punkt for case C	50
Figur 30 Relativ fuktighet for ulike tjukkeleikar av laftet i kombinasjon med sperresjikt i Bergen.....	51
Figur 31 Vektprosent vatn i laftet for ulike kombinasjonar av sperresjikt og tjukkeleikar i Bergen.....	51
Figur 32 Relativ fuktighet i Bergen i monitorposisjon 4	52
Figur 33 Relativ fuktighet i Trondheim i monitorposisjon 4	52
Figur 34 Relativ fuktighet på Røros i monitorposisjon 4	53
Figur 35 Relativ fuktighet i Oslo i monitorposisjon 4	53

Tabelliste

Tabell 1 U-verdiar for eldre ytterveggar i tre.....	17
Tabell 2 Variabeloppsett for innvendig isolert laft.....	26
Tabell 3 Oversikt over variablar i case B.....	31
Tabell 4 Variabeloppsett for utvendig isolert laftevegg	35
Tabell 5 Dagar med gunstige vekstforhold ($RF > RF_{crit}$).....	44

1. Innleiing

1.1 Bakgrunn

Det er satt europeiske og nasjonale ambisjonar om å redusere energiforbruk og CO₂-utslepp betrakteleg. For å oppnå desse krava er energioppgradering av eksisterande bygningsmasse nødvendig. Det er i den forbindelse ynskjeleg å oppgradere bygningsmassen til eit nivå nærmast mogleg dagens standard (TEK-10). Dette førar med seg ei rekkje problemstillingar, då særleg knytt til dei eldste bygningane. Ei rekkje av desse er underlagde reguleringar med tanke på bygningsvern som gir restriksjonar på kva endringar ein kan gjer på bygningskroppen. Mange av desse bygningane er bygd i tre og er utan nemneverdig isolasjon. Etterisolering av gamle trehus er eit vanleg og viktig tiltak, men kan føre med seg ei rekkje problemstillingar med tanke på fukt. Dei fleste gamle hus er avhengige av å kunne «puste» for å sikre seg mot muggvekst og råte. Dette er ofte i konflikt med moderne byggeskikk, der bygningskroppen skal vere tettast mogleg. Innføring av nye tettesjikt, samt isolasjonslag, kan slik føre til endringar i temperatur og fuktforhold i veggskiktet. For å unngå råte og muggsopp må ein difor vere særst forsiktig ved slike tiltak. I denne oppgåva vert slike problemstillingar diskutert og vurdert ut i frå simuleringar gjort i WUFI pro 5.2.

1.2 Formål

Formålet med denne oppgåva er å gjennomføre parameterstudiar med fuktberkningsprogrammet WUFI. Dette for å sjå på moglege negative effektar av etterisoleringstrategiar av eldre trehus, eksempelvis veggar i laft, reisverk eller eldre bindingsverk frå før 1960. Desse negative effektane kan representerast ved analyse av fordeling av temperatur og fuktighet i veggsnitta. Det er og hensiktsmessig å belyse kjent kunnskap knytt til tilsvarende fuktproblematikk gjennom eit litteraturstudie for å danne oversikt over oppgåva sitt omfang.

1.3 Avgrensing

Oppgåva er avgrensa til å bare gjelde eldre trehus utan nemneverdige isolasjonslag i veggskiktet. Etersom mineralulla vart eit vanleg bygningsmateriale i Noreg i slutten av 50-åra, er generelt trehus bygd før ca. 1960 aktuelle. Slike bygningar er har ofte lite eller ingen isolasjon i utgangspunktet. Det er i dag større fokus på termisk komfort enn før i tida, og for at mange slik

bygningar skal oppnå dagens standard er etterisolering sentralt. Ettersom det frå gammalt av finnast mange ulike konstruksjonar og materialar, er det her bare aktuelt å sjå på oppbygging og isolering av ytterveggar. Andre problemområde slik som til dømes kryperom og kaldloft er godt dokumenterte gjennom rapportar som til dømes (Kurnitski & Matilainen, 2000), (Airaksinen, 2003), (Hagentoft, 2011) og (Hagentoft, et al., 2008).

Oppgåva er og avgrensa til å bare gjelde enkelte lokalklima og eit utval av bygningsmaterialar. Til dømes er det bare nytta tre ulike sperresjikt (PE-folie, vindsperre og AirGuard Smart), samt to isolasjonstypar (mineralull og pavaflex). Dette på grunn av at desse representerer eit breitt spekter, samt at fleire variablar ville ført til for mange simuleringar. Det er og vald å fokusere på den fukttekniske biten knytt til etterisolering, ettersom energidelen har vore delvis fokuset i andre masteroppgåver, eksempelvis (Aga, 2013).

1.5 Struktur

For å få oversikt over tilstanden til eksisterande bygningsmasse i dag, samt oversikt over problematikk knytt til fuktighet i veggsjikt, er det innleiingsvis i oppgåva gitt ei grunnleggjande innføring i fuktskader og ulike teori knytt til dette. Kapittel to tek utgangspunkt i basisen bak fuktskader, kvifor dei oppstår samt ulike faktorar og berekningsmetodar som omhandlar dette. Det er og tatt med kapittel som kortfatta omhandlar både det økonomiske og energitekniske aspektet ved etterisolering av gamle hus, samt tidlegare forskning gjort dette. Kapittelet inneheld og informasjon knytt til generelt bygningsvern, noko som ofte kan skape utfordring med tanke på tiltak på eldre bygg.

Kapittel 3 omhandlar metode og oppbygging i høve til simuleringsmodellane. Det er delt opp i tre ulike «simuleringscase», der kvart «case» har sitt delkapittel. Desse omhandlar høvesvis utvendig og innvendig isolering av laft, samt innvendig isolering av reisverk med og utan innblåsen isolasjon. Faktorar som gjeld generelt for alle simuleringane er samla i eit eige delkapittel. Her finnast og ein oversikt over kvar ulike kritiske punkt i konstruksjonane er, samt kor monitorposisjonane for kvart oppsett ligg.

Resultata av simuleringane er presenterte i eit eige kapittel 4. Kapitlet tek for seg kvart case (A,B og C), samt diskusjon rundt kvart resultat. Effekten av ulike variablar er ofte presentert i form av figurar og tabellar med tilhøyrande tekst. Det vert og diskutert kva løysingar som er mest praktisk relevante i ulike samanhengar, samt eventuelle fallgruver undervegs.

Mot slutten av oppgåva vert anbefalingane og konklusjonane som følgje av resultatdelen samla i eit eige konklusjonskapittel. Bibliografi og vedlegg følgjer til slutt. Vedlegga består hovudsakleg av eksakte parameterverdiar for kvart oppsett i WUFI.

1.6 Metode

Metodane nytta til informasjonsinnhenting er hovudsakleg basert på «litteraturstudie» og «casestudie,» og er såleis høvesvis både teoretisk og empirisk forankra. Dette vil seie at oppgåva er basert på både erfaringar og «allmenn kunnskap,» så vel som talbaserte data. Innhenting av informasjon til teoridel føregjekk hovudsakleg via leiting i referanselister over relevant litteratur, samt søking i ulike databasar. Desse databasane omfatta for det meste (Google Scholar, u.d.), (SINTEF Byggforsk, u.d.) og (Sciencedirect, u.d.). Desse databasane har generelt eit høgt innhald av rapportar skriva av anerkjente og kvalifiserte forskarar. Rapportane som har vorte nytta i denne oppgåva er generelt å rekne som av høg kvalitet og har god pålitelegheit. Mange statlege rettleiingar frå blant anna riksantikvaren er derimot mykje basert på erfaringar, og har få referansar til forskning. Dette har vist seg å vere ei utfordring i den forstand at mykje litteratur knytt til norsk klima og norske reglar ikkje direkte kan brukast. Det har og vore vanskeleg å finne ein godt dokumentert generell oversikt over eldre bygningar i Noreg.

Det finnast og fleire rapportar som ikkje har vore fritt tilgjengeleg, noko som har resultert i at innhaldet i desse ikkje har vorte gjennomgått. Det kan slik sett vere mykje litteratur som kunne vore relevant, og som absolutt burde vore tatt med i litteraturstudiet, som ikkje er med.

«Casestudiet» er som tidlegare nemnd basert på data produsert av WUFI pro. 5.2. Ein gjennomgang av validiteten til desse dataa er gitt nærmare i kapittel 2.3.1 .

2 Grunnlag

2.1 Freding og vern av bygningar

2.1.1 Kulturminneloven

Kulturminnelova §4 seier blant anna følgjande:

«Automatisk fredet er de til enhver tid erklærte stående byggverk med opprinnelse fra perioden 1537-1649, dersom ikke annet er bestemt av vedkommende myndighet. § 15 tredje og fjerde ledd får tilsvarende anvendelse for automatisk fredete byggverk fra perioden 1537-1649. Dispensasjon fra fredningen kan skje etter § 15 a.» (Klima- og miljødepartementet, 2009)

Kort oppsummera er alle ståande bygningar bygd før 1649 automatisk freda ihht. Kulturminnelova. Freding er det absolutt strengaste form for vern. Eit krav om freding medfører at alle tiltak utover det som er definert som vanleg vedlikehald må godkjennast av myndighetane. Det finnast to typar freding; vedtaksfreding og automatisk freding. Freding gjennom vedtak kan skje dersom bygningsmassen har særskilde arkitektoniske eller kulturhistoriske kvalitetar, ofte i nasjonal samanheng. Eit kjent eksempel på dette er hovudbygningen på NTNU Gløshaugen som vart vedtaksfreda i 1994 (Riksantikvaren, 2004). Bygningar i statleg eige kan og fredast gjennom endringar i «Forskrift om fredning av statens kulturhistoriske eiendommer.» Det mest kjende eksempelet er kanskje Eidsvollbygningen som vart offisielt freda i 2014 gjennom endring. (Klima- og miljødepartementet, 2014)

Ei freding kan gjelde både innvendig og utvendig på eit bygg. Eksempel på innvendig freding kan vere inventar, panel, listverk og liknande. Utvendig er ofte det arkitektoniske uttrykket freda. Dette omfattar spesielt bygningkomponentar som kledning, vindauge, tak, utsmykkingar og liknande. Freding skaper slik sett store utfordringar for energisparetiltak som medfører endringar på bygningskroppen. Kulturminnelova forvaltast av Riksantikvaren, men det er fylkeskommunen si kulturminneavdeling som har forvaltningsansvaret.

2.1.2 Plan- og bygningslova

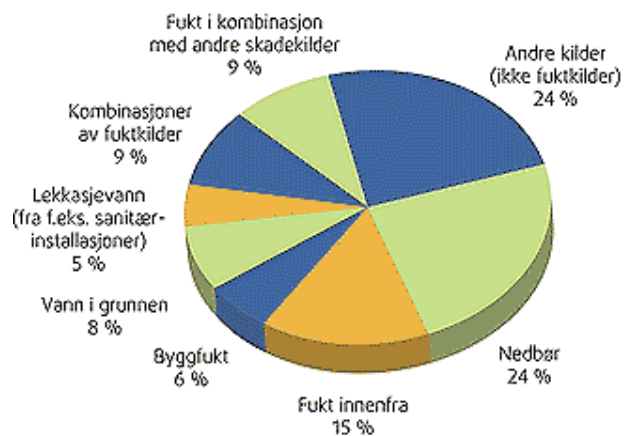
Plan- og bygningslova gir kommunen lov til å gjere om spesielle område til «spesialområde bevaring» ved hjelp av «hensynssoner.» Dette medfører at bygningar i slike område ikkje kan rivast, og i mange tilfelle heller ikkje utføre større endringar utvendig. Innvendig står ein derimot fritt. Dette er spesielt vanleg i byar, der enkelte bydelar har store felles trekk. Figur 1

- Kjemiske
- Fysiske/mekaniske

Biologiske prosessar omfattar typisk muggvekst og råte, medan korrosjon og emisjon av gassar er betekna som kjemiske prosessar. Fysiske og mekaniske nedbrytingsmekanismer er prosessar som typisk fører til dimensjonsendringar, frostsprenging og fuktinduserte spenningar i materialet. Mange av desse prosessane gjeng ofte føre seg samtidig, og krev relativt like fuktforhold.

2.2.1 Utbreiing

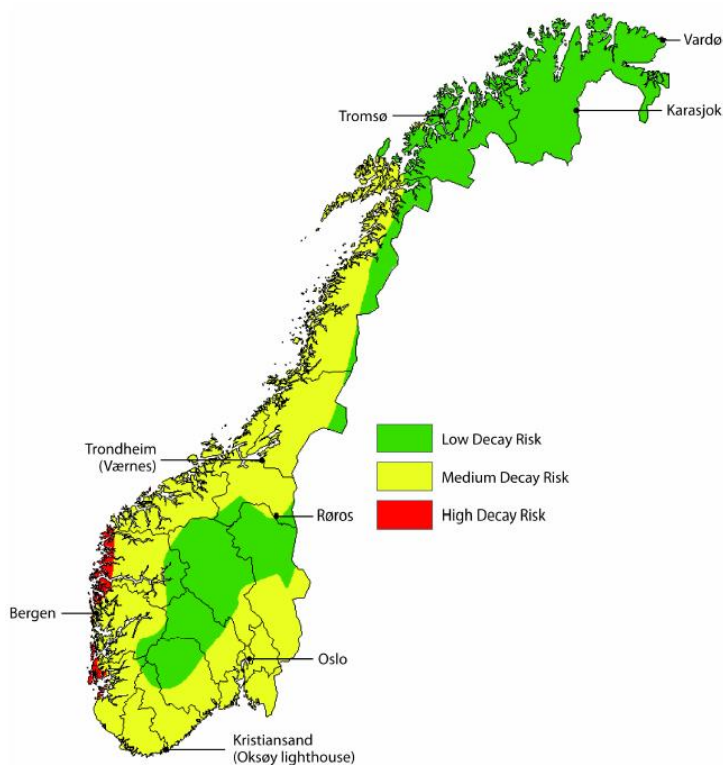
Fuktskader er rekna for å ha stor utbreiing blant eksisterande bygningsmasse. I følgje (Statistisk Sentralbyrå, 2012) bur rundt 8% av oss i bustadar utsett for råte eller fukt. Dette talet har vore relativt stabilt sidan 1980 og har lege stort sett rundt 7-9%. Basert på informasjon frå SINTEF Byggforsk sitt byggskadearkiv oppstår så mykje som 70-80% av alle registrerte byggskader på



Figur 2 Fordeling av skadekjelder for prosessforårsaka byggskader for perioden 1993-2002 (SINTEF Byggforsk, 2010)

grunn av fukt (sjå Figur 2) Figur 2 Fordeling av skadekjelder for prosessforårsaka byggskader for perioden 1993-2002 . Dette utgjer kostnader for fleire milliardar årleg, noko som er svært uheldig. Dette spesielt med tanke på at mange fuktskader greitt kunne vore unngått. (Geving & Thue, 2002) trekk fram følgjande moglege årsaker til at fuktskader oppstår:

- Manglande kunnskap og forståing av korleis konstruksjonen fungerer med tanke på fukt.
- Manglande kompetanse hjå den som utfører arbeidet.
- Ukritisk bruk av nye materialar med lite erfaringsgrunnlag og dokumentasjon
- Kostnad- og tidspress.
- Dårlig kvalitetskontroll.
- Endra bruksmønster som har ført til auke i fuktproduksjonen innandørs
- Bruk av meir eksponert tomteareal.



Figur 3 Risiko knytt til nedbryting av trekonstruksjonar basert på klimaindeks i (Scheffer, 1971). (Lisø, et al., 2006)

Kort oppsummera oppstår dei fleste fuktskader som følge av feil gjort i prosjekterings- og utføringsfasen av bygget. Kompetanseheving og god kvalitetskontroll er difor viktige verktøy å nytte seg av.

(Lisø, et al., 2006) presenterer risiko for nedbryting av konstruksjonar av tre basert på klimadata for 115 ulike stader i Noreg. Ein ser av Figur 3 at stader langs kysten er generelt langt meir risikoutsett enn i innlandet. Samstundes ser ein og at dei kaldaste og tørraste delane av landet

(Finnmark og Troms) kjem positivt ut.

2.2.2 Fuktkjelder

Nedbør

Nedbør utgjør ei viktig fuktpåkjenning på bygningskroppen, då spesielt i form av slagregn. Slagregn vil seie at regnet vert ført med vinden, og får slik sett ein horisontal hastighetskomponent. Kor mykje slagregn som treff ein bygningsdel er avhengig av fleire faktorar, blant anna vindhastighet og –retning, skjerming frå omgivnadane, helling, orientering og størrelse på regndropane. Det finnst fleire modellar for berekning av slagregnpåkjenning. Eksempelvis (Blocken & Carmeliet, 2000) basert på blant anna arbeid gjort i (Choi, 1994).

Luftfuktighet

Veggkonstruksjonen sitt fuktinnhald er og påverka av fuktinnhaldet i lufta. Uansett kor godt utført tettesjikt er, vil det alltid vere ei viss utveksling av fukt med omgivnadene. Fuktinnhaldet i utelufta varierer med årstidene, noko som har samanheng med lufttemperaturen. Den relative fuktigheten (RF) har lågast verdi om sommaren, og størst om

vinteren, sjølv om fuktinnhaldet er generelt størst sommarstid. Denne variasjonen er ofte større i innlandsklima enn i kystklima.

Innelufta derimot varierer basert på mange fleire faktorar. Her kjem bruksmønster og ventilasjon/luftskifte inn i biletet. I eit vanleg bustadhus er det fleire kjelder som produserer fuktighet til innelufta. Kvar person avgjer eksempelvis mellom 40-90g/h ved normal aktivitet og romtemperatur.

Byggfukt

Fuktighet i bygningsmaterialane som vert stengt inne i veggen for tidleg, kan fort føre til fuktskader. Dersom dampette lag vert montert før konstruksjonen rekk å turke ut, eksempelvis dersom treverk og isolasjon har vorte lagra utandørs, kan det dannast gunstige forhold for eksempelvis råte og muggsopp. Det er difor viktig at veggsjiktet har tilstrekkeleg låg fuktighet, noko som kan gjerast ved å varme opp bygget ei viss stund før sjiktet vert stengt att.

2.2.3 Soppvekst

Muggsopp er ei nemning brukt om ei rekkje mikroskopiske soppar som høyrar til ulike kategoriar. Alle desse soppene delar likevel ei rekkje felles faktorar. Dei førekjem alle på overflater av ulike materialar, alle produserer luftborne sporar, alle er avhengige av vatn og dei nyttar lett tilgjengeleg næring for å vekse. Ettersom sporane finnast over alt i lufta, byrjar sporane fort å spire dersom forholda ligg til rette. Hyfar vert danna og formar etterkvart mycel. Sopp er ein del av dei naturlege nedbrytingsprosessane, noko som gjer dei svært ugunstige å ha i bygningskonstruksjonar. (Hunter, et al., 1988) viser at nokon av dei mest vanlege soppsporane ein finn i innelufta kjem i frå *Penicillium* spp., *Gjærsopp*, *Cladosporium* spp. og *Aspergillus* spp. for å nemne nokon. Studien dokumenterer så mykje som 37 ulike soppartar i innelufta i 62 undersøkte hus i England og Skottland.

Som nemnd i førre avsnittet er framveksten av muggsopp avhengig av næringsgrunnlag, temperatur og fuktighet. I tillegg spelar PH-verdien og inn. Tilgangen på vatn i materiala er derimot sett på som den mest kritiske faktoren for vekst. Denne tilgangen er ofte referert til som «vassaktiviteten» (frå her av kalla A_w), og er definert som damptrykket i materialet delt på damptrykket i reint vatn. Kvar soppslag har ulike grenseverdier knytt til denne faktoren,

eksempelvis krev hydrofile typar $A_w \geq 0.9$, mesofile $0.9 > A_w \geq 0.8$ og xerofile artar kan vekse ved $0.8 > A_w$. (Ayerst, 1969) påviste derimot og at fuktnivået for at vekst skal skje er avhengig av temperaturen. Ved lågare temperaturar krevjast det meir tilgang på vatn enn ved høgare temperaturar. Det er gjort fleire studiar som kartlegg faktorar og grenseverdier som påverkar veksten av muggsopp. (Johansson, et al., 2012) dokumenterer kritiske verdiar i relativ fuktighet for vekst på 10 ulike bygningsmaterialar basert på ein kombinasjon av 6 typar muggsopp. Resultata syner ingen vekst ved RF mindre enn 75% over ein periode på 12 veker. Dette samsvarar bra med tal presentert i (Pasanen, et al., 1992) og (Nielsen, et al., 2004).

I tillegg til muggsopp som eit betydeleg problem ved opphoping av fukt i bygningar, er råtesopp og i mange tilfelle problematisk. Råtesopp er sopp som skaffar seg næring og energi ved å bryte ned dødt organisk materiale. Denne typen sopp trivast best i trevirke med fuktinnhald på over 20 vektprosent, helst mellom 30-50% (Carll & Highley, 1999). Råtesopp kan føre til alvorleg svikt i konstruksjonsdelar over tid, og bør takast på alvor tidleg. Fare for råtesopp er derimot ikkje vurdert i denne oppgåva anna enn at det er oppgitt relevante vektprosentar for enkelte sjikt. Det er difor heller ikkje omtala i noko større grad.

Konsekvensane av betydeleg soppvekst kan hovudsakleg delast inn i to delar, ein del knytt til helse og ein del knytt til konstruksjonssvikt. Som tidlegare nemnd finnast soppsporane allereie i lufta rundt oss, og i slike små konsentrasjonar er desse ufarlege for folk flest. Dersom konsentrasjonen av sporar aukar, kan det derimot føre til betydelege helseplagar. Eit samanfattande litteraturstudie (Bush, et al., 2006) presenterer dokumentasjon på klare samanhengar mellom konsentrasjonar av soppsporar i lufta og ei rekkje luftvegssjukdommar. Blant desse er astma, luftvegsinfeksjonar og allergiske reaksjonar. (Park, et al., 2007) peker på liknande samanhengar, og presenterer samstundes målingar av biomassen til hydrofile soppar og stoffet ergosterol i støv som lovande faktorar for å vurdere risiko knytt til muggrelaterte sjukdomar i bygningar. Muggsopp har derimot sjeldan innverknad på sjølve bereevna til konstruksjonen.

2.3 Berekningsmodellar

2.3.1 WUFI pro. 5.2

Berekningsmodellen i WUFI er basert på arbeidet gjort i (Künzel, 1995). Denne modellen har både sine fordelar og ulemper. Eksempelvis inkluderer modellen termisk konduktivitet, strøyming av entalpi gjennom fuktrørsler med faseendringar, kortbølggestråling og kjøling gjennom langbølggestråling om natta, medan konvektiv varmetransport gjennom luftstrøymingar er utelatt. Dette av den grunn at slike luftstraumar er sjeldan ein-dimensjonale, samstundes som dei og er vanskelege å kvantifisere. Som følgje av dette er heller ikkje konvektiv damptransport via luftstraumar tatt med. Andre transportmekanismar som er inkluderte er:

- Dampdiffusjon
- Diffusjon av løysingar
- Kapillær konduksjon
- Overflatediffusjon

Desse mekanismene er i tillegg utelatne:

- Innsig av vatn på grunn av gravitasjon
- Hydraulisk strøyming på grunn av trykkskilnadar
- Elektrokinetiske og osmotiske effektar (strøyming der væske vert tvinga gjennom eit porøst stoff på grunn av skilnad i elektriske ladningar)
- Korrelasjonen mellom salt- og vasstransport

Samtidig ligg det og tydelege feilkjelder i overgangane mellom to kapillært aktive materialar, slik som til dømes teglstein/murpuss. Overgangen vert simulert utan ein overgangsmotstand, noko gjer at fukttransporten er betydeleg høgare enn i røynda. Dette kan derimot simulerast ved å legge inn eit ekstra sjikt i berekningane.

WUFI er som nemnd ovanfor basert på ein forenkla berekningsmodell. Dette gjer at fuktinnhaldet i materialar som endrar materialdata som følgje av fuktinnhald, og òg ofte som følgje av fuktinnhald over tid (eksempelvis tre og betong), ikkje nødvendigvis vert korrekt i alle samanhengar. Det vert difor anbefalt å nytte grenseverdier så nærme praktisk bruk som mogleg.

Med bakgrunn i avsnitta ovanfor kan det kort oppsummerast at det krevjast god oversikt over programmet sine avgrensingar og bruksområdet for å kunne presentere tilnærma nøyaktige resultat. Eksperimentelle data syner derimot godt samsvar mellom berekningsmodellen og faktiske resultat. Modellen tek og bare for seg ein-dimensjonal strøyming. Det er derimot utvikla eit eige program for to-dimensjonale problem, WUFI 2D. Denne oppgåva nyttar bare 1D versjonen, og dette programmet er difor ikkje omtala her.

2.3.2 Soppvekst

Som vurderingsgrunnlag for fare for vekst av muggsopp kan ein nytte seg av fleire ulike modellar. Kvar av desse modellane har fordelar og ulemper. (Vereecken & Roels, 2012) samanliknar nokon av dei mest kjende modellane.

IEA-Annex 14

Dette er ein modell presentert i (International Energy Agency, 1990). Modellen nyttar seg av ein grenseverdi i relativ fuktighet «a.» Denne grenseverdien er definert som ein funksjon basert på sopptype, temperatur og næringsgrunnlag. Verdiane er definert ut i frå *Aspergillus Versicolor* på agar, og gir grenseverdier ut i frå eksponeringstid på høvesvis 1 dag, 1 veke og 1 månad lik 100%, 89% og 80%. Følgjande definerer modellen temperaturforholdet ut i frå formel

$$\tau = \frac{\theta_{s1} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (1)$$

, der:

θ_{s1} svarar til lokal overflatetemperatur

θ_e svarar til temperatur på utelufta

θ_i svarar til innetemperatur

Eit temperaturforhold på $\tau \geq 0,7$ vert føreslått som kriterium relatert til ein akseptabel risiko for muggvekst mindre enn 5%. (Hens, 2006) indikerer derimot at dette kriteriet ikkje bør nyttast for klima i andre land. Samstundes får og modellen kritikk for å bare indirekte ta omsyn til fuktighet.



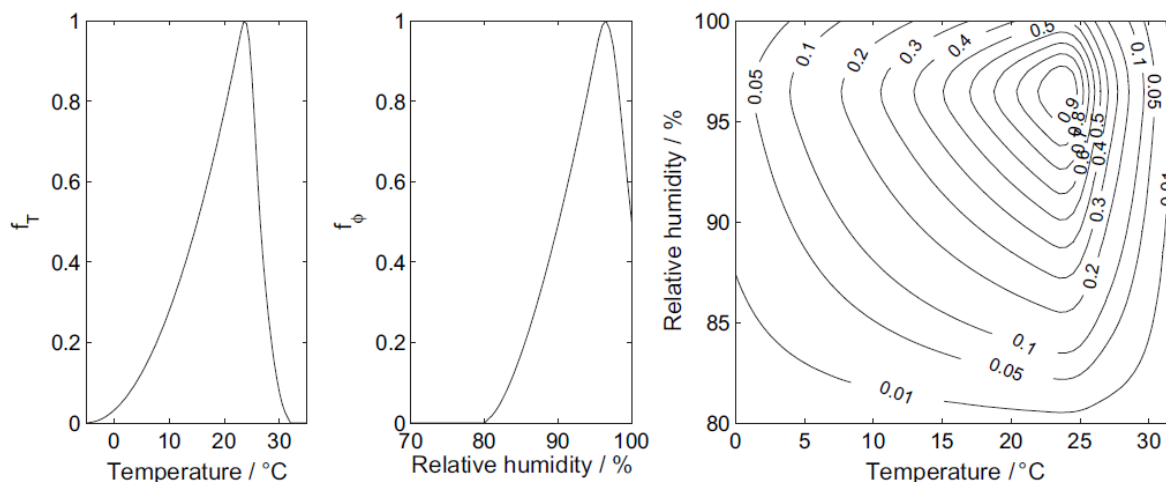
Figur 4 Testhuset bygd i Lund i Sverige

Denne modellen tar utgangspunkt i målinger gjort på fasadane til eit testhus i Lund i Sverige (sjå Figur 4). Forsøket vart gjort over ein periode på 20 månadar, og tok føre seg effekten av termisk tregleik, farge og orientering. Kvar fasade hadde byttbare fasadeelement på 1050x2100mm (raudt og kvitt område på figur). Forsøket resulterte i tre føreslåtte indeksar, derav ein enkel innandørs indeks (1) og to avanserte (2 og 3). Den første

indeksen I_1 er basert på at mugg bare veks over ein viss grenseverdi (φ_i) i RF i romtemperatur. Indeks 1 (I_1) er kalkulert som den brøkdelen av tida som RF (φ) er lik eller over denne grenseverdien.

$$I_1 = \frac{\int_{\tau=t_0}^{t_1} f(\tau) d\tau}{t_1 - t_0}, f = \begin{cases} 1 & \rightarrow \varphi(\tau) \geq \varphi_i \\ 0 & \rightarrow \varphi(\tau) < \varphi_i \end{cases} \quad (2)$$

Den andre indeksen (I_2) nyttar to funksjonar, høvesvis $f_T(\tau)$ og $f_\varphi(\tau)$, til å beskrive påverknaden frå både temperatur og relativ fuktighet. Funksjonane er presentert i Figur 5.



Figur 5 $f_T(\tau)$ og $f_\varphi(\tau)$ saman med isoplettane kalkulera frå desse.

Formelen for I_2 ser slik ut:

$$I_2 = \int_{\tau=t_0}^{t_1} f_T(\tau) f_\varphi(\tau) d\tau \quad (3)$$

I den tredje indeksen (I_3) er det tatt med ein funksjon som tek omsyn til periodar med ugunstige vekstforhold der $f_T(\tau)$ og/eller $f_\varphi(\tau)$ har vore lik 0. Med andre ord avgrensar funksjonen vekstraten for indeksen når organismen har vore utanfor vilkåra sine for vekst.

$$I_3 = \int_{\tau=t_0}^{t_1} f_r(\tau) f_T(\tau) f_\varphi(\tau) d\tau \quad (4)$$

$$f_r = \begin{cases} 0 \rightarrow f_T f_\varphi = 0, \text{ har vore sant i løpet av } t_r \\ 1 \rightarrow \text{ellers} \end{cases} \quad (5)$$

VTT

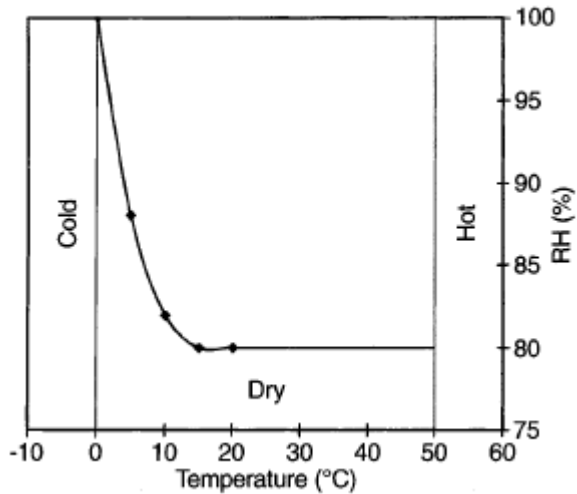
Denne modellen baserer seg på eksperimentelle data i (Viitanen, 1997), (H & Ritschkoff, 1991) og (Viitanen & Bjurman, 1995). Det vart gjort forsøk på små trebitar (7 x 15 x 50mm) av omnsturka ytterved av gran og furu. Denne modellen er brukt i resultatkapittelet.

Modellen rangerer muggvekst ut i frå følgande verdiar:

- 0 Ingen vekst
- 1 Litt vekst, bare mogleg å påvise med mikroskop
- 2 Moderat vekst, bare mogleg å påvise med mikroskop
- 3 Mogleg å sjå litt vekst med auga
- 4 Mogleg å sjå vekst som dekker over 10%
- 5 Mogleg å sjå vekst som dekker over 50%
- 6 Mogleg å sjå vekst som dekker rundt 100%

Basert på eksperimentelle data vert det presentert ein funksjon for kritisk relativ fuktighet. Denne funksjonen representerer den lågaste verdien for relativ fuktighet som gir moglegheit for muggvekst over lang nok eksponeringstid og er representert i Figur 6.

$$RH_{crit} = \begin{cases} -0.00267T^3 + 0.160T^2 - 3.13T + 100.0 & \text{når } T \leq 20 \\ 80\% & \text{når } T > 20 \end{cases} \quad (6)$$



Figur 6 kritisk relativ fuktighet for muggvekst

Modellen presenterar og ein grenseverdi for maksimal dekningsgrad som følgje av fukt og temperaturforhald. Muggvekst fører eksempelvis ikkje alltid til synleg mugg, uansett kor lang tid som går. Denne grenseverdien er presentert i formel 7.

$$M_{max} = 1 + 7 \frac{RH_{crit} - RH}{RH_{crit} - 100} - 2 \left(\frac{RH_{crit} - RH}{RH_{crit} - 100} \right)^2 \quad (7)$$

For å beskrive faktorar som påverkar livsløpet til muggsoppen, deler modellen inn i vekst ved gunstige og ugunstige forhold. Ved gunstige forhold kan vekstraten beskrivast ved hjelp av formel 8.

$$\frac{dM}{dt} = \frac{1}{7e^{(-0.68\ln T - 13.9\ln RH + 0.14W - 0.33SQ + 66.02)}} k_1 k_2 \quad (8)$$

, der:

k_1, k_2 korreksjonskoeffesientar

T temperatur [$^{\circ}$ C]

RH relativ fuktighet [%]

W Treslag (0=furu, 1=gran)

SQ Overflate (0=nysagd, 1=omnsturka)

M Muggindeks

t tid [d]

Koeffisientane k_1 og k_2 korrigerer første del av formel 8 til å gjelde når $M > 1$. (Viitanen, 1997) presenterer i den forbindelse basisfaktorane t_m og t_v . t_m representerer responstida (i veker) det tek før vekst byrjar på ei treoverflate under konstant temperatur og fuktighet. t_v definerer responstida (i veker) for synleg muggvekst ($M=3$).

$$t_m = e^{(-0.68 \ln T - 13.9 \ln RH + 0.14W - 0.33SQ + 66.02)} \quad (9)$$

$$t_v = e^{(-0.74 \ln T - 12.72 \ln RH + 0.06W + 61.50)} \quad (10)$$

k_1 og k_2 er presentert i formel 11 og 12

$$k_1 = \begin{cases} 1 & \text{Når } M < 1 \\ \frac{2}{t_v/t_m - 1} & \text{Når } M > 1 \end{cases} \quad (11)$$

$$k_2 = 1 - e^{[2.3(M - M_{max})]} \quad (12)$$

Ved ugunstige forhold, altså ved $RH < RH_{crit}$, presenterer (Viitanen, 1997) følgjande vekstrate beskrive i formel 13. Datagrunnlaget for denne likninga kan det derimot setjast spørsmål ved. Likninga er basert på bare eit fåtal forsøk gjort over ein turkeperiode på mellom 6 timar og 14 dagar. Grunna relativt korte turkeperiodar, samt tynt datagrunnlag for temperaturar under $0^{\circ}C$, kan formelen gi avvik.

$$\frac{dM}{dt} = \begin{cases} -0.032 & \text{når } t - t_1 \leq 6h \\ 0 & \text{når } 6h \leq t - t_1 \leq 24h \\ -0.016 & \text{når } t - t_1 > 24h \end{cases} \quad (13)$$

, der:

t = Starttidspunkt for turkeperioden

t_1 = Måletidspunkt

2.4 Energisparing og økonomi

Behovet for å gjennomføre etterisolering kan vere todelt. Kalde og trekkfulle overflater gir ofte redusert termisk komfort for bebuarar, samstundes som ein har eit ynskje om å redusere energibruken knytt til oppvarming. Kor mykje energi som potensielt kan sparast varierer veldig frå bygning til bygning, og tiltak kan i enkelte tilfelle heller ikkje lønne seg. Fleire studiar peker derimot ofte på reduksjonar i levert energi rundt 5-28% for etterisolering av ytterveggar (Cohen, et al., 1991) (Arumägi & Kalamees, 2013) (Alev, et al., 2014). Dette er derimot svært avhengig av originalbygget. Eksempelvis presenterer (Alev, et al., 2014) ein reduksjon på så

Konstruksjon	U-verdi [W/m ² K]
Laft (2"-10")	2-0,54
Plankereisverk	0,8
Bindingsverk	0,96

Tabell 1 U-verdiar for eldre ytterveggar i tre

mykje som 47% i steinhus der ytterveggane har U-verdi rundt 1,5-2 W/m²K. Trehus er derimot generelt frå gammalt av betre «isolerte» ettersom tre har relativt lita varmeleiingsevne. Tabell 1 syner U-verdi for typiske uisolerte veggkonstruksjonar. Lågare U-verdi i originalveggen gir generelt lågare potensiell energisparing per cm ekstra isolasjon, noko som bør takast omsyn til når eventuelle tiltak vert vurdert.

Med tanke på økonomisk lønsemd er dette ofte ein føresetnad for å få «folk flest» til å gjennomføre etterisoleringstiltak. (Tuominen, et al., 2012) beskriv nettopp dette som ei av hovudutfordringane for å nå EU sine mål om redusert energibruk. Det vert hovudsakleg trekt fram at sparing bare knytt til reduksjonen i energibruk aleine ikkje er nok motivasjon, ettersom mange ser på det som negativt at etterisolering ikkje aukar verdien av bygget proporsjonalt med investeringskostnadane. Dette er vidare diskutert i (Popescu, et al., 2012), der det blant anna vert føreslått ein metode for implementering av verdiauken av bygningsmassen i berekningar knytt til tilbakebetalingstid. Det er samtidig og knytt store usikkerhetar til lønnsenda av energisparinga, der hovudsakleg usikkerhet med tanke på energipris. I desse berekningane vert det ofte heller ikkje tatt med kostnadar knytt til forureiningar. Det finnst derimot mange rapportar som prøver å kartlegge desse usikkerhetane, eksempelvis (Rysanek & Choudhary, 2013) og (Menassa, 2011). Når det kjem til kostnadane knytt direkte til etterisolering av vegg, syner fleire rapportar at dette ofte er lønsamt. Ein «casestudie» gjort på ein historisk bygning frå 1900 i Tyskland syner eksempelvis forventa noverdi på ca. 20 000 euro i positiv favør ved utvendig isolering (Kumbarogly & Madlener, 2012).

2.5 Etterisolering og fukt – kva kunnskap finnast frå før?

Det finnast generelt lite tilgjengeleg forskning på etterisolering av eldre trehus, og mykje av det som finnast er blokkert bak betalingstilgang eller er ikkje mogleg å finne på nettet. Derimot er det gjort fleire studie som omhandlar murbygningar, eksempelvis (Moradias, et al., 2012). Det er velkjent at veggjar med tjukke isolasjonslag er sterkt utsett for fuktskader. Effekten av veggtykkleik er presentert i (Torres, et al., 2010) (i varmt klima). Fleire studiar tek og for seg fuktproblematikk knytt til etterisolering av isolerte treveggjar (nyare enn 1960) ved bruk av nyare isolasjonsmateriale (les: vakuumisolasjon) (Johansson, 2012) (Sveipe, et al., 2011).

Når det kjem til metodar for fuktsikker prosjektering er det mykje kunnskap å ta av. (Geving & Thue, 2002), (Altamirano-Medina, et al., 2009), (Burke & Yverås, 2004) og (U.S. Environmental Protection Agency, 2013) presenterer alle generelle retningslinjer for dette. Kunnskapen på dette området omhandlar både kvalitative og kvantitative problemstillingar, og ein oversikt er gitt i (Mundt-Petersen, 2012).

Problemstillingar knytt til luftstraumar i veggskiktet er og godt dokumentert, blant anna (Karagizis & Kuenzel, 2007) beskriv delar av modellen som er nytta i WUFI. (Hägerstedt & Harderup, 2010) viser påverknaden av ulike luftskifte i fasadekledningen ved lufta kledning. Rapporten syner at dette luftskiftet har signifikant innverknad på den relative fuktigheten i veggskiktet.

Med tanke på byggfukt er dette undersøkt i (Olsson, 2014) i forskjellige fasar, heilt frå sagbruk til oppfølging av ferdige hus i bruksstadiet. Konklusjonen er at bygningsmaterialane må vere tørre før dei vert stengt inne bak tettesjikt. Dette er og omhandla i

Slagregnpåkjenning på fasadar er eit velkjent tema i forskingslitteraturen. Det finnast fleire modellar for simulering av slagregnpåkjenning, blant anna tidlegare nemnde modell basert på (Choi, 1994). Dette er derimot eit fagfelt med svært mange faktorar å take omsyn til, eksempelvis faktorar som orientering (El-Shimi, et al., 1979) og topografi (Poreh & Mechrez,

1983). Ei vurdering av forskingslitteratur er gitt i (Blocken & Carmeliet, 2004). Konklusjonen av dette litteraturstudiet er at tilgjengelege modellar er for unøyaktige eller for arbeidskrevjande, og behovet for ein kombinasjon av semi-empiriske og numeriske metodar er til stades.

Det er heller ikkje mykje tilgjengeleg forskning som syner oversikt over fordeling av fuktskader basert på typar bygningar, då spesielt med tanke på eldre bygningsmasse. Ein rapport frå Finland (A., et al., 1998) omhandlar fordeling av fuktskader på rundt 450 undersøkte hus i Finland. Undersøkingane i rapporten tok for seg hus bygd i ulike tiår frå 1950 fram til og med 80-talet. Resultata syner ein vesentleg vekst i fuktskader knytt til veggjar frå hus bygd i 50-åra til hus bygd i 60, 70 og 80-åra. Få fuktskader i veggskiktet kan vere noko av årsaka til at eldre bygningar er lite undersøkt i forskingslitteraturen. Det er derimot presentert ein delvis oversikt over 8918 svenske bygningar bygd rundt 1960-1983 i (Hägerhed-Engman, et al., 2009).

3 Metode

3.1 Generelt

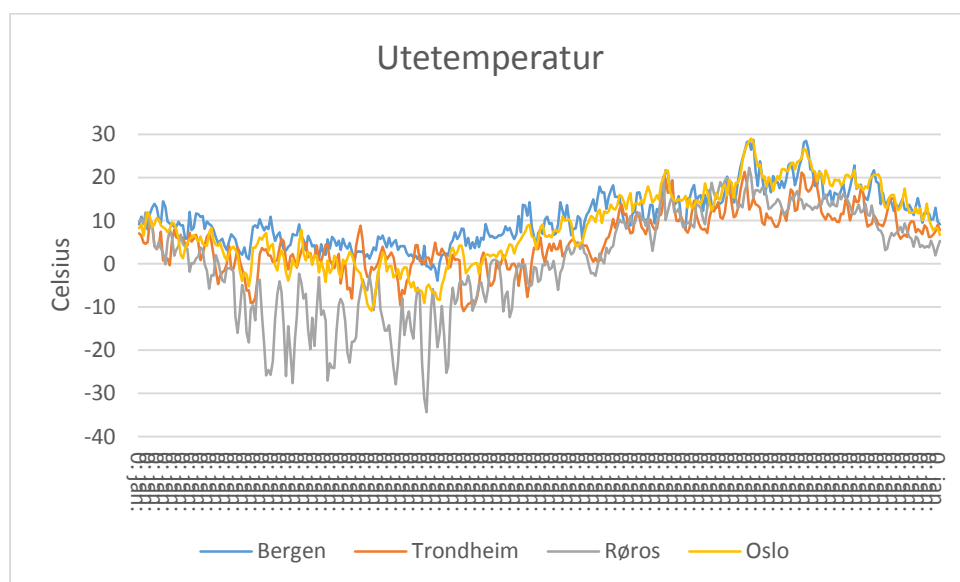
Som grunnlag for alle simuleringar er dataprogrammet WUFI pro 5.2. brukt. Dette programmet tar utgangspunkt i den hygrotermiske berekningsmodellen presentert i kapittel 2.3.1 .

Dampsperrsjikt

Det vart nytta tre ulike typar dampsperrsjikt; 0,15mm PE-folie (sd=70m), dampbrems (sd=2m) og AirGuard Smart (sd=0,03-100m). Alle data om AirGuard Smart er henta frå (Byggforsk TG 20321, 2014). I tillegg vart det gjort berekningar utan sperrsjikt. Standard parameterverdiar for PE-folie og dampbrems i WUFI 5.3 vart nytta. For AirGuard Smart var det ikkje mogleg å oppdrive verdiar for porøsitet og varmekonduktivitet. Ettersom dette har lita innverknad på berekningane vart verdiane for ei anna smart dampsperre (INTELLO) nytta.

Uteklima

For å undersøke effekten av det lokale klimaet vart det vald ut fire stader for berekningane. Bergen (fuktig kystklima), Oslo («mildt» kystklima), Trondheim(kystklima) og Røros(kaldt og tørt innlandsklima) utgjorde desse. Klimadata vart henta frå «WUFI pro 5.2» sine klimafilmer basert på (Geving & Torgersen, 1997). Figur 7 syner temperatur for dei aktuelle byane gjennom året.

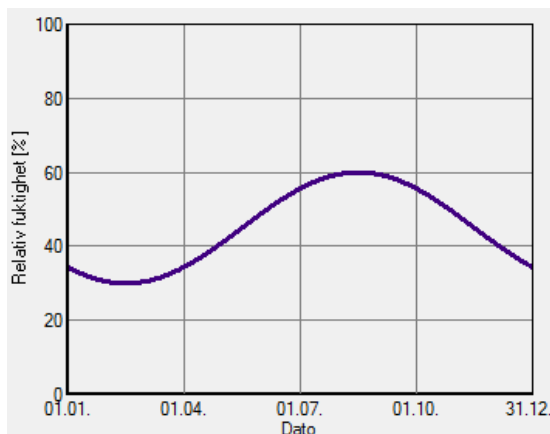


Figur 7 Utetemperatur i dei aktuelle byane

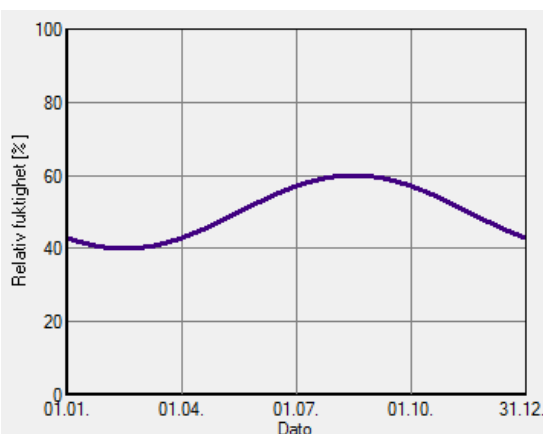
Inneklima

Inneklimaet er basert på sinuskurvene i WUFI sin database. Det vart bruka to fuktnivå i berekningane: «Låg fuktbelasting (Figur 9)» og «normal fuktbelasting (Figur 8).» «Låg fuktbelasting» nyttar seg av ein middelvei på RF=45% med amplitude på 15, medan «normal fuktbelasting» nyttar middelvei på RF=50% og amplitude på 10. Normalt varierer den relative fuktigheten innandørs mellom 40-60% om sommaren og 20-30% om vinteren i Noreg avhengig av temperaturen (Geving & Thue, 2002). Gamle trehus er i motsetning til nyare hus svært avhengige av naturleg ventilasjon, og er difor sjeldan tette. Dette vil seie at den relative fuktigheten inne, ofte varierer meir saman med utelufta enn i nye bygg. Det er difor eksempelvis ikkje gunstig at RF vert for låg over lengre tid, noko som kan føre til dimensjonsendringar/krymp i treverket.

Figur 9: Sinuskurve for "låg fuktbelasting"



Figur 8: Sinuskurve for "normal fuktbelasting"

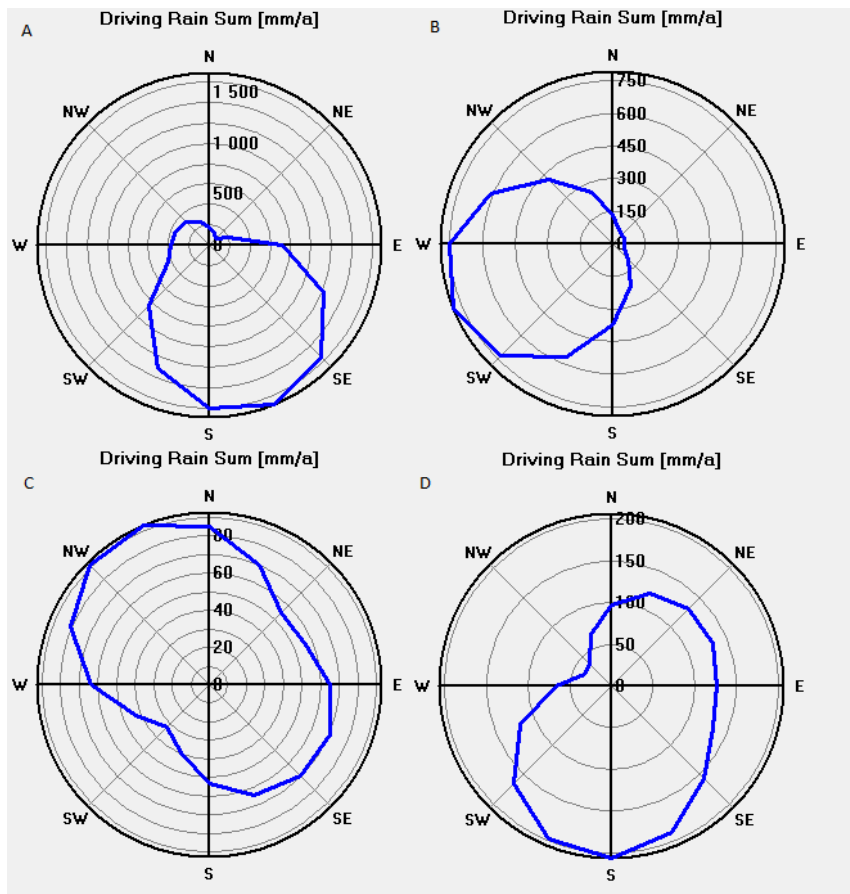


Det vart og undersøkt effekten av eit luftskifte på $1h^{-1}$ frå innvendig side og ut i vegg. Dette for å simulere eventuelle utetthetar i sperresjikt som følgje av bl.a. eldre bygningsmasse.

Orientering

Effekten av slagregn som trengjer gjennom klimaskallet utgjjer ein vesentleg del av fuktigheten i veggskjiktet. Det vart difor vald ut dei orienteringane med mest mogleg slagregn og minst mogleg utturking. For å bestemme dette vart det gjort 8 «prøvecase» for kvar by der ein såg på korleis fuktinnhaldet i veggjen endra seg basert på orientering. I tillegg vart klimaanalysefunksjonen i WUFI brukt for å få ein viss oversikt over slagregnetninga. Resultatet viser at for 3 av byane utgjorde dette nordleg orientering, medan i Bergen var sørleg orientering verst. Dette kjem mest sannsynleg av at Bergen har ei mykje større

slagregnpåkjening frå sør enn resten, medan i Trondheim, Oslo og Røros vert lite sol og dårleg utturking frå nord avgjerande (sjå Figur 10).



Figur 10 Slagregn i høvesvis Bergen (A), Trondheim (B), Røros (C) og Oslo (D)

Andre parametarar

- Byggfukt ved start satt til 80%
- Kalkulasjonsperiode frå 01.10.2015 til 01.10.2020 (Bare 5. året er nytta som vurderingsgrunnlag på grunn av manglande likevekt)
- S_d -verdi for utvendig maling sett til 0,5m (SINTEF Byggforsk, 2003)

3.2 Innvendig isolert laftevegg (case A)

3.2.1 Innleiing

Nokre av dei eldste bygningane som er i bruk den dag i dag er lafta bygg. Svært mange av desse er under strenge vernebestemmingar, anten ihht. Plan og bygningslova eller kulturminnelova. Dette gjer at endringar på blant anna fasade er vanskeleg å gjennomføre, noko som ofte kjem i konflikt med energisparetiltak. Innvendig etterisolering kan ofte vere eit tiltak

som det er mogleg å gjennomføre i slike situasjonar. Ved innvendig etterisolering oppstår det fort fuktskader ettersom både temperaturen og moglegheitene for utturking i veggsgjiktet vert endra. Målet med dette «caset» er å få ein oversikt over korleis ulike variablar påverkar kvaliteten av ulike løysingar, då spesielt med tanke på klima og dampsperrsjikt. Ny teknologi i form av for eksempel smarte dampsperrer kan skape nye løysingar, der «vanlege dampsperrer» som PE-folie ikkje strekk til. I dette «caset» er moglegheita for å blant anna nytte «AirGuard Smart» i forbindelse med laft undersøkt. Alle simuleringar er gjort i fuktberkningsprogrammet WUFI Pro 5.2.

3.2.2 Oppbygging av veggsgjikt

Veggsgjiktet er bygd opp som ein standard laftevegg med tjukkeleik på 150mm. Trevirket som vart brukt er vanleg furu med densitet på 510kg/m^3 . Det vart og lagt til ei ulufta luftspalte på 20mm mellom laftet og vindsperra/isolasjonen. Dette for å simulere luftlag som dannast på grunn av eit rundt eller åttekanta tverrsnitt på stokkane. Veggsgjiktet ser ut som følgjande (frå utvendig mot innvendig side):

- 150mm laft
- 20mm luftespalte
- Vindsperre ($S_d=0,17$)
- 150mm mineralull ($\lambda=0,04\text{ W/mK}$)
- PE-folie ($S_d=70\text{m}$), Ingenting, dampbrems ($S_d=2\text{m}$) og AirGuard Smart
- 13mm gips

I luftespalta mellom laftet og vindsperra vart det og i mange tilfelle lagt inn ei fuktkjelde som representerer 1% lekkasje av slagregn. Caset vart delt opp i 35 oppsett der ulike variablar vart undersøkt. Ein oversikt er presentert i Tabell 2

3.2.3 Inputparametrar

Tjukkleik av laft

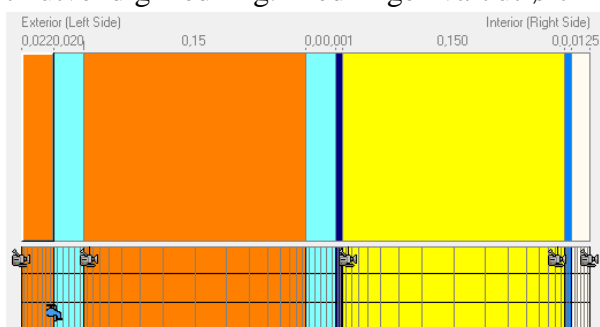
I følge (Byggforsk, 2007a) varierer vanleg tjukkeleik på eldre laft mellom 3''-10'' avhengig av byggetidspunkt og stad i landet. Det vart og bestemt at denne parameteren ikkje skulle varierast. Med bakgrunn i at «caset» skal dokumentere eventuelle problem, vart tjukkeleiken sett til 150mm, noko som sørger for mindre utturking, samt eit visst temperaturfall over laftesjiktet, enn eit tynnare snitt ville gjort. Samstundes representerer det ein vesentleg del av norske laftebygg.

Tjukkuleik av isolasjonslag

Tjukkuleiken av isolasjonslaget er ein viktig faktor ved innvendig etterisolering. Ein vil gjerne prøve å oppnå redusert energibruk, samstundes som ein for stor auke i isolasjon vil føre til at dei ytre delane i veggene vert kaldare og meir utsett for fukt. For å oppnå standard etter TEK10 krevjast U-verdi under $0,22\text{W/m}^2\text{K}$. Ved å setje isolasjonstjukkuleiken til 150mm oppnår «caset» U-verdi på ca. $0,20\text{W/m}^2\text{K}$. Isolasjonen er vald til å vere standard minerealull med $\lambda=0,040\text{ W/mK}$.

Kledning

For å undersøkje effekten av slagregn nærmare vart det og utarbeidd nokre oppsett der ein la til utvendig kledning. Kledningen vart utført med ei 20mm ulufta luftspalte mellom kledningen

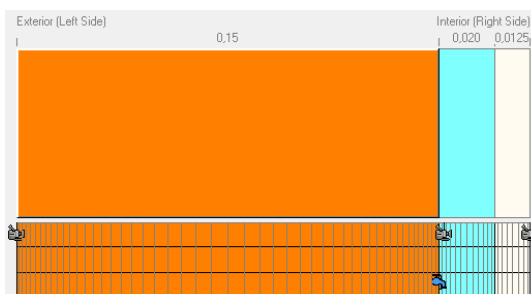


og laftet. Laft med utvendig kledning var særleg utbreidd i område med større klimapåkjenningar, slik som til dømes store delar av vestlandet.

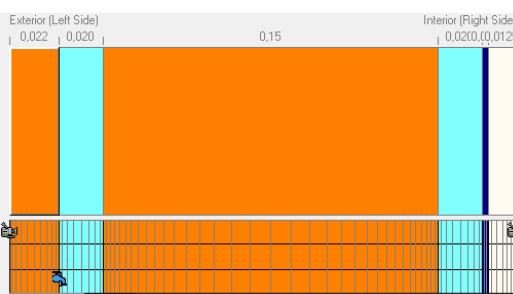
Figur 11 Simulering av kledning

Referansecase

For å sjå på effekten av redusert utturking i veggskjiktet vart det utarbeidd fire uisolerte referanseoppsett. To av desse vart plassera i Bergen og to på Røros. Det eine oppsettet var utan kledning (Figur 12 «Referansecase»), medan det andre var med kledning (Figur 13).



Figur 12 «Referansecase»



Figur 13 «Referansecase» med kledning

3.2.4 Variabeloppsett

Under følger variabeloppsettet (Tabell 2) for kvar enkelt simulering.

Case	0,15 PE-folie*	Ingenting	Dampbrems	Smart dampsperre*	Bergen	Trondheim	Røros	Oslo	Low	Medium	Lekkasje	Orientering	Luftskifte n=1	Uisolert	Kledning
1	x					x			x			N			
2	x					x				x		N			
3	x					x				x	x	N			
4	x					x				x	x	N	x		
5	x					x				x		N	x		
6	x				x					x	x	S			
7	x						x			x	x	N			
8	x							x		x	x	N			
9		x			x					x	x	S			
10		x				x				x	x	N			
11		x					x			x	x	N			
12		x						x		x	x	N			
13			x		x					x	x	S			
14			x			x				x	x	N			
15			x				x			x	x	N			
16			x					x		x	x	N			
17				x	x					x	x	S			
18				x		x				x	x	N			
19				x			x			x	x	N			
20				x				x		x	x	N			
21		x			x					x	x	S		x	
22		x			x					x	x	S		x	x
23	x				x					x	x	S			x
24				x	x					x	x	S			x
25		x					x			x	x	S		x	
26		x					x			x	x	S		x	x
27	x						x			x	x	S			x
28				x			x			x	x	S			x
29		x				x			x		x	N			
30			x			x			x		x	N			
31				x		x			x		x	N			
32	x						x		x		x	N			
33		x					x		x		x	N			
34			x				x		x		x	N			
35				x			x		x		x	N			

Tabell 2 Variabeloppsett for innvendig isolert laft

3.2.5 Monitorposisjonar

For innvendig isolert laft oppstår det hovudsakleg to kritiske punkt i veggskjiktet. Det mest kritiske vart tenkt i ytre del av isolasjonen, dvs. rett på innsida av vindsperra. Dette med grunnlag i ein relativt tjukk laftevegg som hindrar utturking mot utvendig side, samstundes som han er utsett for slagregnpåkjenning. Temperaturen er her og vesentleg lågare enn på innvendig side, noko som kan føre til kondens. Det andre punktet som kunne vere særleg utsett for fukt er i ytre lag av laftet. Spesielt i oppsett med ulufta kledning der slagregnlekkasje og relativt dårleg utturking er overhengande farar. Temperaturen i dette punktet varierer og i større grad med utetemperaturen enn resten av skjiktet. Det vart og sett opp ein monitor rett på innsida av dampsperreskjiktet for å sjå nøyare på effekten av dampsperra og ein eventuell luftlekkasje. Samla sett vart monitorane plassera slik:

- Ytre del av laft (for oppsett med kledning, posisjon 2)
- Ytre del av mineralull (posisjon 2, 3 i oppsett med kledning)
- Indre del av mineralull (posisjon 3, 4 i oppsett med kledning)

3.3 Innvendig isolert reisverksvegg med og utan innblåsen isolasjon (case B)

3.3.1 Innleiing

Tilsvarende for laft er mange reisverkshus og freda eller bevaringsverdige. Reisverkshus har ofte flotte arkitektoniske uttrykk som det er viktig å ta vare på. Innvendig isolering er i slike situasjonar ofte einaste alternativ dersom ein vil bevare ytterkledningen. På slutten av 1800-talet vart tjukkeleiken på reisverket og tynnare, noko som gjer at det dannar seg eit holrom mellom reisverket og ytterkledningen. Mange har nytta seg av å etterisolere dette ved innblåsing, noko som har resultera i ei betydeleg mengde fuktskader. For å kartlegge effekten ulike faktorar har på slike løysingar som dette, er det utarbeidd ei rekkje oppsett med innblåsing i kombinasjon med innvendig isolering. Det er og gjort oppsett med bare innvendig isolering. Faktorar som lufta/ulufta kledning, isolasjonstjukkeleik, klima, dampsperreskjikt og slagregnlekkasje gjennom kledningen er undersøkt.

3.3.2 Oppbygging av veggskjikt

Sjikta består av typiske reisverksveggar av plank bygd på slutten av 1800-talet/starten av 1900. Det er gjort simuleringar på to ulike typar sjikt:

Lufta kledning

- 0,22mm ytterkledning i furu
- 20mm luftespalte
- 2 lag impregnert cellulosepapp
- 12 mm treplate
- 50mm innblåst cellulosefiber
- 76mm (3'') plankereisverk i furu
- Evt. Original panel m. tilsvarende cellulosepapp
- 50 eller 100mm mineralull
- 0,15mm PE-folie, ingenting, dampbrems eller AirGuard Smart
- 13mm gipsplate

Ulufta kledning

- 0,22mm ytterkledning i furu
- 50mm innblåst isolasjon eller luftespalte
- 2 lag impregnert cellulosepapp
- 76mm (3'') plankereisverk i furu
- Evt. sjikt med original panel og tilsvarende cellulosepapp
- 50 eller 150mm mineralull
- 0,15mm PE-folie, ingenting, dampbrems eller AirGuard smart
- 13mm gipsplate

Som grunnlag for oppbygginga er data frå (SINTEF Byggforsk, 2015) og (Lavenergiprogrammet, u.d.) brukt.

3.3.3 Inputparametrar

Ein fullstendig oversikt over nytta inputparametrar finnast i «Vedlegg 2: Inputverdiar i WUFI for case B»

Tjukkeleik av plankane i reisverket

Reisverket er eit plankereisverk typisk for perioden rundt hundreårsskiftet. Vanlig tjukkeleik for plankane varierte mellom 2 ½-3". Det er her sett for seg at ein nyttar 3" (ca. 76mm) plank tappa ned i 5" sviller. Dette gir eit holrom på 2" (ca. 50mm) som gir moglegheit for innblåsing av isolasjon.

Tjukkeleik og type isolasjon

Innvendig er veggen isolert med vanlig mineralull som beskrive i kapittel «3.1 Generelt». Innblåst isolasjon er vald til å vere cellulosefiber. Cellulosefiber er produsert av gammalt avisapir som vert malt opp og tilsett brannhemmande tilslag (eksempelvis magnesium og borsyre) (Krumsvik, 2014). Cellulosefiber er og det mest vanlege isolasjonsmaterialet brukt til innblåsing. Cellulosefiberen som er brukt her har varmegjennomgangskoeffisient tilsvarande 0,04 W/mK. Dette gjer at U-verdien på dei ulike oppsetta varierer mellom 0,207 (150mm mineralull) til 0,28 W/m²K (50+50mm cellulosefiber og mineralull). Dette stemmer godt overeins med målsettinga om å oppnå dagens energikrav.

Tettesjikt

Som tettesjikt er materialdata for cellulosepapp presentert i (Tveit, 1966) brukt. Det er derimot knytt noko usikkerhet til desse verdiane ettersom det føreligg lite informasjon om kva slags type cellulosepapp som er brukt i berekningane. Alternativet ville vore å nytta verdiar for meir moderne forhudningspapp. Pappen som er nytta har μ -verdi mellom ca. 14 (20% RF) og 5 (\approx 97% RF).

Original innvendig kledning

Innvendig er det i fleire oppsett antatt at isolering skjer utan å fjerne eksisterande kledning. Kledningen er her antatt ubehandla, noko som ikkje alltid er tilfellet i røynda. Fleire lag med for eksempel oljemaling eller tapet kan danne relativt damptette lag som alltid bør takast omsyn til.

Klima

Det er her bare rekna med 3 klima: Røros, Trondheim og Bergen. Dette for å redusere talet på simuleringar. Oslo vart ikkje tatt med, ettersom dette klimaet viste seg å vere det klimaet med minst innverknad på resultatata i case A.

3.3.4 Variabeloppsett

Tabell 3 viser variabeloppsettet til dei ulike simuleringane for case B.

Case	0,15 PE-folie	Ingenting	Dampbrems	Smart dampsperre	Org. papp og kledning innv.	Bergen	Trondheim	Røros	Lekkasje	Orientering	50 mm innblåsing (ca 2")	150mm	100mm	50mm	Lufta kledning
1	x				x	x				S	x		x		x
2		x			x	x				S	x		x		x
3			x		x	x				S	x		x		x
4				x	x	x				S	x		x		x
5	x					x				S	x		x		x
6		x				x				S	x		x		x
7			x			x				S	x		x		x
8				x		x				S	x		x		x
9	x				x			x		N	x		x		x
10		x			x			x		N	x		x		x
11			x		x			x		N	x		x		x
12				x	x			x		N	x		x		x
13	x							x		N	x		x		x
14		x						x		N	x		x		x
15			x					x		N	x		x		x
16				x				x		N	x		x		x
17	x				x		x		x	N		x			
18		x			x		x		x	N		x			
19			x		x		x		x	N		x			
20				x	x		x		x	N		x			
21	x						x		x	N		x			
22		x					x		x	N		x			
23			x				x		x	N		x			
24				x			x		x	N		x			
25	x				x		x			N	x			x	x
26				x	x		x			N	x			x	x
27		x			x		x			N	x			x	x
28	x				x		x		x	N	x			x	
29	x						x		x	N	x			x	
30				x	x		x		x	N	x			x	
31				x			x		x	N	x			x	
32		x			x		x		x	N	x			x	
33	x						x			N	x			x	
34				x			x			N	x			x	

Tabell 3 Oversikt over variablar i case B

3.3.5 Monitorposisjonar

I veggsjikt dukkar det opp fleire moglege kritiske punkt. Med bakgrunn i erfaringar er mellomrommet mellom ytterkledning og sjølve reisverket veldig utsatt for opphoping av fukt. Spesielt dersom det vert blåst inn isolasjon. Innvendig isolering fører og til at temperaturen her vert mykje lågare enn før, samstundes som montering av dampsperrsjikt sterkt reduserer luftstraumen gjennom veggen. Ein kan og sjå for seg at det kan hopast opp fuktighet mellom reisverket og isolasjonen innvendig grunna redusert utturkingmoglegheitar innover. Originalkledning innvendig kan og danne eit såpass damptett sjikt rundt mineralulla, at det og kan oppstå fuktighet og muggdanning her. Det er difor nytta ein del fleire monitorposisjonar her enn for dei to andre konstruksjonstypene.

For oppsett med lufta kledning:

- Ytre del av innblåst isolasjon (posisjon 2)
- Indre del av innblåst isolasjon (posisjon 3)
- Indre side av reisverket (bare for oppsett med original kledning, posisjon 4)
- Ytre del av mineralulla (posisjon 5)

For oppsett med ulufta kledning:

- Baksida av ytterkledningen (posisjon 2)
- Ytterside av cellulosepappen (bare for oppsett med innblåst isolasjon, posisjon 3)
- Ytre del av reisverket (posisjon 4)
- Indre side av reisverket (bare for oppsett med original kledning, posisjon 5)
- Ytre del av mineralulla (posisjon 6)

3.4 Utvendig isolert laftevegg (case C)

3.4.1 Innleiing

Utvendig isolering er ein av dei mest vanlege strategiane knytt til energioppgradering av laftehus. Som nemnd tidlegare kan laftehus gjerne vere svært gamle. Dette medfører at ikkje alle laftehus har utvendig kledning originalt, då særleg i område med tørt klima. Det kan då vere aktuelt å påføre huset kledning, og samstundes etterisolere. Det negative ved dette er at mykje av «sjarmen» ved lafteveggar då forsvinn. I tillegg fører utvendig isolering til at fasaden endrar seg, då gjerne i form av kortare takutstikk, vindauge lenger inn i veggen og større avstand frå kledning til grunnmur. Dette gjelder og dersom huset er panelt frå gammalt av.

Samstundes vert laftet verande på «varm» side av isolasjonen, noko som fører til betre utturking. Målet er å undersøke kva effekt ulike faktorar, slik som til dømes dampsperrsjikt, isolasjonstype og klima, har på fuktforholda i eit utvendig isolert veggsjikt. Det er og gjort simuleringar med ulike tjukkeleikar på laftet.

3.4.2 Oppbygging av veggsjikt

Caset består av eit utvendig isolert veggsjikt utført i laft. I motsetning til simuleringane knytt til innvendig isolering, er det her antatt at laftet er av same type (ikkje plankelaft eller pløgd laft). Laftet er derimot her antatt avretta utvendig for å få ei jamn overflate for utlekting. Det er difor her ikkje nytta eit 20mm luftlag for å simulere eit rundt tverrsnitt på laftestokken. Det er heller ikkje rekna med innvendig kledning anna enn for oppsett 31-34. Bakgrunnen for dette er at mange erfaringsmessig ynskjer å behalde uttrykket laftet gir innvendig, samstundes som at det er mykje arbeid og ekstra kostnadar knytt til montering av kledning innvendig dersom dette ikkje er montert frå før. Veggsjiktet er bygd opp som følgjande:

- 22mm kledning i furu
- 20mm luftespalte
- Vindsperre
- 100mm pavaflex eller mineralull
- 0,15mm PE-folie, vindsperre, AirGuard Smart eller ingenting (oppsett 31-34)
- 150, 200 eller 250mm laft
- 0,15mm PE-folie eller vindsperre + 13mm gipsplate (bare for oppsett 31-34)

Luftespalta er simulert med eit luftskifte på $n=50$ mot utvendig side for å etterlikne effekten av lufta kledning.

3.4.3 Inputparametrar

Dampsperrsjikt

I tillegg til dampsperrere omskrive i kapittel «3.1 Generelt» er det gjort simuleringar med ei dampopen vindsperre i dampsperrsjiktet. Denne har S_d -verdi på 0,2m.

Isolasjonssjikt

Det er nytta to typar isolasjon i berekningane: Pavaflex trefiberisolasjon samt vanleg mineralull. Pavaflex har varmegjennomgangskoeffisient på 0,039 W/mK, medan tilsvarande

verdi for mineralulla er som tidlegare nemnd 0,040 W/mK. Dette svarar til ein U-verdi på 0,22-0,26 W/m²K avhengig av tjukkeleik på laftet. Pavaflex er produsert av Pavatex i Sveits, og har større fuktlagringskapasitet enn vanleg mineralull. Trefiberisolasjon krev og generelt mindre energi å produsere, noko som gjer det til eit gunstig alternativ.

Tjukkleik på laft

Tjukkleiken det er rekna med for desse oppsetta varierer mellom 150-250mm. Erfaringar viser at tjukkeleiken på laftet varierer i stor grad frå område til område og frå tidsepoke til tidsepoke, noko som gjer det vanskeleg å fastsette ein viss tjukkeleik. Tjukt laft isolerer og godt, noko som fører til at isolasjonslaget vert kaldare og meir utsett for fukt. Utturkingsevna mot innvendig side vert og redusert.

3.4.4 Variabeloppsett

Tabell 4 gir ei beskriving av variabeloppsettet for kvar enkelt simulering.

Case	PE-folie innv.	Vindsperre innv.	PE-folie	Vindsperre	AirGuard Smart	Bergen	Trondheim	Røros	Oslo	Orientering	Pavafleks	Mineralull	250mm	200mm	150mm
1			x			x				S	x		x		
2				x		x				S	x		x		
3					x	x				S	x		x		
4			x				x			N	x		x		
5				x			x			N	x		x		
6					x		x			N	x		x		
7			x					x		N	x		x		
8				x				x		N	x		x		
9					x			x		N	x		x		
10			x						x	N	x		x		
11				x					x	N	x		x		
12					x				x	N	x		x		
13			x			x				S		x	x		
14				x		x				S		x	x		
15					x	x				S		x	x		
16			x				x			N		x	x		
17				x			x			N		x	x		
18					x		x			N		x	x		
19			x					x		N		x	x		
20				x				x		N		x	x		
21					x			x		N		x	x		
22			x			x				S	x			x	
23				x		x				S	x			x	
24					x	x				S	x			x	
25			x				x			N	x			x	
26				x			x			N	x			x	
27					x		x			N	x			x	
28			x			x				S	x				x
29				x		x				S	x				x
30					x	x				S	x				x
31	x					x				S	x		x		
32	x						x				x		x		
33		x						x		N	x		x		
34	x							x		N	x		x		

Tabell 4 Variabeloppsett for utvendig isolert laftevegg

3.4.5 Monitorposisjonar

Kritiske punkt i veggsjiktet vert utvendig del av isolasjonslaget, samt området rundt dampsperra. Ytre del av isolasjonen er ofte kald og utsatt for luftlekkasjar gjennom vindsperra. Opphoping og manglande utturking av fukt kan her føre til danning av mugg og råte. Området rundt dampsperrsjiktet har relativt dårleg utturkingsevne mot innvendig side som følgje av tykke lafteveggar.

Med bakgrunn i dette er det difor nytta monitorar i 3 posisjonar:

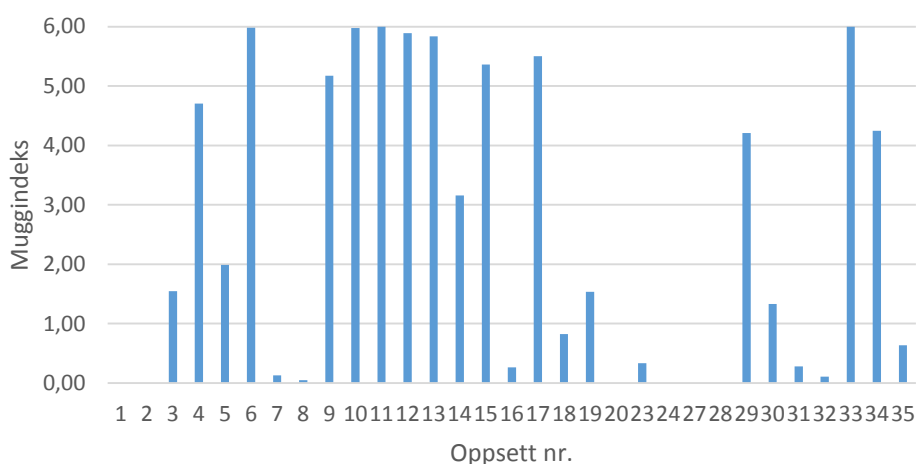
- Ytre lag av isolasjonen (mot vindsperrsjiktet, posisjon 2)
- Innerste lag av isolasjonen (mot dampsperrsjiktet, posisjon 3)
- Ytre lag av laftet (mot dampsperrsjiktet, posisjon 4)

4. Resultat og vurdering

4.1 Case A: Innvendig isolert laftevegg

4.1.1 Resultat

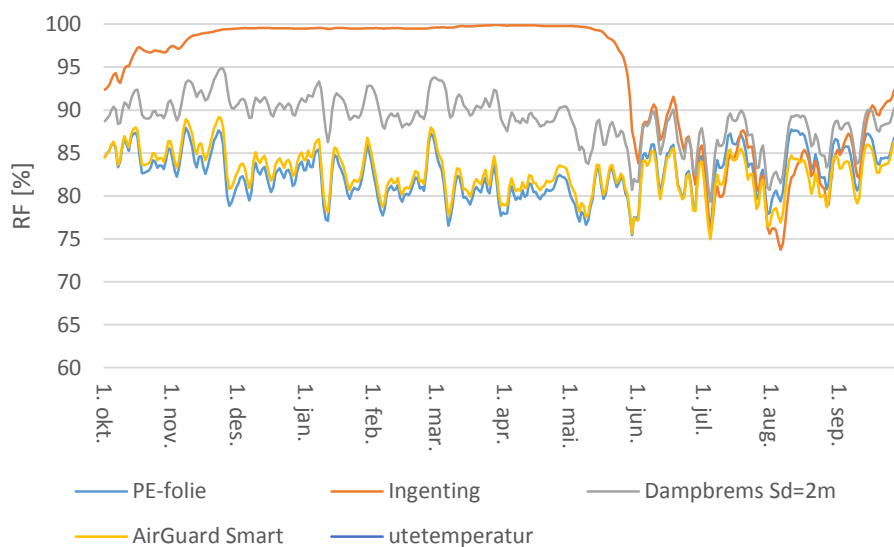
Som grunnlag for vurdering av muggvekst har VTT-modellen presentert i (Hukka & Viitanen, 1999) blitt brukt (sjå kapittel 2.3.2 Soppvekst om VTT). Figur 14 syner kvar simulering sin største muggindeks gjennom året. Legg merke til at mange av oppsetta har svært høg indeks, noko som gjer at dei har stort sannsyn for betydeleg muggvekst. Referanseoppsetta er ikkje med på denne grafen. Dersom ein ser på oppsett 3 og 6-20 ser ein tydeleg variasjon som følgje av uteklimaet og dampsperssjikt. Eksempelvis viser diagrammet tydeleg at PE-folie går ann å bruke i Oslo og på Røros (oppsett 7 og 8) med tilnærma ingen fare for muggvekst, medan det i Bergen (oppsett 6) mest sannsynleg vil vekse fram betydelege mengder mugg. Ein ser og tydeleg effekten av kledning (oppsett 23/24 mot 6/17 og 27/28 mot 7/19).



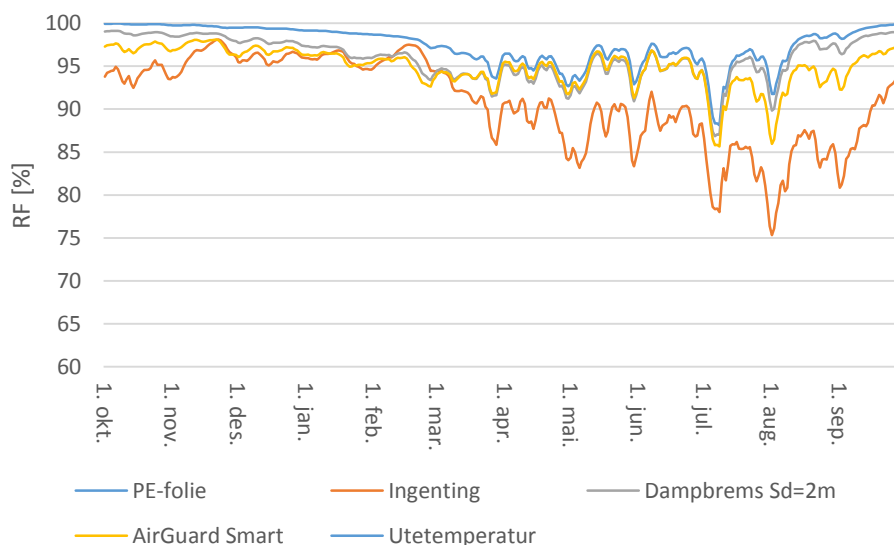
Figur 14 Maksimal muggindeks gjennom 5.året i ytre del av isolasjon

Figur 15 og Figur 16 viser variasjonane i relativ fuktighet i ytre lag av isolasjonen basert på ulike dampsperssjikt. Ein ser tydeleg at grafane har svært høge verdiar, noko som samsvarer med stolpediagrammet ovanfor. Det er verd å merke seg at dampette sjikt gir ein høgare relativ fuktigheit i Bergen enn det dampopne sjikt gjer. På grunn av store mengder slagregn vert utturking av veggssnittet mot innvendig side viktig, noko som speglar seg att i å ikkje nytte sperresjikt gir lågast RF. Samstundes scorer Bergen utan kledning jamt over 5-6 på muggindeksen uavhengig av sperresjikt. Difor bør det ved etterisolering i fuktig klima jamt

over nyttast ytterkledning. Kledning reduserer sannsynet for fuktskader betraktelig og gir $M=0-0,33$.



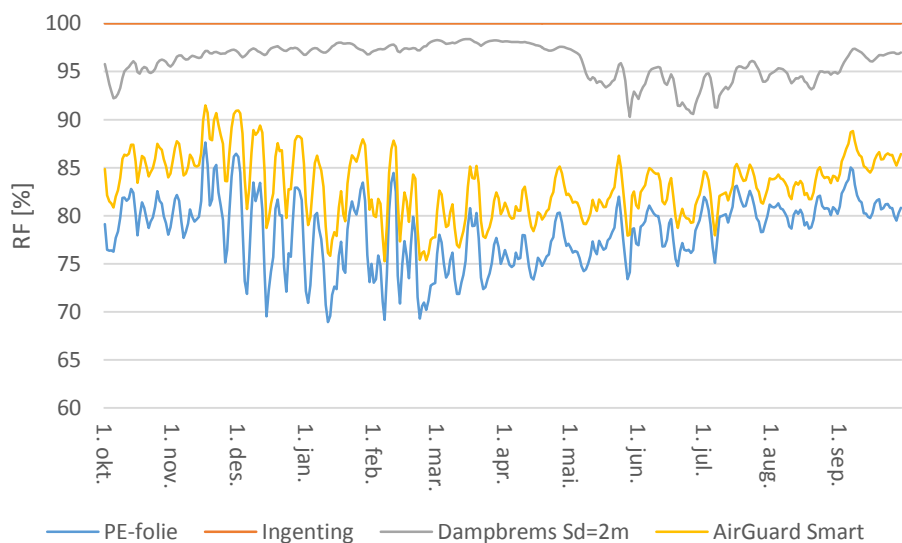
Figur 15 Variasjon i relativ fuktighet i Trondheim



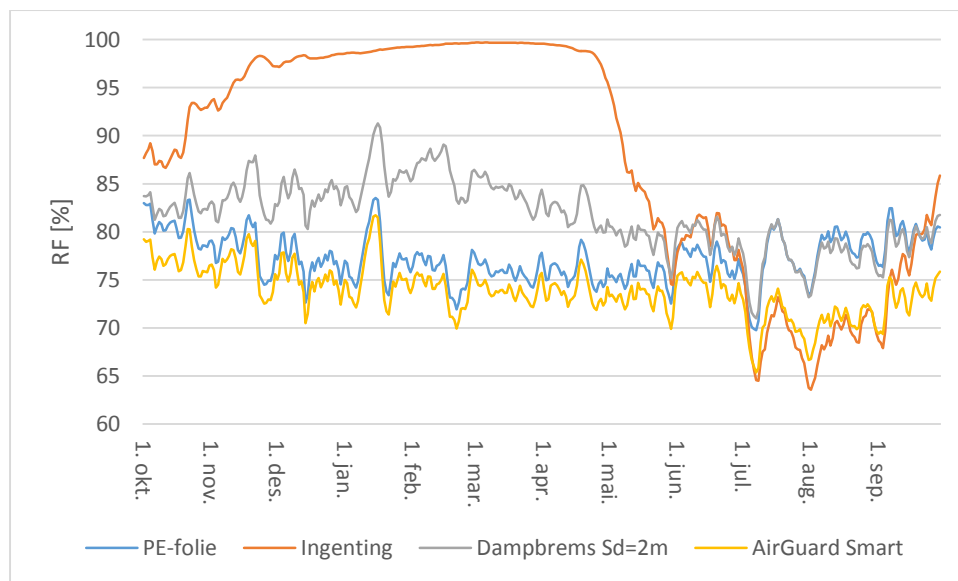
Figur 16 Variasjon i relativ fuktighet i Bergen

I tørrare klima (Oslo/Røros) ser ein derimot at løysingar utan kledning kan nyttast. Mindre fuktighet som treng gjennom laftet gjer at behovet for utturking mot innvendig side vert mindre. Ein ser av Figur 17 og Figur 18 at fuktig inneluft bør forhindrast i å trekke ut i veggskjiktet. Dampsperrene (PE-folie og AirGuard Smart) gir her betydelig lågare RF i isolasjonssjiktet enn dampbremsen, spesielt vinterstid. Dampsperrene gir låge utslag på muggindeksen, men gir

samstundes fare for periodevis mikroskopisk vekst. På grunn av usikkerhet i simuleringane bør ein difor vere litt forsiktig med å bruke denne typen løysingar. På den andre sida ser ein av variasjonen av muggindeksen over året at denne mikroskopiske muggveksten bare oppstår i små tidsrom før han turkar ut eller frys. Dersom ein vil sikre seg kan ein nytte sperresjikt saman med tynnare isolasjonssjikt (eksempelvis 50 eller 100mm) eller saman med kledning. Verd og merke seg er og løysinga der ein ikkje nyttar dampsperre. Denne gir RF bortimot og over 100%, noko som fører til kondens gjennom store delar av året. Dampsperrsjikt må derfor nyttast i tørre klima.

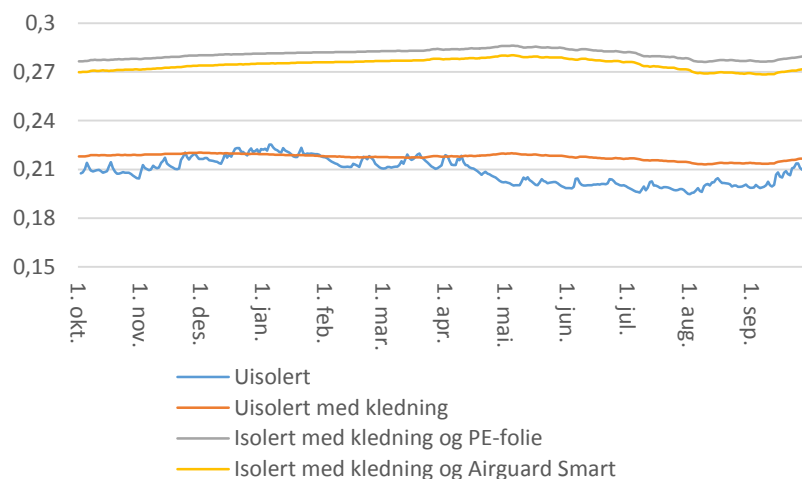


Figur 17 Variasjon i relativ fuktighet på Røros

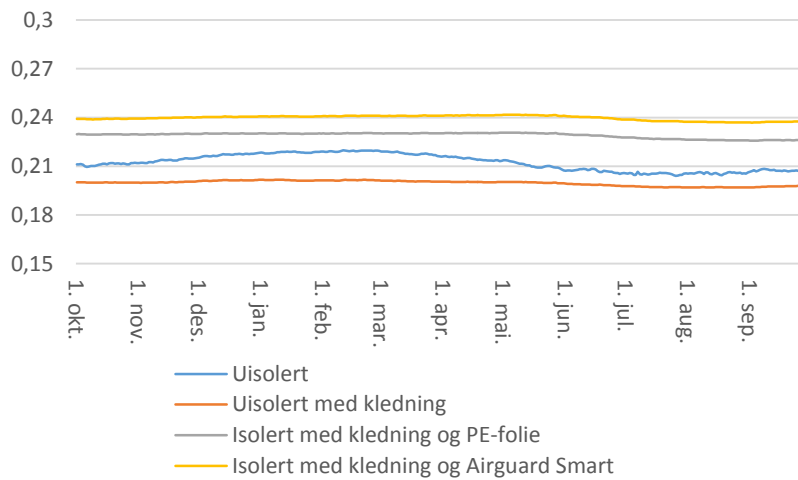


Figur 18 Variasjon i relativ fuktighet i Oslo

Ved innvendig etterisolering vert laftet si evne til å turke ut mot innvendig side redusert. Dersom ein ser på fuktinnhaldet i laftet før og etter isolering, er effekten desidert størst i fuktige klima. Som Figur 19 og Figur 20 viser, aukar fuktinnhaldet i laftet i Bergen rundt 30%, medan i Røros er auken mindre (rundt 10-20%). Store endringar i fuktinnhaldet kan vere risikabelt med tanke på endringar i dimensjonane til treet, noko som kan føre til utetthetar og skeivhetar i veggskjiktet. Av grafane er det og mogleg å dra konklusjonen at typen dampsperre generelt har lite å seie for fuktigheten i treverket. Det kunne derimot vore interessant å undersøkt korleis fuktinnhaldet ville variert dersom ein ikkje hadde nytta sperresjikt, eventuelt dampbrems.

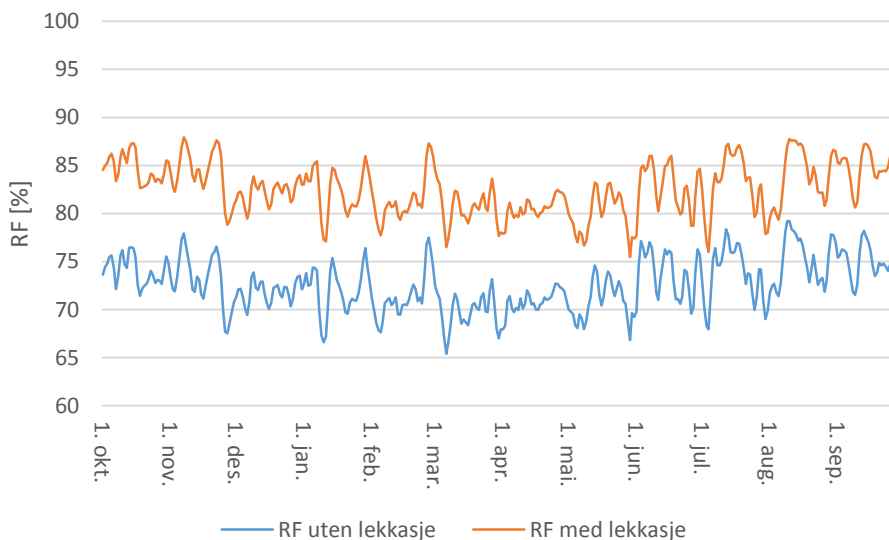


Figur 19 Utturking av laftet i Bergen



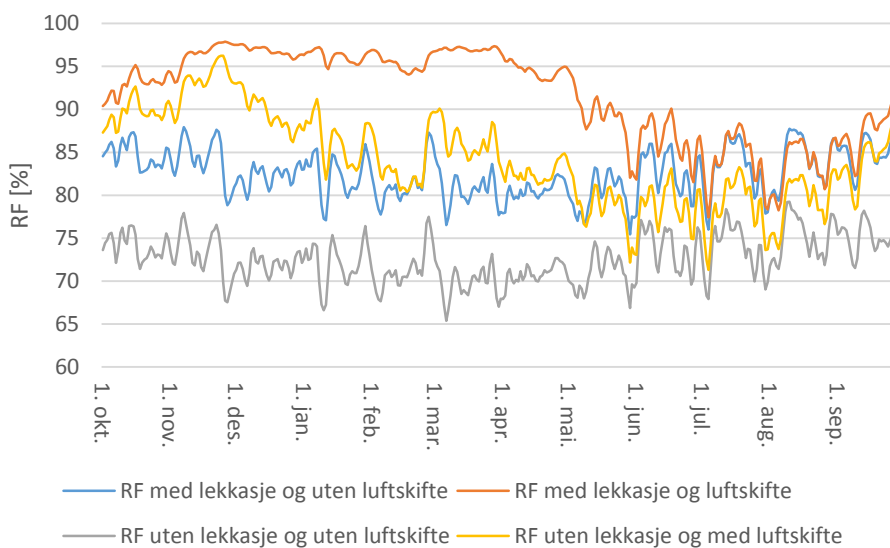
Figur 20 Utturking av luftet på Røros

I Figur 21 ser ein effekten av å legge til slagregnslekkasje . Ein ser jamt over at ved å legge til denne lekkasjen aukar den relative fuktigheten i ytre lag av isolasjonen med 15-20 prosentpoeng, noko som kan vere svært avgjerande med tanke på fuktskader. Samanlikninga er gjort med PE-folie som sperresjikt.



Figur 21 Effekt av slagregnslekkasje

Det vart og gjort simuleringar der ein la til luftkonveksjon med innvendig side som følgje av utetthetar i sperresjiktet. Det var simulert med luftskifte på 1h^{-1} . Bygningen vart plassera i Trondheim med PE-folie som sperresjikt. Dataseriar merka med «lekkasje» betyr at 1% av slagregnet trekk gjennom laftet. Blå linje er same som i Figur 15. Viktigheten av å få til ei tett dampsperre er illustrert ved å samanlikne blå og raud med grå og gul strek på grafen under. Spesielt i vinterhalvåret er skilnaden stor, ettersom både temperatur og moglegheita for utturking vert redusert. Dersom luftskiftet når 1h^{-1} ligg RF-en så høgt at faren for kondens er stor ved kalde temperaturar i vinterhalvåret.



Figur 22 Effekt av luftskifte til innvendig side

4.1.2 Vurdering

Det mest kritiske punktet i veggsjiktet var definitivt i den ytre delen av mineralulla. Mange av oppsetta ga høg fuktighet i dette punktet, noko som gjer at mange av variantane presentert i case A ikkje bør nyttast utan eventuell bruk av kledning. Dette bør derimot undersøkast grundigare før ein eventuelt bestemmer seg for slike løysingar. Det kan stillast spørsmål ved om isolasjonstjukkelen burde vore redusert for å gi høgare temperatur i veggsjiktet, og slik i større grad hindre høg RF. Resultata syner og at slagregnslekkasjen mest sannsynleg er veldig utslagsgivande på kva muggindeks dei ulike oppsetta får. Kor realistisk denne lekkasjen er kan absolutt diskuteras, ettersom lafta bygg går generelt for å vere tette konstruksjonar. På den andre sida skal bygget vere bygd før isolasjon vart vanleg. Dette vil seie at bygget har hatt

mange år med klimapåkjenningar, noko som kan ha ført til utetthetar i konstruksjonen. Oppsetta vert i så fall eit slags «worst case scenario.»

Resultata syner og viktigheita av å ha eit lufttett sjikt mot innvendig side. Det bør difor aldri etterisolerast utan at ein får til eit bra tettesjikt mellom inneluft og isolasjon. Dette sjiktet bør vere dampnett, spesielt i kaldt og tørt klima. Derimot er det vanskeleg å sei basert på desse resultata om dampopne sjikt kan brukast saman med tynnare isolasjonslag. Laftetjukkelsen kan og vere ein faktor som i større grad kan påverke dette.

Med tanke på fuktinnhald i laftet gir løysingane presentert her stor fare for etablering av både mugg og råtesopp. Som tidlegare nemnd kan råtesopp angripe ved vektprosent av vatn over 20%. Generell anbefaling er at dersom nokre av løysingane over skal nyttast i tilsvarende klima, bør det gjerast saman med ytterkledning.

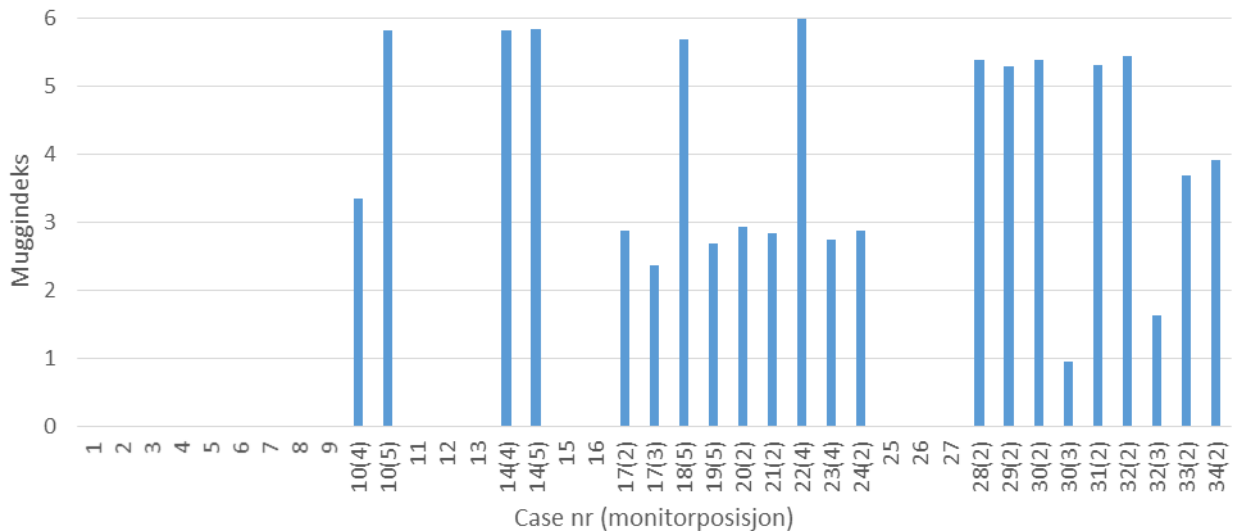
4.2 Case B: Innvendig isolert reisverksvegg med og utan innblåsen isolasjon

4.2.1 Resultat

Figur 23 syner ein oversikt over muggindeks for dei ulike simuleringane. For fleire oppsett var det aktuelt å rekne ut indeksen for fleire punkt i veggjiktet. Monitorposisjonen står då i parentes bak nummeret på oppsettet. Oppsett 1-16 og 25-27 er med lufta kledning, medan oppsett 17-24 og 28-34 er med ulufta. Ein ser tydeleg ein trend der bygningar med ulufta kledning i mykje større grad er utsett for mugg. Dette gjelder både ved innvendig isolering og innblåsing av isolasjon. For oppsett med ulufta kledning vart det som tidlegare nemnd rekna med slagregnelekkasje på 1% gjennom kledningen (med unntak av oppsett 33 og 34). Effekten denne lekkasjen har, er illustrert ved å samanlikne resultata for 29 og 33, samt for 31 og 34. Resultatet utan lekkasje svarar til ein reduksjon på omlag 1,5 i indeksen, noko som er betydeleg.

Det er og verd å merke seg at det ofte er baksida av kledningen som vert mest kritisk (posisjon 2). Dette samsvarar godt med tidlegare erfaringar. Effekten av å ha dampsperrsjikt i kaldt og tørt klima ser ein godt ved å sjå på oppsetta i intervallet 8-16. Oppsett 10 og 14 er utan

dampsperrsjikt, og resulterer i betydeleg muggvekst (indeks ≈ 6). Det er verd å merke seg at det er innvendig side av reisverket, samt ytre lag av mineralulla som er kritisk. Kva type dampsporre som derimot vert nytta, er ikkje så nøye ettersom alle dei tre andre sperrene gir indeksverdier lik 0 i alle monitorpunkt. Samstundes ser ein og at i veldig fuktige klima slik som Bergen, treng ein nødvendigvis ikkje å nytte sperrsjikt dersom kledningen er lufta (2 og 6).



Figur 23 Muggindeks i kritiske punkt for case B

Tabell 5 syner talet på dagar med gunstige vekstforhold for muggsopp i ulike monitorposisjonar for alle simuleringane. For oppsett med bare innvendig isolasjon har gjerne heile veggsjiktet gunstige forhold, medan det for oppsett med innblåsing gjerne er mest kritisk i holrommet mellom ytterkledning og reisverk.

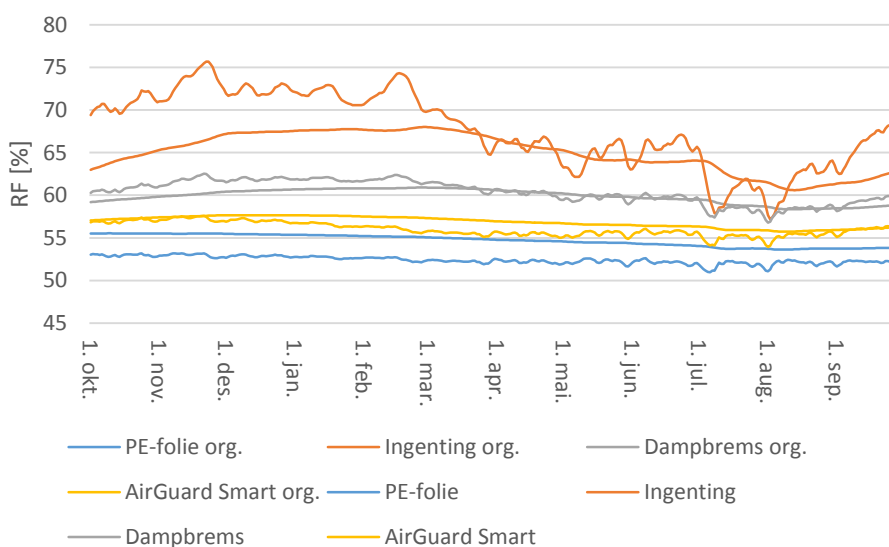
Tabell 5 Dagar med gunstige vekstforhold ($RF > RF_{crit}$)

Oppsett	Posisjon 2	Posisjon 3	Posisjon 4	Posisjon 5	Posisjon 6
1	0	0	0	0	-
2	0	0	0	0	-
3	0	0	0	0	-
4	0	0	0	0	-
5	0	0	0	0	-

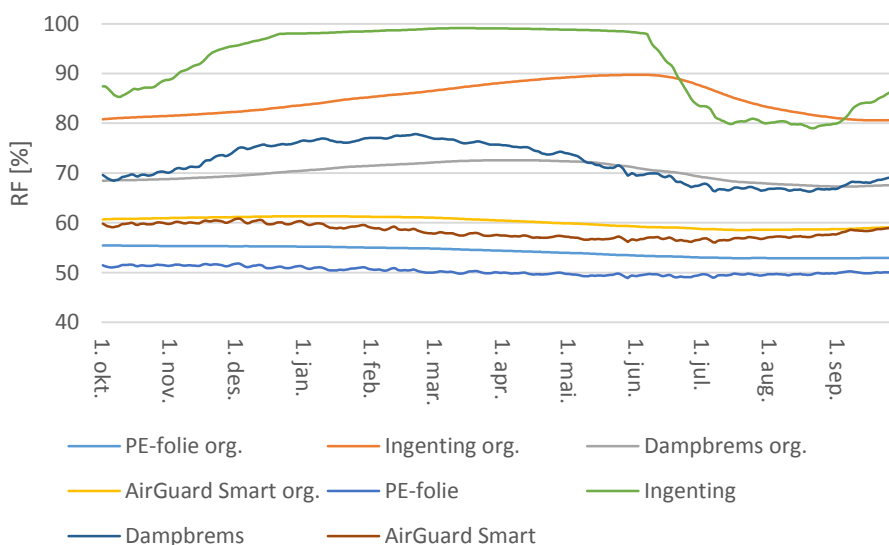
6	0	0	0	0	-
7	0	0	0	0	-
8	0	0	0	0	-
9	0	0	0	0	-
10	0	0	206	284	-
11	0	0	0	0	-
12	0	0	0	0	-
13	0	0	0	0	-
14	0	0	301	281	-
15	0	0	0	0	-
16	0	0	0	0	-
17	195	164	12	0	0
18	312	320	326	330	0
19	225	190	222	234	0
20	199	173	95	29	0
21	192	162	53	-	-
22	312	318	344	-	-
23	229	201	301	-	-
24	195	165	34	-	-
25	0	0	0	0	-
26	0	0	0	0	-
27	0	0	0	0	-
28	309	83	62	0	0
29	308	65	19	0	0
30	308	81	61	0	0
31	308	70	28	0	0
32	309	97	84	0	0
33	224	8	0	0	0
34	244	10	0	0	0

Med tanke på å behalde original kledning, syner Figur 24 og Figur 25 bare minimale utslag i indre del av reisverket (pos. 4). Dette kunne derimot sett annleis ut dersom original kledning

hadde vore simulera med tapet/fleire lag maling. Det einaste unntaket er for oppsett der dampsperrsjikt ikkje er nytta. Her utgjer original kledning einaste sperresjikt, noko som resulterer i ein vesentleg lågare relativ fuktighet om hausten/vinteren. Figur 25 syner at den relative fuktigheten endrar seg frå å så godt som danne kondens, til mellom 80 og 90%. Verd å merke seg er og at effekten av original kledning fører til ein reduksjon i relativ fuktighet ved dampopne sjikt (ingenting og dampbrems), medan den relative fuktigheten aukar dersom det vert nytta dampsperrer (PE-folie og AirGuard Smart). RF er derimot så låg for dampsperrane at det kan vere andre faktorar som verkar inn ved større fuktighet (større skilnad i forhold til inne- og utelufta).

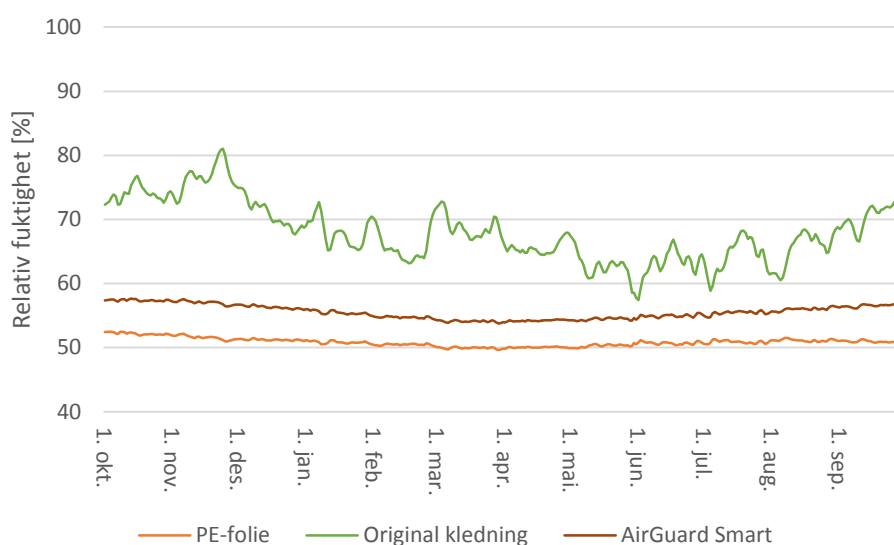


Figur 24 Relativ fuktighet med og utan original kledning i Bergen på innvendig side av reisverket (pos. 4/ 5)



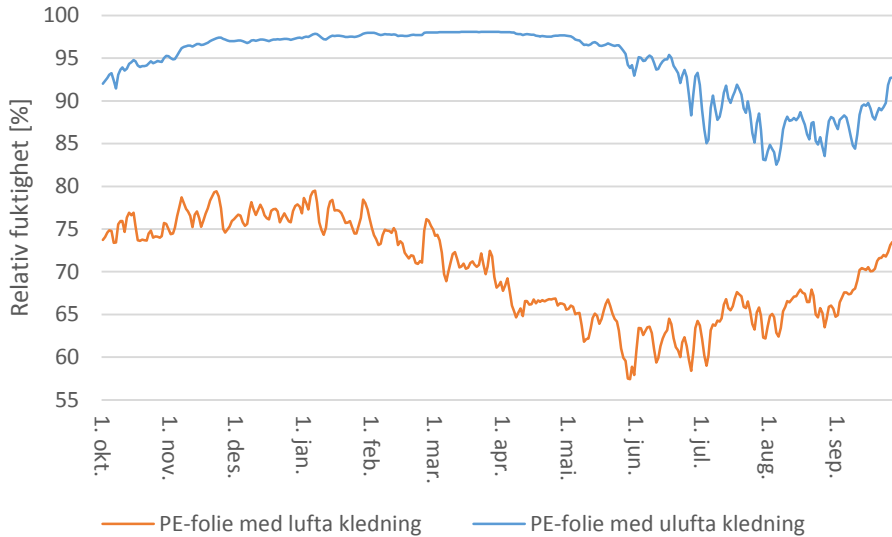
Figur 25 Relativ fuktighet med og utan original kledning på Røros på innvendig side av reisverket (pos. 4/5)

I Figur 26 ser ein tydeleg ein reduksjon i relativ fuktighet i ytre lag av mineralulla ved bruk av dampsperrsjikt i forhold til å bare nytte gamal kledning. Samstundes er den relative fuktigheten så låg at dette alternativet og kan nyttast. 0,15mm PE-folie gir og lågare RF enn AirGuard Smart.

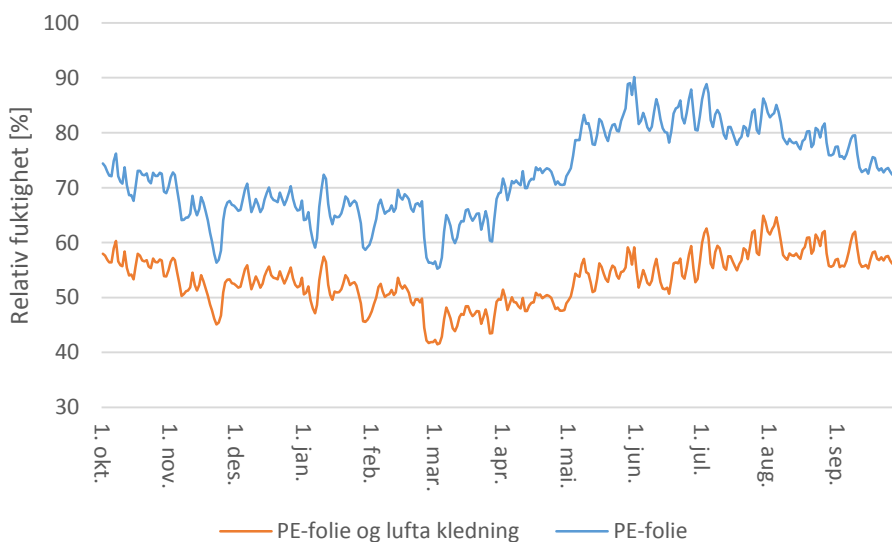


Figur 26 Effekt av ulike dampsperrsjikt i kombinasjon med original kledning innvendig i Trondheim

Som ein og kan sjå av Tabell 5, syner Figur 27 og Figur 28 at ulufta kledning i forbindelse med innblåsing av isolasjon er svært ugunstig. Resultata er omtrent like uavhengig av dampsperrsjikt. Ulufta kledning gir stor opphoping av fukt i veggsjiktet, då spesielt på baksida av kledningen. Dette kan sjåast i samanheng med gjennomtrenging av fuktighet frå slagregn, samt for dårleg utturkingsmoglegheit gjennom kledningen.



Figur 27 Effekt av lufta kledning på tiltak med innblåsing. Relativ fuktighet på baksida av kledning/plate mot innblåst isolasjon (pos. 2).



Figur 28 Effekt av lufta kledning på tiltak med innblåsing. Relativ fuktighet i innvendig del av innblåsen isolasjon (pos. 3).

4.2.2 Vurdering

Resultata av case B syner tydeleg behov for kompetanse ved etterisolering av reisverkshus. Det er ein tydeleg treng der bygningar med lufta kledning kjem absolutt best ut av simuleringane. Ulufta kledning sett tydeleg avgrensingar på kva tiltak som bør gjennomførast, ettersom slik kledning er sterkt utsatt for soppangrep på baksida dersom varmestraumen gjennom vegg sjiktet vert endra. Det bør difor undersøkast kva slags kledning som er montera på bygningen før eventuelle tiltak vert sett i gong. Det bør då ikkje blåsast inn isolasjon i holrommet direkte bak

kledningen. Derimot kan det tenkjast at innvendig isolering kan gjennomførast dersom det vert nytta eit tynnare isolasjonslag enn det som er nytta i simuleringane her. Dette bør eventuelt undersøkast nøyare, spesielt for isolasjonstjukkuleik større enn 50mm. Det bør og nyttast dampsperrsjikt i kalde og tørre klima, medan i fuktige klima (kystklima) kan dette vere unødvendig.

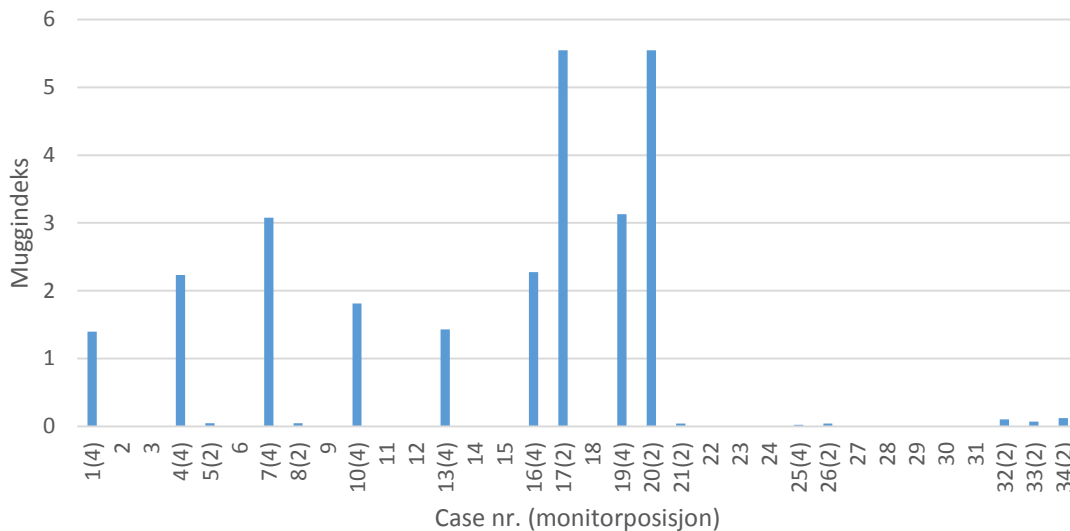
Med tanke på å behalde original panel innvendig kan dette gjerast utan større problem. Det kan derimot tenkjast at panel der det er lagt tapet eller tilsvarende tjukke lag med oljemaling kan gi betydeleg meir dampette lag enn det som er nytta her. Indeksen syner derimot at så lenge kledningen er lufta, vert den relative fuktigheten i sjiktet uansett så låg uavhengig av dampsperrsjikt at dette ikkje bør vere noko problem. Det kunne derimot vore interessant å sett på kva effekt ein luftlekkasje gjennom relativt dampett original panel hadde hatt på fuktigheten. Det same gjeld ein eventuell luftlekkasje gjennom «ulufta» kledning. Ein kan argumentere for at slik kledning «aldri» er lufttett, noko som gjer eit visst luftskifte realistisk.

4.3 Case C: Utvendig isolert laftevegg

4.3.1 Resultat

Utvendig isolering er erfaringsmessig mykje mindre utsett for opphoping av fuktighet enn innvendig isolering. Det finnst derimot og nokre fallgruver for denne typen isolering. Av Figur 29 ser ein at spesielt oppsett der PE-folie er brukt mellom tjukt laft og isolasjon gir høgt sannsyn for soppskader på innvendig side av dampsperra (oppsett 1,4,7,10,13,16 og 19 i posisjon 4). Den største overraskinga kjem som følge av innverknaden klimaet og isolasjonstype har på bruk av vindsperre som indre sperresjikt (oppsett 14,17 og 20). Muggindeksen går i frå 0 i simuleringa i Bergen (14) til i overkant av 5,5 for Trondheim (17) og Røros (20). Ettersom det kritiske punktet ligg i ytterkant av isolasjonslaget, kan det tenkast at denne effekten kjem som følge av opphoping av fuktighet i luftsjiktet bak kledningen. I tillegg ser vi at tilsvarende sjikt med Pavaflex isolasjon ikkje gir indeks høgare enn 0,044 (Oppsett 5 og 8). Det er og interessant å sjå at bruken av AirGuard Smart gir muggindeks lik 0 (18 og 21) under same forhold.

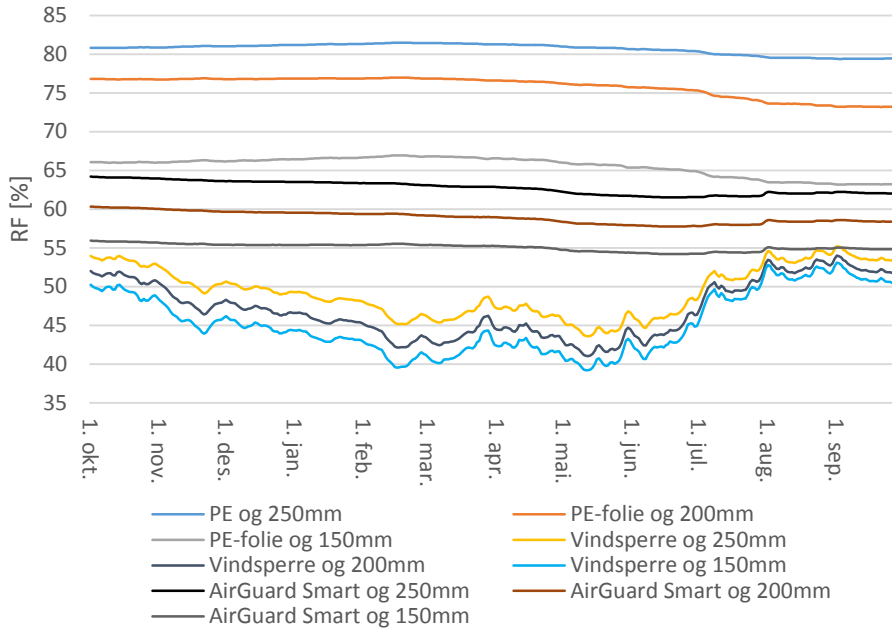
Dersom ein vel å gjer tiltak innvendig, og i den forbindelse monterer innvendig dampsperre, ser ein av oppsett 31, 32 og 34 at dette ikkje skapar nemneverdige problem knytt til fukt, sjølv i bygningar med tykt laft. Det er gode grunnar for å tru at ein her og kan bruke vindsperrer (oppsett nr. 33) som sperresjikt.



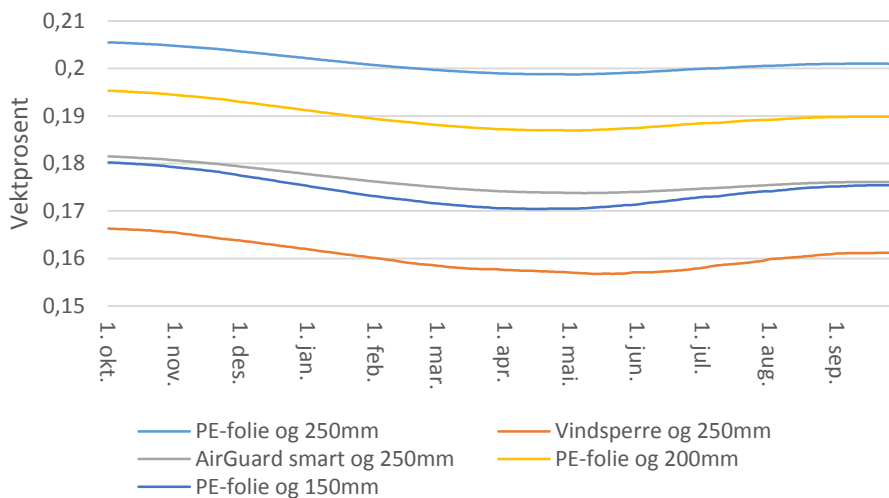
Figur 29 Muggindeks i kritiske punkt for case C

Simuleringane syner at tjukkeleiken på laftet har relativt stor innverknad på den relative fuktigheten, då spesielt i ytre del av laftet (mot dampsperra). Tjukkare veggjar gir mindre utturking mot innvendig side, og spesielt i oppsett der det er nytta dampsperre (PE-folie) er denne effekten stor. PE-folie hindrar i stor grad utturking utover i sjiktet, og laftet er difor i større grad avhengig av å turke mot innvendig side. Reduksjonen i relativ fuktighet er spesielt stor ved overgangen frå 200mm til 150mm tjukkeleik (ca 10 prosentpoeng).

Med tanke på tettesjikt, ser vi at dette har mykje større innverknad på fuktigheten i posisjon 4 enn det tjukkeleiken av laftet har. Dampopen vindsperre gir klart ein stor reduksjon i RF. AirGuard Smart gir og tryggare fuktnivå enn det PE-folien gjer. Ein ser og at ved å nytte eit dampopent snitt, får tjukkeleiken på laftet mindre å seie for utturkinga. Figur 31 syner vektprosent av vatn i laftet gjennom 5. året, og ein ser her same tendensane som nemnd ovanfor. Eksempelvis gir AirGuard Smart omtrent same fuktinnhald ved 250mm tjukkeleik som PE-folie gir ved 150mm tjukkeleik.

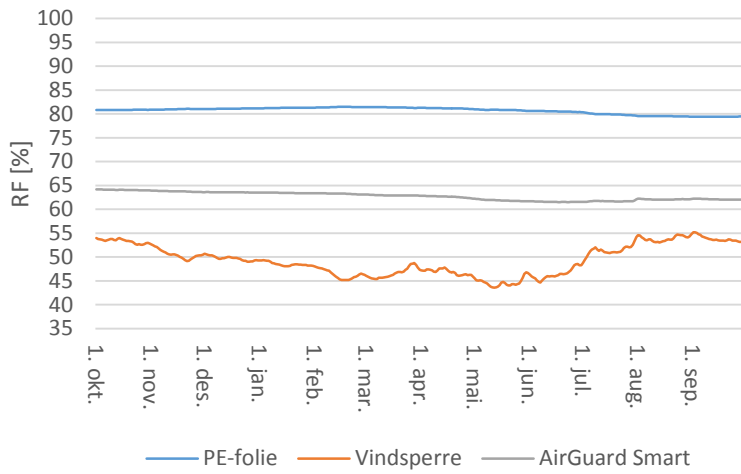


Figur 30 Relativ fuktighet for ulike tjukkleikar av laftet i kombinasjon med sperresjikt i Bergen

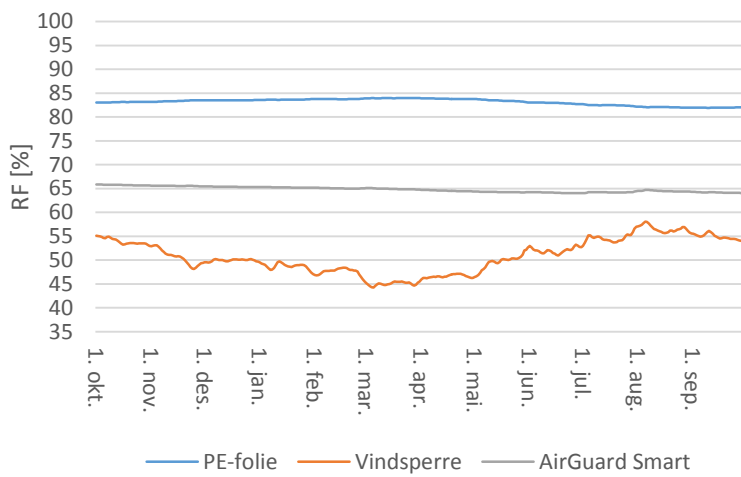


Figur 31 Vektprosent vatn i laftet for ulike kombinasjonar av sperresjikt og tjukkleikar i Bergen

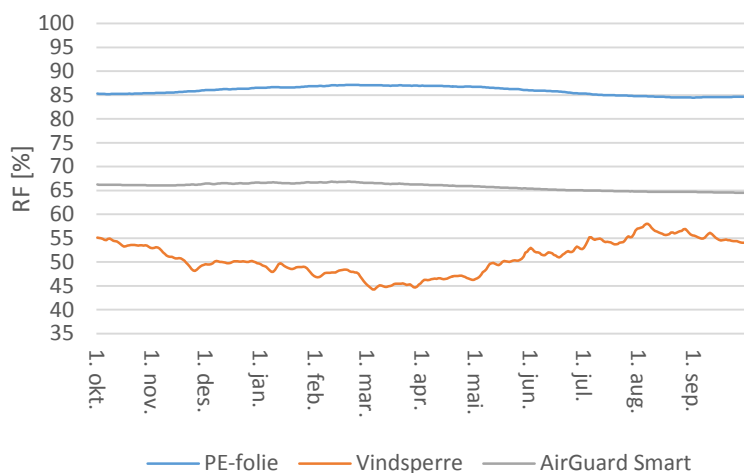
Figur 32-Figur 35 syner variasjonane i relativ fuktighet gjennom 5. året i ytre del av laftet for ulike dampsperssjikt i ulike klima. Data viser klart at bruk av PE-folie mellom laft og isolasjon skaper betydeleg fare for fuktskader. Den relative fuktigheten ligg stort sett over 80% for alle klima, med unntak av Bergen, der RF så vidt kjem under i løpet av sommaren. Dette samsvarer bra med muggindeksen presentert i Figur 29.



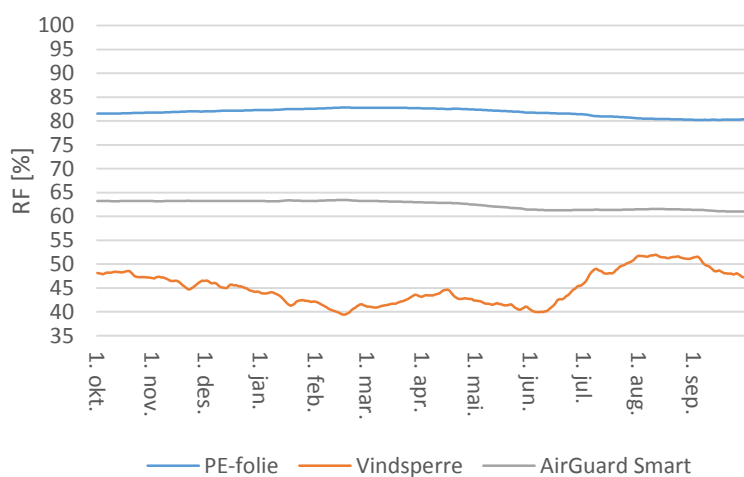
Figur 32 Relativ fuktighet i Bergen i monitorposisjon 4



Figur 33 Relativ fuktighet i Trondheim i monitorposisjon 4



Figur 34 Relativ fuktighet på Røros i monitorposisjon 4



Figur 35 Relativ fuktighet i Oslo i monitorposisjon 4

4.3.2 Vurdering

Ved utvendig isolering av laft bør ein tydeleg vere forsiktig med å nytte damptette sjikt mellom laftet og isolasjonen. Laftet er avhengig av å kunne turke ut mot utvendig side, noko som gjer at det fort hopar seg opp fuktighet. Det kan fort tenkjast at råteskader i laftet kan førekome ved slike løysingar. Dersom det nyttast ei dampopen vindsperre kan dette nyttast saman med trefiberisolasjon, sjølv om det sikraste vil vere å nytte ei smart dampsperre som samtidig som å hindre fuktighet frå å trekke inn i isolasjonen, lar isolasjonen turke ut. Muggindeksen syner tydeleg mykje mindre fare for soppvekst ved bruk av slike sperrer.

Ein faktor som og bør takast nøye omsyn til er tjukkeleiken på lafteveggen ved utvendig isolering. Tynnare laftetjukkeleikar turkar ut mykje fortare enn det tjukke veggjar gjer, og i slike konstruksjonar kan òg PE-folie nyttast som sperresjikt mellom laft og isolasjon. Samstundes er det tryggare å nytte eit dampopent sperresjikt, slik som til dømes vindsperre. Ein ser og tydeleg effekten av fuktlagringskapasiteten til trefiberisolasjon kontra mineralull. Denne evna til å lagre fukt gjer faren for mugg- og råteangrep i veggshjiktet betydeleg mindre i undersøkte løysingar.

Dersom det er aktuelt å i tillegg montere innvendig kledning, bør innvendig sperresjikt leggjast her i staden for mellom laft og isolasjon. Dette for å få mest mogleg tette løysingar, samt at laftet får behalde moglegheita for å turke utover i konstruksjonen. Dersom det allereie er montera innvendig kledning med sperresjikt kan det med stort sannsyn isolerast utvendig uavhengig av damptettheita på dette sjiktet utan nemneverdig fare for opphoping av fukt.

5. Konklusjon

Fleire av dei undersøkte oppsetta gir svært ugunstige fuktforhold i veggsjiktet. Samstundes syner resultatene at det i mange tilfelle er mogleg å oppnå krav med tanke på varmetap etter dagens standard, utan at dette nødvendigvis medfører fuktskader. Dette sjølv om bygningen er verna. Det krevjast derimot tilstrekkeleg kompetanse både under utførings- og prosjekteringsfasen for å unngå opphoping av fukt. Samstundes kjem det stadig nye produkt på marknaden, både innan isolasjon og sperresjikt. Trefiberisolasjon kan dersom han vert nytta riktig, skape betre fuktforhold i veggsjiktet enn tilsvarande mineralull. Det er og eit klart bruksområde for smarte dampsperrer, då spesielt i bygningar der ein ynskjer utvendig isolering, samt å behalde innvendig side urørt. Det er i slike tilfelle viktig med eit dampopent sjikt mot innvendig side dersom laftet er relativt lufttett. Det kunne vore interessant å undersøkt effekten av eit luftskifte her, men grunna tidsavgrensing må dette eventuelt gjerast i vidare arbeid.

Med tanke på innvendig isolering av laft, er det mange løysingar som kan gi fuktproblem i isolasjonslaget. Det kan tenkjast at dette skuldast lekkasje av slagregn, samt for låg temperatur i utvendig del av isolasjonen (for tjukt isolasjonslag). Med utvendig kledning er det derimot få problem med denne type løysingar, og slike løysingar kan anbefalast. Det bør derimot òg generelt nyttast dampette produkt som indre sjikt, og ikkje dampopne vindsperrer og liknande. Effekten av klimaet spelar ei stor rolle med tanke på dette.

Reisverk bør etterisolerast dersom fasaden har lufta kledning. Om ikkje bør det utførast nøyare kontroll av tiltak. Effekten av å behalde original panel innvendig er ikkje veldig stor med mindre dette «sjiktet» består av betydelege mengder maling, alternativt tapet og liknande med stor dampetthet. Resultatene syner for løysingane presentert for reisverk, at dersom kledningen er lufta, har sjiktet tilstrekkeleg låg opphoping av fuktighet til at det går bra uavhengig av klima og sperresjikt. Innvendig sperresjikt bør derimot ha ein viss dampmotstand i tørre og kalde klima.

For å sikre fuktsikker etterisolering bør kvart bygg vurderast individuelt. Det er essensielt å skaffe seg oversikt over veggsjiktet si oppbygning. Frå gammalt var varierte byggeskikkane frå bygd til bygd, og ein kan finne mange ulike løysingar på tettesjikt og isolasjon. Mange av desse

materialparametrane er ukjente, noko som skaper betydeleg rom for feilvurderingar. Dette bør takast omsyn til når ein ser på resultata presentert i denne oppgåva, og resultata presentert her bør ikkje følgjast utan ei individuell vurdering av dei ulike materialane ein har å jobbe med. Resultata gir derimot ein viss pekepinn på korleis ulike faktorar påverkar fuktnivået i veggskiktet.

Referanser

- A., N. et al., 1998. [Internett]
Available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0668.1998.tb00007.x/epdf>
[Funnen 12 03 2015].
- Aga, O., 2013. *daim.idi.ntnu.no*. [Internett]
Available at: <https://daim.idi.ntnu.no/masteroppgave?id=7548>
[Funnen 05 06 2015].
- Airaksinen, M., 2003. *aaltodoc.aalto.fi*. [Internett]
Available at: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/2122>
[Funnen 05 02 2015].
- Alev, Ü. et al., 2014. *Renovation alternatives to improve energy performance of historic rural houses in the Baltic Sea region*. [Internett]
Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814002692>
[Funnen 02 12 2014].
- Altamirano-Medina, H. et al., 2009. *www.tandfonline.com*. [Internett]
Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3763/aber.2009.0308>
[Funnen 14 05 2015].
- Arumägi, E. & Kalamees, T., 2013. *www.sciencedirect.com*. [Internett]
Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261913008714>
[Funnen 15 12 2014].
- Ayerst, G., 1969. *www.sciencedirect.com*. [Internett]
Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022474X69900551>
[Funnen 03 05 2015].
- Blocken, B. & Carmeliet, J., 2000. *Journal of Building Physics*. [Internett]
Available at: <http://jen.sagepub.com/content/24/1/61.short>
[Funnen 20 05 2015].
- Blocken, B. & Carmeliet, J., 2004. *www.sciencedirect.com*. [Internett]
Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167610504000959>
[Funnen 06 06 2015].
- Burke, S. & Yverås, V., 2004. *Nordic journal of surveying and real estate research*. [Internett]
Available at: <http://ojs.tsv.fi/index.php/njs/article/view/41509/10638>
[Funnen 14 05 2015].
- Bush, R. K. et al., 2006. *www.sciencedirect.com*. [Internett]
Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0091674905025911>
[Funnen 06 06 2015].
- Byggforsk TG 20321, 2014. *TG20321*. [Internett]
Available at:
<http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=11&portalMenuId=69&nodeId=318>

9&level=1&documentId=2754

[Funnen 13 02 2015].

Byggforsk, 2007a. 723.304. [Internett]

Available at: <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=675>

[Funnen 10 23 2014].

Carll, C. G. & Highley, T. L., 1999. *www.philipmarshall.net*. [Internett]

Available at: http://www.philipmarshall.net/pdf/carll_99a_wood_decay.pdf

[Funnen 05 06 2015].

Choi, E., 1994. Determination of wind-driven-rain intensity on building faces. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Volum 51, pp. 55-69.

Cohen, S., Goldman, C. & Harris, J., 1991. *www.sciencedirect.com*. [Internett]

Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037877889190012R>

[Funnen 06 06 2015].

El-Shimi, M., White, R. & Fazio, P., 1979. *www.nrcresearchpress.com*. [Internett]

Available at: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.1139/l80-073>

[Funnen 06 06 2015].

Geving, S. & Thue, J. V., 2002. *Fukt i bygninger*. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.

Geving, S. & Thue, J. V., 2002. *Fukt i bygninger*. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.

Geving, S. & Torgersen, S. E., 1997. *Klimadata for fuktberginger*, Trondheim/Oslo: NTNU/Norges byggforskningsinstitutt.

Google Scholar, u.d. [Internett]

Available at: scholar.google.com

[Funnen 2015].

Hagentoft, C.-E., 2011. *www.irbnet.de*. [Internett]

Available at: <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB22349.pdf>

[Funnen 06 02 2015].

Hagentoft, C.-E., Kalagasidis, A. S., Nilsson, S. & Thorin, M., 2008. *www.ventotech.com*. [Internett]

Available at: <http://www.ventotech.com/docs/FinalCopenhagen2008Color.pdf>

[Funnen 06 02 2015].

Hens, H., 2006. *www.researchgate.net*. [Internett]

Available at:

http://www.researchgate.net/profile/Hugo_Hens/publication/237824852_Mold_in_dwelling_field_studies_in_a_moderate_climate/links/0c9605278a8e891ca0000000.pdf

[Funnen 28 05 2015].

Hukka, A. & Viitanen, H., 1999. *A mathematical model of mould growth on wooden material*. [Internett]

Available at: <http://link.springer.com/article/10.1007/s002260050131>

[Funnen 13 03 2015].

Hunter, C., Grant, C., Flannigan, B. & Bravery, A. F., 1988. *www.sciencedirect.com*. [Internett]

Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0265303688900528>
[Funnen 13 05 2015].

H, V. & Ritschkoff, A.-C., 1991. *Mould growth in pine and spruce sapwood in relation for air humidity and temperature*, Uppsala: Swedish university of agricultural sciences, Department of forest products. Report 221..

Hägerhed-Engman, L., Bornehag, C.-G. & Sundell, J., 2009. *www.tandfonline.com*. [Internett]
Available at:
<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09603120802527653#.VXbS8EZqLRI>
[Funnen 06 06 2015].

Hägerstedt, S. & Harderup, L.-E., 2010. *Lund University Publications*. [Internett]
Available at: <https://lup.lub.lu.se/search/publication/5211981>
[Funnen 15 05 2015].

International Energy Agency, 1990. *www.ecbs.org*. [Internett]
Available at: http://www.ecbs.org/docs/annex_14_guidelines_and_practice.pdf
[Funnen 05 24 2015].

Johansson, P., 2012. [Internett]
Available at: <http://publications.lib.chalmers.se/publication/155375-retrofitting-of-old-exterior-wall-with-vacuum-insulation-panels-measurements-of-thermal-properties-m?pubid=155374>
[Funnen 13 05 2015].

Johansson, P., Ekstrand-Tobin, A., Svensson, T. & Bok, G., 2012. *www.elsevier.com*. [Internett]
Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830512001230>
[Funnen 30 05 2015].

Karagizis, A. N. & Kuenzel, H. M., 2007. *www.astm.org*. [Internett]
Available at: <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-117879.html>
[Funnen 15 05 2015].

Klima- og miljødepartementet, 2009. *www.lovdato.no*. [Internett]
Available at: <https://lovdato.no/dokument/NL/lov/1978-06-09-50>
[Funnen 09 06 2015].

Klima- og miljødepartementet, 2014. *Forskrift om fredning av statens kulturhistoriske eiendommer*. [Internett]
Available at: https://lovdato.no/dokument/SF/forskrift/2011-11-09-1088#KAPITTEL_11
[Funnen 21 05 2015].

Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2015. *www.lovdato.no*. [Internett]
Available at: <https://lovdato.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71>
[Funnen 09 06 2015].

Krumsvik, A., 2014. *www.byggogbevar.no*. [Internett]
Available at: <http://www.byggogbevar.no/miljoe-og-enoek/artikler-miljoe-og->

[enoek/celluloseisolasjon.aspx](#)

[Funnen 13 05 2015].

Kumbarogly, G. & Madlener, R., 2012. *www.sciencedirect.com*. [Internett]

Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778812000990>

[Funnen 07 06 2015].

Kurnitski, J. & Matilainen, M., 2000. *www.sciencedirect.com*. [Internett]

Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877880000061X>

[Funnen 05 02 2015].

Künzel, H. M., 1995. *www.ibp.fraunhofer.de*. [Internett]

Available at:

http://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/en/documents/Publikationen/Dissertationen/hk_dissertation_etcm45-30731.pdf?wcmmode=disabled

[Funnen 06 01 2015].

Lavenergiprogrammet, u.d. *lavenergiprogrammet.no*. [Internett]

Available at: <http://www.lavenergiprogrammet.no/1910-1945/trehus-med-reisverksvegg-article2205-356.html#.VWcHqk3vq70>

[Funnen 13 05 2015].

Lisø, K. R., Hygen, H. O., Kvande, T. & Thue, J. V., 2006. *www.tandfonline.com*. [Internett]

Available at:

http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09613210600736248#.VW2zwM_tlBc

[Funnen 30 05 2015].

Menassa, C. C., 2011. *www.sciencedirect.com*. [Internett]

Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811004324>

[Funnen 06 06 2015].

Moradias, P. et al., 2012. *www.sciencedirect.com*. [Internett]

Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095006181200342X>

[Funnen 12 05 2015].

Mundt-Petersen, S. O., 2012. *www.byfy.lth.se*. [Internett]

Available at: <http://www.byfy.lth.se/fileadmin/byfy/files/TVBH-3000pdf/TVBH-3053SOMPweb.pdf>

[Funnen 15 05 2015].

Nielsen, K., Holm, G., Uttrup, L. & Nielsen, P., 2004. *www.sciencedirect.com*. [Internett]

Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830504000782>

[Funnen 13 05 2015].

Olsson, L., 2014. [Internett]

Available at: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/197075/197075.pdf>

[Funnen 07 06 2015].

Park, J.-H. et al., 2007. *www.ncbi.nlm.nih.gov*. [Internett]

Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2199298/>

[Funnen 13 05 2015].

Pasanen, A.-L., Juutinen, T., Jantunen, M. & Kalliokoski, P., 1992. *www.elsevier.com*. [Internett]

Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/096483059290033K>
[Funnen 31 05 2015].

Popescu, D., Bienert, S., Schützenhofer, C. & Boazu, R., 2012. *www.sciencedirect.com*. [Internett]

Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261911005113>
[Funnen 06 06 2015].

Poreh, M. & Mechrez, E., 1983. [Internett]

Available at: http://ac.els-cdn.com/0022169484901823/1-s2.0-0022169484901823-main.pdf?tid=45f0fb06-0e9b-11e5-92bc-00000aacb362&acdnat=1433849756_ab6d168d3ac87917798b947767a93d6b
[Funnen 06 06 2015].

Riksantikvaren, 2004. *Askeladden*, Oslo: s.n.

Riksantikvaren, u.d. *riksantikvaren.no*. [Internett]

Available at: <http://riksantikvaren.no/Veiledning/SEFRAK>
[Funnen 10 05 2015].

Rysanek, A. M. & Choudhary, R., 2013. *www.sciencedirect.com*. [Internett]

Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778812005361>
[Funnen 06 06 2015].

Scheffer, T., 1971. *fs.fed.us*. [Internett]

Available at: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1971/schef71a.pdf>
[Funnen 30 05 2015].

Sciencedirect, u.d. [Internett]

Available at: www.sciencedirect.com

SINTEF Byggforsk, 2003. *573.430*. [Internett]

Available at:
<http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?documentId=606§ionId=2#i21>
[Funnen 23 05 2015].

SINTEF Byggforsk, 2010. *700.110*. [Internett]

Available at: <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=629>
[Funnen 21 05 2015].

SINTEF Byggforsk, 2015. *723.305*. [Internett]

Available at: <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=676>
[Funnen 13 05 2015].

SINTEF Byggforsk, u.d. [Internett]

Available at: bks.byggforsk.no

Statistisk Sentralbyrå, 2012. *www.ssb.no*. [Internett]

Available at: <http://www.ssb.no/sosiale-forhold-og-kriminalitet/artikler-og->

[publikasjoner/sosiale-indikatorer?tabell=91523](#)

[Funnen 23 05 2015].

Sveiipe, E. et al., 2011. Improving thermal insulation of timber frame walls by retrofitting with vacuum insulation panels - experimental and theoretical investigations. *Building Physics*, 10, pp. 168-188.

Torres, I., Freitas & de, V. P., 2010. *The influence of the thickness of the walls and their properties on the treatment of rising damp in historic buildings*. [Internett]

Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061810000164>

[Funnen 14 05 2015].

Tuominen, P. et al., 2012. *www.sciencedirect.com*. [Internett]

Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778812002289>

[Funnen 06 06 2015].

Tveit, A., 1966. *Measurements of moisture sorption and moisture permeability of porous materials*, Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.

U.S. Environmental Protection Agency, 2013. *Moisture Control Guidance for Building Design, Construction and Maintenance*, s.l.: U.S. Environmental Protection Agency.

Vereecken, E. & Roels, S., 2012. Review of mould prediction models and their influence on mould risk evaluation. *Building and Environment*, Volum 51, pp. 296-310.

Viitanen, H., 1997. Modelling the time factor in the development of mould fungi - Effect of critical humidity and temperature conditions in pine and spruce sapwood. *Holzforschung*, 51(1), pp. 6-14.

Viitanen, H. & Bjurman, J., 1995. Mould growth on wood at fluctuating humidity conditions. *Mat. und Org.*, 29(1), pp. 27-46.

Vedlegg 1: Inputverdier i WUFI for case A

Monitorar

- Ytre del av laft (for oppsett med kledning, posisjon 2)
- Ytre del av mineralull (posisjon 2, 3 i oppsett med kledning)
- Indre del av mineralull (posisjon 3, 4 i oppsett med kledning)

Orientering

- Orientering: sjå Tabell 2.
- Inclination: 90°
- Building Height: «Short building»

Surface transfer coefficients

- Exterior surface: «External wall»
- No coating
- Short-Wave Radiation Absorptivity: 0.7 («Wood (spruce): weathered (silver-gray)»)
- Ground Short-Wave Reflectivity: 0,20 («standard value»)
- Adhering Fraction of Rain: 0,7 («According to inclination and construction type»)

Initial conditions

- Initial Relative Humidity: 0,8
Constant Across Component
- Initial Temperature in Component: 20°C
Constant Across Component

Control

- Start: 01.10.2015, 00:00
- End: 01.10.2020, 00:00
- Steps: 1 [h]

Numerics

- Heat Transport Calculation – checked
- Moisture Transport Calculation – checked
- Use temperature and moisture dependency – checked
- Hygrothermal Special Options – all unchecked
- Numerical Parameters – all checked
- Adaptive Time Step Control – disabled

- Geometry: Cartesian

Climate

- Outdoor: sjå Tabell 2
- Indoor: sjå Tabell 2

Vedlegg 2: Inputverdier i WUFI for case B

Monitorar

For oppsett med lufta kledning:

- Ytre del av innblåst isolasjon (posisjon 2)
- Indre del av innblåst isolasjon (posisjon 3)
- Indre side av reisverket (bare for oppsett med original kledning, posisjon 4)
- Ytre del av mineralulla (posisjon 5)

For oppsett med ulufta kledning:

- Baksida av ytterkledningen (posisjon 2)
- Ytterside av cellulosepappen (bare for oppsett med innblåst isolasjon, posisjon 3)
- Ytre del av reisverket (posisjon 4)
- Indre side av reisverket (bare for oppsett med original kledning, posisjon 5)
- Ytre del av mineralulla (posisjon 6)

Orientering

- Orientering: sjå Tabell 3.
- Inclination: 90°
- Building Height: «Short building»

Surface transfer coefficients

- Exterior surface: «External wall»
- Sd-value: 0,5m (maling)
- Short-Wave Radiation Absorptivity: 0.8 («Wood (spruce): painted brown»)
- Ground Short-Wave Reflectivity: 0,20 («standard value»)
- Adhering Fraction of Rain: 0,7 («According to inclination and construction type»)

Initial conditions

- Initial Relative Humidity: 0,8
Constant Across Component
- Initial Temperature in Component: 20°C
Constant Across Component

Control

- Start: 01.10.2015, 00:00

- End: 01.10.2020, 00:00
- Steps: 1 [h]

Numerics

- Heat Transport Calculation – checked
- Moisture Transport Calculation – checked
- Use temperature and moisture dependency – checked
- Hygrothermal Special Options – all unchecked
- Numerical Parameters – all checked
- Adaptive Time Step Control – disabled
- Geometry: Cartesian

Climate

- Outdoor: sjå Tabell 3
- Indoor: sjå Tabell 3

Vedlegg 3: Inputverdier i WUFI for case C

Monitorar

- Ytre lag av isolasjonen (mot vindsperresjiktet, posisjon 2)
- Indre lag av isolasjonen (mot dampsperssjiktet, posisjon 3)
- Ytre lag av laftet (mot dampsperssjiktet, posisjon 4)

Orientering

- Orientering: sjå Tabell 3.
- Inclination: 90°
- Building Height: «Short building»

Surface transfer coefficients

- Exterior surface: «External wall»
- Sd-value: 0,5m (maling)
- Short-Wave Radiation Absorptivity: 0.8 («Wood (spruce): painted brown»)
- Ground Short-Wave Reflectivity: 0,20 («standard value»)
- Adhering Fraction of Rain: 0,7 («According to inclination and construction type»)

Initial conditions

- Initial Relative Humidity: 0,8
Constant Across Component
- Initial Temperature in Component: 20°C
Constant Across Component

Control

- Start: 01.10.2015, 00:00
- End: 01.10.2020, 00:00
- Steps: 1 [h]

Numerics

- Heat Transport Calculation – checked
- Moisture Transport Calculation – checked
- Use temperature and moisture dependency – checked
- Hygrothermal Special Options – all unchecked
- Numerical Parameters – all checked
- Adaptive Time Step Control – disabled

- Geometry: Cartesian

Climate

- Outdoor: sjå Tabell 3
- Indoor: sjå Tabell 3