

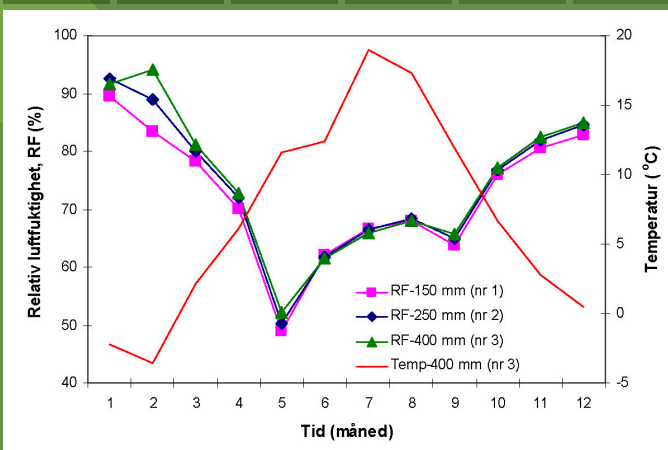
STIG GEVING OG JONAS HOLME

# Høyisolerte konstruksjoner og fukt

Analyse av fukttekniske konsekvenser av økt isolasjonstykkelse i yttervegger, tak, kryperom og kalde loft

Prosjektrapport 53

2010



SINTEF Byggforsk

Stig Geving og Jonas Holme

# Høyisolerte konstruksjoner og fukt

Analyse av fukttekniske konsekvenser av økt isolasjonstykkelse  
i yttervegger, tak, kryperom og kalde loft

Prosjektrapport 53 – 2010

Prosjektrapport nr. 53

Stig Geving og Jonas Holme

### **Høyisolerte konstruksjoner og fukt**

Analyse av fukttekniske konsekvenser av økt isolasjonstykkelse i yttervegger, tak, kryperom og kalde loft

Emneord:

Fukt, isolasjonstykkelse, yttervegger, tak, loft, kryperom

Prosjektnr: B 21750.34

Omslagsfoto: SINTEF Byggforsk, Byggforvaltning 725.117 Utbedring av skader i skrå tretak med kaldt loft

ISSN 1504-6958

ISBN 978-82-536-1139-6 (pdf)

ISBN 978-82-536-1140-2 (trykt)

30 eks. trykt av AIT AS e-dit

Innmat: 100 g munken polar

Omslag: 240 g trucard

© Copyright SINTEF Byggforsk 2010

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF Byggforsk er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B  
Postboks 124 Blindern  
0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

[www.sintef.no/byggforsk](http://www.sintef.no/byggforsk)



# FORORD

I 2007 ble Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven (TEK07) endret. De mest omfattende endringene gjaldt energikravene, som trådte i kraft 1. februar 2007. Målet er 25 % reduksjon i energibehov til bygninger sammenlignet med kravene i Teknisk forskrift fra 1997. Dette medfører blant annet en generell økning i isolasjonstykkelsen i alle ytterkonstruksjonene. For yttervegger får man eksempelvis en økning fra 150 mm til ca 250 mm. I såkalte passivhus vil isolasjonstykkelsene være enda større enn hva man får ved kun å følge TEK07, for yttervegger kan man ha isolasjonstykkelser opp mot 400 mm.

Det er imidlertid en bekymring for at faren for fuktskader i bygningskroppen øker i forbindelse med at isolasjonstykkelsene i både gulv, yttervegger og tak er i ferd med å øke betraktelig. Rent teoretisk vet vi at fuktnivået i ytre del av konstruksjonen øker med isolasjonstykkelsen. Denne effekten er velkjent og er det som har ført til en viss bekymring i byggebransjen. Hva dette i realiteten betyr, og om det i det hele tatt er verdt å ta hensyn til denne effekten, er imidlertid til en viss grad uavklart.

I denne rapporten har vi gjennomført grundige undersøkelser og analyser om dette temaet. De effektene som er undersøkt er at når ytre del av konstruksjonen blir kaldere øker fuktnivået, samt at byggfukt og tilfeldige lekkasjer tørker saktere når isolasjonstykkelsen øker. Det er sett på forskjellige ytterveggskonstruksjoner samt kalde luftede loft og kryperom. Dette er gjennomført hovedsakelig ved beregninger, men også ved laboratoriemålinger.

Dette arbeidet er gjennomført innenfor forsknings- og utviklingsprogrammet *Climate Adapted Buildings (CAB) 2007 - 2009*. Forfatterne vil rette en stor takk til Norges forskningsråd for finansieringen av dette arbeidet.

Berit Time  
Prosjektleder  
SINTEF Byggforsk

# SAMMENDRAG

## *Generelt*

Hovedformålet med denne rapporten har vært å kartlegge om risikoen for fuktskader øker ved økt isolasjonstykkelse i ytterkonstruksjoner. De effektene som er undersøkt er at når ytre del av konstruksjonen blir kaldere øker samtidig fuktnivået, samt at byggfukt og tilfeldige lekkasjer får lengre uttørkingstid når isolasjonstykkelsen øker. Det er sett på forskjellige ytterveggskonstruksjoner samt kalde luftede loft og kryperom. Dette er undersøkt hovedsakelig ved beregninger, men også ved laboratoriemålinger. Alle beregninger og målinger viste at disse effektene er reelle. Disse effektene er vurdert i forhold til hvor mye risikoen for muggvekst i konstruksjonene øker, dvs. er økningen så liten at den kan aksepteres uten spesielle tiltak eller er risikoen så stor at spesielle tiltak eller andre konstruksjonsvalg bør settes i verk?

Konklusjonen for de fleste konstruksjonene er at risikoen for fuktskader og muggvekst øker noe, men at dette i de fleste tilfeller lett kan motvirkes ved riktige material- og konstruksjonsvalg samt riktig utførelse. Visse typer til dels ugunstige konstruksjoner blir imidlertid enda mer ugunstige, og i slike tilfeller bør alternative løsninger velges. Andre faktorer enn økt isolasjonstykkelse har ofte større betydning for muggvekstrisikoen, som for eksempel vanddampmotstanden til vindsperra og luftfuktigheten til innelufta. Dersom disse faktorene går i ugunstig retning vil imidlertid negative effekter av økt isolasjonstykkelse kunne få større betydning.

Det er viktig å være klar over at forskriftskrav om økte isolasjonstykkelser, samtidig fører med seg andre krav som har en positiv effekt på fuktforholdene i ytterkonstruksjoner. Krav til økt lufttetthet for småhus vil redusere oppfuktingen fra luftlekkasjer og dermed risikoen for muggvekst. Krav til varmegjenvinning fra fraluften og balansert mekanisk ventilasjon vil i praksis føre til en mer kontrollert ventilasjon, og at minimumskravet på ca 0,5 luftskifter i timen i større grad vil oppnås enn hva som har vært tilfelle tidligere. Bedre ventilasjon vil gi lavere fuktinnhold i innelufta, noe som vil redusere muggvekstrisikoen som følge av vanddampdiffusjon og luftlekkasjer fra innelufta. Disse positive effektene er trolig større enn de negative effektene av at ytre del av konstruksjonen blir kaldere.

## *Bindingsverksvegger*

Vi vurderer at det normalt ikke er behov for spesielle tiltak for bindingsverksvegger for å motvirke effekten av at økte isolasjonstykkelser gir kaldere ytre del av konstruksjonen med påfølgende økt relativ luftfuktighet. Forutsetningen er da at normale anbefalinger mhp konstruksjonsoppbygging er fulgt, for eksempel med hensyn til krav til vindsperrers og dampsperrers dampmotstand, at konstruksjonene har god lufttetthet etc. Dersom disse anbefalingene derimot ikke er fulgt kan det være aktuelt med spesielle tiltak. Det å benytte et vindsperrersjikt med så liten dampmotstand som mulig er trolig det mest effektive tiltaket.

Vi vurderer at den negative effekten av lengre uttørkingstid av byggfukt (og tilfeldige lekkasjer) er større enn effekten av kaldere ytre del. Både beregninger og målinger viste at det tar lenger tid å tørke ut høye nivåer av byggfukt (og eventuelle tilfeldige lekkasjer) når isolasjonstykkelsen øker, dvs. vi fant opptil en fordobling av uttørkingstiden ned til fuktnivåer hvor det ikke er risiko for muggvekst. Dette medfører generelt at risikoen for muggvekst øker. Vi mener at dette medfører at vi må gjøre tiltak for å unngå negative konsekvenser av dette, dvs. det må fokuseres sterkere på å unngå oppfukting under bygging. Slike tiltak er værbeskyttet bygging (teltsystemer, tildekkinger etc), fuktmålinger, god uttørking før lukking av konstruksjoner, etc.

## *Luftede tak og bjelkelag mot loft og kryperom*

En luftet takkonstruksjon og bjelkelag mot loft og kryperom vil fuktteknisk være svært lik en bindingsverksvegg med luftet kledning. Vi forutsetter derfor at de samme konklusjonene vi har truffet for bindingsverksvegger nevnt ovenfor også gjelder for disse konstruksjonene.

#### *Innvendig isolerte betongvegger over terreng*

Innvendig isolerte betongvegger er generelt en type konstruksjon som er ugunstig, mhp at organisk materiale blir stengt inn mellom to tette sjikt. Med økt isolasjonstykkelse viser resultatene at konstruksjonen blir enda mer ugunstig. Slike konstruksjoner bør derfor ikke benyttes ved store isolasjonstykkelser, eventuelt bør det stilles spesielle krav til konstruksjonen og bygningen.

#### *Kalde loft*

Vi vurderer at det normalt ikke er behov for spesielle tiltak for kalde luftede loft for å motvirke effekten av at økte isolasjonstykkelser gir kaldere loftsluft og undertak. Forutsetningen er da at normale anbefalinger mhp konstruksjonsoppbygging er fulgt, for eksempel med hensyn til krav til loftets ventilasjon, dampperras dampmotstand, at bjelkelaget har god lufttetthet, at beboerrommene er godt ventilert og har lav luftfuktighet etc. Dersom disse anbefalingene derimot ikke er fulgt kan det være aktuelt med spesielle tiltak. Ved etterisolering av et eldre loftsbjelkelag er det derfor spesielt viktig at man kontrollerer de nevnte faktorene, men det er aktuelt å kontrollere disse faktorene også godt ved nybygging..

#### *Uteluftsventilert kryperom*

Uteluftsventilerte kryperom er en konstruksjonsløsning som generelt er ugunstig, dvs. vi har erfaring med at den er skadeutsatt. En økning i isolasjonstykkelsen vil føre til en klar økning i relativ luftfuktighet i kryperommet og gjøre konstruksjonen enda mindre robust. Kryperom bør derfor ikke benyttes ved store isolasjonstykkelser, eventuelt bør kryperomsløsningen forbedres.

# INNHold

<b>FORORD .....</b>	<b>3</b>
<b>SAMMENDRAG .....</b>	<b>4</b>
<b>1. INNLEDNING .....</b>	<b>7</b>
1.1 Formål .....	7
1.2 Bakgrunn .....	7
<b>2. KONSEKVENSER AV ØKT ISOLASJONSTYKKELSE - MEKANISMER .....</b>	<b>9</b>
2.1 Generelt .....	9
2.2 Risiko for muggvekst .....	9
2.3 Kaldere ytre del .....	10
2.4 Lengre uttørkingstid av byggfukt .....	13
<b>3. YTTERVEGGER .....</b>	<b>15</b>
3.1 Fuktberegninger .....	15
3.1.1 Generelt .....	15
3.1.2 Basis inputparametre .....	15
3.1.3 Kaldere ytre del – Bindingsverksvegg (konstruksjon A) .....	15
3.1.4 Kaldere ytre del – Betongvegg (konstruksjon D) .....	16
3.1.5 Lengre uttørkingstid av byggfukt – 1D bindingsverksvegg (konstruksjon B) .....	17
3.1.6 Lengre uttørkingstid av byggfukt – 2D bindingsverksvegg (konstruksjon C) .....	18
3.2 Laboratorieforsøk – lengre uttørkingstid av byggfukt .....	19
3.2.1 Generelt .....	19
3.2.2 Oppbygging av veggen .....	20
3.2.3 Plassering av målepunkter .....	22
3.2.4 Oppfukting av stender og bunnsvill .....	23
3.2.5 Fuktmålinger .....	24
3.3 Resultater og vurderinger .....	24
3.3.1 Kaldere ytre del – Bindingsverksvegg (konstruksjon A) .....	24
3.3.2 Kaldere ytre del – Betongvegg (konstruksjon D) .....	29
3.3.3 Lengre uttørkingstid av byggfukt – 1D bindingsverksvegg (konstruksjon B) .....	31
3.3.4 Lengre uttørkingstid av byggfukt – 2D bindingsverksvegg (konstruksjon C) .....	33
3.3.5 Laboratorieforsøk – lengre uttørkingstid av byggfukt .....	35
<b>4. KALDE LUFTED E LOFT .....</b>	<b>38</b>
4.1 Beregninger .....	38
4.2 Resultater og vurderinger .....	39
<b>5. UTELUFTVENTILERT KRYPEROM .....</b>	<b>44</b>
5.1 Beregninger .....	44
5.2 Resultater og vurderinger .....	45
<b>6. OPPSUMMERING OG ANBEFALINGER .....</b>	<b>51</b>
6.1 Generelt .....	51
6.2 Yttervegger .....	52
6.2.1 Bindingsverksvegger .....	52
6.2.2 Innvendig isolerte betongvegger over terreng .....	55
6.3 Luftede takkonstruksjoner .....	55
6.4 Kalde loft .....	55
6.5 Kryperom .....	56
<b>7. LITTERATUR .....</b>	<b>58</b>
<b>VEDLEGG .....</b>	<b>59</b>
Vedlegg 1 - Kaldere ytre del .....	60
Vedlegg 2 – Lengre uttørkingstid av byggfukt .....	64

# 1. INNLEDNING

## 1.1 Formål

Hovedformålet med denne rapporten har vært å kartlegge om risikoen for fuktskader øker ved økt isolasjonstykkelse i ytterkonstruksjoner. De effektene som er undersøkt er at når ytre del av konstruksjonen blir kaldere øker fuktnivået, samt at byggfukt og tilfeldige lekkasjer tørker saktere når isolasjonstykkelsen øker. Det er sett på forskjellige ytterveggskonstruksjoner samt kalde luftede loft og kryperom. Dette er undersøkt hovedsakelig ved beregninger, men også ved laboratoriemålinger.

## 1.2 Bakgrunn

Som et resultat av en økt global oppmerksomhet på energisparing og reduksjon av klimagassutslipp har en i Norge i løpet av relativt få år erfart en betydelig interesse og fokus omkring lavenergi-bygninger og passivhus. Norske myndigheters tydelige bevis på at energibruken i bygninger i fremtiden skal ned er reflektert i bygningslovgivningen ved Teknisk forskrift fra 2007, og de har gitt klart uttrykk for at dette bare er et første steg på veien.

I 2007 ble Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven (TEK07) endret. De mest omfattende endringene gjelder energikravene, som trådte i kraft 1. februar 2007. Målet er 25 % reduksjon i energibehov til bygninger sammenlignet med kravene i Teknisk forskrift fra 1997. Dette medfører blant annet en generell økning i isolasjonstykkelsen i alle ytterkonstruksjonene. For yttervegger får man eksempelvis en økning fra 150 mm til ca 200-250 mm.

Ved å ha fokus på et lavt energibehov og løsninger som tilfredsstiller dette har en de siste årene fått fram flere pilotbygg som viser ny moderne byggeskikk og teknologi i praksis. Figur 1.1 og 1.2 viser eksempler på ett par nye prosjekter som er ferdigstilt de siste årene og som har fått stor oppmerksomhet som forbildeprosjekter. I såkalte lavenergi- og passivhus som disse vil isolasjonstykkelsene være enda større enn hva man får ved kun å følge TEK07, for yttervegger kan man ha isolasjonstykkelser opp mot 400 mm.



Figur 1.1  
Norwegian Wood prosjektet Egenes Park i Stavanger. Boligene på Egenes skal ha et maksimalt levert energiforbruk på 75 kWh/m<sup>2</sup> år. Foto: SINTEF Byggforsk



Figur 1.2  
I prosjektet Løvåshagen i Bergen er det bygd boliger med lavenergi-standard og passivhus. Foto: SINTEF Byggforsk



Det er imidlertid en bekymring for økt fare for fuktskader i bygningskroppen i forbindelse med at isolasjonstykkelsene i både gulv, yttervegger og tak er i ferd med å øke betraktelig. Rent teoretisk vet vi at fuktnivået i ytre del av konstruksjonen øker med isolasjonstykkelsen. Denne effekten er velkjent og er det som har ført til en viss bekymring i byggebransjen. Hva dette i realiteten betyr, og om det i det hele tatt er verdt å ta hensyn til denne effekten, har i begrenset grad vært utført på nasjonalt og internasjonalt nivå.. En utredning vedrørende dette temaet ble imidlertid gjennomført av SINTEF Byggforsk for Statens Bygningstekniske Etat før revisjon av Teknisk forskrift i 2007 (Uvsløkk og Gustavsen, 2006). Utredningen gjaldt lette bindingsverkskonstruksjoner, og konkluderte med følgende:

- En økning i isolasjonstykkelsen fra 150 mm til 250 mm vil medføre en viss økning i risikoen for muggvekst i yttervegger.
- Faren er størst i uttørkingstiden fordi mengden fukt som må tørke ut øker som følge av at mengden treverk øker. Denne faren kan imidlertid motvirkes ved enkle tiltak i byggeperioden.
- I driftsfasen er økningen i risikoen for muggvekst som følge av økt isolasjonstykkelse liten og har liten betydning.

Overnevnte studie var basert på diffusjonsberegninger, men ble i etterkant også komplettert med beregninger hvor luftlekkasjer fra innelufta virket sammen med vandampdiffusjon (Uvsløkk, 2007), (Uvsløkk, 2008). Beregningene viste at den positive virkningen av mindre luftlekkasjer og sikrere ventilasjon (som følge av strengere krav i TEK) sannsynligvis vil være vesentlig større enn økningen av muggvekstrisiko på grunn av økt isolasjonstykkelse.

I denne rapporten har vi gjennomført ytterligere undersøkelser og analyser om dette temaet. Mens overnevnte undersøkelser hovedsakelig er basert på stasjonære en-dimensjonale diffusjonsberegninger med månedsdata for klimaet, har vi her gjort ikke-stasjonære beregninger med timesdata for klimaet og hensyntagen til materialenes fuktkapasitet. I tillegg er det gjennomført enkelte to-dimensjonale beregninger. Som for de overnevnte beregninger har vi sett på bindingsverkskonstruksjoner. I tillegg har vi også sett på tyngre ytterveggskonstruksjoner, samt kalde luftede loft og uteluftsventilerte kryperom. Vi har dessuten gjennomført et laboratorieforsøk hvor vi så på uttørkingstiden av byggfukt. Deler av resultatene i denne rapporten og resultatene fra (Uvsløkk og Gustavsen, 2006) og (Uvsløkk, 2007) er også blitt presentert i (Time m.fl., 2009).

## 2. KONSEKVENSER AV ØKT ISOLASJONSTYKKELSE - MEKANISMER

### 2.1 Generelt

Økt isolasjonstykkelse i ytterkonstruksjonene vil kunne medføre en viss økning i fuktnivået i konstruksjonene og dermed en økt risiko for muggvekst. Dette skyldes hovedsaklig følgende mekanismer:

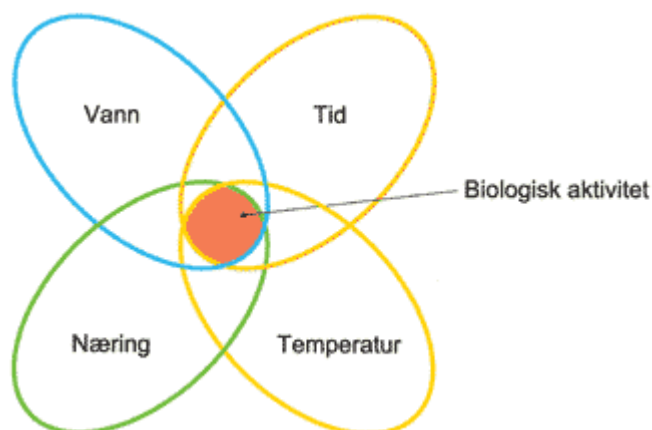
- Den ytre delen av konstruksjonen blir kaldere og relativ luftfuktighet (RF) i dette området øker dermed noe. Se nærmere beskrivelse av denne mekanismen i kapittel 2.3. Økt RF er negativt med hensyn på risiko for muggvekst. Samtidig vil en senket temperatur redusere risikoen noe, se kapitel 2.2.
- Uttørkingstiden for eventuell byggfukt eller fukt etter mindre lekkasjer øker når isolasjonstykkelsen og mengde treverk øker. Se nærmere beskrivelse av denne mekanismen i kapittel 2.4. Lenger tørketid for fuktige materialer medfører økt risiko for muggvekst, se kapittel 2.2.
- Økt isolasjonstykkelse gir økt intern luftsirkulasjon i isolasjonssjiktet og større grad av intern fuktfordeling i en vegg eller et tak. For en vegg vil det si at øvre og ytre del av bindingsverksveggen blir fuktigere (mens nedre og ytre del blir tørrere), spesielt i uttørkingfasen.

De to førstnevnte mekanismene er behandlet videre i denne rapporten.

### 2.2 Risiko for muggvekst

Kriteriet vi her benytter for å vurdere om vi får økt risiko for fuktskader som følge av økt isolasjonstykkelse, er hvorvidt risikoen for muggvekst øker og eventuelt hvor mye risikoen for vekst øker. For å kunne vurdere dette må vi vite hvordan de to viktigste faktorene fuktighet og temperatur innvirker på muggvekstrisikoen, og dette er kort omtalt i det følgende.

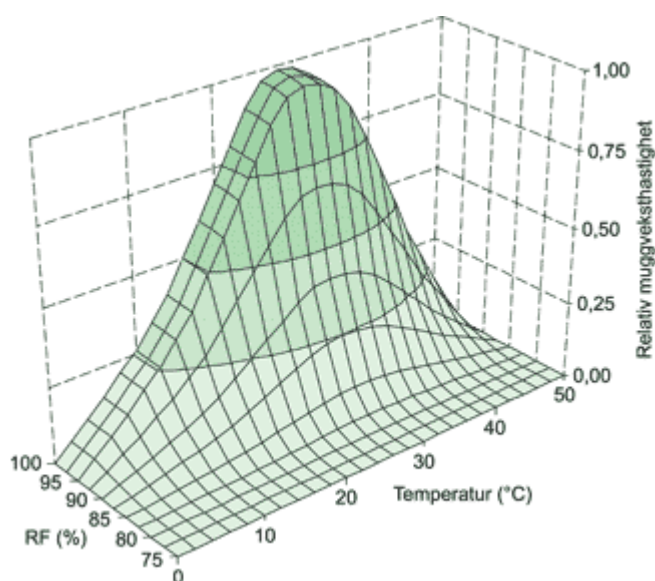
For å vokse trenger sopp næring, vann/fukt, gunstig temperatur og tid, se figur 2.1. I analysene i denne rapporten forutsetter vi at både næring og tid (dvs. perioden det eventuelt er gunstige fuktighets- og temperaturforhold) er tilstrekkelig til å gi vekst, dvs. muggvekstrisikoen kan vurderes ut fra fuktighets og temperaturnivået.



Figur 2.1  
Forutsetninger for vekst av muggsopp.

De ulike muggsoppartene har varierende krav til fuktighet. De vanligste muggsoppene ved vekst innendørs krever over 80–85 % relativ luftfuktighet (RF) på materialoverflaten eller i porer i materialoverflaten for å vokse. Det tilsvarer et vanninnhold på ca. 20 vektprosent i treverk ved 20 °C (vanninnhold i vektprosent av helt tørt materiale). Samtidig må man regne med at jo høyere opp mot 100 % RF man kommer, desto flere arter vil få gode vekstbetingelser. Veksthastigheten vil også øke med fuktnivået. Ved uttørking stanser veksten, men sporene overlever og kan starte ny vekst ved ny tilgang på fukt.

Muggsopp er avhengig av en gunstig temperatur for å vokse. Optimal temperatur for de fleste artene er rundt 25–30 °C. Flere arter kan ha god vekst også ved lavere temperaturer. Når det blir for kaldt (ned mot 0 °C), stopper aktiviteten, men muggsoppene dør ikke. Soppen går i dvale og overlever som regel nedfrysing. Ved temperaturer over 25–30 °C reduseres veksthastigheten, og ved temperaturer opp mot 40–60 °C dør de fleste muggsoppene. Tilsvarende gjelder også for råtesopp. I figur 2.2 er relativ muggveksthastighet vist som funksjon av relativ luftfuktighet (RF) og temperatur.

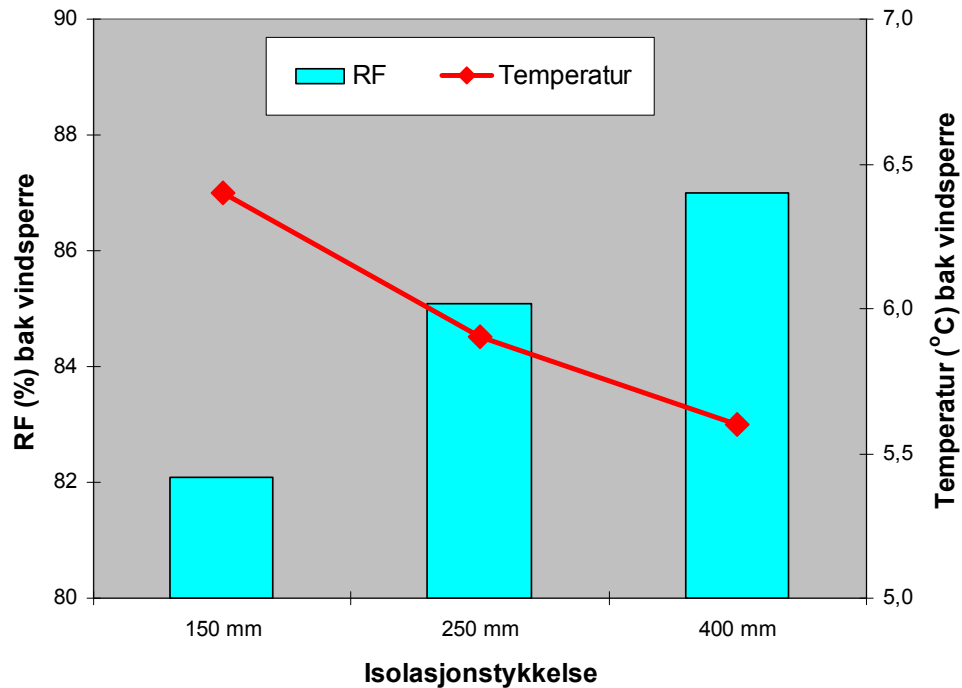


Figur 2.2  
Relativ muggveksthastighet for de mest vanlige muggsoppene som funksjon av temperatur og relativ luftfuktighet. Kilde: Byggforskserien 701.401

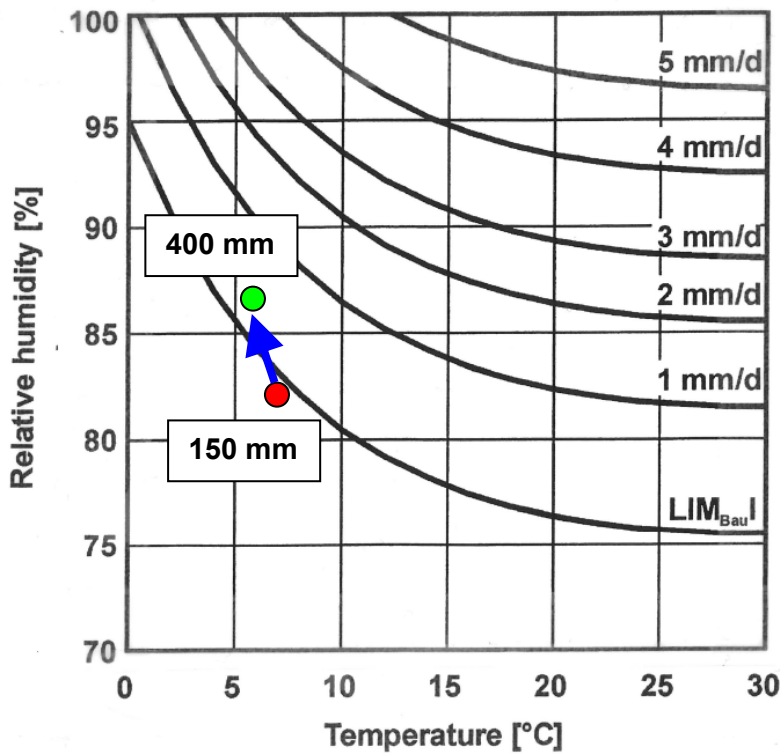
## 2.3 Kaldere ytre del

Den kritiske delen av en ordinær bindingsverksvegg (eller luftet tak) mhp kondens eller muggvekst, er vanligvis vindsperra – eller rettere sagt innsiden av vindsperra. Økt isolasjonstykkelse fører til at temperaturen ved vindsperra senkes i den kaldere årstiden. Med samme damptrykk (fuktinnhold i lufta) ved vindsperra fører en temperatursenkning til at RF går øker. Økt RF medfører vanligvis økt risiko for muggvekst, se kapittel 2.2. Samtidig vil en redusert temperatur redusere risikoen for muggvekst noe – men neppe nok til å motvirke den negative effekten av økt RF. Et eksempel på størrelsen av denne effekten er vist i figur 2.3 for ett enkelt stasjonært beregningseksempel. Vi ser at effekten er begrenset, for det aktuelle beregningstilfellet øker RF med ca 5 % når isolasjonstykkelsen øker fra 150 mm til 400 mm – mens temperaturen synker ca 0,8 °C. Å bedømme hva dette faktisk betyr mhp økt risiko for muggvekst er selvfølgelig vanskelig. I figur 2.4 er den aktuelle endringen fra 150 mm til 400 mm tegnet inn i et såkalt isopleth-diagram (et diagram som sier noe om veksthastigheten for muggsopp avhengig av temperatur og RF). Til sammenligning viser vi effekten av å øke dampmotstanden til vindsperra fra  $S_d = 0,16$  m til  $S_d = 1$  m (anbefalt maksimumsverdi er 0,5 m) i figur 2.5, som viser omtrent samme økning i muggvekstrisiko.

Ekvivalent luftlagstykkelse,  $S_d$ , er en forholdsvis ny enhet for dampmotstand som er mer og mer brukt i Norge og andre land. At et materialsjikt har en  $S_d$ -verdi på 0,5 m betyr at materialsjiktet har samme motstand mot vandampdiffusjon som et 0,5 m tykt lag med stillestående luft. Vindsperrer har eksempelvis typisk en  $S_d$ -verdi mellom 0,02-0,3 m (anbefalt < 0,5 m), mens en 0,15 mm plastfolie har en  $S_d$ -verdi på ca 70 m (anbefalt for dampsperrer > 10 m).

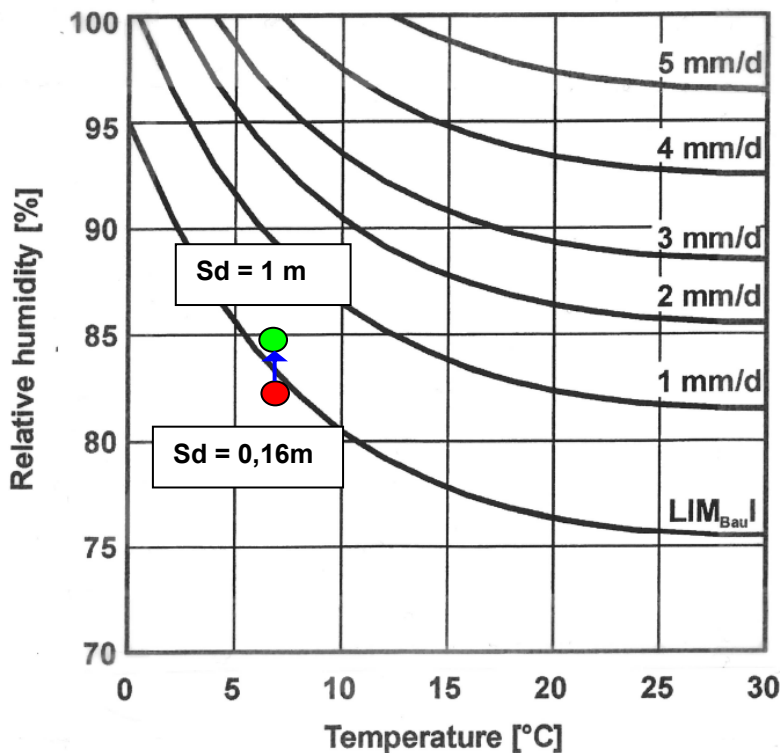


Figur 2.3  
 Beregnet temperatur og RF rett bak vindsperra (mellom vindsperre og isolasjon) for forskjellige isolasjonstykkelser og stasjonære forhold. Klimaforhold:  $T_{ute} = 5\text{ °C}$ ,  $RF_{ute} = 90\%$ ,  $T_{inne} = 23\text{ °C}$ ,  $RF_{inne} = 40\%$ .  
 Konstruksjon: Luftet kledning, 13 mm porøs trefiberplate (vindsperre  $S_d = 0,16\text{ m}$ ), X mm mineralull, dampsperre ( $S_d = 10\text{ m}$ ), 13 mm gipsplate.



Figur 2.4

Isopletdiagram for biologiske materialer (Sedlbauer, 2002). Kurvene er såkalte vekstdiagram for muggvekst, og viser mm vekst av muggsopp per døgn ved gitte temperatur- og RF-nivåer. Vi ser at veksten øker når RF og temperatur øker.  $LIM_{Bau I}$  er grensenivåkurve for i det hele tatt å få vekst. Effekten av å øke isolasjonstykkelser fra 150 mm til 400 mm som beregnet i eksempelet i figur 2.3 er inntegnet i diagrammet. Vi ser at risikoen for muggvekst øker noe – men ikke svært mye.



Figur 2.5

Isopletdiagram for biologiske materialer (Sedlbauer, 2002). Effekten av å øke dampmotstanden til vindsperra fra  $S_d = 0,16$  m (trefiberplate) til  $S_d = 1$  m er inntegnet i diagrammet (ellers samme beregningseksempel som beskrevet i figur 2.3). Vi ser at risikoen for muggvekst øker noe, omtrent på nivå av å øke isolasjonstykkelser fra 150 til 400 mm som vist i figur 2.4.

## 2.4 Lengre uttørkingstid av byggfukt

### Generelt

Det er to årsaker til at uttørkingstiden av byggfukt blir lenger:

- Tykkere vegger gir økt mengde treverk (i de konstruksjonene treverk benyttes). En fordobling av isolasjonstykkelsen vil eksempelvis føre til en fordobling av mengde byggfukt hvis vi forutsetter at det kun er treverket som er fuktet opp. Uttørkingstiden vil dermed i prinsippet også fordobles.
- Økt isolasjonstykkelse fører til økt motstand mot uttørking. Siden moderne vindsperrer er relativt dampåpne vil dampmotstanden til selve isolasjonen utgjøre en vesentlig del av den totale dampmotstanden regnet fra et sted inne i konstruksjonen (hvor byggfukten er) til utelufta. Denne effekten er nærmere forklart nedenfor.

Effekten av økt isolasjonstykkelse på uttørkingshastigheten av byggfukt kan forklares og illustreres på flere måter. Vanndamptransporten,  $g$ , gjennom et homogent materiale ved stasjonære forhold kan beskrives ved følgende uttrykk, se figur 2.6:

$$g = \delta_p \cdot \frac{\Delta p_v}{d} = D_p \cdot \frac{\Delta p_v}{S_d} \quad (\text{kg}/(\text{m}^2\text{s}))$$

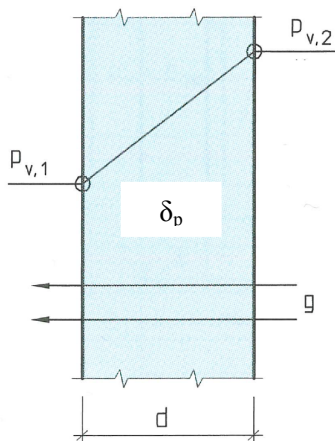
Fukttransporten går i retning av fallende damptrykk. Her er:

$\Delta p_v$  =  $p_{v,2} - p_{v,1}$  (Pa) = forskjellen i damptrykk mellom de to sidene av materialet

$D_p$  = vanndampens diffusjonstall i luft  $\approx 2,0 \cdot 10^{-10}$  kg/(msPa)

$S_d$  = diffusjonsekvivalent luftlagtykkelse (m)

$\delta_p$  = vanndamppermeabilitet (kg/(msPa))



Figur 2.6  
En-dimensjonal stasjonær vanndampdiffusjon.

”Tykkelseeffekten” er da illustrert som følger:

### Eksempel:

Dersom eksempelvis isolasjonsmaterialet er oppfuktet med fritt vann (RF = 100%) i et lite område rett utenfor dampsperra vil uttørkingen skje utover i konstruksjonen, og motstanden mot uttørking er representert ved vanndampmotstanden til isolasjonen og vindsperra. Forutsetter at  $S_d$ -verdien til vindsperra er den samme som  $S_d$ -verdien til 150 mm isolasjon, dvs.  $S_{d,\text{vindsperra}} = S_{d,150 \text{ mm isolasjon}} = 0,15$  m.

Konstruksjon 1:

$$d = 150 \text{ mm} = d_1$$

$$S_{d,\text{utover}} = S_{d,\text{vindsperre}} + S_{d,150 \text{ mm isolasjon}} = 2 \times 0,15 \text{ m} = 0,30 \text{ m}$$

$$g_1 = D_p \cdot \frac{\Delta p_v}{0,3 \text{ m}}$$

Konstruksjon 2:

$$d = 2 \times d_1 :$$

$$S_{d,\text{utover}} = S_{d,\text{vindsperre}} + S_{d,300 \text{ mm isolasjon}} = 3 \times 0,15 \text{ m} = 0,45 \text{ m}$$

$$g_2 = D_p \cdot \frac{\Delta p_v}{0,45 \text{ m}}$$

Dvs. vanndamptransport  $g_2 = 0,67 \times g_1$

Denne reduksjonen i utoverrettet vanndamptransport skyldes altså at den totale vanndampmotstanden fra den fuktige isolasjonen og utover har økt med 33% når isolasjonstykkelsen er fordoblet.

## 3. YTTERVEGGER

### 3.1 Fuktberegninger

#### 3.1.1 Generelt

Beregningene er hovedsakelig gjennomført ved hjelp av WUFI 1D Pro 4 (WUFI, 2009). WUFI 1D Pro 4 er et beregningsprogram for koblet ikke-stasjonær, en-dimensjonal varme- og fukttransport. Programmet inkluderer fukttransport ved hjelp av vanndampdiffusjon og kapillærtransport og tar hensyn til fuktkapasiteten til materialene. Varme- og fukttransport på grunn av luftlekkasjer er ikke med i beregningsmodellen.

I disse beregningene er både effekten av kaldere ytre del (jfr. kap. 2.3) av konstruksjonen undersøkt samt effekten av at uttørkingstiden av byggfukt blir lenger for konstruksjoner med mer isolasjon og treverk enn vanlig (jfr. kap 2.4). I tillegg er det gjort noen tilleggsberegninger med WUFI 2D-3, som i prinsippet er samme modell som WUFI 1D Pro 4, men som regner to-dimensjonalt. Med WUFI 2D-3 er effekten av at høyt byggfuktnivå i bindingsverk av tre tørker saktere ut for høyisolerte konstruksjoner undersøkt.

#### 3.1.2 Basis inputparametre

Som klimadata ble det benyttet såkalte Moisture Design Reference Years (MDRY) for Oslo. MDRY er klimadata på timebasis valgt ut for å representere en fuktbelastning som er mer kritisk enn gjennomsnittsklimaet. Det er valgt nordvendt orientering av veggkonstruksjonene.

Innetemperaturen er satt konstant lik 20 °C. Fuktilskuddet i lufta er brukt som mål på fuktbelastning inne. Fuktilskuddet er definert som differansen i vanndampkonsentrasjon mellom inn- og utelufta i g/m<sup>3</sup>. Den er bestemt av fuktproduksjonen inne og ventilasjonsgraden. Som standard verdi for fuktilskuddet blir det brukt en verdi på 4 g/m<sup>3</sup> for vinterforhold (utetemperatur under 5 °C) og 1,5 g/m<sup>3</sup> for sommerforhold (utetemperatur over 15°C), med lineær interpolering for utetemperaturen mellom 5 – 15 °C. Dette representerer et nivå for luftfuktigheten som er noe høyere enn gjennomsnittet for norske boliger, men likevel ikke et ekstremt nivå.

De viktigste materialparametrene brukt i beregningene er delvis hentet fra WUFIs egen database.

#### 3.1.3 Kaldere ytre del – Bindingsverksvegg (konstruksjon A)

Det er gjennomført en-dimensjonale beregninger for en bindingsverksvegg med følgende standard oppbygning regnet innenfra (se figur 3.1):

- 12 mm gipsplate
- Dampsperre ( $S_d = 10$  m)
- 150 el. 250 el. 400 mm mineralull
- 12 mm asfaltimpregnert porøs trefiberplate ( $S_d = 0,23$  m ved 72% RF)
- Luftet kledning

Det er verdt å merke seg at siden det er en en-dimensjonal beregning er bindingsverket ikke medtatt i den modellerte konstruksjonen.

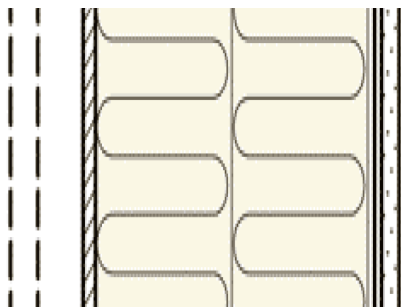
Beregningene er gjennomført med et relativt lavt startfuktnivå (byggfukt) på 80% RF. Beregningsperioden gikk over tre år, men i resultatene vises kun det første året siden likevekt raskt ble oppnådd.

Fukt og temperaturforholdene ved vindsperra er naturlig nok til dels svært avhengig av hvordan den luftede kledningen er modellert. I beregningene er kledningen og luftspalten modellert som et



materiallag med varmemotstand  $R = 0,14 \text{ m}^2\text{K/W}$  og dampmotstand tilsvarende 10 mm luft. Siden luftingen bak kledningen reduserer temperatureffekten av solinnstråling noe er det regnet med en nordvendt yttervegg, dvs. det er minimal solbelastning på veggen. En ekstra parameterstudie ble imidlertid utført for å se på effekten av lufting bak kledningen. Disse beregningstilfellene er ikke tatt med i tabell 1 og resultattabeller, men er vist i figur V1.6.

Parameterstudier ble også gjennomført for å se hvilken betydning andre konstruksjonsløsninger og klima hadde på effekten av å øke isolasjonstykkelsen. Beregningstilfellene er beskrevet i tabell 3.1.



Figur 3.1  
Bindingsverksvegg (konstruksjon A) – vertikalsnitt.

Tabell 3.1  
Beregningstilfeller for bindingsverksveggen (konstruksjon A). Standardverdier i fet skrift.

<b>VARIABLE</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>
<b>Isolasjonstykkelse = 150 mm</b>	x			x			x			x			x			x		
Isolasjonstykkelse = 250 mm		x			x			x			x			x				x
Isolasjonstykkelse = 400 mm			x			x			x			x			x			x
<b>Sd dampsperre = 10 m</b>	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sd dampsperre = 2 m				x	x	x												
<b>Sd vindsperre = 0,23 m</b>	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sd vindsperre = 0,025 m							x	x	x									
<b>Uteklima = Oslo</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x								x	x
Uteklima = Bergen										x	x	x						
Uteklima = Karasjok													x	x	x			
<b>Fukttilskudd inne = 4 g/m<sup>3</sup> (vinter)</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
Fukttilskudd inne = 6 g/m <sup>3</sup> (vinter)																x	x	x

### 3.1.4 Kaldere ytre del – Betongvegg (konstruksjon D)

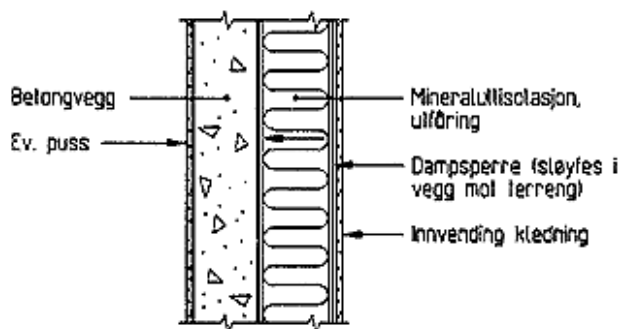
Det er gjennomført en-dimensjonale beregninger for en betongvegg med følgende standard oppbygning regnet innenfra (se figur 3.2):

- 12 mm gipsplate
- Dampsperre ( $S_d = 70 \text{ m}$ )
- 150 el. 250 el. 400 mm mineralull
- 200 mm betong

Beregningene er gjennomført med et middels startfuktnivå (byggfukt) på 85% RF.

Beregningsperioden gikk over to år, men i resultatene vises kun det første året siden likevekt raskt ble oppnådd. Effekten på økt isolasjonstykkelse av en mer dampåpen dampsperre (såkalt dampbrems med  $S_d = 2 \text{ m}$ ) som kan gi uttørkingsmuligheter innover mot rommet ble undersøkt. Beregningstilfellene er beskrevet i tabell 3.2.

Det kritiske punktet som er undersøkt i denne konstruksjonen er grensesnittet mellom mineralulla og betongen, dvs. den innvendige betongoverflaten. For å gi en eventuell innvendig utføring av treverk varmere og tørrere forhold anbefales det ofte at man klosser ut treverket fra betongen og legger noe isolasjon mellom treverket og betongen. Vi har derfor også undersøkt fuktforholdene i mineralulla, 50 mm fra betongoverflaten.



Figur 3.2  
Innvendig isolert betongvegg over terreng (konstruksjon D) – vertikalsnitt.

Tabell 3.2  
Beregningstilfeller for betongveggen (konstruksjon D).

VARIABLE	1	2	3	4	5
Isolasjonstykkelse = 150 mm	x			x	
Isolasjonstykkelse = 250 mm		x			
Isolasjonstykkelse = 400 mm			x		x
Sd dampspærre = 70 m	x	x	x		
Sd dampspærre = 2 m				x	x

### 3.1.5 Lengre uttørkingstid av byggfukt – 1D bindingsverksvegg (konstruksjon B)

Det er gjennomført en-dimensjonale beregninger for en bindingsverksvegg med høyt fuktinnhold i treverk. Beregningstilfellet skal etterligne det tilfelle at bindingsverk (stendere, sviller mm) er fuktet opp av nedbør og eventuelle vanddammer (sviller) i byggefasen, og at isolasjon og dampspærre er montert før treverket er tørket ned til akseptable nivåer. Dette vil altså være et svært ugunstig tilfelle som avviker fra vanlige anbefalinger, men som nok likevel skjer av og til i virkeligheten. Kanskje spesielt er dette aktuelt for bunnsviller og tykkere lag av treverk, dvs. sviller/stendere i flere lag hvor fukt kan trenge inn mellom lagene.

Siden beregningene er en-dimensjonale må treverket legges inn som et eget en-dimensjonalt sjikt inne i isolasjonssjiktet for på den måten å etterligne uttørkingen av en oppfuktet trestender.

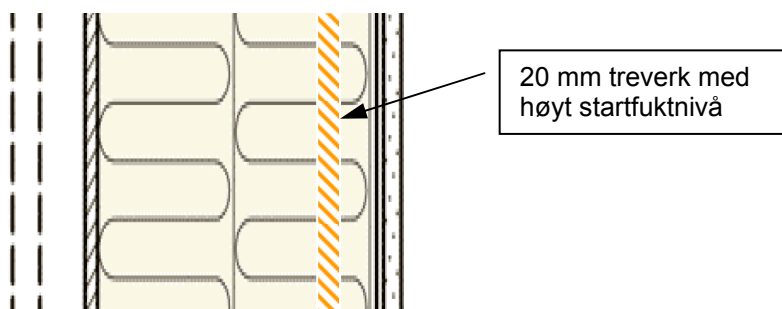
Konstruksjonen har følgende oppbygning regnet innenfra (se figur 3.3):

- 12 mm gipsplate
- Dampspærre ( $S_d = 70$  m)
- 20 mm mineralull
- 20 mm treverk (gran)
- 130 el. 230 el. 370 mm mineralull
- Vindspærre ( $S_d = 0,1$  m)
- Luftet kledning

Treverket ble gitt et høyt startfuktinnhold på 30 vekt% (98% RF). Det er verdt å merke seg at siden den "fiktive" trestenderen er lagt inn med konstant tykkelse (20 mm) og startfuktinnhold (30 vekt%) i alle beregningstilfellene, får vi kun sett på effekten av økt motstand mot uttørking ved økt

isolasjonstykkelse – og ikke effekten av at økt mengde treverk gir mer byggfukt, jfr. kapittel 2.4. Begge effekter blir imidlertid beregnet for det to-dimensjonale tilfellet i kapittel 3.1.6.

Beregningsperioden gikk over ett år med starttidspunkt 1. april, men i resultatene vises kun for de tre første månedene siden det er uttøringen den første tiden som er interessant. Parameterstudier ble også gjennomført for å se hvilken betydning andre konstruksjonsløsninger og andre starttidspunkt hadde på effekten av å øke isolasjonstykkelsen. Beregningstilfellene er beskrevet i tabell 3.3.



Figur 3.3  
Bindingsverksvegg (konstruksjon B) – vertikalsnitt.

Tabell 2  
Beregningstilfeller for bindingsverksvegg (konstruksjon B). Standardverdier i fet skrift.

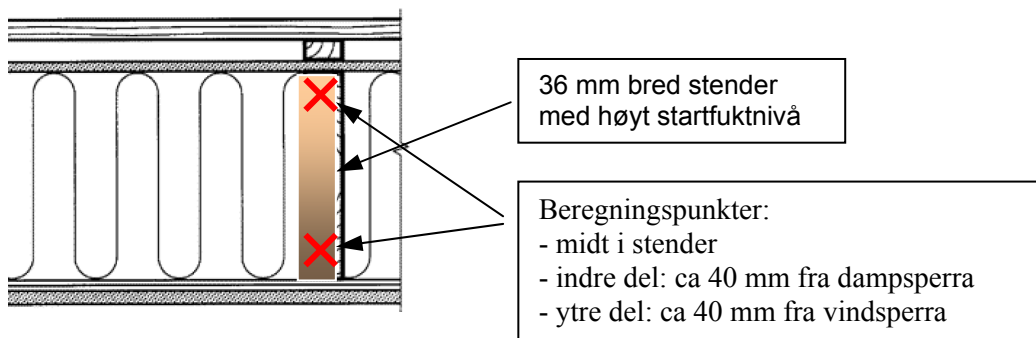
VARIABLE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Isolasjonstykkelse = 150 mm</b>	x			x		x		x		x		x	
Isolasjonstykkelse = 250 mm		x											
Isolasjonstykkelse = 400 mm			x		x		x		x		x		x
<b>Sd vindsperre = 0,1 m</b>	x	x	x			x	x	x	x	x	x		
Sd vindsperre = 0,5 m				x	x							x	x
Start beregning = 1. januar								x	x				
<b>Start beregning = 1. april</b>	x	x	x	x	x							x	x
Start beregning = 1. juli										x	x		
Start beregning = 1. oktober						x	x						
<b>Sd dampsperre = 70</b>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Sd dampsperre = 2												x	x

### 3.1.6 Lengre uttørkingstid av byggfukt – 2D bindingsverksvegg (konstruksjon C)

De to-dimensjonale beregningene er gjennomført for samme konstruksjon og betingelser som for de en-dimensjonale beregningene (konstruksjon B), men treverket er denne gangen en massiv stender (bredde 36 mm), se figur 3.4. Det ble gjennomført to beregninger med veggtykkelse på 150 og 400 mm.

Det er valgt å ta ut beregningsresultater for både utvendig og innvendig del av stenderen. Dette fordi det vil være forskjellig uttørkingsforløp i innvendig og utvendig del av konstruksjonen, samt at temperaturforholdene (og dermed muggvekstrisiko) vil være forskjellig. Muggsopp vil kun vokse på overflatene av treverket, og slikt sett burde resultatene vært tatt ut fra overflaten som vender mot isolasjonshulrommet. Vi har imidlertid valgt å ta ut resultater fra midt inne i stenderen. Dette er fordi vi anser at de mest kritiske detaljene er treverk lagt i flere lag (doble sviller/stendere,

bunnsvill på plattformgolv etc), og at for eksempel overflaten på en svill som ligger mot en annen svill kan tilnærmet representeres på denne måten.



Figur 3.4  
Bindingsverksvegg (konstruksjon C) – horisontalsnitt.

## 3.2 Laborieforsøk – lengre uttørkingstid av byggfukt

### 3.2.1 Generelt

Det er utført et laborieforsøk hvor effekten av lengre uttørkingstid av byggfukt fra en bindingsverksvegg med 400 mm varmeisolasjon kontra kun 150 mm er undersøkt. Laborieforsøket ble satt opp som en etterligning av et svært kritisk (konservativt) tilfelle fra virkeligheten, dvs. at bindingsverket er fuktet opp etter lang tid med nedbør, og at konstruksjonen deretter blir isolert og lukket uten noen uttørking av treverket. Det er klart at dette er et svært konservativt og til dels urealistisk tilfelle. Normalt vil det ta noe tid fra bygget er lukket til mineralullen og dampsperra blir montert, slik at man vil som minimum ha en viss uttørking. Samtidig vil det nok også være treverk lokalt som får minimalt med uttørking før lukking (for eksempel doble bunnsviller/stendere, bunnsvill mot plattformgolv), og det er dette vi prøver å etterligne i dette forsøket.

Forsøket består i at to vegger er bygd opp mellom to klimarom i laboratorium, den ene med isolasjonstykkelse 400 mm og den andre med 150 mm isolasjon, se figur 3.5. Stender og bunnsvill fuktes opp ved hel neddykking i vann i en uke. Relativ luftfuktighet og temperatur er konstant med henholdsvis 80% og 10°C på utsiden og 40% og 20°C på innsiden av vegg. Fuktinnholdet i de oppfuktede delene logges 5 uker etter lukking av konstruksjonen.



Figur 3.5  
Oppbygging av veggfelt med tykkelse hhv 150 og 400 mm mellom to rom med styrt klima. Bildet er tatt fra "innsiden" (varmt klimarom).

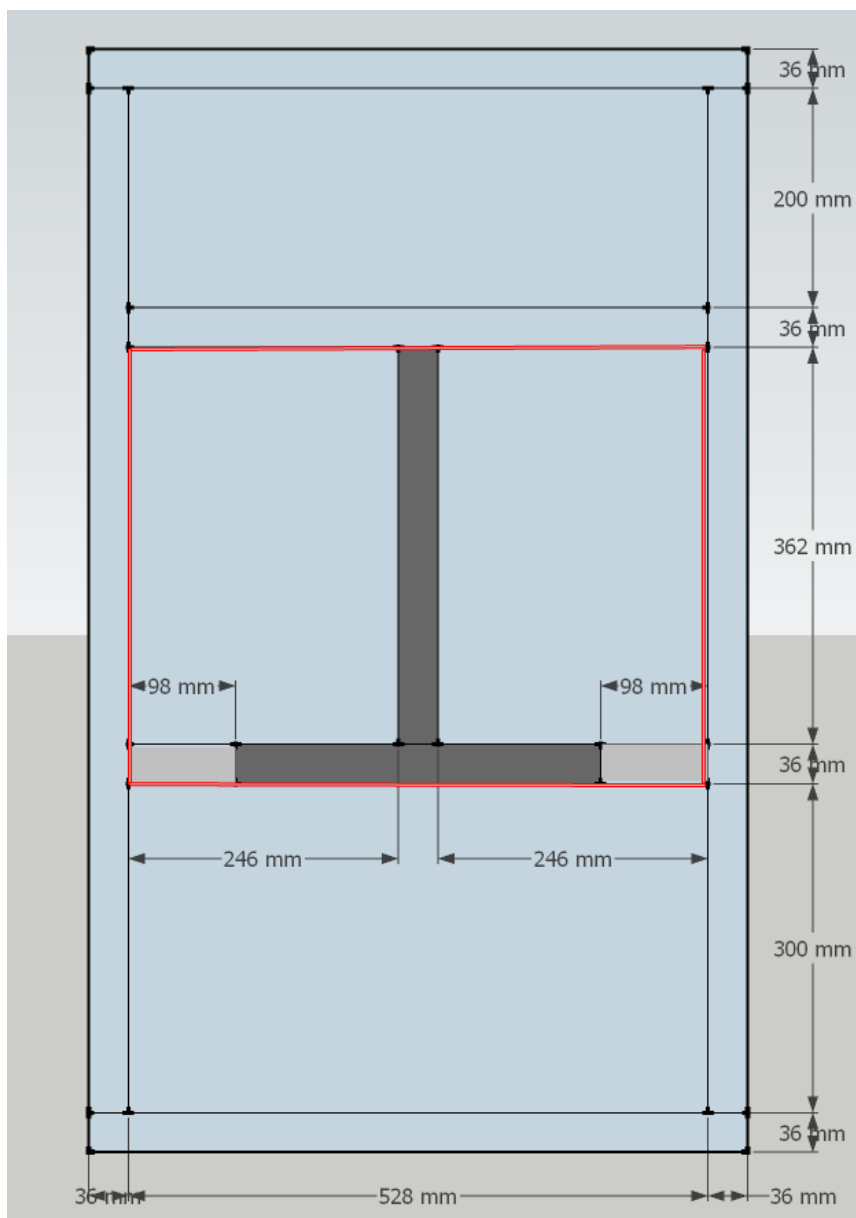
### 3.2.2 Oppbygging av veggen

Veggene er bygget opp som ordinære bindingsverksvegger med tykkelse på henholdsvis 150 mm og 400 mm. Tabell 3.4 lister opp veggens bestanddeler fra utside til innside.

Tabell 3.4  
Oppbygging av veggen fra kald til varm side.

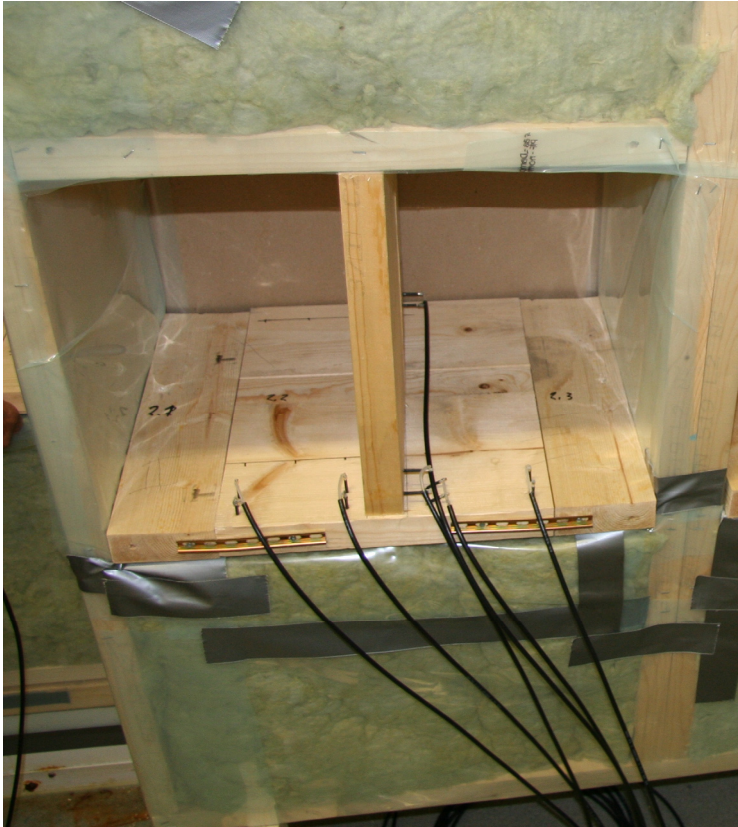
<i>Ute</i>	
Malt liggende kledning	Gran 140×19mm
Utlekking	Gran 23×48mm
Vindspærre	Gips utvendig
Bindingsverk	Gran 36×148mm / 36×198×2stk
Isolasjon	Glava 150mm / Glava 200mm ×2lag
Dampspærre	PE folie 0,2mm
<i>Inne</i>	

Hvert av de to veggfeltene har en bredde på 0,6 m og en høyde på 1,0 m. Figur 3.6 viser et oppriss av veggen. Kun den delen av bindingsverket som er markert med mørkegrå og lysegrå skravur ble fuktet opp, resten var tørt treverk. For å hindre at det tørre treverket absorberte deler av fukten (via isolasjonshulrommet) under forsøket ble sidestendere og toppsvill dekket med plastfolie (markert med rødt i figur 3.6). Plastfolie ble også montert på undersiden av det som skulle etterligne bunnsvilla. Bunnsvill ble kuttet 98 mm fra begge sidestenderne, for å simulere en skjøt i svillen som vil suge opp vann fra endeveden. Figur 3.7 og 3.8 viser tilsvarende detalj som figur 3.6 etter oppfuktingen, men før montering av isolasjonen.

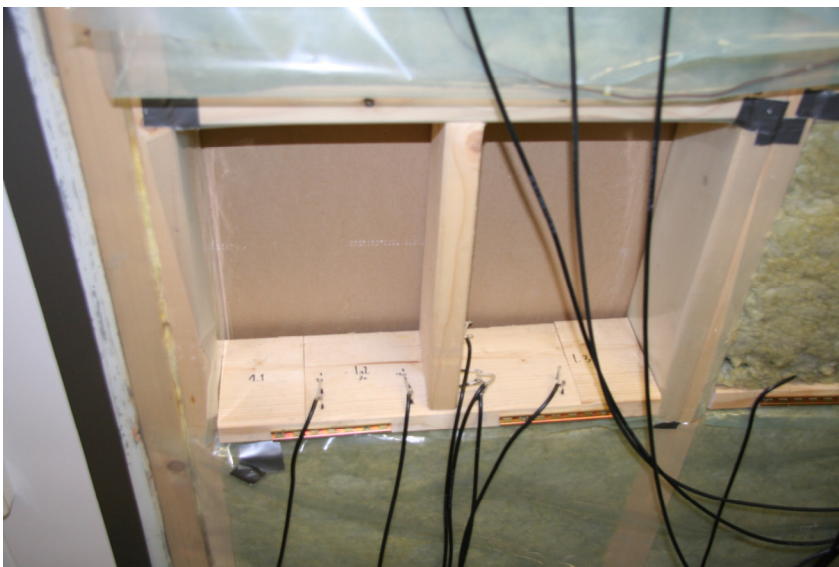


Figur 3.6

Oppriss av et veggfelt. Det mørke området er selve bunnsvill og stender som er instrumentert med fukt-sensorer, mens det lysegrå området er sidestykker til bunnsvilla som skal etterligne en skjøt i bunnsvilla, se også figur 3.7 og 3.8. Både det mørke og lysegrå området ble oppfuktet ved full neddykking i vann i en uke, før det ble plassert inn i veggen. Den røde linjen er en plastfolie som er festet på undersiden av bunnsvillen, siden av sidestenderne og bunnen av toppsvillen.



Figur 3.7  
Bunnsvill og stender i 400 mm tykk vegg med fuktelektroder etter oppfuktingen, men før montering av isolasjon. Bindingsverket ses fra "innsiden" (varm side). Sidestykkene til bunnsvilla er ikke oppdelt som resten av bunnsvilla, dvs. de har dermed fiberretningen på tvers av normal fiberretning.



Figur 3.8  
Bunnsvill og stender i 150 mm tykk vegg med fuktelektroder etter oppfuktingen, men før montering av isolasjon. Bindingsverket ses fra "innsiden" (varm side).

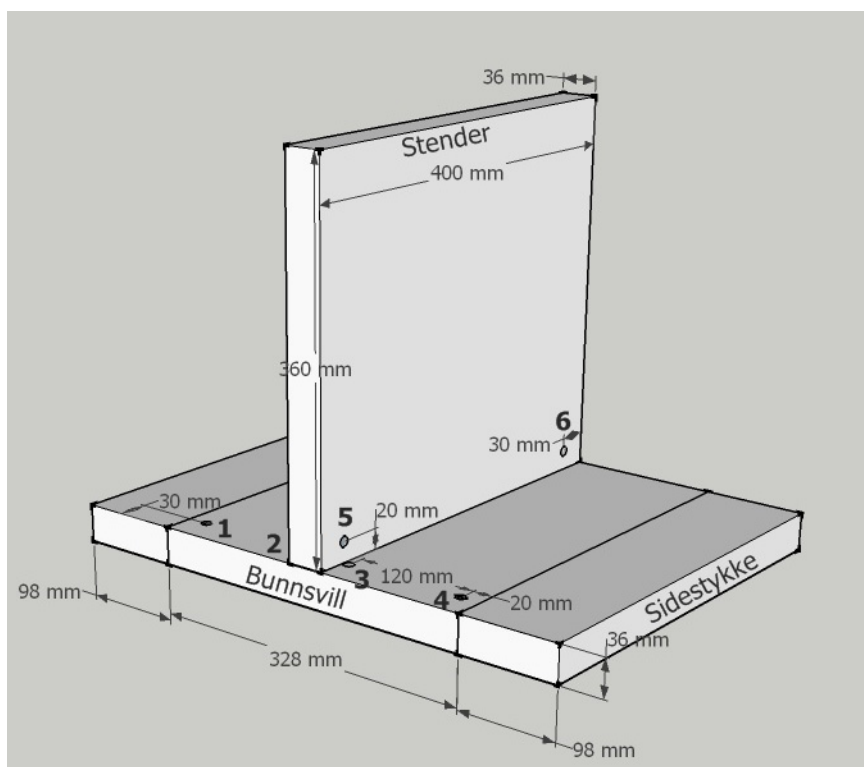
### 3.3.3 Plassering av målepunkter

Det er valgt å ta ut måle i både utvendig og innvendig del av bunnsvill/stenderen, men hovedsakelig i innvendig del av bunnsvill. Dette fordi det vil være forskjellig uttørkingsforløp i innvendig og utvendig del av konstruksjonen, samt at temperaturforholdene (og dermed mugg-

vekstrisiko) vil være forskjellig. Muggsopp vil kun vokse på overflatene av treverket, og slikt sett burde resultatene vært tatt ut fra overflaten som vender mot isolasjonshulrommet. Vi har imidlertid valgt å ta ut resultater fra midt inne i stenderen. Dette er fordi vi anser at de mest kritiske detaljene er treverk lagt i flere lag (doble sviller/stendere, bunnsvill på plattformgolv etc), og at for eksempel overflaten på en svill ligger mot en annen svill kan tilnærmet representeres på denne måten.

Målepunktene for måling av trefuktighet (1-6) er plassert som vist i figur 3.7, 3.8 og 3.9. Målepunkt 1 til 5 er plassert 30 mm fra dampsperrsjiktet (fra veggens innside). Målepunkt 1 og 4, samt 2 og 3, er dupliserte målepunkter, dvs. de er plassert likt mhp avstand til skjøt i bunnsvill og skal (teoretisk) fuktes opp og tørke likt. Målepunkt 6 er plassert i stender 30 mm fra vindsperra. Målepunktens dybde er 26 mm i bunnsvill (punkt 1-4) og 18 mm i stenderen (punkt 5 og 6).

Måleelektrodene er sveiseelektroder hvor ”spissen” er uisolert (5 mm). I forhold til montering av disse ble det forboret i målepunktene angitt i figur 3.9. Forboringen var 22,5 mm dyp for punktene 1 til 4 i bunnsvillen, og 15,5 mm for punktene 5 og 6 i stenderen. De siste 5 mm ble måleelektrodene slått inn med hammer.



Figur 3.9  
Målepunkter i bunnsvill og stender (markert med mørkegrå og lysegrå skravur i figur 3.6). Bindingsverket ses fra ”innsiden” (varm side).

### 3.2.4 Oppfukting av stender og bunnsvill

Stender og bunnsvill i forsøkene ble fuktet opp fullstendig neddykket i vann. Oppfuktingen skjedde over en uke, med en dags ”tørke” i vanlig laboratorieklima før prøvestykkene ble montert inn i vegg, dvs. overflatene var relativt tørre ved innmontering med unntak av undersiden av bunnsvillen. Bunnsvill med sidestykker ble påmontert en plastfolie på undersiden umiddelbart etter oppfuktingen (se figur 3.6). Merk at bunnsvillen er kuttet 100 mm fra endene på begge sider. Disse sidestykkene gjennomgikk samme behandling som bunnsvillen for øvrig.



### 3.2.5 Fuktmålinger

#### *Hovedmålinger*

I forsøksperioden ble det utført manuelle målinger i de faste målepunktene 1-6 vist i figur 3.8 daglig gjennom de første to ukene. Etter dette ble målinger foretatt ca 2 ganger i uken helt til forsøkene ble avsluttet etter ca 5 uker.

#### *Kontrollmålinger*

Det ble utført manuelle kontrollmålinger med hammerelektroder før prøvene ble satt inn i veggen. Dette ble gjort for å få en mer fullstendig fuktprofil over treverkets tykkelse enn hva de faste målepunktene kunne gi. Etter at forsøkene var ferdige ble det på ny utført kontrollmålinger med hammerelektroder tilsvarende de målingene som ble utført før prøvene ble satt inn i veggen.

Målingene med hammerelektroder ble utført midt på bunnsvill (både for 150 og 400 mm vegg) og på den siden som ikke var instrumentert (mot utsiden i 400 mm vegg). Målingene ble tatt 20, 70 og 120 mm fra skjøten mot sidestykket. Alle målingene ble gjort ved dybde 7, 18, og 29 mm avstand fra bunn av bunnsvilla.

På stender ble målingene med hammerelektroder utført bare midt på stender. Målingene ble tatt 20, 70 og 120 mm fra overkant bunnsvill. Alle målingene ble gjort ved dybde 7, 18, og 29 mm fra valgt side.

## 3.3 Resultater og vurderinger

### 3.3.1 Kaldere ytre del – Bindingsverksvegg (konstruksjon A)

Beregningsforutsetningene er beskrevet i kapittel 3.1.3. Noen av beregningsresultatene for bindingsverksveggen er vist i figur 3.9 og 3.10. Tilsvarende kurver for andre beregningstilfeller er vist i Vedlegg 1. Gjennomsnittlige verdier for RF og temperatur i vintersesongen er vist i tabell 3.5. Vi ser generelt at RF ved vindsperra er høyere jo større isolasjonstykkelsen er. Forskjellen i RF ved vindsperra mellom 150 mm og 400 mm varmeisolasjon er størst i den kalde årstiden og minst om sommeren. Det er en risiko for at muggvekst kan skje når RF overstiger ca 80% og temperaturen er over ca 0 – 5 °C. Risikoen øker med høyere RF og temperatur, samt med varigheten av disse forholdene. Reelt sett må man nok over ca 90% RF (med samtidig gunstige temperaturforhold) før risikoen for muggvekst på ordinære bygningsmaterialer blir spesielt ugunstig. Se også kapittel 2.2. Vi ser for eksempel i både figur 3.9 og 3.10 at RF er over 90% ca dobbelt så lenge for isolasjonstykkelsen på 400 mm sammenlignet med isolasjonstykkelse 150 mm.

Det at temperaturen synker i ytre del har selvfølgelig den motsatte virkningen mhp muggvekst-risiko enn hva økt RF har. Figur 3.11 viser et eksempel på temperatursenkning over ett år for konstruksjon A. Den økte RF betyr imidlertid mer enn den senkede temperaturen, slik at totalen blir at muggvekstrisikoen øker noe når isolasjonstykkelsen øker. Eksempelvis finner vi i tabell 3.6 at RF og temperatur ved vindsperrsjiktet er over hhv. 80% og 5 °C i 212 timer i løpet av ett år for isolasjonstykkelsen på 150 mm, 266 timer for isolasjonstykkelsen 250 mm og 289 timer for tykkelse 400 mm. Andre klimaforutsetninger eller konstruksjonsvarianter kan gi større eller mindre forskjeller enn dette. Eksempelvis finner vi for Bergensklimate at RF og temperatur ved vindsperrsjiktet er over hhv. 85% og 5 °C i 38 timer i løpet av ett år for isolasjonstykkelsen på 150 mm, 237 timer for isolasjonstykkelsen 250 mm og 542 timer for tykkelse 400 mm. Se tabell 3.6.

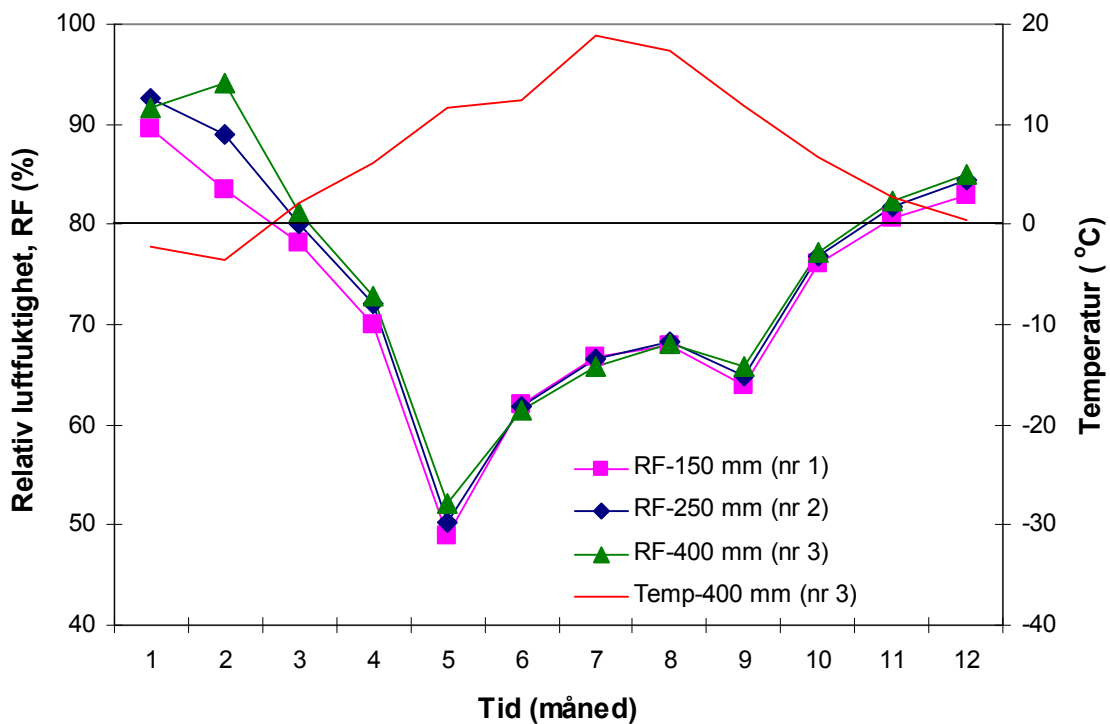
Beregningene viser at risikoen for muggvekst i ytre del av konstruksjonen øker som følge av en økning i isolasjonstykkelsen. Dette behøver imidlertid ikke nødvendigvis være en uakseptabel risikøkning – dvs. risikøkningen kan være liten sammenlignet med andre forhold som påvirker fuktforholdene i konstruksjonen. Som figur 3.9 og 3.10 viser opptrer de største økningene i RF pga økt isolasjonstykkelse om vinteren når temperaturen er under 0 – 5 °C, og det er liten/ingen risiko

for muggvekst. Når temperaturen er over ca 5 °C ser vi at økningen i RF pga økt isolasjonstykkelse er mindre. I tillegg vil generelt RF i ytre del av konstruksjonen være på sitt laveste i sommer-sesongen – og kanskje godt under 80 % RF mesteparten av tiden som vi ser i figur 3.9, dvs. vekst kan ikke skje selv om temperaturen da er gunstig for akkurat det. Den perioden som kan være noe risikofylt mhp muggvekst er således en kort periode om våren og høsten. Selv om risikoen for muggvekst altså øker noe pga økt isolasjonstykkelse – er temperaturen ved vindsperrsjiktet på vår og høstparten likevel såpass lav (ikke over 10 °C) at risikoen aldri kan bli spesielt høy.

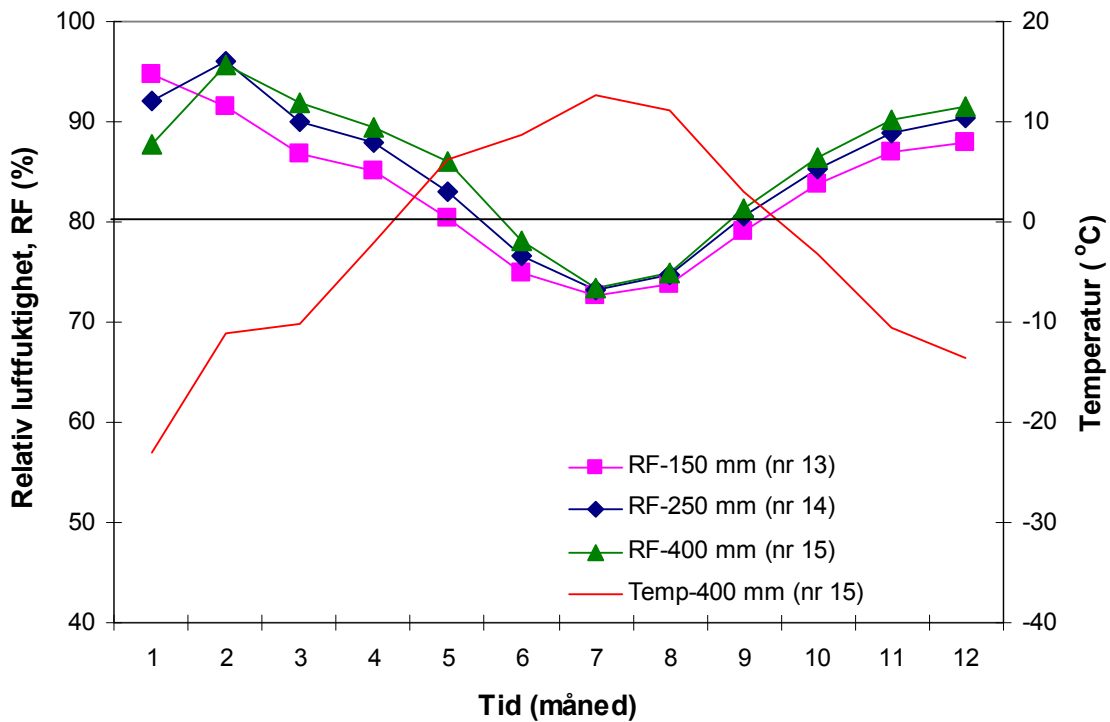
En annen måte å vurdere alvorlighetsgraden til økningen i muggvekstrisiko er å sammenligne betydningen av å endre isolasjonstykkelse med andre endringer (men hvor isolasjonstykkelsen ikke økes), alt fra endring i materialvalg (spesielt dampmotstand vindsperre og dampsperre) og klimaforhold. I figur 3.12 er RF ved vindsperra vist for isolasjonstykkelse 150 mm (beregningstilfelle nr 1) som referansetilfelle, sammen med alternative beregningstilfeller. Vi ser at andre variable kan ha vel så mye å si for RF-nivået ved vindsperra som isolasjonstykkelsen. Økt isolasjonstykkelse blir således en av flere faktorer som kan virke negativt inn på muggvekstrisikoen, men denne negative effekten er ikke større enn at den kan motvirkes/elimineres ved riktige materialvalg.

Det ble undersøkt om effekten av å øke isolasjonstykkelsen kan variere i størrelse avhengig av andre variable som dampmotstand vindsperre og dampsperre, uteklime og inneklime, se tabell 3.5, 3.6 og vedlegg 1. Generelt fant vi liten avhengighet av andre variable, med ett unntak at uteklime så ut til å ha en ekstra stor effekt. Beregningene for Karasjøk (kaldeste uteklime) viste de største effektene av økt uteklime. Dette er logisk i og med at lavere utetemperaturer naturlig nok gir større forskjell i temperatur ved vindsperra for varierende isolasjonstykkelser – og dermed større forskjell i RF for varierende isolasjonstykkelser.

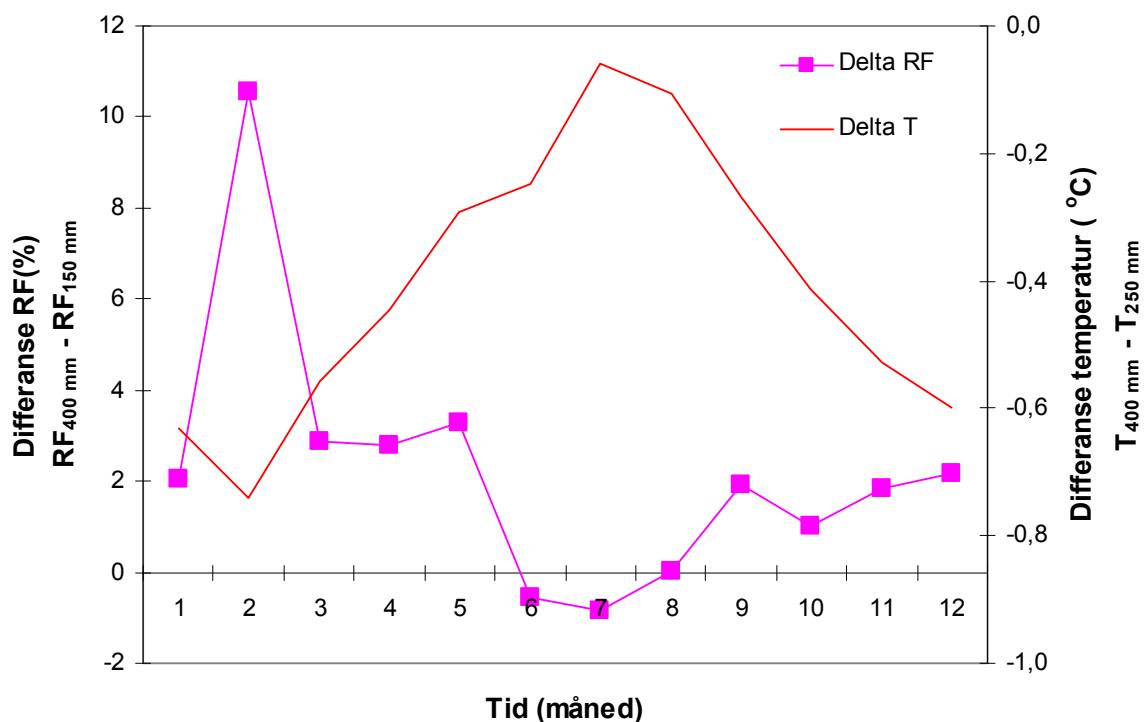
Modelleringen av den luftede kledningen kan ha relativt stor effekt på beregningsresultatene. I hovedberegningene ble kledning og luftespalt modellert forenklet som et enkelt lag med en varmemotstand og en begrenset dampmotstand ( $S_d = 10$  mm), samt at effekten av solstråling ble forsøkt tilpasset ved å redusere solabsorpsjonsfaktoren til kledningen. En ekstra parameterstudie ble imidlertid gjennomført hvor ventilasjonen av luftspalten er forsøkt modellert mer realistisk med et luftskifte på 20 l/h. Resultatet er vist i Vedlegg 1 (figur V1.6). Vi ser her at effekten av økt isolasjonstykkelse er noe større med mer realistisk luftet kledning, enn med den forenklete kledningen – spesielt i sommersesongen. Dette er imidlertid ikke vurdert nærmere, siden det er svært usikkert hvilke luftskifter det er rimelig å forutsette bak kledninger – og hvordan det varierer over året eller med varierende klimabelastninger som vind og sol.



Figur 3.9  
RF på vindsperras indre overflate for konstruksjon A, for hhv. 150, 250 og 400 mm varmeisolasjon. Beregningsperiode 1. januar – 31. desember. Uteklime er Oslo. Månedsmiddelerdier. Når RF og temperatur samtidig er over hhv 80% og 0 °C (over den heltrukne linjen) er det risiko for muggvekst.



Figur 3.10  
RF på vindsperras indre overflate for konstruksjon A, for hhv. 150, 250 og 400 mm varmeisolasjon. Beregningsperiode 1. januar – 31. desember. Uteklime er Karasjok i Nord-Norge. Månedsmiddelerdier. Når RF og temperatur samtidig er over hhv 80% og 0 °C (over den heltrukne linjen) er det risiko for muggvekst.



Figur 3.11

Eksempel på temperatursenkning og økning i RF for konstruksjon A. Diagrammet viser differansen mellom RF og temperatur på vindsperra mellom beregningstilfelle nr 3 (isolasjonstykkel 400 mm) og nr 1 (isolasjonstykkel 150 mm). Månedsmiddelverdier.

Tabell 3.5

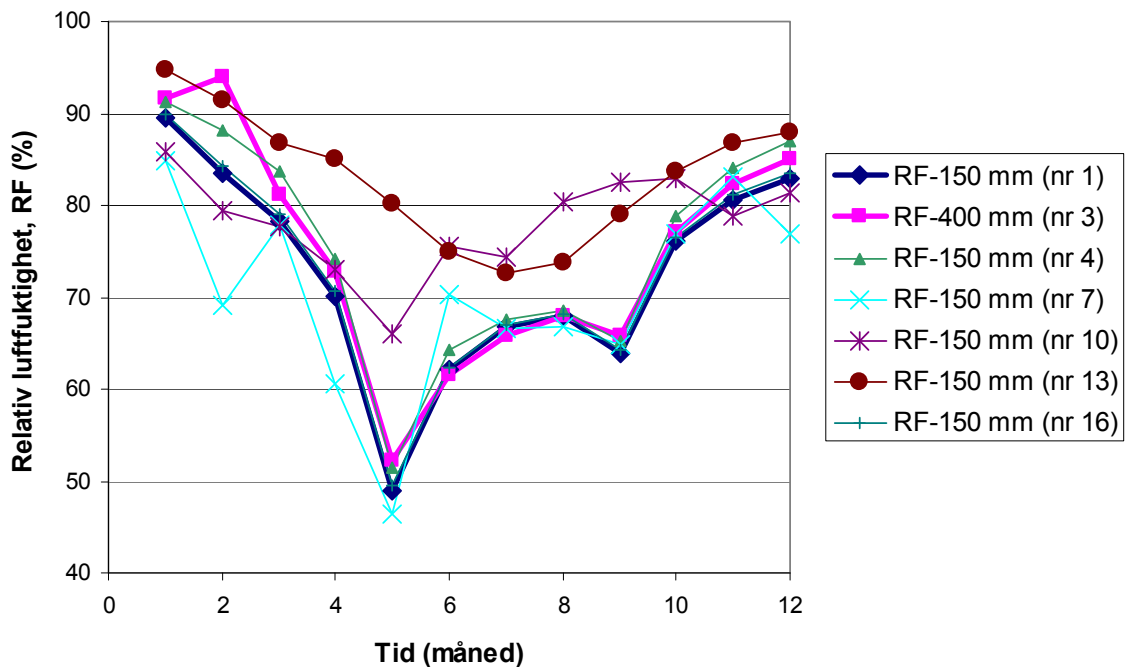
Gjennomsnittlig temperatur og RF på innsiden av vindsperra i perioden 1.november til 31.mars (5 måneder) for konstruksjon A. I tillegg er differansen av disse gjennomsnittsverdiene mellom isolasjonstykkel 400 mm og 150 mm beregnet.

Nr	Beskrivelse	Isolasjons- tykkelse (mm)	Gjennomsnitt november – mars		Differanse av gjennomsnitt mellom 400 mm og 150 mm	
			T (°C)	RF (%)	$\Delta T$ (°C)	$\Delta RF$ (%)
1		150	0,6	80,3		
2	Standardtilfelle	250	0,2	82,4	-0,6	3,1
3		400	0,0	83,4		
4		150	0,6	85,3		
5	Sd dampsperre =2 m	250	0,2	86,8	-0,6	1,8
6		400	0,0	87,1		
7		150	0,3	78,1		
8	Sd vindsperre=0,025m	250	0,0	79,9	-0,4	2,9
9		400	-0,1	81,0		
10		150	4,6	79,4		
11	Uteklima = Bergen	250	4,3	81,2	-0,4	2,9
12		400	4,2	82,3		
13		150	-12,8	87,9		
14	Uteklima = Karasjok	250	-13,4	90,6	-1,0	4,2
15		400	-13,8	92,1		
16		150	0,6	81,1		
17	Fukttilskudd = 6 g/m <sup>3</sup>	250	0,2	83,1	-0,6	3,0
18		400	0,0	84,1		

Tabell 3.6

Antall timer i løpet av ett år hvor RF og temperatur på innsiden av vindspærren til konstruksjon A er over gitte grenseverdier.

Nr	Beskrivelse	Isolasjons- tykkelse (mm)	Antall timer i løpet av ett år hvor RF og temperatur er større enn gitt grenseverdier			
			>80% RF & >5°C	>85% RF & >5°C	>90% RF & > 5°C	>95% RF & > 5°C
1	Standardtilfelle	150	212	0	0	0
2	Standardtilfelle	250	266	1	0	0
3	Standardtilfelle	400	289	16	0	0
4	Sd dampspærre =2 m	150	767	80	0	0
5	Sd dampspærre =2 m	250	896	132	0	0
6	Sd dampspærre =2 m	400	842	220	0	0
7	Sd vindspærre=0,025m	150	1367	803	134	0
8	Sd vindspærre=0,025m	250	1348	817	130	0
9	Sd vindspærre=0,025m	400	1352	834	129	0
10	Uteklima = Bergen	150	2580	38	0	0
11	Uteklima = Bergen	250	3058	237	0	0
12	Uteklima = Bergen	400	3282	542	0	0
13	Uteklima = Karasjok	150	252	3	0	0
14	Uteklima = Karasjok	250	383	79	0	0
15	Uteklima = Karasjok	400	508	166	8	0
16	Fukttilskudd = 6 g/m <sup>3</sup>	150	279	0	0	0
17	Fukttilskudd = 6 g/m <sup>3</sup>	250	324	6	0	0
18	Fukttilskudd = 6 g/m <sup>3</sup>	400	339	27	0	0



Figur 3.12

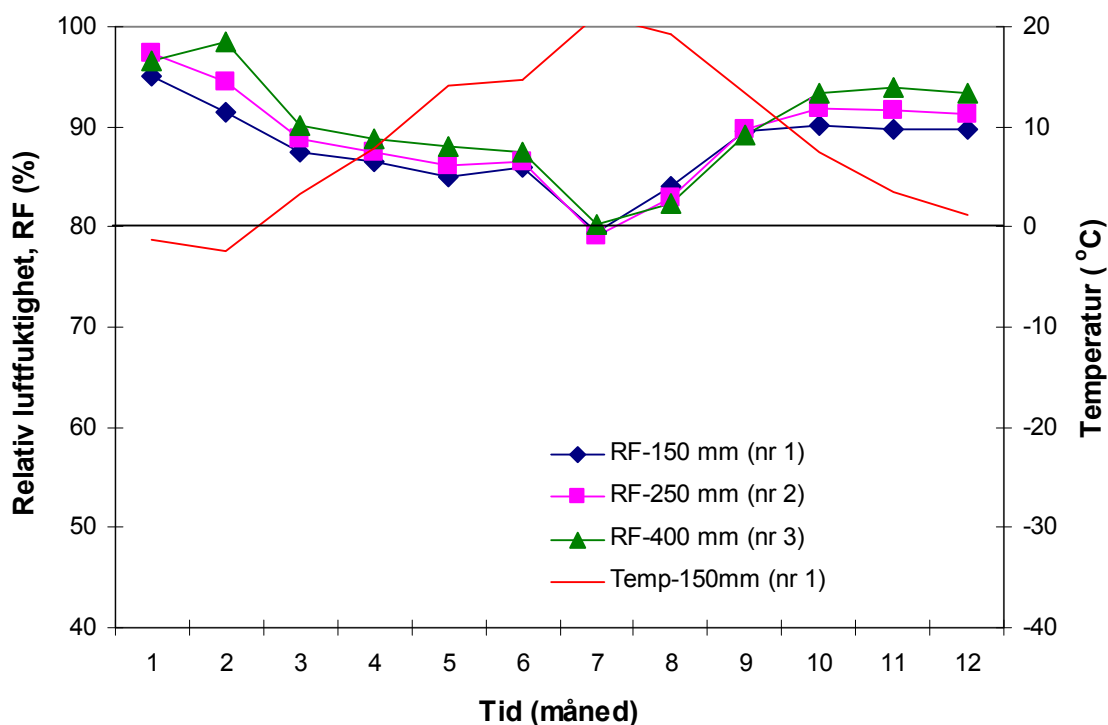
Relativ betydning av å øke isolasjonstykkelsen, sammenlignet med andre endringer i beregningsforutsetninger (men hvor isolasjonstykkelsen ikke økes). Diagrammet viser RF på innsiden av vindspærren for konstruksjon A. Standardtilfellet nr 1 (150 mm) og nr 3 (400 mm) er vist med tykke linjer. De resterende beregningstilfellene har alle isolasjonstykkelse 150 mm, men følgende faktorer er variert; dampmotstand vindspærre og dampspærre, uteklima Bergen og Karasjok, høyere innvendig fukttilskudd.

### 3.3.2 Kaldere ytre del – Betongvegg (konstruksjon D)

Beregningsforutsetningene er beskrevet i kapittel 3.1.4. Noen av beregningsresultatene er vist i figur 3.13-3.15. Vi ser generelt av figur 3.13 at RF ved grensesnittet mellom mineralull og betong er høyere jo høyere isolasjonstykkelsen er. Forskjellen i RF mellom 150 mm og 400 mm varmeisolasjon er størst i den kalde årstiden og minst om sommeren. Forskjellen i RF mellom 150 mm og 400 mm varmeisolasjon ligger stort sett på samme nivå (eller kanskje noe større) som bindingsverksveggen (konstruksjon A). Slikt sett kan man dra de samme konklusjoner som for bindingsverksvegger (konstruksjon A), se kapittel 3.3.1. En faktor som kanskje gjør at effekten av økt isolasjonstykkelse kan ha større betydning for innvendig isolerte betongyttervegger enn for bindingsverksvegger, er at RF i grensesnittet mellom betong/mineralull generelt er høyere enn ved vindsperra i bindingsverksveggen – om sommeren. Og det er jo nettopp om sommeren temperaturen er gunstig for muggvekst.

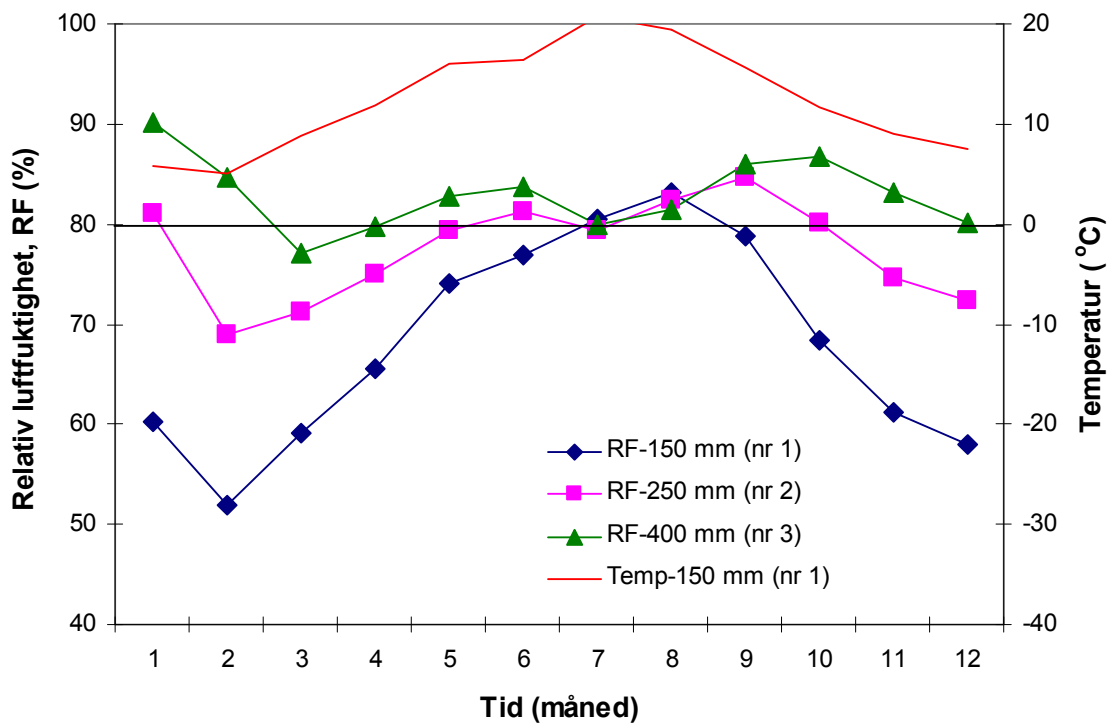
Figur 3.14 viser RF i mineralulla, 50 mm fra den indre betongoverflaten. Vi ser at forskjellen i RF mellom 150 mm og 400 mm varmeisolasjon er til dels svært stor om vinteren, men liten om sommeren. Denne store forskjellen om vinteren er som forventet, siden andelen varmeisolasjon av den totale varmeisolasjonen som ligger på utsiden av det aktuelle punktet – er mye større for 150 mm varmeisolasjon enn for 400 mm varmeisolasjon. Likevel viser det at det å klosse ut treverket kun 50 mm ved 400 mm isolasjon får vesentlig mindre positiv effekt enn for 150 mm varmeisolasjon.

Dersom man benytter en mer dampåpen dampsperre (dampbrems) ser vi av figur 3.15 at forskjellen i RF mellom 150 mm og 400 mm varmeisolasjon blir noe mindre enn med vanlig plastfolie.



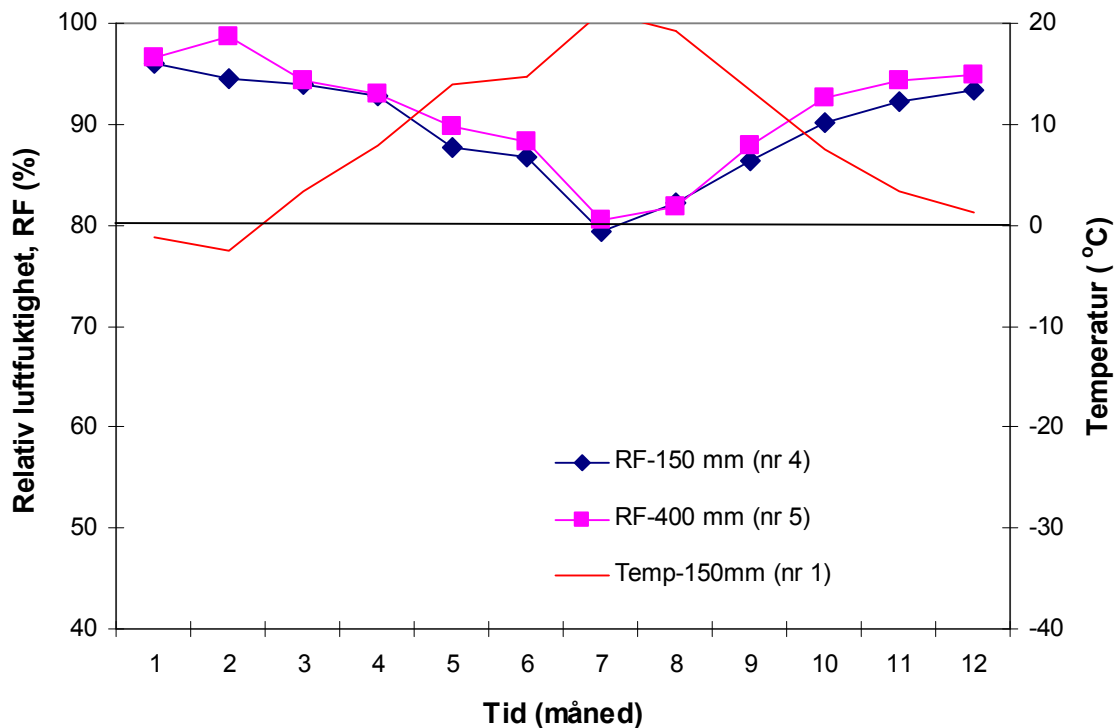
Figur 3.13

RF på betongens indre overflate (grensesnitt betong/mineralull) for konstruksjon D for hhv. 150, 250 og 400 mm varmeisolasjon. Beregningsperiode 1. januar – 31. desember.  $S_d$  – dampsperre = 70 m Uteklime er Oslo. Månedsmiddelerverdi. Når RF og temperatur samtidig er over hhv 80% og 0 °C (over den heltrukne linjen) er det risiko for muggvekst.



Figur 3.14

RF i mineralull (ca 50 mm fra betongens indre overflate) for konstruksjon D for hhv. 150, 250 og 400 mm varmeisolasjon. Beregningsperiode 1. januar – 31. desember.  $S_d$  – dampsperre = 70 m Uteklime er Oslo. Månedsmiddelverdier. Når RF og temperatur samtidig er over hhv 80% og 0 °C (over den heltrukne linjen) er det risiko for muggvekst.



Figur 3.15

RF på betongens indre overflate (grensesnitt betong/mineralull) for konstruksjon D for hhv. 150, 250 og 400 mm varmeisolasjon. Beregningsperiode 1. januar – 31. desember.  $S_d$  – dampsperre = 2 m Uteklime er Oslo. Månedsmiddelverdier. Når RF og temperatur samtidig er over hhv 80% og 0 °C (over den heltrukne linjen) er det risiko for muggvekst.

### 3.3.3 Lengre uttørkingstid av byggfukt – 1D bindingsverksvegg (konstruksjon B)

Beregningsforutsetningene er beskrevet i kapittel 3.1.5. Beregningsresultatene er vist i sin helhet i Vedlegg 2. Et av beregningsresultatene for konstruksjon B er vist i figur 3.16. Vi ser at tiden det tar å tørke treverket til under 80% RF er noe lenger med isolasjonstykkelse 400 mm sammenlignet med 150 mm, dvs. risikoen for at muggvekst kan inntreffe er større. Generelt tar det ca 0,5 - 2 uker (typisk 1 uke), eller ca 20 – 50% (typisk ca 40%), lenger tid å tørke ned til under 80% RF. I dette eksempelet viser vi fuktforholdene i indre del av veggen (30 mm fra dampsperra), slik at temperaturen hele tiden er gunstig mhp muggvekst (temperaturen i beregningspunktet ligger aldri lavere enn 15 °C, selv for vinterperiodene). Tregere uttørking av byggfukt har dermed trolig større betydning enn effekten av kaldere ytre del vist i figur 3.9 og 3.10.

Vi fant tilsvarende forsinket uttørking av byggfukt ved økning av isolasjonstykkelsen som i figur 3.16 for alle beregningstilfellene, se Vedlegg 2. Hvilket tidspunkt på året uttørkingen foregikk hadde relativt liten betydning på resultatene.

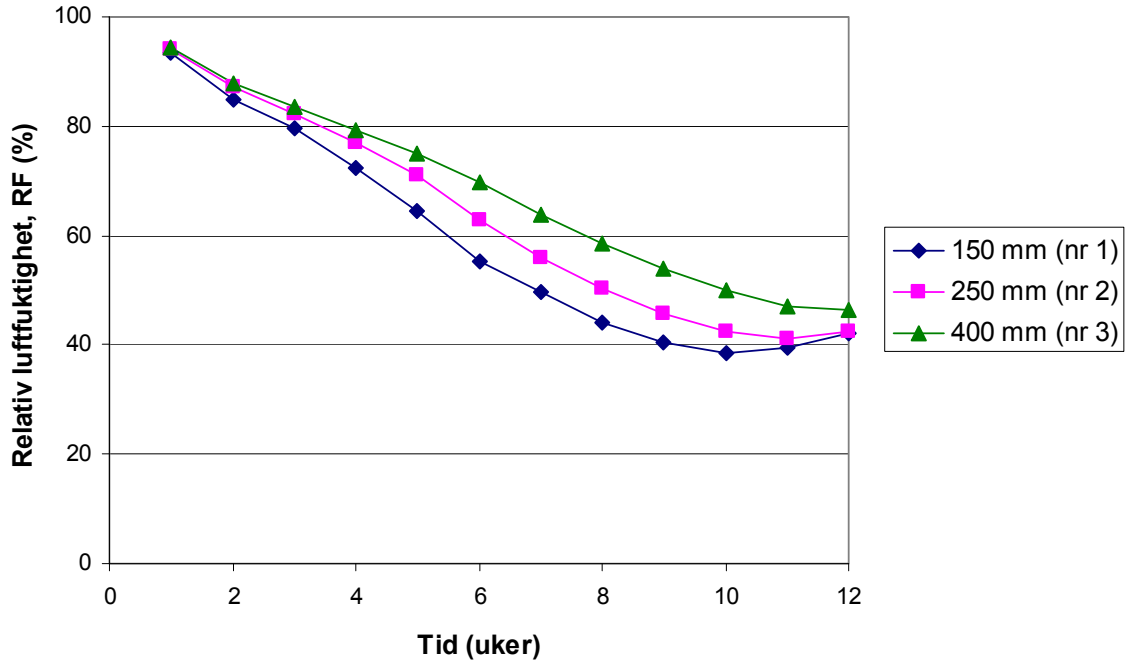
Det er verdt å merke seg at siden den ”fiktive” trestenderen er lagt inn med konstant tykkelse (20 mm) og startfuktinnhold (30 vekt%) i alle beregningstilfellene, får vi kun sett på effekten av økt motstand mot uttørking ved økt isolasjonstykkelse – og ikke effekten av at økt mengde treverk gir mer byggfukt, jfr. kapittel 2.4. Dvs. forskjellen i uttørkingshastighet mellom 400 og 150 mm veggtykkelse er trolig underestimert. Begge effekter blir imidlertid beregnet for det to-dimensjonale tilfellet beskrevet i kapittel 3.1.6 og 3.3.4. Der finner vi at uttørkingstiden ned til 80 % RF tar ca dobbelt så lang tid med isolasjonstykkelse 400 mm sammenlignet med 150 mm. Det indikerer at effekten av at økt mengde treverk gir mer byggfukt kan være noe større enn effekten av økt motstand mot uttørking.

Vi kan imidlertid observere at med en mer dampåpen dampsperra (beregningstilfelle nr 12 og 13, se figur V2.6) blir forskjellen i uttørkingshastighet mellom isolasjonstykkelse 400 og 150 mm mindre. Dette skyldes nok det faktum at den dampåpne dampsperra tillater en viss uttørking innover, spesielt når temperaturen ute er høy – dvs. det blir en redusert andel av den totale fukten som tørker utover drevet av temperaturforskjellene.

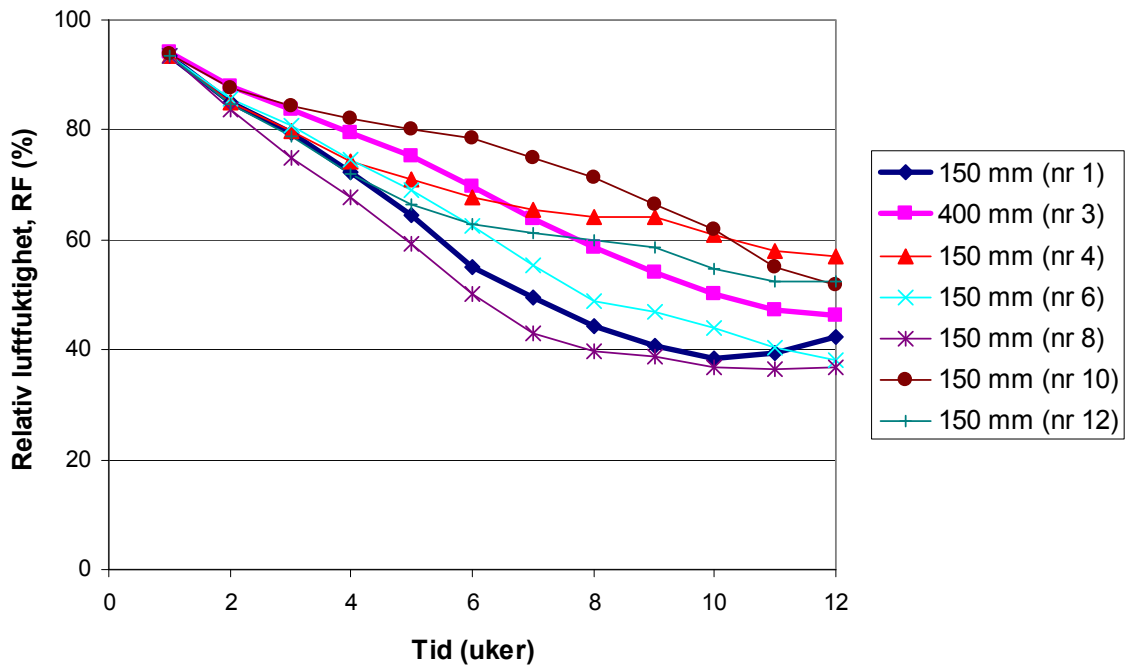
For tilfellet med en mer damptett vindsperre (beregningstilfelle nr 4 og 5, se Figur V2.2) kan det se ut som om forskjellen i uttørkingshastighet mellom isolasjonstykkelse 400 og 150 mm er blitt mindre. Det som er interessant er imidlertid at forskjellen er omtrent den samme hvis vi ser på uttørkingshastigheten ned til 80% RF – som jo er det interessante mhp muggvekstrisiko.

En annen måte å vurdere alvorlighetsgraden til økningen i muggvekstrisiko er å sammenligne betydningen av å endre isolasjonstykkelse med andre endringer (men hvor isolasjonstykkelsen ikke økes), alt fra endring i materialvalg (spesielt dampmotstand vindsperre og dampsperra) og starttidspunkt for beregningene. I figur 3.17 er RF ved treverket vist for isolasjonstykkelse 150 mm (beregningstilfelle nr 1) som referansetilfelle, sammen med alternative beregningstilfeller. Vi ser at andre variable kan ha vel så mye å si for RF-nivået i treverket som isolasjonstykkelsen. Eksempelvis ser vi at starttidspunktet 1. juli medfører senere uttørking enn det å øke isolasjonstykkelsen til 400 mm (når starttidspunktet er 1. april). Økt isolasjonstykkelse blir således en av flere faktorer som kan virke negativt inn på muggvekstrisikoen.





Figur 3.16  
RF i treverket (30 mm fra dampsperra) for konstruksjon B, for hhv. 150, 250 og 400 mm varmeisolasjon. Beregningsperiode 1. april – 30. juni (12 uker) etter lukking av veggen og oppstart oppvarming. Startfuktnivå for treverket er 30 vekt%. Uteklima er Oslo.  $S_{d,vindsperre} = 0,1$  m.



Figur 3.17  
Relativ betydning av å øke isolasjonstykkelsen, sammenlignet med andre endringer i beregningsforutsetninger (men hvor isolasjonstykkelsen ikke økes). Diagrammet viser RF i treverket (30 mm fra dampsperra) for konstruksjon B. Standardtilfellet nr 1 (150 mm) og nr 3 (400 mm) er vist med tykke linjer. De resterende beregningstilfellene har alle isolasjonstykkelse 150 mm, men følgende faktorer er variert; dampmotstand vindsperre og dampsperre, og forskjellige starttidspunkter over året.

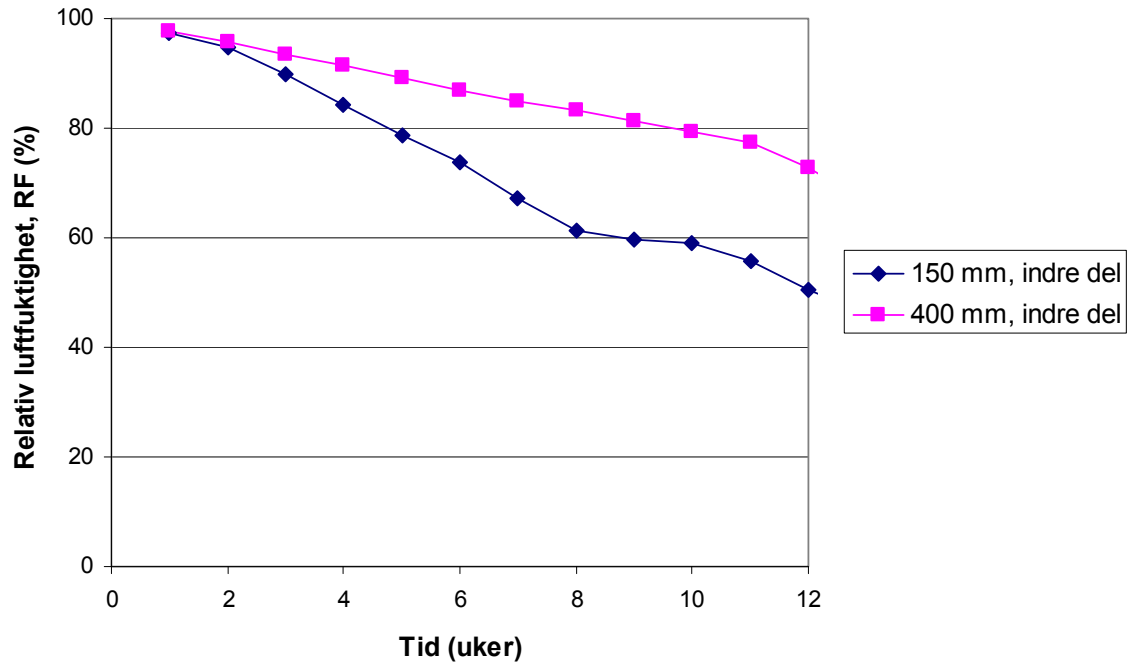
### 3.3.4 Lengre uttørkingstid av byggfukt – 2D bindingsverksvegg (konstruksjon C)

Beregningsforutsetningene er beskrevet i kapittel 3.1.6. Beregningsresultatene for bindingsverksveggen er vist i figur 3.18 og 3.19, for henholdsvis den ytre delen av trestenderen og den indre delen. For indre del av treverket tar det eksempelvis ca 5 uker lenger tid for 400 mm isolasjonstykkelse å tørke ned til under 80% RF sammenlignet med 150 mm, eller over en fordobling av uttørkingstiden. Tilsvarende resultat ser vi for ytre del av treverket.

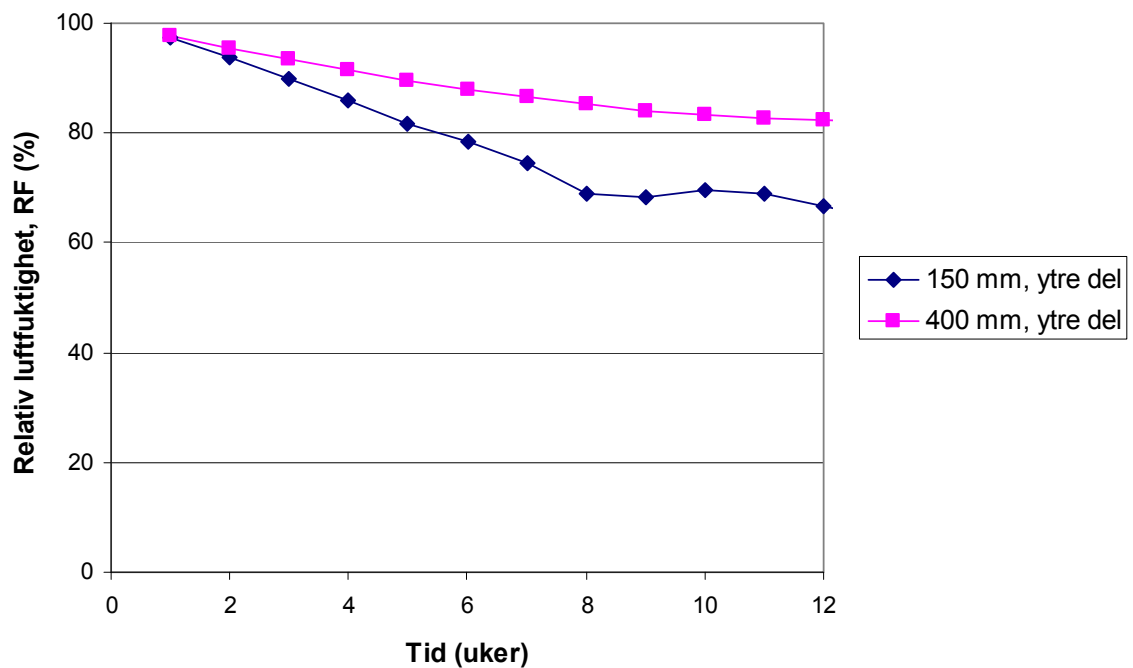
Resultatene fra den to-dimensjonale beregningen bekrefter generelt de en-dimensjonale beregningene gjort i kapittel 3.3.3. Vi ser imidlertid en enda større effekt av tykkere isolasjon på uttørkingshastigheten, dvs. de to-dimensjonale beregningene viser en enda tregere uttørking av byggfukten enn de en-dimensjonale beregningene – som en følge av tykkere isolasjon. Dette skyldes trolig at de en-dimensjonale beregningene har underestimert effekten av tykkere isolasjon – fordi de ikke har tatt hensyn til at økt isolasjonstykkelse gir mer treverk, som igjen gir mer byggfukt, jfr. diskusjonen i kapittel 3.3.3.

Det er interessant å observere at uttørkingshastigheten av byggfukten (og forskjellen mellom 150 og 400 mm isolasjonstykkelse) ned til ca 80% er relativt uavhengig av om man ser på indre eller ytre del av konstruksjonen. Generelt vil denne reduserte uttørkingshastigheten ha større betydning mhp muggvekst for indre del av konstruksjonen. Dette fordi indre del generelt har høyere temperatur enn ytre del. Samtidig vil ytre del av konstruksjonen ha temperaturer som tillater muggvekst på sommerstid. Eksempelvis varierer temperaturen i beregningspunktet i ytre del som er vist i figur 3.19 mellom ca 19-9 °C (ukesmidler).

Det er verdt å merke seg at muggvekst inntreffer kun på overflatene til materialer som f.eks treverk, og at beregningsresultatene vist i figur 3.18 og 3.19 gjelder midt inne i en 36 mm bred stender – dvs. ikke på overflaten. Overflaten av stenderen (dvs. grensesnittet mellom treverk og mineralull) vil trolig være noe tørrere enn vist i figur 3.18 og 3.19. Det er imidlertid verdt å merke seg at en enkelt 36 mm bred stender ikke representerer den mest kritiske treverksdetaljen mhp uttørking av byggfukt. Treverk som ligger mot annet treverk, eller mot tettere materialer som plastfolie/stål er generelt mer kritisk. Vi snakker her om for eksempel doble stendere ved vinduer og lignende, bunnsvill montert på plastfolie eller bygningsplater og lignende. I grensesnittet mellom de to materialene vil muggsopp kunne vokse. Uttørkingshastigheten i dette grensesnittet ned til under 80% RF vil faktisk kunne være senere enn hva vi har beregnet for midtpunktet i den 36 mm brede stenderen, fordi fukten da skal transporteres gjennom et tykkere lag treverk enn 18 mm (36mm/2).



Figur 3.18  
RF midt i den 36 mm tykke trestenderen i indre del av veggen (ca 40 mm fra dampsperra) for konstruksjon C, for hhv. 150 og 400 mm varmeisolasjon. Beregningsperiode 1. august – 31. oktober (12 uker). Startfuktnivå for treverket er 30 vekt%. Uteklima er Oslo.  $S_{d,vindsperre} = 0,1$  m.



Figur 3.19  
RF midt i den 36 mm tykke trestenderen i ytre del av veggen (ca 40 mm fra vindsperra) for konstruksjon C, for hhv. 150 og 400 mm varmeisolasjon. Beregningsperiode 1. august – 31. oktober (12 uker). Startfuktnivå for treverket er 30 vekt%. Uteklima er Oslo.  $S_{d,vindsperre} = 0,1$  m.

### 3.3.5 Laboratorieforsøk – lengre uttørkingstid av byggfukt

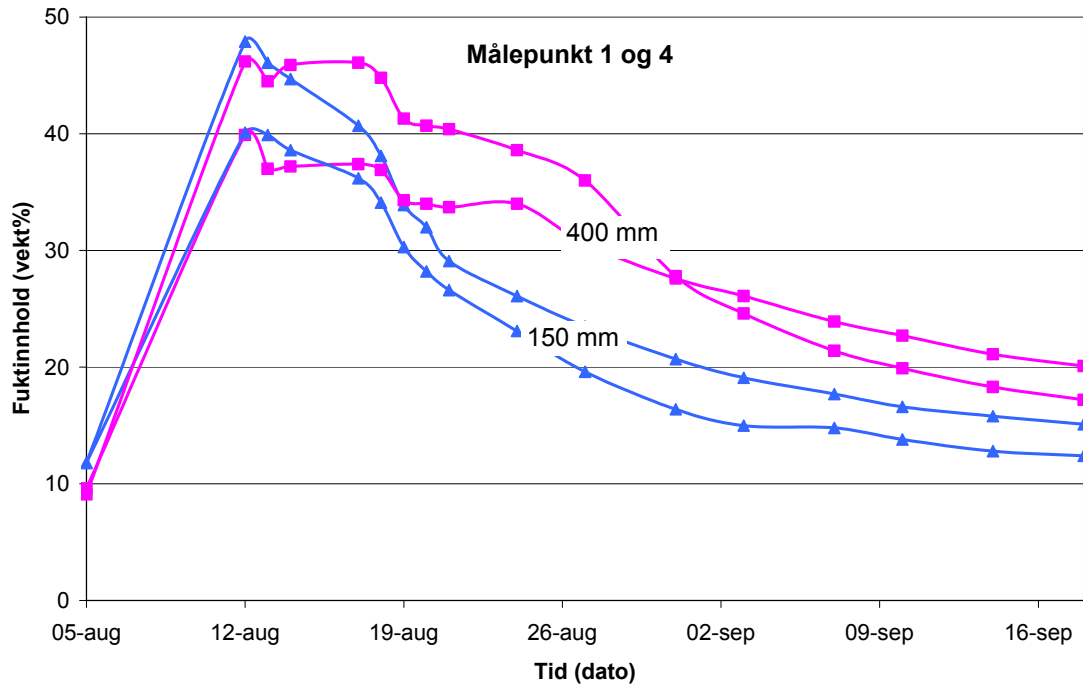
Måleoppsettet er beskrevet i kapittel 3.2. I resultatfremstillingen er det valgt å vise uttørkingsforløpet for 150 mm og 400 mm isolasjonstykkelse i samme diagram for de enkelte målepunktene, se figur 3.20-3.23. Målepunkt 1 og 4 vises sammen, siden de i realiteten er dupliseringer av samme målepunkt (samme avstand fra skjøt mot sidestykket, men på hver sin side av stender). Det samme gjelder for målepunkt 2 og 3.

Vi ser generelt av figur 3.20-3.23 at alle målepunktene i veggen med 400 mm isolasjonstykkelse tørker senere ned til under 20 vekt% enn tilsvarende målepunkter i veggen med 150 mm isolasjon. For målepunktene i bunnsvilla med underliggende plastfolie (punkt 1 og 4, samt 2 og 3) ser vi at uttørkingstiden ned til 20 vekt% fordobles for 400 mm isolasjon, sammenlignet med 150 mm isolasjon, se figur 3.20 og 3.21. For målepunktet på varm side i stender (punkt 5) finner vi ca 60% lengre uttørkingstid ned til 20 vekt% for 400 mm isolasjon sammenlignet med 150 mm isolasjon, se figur 3.22. Dette stemmer rimelig bra med resultatene i kap 3.3.4 fra 2-D beregningene hvor vi fikk ca en fordobling av uttørkingstiden ned til 80% RF (i en 36 mm stender) for 400 mm isolasjon sammenlignet med 150 mm. 80% RF tilsvarer ca 20 vekt% fukt i treverket.

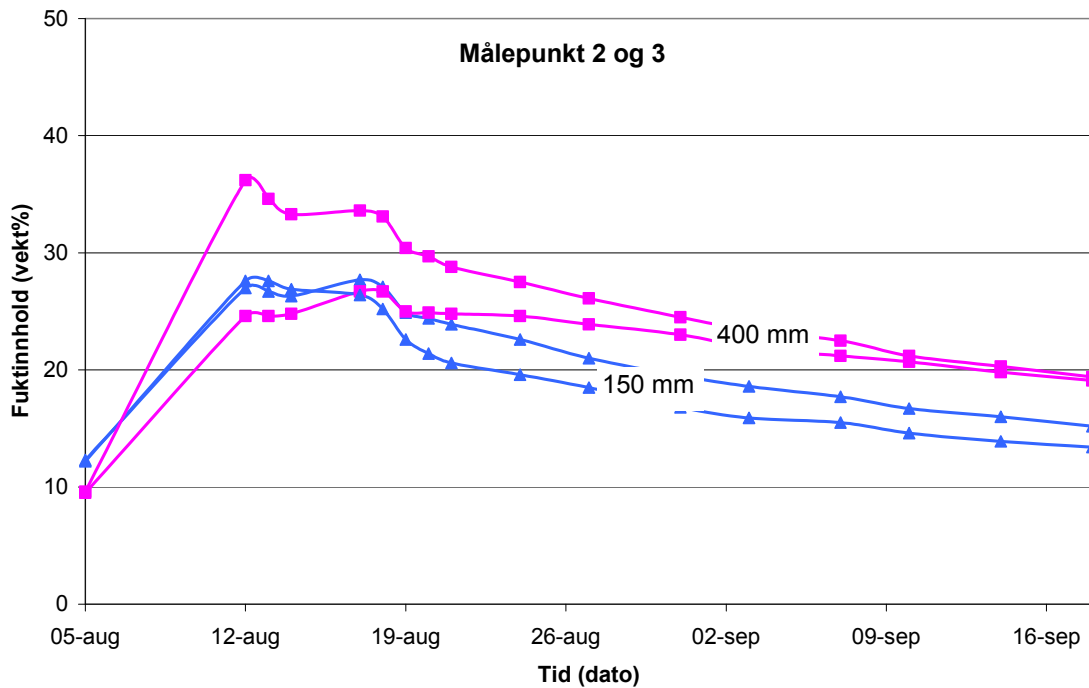
For målepunktet på kald side i stender (målepunkt 6) ser vi at uttørkingen i starten går raskere for veggen med 400 mm isolasjon, men når stenderen har tørket til ca 30 vekt% ser det ut til at uttørkingen tilnærmet har stoppet, se figur 3.23. Veggen med 150 mm isolasjon tørker imidlertid videre ned under 30 vekt% og ned til 20 vekt% i løpet av 5 uker. Det er verdt å merke seg at det tar tilnærmet dobbelt så lang tid å tørke ned til 20 vekt% for målepunktet på kald side når vi sammenligner med målepunktene på varm side (gjelder for veggene med 150 mm isolasjon).

Årsaken til at målepunktet på kald side i veggen med 400 mm tykkelse (punkt 6) ser ut til å stabilisere seg på ca 30 vekt% er ikke klarlagt. En mulig forklaring er at uttørking av fukt fra varm side fremdeles pågår, noe som kan gi kondensering på vindspærren og altså en midlertidig hevet RF i ytre del av veggen. Dermed vil uttørkingen fra ytre del av treverket inn mot mineralullen være liten. Hvis vi hadde målt noen uker til er det derfor sannsynlig at vi ville ha sett at treverket begynte å tørke under 30 vekt% også på kald side. Målefeil vurderes som en lite sannsynlig forklaring på dette fenomenet, hovedsakelig fordi et nesten tilsvarende uttørkingsforsøk (ikke dokumentert her) ga samme resultat for målepunktet på kald side.

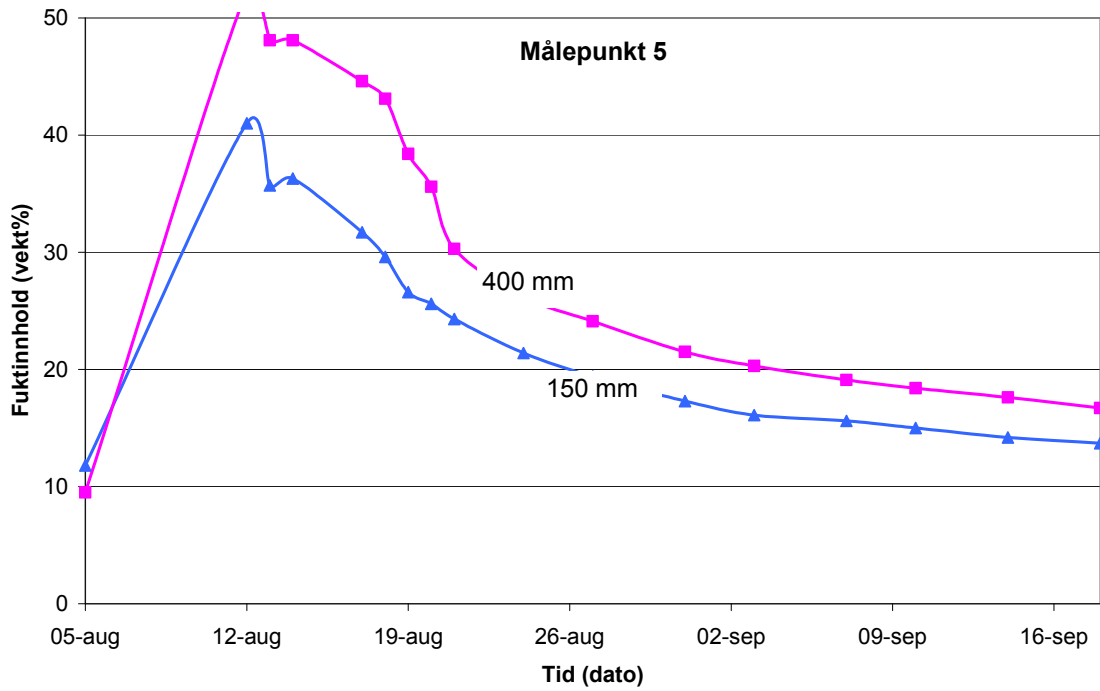
Vi ser videre at målepunktene 1, 4, 5 og 6 er fuktet mer opp etter neddykkingen enn målepunktene 2 og 3. Dette skyldes at 1, 4, 5 og 6 er nærmere endeved enn 2 og 3. Vi ser også at oppfuktingen etter full neddykking varierer noe, selv for ellers like målepunkter. Dette skyldes trolig variasjon i treverket som kan føre til lokalt forskjellig fuktopptak. Eksempelvis fant vi til dels forskjellig årringebredde på det treverket som var benyttet, varierende fra ca 3 mm til 1,5 mm. Vi vet eksempelvis at hos trevirke av gran gir smalere årringer et mindre fuktopptak.



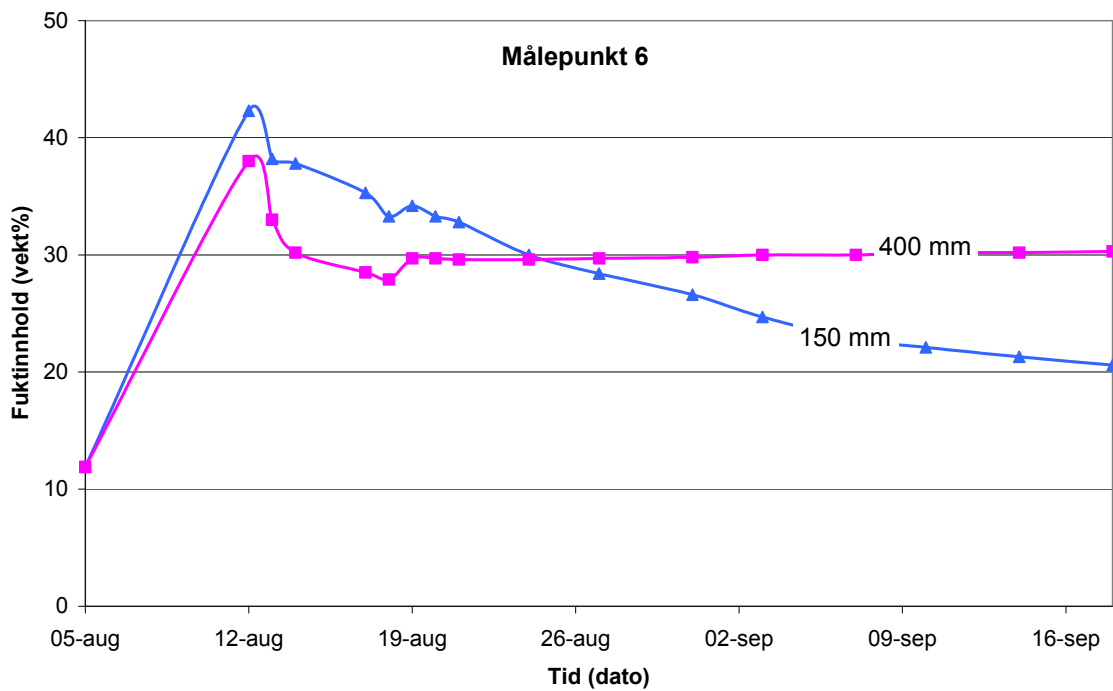
Figur 3.20  
Fuktinnhold i målepunkt 1 og 4 over tid. Målepunktene er plassert 30 mm fra varm side i bunnsvill og 20 mm fra endeved, jfr. figur 3.8.



Figur 3.21  
Fuktinnhold i målepunkt 2 og 3. Målepunktene er plassert 30 mm fra varm side i bunnsvill og 140 mm fra endeved, jfr. figur 3.8.



Figur 3.22  
Fuktinnhold i målepunkt 5 over tid. Målepunktene er plassert 30 mm fra varm side i stender og 20 mm fra endevend, jfr. figur 3.8.



Figur 3.23  
Fuktinnhold i målepunkt 6 over tid. Målepunktene er plassert 30 mm fra kald side i stender og 20 mm fra endevend, jfr. figur 3.8.

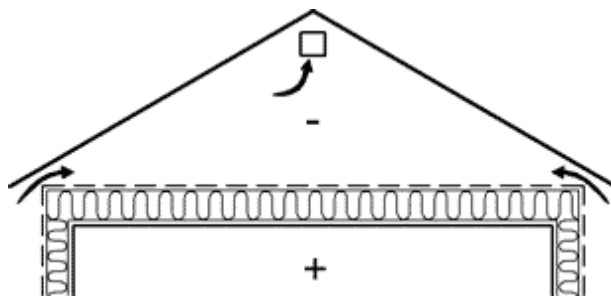
## 4. KALDE LUFTETE LOFT

### 4.1 Beregninger

Mellombjelkelaget mot et kaldt luftet loft, se figur 4.1, vil oppleve den samme effekten av tykkere isolasjon som yttervegger, slik det er vist i kapittel 3. For selve mellombjelkelaget mot loftet vil derfor de samme konklusjonene gjelde som man trekker for yttervegger, mhp at RF i ytre del øker og at byggfukt får lengre uttørkingstid jo mer isolasjon og treverk det er benyttet i mellombjelkelaget.

Tykkere mellombjelkelag påvirker imidlertid fukt og temperaturforholdene i selve loftslufta, ved at lufttemperaturen synker og at RF dermed stiger (hvis vi forutsetter at fuktilførselen til loftet er den samme). Dette medfører økt risiko for kondens og muggvekst på undertaket som normalt er den kaldeste flaten på et loft, se figur 4.2. Denne økte risikoen for kondens og muggvekst på innsiden av undertaket er analysert i dette kapitlet.

Det er gjennomført beregninger av fuktforholdene på et kaldt luftet loft, for å se på effekten av økt isolasjonstykkelse i loftsgolvet. Beregningene er utført vha et beregningsprogram *Takfukt*, som er dokumentert i (Uvsløkk, 2005). I beregningsprogrammet tas det hensyn til de viktigste klimatiske, bygningstekniske og brukerbestemte forhold. Programmet beregner samhoørende verdier for temperatur og relativ luftfuktighet ved undersiden av undertaket inne på det kalde loftet, måned for måned gjennom et år.



Figur 4.1  
Prinsippskisse av kaldt luftet loft.



Figur 4.2  
Det kan oppstå soppangrep på undertak som er fuktig over lange perioder. Det gjelder først og fremst dampette undertak som vist på bildet. Foto: SINTEF Byggforsk

Beregningsprogrammet tar hensyn til varmeoverføring gjennom loftets bygningsdeler ved transmisjon og luftlekkasjer. Programmet tar imidlertid ikke hensyn til oppvarming av loftet fra solstråling, noe som vil kunne gi et avvik i de beregnede resultatene, spesielt om sommeren. Tilsvarende for fukttransport tas hensyn til både diffusjon og luftlekkasjer gjennom alle loftets skillekonstruksjoner. Ventilasjonen av loftet beregnes avhengig av vindtrykkforskjeller mellom lo- og le-side av bygget, gjennom spalteåpninger ved raft. Størrelsen på denne ventilasjonen blir således avhengig av gjennomsnittlige vindhastigheter på det aktuelle stedet, samt størrelsen på spalteåpningene ved raft. Se (Uvsløkk, 2005) for flere detaljer.

Luftfuktighetsnivået i beboerrommene under loftet er avhengig av fuktproduksjonen og grunnventilasjon, samt luftlekkasjer gjennom bygningskallet pga temperaturforskjeller mellom inne- og uteluft (skorsteinseffekten). De valgte nivåene for fuktproduksjon, ventilasjon mm gir et moderat (dvs. ikke spesielt høyt) fuktnivå i beboerrommene, dvs. fukttilskuddet ligger på ca 2,5 g/m<sup>3</sup> om vinteren og ca 1,5 g/m<sup>3</sup> om sommeren. Fukttilskuddet er definert som den gjennomsnittlige differansen mellom innluftas og utluftas fuktinnhold.

Størrelsen på luftlekkasjene fra beboerrommene opp til loftet beregnes ut fra kjennskap til husets lekkasjetall, hvor det forutsettes jevn fordeling av utettheter over husets vegger, golv og loftshimling. Drivtrykket for luftlekkasjene beregnes ut fra skorsteinseffekten.

Beregningene er basert på følgende faste inngangsparametre:

- Uteklima (temperatur, RF og vindhastighet – månedsmidler):	Oslo
- Innetemperatur:	20 °C
- Fuktproduksjon:	10 kg/døgn
- Grunnventilasjon (tilluft og fraluft):	0,2 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> h
- Husets lekkasjetall v/50 Pa:	4,0 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> h50Pa
- Himlingens dampmotstand, S <sub>d</sub> :	10 m
- Undertaket + taktroens dampmotstand, S <sub>d</sub> :	0,5 m
- Luftpermeans undertak + gavler:	0,05 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> hPa
- U-verdi tak over kaldt loft og gavler:	3,2 W/m <sup>2</sup> K
- Vindtrykkfaktorer:	0,25 lo-side/-0,25 le-side
- Bygningsmål:	150 m <sup>2</sup> , 2 etasjer
- Spalteåpning v/raft, bredde:	5 mm

Himlingens isolasjonstykkelse er variert med 100 mm, 250 mm, 500 mm og 750 mm, tilsvarende U-verdier på hhv. 0,39 W/m<sup>2</sup>K, 0,17 W/m<sup>2</sup>K, 0,084 W/m<sup>2</sup>K og 0,059 W/m<sup>2</sup>K.

I tillegg er husets lekkasjetall (som innvirker på hvor mye luft som lekker opp på loftet), spalteåpningen ved raftene (som innvirker på ventilasjonen av loftet) og fuktproduksjonen i beboerrommene (som innvirker på mengden fukt det er i luften som lekker opp på loftet) variert, for å se om dette hadde noen betydning på effekten av i økt isolasjonstykkelse. Uteklimate er også variert ved å beregne for ett annet sted (Kristiansund).

## 4.2 Resultater og vurderinger

Resultatene i form av RF og temperatur på innsiden av undertaket er vist i figur 4.3-4.8 for forskjellige parametervariasjoner. Parametervariasjonene representerer forskjellig grad av fukttilførsel og ventilasjon av loftet. RF på innsiden av undertaket ligger generelt noe høyere enn RF i loftslufta, ca 2-6 % RF høyere om vinteren men kun ca ca 0,2 – 0,6 % RF høyere om sommeren (gjelder for Oslo-klima). Jo mindre isolasjon i himlingen, jo større blir forskjellen i RF mellom undertaket og loftslufta. Dette skyldes at varmeovergangsmotstanden mellom loftslufta og undertaket har større relativ betydning (gir større temperaturfall) når varmemotstanden i himlingen er liten.

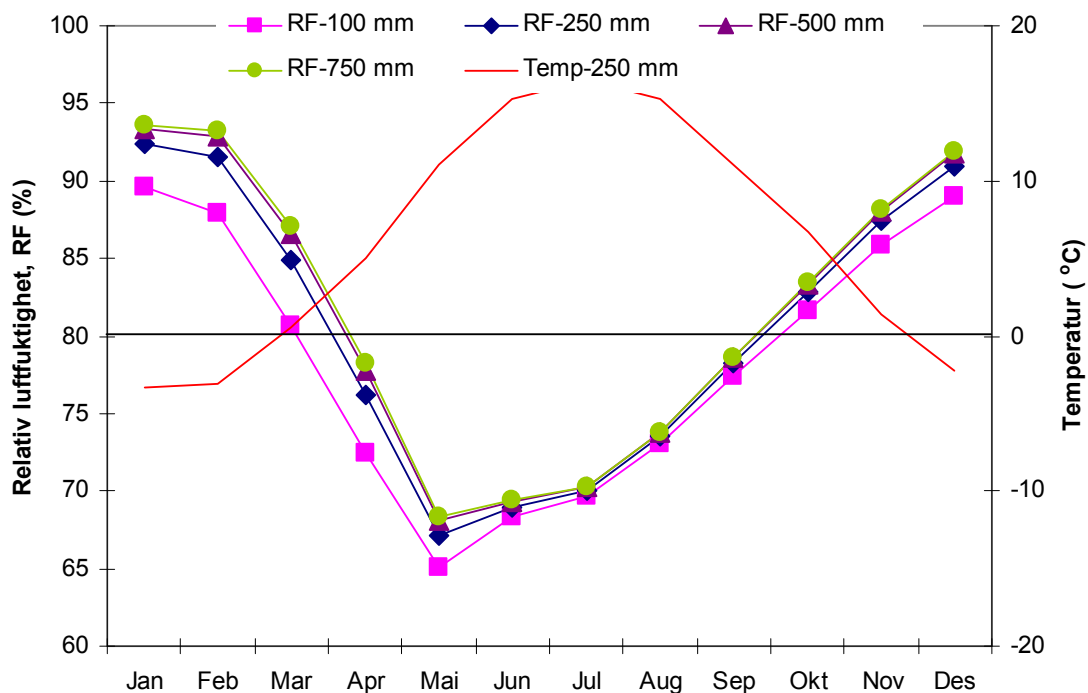


Vi ser generelt at RF på loftet og dermed på innsiden av undertaket er høyest om vinteren og lavest om sommeren (gjelder for Oslo-klima). Om vinteren er RF ved undertaket godt over 80% RF, men samtidig er temperaturen lav og dermed ugunstig for muggvekst, jfr. kapittel 2.2. Om sommeren er temperaturene gunstige for muggvekst, men fuktnivåene er da så lave at risikoen for muggvekst igjen er lav. For disse beregningstilfellene ser vi således at muggvekstrisikoen er lav i de kaldeste vinterperiodene (desember, januar og februar) og på sommeren (juni, juli og august). En viss muggvekstrisiko har vi derimot på våren (mars, april og mai) og på høsten (sept, oktober og november), spesielt dersom loftsventilasjonen og/eller fuktinnholdet i den lufta som lekker opp på loftet er høy. Se eksempelvis figur 4.5 og 4.6. Den største muggvekstrisikoen har vi om våren (størst risiko i april).

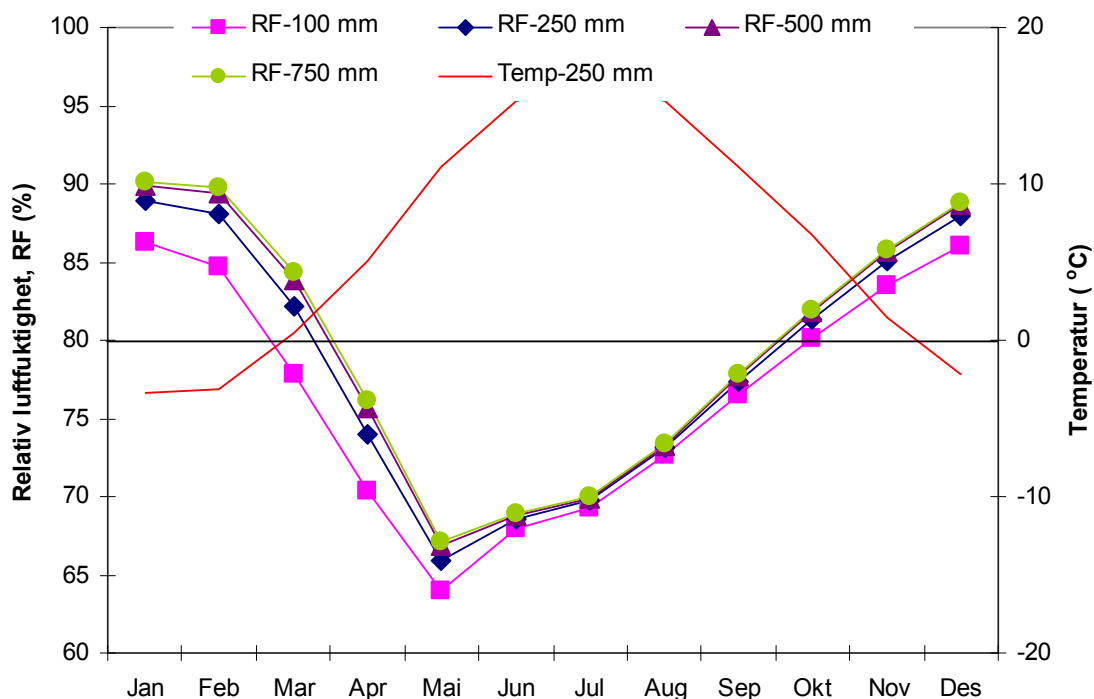
Når vi skal bedømme hvilken betydning økt isolasjonstykkelse har på muggvekstrisikoen i et Oslo-klima, må vi iht overnevnte se på fuktforholdene om våren (spesielt rundt april) og til dels om høsten. Vi ser generelt at fuktnivået ved undertaket øker med økende isolasjonstykkelse i himlingen. Dette gjelder alle parametervariasjonene. Samtidig ser vi at den største endringen inntreffer når vi går fra 100 mm isolasjon til 250 mm. Effekten ved å øke isolasjonstykkelsen fra 250 mm til 500 mm er vesentlig mindre, og ved å øke fra 500 mm til 750 mm enda mindre. Det betyr at den negative effekten av økt isolasjonstykkelse i loftshimlingen har størst betydning ved etterisolering av eldre og kanskje utette loftshimlinger med lite isolasjon i utgangspunktet. Den negative effekten av økt isolasjonstykkelse er altså mindre hvis sammenligningsgrunnlaget er mellom dagens isolasjonsstandard mot loft (ca 250 mm) opp mot passivhusstandard (for eksempel 500 mm).

En annen måte å vurdere alvorlighetsgraden til økningen i isolasjonstykkelse er å sammenligne med andre parametervariasjoner (men hvor isolasjonstykkelsen holdes konstant). I figur 4.8 vises beregninger for isolasjonstykkelse 250 mm og Oslo-klima, men hvor fuktproduksjon, husets lekkasjetall og luftespalter ved raft er variert. Vi ser at effekten av disse variasjonene er vesentlig større enn betydningen av å endre isolasjonstykkelsen, spesielt om vi definerer forskjellen mellom isolasjonstykkelse 250 mm og 500 mm som mest interessant. Økt isolasjonstykkelse blir således en av flere faktorer som kan øke muggvekstrisikoen, men denne negative effekten er ikke større enn at den kan motvirkes/elimineres ved riktige material- og konstruksjonsvalg og ikke minst riktig utførelse.

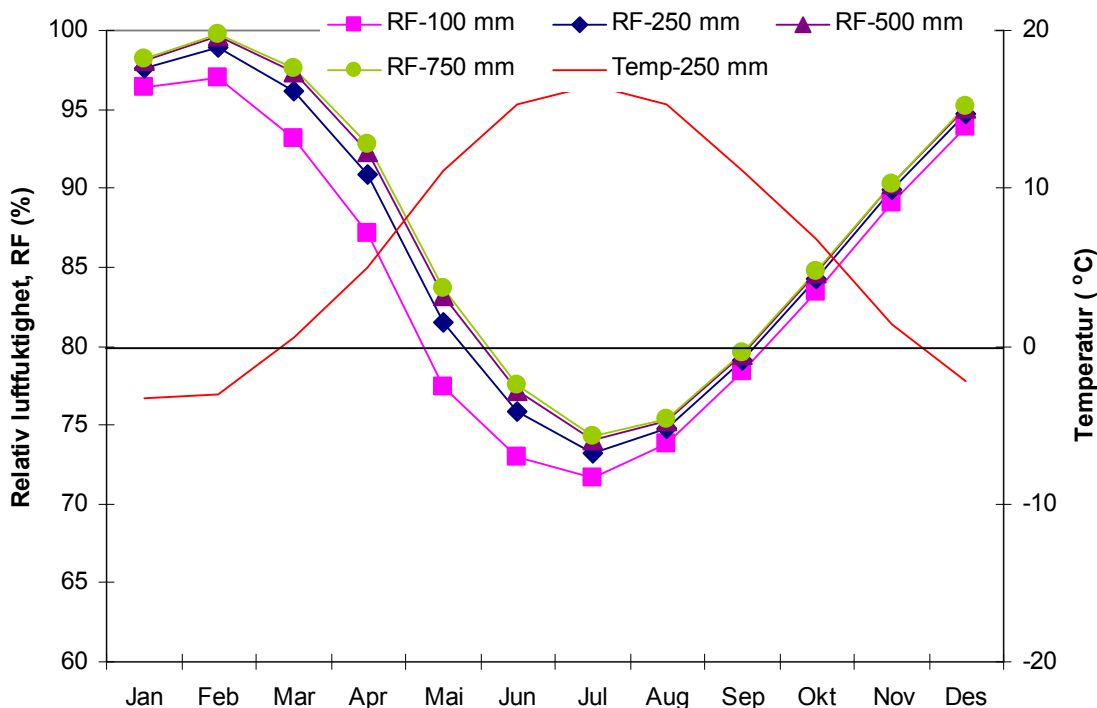
Vi ser at beregningene for Kristiansund, figur 4.7, skiller seg en del fra beregningene med Oslo-klima. RF ved undertaket er nesten konstant over året, og synker kun svakt om sommeren. Temperaturen er over 0 °C hele året. Det betyr at for dette klimaet (og dette beregningstilfellet) er det risiko for muggvekst hele året, men faktisk størst risiko på sommeren og tidlighøsten hvor temperaturen er størst.



Figur 4.3  
RF og temperatur på innsiden av undertaket på det kalde luftede loftet for forskjellige isolasjonstykkelser i himlingen. **Referansetilfelle:** Sted = Oslo. Husets lekkasjetall =  $4,0 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}50\text{Pa}$ . Spalteåpning v/raft = 5 mm. Fuktoproduksjon = 10 kg/døgn. Når RF og temperatur samtidig er over hhv 80% og 0 °C (over den heltrukne linjen) er det risiko for muggvekst.

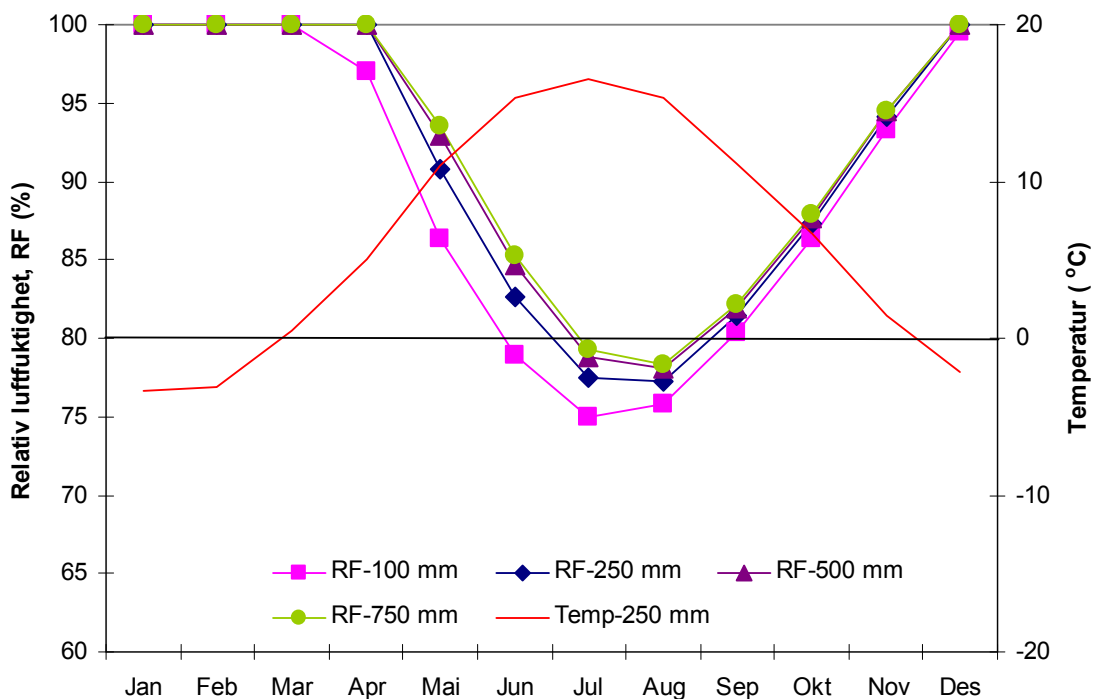


Figur 4.4  
RF og temperatur på innsiden av undertaket på det kalde luftede loftet for forskjellige isolasjonstykkelser i himlingen. Sted = Oslo. **Husets lekkasjetall =  $1,0 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}50\text{Pa}$  (dvs. reduserte luftlekkasjer opp til loftet).** Spalteåpning v/raft = 5 mm. Fuktoproduksjon = 10 kg/døgn. Når RF og temperatur samtidig er over hhv 80% og 0 °C (over den heltrukne linjen) er det risiko for muggvekst.



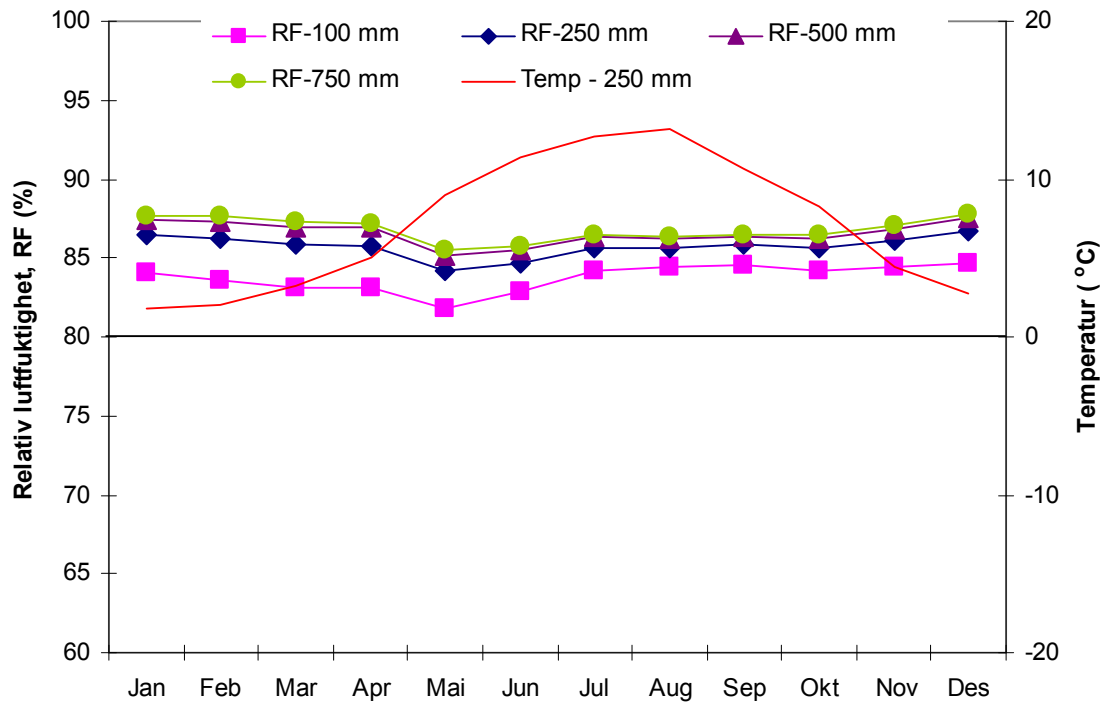
Figur 4.5

RF og temperatur på innsiden av undertaket på det kalde luftede loftet for forskjellige isolasjonstykkelser i himlingen. Sted = Oslo. Husets lekkasjetall =  $4,0 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}50\text{Pa}$ . **Spalteåpning v/raft = 1 mm (dvs. redusert ventilasjon av loftet)**. Fuktproduksjon =  $10 \text{ kg/døgn}$ . Når RF og temperatur samtidig er over hhv 80% og  $0^\circ\text{C}$  (over den heltrukne linjen) er det risiko for muggvekst.

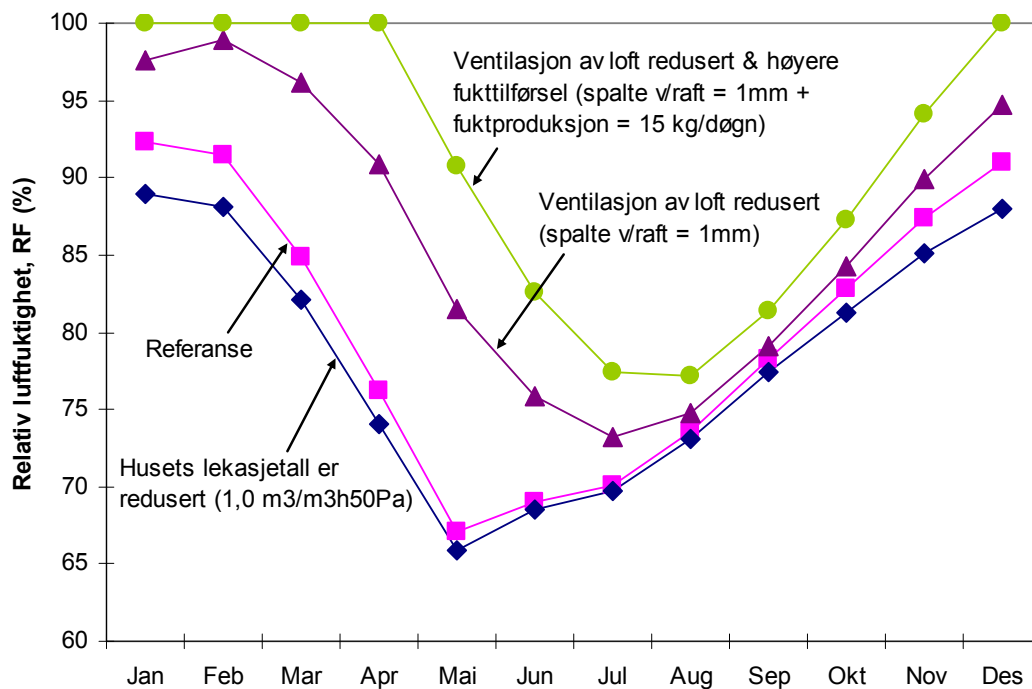


Figur 4.6

RF og temperatur på innsiden av undertaket på det kalde luftede loftet for forskjellige isolasjonstykkelser i himlingen. Sted = Oslo. Husets lekkasjetall =  $4,0 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}50\text{Pa}$ . **Spalteåpning v/raft = 1 mm. Fuktproduksjon =  $15 \text{ kg/døgn}$  (dvs. både redusert ventilasjon av loftet og høyere fuktinnhold i den lufta som lekker opp på loftet)**. Når RF og temperatur samtidig er over hhv 80% og  $0^\circ\text{C}$  (over den heltrukne linjen) er det risiko for muggvekst.



Figur 4.7  
RF og temperatur på innsiden av undertaket på det kalde luftede loftet for forskjellige isolasjonstykkelser i himlingen. **Sted = Kristiansund (dvs. mer vind, som øker ventilasjon av loftet, og høyere RF og temperatur i utelufta).** Husets lekkasjetall =  $4,0 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}50\text{Pa}$ . **Spalteåpning v/raft = 1 mm (dvs. reduserer ventilasjon av loftet).** Fuktproduksjon =  $10 \text{ kg/døgn}$ . Når RF og temperatur samtidig er over hhv 80% og  $0^\circ\text{C}$  (over den heltrukne linjen) er det risiko for muggvekst.



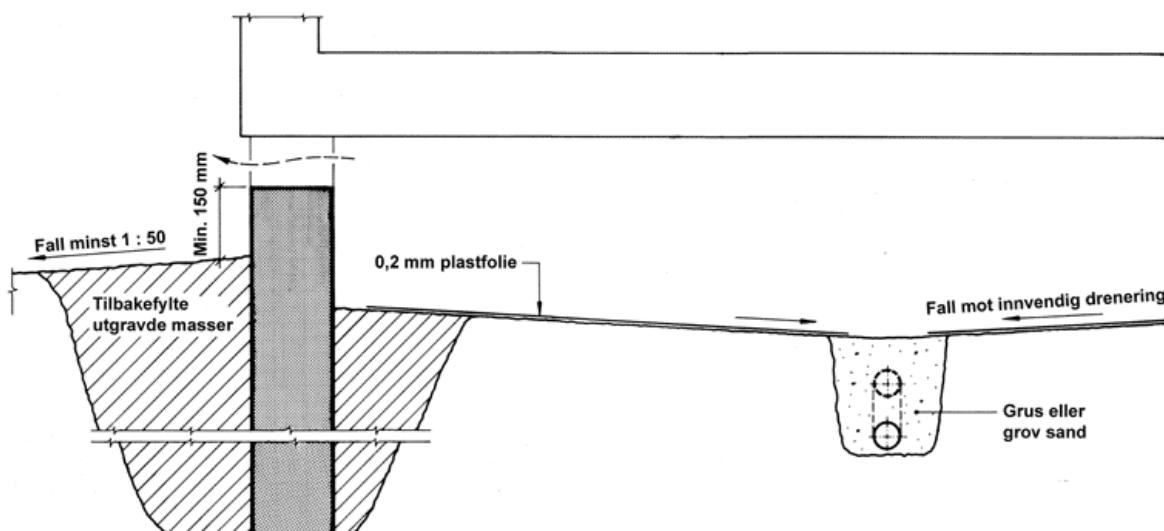
Figur 4.8  
RF på innsiden av undertaket på det kalde luftede loftet for **isolasjonstykkelse 250 mm** i himlingen. Det er vist fire forskjellige parametervariasjoner med forskjellig lekkasjetall, fuktproduksjon og spalteåpning ved raft. De samme kurvene er også vist i figur 4.3-4.6. **Referansetilfelle:** Sted = Oslo. Husets lekkasjetall =  $4,0 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}50\text{Pa}$ . Spalteåpning v/raft = 5 mm. Fuktproduksjon =  $10 \text{ kg/døgn}$ .

## 5. UTELUFTVENTILERT KRYPEROM

### 5.1 Beregninger

Bjelkelaget mot et uteluftventilert kryperom, se figur 5.1, vil oppleve den samme effekten av tykkere isolasjon som yttervegger, slik det er vist i kapittel 3. For selve bjelkelaget mot kryperommet vil derfor de samme konklusjonene gjelde som man trekker for yttervegger, mhp at RF i ytre del øker og at byggfukt får lengre uttørkingstid jo mer isolasjon og treverk det er benyttet i mellombjelkelaget.

Tykkere bjelkelag/isolasjon påvirker imidlertid fukt og temperaturforholdene i selve kryperoms-luften, ved at lufttemperaturen synker og at RF dermed stiger (hvis vi forutsetter at fukttilførselen til kryperommet er den samme). Dette medfører økt risiko for kondens, muggvekst og råte i kryperomshimlingen, se figur 5.2. Denne økte risikoen for kondens og muggvekst på kryperomshimlingen er analysert i dette kapitlet.



Figur 5.1  
Prinsippskisse av uteluftventilert kryperom.

Det er gjennomført beregninger av temperatur og luftfuktigheten i et uteluftventilert kryperom, for å se på effekten av økt isolasjonstykkelse i kryperomshimlingen (golvet i 1. etasje). Beregningene av temperaturforholdene i kryperommet over året er utført ved hjelp av programmet CRAWL (Hagentoft, 1988). De beregnede temperaturforholdene er deretter benyttet som inndata i programmet CRAWLRF (Hagentoft, 1993) som har beregnet luftfuktigheten i kryperommet.

Den beregnede konstruksjonen er altså et uteluftventilert kryperom i et småhus, med kun plastfolie på grunnen. Beregningene er gjennomført med variabel isolasjonstykkelse i kryperomshimlingen, hhv. 100 mm, 200 mm, 300 mm og 500 mm. Dette tilsvarer U-verdier på hhv. 0,33, 0,2, 0,15 og 0,09 W/m<sup>2</sup>K. Oslo klima er benyttet i de fleste beregningene, men i tillegg er klimadata fra Trondheim, Røros og Kristiansund benyttet for å se på effektene av dette. Klimadataene er basert på gjennomsnittlige månedsdata hentet fra (Aune, 1993) og (Håland m.fl., 1969).



Figur 5.2  
Råteskader i bjelkelag og stubbeloftsbord. Foto: SINTEF Byggforsk

Beregningene er basert på følgende faste inngangsparametre:

- Lengde bygning = 12 m, bredde = 8 m, høyde kryperom = 1,0 m
- Uteklima = Oslo,  $T_{\text{år}} = 5,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{amplitude,år}} = 10,3 \text{ }^\circ\text{C}$
- Uteklima = Trondheim,  $T_{\text{år}} = 4,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{amplitude,år}} = 8,3 \text{ }^\circ\text{C}$
- Uteklima = Røros,  $T_{\text{år}} = 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{amplitude,år}} = 11,3 \text{ }^\circ\text{C}$
- Uteklima = Kristiansund,  $T_{\text{år}} = 6,6 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{amplitude,år}} = 5,9 \text{ }^\circ\text{C}$
- Innetemperatur =  $20 \text{ }^\circ\text{C}$
- Dybde jordlag = 0,4 m ( $R_{\text{grunn}} = 1,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ )
- U-verdi kryperomsvegg =  $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Termisk konduktivitet grunnen =  $1,5 \text{ W/mK}$
- Varmekapasitet grunnen =  $2.000.000 \text{ J/m}^3\text{K}$
- Varmeovergangskoeffisient =  $2 \text{ W/m}^2\text{K}$

Kryperommets luftskifte er variert mellom  $n = 2,0 \text{ 1/h}$  (god ventilasjon) og  $0,5 \text{ 1/h}$  (redusert ventilasjon – men likevel ikke svært dårlig). I tillegg er det regnet noen tilfeller med 50 mm isolasjon på grunnen og noen uten plastfolie på grunnen for å se om dette har noen betydning for effekten av økt isolasjonstykkelse.

## 5.2 Resultater og vurderinger

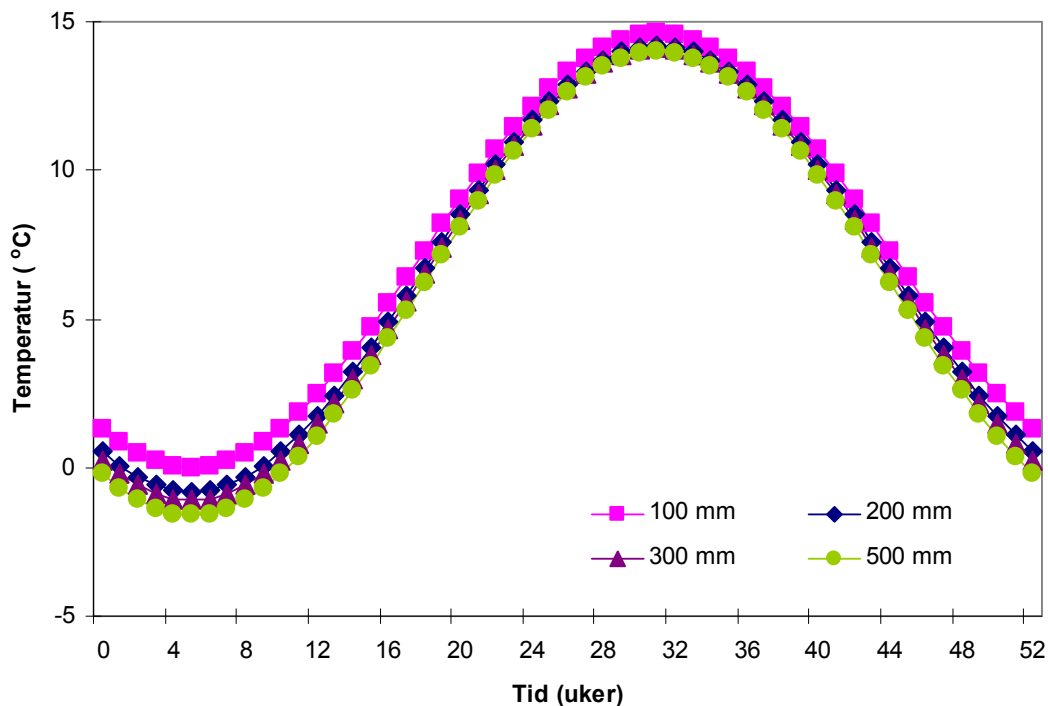
Resultatene i form av RF og temperatur i kryperomslufta er vist i figur 5.3-5.10 for forskjellige variasjoner i inngangsparametre. Vi kan anta at overflatetemperatur og -RF på kryperomshimlingen er relativt lik temperatur og RF i kryperomslufta. Varmeovergangsmotstand og stråling mellom himling og de kaldere flatene i kryperommet vil virke inn på overflatetemperaturen – men dette er ikke nærmere vurdert her. Effekten av tykkere isolasjon på lufttemperaturen i kryperommet er vist i figur 5.3. Temperaturen i kryperommet synker jo tykkere isolasjonen er. Temperaturforskjellen ved å bruke 100 mm eller 500 mm isolasjon er størst om vinteren (ca.  $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ), og minst om sommeren (ca.  $0,6 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Sammenligner vi 200 og 500 mm isolasjon er temperaturforskjellen ca  $0,8 \text{ }^\circ\text{C}$  om vinteren og  $0,2 \text{ }^\circ\text{C}$  om sommeren. Denne temperatursenkningen ved tykkere isolasjon fører til en heving i kryperommets RF siden kryperommets absolutte luftfuktighet er forutsatt lik i begge tilfellene.

Vi ser generelt at RF i kryperommet er høyest midt på sommeren for alle tilfellene med plastfolie på grunnen. På vinterstid, tidlig vår og senhøst er RF generelt så lav at det er liten risiko for muggvekst. For uteklima Røros ser vi imidlertid at RF også er relativt høy på vårparten. På sommerstid er temperaturen i kryperommet på sitt høyeste, så samtidigheten av høy RF og relativt høy temperatur kan gi risiko for muggvekst i denne perioden. For Oslo klima ser vi at RF er ca 4 % (-poeng) høyere midt på sommeren ved 500 mm isolasjon sammenlignet med 100 mm, men noe mindre (2 %) når vi sammenligner 500 mm og 200 mm, se figur 5.4-5.6. Når vi ser på effekten av tykkere isolasjon er det således av betydning hva vi sammenligner mot. Byggeforskriftene fra 1969 medførte ca 100 mm isolasjon i kryperomshimlingen, mens Byggeforskriftene fra 1987 ga krav om ca 200 mm isolasjon. Det betyr at de norske praktiske erfaringene med moderne uteluftsventilerte kryperom i stor grad relaterer seg til isolasjonstykkelse et sted mellom 100 og 200 mm. Hvor mye erfaring vi har med kryperom med 200 mm isolasjonstykkelse i himling/golv er noe usikkert, all den tid det trolig har blitt bygget relativt lite kryperom i norske boliger de siste 20 år. Denne andelen er imidlertid trolig i ferd med å øke pga større andel modulbygg hvor kryperom er en egnet konstruksjonsmetode.

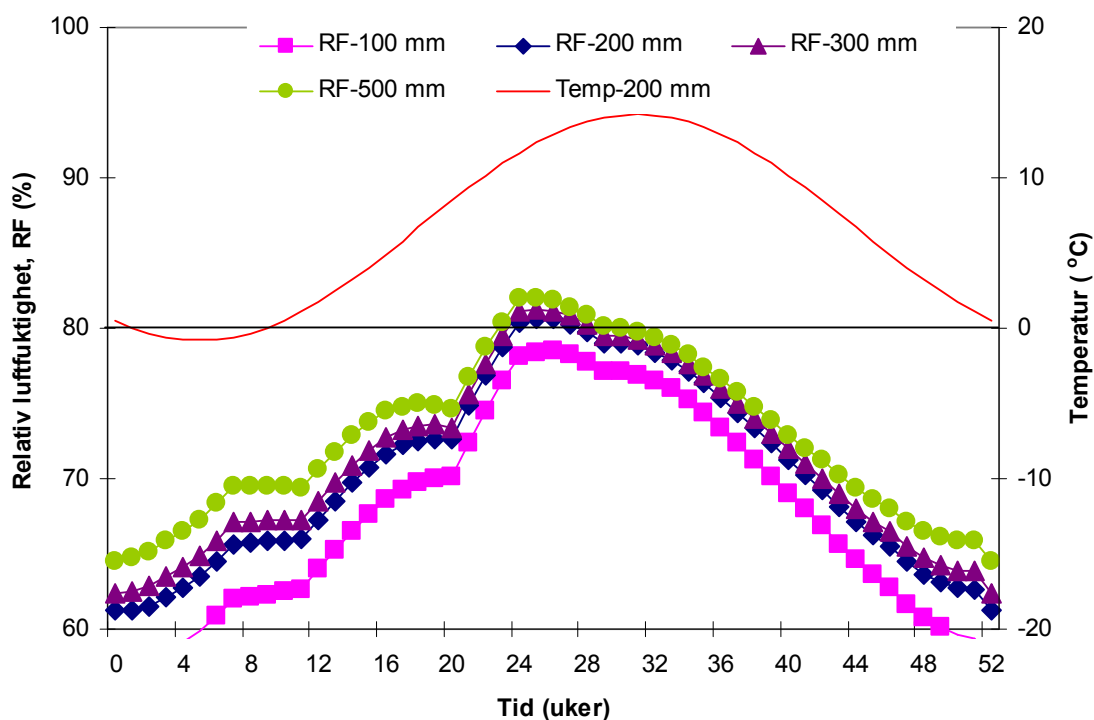
Den konservative tilnæringsmåten blir således å sammenligne 100 mm isolasjon med 500 mm (som representerer passivhuset). Effekten av tykkere isolasjon på RF-nivået er da relativt stor, og vil trolig øke risikoen for muggvekst relativt mye. Når vi sammenligner 200 mm isolasjon med 500 mm er effekten riktignok mindre for Oslo klima. Samtidig ser vi av figur 5.8-5.10 at for andre klima er denne effekten større. For Trondheim, Røros og Kristiansund ser vi at RF er ca 2,5-4 % (-poeng) høyere midt på sommeren (og våren for Røros) ved 500 mm isolasjon sammenlignet med 200 mm.

I praksis medfører dette at med et høyisolert bjelkelag blir kryperommet lite robust mot fuktskader ved for eksempel eventuell mangelfull ventilering eller liknende. Ved høyisolerte bjelkelag bør det derfor vurderes spesielle tiltak for å heve temperaturen i kryperommet, som for eksempel å isolere kryperomsveggen og/eller å legge et lag med isolasjon på grunnen. Andre mulige tiltak er å sikre ekstra god ventilasjon, vurdere inneluftsventilering i stedet for uteluftsventilering, etc.

Som figur 5.7 viser er det spesielt ugunstig dersom det ikke benyttes plastfolie på grunnen. Om vinteren og senhøsten får man en RF opp mot 100%, med stor muggvekstrisiko selv om temperaturen er relativt lav. Vi ser derimot at RF synker ned til under 80% om sommeren. Dette skyldes beregningsforutsetningene hvor vi forutsetter at det er et jordlag over det nivået hvor man forutsetter at RF i grunnen er 100%. Jordlaget har en viss varmemotstand og med høyere temperatur i kryperommet om sommeren enn nede i grunnen, vil vi da kunne få en situasjon hvor vandampdiffusjonen faktisk går nedover. Denne situasjonen om sommeren gjelder selvfølgelig ikke hvis overflaten er fuktig (åpne vandammer o.l).

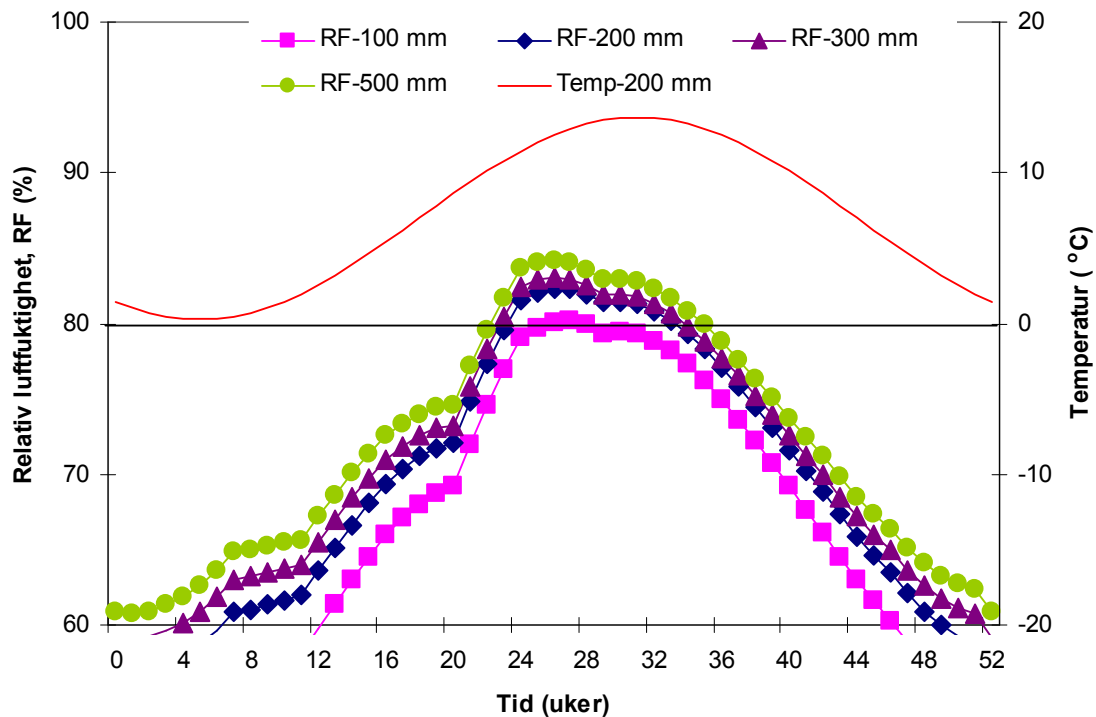


Figur 5.3  
 Temperatur midt i kryperommet for forskjellige isolasjonstykkelser i kryperomshimlingen. **Referansetilfelle:** Sted = Oslo. Kryperommetts luftskifte = 2,0 1/h. Ingen ekstra varmeisolasjon på grunnen. 0,2 mm plastfolie på grunnen. Beregningsperiode 1. januar – 31. desember.

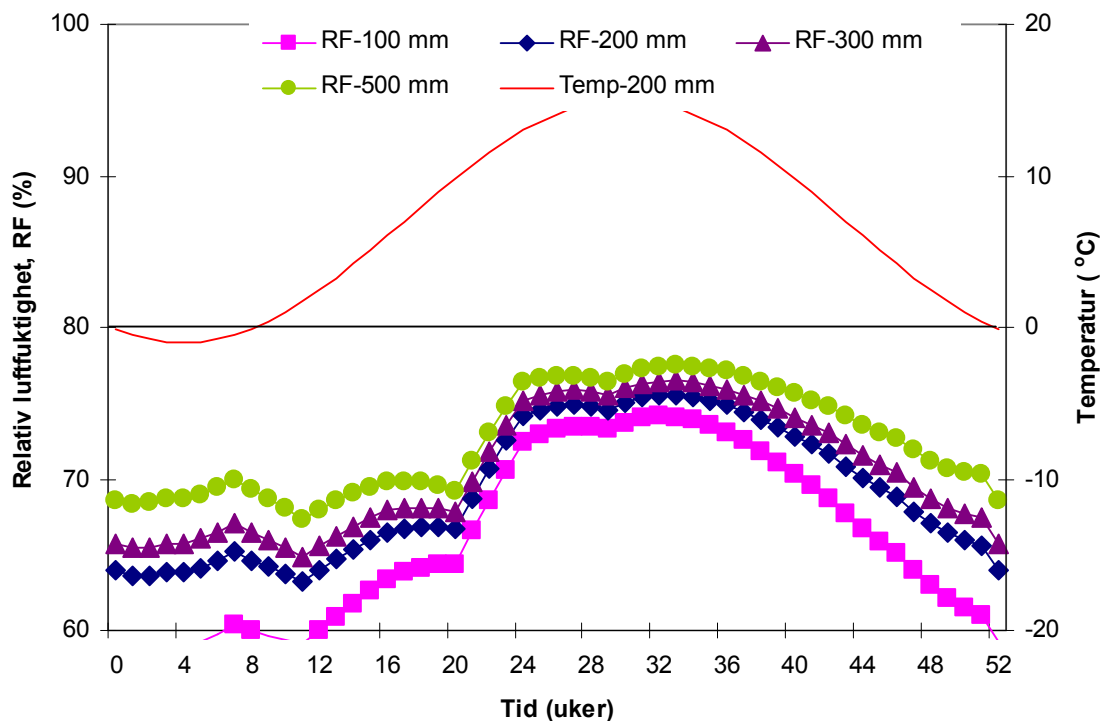


Figur 5.4  
 RF og temperatur midt i kryperommet for forskjellige isolasjonstykkelser i kryperomshimlingen. **Referansetilfelle:** Sted = Oslo. Kryperommetts luftskifte = 2,0 1/h. Ingen ekstra varmeisolasjon på grunnen. 0,2 mm plastfolie på grunnen. Beregningsperiode 1. januar – 31. desember. Når RF og temperatur samtidig er over hhv 80% og 0 °C (over den heltrukne linjen) er det risiko for muggvekst.

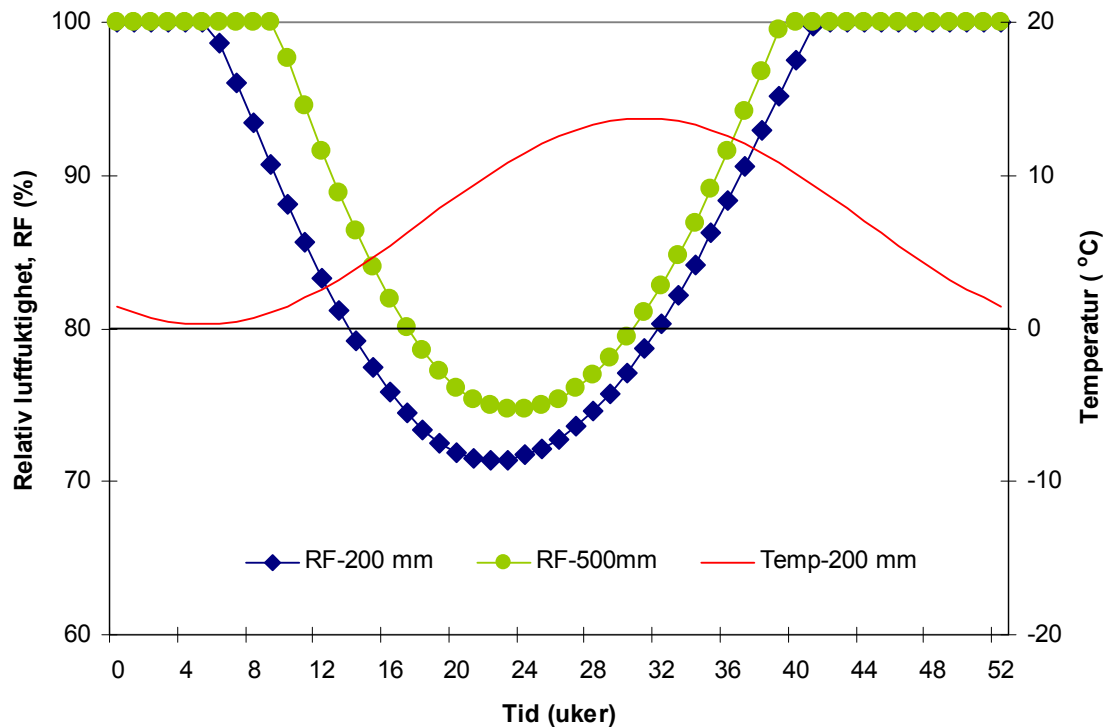




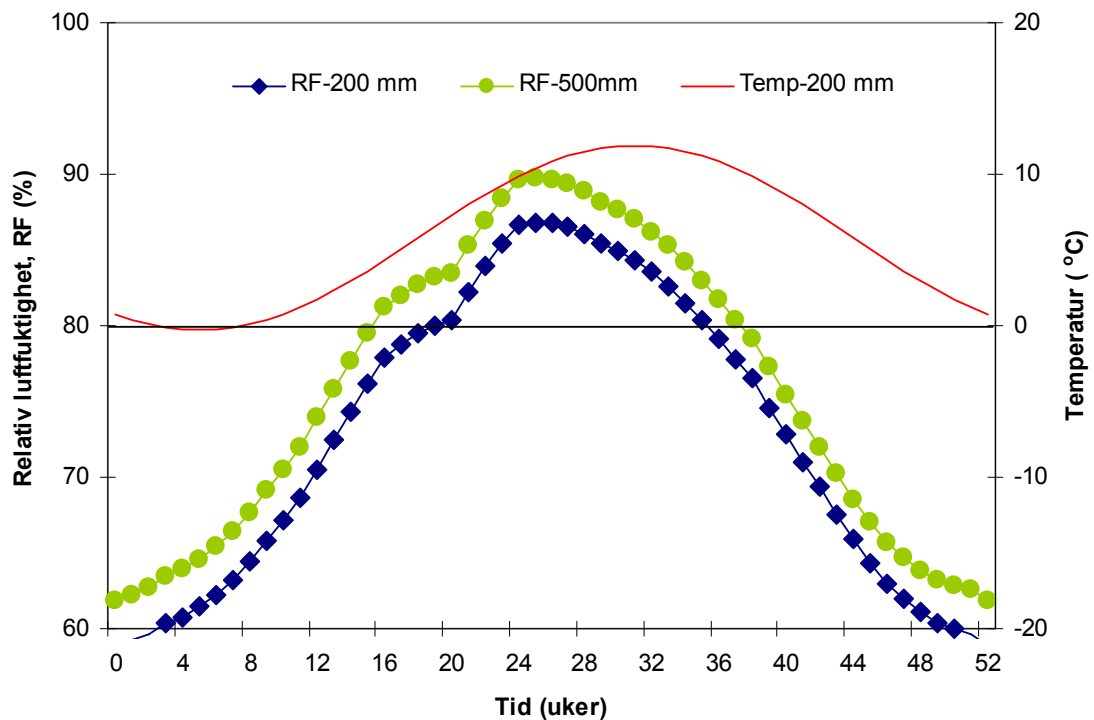
Figur 5.5  
 RF og temperatur midt i kryperommet for forskjellige isolasjonstykkelser i kryperomshimlingen. Sted = Oslo.  
**Kryperommets luftskifte = 0,5 1/h.** Ingen ekstra varmeisolasjon på grunnen. 0,2 mm plastfolie på grunnen.  
 Beregningsperiode 1. januar – 31. desember. Når RF og temperatur samtidig er over hhv 80% og 0 °C (over den heltrukne linjen) er det risiko for muggvekst.



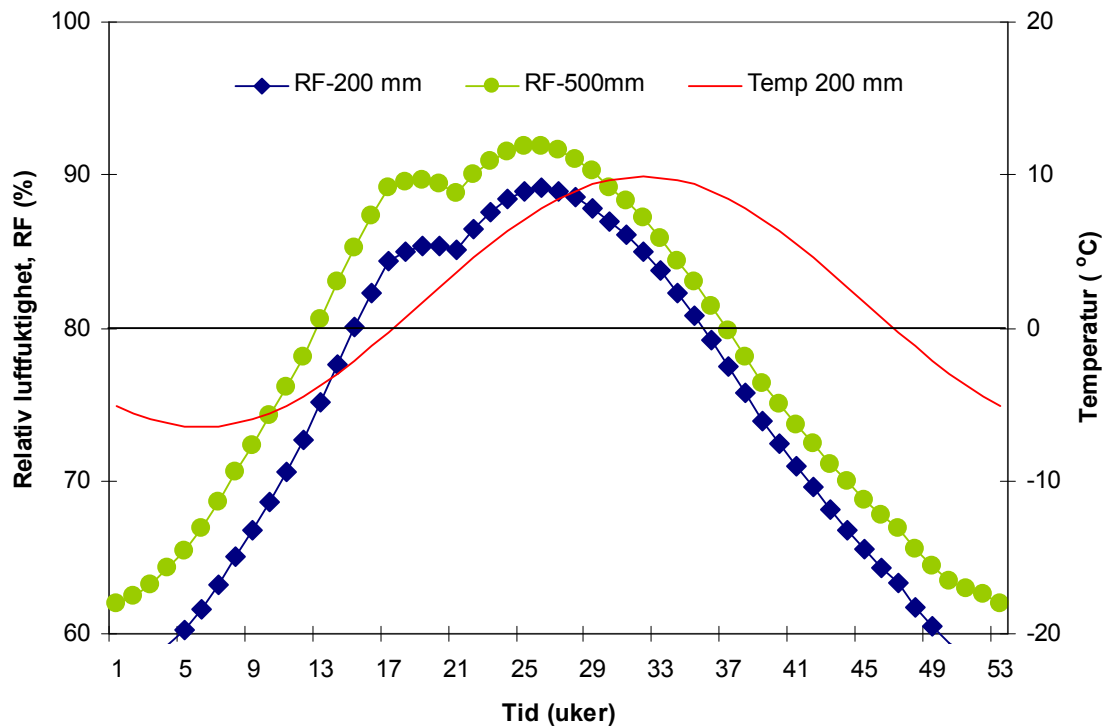
Figur 5.6  
 RF og temperatur midt i kryperommet for forskjellige isolasjonstykkelser i kryperomshimlingen. Sted = Oslo.  
 Kryperommets luftskifte = 2,0 1/h. **50 mm ekstra varmeisolasjon på grunnen.** 0,2 mm plastfolie på grunnen.  
 Beregningsperiode 1. januar – 31. desember. Når RF og temperatur samtidig er over hhv 80% og 0 °C (over den heltrukne linjen) er det risiko for muggvekst.



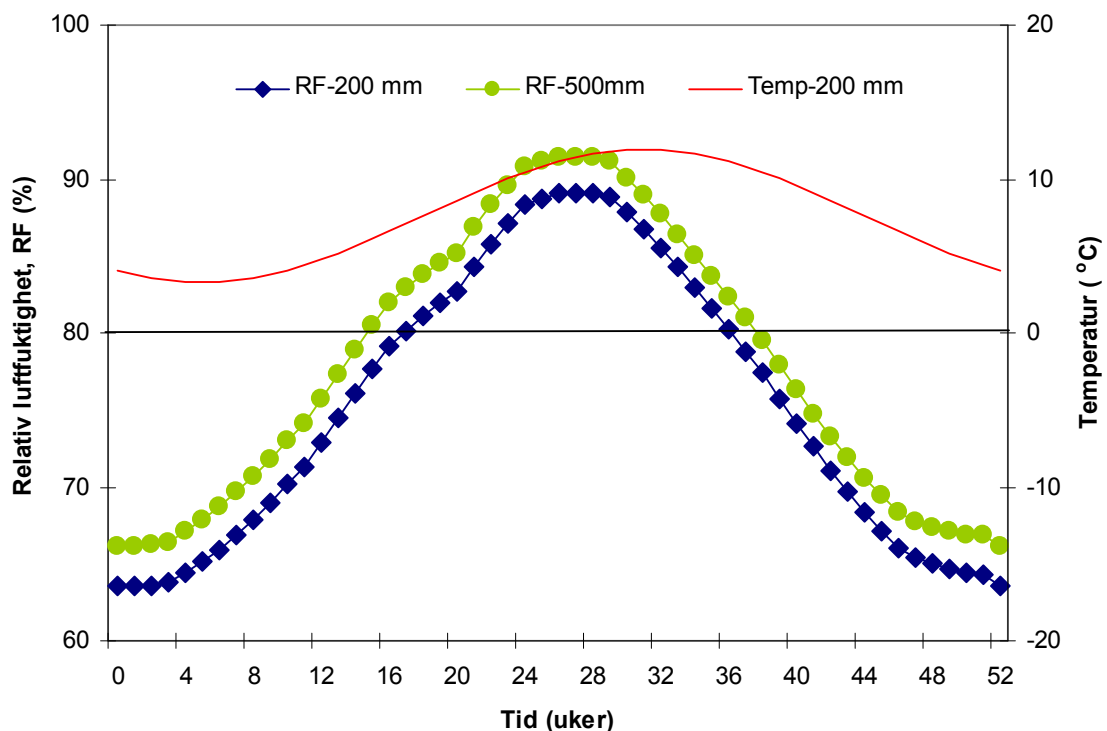
Figur 5.7  
 RF og temperatur midt i kryperommet for forskjellige isolasjonstykkelser i kryperomshimlingen. Sted = Oslo. **Kryperommets luftskifte = 0,5 1/h.** Ingen ekstra varmeisolasjon på grunnen. **Ingen plastfolie på grunnen.** Beregningsperiode 1. januar – 31. desember. Når RF og temperatur samtidig er over hhv 80% og 0 °C (over den heltrukne linjen) er det risiko for muggvekst.



Figur 5.8  
 RF og temperatur midt i kryperommet for forskjellige isolasjonstykkelser i kryperomshimlingen. **Sted = Trondheim.** Kryperommets luftskifte = 2,0 1/h. Ingen ekstra varmeisolasjon på grunnen. 0,2 mm plastfolie på grunnen. Beregningsperiode 1. januar – 31. desember. Når RF og temperatur samtidig er over hhv 80% og 0 °C (over den heltrukne linjen) er det risiko for muggvekst.



Figur 5.9  
 RF og temperatur midt i kryperommet for forskjellige isolasjonstykkelser i kryperomshimlingen. **Sted = Røros.** Kryperomnets luftskifte = 2,0 1/h. Ingen ekstra varmeisolasjon på grunnen. 0,2 mm plastfolie på grunnen. Beregningsperiode 1. januar – 31. desember. Når RF og temperatur samtidig er over hhv 80% og 0 °C (over den heltrukne linjen) er det risiko for muggvekst.



Figur 5.10  
 RF og temperatur midt i kryperommet for forskjellige isolasjonstykkelser i kryperomshimlingen. **Sted = Kristiansund.** Kryperomnets luftskifte = 2,0 1/h. Ingen ekstra varmeisolasjon på grunnen. 0,2 mm plastfolie på grunnen. Beregningsperiode 1. januar – 31. desember. Når RF og temperatur samtidig er over hhv 80% og 0 °C (over den heltrukne linjen) er det risiko for muggvekst.

## 6. OPPSUMMERING OG ANBEFALINGER

### 6.1 Generelt

I dette prosjektet er det gjort analyser av fukttekniske konsekvenser av økte isolasjonstykkelser i ytterkonstruksjoner. Analysene er basert på både beregninger og laboratoriemålinger. Det er gjort spesifikke beregninger og delvis målinger på enkelte ytterveggstyper, kalde luftede loft og uteluftsventilerte kryperom.

Selv om det er mange konstruksjonstyper som ikke er spesifikt beregnet, vil eksempelvis beregningene og målingene på bindingsverksvegger også kunne gjelde for andre lignende lette trekonstruksjoner som for eksempel luftede tretak, mellombjelkelag mot kryperom og kalde loft. Felles for alle disse konstruksjonene er at de er relativt dampåpne mot uteklima. Det er derfor også inkludert vurderinger og anbefalinger også for disse konstruksjonene i de følgende delkapitlene.

De to effektene som er undersøkt er at når ytre del av konstruksjonen blir kaldere øker samtidig fuktnivået, samt at byggfukt og tilfeldige lekkasjer får lengre uttørkingstid når isolasjonstykkelsen og mengden treverk øker. Alle beregningene og målinger viste at disse effektene er reelle. Disse effektene er vurdert i forhold til hvor mye risikoen for muggvekst i konstruksjonene øker, dvs. er økningen så liten at den kan aksepteres uten spesielle tiltak eller er risikoen så stor at spesielle tiltak eller andre konstruksjonsvalg bør settes i verk?

Konklusjonen for de fleste konstruksjonene er at risikoen for fuktskader og muggvekst øker noe, men at dette i de fleste tilfeller lett kan motvirkes ved riktige material- og konstruksjonsvalg samt riktig utførelse. Visse typer til dels ugunstige konstruksjoner blir imidlertid enda mer ugunstige, og i slike tilfeller bør alternative løsninger velges. Andre faktorer enn økt isolasjonstykkelse har ofte større betydning for muggvekstrisikoen, som for eksempel vanndampmotstanden til vindsperra og luftfuktigheten til innelufta. Dersom disse faktorene går i ugunstig retning vil imidlertid negative effekter av økt isolasjonstykkelse kunne få større betydning. Dette er nærmere omtalt i de følgende delkapitlene.

Eventuelle negative effekter av økt isolasjonstykkelse kan motvirkes i forskjellige tidspunkt i byggefasen. Effekten av at ytre del av konstruksjonen blir kaldere gjelder driftsfasen av bygget, mens eventuelle tiltak må settes i verk i forbindelse med prosjekteringen (material- og konstruksjonsvalg). Det kan imidlertid være at visse sider ved selve utførelsen også blir viktig, for eksempel å unngå luftlekkasjer som vil gi en negativ effekt som vil "adderer" til den negative effekten av økt isolasjonstykkelse. Lengre uttørkingstid av byggfukt gjelder naturlig nok i byggefasen, mens lengre uttørkingstid av tilfeldige smålekkasjer kan være et problem for driftsfasen av bygget. Tiltak for å unngå byggfukt er en sak for entreprenørene, men kravsetting på dette området er en del av prosjekteringen. Dersom tilfeldige smålekkasjer skal unngås i større grad enn tidligere vil dette stille strengere krav til regntettheten av fasader og tak, dvs. både prosjektering og utførelse blir viktig.

Det er viktig å være klar over at forskriftskrav om økte isolasjonstykkelser, samtidig fører med seg andre krav som har en positiv effekt på fuktforholdene i ytterkonstruksjoner. Krav til økt lufttetthet for småhus vil redusere oppfuktingen fra luftlekkasjer og dermed risikoen for muggvekst. Krav til varmegjenvinning fra fraluften og balansert mekanisk ventilasjon vil i praksis føre til en mer kontrollert ventilasjon, og at minimumskravet på ca 0,5 luftskifter i timen i større grad vil oppnås enn hva som har vært tilfelle tidligere. Bedre ventilasjon vil gi lavere fuktinnhold i innelufta, noe som vil redusere muggvekstrisikoen som følge av vanndampdiffusjon og luftlekkasjer fra innelufta. Ifølge Uvsløkk og Gustavsén (2006) og (Uvsløkk, 2007) er disse positive effektene større enn de negative effektene av at ytre del av konstruksjonen blir kaldere.

## 6.2 Yttervegger

### 6.2.1 Bindingsverksvegger

#### *Kaldere ytre del*

Beregningene viste en økning i RF ved vindsperrersjiktet som en følge av at økte isolasjonstykkelser gir kaldere ytre del. Dette medfører en økning i muggvekstrisikoen ved vindsperra. Den største RF-økningen og de største RF-nivåene inntreffer imidlertid om vinteren, når temperaturen ved vindsperra er så lav at risikoen for muggvekst er liten. Beregningene viste ca 3%-poeng økning i RF om vinteren ved en økning i isolasjonstykkelsen fra 150 til 400 mm. Om sommeren er generelt RF-økningen svært liten, samtidig med at selve RF-nivået ligger lavere enn om vinteren. Det betyr at den perioden som kan være risikofylt for muggvekst er en kort periode om våren og om høsten. Selv om risikoen for muggvekst altså øker noe pga økt isolasjonstykkelse – er temperaturen ved vindsperrersjiktet på vår og høstparten likevel såpass lav (ikke over 10 °C) at risikoen aldri kan bli spesielt høy.

Vi fant også at andre parametre har vel så mye betydning for RF-nivået og muggvekstrisikoen som kaldere ytre del pga økte isolasjonstykkelser. Dette samsvarer med konklusjoner i (Uvsløkk og Gustavsen, 2006). Faktorer som er mer viktige enn økte isolasjonstykkelser er for eksempel vindsperras og dampsperras vanddampmotstand samt innluftas luftfuktighet. Uvsløkk (2007) presiserer at ved å velge vindsperre med lav dampmotstand (for eksempel  $S_d < 0,1$  m), reduseres faren for muggvekst så mye at den økningen i muggvekstrisiko man får ved å øke veggtykkelsen, blir liten i sammenligning.

Vi vurderer derfor at det normalt **ikke** er behov for spesielle tiltak for bindingsverksvegger for å motvirke effekten av at økte isolasjonstykkelser gir kaldere ytre del. Forutsetningen er da at normale anbefalinger mhp konstruksjonsoppbygging er fulgt, for eksempel med hensyn til krav til vindsperras og dampsperras dampmotstand, at konstruksjonene har god lufttetthet etc. Dersom disse anbefalingene derimot ikke er fulgt kan det være aktuelt med spesielle tiltak.

Noen eksempler på potensielt ugunstige situasjoner hvor spesielle tiltak eller vurderinger/analyser kan være aktuelle ved høyisolerte konstruksjoner er gitt i det følgende:

- *Vindsperrersjikt med høy dampmotstand ( $S_d > 0,5$  m).* Moderne vindsperrer er for eksempel vanligvis meget dampåpne, men det kan likevel være forhold lokalt hvor det ytre sjiktet er mer damptett, for eksempel i forbindelse med høye membranoppbretter på vegg, høye beslag, ønske om å benytte kryssfiner eller liknende som vindsperre og lignende. Ved innvendig etterisolering av eldre konstruksjoner kan det være at utvendig vindsperre er mer damptett enn anbefalt i dag.
- *Lav innvendig dampmotstand ( $S_d < 10$  m).* Vanligvis har dampsperrersjiktene som benyttes høy dampmotstand. Ved utvendig etterisolering av eldre trevegger, må man imidlertid være klar over at dampmotstanden på innvendig side kan være vesentlig mindre enn hva som anbefales. I tillegg er det enkelte som ikke ønsker å benytte ordinære dampsperrersjikt, men heller vil ha såkalte pustende konstruksjoner av forskjellige årsaker, og dermed benytter materialer med vesentlig lavere dampmotstand enn 10 m.
- *Høy innvendig luftfuktighet (fukttillskudd  $> ca 4$  g/m<sup>3</sup>).* Dersom ventilasjonen ikke er velfungerende, eller det er stor fuktproduksjon i innelufta, vil fukttransporten ut i konstruksjonen øke, og effekten av andre negative fuktpåvirkninger (for eksempel økt isolasjonstykkelse) får større betydning. I moderne boliger, kontorbygg etc med god ventilasjon, skal ikke dette være noe problem. Man bør imidlertid være oppmerksom på dette i spesielle bygg og rom med høy luftfuktighet (svømmehaller og lignende). I tillegg kan dette være verdt å merke seg for eldre boliger som etterisoleres, uten at samtidig ventilasjonen og luftfuktighetsnivået samtidig vurderes.
- *Store luftlekkasjer fra innelufta.* Dersom det er store utettheter i dampsperrersjiktet, gjerne samtidig med at luftfuktigheten er høy, vil risikoen for kondens ute i konstruksjonen pga luftlekkasjer være høy. Denne risikoen blir høyere jo tykkere isolasjonen er.

Eventuelle negative effekter av økt isolasjonstykkelse i kombinasjon med andre potensielt ugunstige effekter (som nevnt i punktlisten over), kan motvirkes på flere måter. Det å benytte vindsperresjikt med så liten dampmotstand som mulig, dampspærre med tilstrekkelig dampmotstand, sørge for god ventilasjon som gir lav innvendig luftfuktighet og sørge for god lufttetthet av huset er noen måter. En annen måte er å sørge for at det benyttes materialer ved vindsperresjiktet som er mest mulig robuste mot fuktskader og muggvekst.

#### *Lengre uttørkingstid av byggfukt*

Både beregninger og målinger viste at det tar lenger tid å tørke ut høye nivåer av byggfukt (og eventuelle tilfeldige lekkasjer) når isolasjonstykkelsen øker, dvs. vi fant opptil en fordobling av uttørkingstiden ned til fuktnivåer hvor det ikke er risiko for muggvekst. Dette medfører generelt at risikoen for muggvekst øker.

Beregningene og målingene er gjennomført for en ekstrem situasjon, dvs. treverk har fått et fuktnivå som tilsvarer kontakt med vann i minst en uke og konstruksjonene er deretter lukket uten nevneverdig tørking på forhånd. Normalt vil det ta noe tid fra bygget er lukket til mineralullen og dampsperra blir montert, slik at man vil som minimum ha en viss uttørking. Samtidig vil det nok ofte være treverk lokalt som får minimalt med uttørking før lukking. Dette kan for eksempel være doble bunnsviller, treverk som er klemt mellom plastfolier og stålkonstruksjoner og liknende.

Vi vurderer at den negative effekten av lengre uttørkingstid av byggfukt (og tilfeldige lekkasjer) er større enn effekten av kaldere ytre del. Videre mener vi at dette medfører at vi må ta tiltak for å unngå negative konsekvenser av dette.

Eksempler på aktuelle tiltak er følgende:

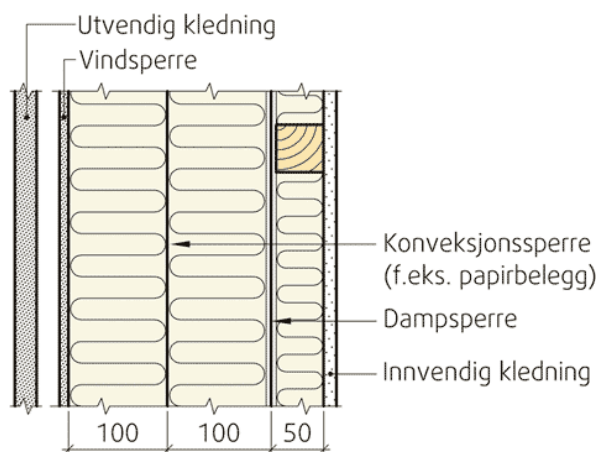
- Værbeskyttet bygging, dvs. beskytte uferdig bygning (eller kritiske konstruksjoner) mot oppfukning fra nedbør. Dette kan innebære alt fra planlagte lokale tildekningen til brukt av teltsystemer som gir full beskyttelse mot nedbør, se figur 6.1. Se (Noreng og Geving, 2008) for mer informasjon vedrørende aktuelle metoder.
- Gjennomføre tilstrekkelig og godt planlagt uttørking av konstruksjonene i perioden fra tett bygg til lukking av konstruksjonene.
- Måle fuktigheten i kritiske konstruksjoner og materialer før lukking av konstruksjoner.
- Bygge opp konstruksjonene slik at spesielt treverk kan tørke raskt mens byggtørkingen foregår. Det kan innebære å være forsiktige med doble bunnsviller, eller generelt ”lommer” eller kontaktflater mellom treverk hvor vann kan trenge inn og krever lang tid for å tørke ut.
- Velge materialer som ikke absorberer fukt i byggefasen, for eksempel bunnsvill av stålprofiler i stedet for treverk.
- Velge konstruksjonsløsninger som har høy sikkerhet mot tilfeldige vannlekkasjer i driftsfasen. Det kan eksempelvis medføre at det bør settes fokus på grundig kontroll av fasade- og takdetaljer i prosjekteringsfasen, for eksempel uavhengig bygningsfysisk kontroll.



Figur 6.1  
Skolebygg i Trondheim under oppførelse under full værbeskyttelse. Med økt isolasjonstykkelse blir det viktigere å unngå at konstruksjonene fuktes opp under bygging, og bruk av teltsystemer eller planlagte lokale tildekninger er mulige tiltak. Foto: SINTEF Byggforsk.

#### *Økt fuktfordeling pga naturlig konveksjon*

Økt isolasjonstykkelse gir økt intern luftsirkulasjon i isolasjonssjiktet og større grad av intern fuktfordeling i en vegg eller et tak. For en vegg vil det si at øvre og ytre del av bindingsverksveggen blir fuktigere (mens nedre og ytre del blir tørrere), spesielt i uttøringsfasen. I tillegg til fuktfordelingen øker varmetapet. Denne effekten har ikke vært behandlet spesielt i denne rapporten, men må tas hensyn til ved bygging av høysolerte konstruksjoner. En effektiv måte å motvirke denne interne luftsirkulasjonen er ved å bruke isolasjon med riktig dimensjon (unngå hulrom) og ved å legge inn en såkalt konveksjonssperre midt i isolasjonshulrommet, se figur 6.2. En effektiv konveksjonssperre (luftsperre) er å bruke isolasjon i to lag hvorav det ene laget har pålimt papir på den ene siden



Figur 6.2  
Eksempel på yttervegg med konveksjonssperre mellom isolasjonssjiktene. Konveksjonssperren reduserer den interne luftsirkulasjonen som gir økt fuktfordeling i isolasjonshulrommet når isolasjonstykkelsen øker.

## 6.2.2 Innvendig isolerte betongvegger over terreng

### *Kaldere ytre del*

Beregningene viste en økning i RF ved vindsperrisjiktet som en følge av at økte isolasjonstykkelser gir kaldere ytre del. Dette medfører en økning i muggvekstrisikoen ved vindsperra. Forskjellene i RF-nivå mellom 150 og 400 mm isolasjonstykkelse lå omtrent på samme nivå som bindingsverksvegger, og slikt sett kan man dra omtrent de samme konklusjonene som for bindingsverksvegger. Beregningene viser imidlertid at flere faktorer gjør at effekten av kaldere ytre har noe større betydning for denne veggtypen enn for bindingsverksvegger.

Innvendig isolerte betongvegger er generelt en type konstruksjon som er ugunstig, mhp at organisk materiale blir stengt inn mellom to tette sjikt. Med økt isolasjonstykkelse viser resultatene at konstruksjonen blir enda mer ugunstig. Slike konstruksjoner bør derfor ikke benyttes ved store isolasjonstykkelser, eventuelt bør det stilles spesielle krav til konstruksjonen og bygningen.

Eksempler på slike krav kan være:

- Unngå organisk materiale i den innvendige utføringen
- Sikre spesielt mot vannlekkasjer utenfra.
- Vurder å lage en luftet konstruksjon
- Det må sørges for tilstrekkelig og kontinuerlig ventilasjon slik at luftfuktigheten inne holdes lav nok. Konstruksjonen må ikke benyttes dersom det er høy innvendig luftfuktighet i bygget.

Det anbefales uansett at det gjøres en egen fuktteknisk analyse dersom en slik konstruksjon ønskes benyttet.

## 6.3 Luftede takkonstruksjoner

En luftet takkonstruksjon med vindsperre eller kombinert vindsperre/undertak vil fuktteknisk være svært lik en bindingsverksvegg med luftet kledning. Vi forutsetter derfor at de samme konklusjonene vi har truffet for bindingsverksvegger i kapittel 6.2.1 også gjelder for luftede takkonstruksjoner.

## 6.4 Kalde loft

Et golvbjelkelag av tre over et kaldt loft vil fuktteknisk normalt være svært lik en bindingsverksvegg med luftet kledning. Vi forutsetter derfor at de samme konklusjonene vi har truffet for bindingsverksvegger i kapittel 6.2.1 også gjelder for ytre del av mellombjelkelaget.

Når det gjelder fuktforholdene i et kaldt luftet loft, og spesielt fuktforholdene på innsiden av undertaket, viste beregningene en økning i RF ved undertaket (spesielt om vinteren og våren) som en følge av at økte isolasjonstykkelser i bjelkelaget gir kaldere loft. Dette medfører en økning i muggvekstrisikoen ved undertaket. De største RF-nivåene inntreffer imidlertid om vinteren, når temperaturen ved undertaket er så lav at risikoen for muggvekst er liten. Det betyr at den perioden som kan være risikofyllt for muggvekst er en periode om våren. Noen beregninger viste imidlertid en viss risiko for muggvekst også om sommeren og høsten.

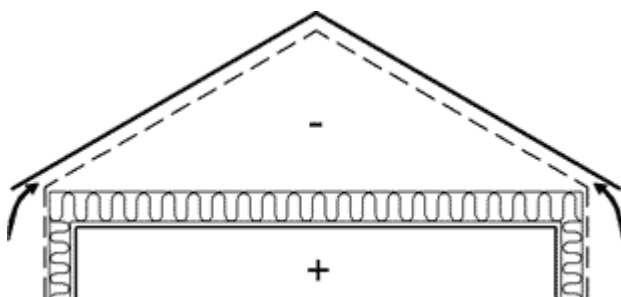
Den største RF-økningen fikk man beregningsmessig ved å gå fra 100 til 250 mm isolasjon, mens forskjellen i RF mellom 250 og 750 mm isolasjon var mindre. Det betyr at man må være spesielt oppmerksom på problemstillingen i forbindelse med etterisolering av bjelkelag mot kalde loft.



Vi fant også at andre parametre har vel så mye betydning for RF-nivået og muggvekstrisikoen som kaldere ytre del pga økte isolasjonstykkelser. Faktorer som er mer viktige enn økte isolasjonstykkelser er for eksempel ventilasjonsgraden av loftet, størrelsen på luftlekkasjer fra beboerrommene og luftfuktighetsnivået i beboerrommene.

Vi vurderer derfor at det normalt **ikke** er behov for spesielle tiltak for kalde luftede loft for å motvirke effekten av at økte isolasjonstykkelser gir kaldere loftsluft og undertak. Forutsetningen er da at normale anbefalinger mhp konstruksjonsoppbygging er fulgt, for eksempel med hensyn til krav til loftets ventilasjon, dampsperras dampmotstand, at bjelkelaget har god lufttetthet, at beboerrommene er godt ventilert og har lav luftfuktighet etc. Dersom disse anbefalingene derimot ikke er fulgt kan det være aktuelt med spesielle tiltak. Ved etterisolering av et eldre loftsbjelkelag er det derfor spesielt viktig at man kontrollerer de nevnte faktorene, men det er aktuelt å kontrollere disse faktorene også godt ved nybygging..

Det er verdt å nevne at et uluftet (uventilert) kaldt loft med dampåpent undertak (se figur 6.3) er en sikrere løsning enn et kaldt luftet loft mhp at takets totale lufttetthet blir større, dvs. faren for luftlekkasjer nedenfra blir redusert. Se Byggforskserien 525.106 for nærmere informasjon om kalde loft.



Figur 6.3

Et uluftet kaldt loft kan være et bedre alternativ enn det tradisjonelle luftede loftet. Dette fordi undertaket da gir et sterkt bidrag til takets totale lufttetthet, og faren for luftlekkasjer nedenfra blir dermed mindre. På den måten reduseres også risikoen for høy luftfuktighet på loftet.

## 6.5 Kryperom

Et mellombjelkelag av tre mot et uteluftsventilert kryperom vil fuktteknisk normalt være svært lik en bindingsverksvegg med luftet kledning. Vi forutsetter derfor at de samme konklusjonene vi har truffet for bindingsverksvegger i kapittel 6.2.1 også gjelder for ytre del av mellombjelkelaget. Det må imidlertid nevnes at golvbjelkelag skiller seg fra bindingsverksvegger på et svært viktig område, dvs. at det normalt ikke benyttes dampsperre (som vil fungere som en vannfelle ved søling av vann). Dette medfører at det er ekstra viktig med lavest mulig dampmotstand på kald side.

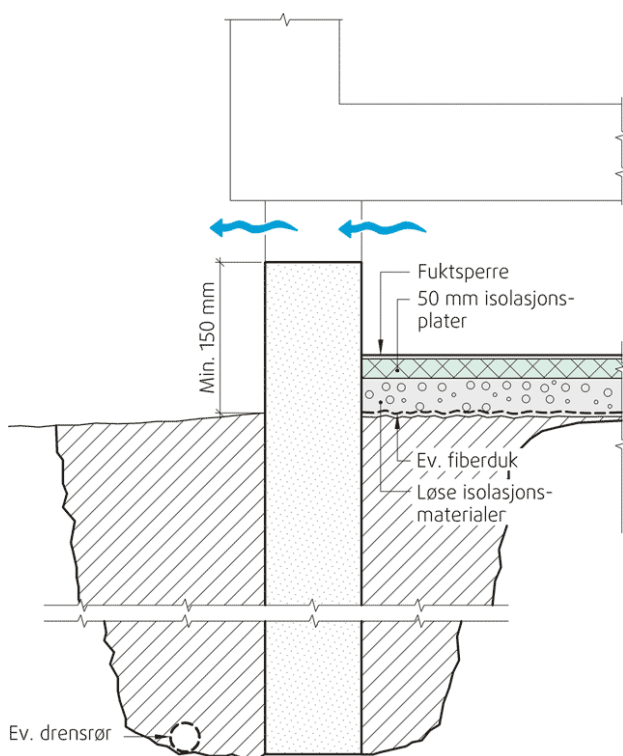
Når det gjelder fuktforholdene i selve kryperommet, viste beregningene en klar økning i RF over hele året. Økningen var relativt stor også om sommeren når temperaturen er gunstig mhp muggvekst.

Uteluftsventilerte kryperom er en konstruksjonsløsning som generelt er ugunstig, dvs. vi har erfaring med at den er skadeutsatt. En økning i isolasjonstykkelsen vil gjøre konstruksjonen enda mindre robust. Kryperom bør derfor ikke benyttes ved store isolasjonstykkelser, eventuelt bør kryperomsløsningen forbedres.

Et alternativ til kryperom er golv på grunnen, som er en relativt uproblematisk konstruksjon. Hvis man likevel ønsker å bruke en kryperomsløsning bør man gjøre en egen fuktteknisk analyse av konstruksjonen. Mulige måter å forbedre kryperomsløsningen på kan eksempelvis være:

- Forbedre ventilasjonen
- Legge varmeisolasjon på grunnen i kryperommet, se figur 6.4.
- Vurdere inneluftsventilert kryperom (krever god kontroll på inngående luftfuktighet og at det ikke kondenserer på kalde flater)
- Reflekterende vindsperre på undersiden av bjelkelaget
- Bruke en reflekterende dampsperre på grunnen

Det er imidlertid mange forutsetninger som må oppfylles for at overnevnte tiltak skal fungere som ønsket. Se Byggforskserien 721.211 for nærmere informasjon om enkelte muligheter for å forbedre den tradisjonelle kryperomsløsningen.



Figur 6.4

En mulig måte å redusere RF i kryperommet er ved å legge varmeisolasjon på grunnen – temperaturen heves og RF vil dermed synke. Dermed vil man (trolig) motvirke økningen av RF som følger av økt isolasjonstykkelse i mellombjelkelaget. Ringmuren bør også isoleres på innsiden.

## 7. LITTERATUR

Aune, B. 1993. *Temperaturnormaler. Normalperiode 1961 – 1990*. Det Norske Meteorologiske Institutt. Rapport nr. 02/93 Klima. Oslo.

Byggforskserien, 701.401 *Muggsopp i bygninger. Forekomst og konsekvenser for klimaet*. SINTEF Byggforsk, Oslo.

Byggforskserien, 525.106 *Skrå tretak med kaldt loft*. SINTEF Byggforsk, Oslo.

Byggforskserien, 721.211 *Fuktskader i kryperom. Årsaker og utbedringmetoder*. SINTEF Byggforsk, Oslo.

Hagentoft, C-E. 1988. *PC-program: Crawl-space temperatures and heat losses*. TVBH-7109. Lunds Tekniske høgskole, Sverige.

Hagentoft, C-E. 1993. *PC-program: CRAWLRF. Calculates the relative humidity in an outdoor or indoor air ventilated crawl-space*. TVBH-7109. Lunds Tekniske høgskole, Sverige.

Håland, L. m.fl. 1969. *Standard normals 1931 – 60 of the humidity of the air in Norway*. Det Norske Meteorologiske Institutt, Oslo.

Noreng, K. og S. Geving. 2008. *Værbeskyttet bygging. Beskyttelse av uferdig bygg mot nedbør*. Rapport 4, SINTEF Byggforsk, Trondheim.

Sedlbauer, K. 2002. Prediction of Mould Growth by Hygrothermal Calculation. *Journal of Building Physics*. **25**: 321-336.

Time, B., S. Geving, S. Uvsløkk and J. Holme. 2009. *Gir en byggeskikk med mer isolasjon i bygningskroppen økt fare for fuktskader?* Passivhus Norden, konferanse Göteborg, 27 – 29 april .

Uvsløkk, S. 2005. *Tak med kaldt loft. Delrapport fra prosjekt 4 i FoU-programmet "Klima 2000"*. Prosjektrapport 396. ISBN 82-536-0902-7. Norges byggforskningsinstitutt, Trondheim.

Uvsløkk, S. 2007. *Vurdering av risiko for fuktskader ved økte isolasjonstykkelser*, foredrag. Nasjonalt seminar om fuktskader 2007. 11. mai 2007, Oslo.

Uvsløkk, S. 2008. *Ny TEK-mer isolasjon – mindre fuktskader? Resultater fra en teoretisk parameterstudie*, foredrag, Norsk bygningsfysikkdag, 25. november 2008, Thon Hotell Vika Atrium, Oslo. ([http://www.bygningsfysikk.no/NorskBygningsfysikkdag2008/02\\_Uvsløkk.pdf](http://www.bygningsfysikk.no/NorskBygningsfysikkdag2008/02_Uvsløkk.pdf))

Uvsløkk, S. og A. Gustavsen. 2006. *Vurdering av sammenheng mellom isolasjonstykkelse og risiko for fuktskader i lette yttervegger*. Oppdragsrapport 50105900. Norges byggforskningsinstitutt, Trondheim. (<http://www.be.no/beweb/regler/tekhoering06/rapporter/Fuktrisiko-Isolasjonstykkelse.pdf>)

WUFI. 2009. <http://www.wufi-pro.com>

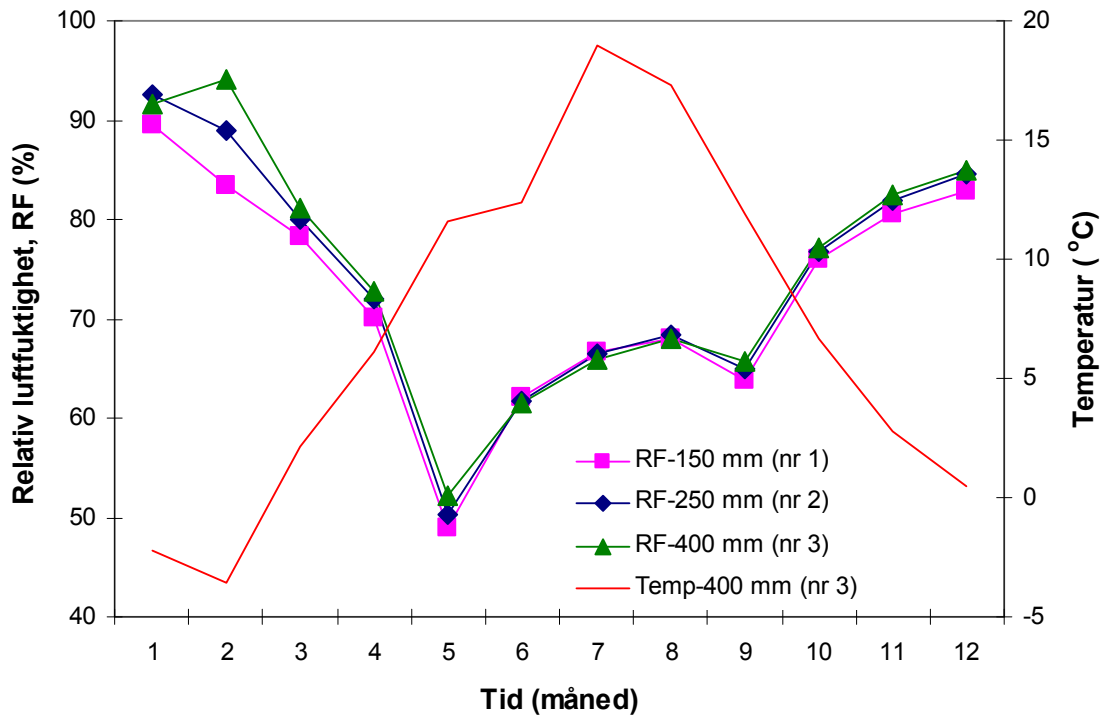
# VEDLEGG

Vedlegg 1 Effekt av kaldere ytre del – 1 dimensjonal beregning (konstruksjon A) –  
Beregningsresultater

Vedlegg 2 Lengre uttørkingstid av byggfukt – 1 dimensjonal beregning (konstruksjon B) -  
Beregningsresultater

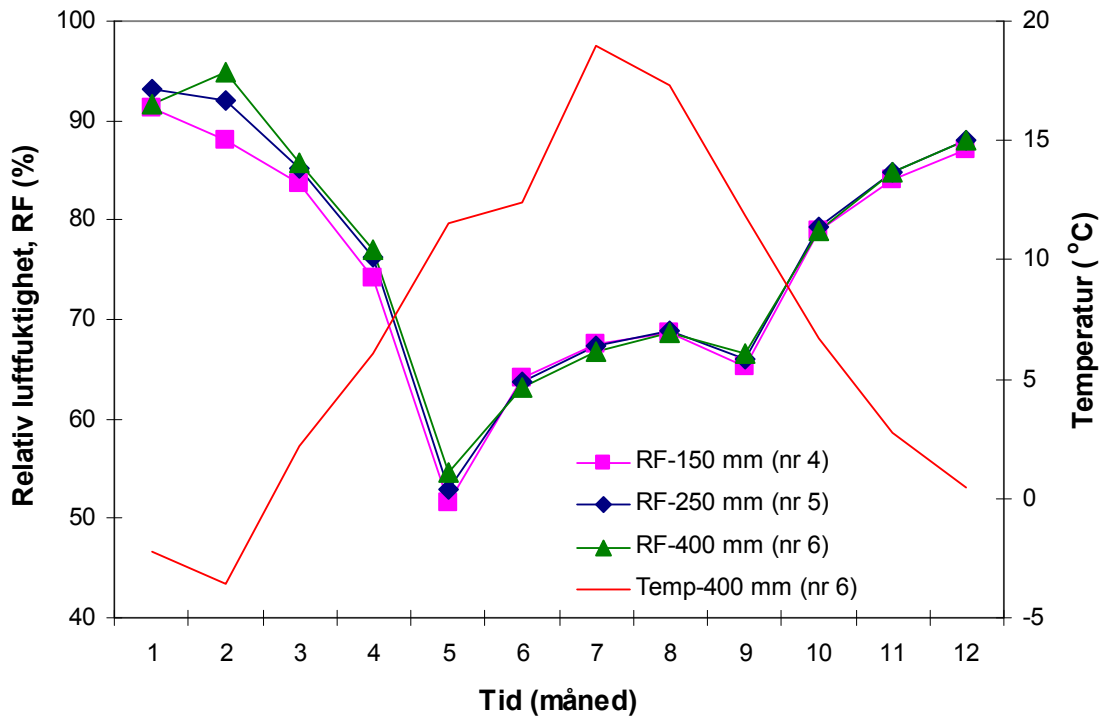
## Vedlegg 1 - Kaldere ytre del

### 1 dimensjonal beregning (konstruksjon A) – Beregningsresultater



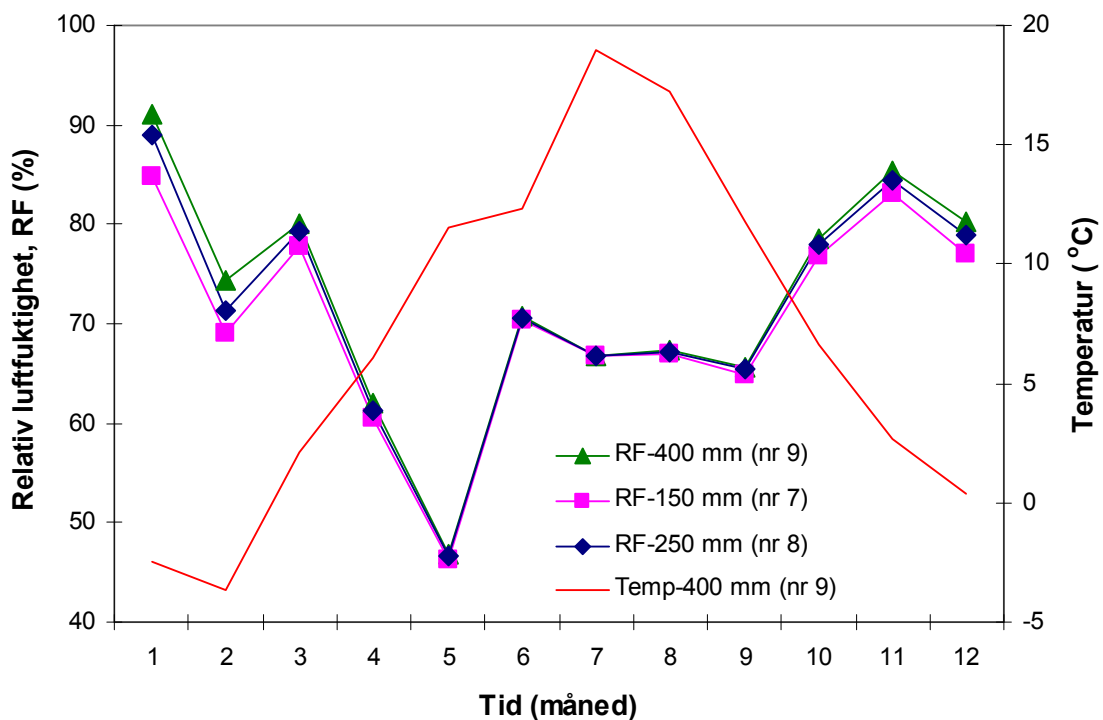
Figur V1.1

RF på vindperras indre overflate for konstruksjon A, for hhv. 150, 250 og 400 mm varmeisolasjon. Beregningsperiode 1. januar – 31. desember. **Standardtilfelle:**  $S_d$ -dampsperre = 10 m.  $S_d$ -vindsperre = 0,23 m. Uteklima er Oslo. Fukttilskudd =  $4 \text{ g/m}^3$ . Månedsmiddelverdier.



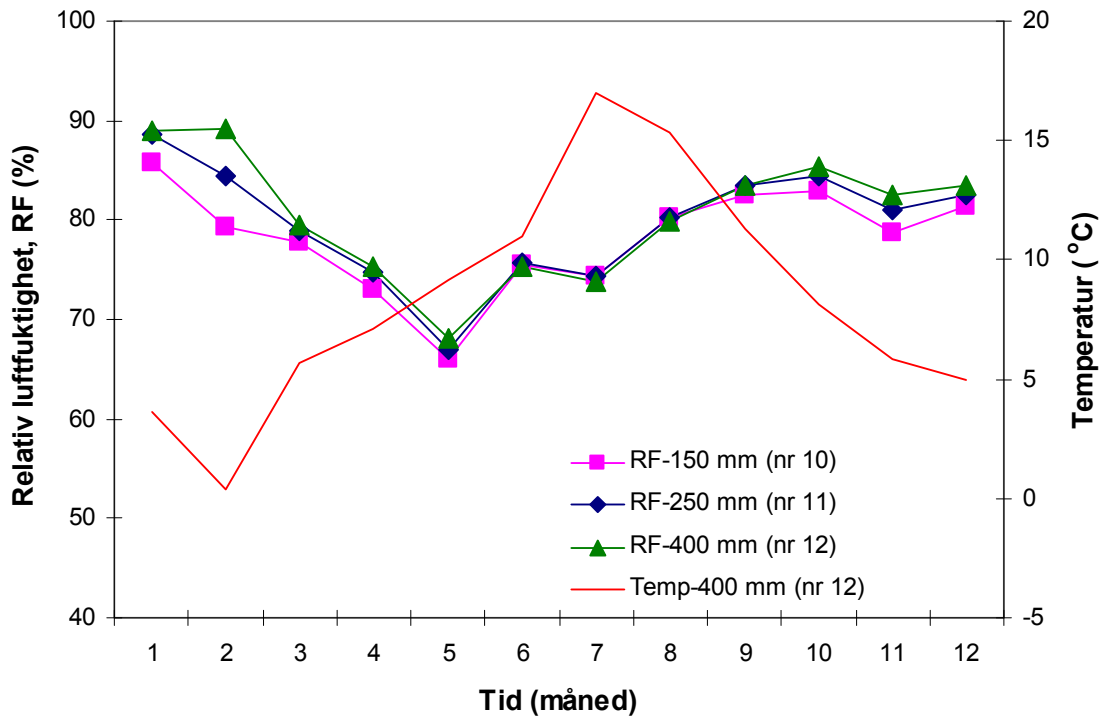
Figur V1.2

RF på vindsperras indre overflate for konstruksjon A, for hhv. 150, 250 og 400 mm varmeisolasjon. Beregningsperiode 1. januar – 31. desember.  $S_d$ -dampsperre = 2 m.  $S_d$ -vindsperre = 0,23. Uteklime er Oslo. Fukttillskudd = 4 g/m<sup>3</sup>. Månedsmiddelverdier.

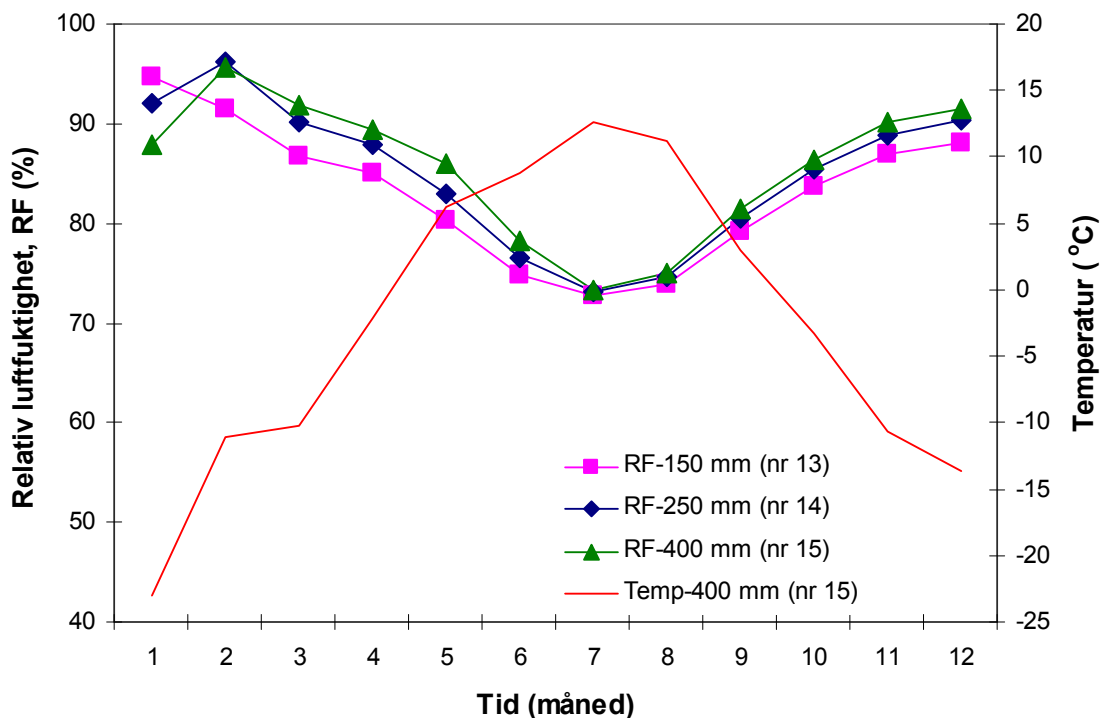


Figur V1.3

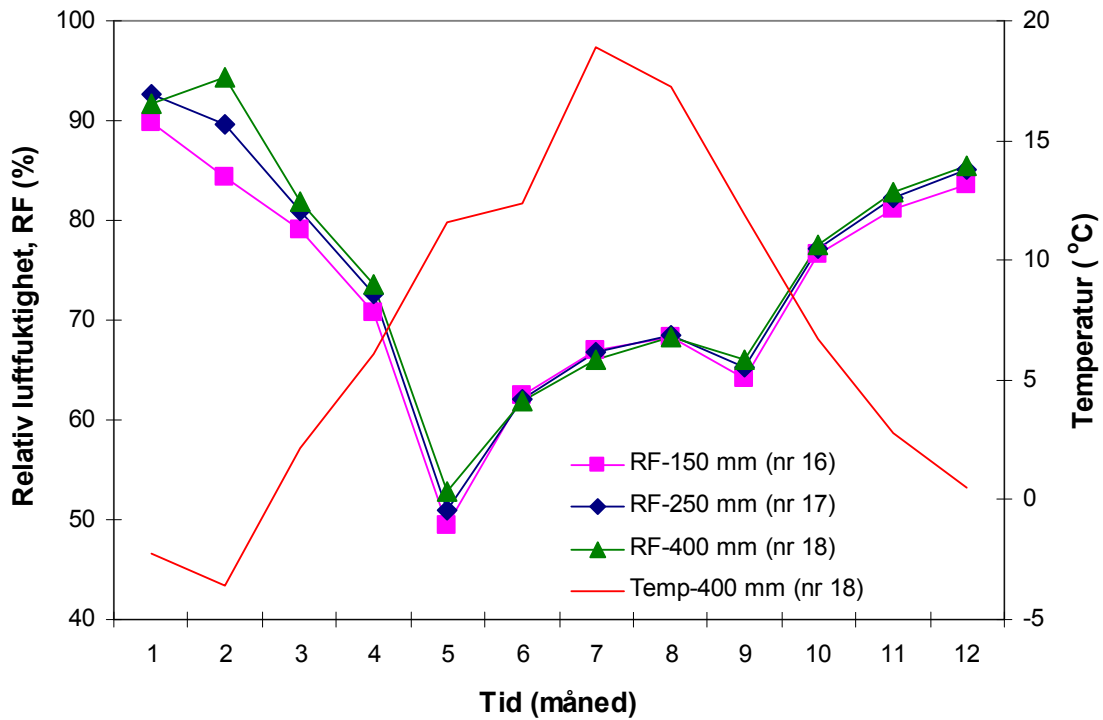
RF på vindsperras indre overflate for konstruksjon A, for hhv. 150, 250 og 400 mm varmeisolasjon. Beregningsperiode 1. januar – 31. desember.  $S_d$ -dampsperre = 10 m.  $S_d$ -vindsperre = 0,025 m. Uteklime er Oslo. Fukttillskudd = 4 g/m<sup>3</sup>. Månedsmiddelverdier.



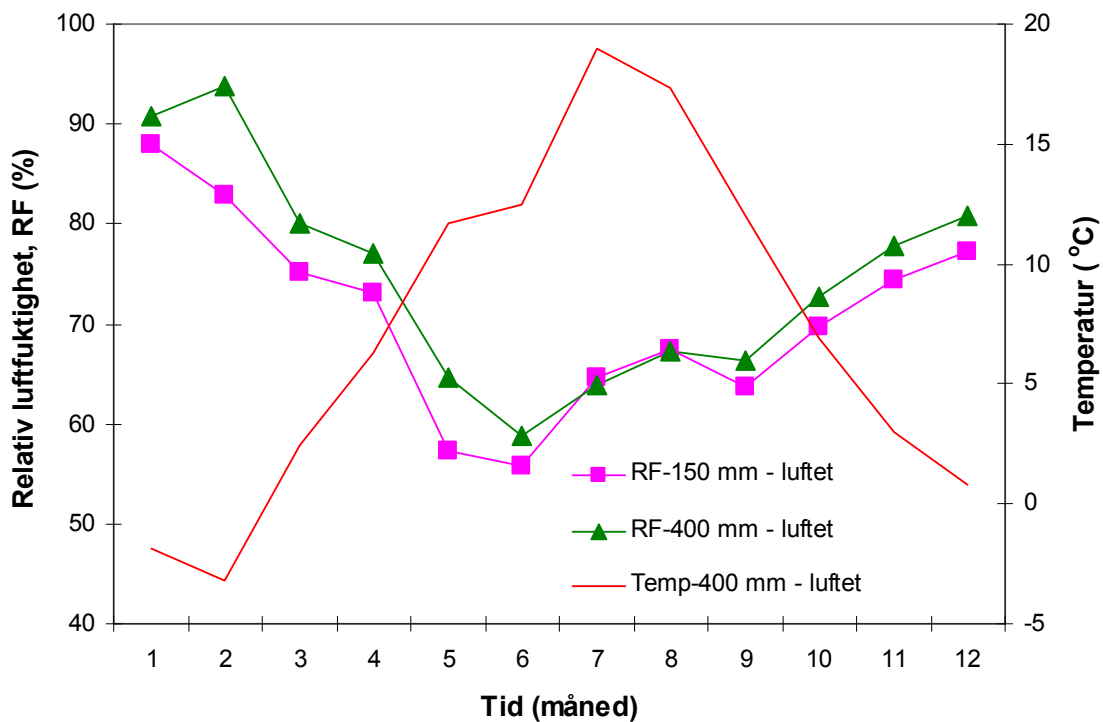
Figur V1.4  
RF på vindsperras indre overflate for konstruksjon A, for hhv. 150, 250 og 400 mm varmeisolasjon.  
Beregningsperiode 1. januar – 31. desember.  $S_d$ -dampsperre = 10 m.  $S_d$ -vindsperre = 0,23 m. **Uteklima er Bergen.** Fukttilskudd = 4 g/m<sup>3</sup>. Månedsmiddelverdier.



Figur V1.5  
RF på vindsperras indre overflate for konstruksjon A, for hhv. 150, 250 og 400 mm varmeisolasjon.  
Beregningsperiode 1. januar – 31. desember.  $S_d$ -dampsperre = 10 m.  $S_d$ -vindsperre = 0,23 m. **Uteklima er Karasjok.** Fukttilskudd = 4 g/m<sup>3</sup>. Månedsmiddelverdier.



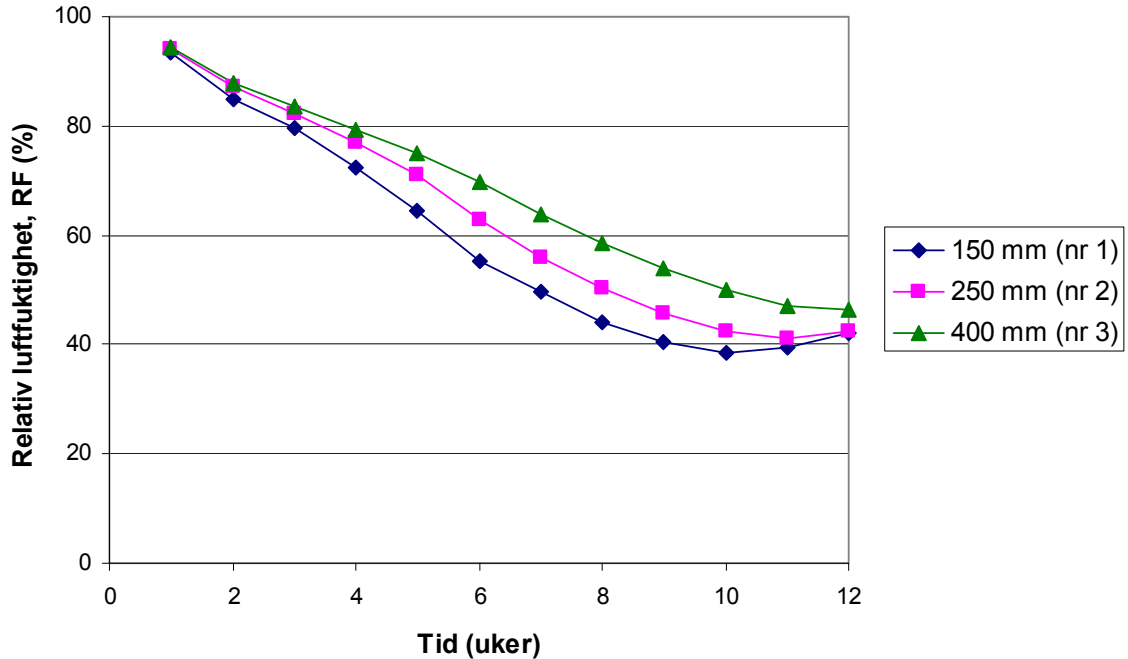
Figur V1.5  
RF på vindsperras indre overflate for konstruksjon A, for hhv. 150, 250 og 400 mm varmeisolasjon. Beregningsperiode 1. januar – 31. desember.  $S_d$ -dampsperre = 10 m.  $S_d$ -vindsperre = 0,23 m. Uteklime er Oslo. Fukttilskudd =  $6 \text{ g/m}^3$ . Månedsmiddelverdier.



Figur V1.6  
RF på vindsperras indre overflate for konstruksjon A, for hhv. 150 og 400 mm varmeisolasjon. **Effekt av ventilert luftspalte.** Luftspalten bak kledningen er modellert med et luftskifte på 20 1/h. Ellers er beregningsforutsetningene de samme som for standardtilfellene nr 1 og nr 3: Beregningsperiode 1. januar – 31. desember.  $S_d$ -dampsperre = 10 m.  $S_d$ -vindsperre = 0,23 m. Uteklime er Oslo. Fukttilskudd =  $4 \text{ g/m}^3$ . Månedsmiddelverdier.

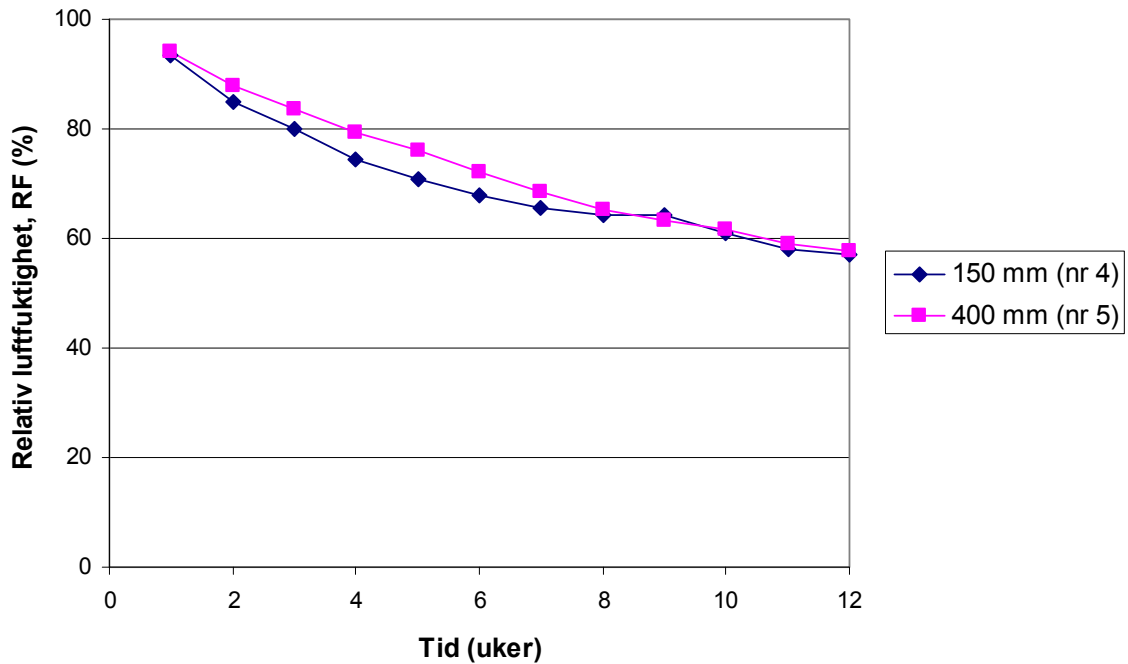


## Vedlegg 2 – Lengre uttørkingstid av byggfukt – 1 dimensjonal beregning (konstruksjon B) - Beregningsresultater



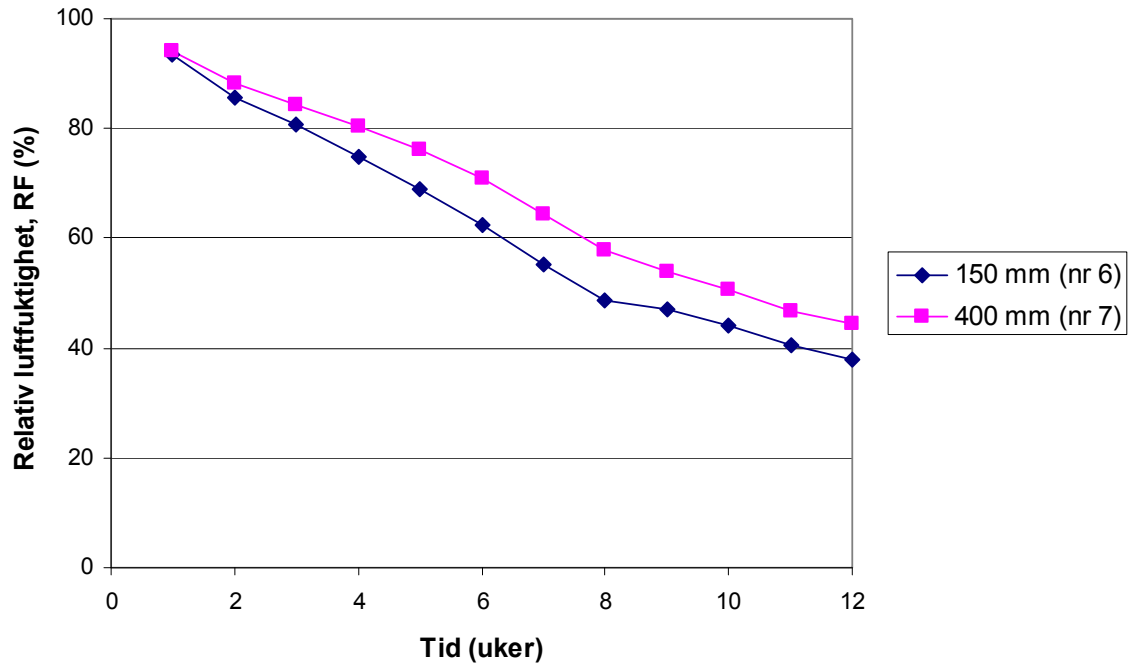
Figur V2.1

RF i treverket (30 mm fra dampsperra) for konstruksjon B, for hhv. 150, 250 og 400 mm varmeisolasjon.  
**Standardtilfelle:** Beregningsperiode 1. april - 30. juni (12 uker). Startfuktnivå for treverket er 30 vekt%.  
 Uteklima er Oslo.  $S_d$  vindsperre = 0,1 m.  $S_d$  dampsperre = 70 m.



Figur V2.2

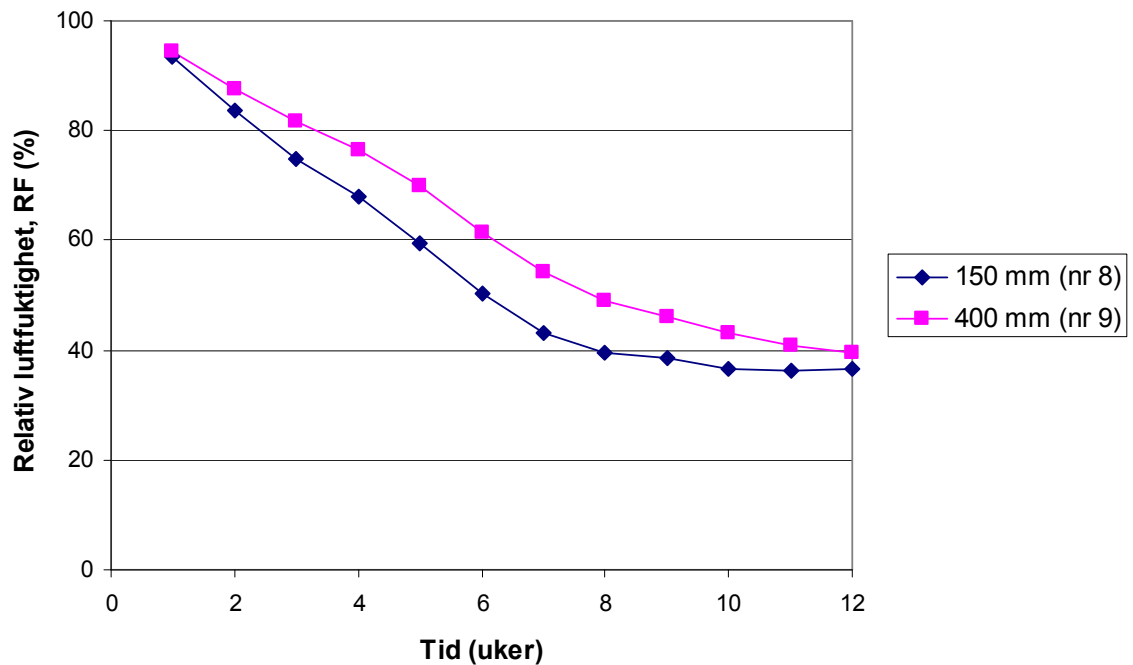
RF i treverket (30 mm fra dampsperra) for konstruksjon B, for hhv. 150 og 400 mm varmeisolasjon.  
 Beregningsperiode 1. april - 30. juni (12 uker). Startfuktnivå for treverket er 30 vekt%. Uteklima er Oslo.  
 **$S_d$  vindsperre = 0,5 m.**  $S_d$  dampsperre = 70 m.



Figur V2.3

RF i treverket (30 mm fra dampsperra) for konstruksjon B, for hhv. 150 og 400 mm varmeisolasjon.

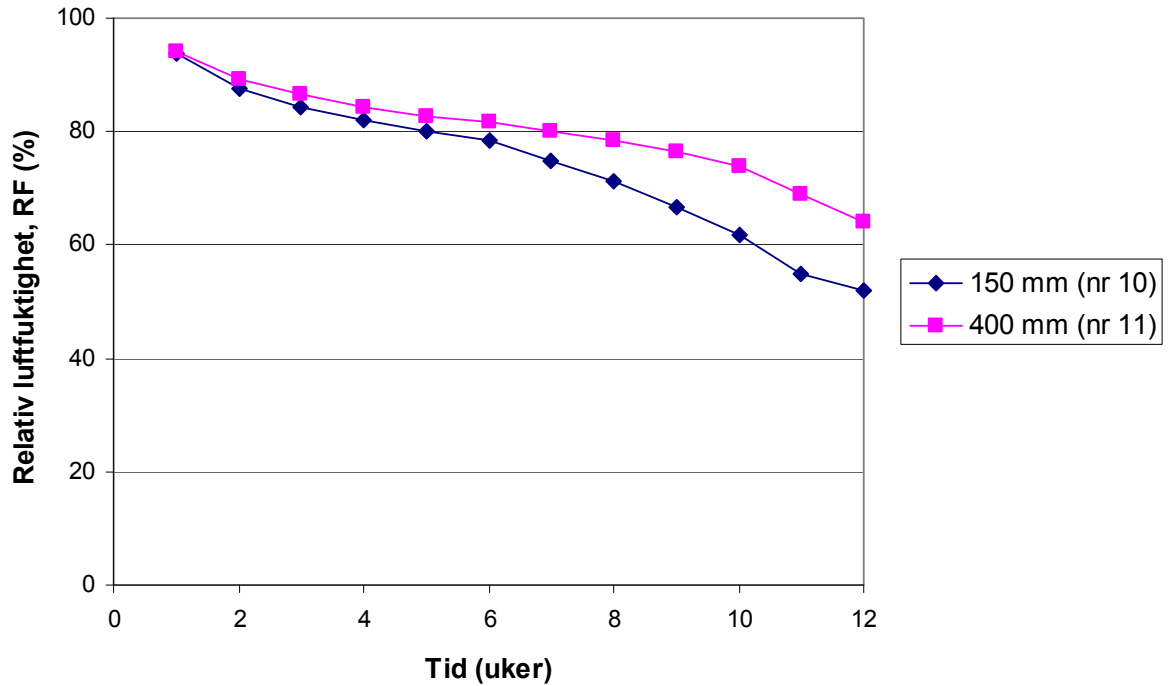
**Beregningsperiode 1. oktober – 31. desember (12 uker).** Startfuktnivå for treverket er 30 vekt%. Uteklime er Oslo.  $S_d$  vindsperre = 0,5 m.  $S_d$  dampsperre = 70 m.



Figur V2.4

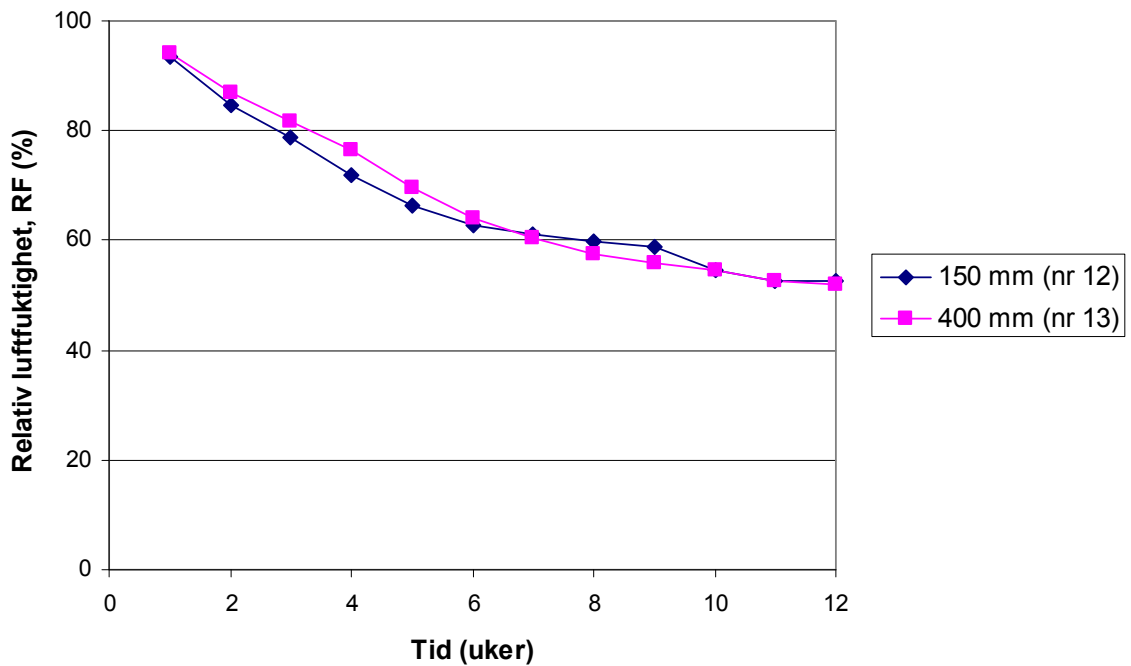
RF i treverket (30 mm fra dampsperra) for konstruksjon B, for hhv. 150 og 400 mm varmeisolasjon.

**Beregningsperiode 1. januar – 31. mars (12 uker).** Startfuktnivå for treverket er 30 vekt%. Uteklime er Oslo.  $S_d$  vindsperre = 0,5 m.  $S_d$  dampsperre = 70 m.



Figur V2.5

RF i treverket (30 mm fra dampsperra) for konstruksjon B, for hhv. 150 og 400 mm varmeisolasjon. Beregningsperiode 1. juli – 30. september (12 uker). Startfuktnivå for treverket er 30 vekt%. Uteklima er Oslo.  $S_d$  vindsperre = 0,5 m.  $S_d$  dampsperre = 70 m.



Figur V2.6

RF i treverket (30 mm fra dampsperra) for konstruksjon B, for hhv. 150 og 400 mm varmeisolasjon. Beregningsperiode 1. april – 30. juni (12 uker). Startfuktnivå for treverket er 30 vekt%. Uteklima er Oslo.  $S_d$  vindsperre = 0,5 m.  $S_d$  dampsperre = 2 m.

**SINTEF** er Skandinavias største forskningskonsern. Vår visjon er «Teknologi for et bedre samfunn». Vi skal bidra til økt verdiskapning, økt livskvalitet og en bærekraftig utvikling. SINTEF selger forskningsbasert kunnskap og tilhørende tjenester basert på dyp innsikt i teknologi, naturvitenskap, medisin og samfunnsvitenskap.

**SINTEF Byggforsk** er et internasjonalt ledende forskningsinstitutt og Norges viktigste formidler av forskningsbasert kunnskap til bygge- og anleggsnæringen. Vi skaper verdier for våre kunder og for samfunnet gjennom forskning og utvikling, spesialrådgivning, sertifisering og kunnskapsformidling. Våre publikasjoner omfatter Byggforskserien, Byggebransjens våtromsnorm, håndbøker, rapporter, faktabøker og beregnings- og planleggingsverktøy.

