

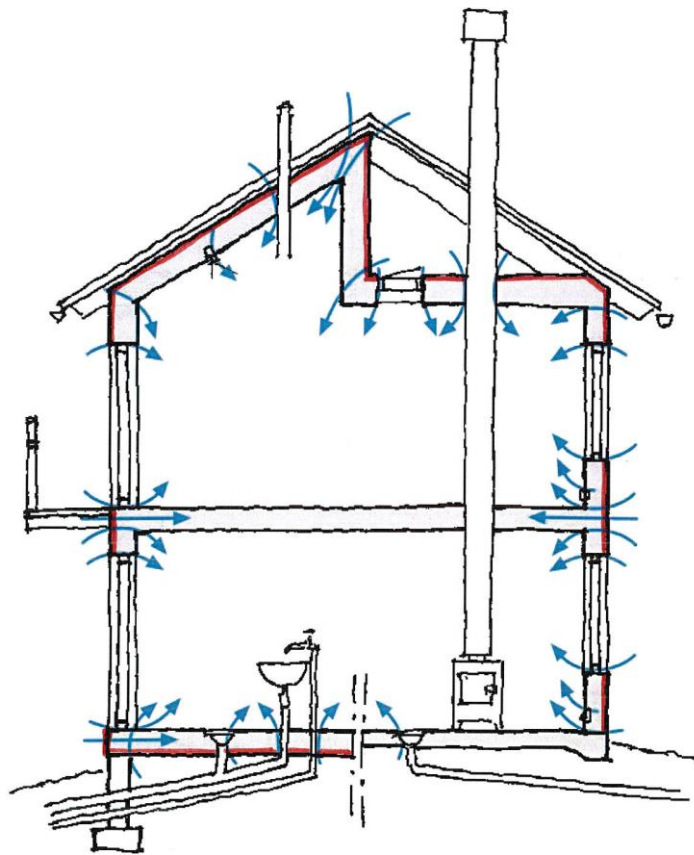


# Klimatskalets yttre lufttätet - energieffektivitet och fuktsäkerhet

Eva Sikander, Carl-Magnus Capener, Alan Esad



SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut



# Klimatskalets yttre lufttäthet - energieffektivitet och fuktsäkerhet

Eva Sikander, Carl-Magnus Capener, Alan Esad

Bild på omslag tecknad av Eric Werner Tecknaren, med komplettering av röda markeringen för det yttre lufttätande skiktet.

## Abstract

In Sweden, the construction of energy-efficient buildings is a field that is of particular interest to us. Airtightness of the building envelope is one of several parameters that are important to achieving low energy use. The envelope of a building may be made of a variety of materials, resulting in, for instance, heavy, solid building envelopes or lightweight envelopes with air permeable insulation. This report addresses lightweight envelopes with insulation materials that have a high degree of air permeability and where other air-sealing layers are of great importance. The report also considers solutions where the façade cladding has a ventilated gap on the inside. The hypothesis is that external airtightness in a lightweight building envelope might well be a way of further reducing energy use and improving airtightness yet to be applied in Sweden. A crucial question here is whether this might involve a degree of risk in terms of moisture control within the structure. The aim of the project is to highlight and evaluate the possibilities of an externally airtight building envelope, both on new builds and on building conversions where the envelope is to be upgraded.

Norway has been the source of some of our findings. There the technique of constructing and monitoring airtight wind barriers is in current use, and their experience so far has been positive. Calculations relating to moisture control aspects have also been performed as part of the project. The findings, studies of the literature and the calculations of moisture indicate that it is possible to construct energy efficient building envelopes with an outer air-sealing wind barrier that still have good moisture control. Moisture control planning and design must always be undertaken when a new layer is added to an existing structure. Properly planned and properly installed, an outer air-sealing layer can be executed in such a way that the moisture control of the structure is retained. There is also an obvious risk that moisture control may be jeopardised if the requirement is not properly surveyed, if no planning and design of moisture control is undertaken, or if installation is incorrectly executed. The following should for instance be borne in mind:

- The outer air-sealing layer should be sufficiently vapour-permeable. Moisture calculations should be carried out.
- Where there is a risk of built-in moisture or when renovating building envelopes with high moisture content, moisture-related problems are more likely.
- Moisture from outside, and from leaks in particular, is always a risk for structures. In this case, where there is a wind barrier that is both airtight and, to varying degree, vapour tight, the risk can increase with a more vapour impermeable wind barrier.
- The drop in pressure across an air-tight wind barrier needs to be borne in mind. During the construction period of an air-tight wind barrier or at certain times during its service life, the structure may in certain cases act as a face-sealed solution, incurring a major risk of inward leakage of rain water. This needs to be borne in mind and dealt with appropriately so as to avoid water penetrating the wall studding and sensitive components.

Outer air-tightness can contribute to preventing gusts of wind hitting and penetrating the insulation layer. So an air-tight wind barrier increases the potential for the insulation layer to achieve the function for which it was planned and designed. This in turn should help reduce the mismatch mentioned before between energy use as calculated at the design stage and the readings for actual consumption of energy after building completion.

Key words: airtightness, building envelope, moisture safety, wind barrier

**SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**  
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2015:87  
ISBN 978-91-88349-06-4  
ISSN 0284-5172  
Borås 2015

# Innehållsförteckning

<b>Abstract 3</b>	
<b>Innehållsförteckning</b>	<b>5</b>
<b>Förord 6</b>	
<b>Sammanfattning</b>	<b>7</b>
<b>1 Bakgrund och motivering</b>	<b>8</b>
<b>2 Syfte</b>	<b>9</b>
<b>3 Vindskyddets funktion</b>	<b>10</b>
<b>4 Erfarenheter från Norge och Nordamerika</b>	<b>13</b>
4.1 Litteraturstudie	13
4.2 Erfarenheter via intervjuer	14
<b>5 Risker och möjligheter – fukt</b>	<b>16</b>
5.1 Fuktförhållanden i ytterväggar allmänt	16
5.2 Tidigare utförda fuktberäkningar	17
5.3 Nya fuktberäkningar i detta projekt	18
5.4 Fuktsäkerhetsaspekter ombyggnadsfallet	35
5.5 Inverkan på tryckfallet i klimatskalet	35
<b>6 Lufttäthetens och vindtäthetens inverkan på energianvändning</b>	<b>36</b>
6.1 Påtvingad konvektion	36
6.2 Energianvändning till följd av genomblåsning	36
6.3 Energianvändning till följd av anblåsning	37
6.4 Gapet mellan projekterad och uppmätt energianvändning	38
<b>7 Kommentarer och slutsatser</b>	<b>39</b>
7.1 Vindskyddets roll för energieffektiva och fuktsäkra byggnader	39
7.2 Fukt	39
7.3 Tryckfall över lufttätt vindskydd	40
7.4 Energianvändning	40
7.5 Tillgodose effektiv ventilation i innemiljön	41
<b>8 Fortsatta studier</b>	<b>42</b>
<b>Referenser</b>	<b>43</b>
<b>Bilaga A: Lufttätt vindskydd och inverkan på tryckfallet i klimatskalet</b>	<b>44</b>
<b>Bilaga B: Förutsättningar och resultat - fuktberäkningar</b>	<b>49</b>

## Förord

Detta projekt har syftat till att fördjupa kunskapen om energieffektiva och fuktsäkra klimatskal och har genomförts med stöd från SBUF.

Vi som arbetat i projektet vill tacka alla som har ställt upp på intervjuer och delat med sig av sina erfarenheter och genomförda projekt. Projektet har genomförts med en arbetsgrupp bestående av:

Pär Åhman, Sveriges Byggindustrier

Johan Alte, Veidekke

Rolf Jonsson, Wäst-Bygg

Mattias Gunnarsson, Peab

Lars Olsson, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (tryckfall över klimatskalet)

Alan Esad, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (beräkningar och fuktsäkerhet)

Carl-Magnus Capener, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (beräkningar och fuktsäkerhet)

Eva Sikander, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Företagen inom FoU-Väst har medverkat som referensgrupp

Ett stort tack till samtliga medverkande!

Borås i december 2015

Eva Sikander

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Projektledare

## Sammanfattning

I Sverige har vi tydligt fokus på att bygga energieffektiva byggander. Lufttätheten hos klimatskalet är en av flera viktiga parametrar för att nå låg energianvändning. Klimatskalet hos en byggnad kan utformas med olika material såsom exempelvis tunga och massiva klimatskal respektive lätta klimatskal med luftgenomsläpplig isolering. Denna rapport behandlar de lätta klimatskalen med isolermaterial som har hög luftgenomsläpplighet och där andra lufttätande skikt har stor betydelse. I denna rapport behandlas dessutom endast lösningar där fasadbeklädnaden har en ventilerad spalt på insidan. Hypotesen är att ökad fokus på yttre lufttäthet i lätta klimatskal förmodligen är en möjlighet att ytterligare sänka energianvändningen och förbättra lufttätheten som ännu inte tillämpas i Sverige. En central frågeställning är om detta kan medföra risker avseende fuktsäkerhet i konstruktionen. Syftet med projektet är att lyfta och utvärdera möjligheterna med utvändigt lufttäta klimatskal, både vid nyproduktion och vid ombyggnad där klimatskalet skall uppraderas.

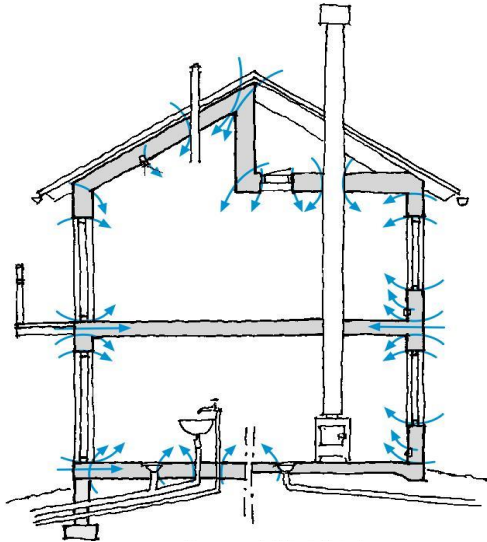
Erfarenheter har hämtats från Norge där man idag i viss utsträckning tillämpar tekniken att bygga och följa upp lufttäta vindskydd och varifrån erfarenheterna som fångats är goda. Beräkningar avseende fuktsäkerhetsaspekter har också utförts inom ramen för projektet. Erfarenheter, litteraturstudier och beräkningar av fukt visar att man kan bygga fuktsäkra och energieffektiva klimatskal med yttre lufttätande vindskydd. En fuktsäkerhetsprojektering måste alltid utföras då ett nytt skikt tillförs en befintlig konstruktion. Rätt projekterad och rätt monterad kan ett yttre lufttätande skikt utföras med en bibehållen fuktsäker konstruktion. Det finns också uppenbar risk att fuktsäkerheten äventyras om förutsättningar inte kartläggs, man inte har en fuktsäkerhetsprojektering och om montage utförs fel. Exempelvis bör följande beaktas:

- Det yttre lufttätande skiktet är tillräckligt diffusionsöppet. Fuktberäkningar bör utföras.
- Vid risk för inbyggd fukt eller vid renovering av klimatskal som är fuktiga ökar risken för fuktrelaterad problematik.
- Inläckande fukt utifrån är alltid en stor fuktrisk för en konstruktion och i detta fall med ett vindskydd som, förutom att den erbjuder en lufttät konstruktion, kan medföra en något högre diffusionstäthet. En ökad diffusionstäthet ökar fuktrisken ytterligare.
- Tryckfall över lufttätt vindskydd behöver beaktas. För lufttätt vindskydd kan det under vissa fall vara så att konstruktionen under byggtiden, eller för vissa delar under driftskedet, kommer att fungera som enstegstättad lösning med stor risk för inläckage av regnvatten. Detta behöver beaktas och åtgärdas för att undvika inträngande vatten till väggstommen och känsliga delar.

Den yttre lufttätheten kan bidra till att både anblåsning och genomblåsning av isolerskiktet undviks, och därmed ökar ett lufttätt vindskydd möjligheten att isolerskiktet får den funktion som var planerad och projekterad. Detta i sin tur bör kunna bidra till att minska glappet mellan projekterad och uppmätt energianvändning.

# 1 Bakgrund och motivering

I Sverige har vi tydligt fokus på att bygga energieffektiva byggander. Lufttäteten hos klimatskalet är en av flera viktiga parametrar för att nå låg energianvändning, men även god termisk komfort, minskad risk för luktspridning, fuktsäkerhet mm. Se vidare ”Lufttätet i byggprocessen – kunskapsinventering, laboratorieprovningar och simuleringar för att kartlägga behovet av tekniska lösningar och utbildning” [Sandberg, Sikander].



De huvudsakliga sätten att nå lufttätet i klimatskalet idag är att bygga lätta klimatskal med ett inre lufttätande skikt (se bland annat SBUF-projektet ”Lufttätet i byggprocessen”) eller så kan lufttäteten tillgodoses av ett massivt klimatskal såsom t ex. i massiv betong. Ett tredje sätt är att för lätta klimatskal även fokusera på ett yttre lufttätande skikt (se SBUF-projektet ”Stomskydd – En metod för lufttätning och fuktsäkring av byggnader med lätta klimatskal. Förstudie” av Stephen Burke, Anders Kumlin och Anders Sjöberg, 2014). Detta tredje sätt ännu så länge ovanligt i Sverige idag.

Byggsektorn arbetar idag i första hand med fokus på klimatskalets lufttätet i det inre skiktet i klimatskalet i lätta konstruktioner. En metod där byggprocessen beskrivs är ByggaL, se vidare [www.luftpattet.se](http://www.luftpattet.se). Som påtalats ovan är fokusen idag mycket liten i Sverige på klimatskalets yttre del (vindskyddet) som därmed riskerar att vara lufttotät. Hypotesen är att det ur produktionssynpunkt i vissa fall skulle vara effektivare att nå lufttätet här, som ett komplement eller ”extra säkerhet” för klimatskalets inre lufttätet. Bristande lufttätet i klimatskalets yttre del kan bidra till att isolerskiktet inte får den funktion som var planerad och projekterad, och som i en förlängning kan bidra till ett ”glapp” mellan projekterad och uppmätt energianvändning.

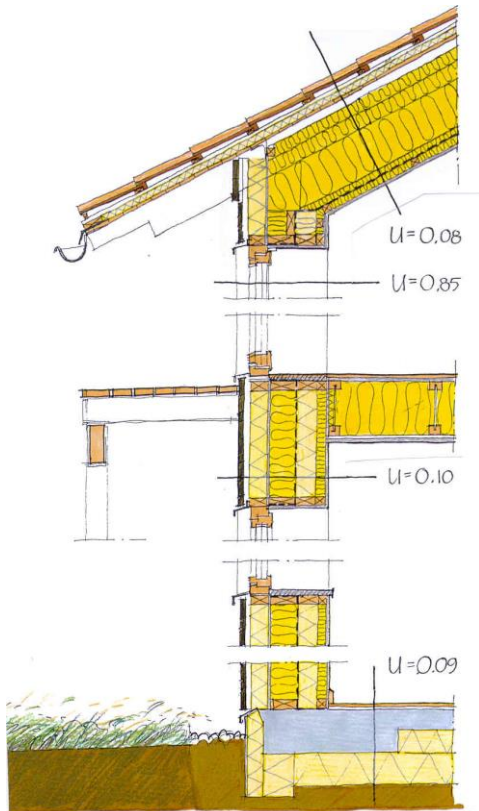
I samband med nyproduktion ägnas stor fokus på noggrant arbete med det inre lufttätande skiktet. Vissa detaljer är arbetskrävande att lösa såsom t ex bjälklagsanslutningar. Ytterligare utmaningar finns i samband med lufttätning av befintliga byggnader då kompletteringar kan vara svåra att utföra från insidan med ett fullgott resultat. En utvändigt lufttätet skulle i vissa fall kunna vara ett mer produktionseffektivt alternativ. Vid nyproduktion kan ett tidigt monterat och lufttätt klimatskat bidra till mindre energianvändning under byggtid för uppvärmning, möjligheter att skapa bra torkklimat inne osv. Se vidare [Burke m fl, 2014].



## 2 Syfte

Syftet med projektet är att lyfta och utvärdera möjligheterna med utvändigt lufttäta klimatskal, både vid nyproduktion och vid ombyggnad där klimatskalet skall uppgraderas. Arbetet avser yttre lufttätning i lätta klimatskal med fokus på framförallt fuktsäkerhet men även energianvändning.

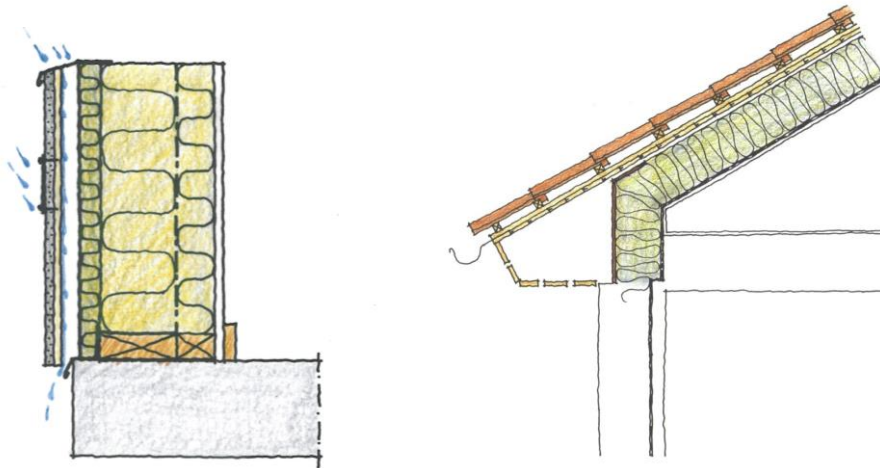
Hypotesen har varit att detta ökade fokus förmodligen är en möjlighet att ytterligare sänka energianvändningen och förbättra lufttäteten som ännu inte tillämpas i Sverige.



Figur 1 Konstruktionsutformning i passivhusen i Lindås. I detta fall har man erhållit en mycket god lufttätthet som även efter 10 år visade en oförändrad lufttätthet. Fokus i detta fall var på det invändiga lufttätande skiktet av plastfolie.

### 3 Vindskyddets funktion

Klimatskalet hos en byggnad kan utformas med olika material såsom exempelvis tunga och massiva klimatskal respektive lätta klimatskal med luftgenomsläpplig isolering. Denna rapport behandlar de lätta klimatskalen med isolermaterial som har hög luftgenomsläpplighet och där andra lufttätande skikt har stor betydelse. I denna rapport behandlas dessutom endast lösningar där fasadbeklädnaden har en ventilerad spalt på insidan. Lätta klimatskal som har en ventilerad spalt bakom fasadbeklädnaden illustreras med bilden av en yttervägg nedan.



Figur 2 Principiell uppbyggnad av lätta klimatskal.

Funktionen hos de olika skikten hos lätta och ventilerade klimatskal är i princip enligt följande:

#### **Fasadbeklädnad**

Fasadbeklädnaden skyddar mot regn och direkt vind.

#### **Ventilerad spalt**

Luftspalten ger möjlighet att dränera och ventilerar bort fukt.

#### **Vindskydd**

Vindskyddet ger isoleringen skydd mot luftrörelser utifrån (anblåsning) samt luftrörelser genom klimatskalet (genomblåsning). Vindskyddet kan i vissa fall utgöra ett ”andra hinder” för eventuell fukt som trängt genom yttre skikten.

#### **Värmeisolering**

Värmeisoleringen utgör det huvudsakliga värmemotståndet.

### Diffusions- eller ångspärr



Figur 3 Den invändiga diffusions- eller ångspärren utgörs ofta av en PE-folie som är både diffusionstät och även lufttät. Lufttätheten är dock starkt beroende av montage och arbetsutförande där exempelvis fönsteranslutningar är en viktig detalj.

Diffusions- eller ångspärren hindrar fuktransport inifrån via diffusion, och utgör idag dessutom det huvudsakliga lufttäthetsskiktet.

### Invändig beklädnad

Det invändiga skiktet skyddar de innanför liggande skikten och kan bidra till klimatskalets lufttäthet (beroende av materialval och arbetsutförande).

### Andra funktioner under byggtid

Under byggtiden kan dessutom skiktets praktiska funktion vara helt annorlunda, vilket inte alltid uppmärksammas i byggprocessen. Exempelvis kan i vissa fall vindskyddet komma att utgöra regnskydd om väderskydd saknas under byggtiden/montagetiden.



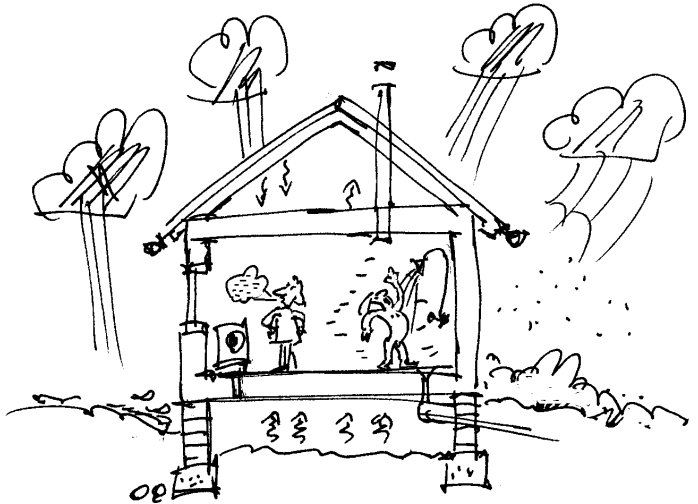
Figur 4 Bilden visar en byggarbetsplats med väderskydd där klimatskalet inte utsätts för nederbörd under byggtiden.

### Klimatskalets olika tätande funktioner

Såsom framgår ovan har klimatskalet tre olika tätheter som skall tillgodoses. Dessa är

- Regntäthet – täthet mot nederbörd utifrån
- Lufttäthet – täthet mot luftrörelser
- Diffusionstäthet – täthet mot fuktransport genom diffusion (fuktransport i ångfas)

Exempelvis är den invändiga diffusionsspärren eller ångspärren samtidigt oftast den huvudsakliga lufttäthetsskiktet. Under byggtiden kan vindspärren förutom lufttätet även utgöra regnsskydd under byggtid eller efter färdigställandet ett andra hinder för intränande vatten genom fasadbeklädnaden. Ett och samma skikt har därför många gånger flera täthetsfunktioner.



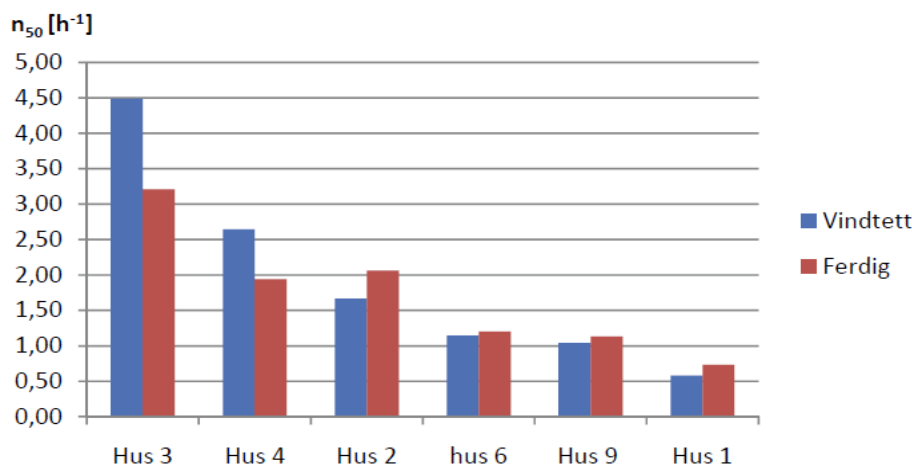
## 4 Erfarenheter från Norge och Nordamerika

### 4.1 Litteraturstudie

I Norge samt i Nordamerika tillämpas fokus på yttre lufttäthet i större utsträckning än i Sverige. Framförallt i Norge kan erfarenheter inhämtas då byggtraditioner, klimat och byggprocess på många sätt liknar Sverige. En första inledande utblick mot dessa länder avseende nyproduktion har utförts inom ramen för SBUF-projektet ”Stomskydd – En metod för lufttätning och fuktsäkring av byggnader med lätta klimatskal. Förstudie” [Burke m fl, 2014], se vidare nedan.

I Norge har det blivit allt vanligare med att lufttäta det yttre vindskyddet. Skiktet används för att bland annat komplettera den invändiga plastfolien som en ytterligare lufttätning för att nå små energiförluster, och då appliceras antingen skivor eller en duk. Under produktionstiden täthetsprovas först det yttre skiktet utan isolering och de inre skikten monterade, sedan täthetsprovas det inre skiktet när allting är färdigmonterat. I en studie gjord av Ulimoen & Syversen (2009) visar det sig att luftläckagen minskade med 21 % mellan den första och andra täthetsprovningen. En annan studie av Vågen & Gullbrekken (2010) visar på att luftläckaget har ökat i vissa byggnader då den andra täthetsprovningen har genomförts. Detta resultat förklaras med att flera genomföringar har gjorts mellan de båda provningarna och därmed har läckaget ökat.

Byggsektorn har konstaterat att man har bättre möjligheter att nå lufttäthetskravet i det färdiga huset om man täthetsprovar vid olika färdigställandegrad vid lätta konstruktioner. [Relander, Thor-Oskar m fl, 2012]



Figur 5 Lufttäthetsprovningar har utförts vid två olika tillfällen i dessa 6 byggander i Norge. Första gången då vindskyddet är monterat och färdigställt. Andra gången när hela klimatskalet är färdigställt. Källa: Exjobb vid NTNU [Vågen, Gullbrekken, 2010].

En annan motivering till ett större fokus på montage av vindskydd är att det under byggtiden utgör skydd mot regn och vind in i konstruktion bakom, och under drift bidrar vindskyddet till att skydda mot fukt som kommer genom fasadmaterialet samt hindra värmeförluster p g a luftläckage. Man anger att lufttätt vindskydd bidrar till att hindra anblåsning. Man påtalar också att vindskyddet behöver vara så diffusionsöppet som möjligt [Byggforskserien, byggdetaljer 2003].

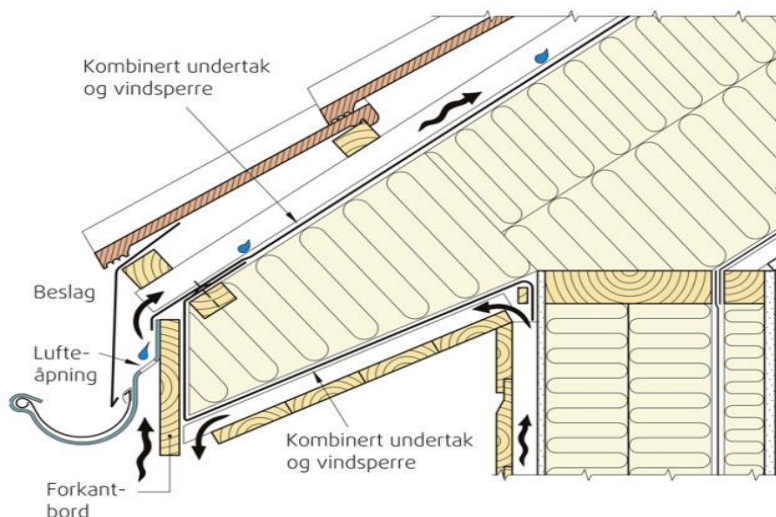
I rapporten [Burke m fl, 2014] framgår att det på den Nordamerikanska marknaden också är vanligt med ett fokus på den yttre tätheten, men här hänvisas mer till täthet såsom ett hinder mot vatten utifrån och benämningen stomskydd används. Detta skikt bidrar även till vindtätheten. Man har konstaterat att det är viktigt med att använda tillräckligt diffusionsöppna material för att inte stänga inne fukt i konstruktionen och att installationen är viktig för att undvika fuktproblem.

Vad gäller ytterligare studier har arbete utförts vid Chalmers. Studien utförd såsom ett exjobb [Watt, Sjöberg, 2015] lyfter att det yttre lufttätande skiktets lufttäthet kan ersätta den invändiga lufttätningen och simuleringar visar att detta inte medför fuktproblem på grund av konvektion inifrån.

## 4.2 Erfarenheter via intervjuer

Intervjuer kring förekomsten och erfarenheter av lufttäta vindskydd i Norge visar bl a.:

- Lufttäthetskraven på byggnader skärptes 2007 i Norge, vilket medförde ett ökat fokus på lufttätt byggande.
- Det är vanligt med lufttäthetsprovningar (ökat tydligt under åren 2008-2010)
- Det blir också allt vanligare att man mäter lufttäthet två gånger och då första gången då vindskyddet färdigställts och med fönster/dörrar är monterade.
- Stora byggnader anses ibland vara för svåra att följa upp.
- Stora hus har vanligen vindskydd av skivmaterial, även om kombination platta och duk blivit allt vanligare. Duken är framförallt för att skydda mot regnet.
- Takfoten kan i vissa fall monteras löst utanpå vindskyddet, allt dras vindskyddet runt hela takfoten.



Figur 6 Det yttre vindskyddet dras i vissa fall runt utsidan av takfot. Exempel från Norge. Källa: Exjobb NTNO – Vågen och Gullbrekken.

- För vinden har man ibland en oventilerad vind där vindspärren fortsätter upp som underlagstak. Det bildas därmed ett oventilerat kallt tak. Man har dock

uppmärksammat att det kan bli fuktproblem under produktionstid, beroende på om byggfukt byggs in.

- Man anser att det i Norge inte uppstått någon oklarhet kring de två skiktens funktion. Kommunikationen är att inre lufttäthet förhindrar fuktkonvektion, yttre lufttäthet för energianvändningen.
- Även vid renovering har man fokus på vindspärr, men man har ingen speciell uppföljning.
- Det finns anvisningar kring mätning av lufttäthet inom Byggforsk-serien.

## 5 Risker och möjligheter – fukt

### 5.1 Fuktförhållanden i ytterväggar allmänt

Fuktförhållandena i ytterväggar beror på flera faktorer, bl a fukt- och temperaturskillnader mellan ute och inne, om det finns byggfukt i väggarna samt eventuella läckage. Läckage kan vara utifrån kommande fuktkällor från slagregnsinträning men även genom fuktkonvektion från luftläckage genom klimatskalet.

Normal relativ fuktighet inomhus är mellan 30-50 % men under sommaren kan det bli fuktigare och under vintern torrare. Eftersom inomhustemperaturen är relativt konstant så styrs den relativa fuktigheten av aktuell ånghalt. Ånghalten beror i sin tur på hur fuktig utomhusluften är, hur god ventilationen är samt hur stort fuktillskott det finns inomhus från fuktproduktion i byggnaden.

Om klimatskalet är lufttätt, dvs om luftläckage kan förekomma genom klimatskalet, kan fuktkonvektion uppstå genom att fuktig inomhusluft transporteras ut genom väggen och fuktar upp delar längre ut i konstruktionen. Här är det viktigt att särskilja mellan fuktkonvektion, dvs fuktig luft som transporteras från insidan av väggen mot utsidan genom luftläckage, och fuktdiffusion. Diffusion innebär att vattenmolekylerna rör sig från områden med hög ånghalt till områden med lägre ånghalt, exempelvis en hög invändig ånghalt mot en lägre utomhus. En god lufttätning hos klimatskalet minskar samtidigt uppvärmningsbehovet hos byggnaden.

Fukt kan även finnas inbyggd i konstruktioner, dels genom att fuktiga material har byggts in under byggskedet, men även genom läckage eller från uppfuktning under renovering. Här är det viktigt att säkerställa att ett yttre lufttätande skikt ej förvärrar fuktförhållanden i väggen och möjligheten för material att torka ut.

Belastning av regn under byggtid och förvaltningstid behöver beaktas:

- Under byggskedet utgör vindskyddet även väder-/regnsskydd om annat tillfälligt väderskydd saknas under förutsättning att:
  - Montaget utförs tätt
  - Materialet tål fuktpåverkan och annan klimatbelastning
  - Hänsyn tas till att tryckfallet kan finnas över vindskyddet
- Under förvaltning
  - Ökat tryckfall över vindskyddet kan medföra ökad risk för vatteninträning bakom fasader (man kan förvänta att det förekommer fritt vatten i vissa fall bakom fasadskiktet även om det är en luftad fasad), se Bilaga A.



## 5.2 Tidigare utförda fuktberäkningar

I ett tidigare genomfört SBUF-projekt har fuktberäkningar utförts och sammanställts [Burke m fl, 2014] i SBUF-rapport Stomskydd - En metod för lufttätning och fuksäkring av byggnader med låtta klimatskal. Nedan följer en kort sammanställning av utfört arbete och de viktigaste slutsatserna från projektet.

Ett stomskydd (med rätt egenskaper) kan fungera som ett väderskydd för regelverket och vindskyddsskivan, fram till det att fasadsystemet monterats. Detta sker då i samverkan med täta lösningar för fönster, dörrar och andra öppningar i byggnadens klimatskal. Under driftskedet kan stomskyddet ha den ena, eller båda, av följande funktioner:

- En yttre lufttät barriär som förhindrar anblåsning i isoleringen samt förbättrar byggnadens lufttäthet (Enligt norsk princip).
- En extra vattenavvisande barriär som skyddar byggnadens stomme från kapillär uppfuktning av inträngande vatten (Enligt nordamerikansk princip).

I båda av dessa fall är stomskyddet relativt diffusionsöppet för att möjliggöra uttorkning av byggfukt etc. Beräkningar i denna förstudie visar att det kan förekomma en (teoretisk) risk, för förhöjda fuktillstånd, förknippad med användandet av stomskydd. Därför rekommenderas det att en fuksäkerhetsprojektering utförs innan stomskydd väljs.

WUFI-simuleringar genomfördes för att utvärdera nio olika fasadkonstruktioner, se Tabell 1.

Tabell 1. De studerade fasadkonstruktionerna [Burke m fl, 2014].

	Fasad-material	Luftspalt [mm]	Stom-skydd	Isolering [mm]	Stom-skydd		Isolering PE [mm]	Isolering [mm]	
1A-1	Tegel	25	–	70	X	Vindskiva, gips	145	X	45
1A-2	Tegel	25	X	70	–		145	X	45
1B	Tegel	25	–	70	X		145	–	45
1C-1	Putsskiva	25	–	70	X		145	X	45
1C-2	Putsskiva	25	X	70	–		145	X	45
1D	Putsskiva	25	–	70	X		145	–	45
2	Puts 20mm	–	–	80	X		220	X	–
3	Puts 3mm	Dränerat	–	80	X		220	X	–
4	Puts 22mm	Dränerat	–	70	X		220	X	–

### 5.3 Nya fuktberäkningar i detta projekt

Målsättningen med simuleringarna är att utforska effekten av ett yttre lufttätande skikt, dels vid applicering på befintliga konstruktioner men även för nybyggnation. Beräkningarna har utförts med WUFI Pro 5.3, vilket är ett endimensionellt dynamiskt hydrotermiskt beräkningsprogram. Resultaten har utvärderats med hjälp av WUFI Bio 3.2 med avseende på risken för eventuell påväxt. Vissa beräkningar där 2D-effekter antagits, exempelvis fuktinnehåll i träreglar, har dessutom verifierats med WUFI 2D. Väggarna har simulerats med klimatdata från WUFI's klimatdatabas.

I det här kapitlet redovisas genomförandet av simuleringar med olika konstruktioner, yttre lufttätande skikt och för nya samt renoverade fasadlösningar. Genomförda endimensionella beräkningar skall ses som en parameterstudie och beaktar ej alla tänkbara fuktkällor och möjliga skadebilder.

Avsikten med simuleringarna är att utforska byggnadstekniska möjligheter med yttre lufttätande skikt och att hitta robusta och säkra tillämpningar. Vissa beräkningar har även simulerats med ett antaget läckage innanför vindskyddsskivan och ett eventuellt yttre lufttätande skikt. Resultaten visar, som förväntat, på kritiskt höga fuktnivåer för samtliga beräknade fall och redovisas endast för det ursprungliga fallet [1A] i huvudtexten, dock finns samtliga beräknade fall med inläckage med i Bilaga B.

De fall som simulerats redovisas nedan i Tabell 2 där även vissa generella parametrar specificeras. Varje beräkningsfall har dessutom studerats ytterligare med avseende på bl a ånggenomgångsmotstånd hos eventuellt yttre lufttätande skikt samt med olika luftomsättningar i eventuellt ventilerad spalt. Konstruktionsuppbyggnad samt relevanta mätpunkter redovisas för varje enskilt fall under Kapitel 5.3.1.1 till Kapitel 5.3.1.4 samt i Bilaga B som innehåller samtliga beräkningsförutsättningar och resultat.

Tabell 2. Sammanställning av studerade fasadsystem.

	Fasad-material	Luftspalt [mm]	YLS*	Isolering [mm]	YLS*		Isolering [mm]		Byggfukt	Läckage/ Konv.
1A	Skiva	20	-	-	-	Vindskiva	95	PE-folie + gipsskiva	-	L
1B	Skiva	20	-	-	-		95		-	K
R2A	Skiva	20	-	-	X		95		-	L
R2B	Skiva	20	-	-	X		95		-	K
RT3A	Skiva	20	-	50	X		95		-	L
RT3B	Skiva	20	-	50	X		95		-	K
RT4	Skiva	Drän.	-	50	X		95		-	K
R5	Skiva	20	-	-	-		95		X	K
R6	Skiva	20	-	-	X		95		X	K
RT7	Skiva	20	-	50	X		95		X	K
N8	Skiva	20	X	70	-		145		X	K

\* YLS = Yttre Lufttätande Skikt

Det yttre lufttätande skiktet (YLS) har simulerats med varierande ånggenomgångsmotstånd; 5 000 s/m, 20 000 s/m, 40 000 s/m respektive 60 000 s/m. Det yttre lufttätande skiktet, ofta benämnt stomskydd, kan bestå av antingen en duk eller ett rollat skikt där ånggenomgångsmotståndet kan variera. Det lägre motståndet motsvarar oftast ett dukbaserat vindskydd och de högre motstånden olika typer av rollade skikt. De tätare skikten är troligen inte så vanliga på marknaden men tas ändå med i den här sammanställningen för att visa på eventuella risker i samband med dessa. Eventuell byggfukt [Beräkningsfall R5, R6, RT7, N8], dvs reglarnas fuktkvot vid inbyggnad, varierar mellan 16 %, 18 % och 20 %. Valda fuktkvoter är vanligt

förekommande för träreglar och skall ej ses som värsta tänkbara fall, om reglarna fuktas upp av någon anledning kan de hålla betydligt högre mängder fukt.

Fuktkonvektion från luftläckage genom väggen simuleras enligt Fraunhofer IBP:s konvektions-infiltrationsmodell där täthetsklasserna anges enligt nedanstående, Tabell 3. Infiltrationsmodellen gör det möjligt att uppskatta mängden fukt som genom luftkonvektion transporteras från inneluften till den studerade byggnadsdelen, ofta placerad mot insidan av vindskyddet. Fuktkonvektionen beror på lufttätheten hos klimatskalet och drivkrafter från temperatur och tryckskillnader över klimatskalet.

Tabell 3. Lufttäthetsklasser enligt Fraunhofer IBP:s infiltrationsmodell.

Lufttäthetsklass [enligt IBP]	Luftflöde över klimatskalet, q50 [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	Luftflöde över klimatskalet, q50 [l/s m <sup>2</sup> ]	Luftflöde över byggnadsdel, q50 [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]
A	1,0	0,28	0,07
B	3,0	0,83	0,20
C	5,0	1,39	0,33

Resultaten från vissa beräkningar redovisas i diagram med relativ fuktighet (RF) och temperatur (T) över beräkningsperioder. Beräkningar med varierande parameterar redovisas som bedömd risk (mögelindex) för mikrobiell tillväxt enligt WUFI Bio. I WUFI Bio anges resultaten för risken för påväxt antingen som en fiktiv längd på mögelsporer som växer per år [mm/år] alternativt som ett mögelindex, enligt Viitanens modell [Viitanen, Ritschkoff, 1991]. För att förenkla bedömningen av risken för påväxt anges i rapporten riskbedömningen med färgsättning enligt Tabell 4. I Bilaga B redovisas dock resultaten mer utförligt med de fiktiva längderna på mögelsporer som WUFI Bio ger som utdata.

Tabell 4. Riskvärdering av mikrobiell tillväxt enligt WUFI Bio.

Låg risk	Förhöjd risk	Hög risk
< 0,5	0,5 – 2,0	> 2,0

Låg risk för mikrobiell tillväxt motsvarar ett mögelindex på under 0,5 vilket motsvarar en fiktiv längd på mögelsporer på upp till 50 mm/år.

En förhöjd risk för mikrobiell tillväxt motsvarar ett mögelindex mellan 0,5 och 2 vilket motsvarar en fiktiv längd på mögelsporer på mellan 50 och 200 mm/år.

En hög risk för mikrobiell tillväxt motsvarar ett mögelindex på över 2, motsvarande en fiktiv längd på mögelsporer på över 200 mm/år.

Om inget annat anges så har följande förutsättningar antagits för beräkningarna:

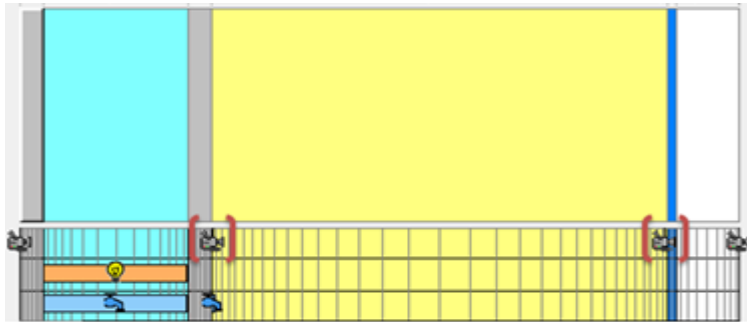
- Både nordlig och sydlig riktning av fasaden har beaktats
- Byggnadshöjd upp till 10 meter
- Vindberoende ytövergångsmotstånd, utsida fasad
- Absorptionstal för kortvågig strålning 0.4 respektive 0.6 [-], utsida fasad
- Beräkningstid 1 respektive 5 år (5 år för utvärdering av RF och T)
- Klimatort Göteborg (LTH data)
- Inneklimat enligt EN 15026, normal fuktbelastning

Beräkningar av renoverade utfackningsväggar – effekten av yttre lufttätande skikt

### 5.3.1.1 Utfackningsvägg utan yttre lufttätande skikt

Ett tänkbart användningsområde för ett yttre lufttätande skikt kan vara vid renovering av utfackningsväggar, exempelvis för miljonprogramsområden som kan ha både massiva betongväggar med god lufttäthet samt icke-bärande utfackningsväggar över vissa

delar/fasader. Det ursprungliga fallet utan yttre lufttätande skikt [Beräkningsfall 1A, 1B] har beräknats enligt nedan, både med fuktkonvektion från luftläckage [1B] men även från inläckage av slagregn [1A] som placerats innanför vindskivan.



Figur 7. Konstruktionsuppbyggnad, beräkningsfall 1A och 1B.

Beräkningsförutsättningar:

- Luftomsättningen i luftspalten antas vara 10 oms/h.
- Fuktansamling bakom vindskyddsskivan p.g.a. fuktkonvektion från insidan; lufttätheten i yttreväggskonstruktionen sätts till 5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h (lufttäthetsklass C).
- Fuktansamling bakom vindskyddsskivan p.g.a. läckage (1 % av slagregnet).
- Både sydlig och nordlig riktning hos fasaden har studerats, dock redovisas nordlig riktning endast i Bilaga B.
- Ingående material redovisas i Tabell 5.

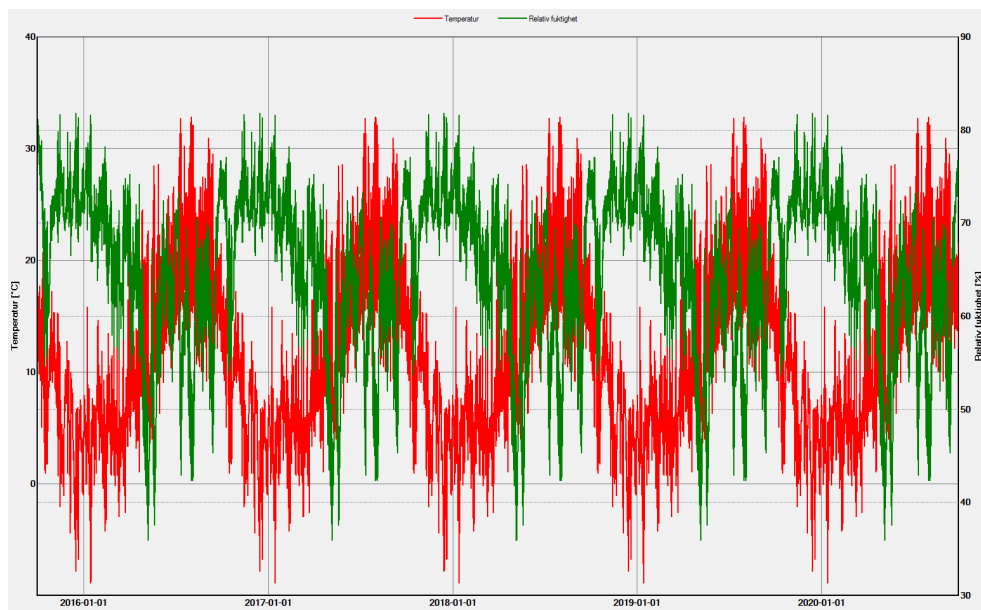
Tabell 5. Ingående materialparametrar för utfackningsvägg utan yttre lufttätande skikt.

Material	Densitet, $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Porositet [-]	Värmeledningsförmåga, $\lambda$ [W/mK]	Diffusionsmotståndsfaktor, $\mu$ [-]
Invändig gipsskiva	625	0,73	0,2	8,33
Fibercementskiva	1610	0,15	0,13	83,3
Mineralull	25,2	0,95	0,035	1,0
PE-folie	130	0,001	2,3	50000

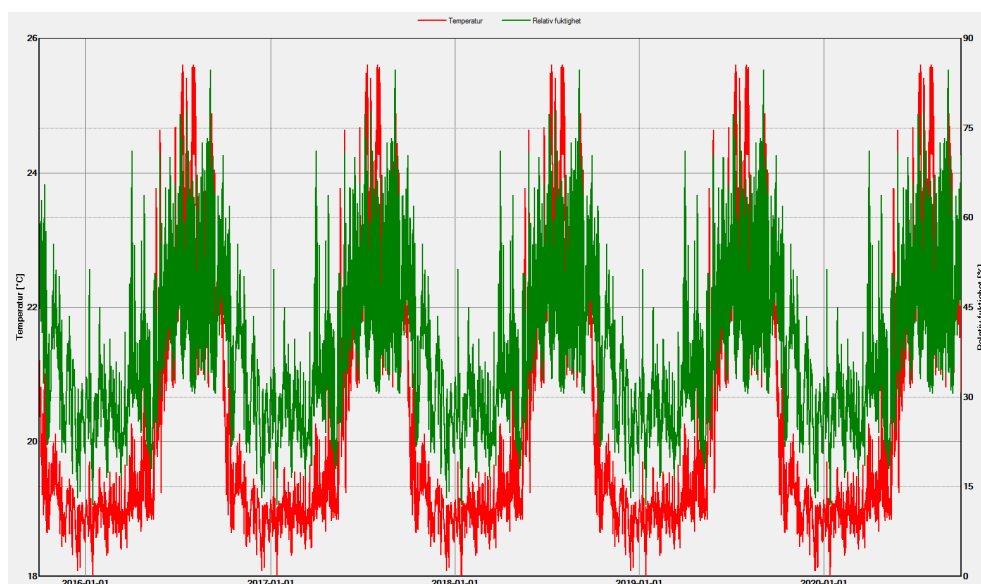
### **Fall med fuktkonvektion [Beräkningsfall 1B]**

I utsida träregel erhålls en relativ fuktighet uppmot 81 % under vinterperioden. Insida träregel uppnår som högst en relativ fuktighet på 84 % (sydlig riktning) i kombination med hög temperatur, vilket innebär viss risk för mikrobiell tillväxt, se Figur 8 och Figur 9.

I det fall där yttreväggen vetter mot norr erhålls en relativ fuktighet på 82 % i utsida träregel, medan insida träregel har en relativ fuktighet på 70 %, se resultat i Bilaga B.



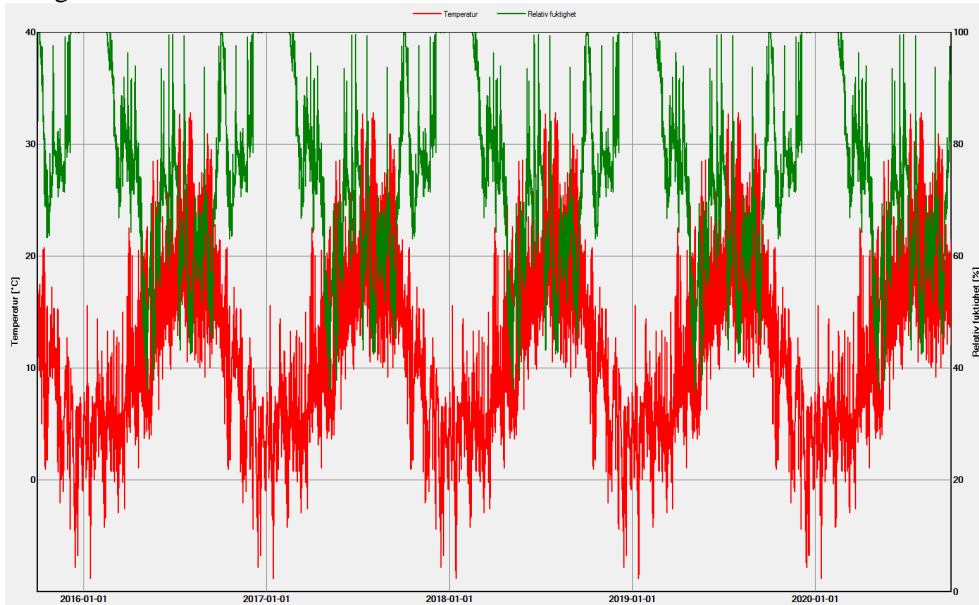
Figur 8. Temperatur (röd kurva) och relativ fuktighet (grön kurva) i utsida regel mot vindskyddsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, med fuktkonvektion).



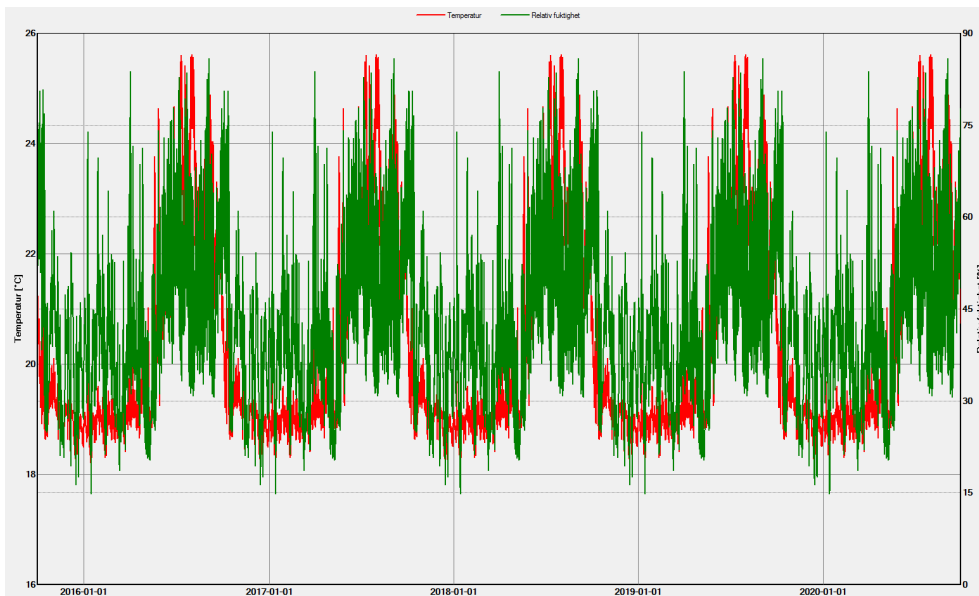
Figur 9. Temperatur och relativ fuktighet i insida träregel mot ångspärren/invändiga gipsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, fuktkonvektion).

### **Fall med läckage p.g.a. slagregn [Beräkningsfall 1A]**

Som förväntat visar beräkningarna med simulerat läckage på mycket höga fuktnivåer i konstruktionen. För den ursprungliga konstruktionen [1A] fås en relativ fuktighet upp mot 100 % i utsida regel och 85 % insida regel i sydlig riktning, se Figur 10 och Figur 11. I nordlig riktning fås 100 % RF i utsida regel och 70 % RF insida regel, redovisas i Bilaga B.



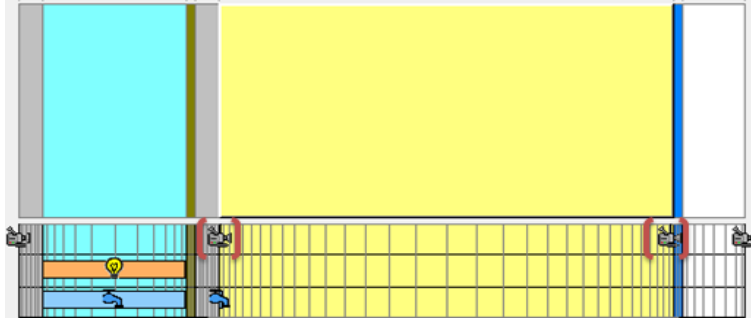
Figur 10. Temperatur och relativ fuktighet i utsida regel mot vindskyddsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, läckage).



Figur 11. Temperatur och relativ fuktighet i insida träregel mot ångspärren/invändiga gipsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, läckage).

### 5.3.1.2 Utfackningsvägg med yttre lufttätande skikt

En möjlighet som beskrivits tidigare kan vara att enbart arbeta med lufttätande åtgärder av befintliga fasader [Beräkningsfall R2A, R2B, R6]; detta kan bidra till en minskad energiåtgång genom reducerade luftläckage genom klimatskalet, men även till en bättre termisk komfort då drag från otätheter minskas. Det ursprungliga fallet med yttre lufttätande skikt [Beräkningsfall R2A, R2B] har beräknats enligt nedan, både med fuktkonvektion från luftläckage [R2B] men även från inläckage av slagregn [R2A] som placerats innanför vindschivan.



Figur 12. Konstruktionsuppbyggnad, beräkningsfall R2A och R2B.

#### **Beräkningsförutsättningar:**

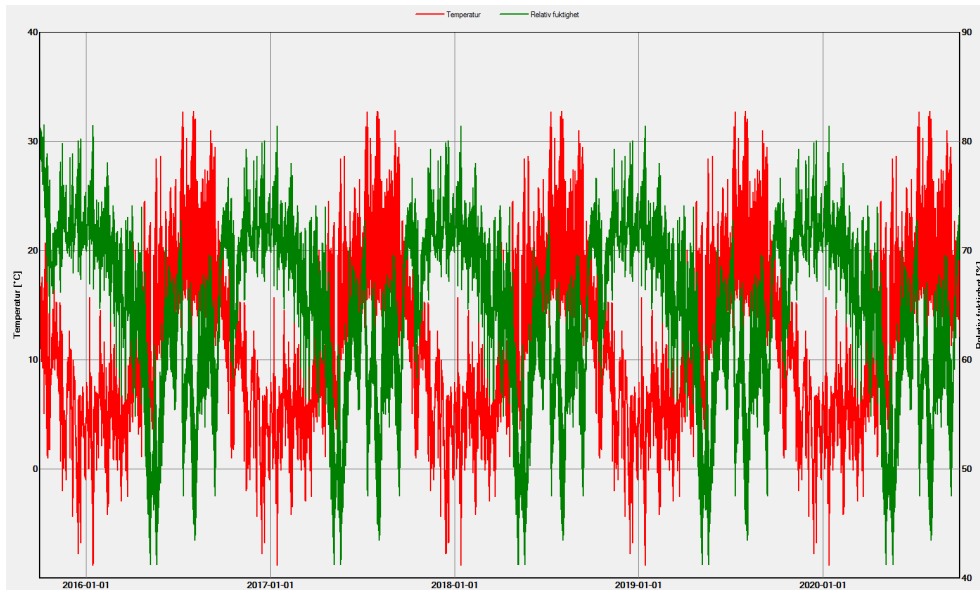
- Luftomsättningen i luftspalten antas vara 10 oms/h.
- Fuktansamling bakom vindsyddsskivan p.g.a. fuktkonvektion från insidan; lufttätheten i ytterväggskonstruktionen sätts till 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h (lufttäthetsklass A) p g a den förbättrade lufttätheten hos konstruktionen.
- Fuktansamling bakom vindsyddsskivan p.g.a. läckage (1 % av slagregnet), redovisas i Bilaga B.
- Både sydlig och nordlig riktning hos fasaden har studerats, dock redovisas nordlig riktning endast i Bilaga B.
- Ingående material redovisas i Tabell 5.

Tabell 6. Ingående materialparametrar för utfackningsvägg med yttre lufttätande skikt.

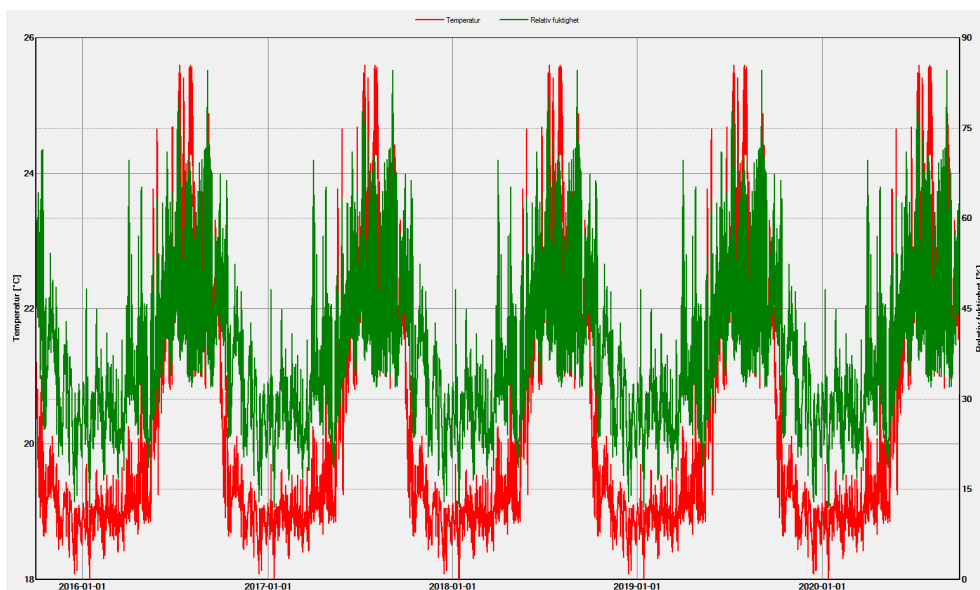
Material	Densitet, $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Porositet [-]	Värmeledningsförmåga, $\lambda$ [W/mK]	Diffusionsmotståndsfaktor, $\mu$ [-]
Invändig gipsskiva	625	0,73	0,2	8,33
Fibercementskiva	1610	0,15	0,13	83,3
Mineralull	25,2	0,95	0,035	1,0
Yttre lufttätande skikt	1180	0,12	0,7	500
PE-folie	130	0,001	2,3	50000

#### **Fall med fuktkonvektion [Beräkningsfall R2B]**

I utsida träregel erhålls en relativ fuktighet uppemot 81 % under vinterperioden. Inside träregel uppnår som högst en relativ fuktighet på 84 % (sydlig riktning) i kombination med hög temperatur, vilket innebär en viss risk för mikrobiell tillväxt, se Figur 13 och Figur 14.



Figur 13. [Beräkningsfall R2B] Temperatur och relativ fuktighet i utsida regel mot vindskyddsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, fuktkonvektion).

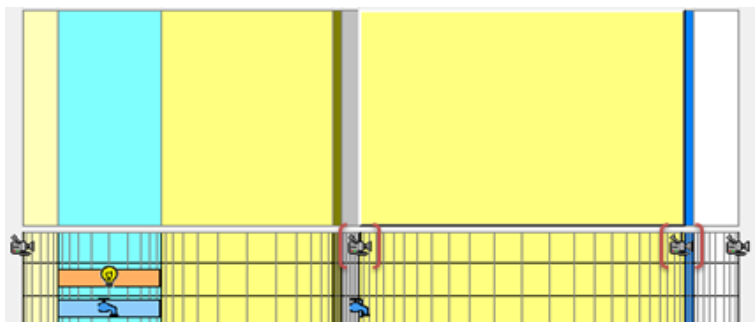


Figur 14. [Beräkningsfall R2B] Temperatur och relativ fuktighet i insida träregel mot invändiga ångspärren/gipsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, fuktkonvektion).

### 5.3.1.3 Utfackningsvägg med yttre lufttätande skikt och tilläggsisolering

Om det är möjligt, d v s ur en estetisk synpunkt men också med hänsyn till tekniska detaljer för takutsprång och fönsteranslutningar, så är det troligt att fasaderna även tilläggsisoleras utanpå befintlig vägg [Beräkningsfall RT3A, RT3B, RT4].





Figur 15. Konstruktionsuppbyggnad, beräkningsfall RT3A och RT3B, ventilerad tilläggsisolerad utfackningsvägg.

#### **Beräkningsförutsättningar:**

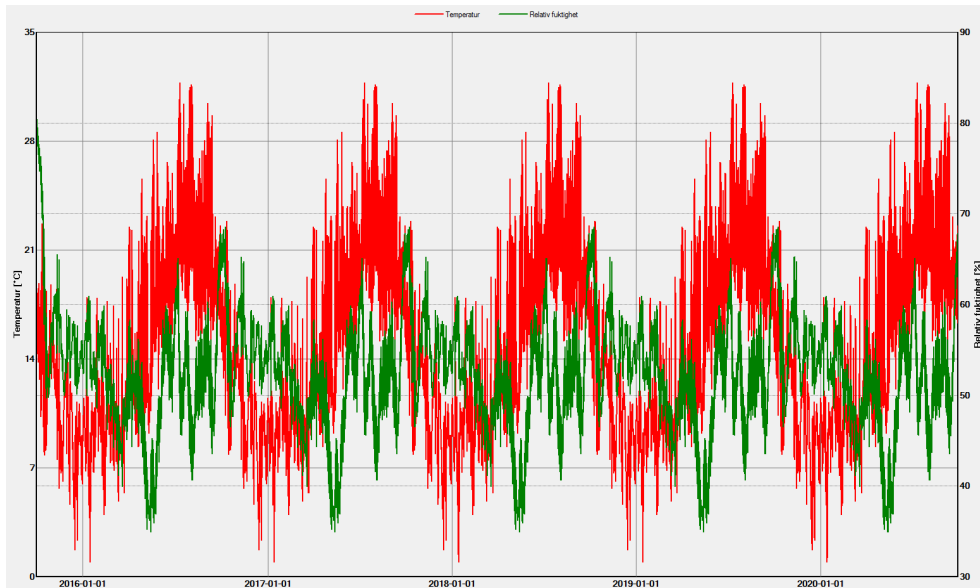
- Luftomsättningen i luftspalten antas vara 10 oms/h.
- Fuktansamling bakom vindskyddsskivan p.g.a. fuktkonvektion från insidan; lufttätheten i yttreväggsstrukturen sätts till  $1 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  (lufttäthetsklass A) med den förbättrade lufttätheten hos konstruktionen.
- Fuktansamling bakom vindskyddsskivan p.g.a. läckage (1 % av slagregnet), redovisas i Bilaga B.
- Både sydlig och nordlig riktning hos fasaden har studerats, dock redovisas nordlig riktning endast i Bilaga B.
- Ingående material redovisas i Tabell 6.

Tabell 7. Ingående materialparametrar för utfackningsvägg med yttre lufttätande skikt och tilläggsisolering.

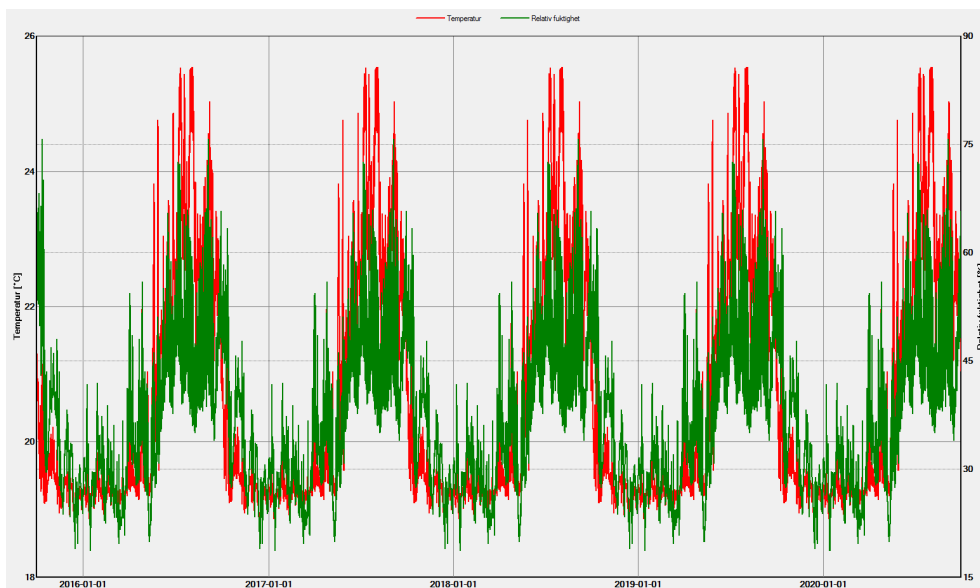
Material	Densitet, $\rho$ [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	Porositet [-]	Värmeledningsförmåga, $\lambda$ [ $\text{W}/\text{mK}$ ]	Diffusionsmotståndsfaktor, $\mu$ [-]
Invändig gipsskiva	625	0,73	0,2	8,33
Fibercementskiva	1610	0,15	0,13	83,3
Mineralull	25,2	0,95	0,035	1,0
Yttre lufttätande skikt	1180	0,12	0,7	500
PE-folie	130	0,001	2,3	50000
Puts	1900	0,24	0,8	19

#### **Fall med fuktkonvektion [Beräkningsfall RT3B]**

Beräknade fall visade på låga relativa fuktigheter för träreglar i konstruktionen, mycket tack vare den yttre isoleringen som är placerad utanför vindskivan och ger träreglar ett varmare och torrare klimat.

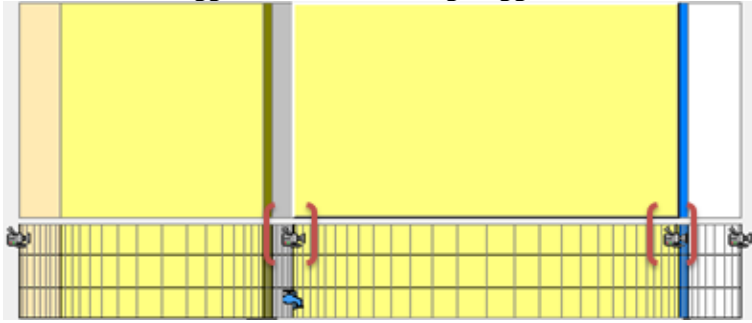


Figur 16. [Beräkningsfall RT3B] Temperatur och relativ fuktighet i utsida regel mot vindskyddsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, fuktkonvektion).



Figur 17. [Beräkningsfall RT3B] Temperatur och relativ fuktighet i insida träregel mot invändiga ångspärren/gipsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, fuktkonvektion).

Dränerande tilläggsisolerad utfackningsvägg, med fuktkonvektion [Beräkningsfall RT4]



Figur 18. Konstruktionsuppbyggnad, beräkningsfall RT4, dränerande tilläggsisolerad utfackningsvägg.

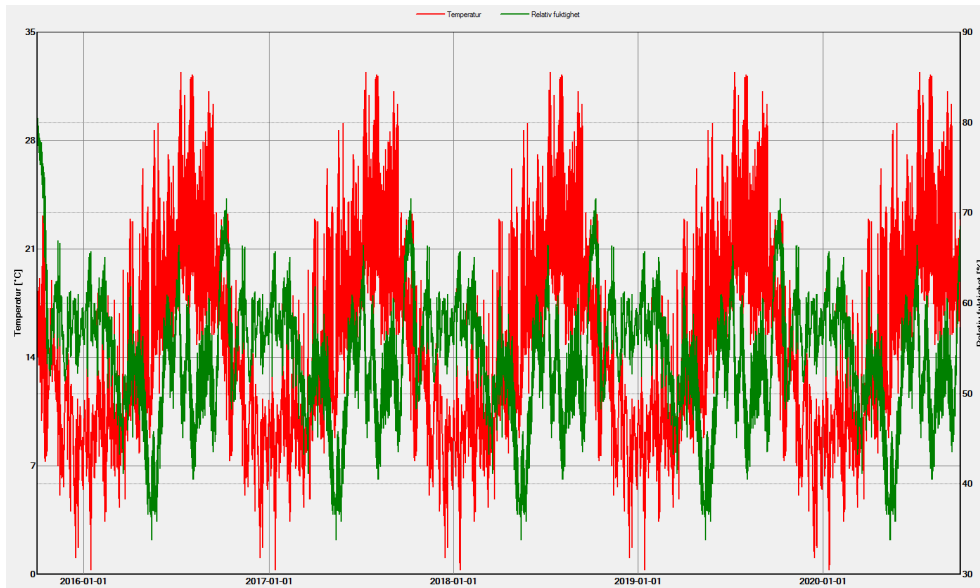
**Beräkningsförutsättningar:**

- Fuktansamling bakom vindsyddsskivan p.g.a. fuktkonvektion från insidan; lufttätheten i yttreväggskonstruktionen sätts till 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h (lufttäthetsklass A) p g a den förbättrade lufttätheten hos konstruktionen.
- Både sydlig och nordlig riktning hos fasaden har studerats, dock redovisas nordlig riktning endast i Bilaga B.
- Ingående material redovisas i Tabell 8.

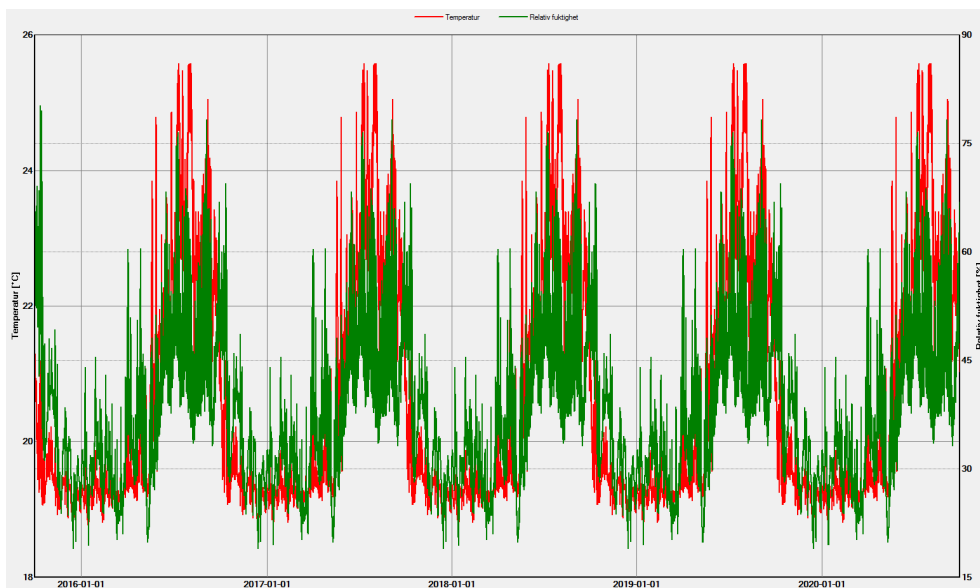
Tabell 8. Ingående materialparametrar för utfackningsvägg med yttre lufttätande skikt och tilläggsisolering.

Material	Densitet, $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Porositet [-]	Värmeledningsförmåga, $\lambda$ [W/mK]	Diffusionsmotståndsfaktor, $\mu$ [-]
Invändig gipsskiva	625	0,73	0,2	8,33
Fibercementskiva	1610	0,15	0,13	83,3
Mineralull	25,2	0,95	0,035	1,0
Yttre lufttätande skikt	1180	0,12	0,7	500
PE-folie	130	0,001	2,3	50000
Puts	1900	0,24	0,8	19

Beräknade fall visade på låga relativa fuktigheter för träreglar i konstruktionen, mycket tack vare den yttre isoleringen som är placerad utanför vindsyddsskivan och ger träreglar ett varmare och torrare klimat. Viktigt att poängtera är att konstruktionen är dränerande och ej simulerad med läckage innanför vindsyddsskivan, vilket tidigare beräkningar (och erfarenheter) visat att kritiska fuktnivåer uppstår för.



Figur 19. [Beräkningsfall RT4] Temperatur och relativ fuktighet i utsida regel mot vindskyddsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, fuktkonvektion).

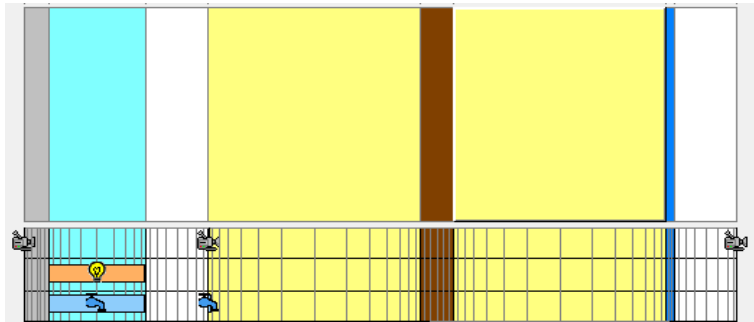


Figur 20. [Beräkningsfall RT4] Temperatur och relativ fuktighet i insida träregel mot invändiga ångspärren/gipsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, fuktkonvektion).

### 5.3.1.4 Utfackningsvägg med varierande fuktkvot i träreglar

Följande beräkningsfall har liknande förutsättningar som tidigare redovisade fall men med den skillnaden att här har dessutom olika fuktkvot i träreglar simulerats och utvärderats med varierande luftomsättning i luftspalt och i berörda fall olika ånggenomgångsmotstånd hos det yttre lufttätande skiktet.

### Ursprunglig utfackningsvägg [Beräkningsfall R5]



Figur 21. Konstruktionsuppbyggnad, beräkningsfall R5.

#### Beräkningsförutsättningar:

- Luftomsättningen i luftspalten: 10 / 30 / 100 oms/h.
- Fuktkvot i träreglar har antagits till 16 / 18 / 20 %.
- Nordlig riktning hos fasaden har studerats, då denna bedöms ge mest ofördelaktiga förutsättningar med lägre temperatur och mindre inverkan av direkt solstrålning.
- Ingående material redovisas i Tabell 9.

Tabell 9. Ingående materialparametrar för ursprunglig väggkonstruktion utan åtgärder.

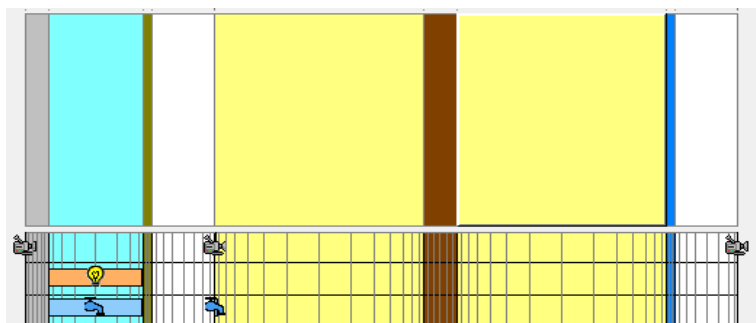
Material	Densitet, $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Porositet [-]	Värmekonduktivitet, $\lambda$ [W/mK]	Diffusionsmotstånd, $\mu$ [-]
Invändig gipsskiva	625	0,73	0,2	8,33
Utvändig gipsskiva	675	0,71	0,2	8,33
Fibercementskiva	1610	0,15	0,13	83,3
Mineralull	25,2	0,95	0,035	1,0
PE-folie	130	0,001	2,3	50000
Träreglar	430	0,73	0,14	83,3

För den ursprungliga utfackningsväggen utan yttre lufttätande skikt visar riskvärderingen i WUFI Bio på låga risker för de simulerade fuktkvoterna i kombination med varierande luftomsättning i luftspalten, se Tabell 10.

Tabell 10. [Beräkningsfall R5] Riskvärdering av mikrobiell tillväxt enligt WUFI Bio.

NORR	Luftomsättning (oms/h)				
Fuktkvot (%)	10	30	100	-	-
16				-	-
18				-	-
20				-	-

### Utfackningsvägg med yttre lufttätande skikt [Beräkningsfall R6]



Figur 22. Konstruktionsuppbyggnad, beräkningsfall R6.

- Tidigare beräkningsfall, R5, har även simulerats med ett yttre lufttätande skikt med varierande ånggenomgångsmotstånd, beräkningsfall R6 enligt Figur 22.

#### Beräkningsförutsättningar:

- Luftomsättningen i luftspalten: 10 / 30 / 100 oms/h.
- Yttre lufttätande skikt, ånggenomgångsmotstånd: 5 000 / 20 000 / 40 000 / 60 000 s/m.
- Fuktkvot i träreglar har antagits till 16 / 18 / 20 %.
- Nordlig riktning hos fasaden har studerats, då denna bedöms ge mest ofördelaktiga förutsättningar med lägre temperatur och mindre inverkan av direkt solstrålning.
- Ingående material redovisas i Tabell 11.

Tabell 11. Ingående materialparametrar för utfackningsvägg med yttre lufttätande skikt, beräkningsfall RT6.

Material	Densitet, $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Porositet [-]	Värmekonduktivitet, $\lambda$ [W/mK]	Diffusionsmotstånd, $\mu$ [-]
Invändig gipsskiva	625	0,73	0,2	8,33
Utvändig gipsskiva	675	0,71	0,2	8,33
Fibercementskiva	1610	0,15	0,13	83,3
Mineralull	25,2	0,95	0,035	1,0
PE-folie	130	0,001	2,3	50000
Yttre lufttätande skikt	1180	0,12	0,7	125-2500
Träreglar	430	0,73	0,14	83,3

Den ursprungliga väggen utan yttre tilläggsisolering visar på viss fukt känslighet i kombination med ett yttre lufttätande skikt, se Tabell 12 - Tabell 14. För mycket ångöppna skikt,  $Z=5\ 000$  s/m, visade utvärderingen inte på någon förhöjd risk med de simulerade fuktkvoterna i träreglarna. Men med ökande ånggenomgångsmotstånd hos det yttre lufttätande skiktet och med en ökande fuktkvot i träreglarna så ökar risken för mikrobiell tillväxt i reglarnas yttre skikt.

Tabell 12. [Beräkningsfall R6] Riskvärdering av mikrobiell tillväxt enligt WUFI Bio (10 oms/h).

NORR	Ånggenomgångsmotstånd $z$ (s/m)				
	$5 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$
Fuktkvot (%)					
16					-
18					-
20					-

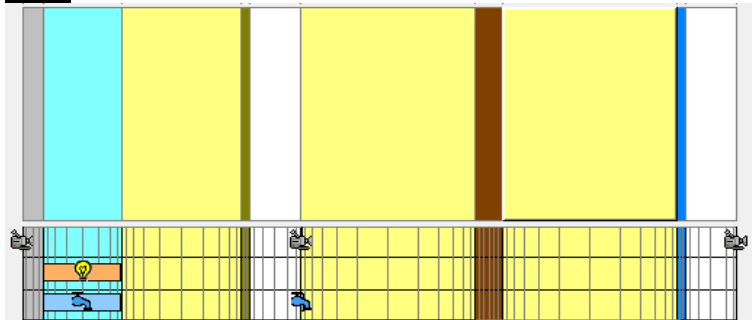
Tabell 13. [Beräkningsfall R6] Riskvärdering av mikrobiell tillväxt enligt WUFI Bio (30 oms/h).

NORR	Ånggenomgångsmotstånd z (s/m)				
Fuktkvot (%)	$5 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$
16					-
18					-
20					-

Tabell 14. [Beräkningsfall R6] Riskvärdering av mikrobiell tillväxt enligt WUFI Bio (100 oms/h)

NORR	Ånggenomgångsmotstånd z (s/m)				
Fuktkvot (%)	$5 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$
16					-
18					-
20					-

### Utfackningsvägg med yttre lufttätande skikt och tilläggsisolering [Beräkningsfall RT7]



Figur 23. Konstruktionsuppbyggnad, beräkningsfall RT7.

#### Beräkningsförutsättningar:

- Luftomsättningen i luftspalten: 10 / 30 / 100 oms/h.
- Yttre lufttätande skikt, ånggenomgångsmotstånd: 5 000 / 20 000 / 40 000 / 60 000 s/m.
- Fuktkvot i träreglar har antagits till 16 / 18 / 20 %.
- Nordlig riktning hos fasaden har studerats, då denna bedöms ge mest ofördelaktiga förutsättningar med lägre temperatur och mindre inverkan av direkt solstrålning.
- Ingående material redovisas i Tabell 15.

Tabell 15. Ingående materialparametrar för beräkningsfall RT7.

Material	Densitet, $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Porositet [-]	Värmekonduktivitet, $\lambda$ [W/mK]	Diffusionsmotstånd, $\mu$ [-]
Invändig gipsskiva	625	0,73	0,2	8,33
Utvändig gipsskiva	675	0,71	0,2	8,33
Fibercementskiva	1610	0,15	0,13	83,3
Mineralull	25,2	0,95	0,035	1,0
PE-folie	130	0,001	2,3	50000
Yttre lufttätande skikt	1180	0,12	0,7	125-2500
Träreglar	430	0,73	0,14	83,3

Till skillnad från den ursprungliga väggen utan yttre tilläggsisolering, beräkningsfall RT6, visar den tilläggsisolerade väggen, beräkningsfall RT7, på en mindre fukt känslighet i kombination med ett yttre lufttätande skikt jämfört mot RT6, se Tabell 16 - Tabell 18. För ångöppna skikt upp till  $Z = 20\ 000$  s/m, visade utvärderingen inte på någon förhöjd risk med de simulerade fuktkvoterna i träreglarna. Med högre ånggenomgångsmotstånd hos det yttre lufttätande skiktet och med den högsta simulerade fuktkvoten (FK=20 %) i träreglarna så sågs en risk för mikrobiell tillväxt i reglarnas yttre skikt som minskade något med ökande luftomsättning i luftspalten.

Tabell 16. [Beräkningsfall RT7] Riskvärdering av mikrobiell tillväxt enligt WUFI Bio (10 oms/h).

NORR	Ånggenomgångsmotstånd $z$ (s/m)				
Fuktkvot (%)	$5 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$
16					-
18					-
20					-

Tabell 17. [Beräkningsfall RT7] Riskvärdering av mikrobiell tillväxt enligt WUFI Bio (30 oms/h).

NORR	Ånggenomgångsmotstånd $z$ (s/m)				
Fuktkvot (%)	$5 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$
16					-
18					-
20					-

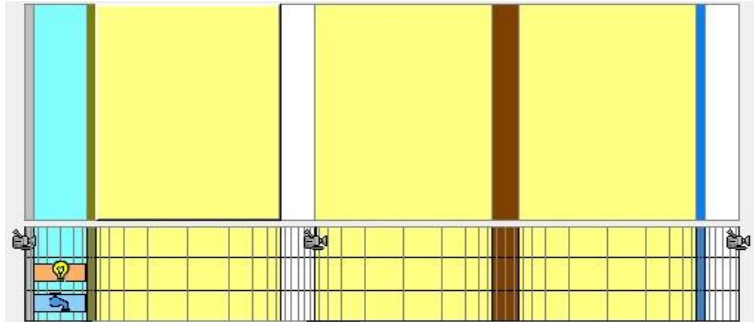
Tabell 18. [Beräkningsfall RT7] Riskvärdering av mikrobiell tillväxt enligt WUFI Bio (100 oms/h).

NORR	Ånggenomgångsmotstånd $z$ (s/m)				
Fuktkvot (%)	$5 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$
16					-
18					-
20					-



### 5.3.2 Beräkningar av nybyggnadsfall – effekten av yttre lufttätande skikt

Följande beräkningsfall [Beräkningsfall N8] kompletterar tidigare utförda beräkningar i SBUF-rapport ”STOMSKYDD En metod för lufttätning och fuktsäkring av byggnader med lätta klimatskal”, vilket även beskrivs i tidigare kapitel. Inbyggd fukt från träreglar har studerats översiktligt i kombination med olika yttre lufttätande skikt och varierande luftomsättning i yttre luftspalt. Som nämnts tidigare så är valda fuktkvoter vanligt förekommande för träreglar och motsvarar ej värsta tänkbara fall.



Figur 24. Konstruktionsuppbyggnad, beräkningsfall [N8], nybyggnadsfallet.

#### **Beräkningsförutsättningar:**

- Luftomsättningen i luftspalten: 10 / 30 / 100 oms/h.
- Yttre lufttätande skikt, ånggenomgångsmotstånd: 5 000 / 20 000 / 40 000 / 60 000 s/m.
- Fuktkvot i träreglar har antagits till 16 / 18 / 20 %.
- Nordlig riktning hos fasaden har studerats, då denna bedöms ge mest ofördelaktiga förutsättningar med lägre temperatur och mindre inverkan av direkt solstrålning.
- Ingående material redovisas i Tabell 19.

Tabell 19. Ingående materialparametrar för nybyggnadsfallet.

Material	Densitet, $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Porositet [-]	Värmeledning, $\lambda$ [W/mK]	Diffusionsmotstånd, $\mu$ [-]
Invärdig gipsskiva	625	0,73	0,2	8,33
Utvändig gipsskiva	675	0,71	0,2	8,33
Fibercementskiva	1610	0,15	0,13	83,3
Mineralull	25,2	0,95	0,035	1,0
PE-folie	130	0,001	2,3	50000
Yttre lufttätande skikt	1180	0,12	0,7	125-2500
Träreglar	430	0,73	0,14	83,3

#### **Nybyggnadsfallet [Beräkningsfall N8]**

Samtliga beräknade varianter av nybyggnadsfallet, Tabell 20 - Tabell 22, med varierande luftomsättning i luftspalten, olika ånggenomgångsmotstånd och tre olika startfuktkvoter i träreglarna, visade på låg risk för mikrobiell tillväxt enligt WUFI Bio, dvs de hade alla ett mögelindex på under 0,5. Samtliga beräknade fall är dock utan inläckage innanför vindskyddet, vilket tidigare beräkningar visat att kritiska fuktnivåer uppstår för. Viktigt att poängtera är också att antagna fuktkvoter i träreglarna är relativt låga och vad som kan förväntas i nyproduktion om inget ytterligare fukttillskott förekommer genom läckage eller uppfuktning på byggarbetsplatsen. Beräkningarna visar att det yttre lufttätande skiktet inte inverkar negativt på träreglarna som är placerade innanför den yttre

isoleringen i en varmare och lite torrare miljö. Samtliga resultat med fiktiv mikrobiell tillväxt (mm/år) ges i Bilaga B där spridningen mellan de olika fallen visas tydligare.

Tabell 20. [Beräkningsfall N8] Riskvärdering av mikrobiell tillväxt enligt WUFI Bio (10 oms/h).

NORR	Ånggenomgångsmotstånd z (s/m)				
Fuktkvot (%)	$5 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$
16					-
18					-
20					-

Tabell 21. [Beräkningsfall N8] Riskvärdering av mikrobiell tillväxt enligt WUFI Bio (30 oms/h).

NORR	Ånggenomgångsmotstånd z (s/m)				
Fuktkvot (%)	$5 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$
16					-
18					-
20					-

Tabell 22. [Beräkningsfall N8] Riskvärdering av mikrobiell tillväxt enligt WUFI Bio (100 oms/h).

NORR	Ånggenomgångsmotstånd z (s/m)				
Fuktkvot (%)	$5 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$
16					-
18					-
20					-

## 5.4 Fuktsäkerhetsaspekter ombyggnadsfallet

Fuktberäkningar med hjälp av WUFI Pro 5.3 har inom ramen för detta projekt genomförts för nybyggnad och framförallt ombyggnadsfallet. För ombyggnadsfallet har vi valt att räkna på åtgärder av en typisk utfackningsvägg i en miljonprogramsbyggnad som exempel. Dessa beräkningar visar att:

- En komplettering av det yttre vindskyddet så att detta blir lufttätt kan utföras i det fall att ett mycket diffusionsöppet yttre lufttätande skikt väljs. Beräkningarna visade att den ursprungliga väggen har en något förhöjd risk för fuktskador med en ökande fuktkvot i träreglar tillsammans med ökande ånggenomgångsmotstånd hos det yttre lufttätande skiktet jämfört med den ursprungliga väggen med motsvarande fuktkvoter i träreglarna.
- Om ett nytt yttre lufttätande skikt även kompletteras med en utvändig tilläggsisolering blir lösningen mer fuktsäker. Mycket höga ånggenomgångsmotstånd i kombination med även måttliga fuktkvoter ger dock en ökad risk för fuktskador.
- Om den befintliga väggen har måttlig inbyggd fukt hindras uttorkningen av det lufttätande skiktet som i det fallet måste vara mycket diffusionsöppet. Om den inbyggda fukten är mer omfattande kan ett kompletterande utvändigt lufttätande skikt vara olämpligt.
- Inläckage av fukt utifrån måste alltid undvikas och om diffusionstätheten ökar på utsidan med det nya lufttätande skiktet är det en tydligt ökad fuktrisk för konstruktionen.

## 5.5 Inverkan på tryckfallet i klimatskalet

I bilaga A beskrivs följande mer i detalj.

Ur fuktsäkerhetssynpunkt är det viktigt att även beakta risken för inträngande vatten utifrån. För lufttätt vindskydd kan det under vissa fall vara så att konstruktionen under byggtiden, eller för vissa delar under driftskedet, kommer att fungera som enstegstättad lösning med stor risk för inläckage av regnvatten. Inläckaget kan ske även om vindskyddet som material är regntätt. Med ett särskilt lufttätt vindskydd i kombination med bristfällig luftspärr invändigt kan det medföra att tryckfallet sker över vindskyddet. Kombinationen fritt vatten och tryckfall gör att drivkraften för inläckage genom små otätheter kan öka betydligt. Vindskyddet behöver ta hänsyn till dels fasaddetaljer och anslutningar såsom exempelvis fönster, dörrar, balkonger, ventilgenomföringar m.m. när det gäller vilken tryckbild som de ingående detaljerna är avsedda för, dels regntätheten hos hela ytterväggen om vindskyddet ska vara en del av det. Detta behöver beaktas och åtgärdas för att undvika inträngande vatten till väggstommen och känsliga delar. Under förutsättning att det finns en invändig luftspärr i väggen bör också följande säkerställas.

- Regntätt vindskydd eller stomskydd.
- Vattenutledning, andra hinder, under eller runt om byggkomponenter såsom t ex. fönster och dörrar.
- Anpassa montaget av vindskydd till byggkomponenternas förutsättningar.
- Dela av väggen framförallt i hörn mellan olika väggsidor och mot tak så att lufttransport undviks.

## 6 Lufttäthetens och vindtäthetens inverkan på energianvändning

### 6.1 Påtvingad konvektion

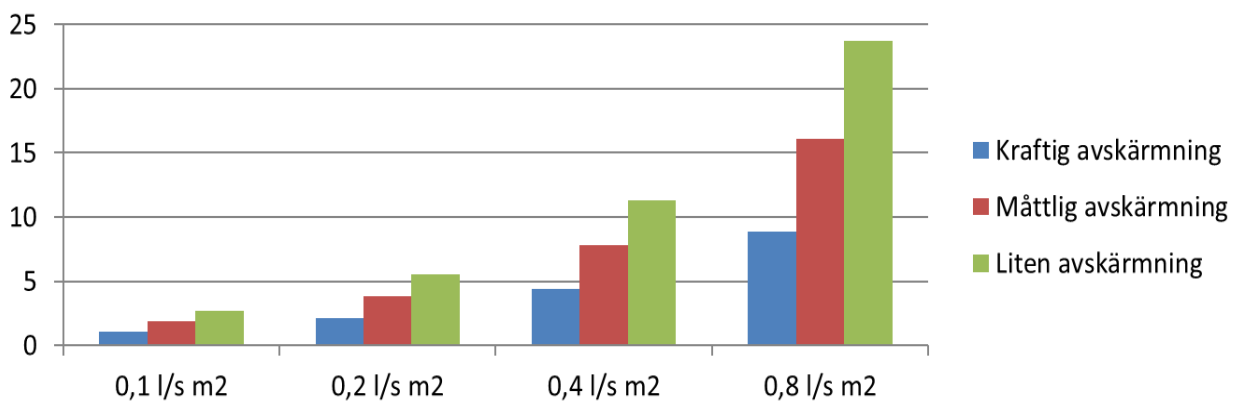
Klimatskalets värmeisolerande förmåga beror på värmeisoleringens materialegenskaper, konstruktionens sammansättning (exempelvis förekomst av köldbryggor) och arbetsutförande. Arbetsutförandet har stor betydelse för lufrörelers påverkan på klimatskalets värmeisolerande förmåga. Om det förekommer lufttätheter i ytterväggar eller yttertak och konstruktionen utsätts för vindpåverkan eller tryckskillnad (till följd av mekanisk ventilation) kan lufrörelser uppstå i konstruktionen som minskad värmeisoleringsförmågan. Sådana lufrörelser som styrs av t ex vind eller mekanisk ventilation i en byggnad kallas påtvingad konvektion och kan delas in i genomblåsning respektive anblåsning. Se figur nedan.

I en lätt konstruktion bidrar det inre lufttätande skiktet samt den yttre vindtätheten till klimatskalets motstånd mot genomblåsning. Den yttre vindtätheten påverkar motståndet mot anblåsning.

### 6.2 Energianvändning till följd av genomblåsning

Genomblåsning genom klimatskalet beror av tryckskillnaden över klimatskalet och förekomsten av luftläckage som tillåter luften att strömma utifrån och in eller tvärt om. För att hindra att luften rör sig tvärs genom klimatskalet vid lätta konstruktioner kan lufttätheten åstadkommas på konstruktionens insida (inre lufttätande skikt), på dess utsida (yttre lufttätande skiktet/vindskydd) eller som en kombination av båda. Traditionellt har vi i Sverige fokuserat på det inre lufttätande skiktet. Den lufttäthet som vi idag ställer krav på är den lufttäthet som slutligen uppmäts i det färdiga huset och som är resultatet av alla ingående lösningar.

Figuren nedan visar att klimatskalets lufttäthet har tydlig inverkan på byggnadens energianvändning, speciellt i vindutsatta lägen.



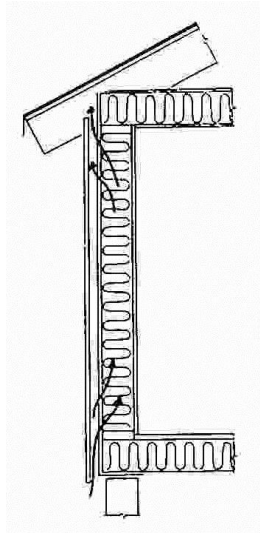
Figur 25 Beräknade energiförluster (kWh/m<sup>2</sup>/år) beroende av luftläckage genom klimatskalet för villa, enligt Svein Ruud, SP. Beräkning utförd av Svein Ruud, SP. Källa [Burke, Kumlin, Sjöberg, 2014].

### 6.3 Energianvändning till följd av anblåsning

Följande genomlysning av anblåsningens inverkan på energianvändningen för en byggnad gjordes inom det tidigare SBUF-projektet, Lufttäthet i byggprocessen – Konsekvenser och lönsamhetskalkyler [Sandberg, et al 2007] och är ett utdrag ur den aktuella rapporten.

”Isoleringsförmågan hos en byggnadsdel försämras i de flesta fall avsevärt om luft tillåts blåsa in i isoleringen. I detta avsnitt beskrivs hur mycket värmeflödet genom en byggnadsdel ökar när luft strömmar inuti byggnadsdelen (men inte igenom).”

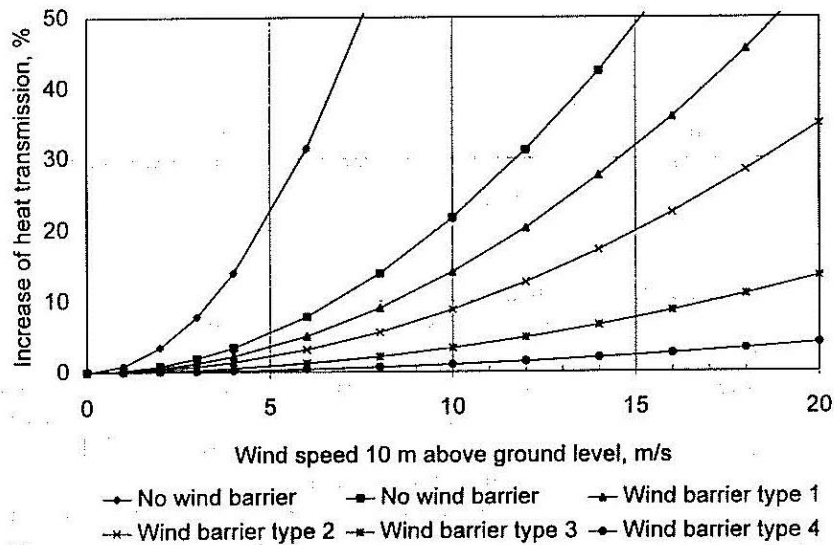
”De flesta studier inom det här området är gjorda på väggar, med och utan brister i arbetsutförandet, men det finns även information om vad som händer på vindar med lösull. I de aktuella undersökningarna blåser det på och inuti byggnadsdelen, luften tar med sig värme och transporterar sedan ut värmen igen. Detta illustreras i Figur 26 [Uvsløkk, 1996]. Luftens väg i konstruktionen kan vara kortare eller längre men i samtliga fall är drivkraften för luftströmmen ett vindtryck på byggnadsdelen.



Figur 26 Anblåsning i en regelvägg [Uvsløkk, 1996].

Den ökade värmeförlusten pga. luft rörelser i byggnadsdelen uttrycks antingen som en ökning i värmetransmissionen, vilket motsvarar ett  $\Delta U$ -värde ( $W/m^2K$ ) eller en procentuell ökning av värmetransmissionen. Hur mycket värmetransmissionen ökar beror naturligtvis på hur stor luftströmmen är och detta är i sin tur en funktion av tryckgradienten i byggnadsdelen, vilken har skapats av vinden.

Exemplet i Figur 27 nedan [Uvsløkk, 1996] visar den procentuella ökningen av transmissionsförlusterna som funktion av vindhastigheten 10 meter över markytan. De två olika kurvorna utan vindskydd beskriver två olika sätt att montera isoleringen. De testade vindskydden har permeanser (inklusive skarvar) i intervallet  $4,9 \cdot 10^{-5} m^3/m^2s$  till  $0,22 \cdot 10^{-5} m^3/m^2s$ .



Figur 27 Procentuell ökning av transmissionsförluster för en vägg som funktion av vindhastighet 10 meter ovan mark. De olika kurvorna representerar olika vindskydd [Uvsløkk, 1996].

Om informationen i Figur 27 kombineras med klimatdata för Göteborg (öppet läge, vind mätt på 10 meters höjd) fås på årsbasis en ökning av transmissionsförlusterna på 15 % för väggarna, när en permeans på  $4,9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$  (med skarvar) antas för vindskyddet. För att uppskatta hur stor andel detta utgör i förhållande till hela husets värmeförlust antas grovt att en tredjedel av värmeförlusterna försvinner genom ventilationen, en tredjedel genom fönster och dörrar, och sista tredjedelen genom övriga klimatskalet. Eftersom väggararna står för mer än hälften av övriga klimatskalets förluster innebär detta att ökningen i värmeförluster, orsakad av att vinden anblåser isoleringen i väggarna, blir 3-4 % av den totala värmeförlusten i det här exemplet. Slutsatsen är alltså att transmissionsförluster orsakade av normala otätheter uppgår till högst några procent.” Källa [Sandberg et al 2007].

## 6.4 Gapet mellan projekterad och uppmätt energianvändning

Inom byggsektorn uppmärksammas att det i vissa fall är ett glapp mellan projekterad och uppmätt energianvändning i en byggnad. Detta behandlas bland annat i ”Energiberäkningar - Avvikelser mellan projekterat och uppmätt energibehov” [Filipsson, P., & Dalenbäck, J.-O.; 2014]. Den yttre lufttätheten kan möjligen bidra till att både anblåsning och genomblåsning av isolerskiktet undviks, och därmed ökar ett lufttätt vindskydd möjligheten att isolerskiktet får den funktion som var planerad och projekterad. Detta i sin tur bör kunna bidra till att minska det omnämnda glappet mellan projekterad och uppmätt energianvändning.

## 7 Kommentarer och slutsatser

### 7.1 Vindskyddets roll för energieffektiva och fuktsäkra byggnader

Klimatskalet hos en byggnad kan utformas med olika material såsom exempelvis tunga och massiva klimatskal respektive lätta klimatskal med luftgenomsläpplig isolering. Denna rapport behandlar de lätta klimatskalen med isolermaterial som har hög luftgenomsläpplighet och där andra lufttätande skikt har stor betydelse. I denna rapport behandlas dessutom endast lösningar där fasadbeklädnaden har en ventilerad spalt på insidan.

Hypotesen är att yttre lufttätethet i lätta klimatskal förmodligen är en möjlighet att ytterligare sänka energianvändningen och förbättra lufttätetheten som ännu inte tillämpas i Sverige. En central frågeställning är om detta kan medföra risker avseende fuktsäkerhet i konstruktionen.

### 7.2 Fukt

Fuktförhållandena i ytterväggar beror som tidigare beskrivits på flera faktorer, bl a fukt- och temperaturskillnader mellan ute och inne, om det finns byggfukt i väggarna samt eventuella läckage. Läckage kan vara utifrån kommande fuktkällor från slagregnsinträngning men även genom fuktkonvektion från luftläckage genom klimatskalet.

Fuktberäkningar har genomförts för nybyggnad och framförallt ombyggnadsfallet. För ombyggnadsfallet har vi valt att räkna på åtgärder av en typisk utfackningsvägg i en miljonprogramsbyggnad som exempel. Dessa beräkningar visar att:

- En komplettering av det yttre vindskyddet så att detta blir lufttätt kan utföras i det fall att ett mycket diffusionsöppet yttre lufttätande skikt väljs. Beräkningarna visade att den ursprungliga väggen har en något förhöjd risk för fuktskador med en ökande fuktkvot i träreglar tillsammans med ökande ånggenomgångsmotstånd hos det yttre lufttätande skiktet jämfört med den ursprungliga väggen med motsvarande fuktkvoter i träreglarna.
- Om ett nytt yttre lufttätande skikt även kompletteras med en utvändigt tilläggsisolering blir lösningen mer fuktsäker. Mycket höga ånggenomgångsmotstånd i kombination med även måttliga fuktkvoter ger dock en ökad risk för fuktskador.
- Om den befintliga väggen har måttlig inbyggd fukt hindras uttorkningen av det lufttätande skiktet som i det fallet måste vara mycket diffusionsöppet. Om den inbyggda fukten är mer omfattande kan ett kompletterande utvändigt lufttätande skikt vara olämpligt.
- Inläckage av fukt utifrån måste alltid undvikas och om diffusionstätheten ökar på utsidan med det nya lufttätande skiktet är det en tydligt ökad fuktrisk för konstruktionen.

Beräkningarna av nybyggnadsfallet visar att konstruktionen har en relativt god fuktsäkerhet i samband med ett yttre lufttätande skikt, mycket tack vare det yttre isoleringsskiktet som är placerat utanför den studerade träregeln. Viktigt att poängtera är att mycket höga fuktkvoter ej har undersökts utan endast förväntade fuktkvoter mellan 16-18 % i träregeln.

Det yttre lufttätande skiktets ånggenomgångsmotstånd:

- Nybyggnation: Här sitter regeln skyddad av utanpåliggande isolering och samtliga fall visade på låg risk för påväxt
- Renovering med stomskydd: stomskyddets täthet har en klar inverkan på risken för påväxt med en ökande grad kopplat till initial fuktkvot i träregeln
- Renovering med stomskydd och isolering: den utanpåliggande isoleringen minskar risken för påväxt något

Inläckande fukt utifrån är alltid en stor fuktrisk för en konstruktion och i detta fall med ett vindskydd som, förutom att den erbjuder en lufttät konstruktion, kan medföra en något högre diffusionstäthet ökar fuktrisken ytterligare.

Fördelen med ett yttre lufttätande skikt är den minskade risken för fuktkonvektion genom klimatskalet. Om klimatskalet är lufttätt, dvs om luftläckage kan förekomma genom klimatskalet, kan fuktkonvektion uppstå genom att fuktig inomhusluft transporteras ut genom väggen och fuktar upp delar längre ut i konstruktionen. En god lufttäthet hos klimatskalet minskar risken för att detta ska uppstå och minskar samtidigt uppvärmningsbehovet hos byggnaden.

En fuktsäkerhetsprojektering måste alltid utföras då ett nytt skikt tillförs en befintlig konstruktion. Rätt projekterad och rätt monterad kan ett yttre lufttätande skikt utföras med en bibehållen fuktsäker konstruktion. Det finns också uppenbar risk att fuktsäkerheten äventyras om förutsättning inte kartläggs, man inte har en fuktsäkerhetsprojektering och om montage utförs fel. Fukt kan finnas inbyggd i konstruktioner, dels genom att fuktiga material har byggts in under byggskedet, men även genom läckage eller från uppfuktning under renovering. Här är det viktigt att säkerställa att ett yttre lufttätande skikt ej förvärrar fuktförhållanden i väggen och möjligheten för material att torka ut.

### 7.3 Tryckfall över lufttätt vindskydd

Ur fuktsäkerhetssynpunkt är det viktigt att även beakta risken för inträngande vatten utifrån. För lufttätt vindskydd kan det under vissa fall vara så att konstruktionen under byggtiden, eller för vissa delar under driftskedet, kommer att fungera som enstegstättad lösning med stor risk för inläckage av regnvatten. Inläckaget kan ske även om vindskyddet som material är regntätt. Med ett särskilt lufttätt vindskydd i kombination med bristfällig luftspärr invändigt kan det medföra att tryckfallet sker över vindskyddet. Kombinationen fritt vatten och tryckfall gör att drivkraften för inläckage genom små otätheter kan öka betydligt. Vindskyddet behöver ta hänsyn till dels fasaddetaljer och anslutningar såsom exempelvis fönster, dörrar, balkonger, ventilgenomföringar m m när det gäller vilken tryckbild som de ingående detaljerna är avsedda för, dels regntätheten hos hela ytterväggen om vindskyddet ska vara en del av det. Detta behöver beaktas och åtgärdas för att undvika inträngande vatten till väggstommen och känsliga delar.

### 7.4 Energianvändning

Klimatskalets yttre lufttäthet kan bidra till att minska genomblåsningen, även om det inre lufttätande skiktet oftast är det skikt där fokus idag läggs för ett lufttätt arbetsutförande. Lufttätheten kan i detta fall sägas utgöra en ”extra” säkerhet för ett lufttätt resultat. Konstruktionens lufttäthet har stor betydelse för en byggnads låga energianvändning. Vindskyddet har även stor betydelse för att hindra eller minska värmeförluster genom anblåsning. Ökningen av transmissionsförlusterna i ett antaget beräkningsexempel för väggar kan vara 15 %.



Den yttre lufttäteten kan bidra till att både anblåsning och genomblåsning av isolerskiktet undviks, och därmed ökar ett lufttätt vindskydd möjligheten att isolerskiktet får den funktion som var planerad och projekterad. Detta i sin tur bör kunna bidra till att minska det omnämnda glappet mellan projekterad och uppmätt energianvändning.

## **7.5 Tillgodose effektiv ventilation i innemiljön**

I samband med lufttätning av befintliga klimatskal måste man även beakta luftväxlingen inomhus för att inte få andra typer av innemiljö och/eller fuktproblem (likt problematiken i samband med energieffektivisering på 70-talet). Detta gäller även under produktionsskedet då det kan finnas perioder med höga fukttillskott inomhus till följd av uttorkning av material. Fukttillskottet (med risk för kondens på kalla ytor) behöver då tas omhand till exempel med hjälp av ökad luftväxling och/eller avfuktning.

## 8 Fortsatta studier

Då ett yttre lufttätande skikt visats kunna bidra till ett energieffektivt klimatskal om det görs på rätt sätt föreslås ett steg 2 som bygger vidare på den kunskap och de erfarenheter som framkommit inom ramen för denna rapport. Syftet med ett sådant steg 2 skall vara att med hjälp av demonstrationsprojekt

- studera hur det yttre lufttätande skydd/vindskyddet monteras idag i Sverige för ett antal typiska konstruktionslösningar (både lösningar för platsbyggande och lösningar för prefabricerade element)
- utifrån iakttagelser i dessa studerade byggnader identifiera förbättringspotential för lufttätet, men även regntätet i de fall fasaden inte väderskyddas under montage
- beakta produktionstekniska aspekter för effektivt byggande då fokus läggs på lufttätt, och i vissa fall regntäta vindskydd
- demonstrera processen att täthetsprova vindskyddet innan man bygger vidare med övriga material i klimatskalet

## Referenser

- Bankvall, Claes, Byggnadskonstruktioners värmeisoleringsförmåga – inverkan av luftrörelser och arbetsutförande, 1980
- Burke, Kumlin, Sjöberg, Stomskydd - En metod för lufttätning och fuktsäkring av byggnader med lätta klimatskal, 2014
- Byggeforskserien, Lufttetting av byggnader. Framgångsmåte for å oppnå lavt lekkasjetall, Byggdetaljer 2013
- Byggeforskserien, Luftlekkasjemålinger av bygninger. Hensikt og vurdering, Byggdetaljer 2014
- Filipsson, P., Dalenbäck, J.-O, Energiberäkningar - Avvikelser mellan projekterat och uppmätt energibehov, 2014
- Relander, Thor-Oskar, Holös, Sverre, Thue, Jan Vincent, Airtightness estimation – A state of the art review and an en route upper limit evaluation principle to increase the changes that wood-frame houses with a vapour- and wind-barrier comply with the airtightness requirements, 2012
- Sandberg, Per Ingvar, Sikander, Eva, ”Lufttäthet i byggprocessen – kunskapsinventering, laboratorieprovningar och simuleringar för att kartlägga behovet av tekniska lösningar och utbildning”
- Sandberg, Per Ingvar, Sikander, Eva, Wahlgren, Paula, Larsson, Bengt, Lufttäthet i byggprocessen – Tekniska konsekvenser och lönsamhetskalkyler, 2007
- Ulimoen, Syversen, Prosjektering av lufttette trehus, NTNU, 2009
- Uvsløkk S., The Importance of Wind Barriers for Insulated Timber Frame Constructions. Journal of Thermal Insulation and Building Envelopes, Vol 20, July 1996
- Vågen, M., Gullbrekken, L., Lufttethe for trehus. NTNU, Norges Teknisk Naturvitenskapelige Universitet. Trondheim. 2010
- Viitanen H., Ritschkoff A.C., Mould growth in pine and spruce sapwood in relation to air humidity and temperature. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products, Uppsala, 1991
- Watt, Sjöberg, Wahlgren, Hygrothermal performance of a light weight timber wall assembly with an exterior air barrier, 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015

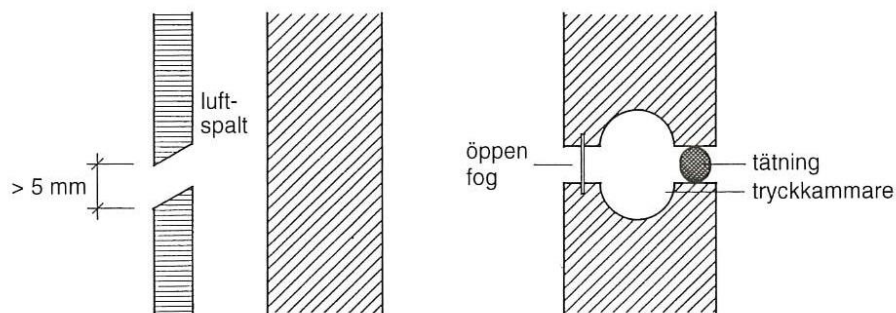
[www.lufttathet.se](http://www.lufttathet.se)

## Bilaga A: Lufttätt vindskydd och inverkan på tryckfallet i klimatskalet

Följande bilaga är skriven av Lars Olsson, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

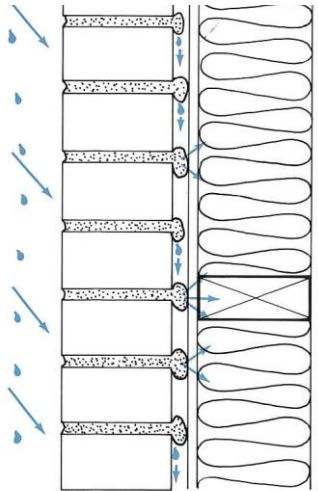
Traditionellt sett är vindskyddsprodukter inte lika lufttäta som luft- och ångspärren av plastfolie varför tryckskillnaden över väggen vanligtvis uppkommer över luft- och ångspärren. Vindskydd eller stomskydd kan eventuellt bidra till att skapa tryckutjämning över fasadskiktet om fasaden och luft- och ångspärren är otäta. Tryckutjämningen kan sättas ur funktion dels om luft kan passera genom bakomvarande vägg eller via dess anslutningar mot andra konstruktionsdelar dels till viss mån om bakomvarande vägg, material, luftporer i material och luftspalter är eftergivliga eller kan komprimeras av vindtrycket.

Genom att skapa god lufttätthet eller tryckskillnad längre in i väggen, bakom fasadskiktet, ges förutsättning för att erhålla tryckutjämning över fasadskiktet. Detta kallas tvåstegstätning. Tvåstegstätning innebär att regnskydd och vindskydd skiljs åt (Nevander and Elmarsson, 1994). Tryckutjämning eliminerar drivkraften för regnsinträngning av vindtryck. Eftersom lyfttrycksskillnaden skapas längre in i väggen, över vindskyddet, så kan den teoretiskt sett inte kunna nås av vattnet (Nevander and Elmarsson, 1994). Fogarna i regnskyddet (fasadskiktet) bör göras större än 5 mm för att inte en vattenfilm ska kunna bildas över dem, se Figur 28. Luftutrymmet bakom regnskyddet kan antingen göras som en hel luftspalt eller en tryckkammare i anslutning till fogen, se Figur 28.



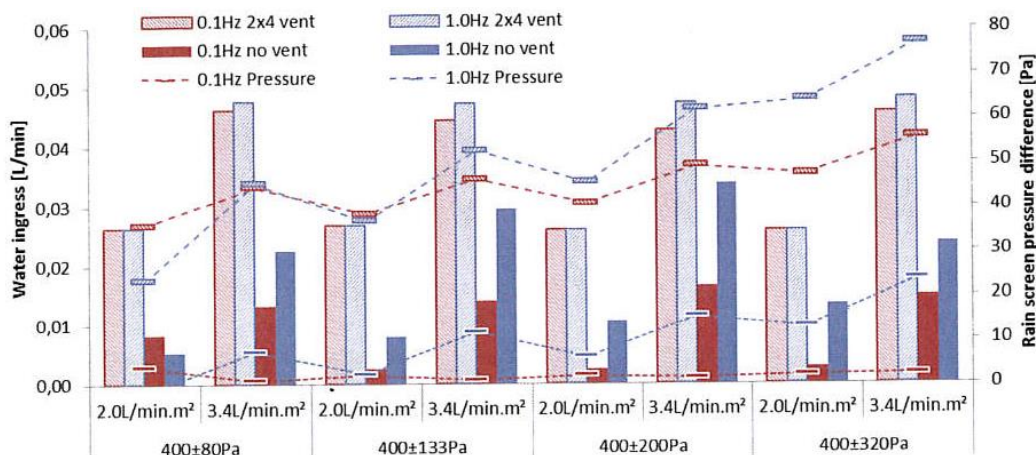
Figur 28. Två principiella fogutformningar vid tvåstegstätning (Figur 32.2) (Nevander and Elmarsson, 1994).

Dock kan det läcka in vatten, bakom fasad, som kan rinna längs vindskyddet, se Figur 29. Exempelvis är skalmurar av erfarenhet relativt otäta och vatten kan tränga igenom skalmuren varför det ställs höga krav på vindskyddets fuktegenskaper (Sandin, 1993). Om det finns otätheter i vindskydd eller i dess skarvar och i anslutningar vid exempelvis fönster finns risk för vatteninläckage (Olsson, 2014). En laboratoriestudie från Canada visar att vattenflödet genom en tegelfasad kan reduceras med 25 % med en tryckutjämnad fasad gentemot om den inte är det (Kudder and Erdly, 1998). Lufttättheten i väggen bakom påtalas ha avgörande betydelse för att åstadkomma en tryckutjämnad fasad.



Figur 29. Regnvatten tränger igenom skalmur (Sandin, 1993).

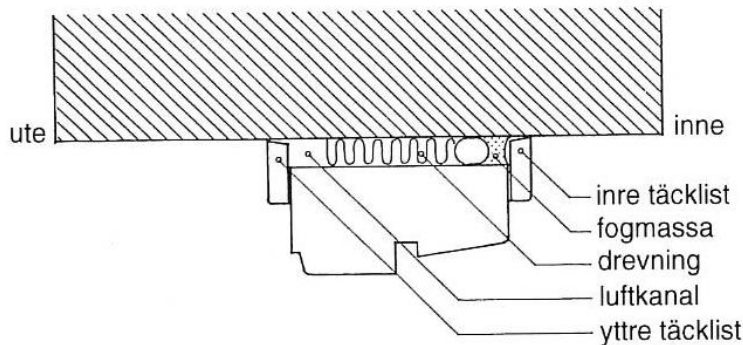
En laboratoriestudie på vatteninläckage genom ett 8 mm hål i en plexiglasskiva visade att om det inte är lufttätt bakom fasad (två lufthål på 8 mm i diameter) så ökade vatteninläckaget genom fasad, se Figur 30. Om väggen bakom görs lufttät eller att tryckutjämningen fungerar fullt ut minskar inläckaget med minst en tredjedel.



Figur 30. Diagrammet visar vatteninläckageflödet genom ett cirkulärt hål med diametern 8 mm. Det uppkomna trycket över fasaden redovisas av de streckade kurvorna som avläses mot den högra axeln. Regnintensiteten var 2 l/min-m<sup>2</sup> och 3,4 l/min-m<sup>2</sup> (Van Den Bossche, 2013).

Vatteninläckage kan ske trots full tryckutjämning över fasadskiktet. Flera laboratoriestudier visar att tryckutjämning i vissa fall har liten eller ingen betydelse alls, dvs inläckage kan ske på grund av andra drivkrafter än vindtryck (Lacasse et al., 2009, Olsson, 2015). Därför kan inte regntäthet hos ytterväggar åstadkommas med enbart tryckutjämnad fasad utan ett regntätt vindskydd eller stomskydd behövs.

Dessutom kan vindskyddet skapa en tryckskillnad vid anslutning mot byggkomponenter, exempelvis vid fönster och dörrar. Vanligtvis är fönster och dörrar verifierade för regntäthet med tryckutjämnad drevspalt mellan fönsterkarm och vägg, se Figur 31. Om ett vindskydd eller stomskydd ansluts tätt mot fönsterkarm erhålls sannolikt en tryckskillnad i drevspalten, se Figur 31, mot ute vid vindbelastning, vilket fönster vanligtvis inte är avsedda för (Gustavsson, 2009). Vindskydd eller stomskydd bör alltså monteras med anpassning till väggens och komponenternas förutsättningar. Dessutom bör en sekundär vattenutledning appliceras under fönster eftersom traditionellt fönstermontage inte är regntätt (Gustavsson, 2009, Olsson, 2014).



Figur 31. Lufttätning (fogmassa) mellan insida karm och vägg (Figur 33.6) (Nevander and Elmarsson, 1994).

I Canada har tryckutjämning över fasader studerats under många år. Redan på 1960-talet togs det fram en tumregel för detta (Garden, 1963). Luftspalt bakom fasad bör avdelas nära fasadhörn och i övre del av fasad på ca 1,2 meter från kant, se Figur 32. Detta för att minska effekten från de lokala skillnader i tryck som kan uppträda över fasadytan. Ventilationsöppningen bör placeras enbart i nederdelen av fasadindelningen för att verkligen säkerställa fullständig tryckutjämning, vattenutledning samt att hindra luftgenomströmning i spalten. Genomströmning eller ventilering kan medverka till att viss tryckskillnad uppstår över fasadskiktet. Gardens tumregel innebär att fasaden delas in i max 6 x 6 m delar som ventileras separat samt att fasadkanterna delas in i 1,2 m remsor (Garden, 1963). Ventilationsspaltens totala öppningsvidd behöver minst vara 10 mm längs nederkanten av respektive fasadindelning. För att vara säker på att tryckutjämning uppnås så bör studier och verifieringar göras för aktuell lösning.

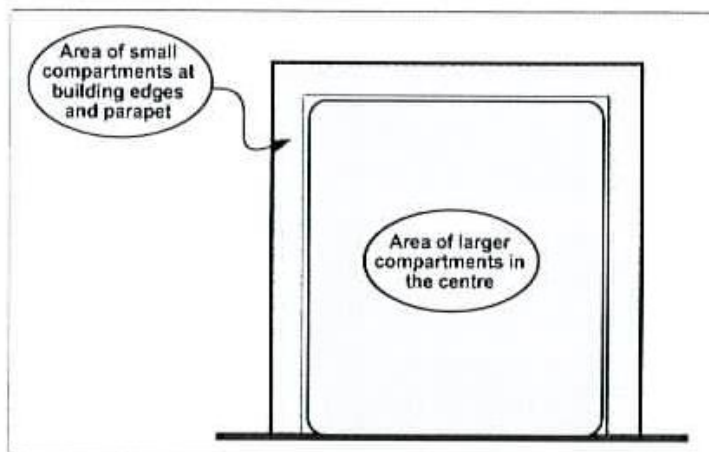


Figure 3. General pattern for façade compartmentation

Figur 32. Fasadindelning.

Flera fasadtyper behöver dock ventileras för att medge uttorkning av väggen. Dessvärre är luftgenomströmning ogynnsam för tryckutjämningen eftersom det kan orsaka tryckskillnader framförallt vid höga fasader utan fasadindelning. Förmodligen är dessa tryckskillnader relativt små för låga fasader eller för fasader med indelning. Vidare måste olika fasadsidor delas av för att överhuvudtaget erhålla en tryckutjämning. Detta eftersom det på lovar sida blir ett tryck mot fasaden och på läsidan och övriga sidor blir det ett undertryck eller sug från fasaden. Om det finns luftförbindelser i vägg mellan olika väggsidor kan tryckskillnad uppkomma.

Under 1990-talet gjordes det experimentella försök i vindtunnel. NRC, National Research Council Canada har studerat och tagit fram en vägledning för hur fasader kan tryckutjämnas (Rousseau et al., 1998) med syfte att minimera slagregnsinträngning. Tre viktiga förutsättningar är:

- att väggen bakom fasaden har god lufttätethet,
- att det finns en ventilationsspalt med öppningar,
- att fasaden utgör ett regnskydd.

Ventilationsöppningen måste vara tillräckligt stor för att medge luftrörelser orsakade av framförallt tryckstötter från vindtryck. I experiment har det framkommit underlag för att kunna beskriva måttet på ventilationsöppningars area. Öppningsarean är baserad på väggstommens uppbyggnad, fasadarea och luftspaltens volym. Väggens uppbyggnad har betydelse såtillvida att material som är eftergivliga eller luftpermeabla deltar i tryckutjämnningen. Tryckskillnader kan uppstå av flera orsaker såsom vindförhållanden, termiska drivkrafter och allmänventilation av byggnaden. Därför bör beräkningar göras för både dynamiskt och statiskt tryck enligt nedan.

Dynamiskt tryck/tryckstötter:

- Ventilationsöppning ( $m^2$ )  $\geq$  (luftspaltens volym ( $m^3$ ) / 25 m), om väggen är rigid (betongvägg) kan 50 m användas

Statiskt tryck:

- Ventilationsöppning ( $m^2$ )  $\geq$  20 x läckagearea för väggindelning
  - Luftläckage på 0,1 l/s, $m^2$  vid 75 Pa motsvarar en ekvivalent läckagearea på 28  $mm^2$ .
  - Den största öppningsarean är dimensionerande.

## Rekommendationer

Under förutsättning att det finns en invändig luftspärr i väggen bör också följande säkerställas.

- Regntätt vindskydd eller stomskydd.
- Vattenutledning, andra hinder, under eller runt om byggkomponenter såsom t.ex. fönster och dörrar.
- Anpassa montaget av vindskydd till byggkomponenternas förutsättningar.
- Dela av väggen framförallt i hörn mellan olika väggsidor och mot tak så att lufttransport undviks.

## Referenser Tryckskillnad

- GARDEN, G. K. 1963. Rain Penetration and its Control. *CBD-publication 40* [Online]. Available: [http://web.mit.edu/parmstr/Public/NRCan/CanBldgDigests/cbd040\\_e.html](http://web.mit.edu/parmstr/Public/NRCan/CanBldgDigests/cbd040_e.html).
- GUSTAVSSON, B. 2009. Fönstermontage (SP rapport 2009:35). Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- KUDDER, R. J. & ERDLY, J. L. 1998. *Water leakage through building facades*, ASTM International.

- LACASSE, M. A., MIYAUCHI, H. & HIEMSTRA, J. 2009. Water Penetration of Cladding Components—Results from Laboratory Tests on Simulated Sealed Vertical and Horizontal Joints of Wall Cladding. *Journal of ASTM International*, 6.
- NEVANDER, L.-E. & ELMARSSON, B. 1994. *Fukthandbok- praktik och teori*, Stockholm, AB Svensk Byggtjänst.
- OLSSON, L. 2014. Results from laboratory measurements of wind driven tightness in different types of facades. *10th Nordic Symposium on Building Physics*. Lund, Sweden.
- OLSSON, L. 2015. Laboratoriestudie av inläckagemängder i sju olika otätheter i fasad exponerad för slagregn och vattenstänk (SP rapport 2015:36). Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- ROUSSEAU, M. Z., POIRIER, G. F. & BROWN, W. C. 1998. Pressure Equalization in Rainscreen Wall Systems. National Research Council of Canada
- SANDIN, K. 1993. Skalmur med träregelstomme (T10:1993). Stockholm: Byggeforskningsrådet.
- VAN DEN BOSSCHE, N. 2013. *Watertightness of Building Components: Principles, Testing and Design Guidelines*. Doctoral thesis, University Ghent, Belgium.



## Bilaga B: Förutsättningar och resultat - fuktberäkningar

Tabell 23. Materialdata för utförda simuleringar

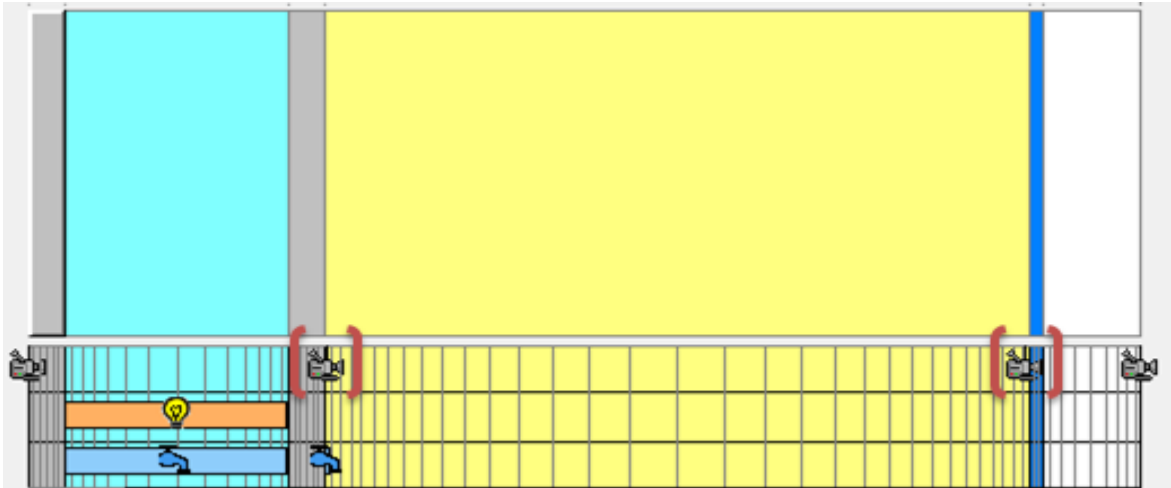
Material	Densitet, $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Porositet [-]	Värmekonduktivitet, $\lambda$ [W/mK]	Diffusionsmotstånd, $\mu$ [-]
Invändig gipsskiva	625	0,73	0,2	8,33
Utvändig gipsskiva	675	0,71	0,2	8,33
Fibercementskiva	1610	0,15	0,13	83,3
Mineralull	25,2	0,95	0,035	1,0
PE-folie	130	0,001	2,3	50000
Yttre lufttätande skikt	1180	0,12	0,7	125-2500
Puts	1900	0,24	0,8	19
Träreglar	430	0,73	0,14	83,3

Om inget annat anges så har följande förutsättningar antagits för beräkningarna:

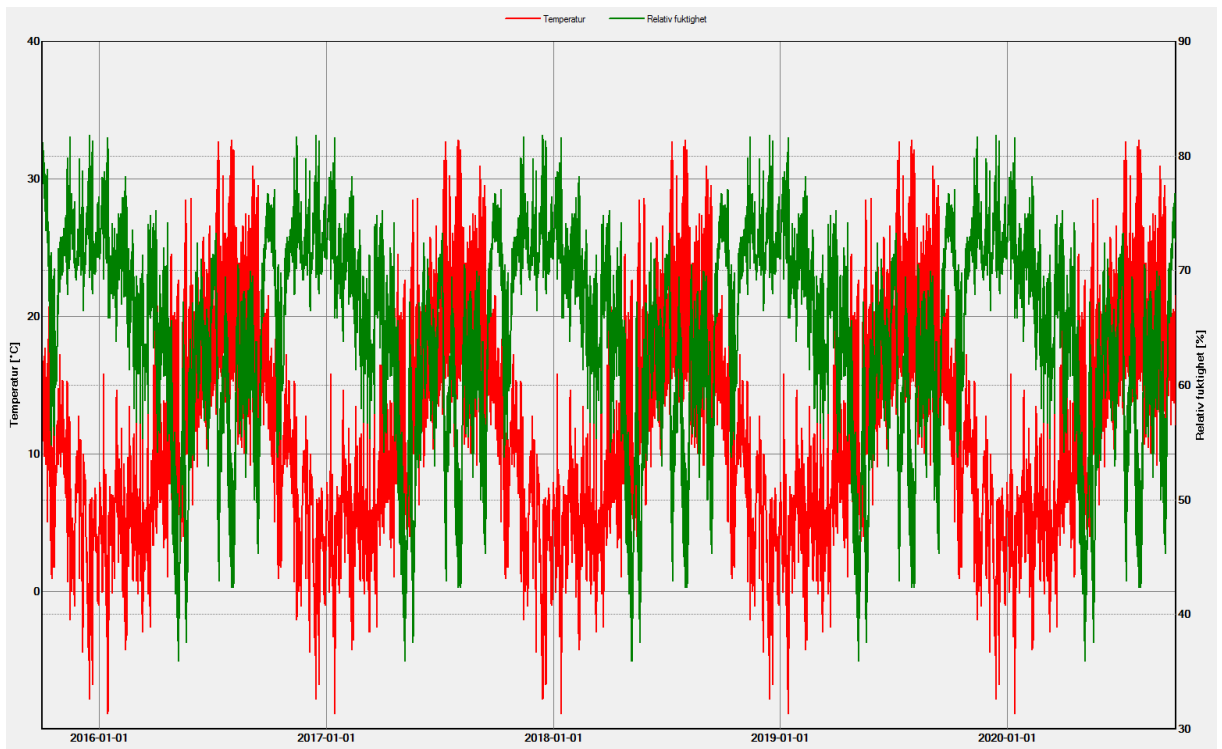
- Både nordlig och sydlig riktning av fasaden har beaktats
- Byggnadshöjd upp till 10 meter.
- Vindberoende ytövergångsmotstånd, utsida fasad.
- Absorptionstal för kortvågig strålning 0.4 respektive 0.6 [-], utsida fasad.
- Beräkningstid 1 respektive 5 år (5 år för utvärdering av RF och T).
- Klimatort Göteborg (LTH data).
- Inneklimat enligt EN 15026, normal fuktbelastning.
- Luftomsättningen i luftspalten antas vara 10 oms/h.
- Fuktansamling bakom vindskyddsskivan p.g.a. fuktkonvektion från insidan; lufttätheten i ytterväggskonstruktionen sätts till 5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h (WUFI lufttäthetsklass C), respektive 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h (WUFI lufttäthetsklass A).
- Fuktansamling bakom vindskyddsskivan p.g.a. läckage (1 % av slagregnet).

Tabell 24. Studerade konstruktioner

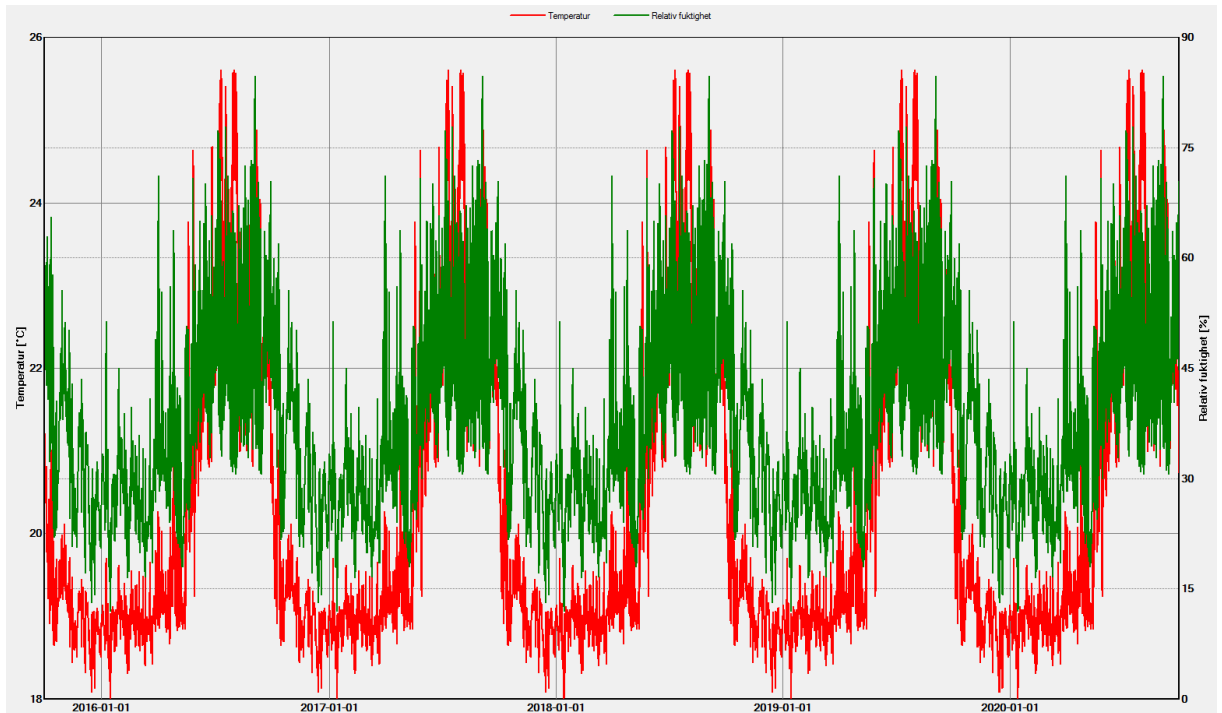
	Fasad-material	Luftspalt [mm]	YLS*	Isolering [mm]	YLS*		Isolering [mm]		Byggfukt	Läckage/konv.
1A	Skiva	20	-	-	-	Vindskiva	95	PE-folie + gipsskiva	-	L
1B	Skiva	20	-	-	-		95		-	K
R2A	Skiva	20	-	-	X		95		-	L
R2B	Skiva	20	-	-	X		95		-	K
RT3A	Skiva	20	-	50	X		95		-	L
RT3B	Skiva	20	-	50	X		95		-	K
RT4	Skiva	Dränerande	-	50	X		95		-	K
R5	Skiva	20	-	-	-		95		X	K
R6	Skiva	20	-	-	X		95		X	K
RT7	Skiva	20	-	50	X		95		X	K
N8	Skiva	20	X	70	-		145		X	K



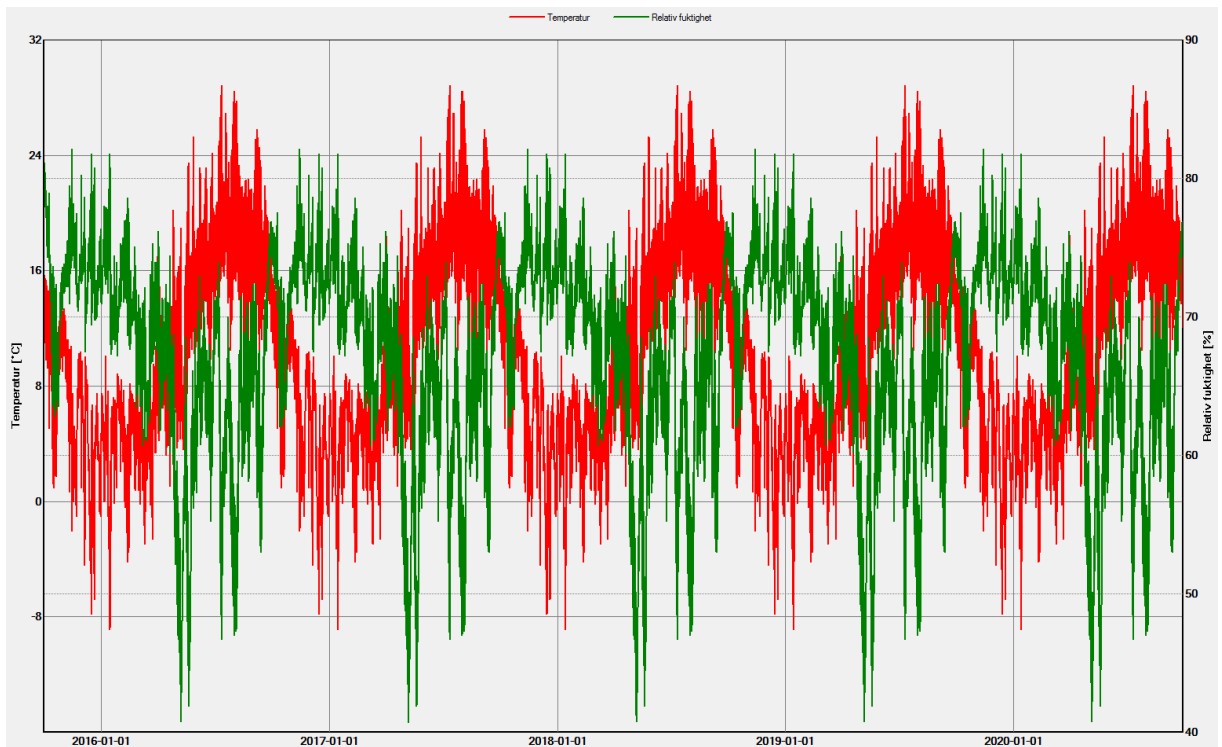
Figur 33. Beräkningsfall 1A och 1B.



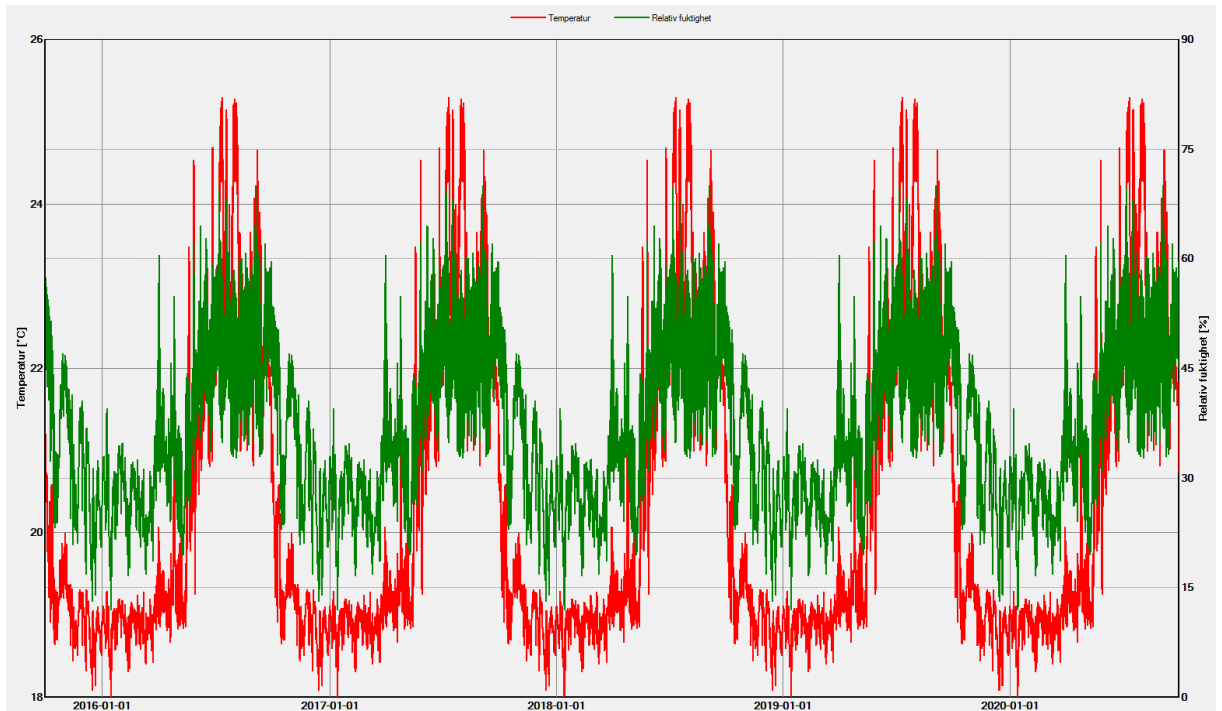
Figur 34. [Beräkningsfall 1B] Temperatur och relativa fuktighet i utsida regel mot vindskyddsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, fuktkonvektion).



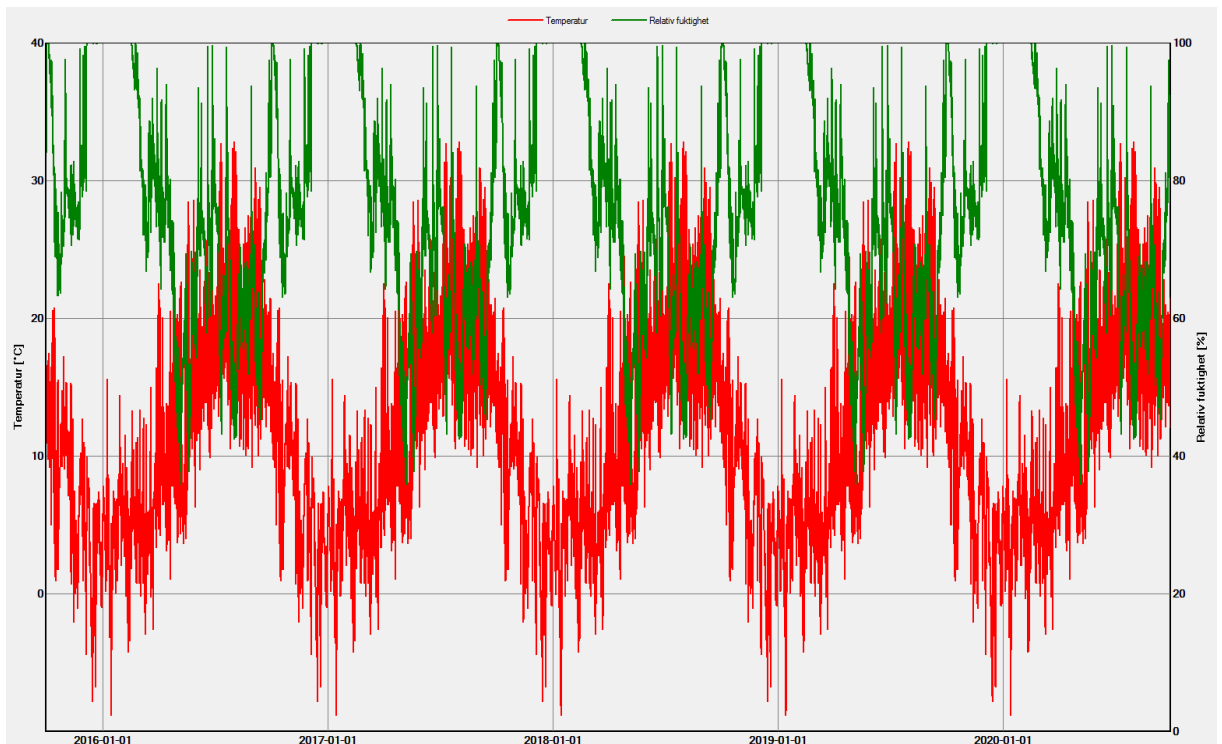
Figur 35. [Beräkningsfall 1B] Temperatur och relativ fuktighet i insida träregel mot invändiga ångspärren/gipsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, fuktkonvektion).



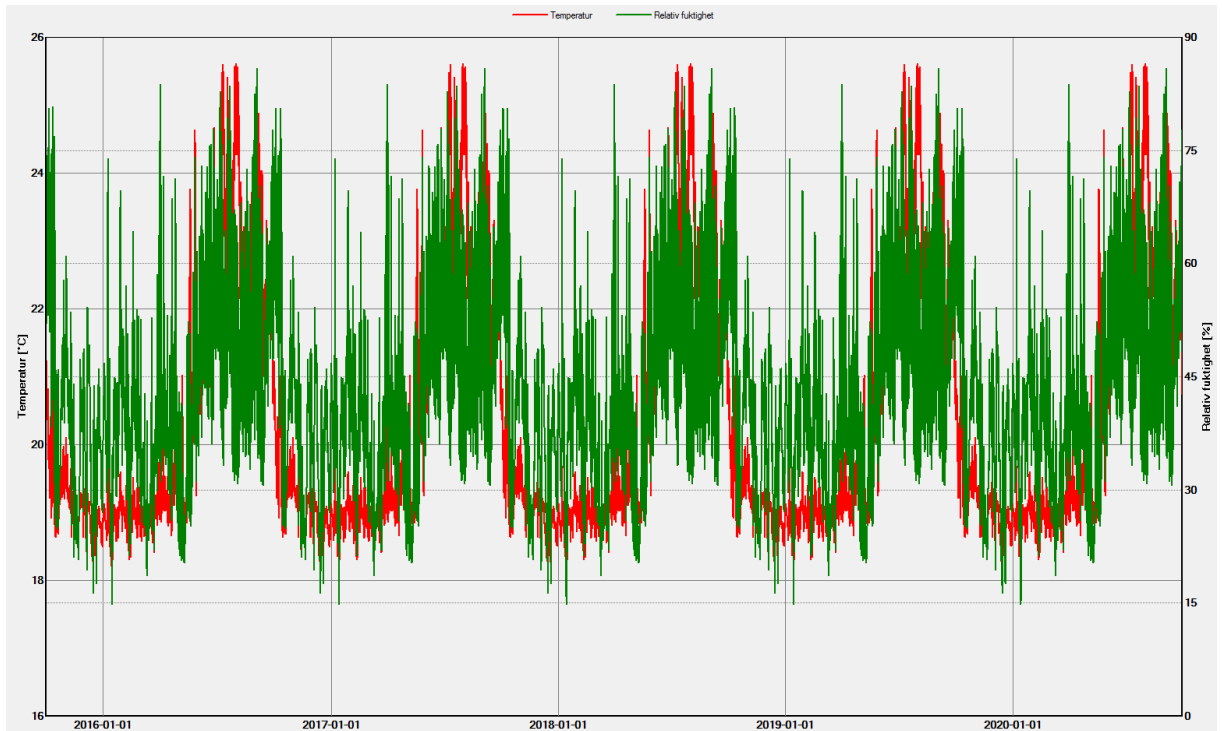
Figur 36. [Beräkningsfall 1B] Temperatur och relativ fuktighet i utsida regel mot vindskyddsskivan under 5 års beräkningstid (nordlig riktning, fuktkonvektion).



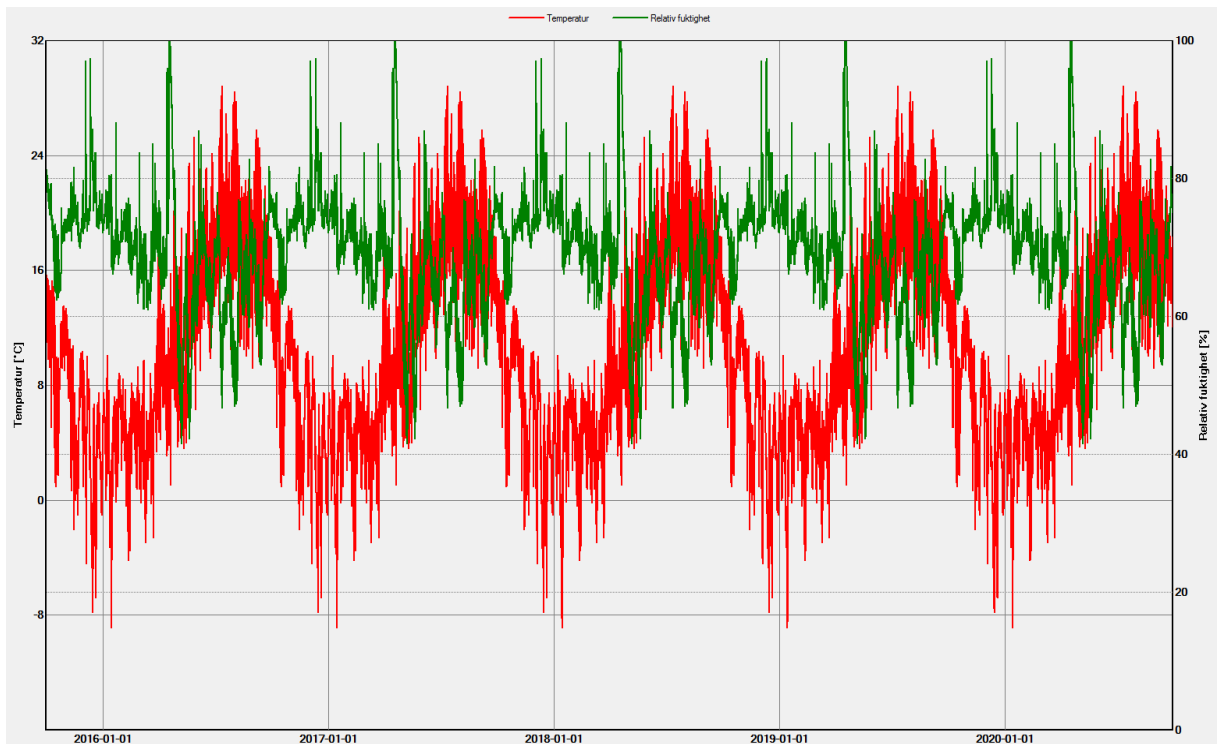
Figur 37. [Beräkningsfall 1B] Temperatur och relativ fuktighet i insida träregel mot invändiga ångspärren/gipsskivan under 5 års beräkningstid (nordlig riktning, fuktkonvektion).



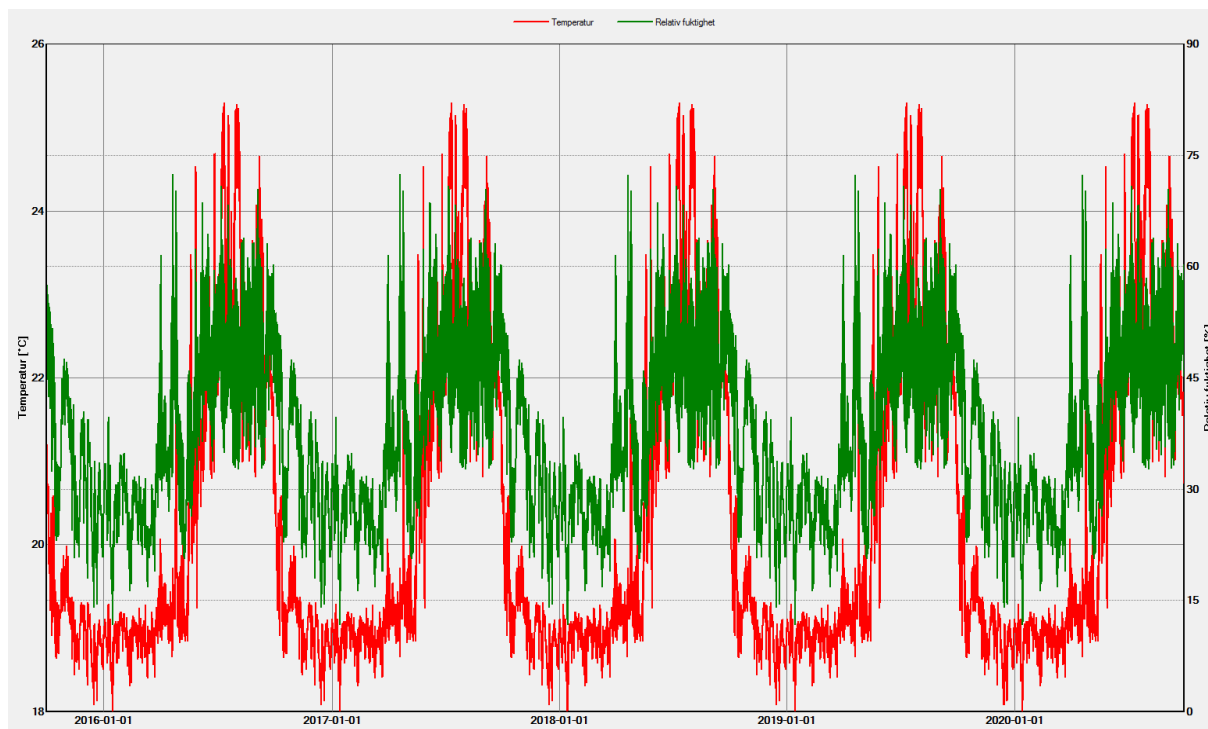
Figur 38. [Beräkningsfall 1A] Temperatur och relativ fuktighet i utsida regel mot vindskyddsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, läckage).



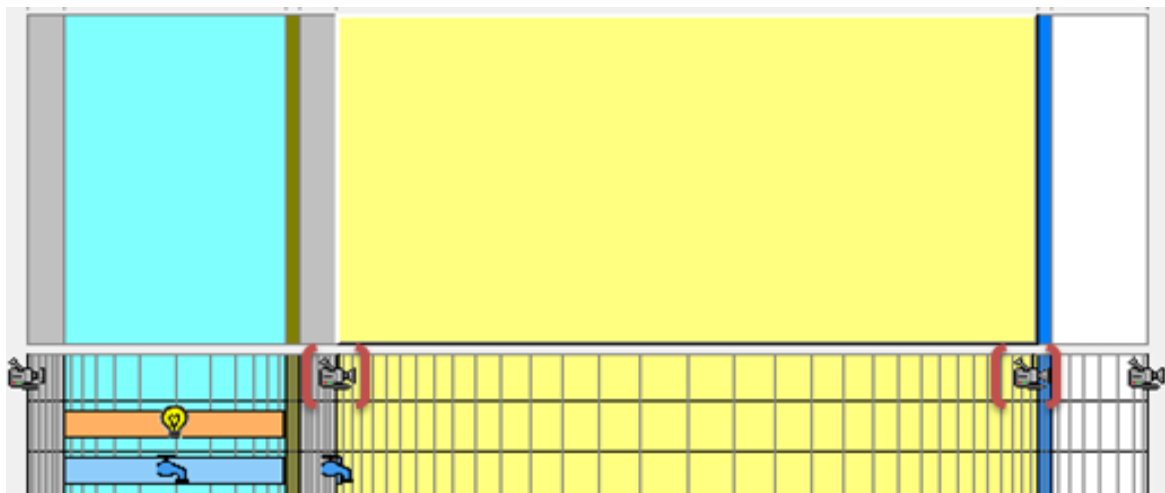
Figur 39. [Beräkningsfall 1A] Temperatur och relativ fuktighet i insida träregel mot invändiga ångspärren/gipsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, läckage).



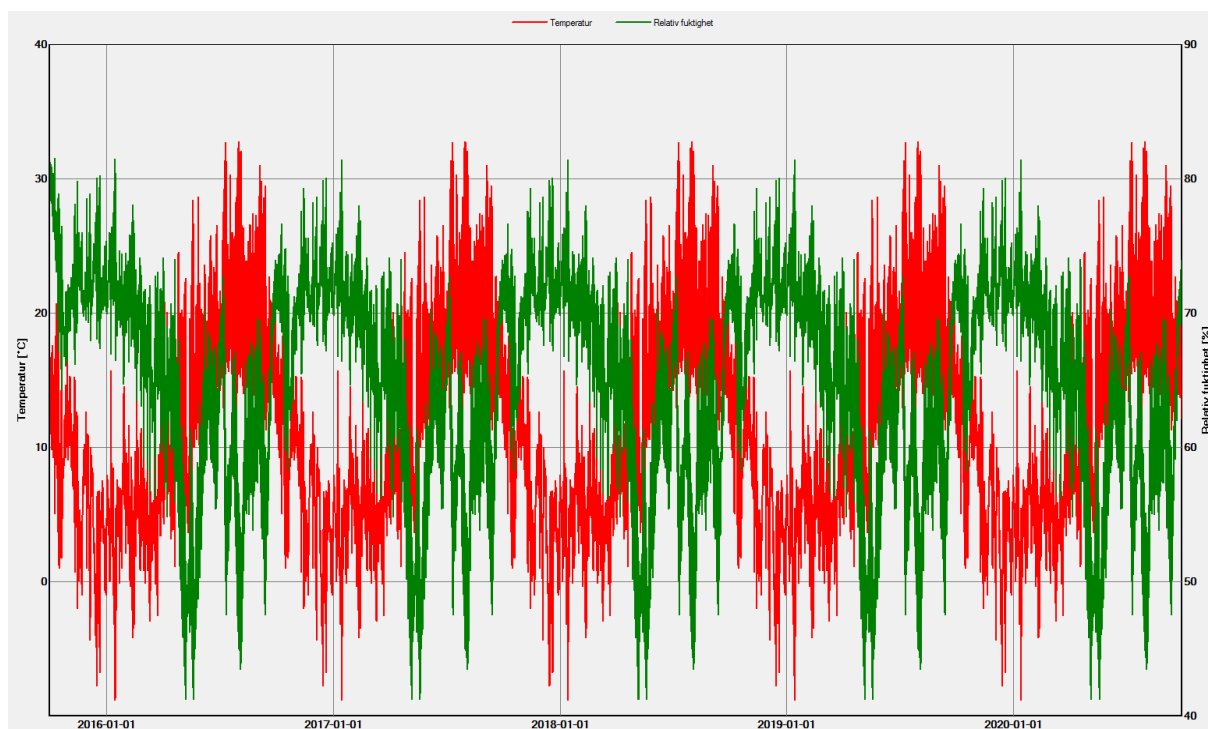
Figur 40. [Beräkningsfall 1A] Temperatur och relativ fuktighet i utsida regel mot vindskyddsskivan under 5 års beräkningstid (nordlig riktning, läckage).



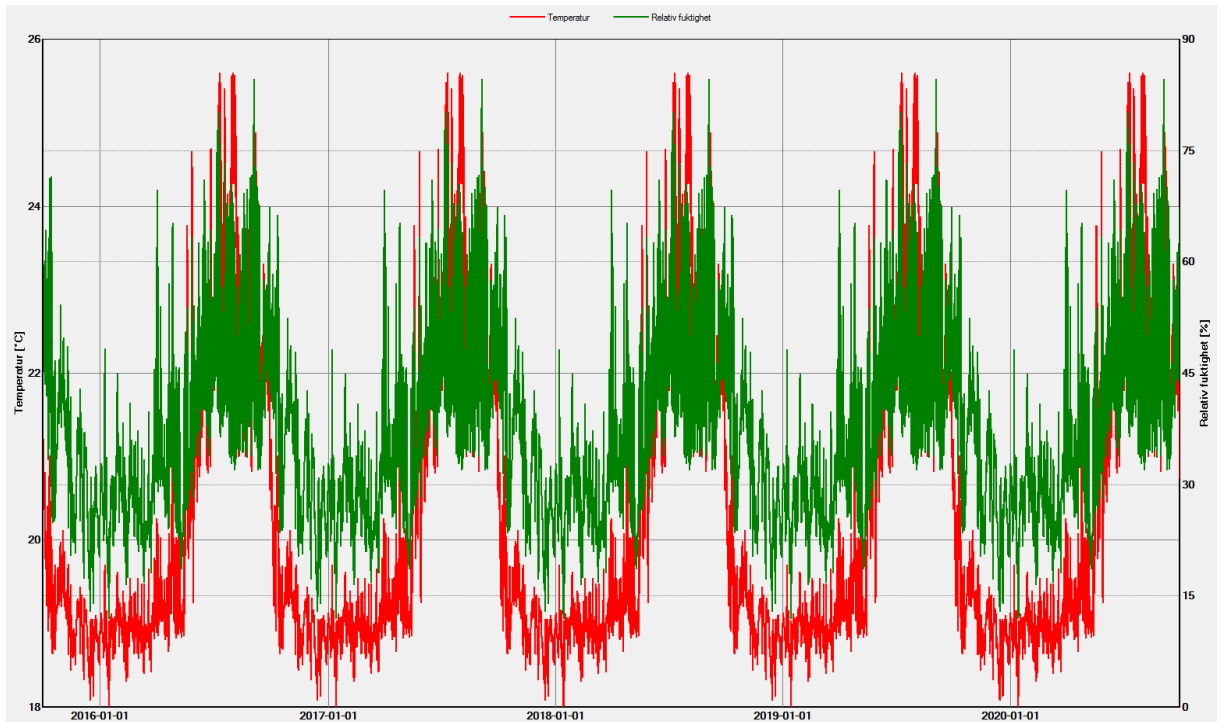
Figur 41. [Beräkningsfall 1A] Temperatur och relativ fuktighet i insida träregel mot invändiga ångspärren/gipsskivan under 5 års beräkningstid (nordlig riktning, läckage).



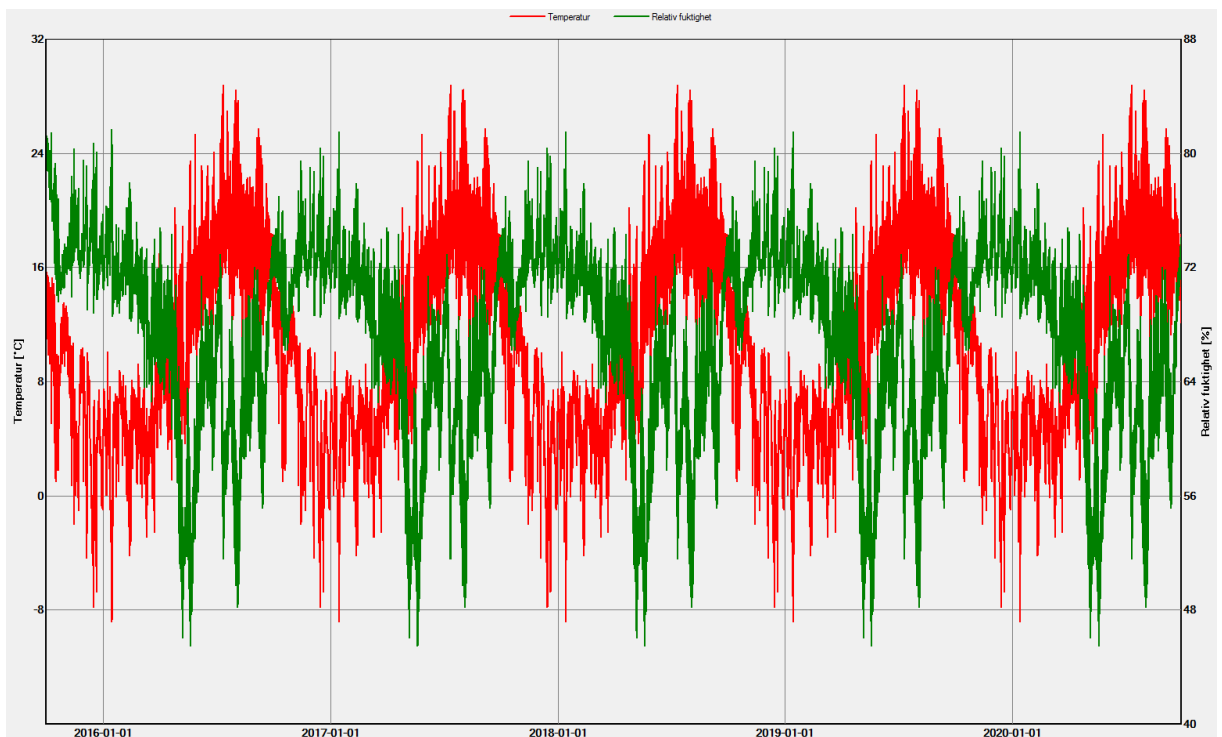
Figur 42. Beräkningsfall R2A och R2B.



Figur 43. [Beräkningsfall R2B] Temperatur och relativ fuktighet i utsida regel mot vindskyddsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, fuktkonvektion).

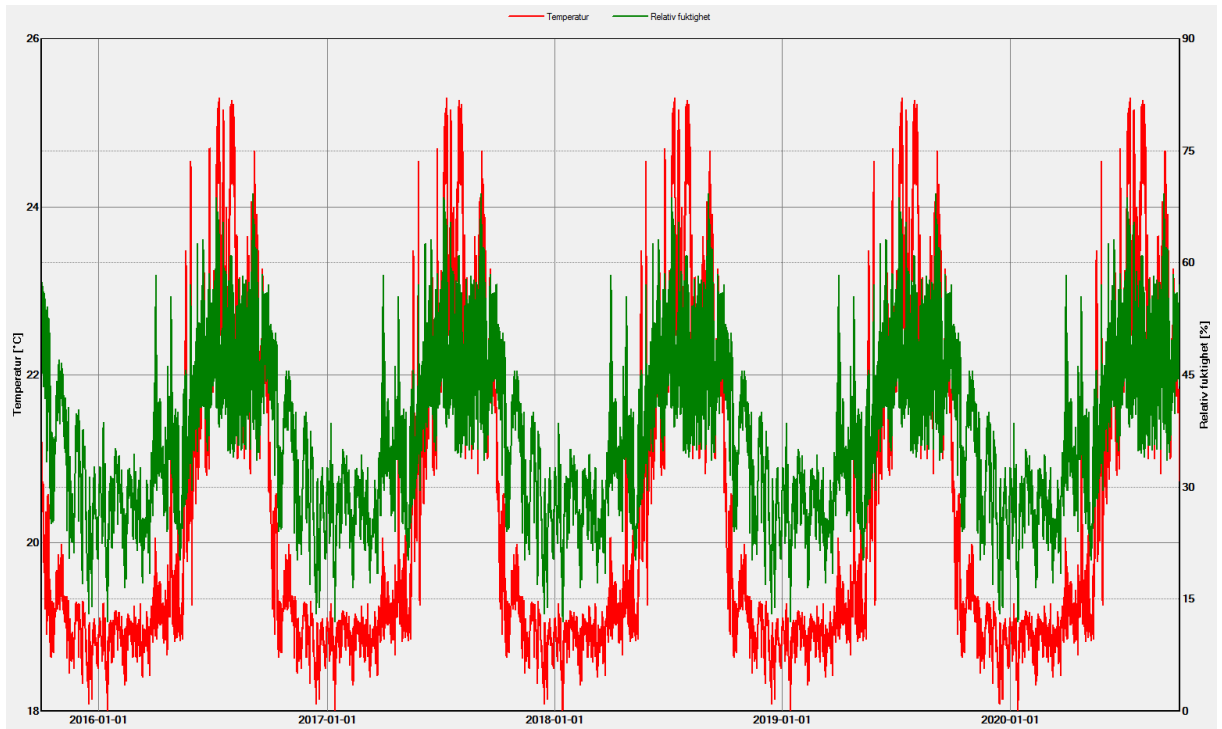


Figur 44. [Beräkningsfall R2B] Temperatur och relativ fuktighet i insida träregel mot invändiga ångspärren/gipsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, fuktkonvektion).

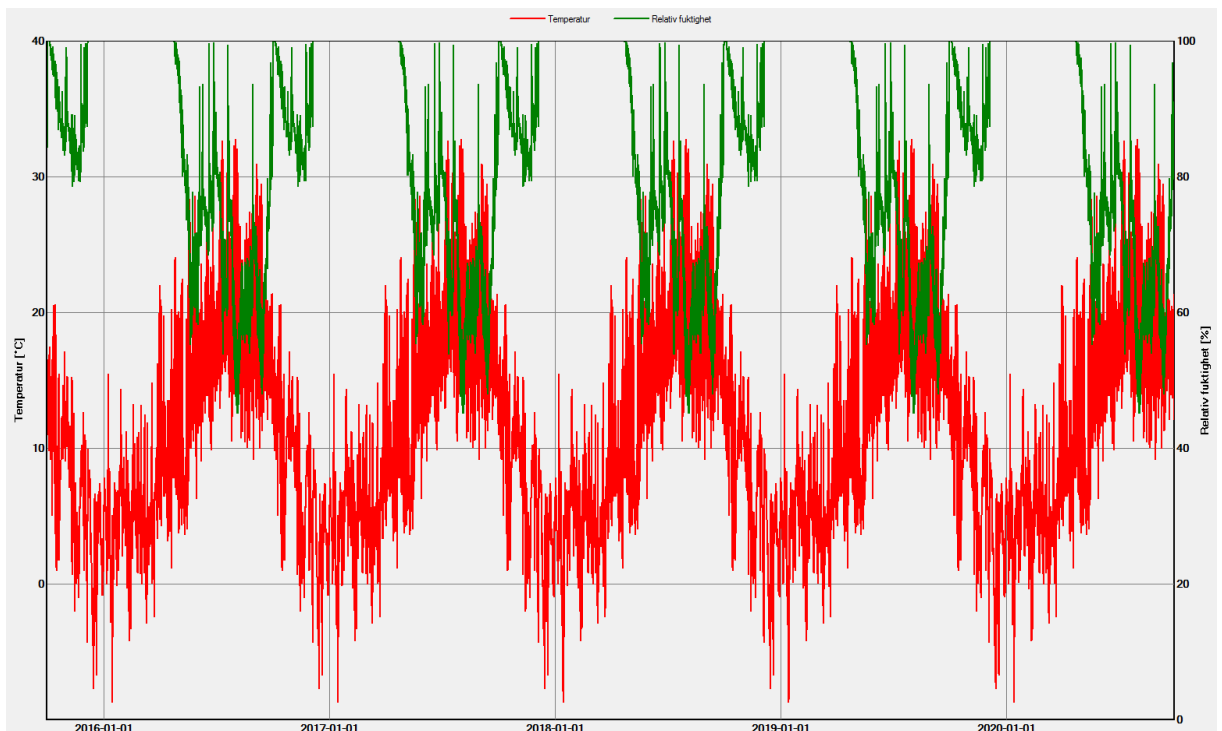


Figur 45. [Beräkningsfall R2B] Temperatur och relativ fuktighet i utsida regel mot vindskyddsskivan under 5 års beräkningstid (nordlig riktning, fuktkonvektion).

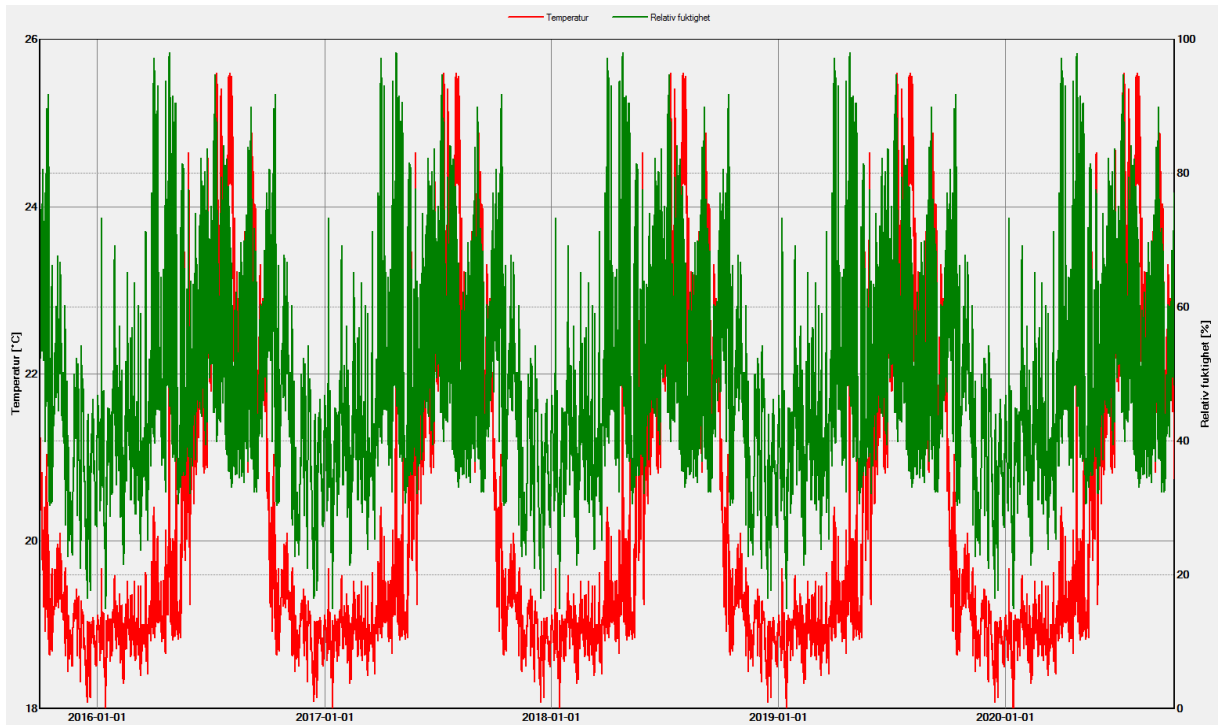




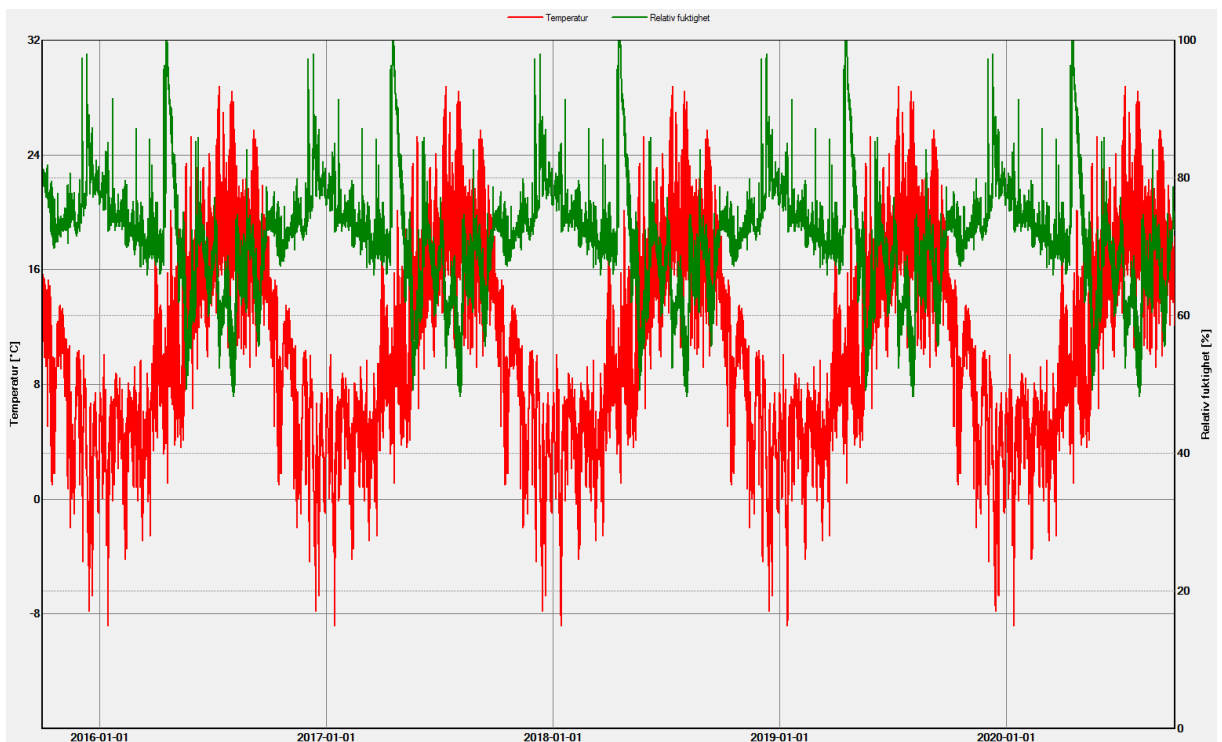
Figur 46. [Beräkningsfall R2B] Temperatur och relativ fuktighet i insida träregel mot invändiga ångspärren/gipsskivan under 5 års beräkningstid (nordlig riktning, fuktkonvektion).



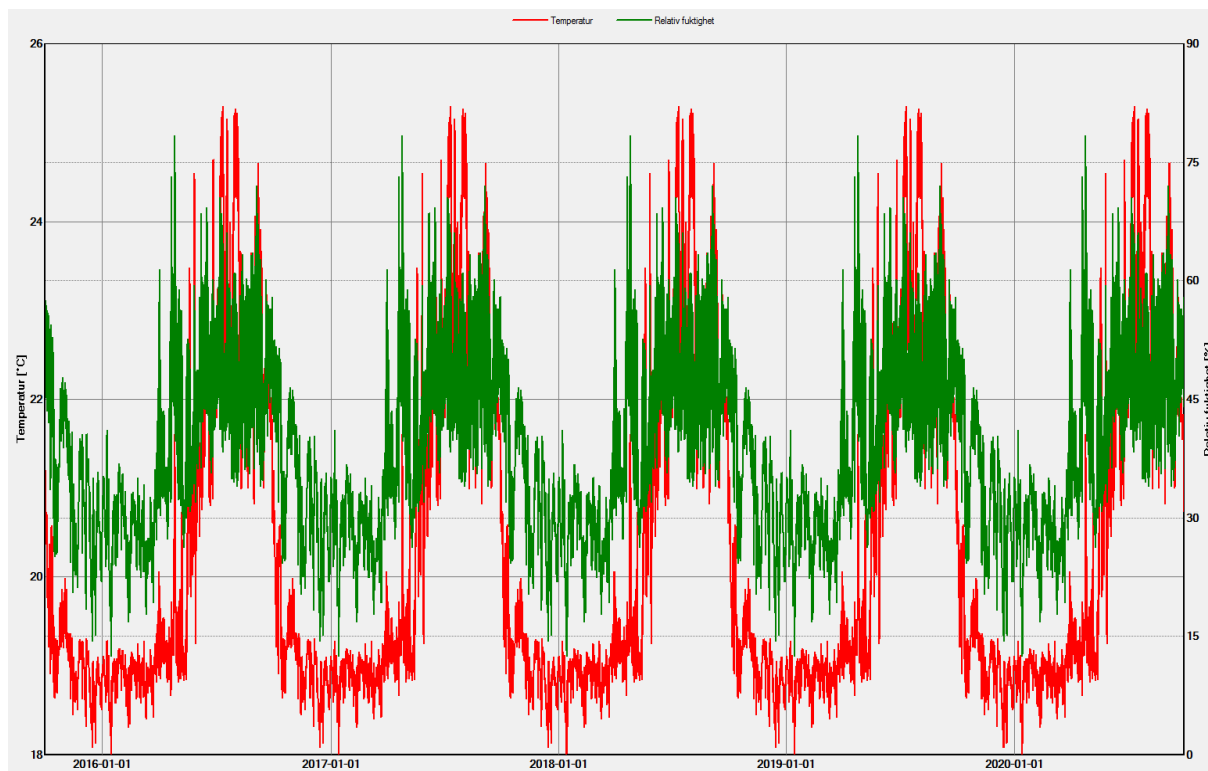
Figur 47. [Beräkningsfall R2A] Temperatur och relativ fuktighet i utsida regel mot vindskyddsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, läckage).



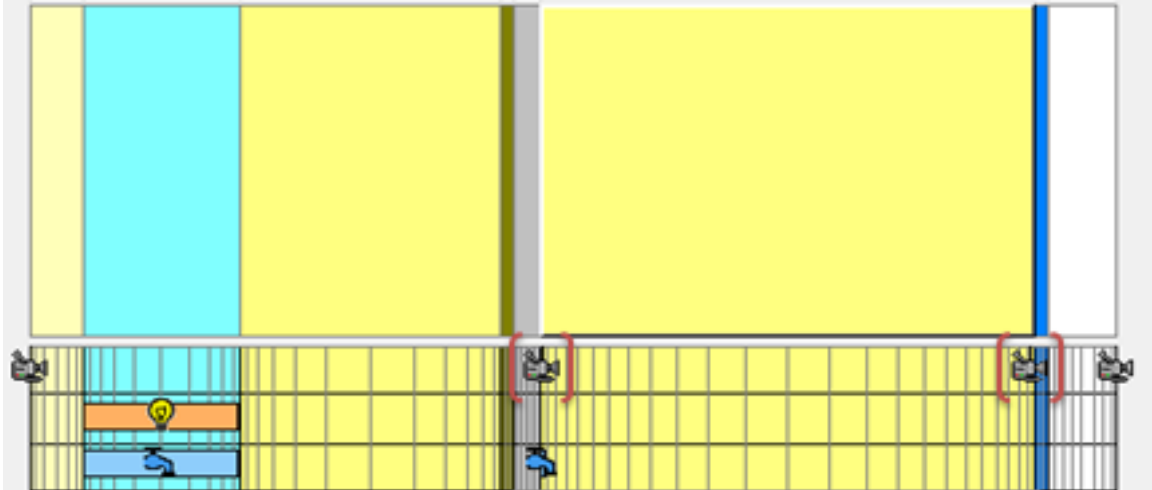
Figur 48. [Beräkningsfall R2A] Temperatur och relativ fuktighet i insida träregel mot invändiga ångspärren/gipsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, läckage).



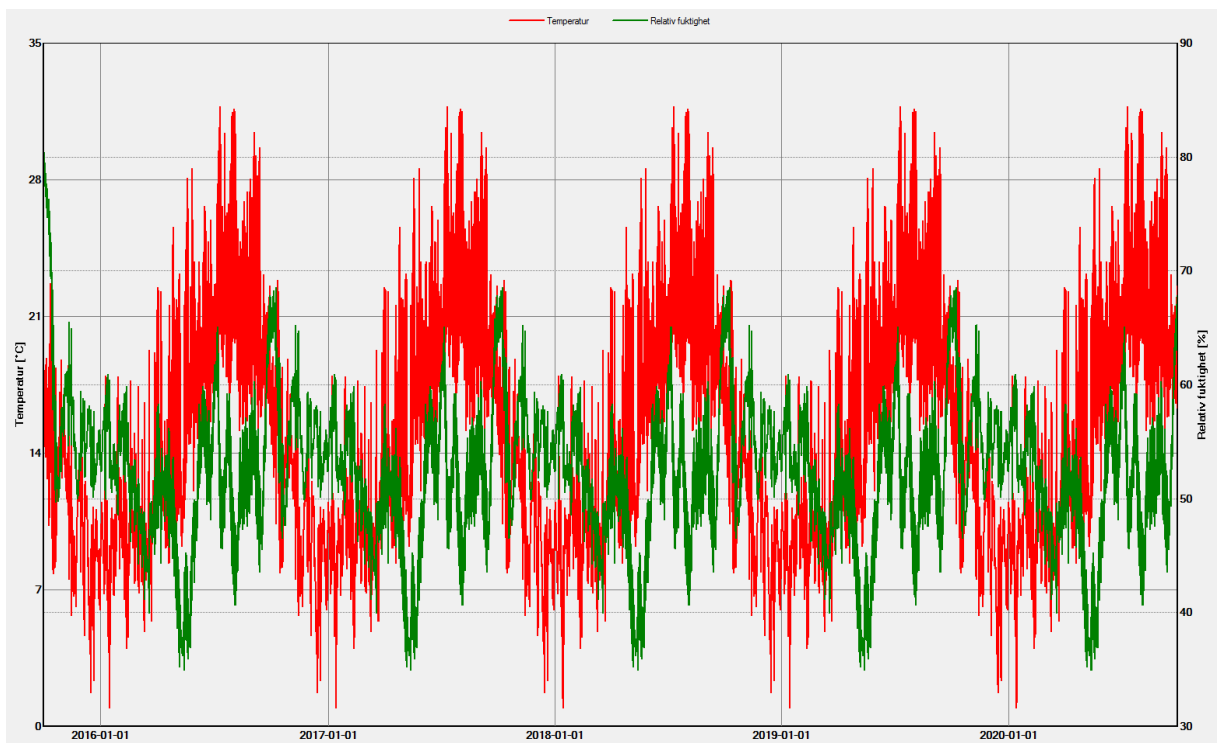
Figur 49. [Beräkningsfall R2A] Temperatur och relativ fuktighet i utsida regel mot vindskyddsskivan under 5 års beräkningstid (nordlig riktning, läckage).



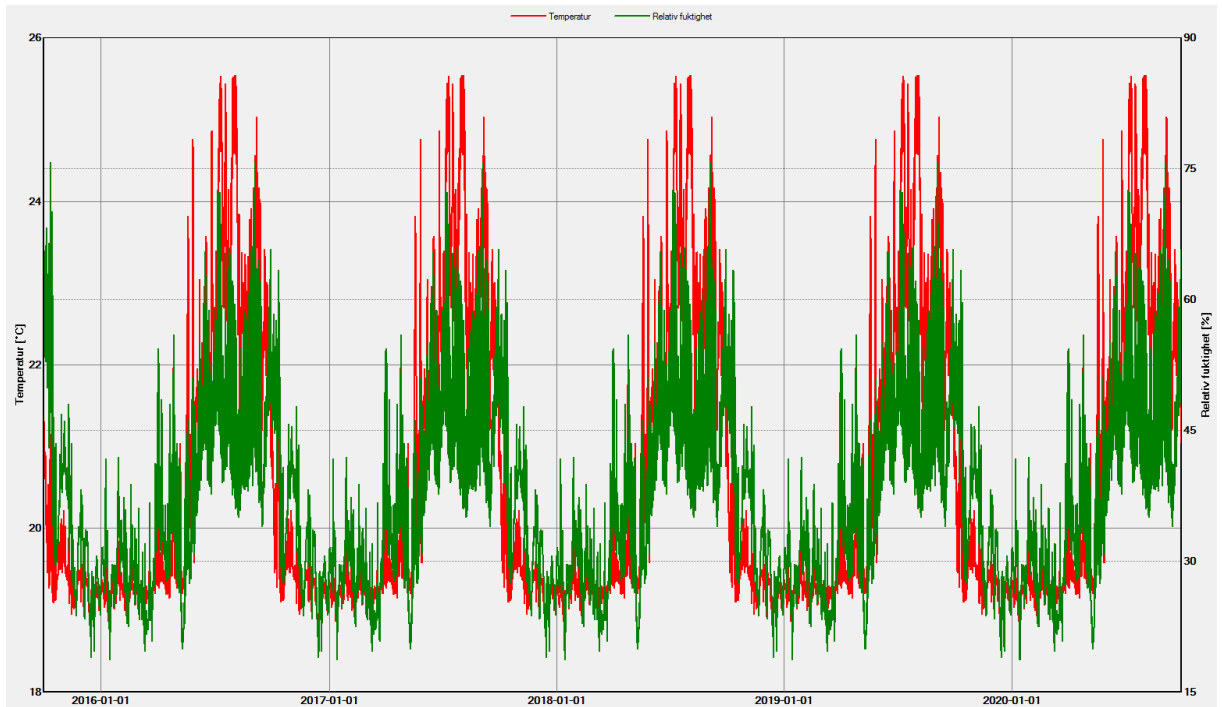
Figur 50. [Beräkningsfall R2A] Temperatur och relativ fuktighet i insida träregel mot invändiga ångspärren/gipsskivan under 5 års beräkningstid (nordlig riktning, läckage).



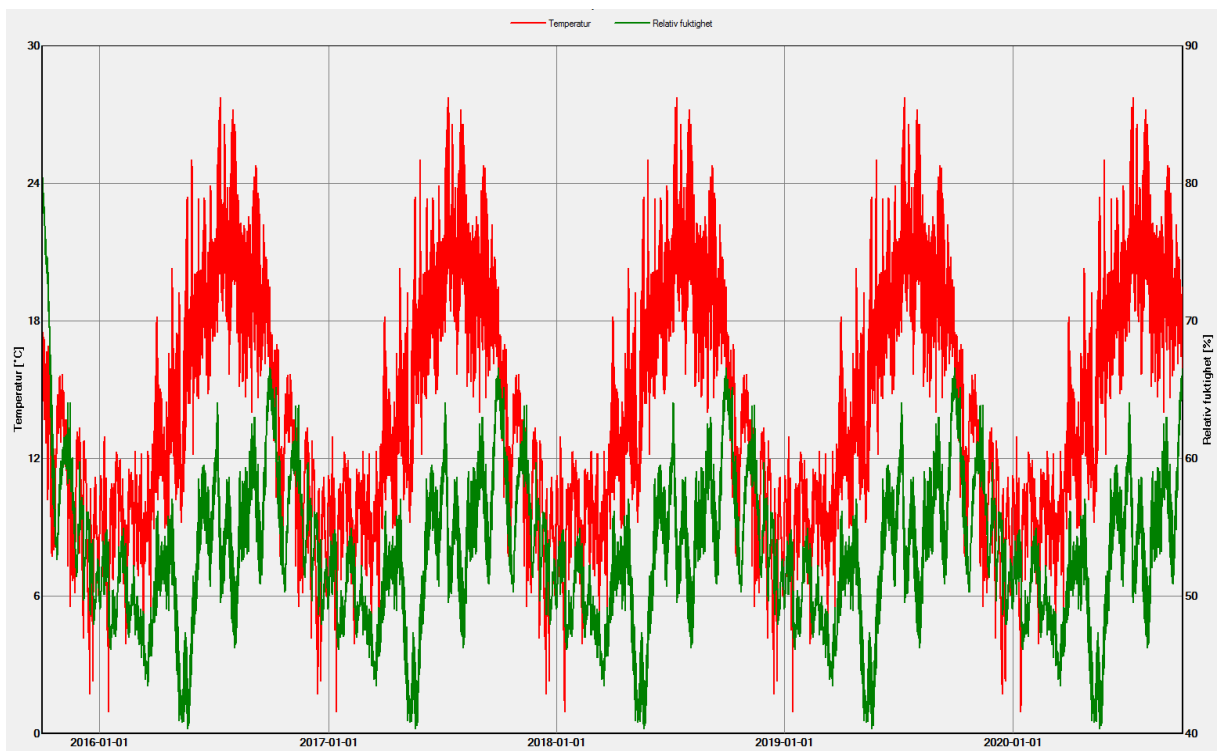
Figur 51. Beräkningsfall RT3A och RT3B.



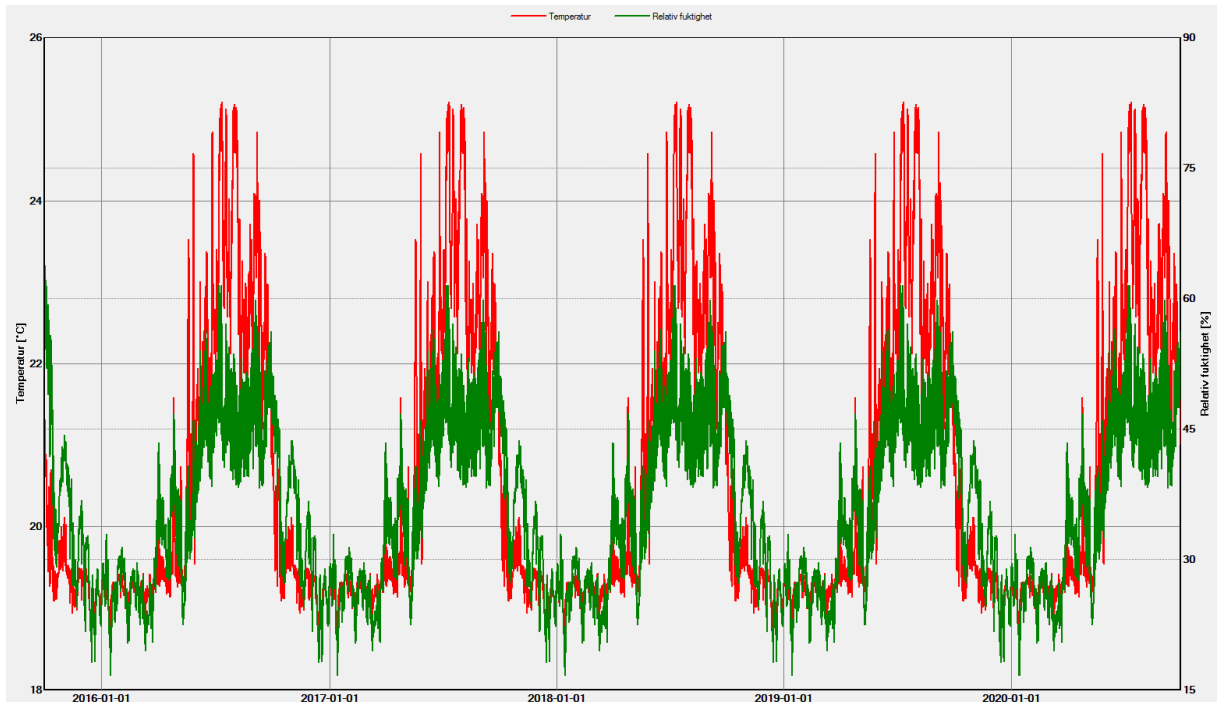
Figur 52. [Beräkningsfall RT3B] Temperatur och relativ fuktighet i utsida regel mot vindskyddsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, fuktkonvektion).



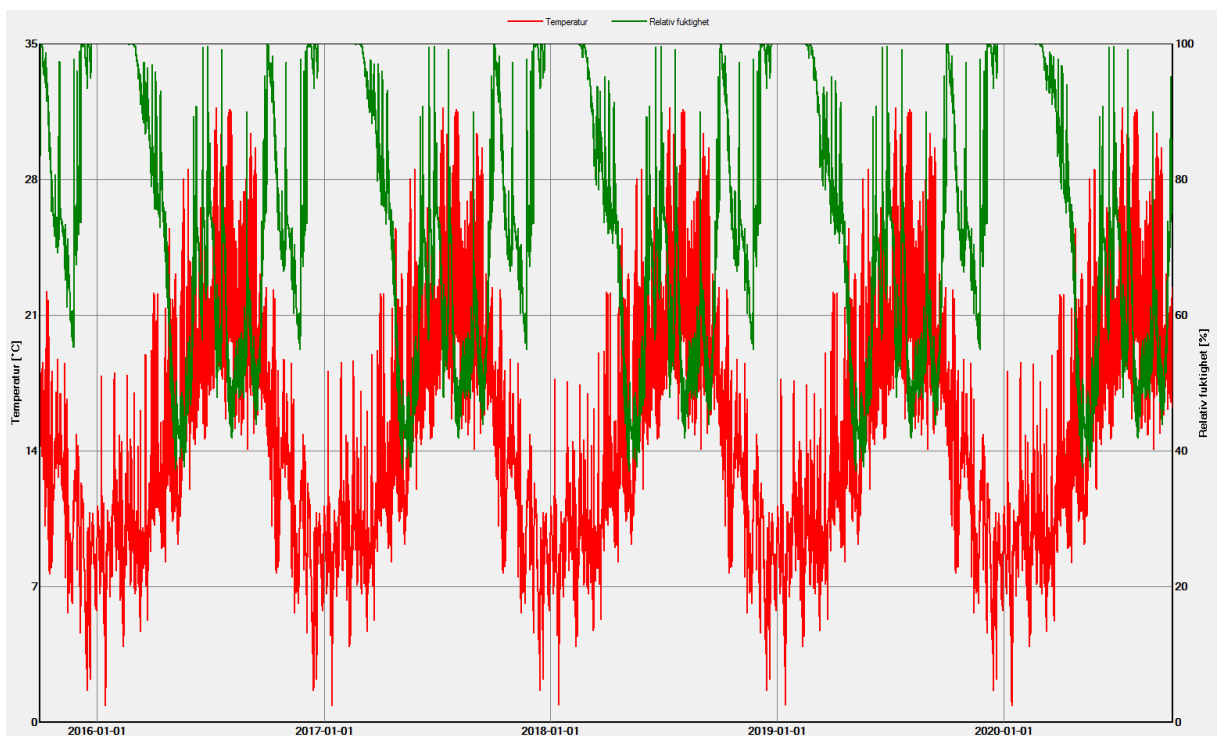
Figur 53. [Beräkningsfall RT3B] Temperatur och relativ fuktighet i insida träregel mot invändiga ångspärren/gipsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, fuktkonvektion).



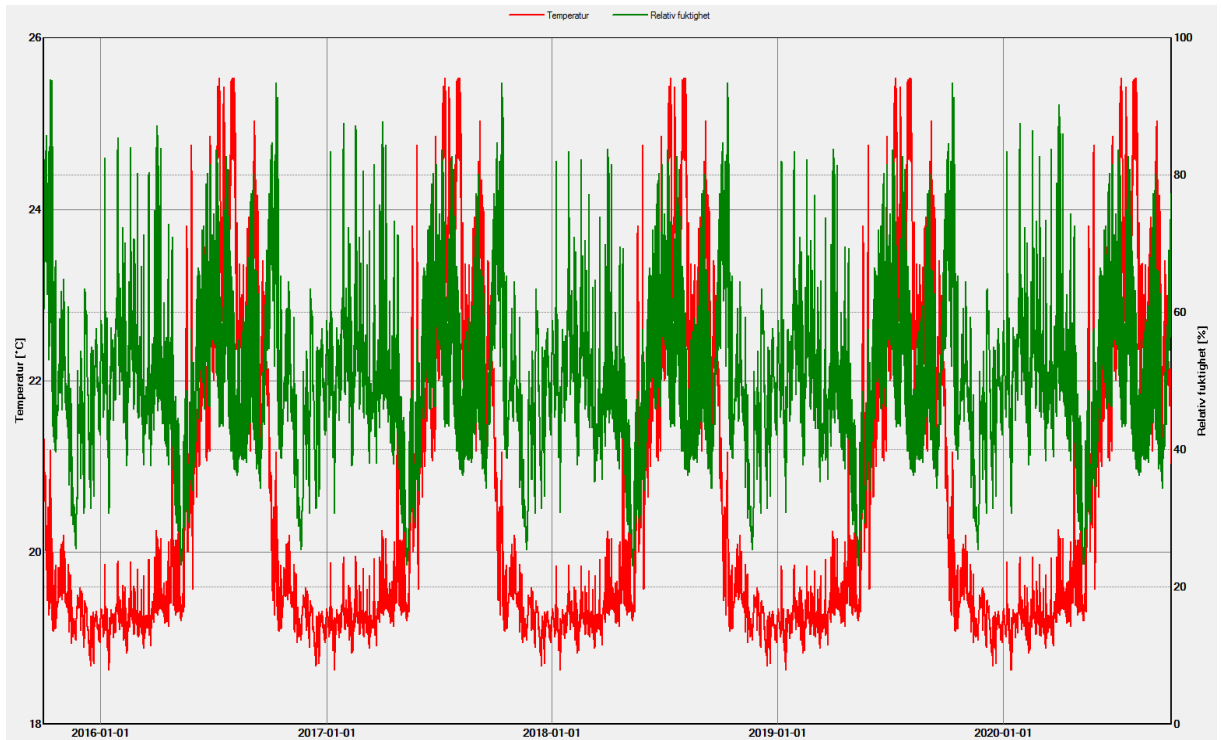
Figur 54. [Beräkningsfall RT3B] Temperatur och relativ fuktighet i utsida regel mot vindskyddsskivan under 5 års beräkningstid (nordlig riktning, fuktkonvektion).



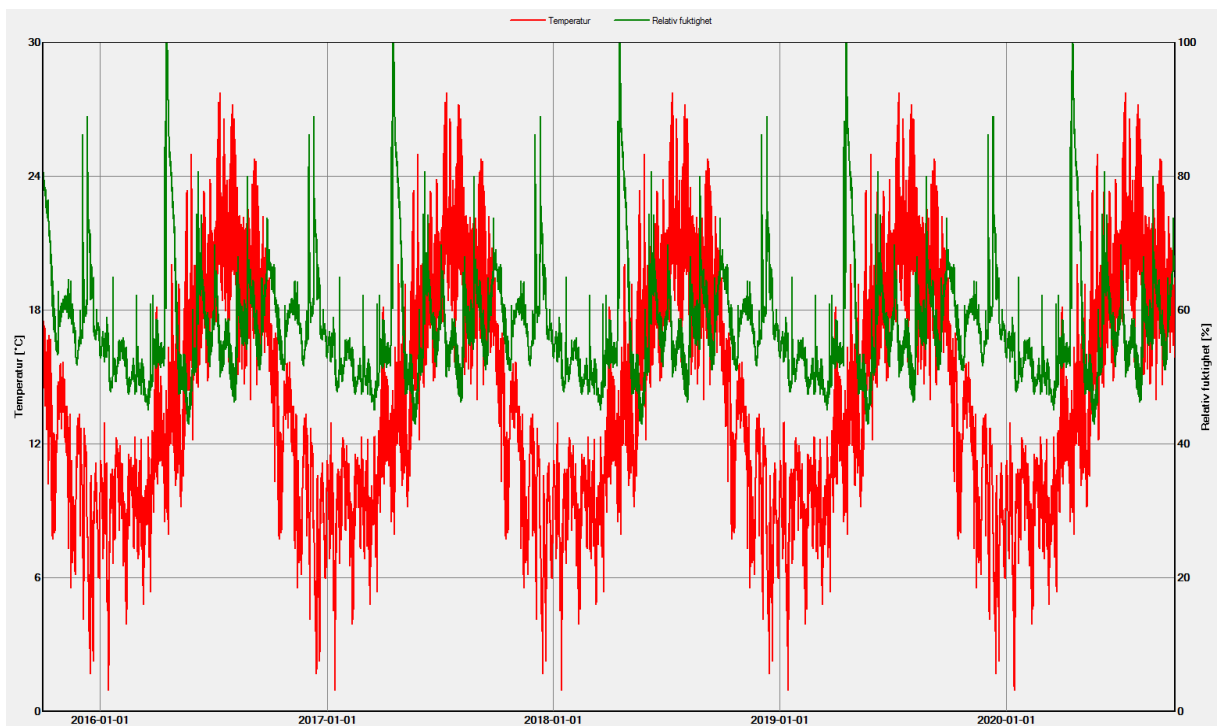
Figur 55. [Beräkningsfall RT3B] Temperatur och relativ fuktighet i insida träregel mot invändiga ångspärren/gipsskivan under 5 års beräkningstid (nordlig riktning, fuktkonvektion).



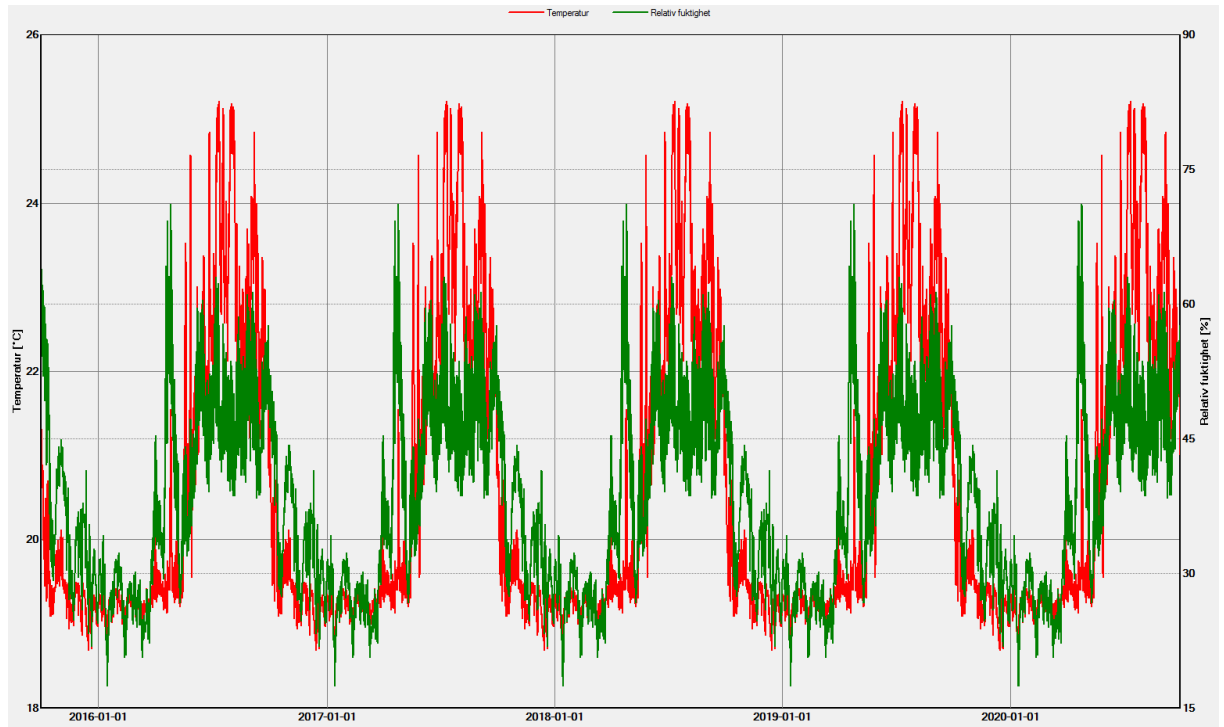
Figur 56. [Beräkningsfall RT3A] Temperatur och relativ fuktighet varierar i utsida regel mot vindskyddsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, läckage).



Figur 57. [Beräkningsfall RT3A] Temperatur och relativ fuktighet i insida träregel mot invändiga ångspärren/gipsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, läckage).

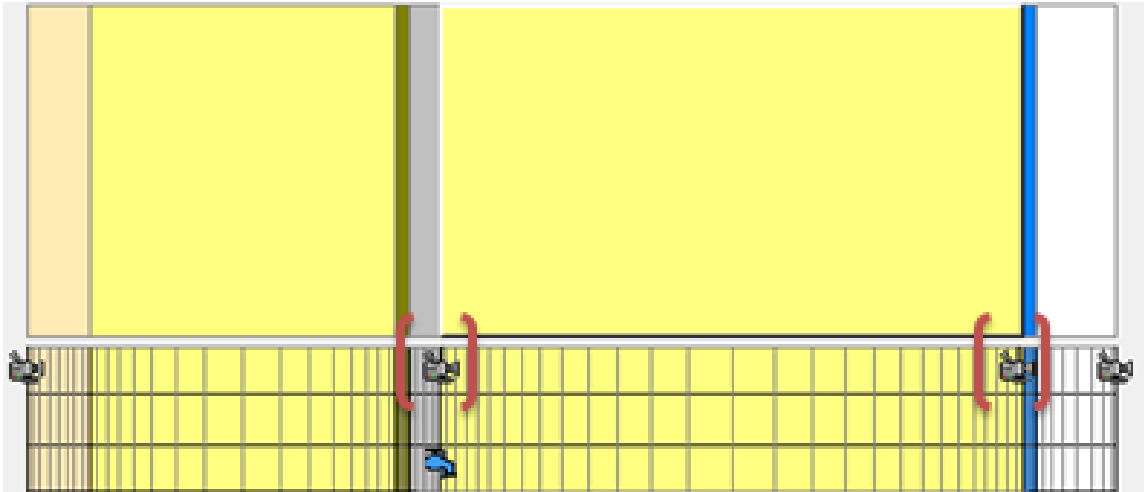


Figur 58. [Beräkningsfall RT3A] Temperatur och relativ fuktighet i utsida regel mot vindskyddsskivan under 5 års beräkningstid (nordlig riktning, läckage).

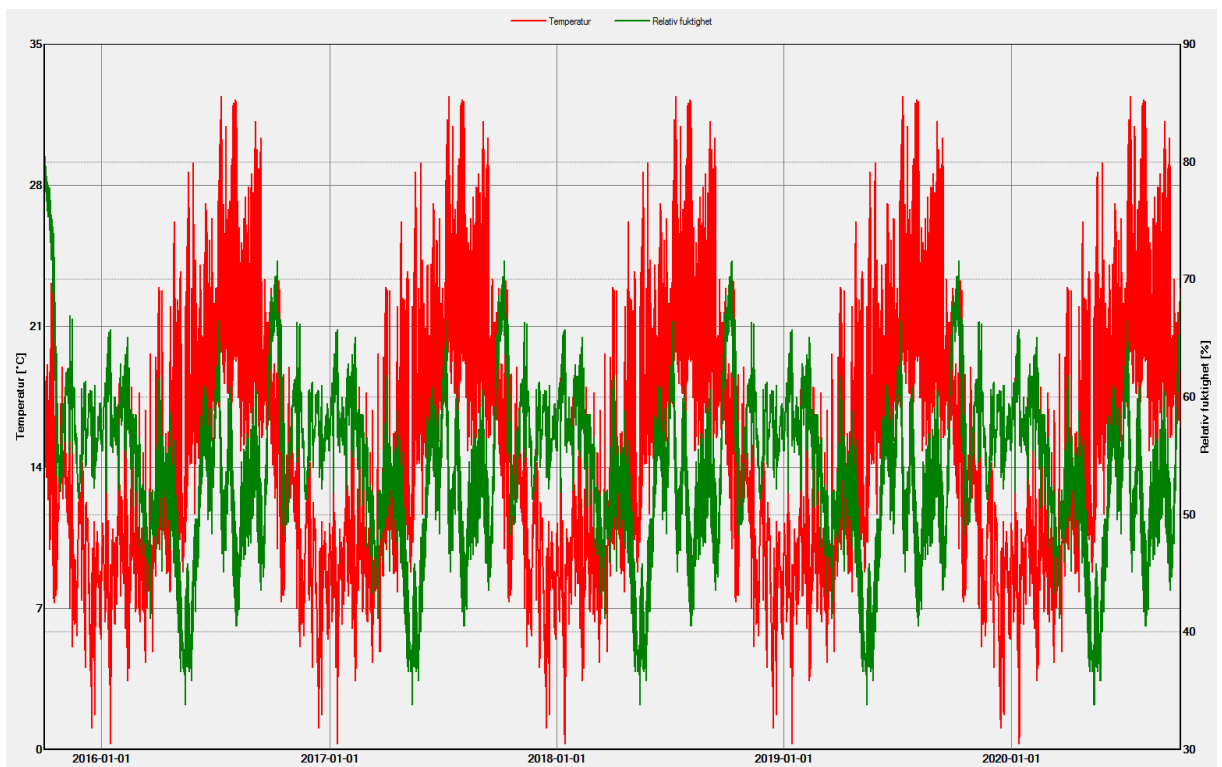


Figur 59. [Beräkningsfall RT3A] Temperatur och relativ fuktighet i insida träregel mot invändiga ångspärren/gipsskivan under 5 års beräkningstid (nordlig riktning, läckage).

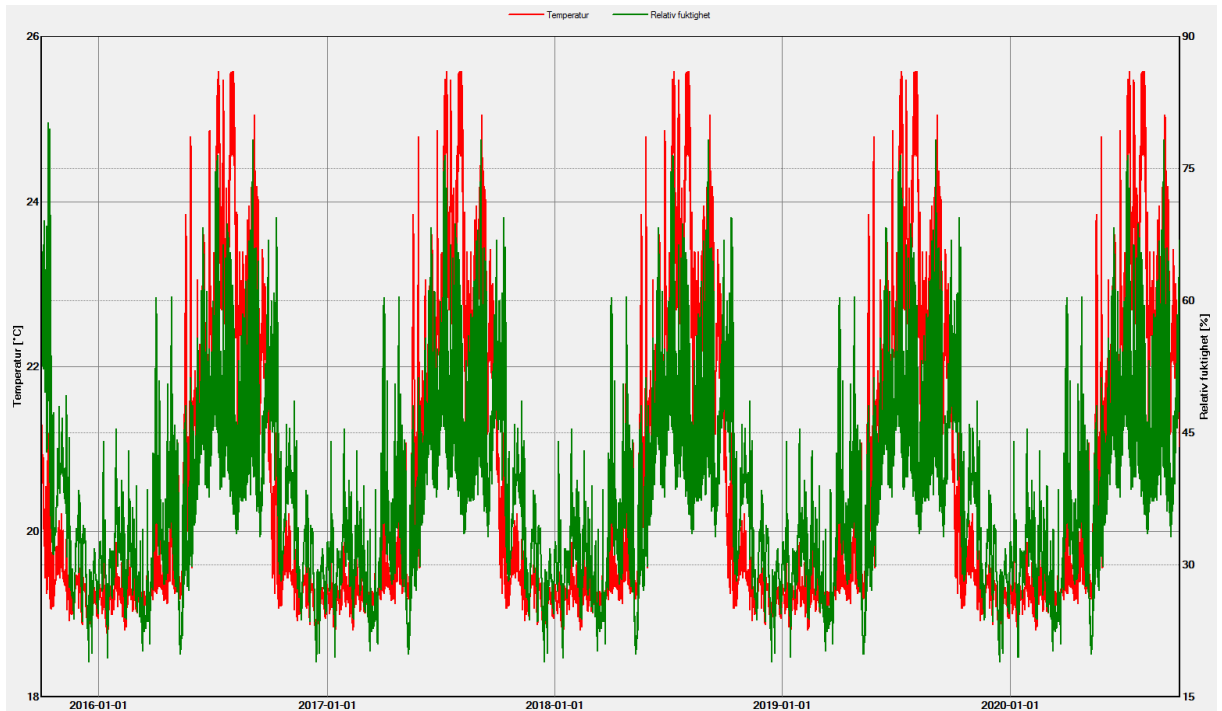




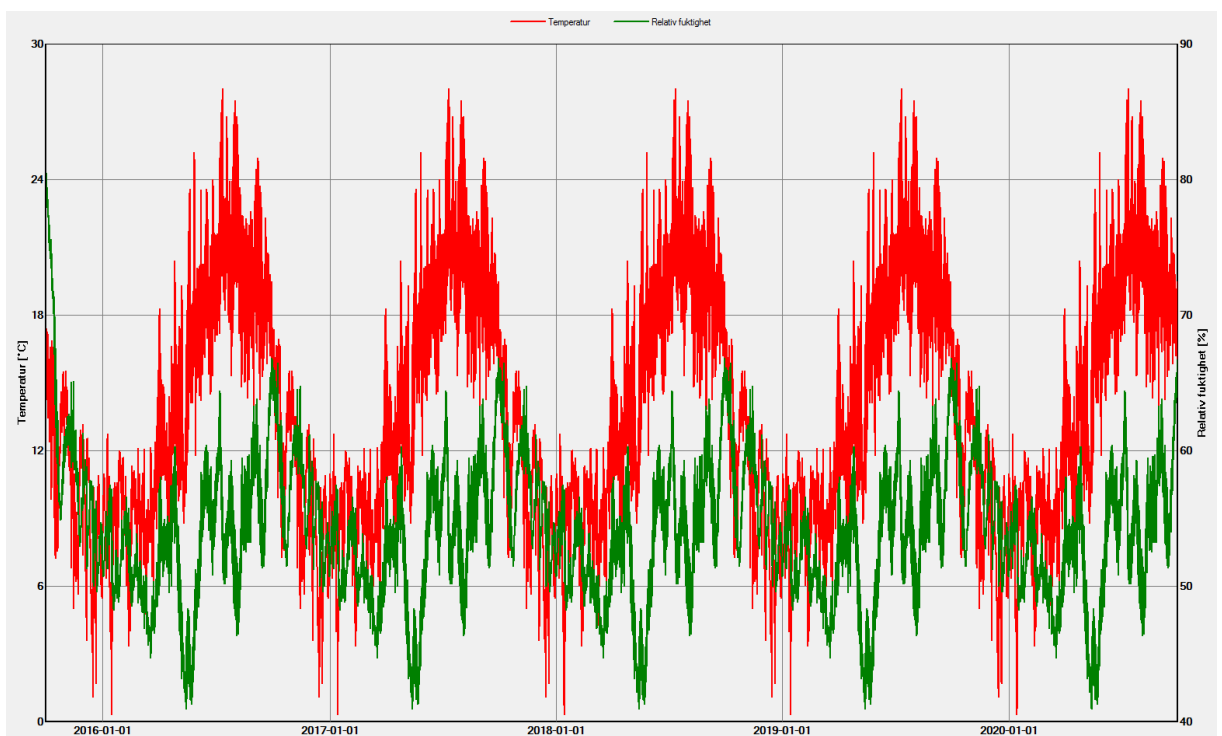
Figur 60. Beräkningsfall RT4.



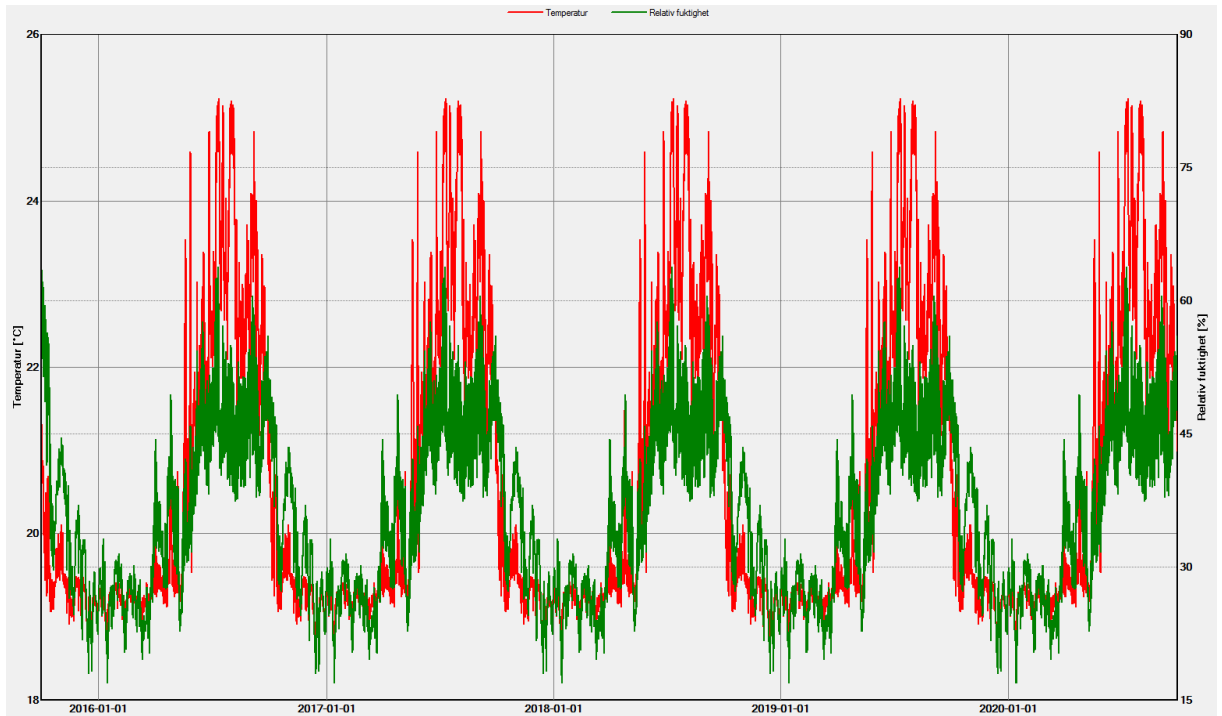
Figur 61. [Beräkningsfall RT4] Temperatur och relativ fuktighet i utsida regel mot vindskyddsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, fuktkonvektion).



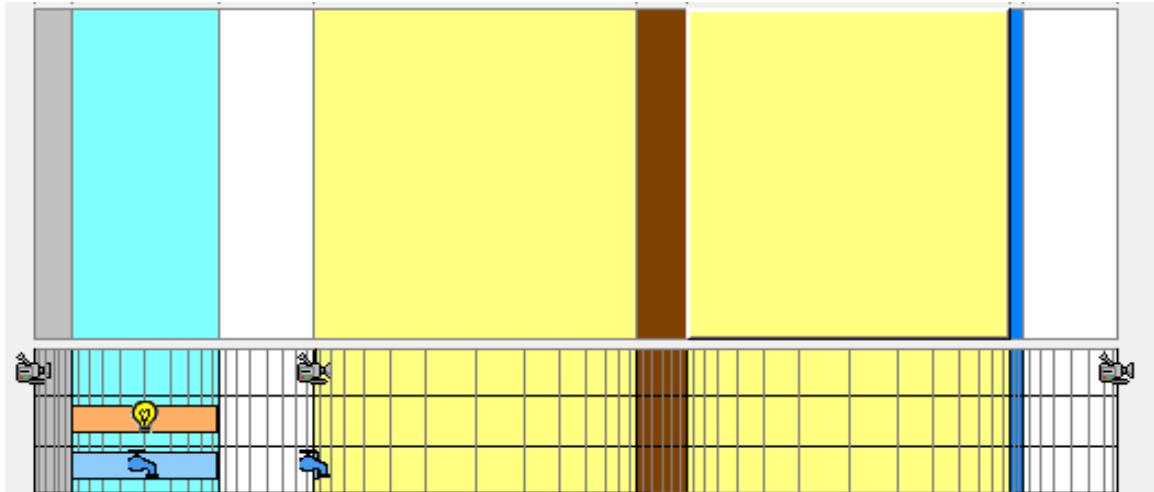
Figur 62. [Beräkningsfall RT4] Temperatur och relativ fuktighet i insida träregel mot invändiga ångspärren/gipsskivan under 5 års beräkningstid (sydlig riktning, fuktkonvektion).



Figur 63. [Beräkningsfall RT4] Temperatur och relativ fuktighet i utsida regel mot vindskyddsskivan under 5 års beräkningstid (nordlig riktning, fuktkonvektion).



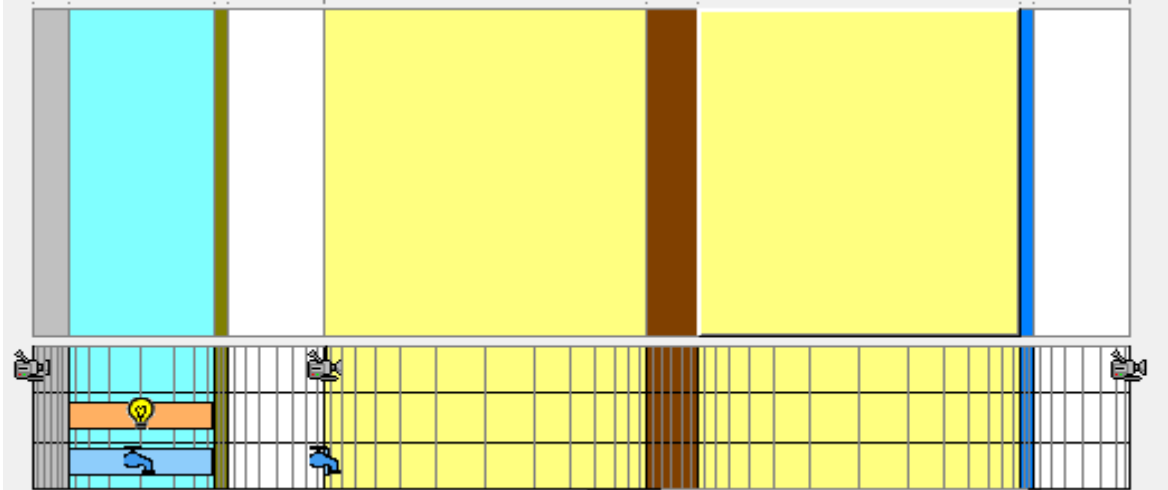
Figur 64. [Beräkningsfall RT4] Temperatur och relativ fuktighet i insida träregel mot invändiga ångspärren/gipsskivan under 5 års beräkningstid (nordlig riktning, fuktkonvektion).



Figur 65 Beräkningsfall R5.

Tabell 25. [Beräkningsfall R5] Mögeltillväxt mm/år.

NORR	Luftomsättning (oms/h)				
Fuktkvot (%)	10	30	100	-	-
16	2,321	1,742	1,319	-	-
18	7,548	4,330	3,020	-	-
20	18,154	11,601	6,480	-	-



Figur 66 Beräkningsfall R6.

Tabell 26. [Beräkningsfall R6] Mögeltillväxt mm/år (10 oms/h).

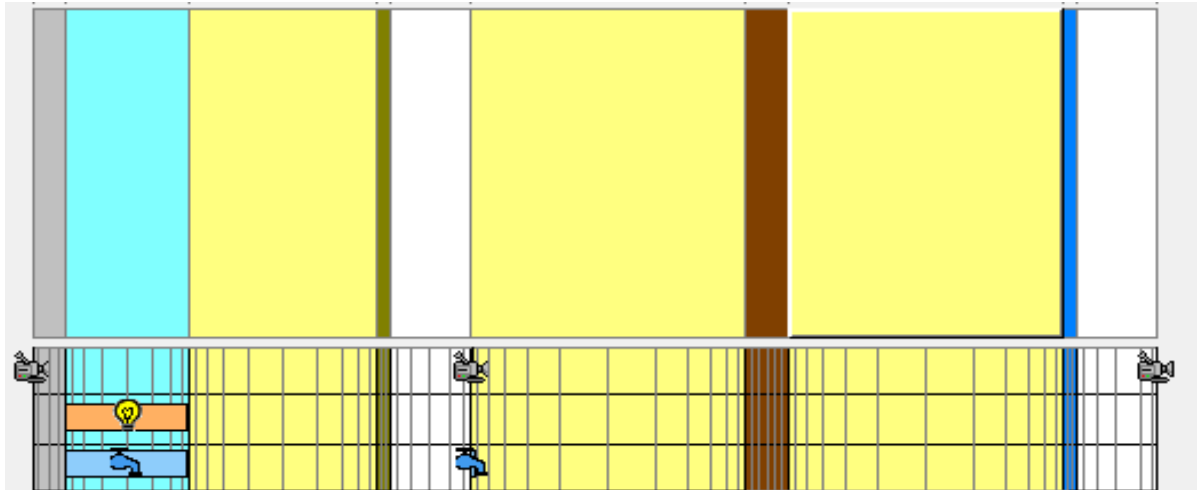
NORR	Ånggenomgångsmotstånd z (s/m)				
Fuktkvot (%)	$5 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$
16	3,226	10,082	24,423	44,106	-
18	13,972	34,986	67,853	111,323	-
20	29,897	69,450	127,862	194,566	-

Tabell 27. [Beräkningsfall R6] Mögeltillväxt mm/år (30 oms/h).

NORR	Ånggenomgångsmotstånd z (s/m)				
Fuktkvot (%)	$5 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$
16	2,606	7,714	21,069	39,758	-
18	9,933	29,145	60,500	102,391	-
20	22,553	59,621	115,817	182,567	-

Tabell 28. [Beräkningsfall R6] Mögeltillväxt mm/år (100 oms/h).

NORR	Ånggenomgångsmotstånd z (s/m)				
Fuktkvot (%)	$5 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$
16	2,207	6,505	19,547	38,275	-
18	7,085	25,509	56,967	99,000	-
20	17,464	53,310	109,559	177,247	-



Figur 67 Beräkningsfall RT7.

Tabell 29. [Beräkningsfall RT7] Mögeltillväxt mm/år (10 oms/h).

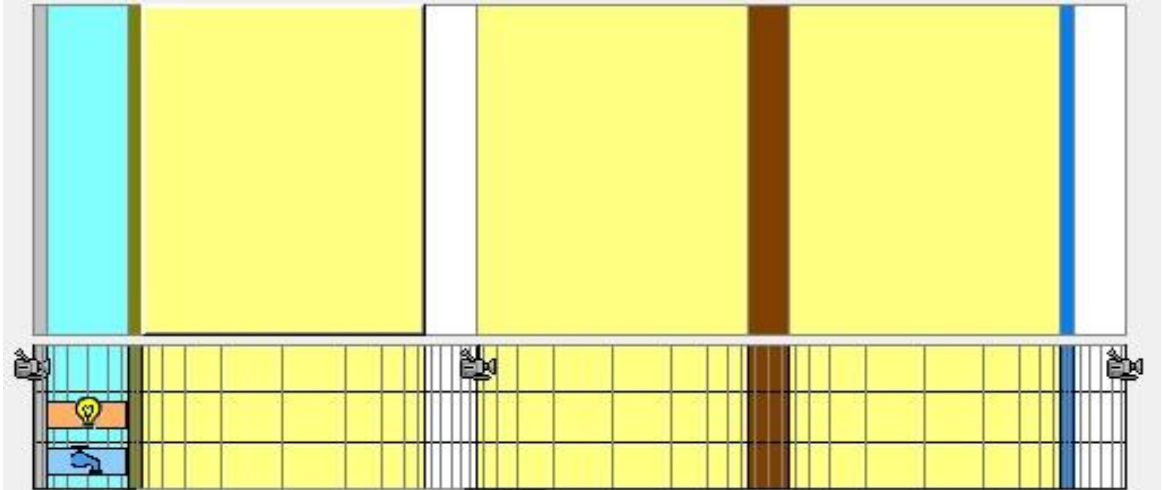
NORR	Ånggenomgångsmotstånd z (s/m)				
Fuktkvot (%)	$5 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$
16	2,108	3,395	4,472	7,086	-
18	4,513	10,122	22,118	33,001	-
20	11,170	29,565	52,105	74,135	-

Tabell 30. [Beräkningsfall RT7] Mögeltillväxt mm/år (30 oms/h).

NORR	Ånggenomgångsmotstånd z (s/m)				
Fuktkvot (%)	$5 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$
16	1,911	3,138	4,232	6,388	-
18	3,902	8,255	19,831	30,771	-
20	7,963	25,749	47,734	69,923	-

Tabell 31. [Beräkningsfall RT7] Mögeltillväxt mm/år (100 oms/h).

NORR	Ånggenomgångsmotstånd z (s/m)				
Fuktkvot (%)	$5 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$
16	1,745	2,916	4,094	5,907	-
18	3,286	6,944	18,133	29,372	-
20	6,369	22,982	44,709	67,320	-



Figur 68 Beräkningsfall N8.

Tabell 32. [Beräkningsfall N8] Mögeltillväxt mm/år (10 oms/h).

NORR	Ånggenomgångsmotstånd z (s/m)				
Fuktkvot (%)	$5 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$
16	1,151	1,221	1,274	1,321	-
18	1,904	2,839	4,321	6,075	-
20	4,215	12,574	19,329	21,602	-

Tabell 33. [Beräkningsfall N8] Mögeltillväxt mm/år (30 oms/h).

NORR	Ånggenomgångsmotstånd z (s/m)				
Fuktkvot (%)	$5 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$
16	1,123	1,197	1,258	1,308	-
18	1,671	2,662	3,869	5,748	-
20	3,754	10,698	18,495	21,268	-

Tabell 34. [Beräkningsfall N8] Mögeltillväxt mm/år (100 oms/h).

NORR	Ånggenomgångsmotstånd z (s/m)				
Fuktkvot (%)	$5 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^3$	$60 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$
16	1,088	1,170	1,235	1,284	-
18	1,507	2,496	3,629	5,484	-
20	3,213	9,231	17,629	20,810	-

### **SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**

SP-koncernens vision är att vara en internationellt ledande innovationspartner. Våra 1 400 medarbetare, varav över hälften akademiker och cirka 380 med forskarutbildning, utgör en betydande kunskapsresurs. Vi utför årligen uppdrag åt fler än 10 000 kunder för att öka deras konkurrenskraft och bidra till hållbar utveckling. Uppdragen omfattar såväl tvärtekniska forsknings- och innovationsprojekt som marknadsnära insatser inom provning och certifiering. Våra sex affärsområden (IKT, Risk och Säkerhet, Energi, Transport, Samhällsbyggnad och Life Science) svarar mot samhällets och näringslivets behov och knyter samman koncernens tekniska enheter och dotterbolag. SP-koncernen omsätter ca 1,5 miljarder kronor och ägs av svenska staten via RISE Research Institutes of Sweden AB.



### **SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

E-post: [info@sp.se](mailto:info@sp.se), Internet: [www.sp.se](http://www.sp.se)

[www.sp.se](http://www.sp.se)

Mer information om SP:s publikationer: [www.sp.se/publ](http://www.sp.se/publ)

SP Rapport 2015:87

ISBN 978-91-88349-06-4

ISSN 0284-5172

PART OF **RISE**