

Elise Bergheim

# Risiko for muggvekst ved utvendig etterisolering av eldre bindingsverksvegger

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Stig Geving

Juni 2020

**NTNU**  
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Elise Bergheim

# **Risiko for muggvekst ved utvendig etterisolering av eldre bindingsverksvegger**

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk  
Veileder: Stig Geving  
Juni 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden



# SAMMENDRAG

---

I denne masteroppgaven kartlegges risiko for muggvekst ved utvendig etterisolering av yttervegger i lett bindingsverk fra 1950-1980. Dette kartlegges fordi det er en stor andel eldre småhus i Norge som har behov for fuktsikker oppgradering for å tåle fremtidige klimapåkjenninger. Denne masteroppgaven bidrar i den sammenheng med en vurdering av vekstvilkår for mugg ved ulike tykkelser tilleggsisolasjon og ulike typer damp- og vindsperrer. Det blir gitt praktiske anbefalinger for fuktsikker etterisolering, slik at eldre småhus kan optimaliseres for å tåle økende fuktpåkjenning i fremtiden.

Tre metoder for utvendig etterisolering vurderes i fuktbergningsprogrammet WUFI Pro og muggvekstmodellen WUFI Mould Index VTT. De tre vurderte metodene for utvendig etterisolering er etterisolering utenpå opprinnelig vindsperre, etterisolering utenpå en ny vindsperre og etterisolering rett utenpå opprinnelig ytterkledning. Beregningene har blitt gjennomført som en parameterstudie, slik at virkningen av ulike isolasjonstykkelser, dampsperrer og vindsperrer kan vurderes separat.

Generelt reduseres risikoen for fuktskader ved utvendig etterisolering. I den nye delen av veggen kan imidlertid temperatur og relativ fuktighet legge til rette for muggvekst grunnet redusert varmetap ved etterisolering. Denne effekten øker med tykkelsen på tilleggsisolasjonen. Av sperresjiktene i veggen synes den nye utvendige vindsperreren å være av størst betydning for muggvekstvilkårene i veggen. For at vekstvilkårene for mugg skal bli så ugunstige som mulig, bør denne være motstandsdyktig og så dampåpen som mulig. Viktigheten av en dampåpen vindsperre øker med avtakende dampmotstand på opprinnelig dampsperre. Dette gjelder både for den opprinnelige, nye innvendige og nye utvendige vindsperreren. Videre øker viktigheten av damptett dampsperre og dampåpne vindsperrer dersom tykkelsen på tilleggsisolasjonen er liten.

For å oppnå en fuktsikker konstruksjon med ugunstige vekstvilkår for mugg bør hvert rehabiliteringsprosjekt vurderes individuelt. Hver enkelt parameter bidrar ikke til økt risiko for muggvekst alene. Dårlige løsninger i kombinasjon kan imidlertid gi gunstige muggvekstvilkår. Dette kan øke risikoen for muggvekst, noe som er uheldig når dagens bygninger ventes å møte økende risiko for fuktskader i fremtiden.



# ABSTRACT

---

This master's thesis maps the risk of mold growth when re-insulating light timber frame walls from 1950-1980. This is of interest due to the large amount of older detached houses in Norway, in need of moisture-proof refurbishment to withstand future climate stress. In this context, this master's thesis contributes to an assessment of growth conditions at different thicknesses of additional insulation and different types of vapor barriers and air barriers. Practical recommendations are provided for moisture-proof re-insulation, in order for older detached wooden houses to be optimized to withstand increasing moisture stress in the future.

Three methods for exterior insulation have been considered in the moisture calculation program WUFI Pro and the mold growth model WUFI Mold Index VTT. The three methods deal with re-insulation on the outside of the original air barrier, re-insulation on the outside of a new air barrier and re-insulation on the outside of the original outside cladding. The calculations have been carried out as a parameter study, so that the effect of different insulation thicknesses, vapor barriers and air barriers can be assessed separately.

In general, the risk of moisture damage is reduced by exterior re-insulation. In the new part of the wall, however, temperature and relative humidity can facilitate mold growth due to reduced heat loss after re-insulation. This effect increases with the thickness of the additional insulation. The new external air barrier seems to be of the greatest importance for the mold growth conditions in the wall. For the mold growth conditions to be as unfavorable as possible, the air barrier should be resistant and as vapor open as possible. The importance of a vapor open air barrier increases with decreasing vapor resistance in the original vapor barrier. This applies to both the original, new interior and new exterior air barrier. Furthermore, if the thickness of the additional insulation is small, the importance of a vapor tight vapor barrier and vapor open air barrier increases.

To achieve a moisture-proof construction with unfavorable mold growth conditions, each refurbishment project should be considered individually. Each parameter does not contribute to increased risk of mold growth alone. However, poor solutions in combination can provide favorable mold growth conditions. This can increase the risk of mold growth, which is unfortunate when today's buildings are expected to face increasing risk of moisture damage in the future.





# FORORD

---

Denne masteroppgaven er utarbeidet våren 2020 og avslutter min utdanning ved sivilingeniørstudiet Bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Masteroppgaven handler om fuktproblematikk ved rehabilitering av yttervegger i lett bindingsverk.

Jeg synes rehabilitering og fuktproblematikk er interessante og viktige tema. Temaene er av høy relevans grunnet en økende bygningsmasse med behov for rehabilitering, samt økende klimapåkjenninger som stiller høyere krav til både eldre og nye bygninger. Derfor anser jeg nærmere kartlegging av fuktproblematikk ved rehabilitering som viktig, slik at eldre bygg kan få nytt liv i tiden fremover.

Jeg ønsker å takke min veileder ved Institutt for bygg- og miljøteknikk, professor Stig Geving. Jeg vil også takke seniorforsker Lars Gullbrekken ved SINTEF Community, samt andre involverte fra prosjektet OPPTRE, for tilrettelegging og veiledning av denne masteroppgaven.

Jeg vil takke til min samboer Erlend, som har bidratt til et fint avsluttende semester i Trondheim med hjemmekontor som følge av korona-pandemien. Nå gleder jeg meg til arbeidslivet i Oslo, der jeg skal jobbe videre med eksisterende bygninger.

Elise Bergheim

Trondheim, juni 2020

# INNHOLDSFORTEGNELSE

---

<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>III</b>
<b>FORORD</b> .....	<b>V</b>
<b>1 INTRODUKSJON</b> .....	<b>1</b>
1.1 BAKGRUNN .....	1
1.2 FORMÅL OG FORSKNINGSSPØRSMÅL .....	1
1.3 DE TRE METODENE FOR UTVENDIG ETTERISOLERING .....	2
1.4 OPPGAVENS STRUKTUR.....	3
<b>2 FUKT I BYGNINGER</b> .....	<b>5</b>
2.1 FUKTIGHET I LUFT .....	5
2.2 FUKTTRANSPORT .....	6
2.3 FUKTKILDER OG FUKTSKADER .....	7
2.4 SOPPVEKST .....	9
<b>3 ETTERISOLERING AV ELDRE BINDINGSVERKSVEGGER</b> .....	<b>13</b>
3.1 HVORFOR ETTERISOLERE? .....	13
3.2 KONSEKVENSER OG ANBEFALINGER FOR ETTERISOLERING.....	13
3.2.1 <i>Virkning av økt varmeisolasjon</i> .....	13
3.2.2 <i>Damptetthet for damp- og vindspærresjikt</i> .....	15
3.2.3 <i>Lufttetthet og ventilasjon</i> .....	15
3.3 ULIKE METODER FOR ETTERISOLERING .....	17
<b>4 METODE</b> .....	<b>21</b>
4.1 FUKTBREGNINGER.....	21
4.1.1 <i>Beregningsmodellen WUFI Pro</i> .....	21
4.1.2 <i>Gjennomføring av fuktberegninger</i> .....	22
4.2 MUGGVEKSTANALYSE.....	29
4.2.1 <i>Beregningsmodellen WUFI Mould Index VTT</i> .....	29
4.2.2 <i>Gjennomføring av muggvekstanalyse</i> .....	31
4.3 METODE FOR ANALYSE AV RESULTATER.....	33
<b>5 RESULTATER OG VURDERINGER</b> .....	<b>35</b>
5.1 DEN OPPRINNELIGE VEGGEN .....	35
5.2 CASE 1: ETTERISOLERING UTENPÅ OPPRINNELIG VINDSPERRE .....	36

5.2.1	<i>Virkning av klima</i> .....	36
5.2.2	<i>Virkning av tilleggsisolasjonens tykkelse</i> .....	39
5.2.3	<i>Virkning av type damp- og vindsperre</i> .....	40
5.3	CASE 2: ETTERISOLERING UTENPÅ NY VINDSPERRE .....	43
5.3.1	<i>Virkning av byggfukt</i> .....	43
5.3.2	<i>Virkning av tilleggsisolasjonens tykkelse</i> .....	44
5.3.3	<i>Virkning av type damp- og vindsperre</i> .....	45
5.4	CASE 3: ETTERISOLERING UTENPÅ OPPRINNELIG YTTERKLEDNING .....	48
5.4.1	<i>Virkning av kledning og luftespalte i veggsjikt</i> .....	48
5.4.2	<i>Virkning av tilleggsisolasjonens tykkelse</i> .....	49
5.4.3	<i>Virkning av type damp- og vindsperre</i> .....	51
5.5	GENERELLE FUKTFORHOLD .....	54
<b>6</b>	<b>DISKUSJON</b> .....	<b>57</b>
6.1	BETYDNING AV TILLEGGSISOLASJONENS TYKKELSE.....	57
6.2	BETYDNING AV DAMP- OG VINDSPERRESJIKT .....	58
6.2.1	<i>Dampsperrers betydning</i> .....	58
6.2.2	<i>Den innvendige vindsperres betydning</i> .....	59
6.2.3	<i>Den utvendige vindsperrens betydning</i> .....	60
6.3	PRAKTISKE ANBEFALINGER FOR FUKTSIKKER ETTERISOLERING .....	61
6.4	RESULTATENES PÅLITELIGHET .....	62
<b>7</b>	<b>KONKLUSJON</b> .....	<b>65</b>
<b>8</b>	<b>FORSLAG TIL VIDERE ARBEID</b> .....	<b>67</b>
<b>9</b>	<b>REFERANSER</b> .....	<b>69</b>
<b>10</b>	<b>VEDLEGG</b> .....	<b>73</b>



# 1 INTRODUKSJON

---

## 1.1 Bakgrunn

Med økende klimapåkjenninger og økt risiko for fuktskader gjør behovet for rehabilitering og fuktsikre konstruksjoner seg gjeldende (Almås, *et al.*, 2011). Årsmiddeltemperaturen i Norge er ventet å øke det neste århundre, i tillegg til at mengden nedbør er ventet å øke og bli mer ekstrem (Hanssen-Bauer, *et al.*, 2015). Med dette stilles det strengere krav til dagens og fremtidens bygninger, der fuktsikkerhet og bestandighet stadig blir viktigere (Meld. St. 33 (2012-2013)). Videre sies det at hovedandelen bygg som vil stå i 2050 allerede er bygget (Rikstad & Brandal, 2019). Flere av disse byggene ble bygget på siste halvdel av 1900-tallet, der gjenreisningsperioden etter krigen representerer byggeår for en stor andel småhus i Norge (Sejersted, 2019). Disse husene har i stor grad behov for rehabilitering for å møte økende krav og forventninger fra både myndigheter og beboere, men også for å tåle fremtidige klimapåkjenninger.

Ved å optimalisere bygningskroppen ved rehabilitering, kan småhus fra siste halvdel av 1900-tallet bli så gode som nye (Lien, *et al.*, 2017). Etterisolering er typisk tiltak ved rehabilitering, og bidrar blant annet til energieffektivisering og redusert varmetap (Bøhlerengen, 2009). Ytterkonstruksjonen kan videre bli mer fuktsikker ved etterisolering, slik at de eldre husene kan tilfredsstille økende krav og klimapåkjenninger i fremtiden. Det er imidlertid viktig at etterisoleringen gjennomføres på en slik måte at risikoen for fuktskader minimeres. I den forbindelse kan denne oppgaven bidra med ny innsikt, vurderinger og anbefalinger for en fuktsikker rehabilitering.

## 1.2 Formål og forskningsspørsmål

Denne masteroppgaven springer ut av SINTEF sitt prosjekt OPPTRE (OPPTRE, 2018). OPPTRE er et prosjekt med mål om å foreslå et nivå for renovering av boliger til nesten nullenergibygg. I den forbindelse skal det utarbeides energieffektive og fuktsikre løsninger for rehabilitering av småhus i tre bygget fra perioden 1950 til 1980.

I denne masteroppgaven skal det kartlegges hvordan utvendig etterisolering påvirker risikoen for muggvekst i en eldre ytterveggvegg av lett bindingsverk. Den eldre ytterveggen som skal kartlegges representerer yttervegger bygget i perioden 1950-1980. Følgende forskningsspørsmål skal besvares:

1. Hvordan påvirker tilleggisolasjonens tykkelse muggvekstvilkårene ved utvendig etterisolering?
2. Hvordan påvirker dampsperran og vindsperran muggvekstvilkårene ved utvendig etterisolering?
3. Hvilke praktiske anbefalinger gir fuktsikker etterisolering?

Formålet er at en fuktteknisk vurdering av tre ulike metoder for etterisolering kan bidra til å optimalisere bygningskroppen og dermed bidra til å øke fuktsikkerheten i eldre småhus ved rehabilitering. De tre metodene for utvendig etterisolering omhandler henholdsvis etterisolering utenpå opprinnelig vindspærre, etterisolering utenpå en ny vindspærre og etterisolering rett utenpå opprinnelig ytterkledning.

Risiko for muggvekst skal vurderes ved hjelp av en parameterstudie i fuktbergningsprogrammet WUFI Pro og WUFI Mould Index VTT. Følgende parameter skal inkluderes i studien: Uteklima, inneklima, opprinnelig dampspærre, opprinnelig vindspærre,

tykkelse tilleggsisolasjon, ny utvendig vindspærre og byggfukt. Det er damp- og vindspærrens dampmotstand som står i fokus ved vurdering av type damp- og vindspærre.

### 1.3 De tre metodene for utvendig etterisolering

De tre metodene for utvendig etterisolering som skal vurderes, omtales heretter som case.

#### Case 1

Denne metoden for utvendig etterisolering innebærer etterisolering utenpå opprinnelig vindspærre. Opprinnelig kledning demonteres før det monteres tilleggsisolasjon utenpå den opprinnelige vindspærren. Ny vindspærre og utvendig kledning monteres deretter.

Dersom opprinnelig isolasjon og vindspærre er intakt, kan vindspærren fint beholdes (Bøhlerengen, 2009). Dette kan være tilfelle i flere rehabiliteringsprosjekter. Denne metoden ble dermed valgt for å kartlegge vekstvilkår for muggvekst ved en typisk metode for etterisolering. For denne metoden blir det tatt utgangspunkt i at den opprinnelige vegg er intakt.

#### Case 2

Denne metoden for utvendig etterisolering innebærer etterisolering utenpå ny vindspærre. Opprinnelig kledning og vindspærre demonteres. Ny vindspærre etableres ved den opprinnelige vindspærrens plassering, før tilleggsisolasjon, ny vindspærre og utvendig kledning monteres.

Når den opprinnelige vindspærren tas ned for å montere tilleggsisolasjon, vil opprinnelig konstruksjon være utsatt for vær og vind i byggeperioden. Dermed øker risikoen for oppfukning av opprinnelig vegg. Byggfukt som følge av dette kan dermed bli aktuelt for denne metoden, og inkluderes derfor i parameterstudien.

Denne metoden for etterisolering gir mulighet til å skifte ut opprinnelig isolasjon og eventuelt dampspærre fra utsiden dersom det er nødvendig. Dette blir ikke vurdert i denne oppgaven, da beregningsmodellene ikke tar hensyn til materialenes alder. Videre er det aktuelt å gjennomføre en vurdering av tilfellet der det ikke monteres ny vindspærre ved den opprinnelige vindspærrens plassering. Tilleggsisolasjonen monteres da rett utenpå den opprinnelige isolasjonen.

Case 1 og case 2 er nokså like i oppbygningen av veggsjikt. Kun byggfukt og type vindspærre inne i vegg skiller disse metodene. Det er likevel valgt å ta med case 2 som en egen metode, da det trolig vil bli benyttet et mer moderne vindspærreprodukt ved opprinnelig vindspærres plassering dersom vindspærren først skal byttes ut. Virkningen av byggfukt er også interessant å kartlegge.

#### Case 3

Denne metoden for utvendig etterisolering innebærer etterisolering utenpå den opprinnelige ytterkledningen. Tilleggsisolasjon monteres rett utenpå den opprinnelige kledningen. Ny vindspærre og utvendig kledning monteres deretter.

Denne metoden for etterisolering er valgt fordi det er av interesse å kartlegge en metode som krever minimal demontering og dermed er tidsbesparende. Metoden forutsetter at veggens tilstand er god og at den utvendige delen av vegg ikke er fuktet eller skadet.

For at denne metoden skal fungere i praksis, må opprinnelig luftespalte tildekkes både oppe og nede i veggsjiktet. Dette for å skape et lufttett sjikt som hindrer anblåsning.

## 1.4 Oppgavens struktur

I kapittel 2 og kapittel 3 blir det teoretiske rammeverket presentert. Kapittel 2 omhandler fukt og hvordan fukt kan opptre i bygninger. Dette inkluderer blant annet fukttransport, fuktkilder og fuktskader. Kapittel 3 tar i hovedsak for seg de bygningsfysiske konsekvensene av etterisolering, samt praktiske anbefalinger for etterisolering.

I kapittel 4 blir beregningsmodellene presentert, samt hvordan de har blitt benyttet. Antakelser og forutsetninger for de gjennomførte beregningene presenteres også.

I kapittel 5 blir resultatene fra fuktberegningene og muggvekstanalysene presentert. Resultatene blir vurdert ved at virkningen av hver parameter kommer frem. Resultatene for hver case blir presentert og vurdert separat.

I kapittel 6 blir aktuelle årsaker til resultatene, samt resultatenes betydning, diskutert. Betydningen av resultatene fra hver case blir diskutert opp mot hverandre. Resultatene blir diskutert opp mot forskningsspørsmålene.

I kapittel 7 trekkes avsluttende konklusjoner og forskningsspørsmålene besvares. I forlengelsen av dette blir det i kapittel 8 presentert forslag til videreføring av arbeidet. Dette med bakgrunn i å undersøke sentrale parameter som ikke har blitt vurdert i dette arbeidet, men som likevel er av betydning ved etterisolering.





## 2 FUKT I BYGNINGER

### 2.1 Fuktighet i luft

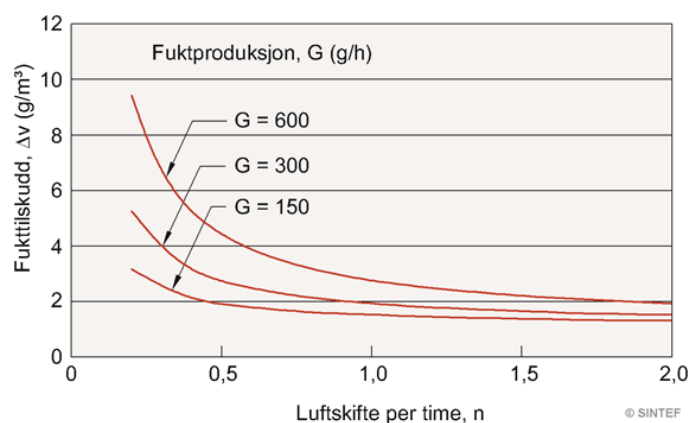
Luften mennesker omgås vil til enhver tid inneholde fuktighet (Geving & Thue, 2002). Ved normale forhold inneholder luften vanndamp, men luften kan også inneholde fuktighet i væskeform og fast form, henholdsvis tåke og rim. Hvilken aggregattilstand fuktigheten opptrer i, samt mengden fuktighet luften inneholder, varierer med lufttrykk og temperatur.

Ved enhver temperatur er det en øvre grense for hvor mye vanndamp luften kan inneholde (Geving & Thue, 2002). Denne øvre grensen kalles metningsinnholdet og angir den vanndampmengden der luften er mettet med fuktighet. Ved økende temperatur kan luften holde på mer fuktighet, og relativ fuktighet vil da avta. Synker temperaturen kan luften tilsvarende holde på mindre fuktighet, og relativ fuktighet vil øke. Synker temperaturen til det punktet der vanndampinnholdet i luften er lik metningsinnholdet, er duggpunktstemperaturen nådd (Byggforskserien, 2018). Ved denne temperaturen er relativ fuktighet (RF) 100 %. Dersom temperaturen synker ytterligere, vil overskuddet av fuktighet felles ut. Dette overskuddet kan felles ut som kondens på overflater eller som dråper i lufta. Dersom det kondenserer på flater med temperatur lavere enn 0 °C, blir kondensen rim eller is.

#### Fukttilskudd i inneluft

Fukttilskudd er et mål på fuktbelastningen inne i en bygning (Byggforskserien, 2018). Fukttilskuddet angir forskjellen i absolutt fuktinnhold mellom inneluft og uteluft og beskriver dermed den vanndampmengden i inneluften som skyldes fuktproduksjon inne. Bygningens luftskifte og volum er hensyntatt.

Flere faktorer påvirker fukttilskuddet (Byggforskserien, 2018). For det første er fukttilskuddet avhengig av utetemperatur. Derfor vil fukttilskuddet variere over året, med størst påkjønning om vinteren. Når utetemperaturen øker, synker typisk fukttilskuddet innendørs. Videre er fukttilskuddet avhengig av blant annet bygningens ventilasjon og antall personer i bygningen. Se Figur 1. Lavt luftskifte og høy fuktproduksjon gir spesielt stort fukttilskudd. Derfor er det viktig med tilstrekkelig ventilasjon for å sikre mot uønsket høyt fuktinnhold inne. Videre mener Geving og Holme (2011) at antall personer i bygningen har større betydning for fukttilskudd enn type ventilasjon. Fukttilskuddet i en bolig vil derfor variere med husstandenes størrelse og rutiner.



Figur 1 Fukttilskudd som funksjon av luftskifte og fuktproduksjon. Fuktproduksjon kan ha stor betydning for fukttilskuddet ved lavt luftskifte (Byggforskserien, 2018).

I boliger kan fukttilskuddet variere fra 1-7 g/m<sup>3</sup> (Byggforskserien, 2018). Ifølge en undersøkelse gjennomført av Tolstoy (1993), sitert i Geving & Holme (2011), der svenske boliger ble undersøkt, er gjennomsnittlig fukttilskudd for eneboliger om vinteren 3,6 ± 0,1 g/m<sup>3</sup>. Dersom fukttilskuddet overstiger 5 g/m<sup>3</sup> er faren for kondens og fuktskader stor.

## 2.2 Fukttransport

Fukt kan transporteres i både dampform og væskeform (Geving & Thue, 2002). Begge transportformene kan foregå samtidig. Generelt transporteres fukt med følgende mekanismer (Byggforskserien, 2018):

- *Diffusjon*. Dette er transport av vanndamp som følge av forskjeller i damptrykk.
- *Konveksjon*. Dette er transport av vanndamp som følge av forskjeller i lufttrykk.
- *Kapillærsuging*. Dette er transport av fritt vann på grunn av kapillærkrefter i materialenes porer. Vann suges opp i porøse, ikke-hydrofobe materialet via porene.
- *Væskestrømning*. Dette er fritt vann som transporteres med eksempelvis vannlekkasjer eller fra steder med vannovertrykk. Gravitasjon og vindtrykk kan også drive transport av vann i væskeform (Byggforskserien, 1998).

### Vanndampdiffusjon i luft

Vanndampdiffusjon skyldes vanndampmolekylens egenbevegelse etter prinsippene bak diffusjon (Geving & Thue, 2002). På grunn av forskjeller i vanndamptrykk transporteres vanndampmolekyler fra høyt til lavt damptrykk. Dette beskrives i Ficks første lov, som sier at diffusjonsstrømmen er proporsjonal med konsentrasjonsgradienten (Ficks diffusjonslover, 2009). Denne beskriver altså at det er damptrykket som driver diffusjonen. Ficks lov gjelder under isoterme forhold, men ved beregninger i bygningssammenheng gir formelen neglisjerbart avvik fra virkeligheten. Ficks lov kan uttrykkes på følgende måte:

$$g = -D_p \cdot \Delta p_v$$

Der

$g$  er mengden diffundert vanndamp per tids- og flateenhet (kg/(m<sup>2</sup>s)).

$D_p$  er vanndampens diffusjonstall basert på damptrykk (kg/(m·s·Pa)). Minustegnet angir at strømmen går fra høy til lav konsentrasjon.

$\Delta p_v$  er gradienten i vanndampens partialtrykk (Pa/m).

Vanndampens diffusjonstall  $D_p$  avhenger av temperatur og totaltrykk. Ved +20 °C og normalt lufttrykk på 10135 Pa har  $D_p$  en verdi på omtrent 20·10<sup>-11</sup> kg/(m·s·Pa) (Geving & Thue, 2002). Ved konstant temperatur vil derfor dampstrømmen kun være avhengig av vanndampens diffusjonstall og endring i vanndamptrykk.

Bygninger har vanligvis et fukttilskudd i inneluften. Dermed går gradienten i vanndampens partialtrykk utover, og vanndampdiffusjonen i ytterkonstruksjonen er rettet deretter (Byggforskserien, 1998). Av den grunn er det viktig å beskytte ytterkonstruksjonen med et damptett sperresjikt på varm side som hindrer vanndampdiffusjon utover.

### Fuktkonveksjon

Vanndamptransport med konveksjon skyldes at forskjeller i lufttrykk driver vanndamp fra høyt til lavt lufttrykk med en luftstrøm (Geving & Thue, 2002). Forskjell i lufttrykk kan i noen sammenhenger føre til at store mengder luft forflyttes, og dermed kan fuktkonveksjon potensielt transportere store mengder vanndamp. Mengden vanndamp

som transporteres er avhengig av luftmengden i strømmen og luftens vanndampinnhold. Luftmengden kan beregnes med Darcys lov:

$$L = -A \cdot \frac{B_0}{\eta} \cdot \frac{dp_t}{dx}$$

Der

L er luftmengden (m<sup>3</sup>/s)

A er arealet normalt på strømmereetningen (m<sup>2</sup>). Minustegnet angir at luftstrømmen går fra høyt til lavt trykk

B<sub>0</sub> er spesifikk permeabilitet (m<sup>2</sup>)

η er luftens dynamiske viskositet (Pa·s)

$\frac{dp_t}{dx}$  er totaltrykkgradient (Pa/m)

Den totale mengden damp som transporteres beregnes så med følgende formel:

$$G = L \cdot v$$

Der

G er fuktmengden (kg/s)

v er luftens vanndampinnhold (kg/m<sup>3</sup>)

Det skilles mellom naturlig og tvungen konveksjon (Geving & Thue, 2002). Naturlig konveksjon oppstår typisk på grunn av temperaturforskjeller, mens tvungen konveksjon er et resultat av ulikt totaltrykk over en bygningsdel. Det er den tvungne konveksjonen ved innvendig overtrykk som er mest kritisk for en bygnings ytterkonstruksjon, da den potensielt kan lede betydelig større luftstrømmer, og dermed fuktmengder, enn naturlig konveksjon (Byggforskserien, 2018). Det er derfor viktig med et lufttett sperresjikt som hindrer tvungen konveksjon.

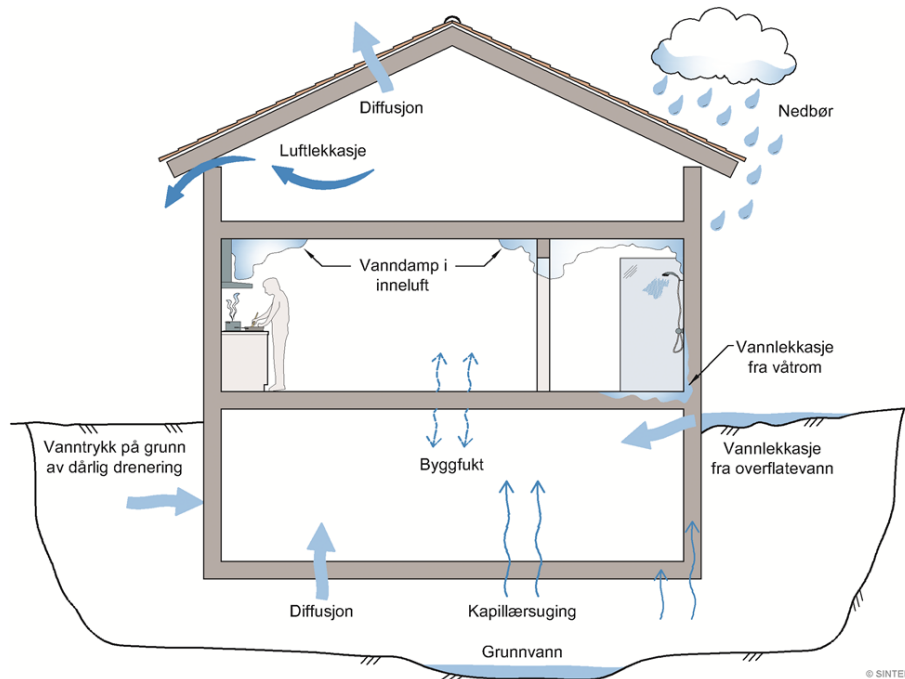
Vanndamptransport med konveksjon gjennom utettheter i ytterkonstruksjonen fra varm til kald side kan utgjøre en stor risiko for fuktskader (Byggforskserien, 2018). Ved innvendig overtrykk kan selv små utettheter i dampsperrsjiktet gi alvorlige luftlekkasjer. De tre mest typiske driverne for fuktkonveksjonen er vind som skaper trykkvariasjoner, skorsteinseffekten eller feilinnstilt mekanisk ventilasjon som skaper overtrykk (Geving & Thue, 2002). For å redusere faren for tvungen konveksjon fra varm til kald side bør det være et svakt undertrykk inne. Dette kan skape konveksjon fra kald til varm side, noe som kan tørke ut konstruksjonen og redusere faren for fuktskader.

## 2.3 Fuktkilder og fuktskader

En fuktskade er en skade eller et problem som direkte eller indirekte er forårsaket av høyt fuktinnhold (Byggforskserien, 1998). Fukt gir opphav til alt fra mindre problemer til de mest kompliserte problemene vi har innen bygningsteknikken (Thue, 2016). Videre er fukt trolig den enkeltfaktoren som bidrar mest til dårlig innemiljø og helseplager (DIBK, 2017). Det er anslått at omtrent 75% av alle byggskader i Norge skyldes fukt (Byggforskserien, 2010).

## Fuktkilder

Ofte kan det være vanskelig å fastslå med sikkerhet hva som er en fuktskades primærkilde (Thue, 2016). De vanligste fuktskadene har imidlertid sammenheng med redusert materialbestandighet som følge av fuktpåkjenning. Dette er fukt fra ulike kilder, hovedsakelig fra fuktig luft, nedbør, lekkasjer, fuktig grunn og byggfukt. Flere av disse fuktkildene kan opptre samtidig. Se Figur 2.



Figur 2 Sentrale fuktkilder og -transportformer i bygninger. Fukt kommer både utenfra og innenfra og flere fuktkilder kan opptre samtidig (Edvardsen & Ramstad, 2014).

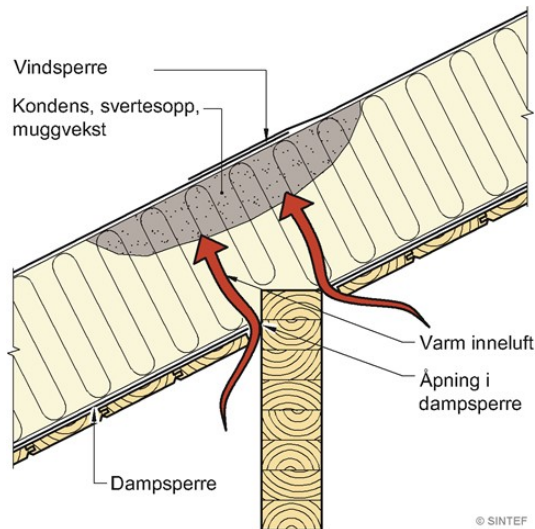
Fuktskader oppstår typisk hvis materialer og konstruksjoner utsettes for fukt over lengre tid. Ytelsesnedsettelse eller nedbrytning skyldes i hovedsak tre ulike nedbrytningsprosesser, som alle settes i gang med økt fuktpåkjenning og gunstig temperatur (Geving & Thue, 2002). Disse nedbrytningsprosessene er:

- Biologiske prosesser. Setter i gang mekanismer som muggvekst og råte.
- Kjemiske prosesser. Setter i gang mekanismer som korrosjon, emisjon av gasser og kjemisk nedbrytning.
- Fysiske/mekaniske endringer. Setter i gang mekanismer som svinn, svelling, frostsprengning og fuktinduserte spenninger.

Nedbrytningsprosessene setter i gang mekanismer som skader konstruksjonen i ulik grad. Eksempelvis vil muggsopp, svinn, svelling og fuktinduserte spenninger skade utseende på konstruksjonen, mens råte, frostsprengning og korrosjon kan medføre konstruksjonssammenbrudd. Videre kan muggvekst og emisjon av gasser virke negativt inn på innemiljø.

## Typiske fuktskader

Fuktskader i ytterkonstruksjonen oppstår typisk ved at vanndamp i inneluften trenger ut i konstruksjonen ved luftlekkasjer eller diffusjon (Edvardsen & Ramstad, 2014). Dette kan føre til kondens, ettersom luften blir avkjølt og den relative fuktigheten i luften øker på vei utover i konstruksjonen. Se Figur 3. Generelt er det innsiden av vindsperran som er mest utsatt for kondens og fuktskader (Geving & Holme, 2010).



Figur 3 Kondens på innsiden av vindsperran som følge av utettheter i dampsperreresjiktet. Her illustrert ved overgang drager og himling. Varm og fuktig luft strømmer ut i konstruksjonen, og dersom lekkasjelufta avkjøles til under luftens duggpunktstemperatur felles det ut kondens (Byggforskserien, 2018).

Kondens inne i konstruksjonen er spesielt kritisk dersom bygningsdelen er dårlig oppvarmet og har dårlig uttøringsmulighet (Edwardsen & Ramstad, 2014). Dersom dampsperran er utett, eller har utette skjøter, er denne formen for fuktskader svært aktuell. Dette fordi luftlekkasjer innenfra ved konveksjon gir større fukttransport enn ved vandampdiffusjon. Derfor er det svært viktig å hindre at vandamp trenger ut i konstruksjonen ved å ha et luft- og damp tett dampsperreresjikt på varm side av konstruksjonen.

Videre kan kondens på innvendige overflater være et symptom på mangler ved bygningen som kan øke risikoen for fuktskader (Byggforskserien, 2007-a). Overflatekondens innvendig skyldes typisk lav overflatetemperatur og høy luftfuktighet. Dårlig ventilasjon er typisk årsak til den høye luftfuktigheten, mens den lave overflatetemperaturen kan skyldes blant annet kuldebroer eller luftlekkasjer. Dårlig ventilasjon og luftlekkasjer i kombinasjon er med på å øke risikoen for fuktskader. Dette fordi fuktinnholdet i inneluften øker ved dårlig ventilasjon, og ved samtidige luftlekkasjer og utettheter i konstruksjonen øker faren for at den fuktige luften trenger ukontrollert inn i konstruksjonen. Videre kan kondens på innvendige overflater bidra til dårlig innemiljø som følge av fukt.

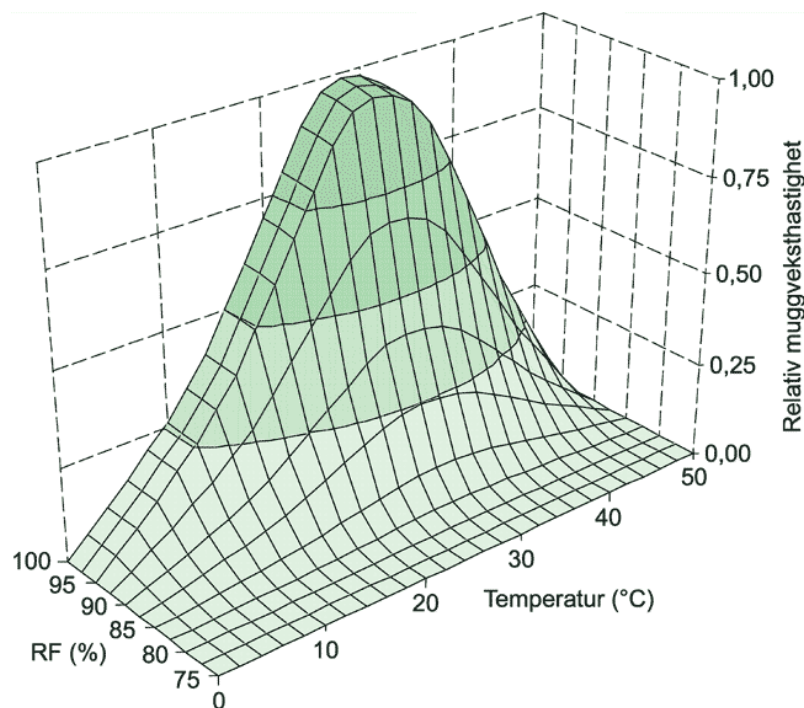
Fuktskader kan unngås dersom fuktpåkjenningen begrenses (Byggforskserien, 1998). Viktige elementer er da å begrense utvendig fuktpåkjenning, slik som fra regn, slagregn og fukt i grunnen. Innvendig fuktpåkjenning bør også begrenses. Videre bør konstruksjonen ha god uttørkingsevne og det bør benyttes bestandige materialer som tåler aktuell fuktpåkjenning.

## 2.4 Soppvekst

### Muggsopp

Muggsopp er en fellesbetegnelse på en stor gruppe hurtigvoksende sopptyper med små fruktlegermer (Geving & Thue, 2002). Muggsopp finnes over alt i naturen, og både inne- og uteluft inneholder en naturlig mengde sopp sporer. Dersom disse sopp sporene havner på en overflate med gunstige vekstbetingelser, vil de spire og muggvekst er i gang.

Muggsopp er avhengig av næring i form av organisk materiale, gunstig temperatur, tid og fuktighet for å vokse (Geving & Thue, 2002; Magnussen & Mattisson, 2005). I prinsippet kan alle overflater angripes av muggsoppvekst umiddelbart etter høy fuktpåkjønning, så lenge disse faktorene er til stede. Veksthastigheten og tiden det tar før muggvekst oppstår vil imidlertid variere med tilgang på fukt, næring og temperatur, se Figur 4 (Viitanen, 1997). De vanligste muggsoppene krever en relativ fuktighet på 80-85% for å vokse. For treverk tilsvarer dette et vanninnhold på omtrent 20 vektprosent ved 20 °C. Imidlertid vil et større antall arter få gunstige vekstvilkår jo nærmere man kommer en relativ fuktighet på 100%. For ordinære bygningsmaterialer blir risikoen for muggvekst spesielt ugunstig ved relativ fuktighet opp mot 90% (Geving & Holme, 2010). Ved slik høy relativ fuktighet er det også vanlig å finne en blanding av andre organismer, som blant annet sopper, bakterier, midd og insekter. Videre er muggsopp avhengig av gunstig temperatur for å vokse og overleve. Flere sopper vokser ved temperaturer mellom 5-40 °C. Optimal temperatur for de fleste artene er imidlertid rundt 25-30 °C. Flere arter kan vokse ved lavere temperaturer enn dette, men ved temperatur rundt nullpunktet stopper aktiviteten.



Figur 4 Relativ muggveksthastighet for de mest vanlige muggsoppene som funksjon av temperatur og relativ fuktighet. Høyest relativ veksthastighet ved temperatur 20-35 °C og relativ fuktighet på 85-100% (Byggforskserien, 2005).

Muggsoppssporene kan overleve både kaldt og tørt miljø (Byggforskserien, 2005). Dersom fukten tørker ut vil soppsporene gå i dvale, og ved ny tilgang på fuktighet kan sporene igjen begynne å vokse. Videre vil soppen gå i dvale ved temperatur rundt 0 °C, og soppen kan overleve nedfrysning. Med økende temperatur tar soppveksten seg opp, men kommer temperaturen opp mot 40-50 °C vil de fleste arter dø.

Muggvekst i bygninger er et biologisk fenomen. Hvilke av vekstbetingelsene som er mest avgjørende i hvert tilfelle kan derfor være vanskelig å fastslå med sikkerhet da dette varierer med mange faktorer (Gradeci, *et al.*, 2017). Resultater fra Geving og Holme (2010) kan imidlertid tyde på at relativ fuktighet kan ha større betydning enn temperatur i noen tilfeller der isolasjonstykkelsen er stor. Videre varierer kritisk relativ fuktighet for

muggvekst med type materialer og type sopp som er til stede (Nielsen, *et al.*, 2004). Dette fordi ulike materialer kan tilføre ulik mengde næring til soppen.

Konsekvensene av muggsopp varierer ut ifra hvilken sopp som er til stede (Byggforskserien, 2005). De fleste soppene er imidlertid fargeskadesopper som misfarger materialer og lever på overflater, uten å forårsake råte (Byggforskserien, 2007-b). Soppen fører dermed til endringer på utseende, i tillegg til at den kan føre til luktproblemer, avgi giftstoffer og allergener. Dette gir typisk dårlig inneklime som kan fremme overfølsomhet, astma og allergi hos enkelte personer. Helseplager knyttet til dette kan være nokså diffuse, som irritasjon i luftveier og slimhinner, hoste og kløe. Trøtthet og nedsatt produktivitet kan også være en konsekvens av dårlig inneklime.

### **Råtesopp**

Råtesopp er sopp som kan forårsake råteskader i bygninger (Byggforskserien, 2007-b). Dette er alvorlige skader som svekker bærekonstruksjoner av tre. Råtesoppen bryter ned dødt organisk materiale for å skaffe seg energi og næringsstoffer. Likevel opptrer den også i friskt trevirke som er i kontakt med det råtnet. Råtesoppen utvikler seg ikke like raskt som muggsoppen.

I likhet med muggsopp trenger råtesopp tilgang på næringsstoffer, fuktighet, temperatur og tid for å vokse (Byggforskserien, 2007-b). Nedbrytningen av trevirket kan kun foregå hvis det er vann til stede, og et fuktinnhold på 20 vektprosent gir gunstige forhold for vekst. Optimalt fuktinnholdet er imidlertid nærmere 30-50 vektprosent. Videre er optimal temperatur for de fleste råtesopper 25-30 °C, men soppene kan være aktive ved temperatur mellom 5-30 °C (Mycoteam AS; Riksantikvaren, 2019). Veksthastigheten øker med økende fuktighet og temperatur. Tilsvarende synker veksthastigheten når tilgangen på dette reduseres. Vekst kan dessuten hemmes dersom salter er til stede, da disse kan gjøre vann utilgjengelig for soppene. Råtesoppen og sporene overlever lave temperaturer, men dør ved 40-50 °C.

Det skilles mellom tre hovedtyper råtesopp: brunråtesopp, hvitråtesopp og gråråtesopp (Byggforskserien, 2007-b). Brunråtesopp er den mest utbredte i Norge, og karakteriseres ved at trevirket blir brunt og sprekker opp på tvers av fiberretningen. Dette oppstår som regel i bartrær (Norsk Hussopp Forsikring, u.å.). Ekte hussopp er et eksempel på brunråte. Trevirke angrepet av hvitråtesopp blir mykt, trevlete, svampaktig og relativt lyst. Dette oppstår oftest i løvtrær og er dermed ikke like utbredt som brunråte. Barksopp er et eksempel på hvitråte. Videre vil et angrep av gråråte gi mykt trevirke. Dette krever høy fuktighet over lang tid, og trevirket blir grått eller brunt og kan sprekke opp i små klosser ved tørking. Betydelige svekkelser på grunn av gråråte er ikke veldig utbredt i Norge siden det sjeldent er tilstrekkelig fuktighet over tid for at gråråten kan utvikle seg.

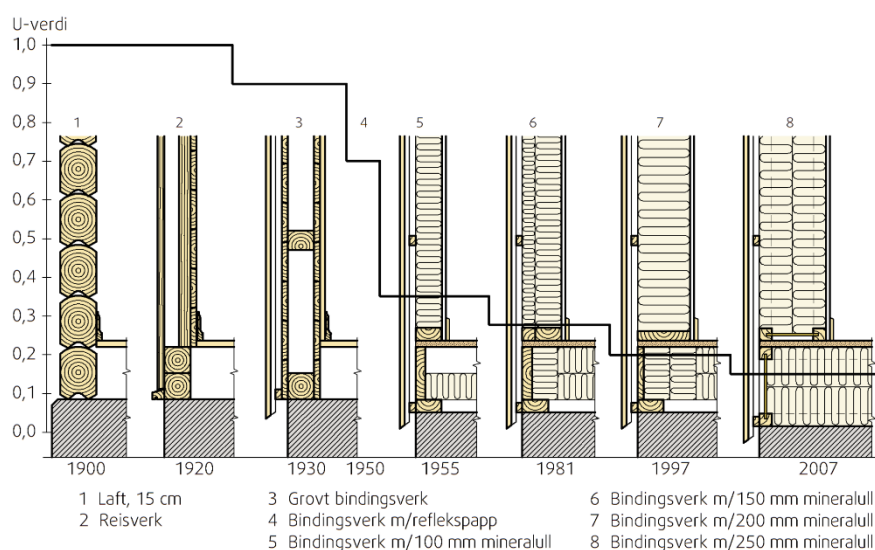




## 3 ETTERISOLERING AV ELDRE BINDINGSVERKSVEGGER

### 3.1 Hvorfor etterisolere?

Etterisolering av eldre hus er et gunstig tiltak for å blant annet redusere varmetap og energibruk (ENOVA, 2016). Boliger bygget før 1980 har spesielt stort sparepotensiale ved etterisolering, fordi de har betraktelig dårligere isolert ytterkonstruksjon enn dagens nybygg. Se Figur 5. Gjøres etterisolering samtidig som andre rehabiliteringstiltak øker potensialet for å spare energi ytterligere, ved at hvert tiltak øker effekten av hverandre. Andre aktuelle tiltak er å etterisolere flere bygningsdeler, skrive vinduer og installere balansert ventilasjon med varmegjenvinner. Tiltakene bør imidlertid sees i sammenheng med behov og ønsker for oppgraderingen. Det bør også være en tydelig plan for oppgraderingen slik at et mest mulig helhetlig resultat oppnås.



Figur 5 Utviklingen av veggkonstruksjon fra 1900-2007. Redusert varmetap i nyere ytterkonstruksjoner (Bøhlerengen, 2009).

Etterisolering kan gi økt fuktsikkerhet i en konstruksjon (Klinski, 2014). Reduserte kuldebroer som følge av bedre varmeisolasjon, samt en mer lufttett konstruksjon, er to viktige grunner til dette. Økt lufttetthet reduserer også risikoen for muggvekst ved at oppfukning med luftlekkasjer reduseres (Geving & Holme, 2010).

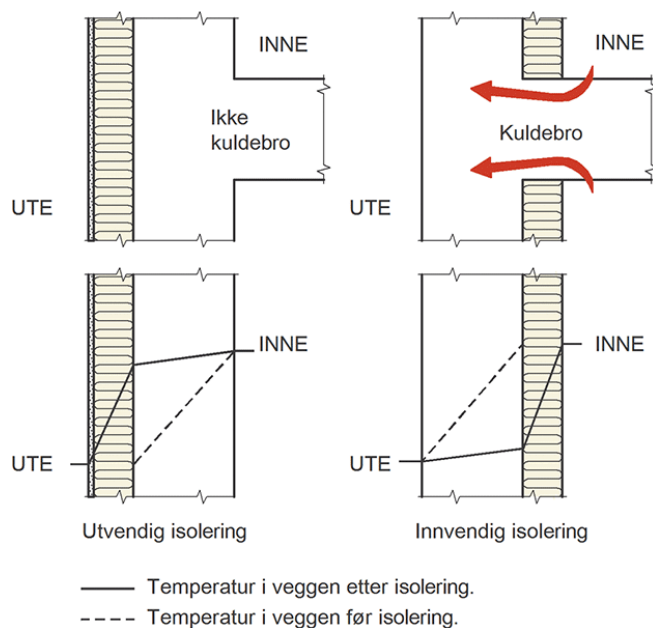
### 3.2 Konsekvenser og anbefalinger for etterisolering

Ved å etterisolere en eldre bindingsverksvegg vil de bygningsfysiske forholdene i veggen endres. Dette kan medføre risiko for skader over tid. Eldre og ny bygningsteknikk er ulik, og det er derfor viktig å kjenne til den eldre veggens oppbygning og virkemåte, samt konsekvenser ved endringer (Boro, 2013).

#### 3.2.1 Virkning av økt varmeisolasjon

For å oppnå en fuktsikker konstruksjon ved etterisolering er det viktig å ta være klar over at den ytre delen av konstruksjonen blir kaldere og får høyere relativ fuktighet når isolasjonstykkelsen øker. Se Figur 6. Dette skyldes redusert varmetap gjennom veggen fra varm side og resulterer i økt risiko for muggvekst. Dersom bindingsverket er godt utført, er lufttett og generelt følger anbefalt konstruksjonsoppbygning, er det normalt ingen behov for spesielle tiltak for å motvirke denne effekten av økt isolasjonstykkelse (Geving &

Holme, 2010). Eldre yttervegger kan derimot være noe mangelfulle sammenliknet med dagens anbefalinger. Spesielle tiltak for å oppnå en fuktsikker konstruksjon kan være nødvendig for å motvirke blant annet utette sperresjikt med utilstrekkelig dampmotstand, høy fuktbelastning inne eller utilfredsstillende totrinnstetting. Alt dette for å redusere risikoen for muggvekst. Spesielt viktig er det å velge et materiale til vindsperre som tåler aktuell fuktpåkjenning, da vindsperren er utsatt for stor fuktpåkjenning. Hygroskopiske materialer som tåler gjentatt oppfukning og tørking er aktuelle. Noen eldre bygningsmaterialer er videre avhengig av noe varmetilførsel innenfra for å unngå skader (Boro, 2013). Der det er eldre bygningsdeler som er ømfintlige for fukt- og temperaturvariasjoner i ytterdelen av konstruksjonen bør man derfor være forsiktig med å gjennomføre innvendig etterisolering. Alternativt bør materialene byttes ut.



Figur 6 Temperatur i yttervegg som følge av utvendig og innvendig etterisolering (Byggforskeren, 2014).

Når det kommer til vekstvilkår for muggvekst, har redusert temperatur og økt relativ fuktighet, som følge av mindre varmegjennomgang fra varm side, motsatt virkning av hverandre. Lavere temperatur gir dårligere vekstvilkår, og høyere relativ fuktighet gir mer gunstige vekstvilkår. Geving og Holme (2010) mener imidlertid at den økte relative fuktigheten betyr mer enn at temperaturen synker, altså at risikoen for muggvekst i netto øker. Risikoen trenger derimot ikke være uakseptabel. Dette fordi perioden med økt relativ fuktighet i stor grad er om vinteren, når temperaturen er ugunstig for muggvekst. Om sommeren, når temperaturen er mer gunstig, trenger ikke den relative fuktigheten være gunstig. Perioden med både ugunstig temperatur og relativ fuktighet samtidig blir dermed kortet ned til vår og høst, der temperaturen er i nedre sjikt av hva som regnes som gunstige vekstvilkår. Økt isolasjonstykkelse øker altså risikoen for muggvekst noe, men ikke så mye at den ikke kan motvirkes eller elimineres med gode materialvalg og god utførelse (Geving & Holme, 2010). Ugunstige konstruksjoner blir imidlertid mer ugunstige.

Økt isolasjonstykkelse medfører at byggfukt og tilfeldige lekkasjer får lengre uttørkingstid. Dette kan medføre stor risiko for muggvekst. Geving og Holme (2010) vurderer de negative effektene av dette som større enn effektene av kaldere ytre del av konstruksjonen. For en eldre vegg som etterisoleres utvendig er det kun aktuelt med byggfukt i den nye, ytre delen av veggen dersom opprinnelig vindsperre beholdes. Dersom

opprinnelig vindspærre derimot skrives ut, vil også den opprinnelige isolasjonen bli utsatt for vær og vind i byggeperioden, og står da i fare for å bli oppfuktet. Tiltak for å redusere faren for dette er å beskytte veggene under bygging med en form for tildekning. Hyppige fuktmålinger for å ha kontroll på fuktnivået kan også være aktuelt. Ved å måle fuktnivået vil man få en indikasjon på hvor mye byggfukt det er snakk om etter etterisoleringen, og man kan da vurdere hvor negativ en eventuell lengre uttørkingstid vil være for det aktuelle rehabiliteringsprosjektet. Ved mye fukt kan en smart dampspærre være aktuelt å benytte, slik at den eventuelle fuktigheten får mulighet til å tørke ut innover. Risikoen for muggvekst kan da reduseres hvis denne uttørkingen er av betydelig størrelsesorden ( $\geq 25\%$  (Geving & Holme, 2010)).

### 3.2.2 Damptetthet for damp- og vindspærresjikt

Flere eldre ytterkonstruksjoner har spærresjikt av materialer som i seg selv kan tilfredsstillende dagens krav til damp- og lufttetthet. Sjiktene som sådan er derimot ikke nødvendigvis luft- eller damptette. Dette i stor grad fordi det på siste halvdel av 1900-tallet var mindre fokus på utførelse og funksjonsegenskaper enn det er i dag. Derfor bør det vurderes om eldre spærresjikt bør skiftes ut eller tettes ytterligere ved rehabilitering. Materialenes bestandighet bør også vurderes.

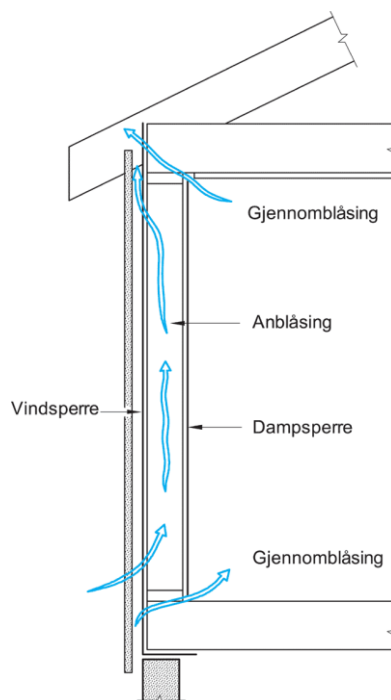
Ved etterisolering av eldre bindingsverksvegger bør det legges vekt på å etablere spærresjikt med tilfredsstillende dampmotstand som sikrer uttørking (Geving & Holme, 2010). Dersom etterisoleringen kun skal foregå utvendig, bør det legges vekt på å etablere et vindspærresjikt med så lav dampmotstand som mulig ( $s_d < 0,1$  m). Dette kan ansees som et av de mest effektive tiltakene for å oppnå en fuktsikker konstruksjon. Dersom etterisoleringen derimot kun skal foregå innvendig, og opprinnelig vindspærre er svært damptett, kan det vurderes å bruke en smart dampspærre. Dampmotstanden på varm side reduseres da utover anbefalingen på  $s_d = 10$  m, og konstruksjonen blir mer utsatt for oppfuktning fra inneluften. Den smarte dampspærren kan likevel bidra til uttørking innover dersom dampmotstanden er lav nok ( $s_d = 1-2$  m). Effekten av uttørkingen innover er likevel ikke like stor som uttørkingen utover (Geving, Holme, & Uvsløkk, 2010). Jo lavere  $s_d$ -verdi på vindspærren, jo lavere  $s_d$ -verdi kreves av dampspærren for å sikre uttørking innover. Nytteverdien av en dampåpen dampspærre er altså ikke like stor som en dampåpen vindspærre når det kommer til sikker uttørking.

Videre kan forholdet mellom innvendig og utvendig damptetthet ha betydning for konstruksjonens fuktsikkerhet (Geving, Holme, & Uvsløkk, 2010). I Norge i dag anbefales det at innvendig damptetthet er 10 ganger større enn utvendig damptetthet. Thue og Skogstad (1996) sitert i Geving, Holme & Uvsløkk (2010) foreslår imidlertid at høyere forholdstall kan kompensere for lav dampmotstand på varm side. Ved etterisolering på kald side bør det derfor tas hensyn til dampmotstanden til opprinnelig dampspærre ved etablering av nytt vindspærresjikt. Dersom opprinnelig dampspærre har lav dampmotstand, blir det altså viktigere med lav dampmotstand for den nye vindspærren for å tilfredsstillende dette forholdstallet. Videre kan det være vanskelig å sette en nedre grense for akseptabel innvendig dampmotstand før risikoen for fuktskader blir for høy, da dette er avhengig av mange faktorer.

### 3.2.3 Lufttetthet og ventilasjon

Ved etterisolering bør det tilstrebes å få en så lufttett konstruksjon som mulig (Bøhlerengen, 2009). Dersom damp- og vindspærresjiktet tettes ved etterisolering, reduseres gjennomblåsingene i ytterkonstruksjonen. Dette er gunstig og bør tilstrebes ved

at det etableres minst ett lufttett sjikt. Det nye lufttette sjiktet etableres typisk på den siden av konstruksjonen der det gjennomføres etterisoleringstiltak. Ved utvendig etterisolering vil eksempelvis en ny dampåpen vindsperre beskytte isolasjonen før kledningen monteres, bidra til en lufttett konstruksjon og sørge for uttørking av fukt. Luftstrømninger med anblåsing reduseres også med en ny lufttett vindsperre. Se Figur 7. For å oppnå best mulig effekt av lufttettheten er det viktig med god planlegging slik at det blir et kontinuerlig lufttett sjikt. Dette er spesielt viktig å ha fokus på rundt overganger og ved kritiske detaljer. God utførelse kan likevel ikke kompensere for manglende planlegging, men gode og enkle detaljer kan forebygge dårlig utførelse.



Figur 7 Prinsipp for anblåsing og gjennomblåsing i yttervegg. Gjennomblåsing utover kalles eksfiltrasjon, og gjennomblåsing innover kalles infiltrasjon (Byggforskserien, 2003).

Ved montering av ny lufttett vindsperre reduseres anblåsing i vegg. Dette er svært positivt for den varmeisolerende evnen til konstruksjonen, da kald luft ikke vil trenge inn til den luftåpne isolasjonen. Anblåsing kan derimot ha en uttørkende effekt på ytterveggen (Geving & Thue, 2002). Dersom luftlekkasjer med anblåsing reduseres, reduseres også denne evnen til uttørking. I netto er det mer gunstig med et tett vindsperresjikt, slik at den varmeisolerende evnen ikke svekkes, selv om luftstrømmene kan bidra til uttørking. Anblåsing skaper videre økt sannsynlighet for gjennomblåsing, som igjen øker risikoen for kondens. Et tett vindsperresjikt bør derfor tilstrebes når det gjennomføres utvendig etterisolering.

Som en konsekvens av tettere bygningskropp ved etterisolering, vil behovet for ventilasjon øke (Bøhlerengen, 2009). Luftvekslinger gjennom utettheter i vegg og overganger reduseres, og det bør derfor installeres balansert ventilasjon for å ha kontroll på tilluft, avtrekk, luftmengder og fuktinnholdet i inneluften. Den fuktige inneluften kan da føres kontrollert ut via kanaler, uten at den trenger gjennom konstruksjonen på uheldige steder og skaper kondens. Videre vil en bygning med balansert ventilasjon generelt ha lavere fuktbelastning innendørs, noe som er positivt dersom det skulle være luftlekkasjer ut i konstruksjonen. Risikoen for kondens mot kalde overflater om vinteren reduseres også med bedret ventilasjon (Bøhlerengen, 2009). Geving og Holme (2010) har vurdert disse

positive effektene av kontrollert ventilasjon som tyngre enn de negative effektene ved kaldere og fuktigere ytre del av konstruksjonen.

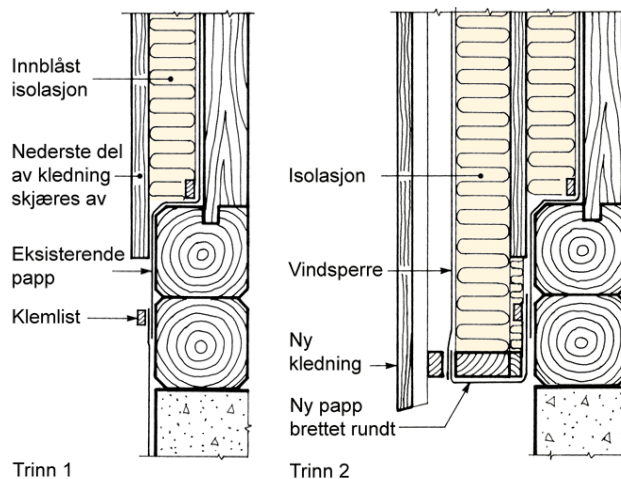
Bøhlerengen (2009) anbefaler ikke å etterisolere en ytterkonstruksjon uten å installere balansert ventilasjon. Ettermontering av veggventiler for å gi tilfredsstillende ventilasjon er en lite energieffektiv løsning, blant annet fordi avtrekksluften ikke kan benyttes til varmegjenvinning, slik som i et balansert ventilasjonsanlegg. Med naturlig avtrekksventilasjon er dessuten kvaliteten på ventilasjonsluften og antall luftskifter avhengig av uteklime. Dette påvirker inneklimate negativt, fordi man ikke har kontroll på temperatur og fuktinnhold i ventilasjonsluften. Spesielt ved varmt og vindstille vær kan et slikt system gi totalt fraværende og utilfredsstillende ventilasjon når bygningskroppen er tett. Videre blir det høyt varmetap og trekk ved kaldt og vindfullt vær. Den mest energivennlige og fuktmessig gunstige løsningen er derfor å installere balansert ventilasjon, selv om den naturlige avtrekksventilasjonen kan være billigere på kort sikt.

### 3.3 Ulike metoder for etterisolering

For bindingsverksvegger er det hovedsakelig tre overordnede metoder å etterisolere på: innblåsing i hulrom, innvendig etterisolering og utvendig etterisolering. Anbefalinger for de ulike metodene følger under.

#### Innblåsingsisolasjon i hulrom

Bindingsverksvegger med hulrom egner seg for etterisolering ved innblåsing (Byggforskserien, 2004). Dette vil typisk være aktuelt for vegger bygget før ca. 1955, da disse ble bygget uten mineralullisolasjon. Det kan altså være mye å hente på å isolere slike vegger, men metoden er sjeldent lønnsom dersom hulrommet er mindre enn 50 mm. Videre bør det kun etterisoleres med innblåsingsisolasjon dersom det er utlektet, luftet og drenert kledning (Bøhlerengen, 2009). Denne utlektingen må være intakt også etter innblåsing, eventuelt bør det etableres utlekting etter innblåsing av isolasjon. Se Figur 8. Dette skyldes økt risiko for fuktskader i ytterste sjikt i vegg som følge av mindre varmegjennomgang fra varm side.



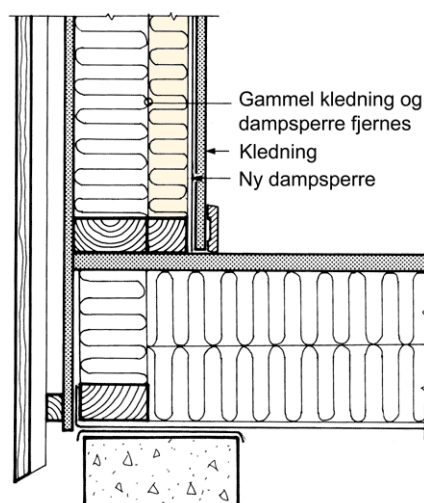
Figur 8 Prinsipp for etterisolering med innblåsingsisolasjon i hulrom i eldre reisverksvegg. Trinn 1 består av å blåse inn tilleggisolasjonen. Trinn 2 består av å etablere påføring med tilleggisolasjon og luftet kledning (Byggforskserien, 2004).

En fordel med etterisolering med innblåsingsisolasjon i hulrom er at arbeidet går raskt (Grøndahl & Stenby, 2020). Takutstikk endres ikke og vinduenes posisjon beholdes, og

husets utseende kan dermed beholdes. Likevel er det ikke alle bygningsdeler som kan etterisoleres ved innblåsing da metoden stiller krav til hulrom. Videre er det med denne metoden vanskelig å kartlegge konstruksjonens tilstand da konstruksjonen ikke åpnes i sin helhet. Skader i hulrommene kan være skult, noe som kan medføre fare for ujevn utfylling ved etterisolering. Innblåsingsisolasjonen kan dessuten synke sammen over tid, noe som ikke er fordelaktig for varmeisoleringen.

### Innvendig etterisolering

Dersom ytterveggs ytre tilstand er god og/eller bør bevares er innvendig etterisolering et alternativ (Bøhlerengen, 2009). Metoden kan kombineres med etterisolering med innblåsingsisolasjon der dette er aktuelt (Byggforskserien, 2004). Vinduer trenger ikke flyttes for å opprettholde originalt utseende og takutstikket vil ikke påvirkes. Innvendig utseende vil påvirkes, og det er viktig å ta i betraktning at innvendig bruksareal reduseres. Se Figur 9.



Figur 9 Prinsipp for innvendig etterisolering av yttervegg av lett bindingsverk. Her illustrert ved nedre del av vegg (Byggforskserien, 2004).

Med hensyn til fukt- og varmetransport er ikke innvendig etterisolering anbefalt (Byggforskserien, 2004). Dette fordi den opprinnelige konstruksjonen blir kaldere og får dårligere uttørkingsevne som følge av mindre varmegjennomgang fra varm side. Dermed kan risikoen for fuktskader i veggens ytre del øke. Innvendig etterisolering bør derfor kun velges dersom den opprinnelige veggens utvendige tilstand er god. Det er derfor viktig å kartlegge veggens tilstand for å undersøke om den vil tåle slik påkjenning. Videre vil ikke innvendig etterisolering eliminere kuldebroer ved skillevegger og bjelkelag, og man eliminerer dermed ikke dette uønskede varmetapet.

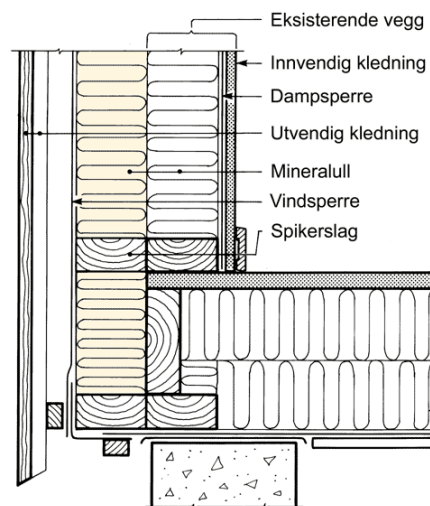
Innvendig etterisolering gir ugunstige boforhold mens arbeidet pågår (Byggforskserien, 2004). Faste innredninger, elektrisk opplegg og varmeovner langs ytterveggene må flyttes. Videre må gulv- og taklister fjernes, samt gerikter rundt vinduer og dører. Dersom innvendig tilleggsisolasjonsmengde ikke overskrider halvparten av opprinnelige isolasjonstykkelse, kan opprinnelig dampspærre og eventuelt kledning beholdes (Bøhlerengen, 2009). Opprinnelig dampspærre vil fungere som normalt dersom den er intakt. Ny utlekting med isolasjon og ny kledning monteres mot dampspærren. Dersom isolasjonsmengden man etterisolerer med overskrider angitt nivå, må opprinnelig kledning og dampspærre fjernes før ny isolasjon monteres. Dette fordi dampspærren kan være inntrukket med maksimalt 1/3 av total isolasjonsmengde. I slikt tilfelle monteres ny

isolasjon mot den opprinnelige isolasjonen. Ny dampsperre og kledning monteres så mot innvendig side.

### Utvendig etterisolering

Utvendig etterisolering er gunstig for å oppnå lavt varmetapstall og en fuktsikker konstruksjon (Bøhlerengen, 2009). Et kontinuerlig isolasjonssjikt bidrar til å redusere kuldeborer, og ny utvendig totrinnstetning gir den beste beskyttelsen mot regn og vind (Byggforskserien, 2008). Den gamle konstruksjonen blir derfor varmere og tørrere, noe som er gunstig for fuktsikkerheten. Dessuten vil man ved utvendige tiltak unngå inngrep i interiør og rommene innenfor blir beboelige i arbeidsperioden. Tiltaket er derimot dyrt og omfattende, og gjøres typisk dersom ytterkledningen uansett skal tas ned. Utvendig etterisolering kan kombineres med innblåsing av isolasjon i hulrom der det er aktuelt.

Utvendig etterisolering endrer fasadens uttrykk (Byggforskserien, 2004). Takutsikk reduseres og forhold mellom grunnmur og vegg blir mindre. Se Figur 10. Gammel kledning risikerer dessuten å bli ødelagt ved demontering. Den nye kledningen vil bli kaldere og fuktigere enn tidligere. Det er derfor viktig med luftet og drenert hulrom bak kledningen. Videre bør vinduer flyttes utover i veggen for å opprettholde det visuelle uttrykket. Dette vil også være en fuktsikker løsning. Dersom vinduene ikke flyttes utover i veggen kan varmetapet reduseres ytterligere, men løsningen er ikke like fuktsikker.



Figur 10 Prinsipp for utvendig etterisolering av yttervegg av lett bindingsverk. Her illustrert i nedre del av veggen (Byggforskserien, 2004).

Bøhlerengen (2009) anbefaler at det ved utvendig etterisolering demonteres kledning, lekter og vindsperre. Opprinnelig isolasjon og vindsperre kan beholdes dersom det er intakt. Deretter anbefales det å montere en remse med vindsperre mot opprinnelig bunnsvill, før ønsket isolasjonsmengde monteres i egen utforing. Ny vindsperre monteres så slik at vindsperreremsen ved bunnsvillen overlapper vindsperrersjiktet på veggen. Dette for å skape et kontinuerlig lufttett sjikt. For å få et lufttett vindsperrersjikt må vindsperreren klemmes i topp og bunn. Deretter monteres utlekting og kledning etter ønske. Det bemerkes imidlertid at en intakt vindsperre kan beholdes ved etterisolering. Denne vil være god fuktbeskytter for den opprinnelige veggen i arbeidsperioden. Dessuten er det unødvendig arbeid å fjerne en fungerende vindsperre.





## 4 METODE

---

I dette masterprosjektet har det blitt gjennomført fuktberegninger i WUFI Pro av etterisolerte yttervegger. I forlengelsen av disse fuktberegningene har muggvekstmodellen WUFI Mould Index VTT blitt benyttet for å beregne risiko for muggvekst ved etterisolering.

Videre har masterprosjektet gått ut på å innhente eksisterende kunnskap om fukt i bygninger og risiko for fuktskader ved etterisolering. Dette ble gjort med en litteraturstudie. Denne informasjonsinnhentingene har i stor grad blitt gjort i forbindelse med et tidligere gjennomført fordypningsprosjekt om damp- og vindsperresjikt i eldre småhus. Bergheim, Geving og Gullbrekken (2020) oppsummerer kort det aktuelle fordypningsprosjektet. Se Vedlegg 1.

### 4.1 Fuktberegninger

Programmet WUFI Pro, versjon 6.4, har blitt benyttet for å gjennomføre simuleringer av ikke-stasjonær varme- og fukttransport i eldre, etterisolerte yttervegger. Dette for å kartlegge de fukttekniske forholdene i en eldre yttervegg som etterisoleres, samt veggens ytelse og motstand mot fuktskader. Det har blitt gjennomført separate simuleringer for hver case.

#### 4.1.1 Beregningsmodellen WUFI Pro

WUFI Pro er et dataprogram for en-dimensjonal analyse av ikke-stasjonær varme- og fukttransport i en bygningsdel eller konstruksjon (Fraunhofer IBP, 2020). Programmet er utviklet ved det tyske forskningscenteret Fraunhofer, ved hygrotermisk avdeling ved Institutt for bygningsfysikk (IBP). WUFI er et anerkjent program verden over.

Simuleringer i WUFI Pro utføres typisk for å få innsikt i ytelsen til en bygningsdel eller konstruksjon. Programmet utfører simuleringer over tid av varme- og fuktgjennomgang i bygningskomponenter under realistiske klimaforhold (Fraunhofer IBP, 2020). Det er mulig å legge inn spesialtilpassede løsninger i programmet, slik at konstruksjonen kan bygges opp mest mulig realistisk. En simulering kan dermed si noe om konstruksjonens holdbarhet og motstand mot skader. Innvirkning på konstruksjonen ved ombygging eller rehabilitering kan også simuleres i WUFI Pro (Thue, Oustad, & Gustavsen, 2007). Ellers kan en simulering si noe om kondensfare, uttørkingstid for byggfukt og virkning av slagregn og ulike klima mot ytterkonstruksjonen.

#### **Teoretisk grunnlag**

WUFI Pro bygger på det teoretiske grunnlaget, både fysiske og numeriske, presentert i Künzle (1995).

For å beregne varme- og fuktgjennomgang i bygningskomponenter bygger WUFI Pro på fysiske mekanismer for varme- og fukttransport (Fraunhofer IBP, 2019). Dette inkluderer varmetransport ved entalpiendringer for fukt i faseendring, stråling og eventuelle varmekilder inne i komponentene. Av mekanismer for vanndamptransport er hovedsakelig diffusjon og løsningsdiffusjon inkludert. For beregning av væsketransport tar WUFI Pro for seg kapillærledning og overflatekryp.

WUFI Pro beregner ikke varme- og fukttransport med konveksjon (Fraunhofer IBP, 2020). Dette fordi konvektiv fukt- og varmetransport med luftstrømninger er vanskelig å tallfeste og sjeldent en-dimensjonalt. For å beregne vanndamptransport i bygningsdeler på grunn av luftlekkasjer må det derfor legges inn egne fuktkilder i bygningsdelen. Disse fuktkildene

vil da representere fukttransporten ved luftlekkasjer. WUFI Pro tar heller ikke for seg væsketransport med gravitasjon, hydraulisk strøm over trykkforskjeller, elektrokinetiske eller osmotiske effekter (Thue, Oustad, & Gustavsen, 2007).

### **Begrensninger i programmet**

WUFI Pro simulerer kun i en dimensjon, noe som er en forenkling av virkeligheten. Dette resulterer blant annet i at sjikt bygget opp med flere materialer i lengderetning må forenkles med kun ett materiale ved simulering.

WUFI Pro benytter en iterasjonsmodell for å beregne likningene for fukt- og varmetransport. I noen tilfeller kan beregningene nå maksimalt antall iterasjoner, uten at løsningen tilfredsstillende sluttkriteriet i beregningstrinnet (Thue, Oustad, & Gustavsen, 2007). En slik iterasjon vil gi en konvergensfeil. Det totale antallet konvergensfeil i en beregning kan si noe om beregningens pålitelighet. For en beregning på ett år, med tidstrinn på en time, angir 50 konvergensfeil det kritiske nivået for når man bør revurdere inn-data (Fraunhofer IBP, 2019). Et moderat antall konvergensfeil har imidlertid generelt liten innvirkning på resultatenes pålitelighet.

Fuktbalansen mellom vanninnhold ved start og slutt av beregningen bør være mest mulig lik for at resultatene av en simulering skal være pålitelig (Fraunhofer IBP, 2019). Stort avvik mellom balanse 1 og balanse 2 kan tyde på usikkerheter i simuleringen. Fuktbalansen bør likevel sees i sammenheng med antall konvergensfeil. Fuktbalansen i seg selv kan heller ikke benyttes for å analysere fuktinnhold i bygningsdelen.

Antall konvergensfeil og massebalansen er de to mest sentrale faktorene for å si noe om simuleringene sin pålitelighet (Thue, Oustad, & Gustavsen, 2007).

## **4.1.2 Gjennomføring av fuktberegninger**

### **Parameterstudie**

Fuktberegningene har blitt gjennomført som parameterstudier. Dette for å vurdere virkningen av ulike faktorer ved etterisolering av en eldre bindingsverksvegg. Parameterne representerer egenskaper til aktuelle materialer samt forhold i en etterisolert vegg.

De ulike parameterne ble variert med hverandre for å vurdere virkningen av hver parameter. Kombinasjonene av parameter omtales heretter som beregningstilfeller. For fullstendig oversikt over alle parameter og beregningstilfeller, se Tabell 1, Tabell 2 og Tabell 3. Linjene markert i grått i oversikten over parameter og beregningstilfeller indikerer standardverdier for hver parameter. Beregningstilfelle 1.1, 2.1 og 3.1 representerer dermed standard vegg for hver etteriseringsmetode. Beregningstilfelle 0 er opprinnelig vegg med standardverdier.

Parameterstudien ble bygget opp ved at hver parameter ble variert etter logiske kombinasjoner som representerer interessante og kritiske konstruksjonsoppbygninger. Av den grunn ble ikke alle parameter kombinert med hverandre. Dette for å redusere antall beregningstilfeller til et akseptabelt nivå. Det ble videre lagt vekt på å simulere sannsynlige, men konservative tilfeller som bidrar til å svare på forskningsspørsmålene. Dette for at resultatene kan være mot sikker side. Likevel har mest og minst gunstig tilfelle blitt simulert for å ha et sammenlikningsgrunnlag.

Tabell 1 Parameteroversikt og beregningstilfeller for case 1.

PARAMETER	BEREGNINGSTILFELLER CASE 1: Etterisolering utenpå opprinnelig vindsperre																							
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24
Uteklima: Trondheim	X						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Uteklima: Oslo		X																						
Uteklima: Bergen			X																					
Uteklima: Karasjok				X																				
Uteklima: Kristiansund					X																			
Uteklima: Kristiansand						X																		
Fukttilskudd: Normal	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X										X
Fukttilskudd: Høy							X								X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Dampsperre, sd=10m	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X					X			X		
Dampsperre, sd=20m								X							X		X				X			X
Dampsperre, sd=70m									X							X		X		X				X
Oppr vindsperre, sd=2m	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X						X		X		
Oppr vindsperre, sd=0,5m										X					X		X				X			
Oppr vindsperre, sd=0,03m											X					X		X	X				X	X
Etterisolering, 100mm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X					X	X	X			X
Etterisolering, 50mm												X			X	X						X		
Etterisolering, 150mm												X					X	X					X	
Utv vindsperre, sd=0,03m	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										X	X
Utv vindsperre, sd=0,2m														X	X	X	X	X	X	X	X	X		

Tabell 2 Parameteroversikt og beregningstilfeller for case 2.

PARAMETER	BEREGNINGSTILFELLER CASE 2: Etterisolering utenpå ny vindspærre														
	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10	2.11	2.12	2.13	2.14	2.15
Uteklima: Trondheim	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fukttilskudd: Normal	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Fukttilskudd: Høy														X	X
Dampspærre, sd=10m	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	
Dampspærre, sd=20m												X			
Dampspærre, sd=70m													X		X
Byggfukt: Fuktet	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Byggfukt: Ingen		X													
Ny vindspærre, sd=0,2m	X	X			X			X		X		X	X	X	
Ny vindspærre, sd=0,03m			X			X									X
Ingen vindspærre				X			X		X		X				
Etterisolering, 100mm	X	X	X	X	X	X	X					X	X	X	X
Etterisolering, 50mm								X	X						
Etterisolering, 150mm										X	X				
Utv vindspærre, sd=0,03m	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X
Utv vindspærre, Sd=0,2m					X	X	X								

Tabell 3 Parameteroversikt og beregningstilfeller for case 3.

PARAMETER	BEREGNINGSTILFELLER CASE 3: Etterisolering utenpå opprinnelig kledning											
	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12
Uteklima: Trondheim	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fukttilskudd: Normal	X		X	X	X	X	X	X				
Fukttilskudd: Høy		X							X	X	X	X
Dampsperre, sd=10m	X	X			X	X	X	X	X	X		X
Dampsperre, sd=20m			X									
Dampsperre, sd=70m				X							X	
Oppr vindsperre sd=2m	X	X	X	X		X	X	X				
Oppr vindsperre sd=0,5m					X				X	X	X	X
Etterisolering, 100mm	X	X	X	X	X			X			X	X
Etterisolering, 50mm						X			X			
Etterisolering, 150mm							X			X		
Utv vindsperre, sd=0,03m	X	X	X	X	X	X	X				X	
Utv vindsperre, sd=0,2m								X	X	X		X

## Den opprinnelige veggen

Hver case tar for seg ulike metoder for etterisolering. For enkelhets skyld tar likevel hvert beregningstilfelle utgangspunkt i samme opprinnelige vegg. Standard opprinnelig vegg (beregningstilfelle 0) er bygget opp med følgende sjikt sett innenfra:

- Dampsperre av diffusjonstett bygningspapp,  $s_d=10$  m
- 100 mm varmeisolasjon av mineralull
- Vindsperre av impregnerert forhudningspapp,  $s_d=2$  m
- 35 mm luft- og dreneringsspalte
- 19 mm utvendig kledning av gran

WUFI Pro trenger diverse inn-data for at en beregning skal kunne gjennomføres. Disse dataene kan deles inn i konstruksjonsoppbygning, materialparametere, klimadata, overgangskoeffisienter for ytre og indre overflate samt startbetingelser. Mye av denne type inn-data er felles for alle case og beregningstilfeller, da simuleringene tar utgangspunkt i samme opprinnelige vegg. Detaljert inn-data finnes i Vedlegg 2.

## Benyttete materialer

Flere av de benyttede materialene ble hentet fra WUFIs egne materialdatabaser. Det ble lagt vekt på å velge materialer med egenskaper tilsvarende de som typisk har blitt brukt og fremdeles benyttes i Norge. Derfor ble materialdatabasen fra NTNU brukt i stor grad, samt databasen fra Fraunhofer-IBP da dette er den største materialdatabasen i WUFI Pro. For noen materialer ble det gjort endringer av eksempelvis dampmotstand eller varmekonduktivitet dersom det var nødvendig. Se Vedlegg 3 for ytterligere informasjon om de benyttede materialene og hvor de er hentet fra.

Materialdata for eldre damp- og vindsperrematerialer har i stor grad blitt hentet inn i forbindelse med nevnte fordypningsprosjekt om damp- og vindsperresjikt i eldre småhus.

Varmeisolasjonen som ble benyttet i simuleringene er av typen mineralull med varmekonduktivitet  $0,034$  W/mK. Denne typen isolasjon ble benyttet ved simulering av alle beregningstilfeller, både som opprinnelig isolasjon og tilleggsisolasjon ved etterisolering. Dette fordi denne typen isolasjon er mye brukt som varmeisolasjon i Norge.

Dampmotstanden til de benyttede materialene ble stort sett lagt inn som konstant, uten å være avhengig av relativ fuktighet. Dette fordi slik informasjon har vært mangelfull for flere materialer. For de materialene der denne informasjonen er tilgjengelig fremkommer det av Vedlegg 3. For spesielt pappmaterialer er dette en forenkling som kan ha innvirkning på resultatene. Materialer som eksempelvis dampsperrer av plastfolie har derimot ikke dampmotstand som varierer med relativ fuktighet. Denne feilkilden er dermed ikke like gjeldende for alle materialer, men er likevel å anse som en forenkling.

## Uteklima

Som det fremkommer av parameteroversiktene i Tabell 1, Tabell 2 og Tabell 3, er det for case 1 medtatt flere uteklimaparameter enn i case 2 og 3. Dette fordi uteklima ikke er vektlagt tyngst i parameterstudien. Videre ble det etter vurdering av case 1 konkludert med at Trondheim har mest konservativt klima. For å redusere antall beregningstilfeller ble kun dette klimaet benyttet i videre simulering.

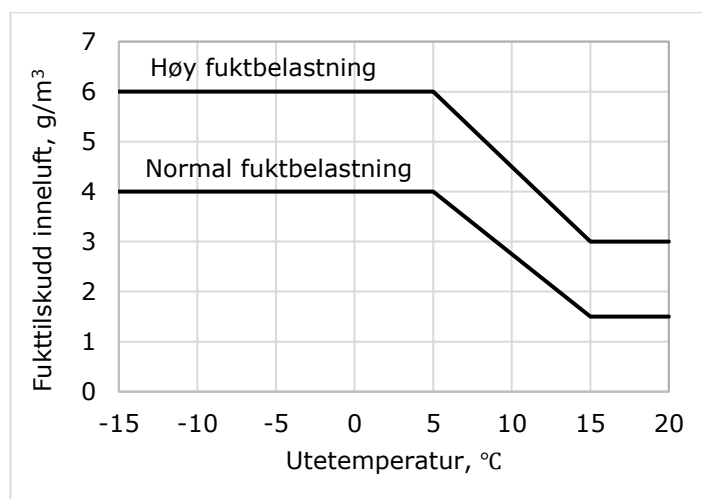
For alle beregningstilfeller ble orientering satt mot nord for å holde beregningene mest mulig konservative. Dette fordi en nordvendt orientering medfører liten soloppvarming på

fasaden sammenliknet med eksempelvis sørvendt orientering. Orienteringen ble ikke valgt ut ifra største slagregnpåkjønning.

## Inneklima

Fukttilskudd i inneluft ble simulert ved å benytte fukttilskudd etter fuktclasser. Fukttilskudd ble benyttet fremfor relativ fuktighet i inneluften, da relativ fuktighet ikke er konstant og kan variere med flere faktorer. Videre ble det valgt å bruke et egendefinert fukttilskudd fremfor data som allerede ligger inne i WUFI Pro. Dette fordi flere studier viser at det er mer sannsynlig at fukttilskuddet avtar når utetemperatur når 5 °C, ikke 0 °C som WUFI opererer med (Geving & Holme, 2011). Geving og Holme (2011) konkluderer videre med at fukttilskuddet mest sannsynlig er konstant fra omtrent 15 °C, ikke 20 °C som er tilfelle i fuktclassene som ligger inne i WUFI Pro.

Normal og høy fuktbelastning ble simulert etter grafene som fremkommer av Figur 11. Lav fuktbelastning ble ikke medtatt i simuleringene da dette ikke er interessant for å simulere kritiske situasjoner.



Figur 11 Temperaturavhengig fukttilskudd innendørs benyttet ved simulering av inneklima i WUFI Pro (Geving & Holme, 2011).

Det reelle fukttilskuddet i en bolig varierer i stor grad med hvordan boligen brukes. Fukttilskuddet varierer videre for hvert rom i boligen. I simuleringene har fukttilskudd for stue blitt brukt som et gjennomsnitt for hele boligen. Selv om fukttilskuddet for eksempelvis bad er betydelig høyere, ble ikke denne verdien benyttet fordi det kan gi et usannsynlig høyt fukttilskudd for hele boligen. Denne forenklingen i fukttilskudd er likevel en feilkilde i simuleringene, og er å anse som en forenkling av en virkelig bolig.

## Oppbygning av veggkonstruksjon

WUFI Pro er et program for en-dimensjonale simuleringer gjennom bygningskomponenter. Derfor lot det seg ikke gjøre å simulere med både bindingsverk og varmeisolasjon i samme dybde i veggsknittet. Fordi varmeisolasjonen utgjør en større andel av ytterveggen enn bindingsverket, ble bindingsverket utelatt fra simuleringene. Dette er en forenkling.

I isolasjonssjiktet ble det blitt lagt inn en fuktkilde for å simulere fukttransport med konveksjon på grunn av utettheter i dampsperran. Luftlekkasjen ble lagt inn som en fuktkilde av typen luftinfiltrasjonsmodell IBP med lufttetthetsklasse C. Dette tilsvarer en luftstrøm,  $q_{50}$ , på 5,0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h gjennom konstruksjonen, som kan være en typisk verdi for eldre bolighus. Det ble videre antatt 5 m for høyde oppdriftstrykk, som tilsvarer et bolighus

med to-etasje, åpent trappeløp og etasjehøyde 2,5 m. Denne antakelsen ble tatt med bakgrunn i hva som er et typisk Norsk bolighus. Videre ble det antatt 0 Pa overtrykk fra mekanisk ventilasjon. For den opprinnelige veggen gjelder dette fordi det ble antatt naturlig ventilasjon i de eldre småhusene. For beregningstilfellene der det er gjennomført tiltak gjelder antakelsen om 0 Pa overtrykk fra mekanisk ventilasjon fordi det ble antatt etablering av balansert ventilasjon ved rehabilitering. Dermed skal det være en trykkløst som verken skaper undertrykk eller overtrykk i husene (Byggforskserien, 2015).

Fuktkilden som representerer fukttransport med luftlekkasjer fra varm til kald side, ble lagt til i hele dampsperrsjiktet og inn i halve isolasjonssjiktet. Dette er en konstruktiv antakelse, ment for å representere usikkerhetene knyttet til tettheten av eldre sperrsjikt. Hvor stor denne luftlekkasjen er og hvor langt ut i konstruksjonen den går er vanskelig å fastslå med sikkerhet. Luftlekkasjen representerer derfor en stor feilkilde for beregningene. Den ble likevel valgt å ha med fordi det ble vurdert som mer sannsynlig at den opprinnelige veggen hadde betydelig utette sperrsjikt enn at den var tett. Denne vurderingen fordrer at det ikke har blitt gjort tetningsarbeider eller rehabilitering som påvirker ytterveggen siden boligen ble bygget. Videre ble det simulert med den samme luftlekkasjen for alle beregningstilfeller. Parameterstudien tar altså ikke for seg ulike luftlekkasjer fra inneluften, og feilkilden varierer dermed ikke for beregningstilfellene, men holdes konstant for alle beregninger.

Luft- og dreneringsspalten bak ytterkledningen ble tredelt i simuleringene. Spalten ble bygget opp av ett luftsjikt på 25 mm uten fuktlagringskapasitet, omsluttet av to luftsjikt på 5 mm med ekstra fuktlagringskapasitet. Dette for å gjøre det mulig for programmet å håndtere fritt vann og en mest mulig reell fuktlagringskapasitet for luft (Mundt-Petersen, 2015). Videre ble det i det midterste luftsjiktet lagt inn en hygrottermisk kilde for ventilasjon. Dette i form av en konstant luftveksling på  $20 \text{ h}^{-1}$  over hele sjiktet. Luften blandes med luft fra venstre side (uteluft). Denne ventilasjonskilden ble lagt inn fordi programmet behandler luftlagene som lukkede, uventilerte sjikt, noe som ikke er tilfelle for virkelige luft- og dreneringsspalter.

Luftskiftet i luft- og dreneringsspalten bak kledningen er i realiteten avhengig av flere forhold, blant annet vindhastighet. Dette ble ikke simulert, da det ble lagt inn et konstant luftskifte i luft- og dreneringsspalten. Analyser viser likevel at dette kan gi tilfredsstillende resultater, så lenge luftskiftet i simuleringene er høye nok til å fjerne all fukt fra luftspalten (Mundt-Petersen, 2015). Videre ble det antatt at luftspalten tilfredsstiller gitte krav og anbefalinger etter rehabilitering. Dermed bygger simuleringene på antakelsen om at luftspalten gir tilfredsstillende lufting av kledningen, og derfor ikke bidrar til økt risiko for fuktskader. Luftskiftet i spalten er av den grunn ikke vurdert som en parameter, men holdes konstant for alle beregningstilfeller. Luftingen bak kledningen er likevel en feilkilde, da det er vanskelig å anta med sikkerhet hva luftskiftet er i spalten.

I det innerste elementet av ytterkledningen ble det lagt inn en fuktkilde for å representere slagregnpåkjøring. Denne ble satt til en andel på 1% og begrenses til fri vannmetning.

Startfuktnivået i både opprinnelig og ny konstruksjon ble satt til 80% RF for alle beregningstilfeller. Selv om det kan tenkes at den opprinnelige veggen er noe tørrere enn ny vegg, ble det valgt å benytte dette nivået for begge delene av konstruksjonen. Dette fordi det er mange usikkerheter knyttet til fuktnivået i veggen. Fuktnivået kan blant annet variere med isolasjonstykkelse og årstid. 80% RF i den opprinnelige delen av veggen kan derfor anses som konservativt, men likevel realistisk.



For å simulere byggfukt i case 2, som en konsekvens av at opprinnelig vindsperre demonteres, har det blitt simulert med en fuktig trebit i isolasjonssjiktet. Denne trebiten er ment for å representere et oppfuktet bindingsverk. Trebiten har blitt lagt inn som 20 mm «skandinavisk grad II vinkelrett fibre», og ligger 10 mm ut fra dampsperran. Trebiten har startfuktnivå på 98% RF (30-vekt%), som ifølge WUFI Pro sin materialdatabase «NTNU» tilsvarer et fuktinnhold på 82 kg/m<sup>3</sup>. Trebitens plassering tett mot dampsperran er fordi treverkets dampmotstand minst mulig skal påvirke fukttransporten i veggen.

### Monitorposisjoner

Innsiden av vindsperran er stort sett det mest kritiske punktet for kondens. Det er derfor vindsperrans innside som har blitt vektlagt ved vurdering av muggvekstvilkår, og dermed her monitorene ble plassert.

Monitorene i veggen ble plassert så nærme materialets overflate som mulig. De ble derfor plassert i materialsjiktens ytterste element, enten på innsiden eller utsiden, avhengig av hva som ble aktuelt. Monitorene i veggen fikk følgende plassering:

- Ny og opprinnelig vindsperre: Materialsjiktets innerste element.
  - Vindsperrer med tykkelse 1 mm, monitor plassert 0,25 mm fra innvendig overflate.
  - For vindsperrer tykkere enn 1 mm er midtpunktet til innerste element dypere enn 1 mm inn i materialet. Dette gjelder for vindsperrer av asfaltimpregnert porøs trefiberplate, der monitoren i innerste element ligger <2 mm fra innvendig overflate.
- Ny og opprinnelig isolasjon: Element nummer 1, ytterste millimeteren av sjiktet.

Posisjonen bak opprinnelig vindsperre ble vurdert for å vurdere fuktsikkerheten ved å beholde en eldre, damptett vindsperre ved rehabilitering.

## 4.2 Muggvekstanalyse

Programmet WUFI Mould Index VTT, versjon 2.1, har blitt brukt for å analysere risiko for muggvekst ved etterisolering.

### 4.2.1 Beregningsmodellen WUFI Mould Index VTT

WUFI Mould Index VTT er et utvidelsesprogram som legges til i brukergrensesnittet i WUFI Pro (Fraunhofer IBP, u.å). Programmet tar for seg muggvekstmodellen VTT, som beregner risiko for muggvekst i bygningsdelen fra WUFI Pro.

Muggvekstmodellen VTT kartlegger risiko for muggvekst på tre og andre materialer (Viitanen & Tuomo, 2019). Modellen bruker en empirisk modell for å forutsi dette, der overflatemateriale, temperatur, luftfuktighet og tid er tatt i betraktning. Modellen tar også for seg eventuelle tørkeperioder som kan påvirke muggveksten, samt sensitiviteten til det aktuelle materialet.

### Teoretisk grunnlag

Muggvekstmodellen VTT benytter en muggindeks for å beskrive muggvekst på overflater (Hukka & Viitanen, 1999). Denne representerer sannsynlig aktivitet av muggsopp. Indeksen er etablert etter observasjoner av mugg på overflater av tre, ikke etter biologiske modeller og antall levende celler. Sannsynlig aktivitet beskrives med en skala fra 0 til 6. Se Tabell 4.

Tabell 4 Muggindeks M med tilhørende beskrivelse av muggvekst (Hukka & Viitanen, 1999).

MUGGINDEKS (M)	BESKRIVELSE AV MUGGVEKST
0	Ingen muggvekst.
1	Små mengder mugg på overflaten, kun synlig med mikroskop.
2	Moderat muggvekst kun synlig med mikroskop. Dekning >10%.
3	Synlig mugg på overflaten. <10% synlig dekning eller <50% synlig i mikroskop.
4	Synlig mugg på overflaten. 10-50% synlig dekning eller >50% synlig i mikroskop.
5	Mye muggvekst på overflaten. >50% synlig dekning.
6	Tett, kraftig muggvekst. Tilnærmet 100% dekning.

Overflater som er i kontakt med inneluften bør ha muggindeks på maksimalt 1 (Viitanen & Tuomo, 2019). På overflater i kontakt med uteluften er det vanskeligere å unngå vekst, og ytre deler av konstruksjonen bør derfor ha muggindeks på maksimalt 3.

Muggvekst er avhengig av materialet det vokser på. Dette tar muggvekstmodellen hensyn til ved å definere klasser for materialers sensitivitet under ulike forhold (Ojanen, et al., 2010). Materialenes sensitivitet kan defineres fra veldig sensitiv til veldig motstandsdyktig, ut ifra hvor lett de blir angrepet av muggvekst. Se Tabell 5.

Tabell 5 Sensitivitetsklasser for muggvekst på materialer (Viitanen & Tuomo, 2019).

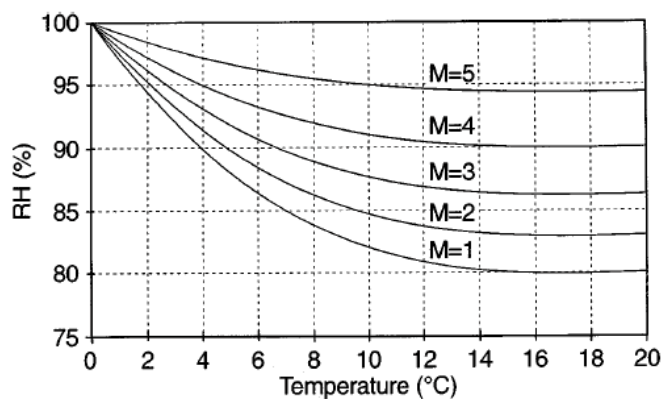
SENSITIVITET	TYPE MATERIALE
Veldig sensitiv	Ubehandlet treverk som inneholder næringsstoffer for biologisk vekst.
Sensitiv	Høvlet tre, materialer dekket med papir og trebaserte plater.
Nokså motstandsdyktig	Sement, plastbaserte materialer eller mineralfiber.
Motstandsdyktig	Glass, metall eller materialer med ekstra behandling.

Videre bygger muggvekstmodellen VTT på en matematisk modell for kritisk relativ fuktighet,  $RF_{kritisk}$ . Denne er temperaturavhengig. Innenfor temperaturene 5-40 °C gjelder følgende formel for kritisk luftfuktighet, der T angir temperatur i grader celsius (Hukka & Viitanen, 1999):

$$RF_{kritisk} = \begin{cases} -0,00267 \cdot T^3 + 0,160 \cdot T^2 - 3,13 \cdot T + 100, & T \leq 20 \text{ } ^\circ\text{C} \\ RH_{min}, & T > 20 \text{ } ^\circ\text{C} \end{cases}$$

For veldig sensitive og sensitive materialer, eksempelvis treverk, er  $RH_{min}=80\%$  satt som standard i muggvekstmodellen. For de mer motstandsdyktige materialene er dette nivået satt til 85% RF. Dette baseres på at jo mer motstandsdyktig et materiale er, jo høyere relativ fuktighet, eller lengre eksponeringstid, er nødvendig for å sette i gang muggvekst.

Videre er kritisk relativ fuktighet avhengig av hvilket stadium muggveksten har nådd (Viitanen & Tuomo, 2019). For muggindeks, fra og med 1 til og med 5, betyr dette at kritisk relativ fuktighet vil avgjøre hva største mulige muggindeks kan være. Høy muggindeks, M, krever høyere kritisk relativ fuktighet for at mugg skal vokse. Se Figur 12.



Figur 12 Temperaturavhengig kritisk relativ fuktighet for muggvekst ved ulike muggindekser. Jo høyere muggindeks  $M$  jo høyere kritisk relativ fuktighet. Denne forskjellen blir mer tydelig jo høyere temperatur det er (Hukka & Viitanen, 1999).

Muggvekstmodellen VTT tar for seg tid ved beregning av muggvekst. Modellen tar dermed for seg endringer i temperatur og relativ fuktighet og hvordan denne endringen påvirker muggveksten (Viitanen & Tuomo, 2019). I perioder med ugunstige vekstforhold kan muggveksten reduseres, noe modellen tar hensyn til ved å definere en reduksjonsfaktor for muggindeks for hvert materiale.

### Begrensinger ved analyse av muggvekst

Generelle begrensninger ved beregning av risiko for muggvekst er at muggvekst er et naturlig fenomen som påvirkes av mange faktorer (Gradeci, *et al.*, 2017). Reell muggvekst trenger derfor ikke bli som simulert muggvekst. En sammenlikning av reell og simulert temperatur og relativ fuktighet gjennomført av Mundt-Petersen og Harderup (2015) kan imidlertid tyde på at hygrotermiske beregningsmodeller kan gi pålitelige resultater om risiko for muggvekst. Ulike modeller kan likevel gi ulike resultater (Vereecke, Saelen, & Roel, 2011). For å få mest mulig pålitelige resultater er det videre viktig at bygningsdelen bygges opp så korrekt som mulig. Modellene kan videre være sensitive for inn-data og materialvalg. Derfor bør blant annet inn klima, ute klima og materialenes egenskaper tilstrebes å simuleres så korrekt som mulig.

### 4.2.2 Gjennomføring av muggvekstanalyse

Muggvekstmodellen VTT har blitt benyttet da den ble ansett som den mest hensiktsmessige muggvekstmodellen for dette prosjektet. Dette blant annet fordi VTT tar for seg tid som en faktor og dermed kan ta hensyn til eventuelle tørkeperioder, noe som kan bidra til å gi virkelighetsnære simuleringer. Resultatene av en muggvekstanalyse kan imidlertid bli mer presise dersom flere muggvekstmodeller benyttes (Gradeci, *et al.*, 2017). Derfor benyttes også en vurdering av antall timer med kritisk temperatur og relativ fuktighet for å beskrive vekstvilkårene for mugg i vegg ved etterisolering.

Hvert beregningstilfelle har blitt analysert i muggvekstmodellen VTT ved å importere punkt fra filmfremvisningen i WUFI Animasjon 1D. Monitorposisjonene fra både vindsperrers innerste element og fra isolasjonens ytterste element ble importert til muggvekstmodellen. Dette for både utvendig og opprinnelig eller ny innvendig vindsperre. På den måten ble muggvekstanalysen gjennomført som en parameterstudie, på lik linje som fuktberegningene. Dette er fordelaktig for å kartlegge virkningen av de ulike parameterne (Mundt-Petersen & Harderup, 2015).

Da det blir benyttet ulike vindsperrertyper i simuleringene, ble i hovedsak ytre del av isolasjonssjiktet benyttet for vurdering av punktet bak vindsperreren. Dette fordi ulike typer vindsperrer kan skape ulikt damptrykk over vindsperreren og dermed ikke gi sammenliknbare resultater. Vindsperreren innerste element har likevel blitt tatt i betraktning.

### Inn-data

Materialeegenskaper blir ikke med ved overføring av et punkt fra WUFI Pro til muggvekstmodellen VTT. Derfor har diverse inn-data blitt definert i muggvekstmodellens brukergrensesnitt.

Det vurderte punktet i muggvekstmodellen har blitt definert til å ligge i konstruksjonen, men uten direkte kontakt med inneluften. Dette fordi vindsperreren inside ligger utenfor dampsperresjiktet, som skal være lufttett. Videre ble valgte materialer benyttet med standardverdier for aktuelle egenskaper. Se Tabell 6.

*Tabell 6 Benyttete materialer i muggvekstmodellen VTT og deres egenskaper. Standardverdier for egenskaper.*

TYPE MATERIALE	EGENSKAPER				
	Sensitivitet	Reduksjonsfaktor	Type overflate	Type treverk	Kommentar
<b>Som treverk:</b> Ubehandlet furu og gran (kjerneved), under «tre eller naturlige materialer»	Sensitiv	Betydelig reduksjon	Ru	Softwood (nåletre)	Type treverk er brukerdefinert, da standard ligger inne som «hardwood» (løvtre)
<b>Som isolasjonsmateriale:</b> Glassull, under «ASHRAE Standard 160»	Nokså motstandsdyktig	Nesten ingen reduksjon	-	Hardwood	-
<b>Som vindsperremateriale:</b> Plastoverflate (glatt), under «andre materialer»  Trefiberplate, under «tre eller naturlige materialer»  Pappdekte materialer, under «tre eller naturlige materialer»	Nokså motstandsdyktig  Veldig sensitiv  Sensitiv	Reduksjon  Reduksjon  Nesten ingen reduksjon	Ren  Ren  Ren	-  Softwood  Softwood	-  -  -

### 4.3 Metode for analyse av resultater

For å kartlegge vilkår for muggvekst som følge av etterisolering har monitorposisjonene i veggen og filmfremvisning i WUFI Animation 1D av varme- og fuktinnhold i veggen blitt tatt i betraktning.

Fuktberegningene har blitt sjekket opp mot temperatur og relativ fuktighet bak ny og opprinnelig vindsperre. Basert på antall timer med gunstige vekstvilkår for muggsopp, har antall kritiske timer for hvert beregningstilfelle blitt regnet ut i Microsoft Excel. For hvert år av simuleringene ble det summert opp antall kritiske timer, basert på følgende kriterier:

- Temperatur  $\geq 5^{\circ}\text{C}$  og  $80\% \leq \text{RF} < 90\%$
- Temperatur  $\geq 5^{\circ}\text{C}$  og  $90\% \leq \text{RF} < 95\%$
- Temperatur  $\geq 5^{\circ}\text{C}$  og  $\text{RF} \geq 95\%$

For case 1 har muggvekstanalysen av isolasjonens ytterste element vært todelt. Det analyserte punktet har blitt betraktet som både isolasjonsmateriale og treverk. Dette fordi treverket i stendere og losholt kan ha annerledes risiko for muggvekst enn isolasjonsmaterialet. En todelt analyse ble derfor gjennomført fordi muggvekstmodellen VTT kun beregner i en dimensjon, og det var ønskelig å kartlegge effekten av treverket i bindingsverket.

Den todelte analysen av bindingsverkets ytterste element kan gi en indikasjon på muggvekst på ulike materialer bak vindsperren. Likevel er det noen usikkerheter knyttet til dette. Det er kun materialet som er ulikt mellom de to simuleringene, ikke temperatur og relativ fuktighet da dette er importert direkte fra det aktuelle punktet i WUFI Pro. Det kan tenkes at det for trevirke vil være noe høyere temperatur og lavere relativ fuktighet sammenliknet med mineralull, fordi trevirket kan skape en kuldebro. Dermed kan risikoen for muggvekst i trevirket være noe urealistisk, da det importerte punktet fra WUFI Pro innehar data om temperatur og relativ fuktighet for mineralullen. Den simulerte risikoen for muggvekst i trevirket er likevel mot sikker side og kan gi en indikasjon på muggveksten i bindingsverket. Treverket har ikke blitt vurdert for case 2 og 3 da det ble ansett som tilstrekkelig å sjekke ut dette ved kun ett case.

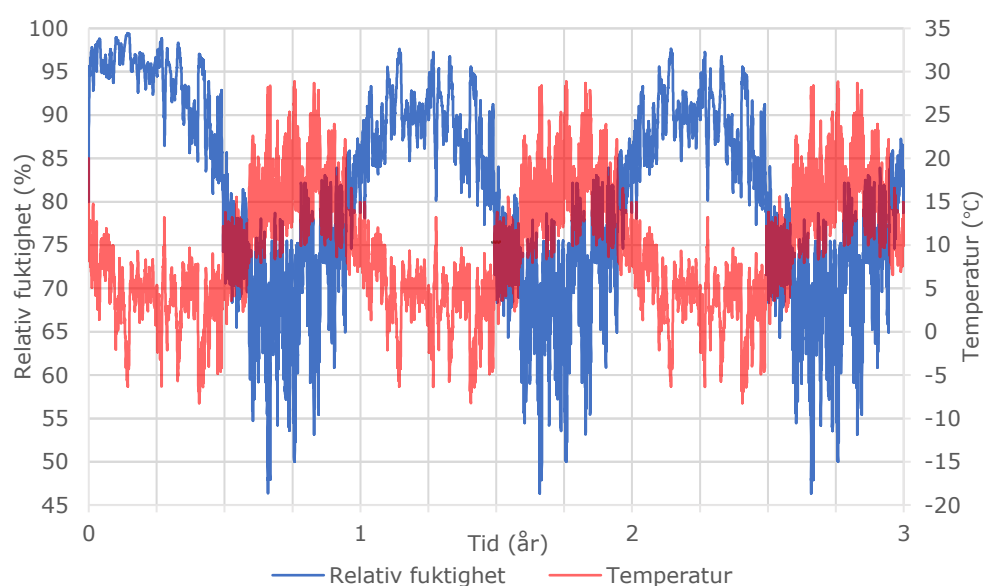


## 5 RESULTATER OG VURDERINGER

Fullstendig oversikt over resultater for alle beregningstilfeller ligger vedlagt. Se Vedlegg 5 for antall kritiske timer. Se Vedlegg 6 for muggindeks. Se Vedlegg 4 for status etter fuktberginger i WUFI Pro samt numerisk kvalitetssjekk av alle beregningstilfeller.

### 5.1 Den opprinnelige veggen

Bak vindsperrer i opprinnelig vegg er det i løpet av den simulerte perioden gunstige vekstvilkår for mugg store deler av året. Se Figur 13. Av de simulerte beregningstilfellene i case 1, er det opprinnelig vegg som har høyest antall kritiske timer bak den opprinnelige vindsperrer, noe som reduseres ved etterisolering. Se Tabell 7. For fukt- og temperaturforhold gjennom alle sjikt i den opprinnelige veggen, se Figur 14.



Figur 13 Temperatur og RF bak vindsperre i den opprinnelige veggen. Målt i mineralullens ytterste element.

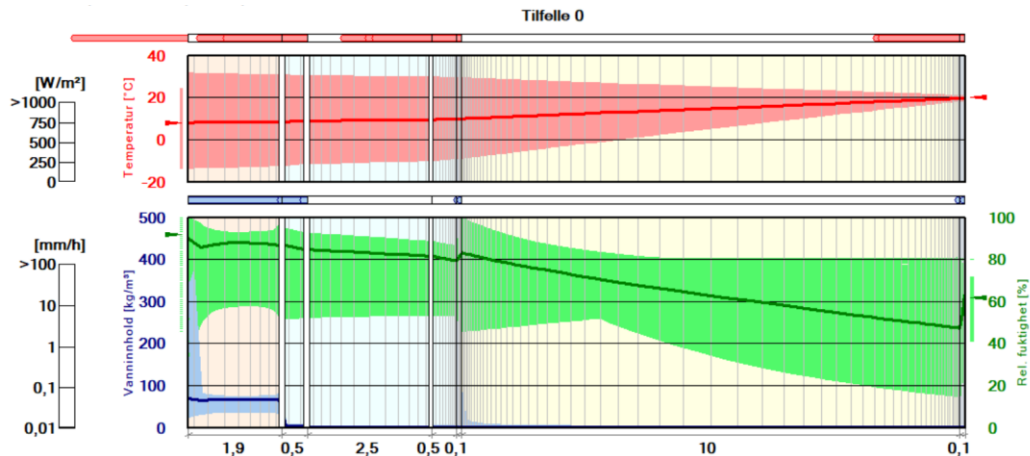
Tabell 7 Antall kritiske timer bak vinsperre i opprinnelig vegg med og uten etterisolering. Målt i ytterste element av opprinnelig mineralull.

Beregningstilfelle	Antall kritiske timer med gunstige muggvekstforhold								
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$			$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$			$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $\text{RF} \geq 95\%$		
	År 1	År 2	År 3	År 1	År 2	År 3	År 1	År 2	År 3
Opprinnelig vegg bak vindsperre, beregningstilfelle 0	987	2186	2184	560	82	82	798	0	0
Etterisolert vegg bak opprinnelig vindsperre, beregningstilfelle 1.1	416	0	0	144	0	0	0	0	0

Det er størst risiko for muggvekst i den opprinnelige veggen om vinteren. Videre kan simuleringene tyde på at muggindeksen reduseres ved etterisolering. Se Tabell 8.

Tabell 8 Muggindeks bak opprinnelig vindsperre før og etter etterisolering.

Beregningstilfelle	Muggindeks		
	Bak vindsperre: Mineralull	Bak vindsperre: Treverk	Innside vindsperre
Opprinnelig vegg bak vindsperre, tilfelle 0	0,2	1,8	1,25
Etterisolert vegg bak opprinnelig vindsperre, tilfelle 1.1	0,02	0,3	0,05



Figur 14 Fukt- og temperaturforhold i veggssnitt for opprinnelig vegg, beregningstilfelle 0. Grønn, blå og rød linje indikerer RF, vanninnhold og temperatur gjennom vegg ved beregningsperiodens slutt. Det markerte området indikerer intervallet på nivå der RF, vanninnhold og temperatur har vært i løpet av beregningsperioden.

## 5.2 Case 1: Etterisolering utenpå opprinnelig vindsperre

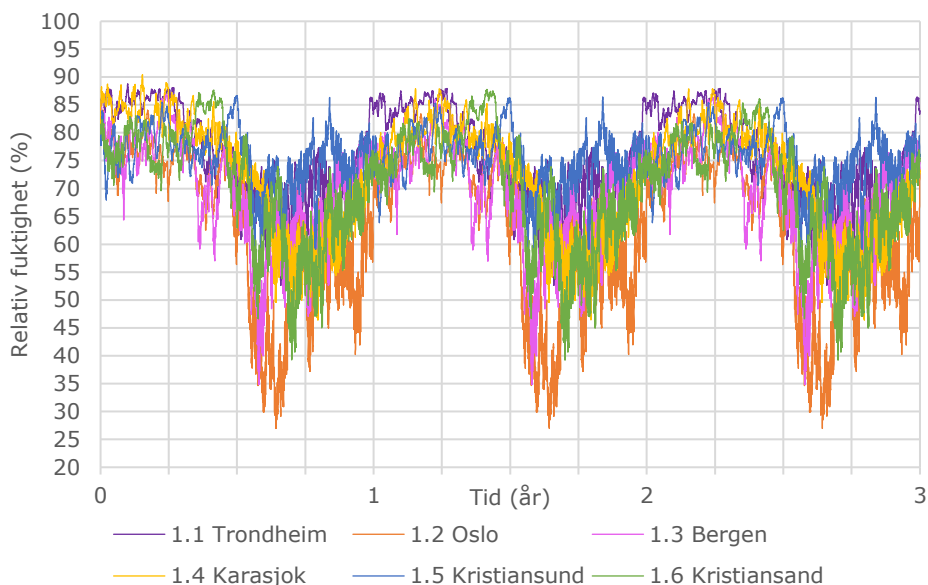
### 5.2.1 Virkning av klima

#### Uteklima

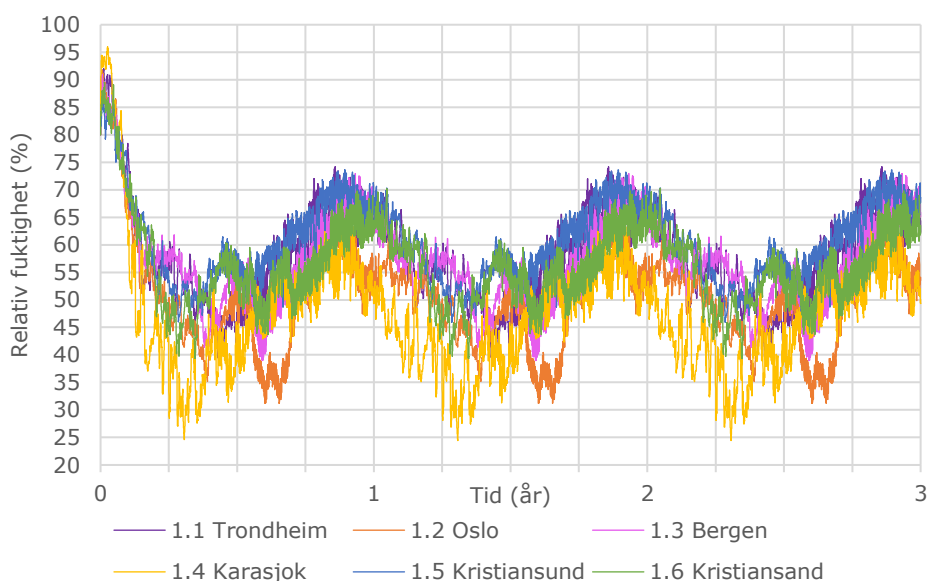
Simuleringene av case 1 kan tyde på at geografisk plassering har begrenset betydning for muggvekst bak den nye utvendige vindsperran om sommer og høst. Dette fordi relativ fuktighet (RF) stort sett er under 80% bak utvendig vindsperre. Se Figur 15. Med unntak av i starten av beregningsperioden, blir heller ikke RF > 80% bak opprinnelig vindsperre for noen av klimaene. Se Figur 16. I oppvarmingsperioden er det større variasjoner for de ulike klimaene enn om sommeren. Oslo-klima ser ut til å gi lavest RF bak utvendig vindsperre, med både laveste maksimal (85,4 % RF) og minimal verdi (26,9 % RF). Oslo-klimaet er videre det klimaet som gir færrest antall timer med RF  $\geq$  80% bak den utvendige vindsperran.

Karasjøk er den geografiske plasseringen som av alle klimaene gir høyest RF bak utvendig vindsperre om vinteren. Se Figur 15. RF kommer her opp i maksimalt 90,4% om vinteren, og blir ikke mindre enn 46,4% om sommeren.





Figur 15 RF bak den nye utvendige vindspærren for ulike klima. Målt i mineralullens ytterste element i standard vegg. Årets start er 1. oktober.



Figur 16 RF bak opprinnelig vindspærre for ulike klima. Målt i mineralullens ytterste element i standard vegg. Årets start er 1. oktober.

Tatt i betraktning både temperatur og RF bak utvendig vindspærre, kommer Trondheim-klima ut med høyest antall timer med gunstige vekstforhold for mugg, totalt 3472 timer, fordelt på litt i overkant av 1150 timer per år. Se Vedlegg 5 for beregningstilfelle 1.1-1.6. Etter Trondheim kommer Kristiansand (totalt 2033 timer), Kristiansund (totalt 1724 timer) Bergen (totalt 1688 timer) og Oslo (totalt 372 timer). Karasjok-klima får færrest antall kritiske timer bak utvendig vindspærre (totalt 33 timer). Generelt for alle klimaene er timeantallet høyest det første året av simuleringen. RF-nivået bak utvendig vindspærre i standard vegg kommer ikke over 90% for noen klima.

Temperatur- og RF-nivået bak opprinnelig vindsperre kommer over kritisk nivå for muggvekst for alle klima i starten av beregningsperioden. Se Vedlegg 5 for beregningstilfelle 1.1-1.6. Totalt antall kritiske timer bak opprinnelig vindsperre er gjennomsnittlig 538 timer for de seks klimaene, der alle timene er i år 1 av simuleringen. Kristiansund og Kristiansand får kun kritiske timer med RF-nivå opp til maksimalt 90%. Trondheim, Oslo og Bergen får kritiske timer med RF-nivå opp til både 90% og 95%. Karasjok-klima er det eneste klimaet som gir  $RF \geq 95\%$  bak opprinnelig vindsperre.

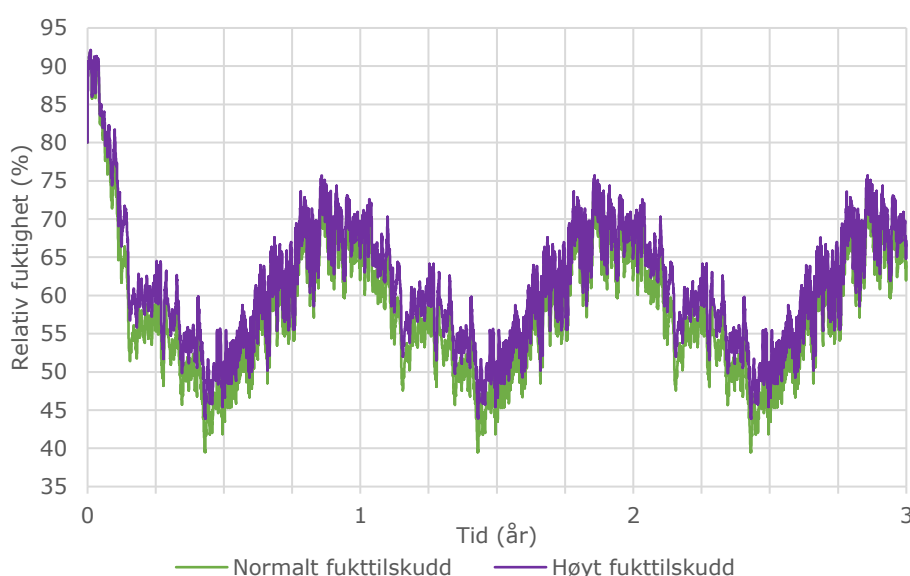
Maksimal muggindeks bak utvendig og opprinnelig vindsperre varierer lite med de ulike klimaene. Se Vedlegg 6 for beregningstilfelle 1.1-1.6. Av alle beregningstilfellene er det Trondheim-klima som gir høyest muggindeks bak opprinnelig vindsperre. Muggindeksen er der 0,02 i mineralullens ytterste element ved simuleringens start 1. oktober. Muggindeksen i mineralullen bak den utvendige vindsperren ligger fra 0-0,0007 for de ulike klimaene.

### Inneklima

Simuleringene kan tyde på at høyt fukttilskudd medfører noe flere kritiske timer bak både utvendig og opprinnelig vindsperre. Se Vedlegg 5, beregningstilfelle 1.1 og 1.7. Standard vegg med normalt fukttilskudd gir totalt 3472 kritiske timer bak utvendig vindsperre, mot 3556 timer ved høyt fukttilskudd. Verken beregningstilfellet med normalt eller høyt fukttilskudd gir kritiske timer med  $RF \geq 90\%$  bak utvendig vindsperre.

Ved normalt fukttilskudd kan simuleringene tyde på totalt 560 kritiske timer bak opprinnelig vindsperre. Alle timene forekommer i starten av beregningsperioden. Ved høyt fukttilskudd øker dette antallet til 703 timer. Videre tyder simuleringene på at RF-nivået bak opprinnelig vindsperre kommer over 90% i starten av beregningsperioden, både ved normalt og høyt fukttilskudd. Se Figur 17.

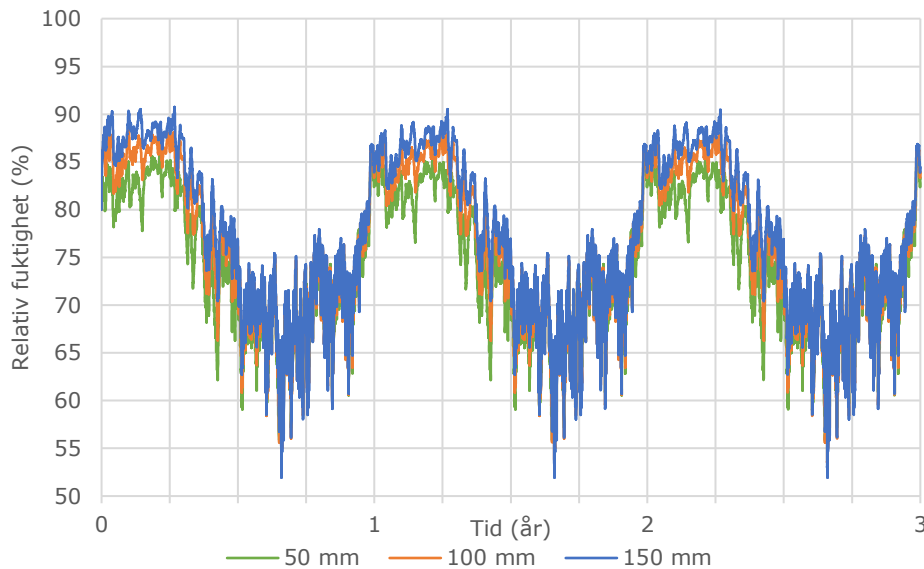
Muggindeksen bak utvendig og opprinnelig vindsperre ser ikke ut til å bli direkte påvirket av kun økt fukttilskudd. Se Vedlegg 6, beregningstilfelle 1.1 og 1.7.



Figur 17 RF bak opprinnelig vindsperre ved ulikt fukttilskudd i inneluften. Målt i mineralullens ytterste element for standard vegg med dampsperr av diffusjonstett bygningspapp  $sd=10m$ . Årets start er 1. oktober.

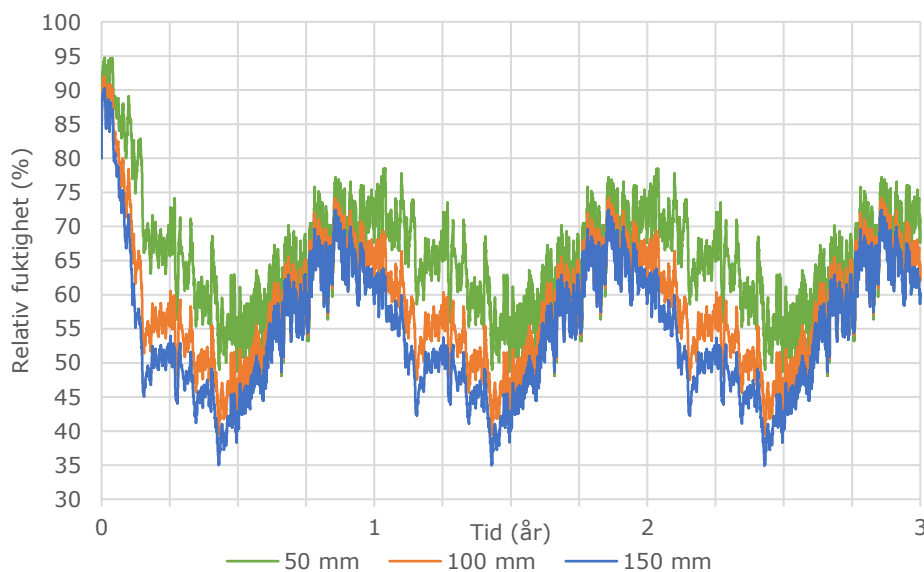
## 5.2.2 Virkning av tilleggsisolasjonens tykkelse

For tilleggsisolasjon på 50 mm, 100 mm og 150 mm, tyder simuleringene på at det bak utvendig vindspærre blir flere kritiske timer og høyere RF jo tykkere tilleggsisolasjonen er. Se Figur 18. For beregningstilfellene der kun tykkelsen på tilleggsisolasjonen varierer, kommer timeantallet bak utvendig vindspærre opp i totalt 3232 timer ved 50 mm, mot 3472 timer ved 100 mm og 3569 timer ved 150 mm ( $\geq 5^{\circ}\text{C}$  og  $80\% \leq \text{RF} < 90\%$ ). Se Vedlegg 5 for beregningstilfelle 1.1, 1.12-1.13 og 1.15-1.18.



Figur 18 RF bak utvendig vindspærre ved ulike tykkelser tilleggsisolasjon. Målt i mineralullens ytterste element i standard vegg. Årets start er 1.oktober.

Bak opprinnelig vindspærre tyder simuleringene på den motsatte effekten som bak utvendig vindspærre. Se Figur 19. Her gir standard vegg med 50 mm tilleggsisolasjon høyest antall kritiske timer (totalt 1056), mens 150 mm gir færrest antall kritiske timer (totalt 423). Se Vedlegg 5 for beregningstilfelle 1.1, 1.12 og 1.13.



Figur 19 RF bak opprinnelig vindspærre ved ulike tykkelser tilleggsisolasjon. Målt i mineralullens ytterste element i standard vegg. Årets start er 1.oktober.

Simuleringene kan videre tyde på at damp- og vindsperrers dampmotstand er av større betydning der det etterisolereres med 50 mm enn ved 150 mm. Ved 50 mm tilleggsisolasjon, dampsperre med  $s_d=20m$ , opprinnelig vindsperre med  $s_d=0,5m$  og utvendig vindsperre med  $s_d=0,2m$ , er det 3268 kritiske timer bak utvendig vindsperre. Dersom de opprinnelige sperresjiktene dampmotstand justeres til  $s_d=70m$  for dampsperre og  $s_d=0,03m$  for opprinnelig vindsperre, reduseres dette timeantallet til 951 kritiske timer. En slik forskjell i dampmotstand har ikke like stor betydning for antall kritiske timer ved 150 mm tilleggsisolasjon. Se Vedlegg 5 for beregningstilfelle 1.15-1.18. Timeantallet ved 150 mm tilleggsisolasjon er likevel preget av høyere RF bak utvendig vindsperre enn ved 50 mm.

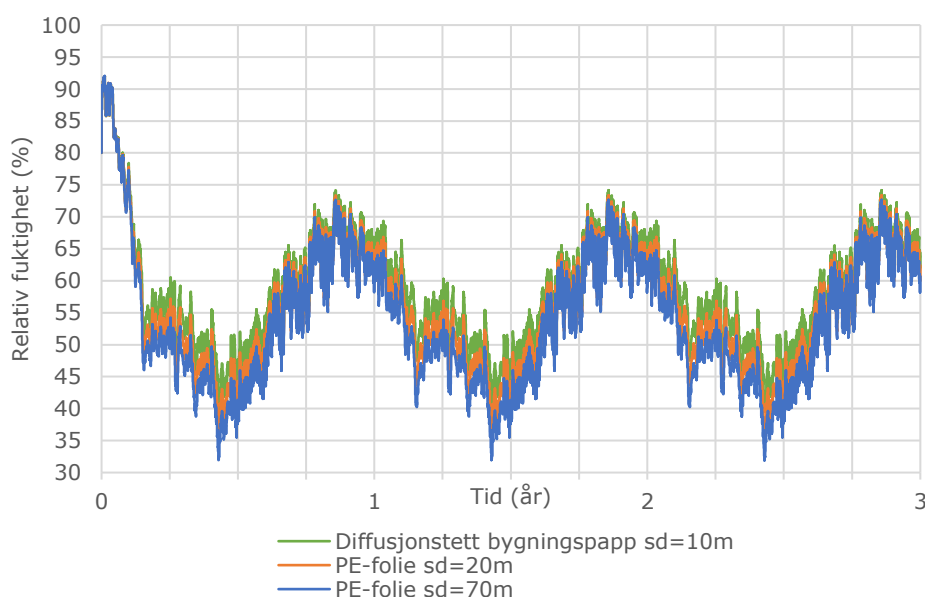
I likhet med antall kritiske timer, ser det ut til at jo tykkere tilleggsisolasjon, jo høyere blir muggvekstindeks bak utvendig vindsperre. Se Vedlegg 6 for beregningstilfelle 1.1, 1.12 og 1.13. Bak opprinnelig vindsperre ser det ut til at jo tykkere tilleggsisolasjon, jo lavere blir muggindeksen.

### 5.2.3 Virkning av type damp- og vindsperre

#### Isolert virkning av opprinnelig dampsperre

For tilfellene der kun dampsperrers dampmotstand varieres mellom  $s_d=10m$ ,  $s_d=20m$  og  $s_d=70m$ , tyder simuleringene på at gjennomsnittlig antall kritiske timer er 3437 bak utvendig vindsperre ( $\geq 5^\circ C$  og  $80\% \leq RF < 90\%$ ). Variasjon i kun dampsperrers dampmotstand gir liten forskjell fra dette gjennomsnittet. Se Vedlegg 5 for beregningstilfelle 1.1, 1.8 og 1.9. Videre har variasjon i kun dampsperrers dampmotstand liten innvirkning på antall kritiske timer bak opprinnelig vindsperre. Gjennomsnittlig antall kritiske timer er her 560 timer, fordelt mellom kriteriene  $\geq 5^\circ C$  og  $80\% \leq RF < 90\%$  samt  $\geq 5^\circ C$  og  $90\% \leq RF < 95\%$  i starten av beregningsperioden. Se Figur 20.

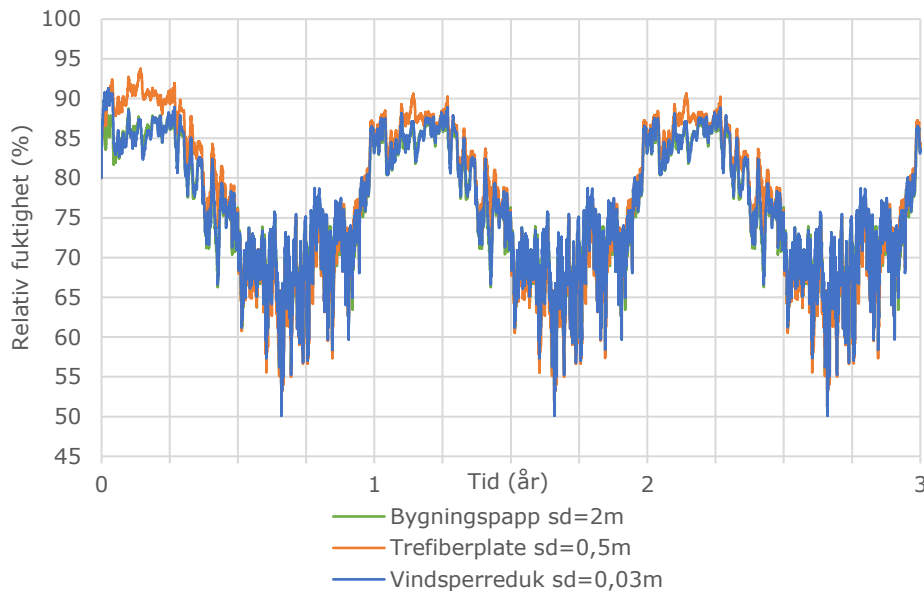
Kun variasjon i dampsperrers dampmotstand ser videre ut til å gi liten innvirkning på muggindeksen bak både utvendig og opprinnelig vindsperre. Se Vedlegg 6 for beregningstilfelle 1.1, 1.8 og 1.9.



Figur 20 RF bak opprinnelige vindsperre ved ulik dampsperre. Målt i mineralullens ytterste element i standard vegg. Årets start er 1. oktober.

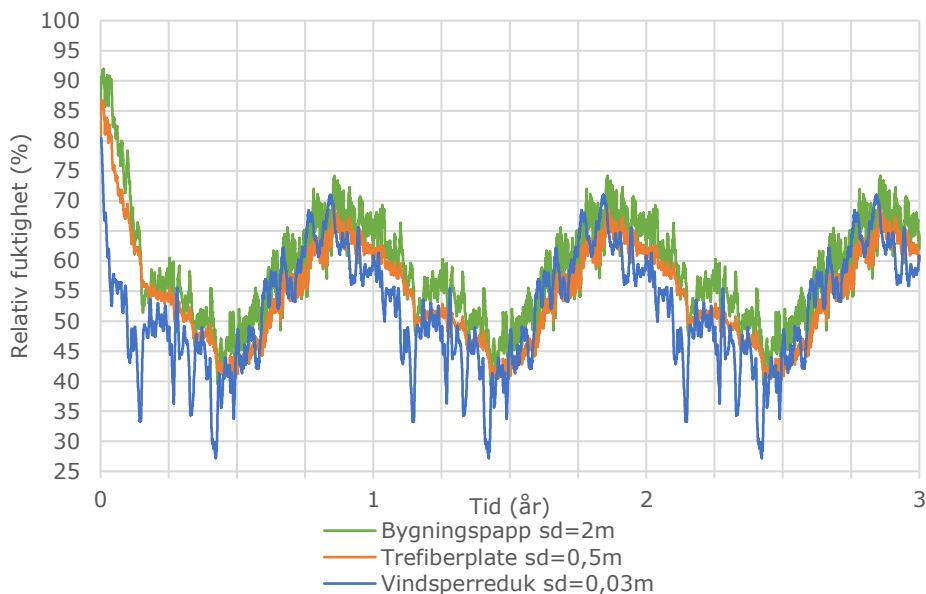
## Isolert virkning av opprinnelig vindsperre

Simuleringene kan tyde på at den opprinnelige vindsperrers dampmotstand har liten betydning for muggvekstforholdene bak utvendig vindsperre. Se Figur 21 og Vedlegg 5 for beregningstilfelle 1.1, 1.10 og 1.11. Standard vegg med opprinnelig vindsperre med  $sd=2m$ , gir totalt 3472 kritiske timer bak utvendig vindsperre ved  $\geq 5^{\circ}C$  og  $80\% \leq RF < 90\%$ , mot 3430 timer hvis opprinnelig vindsperre har  $sd=0,03m$ .



Figur 21 RF bak utvendig vindsperre ved ulike typer opprinnelig vindsperre. Målt i mineralullens ytterste element i standard vegg. Årets start er 1.oktober.

Bak opprinnelig vindsperre har den opprinnelige vindsperreren større betydning enn bak den utvendige vindsperreren, da RF varierer mer med de ulike vindsperrertyperne der. RF er likevel kun over kritisk nivå for muggvekst i starten av beregningsperioden. Se Figur 22. Standard vegg med opprinnelig vindsperre med  $sd=2m$ , gir totalt 290 kritiske timer bak opprinnelig vindsperre ( $\geq 5^{\circ}C$  og  $80\% \leq RF < 95\%$ ), mot 32 timer hvis opprinnelig vindsperre har  $sd=0,03m$  ( $\geq 5^{\circ}C$  og  $80\% \leq RF < 90\%$ ).



Figur 22 RF bak opprinnelig vindsperre ved ulike typer opprinnelig vindsperre. Målt i mineralullens ytterste element i standard vegg. Årets start er 1.oktober.

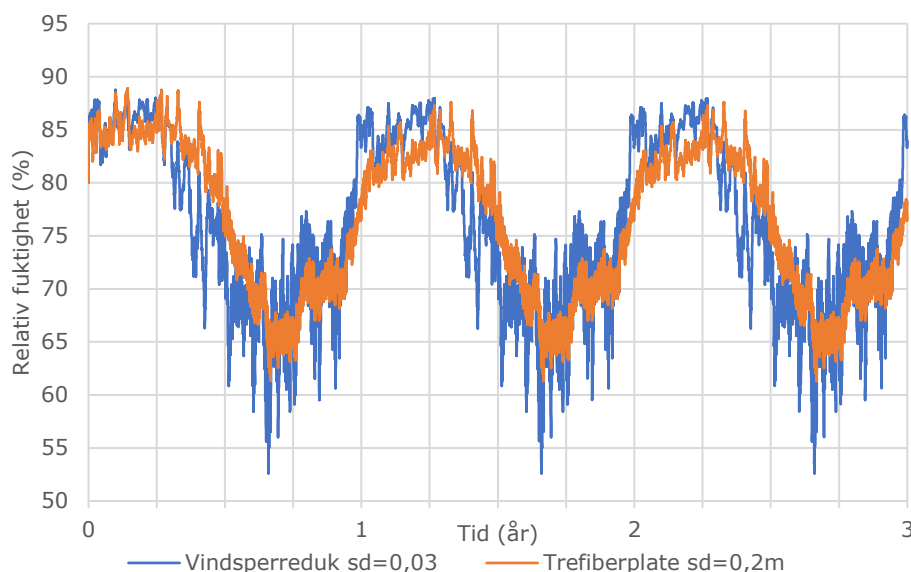
Simuleringene kan tyde på at opprinnelig vindsperre med høy dampmotstand gir høyere muggindeks bak opprinnelig vindsperre, men noe lavere muggindeks bak utvendig vindsperre. Se Vedlegg 6 for beregningstilfelle 1.1, 1.10 og 1.11.

### Isolert virkning av ny utvendig vindsperre

Simuleringene kan tyde på at den utvendige vindsperrrens dampmotstand har liten betydning for muggvekstforholdene bak den opprinnelige vindsperrren. Dette fordi simuleringene kan tyde på liten forskjell i antall kritiske timer og muggindeks bak opprinnelig vindsperre ved ulike typer utvendig vindsperre. Se Vedlegg 5 og Vedlegg 6 for beregningstilfelle 1.1 og 1.14. Videre kommer stort sett ikke RF bak den opprinnelige vindsperrren over kritisk nivå for muggvekst. Unntaket er i starten av beregningsperioden.

Med utvendig vindsperrerduk ( $sd=0,03m$ ), tyder simuleringene på at det blir totalt 3472 kritiske timer bak utvendig vindsperre ved  $\geq 5^{\circ}C$  og  $80\% \leq RF < 90\%$  som maksimal RF. Med utvendig vindsperre av trefiberplate ( $sd=0,2m$ ), blir timeantallet totalt 3204 ved  $\geq 5^{\circ}C$  og  $80\% \leq RF < 90\%$  som maksimal RF. Se Vedlegg 5 for beregningstilfelle 1.1 og 1.14. Om høsten kan RF-nivået bak den utvendige vindsperrren bli noe høyere ved bruk av vindsperrerduk enn ved bruk av trefiberplate. Se Figur 23.

Simuleringene kan tyde på at muggindeksen på innsiden av vindsperrerduken er lavere enn muggindeksen på innsiden av trefiberplaten. Se Vedlegg 6 for beregningstilfelle 1.1 og 1.14.



Figur 23 RF bak utvendig vindsperre ved ulike typer utvendig vindsperre. Målt i mineralullens ytterste element i standard vegg. Årets start er 1.oktober.

### Forhold mellom opprinnelig damp- og vindsperrers dampmotstand

Med dampsperre med  $sd=10m$  i kombinasjon med dampåpen opprinnelig vindsperre ( $sd=0,03m$ ), kan simuleringene tyde på totalt 3383 kritiske timer bak utvendig vindsperre. Bak opprinnelig vindsperre gir disse sperresjiktene totalt 34 kritiske timer. Se Vedlegg 5 for beregningstilfelle 1.19. Videre tyder simuleringene på totalt 2658 kritiske timer bak utvendig vindsperre dersom opprinnelig damp- og vindsperre har dampmotstand henholdsvis  $sd=70m$  og  $sd=2m$ . Denne dampmotstanden på opprinnelige sperresjikt gir totalt 562 kritiske timer bak opprinnelig vindsperre. Se Vedlegg 5 for beregningstilfelle 1.20.

Bak opprinnelig vindsperre tyder simuleringene på at muggindeksen blir minimal dersom forholdet mellom opprinnelig dampsperre og vindsperre er høyt og vindsperreren er dampåpen. Ved lavere forhold mellom dampmotstanden kan muggindeksen øke noe, men ikke over kritisk muggindeks. Se Vedlegg 6 for beregningstilfelle 1.19-1.24.

Simuleringene kan tyde på noe høyere muggindeks bak utvendig vindsperre når opprinnelig vindsperre har  $sd=0,03m$  sammenliknet med  $sd=0,2m$ . Se Vedlegg 6 for beregningstilfelle 1.19-1.24.

## 5.3 Case 2: Etterisolering utenpå ny vindsperre

### 5.3.1 Virkning av byggfukt

Simuleringene tyder på at ekstra byggfukt kan gi økt antall kritiske timer bak den utvendige vindsperreren sammenliknet med der det ikke er simulert med ekstra byggfukt. Se Tabell 9. Der det er simulert med ekstra byggfukt er det totalt 4134 kritiske timer bak utvendig vindsperre, mot 3883 kritiske timer der det er simulert uten ekstra byggfukt. RF-nivået bak den utvendige vindsperreren blir videre høyere ved å ta med ekstra byggfukt i beregningen. Bak innvendig vindsperre kommer stort sett RF ikke over kritisk nivå for noen av beregningstilfellene, med unntak av i starten av beregningsperioden.

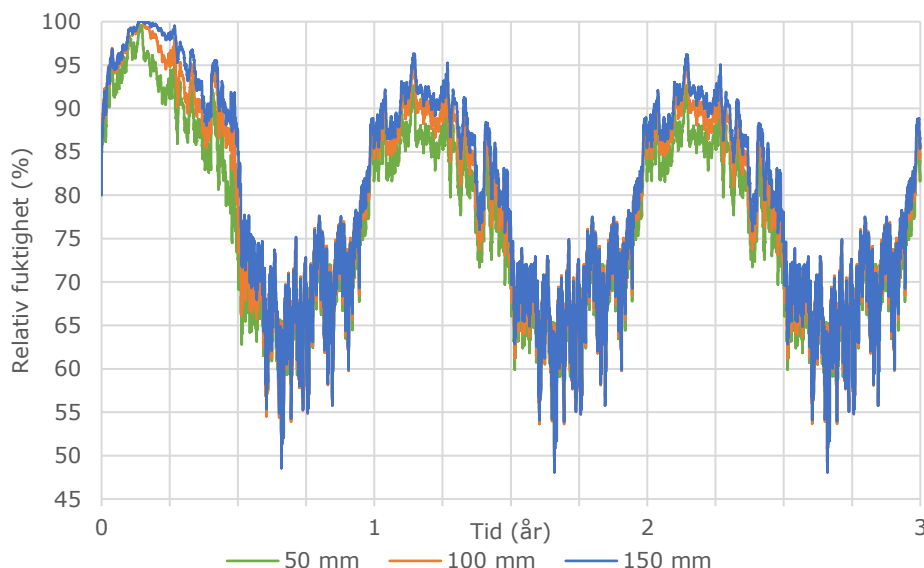
Tabell 9 Antall kritiske timer bak utvendig vindsperre. Med og uten byggfukt i opprinnelig konstruksjon som følge av at opprinnelig vindsperre skiftes ut.

Beregningstilfelle	Kritiske forhold for muggvekst	År 1	År 2	År 3	Sum 3 år
2.1, med ekstra byggfukt	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	587	1335	1332	3254
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	402	5	5	412
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $\text{RF} \geq 95\%$	468	0	0	468
2.2, uten ekstra byggfukt	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	741	1288	1286	3315
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	568	0	0	568

Simuleringene kan tyde på at muggindeksen bak både utvendig og innvendig vindsperre øker noe ved å ta med ekstra byggfukt i beregningene. Se Vedlegg 6 for beregningstilfelle 2.1 og 2.2. Muggindeksen bak den innerste vindsperran er imidlertid svært lav.

### 5.3.2 Virkning av tilleggisolasjonens tykkelse

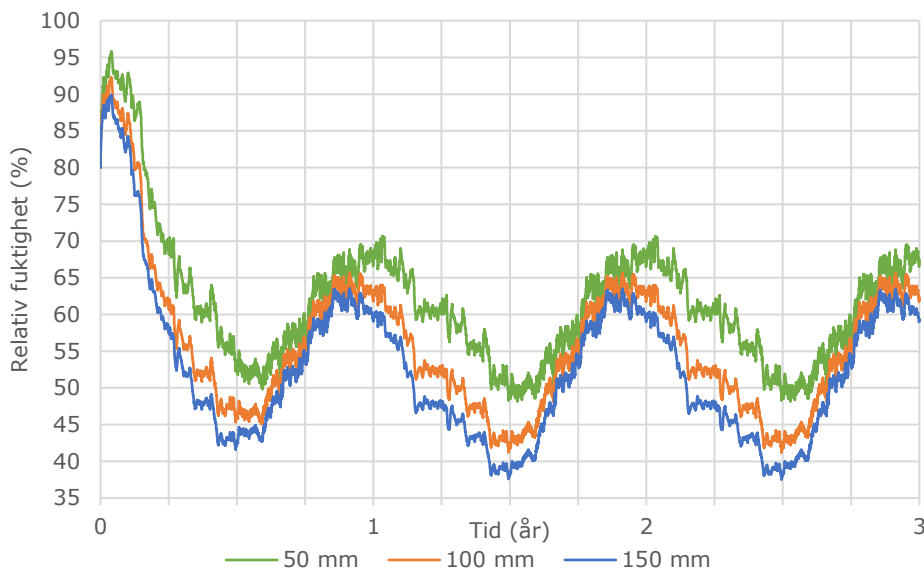
Simuleringene tyder på at tilleggisolasjonstykkelsen 150 mm gir høyere antall kritiske timer og høyere RF-nivå bak den ytterste vindsperran enn 50 mm tilleggisolasjon. Se Vedlegg 5 for beregningstilfellene 2.8-2.11 og Figur 24.



Figur 24 RF bak utvendig vindsperre ved ulik tykkelse tilleggisolasjon. Målt i mineralullens ytterste element. Utvendig vindsperre av asfaltimpregnert porøs trefiberplate ( $s_d=0,2m$ ). Årets start er 1. oktober.

Bak innvendig vindsperre kan simuleringene tyde på at 50 mm tilleggisolasjon gir høyest RF, og at 150 mm gir lavest RF. Se Figur 25.





Figur 25 RF bak innvendig vindsperre ved 50 mm, 100 mm og 150 mm tilleggsisolasjon. Målt i mineralullens ytterste element i standard vegg. Årets start er 1. oktober.

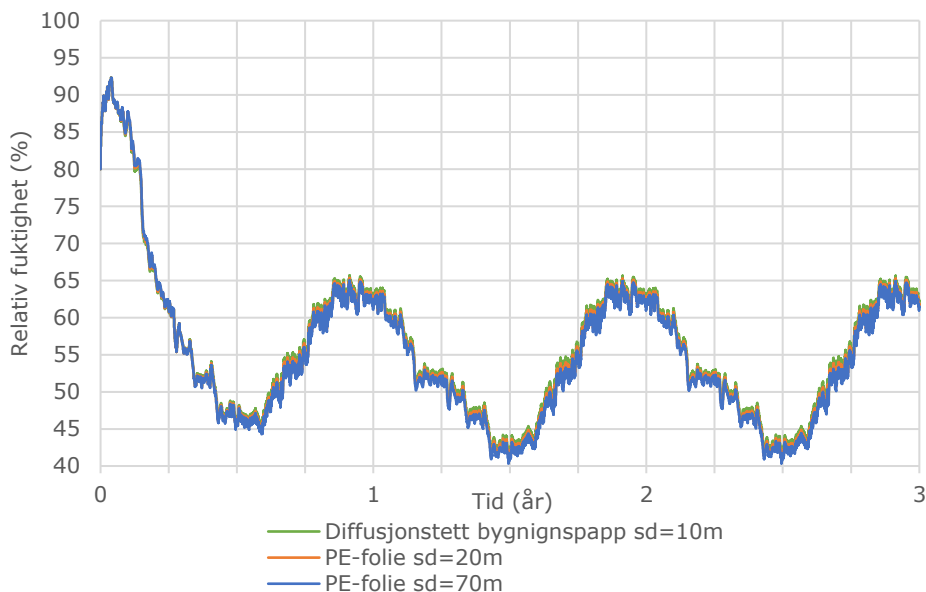
Tilleggsisolasjon på 50 mm ser ut til å gi noe lavere muggindeks bak utvendig vindsperre enn 150 mm tilleggsisolasjon. Bak innvendig vindsperre gir 50 mm tilleggsisolasjon noe høyere muggindeks enn ved 150 mm. Se Vedlegg 6 for beregningstilfelle 2.8-2.11.

### 5.3.3 Virkning av type damp- og vindsperre

#### Isolert virkning av opprinnelig dampsperre

Kun variasjon i dampsperrers dampmotstand ser ut til å gi liten innvirkning i antall kritiske timer bak utvendig og innvendig vindsperre. Se Vedlegg 5 for beregningstilfelle 2.1, 2.12 og 2.13. Heller ikke økt fukttilskudd i inneluften ser ut til å øke antall kritiske timer betydelig. Se for beregningstilfelle 2.14. Med varierende dampmotstand på dampsperreren er totalt antall kritiske timer gjennomsnittlig 4130 bak utvendig vindsperre. Med økt fukttilskudd i inneluften og  $s_d=10\text{m}$  for dampsperreren øker timeantallet med omtrent 100 timer fra dette gjennomsnittet. Videre kan simuleringene tyde på at totalt antall kritiske timer bak den innvendige vindsperren er 1259 timer, som forekommer i begynnelsen av beregningsperioden. Se Figur 26.

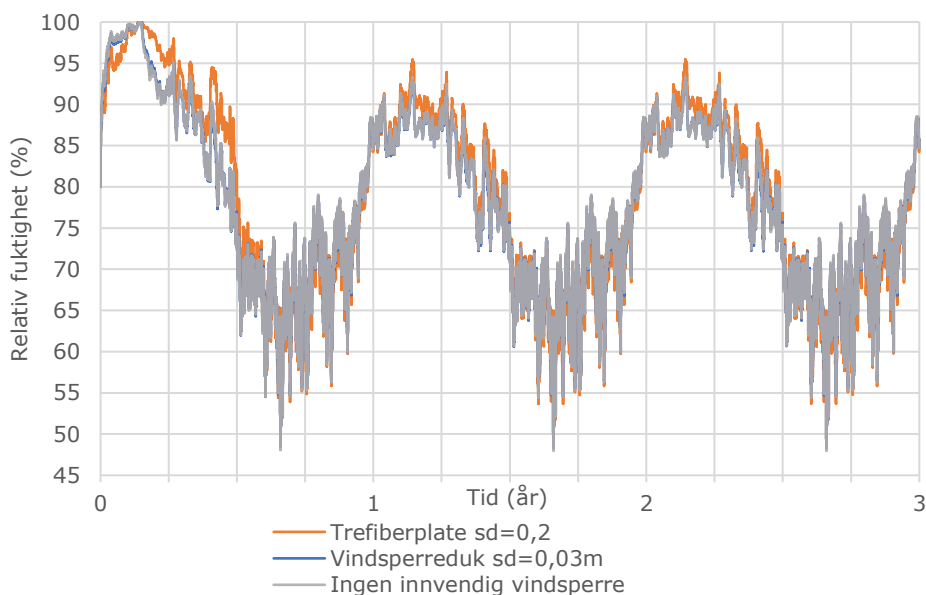
Simuleringene kan tyde på at muggindeksen bak både utvendig og innvendig vindsperre ikke varierer med varierende dampmotstand for dampsperreren og fukttilskudd i inneluften. Se Vedlegg 6 for beregningstilfellene 2.1, 2.12-2.14.



Figur 26 RF bak innvendig vindsperre ved ulike typer dampsperrer. Målt i mineralullens ytterste element for standard vegg. Årets start er 1. oktober.

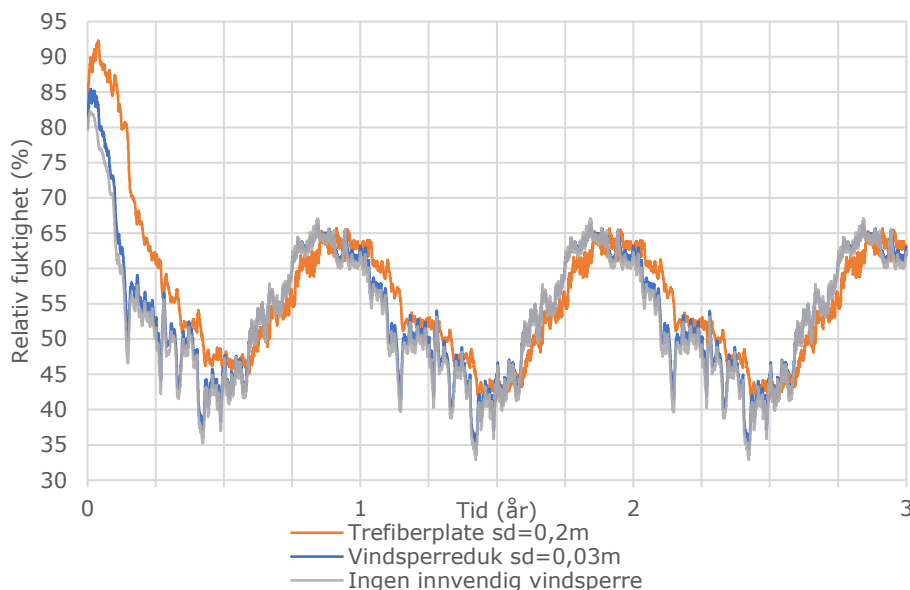
### Isolert virkning av ny innvendig vindsperre

Bak den utvendige vindsperreren tyder simuleringene på at valg av innvendig vindsperre er av liten betydning. Dette fordi RF-nivået varierer lite med vindsperretype. Se Figur 27. For både tilfellet med innvendig vindsperre med  $sd=0,2m$ ,  $sd=0,03m$  og der det ikke er noen ny innvendig vindsperre, ligger antall kritiske timer bak den utvendige vindsperreren på totalt 4100-4200 timer. Se Vedlegg 5 for beregningstilfellene 2.1, 2.3 og 2.4. Muggindeksen bak den utvendige vindsperreren ser videre ut til å bli lite påvirket av den innvendige vindsperreren. Se Vedlegg 6 for beregningstilfelle 2.1, 2.3 og 2.4.



Figur 27 RF bak utvendig vindsperre med ulike type innvendig vindsperre. Målt i mineralullens ytterste element i standard vegg. Årets start er 1.oktober.

Simuleringene kan tyde på at ulik innvendig vindspærre kan gi noe varierende RF bak den innvendige vindspærren. Se Figur 28. RF er likevel stort sett under kritisk nivå for muggvekst, med unntak av i starten av beregningsperioden, der simuleringene kan tyde på totalt 1201 kritiske timer ved bruk av vindspærre med  $sd=2m$ . Ved bruk av innvendig vindspærre med  $sd=0,03m$  eller ingen ny innvendig vindspærre kan simuleringene tyde på henholdsvis 407 kritiske timer og 270 kritiske timer. Se Vedlegg 5 for beregningstilfelle 2.1, 2.3 og 2.4. Videre tyder simuleringene på at muggindeksen bak innvendig vindspærre er 0 der det ikke monteres ny vindspærre og der den nye vindspærren har  $sd=0,03m$ . Med vindspærre med  $sd=0,2m$  blir denne muggindeksen tilnærmet null. Se Vedlegg 6 for beregningstilfelle 2.1, 2.3 og 2.4.



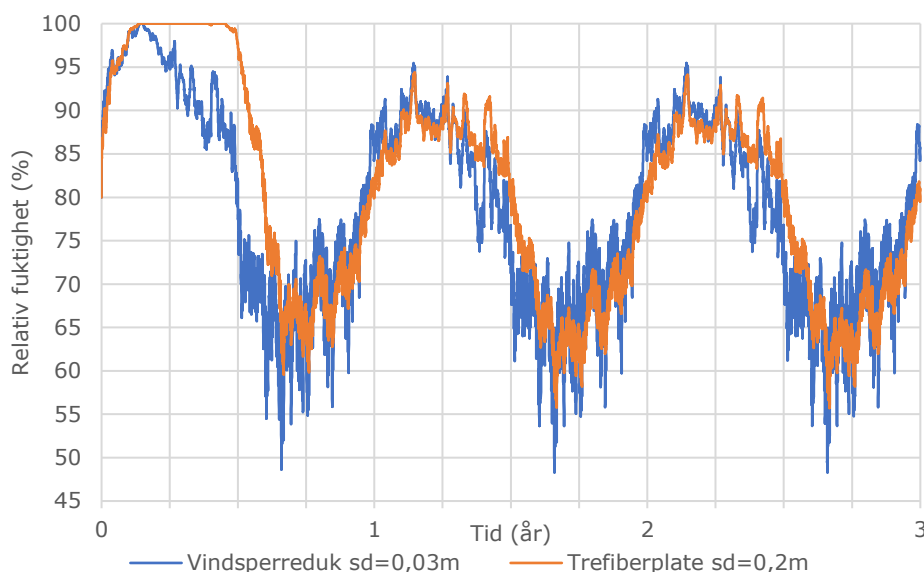
Figur 28 RF bak innvendig vindspærre med ulike typer innvendig vindspærre. Målt i mineralullens ytterste element i standard vegg. Årets start er 1.oktober.

### Isolert virkning av ny utvendig vindspærre

Simuleringene kan tyde på at den utvendige vindspærren har liten betydning for muggvekstforholdene bak den innerste vindspærren, da RF stort sett er under kritisk nivå for muggvekst. Unntaket er i starten av beregningsperioden. Muggindeksen bak den innerste vindspærren ser videre ut til å bli lite påvirket av den utvendige vindspærren. Se Vedlegg 6 for beregningstilfelle 2.1 og 2.5.

Bak den utvendige vindspærren kan simuleringene tyde på gunstige vekstforhold for mugg ved bruk av begge de to vindspærretypene. Se Figur 29. Om vinteren kommer RF over kritiske nivå for muggvekst ved bruk av begge vindspærrene. I starten av beregningsperioden kan videre simuleringene tyde på at bruk av asfaltimpregnert porøs trefiberplate ( $sd=0,2m$ ) kan gi høyere RF bak den utvendige vindspærren enn ved bruk av vindspærreduk ( $sd=0,03m$ ).

Ved bruk av asfaltimpregnert porøs trefiberplate ( $sd=0,2m$ ) som utvendig vindspærre, kan simuleringene tyde på totalt 4670 kritiske timer bak utvendig vindspærre. 906 av disse kritiske timene er ved  $\geq 5^{\circ}C$  og  $RF \geq 95\%$  som maksimal RF. Med vindspærreduk ( $sd=0,03m$ ) kan simuleringene tyde på totalt 4132 kritiske timer, hvorav 468 kritiske timer er med  $\geq 5^{\circ}C$  og  $RF \geq 95\%$  som maksimal RF. Se Vedlegg 5 for beregningstilfelle 2.1 og 2.5.



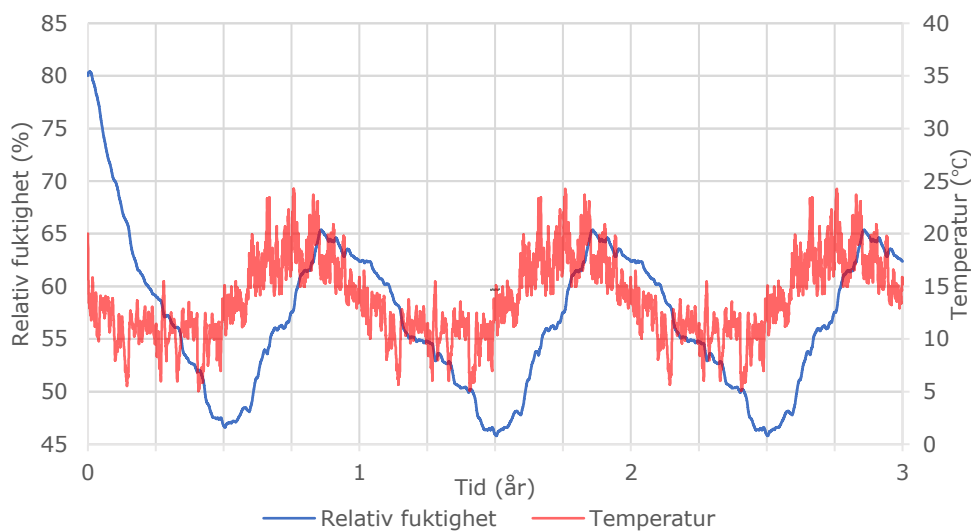
Figur 29 RF bak utvendig vindsperre ved ulik type utvendig vindsperre. Målt i mineralullens ytterste element i standard vegg. Årets start er 1.oktober.

Av simuleringene kan det se ut til at muggindeksen bak den utvendige vindsperren øker med økende dampmotstand for vindsperren. Se Vedlegg 6 for beregningstilfelle 2.1 og 2.5. Muggindeksen øker imidlertid aller mest på vindsperrens innerste element. Med vindsperreduk ( $sd=0,03m$ ) er muggindeksen på innsiden av duken 0,07. Dersom det benyttes asfaltimpregnert porøs trefiberplate ( $sd=0,2m$ ), blir muggindeksen på innsiden av platen 6. Simuleringene tyder på tilsvarende høy muggindeks i vindsperrens innerste element i alle beregningstilfeller der det er benyttet trefiberplate som utvendig vindsperre. Se Vedlegg 6 for beregningstilfelle 2.5-2.7.

## 5.4 Case 3: Etterisolering utenpå opprinnelig ytterkledning

### 5.4.1 Virkning av kledning og luftespalte i veggsjikt

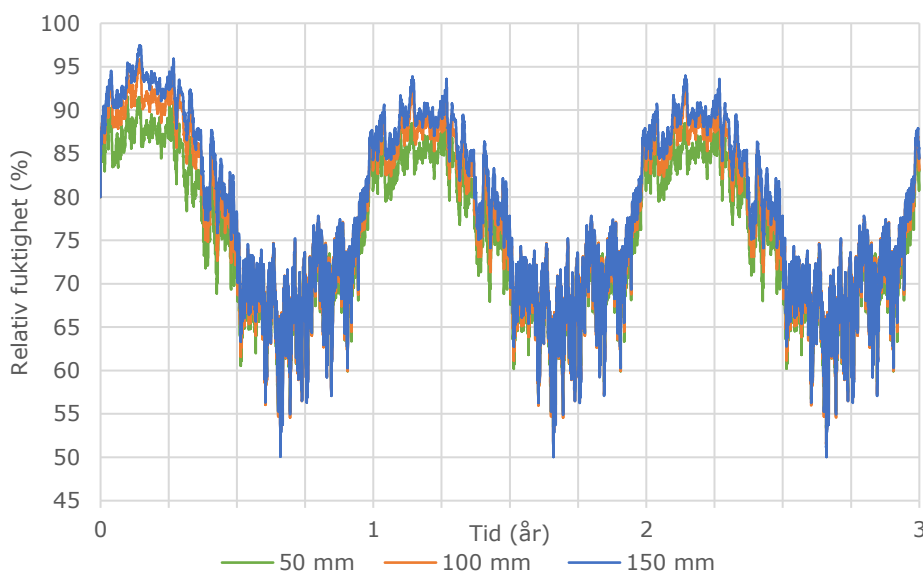
Simuleringene kan tyde på at det i den opprinnelig ytterklednings innerste element kan bli totalt 129 kritiske timer i standard vegg ved etterisolering rett utenpå opprinnelig kledning. I kledningen forekommer det kun kritiske timer der temperatur  $\geq 5^{\circ}C$  og  $80\% \leq RF \leq 90\%$ . Videre kan simuleringene tyde på at det kun forekommer gunstige forhold for muggvekst det første året av beregningsperioden. Ellers er RF på innsiden av opprinnelig kledning under kritisk nivå for muggvekst. Se Figur 30.



Figur 30 RF og temperatur i den opprinnelige kledningens innerste element. Standard vegg. Årets start er 1. oktober.

#### 5.4.2 Virkning av tilleggisolasjonens tykkelse

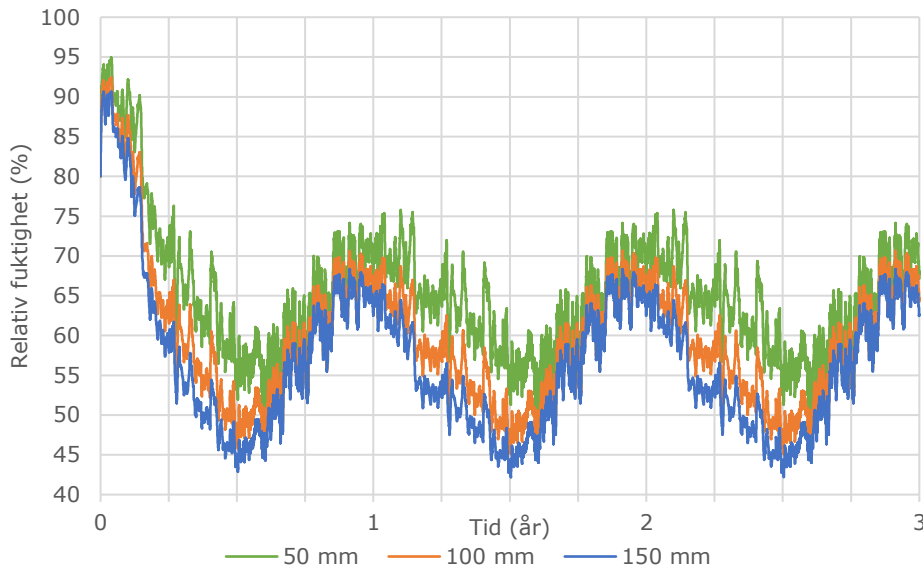
Bak utvendig vindspærre kan simuleringene tyde på at 150 mm tilleggisolasjon på standard vegg gir totalt 3751 kritiske timer. Dette er flere kritiske timer enn ved 100 mm tilleggisolasjon (totalt 3718 timer) og 50 mm tilleggisolasjon (totalt 3537 timer). Se Vedlegg 5 for beregningstilfelle 3.1, 3.6 og 3.7 og Figur 31. Videre kan simuleringene tyde på at det med 150 mm tilleggisolasjon blir 682 kritiske timer der  $RF \geq 90\%$ , mot 267 timer ved 100 mm og 0 timer ved 50 mm.



Figur 31 RF bak utvendig vindspærre ved ulike tykkelser tilleggisolasjon. Målt i mineralullens ytterste element i standard vegg. Årets start er 1.oktober.

Bak den opprinnelige vindspærren kan simuleringene tyde på at 50 mm tilleggisolasjon gir høyest RF. Se Figur 32. RF er her over kritisk nivå for muggvekst kun i starten av

beregningsperioden. Antall kritiske timer bak opprinnelig vindsperre for de ulike isolasjonstykkelsene er gjennomsnittlig 1160 timer.

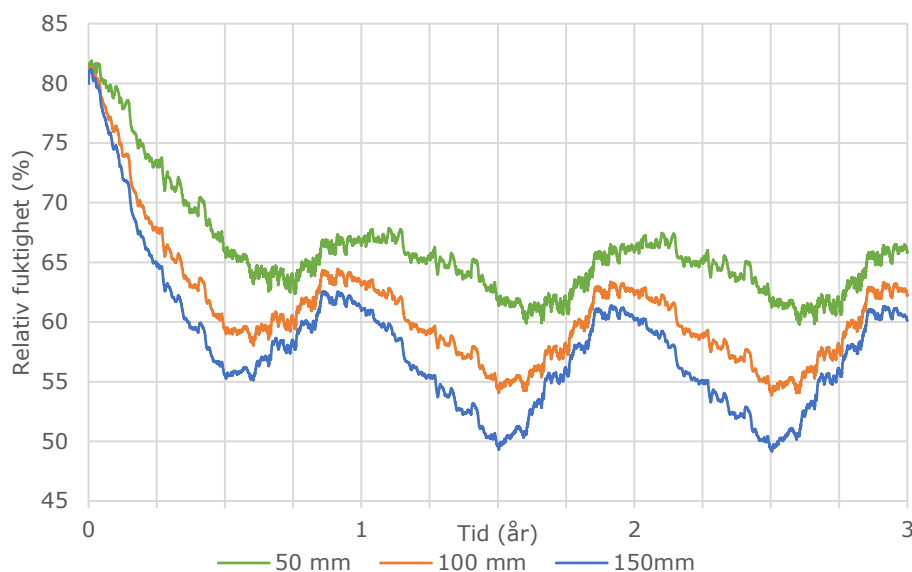


Figur 32 RF bak opprinnelig vindsperre ved ulike tykkelser tilleggisolasjon. Målt i mineralullens ytterste element i standard vegg. Årets start er 1.oktober.

Dersom den opprinnelige vindsperreren er noe mer dampåpen, og den utvendige vindsperreren noe mer damptett enn standard vegg, tyder simuleringene på totalt 4444 kritiske timer bak utvendig vindsperre. 247 timer av disse er ved  $RF \geq 95\%$ . Ved 100 mm tilleggisolasjon tyder simuleringene på totalt 4288 kritiske timer, mot 3688 ved 50 mm tilleggisolasjon. Se Vedlegg 5 for beregningstilfelle 3.9, 3.10 og 3.12.

Med økende isolasjonstykkelse kan simuleringene tyde på noe økt muggindeks bak utvendig vindsperre. Se Vedlegg 6 for beregningstilfelle 3.1, 3.6 og 3.7. Muggindeksen bak opprinnelig vindsperre ser ut til å bli lite påvirket av isolasjonstykkelsen.

På innsiden av opprinnelig kledning kan simuleringene tyde på at RF-nivået ikke blir kritisk for muggvekst. Unntaket er i starten av beregningsperioden, der simuleringene kan tyde på totalt 554 kritiske timer dersom opprinnelig vindsperre har  $s_d=0,5m$  og det etterisoleres med 50 mm isolasjon. Se Figur 33. Muggindeksen på innsiden av den opprinnelige kledningen ser videre ikke ut til å bli påvirket av tilleggisolasjonens tykkelse. Se Vedlegg 6 for beregningstilfelle 3.9, 3.10 og 3.12.



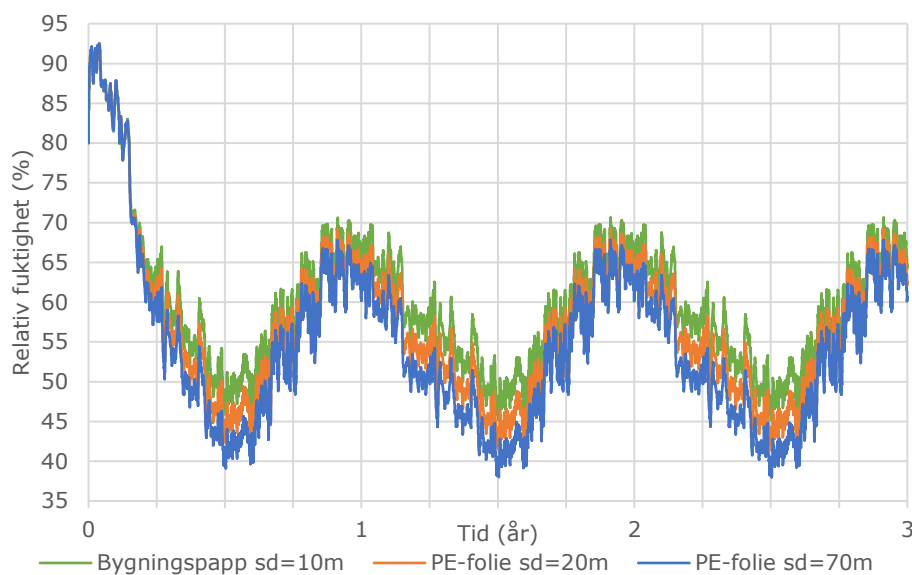
Figur 33 RF innerste element opprinnelig kledning etter etterisolering er med ulike tykkelser. Opprinnelig vindsperre trefiberplate  $sd=0,5m$ , utvendig vindsperre trefiberplate  $sd=0,2m$ .

### 5.4.3 Virkning av type damp- og vindsperre

#### Isolert virkning av opprinnelig dampsperre

Simuleringene kan tyde på at dampsperreren har liten innvirkning på antall kritiske timer bak både utvendig og opprinnelig vindsperre. Se Vedlegg 5 for beregningstilfelle 3.1-3.4. Bak utvendig vindsperre kan simuleringene tyde på gjennomsnittlig totalt 3678 kritiske timer ved bruk av ulike dampsperrere, der omtrent 270 timer er ved  $90\% \leq RF < 95\%$ . Bak opprinnelig vindsperre tyder simuleringene på gjennomsnittlig totalt 1240 kritiske timer ved de ulike dampsperrere, der omtrent 270 timer er ved  $90\% \leq RF < 95\%$ . Bak opprinnelig vindsperre forekommer kritiske timer kun det første året av simuleringen for alle dampsperrertypene. Se Figur 34. Dersom fukttilskuddet settes til høyt, kan simuleringene tyde på at antall kritiske timer forblir nokså uendret bak utvendig vindsperre, men øker med omtrent 100 timer bak opprinnelig vindsperre.

Dampsperrers dampmotstand ser ikke ut til å påvirke muggindeksen bak utvendig eller opprinnelig vindsperre. Simuleringene kan videre tyde på at høyt fukttilskudd heller ikke påvirker muggindeksen bak vindsperrere betydelig. Se Vedlegg 6 for beregningstilfelle 3.1-3.4.

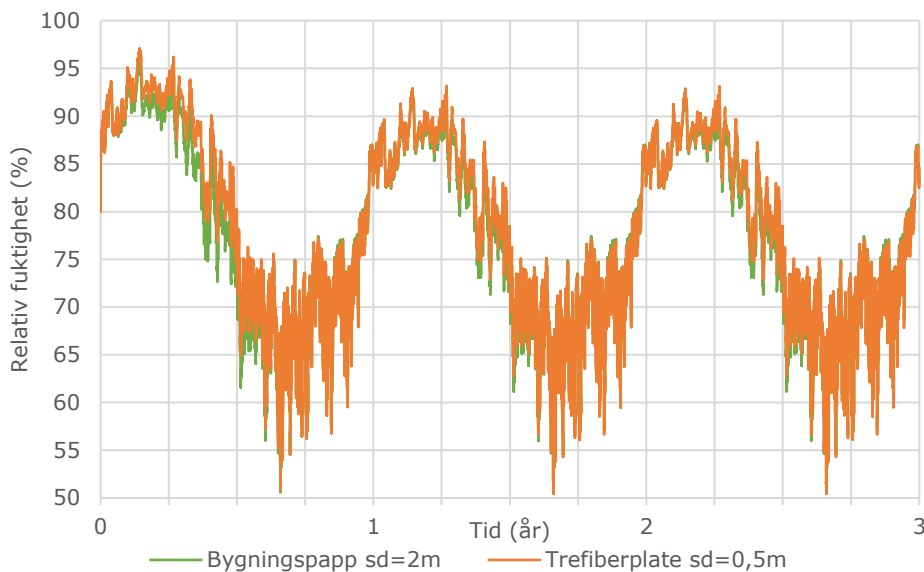


Figur 34 RF bak opprinnelig vindsperre ved ulike typer dampsperre. Målt i mineralullens ytterste element i standard vegg. Årets start er 1.oktober.

### Isolert virkning av opprinnelig vindsperre

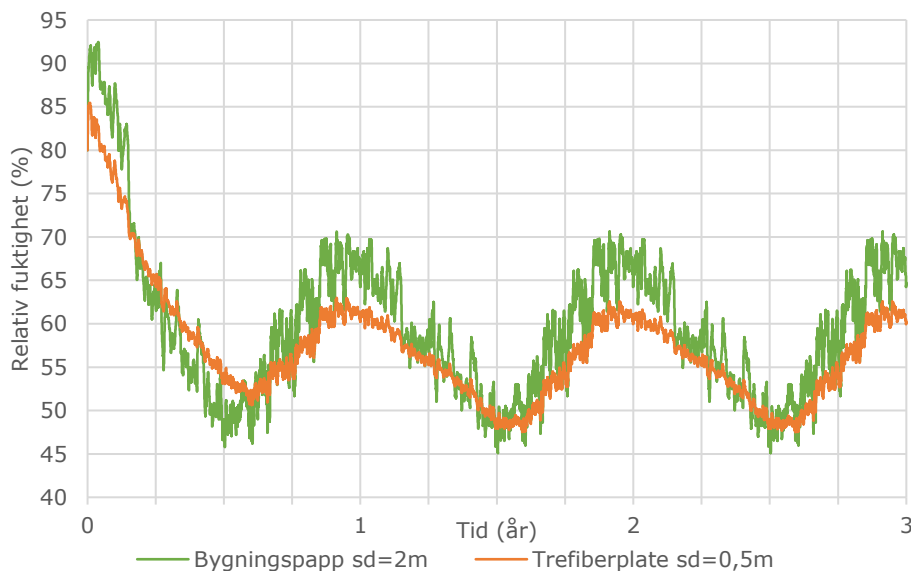
Simuleringene kan tyde på at impregnert forholdningspapp (sd=2m) og asfaltimpregnert porøs trefiberplate (sd=0,5m) som opprinnelig vindsperre gir like mange kritiske timer bak utvendig vindsperre (totalt 3220 timer). Se Vedlegg 5 for beregningstilfelle 3.1 og 3.5. Andelen kritiske timer med  $\geq 5^{\circ}\text{C}$  og  $90\% \leq \text{RF} < 95\%$  bak utvendig vindsperre er imidlertid størst der det benyttes innvendig vindsperre med sd=0,5m (433 timer), mot der det benyttes sd=2m (267 timer). RF bak den utvendige vindspærren ser videre ut til å bli lite påvirket av den innvendige vindspærren. Se Figur 35. Videre ser muggindeksen bak utvendig vindsperre ikke ut til å bli påvirket av den opprinnelige vindspærren. Se Vedlegg 6 for beregningstilfelle 3.1 og 3.5.





Figur 35 RF bak utvendig vindsperre ved ulike type innvendig vindsperre. Målt i mineralullens ytterste element i standard vegg. Årets start er 1. oktober.

Bak opprinnelig vindsperre kan simuleringene tyde på totalt 1242 kritiske timer dersom innvendig vindsperre har  $sd=2m$ . Dersom det benyttes vindsperre med  $sd=0,5m$  tyder simuleringene på totalt 532 kritiske timer bak opprinnelig vindsperre. Se Vedlegg 5 for beregningstilfelle 3.1 og 3.5 og se Figur 36. RF kommer kun over kritisk nivå den første tiden i beregningsperioden, og for vindsperre med  $sd=0,5m$  kommer ikke RF over 90%. Simuleringene kan videre tyde på at muggindeksen bak opprinnelig vindsperre med  $sd=0,5m$  blir lavere enn ved å benytte vindsperre med  $sd=2m$ . Se Vedlegg 6 for beregningstilfelle 3.1 og 3.5.

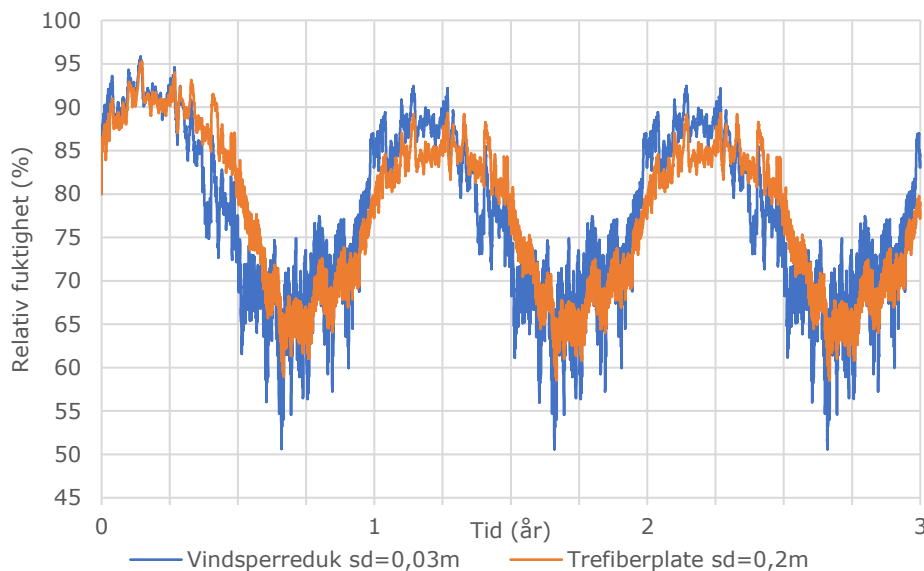


Figur 36 RF bak opprinnelig vindsperre ved ulike typer opprinnelig vindsperre. Målt i mineralullens ytterste element i standard vegg. Årets start er 1. oktober.

### Isolert virkning av ny utvendig vindsperre

Simuleringene kan tyde på at den utvendige vindsperrer har liten betydning for muggvekstforholdene bak den opprinnelige vindsperreren. Ved bruk av både vindsperreduk (sd=0,03m) og asfaltimpregnert porøs trefiberplate (sd=0,2m) tyder simuleringene på totalt omtrent 1230 kritiske timer bak opprinnelig vindsperre, der alle timene foregår i begynnelsen av beregningsperioden. Se Vedlegg 5 for beregningstilfelle 3.1 og 3.8. Videre kan simuleringene tyde på at muggindeksen bak opprinnelig vindsperre ikke påvirkes av den utvendige vindsperreren. Se Vedlegg 6 for beregningstilfelle 3.1 og 3.8.

Bak utvendig vindsperre kan simuleringene tyde på at det blir gunstige vekstforhold for mugg hvert år i oktober-mars for begge de to vindsperrere typene. Se Figur 37. Ved bruk av vindsperreduk (sd=0,03m) som utvendig vindsperre kan simuleringene tyde på totalt 3718 kritiske timer bak den utvendige vindsperreren, hvorav 267 timer er ved  $\geq 5^{\circ}\text{C}$  og  $90\% \leq \text{RF} < 95\%$  som maksimal RF. Dersom det benyttes asfaltimpregnert porøs trefiberplate (sd=0,2m) tyder simuleringene på totalt 3523 kritiske timer, hvorav 109 er ved  $\geq 5^{\circ}\text{C}$  og  $90\% \leq \text{RF} < 95\%$  som maksimal RF. Se Vedlegg 5 for beregningstilfelle 3.1 og 3.8.



Figur 37 RF bak utvendig vindsperre ved ulike typer utvendig vindsperre. Målt i mineralullens ytterste element i standard vegg. Årets start er 1. oktober.

Simuleringene kan tyde på at muggindeksen i vindsperrers innerste element blir høyere for trefiberplaten enn for vindsperreduken. Muggindeksen blir henholdsvis 0,35 på innsiden av trefiberplaten mot 0,01 på innsiden av vindsperreduken. I mineralullens ytterste element kan simuleringene videre tyde på mindre forskjeller mellom de to vindsperrere typene, men vindsperreduken kan se ut til å gi noe høyere muggindeks i mineralullens ytterste element enn trefiberplaten. Se Vedlegg 6 for beregningstilfelle 3.1 og 3.8.

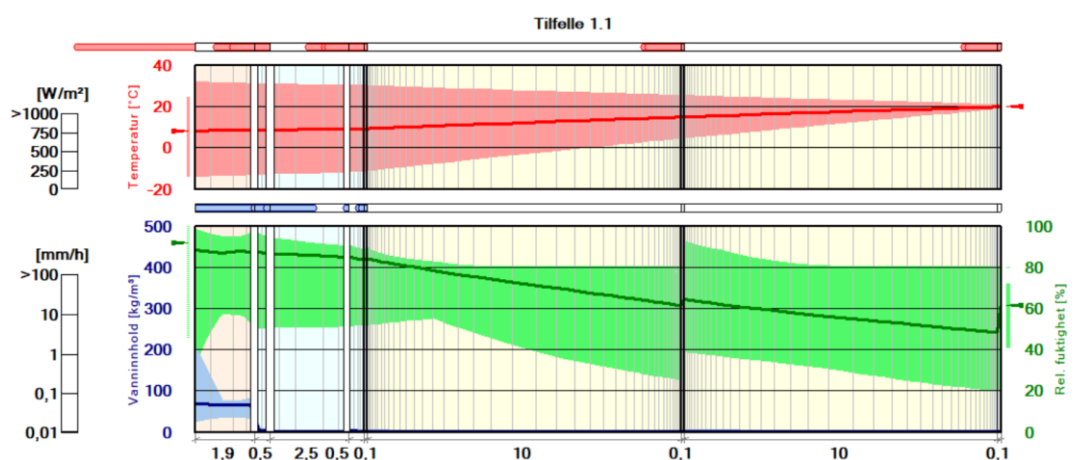
## 5.5 Generelle fuktforhold

For alle beregningstilfeller i case 1 tyder simuleringene på at muggindeksen bak vindsperrere blir størst der treverk er valgt som materiale rett bak vindsperreren. Videre tyder resultatene på at muggindeksen på innsiden av vindsperreresjikt av trefiberplate blir høyere enn muggindeksen på innsiden av en vindsperreduk. Se Vedlegg 6.

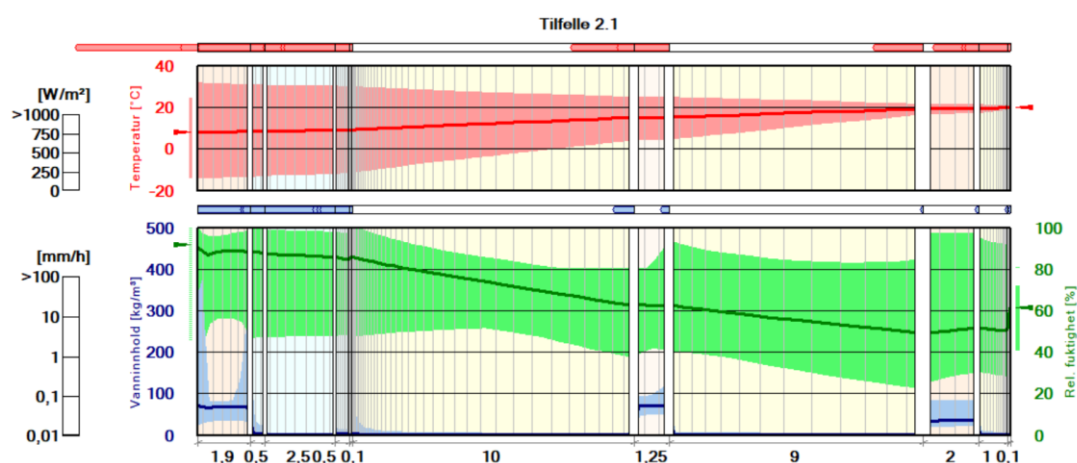
Utsnittene i Figur 38, Figur 39 og Figur 40 er hentet fra WUFI Animasjon 1D ved beregningsperiodens slutt etter 3 år. Grønn, blå og rød linje indikerer henholdsvis RF, vanninnhold og temperatur gjennom vegg på det angitte tidspunktet. Det markerte området indikerer intervallet på nivå der RF, vanninnhold og temperatur har vært i løpet av beregningsperioden.

Simuleringene kan tyde på at vindsperre av trefiberplate og den utvendige kledningen kan få høyere vanninnhold enn ellers i vegg. Videre kan filmfremvisningen tyde på at RF og vanninnhold typisk blir størst bak de mest damptette vindsperresjiktene, som også kan se ut til å gi de høyeste damptrykkfallene i veggssnittet.

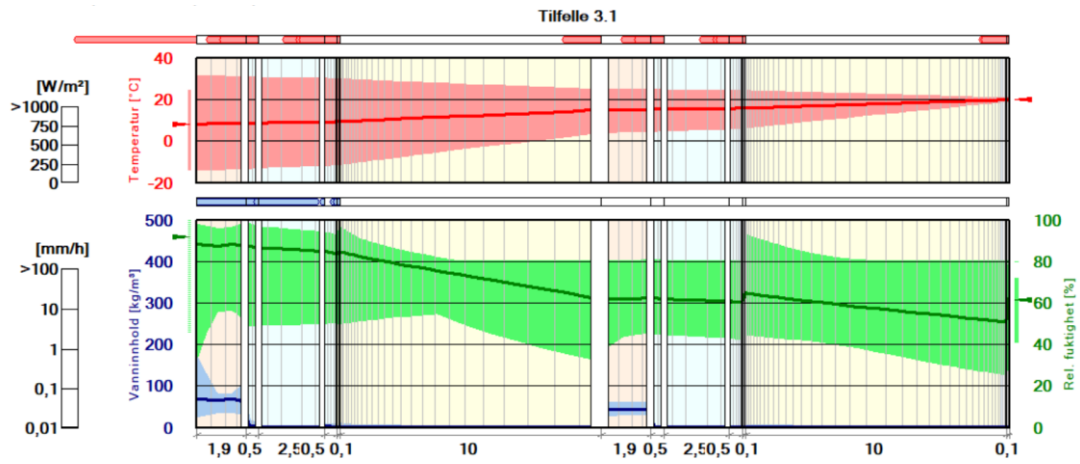
Filmfremvisningene kan tyde på at RF bak opprinnelig og ny innvendig vindsperre i standard vegg generelt er lavest om våren og høyest om høsten. Bak ny utvendig vindsperre kan filmfremvisningene tyde på at RF generelt er høyest om høsten og vinteren, og lavest tidlig på sommeren. Videre kan simuleringene tyde på at RF i vegg generelt er høyest i begynnelsen av beregningsperioden.



Figur 38 Fukt- og temperaturforhold i veggssnitt for standard vegg, case 1. Ved beregningsperiodens slutt.



Figur 39 Fukt- og temperaturforhold i veggssnitt for standard vegg, case 2. Ved beregningsperiodens slutt.



Figur 40 Fukt- og temperaturforhold i veggskjenn for standard vegg, case 3. Ved beregningsperiodens slutt.

## 6 DISKUSJON

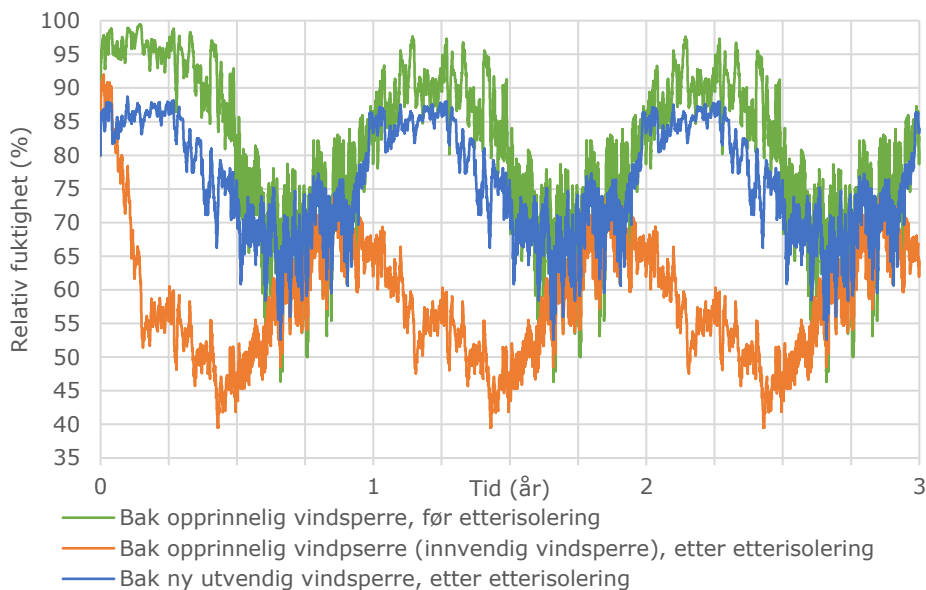
---

Heretter benyttes begrepene innvendig og utvendig vindspærre om de to vindspærresjiktene i veggen. Med innvendig vindspærre menes den vindspærren som etter gjennomført etterisolering ligger inne i veggsjiktet. Der det etterisoleres utenpå opprinnelig vindspærre, omtales også den opprinnelige vindspærren som innvendig vindspærre. Den utvendige vindspærren er den nye vindspærren som monteres utenpå tilleggsisolasjonen.

### 6.1 Betydning av tilleggsisolasjonens tykkelse

Resultatene fra samtlige case tyder på at tykkere tilleggsisolasjon gir flere timer med gunstige forhold for muggvekst bak utvendig vindspærre. Muggindeksen bak den utvendige vindspærren kan tyde på å øke med økende isolasjonstykkelse. Dette kan komme av at økt isolasjonstykkelse medfører lavere temperatur og dermed høyere RF ytterst i veggen som følge av mindre varmegjennomgang fra varm side. I og med at muggvekstvilkårene blir mer gunstige jo tykkere isolasjonstykkelsen er, kan det se ut til at økt RF har større betydning for muggvekstforholdene ytterst i veggen enn redusert temperatur. Dette støtter funnene til Geving og Holme (2010). Økt tykkelse på tilleggsisolasjonen kan videre gi lengre uttørkingstid for byggfukt, noe som kan gi gunstige vilkår for muggvekst. Videre bidrar høye nivåer av byggfukt til mer gunstige forhold for muggvekst. Dette kan bekreftes i resultatene da antall kritiske timer øker som følge av byggfukt. RF-nivået i veggen øker også når fuktinnholdet er høyt. Dette kan bygge opp under funnene til Geving og Holme (2010) om at de negative konsekvensene av byggfukt veier tyngre enn konsekvensene av kaldere ytre del av konstruksjonen ved store isolasjonstykkelser.

Selv om risikoen for muggvekst bak den utvendige vindspærren øker med økende tykkelse på tilleggsisolasjonen, trenger ikke risikoen for muggvekst være uakseptabel. Som det kommer frem av resultatene, er muggindeksen bak den utvendige vindspærren godt under 1 selv med den tykkeste tilleggsisolasjonen på 150 mm. Dette indikerer små mengder muggvekst. Videre kan resultatene tyde på at vilkårene for muggvekst blir noe mindre gunstige bak den utvendige vindspærren ved etterisolering, da RF-nivået reduseres ved å etterisolere. Se Figur 41.



Figur 41 RF bak opprinnelig vindsperre, før og etter etterisolering, samt RF bak ny utvendig vindsperre. Her representert ved case 1. Målt i mineralullens ytterste element. RF-nivået i vegg er generelt lavere etter gjennomført etterisolering.

Resultatene tyder på at antall kritiske timer og muggindeks bak innvendig vindsperre reduseres med økende tykkelse på tilleggsisolasjonen. Det samme gjelder på insiden av opprinnelig kledning i case 3. Dette er som forventet, og kommer av at temperaturen ved den innvendige vindsperrer og opprinnelige kledningen øker ved etterisolering og blir høyere jo tykkere tilleggsisolasjonen er. Dermed reduseres RF, noe som reduserer risikoen for muggvekst. Videre tyder resultatene på at RF bak innvendig vindsperre og opprinnelig ytterkledning stort sett holdes under kritisk nivå for muggvekst, noe som underbygger dette. Unntaket er i starten av beregningsperioden, der  $RF > 80\%$ . Resultatene kan likevel tyde på at perioden der RF bak innvendig vindsperre er  $> 80\%$  ikke utgjør noen betydelig risiko for muggvekst. Dette fordi muggindeksen er tilnærmet lik 0. Risikoen for muggvekst øker imidlertid jo nærmere RF kommer 100%, noe den kun gjør bak den innvendige vindsperre den første måneden av beregningsperioden, før RF stabiliseres under kritisk nivå for muggvekst.

For samtlige case kan resultatene tyde på at etterisolering med 100 mm og 150 mm tilleggsisolasjon kan gi god fuktsikkerhet. Dette i hovedsak fordi muggindeksen bak både utvendig og innvendig vindsperre indikerer liten risiko for muggvekst ved etterisolering. Dette på tross av at RF bak den utvendige vindsperrer øker med økende tykkelse på tilleggsisolasjonen. RF bak den utvendige vindsperrer kan imidlertid se ut til å bli mindre påvirket av tilleggsisolasjonen tykkelse enn RF bak innvendig vindsperre. Med 100 mm tilleggsisolasjon vil dessuten ytterveggen få U-verdi på  $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  og dermed oppfylle U-verdikravet på  $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  (DIBK, 2017). Dersom det etterisoleres med 150 mm kan vegg tilfredsstillende U-verdikravet til passivhus på  $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  (Standard Norge, 2013).

## 6.2 Betydning av damp- og vindsperrersjikt

### 6.2.1 Dampsperrers betydning

Resultatene fra samtlige case kan tyde på at risikoen for muggvekst bak innvendig og utvendig vindsperre i liten grad er avhengig av dampsperreren. Resultatene kan imidlertid tyde på at betydningen av en damptett dampsperre er størst ved den innvendige

vindspærren. Dette fordi fukten som transporteres utover i konstruksjonen bremses ved den innvendige vindspærren. Dermed blir risikoen for muggvekst bak den utvendige vindspærren minimal. Trykkfallet over den innvendige vindspærren kan underbygge dette, se Figur 38, Figur 39 og Figur 40. Resultatene fra beregningstilfelle 2.4 kan videre underbygge dette. I beregningstilfelle 2.4 er opprinnelig vindspærre fjernet, og det er etterisolert uten å montere ny vindspærre ved den opprinnelige vindspærrens plassering. Ved dette tilfellet kan resultatene tyde på noe høyere muggindeks bak utvendig vindspærre sammenliknet med der ny innvendig vindspærre monteres. Økningen i muggindeks er midlertidig lav og indikerer lav risiko for muggvekst.

RF-nivået bak den innvendige vindspærren reduseres noe dersom dampspærren har høy dampmotstand. Med høy dampmotstand menes  $s_d$ -verdi opp mot 70m. Dette fordi jo høyere dampmotstand jo mindre vanddamp trenger ut i konstruksjonen. Reduksjonen i RF er imidlertid lav. Resultatene kan videre tyde på at en dampspærre med  $s_d=10m$  i kombinasjon med høyt fukttilskudd i inneluften ikke utgjør noen betydelig risiko for muggvekst i utgangspunktet. Dette kan indikere at eldre dampspærre med  $s_d=10m$  kan være tilstrekkelig ved etterisolering av eldre bindingsverksvegger. Lavere dampmotstand enn dette har ikke blitt undersøkt, da anbefalingen om  $s_d \geq 10m$  har vært siden 1960-tallet og indikerer minimum dampmotstand dampspærren bør ha. Selv om en dampspærre med  $s_d=10m$  kan være tilstrekkelig, er det imidlertid sentralt at dampspærresjiktet er lufttett slik at fukttransport ved konveksjon hindres. Dampspærresjiktets lufttetthet har ikke blitt vurdert som parameter i dette prosjektet, men kan tenkes å ha betydning da luftlekkasjer kan transportere betydelige mengder fukt. Eldre småhus kan videre ha betydelige utettheter i dampspærresjiktet.

### 6.2.2 Den innvendige vindspærres betydning

Resultatene for samtlige case kan tyde på at den innvendige vindspærren har liten betydning for muggvekstrisikoen bak utvendig vindspærre. Bak den utvendige vindspærren varierer blant annet RF lite med de ulike typene innvendig vindspærre. Dette kan indikere at den innvendige vindspærren bremser fukttransporten, slik at det i hovedsak er temperaturfallet utover i vegg som får RF bak den utvendige vindspærren til å øke. Dette underbygger resultatene fra Geving og Holme (2010) om at kaldere ytre del av vegg er en faktor til økt risiko for muggvekst ytterst i vegg. God utførelse av lufter- og dreneringssjiktet bak kledningen er derfor viktig for å motvirke denne effekten.

Resultatene kan tyde på at risikoen for muggvekst bak den innvendige vindspærren er liten. Dette fordi RF hovedsakelig er under kritisk nivå, i tillegg til at muggindeksen generelt tyder på lav risiko for muggvekst. Dette kommer av økt temperatur i opprinnelig vegg som følge av etterisolering. Videre kan resultatene tyde på at jo mer dampåpen den innvendige vindspærren er, jo lavere blir RF i opprinnelig mineralull fordi fukten får mulighet til å diffundere gjennom vindspærren.

Selv om risikoen for muggvekst generelt er lav bak innvendige vindspærre, er det gunstige vekstvilkår for mugg i starten av beregningsperioden. Det forekommer blant annet kritiske timer med RF over 95% bak innvendig vindspærre den første tiden av beregningsperioden. Denne tendensen er spesielt synlig i case 2, som ble simulert med ekstra byggfukt som følge av fjerning av opprinnelig vindspærre. For case 2 tyder resultatene på et generelt høyere fuktinnhold i starten av beregningsperioden og høyere muggindeks sammenliknet med case 1 og 2. Dette tyder på økt risiko for muggvekst ved høye nivåer av byggfukt. Dette bekrefter Bøhlerengen (2009) sine anbefalinger om å beholde opprinnelig vindspærre dersom den er intakt for å beskytte den opprinnelige konstruksjonen. For samtlige case

synker imidlertid muggindeksen bak innvendig vindspærre etter den første vinteren, mens RF typisk øker noe den første tiden før den stabiliseres under kritisk nivå for muggvekst. Risikoen for muggvekst bak innvendig vindspærre er derfor minimal etter byggfukt har tørket ut, men kan være betydelig i tiden der fuktnivået er høyt. Effekten av uttørking og uttørkingstid for byggfukt har ikke blitt vurdert som en parameter i dette prosjektet. Byggfukt kan likevel tenkes å ha innvirkning på muggvekstvilkårene i opprinnelig mineralull dersom fukten ikke får mulighet til å tørke ut før tilleggisolasjon og nye tettesjikt monteres utenpå.

### 6.2.3 Den utvendige vindspærrens betydning

Resultatene kan tyde på at den utvendige vindspærren kan ha betydning for muggvekstvilkårene ytterst i vegg. Generelt tyder resultatene på at utvendig vindspærre av asfaltimpregnert porøs trefiberplate kan gi større risiko for muggvekst enn en vindspærreduk. Dette hovedsakelig fordi innsiden av trefiberplaten får betydelig høyere muggindeks enn innsiden av vindspærreduken, med muggindeks på 4-6 mot 0,1 ved vindspærreduk. Denne forskjellen er av stor betydning, og kan indikere at trefiberplaten kan gi tett og kraftig muggvekst fordi den gir mer grobunn og næring for muggsporene enn en vindspærreduk av plast. Videre kan vanninnholdet i trefiberplaten se ut til å bli større enn i duken, da den består av hygroskopisk materiale. Så lenge platen ikke blir utsatt for store mengder fukt over lang tid trenger ikke dette bety stor risiko for muggvekst, da tid er en viktig faktor for muggveksten. Videre skal trefiberplater beregnet til bruk som vindspærre ha impregnerte fibre som gir platen motstand mot fuktskader (Hunton, u.å.). Likevel kan muggvekst oppstå umiddelbart etter høy fuktpåkjønning, og dersom temperaturen er gunstig kan risikoen for høy muggveksthastighet være stor. Mineralullen bak vindspærren har videre dårlig bestandighet mot fukt, og der kan det bli kritisk dersom muggvekst skulle oppstå.

Selv om muggindeksen på innsiden av utvendig vindspærre blir høyest ved bruk av asfaltimpregnert porøs trefiberplate, kommer muggindeksen opp mot 6 kun der det har blitt simulert med ekstra byggfukt. Resultatene kan videre tyde på at muggindeksen øker ved bruk av trefiberplate også der det ikke er simulert med ekstra byggfukt, men at økningen i muggindeks ikke er av like stor betydning i disse tilfellene. Dette understreker nok en gang hvordan byggfukt kan bidra til gunstige vekstvilkår for mugg. Videre kan dette tyde på at en så dampåpen utvendig vindspærre som mulig er fordelaktig, slik at fukt kan tørke utover. Fukt som transporteres gjennom den utvendige vindspærren vil videre ikke gi konsekvenser for utenforliggende konstruksjon, så lenge det er tilstrekkelig luftet og drenert kledning. Bestandige materialer som tåler aktuell fuktpåkjønning er også viktig i denne sammenheng.

Resultatene kan tyde på at RF bak den utvendige vindspærren om høsten kan bli noe høyere ved bruk av vindspærreduk ( $s_d=0,03\text{m}$ ) enn asfaltimpregnert porøs trefiberplate ( $s_d=0,2\text{m}$ ). I seg selv kan dette indikere økt risiko for muggvekst ved bruk av vindspærreduk. Dette på tross av at vindspærreduken er mer dampåpen enn trefiberplaten og bidrar med mindre næring til muggvekst, noe som i utgangspunktet er fordelaktig. Trefiberplaten på 12 mm kan imidlertid bidra til å redusere veggens U-verdi med inntil  $0,01\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  (Hunton, u.å.), noe som kan føre til høyere temperatur og lavere RF bak trefiberplaten. Dette kan være en forklaring på hvorfor trefiberplaten gir lavere RF enn vindspærreduken, og dermed tyde på å gi dårligere vekstvilkår muggvekst. Selv om det er gunstig med så lav dampmotstand som mulig, kan det altså tyde på at vindspærrens varmeisolerende evne kan bidra positivt for å redusere risikoen for muggvekst. På den annen side kan resultatene tyde på at de negative effektene av økt muggindeks i



trefiberplaten veier tyngre enn redusert RF som følge av mindre varmetap. Dette med bakgrunn i den store forskjellen i muggindeks ved bruk av trefiberplate og vindsperrereduk i case 2. Resultatene for muggindeks på trefiberplatens innside i case 2 kan likevel tyde på å være nokså konservative, da trefiberplatene er impregnerte og i utgangspunktet skal ha god mostand mot fuktskader. Likevel kan resultatene gi en indikasjon på at trefiberplaten er mer utsatt for muggvekst enn vindsperrereduken dersom vekstvilkårene først er gunstige for muggvekst.

### 6.3 Praktiske anbefalinger for fuktsikker etterisolering

Resultatene kan tyde på at det generelt er liten risiko for muggvekst med de tre vurderte metodene for etterisolering. Det er imidlertid noen faktorer som utpeker seg som mer kritiske enn andre for å oppnå en fuktsikker vegg. Disse faktorene skal i dette delkapittelet diskuteres for å gi anbefalinger som tilstreber så ugunstige muggvekstvilkår som mulig ved utvendig etterisolering.

Bak utvendig vindspærre er det kritiske timer for muggvekst alle de tre årene av beregningsperioden, noe det ikke er bak den innvendige vindspærren. Der forekommer kritiske timer kun den første tiden av beregningsperioden, noe som kan antas å skyldes byggfukt eller et konservativt startfuktnivå i de gjennomførte simuleringene. Dette kan imidlertid indikere at den innvendige vindspærren er gjenstand for liten muggvekstrisiko og at det heller bør fokuseres på å utføre det ytterste delen av veggen så fuktsikkert som mulig. Dette i hovedsak med bakgrunn i temperaturfallet utover i veggen som medfører at RF kun kommer over kritisk nivå for muggvekst ved den utvendige vindspærren. Det bør derfor tilstrebes å montere en så dampåpen utvendig vindspærre som mulig. Risikoen for muggvekst er imidlertid ikke like stor hele året, da RF stort sett er under kritisk nivå om sommerhalvåret. Selv om temperaturen kan være gunstig for muggvekst på denne tiden av året, kan resultatene bekrefte funn fra Geving og Holme (2010) om at RF har større betydning for muggvekst enn temperatur.

Ved etterisolering i ulike klima, kan resultatene tyde på at samtlige klima kan få RF over kritisk nivå for muggvekst bak den utvendige vindspærren om høst, vinter og vår. RF-nivået varierer imidlertid for de ulike klimaene, der eksempelvis Oslo-klima og Karasjok-klima ser ut til å gi generelt lav risiko for muggvekst. I Oslo er dette grunnet lav RF både sommer og vinter, og i Karasjok kan det se ut til å bli for kaldt for muggvekst, selv om RF kommer over kritisk nivå. Selv om det generelt er dårlige vekstvilkår for mugg i disse klimaene, er viktigheten av god utførelse og materialvalg likevel til stede. Viktigheten av dette kan imidlertid anses å være enda større i Trondheim og Kristiansund. Spesielt Trondheim-klima utpeker seg med flest kritiske timer og generelt størst risiko for muggvekst da både gunstig RF og temperatur for muggvekst forekommer samtidig. Dette kan indikere viktigheten av eksempelvis tilstrekkelig to-trinnstetting med lufte- og dreneringsspalte, lufttette sjikt og dampåpen vindspærre som tilrettelegger for uttørking utover ved etterisolering i slikt klima. Dette kan gi mindre gunstige vilkår for muggvekst, under forutsetning om at den opprinnelige konstruksjonen ikke er ugunstig i seg selv.

Resultatene kan tyde på at mye byggfukt medfører gunstige vilkår for muggvekst. I praksis kan dette indikere at det ved utvendig etterisolering kan være mest gunstig å beholde den opprinnelige vindspærren, gitt at denne er i god stand. Dette for å redusere risikoen for at den opprinnelige konstruksjonen blir fuktet i tiden før ny vindspærre monteres. På den annen side kan det være gunstig å bytte ut den opprinnelige vindspærren dersom den er damp tett, da en mer dampåpen vindspærre vil gi lavere risiko for muggvekst bak den innvendige vindspærren. En risikovurdering kan derfor være nyttig å gjennomføre dersom

man er i tvil om opprinnelig vindsperre skal beholdes eller ikke. Denne bør ta for seg den opprinnelige vindsperrers dampmotstand og generelle tilstand, samt sannsynligheten for oppfukning dersom vindsperreren demonteres. Videre kan det tenkes at sannsynligheten for oppfukning kan reduseres dersom etterisoleringen gjennomføres om sommeren når risikoen for muggvekst generelt er lav. Dette for å redusere veksthastigheten til et minimum. Tildekking i byggeperioden kan også være en løsning for å forhindre byggefukt.

Tykkelsen på tilleggsisolasjonen kan ha betydning for muggvekstvilkårene i veggen. Dersom opprinnelig dampsperre har dampmotstand opp mot  $sd=70\text{m}$  og opprinnelig vindsperre er svært dampåpen ( $sd=0,03\text{m}$ ) kan resultatene tyde på at 50 mm tilleggsisolasjon kan gi ugunstige vilkår for muggvekst. Eldre dampsperrer har imidlertid typisk  $sd=10\text{-}20\text{m}$  og eldre vindsperrer har typisk  $sd=1\text{-}2\text{m}$  da det fra 1977-2002 ble anbefalt  $sd\leq 2\text{m}$  for vindsperrer (Byggforskeren, 1986). Med bakgrunn i dette kan resultatene tyde på at 150 mm tilleggsisolasjon kan gi enda mindre gunstige vilkår for muggvekst enn bruk av 50 mm tilleggsisolasjon. Dette fordi resultatene tyder på at det er viktigere med damptett dampsperre og dampåpen vindsperre hvis det etterisoleres med 50 mm. Dersom det etterisoleres med 150 mm har ikke sperresjiktens dampmotstand like stor betydning. Selv om 150 mm tilleggsisolasjon bidrar til mindre varmegjennomgang og dermed høyere RF og flere kritiske timer bak utvendig vindsperre enn 50 mm, er likevel ikke forskjellen i risiko for muggvekst ved de ulike tykkelsene så stor at 150 mm er å fraråde. Dersom opprinnelig vegg har 100 mm varmeisolasjon kan dessuten 100 mm tilleggsisolasjon bidra til at veggen oppfyller dagens krav til U-verdi, som i flere tilfeller kan være ønskelig å oppnå.

Resultatene kan tyde på at en dampåpen utvendig vindsperre har større effekt enn en svært damptett dampsperre. Dette fordi en dampåpen vindsperre lettere kan bidra til uttørking utover enn en dampåpen dampsperre kan bidra til uttørking innover. Videre tyder resultatene på at vekstvilkårene for mugg generelt er bedre ved den utvendige vindsperreren, slik at det er fordelaktig med gode uttørkingsmuligheter ytterst i veggen der risikoen for muggvekst er størst. Nødvendig dampmotstand for vindsperreren kan imidlertid se ut til å være avhengig av dampsperrers dampmotstand. Dette fordi jo større forholdet mellom utvendig og innvendig dampmotstand er, jo mer fuktsikker blir konstruksjonen. Dette bygger opp under forslaget til Thue og Skogstad (1996), sitert i Geving, Holme og Uvsløkk (2010), om at høyt forholdstall mellom dampmotstand på kald og varm side kan kompensere for lav dampmotstand på dampsperreren. Dette kan bety at det er spesielt viktig med en dampåpen vindsperre i de tilfellene der den opprinnelige dampsperreren har lav dampmotstand og det kun skal gjennomføres utvendige rehabiliteringstiltak.

Resultatene kan videre tyde på en vindsperreduk av plast med  $sd=0,03\text{m}$  gir mindre risiko for muggvekst enn en vindsperre av asfaltimpregnert porøs trefiberplate med  $sd=0,2\text{m}$ . Dette kan hovedsakelig skyldes at vindsperreduken gir mindre grobunn for muggvekst enn trefiberplaten, samt at duken er mest dampåpen.

## 6.4 Resultatenes pålitelighet

Antall konvergensfeil i simuleringene i WUFI Pro og fuktbalansen mellom balanse 1 og balanse 2 er de to faktorene som best beskriver resultatenes troverdighet. I dette prosjektet kan disse faktorene peke i retning av troverdige resultater. Se Vedlegg 4. For samtlige beregningstilfeller er antall konvergensfeil under 50 per år og det er ingen store avvik i fuktbalansen. De to beregningstilfellene med flest konvergensfeil er tilfelle 2.5 og 1.6, med henholdsvis 75 og 60 konvergensfeil. Med en beregningsperiode på 3 år kan dette antallet konvergensfeil godtas.

Simuleringene i WUFI Pro og muggvekstmodellen VTT baseres på antakelser om både inn-data og konstruksjonsoppbygning, som presentert i kapittel 4. Resultatene gjelder kun under disse antakelsene og at veggen er bygget opp på angitt måte. Usikkerhetene knyttet til konstruksjonsoppbygningen og måten luftlekkasjer, luftespalten og slagregn har blitt simulert på, er imidlertid usikkerheter som også knytter seg til begrensninger i WUFI Pro, da det nevnte har blitt simulert med modifikasjoner for å best mulig gjenskape virkeligheten. Simuleringene har likevel blitt gjennomført slik at resultatene kan ansees å være mot sikker side.



## 7 KONKLUSJON

---

I denne masteroppgaven har det blitt kartlagt hvordan utvendig etterisolering påvirker vekstvilkårene for mugg i en eldre ytterveggvegg av lett bindingsverk. Tre metoder for utvendig etterisolering har blitt vurdert for å kartlegge dette. De tre metodene er henholdsvis etterisolering utenpå opprinnelig vindspærre, etterisolering utenpå en ny vindspærre og etterisolering utenpå opprinnelig ytterkledning. En parameterstudie i fuktbergningsprogrammet WUFI Pro og muggvekstmodellen WUFI Mould Index VTT har blitt gjennomført for å kartlegge hvordan de tre metodene for utvendig etterisolering påvirker vekstvilkårene for mugg. Følgende forskningsspørsmål har blitt belyst og skal i det påfølgende besvares:

1. Hvordan påvirker tilleggisolasjonens tykkelse muggvekstvilkårene ved utvendig etterisolering?
2. Hvordan påvirker dampspærren og vindspærren muggvekstvilkårene ved utvendig etterisolering?
3. Hvilke praktiske anbefalinger gir fuktsikker etterisolering?

### **Hvordan tilleggisolasjonens tykkelse påvirker vekstvilkårene for mugg**

Resultatene fra fukt- og muggvekstanalysen for samtlige case tyder på at veggen blir mer fuktsikker og at vekstvilkårene for mugg blir mindre gunstige ved utvendig etterisolering. Dette fordi varmetapet gjennom veggen reduseres slik at relativ fuktighet blir mindre gunstig for muggvekst. Risikoen reduseres imidlertid mest bak den nye innvendige eller opprinnelige vindspærren, da relativ fuktighet der stort sett er under kritisk nivå.

Ved utvendig etterisolering kan tykkelsen på tilleggisolasjonen ha betydning for muggvekstvilkårene. Bak den innvendige eller opprinnelige vindspærren er det mer gunstig med 150 mm enn 50 mm tilleggisolasjon, fordi det blir varmere og tørrere med økt tykkelse. Bak den ytterste vindspærren kan resultatene tyde på det motsatte, at 150 mm tilleggisolasjon gir mer gunstige muggvekstvilkår enn 50 mm tilleggisolasjon. Dette kommer av at temperaturen på utsiden av veggen reduseres med økende tykkelse på isolasjonen, slik at relativ fuktigheten øker. I netto gir dette noe bedre vilkår for muggvekst, da relativ fuktighet har større betydning for muggvekst enn temperatur. Resultatene kan imidlertid tyde på at tilleggisolasjonens tykkelse har størst betydning for vekstvilkårene bak den innvendige vindspærren.

Selv om de ulike tykkelsene tilleggisolasjon påvirker vekstvilkårene for mugg, er det generelt lav risiko for kraftig muggvekst. I all hovedsak tyder resultatene på at både 50 mm, 100 mm og 150 mm tilleggisolasjon gir små mengder mugg på overflaten som kun er synlig med mikroskop. Ugunstig tykkelse på tilleggisolasjonen i kombinasjon med en ellers ugunstig konstruksjon kan imidlertid gi mer gunstige muggvekstvilkår og dermed økt risiko for muggvekst.

### **Hvordan dampspærren og vindspærren påvirker vekstvilkårene for mugg**

Ved utvendig etterisolering ser dampspærren ut til å ha liten betydning for muggvekstvilkårene. Det er likevel fordelaktig med så høy dampmotstand som mulig, men resultater fra fukt- og muggvekstanalysene kan tyde på at eldre dampspærre med  $s_d=10-20m$  kan være tilstrekkelig ved utvendig etterisolering av eldre bindingsverksvegger. Dette kun med bakgrunn i sperresjiktets dampmotstand, ikke lufttetthet. Dampspærrens dampmotstand ser videre ut til å ha større betydning for muggvekstvilkårene bak den innvendige vindspærren enn bak den utvendige vindspærren. Dette fordi den innvendige

vindsperren kan bremse fukttransporten utover, slik at dampsperrers dampmotstand får mindre betydning i den nye mineralullen. Resultatene fra fukt- og muggvekstanalysen kan videre tyde på at dampsperrers dampmotstand i seg selv ikke bidrar til økt risiko for muggvekst, men at lav dampmotstand i kombinasjon med en ugunstig konstruksjon kan gi økt risiko for muggvekst ved utvendig etterisolering.

Den innvendige vindsperren kan påvirke muggvekstvilkårene i den opprinnelige mineralullen på grunn av trykkfallet over sperresjiktet ved utvendig etterisolering. Generelt blir det mer ugunstige vekstvilkår for muggvekst i opprinnelig konstruksjon fordi relativ fuktighet synker når temperaturen i veggen øker. Dette tilsynelatende uavhengig av type vindsperre som er inne i veggen. Det er likevel fordelaktig at den er så dampåpen som mulig. Størst endring i muggvekstvilkår skjer imidlertid dersom den opprinnelige vindsperren byttes ut, da det vil øke sannsynligheten for oppfukning av opprinnelig mineralull. Risikoen for muggvekst kan da øke betydelig.

Av de tre sperresjiktene kan den utvendige vindsperren se ut til å ha størst betydning for muggvekstvilkårene ved utvendig etterisolering. Dette hovedsakelig fordi det er ytterst i veggen temperatur og relativ fuktighet legger best til rette for muggvekst. Utvendig vindsperre bør derfor være så dampåpen som mulig for å tilrettelegge for uttørking. Resultatene fra fukt- og muggvekstanalysene kan imidlertid tyde på at type vindsperre som benyttes ikke har så stor betydning så lenge konstruksjonen ellers er tilfredsstillende.

### **Praktiske anbefalinger for fuktsikker etterisolering**

Byggfukt ser ut til å være den parameteren som bidrar mest til gunstige vilkår for muggvekst ved utvendig etterisolering. Det kan derfor være fordelaktig å beholde den opprinnelige vindsperren dersom den er i tilfredsstillende stand. Dersom vindsperren likevel byttes ut og opprinnelig konstruksjonen får økt fuktinnhold, kan resultatene fra fukt- og muggvekstanalysen tyde på at det er mest fordelaktig å benytte en dampåpen vindsperreduk fremfor asfaltimpregnert porøs trefiberplate som vindsperre. Dette med bakgrunn i at duken er mest dampåpen og bidrar med minst næring til muggveksten.

For å redusere de negative effektene av kaldere ytre del av konstruksjonen ved utvendig etterisolering, bør det tilstrebes å etablere tilstrekkelig lufting og drenering bak utvendig kledning. Det bør også legges vekt på å benytte en så dampåpen vindsperre som mulig. Dette er spesielt viktig dersom den opprinnelige dampsperreren er dampåpen eller ikke har tilstrekkelig dampmotstand, da stor forskjell mellom utvendig og innvendig dampmotstand kan bidra til økt fuktsikkerhet. Videre kan resultatene tyde på at viktigheten av høy dampmotstand for dampsperreren og lav dampmotstand for vindsperren øker jo mindre tilleggsisolasjon som benyttes. Dette kan indikere at det er fordelaktig å etterisolere med minimum 100 mm tilleggsisolasjon på en eldre yttervegg med damp- og vindsperre med utilfredsstillende dampmotstand.

Avslutningsvis tyder resultatene fra denne masteroppgaven på viktigheten av et helhetlig syn på utvendig etterisolering for å oppnå så ugunstige vekstvilkår for mugg som mulig. Av de kartlagte parameterne, bidrar ikke hver enkelt til økt risiko for muggvekst alene. Dårlige konstruksjoner, utilfredsstillende dampmotstand på sperresjikt og u hensiktsmessig tykkelse på tilleggsisolasjonen i kombinasjon kan imidlertid gi gunstige vekstvilkår for mugg. Eldre småhus kan være i mer eller mindre tilfredsstillende stand, og ved utvendig etterisolering bør derfor hvert prosjekt vurderes individuelt for å redusere risikoen for muggvekst. På den måten kan etterisolerte eldre yttervegger bli mer fuktsikre og dermed være rustet til å tåle fremtidige klimapåkjenninger.

## 8 FORSLAG TIL VIDERE ARBEID

---

I dette arbeidet har vekstvilkår for mugg ved utvendig etterisolering av en eldre yttervegg av lett bindingsverk blitt kartlagt. Dette kan være aktuelt å kartlegge også for andre bygningsdeler, eksempelvis tak. Andre typer veggkonstruksjoner kan også være av interesse. Videre har dette arbeidet kun tatt for seg en en-dimensjonal vurdering av den eldre bindingsverksveggen. Ved å foreta en to-dimensjonal vurdering kan resultatene tenkes å bli mer presise. WUFIs to-dimensjonale beregningsprogram er imidlertid mer omfattende enn WUFI Pro, og falt her bort grunnet avgrensinger i arbeidet. Videre arbeid kan også benytte flere muggvekstmodeller for å øke muggvekstanalysens troverdighet.

Betydningen av damp- og vindsperrsjiktens lufttetthet kan tenkes å ha betydning for fuktsikkerheten ved etterisolering. Dette har ikke blitt vurdert som parameter i dette arbeidet, da fokusområdet har vært sperresjiktens dampmotstand. Sperresjiktens lufttetthet kan imidlertid være av stor betydning, da eldre småhus typisk har luftlekkasjer i skjøter og overganger i sperresjiktene. Betydningen av sperresjiktens lufttetthet og mengden luftlekkasjer fra inneluften forslås derfor som fokusområde til videre arbeid.

Ved utvendig etterisolering av eldre bindingsverksvegger kan det være aktuelt å skifte ut den opprinnelige vindsperreren. I den forbindelse øker risikoen for at opprinnelig konstruksjon blir fuktet. Dette ser ut til å ha betydelig innvirkning på vekstvilkårene for mugg ved etterisolering. Betydningen av byggfukt ved utvendig etterisolering foreslås derfor som fokusområde til videre arbeid. Ulike typer materialer og deres bestandighet mot fuktskader kan i den forbindelse være interessant, da god utførelse kan kompensere for de negative effektene av økt byggfukt.





## 9 REFERANSER

---

- Almås, A.-J., Lisø, K. R., Hygen, H. O., Øyen, C. F., & Thue, J. V. (2011). An approach to impact assessments of buildings in a changing climate. *Building Research & Information* 39(3), ss. 227-238. DOI: <https://doi.org/10.1080/09613218.2011.562025>.
- Bergheim, E., Geving, S., & Gullbrekken, L. (2020). Fra ekspertene: NTNU. Bruk av eldre sperresjikt ved etterisolering. *Byggeindustrien*, 3(2020), s. 26.
- Boro, M. (2013). *Veileder. Råd om energisparing i gamle hus*. Oslo: Riksantikvaren.
- Byggforskserien. (1986). 573.121 Materialer til luft- og damptetting. SINTEF.
- Byggforskserien. (1998). 474.511 Vurdering av fuktsikkerhet. Kontrollpunkter. SINTEF.
- Byggforskserien. (2003). 573.121 Materialer til luft- og damptetting. SINTEF.
- Byggforskserien. (2004). 723.511 Etterisolering av yttervegger av tre. SINTEF.
- Byggforskserien. (2005). 701.401 Muggsopp i bygninger. Forekomst og konsekvenser for innneklimaet. SINTEF & Mycoteam.
- Byggforskserien. (2007-a). 740.111 Kondens på kalde overflater. Årsaker og tiltak. SINTEF.
- Byggforskserien. (2007-b). 720.082 Råte- og fargeskadesopp. Skadetyper og utbedring. SINTEF.
- Byggforskserien. (2008). 523.002 Yttervegger over terreng. Egenskaper og konstruksjonsprinsipper. Krav og anbefalinger. SINTEF.
- Byggforskserien. (2010). 700.110 Byggskader. Oversikt. SINTEF.
- Byggforskserien. (2014). 723.314 Etterisolering av murvegger. SINTEF.
- Byggforskserien. (2015). 552.303 Balansert ventilasjon i småhus. SINTEF.
- Byggforskserien. (2018). 421.132 Fukt i bygninger. Teorigrunnlag. SINTEF.
- Bøhlerengen, T. (2009). *Etterisolering. Energisparende tiltak i småhus*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- DIBK. (2017). *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. Oslo: Direktoratet for byggkvalitet.
- Edvardsen, K., & Ramstad, T. (2014). *Håndbok 5. Trehus*. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
- ENOVA. (2016). *Etterisolering*. Hentet februar 2020 fra <https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/oppgradere-huset/etterisolering/>
- Ficks diffusjonslover. (2009). *Store norske leksikon*. Hentet mars 2020 fra [https://snl.no/Ficks\\_diffusjonslover](https://snl.no/Ficks_diffusjonslover)
- Fraunhofer IBP. (2019). *WUFI Pro 6.4 Online Help*. Fraunhofer IBP. Programmets egen hjelp-fil.

- Fraunhofer IBP. (2020). *What is WUFI®?* Hentet mars 2020 fra <https://wufi.de/en/software/what-is-wufi/>
- Fraunhofer IBP. (u.å.). *WUFI® Mould Index VTT*. Hentet mars 2020 fra <https://wufi.de/en/2017/03/31/wufi-mould-index-vtt/>
- Geving, S., & Holme, J. (2010). *Høyisolerte konstruksjoner og fukt*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Geving, S., & Holme, J. (2011). Mean and diurnal indoor air humidity loads in residential buildings. *Journal of Building Physics* 35(4), ss. 392-421. DOI: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1744259111423084>.
- Geving, S., & Thue, J. (2002). *Fukt i bygninger. Håndbok 50*. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.
- Geving, S., Holme, J., & Uvsløkk, S. (2010). *Alternative dampsperrer med uttrøkningsmulighet mot innelufta. Prosjektrapport 65*. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
- Gradeci, K., Labonnote, N., Time, B., & Köhler, J. (2017). A probabilistic-based methodology for predicting mould growth in façade constructions. *Building and Environment* 128 (2018), ss. 33-45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.11.021>.
- Grøndahl, C., & Stenby, O. (2020). *Etterisolering - ulike metoder*. Hentet januar 2020 fra <https://www.byggogbevar.no/enok/artikler/etterisolering-ulike-metoder>
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A., Ådlandsvik, B. (2015). *Klima i Norge 2100*. Rapport nr. 2/2015. Oslo: Miljødirektoratet.
- Hukka, A., & Viitanen, H. A. (1999). A mathematical model of mould growth on wooden material. *Wood Science and Technology* 33, ss. 475-485. DOI <https://doi.org/10.1007/s002260050131>.
- Hunton. (u.å.). *Hunton Vindtett™*. Hentet juni 2020 fra [https://www.hunton.no/produkter/vegg/hunton-vindtett/?gclid=EAIaIQobChMIou7f37Hy6QIVzoKyCh1Ddw04EAAYASAAEgI5EvD\\_BwE](https://www.hunton.no/produkter/vegg/hunton-vindtett/?gclid=EAIaIQobChMIou7f37Hy6QIVzoKyCh1Ddw04EAAYASAAEgI5EvD_BwE)
- Klinski, M. (2014). *Ambisiøs energioppgradering med etterisolert fasade*. Oslo: SINTEF Akademiske forlag.
- Kunzel, H. M. (1995). *Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. One- and two- dimensional calculation using simple parameters*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Lien, A. G., Skeie, K. S., Bjaanes,, E., Hagen, K., & Kvalø, Y. (2017). *Oppgradering av et 60-tallshus og et 70-tallshus*. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
- Meld. St. 33 (2012-2013). (2013). *Klimatilpassing i Norge*. Oslo: Miljøverndepartementet.
- Mundt-Petersen, S. (2015). *Moisture Safety in Wood Frame Buildings. Blind evaluation of the hygrothermal calculation tool WUFI using field measurements and determination of factors affecting the moisture safety*. Doktoravhandling. Lund:

Byggnadsfysik LTH, Lunds Tekniska Högs. Tilgjengelig fra:  
<https://portal.research.lu.se/portal/files/3853018/4937649.pdf>.

- Mundt-Petersen, S., & Harderup, L.-E. (2015). Predicting hygrothermal performance in cold roofs using a 1D transient heat and moisture calculation tool. *Building and Environment* 90 (2015), ss. 215-231. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.04.004>.
- Mycoteam AS; Riksantikvaren;. (2019). *Råteskader i hus*. Hentet februar 2020 fra <https://www.byggogbevar.no/pusse-opp/brann/artikler/raateskader>
- Nielsen, K. F., Holm, G., Uttrup, L., & Nielsen, P. (2004). Mould growth on building materials under low water activities. Influence of humidity and temperature on fungal growth and secondary metabolism. *International Biodeterioration & Biodegradation* 54 (2004), ss. 325-336. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2004.05.002>.
- Norsk Hussopp Forsikring. (u.å.). *Forskjellige typer nedbryting. Typer råte*. Hentet februar 2020 fra <https://hussoppen.no/skadevoldere/rate/typer-rate/>
- Ojanen, T., Viitanen, H., Peuhkuri, R., Lähdesmäki, K., Vinha, J., & Salminen, K. (2010). *Mold growth modeling of building structures using sensitivity classes of materials*. Florida: Buildings XI.
- OPPTRE. (2018). *Optimalisering av bygningskroppen (Arbeidspakke 2)*. Hentet januar 2020 fra <https://opptre.no/tema/>
- Rikstad, L., & Brandal, H. (2019). *Hva med eksisterende bygg i fremtidens lavutslippssamfunn?* Hentet desember 2019 fra <https://www.energi.no/hva-med-eksisterende-bygg-i-fremtidens-lavutslippssamfunn>
- Sejersted, F. (2019). Norge i etterkrigstiden. *Store norske leksikon*. Hentet desember 2019 fra: [https://snl.no/Norge\\_i\\_etterkrigstiden](https://snl.no/Norge_i_etterkrigstiden).
- Standard Norge. (2013). *NS3700:2013 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger. Boligbygninger*. Lysaker: Standard Norge.
- Thue, J. (2016). *Bygningsfysikk grunnlag*. Trondheim: Fagbokforlaget.
- Thue, J., Oustad, M., & Gustavsen, A. (2007). *WUFI 1D Pro 4.1 Brukermanual*. Trondheim: Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU.
- Tolstoy, N. (1993). Humidity levels in the Swedish building stock. *Proceedings of Indoor Air '93 conference. Vol 6*. Helsinki, Finland. ss. 91-96.
- Tveit, A. (1954). *Vanndampdiffusjonstall for papp og trefiberplater*. Rapport nr. 9 (532.72:691.14, 699.82), Norges byggforskningsinstitutt, Oslo.
- Vereecke, E., Saelen, D., & Roel, S. (2011). A Comparison of Different Mould Prediction Models. *Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association*. Sydney, 14-16 November 2011. ss. 1934-1941.
- Viitanen, H. (1997). Modelling the Time Factor in the Development of Mould Fungi - the Effect of Critical Humidity and Temperature Conditions on Pine and Spruce Sapwood. *Holzforschung* 51 (1997), ss. 6-14.

Viitanen, H., & Tuomo, O. (2019). *WUFI Mould Index VTT Help*. Fraunhofer IBP & VTT.  
Programmets egen hjelp-fil.

## 10 VEDLEGG

---

Vedlegg nr.	Tittel	Antall sider
Vedlegg 1	<i>Bruk av eldre sperresjikt ved etterisolering</i> (Bergheim, Geving, & Gullbrekken, 2020). Artikkel som oppsummerer fordypningsprosjekt.	1
Vedlegg 2	Inn-data i brukergrensesnitt, WUFI Pro 6.4	1
Vedlegg 3	Materialdata i WUFI Pro 6.4	2
Vedlegg 4	Status beregning og numerisk kvalitetssjekk av resultater	1
Vedlegg 5	Kritiske timer for muggvekst: Resultat fra fuktberging	6
Vedlegg 6	Muggindeks: Resultat fra muggvekstmodellen VTT	8



# Bruk av eldre sperresjikt ved etterisolering

Damp- og vindsperrsjikt i småhus fra siste halvdel av 1900-tallet har beskyttet husene våre mot fuktskader. Sperresjiktens materialegenskaper er ofte gode, men er funksjonsegenskapene gode nok til å tilfredsstille dagens standard? For å gi råd om bruk av eldre sperresjikt ved rehabilitering må vi kjenne dampmotstanden til de benyttede produktene.

**Elise Bergheim og Stig Geving**

Institutt for bygg- og miljøteknikk

**Lars Gullbrekken**

SINTEF Community

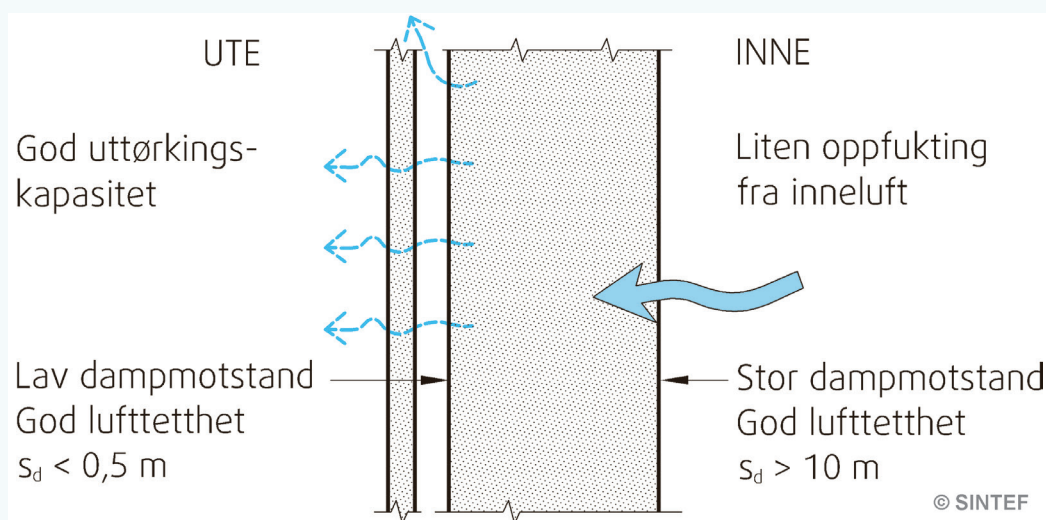
Økende klimapåkjenninger og økt risiko for fuktskader medfører behov for fuktsikring og rehabilitering av eldre konstruksjoner. Eksisterende damp- og vindsperrsjikt i eldre småhus er da av interesse, og er studert i en prosjektoppgave gjennomført ved studieprogrammet bygg- og miljøteknikk ved NTNU. Arbeidet er knyttet til forskningsprosjektet OPPTRE ([www.opptre.no](http://www.opptre.no)).

## Dagens krav

Dagens dampsperrer av polyetylen (PE-folie) har høy dampmotstand. Folien er i dag 0,15 mm tykk og har typisk  $s_d$ -verdi (ekvivalent luftlagstykkelse) på 70 m. Dette er et dampnett sjikt der tette skjøter og overganger er viktig for å oppnå lufttettethet. Vindsperrsjiktet skal også være lufttett med tette skjøter og overganger, men det skal være dampåpent, og har i dag typisk  $s_d$ -verdi mellom 0,002-0,10 m.

## Eldre sperresjikt

På 1950-tallet ble diffusjonstett bygningspapp brukt som dampsperre. Dette var en tynn, foliebelagt papp med  $s_d$ -verdi på 15-20 m. På 1960-tallet kom PE-folien for å bli. Folien var gjerne 0,04-0,06 mm tykk og hadde  $s_d$ -verdi på 15-20 m. Den diffusjonstette bygningspappen og den eldre PE-folien har tilfredsstillende dampmotstand i henhold til Byggforskseriens anbefalinger ( $s_d > 10$  m). Dampmotstanden er likevel ikke så høy som dagens dampnette PE-folie. De eldre dampsperrere har videre dårlig bestandighet mot UV-stråling og høye temperaturer, og det går lett hull i den tynne PE-folien. Videre var det fra 1950 til 1980-tallet ikke like stort fokus på lufttettethet som i dag, noe som



Tetting mot luft- og vandampttransport med anbefalinger for  $s_d$ -verdier. Høy dampmotstand inne og lav dampmotstand ute gir gode uttøringsmuligheter. Slik må forholdet mellom sperresjiktene være også etter en innvendig eller utvendig etterisolering.

Illustrasjon: Byggforskserien 523.002.

har resultert i at flere eldre hus er nokså utette.

Som vindsperre har det siden 1950 blitt benyttet flere typer materialer. Blant annet impregnert forhudningspapp og asfaltimpregnerte trefiberplater ble mye brukt fra 1950 og frem til i dag. Gipsplate som vindsperre kom på markedet på 1970-tallet. Generelt er eldre vindsperrer noe mer dampnette enn dagens materialer. Eldre forhudningspapp har eksempelvis  $s_d$ -verdi på 0,03-4,0 m, og trefiberplatene har  $s_d$ -verdi på 0,01-1,5 m. De mest dampåpne variantene har altså tilsvarende dampmotstand som dagens mest dampåpne vindsperrer. De mest dampnette er imidlertid vesentlig tettere enn dagens anbefaling på  $s_d \leq 0,5$  m (som kom i Byggforskserien i 2002), og kan også være tettere enn den tidligere anbefalingen på  $s_d \leq 2,0$  m.

I dag anbefaler Byggforskserien en luftgjennomgang  $\leq 0,05$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>hPa for ferdig montert vindsperre, noe de eldre vindsperrmaterialene i seg selv tilfredsstiller. Skjøter og overganger tilfredsstiller derimot ikke dette kravet. Tidlig på 1950-tal-

let kunne vindsperran legges med åpne skjøter. Først i 1977 kom anvisningen for bindingsverk i tre med detaljer for hvordan damp- og vindsperrsjiktene skulle klemmes. Skjøter og overganger etter dette viser seg likevel å være nokså åpne.

## Kan eldre damp- og vindsperrer beholdes ved rehabilitering?

Uskadde eldre damp- og vindsperreprodukter kan i seg selv være bestandige nok til å beholdes ved rehabilitering. Ved utvendig etterisolering kan det dessuten være gunstig å beholde den eksisterende vindsperran som en beskyttelse for å unngå oppfuktning under bygging. Hovedprinsippene i Byggforskserien må imidlertid følges. Eksempelvis ved innvendig etterisolering må eksisterende dampsperre fjernes dersom den innvendige isolasjonsmengden blir så stor at dampsperran blir liggende for langt mot kald side av konstruksjonen.

Skjøter og overganger mellom bygningsdeler er kritiske punkter for lufttettetheten til bygget som helhet. I en rehabiliteringssam-



Eldre dampsperre, trolig fra 1962. Diffusjonstett bygningspapp med foliebelagt fremside.

Foto: Elise Bergheim.



Eldre vindsperre, trolig fra 1936.

Kraftpapp med vaffelpresset mønster.

Foto: Elise Bergheim.

menheng bør det derfor vurderes om sjiktene skal tettes ytterligere i skjøter og overganger, eller om det mest gunstige rent bygningsfysisk er å fjerne det eksisterende og montere nye sperresjikt.





# Vedlegg 2 INN-DATA I BRUKERGRENSESNITT, WUFI

## PRO 6.4

---

Følgende inn-data er felles for alle simuleringene som er gjort i WUFI Pro 6.4. De presenteres her med samme inndeling og rekkefølge som i programmets brukergrensesnitt.

### Orientering/helning/høyde

- Mot nord, helning 90°, lav bygning med høyde inntil 10 m.
- R1 = 0 (standard verdi i WUFI)
- R2 = 0,07 s/m (standard verdi I WUFI)

### Overflaters overgangskoeff.

- Ytre overflate (venstre side):
  - Varmemotstand: 0,0588 (m<sup>2</sup>K)/W (yttervegg) – ikke vindavhengig
  - Sd-verdi: - (ingen overflatebehandling)
  - Kortbølget strålingsabsorpsjonstall: 0,7
  - Terreng kortbølget refleksjonsgrad: 0,2 (standardverdi)
  - Regnvannsabsorpsjonstall: 0,7 (avhengig av komponenthelning)
- Indre overflate (høyre side):
  - Varmemotstand: 0,125 (m<sup>2</sup>K)/W (yttervegg)
  - Sd-verdi: - (ingen overflatebehandling)

### Startbetingelser

- Startfuktighet i konstruksjonen: middelvei over konstruksjonen
- Starttemperatur i konstruksjonen: middelvei over konstruksjonen
- Relativ fuktighet ved start: 0,8
- Starttemperatur i konstruksjonen: 20°C

### Beregningsperiode/profiler

- Start/profil 1: 01.10.1965 00.00.00
- Slutt/profil 2: 01.10.1965 00.00.00
- Beregningsperioden er satt med den hensikt å få med fyringssesongen i første fase av beregningene. Dette hovedsakelig for å beregne den mest kritiske perioden for uttørking av byggfukt i case 2.
- Tidstrinn: 1 time

### Numerikk

- Beregningstype: Varmetransport og fukttransport aktivert
- Numeriske parameter: Økt nøyaktighet og konvergensforbedring aktivert
- Geometri: Kartesisk aktivert

### Klima

- Uteklima varierer for beregningstilfellene, men er i alle tilfeller valgt fra kartet. Klimaet baseres på WUFI Pro sine klimafilere.
- Inneklima er i alle tilfeller avhengig av uteklima/venstre klima. ISO 13789 er fulgt, men fukttilskudd er brukerdefinert med verdier gitt i kapittel 4.1.2.



## Vedlegg 3 MATERIALDATA I WUFI PRO 6.4

Alle tynne materialer som i virkeligheten har tykkelse under 1 mm er lagt inn i programmet med tykkelse på 1 mm. Vanndampdiffusjonsmotstanden  $\mu$  er da tilpasset.

MATERIALER	MATERIALPARAMETER I WUFI PRO 6.4				
<b>DAMPSPERRER</b>	Vanndampdiffusjonsmotstand, $\mu$ (-)	Romdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	Varme-konduktivitet (W/mK)	Kommentar	Referanse
Diffusjonstett bygningspapp, sd=10m d=0,8mm	10000	800	2,2	Gjelder for 20°C og 75% RF.	(Tveit, 1954)
PE-folie, sd=20m d=0,06mm	20000	130	2,2	Gjelder for 35% RF på en side og 75% RF på annen side.	(Byggforskserien, 1986)
PE-folie, sd=70m d=0,15mm	70000	130	2,2		WUFIs materialdatabase «NTNU»
<b>VARMEISOLASJON</b>	Vanndampdiffusjonsmotstand, $\mu$ (-)	Romdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	Varme-konduktivitet (W/mK)	Kommentar	Referanse
Mineralull	1,3	60	0,034		WUFIs materialdatabase «Fraunhofer-IBP». Egen justering for varmekonduktivitet.
<b>VINDSPERRER</b>	Vanndampdiffusjonsmotstand, $\mu$ (-)	Romdensitet (kg/m <sup>3</sup> )	Varme-konduktivitet (W/mK)	Kommentar	Referanse
Impregnerert forhudningspapp, sd=2m d=0,8mm	2000	675	0,42	Gjelder for 20°C og 75% RF.	(Tveit, 1954)
Asfaltimpregnerert porøs trefiberplate, sd=0,5m d=12,5mm	40	350	0,18		(Tveit, 1954) med justert sd-verdi.
Asfaltimpregnerert porøs trefiberplate, sd=0,2m d=12,5mm	16	350	0,18	Gjelder for 20°C og 75% RF.	(Tveit, 1954)
Vindsperreduk, sd=0,03m d=0,15mm	30	130	3		WUFIs materialdatabase «NTNU» med justert sd-verdi.

<b>MATERIALER</b>	<b>MATERIALPARAMETER I WUFI PRO 6.4, FORTSETTELSE</b>				
<b>LUFTSJIKT</b>	<b>Vanndampdiffusjonsmotstand, <math>\mu</math> (-)</b>	<b>Romdensitet (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Varmerkonduktivitet (W/mK)</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Referanse</b>
Luftsjikt 25 mm; without additional moisture capacity	0,51	1,3	0,155		WUFIs materialdatabase «Generelt materialer»
Luftsjikt 5 mm	0,79	1,3	0,047		WUFIs materialdatabase «Generelt materialer»
<b>UTVENDIG KLEDNING</b>	<b>Vanndampdiffusjonsmotstand, <math>\mu</math> (-)</b>	<b>Romdensitet (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Varmerkonduktivitet (W/mK)</b>	<b>Kommentar</b>	<b>Referanse</b>
Skandinavisk gran II vinkelrett fibre d=19mm	108	390	0,13		WUFIs materialdatabase «NTNU»

## Vedlegg 4 STATUS BEREGNING OG NUMERISK KVALITETSSJEKK AV RESULTATER

Oversikt over antall konvergensfeil og fuktbalanse for samtlige beregningstilfeller. Positiv fuktbalanse indikerer fuktstrøm mot høyre (innover). Negative verdier indikerer fuktstrøm mot venstre (utover).

CASE 1			
Beregnings- tilfelle	Antall konvergens- feil	Fuktbalanse (kg/m <sup>2</sup> )	
		Balanse 1	Balanse 2
0	6	0,06	0,07
1.1	10	-0,05	-0,05
1.2	3	-0,39	-0,38
1.3	36	-0,26	-0,31
1.4	3	-0,31	-0,31
1.5	31	-0,22	-0,23
1.6	60	-0,24	-0,54
1.7	12	-0,04	-0,04
1.8	15	-0,06	-0,05
1.9	13	-0,06	-0,06
1.10	23	-0,3	-0,33
1.11	12	-0,06	-0,06
1.12	10	0,02	0,02
1.13	22	-0,09	-0,09
1.14	19	-0,11	-0,11
1.15	22	-0,29	-0,29
1.16	9	-0,08	-0,08
1.17	10	-0,41	-0,42
1.18	20	-0,17	-0,17
1.19	20	-0,1	-0,1
1.20	20	-0,13	-0,13
1.21	9	-0,35	-0,36
1.22	3	-0,04	-0,04
1.23	23	-0,11	-0,11
1.24	11	-0,07	-0,06

CASE 2			
Beregnings- tilfelle	Antall konvergens- feil	Fuktbalanse (kg/m <sup>2</sup> )	
		Balanse 1	Balanse 2
2.1	26	-1,18	-1,20
2.2	23	-0,31	-0,31
2.3	29	-0,96	-0,97
2.4	27	-0,95	-0,95
2.5	75	-1,25	-1,37
2.6	19	-1,0	-1,01
2.7	35	-0,97	-1,03
2.8	16	-1,09	-1,09
2.9	18	-0,91	-0,91
2.10	47	-1,27	-1,32
2.11	24	-0,98	-0,98
2.12	29	-1,19	-1,25
2.13	26	-1,21	-1,26
2.14	27	-1,16	-1,16
2.15	30	-0,98	-0,97

CASE 3			
Beregnings- tilfelle	Antall konvergens- feil	Fuktbalanse (kg/m <sup>2</sup> )	
		Balanse 1	Balanse 2
3.1	22	-0,35	-0,41
3.2	23	-0,33	-0,34
3.3	24	-0,36	-0,4
3.4	23	-0,38	-0,41
3.5	24	-0,62	-0,63
3.6	14	-0,26	-0,26
3.7	18	-0,42	-0,41
3.8	8	-0,42	-0,42
3.9	13	-0,53	-0,52
3.10	15	-0,77	-0,77
3.11	30	-0,66	-0,67
3.12	8	-0,65	-0,64



# Vedlegg 5 KRITISKE TIMER FOR MUGGVEKST: RESULTAT FRA FUKTBREGNING

Her fremkommer en fullstendig oversikt over antall timer med gunstige vekstforhold for mugg bak opprinnelig, ny innvendig og ny utvendig vindsperre.

## Case 1: Etterisolering utenpå opprinnelig vindsperre

### Kritiske timer bak ny vindsperre

KRITISKE TIMER FOR MUGGVEKST BAK NY UTVENDIG VINDSPERRE, CASE 1					
Beregningstilfelle	Kritiske forhold for muggvekst	Antall kritiske timer for muggvekst			
		År 1	År 2	År 3	Sum 3 år
1.1	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1157	1159	1156	3472
1.2	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	256	58	58	372
1.3	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	812	428	448	1688
1.4	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	33	0	0	33
1.5	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	685	522	517	1724
1.6	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	884	603	546	2033
1.7	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1189	1185	1182	3556
1.8	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1146	1146	1144	3436
1.9	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1138	1133	1132	3403
1.10	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1077	1239	1237	3553
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	175	0	0	175
1.11	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1100	1166	1164	3430
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	66	0	0	66
1.12	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1078	1077	1077	3232
1.13	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1193	1188	1188	3569
1.14	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1178	1013	1013	3204
1.15	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1360	957	951	3268
1.16	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	872	39	40	951
1.17	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	662	1233	1232	3127
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	727	0	0	727
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $\text{RF} \geq 95\%$	26	0	0	26
1.18	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1079	879	877	2835
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	13	0	0	13
1.19	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1198	1092	1092	3382
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	1	0	0	1
1.20	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1171	744	743	2658
1.21	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	925	1170	1168	3263
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	383	0	0	383
1.22	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1337	866	866	3096
1.23	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1054	1155	1157	3366
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	103	0	0	103
1.24	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1084	1140	1139	3363
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	62	0	0	62

## Kritiske timer bak opprinnelig vindsperre

KRITISKE TIMER FOR MUGGVEKST BAK OPPRINNELIG VINDSPERRE, CASE 1					
Beregningstilfelle	Kritiske forhold for muggvekst	Antall kritiske timer for muggvekst			
		År 1	År 2	År 3	Sum 3 år
1.1	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	416	0	0	416
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	144	0	0	144
1.2	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	513	0	0	513
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	36	0	0	36
1.3	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	547	0	0	547
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	14	0	0	14
1.4	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	217	0	0	217
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	316	0	0	316
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $\text{RF} \geq 95\%$	35	0	0	35
1.5	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	477	0	0	477
1.6	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	515	0	0	515
1.7	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	495	0	0	495
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	207	0	0	207
1.8	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	413	0	0	413
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	146	0	0	146
1.9	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	412	0	0	412
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	147	0	0	147
1.10	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	344	0	0	344
1.11	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	32	0	0	32
1.12	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	730	0	0	730
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	326	0	0	326
1.13	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	407	0	0	407
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	16	0	0	16
1.14	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	437	0	0	437
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	125	0	0	125
1.15	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	374	0	0	374
1.16	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	48	0	0	48
1.17	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	288	0	0	288
1.18	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	30	0	0	30
1.19	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	34	0	0	34
1.20	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	425	0	0	425
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	137	0	0	137
1.21	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	352	0	0	352
1.22	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	815	2	2	819
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	396	0	0	396
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $\text{RF} \geq 95\%$	2	0	0	2
1.23	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	29	0	0	29
1.24	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	32	0	0	32



## Case 2: Etterisolering utenpå ny vindsperre

### Kritiske timer bak ytterste vindsperre

KRITISKE TIMER FOR MUGGVEKST BAK NY UTVENDIG VINDSPERRE, CASE 2					
Beregningstilfelle	Kritiske forhold for muggvekst	Antall kritiske timer			
		År 1	År 2	År 3	Sum 3 år
2.1	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	587	1335	1332	3254
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	402	5	5	412
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $\text{RF} \geq 95\%$	468	0	0	468
2.2	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	741	1288	1286	3315
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	568	0	0	568
2.3	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	654	1379	1378	3402
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	284	0	0	284
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $\text{RF} \geq 95\%$	533	0	0	533
2.4	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	655	1372	1370	3397
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	274	0	0	274
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $\text{RF} \geq 95\%$	534	0	0	534
2.5	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	717	1337	1326	3380
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	384	3	3	384
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $\text{RF} \geq 95\%$	906	0	0	906
2.6	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	577	1297	1297	3169
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	276	0	0	276
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $\text{RF} \geq 95\%$	813	0	0	813
2.7	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	610	1300	1298	3208
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	245	0	0	245
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $\text{RF} \geq 95\%$	855	0	0	855
2.8	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	667	1302	1300	3269
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	673	0	0	673
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $\text{RF} \geq 95\%$	109	0	0	109
2.9	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	773	1295	1293	3361
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	121	0	0	121
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $\text{RF} \geq 95\%$	557	0	0	557
2.10	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	601	1161	1180	2942
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	293	185	166	644
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $\text{RF} \geq 95\%$	606	0	0	606
2.11	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	613	1366	1364	3343
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	251	0	0	251
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $\text{RF} \geq 95\%$	577	0	0	577
2.12	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	575	1326	1323	3324
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	399	0	0	399
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $\text{RF} \geq 95\%$	473	0	0	473
2.13	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	561	1312	1311	3184
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	394	0	0	394
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $\text{RF} \geq 95\%$	477	0	0	477
2.14	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	617	1344	1341	3302
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	404	25	25	453
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $\text{RF} \geq 95\%$	477	0	0	477
2.15	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	620	1325	1323	3268
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	276	0	0	276
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $\text{RF} \geq 95\%$	544	0	0	544

## Kritiske timer bak innerste vindsperre

KRITISKE TIMER FOR MUGGVEKST BAK NY INNVEDDIG VINDSPERRE, CASE 2					
Beregningstilfelle	Kritiske forhold for muggvekst	Antall kritiske timer			
		År 1	År 2	År 3	Sum 3 år
2.1	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1018	0	0	1018
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	183	0	0	183
2.2	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	127	0	0	127
2.3	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	407	0	0	407
2.4	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	270	0	0	270
2.5	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1102	0	0	1102
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	166	0	0	166
2.6	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	385	0	0	385
2.7	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	256	0	0	256
2.8	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	423	0	0	423
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	793	0	0	793
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $\text{RF} \geq 95\%$	64	0	0	64
2.9	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	561	0	0	561
2.10	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	991	0	0	991
2.11	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	203	0	0	203
2.12	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1086	0	0	1086
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	185	0	0	185
2.13	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1094	0	0	1094
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	185	0	0	185
2.14	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1089	0	0	1089
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	185	0	0	185
2.15	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	421	0	0	421

## Case 3: Etterisolering utenpå utvendig kledning

### Kritiske timer bak ytterste vindsperre

KRITISKE TIMER FOR MUGGVEKST BAK NY UTVENDIG VINDSPERRE, CASE 3					
Beregningstilfelle	Kritiske forhold for muggvekst	Antall kritiske timer for muggvekst			
		År 1	År 2	År 3	Sum 3 år
3.1	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	993	1230	1228	3451
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	267	0	0	267
3.2	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	984	1252	1248	3484
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	286	0	0	286
3.3	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	975	1218	1216	3409
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	272	0	0	272
3.4	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	967	1203	1192	3362
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	275	0	0	275
3.5	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	833	1229	1225	3287
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	433	0	0	433
3.6	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1217	1161	1159	3537
3.7	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	589	1267	1267	3123
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	682	0	0	682
3.8	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1210	1103	1101	3414
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	109	0	0	109
3.9	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1549	1098	1041	3688
3.10	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	937	1347	1319	3603
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	594	0	0	594
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $\text{RF} \geq 95\%$	247	0	0	247
3.11	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	821	1196	1195	3212
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	431	0	0	431
3.12	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1243	1288	1251	3782
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	506	0	0	506

## Kritiske timer bak innerste vindsperre

KRITISKE TIMER FOR MUGGVEKST BAK OPPRINNELIG VINDSPERRE, CASE 3					
Beregningstilfelle	Kritiske forhold for muggvekst	Antall kritiske timer for muggvekst			
		År 1	År 2	År 3	Sum 3 år
3.1	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	977	0	0	977
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	262	0	0	262
3.2	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	1053	0	0	1053
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	278	0	0	278
3.3	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	978	0	0	978
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	263	0	0	263
3.4	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	973	0	0	973
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	267	0	0	267
3.5	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	532	0	0	532
3.6	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	758	0	0	758
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	520	0	0	520
3.7	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	825	0	0	825
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	139	0	0	139
3.8	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	971	0	0	971
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $90\% \leq \text{RF} < 95\%$	257	0	0	257
3.9	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	871	0	0	871
3.10	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	565	0	0	565
3.11	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	526	0	0	526
3.12	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ og $80\% \leq \text{RF} < 90\%$	599	0	0	599

# Vedlegg 6 MUGGINDEKS: RESULTAT FRA MUGGVEKSTMODELLEN VTT

## Case 1: Etterisolering utenpå opprinnelig vindsperre

MUGGINDEKS CASE 1				
Beregnings-tilfelle	Plassering i veggsgnitt	Materialsjikt	Maksimal muggvekstindeks (-)	Tid på året
0	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,2	Feb. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	1,8	Jan. År 1
		Innside vindsperre	1,25	Feb. År 1
1.1	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,0006	Sept.-okt. Hvert år
		Bak vindsperre: Treverk	0,02	Sept.-okt. Hvert år
		Innside vindsperre	0,0008	Sept.-okt. Hvert år
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,02	Okt. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,3	Okt. År 1
		Innside vindsperre	0,05	Okt. År 1
1.2	Ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0	Alle 3 år
		Bak vindsperre: Treverk	0,006	Første uken
		Innside vindsperre	0	Alle 3 år
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,01	Første mnd.
		Bak vindsperre: Treverk	0,175	Første mnd.
		Innside vindsperre	0,025	Første mnd.
1.3	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,0007	Des. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,012	Des. År 1
		Innside vindsperre	0,001	Des. År 1
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,008	Okt. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,2	Okt. År 1
		Innside vindsperre	0,025	Okt. År 1
1.4	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,0001	Okt. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,003	Okt. År 1
		Innside vindsperre	0	Alltid
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,035	Okt.-Nov. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,38	Okt.-Nov. År 1
		Innside vindsperre	0,04	Okt. År 1
1.5	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,0003	Juli år 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,02	Hver sommer
		Innside vindsperre	0	Alltid
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,0006	Okt. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,13	Okt. År 1
		Innside vindsperre	0,02	Okt. År 1
1.6	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,0006	Jan. År 2
		Bak vindsperre: Treverk	0,01	Jan. År 2
		Innside vindsperre	0,0007	Jan. År 2
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,004	Okt. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,175	Okt. År 1
		Innside vindsperre	0,025	Okt. År 1

MUGGINDEKS CASE 1, fortsettelse				
Beregnings-tilfelle	Plassering i veggsgnitt	Materialsjikt	Maksimal muggvekstindeks (-)	Tid på året
1.7	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,0007	Sept.-okt. Hvert år
		Bak vindsperre: Treverk	0,04	Sept.-okt. Hvert år
		Innside vindsperre	0,001	Sept.-okt. Hvert år
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,02	Okt. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,3	Okt. År 1
		Innside vindsperre	0,05	Okt. År 1
1.8	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,0006	Okt. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,03	Okt. Hvert år
		Innside vindsperre	0,0006	Okt. Hvert år
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,02	Okt. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,3	Okt. År 1
		Innside vindsperre	0,05	Okt. År 1
1.9	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,0006	Okt. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,03	Okt. Hvert år
		Innside vindsperre	0,0006	Okt. År 1
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,02	Okt. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,3	Okt. År 1
		Innside vindsperre	0,04	Okt. år 1
1.10	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,02	Okt.-nov. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,23	Okt.-nov. År 1
		Innside vindsperre	0,01	Okt.-nov. År 1
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,003	Okt. år 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,075	Okt. år 1
		Innside vindsperre	0,08	Okt. år 1
1.11	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,01	Okt. år 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,11	Okt. år 1
		Innside vindsperre	0,01	Okt. År 1
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0	Alltid
		Bak vindsperre: Treverk	0,002	Okt. år 1
		Innside vindsperre	0	Alltid
1.12	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,00005	Sept. Hvert år
		Bak vindsperre: Treverk	0,02	Sept. Hvert år
		Innside vindsperre	0,02	Sept. Hvert år
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,04	Okt.-nov. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,5	Okt.-nov. År 1
		Innside vindsperre	0,1	Okt.-nov. År 1
1.13	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,004	Okt.-nov. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,06	Okt.-nov. År 1
		Innside vindsperre	0,005	Okt.-nov. År 1
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,01	Okt.-nov. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,2	Okt.-nov. År 1
		Innside vindsperre	0,03	Okt.-nov. År 1
1.14	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,00005	Okt. år 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,02	Okt. år 1
		Innside vindsperre	0,03	Jan. År 1
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,02	Nov. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,3	Nov. År 1
		Innside vindsperre	0,04	Nov. År 1

MUGGINDEKS CASE 1, fortsettelse				
Beregnings-tilfelle	Plassering i veggsgnitt	Materialsjikt	Maksimal muggvekstindeks (-)	Tid på året
1.15	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,006	Nov. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,09	Nov. År 1
		Innside vindsperre	0,18	Nov. År 1
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,003	Okt. år 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,1	Okt. år 1
		Innside vindsperre	0,1	Okt. år 1
1.16	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,003	Okt. år 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,07	Okt. år 1
		Innside vindsperre	0,06	Okt. år 1
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0	Alltid
		Bak vindsperre: Treverk	0,005	Okt. år 1
		Innside vindsperre	0	Alltid
1.17	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,04	Jan. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,5	Jan. År 1
		Innside vindsperre	1,3	Feb. År 1
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,001	Okt. år 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,07	Okt. år 1
		Innside vindsperre	0,07	Okt. år 1
1.18	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,009	Nov. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,15	Nov. År 1
		Innside vindsperre	0,2	Nov. År 1
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0	Alltid
		Bak vindsperre: Treverk	0,002	Okt. år 1
		Innside vindsperre	0	Alltid
1.19	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,007	Okt. år 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,11	Okt. år 1
		Innside vindsperre	0,175	Nov. År 1
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0	Alltid
		Bak vindsperre: Treverk	0,002	Okt. år 1
		Innside vindsperre	0	Alltid
1.20	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,00005	Okt. år 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,015	Okt. år 1
		Innside vindsperre	0,02	Nov. År 1
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,02	Nov. år 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,3	Nov. År 1
		Innside vindsperre	0	Alltid
1.21	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,018	Nov. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,25	Nov-år 1
		Innside vindsperre	0,6	Jan. År 1
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,002	Nov. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,008	Nov. År 1
		Innside vindsperre	0,1	Okt. år 1
1.22	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0	Alltid
		Bak vindsperre: Treverk	0,005	Okt. år 1
		Innside vindsperre	0,012	Jan. År 1
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,05	Nov. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,65	Nov. År 1
		Innside vindsperre	0,15	Nov. År 1

MUGGINDEKS CASE 1, fortsettelse				
Beregnings- tilfelle	Plassering i veggsnitt	Materialsjikt	Maksimal muggvekstindeks (-)	Tid på året
1.23	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,01	Nov. År 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,16	Nov. År 1
		Innside vindsperre	0,006	Nov. År 1
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0	Alltid
		Bak vindsperre: Treverk	0,002	Okt. år 1
		Innside vindsperre	0	Alltid
1.24	Ved ny vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,009	Okt. år 1
		Bak vindsperre: Treverk	0,11	Okt. år 1
		Innside vindsperre	0,1	Okt. år 1
	Ved opprinnelig vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0	Alltid
		Bak vindsperre: Treverk	0	Alltid
		Innside vindsperre	0	Alltid



## Case 2: Etterisolering utenpå ny vindsperre

MUGGINDEKS CASE 2				
Beregnings- tilfelle	Plassering i veggsnitt	Materialsjikt	Maksimal muggvekstindeks (-)	Tid på året
2.1	Ved ytterste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,1	Des. År 1
		Innside vindsperre	0,07	Nov. År 1
	Ved innerste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,04	Okt. År 1
		Innside vindsperre	0,6	Okt. År 1
2.2	Ved ytterste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,04	Okt.-nov. År 1
		Innside vindsperre	0,03	Okt. år 1
	Ved innerste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0	Alltid
		Innside vindsperre	0,04	Okt. år 1
2.3	Ved ytterste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,12	Des. År 1
		Innside vindsperre	0,09	Nov. År 1
	Ved innerste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0	Alltid
		Innside vindsperre	0	Alltid
2.4	Ved ytterste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,12	Des. År 1
		Innside vindsperre	0,1	Des. År 1
	Ved innerste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0	Alltid
2.5	Ved ytterste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,3	April år 1
		Innside vindsperre	6	Jan. År 1, synker gradvis
	Ved innerste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,05	Okt. År 1
		Innside vindsperre	0,7	Okt. År 1
2.6	Ved ytterste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,25	Jan. År 1
		Innside vindsperre	4,7	Jan- år 1, synker gradvis
	Ved innerste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0	Alltid
		Innside vindsperre	0	Alltid
2.7	Ved ytterste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,25	Jan. År 1
		Innside vindsperre	5,5	Jan. År 1, synker gradvis
	Ved innerste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0	Alltid
2.8	Ved ytterste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,08	Des. År 1
		Innside vindsperre	0,05	Nov. År 1
	Ved innerste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,08	Nov. År 1
		Innside vindsperre	1	Nov. År 1
2.9	Ved ytterste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,11	Okt. År 1
		Innside vindsperre	0,11	Okt. År 1
	Ved innerste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0	Alltid
2.10	Ved ytterste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,16	Des. År 1
		Innside vindsperre	0,08	Des. År 1
	Ved innerste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,02	Okt. År 1
		Innside vindsperre	0,005	Okt. År 1
2.11	Ved ytterste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,14	Des. År 1
		Innside vindsperre	0,08	Des. År 1
	Ved innerste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0	Alltid

MUGGINDEKS CASE 2, fortsettelse				
2.12	Ved ytterste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,14	Des. År 1
		Innside vindsperre	0,07	Nov. År 1
	Ved innerste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,04	Nov. År 1
		Innside vindsperre	0,6	Nov. År 1
2.13	Ved ytterste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,14	Des. År 1
		Innside vindsperre	0,07	Nov. År 1
	Ved innerste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,04	Nov. År 1
		Innside vindsperre	0,6	Nov. År 1
2.14	Ved ytterste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,14	Des. År 1
		Innside vindsperre	0,07	Okt. år 1
	Ved innerste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,04	Okt. år 1
		Innside vindsperre	0,56	Okt. År 1
2.15	Ved ytterste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,12	Nov. År 1
		Innside vindsperre	0,09	Nov. År 1
	Ved innerste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0	Alltid
		Innside vindsperre	0	Alltid

## Case 3: Etterisolering utenpå utvendig kledning

MUGGINDEKS CASE 3				
Beregnings- tilfelle	Plasering i veggsnitt	Materialsjikt	Maksimal muggvekstindeks (-)	Tid på året
3.1	Ved ytterste vindspærre	Bak vindspærre: Mineralull	0,02	Nov. År 1
		Innside vindspærre	0,01	Nov. År 1
	Ved innerste vindspærre	Bak vindspærre: Mineralull	0,04	Okt. År 1
		Innside vindspærre	0,2	Okt. År 1
3.2	Ved ytterste vindspærre	Bak vindspærre: Mineralull	0,02	Okt.-nov. År 1
		Innside vindspærre	0,01	Okt. år 1
	Ved innerste vindspærre	Bak vindspærre: Mineralull	0,05	Nov. År 1
		Innside vindspærre	0,22	Okt. år 1
3.3	Ved ytterste vindspærre	Bak vindspærre: Mineralull	0,02	Des. År 1
		Innside vindspærre	0,01	Nov. År 1
	Ved innerste vindspærre	Bak vindspærre: Mineralull	0,04	Nov. År 1
		Innside vindspærre	0,2	Nov. År 1
3.4	Ved ytterste vindspærre	Bak vindspærre: Mineralull	0,02	Des. År 1
		Innside vindspærre	0,01	Des. År 1
	Ved innerste vindspærre	Bak vindspærre: Mineralull	0,03	Nov. År 1
		Innside vindspærre	0,2	Nov. År 1
3.5	Ved ytterste vindspærre	Bak vindspærre: Mineralull	0,02	Nov. År 1
		Innside vindspærre	0,01	Nov. År 1
	Ved innerste vindspærre	Bak vindspærre: Mineralull	0,0002	Okt. År 1
		Innside vindspærre	0,18	Okt. År 1
3.6	Ved ytterste vindspærre	Bak vindspærre: Mineralull	0,002	Okt. År 1
		Innside vindspærre	0,001	Okt. år 1
	Ved innerste vindspærre	Bak vindspærre: Mineralull	0,06	Nov. År 1
		Innside vindspærre	0,3	Nov. År 1
3.7	Ved ytterste vindspærre	Bak vindspærre: Mineralull	0,03	Okt. År 1
		Innside vindspærre	0,02	Okt. år 1
	Ved innerste vindspærre	Bak vindspærre: Mineralull	0,02	Okt. år 1
		Innside vindspærre	0,15	Nov. År 1
3.8	Ved ytterste vindspærre	Bak vindspærre: Mineralull	0,012	Nov. År 1
		Innside vindspærre	0,35	Des. År 1
	Ved innerste vindspærre	Bak vindspærre: Mineralull	0,03	Nov. År 1
		Innside vindspærre	0,2	Nov. År 1
3.9	Ved ytterste vindspærre	Bak vindspærre: Mineralull	0,003	Des. År 1
		Innside vindspærre	0,15	Des. År 1
	Innside opprinnelig kledning		0,02	Okt. år 1
	Ved innerste vindspærre	Bak vindspærre: Mineralull	0,003	Første kvartal
Innside vindspærre		0,22	Des. År 1	
3.10	Ved ytterste vindspærre	Bak vindspærre: Mineralull	0,07	Jan. År 1
		Innside vindspærre	3,0	Mars år 1
	Innside opprinnelig kledning		0,02	Okt. år 1
	Ved innerste vindspærre	Bak vindspærre: Mineralull	0	Alltid
Innside vindspærre		0,25	Okt. År 1	
3.11	Ved ytterste vindspærre	Bak vindspærre: Mineralull	0,02	Nov. År 1
		Innside vindspærre	0,01	Nov. År 1
	Innside opprinnelig kledning		0,02	Okt. år 1
	Ved innerste vindspærre	Bak vindspærre: Mineralull	0,0005	Okt. år 1
Innside vindspærre		0,2	Okt. år 1	

MUGGINDEKS CASE 3, fortsettelse				
3.12	Ved ytterste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0,02	Des. År 1
		Innside vindsperre	1,3	Mars år 1
	Innside opprinnelig kledning		0,02	Okt. år 1
	Ved innerste vindsperre	Bak vindsperre: Mineralull	0	Alltid
		Innside vindsperre	0,2	Okt. år 1

