



**HÖGSKOLAN I BORÅS**

INSTITUTIONEN INGENJÖRSHÖGSKOLAN

# **Fukttillstånd i olika ytterväggar med tre olika fasadsystem**

En parameterstudie med Wufi

# **Moisture conditions in different exterior walls with three different façade systems**

A parameter study with Wufi

Andreas Augustsson

Kristian Adolfsson

## **Fukttillstånd i olika ytterväggar med tre olika fasadsystem - En parameterstudie med Wufi**

### **Moisture conditions in different exterior walls with three different façade systems - A parameter study with Wufi**

Andreas Augustsson, [andreasaugustsson@icloud.com](mailto:andreasaugustsson@icloud.com)

Kristian Adolfsson, [kristian.adolfsson@gmail.com](mailto:kristian.adolfsson@gmail.com)

Kandidatuppsats examensarbete

Ämneskategori:                      Teknik

Högskolan i Borås  
Institutionen Ingenjörshögskolan  
501 90 BORÅS  
Telefon 033-435 4640

Examinator:                              Staffan Svensson

Intern handledare, namn:              Linda Hägerhed

Intern handledare, adress:              Högskolan i Borås  
501 90 Borås

Extern handledare, namn:              Lars Olsson

Extern handledare, adress:              Hus 2 Brinellgatan 4  
504 62 Borås

Uppdragsgivare:                          SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Datum:                                        2015-08-25

Nyckelord:                                  Innovativa fasadsystem, Wufi 1D, Wufi 2D, Wufi Bio, slagregn, parameterstudie, tilläggsisolering.

## Sammanfattning

Ett stort antal av miljonprogrammets byggnader är idag i behov av renovering. Då många av dessa byggnader har en hög energiförbrukning kan det vara lönsamt att samtidigt energieffektivisera byggnaderna, bland annat genom tilläggsisolering. Det är av stor vikt att noggrant undersöka hur byggnaderna påverkas ur fukthänsyn innan nya fasadsystem tas i bruk för att undvika framtida fuktrelaterade skador.

Syftet är att undersöka tre fasadsystem utifrån hur olika fuktbelastningar, väderstreck, tilläggsisoleringar och stommaterial påverkar ytterväggars fukttillstånd och risken för mikrobiell tillväxt. Även hur väl de olika fasadsystemen lämpar sig för att uppföras på en befintlig stomme i trä-, lättbetong- och betongstomme har undersökts. För att undersöka detta har fuktsimuleringar gjorts i fuktberäkningsprogrammet Wufi och resultaten har analyserats genom jämförelse av RF-kurvor samt riskbedömning för mögeltillväxt i Wufi Bio.

En övergripande slutsats är bland annat att inläckage av slagregn är en stor belastning för fasadsystemen. Systemens fuktsäkerhet beror till stor del på dess förmåga att hantera inläckaget.

Studien visar även att en fungerande ventilerad luftspalt, en god dränerande funktion eller en konstruktion med genomgående relativt ångöppna material har förmågan att hantera inläckage av slagregn effektivt.

Nyckelord: Innovativa fasadsystem, Wufi 1D, Wufi 2D, Wufi Bio, slagregn, parameterstudie, tilläggsisolering.

## **Abstract**

A large number of buildings built under “miljonprogrammet” is today in need of renovation. With their high energy consumption it is also considered profitable to improve the buildings energy efficiency e.g. by additional insulation. It is however important to thoroughly evaluate potential damp issues that might arise as a result of these improvements before starting to implement a new building exterior.

The aim of this study was to investigate three different façade systems based on how their moisture content and risk for mould growth are affected by different moisture loads, orientation, and additional insulation. Included is also a performance evaluation for each building exterior solution mounted on existing structure of wood, lightweight concrete and concrete structure. Damp simulations were done with the program Wufi and the results were then analysed by comparison to RF-curves in combination with risk assessments of the growth of mould with “Wufi Bio”.

The overall conclusion shows that leakage due to torrential rain poses a great strain on building exterior systems. A solutions damp proof quality is largely dependent on its ability to withstand leakage from outer sources.

The study also shows that a well ventilated cavity wall, sufficient drainage or a construction of exclusively vapour open materials has a positive impact on the amount of leakage.

**Keywords:** Innovative façade system, Wufi 1D, Wufi 2D, Wufi Bio, driving rain, parameter study, additional insulation.

## **Förord**

Examensarbetet omfattar 15 högskolepoäng och är en del av högskoleingenjörsutbildningen inom byggt teknik 180 hp på Högskolan i Borås. Examensarbetet är utfört hos SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut i Borås och idén till detta arbete kom från Lars Olsson på SP som erbjöd oss att göra detta arbete kopplat till hans forskningsprojekt, Riskanalyser av nya innovativa fasadsystem för energieffektivisering av miljonprogrammets byggnader.

Vi vill tacka vår handledare Lars Olsson på SP för sitt engagemang, stöd och för att han har delat med sig av sin erfarenhet och kunskaper i ämnet.

Vi vill även tacka vår interna handledare Linda Hägerhed på Högskolan i Borås.

Borås maj 2015

Andreas Augustsson

Kristian Adolfsson

## Definitioner

### Diffusion

Diffusion innebär att gasmolekyler strävar efter att utjämna skillnader i koncentration. Gasmolekyler rör sig då från områden med hög koncentration till områden med lägre koncentration (Nevander och Elmarsson 1994).

### Diffusionsmotstånd

Diffusionsmotståndet är ett materials förmåga att bromsa gasmolekylers diffusion (Nevander och Elmarsson 1994).

### Fukthalt

Fukthalten anger hur mycket vatten som finns per volymenhet av ett material och anges i [kg/m<sup>3</sup>] (Nevander och Elmarsson 1994).

### Byggfukt

Byggfukt är den mängd vatten som måste torkas ut för att ett material eller en byggnadsdel ska komma fuktjämvikt med omgivningen (Nevander och Elmarsson 1994).

### Kapillär uppsugning

Kapillär uppsugning innebär att ett material tar upp fukt i vätskeform i materialets porsystem. Detta inträffar när byggnadsdelar kommer i direkt kontakt med vatten men även på fasadmaterial som blir utsatta för kraftigt slagregn (Nevander och Elmarsson 1994).

### Fuktkonvektion

Fuktkonvektion innebär att vattenånga transporteras genom att den följer med en luftström (Nevander och Elmarsson 1994).

## Absorption

Absorption innebär att vätskemolekyler tas upp av ett fast material (Nevander och Elmarsson 1994).

## Mättnadsånghalt

Mättnadsånghalten anger den mängd vattenånga som luft kan innehålla vid en viss temperatur (Burström 2001).

## Relativ fuktighet

Den relativa fuktigheten anger förhållandet mellan faktisk ånghalt och mättnadsånghalten (Burström 2001).

## Porositet

Hos porösa material upptas en viss del av volymen av porer och resten består av kompakt material. Porositeten anger förhållandet mellan porernas volym och den totala volymen och brukar anges i % (Burström 2001).

## Värmekonduktivitet

Anger vilken förmåga ett material har att leda värme, med SI-enhet [W/mK] (Nevander och Elmarsson 1994).

## Ångspärr

En ångspärr är ett skikt i en konstruktion som är avsedd att hindra fukttransport genom diffusion och konvektion (Nevander och Elmarsson 1994).

# Innehållsförteckning

<b>1. Inledning</b> .....	<b>1</b>
1.1 Bakgrund .....	1
1.2 Initiering av examensarbetet .....	1
1.3 Syfte .....	4
1.4 Metod .....	4
1.5 Avgränsningar .....	5
1.6 Felkällor .....	5
1.7 Faktainsamling .....	6
1.8 Litteraturstudie .....	6
<b>2. Teoretisk bakgrund</b> .....	<b>8</b>
2.1 Fukt .....	8
2.2 Wufi.....	9
2.2.1 Wufi 1D .....	9
2.2.2 Wufi 1D och 2D.....	12
2.2.3 Wufi Bio .....	12
<b>3. Fasadsystem och indata</b> .....	<b>14</b>
3.1 Fasadsystem 1 .....	14
3.2 Fasadsystem 2 .....	15
3.3 Fasadsystem 3 .....	17
3.4 Data för övriga villkor och inställningar för fuktberäkningar.....	19
3.5 Grundvillkor för konstruktionerna .....	20
3.5.1 Uppbyggnad av konstruktioner i Wufi. ....	20
<b>4. Genomförande</b> .....	<b>23</b>
4.1 Jämförelse mellan Wufi 1D och Wufi 2D.....	23
4.2 Jämförelse med eller utan träskiva.....	25
4.3 Parameterstudie av tre olika fasadsystem .....	26
<b>5. Resultat/Analys</b> .....	<b>28</b>
5.1 Fasad 1 .....	28
5.1.1 Träregelstomme .....	29
5.1.2 Lättbetongstomme .....	33
5.1.3 Betongstomme .....	35
5.2 Fasad 2 .....	37
5.2.1 Träregelstomme .....	38
5.2.2 Lättbetongstomme .....	42
5.2.3 Betongstomme .....	45
5.3 Fasad 3 .....	48
5.3.1 Träregelstomme .....	48
5.3.2 Lättbetongstomme .....	52
5.3.3 Betongstomme .....	55
<b>6. Diskussion/Kommentarer till resultaten.</b> .....	<b>58</b>
6.1 Fasadsystem 1 .....	58
6.1.1 Träregelstomme .....	59
6.1.2 Lättbetongstomme .....	59
6.1.3 Betongstomme .....	59
6.2 Fasadsystem 2 .....	59
6.2.1 Träregelstomme .....	60
6.2.2 Lättbetongstomme .....	60
6.2.3 Betongstomme .....	60



6.3	Fasadsystem 3 .....	61
6.3.1	Träregelstomme .....	61
6.3.2	Lättbetongstomme .....	61
6.3.3	Betongstomme .....	62
<b>7.</b>	<b>Slutsatser .....</b>	<b>63</b>
	<b>Referenser .....</b>	<b>65</b>

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

Under åren 1965-1975 byggdes det i Sverige årligen 100 000 bostäder i det projekt som fick namnet Miljonprogrammet. Ca 80 % av dessa byggnader har idag behov av omfattande renoveringar enligt Boverket (2009). En viktig del i upprustningen av miljonprogrammets byggnader är energieffektivisering för att få ner driftskostnader och även för att minska miljöpåverkan. När dessa byggnader uppfördes fanns inte dagens krav på energiprestanda. Därför är det en naturlig åtgärd att tilläggsisolera dessa byggnader när de ska renoveras.

Under 2000-talet upptäcktes omfattande skador på byggnader med träregelstomme med enstegstätade putsade fasader. Mest sannolikt är att dessa skador har uppkommit genom inläckage av slagregn genom anslutningar och andra otätheter i fasaden (Samuelsson & Jansson 2009). För att undvika framtida liknande problem bör inläckage av slagregn beaktas innan tilläggsisolering av befintliga byggnader utförs.

I detta arbete kommer vi genom datorberäkningar undersöka hur tilläggsisolering med tre nya innovativa fasadssystem påverkar ytterväggars fuktillstånd. Tanken är att hitta de yttre och inre belastningar och moment i uppförandet som är mest kritiska för ytterväggens framtida funktion. Fasadsystemen kommer undersökas genom en parameterstudie där vi belastar fasadsystemen med en eller kombinerade fuktparametrar för att dels hitta systemens styrkor och svagheter och även olika parametrars betydelse.

Parameterstudien kommer genomföras med hjälp av fuktberäkningsprogrammen Wufi 1D (WUFI 1D) och Wufi 2D (WUFI 2D). För att bedöma risken för mikrobiell tillväxt i konstruktionen kommer vi att använda oss av Wufi Bio som bedömer risken för tillväxt genom att analysera temperatur och relativ fuktighet som funktion av tiden (WUFI Bio).

## 1.2 Initiering av examensarbetet

Under utbildningen blev vi intresserade av byggnadsfysik varför vi sökte kontakt med Lars Olsson på SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Lars är igång med ett forskningsprojekt, ”Riskanalyser av nya innovativa fasadssystem för energieffektivisering av miljonprogrammets byggnader”. Lars erbjöd oss att göra detta examensarbete på SP kopplat till hans projekt.

Forskningsprojektet ska utveckla och verifiera metodik för generell bedömning av den byggnadsfysikaliska tillförlitligheten/risken med nya innovativa fasadssystem.

Många av miljonprogrammets byggnader har stort renoveringsbehov och en hög energiförbrukning. När dessa byggnader ändå ska rustas upp så kan det vara lönsamt att energieffektivisera samtidigt. Innan nya fasadskikt monteras på byggnaderna är det av stor vikt att noggrant undersöka och genomföra studier på fasadsystemen för att veta hur ytterväggarna påverkas ur fukthänsyn.

Nedan presenteras den information, vägledning och tabell (se tabell 1) som Lars Olsson överlämnade skriftligt till oss under ett uppstartsmöte inför parameterstudien:

Träreolar är ett vanligt material i utfackningsväggar i byggnader från 60 -70-talet. Det var även vanligt med en ångspärr invändigt. Lättbetong är också ett ganska vanligt stommaterial i utfackningsväggar men även i bärande väggar i övre våningar (Björk 2002). Lättbetong är ett relativt ångöppet material varför ångtransport kan få betydelse framförallt i jämförelse med betong eller vid användning av ångspärr. Flera fasadleverantörer har begränsat tjockleken på tilläggsisoleringen till max 200 mm eller motsvarande. Ett lämpligt R-värde blir då 5 m<sup>2</sup>K/W för tilläggsisoleringen. Enligt TURIK (Mjörnell 2011), ska ytterväggar inklusive köldbryggor inte ha ett U-värde sämre än 0,15 W/K\*m<sup>2</sup> men helst bör u-värdet uppfylla 0,10 W/K\*m<sup>2</sup> (Mjörnell 2011). Dessutom kan det vara svårt att i en LCC räkna hem en tilläggsisolering med betydligt högre R-värde.

Regninläckage kan i allmänhet antas uppkomma genom fasadskiktet för overifierade genomföringar (Olsson 2014a) (Van Den Bossche 2013). Börja med att räkna på ett referensfall utan inläckage. Därefter ansätt 1 % inträngning enligt ASHRAE (BSR/ ASHRAE 160P), samt välj FD=1 (avrinningsvatten) och FE=1,2 (inga direkta hinder framför byggnaden, kustnära eller dylikt) och R2=0,2 (byggnadshöjd 10-20 m). Testa gärna med 2 % inläckage som kan representera skalmur eller uppenbart otät fasad. Dock bör stommen klara sig från inläckage om det finns ett regntätt stomskydd. Därför bör inläckage placeras vid utsida stomskydd alternativt ytterdel stomme om stomskydd saknas.

Mekanisk ventilation är vanligt i flerfamiljshus från 60 -70-talet varför invändigt övertryck torde vara mindre vanligt än i jämförelse med självdragshus. Dock kan övertryck uppstå när det blåser av vindtryck, av tryckstötter när dörrar stängs eller när fönster hålls öppna. Förslagsvis bör beräkningar göras med fuktkonvektion, framförallt för de lösningarna med tveksam uttorkningsförmåga, fuktkänsliga material eller dylikt. Ansätt 0 g/m<sup>2</sup> i ett första steg, därefter 65 g/m<sup>2</sup> och 130 g/m<sup>2</sup> per månad i läckage åtminstone under oktober-mars (CR 063).

Ett fuktillskott som inte ligger högre än 2 g/m<sup>3</sup> inomhus i flerfamiljshus från denna tid kan anses vara rimligt och täcker övervägande delen av byggnadsbeståndet från denna tid (BETSI). Dock visade ELIB-studien ett värde strax under 3 g/m<sup>3</sup> i medel. Detta innebär att det kan förekomma byggnader med ett fuktillskott på 4 g/m<sup>3</sup> utan att det behöver vara ett extremfall.

Omgivningsklimatet för en skyddad och isolerad yttervägg ligger i medeltal någonstans mellan 30-60 % RF i södra Sverige med de högsta värdena sommartid (Nevander och Elmarsson 2014). Tilläggsisoleringen höjer temperaturen i stommen vilket innebär att uteluftens fuktighet inte torde utgöra en fuktkritisk nivå för fuktkänsliga material i stommen (Olsson 2014a). Därför kan nog normalårsklimat för Göteborg användas i Wufi. Däremot kan slagregnsinträngning eller kapillär uppsugning från nederbörd få betydelse. Både slagregnsmängd och antal regntillfällen med dess varaktighet får betydelse (störst slagregnsmängd har Göteborg i förhållande till Lund, Visby, Karlstad, Stockholm och Umeå). Dock blåser det mest, i medelvind, i Visby (kanske mest utsatt från alla väderstreck varför total medelvind blir störst?).

Omvänd fuktvandring på grund av solbestralning kan ske framförallt i väderstreck åt söder med fuktabsorberande fasader. Uttorkningen är sämre åt norr eftersom den fasaden har ingen eller liten solstrålning och därför torde orter med betydande slagregn från norr vara intressanta att studera.

Beräkningstiden bör vara minst tre år för att kunna bedöma om väggen klarar torka ut eller tenderar att ackumulera fukt på grund av bristande uppbyggnad eller fuktegenskaper. Lämplig tidpunkt för beräkningsstart brukar vara september-oktober om inverkan av byggfukt också ska studeras, annars kan juni vara en neutral tidpunkt att starta vid.

Luftomsättning i spalter är förhållandevis stora (Falk 2010) för ventilerade fasader. Vidare har Falk visat med beräkningar att flödet inte torde minska med ökad fasadhöjd. (Sandin 1991) har visat att flödet bakom tegelfasader med öppningar i nederdel av fasaden vid stötfogar ligger någonstans kring 5-10 omsättningar per timme, vilket får betecknas som ganska lågt. Sammantaget verkar det som hålarean i spalten har betydelse för luftomsättningen, alltså kan ett relativt stort flöde erhållas om spalten är över 10 mm tjock och kontinuerligt öppen i nederdel och överdel av väggen. Minst 30 oms/h har bedömts vara ett rimligt ansatt värde (Hägerstedt 2012) och utifrån Falks studie (Falk 2010) så är det snarare ett lägsta flöde i spalter varför ett förväntat flöde i välventilerade spalter torde vara 100 oms/h.

Eftersom träreglars hygroskopiska inverkan inte kan tas med i Wufi 1D beräkningar behöver ett simulerat skikt av trä med hygroskopisk förmåga läggas in. För en träregelstomme med 95x45 mm regler på ett centrumavstånd av 600 mm motsvarar det ett kontinuerligt skikt av trä på ungefär 7 mm tjocklek. Detta skikt läggs förslagsvis dikt an mot plastfolien/ångspärren för att åstadkomma en viss transportväg genom isoleringen såsom den transportväg i sidled blir fram till verkliga regler. Detta kan nog låta sig göras eftersom temperaturgradienten över stommen blir förhållandevis liten med övervägande del isolering utanför med 200 mm tilläggsisolering. Eftersom en stor del av väggens totala isolering hamnar utanför regelstommen behöver det nog göras en kontrollberäkning eller en mindre jämförande studie för att verifiera detta antagande.

**Tabell 1.** Förslag på beräkningsparametrar

Parametrar	Alternativ			Lämpligt att börja med i steg 1
	Träreglar (95 mm)	Lättbetong (250mm)	Betong (150)	
Stomme	Träreglar (95 mm)	Lättbetong (250mm)	Betong (150)	Träreglar (95 mm) Lättbetong (250mm)
Tilläggsisolering	100 mm	200 mm	300 mm	Motsvara 200 mm vanlig isolering
Inläckage, andel av slagregn	0	1 % samt välj FD=1 för avrinningsvatten, FE=1,2 för omgivande landskap och R2=0,2 för byggnadshöjd	2 % samt välj FD=1 för avrinningsvatten, FE=1,2 för omgivande landskap och R2=0,2 för byggnadshöjd	0
Placering av inläckage	Inget inläckage bakom fasadskikt	Utanför stomskydd	I stommen (har valet av fasadtyp någon betydelse?)	Inget
Lufttöt insida, fuktkonvektion (0,4/0,8/1,6 l/s,m <sup>2</sup> )	0 g/m <sup>2</sup> per månad under oktober-mars	65 g/m <sup>2</sup> per månad under oktober- mars	130 g/m <sup>2</sup> per månad under oktober- mars	0 g/m <sup>2</sup> per månad under oktober-mars
Byggfukt	50 % RF i befintlig stomme 75 % RF i tilläggsisolering 100 % RF i fasad	60 % RF i befintlig stomme 75 % RF i tilläggsisolering 100 % RF i fasad	75 % RF i befintlig stomme 75 % RF i tilläggsisolering 100 % RF i fasad	50 % RF i befintlig stomme 75 % RF i tilläggsisolering 100 % RF i fasad

	av btg/puts	av btg/puts	av btg/puts	av btg/puts
Fukttillskott	2 g	4 g	6 g	2 g
Väderstreck	Norr	S/V och väderstreck med mest slagregn		Söder
Ventilationsspalt	100 oms/h (välventilerad spalt)	30 oms/h (hinder i ventilationsspalt)	5 oms/h (t.ex. skalmur)	Paroc 100 oms/h
Slagregn Enligt Nik V. (NSB 2014) varierar mellan 700-1150 mm/år	Göteborg	Kristiansand med väderstreck åt NO (liten solstrålning men mycket regn)	Bergen Falkenberg 2011 var ett luftfuktigt år avseende RF och T.	Göteborg
Luftfuktighet utomhus	Göteborg med Wufi-klimat	Lund (om RF och T har avgörande betydelse)	Falkenberg 2011 var ett luftfuktigt år avseende RF och T.	Göteborg (väljs om RF och T har liten betydelse)
Dimension	1D	2D		1D (utöka med 2D för regler eller ev räkna med annat hygroskopiskt material i vägg))
Beräkningstid				3 år för 1D. 1 år för 2D.
Ångspärr/Invändigt ytskikt	Papperstapet	Akrylatfärg	Ångspärr på insida trästomme, tätskikt i våtrum på insida lättbetong	-Ångspärr på insida trästomme. -Papperstapet på lättbetong (ev alt med tätskikt på betong som representerar badrum).

### 1.3 Syfte

Syftet är att undersöka tre fasadsystem utifrån hur olika fuktbelastningar, väderstreck, tilläggsisoleringar och stommaterial påverkar ytterväggars fukttillstånd och risken för mikrobiell tillväxt.

Parameterstudien kan vara ett stöd vid bedömning av robustheten med avseende på risk för mögeltillväxt hos fasadsystemen.

Innan parameterstudien genomförs görs en jämförelse mellan Wufi 1D och Wufi 2D för att undersöka om det är möjligt att få samma resultat för träregelstomme i de båda programmen. Syftet är att kunna förenkla beräkningarna och spara tid under parameterstudien. Följden blir i så fall att vi hinner genomföra ett större antal belastningsfall på fasadsystemen.

### 1.4 Metod

Parameterstudien kommer att omfatta tre olika fasadsystem och beräkningar kommer att genomföras med tre olika tjocklekar på tilläggsisoleringen. Dessutom ska fasadsystemen studeras med beräkningar på tre olika befintliga stommar, träregelstomme, lättbetongstomme och betongstomme. Beräkningarna på träregelstommen kommer att genomföras med en träskiva som ska motsvara regelstommen och dess hygroskopiska egenskaper.

Under den här studien har beräkningar genomförts i fuktberäkningsprogrammen Wufi 1D och Wufi 2D. Även mögelsimuleringsprogrammet Wufi Bio kommer användas för att analysera resultaten.

## **1.5 Avgränsningar**

Våra beräkningar innehåller osäkerheter, antaganden och begränsningar i materialegenskaper, klimatdata och Wufi's beräkningsmodeller. Resultaten ska ses som en indikation på kritiska moment och påfrestningar i fasadsystemen och tanken är att resultaten ska användas som ett komplement till de fältmätningar och beräkningar som kommer genomföras i forskningsprojektet. Det är viktigt att resultaten från beräkningarna verifieras mot resultaten från fältmätningar vilket inte har genomförts i den här studien.

En annan metod att undersöka fasadsystemens funktion är genom fältmätningar. Detta alternativ är utanför vår tidsram och utesluts därför. Lars Olsson på SP kommer under sitt forskningsprojekt genomföra fältmätningar på fasaderna.

Fasadsystemen studeras i en dimension vilket innebär en större osäkerhet i resultatens pålitlighet för fasadsystemen monterade på en befintlig träregelstomme. Beräkningar i en dimension kan inte ta hänsyn till reglarna i träregelstommen och således blir beräkningarna något förenklade. Detta har gjorts med hänsyn till tidsaspekten. Bedömningen är att vinsten av att kunna belasta fasadsystemen med ett större antal parametrar är större än bristen i noggrannhet som förenklingen innebär.

Alla beräkningar är genomförda med Wufi's klimatfil för Göteborg. Detta innebär att resultaten från studien endast återspeglar hur en yttervägg med normalårsklimat i Göteborg kan antas hantera de olika fuktbelastningarna.

## **1.6 Felkällor**

Studien har begränsats av att ibland har vissa fuktegenskaper saknats för fasadsystemen. Detta har inneburit att antaganden har gjorts för vissa väsentliga materialegenskaper som i olika grad påverkar resultaten.

Wufi's klimatdatafiler är baserade på ett normalår utan extremvärden. Således kan fuktbelastningen under ett specifikt år bli större (Hägerstedt 2012). I klimatdatafilen för Göteborgs uteklimat är topparna i RF avskalade vid 95 % RF vilket innebär att beräkningen aldrig utgår från en relativ fuktighet i utomhusluften som är högre än 95 % i beräkningarna.

Beräkningarna i Wufi genomförs av beräkningsmodeller som i sig är en förenkling av verkligheten och därmed innebär en viss osäkerhet för resultaten. För exempel tas ingen hänsyn till hysteres i materialens fuktomlagringar utan ett snittvärde används (WUFI 1D).

En mer komplett beskrivning av möjliga felkällor i beräkningsprogrammet hänvisas till Wufi 5.3 hjälpmanual (WUFI 1D).

## 1.7 Faktainsamling

I denna parameterstudie har beräkningar utförts på tre fasadssystem. Fasadsystemens uppbyggnad och materialegenskaper har mottagits skriftligt och muntligt av vår externa handledare Lars Olsson, SP i Borås. Då det har saknats uppgifter om vissa materialegenskaper har en del antaganden gjorts. Materialdata för liknande material har inhämtats och använts i beräkningarna.

## 1.8 Litteraturstudie

Nedan presenteras tre angränsande studier som har varit relevanta att studera inför detta examensarbete.

Mikkel Oustad, Arild Gustavsen och Sivert Uvsløkk har i rapporten ”*Calculation of Moisture and Heat Transfer in Compact Roofs and Comparison with Experimental Data*” (Gustavsen, Oustad, & Uvsløkk 2008) har i en studie jämfört beräkningsresultat från Wufi 1D och Wufi 2D med resultat från fältmätningar av fukthalten i en takkonstruktion på en byggnad i Norge. Deras resultat visar att den tvådimensionella beräkningen stämmer bättre överens med de experimentella uppmätta fukthalterna i konstruktionen än resultaten från den endimensionella beräkningen. De skriver även att när det finns osäkerhet i materialegenskaper så bör resultaten från beräkningarna användas för att se tendenser och inte som exakta numeriska värden.

I studien antyds att osäkerhet i materialegenskaper är det som påverkar avvikelserna från de experimentellt uppmätta värdena mest.

S. Olof Hägerstedt har i rapporten ”*Fuktsäkra träkonstruktioner, vägledning för utformning av träbaserade väggar*” (Hägerstedt 2012) tagit fram riktlinjer och vägledning för träreglyttermärgars för att uppfylla fuktsäkerhetskraven i enlighet med BBR 18.

En parameterstudie har genomförts för att undersöka olika faktors inverkan på träreglyttermärgars fuktsäkerhet.

S. Olof Hägerstedts slutsatser var bland annat:

- Träreglyttermärgar skall konstrueras med beaktning för inläckage av slagregn för att inte skador av inträngande vatten skall uppstå.
- Det skall finnas en hel och fungerande ångspärr i konstruktionen, otätheter vid installationer och genomföringar får inte förekomma.
- Luftomsättningar i luftspalten skall vara högt och motsvara minst 30 oms/h för att klara av att ventilerar bort inträngande fukt eller byggfukt inifrån väggen.

Lars Olsson undersöker i sin licentiatavhandling ”*Moisture Conditions in Exterior Wooden Walls and Timber During Production and Use*” (Olsson 2014a) bland annat fuktillståndet trätterväggar dels under byggprocessen och även efter att byggnaden är färdigställd. Vidare presenteras rekommendationer för god fuktsäkerhet.

Lars Olssons slutsatser var bland annat:

- Det är ganska vanligt med inläckage av vatten vid anslutningar i fasader, detta har visats både med provningar i laboratorium och genom fältmätningar. Vidare rekommenderas att de produktkombinationer och lösningar som används verifieras med avseende på slagregnstäthet för att uppnå en god fuktsäkerhet.
- Det har konstaterats i laboratorium och i fältstudier att vindskyddsprodukter inte ger ett heltäckande skydd mot inläckage vid anslutningar i fasaden. En av orsakerna till detta är att vindskydden inte är framtagna som en del i ett helt system. Rekommendationen är därför att för att kunna säkerställa regntäthet bör hela system konstrueras och verifieras för avsedd funktion.
- Vidare bör diffusionsöppen och mögelresistent isolering användas utanför stommen, framförallt i södra Sverige och fasader åt norr. Detta för att skydda stommen mot fuktig uteluft och öka förmågan hos stommen att torka ut.



## 2. Teoretisk bakgrund

En stor andel av skador på byggnader är orsakade av fukt (Burström 2001). Alla porösa byggnadsmaterial innehåller en viss mängd fukt. Ett visst fukttinnehåll är naturligt men en förhöjd fukthalt kan leda till omfattande skador i byggnader. En förhöjd fukthalt påverkar byggnadsmaterialens egenskaper som sämre hållfasthet och även sämre isoleringsförmåga. En förhöjd fukthalt kan även påverka inomhusmiljön och människors hälsa genom mögelangrepp (Burström 2001). En annan aspekt är att det åtgår energi för att fukt ska kunna avgå. Kunskap om fukttinnehåll och fuktkällor är därmed av stor betydelse när byggnader ska uppföras eller renoveras.

### 2.1 Fukt

Mängden vattenånga i luft anges som ånghalt ( $\text{kg/m}^3$ ). Den största mängd vattenånga som luft kan innehålla kallas mättnadsånghalten ( $\text{kg/m}^3$ ) som är temperaturberoende. Om temperaturen sänks så att aktuell ånghalt överskrider mättnadsånghalten kommer vattenånga att kondenseras och falla ut som dimma och vattendroppar. Kvoten mellan luftens fukttinnehåll och mättnadsvärde vid en viss temperatur anges som relativ fuktighet, RF (Burström 2001).

Vattenånga och andra gaser strävar efter att utjämna skillnader i koncentration, detta kallas diffusion. Detta kan leda till fukttransport i byggnader då ånghalten i genomsnitt är högre i inomhusluft än utomhusluft bland annat på grund av fuktillskott från människor, badrum och kök. Beroende på hur stort fuktillskott som tillförs inomhusluften så påverkas drivkraften för fuktdiffusion (Nevander och Elmarsson 1994).

Vattenånga som transporteras genom att det följer med en luftström kallas för fuktkonvektion. I byggnader är det tryckdifferenser orsakade av temperaturskillnader, vindtryck och mekanisk ventilation som ger upphov till luftströmningar. När fuktkonvektion sker från varm inomhusluft ut till en kallare utomhusmiljö sänks temperaturen gradvis genom konstruktionen och därmed även mättnadsånghalten hos luften. Detta riskerar att aktuella ånghalten överskrider den högsta möjliga ånghalten med kondensation som följd (Nevander och Elmarsson 1994).

Byggnadsmaterial innehåller ett oregelbundet porsystem. Fukttransport i vätskefas i porsystemen kallas kapillär uppsugning. Hastigheten och hur stor den kapillära uppsugningen blir påverkas av porernas storlek. Hastigheten blir högre när porerna är större medan den kapillära stighöjden ökar med mindre porstorlek. Fukttransport genom kapillär uppsugning har som regel en stor kapacitet jämfört med ångdiffusion. Detta innebär att en fasad som utsätts för slagregn fuktas upp betydligt snabbare än den torkas ut då uttorkningen med tiden övergår allt mer till att ske genom diffusion.

Fukttransporten genom kapillär uppsugning mellan byggnadsmaterial beror till stor del på porstorleken. Den kapillära uppsugningen sker gärna från material med grövre porer till material med finare porer.

När ett torrt byggnadsmaterial placeras i en miljö med konstant relativ fuktighet och temperatur kommer med tiden ett jämviktstillstånd uppstå mellan byggnadsmaterialets och omgivningens fukthalt. En sorptionskurva för absorption visar dessa jämviktstillstånd i fukthalt i materialet som funktion av den relativa fuktigheten i omgivningen. Om samma försök som ovan görs på ett från början vattenmättat byggnadsmaterial blir resultatet en sorptionskurva för desorption. Skillnaden mellan de två kurvorna kallas för hysteres.

I praktiken innebär detta att ett material som blivit uppfuktat och sedan torkar ut inte får samma fuktegenskaper som det hade innan uppfuktningen skedde. Materialet kommer ha en högre fukthalt i förhållande till den relativa fuktigheten hos omgivningen (Sandin 2010).

Slagregn är det regn som träffar en fasad när det regnar och blåser samtidigt. Slagregnmängden som träffar en byggnads fasadyta är beroende av mängd nederbörd och vindhastigheten. Mängden slagregn som träffar fasaden kan variera relativt mycket på olika delar av fasaden. Mitt på fasaden blir slagregnmängden relativt liten medan fasadens kanter kan få betydligt större mängd slagregn.

Beroende på fasadens kapillära sugförmåga kommer olika stor del av slagregnet absorberas av fasadskiktet. När slagregn träffar en fasad med liten eller ingen kapillär sugförmåga börjar vatten relativt snabbt att rinna längs fasaden. Då en fasadyta sällan har helt täta fogar så finns det risk för inläckage av detta rinnande vatten.

Vid genomförande av fuktberäkningar har temperaturen stor betydelse. Anledningen till detta är framförallt att luftens mätnadsånghalt varierar beroende på temperaturen. Mätnadsånghalten har en betydlig inverkan på fukttransport och uttorkningsförmåga i ytterväggar (Nevander och Elmarsson 1994).

## 2.2 Wufi

Wufi är ett fuktberäkningsprogram utvecklat av Fraunhofer Institute for Building Physics, IBP. Utvecklingen av den svenska versionen har skett i samarbete med Lunds Tekniska Högskola. Programmet har utvecklats för att ta hänsyn till variationer i temperatur och fuktighet det vill säga för icke-stationära förhållanden. Programmet är välutvecklat och tillförlitligt men kräver goda kunskaper om materialegenskaper för byggnadsmaterial och byggnadsfysik.

Wufi finns i två olika versioner. Wufi 1D som gör beräkningar på endimensionella byggnadskomponenter som till exempel konstruktioner med betong och lättbetongstommar. Wufi 2D gör beräkningar på tvådimensionella byggnadskomponenter och klarar därför av beräkningar på mer komplicerade konstruktioner som till exempel träregelstommar.

Wufi Bio beräknar risken för mögel tillväxt genom att analysera relativ fuktighet och temperatur som funktion av tiden.

### 2.2.1 Wufi 1D

#### 1) Uppbyggnad av konstruktionen

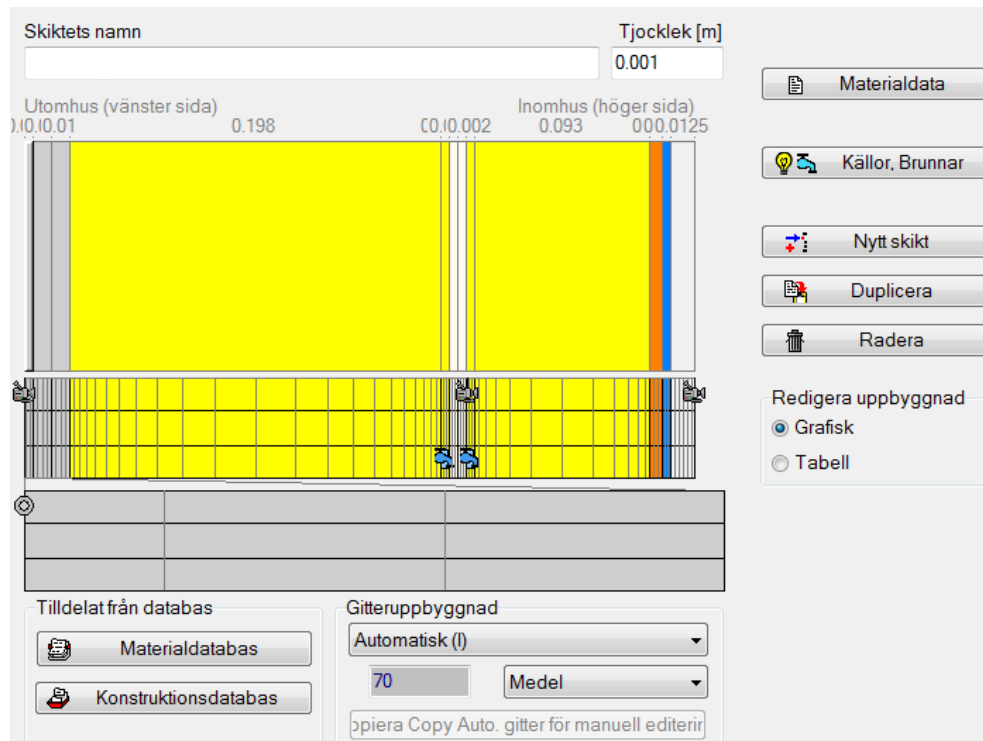
Första steget för en beräkning är att bygga upp konstruktionen genom att välja material från Wufi's materialdatabas. Konstruktionen byggs från vänster utifrån och in där även tjockleken för varje materialskikt anges, se figur 1.

Beräkningarna i Wufi löses numeriskt. För att kunna göra det delas komponenterna i konstruktionen upp i delar, gitterelement. Dessa celler (gitterelement) kan ställas in med olika noggrannhet; fint, medium eller grovt. I varje cell är den beräknade relativa fuktigheten och temperaturen konstant vilket gör att ju mindre en cell är, desto noggrannare och mer tidskrävande blir beräkningen.

Under konstruktionsuppbyggnaden har man möjlighet att ange positioner för monitorer beroende på var i konstruktionen man vill undersöka temperatur, relativ fuktighet och fukthalt. Detta kan göras för varje enskild cell.

För varje skikt finns även en möjlighet att lägga till en fuktkälla, värmekälla eller en källa för luftomsättning. Källan kan fördelas över hela skiktet eller för bara ett element.

I figur 1 ses ett exempel på uppbyggnaden av en konstruktion från Wufi 1 D. Skikten byggs upp utifrån och in genom att skiktjocklek samt materialegenskaper anges.



**Figur 1.** Exempel på uppbyggnad av en konstruktion i Wufi 1D. På vänster sida är uteklimat, därefter byggs materialskikten upp mot insidan genom att materialegenskaper och skiktjockleken anges.

Det finns ett begränsat antal material i Wufi's materialdatabas, dock finns möjligheten att manuellt lägga till eller korrigera materialegenskaper. Indatan är uppdelade i basvärden samt approximationsparametrar, där basvärdena är de värden som minimalt krävs för en beräkning. Eftersträvas en mer noggrann beräkning krävs mer utförlig experimentell data för materialet som Wufi kan generera hygrotermiska funktioner från. Här kan även begynnelsevärdet av relativ fuktighet i varje material anges, se figur 2.

Skikt/Materialnamn Skikt1

Materialdata Info

**Basvärde**

Skrymdensitet [kg/m<sup>3</sup>]

Porositet [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]

Specifik värmekapacitet, torr [J/kgK]

Värmeledningsförmåga, torr, 10°C [W/mK]

Diffusionsmotstånd för vattenånga [-]

**Approximationsparameter**

Referens-vatteninnehåll [kg/m<sup>3</sup>]

Fri vattenmättnad [kg/m<sup>3</sup>]

Vattenabsorptionskoefficient [kg/m<sup>3</sup>s<sup>-0.5</sup>]

Fuktberoende värmeledn. Tillägg [%/M.-%]

Typisk byggfukt [kg/m<sup>3</sup>]

Skikt-tjocklek [m]

Färg

**Hygrotermiska funktioner**

Fuktlagingsfunktion

Vätsketransportkoefficient, Suction

Vätsketransportkoefficient, Omfördelning inte definierat

Diffusionsmotstånd för vattenånga, fuktberoende

värmeledningsförmåga, fuktberoende

värmeledningsförmåga, temperaturberoende

Entalpi, temperaturberoende

Grafisk Redigera tabell från fil ...

Approximativ

Nr.	RF [-]	Vatteninnehåll [kg/m <sup>3</sup> ]
1	0	0
2	0,8	
3	1	

Ny

Ta bort

Kopiera

Infoga

Kopiera

Överför till databas

Importera...

Exportera...

OK

Avbryt

Hjälp

**Figur 2.** Här anges materialegenskaper för ett materialskikt.

## 2) Orientering/Lutning

Nästa steg är att ställa in vilket väderstreck man vill belasta konstruktionen åt samt att ange lutningen på konstruktionen. Båda inställningarna har betydelse för hur konstruktionen kommer belastas av uteklimatet.

Här ställs även byggnadshöjden in och vilken regnbelastning på byggnaden som önskas. En hög byggnad är mer utsatt för vind och därmed även mer slagregn än en låg byggnad.

## 3) Ytövergångskoefficienter

Här anges i vilken utsträckning omgivningens klimat ska påverka konstruktionen, det gäller för både utsidan och insidan av konstruktionen. Värmeövergångsmotstånd för in- och utsida väljs. Absorptionstal för kortvågig strålning och emissionstal för långvågig strålning bestäms genom att färg och material på utsidan kan väljas.

## 4) Inställningar

I inställningar anges beräkningstiden genom att fylla i start- och slutdatum för beräkningen. Under fliken numerik anges vilken eller vilka beräkningar som ska utföras och inställningar för noggrannheten och hur eventuella uppkommande fel ska behandlas.

## 5) Klimat

Här anges det klimat som beräkningar ska belastas med på in- och utsidan. I programmet väljs en klimatdatafil för önskad ort. Det finns klimatdatafiler för ett tiotal orter i Sverige. Klimatdatafilen representerar ett normalår för den valda orten. Slagregnsbelastningen är beroende av vindhastighet och vindriktning vid regn. För varje ort finns angiven mängd slagregn för de olika väderstrecken.

### 2.2.2 Wufi 1D och 2D

Beräkningarna i Wufi 1D genomförs på ett tvärsnitt av konstruktionen enbart i x-led och beräknar fukt- och värmetransporter. I Wufi 2D's tvådimensionella beräkningar tas det även hänsyn till konstruktionens olika sammansättning och till fukt- och värmetransporter i x- och y-led. Detta innebär att för en konstruktion med en inhomogen uppbyggnad (t.ex. en träregelstomme) blir beräkningarna mer noggranna. Det tas även hänsyn till att material kan ha olika egenskaper i olika riktningar, ett så kallat isotropt material. Noggrannheten innebär att beräkningen tar väsentligt längre tid än en endimensionell beräkning.

### 2.2.3 Wufi Bio

Beräkningarna analyseras i datorprogrammet Wufi Bio. Genom att exportera resultat i form av RF och temperatur som funktion av tiden så bedömer Wufi Bio risken för mikrobiell tillväxt i konstruktionen. Mikroorganismers tillväxt är beroende av den relativa fuktigheten men det krävs också en gynnsam temperatur över en viss tid för att tillväxt ska ske. I Wufi Bio väljer man mellan fyra olika substratklasser, de olika klasserna anger hur gynnsamma olika material är för tillväxt av mögel.

#### **Substratklass 0**

Optimala medium för mögeltillväxt. Det här isopleth systemet motsvarar maximal möjlig tillväxt av mögeltyper som är normalt förekommande i byggnader.

#### **Substratklass 1**

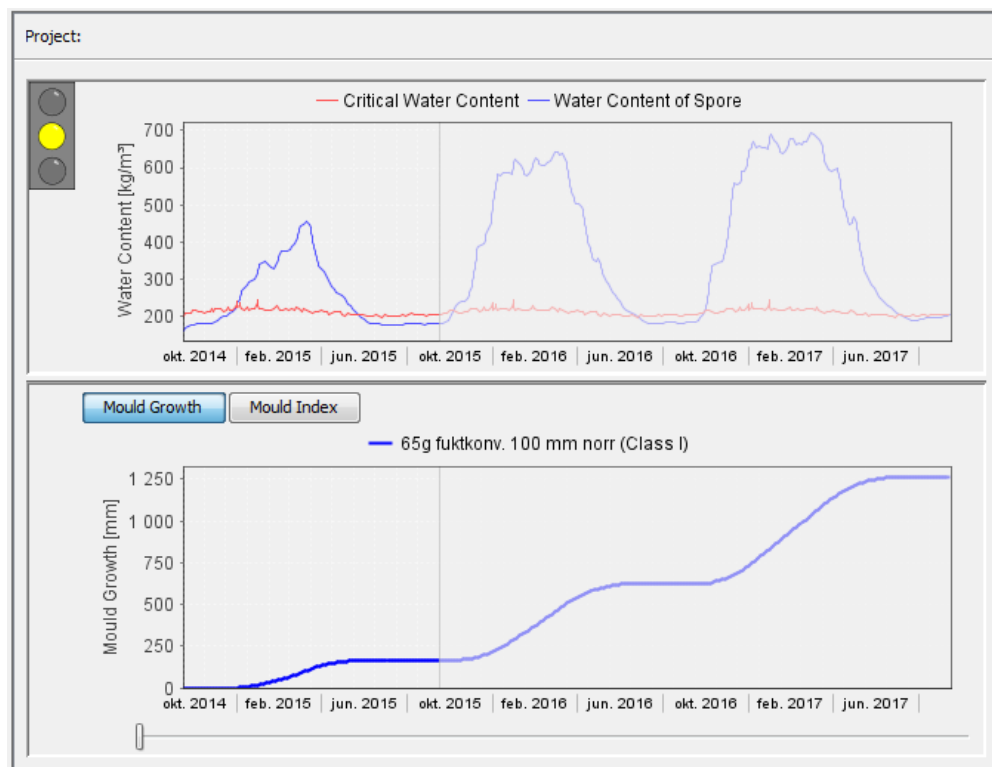
Nedbrytbart material, exempelvis trä, tapeter, gipsskivor, övriga lätt nedbrytbara material, elastiskt fogmaterial, starkt nedsmutsade ytor.

#### **Substratklass 2**

Nedbrytbart material med porös struktur, ex. puts, mineralbaserade byggnadsmaterial, vissa trämaterial, isolermaterial som inte tillhör substrat klass 1, etc. Om material från denna grupp är nedsmutsade, tillhör de substrat klass 1.

#### **Substratklass K**

Denna klass utgör ett specialfall av substrat klass 0 och tillsammans med organismer som är kända för att kunna orsaka hälsoproblem hos människor vid exponering. Denna klass utgörs av mögelsvampar som exempelvis *Aspergillus flavus*, *Stachybotrys chartarum* m.fl. (WUFI).



**Figur 3.** Analys av risk för mögeltillväxt i Wufi Bio.

Resultaten från Wufi Bio presenteras som risk för mögeltillväxt i antal mm per år. Under 50 mm per år tolkas som låg risk, mellan 50 och 200 mm som förhöjd risk och över 200 mm tolkas som hög risk.

Wufi Bio predikterar risken för mögeltillväxt varför det går att bedöma vilka svagheter och påfrestningar som är kritiska för fasadsystemen. Beräkningarna i Wufi Bio tar inte hänsyn till återgång av mögeltillväxten.

### 3. Fasadsystem och indata

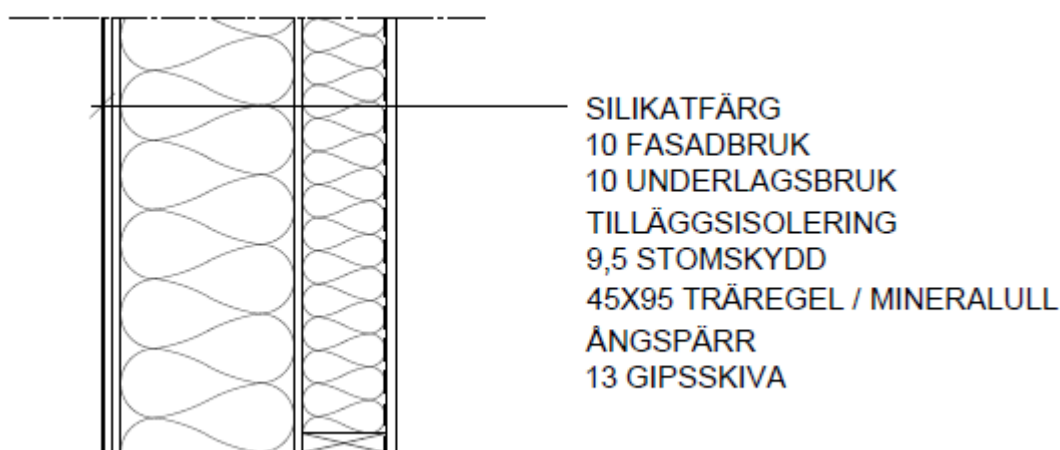
Beräkningar i denna studie har gjorts på 3 olika fasadsystem. Dessutom har dessa fuktberäkningar simulerats för tre olika väggstommar, så som träregel-, lättbetong- och betongstomme. I detta kapitel beskrivs uppbyggnaden av fasadsystemen monterade på de olika stomalternativen, materialdata, övriga data och grundvillkor.

#### 3.1 Fasadsystem 1

Konstruktionen består av en stomskydd (skiva med täta skarvar som tejpas) som monteras mot befintlig stomme. Denna är tänkt att fungera som skydd mot vind och eventuellt inträngande vatten samtidigt som den är diffusionsöppen. Utanför skivan monteras tilläggsisolering och på den två lager putsbruk som målas med en silikatfärg. Tilläggsisoleringens insida är konstruerad för att ha en dränerande funktion som är tänkt att leda bort eventuellt inträngande vatten. Det finns laboratorieprovning avseende lösningens dränerande funktion. Dessa resultat har använts i fuktberäkningarna.

**Tabell 2.** Uppbyggnad av fasadsystem 1 på de olika stomalternativen.

Träregelstomme 95 mm	Lättbetongstomme 250 mm	Betongstomme 150 mm
Silikatfärg	Silikatfärg	Silikatfärg
10 Fasadbbruk	10 Fasadbbruk	10 Fasadbbruk
10 Underlagsbruk	10 Underlagsbruk	10 Underlagsbruk
Alt. 100/200/300 mineralull	Alt. 100/200/300 mineralull	Alt. 100/200/300 mineralull
9,5 Stomskydd	9,5 Stomskydd	9,5 Stomskydd
95 Regel/Mineralull	250 Lättbetong	150 Betong
Ångspärr		
12,5 Gipsskiva		



**Figur 4.** Tvärsnitt av fasadsystem 1 monterat på träregelstomme. Tilläggsisoleringen varierar med 100, 200 och 300 mm.

**Tabell 3.** Materialegenskaper för fasadsystem 1.

Material	Densitet, $\rho$ (kg/m <sup>2</sup> )	Porositet (-)	Värme- konduktivitet, $\lambda$ (W/mK)	Diffusions- motståndsfaktor, $\mu$ (-)	Vattenupptagnings- koefficient, $A$ (kg/m <sup>2</sup> ROT(s))
Silikatfärg [1]	2000	0,1	0,8	10	0,0025
Fasadbruk	1900	0,24	0,8	16,7	0,03
Underlagsbruk	1900	0,24	0,8	20	0,03
Tilläggsisolering	90	0,95	0,037	1,3	-
Stomskydd [3]	800	0,5	0,24	9	0,00114
Mineralull [4]	60	0,95	0,040	1,3	-
Träskiva [5]	455	0,73	0,09	130	0,0004
Ångspärr [6]	130	0,001	1,65	50000	-
Gipsskiva [7]	732	0,72	0,1925	6,8	0,13
Lättbetong [8]	599	0,76	0,0657	5,3	0,085
Betong [9]	2300	0,18	1,6	180	0,003

[1]. Delvis baserat på MASEA Ensan data.

[2]. Ursprungligen baserat på gipsskiva

[3,4,5,6,7,8,9]. Materialdata hämtat ur WUFI's databas.

### 3.2 Fasadsystem 2

Konstruktionen består av en stenullsisolering limmad på en 18 mm fanerskiva av gran som är spontad och monteras mot befintlig stomme. I isoleringen finns det kanaler som är avsedda att dränera bort eventuellt inträngande vatten. I beräkningarna i denna studie har det inte tagits hänsyn till isoleringens dränerande funktion eller ventilering, detta på grund av det saknas uppgifter på detta. Det har inte heller tagits hänsyn till limskiktet alls. Utanför isoleringen finns det en 10 mm ventilerad luftspalt och längst ut monteras en 8 mm fasadskiva av fibercement.



**Tabell 4.** Uppbyggnad av fasdasystem 2 på de olika stomalternativen.

Träregelstomme 95 mm	Lättbetongstomme 250	Betongstomme 150 mm
8 Fibercementskiva	8 Fibercementskiva	8 Fibercementskiva
10 luftspalt	10 luftspalt	10 luftspalt
Alt. 100/200/300 mineralull	Alt. 100/200/300 mineralull	Alt. 100/200/300 mineralull
18 Fanerskiva av gran	18 Fanerskiva av gran	18 Fanerskiva av gran
95 Regel/Mineralull	250 Lättbetong	150 Betong
Ångspärr		
12,5 Gipsskiva		



**Figur 5.** Tvärsnitt av fasadsystem 2 monterat på träregelstomme. Tilläggsisoleringen varierar med 100, 200 och 300 mm.

**Tabell 5.** Materialegenskaper för fasadsystem 2.

Material	Densitet, $\rho$ (kg/m <sup>2</sup> )	Porositet (-)	Värme-konduktivitet, $\lambda$ (W/mK)	Diffusions-motståndsfaktor, $\mu$ (-)	Vattenupptagnings-koefficient, A(kg/m <sup>2</sup> ROT(s))
Fibercementskiva [1]	1550	0,35	0,4	140	0,025
Tilläggsisolering [2]	60	0,95	0,041	1,3	-
Fanerskiva [3]	462	0,627	0,145	156	0,00217
Mineralull [4]	60	0,95	0,04	1,3	-

Träskiva [5]	455	0,73	0,09	130	0,0004
Ångspärr [6]	130	0,001	1,65	50000	-
Gipsskiva [7]	732	0,72	0,1925	6,8	0,13
Lättbetong [8]	599	0,76	0,0657	5,3	0,085
Betong [9]	2300	0,18	1,6	180	0,003

[1]. Delvis baserat på materialdata från WUFI's databas. Modifierad enligt materialegenskaper från Cembrit. Estimerat värde av vattenupptagningskoefficient baserat på mätningar från ASHRAE research project report RP-1018 (Kumaran 2002).

[2]. Delvis baserat på materialdata från WUFI's databas. Korrigerad värmekonduktivitet för simulerade luftkanaler avsedda för dränering.

[3]. Materialdata från MASEA Ensan.

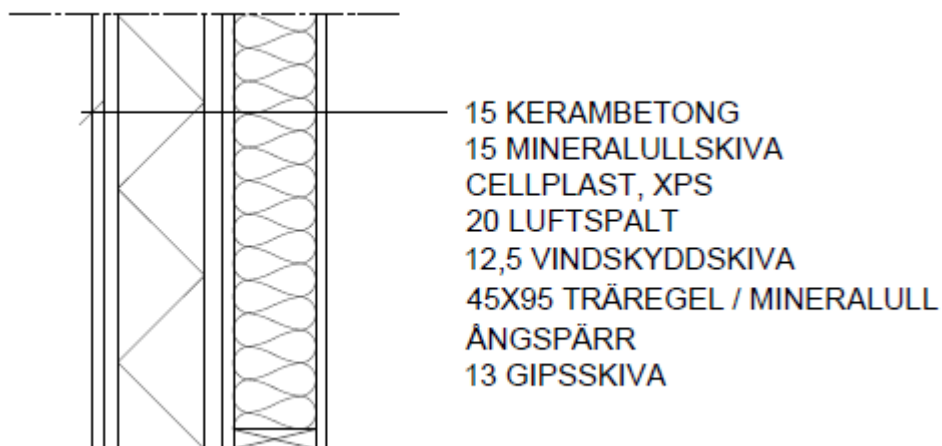
[4,5,6,7,8,9]. Materialdata hämtat ur WUFI's databas.

### 3.3 Fasadsystem 3

Konstruktionen består av ett prefabricerat isolerat betongelement där tilläggsisolering av extruderad cellplast. Elementen monteras på befintlig stomme med en oventilerad luftspalt. I luftspalten skall det finnas dräneringsslitsar och då det saknas uppgifter om dräneringsslitsarnas och luftspaltens dränerande funktion har vi inte tagit med den dränerande funktionen i beräkningarna. På utsidan av cellplastisoleringen sitter en mineralullskiva och längst ut sitter en kerambetongskiva.

**Tabell 6.** Uppbyggnad av fasadsystem 3 på de olika stomalternativen.

<b>Träregelstomme 95 mm</b>	<b>Lättbetongstomme 250</b>	<b>Betongstomme 150 mm</b>
15 Kerambetong	15 Kerambetong	15 Kerambetong
15 Mineralullskiva	15 Mineralullskiva	15 Mineralullskiva
Alt. 50/100/150 Cellplast	Alt. 50/100/150 Cellplast	Alt. 50/100/150 Cellplast
20 Oventilerad luftspalt	20 Oventilerad luftspalt	20 Oventilerad luftspalt
12,5 Vindskyddsskiva	250 Lättbetong	150 Betong
95 Regel/Mineralull		
Ångspärr		
12,5 Gipsskiva		



**Figur 6.** Tvärsnitt av fasadsystem 3 monterat på träregelstomme. Tilläggsisoleringen varieras med 50, 100 och 150 mm.

**Tabell 7.** Materialegenskaper för fasadsystem 3.

Material	Densitet, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Porositet (-)	Värme-konduktivitet, $\lambda$ (W/mK)	Diffusions-motståndsfaktor, $\mu$ (-)	Vattenupptagnings-koefficient, A(kg/m <sup>2</sup> ROT(s))
Kerambetong [1]	2000	0,1	0,8	1000	0,0025
Mineralullskiva [2]	115	0,95	0,043	3,4	-
Cellplast, XPS [3]	20	0,98	0,02	123	-
Vindskyddskiva [4]	675	0,71	0,2	8,33	0,025
Mineralull [5]	60	0,95	0,040	1,3	-
Träskiva [6]	455	0,73	0,09	130	0,0004
Ångspärr [7]	130	0,001	1,65	50000	-
Gipsskiva [8]	732	0,72	0,1925	6,8	0,13
Lättbetong [9]	599	0,76	0,0657	5,3	0,085
Betong [10]	2300	0,18	1,6	180	0,003

[1]. Delvis baserat på materialdata från WUFI's databas.

[2]. Materialdata från Wufi's materialdatabas (Mineral Insulation Board)

[3]. Materialdata från MASEA Ensan. Modifierad diffusionsmotståndsfaktor  $\mu=123$ , värmekonduktivitet  $\lambda=0,02$  W/mK.

[4]. ]. Materialdata från Wufi's materialdatabas (Gipsskiva Utvändig)

[5,6,7,8,9,10]. Materialdata hämtat ur WUFI's databas.

### 3.4 Data för övriga villkor och inställningar för fuktberäkningar

Nedan redogörs för övriga datavillkor och inställningar som användes i fuktberäkningarna.

- *Väderstreck* - Beräkningarna är gjorda åt söder och i vissa fall även mot norr. Fasad mot söder har valts på grund av att den fasaden utsätts för mest mängd slagregn för byggnad i Göteborg. Beräkningar gjordes med fasad mot norr då norrfasaden har minst soltimmar och är kallast.
- *Slagregn* – Hög byggnadsdel mellan 10 till 20 meter (Regnbelastning: R1=0, R2=0,1). Beräkningar genomfördes även på hög byggnadsdel, höjd över 20 m (Regnbelastning: R1=0, R2=0,2). Byggnadsdelens höjd påverkar hur stor slagregnsbelastning den utsätts för. Beräkningarna i Wufi baseras på den mängd slagregn som träffar den del av fasaden där beräkningen utförs. Mängden avrinningsvatten varierar utifrån hur stor kapillärsugande förmåga fasadmaterialet har. I utsatta lägen kan det förekomma rinnande vatten även på kraftigt sugande fasadmaterial (Nevander och Elmarsson 1994). Programmet beaktar inte vatten som rinner på fasaden
- *Värmemotstånd yttre yta* - 0,0588 m<sup>2</sup>K/W, vilket är standardvärde för yttervägg i Wufi (WUFI 1D).
- *Absorptionstal för kortvågig strålning* – För konstruktion 1 valdes 0,4 som motsvarar puts, normalljus. För konstruktion 2 valdes 0,8 som motsvarar mörk yta och för konstruktion 3 användes 0,65 som motsvarar ofärgad betong.
- *Emmissionstal för långvågig strålning* – 0,9 som är standard för Wufi (WUFI 1D).
- *Explicit strålningsbalans* – aktiverad.
- *Terräng kortvågig reflexionsförmåga* – 0,2 som är standard för Wufi (WUFI 1D).
- *Absorptionstal för regnvatten* – 0,7 som är standard för Wufi (WUFI 1D).
- *Värmemotstånd inre yta* – 0,125 m<sup>2</sup>K/W som är standardvärde i Wufi (WUFI 1D).
- *Begynnelsestemperatur i byggnadsdelar* – 20 grader Celsius.
- *Nummeriska parametrar* - enligt Wufi's standardinställningar (WUFI 1D).
- *Beräkningstid* - beräkningarna genomfördes över 3 år för att kunna bedöma uttorkningsförmågan i fasadsystemen och för att kunna undersöka eventuell ackumulering av fukt i konstruktionen.
- *Klimatdatafil* – Göteborg valdes på grund av stor mängd slagregn.

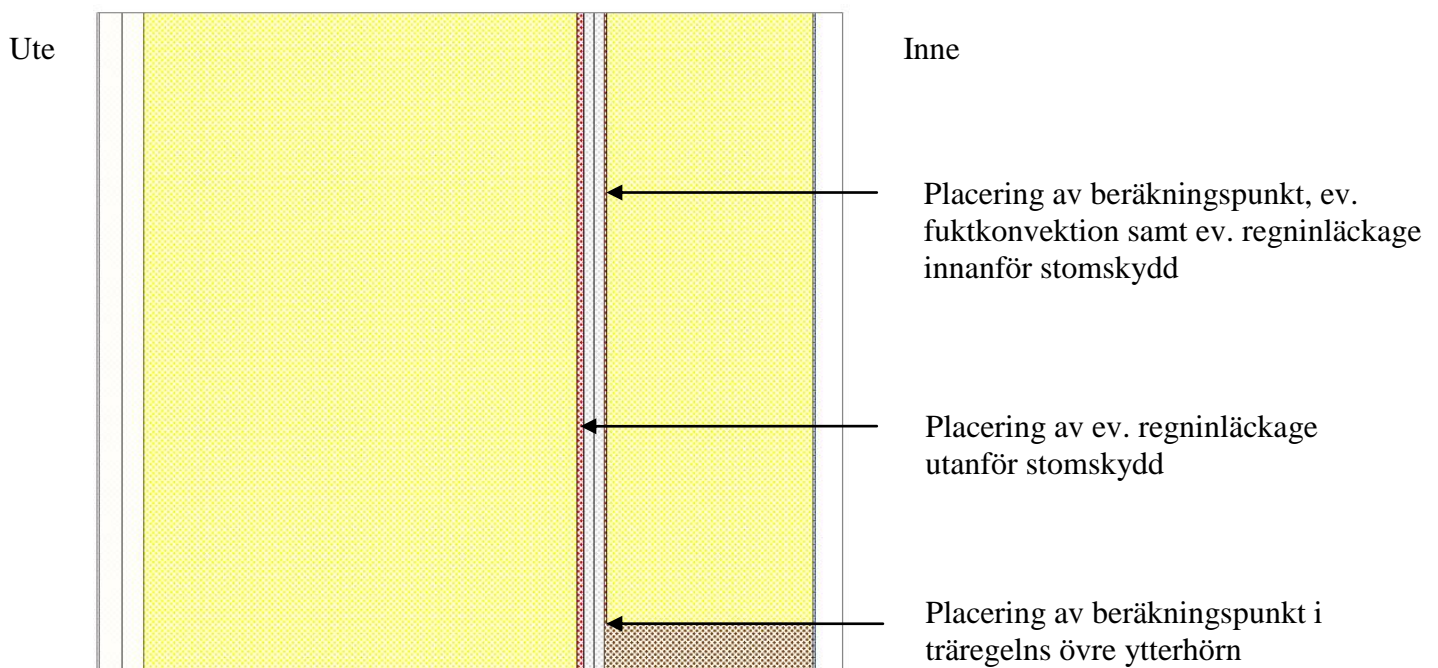
- *Innomhusklimat* – Standard EN13788 (WUFI 1D).
- *Beräkningsstart* – oktober för att tidpunkten är mest ogynnsam för uttorkning av byggfukt och således mest lämplig för dessa studier då risken för mögeltillväxt kan anses vara störst med den tidpunkten.

### 3.5 Grundvillkor för konstruktionerna

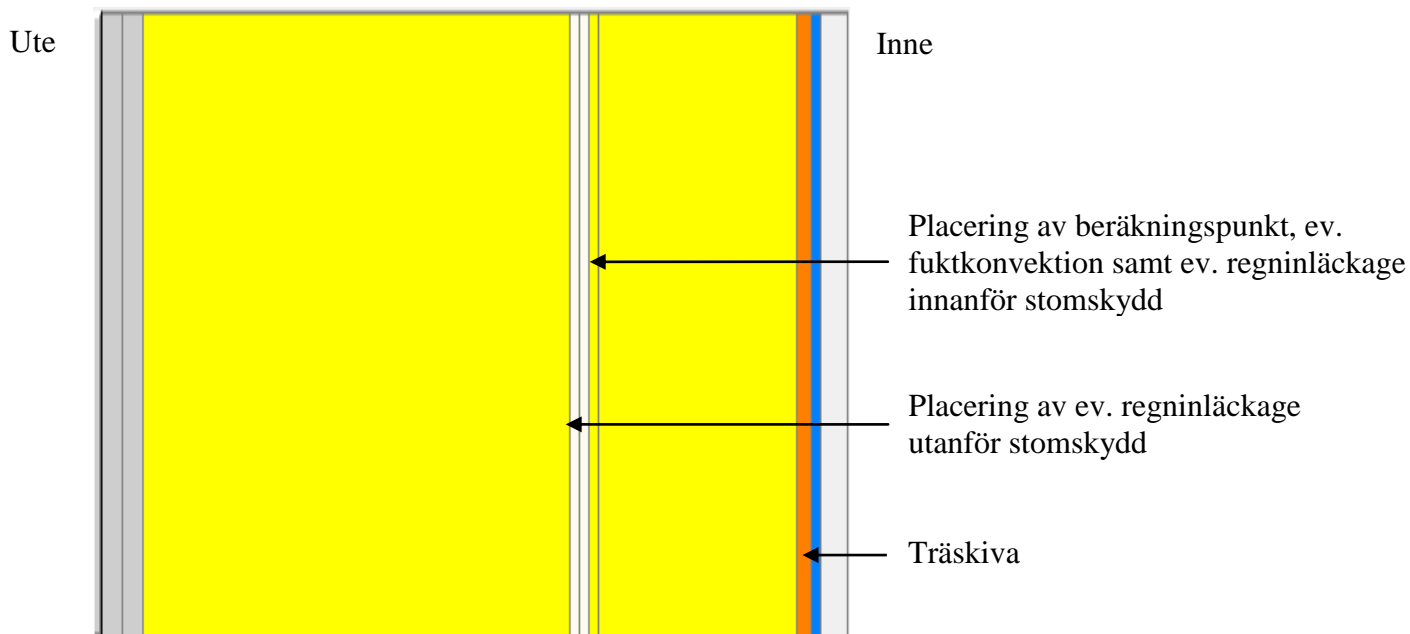
I grundvillkoren för beräkningarna antas 50 % relativ fuktighet i befintlig stomme, 75 % relativ fuktighet i tilläggsisolering samt 100 % relativ fuktighet i fasad av puts alternativt betong. Fukttillskottet inomhus antogs till 2 g/m<sup>3</sup>. I grundvillkoren utförs beräkningar utan fuktkonvektion. Om inget annat anges så är beräkningarna utförda på fasad riktad mot söder. Under parameterstudien har det utgått från grundvillkoren om inget annat anges och belastar med olika parametrar. Detta har gjort det möjligt att undersöka hur fasadsystemen klarar av olika belastningar.

#### 3.5.1 Uppbyggnad av konstruktioner i Wufi.

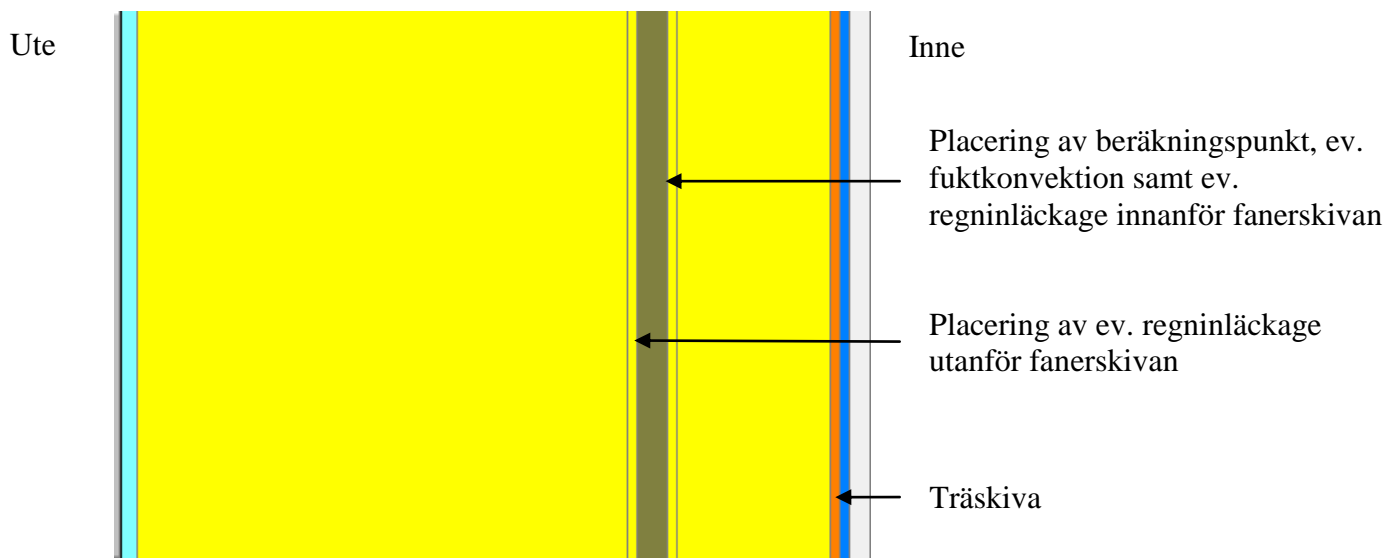
Nedanför visas konstruktionernas uppbyggnad i Wufi. Placering av monitorer där avläsning av relativ fuktighet sker visas på respektive konstruktion. I figurerna visas även placering av slagregnsinläckage och placering av fuktkonvektionsbelastning, se figur 7,8,9,10.



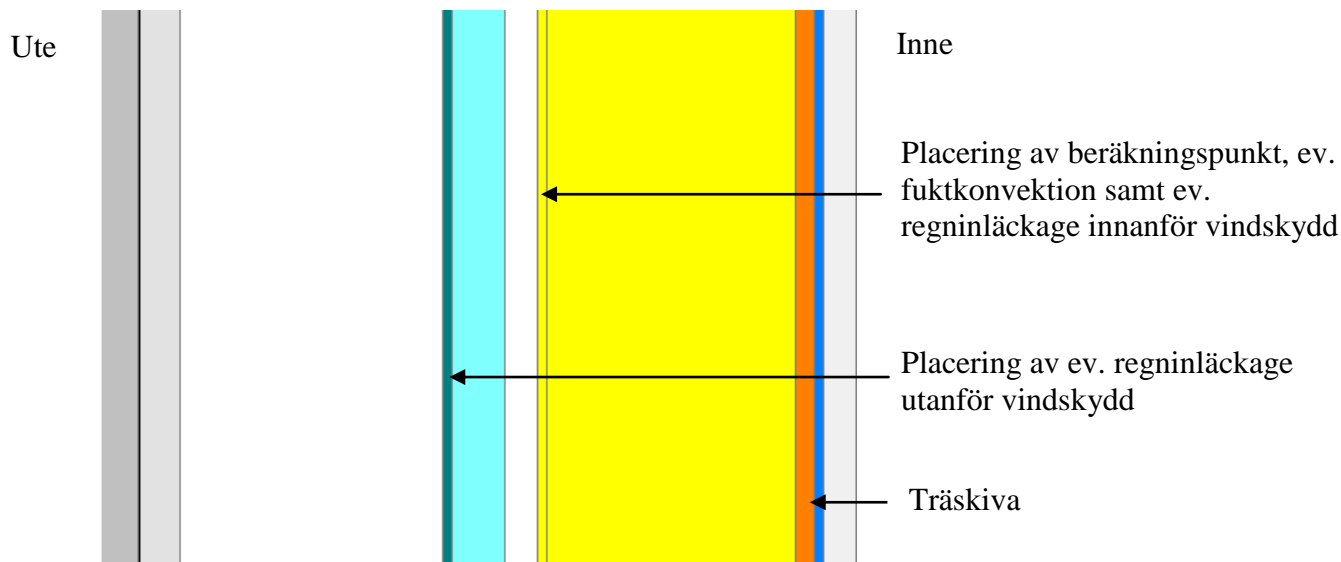
**Figur 7.** Uppbyggnad av fasad 1 med träregelstomme i Wufi 2D. Figuren visar placering av beräkningspunkt, samt ev. regninläckage och eventuell fuktkonvektion.



**Figur 8.** Uppbyggnad av fasad 1 med träskiva i Wufi 1D. Figuren visar placering av beräkningspunkt, ev. regninläckage samt ev. fuktkonvektion. Varje fukt-, beräkningspunkt är lagt i ett helt skikt på 2 mm då Wufi 1D enbart beräknar i en dimension.



**Figur 9.** Uppbyggnad av fasad 2 med träskiva i Wufi 1D. Figuren visar placering av beräkningspunkt, ev. regninläckage samt ev. fuktkonvektion. Varje fukt-, beräkningspunkt är lagt i ett helt skikt på 2 mm då Wufi 1D enbart beräknar i en dimension.



**Figur 10.** Uppbyggnad av fasad 3 med träskiva i Wufi 1D. Figuren visar placering av beräkningspunkt, ev. inläckage samt ev. fuktkonvektion. Varje fukt-, beräkningspunkt är lagt i ett helt skikt på 2 mm då Wufi 1D enbart beräknar i en dimension.

## 4. Genomförande

### 4.1 Jämförelse mellan Wufi 1D och Wufi 2D

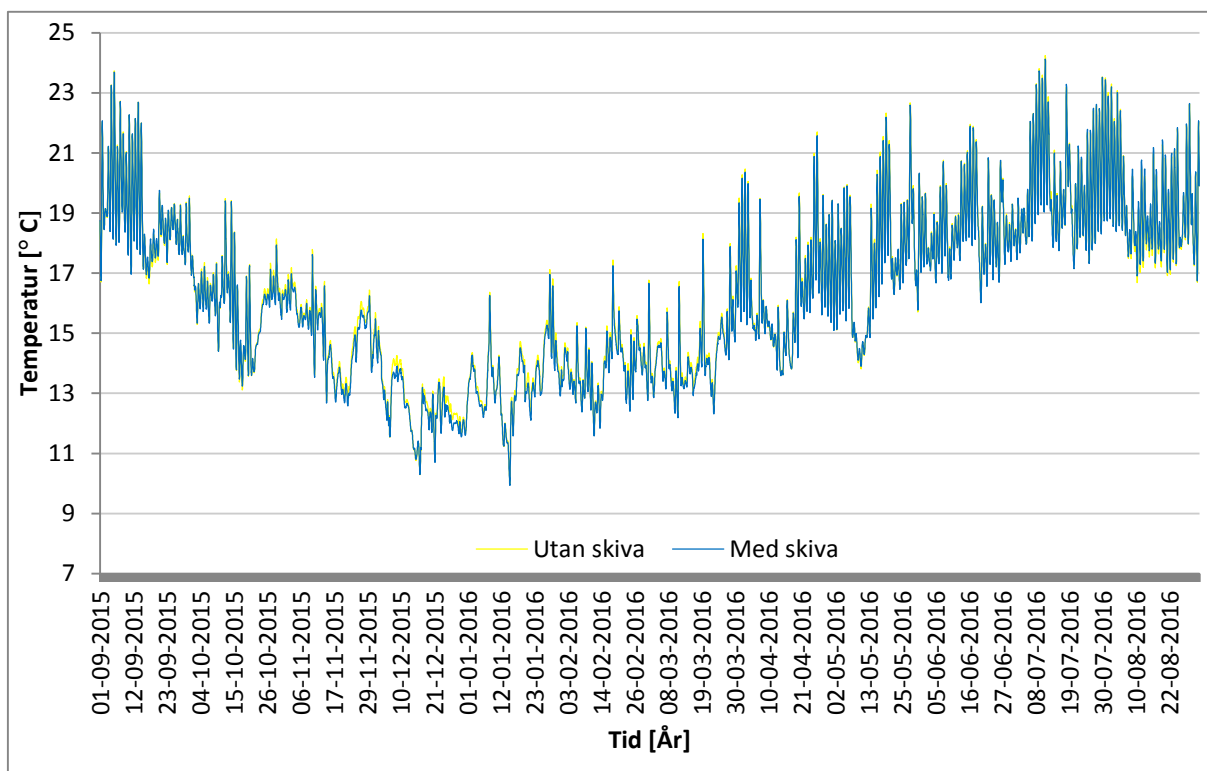
Beräkningar i Wufi 2D tar väsentligt längre tid att genomföra än en beräkning i Wufi 1D. Wufi 1D är konstruerat för att göra beräkningar i en dimension och lämpar sig för homogena konstruktioner. För att kunna öka antalet belastningsfall på fasadsystemen ur tidsmässig hänsyn gjordes en jämförelse mellan Wufi 1D och Wufi 2D på en träregelstomme. Detta gjordes för att undersöka om det går att beräkna och analysera fasadsystemen på en befintlig träregelstomme i Wufi 1D trots att träreglar inte beaktas i endimensionella beräkningar.

Trä är ett hygroskopiskt material och kan ta upp relativt mycket fukt från luften genom adsorption och kapillärkondensation (Nevander och Elmarsson 1994). Antagandet att en bakomliggande träskiva har samma inverkan i mineralullen som en träregelstomme bygger på att temperaturgradienten i stommen blir liten då 200 mm isolering ligger utanför. Även strävan efter ett jämviktstillstånd i relativa fuktigheten i konstruktionen tordes det innebära att relativa fuktigheten i träregelns ytterhörn och relativa fuktigheten i mineralullen ligger nära.

Beräkningarna genomfördes på en fasad mot söder med ett fuktillskott på 2 g/m<sup>3</sup> och med 1 % inläckage av slagregn. Inläckaget placerades i ett 2 mm skikt i isoleringen närmast utsidan av stomskyddet.

För att simulera träreglars hygroskopiska inverkan på stomkonstruktionen lades en 7 mm tjock träskiva innanför mineralullen. Mängden trämaterial i träskivan motsvarar mängden trä i en 95 mm träregelstomme med centrumavstånd 600 mm. Dimensionen på träregelstommen valdes på grund av att det var en vanlig dimension under tiden då miljonprogrammets byggnader uppfördes (Björk, Kallstenius och Reppen 2002). Införandet av träskivan i konstruktionen innebär att konstruktionen blir 7 mm tjockare. Den ökade tjockleken gör att beräkningspunkten för 1D-konstruktionen med träskiva hamnar 7 mm längre ut vilket innebär att temperaturen blir marginellt lägre se figur 11. Sänkningen i temperatur på grund av träskivan bli ca 0,3 °C i beräkningspunkten, se figur 11. Temperaturskillnaden medför att mätnadsånghalten ändras från 12.29 till 12.07 g / m<sup>3</sup> (Nevander och Elmarsson 1994). Detta utgör ca 2 % - enheter i RF vid 90 – 100 % RF och ungefär 14 °C.

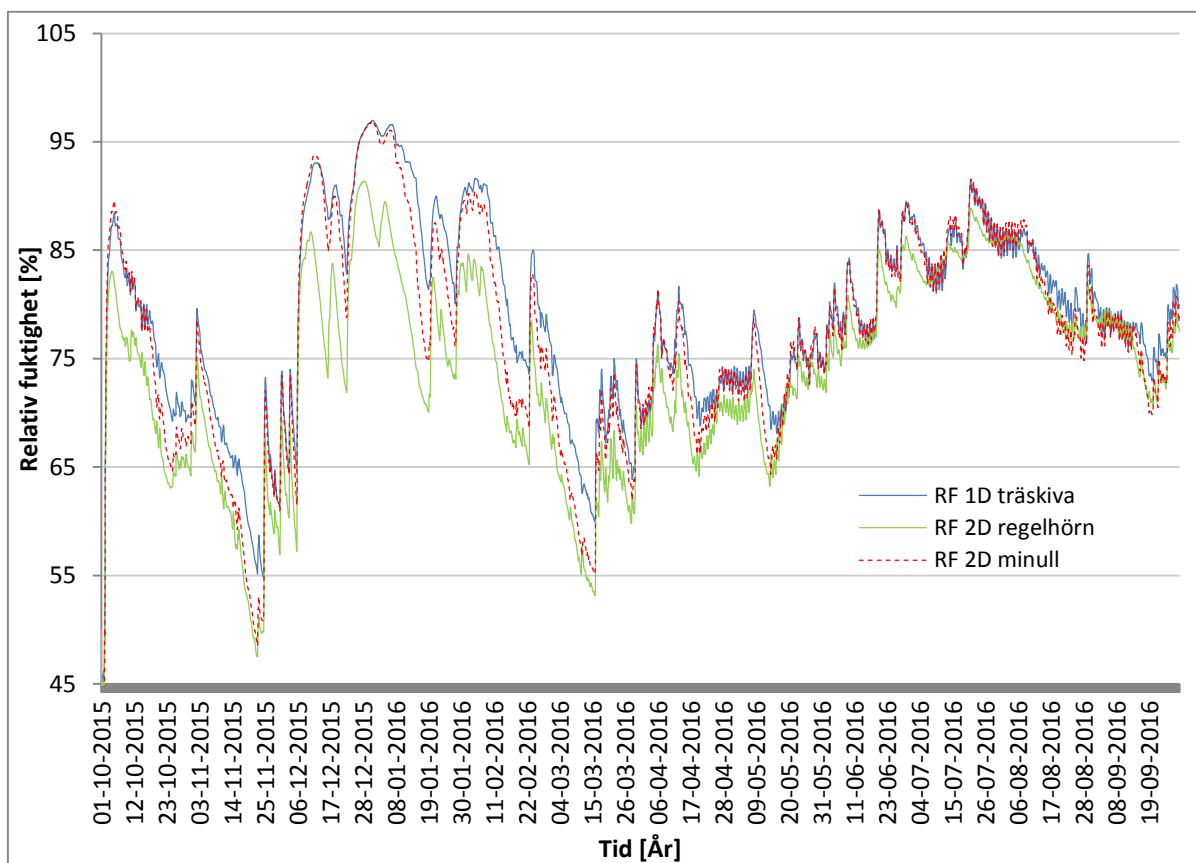




**Figur 11.** Jämförelse av temperaturen i beräkningspunkten med och utan träskiva i Wufi 1D beräkning.

Således borde RF-kurvan för beräkningen med träskiva ligga något lägre om väggjockleken varit samma och något närmre 2D beräkningen för regelhörnet. Detta beaktas inte i jämförelsen. Genom att studera och jämföra RF kurvor från 1D- och 2D-beräkningarna, se figur 12, var det möjligt att utvärdera hur stor avvikelse det ger i Wufi 1D beräkningarna för en simulerad träregelstomme

Jämförelsen visar att relativa fuktigheten ligger ungefär 2-6 % - enheter lägre i träregelhörnet än i mineralullen för endimensionella fallet, se figur 12. Detta kan förklaras genom att träregeln fungerar som en värmebrygga i konstruktionen och därmed är varmare. Den högre temperaturen i träregeln sänker relativa fuktigheten. När temperaturen i ett material stiger medför det att mätnadsånghalten stiger vilket innebär en lägre relativ fuktighet (Nevander och Elmarsson 1994).

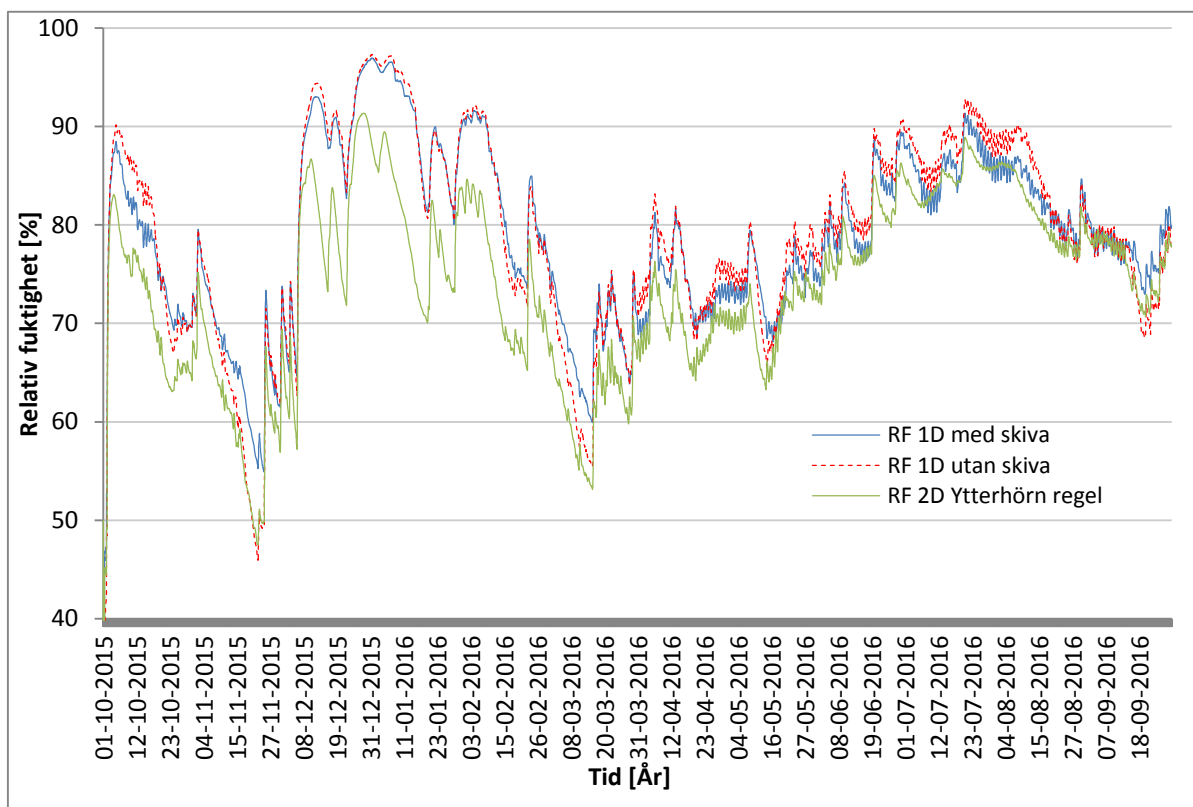


Figur 12. Jämförelse av RF-kurvor i Wufi 1D och Wufi 2D för regelstomme.

Jämförelsen visar alltså ett högre värde för 1D gentemot 2D. Trots det tas beslut om att genomföra alla beräkningar i Wufi 1D. Detta för att kunna göra tillräckligt med belastningsfall på fasadsystemen under studien. Resultaten bör inte användas i dimensionerande syfte utan användas för att få en uppfattning om olika parametrars betydelse och påvisa fasadsystemens styrkor och brister.

#### 4.2 Jämförelse med eller utan träskiva

För att avgöra om träskivan i den endimensionella beräkningen har en inverkan på relativa fuktigheten i mineralullen görs en ny jämförelse. Beräkningar körs endimensionellt på konstruktionen med och utan träskivan, se konstruktionsuppbyggnad i figur 8. Dessa jämförs sedan mot resultaten från den mer sanningsnära eller korrekta tvådimensionella beräkningen av den relativa fuktigheten i träregelns ytterhorn, se konstruktionsuppbyggnad i figur 7. Beräkningarna genomfördes på en fasad mot söder med ett fuktillskott på  $2 \text{ g/m}^3$  inomhus och med 1 % inläckage av slagregn. Inläckaget placerades i ett 2 mm skikt i isoleringen närmast utsidan av stomskyddet. Precis som i föregående jämförelse så beaktas inte tempertursänkningen i beräkningspunkten som införandet av träskivan medför. Med samma resonemang tordes RF-kurvan för 1D beräkning med träskiva ligga närmre RF-kurvan för beräkningen i 2D för regelhörnet.



**Figur 13.** Jämförelse av RF-kurvor från beräkningar i Wufi 1D med och utan träskiva samt beräkning i Wufi 2D för regelstomme.

Relativa fuktigheten i den endimensionella beräkningen med träskiva ligger något lägre än beräkningen utan träskiva se figur 13. Således har träskivan en liten men inte obetydlig inverkan på relativa fuktigheten i mineralullen på grund av träskivans hygroskopiska egenskaper. Detta ligger som grund till beslutet att använda träskivan i parameterstudien då resultatet ligger närmre relativa fuktigheten på träregelns ytterhörn enligt Wufi 2D.

### 4.3 Parameterstudie av tre olika fasadsystem

Första steget i studien är att bestämma vilka parametrar fasadsystemen skall belastas med. Då fasadsystemen är tänkta att användas vid renovering och tilläggsisolering på byggnader uppförda under 60- och 70-talet, är det av intresse att belasta fasadsystemen med realistiska befintliga fuktkällor och brister i byggnaderna. Det är fukttillskottet inifrån, fuktkonvektion och relativ fuktighet i befintlig stomme enligt följande:

- Fukttillskottet varierar med 2, 4 respektive 6 g/m<sup>3</sup> då 2 till 4 g/m<sup>3</sup> är ett rimligt värde inomhus på byggnader från den tiden. Ett fukttillskott på 6 g/m<sup>3</sup> är tänkt som ett extremfall.
- Eftersom det är vanligt med mekanisk frånluftsventilation i flerfamiljsbyggnader från 60- och 70-talet är det rimligt att byggnader med invändigt övertryck inte är så vanligt förekommande. Övertryck kan dock uppstå av vindtryck och när fönster och ytterdörrar öppnas. Fasadsystemen kommer därför att belastas med 0, 65 respektive 130 g/m<sup>2</sup> per månad under oktober till mars. Under den varma delen av året antas

fuktkonvektionen som försumbar då temperaturskillnaden är relativt liten mellan inne och ute.

- Parameterstudien kommer genomföras med ett grundvärde på 50 % relativ fuktighet i befintlig stomme. Fasadsystemen kommer även belastas med 60 % samt 75 % för att undersöka fasadsystemets förmåga att torka ut befintlig fukt i stommen.

Alla beräkningar kommer att genomföras med Wufi's klimatdata för Göteborg. Detta på grund av att Göteborg har störst slagregnmängd i förhållande till de andra svenska orter som kan väljas i Wufi's klimatdatafiler. Störst slagregnmängd utsätts fasad mot söder för, därför anses söderfasaden intressant att undersöka. Beräkningar på norrfasad kommer också att genomföras då antalet soltimmar där är som lägst.

Fasadsystemen belastas med inläckage av slagregn i varierande grad från 0,5 – 2 %. Tidigare studier har visat att 1 % av slagregn tränger in genom sprickor och otätheter i fasaden (Hägerstedt 2012). Ett inläckage på 2 % anses vara ett extremfall och symboliserar uppenbara otätheter i fasaden.

Vid renovering av 60- och 70- tals byggnader är det av intresse att sänka energiförbrukningen med tilläggsisolering. Därför undersöks fasadsystemens fuktsäkerhet med olika tjocklek på tilläggsisoleringen. För fasad 1 och 2 varieras tjockleken med 100, 200 respektive 300 mm. För fasad 3 varieras tjockleken med 50, 100 respektive 150 mm. Då det i fasad 3 används extruderad cellplast med ett lägre värmekonduktivitetstal än i jämförelse med vanlig isolering.

För fasadsystem 2 undersöks hur antalet luftomsättningar i ventilationsspalten påverkar konstruktionens förmåga att hantera omlagring av fukt. Det förväntade flödet i välventilerade spalter bedöms vara 100 oms/h för spalter över 10 mm tjocklek. I studien varieras luftomsättningarna med 5, 30 respektive 100 oms/h för att undersöka luftomsättningens betydelse för fasadsystemets funktion.

För att bedöma risken för mikrobiell tillväxt används Wufi Bio. Substratklass 1 väljs för trä och substratklass 2 för betong och lättbetong. Indata av relativ fuktighet och temperatur importerar från beräkningarna i Wufi 1D.

## 5. Resultat/Analys

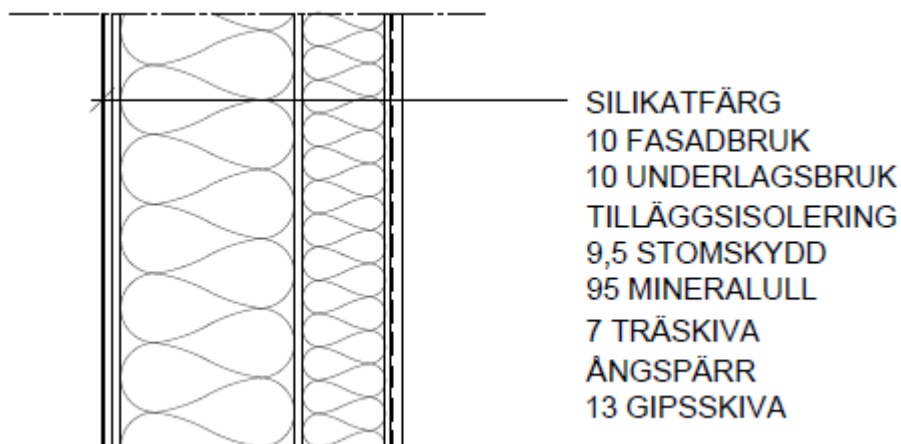
För att kunna analysera olika parametrars betydelse på fasadsystemens fuktillstånd redovisas jämförelser av RF-kurvor. Resultat från Wufi Bio redovisas i tabellformat nedan för fasadsystem 1,2 och 3. Värdena anger risk för mögeltillväxt. Tre olika markeringar används, grön (låg risk), gul (förhöjd risk) samt röd (hög risk), se tabell 8.

Ett urval resultat presenteras nedan och övriga jämförelser och resultat som bilagor. De resultat som redovisas nedan har valts för att de bidrar till att kunna skapa en uppfattning om de olika parametrarnas påverkan på ytterväggarnas fuktillstånd.

**Tabell 8.** Bedömning av risknivåer för mögeltillväxt.

Risk	Markering	Mögeltillväxt x [mm/år]
Låg	Grön	$x < 50$
Förhöjd	Gul	$50 \leq x < 200$
Hög	Röd	$x > 200$

### 5.1 Fasad 1



**Figur 14.** Uppbyggnad av fasadsystem 1 med träskiva som ersätter träregelstommen i Wufi 1D beräkningar. Tilläggsisolering varierar mellan 100, 200 och 300 mm.

### 5.1.1 Träregelstomme

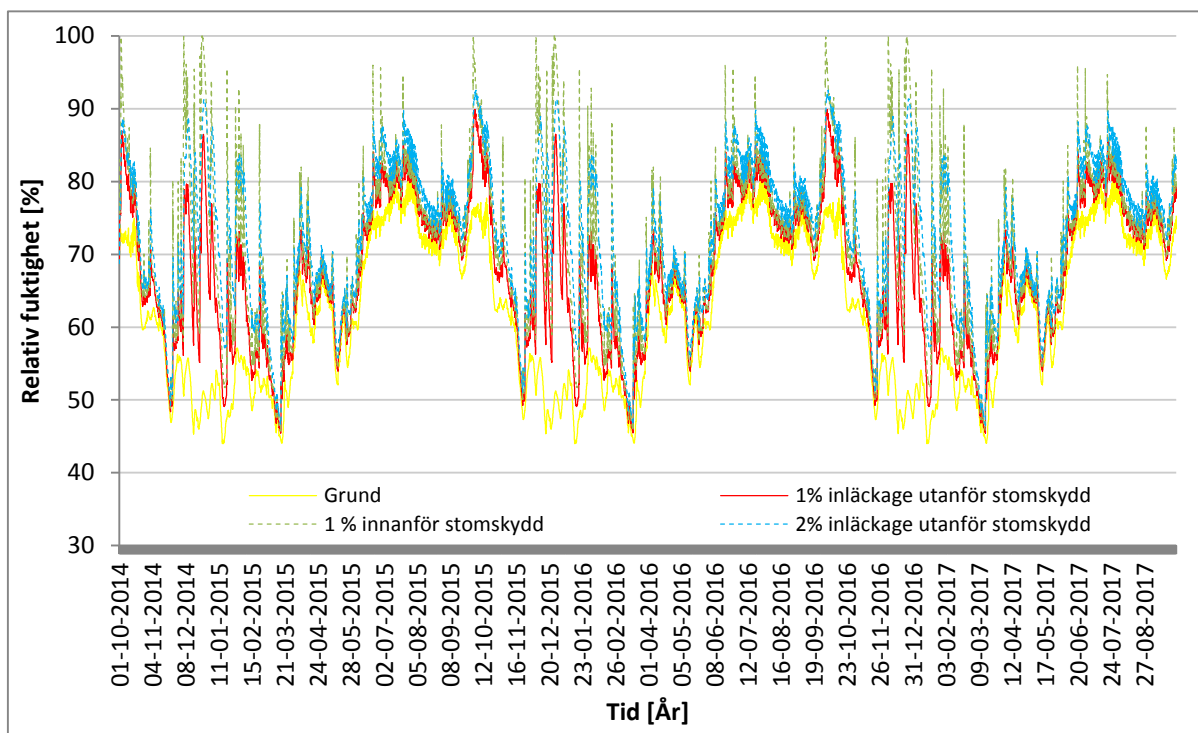
**Tabell 9.** Sammanställning av, ur diagrammen, avlästa RF-toppar för olika belastningsfall för fasad 1 med träregelstomme (träskiva). Beräkningarna är utförda med grundvillkoren om inte annat anges. Nedan benämns beräkning med fukttillskott 4g/m<sup>3</sup>, fuktkonvektion 65 g/m<sup>2</sup>, RF i befintlig stomme 60 % som medelfall.

Fasad 1 (träregelstomme)	RF [%] sommar	RF [%] vinter
100 mm.	80-70	55-45
Medelfall, 100 mm.	82-70	60-50
Medelfall, 200 mm.	78-70	50-42
Medelfall, 300 mm.	76-70	45-37
Fukttillskott 6 g/m <sup>3</sup> , 100 mm.	80-70	55-45
Fuktkonvektion 130 g/m <sup>2</sup> per månad oktober-mars, 100 mm.	80-70	60-50
RF i befintlig stomme 75 %, 100 mm.	80-70 (topp på 83 första hösten)	55-45
1 % inläckage utanför stomskydd, 100 mm.	90-70	85-50
Medelfall, 1 % inläckage utanför stomskydd, 100 mm.	90-75	88-50
Medelfall, 1 % inläckage utanför stomskydd, 200 mm.	90-75	88-50
Medelfall, 1 % inläckage utanför stomskydd, 300 mm.	90-75	88-50
2 % inläckage utanför stomskydd, 100 mm.	93-75	92-45
1 % inläckage innanför stomskydd, 100 mm.	95-80	100-55
Byggnadsdel > 20 m, 100 mm.	85-70	55-45
Byggnadsdel > 20 m, 1 % inläckage utanför stomskydd, 100	90-75	90-45

Analys av påverkan av enskilda parametrar utan inläckage visar marginell ökning av relativ fuktighet i mätpunkten på insida stomskydd. Av dessa är fuktkonvektionen den enskilda parameter som höjer relativa fuktigheten mest. Med en fuktkonvektion på 65 g/m<sup>2</sup> per månad oktober-mars ses en ökning på ca 3 % - enheter i RF och en belastning på 130 g/m<sup>2</sup> per månad oktober-mars ger ca 5 % - enheter ökning av RF. Dock innebär detta ingen förhöjd risk för mögeltillväxt då den högre relativa fuktigheten uppstår under årets kallare del, se tabell 9. Den kalla temperaturen innebär att betingelserna för mögeltillväxt försämras. Vad beträffar byggfukt så klarar konstruktionen att torka ut den extra mängden fukt i stommen på endast ett antal månader med beräkningsstart 1 oktober, vilken är den mest kritiska tidpunkten för beräkningsstart för uttorkning av byggfukt, se figur 29,30 i bilaga 1.

Beräkning med 1 % inläckage utanför stomskyddet blir det en markant ökning i relativ fuktighet i mätpunkten, se figur 15. Ökningen är som störst under den varma delen av året med varierande ökning upp till ca 25 % - enheter i RF jämfört med beräkning utan inläckage. Vid 2 % inläckage utanför stomskydd ses en ökning i RF under hela beräkningstiden. Med 2

% inläckage visar Wufi Bio en förhöjd risk för mögeltillväxt. För 200- och 300 mm tilläggsisolering fås till och med en hög risk för mögeltillväxt, se tabell 10. Beräkning med 1 % inläckage innanför stomskyddet ger en ytterligare markant ökning av relativ fuktighet i mätpunkten, med toppar på 100 % vilket innebär en tydlig risk för kondens och fritt vatten i konstruktionen. Detta kan också konstateras genom en förhöjd risk för mögeltillväxt i Wufi Bio, se tabell 10.

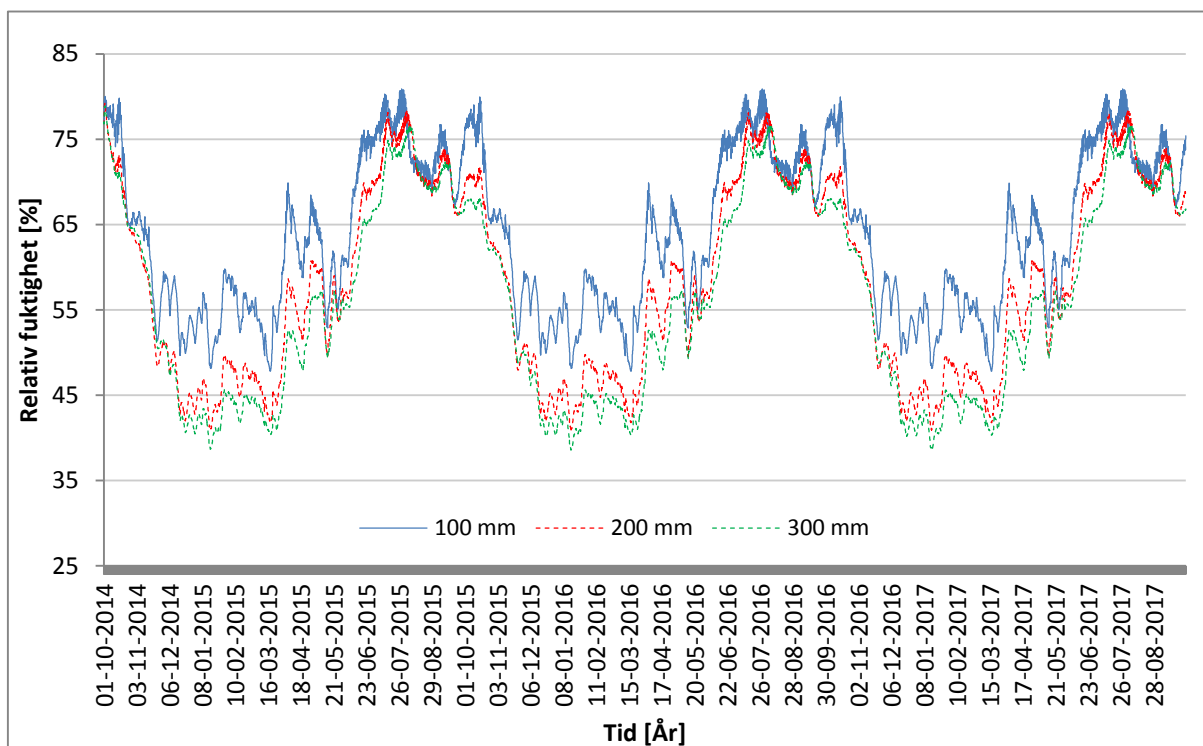


**Figur 15.** Kurvorna i diagrammet visar jämförelse av relativ fuktighet i beräkningspunkten med följande belastningar. Konstruktion med grundvillkor, 1 % inläckage utanför stomskydd, 1 % inläckage innanför stomskydd och 2 % inläckage utanför stomskydd. 100 mm tilläggsisolering.

Beräkning med 2 % inläckage innanför stomskydd visar en hög risk för mögeltillväxt För alla tjocklekar på tilläggsisoleringen i Wufi Bio, se tabell 25 i bilaga 10.

För en hög byggnadsdel över 20 m fås en marginell ökning i relativ fuktighet på ca 3 % - enheter. Vid samtidig belastning med 1 % inläckage utanför stomskydd konstateras en markant ytterligare ökning i relativ fuktighet, se figur 31 i bilaga 1. Ökningen i RF jämfört med hög byggnadsdel utan inläckage varierar upp till ca 30 %. Topparna i RF ligger på ca 90 %. Och detta fall ger även en hög risk för mögeltillväxt, se tabell 10. Detta visar att byggnadshöjden har betydelse för fasadsystemets fuktegenskaper på grund av ökad mängd slagregn. Förklaringen är att slagregnsbelastningen är större för en byggnadsdel över 20 meter jämfört med en byggnadsdel på 10-20 meter (WUFI 1D).

Vid variation av tjocklek av tilläggsisolering ses en tydlig skillnad i relativ fuktighet, se figur 16. Den högsta relativa fuktigheten med toppar på ca 82 % fås med 100 mm tilläggsisolering. Vid ökning till 200 mm konstateras en minskning i relativ fuktighet med ca 4 % - enheter och med 300 mm ytterligare en minskning med ca 2 % - enheter i RF. Skillnaden mellan 200 mm och 300 mm är mindre än mellan 100 och 200 mm.



**Figur 16.** Kurvorna i diagrammet visar jämförelse av relativ fuktighet i beräkningspunkten med följande belastningar. Konstruktion med fukttillskott 4 g, fuktkonvektion 65 g/m<sup>2</sup> per månad under oktober-mars och 60 % RF i befintlig stomme med 100, 200 och 300 mm tilläggsisolering.

Samma beräkning som ovan med ett samtidigt inläckage på 1 % ger en ökning i RF för samtliga tjocklekar på tilläggsisoleringen. Dock ses en mindre skillnad i RF mellan de olika tjocklekarna på tilläggsisoleringen, se figur 32 i bilaga 1. RF-värdena ligger som högst mellan 75-90 % under tiden juni-december.

Det är tydligt att regninläckaget har mest påverkan för konstruktionens funktion och i synnerhet i de fall när inläckaget tränger innanför stomskyddet. Noterbart är att vid 2 % inläckage utanför stomskyddet ökar risken för mögeltillväxt med ökad tjocklek på tilläggsisolering än i jämförelsen med 1 % inläckage som visar det motsatta, se tabell 10.

Beräkningar på fasad mot norr visar ingen förhöjd risk för mögeltillväxt, se tabell 10.



Tabell 10. Riskbedömning för mögeltillväxt i Wufi Bio för fasadsystem 1 monterad på befintlig träregelstomme.

Fasad 1 Träregelstomme 95 mm	Mögeltillväxt (mm/år)						
	År 1	År 3	År 1	År 3	År 1	År 3	
Tilläggsisolering (mm)	100		200		300		
Konstruktion med grundvillkor	S	0,942	0,942	0	0	0	0
	N	0	0	0	0	0	0
Fukttillskott 6 g/m <sup>3</sup>	S	0,979	0,979	0	0	0	0
	N	0	0	0	0	0	0
Fuktkonvektion 130 g/m <sup>2</sup>	S	0,945	0,945	0	0	0	0
	N	0	0	0	0	0	0
RF i befintlig stomme 75 %	S	1,440	0,942	0	0	0	0
	N	0	0	0	0	0	0
Inläckage 1 % utanför stomskydd	S	23,5	45,2	14,3	25,8	8,65	18,8
	N	0	0	0	0	0	0
Inläckage 1 % utanför stomskydd Fukttillskott 4 g/m <sup>3</sup> , Fuktkonvektion 65 g/m <sup>2</sup> , RF i befintlig stomme 60 %	S	51,3	51,2	39,3	31,1	37,6	26,7
	N	-	-	-	-	-	-
Inläckage 1 % innanför stomskydd	S	144	167	124	137	116	127
	N	3,61	3,61	0	0	0	0
Inläckage 2 % utanför stomskydd	S	133	179	150	201	186	262
	N	0	0	0	0	0	0
Fukttillskott 4 g/m <sup>3</sup> , Fuktkonvektion 65 g/m <sup>2</sup> , RF i befintlig stomme 60 %	S	0,958	0,958	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	-	-
Byggnadsdel > 20 m Inläckage 1 % utanför stomskydd	S	139	193	158	215	235	348
	N	-	-	-	-	-	-
Byggnadsdel > 20 m	S	19	19	5,43	5,43	10,6	10,6
	N	-	-	-	-	-	-
S= Söder, N=Norr							

### 5.1.2 Lättbetongstomme

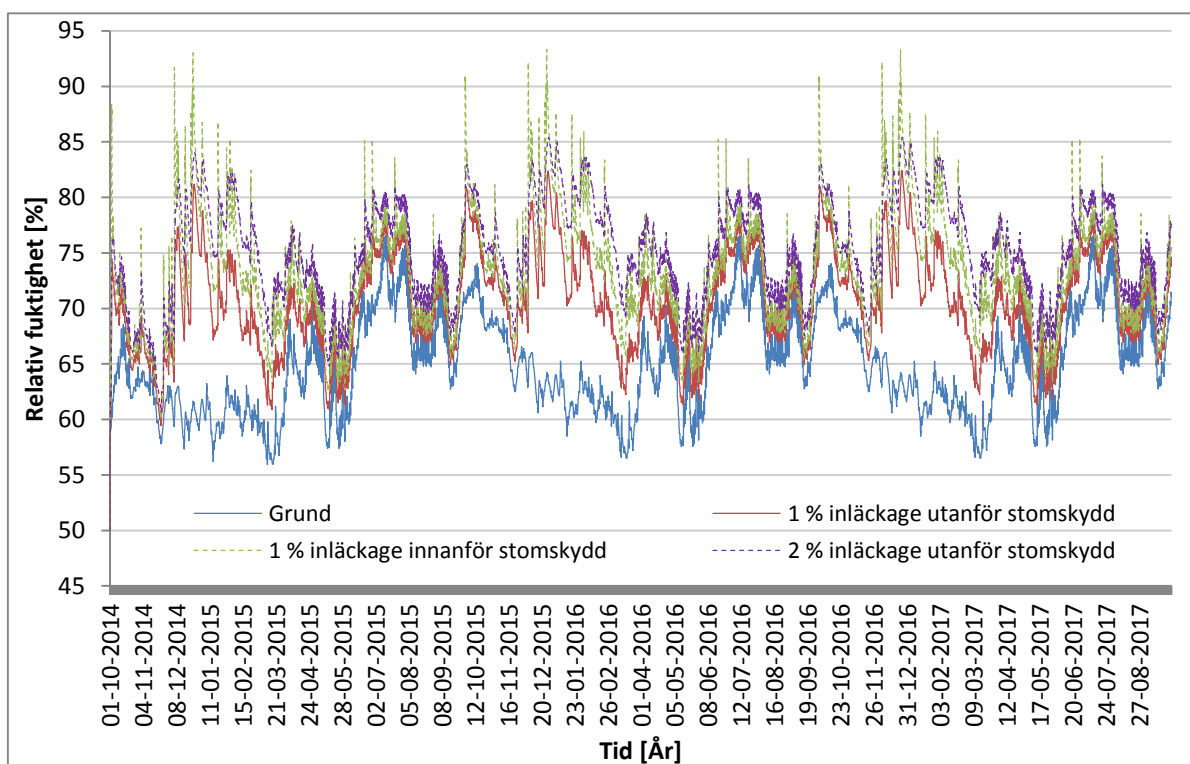
**Tabell 11.** Sammanställning av, ur diagrammen, avlästa RF-toppar för olika belastningsfall för fasad 1. Beräkningarna är utförda med grundvillkoren om inte annat anges. Nedan benämns beräkning med fuktillskott  $4\text{g/m}^3$ , fuktkonvektion  $65\text{g/m}^2$ , RF i befintlig stomme 60 % som medelfall.

Fasad 1 (Lättbetongstomme)	RF [%] under sommarhalvåret	RF [%] under vinterhalvåret
100 mm.	77-57	73-56
Medelfall, 100 mm.	77-62	72-63
Medelfall, 200 mm.	72-56	65-54
Medelfall, 300 mm.	69-54	63-51
Fuktillskott $6\text{g/m}^3$ , 100 mm.	78-64	73-64
Fuktkonvektion $130\text{g/m}^2$ per månad oktober-mars, 100 mm.	77-57	75-62
RF i befintlig stomme 75 %, 100 mm.	77-57	73-56
1 % inläckage utanför stomskydd, 100 mm.	81-63	83-62
Medelfall, 1 % inläckage utanför stomskydd, 100 mm.	80-66	84-67
Medelfall, 1 % inläckage utanför stomskydd, 200 mm.	76-62	82-64
Medelfall, 1 % inläckage utanför stomskydd, 300 mm.	75-61	82-64
2 % inläckage utanför stomskydd, 100 mm	83-67	86-66
1 % inläckage innanför stomskydd, 100 mm.	91-63	93-65
Byggnadsdel > 20 m, 100 mm.	78-62	74-56
Byggnadsdel > 20 m, 1 % inläckage utanför stomskydd, 100	83-69	86-70

Vid belastning med  $4\text{g/m}^3$  fuktillskott ses en marginell ökning av relativ fuktighet jämfört mot konstruktion med grundvillkor ( $2\text{g/m}^3$  fuktillskott), se figur 33 i bilaga 2. Med 60 % byggfukt i befintlig stomme registreras en ökning av relativ fuktighet den första månaden. Redan i november har konstruktionen torkat ut den ökade belastningen av byggfukt. Vid belastning med  $65\text{g/m}^2$  fuktkonvektion ses en ökning på ca 2-4 % - enheter i relativ fuktighet jämfört mot konstruktion med grundvillkor under perioden oktober till mars, se figur 33 i bilaga 2.

Vidare fås en marginell ökning med  $6\text{g/m}^3$  fuktillskott,  $130\text{g/m}^2$  fuktkonvektion och 75 % relativ fuktighet i befintlig stomme. Under sommartid är det fuktillskottet som ger högst RF-värde. Med 75 % relativ fuktighet i befintlig stomme behöver konstruktionen ungefär 6 månader för uttorkning, se figur 34 i bilaga 2. Även med  $130\text{g/m}^2$  fuktkonvektion så ligger RF under 70 % under oktober-mars vilket kan ses som låg risk för mögeltillväxt i Wufi Bio, se tabell 26 i bilaga 11.

Vid 1 % inläckage utanför stomskyddet ses en tydlig ökning i RF framförallt under årets kallare månader på ca 15 %- enheter jämfört med fall utan inläckage. Vid belastning med 1 % inläckage, innanför stomskydd, registreras en markant ytterligare ökning av RF på ca 10 %- enheter jämfört mot inläckage utanför stomskydd. RF-topparna ligger i detta fall på 85-93 % vintertid, se figur 17. Riskanalys för mögeltillväxt i Wufi Bio visar dock ingen förhöjd risk, se tabell 26 i bilaga 11.



**Figur 17.** Kurvorna i diagrammet visar jämförelse av relativ fuktighet i beräkningspunkten med följande belastningar. Konstruktion med grundvillkor, 1 % inläckage utanför stomskydd, 1 % inläckage innanför stomskydd och 1 % inläckage utanför stomskydd utan dränerande funktion. 100 mm tilläggsisolering.

Beräkningar på byggnadsdel över 20 m ger en marginell ökning i RF på ca 1-2 % - enheter jämfört med konstruktion med grundvillkor. Ökningen i RF blir tydligare med 1 % inläckage utanför stomskyddet, se figur 35 i bilaga 2. Det är tydligt att ökande vind och slagregnmängd för en hög byggnad ger utslag i RF, med flera månader med RF-värden på 80-85 % under sommar och vinter, se figur 35 i bilaga 2.

Jämförelsen av hur tilläggsisoleringens tjocklek påverkar RF visar att ökande tjocklek innebär minskande RF. Störst skillnad i RF, ca 10 %- enheter, fås när man går från 100 mm till 200 mm. Det visar att temperaturökningen i konstruktionen medför en minskning av RF. Trots belastningen med fuktillskott 4 g, 65 g/m<sup>2</sup> fuktkonvektion och 60 % RF i befintlig stomme så överskreds knappt 75 % RF, se figur 36 i bilaga 2.

Samma beräkning som ovan med ett samtidigt inläckage på 1 % ger en ökning i RF för samtliga tjocklekar på tilläggsisoleringen. RF-topparna ligger på 78-84 % vintertid. Under sommaren ligger fallet med 100 mm tilläggsisolering ca 5 %-enheter högre än fallen med mer tilläggsisolering, se figur 37 i bilaga 2.

Generellt sett är risken för mögeltillväxt i lättbetongstommen väldigt låg, för samtliga riskbedömningar för mögeltillväxt i Wufi Bio, se tabell 26 i bilaga 11.

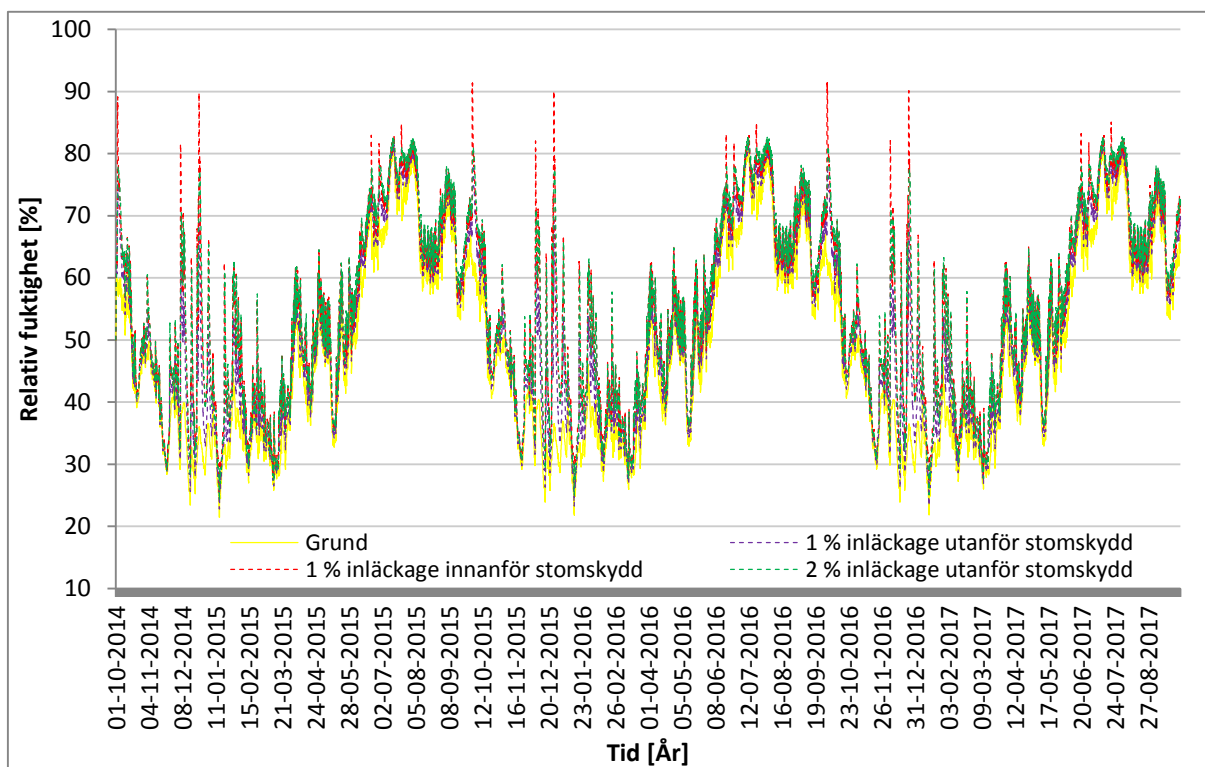
### 5.1.3 Betongstomme

**Tabell 12.** Sammanställning av, ur diagrammen, avlästa RF-toppar för olika belastningsfall för fasad 1, med betongstomme. Beräkningarna är utförda med grundvillkoren. Nedan benämns beräkning med fuktillskott  $4\text{g/m}^3$ , fuktkonvektion  $65\text{g/m}^2$ , RF i befintlig stomme 60 % som medelfall.

Fasad 1 (Betongstomme)	RF [%] under sommarhalvåret	RF [%] under vinterhalvåret
100 mm.	81-33	60-23
Medelfall, 100 mm.	82-35	68-25
Medelfall, 200 mm.	80-40	75-33
Medelfall, 300 mm.	78-41	76-35
Fuktillskott $6\text{g/m}^3$ , 100 mm.	81-33	60-23
Fuktkonvektion $130\text{g/m}^2$ per månad oktober-mars, 100 mm.	81-33	61-28
RF i befintlig stomme 75 %, 100 mm.	81-33	60-23
1 % inläckage utanför stomskydd, 100 mm.	82-35	69-25
Medelfall, 1 % inläckage utanför stomskydd, 100 mm.	82-48	70-25
Medelfall, 1 % inläckage utanför stomskydd, 200 mm.	80-50	75-33
Medelfall, 1 % inläckage utanför stomskydd, 300 mm.	78-52	76-35
1 % inläckage innanför stomskydd, 100 mm.	90-40	90-23
2 % inläckage utanför stomskydd, 100 mm.	82-50	75-25
Byggnadsdel > 20 m, 100 mm.	83-33	60-23
Byggnadsdel > 20 m, 1 % inläckage utanför stomskydd, 100	84-40	78-23

Belastning med enskilda parametrar ger nästan ingen påverkan på RF under hela året. Sommartid ligger RF-topparna under ca 80 %, se figur 38,39 i bilaga 3.

Vid 1 % inläckage utanför stomskyddet ses en ökning i RF på 2-5 % - enheter men med kortvariga toppar där den största skillnaden är ca 30 % - enheter. Med 2 % inläckage utanför stomskydd en ökning på ca 5 % - enheter i RF jämfört med inläckage på 1 % utanför stomskydd under vinterhalvåret. Vid belastning med 1 % inläckage, innanför stomskydd, registreras en ytterligare ökning av RF på ca 10 % med kortvariga RF-toppar på 90, se figur 18.



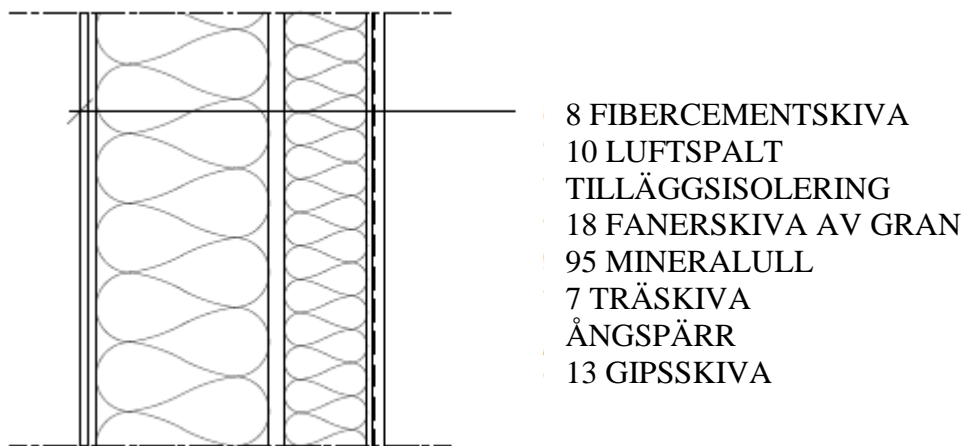
**Figur 18.** Kurvorna i diagrammet visar jämförelse av relativ fuktighet i beräkningspunkten med följande belastningar. Konstruktion med grundvillkor, 1 % inläckage utanför stomskydd, 1 % inläckage innanför stomskydd och 2 % inläckage utanför stomskydd. 100 mm tilläggsisolering.

Beräkningar på byggnadsdel över 20 m ger en marginell ökning i RF på ca 1 % jämfört med konstruktion med grundvillkor. Utslaget av ökningen blir tydligare med 1 % inläckage utanför stomskyddet, framförallt under vinterhalvåret, se figur 40 i bilaga 3. Det är tydligt att ökande vind och slagregnmängd för en hög byggnad ger utslag i RF.

Jämförelsen av hur tilläggsisoleringens tjocklek påverkar RF visar att ökande tjocklek innebär minskande RF. Dock är det väldigt små variationer på endast enstaka procent, se figur 41 i bilaga 3.

Generellt sett är risken för mögeltillväxt väldigt låg, för samtliga riskbedömningar för mögeltillväxt i Wufi Bio hänvisas till tabell 27 i bilaga 12.

## 5.2 Fasad 2



**Figur 19.** Uppbyggnad av fasadsystem 2 med träskiva som ersätter träregelstommen i Wufi 1D beräkningar. Tilläggsisolering varierar mellan 100, 200 och 300 mm.

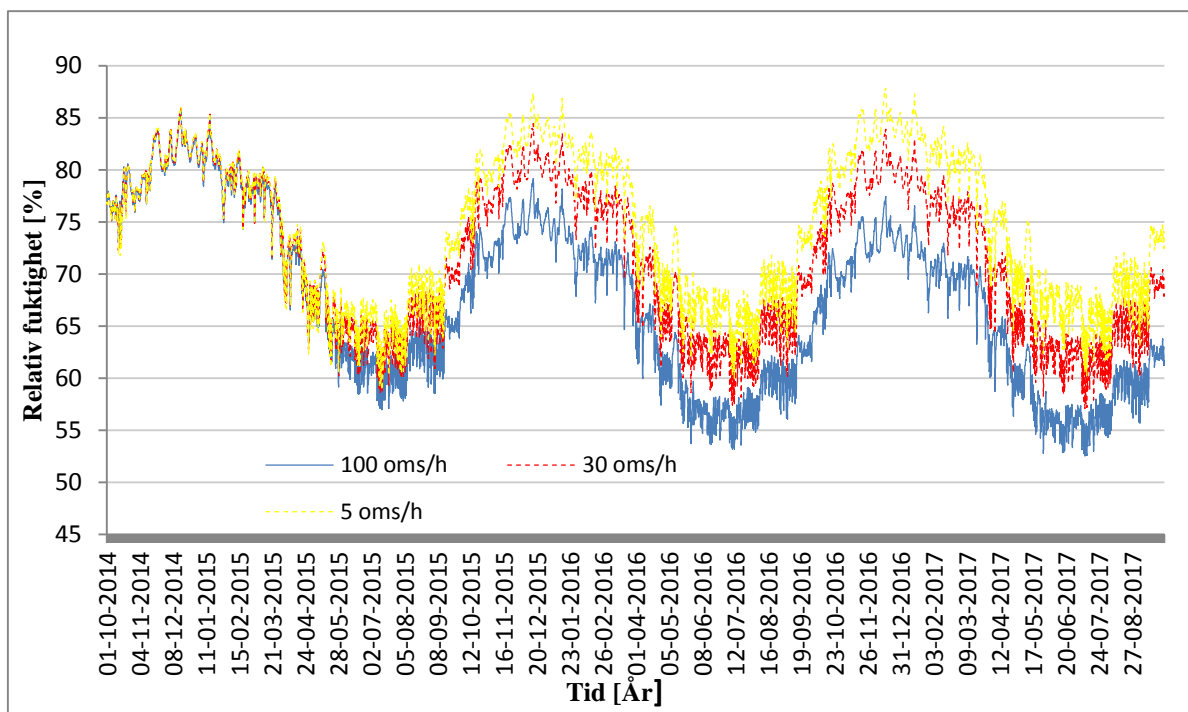
### 5.2.1 Träregelstomme

**Tabell 13.** Sammanställning av, ur diagrammen, avlästa RF-toppar för olika belastningsfall för fasad 2, med träregelstomme. Beräkningarna är utförda med grundvillkoren och luftomsättningen 100 oms/h om inget annat anges. Nedan benämns beräkning med fuktillskott 4g/m<sup>3</sup>, fuktkonvektion 65 g/m<sup>2</sup>, RF i befintlig stomme 60 % som medelfall.

Fasad 2 (Träregelstomme)	RF [%] sommar	RF [%] vinter
300 mm	47-43	67-62
Fuktillskott 6 g/m <sup>3</sup> , 300 mm.	48-44	68-62
Fuktkonvektion 130 g/m <sup>2</sup> per månad oktober-mars, 300 mm.	66-62	86-80
RF i befintlig stomme 75 %, 300mm.	47-43	67-62 (80-85 % första vintern)
Medelfall, 300 mm	58-53	78-73
Medelfall, 200 mm	60-55	80-75
Medelfall, 100 mm	65-60	87-80
Medelfall, 30 oms/h, 300 mm	64-59	83-78
Medelfall, 5 oms/h, 300 mm	67-63	86-80
Medelfall, 300 mm, 0,5 % inläckage utanför fanerskiva	63-59	82-77
Medelfall, 300 mm, 1 % inläckage utanför fanerskiva	68-64	85-80
Medelfall, 300 mm, 1,5 % inläckage utanför fanerskiva	75-70	88-84
Medelfall, 300 mm, 2 % inläckage utanför fanerskiva	78-73	91-87
Byggnadsdel > 20 m, 300 mm.	49-44	67-63
Byggnadsdel > 20 m, 300 mm, inläckage 0,5 % utanför fanerskiva	60-56	75-70
Byggnadsdel > 20 m, 300 mm, inläckage 1 % utanför fanerskiva	70-66	82-77
Byggnadsdel > 20 m, 300 mm, inläckage 1,5 % utanför fanerskiva	80-75	88-83
Byggnadsdel > 20 m, 300 mm, inläckage 2 % utanför fanerskiva	85-80	91-87

Analys av påverkan av enskilda parametrar visar att 6 g/m<sup>3</sup> fuktillskott ger en marginell ökning av RF. Vid 75 % relativ fuktighet i befintlig stomme tar det ca 12 månader för konstruktionen att torka ut denna ökade fukt mängd. Vid belastning med fuktkonvektion på 130 g/m<sup>2</sup> per månad okt-mars konstateras en ökning på ca 5-15 % - enheter i RF med toppar på 80-86 % RF under vinterhalvåret, se figur 43 i bilaga 4. I Wufi Bio ses en förhöjd risk för mögeltillväxt för 300 mm tilläggsisolering och en hög risk för 100- och 200 mm tilläggsisolering, se tabell 14. Konstruktionen visar ingen ackumulering av fukt under de tre år som beräkningen genomförts på. Vid lägre belastning av fuktkonvektion på 65g/m<sup>2</sup> per månad okt-mars innebär en låg risk för mögeltillväxt i Wufi Bio, se tabell 14.

Beräkningar genomfördes med olika antal luftomsättningar i luftspalten, 5, 30, respektive 100 oms/h. Resultaten visar att antalet luftomsättningar har en tydlig påverkan på konstruktionens fuktillstånd. Detta ger tydliga utslag i RF, störst effekt registreras när luftomsättningen ökar från 30 till 100 oms/h. När man jämför fallen med 5 oms/h och med 100 oms/h ses en skillnad på ca 10 % -enheter i RF. Sommartid ligger RF konstant under 70 % i alla tre fallen, se figur 20. Resultaten från Wufi Bio visar en högre risk för mögeltillväxt när luftomsättningar i luftspalten minskar från 100- till 30- och 5 oms/h, se tabell 14.

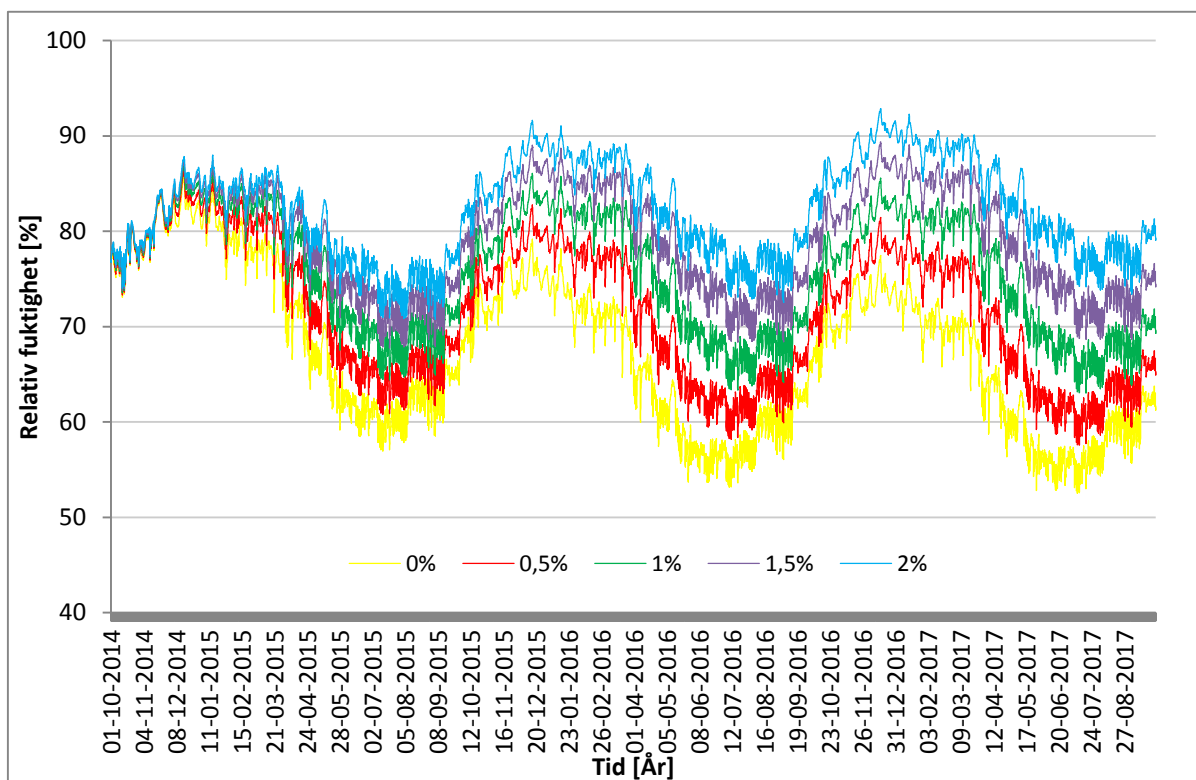


**Figur 20.** Kurvorna i diagrammet visar jämförelse av relativ fuktighet i beräkningspunkten med följande belastningar. Konstruktion med 300 mm tilläggsisolering, fuktkonvektion 65 g/m<sup>2</sup> per månad under oktobermars, fuktillskott 4 g och 60 % RF i befintlig stomme. Luftomsättningar varierar med 5, 30 och 100 oms/h.

Vid 0.5 % - 2 % inläckage placerat mot utsidan på fanerskivan registreras en förväntad gradvis ökning i RF. Stort inläckage av slagregn innebär en gradvis ackumulering av fukt i konstruktionen under beräkningsperioden på tre år. Den uppskattade gränsen för ackumulering av fukt ligger på 1,5 % inläckage för en konstruktion med en luftspalt med 100 oms/h då konstruktionen samtidigt belastas med 4 g/m<sup>3</sup> fuktillskott, 65 g/m<sup>2</sup> fuktkonvektion och 60 % RF i stommen vid beräkningens start. Med 2 % inläckage fås en RF på över 75 % även sommartid, se figur 21.

Beräkning med 2 % inläckage över 10 år visar att ackumuleringen av fukt i konstruktionen upphör efter ca 5 år vilket visar att det inte finns risk för kondens och fritt vatten i konstruktionen med tiden. RF i beräkningspunkten går upp till en topp på ca 93 % på vintern för att sen sjunka till ca 75 % under sommaren innan den stiger igen, se figur 46 i bilaga 4.





**Figur 21.** Kurvorna i diagrammet visar jämförelse av relativ fuktighet i beräkningspunkten med följande belastningar. Konstruktion med 300 mm tilläggsisolering, fuktkonvektion 65 g/m<sup>2</sup> per månad under oktober-mars, fukttillskott 4 g och 60 % RF i befintlig stomme. Inläckage utanför fanerskivan varierar med 0, 0,5, 1, 1,5 och 2 %. Luftomsättning i lufspalt är 100 oms/h.

Med samma förutsättningar som ovan fast med en byggnadsdel på över 20 m ses samma påverkan på konstruktionen men ackumuleringen av fukt i konstruktionen uppstår vid en mindre mängd inläckage, uppskattningsvis 1 %, se figur 44 i bilaga 4.

Vid granskning av hur tilläggsisoleringens tjocklek påverkar RF ses att ökad mängd isolering innebär ett lägre RF i den befintliga stommen. Störst utslag ger ökningen från 100 mm till 200 mm tilläggsisolering. För samtliga fall ligger RF konstant under 70 % under sommaren. Under vinterhalvåret ligger RF-topparna på 80-87 % för 100 mm tilläggsisolering medan för 200- och 300 mm ligger RF-topparna på 73-80 %. se figur 45 i bilaga 4.

Tabell 14. Riskbedömning för mögeltillväxt i Wufi Bio för fasadsystem 2 monterad på befintlig träregelstomme.

Träregelstomme 95 mm	Mögeltillväxt (mm/år)					
	År 1	År 3	År 1	År 3	År 1	År 3
Tilläggsisolering (mm)	100		200		300	
Konstruktion med grundvillkor 100 oms/h	S	0	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	-
100 oms/h Fukttillskott 6 g/m <sup>3</sup>	S	0	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	-
100 oms/h RF i befintlig stomme 75 %	S	153	0	103	0	75,6
	N	158	0	109	0	80,5
100 oms/h Fuktkonvektion 130 g/m <sup>2</sup>	S	324	413	218	199	160
	N	322	301	209	94,4	149
100 oms/h Fukttillskott 4 g/m <sup>3</sup> , Fuktkonvektion 65 g/m <sup>2</sup> , RF i befintlig stomme 60 %	S	163	37,1	89,3	0	55,3
	N	158	0,101	84,9	0	48,6
100 oms/h Fukttillskott 4 g/m <sup>3</sup> , Fuktkonvektion 65 g/m <sup>2</sup> , RF i befintlig stomme 60 %, Inläckage 1 %	S	198	135	146	84,5	121
	N					77,9
100 oms/h Fukttillskott 4 g/m <sup>3</sup> , Fuktkonvektion 65 g/m <sup>2</sup> , RF i befintlig stomme 60 %, Inläckage 2 %	S	230	289	200	334	185
	N	-	-	-	-	56,9
100 oms/h Byggnadsdel > 20 m	S	0	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	-
100 oms/h Byggnadsdel > 20 m Inläckage 1 %	S	0,05	0,177	0	0,346	0
	N	-	-	-	-	-
100 oms/h Byggnadsdel > 20 m Inläckage 1,5 %	S	0,154	40,7	0	168	0
	N	-	-	-	-	-
100 oms/h Byggnadsdel > 20 m Inläckage 2 %	S	0,362	190	1	585	11,7
	N	-	-	-	-	-
30 oms/h Fukttillskott 4 g/m <sup>3</sup> , Fuktkonvektion 65 g/m <sup>2</sup> , RF i befintlig stomme 60 %	S	174	236	97,2	77,6	61,8
	N	-	-	-	-	-
5 oms/h Fukttillskott 4 g/m <sup>3</sup> , Fuktkonvektion 65 g/m <sup>2</sup> , RF i befintlig stomme 60 %	S	178	447	100	222	64,4
	N	-	-	-	-	-
S=Syd, N=Norr						

## 5.2.2 Lättbetongstomme

**Tabell 15.** Sammanställning av, ur diagrammen, avlästa RF-toppar för olika belastningsfall för fasad 2, med lättbetongstomme. Beräkningarna är utförda med grundvillkoren och luftomsättningen 100 oms/h om inget annat anges. Nedan benämns beräkning med fuktillskott 4g/m<sup>3</sup>, fuktkonvektion 65 g/m<sup>2</sup>, RF i befintlig stomme 60 % som medelfall.

Fasad 2 (Lättbetongstomme)	RF [%] sommar	RF [%] vinter
300 mm	49-47	62-60
Fuktillskott 6 g/m <sup>3</sup> , 300 mm.	62-60	69-67
Fuktkonvektion 130 g/m <sup>2</sup> per månad oktober-mars, 300 mm.	55-53	70-68
RF i befintlig stomme 75 %, 300 mm.	49-47	62-60 (75-78 % första vintern)
Medelfall, 300 mm	58-57	70-68
Medelfall, 200 mm	61-59	74-72
Medelfall, 100 mm	63-61	78-76
Medelfall, 30 oms/h, 300 mm	60-58	72-70
Medelfall, 5 oms/h, 300 mm	62-60	73-72
Medelfall, 300 mm, 0,5 % inläckage utanför fanerskiva	61-59	72-71
Medelfall, 300 mm, 1 % inläckage utanför fanerskiva	63-61	74-73
Medelfall, 300 mm, 1,5 % inläckage utanför fanerskiva	66-64	77-75
Medelfall, 300 mm, 2 % inläckage utanför fanerskiva	68-67	78-77
Medelfall, Byggnadsdel > 20 m, 300 mm.	60-58	70-68
Medelfall, Byggnadsdel > 20 m, 300 mm, inläckage 0,5 % utanför fanerskiva	64-62	75-73
Medelfall, Byggnadsdel > 20 m, 300 mm, inläckage 1 % utanför fanerskiva	69-67	79-77
Medelfall, Byggnadsdel > 20 m, 300 mm, inläckage 1,5 % utanför fanerskiva	75-73	80-78
Medelfall, Byggnadsdel > 20 m, 300 mm, inläckage 2 % utanför fanerskiva	78-77	83-82

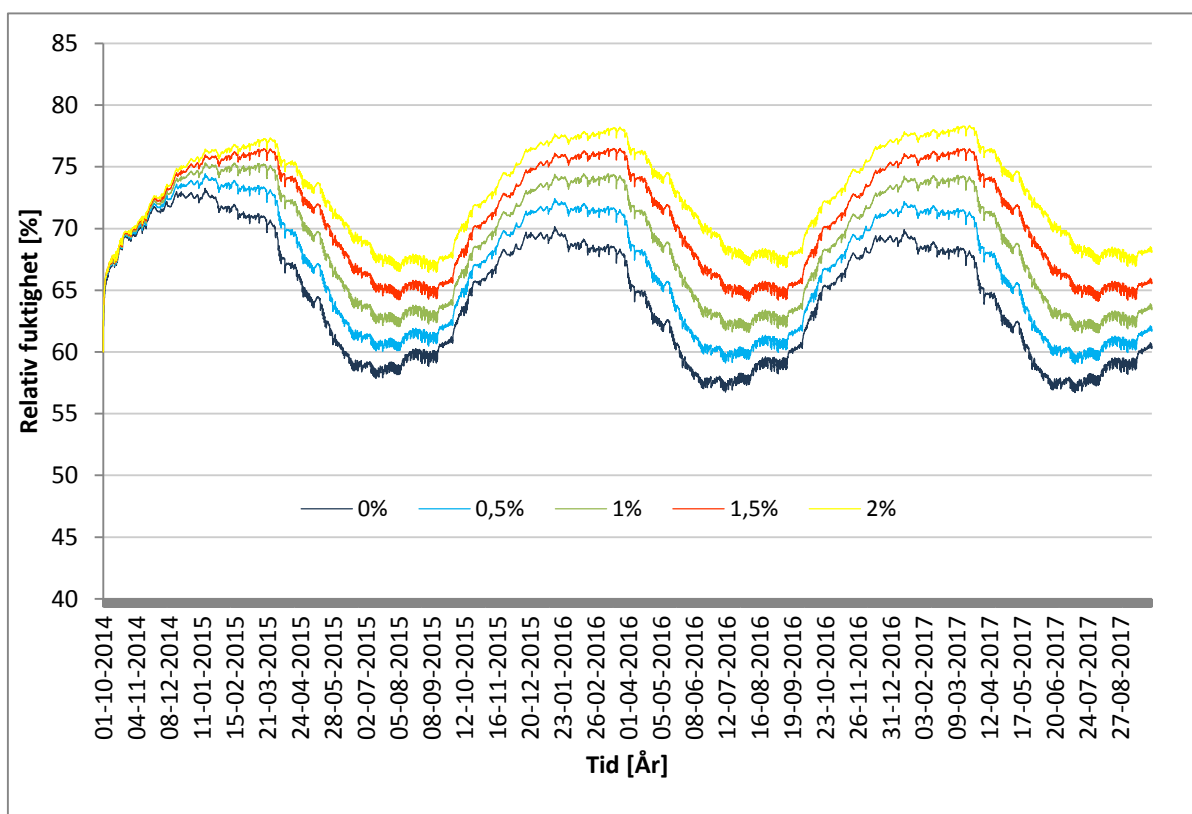
Vid belastning med enskilda parametrar ses relativt stora utslag i RF. 75 % RF i befintlig stomme påverkar RF i beräkningspunkten i ca 1,5 år. Sen är RF nere i samma nivå som grundkonstruktionen. 6 g/m<sup>3</sup> fuktillskott ger en betydlig ökning i RF jämfört med konstruktion med grundvillkor, som mest 70 % RF under vintertid. Detta kan förklaras med att lättbetongstommen saknar ångspärr på insidan och detta gör det möjligt för fuktdiffusion inifrån. Även fuktkonvektion ger ett relativt stort utslag på RF, framförallt under årets kallare period. Inga tendenser för ackumulering av fukt i konstruktionen ses under beräkningsperioden med belastning av enskild parameter ”inifrån”, se figur 47 i bilaga 5.

Variation i antalet luftomsättningar i luftspalten ger som förväntat lägre RF-värde med ökat antal omsättningar. Jämfört med träregelstommen så har antalet luftomsättningar i luftspalten

minder påverkan på RF i lättbetongstommen. Skillnaden mellan 5 oms/h och 100 oms/h är ca 5 % -enheter och fallet med 30 oms/h hamnar mitt i mellan, se figur 48 i bilaga 5.

Ökat inläckage av slagregn ger en förväntad ökning av RF i konstruktionen. Med 2 % inläckage i kombination med de enskilda parametrarna och 100 oms/h ses en möjlig ackumulering av fukt i lättbetongstommen med RF-topp på ca 78 % år 3, se figur 22.

Belastningsfallen med 0,5 -2 % inläckage visar ingen förhöjd risk för mögeltillväxt i Wufi Bio, se tabell 29 i bilaga 14.



**Figur 22.** Kurvorna i diagrammet visar jämförelse av relativ fuktighet i beräkningspunkten med följande belastningar. Konstruktion med 300 mm tilläggsisolering, fuktkonvektion 65 g/m<sup>2</sup> per månad under oktobermars, fuktillskott 4 g och 60 % RF i befintlig stomme. Inläckage utanför fanerskivan varierar med 0, 0,5, 1, 1,5 och 2 %. Luftomsättning i luftspalt är 100 oms/h.

Samma undersökning av påverkan av inläckagemängden för byggnadsdel med höjd över 20 m visar samma mönster men med en ackumulering av fukt vid en inläckagemängd på 1 % eller mer, se figur 49 i bilaga 5.

Vid undersökning av hur tilläggsisoleringens tjocklek påverkar konstruktionen ses att ökad tjocklek ger lägre RF i konstruktionen. Sommartid ligger samtliga fall konstant under 65 % RF. Vintertid ligger RF på 76-78 % med 100 mm, 72-74 % RF med 200 mm och 68-70 % RF med 300 mm tilläggsisolering se figur 50 i bilaga 5.

**Tabell 16. Riskbedömning för mögeltillväxt i Wufi Bio för fasadssystem 2 monterad på befintlig lättbetongstomme.**

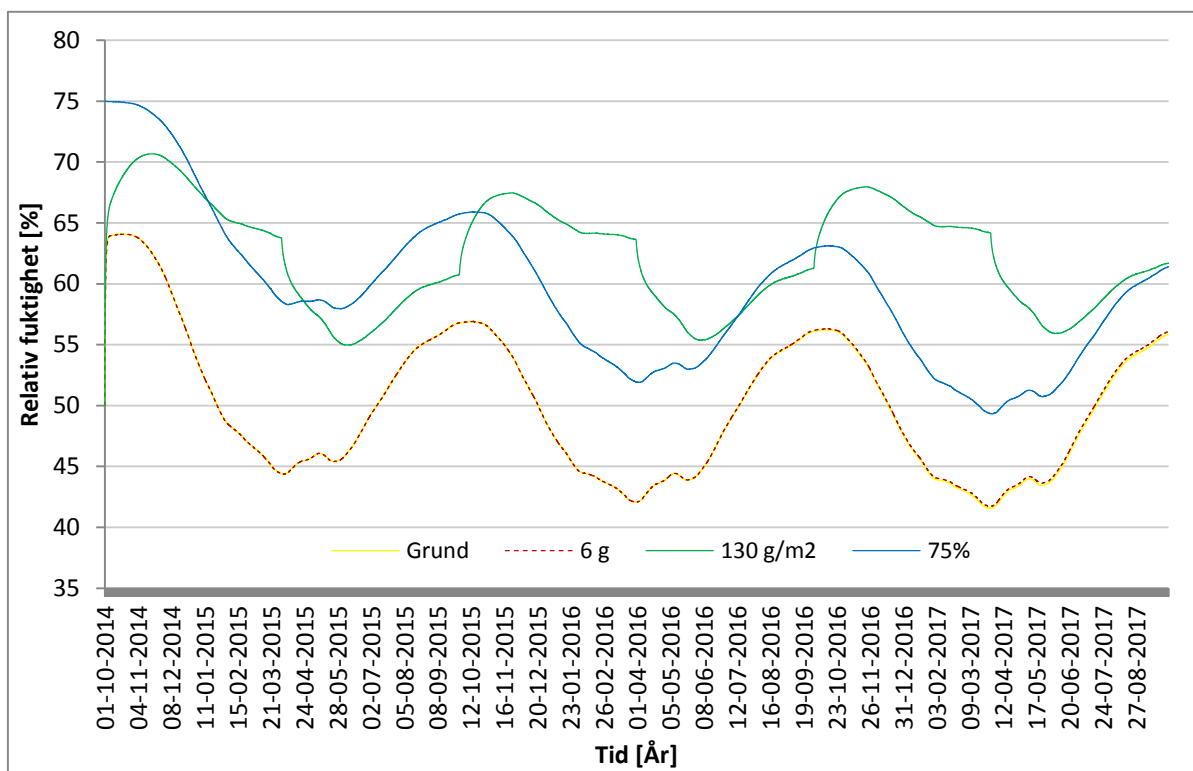
Lättbetongstomme 250 mm	Mögeltillväxt (mm/år)					
	År 1	År 3	År 1	År 3	År 1	År 3
Tilläggsisolering (mm)	100		200		300	
Konstruktion med grundvillkor 100 oms/h	S	0	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	-
100 oms/h Fukttillskott 6 g/m <sup>3</sup>	S	0	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	-
100 oms/h RF i befintlig stomme 75 %	S	0	0	0	0	0
	N	0	0	0	0	0
100 oms/h Fuktkonvektion 130 g/m <sup>2</sup>	S	0	0	0	0	0
	N	0	0	0	0	0
100 oms/h, Byggnadsdel > 20 m Fukttillskott 4 g/m <sup>3</sup> , Fuktkonvektion 65 g/m <sup>2</sup> , RF i befintlig stomme 60 %, Inläckage , 1,5 %	S	0,229	4,56	0	0,482	0,259
	N	-	-	-	-	-
100 oms/h, Byggnadsdel > 20 m Fukttillskott 4 g/m <sup>3</sup> , Fuktkonvektion 65 g/m <sup>2</sup> , RF i befintlig stomme 60 %, Inläckage 2 %	S	0,586	15,4	0	20,4	51,1
	N	-	-	-	-	-
30 oms/h Fukttillskott 4 g/m <sup>3</sup> , Fuktkonvektion 65 g/m <sup>2</sup> , RF i befintlig stomme 60 %	S	0	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	-
5 oms/h Fukttillskott 4 g/m <sup>3</sup> , Fuktkonvektion 65 g/m <sup>2</sup> , RF i befintlig stomme 60 %	S	0	0,032	0	0	0
	N	-	-	-	-	-
S=Syd, N=Norr						

### 5.2.3 Betongstomme

**Tabell 17.** Sammanställning av, ur diagrammen, avlästa RF-toppar för olika belastningsfall för fasad 2, med betongstomme. Beräkningarna är utförda med grundvillkoren och luftomsättningen 100 oms/h om inget annat anges. Nedan benämns beräkning med fuktillskott 4g/m<sup>3</sup>, fuktkonvektion 65 g/m<sup>2</sup>, RF i befintlig stomme 60 % som medelfall.

<b>Fasad 2 Betongstomme</b>	<b>RF [%] under sommarhalvåret</b>	<b>RF [%] under vinterhalvåret</b>
300 mm	42	57
Fuktillskott 6 g/m <sup>3</sup> , 300 mm.	42	57
Fuktkonvektion 130 g/m <sup>2</sup> per månad oktober-mars, 300 mm.	56	68
RF i befintlig stomme 75 %, 300 mm.	52	66
Medelfall, 300 mm	53	65
Medelfall, 200 mm	53	65
Medelfall, 100 mm	53	65
Medelfall, 30 oms/h, 300 mm	57	68
Medelfall, 5 oms/h, 300 mm	58	72
Medelfall, 300 mm, 0,5 % inläckage utanför fanerskiva	56	67
Medelfall, 300 mm, 1 % inläckage utanför fanerskiva	58	68
Medelfall, 300 mm, 1,5 % inläckage utanför fanerskiva	62	70
Medelfall, 300 mm, 2 % inläckage utanför fanerskiva	64	72
Medelfall, Byggnadsdel > 20 m, 300 mm.	54	65
Medelfall, Byggnadsdel > 20 m, 300 mm, inläckage 0,5 % utanför fanerskiva	59	69
Medelfall, Byggnadsdel > 20 m, 300 mm, inläckage 1 % utanför fanerskiva	65	73
Medelfall, Byggnadsdel > 20 m, 300 mm, inläckage 1,5 % utanför fanerskiva	72	77
Medelfall, Byggnadsdel > 20 m, 300 mm, inläckage 2 % utanför fanerskiva	77	79

Av de enskilda belastningarna är det fuktkonvektionen och den förhöjda relativa fuktigheten i befintlig stomme som påverkar RF i konstruktionen. 75 % RF i befintlig stomme vid beräkningsstart innebär en förhöjd relativ fuktighet i konstruktionen under hela beräkningsperioden. Den minskar gradvis men hinner inte torka ut under beräkningen på tre år. Fuktillskott på 6 g/m<sup>3</sup> har ingen påverkan. Fuktkonvektion på 130g/ m<sup>2</sup> per månad okt-mars innebär en tydlig ökning i RF i betongstommen. RF-topparna för samtliga ligger under 68 %, se figur 23.



**Figur 23.** Kurvorna i diagrammet visar jämförelse av relativ fuktighet i beräkningspunkten med följande belastningar. Konstruktion med grundvillkor och 300 mm tilläggsisolering, fuktkonvektion 130 g/m<sup>2</sup> per månad under oktober-mars, fukttillskott 6 g och 75 % RF i befintlig stomme. Luftomsättning i luftspalt är 100 oms/h.

Vid jämförelse av hur olika antal luftomsättningar i luftspalten påverkar RF i betongstommen ses en minskning i RF på ca 10 %-enheter när luftomsättningen ökar från 5 till 100 oms/h. Fallet med 30 oms/h hamnar mitt i mellan, se figur 51 i bilaga 6.

Vid 0.5 % till 2 % inläckage placerat mot utsidan på fanerskivan fås en förväntad gradvis ökning i RF. I samtliga fall ligger RF-topparna under 73 %, se figur 52 i bilaga 6.

Belastningsfall med 2 % inläckage ger ingen förhöjd risk för mögeltillväxt i Wufi Bio, se tabell 18.

Samma undersökning av påverkan av inläckagemängden för byggnadsdel med höjd över 20 m visar samma mönster men med en ackumulering av fukt vid en inläckagemängd på 1 % eller mer. Efter beräkningsperioden på tre år ligger RF se figur 53 i bilaga 6.

Jämförelsen av hur de olika tjocklekarna av tilläggsisolering på verkar RF i betongstommen visar ingen skillnad, se figur 54 i bilaga 6.

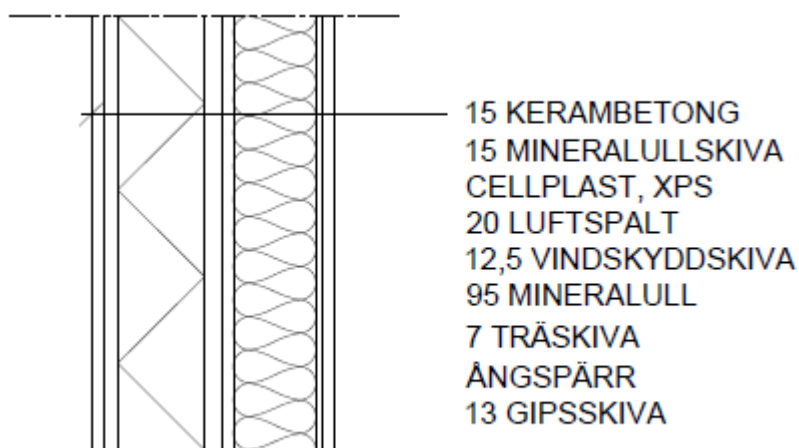
Tabell 18. Riskbedömning för mögeltillväxt i Wufi Bio för fasadsystem 2 monterad på befintlig betongstomme.

Betongstomme 150 mm Fasad 2	Mögeltillväxt (mm/år)					
	År 1	År 3	År 1	År 3	År 1	År 3
Tilläggsisolering (mm)	100		200		300	
Konstruktion med grundvillkor 100 oms/h	S	0	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	-
100 oms/h Fukttillskott 6 g/m <sup>3</sup>	S	0	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	-
100 oms/h RF i befintlig stomme 75 %	S	0	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	-
100 oms/h Fuktkonvektion 130 g/m <sup>2</sup>	S	0	0	0	0	0
	N	0	0	0	0	0
100 oms/h Fukttillskott 4 g/m <sup>3</sup> , Fuktkonvektion 65 g/m <sup>2</sup> , RF i befintlig stomme 60 %, Inläckage 2 %	S	0	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	0
100 oms/h, Byggnadsdel > 20 m Fukttillskott 4 g/m <sup>3</sup> , Fuktkonvektion 65 g/m <sup>2</sup> , RF i befintlig stomme 60 %	S	0	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	-
100 oms/h, Byggnadsdel > 20 m Fukttillskott 4 g/m <sup>3</sup> , Fuktkonvektion 65 g/m <sup>2</sup> , RF i befintlig stomme 60 %, Inläckage 2 %	S	0	0	0	0	0,003
	N	-	-	-	-	-
5 oms/h Fukttillskott 4 g/m <sup>3</sup> , Fuktkonvektion 65 g/m <sup>2</sup> , RF i befintlig stomme 60 %	S	0	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	-

S=Syd, N=Norr



### 5.3 Fasad 3



**Figur 24.** Uppbyggnad av fasadsystem 3 med träskiva som ersätter träregelstommen i Wufi 1D beräkningar. Tilläggsisolering varierar mellan 50, 100 och 150 mm.

#### 5.3.1 Träregelstomme

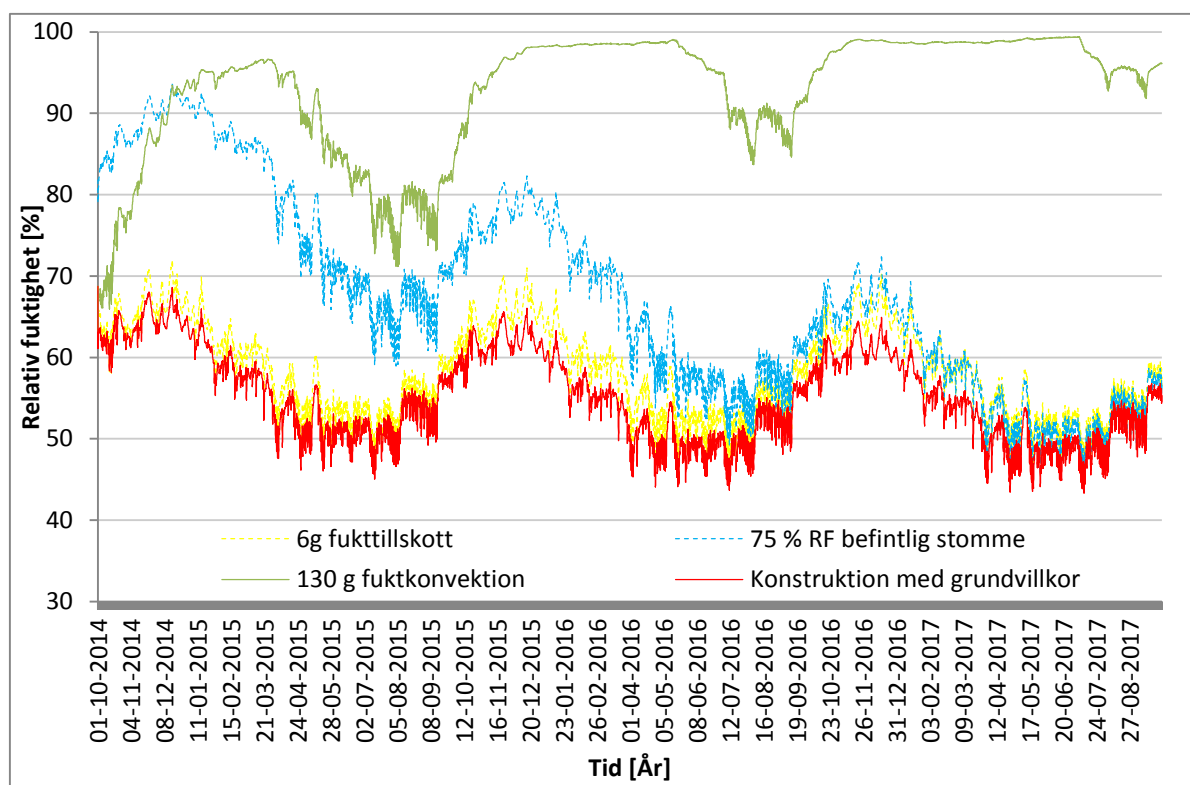
**Tabell 19.** Sammanställning av, ur diagrammen, avlästa RF-toppar för olika belastningsfall för fasad 3, med träregelstomme. Beräkningarna är utförda med grundvillkoren. Nedan benämns beräkning med fuktillskott  $4\text{g/m}^3$ , fuktkonvektion  $65\text{g/m}^2$ , RF i befintlig stomme 60 % som medelfall.

Fasad 3 träregelstomme	RF [%] under sommarhalvåret	RF [%] under vinterhalvåret
100 mm.	50-45	65-60
Medelfall, 50 mm.	80-65	97-95
Medelfall, 100 mm.	77-68	95-93
Medelfall, 150 mm.	79-72	95-92
Fuktillskott $6\text{g/m}^3$ , 100 mm.	55-50	70-65
RF i befintlig stomme 75 %, 100 mm.	55-50	70-65
Fuktkonvektion $65\text{g/m}^2$ per månad oktober-mars, 100 mm.	75-68	93-90
Fuktkonvektion $130\text{g/m}^2$ per månad oktober-mars, 100 mm.	90-85	98-97
0,5 % inläckage utanför vindskiva, 100 mm.	97-95	98
Byggnadsdel > 20 m, 100 mm.	50-45	65-60
Byggnadsdel >20 m, 0,5 % inläckage utanför vindskiva, 100 mm	100	100

Av de olika enskilda belastningarna ”inifrån” är det fuktkonvektionen som har störst påverkan på RF i mätpunkten på insidan av vindskyddet. Vid 65 g/m<sup>2</sup> per månad okt-mars ses en kraftigt höjd RF i stommen med toppar på över 90 % under vintern. Ackumulering av fukt registreras under beräkningsperioden på 3 år. 4 g/m<sup>3</sup> fukttillskott ger en marginell höjning av den relativa fuktigheten i mätpunkten. Belastning med 60 % RF i befintlig stomme vid beräkningsstart innebär en förhöjd relativ fuktighet i stommen i ca två år, se figur 55 i bilaga 7.

Vid belastning med 130 g/m<sup>2</sup> per månad oktober-mars fuktkonvektion ses en kraftigt förhöjd RF i mätpunkten innanför vindskyddet. Under vinterhalvåret ligger RF under 3-4 månader konstant över 95 %. Fukt ackumuleras under beräkningsperioden och risken för kondens och fritt vatten i konstruktionen är stor, se figur 25.

Beräkning med 75 % RF i befintlig stomme vid beräkningsstart visar att konstruktionen inte fullständigt hinner torka ut den ökade mängden fukt under beräkningsperioden på 3 år, se figur 25. Risken för mögeltillväxt är hög första året men tredje året ses ingen förhöjd risk, se tabell 20.

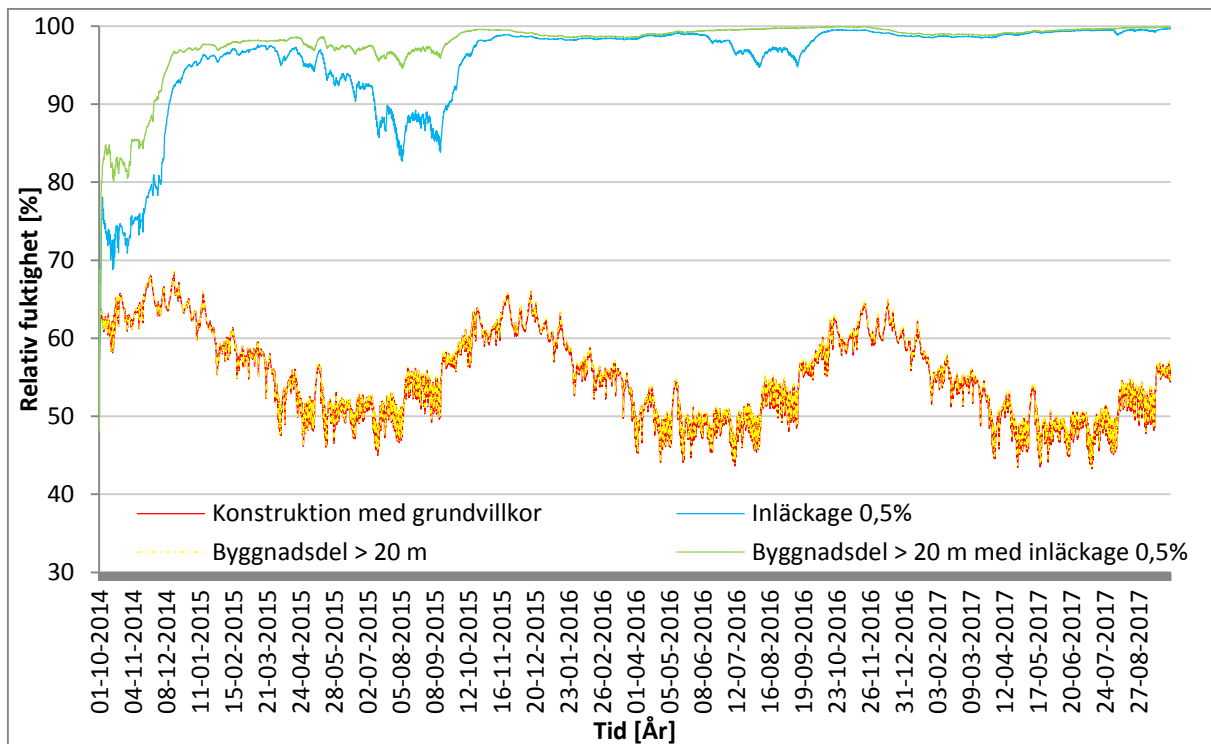


**Figur 25.** Kurvorna i diagrammet visar jämförelse av relativ fuktighet i beräkningspunkten med följande belastningar. Konstruktion med grundvillkor och 100 mm tilläggsisolering, fukttillskott 6 g, fuktkonvektion 130 g/m<sup>2</sup> per månad under oktober-mars och 75 % RF i befintlig stomme.

Redan vid 0,5 % inläckage ses en mycket kraftig ökning av RF i stommen, med RF-värde på mellan 98-100 % under vintern. Fukten ackumuleras och under andra sommaren ligger RF konstant över 95 %, se figur 26. Analys i Wufi Bio visar en hög risk för mögeltillväxt, se tabell 20.

Beräkning på hög byggnadsdel över 20 m utan inläckage ger ingen påverkan på RF i stommen. Vid 0,5 % inläckage på hög byggnad över 20 m ackumuleras fukten och ger RF-

värden som konstant ligger upp emot 100 % under hela året. Detta innebär en stor risk för kondens och fritt vatten, se figur 26.



**Figur 26.** Kurvorna i diagrammet visar jämförelse av relativ fuktighet i beräkningspunkten med följande belastningar. Konstruktion med grundvillkor, 0,5 % inläckage utanför vindskiva, byggnadsdel över 20 m, 0,5 % inläckage utanför vindskiva på byggnadsdel över 20 m. 100 mm tilläggsisolering.

Vid jämförelse av hur tilläggsisoleringens tjocklek påverkar konstruktionen registreras att 50 mm cellplast ger högst relativ fuktighet i stommen jämfört med 100 och 150 mm cellplast. Största skillnaden ses under årets kalla månader då skillnaden är ca 6 % -enheter, detta kan förklaras med att stommen har en lägre temperatur i mätpunkten med 50 mm tilläggsisolering. Vid granskning av RF-kurvorna ses att konstruktionen med 150 mm har störst ackumulering av fukt i stommen. Detta beror troligtvis på att konstruktionen med 150 mm cellplast har sämst uttorkningsförmåga under årets varmare månader på grund av det ökade diffusionsmotståndet som den tjockare cellplasten innebär, se figur 56 i bilaga 7.

Tabell 20. Riskbedömning för mögeltillväxt i Wufi Bio för fasadsystem 3 monterad på befintlig träregelstomme.

Träregelstomme 95 mm	Mögeltillväxt (mm/år)					
	År 1	År 3	År 1	År 3	År 1	År 3
Tilläggsisolering (mm)	50		100		150	
Konstruktion med grundvillkor	S	0	0	0	0	0
	N	0	0	0	0	0
Fukttillskott 4 g/m <sup>3</sup>	S	0	0	0	0	0
	N	0	0	0	0	0
Fukttillskott 6 g/m <sup>3</sup>	S	0	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	-
Fuktkonvektion 65 g/m <sup>2</sup>	S	205	576	151	665	107
	N	205	526	163	640	119
Fuktkonvektion 130 g/m <sup>2</sup>	S	978	1679	717	1725	667
	N	908	1602	785	1692	731
RF i befintlig stomme 60 %	S	17,4	0	0	0	0
	N	17,2	0	0	0	0
RF i befintlig stomme 75 %	S	506	0	377	0	283
	N	-	-	-	-	-
Inläckage 0,5 %	S	1253	1725	1262	1799	1242
	N	0,288	84,8	0	70	0
Inläckage 0,5 %, kerambetong med μ=140	S	1215	1722	1236	1799	1219
	N	0,288	57	0	74,3	0
Fukttillskott 4 g/m <sup>3</sup> , Fuktkonvektion 65 g/m <sup>2</sup> , RF i befintlig stomme 60 %	S	552	1088	409	803	324
	N	535	863	448	811	357
Byggnadsdel > 20m	S	0	0	0	0	0
	N	0	0	0	0	0
Inläckage 0,5 % Byggnadsdel > 20m	S	1411	1749	1442	1814	1416
	N	-	-	-	-	-
S= Söder, N=Norr						

### 5.3.2 Lättbetongstomme

**Tabell 21.** Sammanställning av, ur diagrammen, avlästa RF-värden för olika belastningsfall för fasad 3, med lättbetongstomme. Beräkningarna är utförda med grundvillkoren. Nedan benämns beräkning med fuktillskott 4g/m<sup>3</sup>, fuktkonvektion 65 g/m<sup>2</sup>, RF i befintlig stomme 60 % som medelfall.

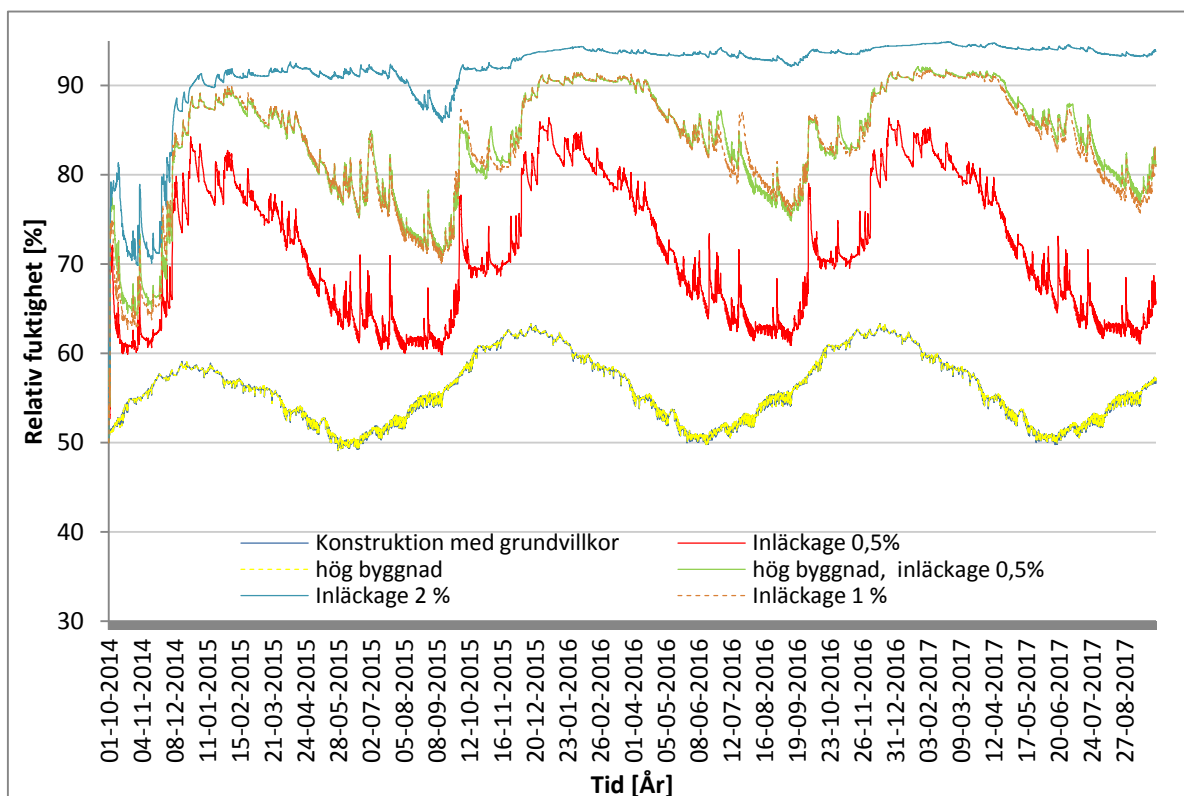
Fasad 3 Lättbetongstomme	RF [%] under sommarhalvåret	RF [%] under vinterhalvåret
100 mm.	51-50	63-62
Medelfall, 50 mm.	60-58	72-71
Medelfall, 100 mm.	62-60	76-74
Medelfall, 150 mm.	64-62	81-79
Fuktillskott 6 g/m <sup>3</sup> , 100 mm.	66-64	76-74
Fuktkonvektion 130 g/m <sup>2</sup> per månad oktober-mars, 100 mm.	58-55	75-73
RF i befintlig stomme 75 %, 100 mm.	51-50	63-62
0,5 % inläckage utanför vindskiva, 100 mm.	64-62	85-82
1 % inläckage utanför vindskiva, 100 mm	78-76	92-90
2 % inläckage utanför vindskiva, 100 mm	88-86	94-93
Byggnadsdel > 20 m, 100 mm.	51-50	63-62
Byggnadsdel >20 m, 0,5 % inläckage utanför vindskiva, 100 mm	80-75	91-90

För lättbetongstommen ses att fuktillskottet är den enskilda belastning som innebär störst höjning av RF i mätpunkten. Under vinterhalvåret ger även fuktkonvektionen en lika markant ökning i RF. Det är en konsekvens av att belastningen med fuktkonvektion endast sker från oktober till mars. RF-topparna under vintern är som mest ca 76 %, se figur 57,58 i bilaga 8. Beräkningen med 6 g fuktillskott antyder en ackumulering av fukt under beräkningsperioden på 3 år. Vid beräkning över 10 år ses att ackumuleringen upphör efter ca 4 år, se figur 60 i bilaga 8.

Vid belastning med 60- respektive 75 % RF i befintlig stomme vid beräkningsstart klarar konstruktionen torka ut under ca 10- respektive ca 18 månader, se figur 57,58 i bilaga 8.

Analys av resultat i Wufi Bio visar att 0,5 % inläckage ger en förhöjd risk för mögeltillväxt med 50 mm cellplast efter tre år. Med 1 % inläckage ses RF-toppar på 90-92 % under vintern. Wufi Bio visar en hög risk efter tre år för samtliga tjocklekar på cellplasten, se tabell 22. 2 % inläckage ger en ytterligare höjning i RF-topparna till 93-94 % under vintern.

Vid undersökning av hur byggnadshöjden påverkar konstruktionen ses ingen förhöjd relativ fuktighet vid beräkningar utan inläckage av slagregn. Däremot vid 0,5 % inläckage ses en betydlig ökning av RF i mätpunkten. Detta förklaras med att en högre byggnad utsätts för större vindbelastning och därmed även större slagregnmängd. RF-topparna ligger över 90 % under vintern och ackumulering av fukt innebär en höjning av RF på ca 1 % per år under beräkningsperioden, se figur 27.



**Figur 27.** Kurvorna i diagrammet visar jämförelse av relativ fuktighet i beräkningspunkten med följande belastningar. Konstruktion med grundvillkor, 0,5-, 1-, 2 % inläckage utanför vindskiva, byggnadsdel över 20 m, 0,5 % inläckage utanför vindskiva på byggnadsdel över 20 m. 100 mm tilläggsisolering.

Vid jämförelse av hur tilläggsisoleringens tjocklek påverkar lättbetongstommen ses tydligt att ökad isoleringstjocklek sänker den relativa fuktigheten i stommen. Skillanden i RF är ca 10 %-enheter mellan 50- respektive 150 mm tilläggsisolering under vintern. Fallet med 100 mm ligger mitt i mellan. Under sommaren är skillnaden i RF mindre, se figur 59 i bilaga 8.

**Tabell 22.** Riskbedömning för mögeltillväxt i Wufi Bio för fasadsystem 3 monterad på befintlig lättbetongstomme.

Lättbetongstomme 250 mm	Mögeltillväxt (mm/år)					
	År 1	År 3	År 1	År 3	År 1	År 3
Tilläggsisolering (mm)	50		100		150	
Konstruktion med grundvillkor	S	0	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	-
Fukttillskott 6 g/m <sup>3</sup>	S	0	0,079	0	0	0
	N	-	-	-	-	-
Fuktkonvektion 130 g/m <sup>2</sup>	S	0	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	-
RF i befintlig stomme 75 %	S	0,025	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	-
Inläckage 0,5 %	S	0,986	62,3	0	6,66	0
	N	0	0	0	0	0
Inläckage 1 %	S	153	377	110	327	105
	N	0	0	0	0	0
Inläckage 0,5 % Byggnadsdel > 20m	S	182	441	106	356	84,3
	N	-	-	-	-	-
Inläckage 1 % Byggnadsdel > 20m	S	531	978	551	1062	557
	N	-	-	-	-	-
Fukttillskott 6 g/m <sup>3</sup> , Fuktkonvektion 130 g/m <sup>2</sup> , RF i befintlig stomme 75 %	S	185	142	139	67,4	105
	N	216	267	160	129	121
Fukttillskott 4 g/m <sup>3</sup> , Fuktkonvektion 65 g/m <sup>2</sup> , RF i befintlig stomme 60 %	S	52,3	0,049	17,5	0	0,911
	N	-	-	-	-	-
S= Söder, N=Norr						

### 5.3.3 Betongstomme

**Tabell 23.** Sammanställning av, ur diagrammen, avlästa RF-toppar för olika belastningsfall för fasad 3. Beräkningarna är utförda med grundvillkoren. Nedan benämns beräkning med fuktillskott  $4\text{ g/m}^3$ , fuktkonvektion  $65\text{ g/m}^2$ , RF i befintlig stomme 60 % som medelfall.

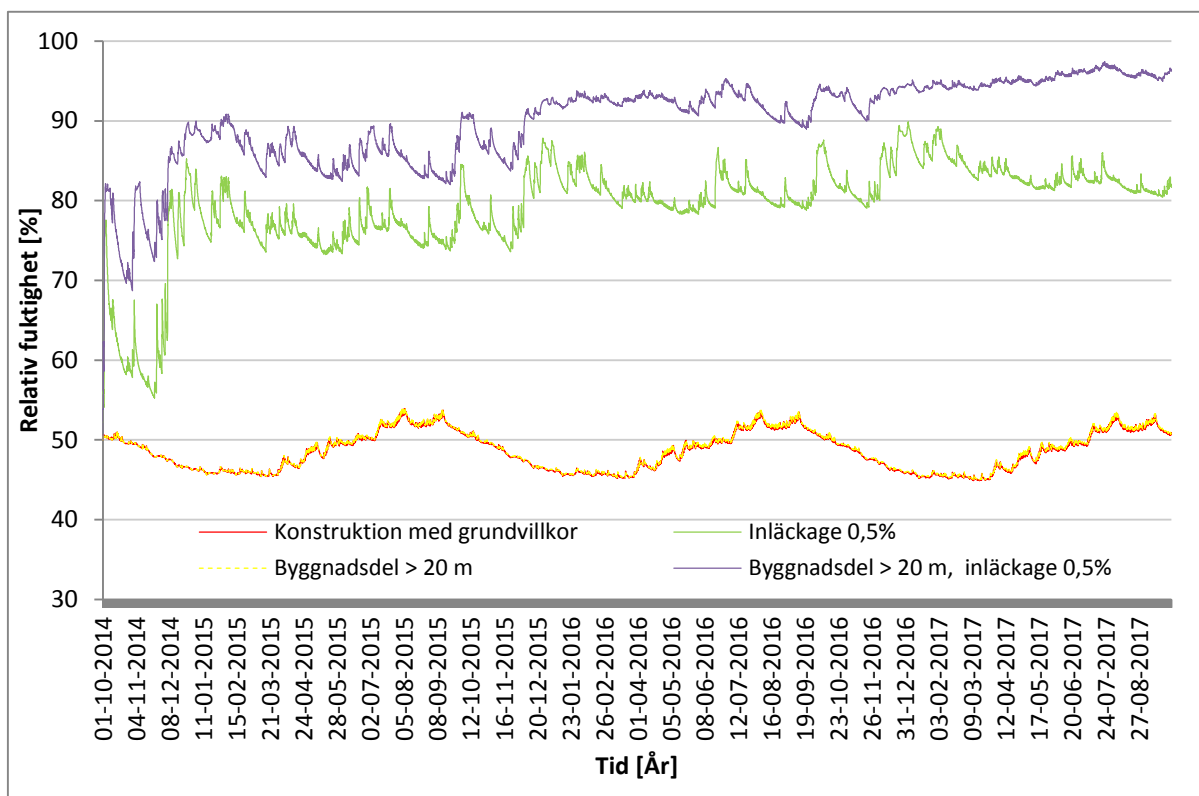
Fasad 3 Betongstomme	RF [%] under sommarhalvåret	RF [%] under vinterhalvåret
100 mm.	52-51	46
Medelfall, 50 mm.	68-63	67-62
Medelfall, 100 mm.	69-66	71-67
Medelfall, 150 mm.	70-67	73-68
Fuktillskott $6\text{ g/m}^3$ , 100 mm.	52-51	46
Fuktkonvektion $130\text{ g/m}^2$ per månad oktober-mars, 100 mm.	70-68	78-76
RF i befintlig stomme 75 %, 100 mm.	71-69	66
0,5 % inläckage utanför vindskiva, 100 mm.	85-79	85-79
Byggnadsdel > 20 m, 100 mm.	52-51	46
Byggnadsdel >20 m, 0,5 % inläckage utanför vindskiva, 100 mm	93-90	93-90

Ökat fuktillskott på 4- respektive  $6\text{ g/m}^3$  ger ingen förhöjd relativ fuktighet i betongstommen. Det ses tydligt att betongstommen behöver mycket lång tid för att torka ut en förhöjd relativ fuktighet i konstruktionen vid beräkningsstart. Detta gäller både för en RF i stommen på 60 % och 75 % vid beräkningsstart. Vid belastning med fuktkonvektion ses en tydlig ökning i RF och även en tydlig ackumulering av fukt i betongstommen, se figur 61.62 i bilaga 9. Beräkning över 15 år visar att ackumulering på grund av fuktkonvektionen avtar och är marginell efter 15 år. RF i beräkningspunkten har då toppar på ca 85 % under vintern för att sen torka till ca 79 % under sommaren, se figur 64 i bilaga 9.

Vid belastning med 0,5 % inläckage ses tydligt att RF i betongstommen stiger och även en ackumulering av fukt registreras. Efter ca 14 månader ligger RF konstant över 80 %, se figur 28.

Beräkning på hög byggnadsdel över 20 m visar ingen höjning i RF. Med 0,5 % inläckage på hög byggnadsdel över 20 m ses en tydlig ökning i RF. Efter ca 14 månader ligger RF konstant över 90 % och ackumulering av fukt registreras, se figur 28.





**Figur 28.** Kurvorna i diagrammet visar jämförelse av relativ fuktighet i beräkningspunkten med följande belastningar. Konstruktion med grundvillkor, 0,5 % inläckage utanför vindskiva, byggnadsdel över 20 m, 0,5 % inläckage utanför vindskiva på byggnadsdel över 20 m. 100 mm tilläggsisolering.

Analys av risken för mögeltillväxt i Wufi Bio visar inläckage på 0,5 % ger en hög risk för konstruktion med 100- och 150 mm tilläggsisolering. 50 mm tilläggsisolering ger en förhöjd risk, se tabell 24.

Tilläggsisoleringens tjocklek påverkar relativa fuktigheten i mätpunkten i betongstommen innanför vindskivan. Det ses tydligt att ökande tjocklek på cellplasten ger en ökad relativ fuktighet i betongstommen. Ackumulering av fukt ses i samtliga fall under beräkningsperioden på 3 år, se figur 63 i bilaga 9. Beräkning under 15 år visar att avtagande ackumulering under beräkningens 15 år, se figur 65 i bilaga 9.

Tabell 24. Riskbedömning för mögeltillväxt i Wufi Bio för fasadsystem 3 monterad på befintlig betongstomme.

Betongstomme 150 mm Fasad 3	Mögeltillväxt (mm/år)					
	År 1	År 3	År 1	År 3	År 1	År 3
Tilläggsisolering (mm)	50		100		150	
Konstruktion med grundvillkor	S	0	0	0	0	0
	N	0	0	0	0	0
Fukttillskott 6 g/m <sup>3</sup>	S	0	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	-
Fuktkonvektion 130 g/m <sup>2</sup>	S	0	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	-
RF i befintlig stomme 75 %	S	0	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	-
Inläckage 0,5 %	S	0	87,9	0,178	400	0,576
	N	0	0	0	0	0
Inläckage 1 %	S	240	1030	338	1229	297
	N	-	-	-	-	-
Fukttillskott 6 g/m <sup>3</sup> , Fuktkonvektion 130 g/m <sup>2</sup> , RF i befintlig stomme 75 %	S	0,045	8,82	26,9	251	48
	N	-	-	-	-	-
Byggnadsdel > 20 m	S	0	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	-
Inläckage 0,5 % Byggnadsdel > 20 m	S	229	1075	296	1222	341
	N	-	-	-	-	-
Inläckage 1 % Byggnadsdel > 20 m	S	795	1526	916	1054	963
	N					
Fukttillskott 4 g/m <sup>3</sup> , Fuktkonvektion 65 g/m <sup>2</sup> , RF i befintlig stomme 60 %	S	0	0	0	0	0
	N	-	-	-	-	-
S= Söder, N=Norr						

## 6. Diskussion/Kommentarer till resultaten.

Under parameterstudien har en hel del antaganden och approximationer varit nödvändiga att genomföras. Detta på grund av att flera produkter saknar väsentliga materialvärden. Det krävs experimentella försök för att ta fram alla nödvändiga materialvärden. Inom tidsramen för detta arbete har det inte varit möjligt.

Det är av stor vikt att man ser fasadsystemet som en helhet och inte som enskilda komponenter. En liten förändring i ett materials eller produkts egenskaper kan få betydelse för konstruktionens funktion.

Det har tydligt påvisats att tjockleken på tilläggsisoleringen har betydelse för fuktillstånden i konstruktionerna. Ökad tjocklek på tilläggsisoleringen medför en högre temperatur i den befintliga stommen vilket innebär en sänkning i den relativa fuktigheten. Detta beror på att en högre temperatur höjer materialets mätnadsånghalt. Temperaturhöjningen i stommen innebär samtidigt en mer gynnsam miljö för mikrobiell tillväxt. Det har vistats sig att med inga eller måttliga inläckagemängder har ökad tjocklek på tilläggsisoleringen inneburit en lägre risk för mikrobiell tillväxt i befintlig stomme. När fuktbelastning blivit stor, som exempel 2 % regninläckage, har dock en ökad risk för mikrobiell tillväxt registrerats med ökande tjocklek på tilläggsisoleringen. Detta kan innebära att ju mer man ökar tjockleken på tilläggsisoleringen desto allvarigare kan följderna av ett stort regninläckage bli.

Studien har visat att byggnadshöjden har en tydlig påverkan på den relativa fuktigheten och även på risken för mögeltillväxt i Wufi Bio. Det beror på en ökad vindbelastning och därmed även en större mängd slagregn. I praktiken betyder detta att vid tilläggsisolering av byggnader med en höjd på över 20 meter så bör extra hänsyn tas till projekteringen av fuktsäkerhet. Låg byggnadsdel på under 20 meter som inte är fuktsugande eller om fasaden är mättad kan få en tilltagande vattenbelastning längst ner på fasaden som följd av vatten som rinner ner längs fasaden. Således kan det vara rimligt att genomföra beräkningar med större belastning. Därför finns det en viss osäkerhet i slagregnsberäkningarna i Wufi. Programmet beräknar endast slagregn som träffar en bestämd yta av fasaden och tar inte hänsyn till avrinning. Detta betyder att i verkligheten kan vattenmängden på fasaden vara betydligt större. Då inläckage oftast sker vid genomförningar och otätheter i fasaden kan inläckagemängden bli väsentligt större om en sådan otäthet också belastas med avrinnande regnvatten.

I beräkningar med träskiva i konstruktionen ger en något lägre temperatur, ca 0,3 °C i beräkningspunkten och detta ger en höjning i RF med ca 2 %. Temperatursänkningen innebär samtidigt att betingelserna för mögeltillväxt försämras. Vad som påverkar risken för mögeltillväxt mest av temperatursänkningen och höjning i RF är svårt att avgöra.

### 6.1 Fasadsystem 1

Fasadsystemet har under parameterstudiens beräkningar visat stor robusthet mot olika fuktbelastningar så som fuktillskott, fuktkonvektion och byggfukt. Fasaden har också visat god förmåga att torka ut inläckage av slagregn. Diffusionsöppna materialegenskaper i kombination med en verifierad fungerande dränerande funktion gör att fukt i konstruktionen kan torka eller rinna ut. I beräkningar på en konstruktion där det använts en tätare ytfärg än det systemet är konstruerat för ses en tydlig försämring i konstruktionens uttorkande förmåga. Detta beror på att färgen med ett högre diffusionsmotstånd gör att konstruktionen får svårare att transportera bort fukt genom diffusion.

Stomskyddets relativt låga vattenupptagningsförmåga utgör ett effektivt skydd för den befintliga stommen innanför skivan genom att den stoppar fuktinträngning i stommen genom kapillär uppsugning. Stomskyddets relativt låga diffusionsmotstånd ger fasadsystemet god möjlighet för upptorkning genom diffusion. Dessutom är stomskyddssystemet verifierat regntät i skarvar, anslutningar och genomförningar.

### *6.1.1 Träregelstomme*

Stomskyddets låga vattenupptagningsförmåga har stor betydelse för fasadsystemet och dess förmåga att hantera inläckage utanför stomskyddet. Vid inläckage innanför stomskyddet ses en markant ökning i RF och även en förhöjd risk för mögeltillväxt i Wufi Bio. När inläckaget inträffar på stomskyddets utsida har systemet en god förmåga att hantera den ökade fuktbelastning detta innebär.

En skadad ångspärr eller otät i skarvar, anslutningar och genomförningar på insidan av konstruktionen kan leda till fukttransport ut i stommen genom konvektion och ge höjning i den relativa fuktigheten i stommen.

### *6.1.2 Lättbetongstomme*

När beräkningar genomförs med fasadsystemet på en befintlig stomme i lättbetong ses en ökad beständighet mot fuktbelastningar jämfört med beräkningarna på en befintlig träregelstomme.

Ett ökat fukttillskott inomhus påverkar fukttillståndet i stommen i större grad än med en träregelstomme. Detta beror på att det inte finns någon ångspärr på insidan av lättbetongstommen och att lättbetongen är relativt ångöppen vilket innebär att fukt kan diffundera ut i stommen. Detta ger ingen förhöjd risk för mögeltillväxt i Wufi Bio.

### *6.1.3 Betongstomme*

Det är tydligt att fasadsystemet monterat på en befintlig betongstomme utgör en väl fungerande konstruktion mot fuktbelastningar. Även vid hårda fuktbelastningar så som för exempel 2 % inläckage av slagregn utanför stomskyddet eller 1 % innanför stomskyddet visar konstruktionen ingen förhöjd risk för mögeltillväxt i Wufi Bio.

## **6.2 Fasadsystem 2**

En fungerande ventilerad luftspalt har stor betydelse för fasadsystemets funktion då den är nödvändig för att ventileras bort fukt. Fasadskiktets betydande diffusionsmotstånd innebär att luftspaltens ventilerande förmåga blir avgörande för konstruktionens funktion eller fukttillstånd. Vid 100 oms/h klarar konstruktionen i stor utsträckning att hantera fuktbelastningar. Luftspaltens omsättning blir mer betydelsefull med en ökande fuktbelastning.

Fanerskivans låga vattenupptagningsförmåga utgör ett bra skydd mot kapillär fuktvandring in i stommen. Dock kan den vara fuktsugande på ytan och i skarvar. I beräkningarna har det inte tagits hänsyn till limmet som använts för att fästa fanerskivan mot isoleringen, då det saknats materialuppgifter om detta. Det kan tänkas att limmet har en förmåga att skydda fanerskivan mot inläckage som kommer i kontakt med limmet på fanerskivans utsida. Skivans relativt höga diffusionsmotstånd försvårar konstruktionens förmåga att torka ut genom diffusion.

I beräkningarna på fasadsystem 2 har inte risken för mögeltillväxt på utsidan av fanerskivan undersökts. Beräkningspunkten placerades på insidan av fanerskivan i den yttersta delen av den befintliga stommen. Det är troligt att skivan blir blöt på utsidan vid regninläckage och att mögeltillväxt kan uppstå.

### *6.2.1 Träregelstomme*

En hel och väl fungerande ångspärr är av stor betydelse för fasadsystemet monterat på en träregelstomme, vid belastning med fuktkonvektion på 130 g / m<sup>2</sup> per månad okt – mars ses en markant ökning på ca 20 % - enheter i relativ fuktighet i stommen. Fanerskivans förhållandevis höga diffusionsmotstånd innebär att vattenången får svårare att diffundera ut till luftspalten för att ventileras bort. Detta innebär att konstruktionen får svårt att hantera fuktbelastningar som kommer från insidan och vandrar ut i stommen.

### *6.2.2 Lättbetongstomme*

Ökat fukttillskott ger en ökning i den relativa fuktigheten i lättbetongstommen, detta på grund av att ångspärr inte finns vilket möjliggör att vattenånga kan diffundera ut i konstruktionen. Fanerskivans relativt höga diffusionsmotstånd gör att vattenången får svårt att fortsätta utåt i konstruktionen för att ventileras bort. Belastning med fuktkonvektion innebär också en höjning i RF.

### *6.2.3 Betongstomme*

När fasadsystemet monteras på en befintlig betongstomme får den relativa fuktigheten i den befintliga stommen vid beräkningsstart större betydelse. Betongens relativt höga diffusionsmotstånd innebär att uttorkningsprocessen går långsamt. Under beräkningstiden på tre år klarar konstruktionen endast torka ut en mindre mängd av den ökade fuktmängden. Även en ökning i fuktkonvektion medför en ökning i RF i betongstommen. Ökningen i RF medför dock ingen förhöjd risk för mögeltillväxt i Wufi Bio.

Betongstommens relativt höga diffusionsmotstånd gör att ett ökat fukttillskott inte klarar diffundera ut och höja den relativa fuktigheten i stommen. Därmed har den ingen inverkan på konstruktionen.

### 6.3 Fasadsystem 3

I fasadsystemets uppbyggnad finns det dräneringsslitsar enligt uppgift i den oventilerade luftspalten. Då information om slitsarnas uppbyggnad och ev. dränerande funktion saknas har dessa inte kunnat simuleras i studien. Resultaten visar att en fungerande dränering är avgörande för att fasadsystemet ska fungera. Redan vid 0,5 % inläckage av slagregn får konstruktionen betydande fuktackumulering i konstruktionen. Fasadelementets relativt höga diffusionsmotstånd gör att systemet får svårt att torka ut inträngande fukt genom diffusion.

Studien visar stor skillnad i risken för mögeltillväxt mellan de olika stomalternativen. Träregelstommen får tidigt hög risk för tillväxt medan betongstommen tål en något större fuktbelastning innan en förhöjd risk för mögeltillväxt påvisas i Wufi Bio. Lättbetongstommen är den som visats sig klara inträngande slagregn bäst. Detta kan förklaras med att lättbetongens relativt låga diffusionsmotstånd gör att fukt kan diffundera genom lättbetongen och därmed torka inåt.

#### 6.3.1 Träregelstomme

En hel och fungerande luft och ångspärr är avgörande för att fasadsystemet ska fungera på en träregelstomme. Redan vid belastning med 65 g/m<sup>2</sup> fuktkonvektion per månad oktober-mars visas en betydlig höjning på ca 20 % -enheter i den relativa fuktigheten i stommen och en hög risk för mögeltillväxt i Wufi Bio.

Beräkningar på hur tilläggsisoleringens tjocklek påverkar konstruktionen visar att mindre tjocklek ger högre relativ fuktighet i stommen under beräkningsperioden.

Det registreras dock en trend som visar att ackumulering av fukt i stommen är störst med mer tilläggsisolering. Detta kan bero på att tjockare tilläggsisolering innebär att det blir svårare för konstruktionen att torka ut genom diffusion då ångtätheten ökar och således får konstruktion en sämre uttorkning under årets varmare del.

#### 6.3.2 Lättbetongstomme

Ett ökat fukttillskott inomhus ger en höjning av den relativa fuktigheten i lättbetongstommen på grund att det inte finns någon ångspärr och således kan fukten diffundera ut i stommen. Även belastning med ökad fuktkonvektion ger högre relativ fuktighet. Då konstruktionen inte klarar torka ut den ökade fuktbelastningen genom diffusion sker en ackumulering av fukt i stommen. Beräkning över 10 år visar att ackumuleringen upphör efter ca 4 år. Beräkningarna i Wufi Bio visar ingen förhöjd risk för mögeltillväxt.

Ökad tjocklek på tilläggsisoleringen innebär en lägre relativ fuktighet i lättbetongstommen då temperaturen blir högre och lättbetongens mätnadsånghalt således stiger.

### 6.3.3 *Betongstomme*

Belastning med 65 g/m<sup>2</sup> fuktkonvektion per månad oktober-mars ger en höjning i RF på ca 20 % -enheter under vintern och även en tydlig ackumulering av fukt i stommen. Fasadsystemet klarar inte torka ut den ökade fuktmängden under årets varmare del då man fortfarande ser en relativ fuktighet i stommen som ligger ca 10 % -enheter högre än i fallet utan fuktkonvektion. Med 60 % RF i befintlig stomme vid beräkningsstart ses en förhöjd relativ fuktighet i betongstommen under hela beräkningsperioden på 3 år. Beräkningarna i Wufi Bio visar dock ingen förhöjd risk för mögeltillväxt under beräkningsperioden.

Vid jämförelse av tilläggsisoleringens inverkan på konstruktionen ses att en ökad tjocklek på tilläggsisoleringen ger en högre relativ fuktighet i betongstommen. Detta kan bero på den sämre uttorkningsförmåga som tjockare tilläggsisolering medför på grund av ökat diffusionsmotstånd. Oavsett tjocklek sker en ackumulering av fukt i stommen under beräkningsperioden.

Konstruktionens har ett relativt högt diffusionsmotstånd både inåt och utåt i konstruktionen, detta innebär att fukten stängs inne i konstruktionen.

## 7. Slutsatser

Det finns stora skillnader mellan hur de tre olika fasadsystemen klarar av de belastningar som ger de högsta fukttillstånden. Utifrån antagna parametrar i denna studie så har inträngande slagregn, för mest utsatt väderstreck, gett de högsta fukttillstånden följt utav fuktkonvektion och byggfukt. När det gäller stomalternativ så ser det ut som lättbetong och betong kan hantera en betydande fuktbelastning, vilket inte trästommen klarar, innan risk för mikrobiell tillväxt.

Beräkningarna visar att:

- Fasad 1 (puts på isolering) kan hantera förekommande belastningar utan risk för mikrobiell tillväxt i någon av stommarna. Detta under förutsättning att regntäthet och dränering fungerar enligt verifierad produktprestanda.
- Fasad 2 (ventilationsspalt) uppvisar känslighet mot fuktkonvektion och regninläckage med risk för mikrobiell tillväxt enbart i trästommen. Dessutom klarar den relativt stora regninläckage så länge det stannar utanför stomme och fanérskivan.
- Fasad 3 (betongelement) medger ingen uttorkning vilket gör att byggfukt, fuktkonvektion och relativt små inläckage ger upphov till höga fukttillstånd och fuktackumulering. Det finns även en risk för mikrobiell tillväxt för betongstomme (substratklass 2).

Generellt sett kan konstateras att diffusionsöppna materialegenskaper i kombination med en fungerande dränerande eller ventilerande funktion gör att fukt i konstruktionen kan torka eller rinna ut. Konstruktioner med ångöppna material klarar genomgående att torka ut ett slagregnsinläckage upp till 1 % utan att få fuktrelaterade problem.

En välventilerad luftspalt åt söder, med en omsättning av t.ex. 100 oms/h, klarar på ett bra sätt att ventilerar bort inträngande vatten med mängder som motsvarar minst 2 % slagregnsinläckage.

Det har vistats sig att med inga eller måttliga regninläckage har ökad tjocklek på tilläggsisoleringen inneburit en lägre risk för mikrobiell tillväxt i befintlig stomme. När fuktbelastning blivit stor, som exempelvis 2 % regninläckage, har dock en ökad risk för mikrobiell tillväxt noteras med ökande tjocklek på tilläggsisoleringen. Med dessa inläckagemängder är dock risken ändå stor för mikrobiell tillväxt oberoende av isoleringstjocklek.

Tilläggsisolering med material som har relativt högt ångmotstånd försvårar eventuell uttorkning och det försvåras ytterligare med ökad isoleringstjocklek.

Ett stomskydd (vindskydd) med obetydlig vattenupptagningsförmåga utgör ett bra skydd mot kapillär fuktvandring in i bakomliggande stomme. Samtidigt är det av stor vikt att den är relativt diffusionsöppen för att möjliggöra uttorkning genom ångdiffusion. Dessutom förutsätts stor noggrannhet vid uppförandet särskilt vid skarvar, genomföringar och anslutningar för att minimera risken för inläckage.



I beräkningsprogrammet fås ungefär dubbelt så stor slagregnsbelastning om byggnadshöjd över 20 m tillämpas än vid lägre byggnadshöjd. I programmet finns ingen tydlig beskrivning av hur fasader med icke fuktsugande ytskikt bör beaktas, alltså fasaden får rimligtvis tilltagande vattenbelastning långt ner på fasaden.

Det är av stor vikt att se fasadsystemen som en helhet och vara noga med att använda de produkter som systemet är konstruerat för och med. En liten förändring i ett materials egenskaper kan få stor påverkan på fasadsystemets funktion. Några exempel på detta är val av en diffusionstätare fasadytfärg, stomskydd eller tilläggsisolering än det systemet är framtaget vilket kan innebära en relativt stor ökning av fukthalt i stommen.

Vid uppförande av fasadsystem för tilläggsisolering av befintliga byggnader krävs lösningar med verifierad funktion, stor noggrannhet och att det finns tydliga instruktioner för monteringen. Detta för att minimera risken för inläckage av slagregn och problem med fuktkonvektion och byggfukt.

I praktiken har det visats sig att det är väldigt svårt att undvika ett visst regninläckage vid skarvar, anslutningar och genomförningar i fasader (Olsson 2014b). Det hjälper alltså inte mot inläckage att ha ett vattentätt fasadmateriel då inläckaget trots allt sker vid skarvar, anslutningar och genomförningar. För att få till ett, ur fukthänsyn säkert och fungerande fasadsystem, behövs en funktion för att dels skydda stommen dels transportera bort inträngande vatten.

För att kunna göra korrekta beräkningar av fasadsystem och ytterväggar ur fukthänsyn krävs det specifika fuktegenskaper hos ingående produkter för att kunna göra exakta beräkningar. I denna studie har vi fått erfara att många sådana uppgifter saknas.

## Referenser

- BSR/ ASHRAE 160P, (2009). *Criteria for moisture – control design analysis in buildings*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, US: ASHRAE
- Mjörnell, K. (2011). Teknikupphandling: *Rationell isolering av klimatskärmen på befintliga flerbostadshus*. (Rapport TURIK etapp 1). Stockholm: BeBo.
- BETSI (2009). *Statistiska urval och metoder i Boverkets projekt BETSI*. Karlskrona: Boverket.
- Björk, C., Kallstenius, P. & Reppen, L. (2002). *Så byggdes husen 1880-2000*. Stockholm: Formas.
- Boverket (2009). *Så mår våra hus, Redovisning av regeringsuppdrag beträffande byggnaders tekniska utformning m.m.* Karlskrona: Boverket
- Burström, P-G. (2007). *Byggnadsmaterial: Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. 2. uppl., Lund: Studentlitteratur AB.
- CR-063 (2012). *P-märkning av byggprodukter – Certifieringsregel 063 – Byggsystem för takkonstruktioner och taktäckning*. Borås: SP Technical Research Institute of Sweden.
- Falk, J. (2010). *Ventilerad luftspalt i yttervägg-luftomsättningar och konvektiv fukttransport*. Lic.-avh., Lunds Universitet. Lund
- Gustavsen, A., Oustad M. & Uvsløkk S. (2008). *Calculation of Moisture and Heat Transfer in Compact Roofs and Comparison with Experimental Data*. Proceedings of the Nordic WUFI hygrothermal modeling workshop. (CRIS tin 234344). Oslo: NTNU og SINTEF Byggforsk.
- Hägerstedt, S Olof. (2012). *Fuksäkra Träkonstruktioner: Vägledning för utformning av träbaserade väggar*. (Rapport TVBH-3052). Lund: Lunds Universitet.
- Kumaran, M K. (2002). *A Thermal and Moisture Transport Property Database for Common Building and Insulating Materials*. (Rapport från ASHRAE Research Project 1018-RP). Kanada: National Reserach Council.
- Nevander, L E. & Elmarsson, B. (1994). *Fukthandbok: Praktik och teori*. 2. Uppl., Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.
- Olsson, L. (2014a). *Moisture Conditions in Exterior Wooden Walls and Timber During Production and Use*. Lic.-avh., Chalmers Tekniska Högskola. Göteborg.
- Olsson, L. (2014b). *Results from laboratory measurements of wind driven rain tightness in different types of facades*. NSB 2014, Proceedings of the 10<sup>th</sup> Nordic Symposium on Building Physics. Lund: Sverige.
- Samuelsson, I, Jansson A. (2009). *Putsade regelväggar*. (SP rapport 2009:16) Borås: SP Sveriges Tekniska Institut.
- Sandin, K. (2010). *Praktisk Byggnadsfysik*. Lund: 2010.

Sandin, K. (1991). *Skalmurskonstruktionens fukt- och temperaturbetingelser*, (Rapport R43:1991). Stockholm: Byggeforskningsrådet.

Van Den Bossche, N. (2013). *Watertightness of Building Components: Principles, Testing and Design Guidelines*. Diss., Universiteit Gent, Belgien: Wettelijk depot.

WUFI 1D. WUFI Pro 5.3, IBP Software [www.wufi.de](http://www.wufi.de).

WUFI 2D. WUFI 2D 3.4, IBP Software [www.wufi.de](http://www.wufi.de).

WUFI Bio. WUFI Bio 3.2, IBP Software [www.wufi.de](http://www.wufi.de).