

# Fuktsäker energieffektivisering av befintlig bebyggelse

– Kan TES EnergyFaçade uppfylla svenska krav?



LUNDS  
UNIVERSITET  
Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Bygg- och miljöteknologi / Byggnadsfysik

Examensarbete:  
Daniela Hinas  
Lina Schlegel

© Copyright Daniela Hinas, Lina Schlegel

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Lunds universitet  
Box 882  
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering  
Lund University  
Box 882  
SE-251 08 Helsingborg  
Sweden

Tryckt i Sverige  
Media-Tryck  
Biblioteksdirektionen  
Lunds universitet  
Lund 2013

## Sammanfattning

En stor del av de bostäder som producerades under miljonprogrammet är i stort renoveringsbehov idag. Förutom invändig renovering och nya stammar behöver många av byggnaderna energieffektiviseras, då klimatskalen inte behövde vara lika täta då som idag eftersom kraven såg annorlunda ut och för att energin var billigare. Att renovera så stora volymer som miljonprogrammet innefattar skulle förenklas om man hade en generell metod med stor upprepningspotential och använde sig av industrialiserat byggande.

NCC deltar som koordinator i det EU-finansierade projektet E2Rebuild tillsammans med sex andra länder. Projektet har som mål att hitta ett energieffektivt sätt att renovera flerbostadshus i kallt klimat. Som en metod att energieffektivisera den befintliga bebyggelsen har TES EnergyFaçade använts och visat goda resultat enligt utvecklingarna av fasadsystemet. TES EnergyFaçade är ett fasadsystem av träregelstomme som monteras på utsidan av, eller ersätter befintlig yttervägg.

Den stora skillnaden att montera ett träregelsystem i Sverige jämfört med andra Europeiska länder är att Sverige har strängare regler för accepterade nivåer av relativa fuktigheter.

Vi har undersökt vad TES EnergyFaçades originalkonstruktion får för förväntade relativa fuktigheter. Originalväggen visar stor risk för mögelpåväxt redan första året och vi tog då fram andra alternativa konstruktioner för att hitta en lösning som klarar svenska BBR-krav. Fuktberäkningar i WUFI 4 och Folos visar resultat skillnad beroende på geografisk plats för beräkningen, där resultat i Lund oftast är sämre än i Stockholm och Kiruna. En fungerande lösning är att lägga till en ventilerad luftspalt innanför ytskiktet och i tillägg till detta går det att öka isoleringsskiktet, som i originalutförandet är 200 mm, med ytterligare 100 mm.

Nyckelord: Fukt, TES EnergyFaçade, energieffektivisering, Miljonprogrammet, mögel, WUFI

## Abstract

A large part of the buildings produced during the million program, "miljonprogrammet" in Swedish (a program which was made at a political level during the 1960's which meant that 1 000 000 dwellings had to be built in twelve years (1964-1975) in Sweden), are in great need of renovation. The building regulations have undergone a massive development and the energy costs have increased during these 50 years. Because of the dramatic increase in energy costs, many of the buildings are in need of energy efficiency retrofits. A general method with great replication potential utilizing industrialized construction methods would simplify the renovation of these buildings a lot.

NCC is part of an EU-financed project, E2Rebuild, together with other organizations from six participating countries. The project's goal is to find a way to renovate apartment buildings in cold climate and make them more energy efficient. One of the technologies, a new façade system called TES EnergyFaçade, has been used. According to the founders of this system the façade has shown good results. TES EnergyFaçade is a wood-frame-based construction which can be mounted on the outside, or can replace an existing exterior wall.

The main difference when it comes to using a wood-framed construction in Sweden compared to other European countries is that Sweden has much harder regulations in regards to the levels of relative humidity the organic materials in building constructions can be exposed to.

We have investigated the expected relative humidity of the original version of TES EnergyFaçade. The original version, without a ventilated airgap behind the façade, shows a large risk of mould growth already during the first year. Therefor we continued with our investigation to find alternative constructions that would meet the Swedish regulations. Moisture calculations were made with WUFI 4 and analysed with Folos. The calculations showed different results depending on the geographical locations. The calculations for Lund showed worse results than for Stockholm and Kiruna in all calculations. One modification to the construction which fulfills the Swedish standards is to modify the original TES-façade with a ventilated air gap and increasing the insulation thickness, which is 200 mm in the original construction, by 100 mm more.

Keywords: Moisture, TES EnergyFaçade, energy efficiency, Miljonprogrammet, mould, WUFI

## Förord

Detta examensarbete är det avslutande momentet i högskoleingenjörsutbildningen Byggt teknik med arkitektur vid Campus Helsingborg, Lunds tekniska högskola.

Vi valde att fördjupa oss i befintlig bebyggelse då större delen av utbildningen för övrigt är fokuserad på nyproduktion. Renovering, fuktproblem och energieffektivisering är något som intresserar oss och som är aktuellt idag.

Vi har under hela skrivandets gång delat upp arbetet lika mellan oss. Texter och beräkningar är gjorda av oss båda och vi har tillsammans analyserat, diskuterat och kommit fram till slutsatsen.

Vi vill tacka vår handledare Stephen Burke, NCC, för den tid och expertis han bidragit med till detta arbete.

Helsingborg, maj 2013

*Daniela Hinas och Lina Schlegel*

# Innehållsförteckning

<b>1 Inledning</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och målsättning	2
1.3 Problemformulering	2
1.4 Metod och avgränsningar	2
<b>2 Nulägesbeskrivning</b>	<b>3</b>
<b>2.1 E2Rebuild</b>	<b>3</b>
2.1.1 Sveriges roll	4
2.1.2 Tidigare resultat	4
<b>2.2 Tes EnergyFaçade</b>	<b>4</b>
2.2.1 Priser och utmärkelser	4
2.2.2 Energi och miljö	5
2.2.2.1 <i>Ekologiskt tänk</i>	5
2.2.2.2 <i>Energieffektivisering av befintlig bebyggelse</i>	5
2.2.3 Uppbyggnad	6
2.2.3.1 <i>Anpassningslagret</i>	6
2.2.3.2 <i>Mellanlagret</i>	7
2.2.3.3 <i>Klimatskalet</i>	7
2.2.4 Produktion	7
2.2.5 Montering	8
<b>2.3 Industrialiserat byggande</b>	<b>8</b>
2.3.1 TES-Metoden	9
2.3.1.1 <i>Tillvägagångssätt</i>	9
2.3.1.2 <i>Förväntat resultat</i>	10
<b>2.4 Miljonprogramhus</b>	<b>10</b>
2.4.1 Det karaktäristiska miljonprogramhuset	11
2.4.1.1 <i>Konstruktion och utseende</i>	11
2.4.1.2 <i>Byggnadstekniska problem</i>	11
2.4.2 Renoveringsbehov	12
<b>2.5 Regler och krav</b>	<b>13</b>
2.5.1 Sverige	13
2.5.1.1 <i>Dåtidens krav</i>	13
2.5.1.2 <i>Dagens krav</i>	14
2.5.2 Tyskland	15
<b>2.6 Fuktbegrepp</b>	<b>16</b>
2.6.1 Fukttransport	16
2.6.2 Mögel	16
2.6.3 Trä och fukt	17
2.6.4 Konsekvenser	18
2.6.4.1 <i>Röta och missfärgning</i>	18

2.6.4.2 Hussvamp.....	19
<b>3 Fuktberäkningar .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Beräkningsprogram.....</b>	<b>20</b>
3.1.1 WUFI 4.....	20
3.1.1.1 Påverkande faktorer .....	21
3.1.1.2 Värsta vädersträck.....	21
3.1.1.3 Slagregn och inträngning.....	22
3.1.1.4 Ytskikt.....	23
3.1.2 Folos 2D .....	27
3.1.3 Avläsning av diagram.....	27
<b>3.2 Konstruktioner .....</b>	<b>28</b>
3.2.1 Vägg A: Originalvägg .....	28
3.2.2 Vägg B: med luftspalt.....	29
3.2.2.1 Vägg C: med 100 mm extra isolering.....	31
3.2.3 Vägg D: med extra mineralullsisolering och med ventilerad luftspalt .....	32
3.2.3.1 Vägg E: med extra cellplastisolering och med luftspalt	33
<b>4 Diskussion - Går TES EnergyFaçade att använda i Sverige? ....</b>	<b>34</b>
<b>4.1 Analys av beräkningar .....</b>	<b>34</b>
4.1.1 Vägg A .....	34
4.1.2 Vägg B.....	34
4.1.3 Vägg C.....	34
4.1.4 Vägg D.....	34
4.1.5 Vägg E .....	35
4.1.6 Jämförelser .....	35
4.1.6.1 Vägg A och vägg B (med och utan ventilerad luftspalt)	35
4.1.6.2 Vägg C och vägg D (100 mm extra mineralullsisolering – med och utan luftspalt) .....	36
4.1.6.1 Vägg D och vägg E (100 mm extra isolering – Mineralull eller cellplast) .....	36
4.1.6.1 Jämförelse med och utan befintlig vägg.....	36
4.1.7 Kontroll av beräkningar .....	36
<b>4.2 Regler och krav.....</b>	<b>41</b>
4.2.1 Nu och då .....	41
4.2.2 Tyskland – Sverige.....	41
<b>4.3 Varför ska man använda eller inte använda TES EnergyFaçade?.....</b>	<b>42</b>
4.3.1.1 Fördelar.....	42
4.3.1.2 Nackdelar .....	43
4.3.1.3 Sammanvägning.....	44
<b>4.4 Vilka modifieringar behöver göras för att TES EnergyFaçade ska kunna användas i Sverige?.....</b>	<b>44</b>

<b>4.5 Vidareutveckling .....</b>	<b>48</b>
<b>5 Slutsats .....</b>	<b>48</b>
<b>6 Referenser .....</b>	<b>49</b>
<b>7 Bilagor.....</b>	<b>52</b>
<b>7.1 Bilaga 1: Kontroll av värsta vädersträck .....</b>	<b>52</b>
<b>7.2 Bilaga 2 - Beräkningsresultat.....</b>	<b>55</b>
<b>7.3 Bilaga 3 – Jämförelser .....</b>	<b>67</b>
<b>7.4 Bilaga 4.....</b>	<b>77</b>
<b>7.5 Bilaga 5.....</b>	<b>78</b>



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Till följd av bostadspolitiken under 1960- och 70-talet står vi nu, 50 år senare, inför en stor utmaning i att renovera och uppgradera runt en miljon bostäder i Sverige. Större delen av de byggnader som ingick i miljonprogrammet har ett stort renoveringsbehov och hög energianvändning om man jämför med de hus som byggs idag.

E2Rebuild är ett EU-projekt med åtta deltagande länder, vars huvudsakliga syfte är att utveckla ett energieffektivt sätt att renovera befintlig bebyggelse i kallt klimat.

TES EnergyFaçade är ett fasadsystem som utvecklats i Tyskland och använts inom E2Rebuild-projektet i flera av de deltagande länderna. Systemet har ännu inte testats i Sverige, problemet ligger i att fasadsystemet kanske inte uppfyller de svenska kraven inom fukt. TES EnergyFaçade är ett självbärande fasadsystem med träregelkonstruktion som fästs utanpå eller ersätter befintlig yttervägg.

Referensobjektet för våra beräkningar kommer vara kvarteret Giganten 1 och 7 i Halmstad, som är ett flerbostadshus byggt under miljonprogrammet på 60-talet. Huset har 91 lägenheter .



*Figur 1. Kvarteret Giganten.*

*Foto: Fyhr,K., 2011-03-04*

## **1.2 Syfte och målsättning**

Syftet är att undersöka om fasadsystemet TES EnergyFaçade går att använda för energieffektivisering av befintlig bebyggelse i Sverige. Målet är att komma fram till en fuktsäkert hållbar lösning som uppfyller Boverkets byggregler (förkortat BBR).

## **1.3 Problemformulering**

Vi ska undersöka om fasadsystemet TES EnergyFaçade uppfyller BBR-kraven inom fukt i Sverige. Om fasadsystemet inte uppfyller kraven ska vi undersöka om det går att modifiera fasaden så att kraven uppfylls.

## **1.4 Metod och avgränsningar**

Vi kommer att genomföra fuktberäkningar i WUFI 4 på originalkonstruktionen av TES EnergyFaçade för att se hur den klarar de svenska kraven. Ytterligare beräkningar kommer att genomföras på modifierade konstruktioner om originalkonstruktionen inte uppfyller förväntat resultat.

Fuktberäkningarna är avgränsade till att omfatta tre olika placerade geografiska platser i Sverige: Lund, Stockholm och Kiruna. I samtliga beräkningar kommer vi att utgå ifrån referensobjektet kvarteret Gigantens konstruktion. Hänsyn kommer endast tas till BBRs krav i kapitel 6:5 Fukt. Undersökningen kommer endast genomföras teoretiskt och inga mätningar på verkliga objekt kommer att utföras. Inga beräkningar inom energi eller ekonomi kommer att genomföras.

## 2 Nulägesbeskrivning

### 2.1 E2Rebuild

E2Rebuild är ett samarbetsprojekt mellan åtta länder i Europa. Projektet startade i januari 2011 och är ett 3,5 årigt EU-finansierat projekt och ett stort byggrelaterat utvecklingsprojekt. Målet är att hitta ett energieffektivt sätt att renovera flerbostadshus i kallt klimat. Bland de delaktiga aktörerna finns arkitektbolag, entreprenörföretag, universitet och forskningsinstitut. Det finns sju demonstrationsobjekt i form av befintliga byggnader placerade i sju olika länder.

Projektets uppgift är att beräkna, utreda och ta fram energieffektiviserande lösningar för ombyggnation av befintliga byggnader. Målet är att minska energianvändningen på de sju demonstrationsobjekten till 30-50 kWh/m<sup>2</sup> för ventilation, uppvärmning och varmvatten. Fokus ligger på att ta fram en metod för att industrialisera renoveringen av befintliga byggnader (E2Rebuild).

De flesta av byggnaderna som innefattas av projektet byggdes under 50-, 60- och 70-talet med hjälp av prefabricerade bygglösningar. Dessa byggnader har i dagens läge mycket dålig status i samhället, läcker mycket värme och har en sämre inomhuskomfort. Projektets utmaning är att utföra renoveringar på dessa byggnader med så små ekonomiska medel som möjligt och att samtidigt höja boendestandarden. Enligt Claesson-Jonsson (2013) ligger lösningen i att skapa en industrialisering av renoveringsarbetet med hög upprepningspotential för framställning till stora volymer. Med rätt metod förväntas byggnaderna nå passivhusnivå (Claesson-Jonsson, 2013).

Av de sju demonstrationsobjekten är sex helt färdigrenoverade och ett nyligen påbörjat. Att demonstrationsobjekten har varit i olika faser vid olika tidpunkter under projektets gång har tagits tillvara på och de objekt som genomgått ombyggnation har utvärderats i allt från hur planeringsarbetet utförs på bästa sätt, till framtagning av 3D-analyser för produktion. Det har tagits fram riktlinjer och rekommenderade metoder för mätning av demonstrationsobjektens energianvändning och termiska inneklimat för att få en så bra analys av projektet som möjligt (Desruelles, 2012). Forskning inom olika områden kommer sedan att följa upp demonstrationsobjekten för att utveckla planering och ombyggnadsstrategier, industriella produktionsmetoder, mätmetoder och boendeinteraktion (Hintze, 2013).

Arbetet med E2Rebuild är indelat i åtta arbetspaket (workpackage): WP1 kunskapsöverföring, WP2 demonstrationsprojekt, WP3 innovation i planering och design, WP4 innovation i konstruktion och teknologi, WP5 innovation i förvaltning och användning, WP6 industriell plattform för energieffektiv

förnyelse, WP7 resultatspridning och WP8 koordinering (Claesson-Jonsson, 2013).

### 2.1.1 Sveriges roll

NCC leder E2Rebuild som koordinator och medverkar i utvecklingsarbetet. Sverige deltar även med demonstrationsprojektet kvarteret Giganten i Halmstad, i samarbete med fastighetsägaren Apartment Bostad Väst. Kvarteret Giganten har genomgått invändig renovering med byte av rör för vatten och avlopp, nya kök och badrum, nya fönster, nytt värmesystem, ny frånluftsvärmepump och styrsystem för belysning (E2Rebuild). Den befintliga väggen på kvarteret Giganten var i så pass bra skick, så ett byte till eller tillägg av TES-fasaden var aldrig ett alternativ för Sveriges del. Tack vare att den befintliga väggen kunde bevaras blev renoveringskostnaderna för Sveriges demonstrationsobjekt betydligt mindre än övriga objekt i projektet. Energianvändandet för kvarteret Giganten beräknas minska från 174 kWh/m<sup>2</sup> till 53 kWh/m<sup>2</sup> (Johansson et al, 2011).

### 2.1.2 Tidigare resultat

Av de sju demonstrationsobjekten i E2Rebuild-projektet är det fem som har använt TES EnergyFaçade-systemet. Demonstrationsobjekten i London, Oulu, Augsburg, München och Rosendaal som alla har använt fasadsystemet kommer enligt beräkningarna att ha reducerat energianvändandet från 140-330 kWh/m<sup>2</sup>, år ner till 20-30 kWh/m<sup>2</sup>, år. Oulu-projektet i Finland har sänkt energianvändandet till passivhusnivå enligt finsk standard (E2Rebuild). De beräknade värdena är inte verifierade med mätningar.

## 2.2 Tes EnergyFaçade

Idén med TES EnergyFaçade är att energieffektivisera befintlig bebyggelse på ett enkelt och smidigt sätt. Detta görs genom att prefabricera fasadelement och sedan fästa dem på den befintliga ytterväggen.

### 2.2.1 Priser och utmärkelser

TES EnergyFaçade och Lattke Architekten som är arkitektfirman som står bakom fasadsystemet, har fått flera priser för idén och framtagningen av konceptet:

- Maj 2011 mottog de *The German Timber Construction Award* i kategorin produkt/idé (Kaufman, 2009-a).
- Juni 2011 fick de ta emot *Schweighofer Prize*, i kategorin innovation. *Schweighofer Prize* delas ut vartannat år i fem olika kategorier. TES EnergyFaçade fick det med motiveringen ”Nytänkande och förnyat

tillvägagångssätt för att behandla klimatförändringarna och för att ha tagit fram nya möjligheter att använda trä vid ombyggnationer”( Kairi, 2011).

- November 2012 vinner de *The German High Tech Champions Award in green buildings*. Tävligen är en del av initiativet “Research in Germany”.
- December 2012 är TES EnergyFaçade finalist för priset Research Award of the German Sustainability Award (Kaufman, 2009-b).

### 2.2.2 Energi och miljö

Brundtland-kommissionens rapport ligger till grund för det vi idag kallar hållbar utveckling. Brundtlandrapportens definition: ”*En hållbar utveckling tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov*” (Världskommissionen för miljö och utveckling, 1987).

Idag är det viktigt med en helhetsbild av allt material man bygger in i ett hus. Inga material får vara skadliga för de som ska bo i huset, eller för miljön runtomkring. Materialen får inte påverka miljön under framställning och inte heller då det rivs, d.v.s. ett ”från vagga till graven”- tänk är viktigt för att inte utnyttja jordens resurser mer än nödvändigt. Man kan dela in livscykeln i fyra steg: framställning av material, konstruktion av produkt, användandet av produkt, demontering och återvinning av produkt/material.

#### 2.2.2.1 Ekologiskt tänk

De ekologiska mål som finns för TES-fasaden är att uppnå en låg värmekonduktivitet med en så låg bruttovikt som möjligt för att minska materialåtgång, låg global uppvärmningspotential (GWP) (vilket innebär att klimatkompensationen för CO<sub>2</sub> ska vara +20 kg eller mindre) samt att energibehovet ska minska när fasaden är monterad.

TES-fasaden består till största delen av trä och är på så sätt en ekologisk och återvinningsbar produkt med bra kvalitet (Lattke et al, 2011).

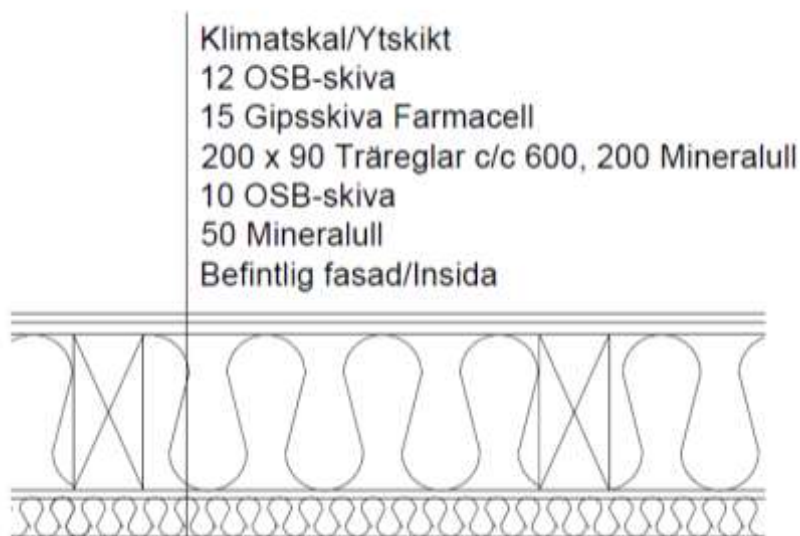
#### 2.2.2.2 Energieffektivisering av befintlig bebyggelse

TES-fasaden ska reducera den befintliga väggens U-värde, vilket medför att energin som går förlorad genom väggen minskar och genom att lufttäta klimatskalet minskar även de okontrollerade energiförlusterna via ventilationen. Det är dessutom möjligt att byta ut fönster i samband med fasadbytet, vilket medför en ytterligare energieffektivisering genom lufttäta och vädermotståndiga karmar samt isolerglas. Då fasaden är monterad ska den

ha en energieffektiviserande verkan på den befintliga byggnaden, samtidigt som ljudreduktionen i fasaden medför en förbättrad inomhusmiljö (Lattke et al, 2011).

### 2.2.3 Uppbyggnad

TES EnergyFaçade är ett självbärande fasadelement som består av tre lager; anpassningslagret, mellanlagret och panellagret. Vart och ett av lagren fyller varsin funktion och kan anpassas efter krav på brandsäkerhet, varaktighet och design.



Figur 2: TES EnergyFaçade originalkonstruktion.

Gällande brandsäkerhet, lufttäthet och ljudisolering bestämmer den existerande konstruktionen och strukturen av den befintliga byggnaden hur TES-fasaden ska anpassas för att uppnå önskade krav. En fasadkonstruktion utan håligheter, med undantag för ventilation, är en nödvändighet för att förebygga okontrollerad konvektion och brandspridning (Lattke et al, 2011).

#### 2.2.3.1 Anpassningslagret

Anpassningslagret kallas det lager av isoleringsmaterial som sätts mot den befintliga väggen eller fasaden för att jämna ut ojämnheter och få en slät yta att arbeta mot. Lagret har även andra funktioner ur brandsäkerhets- och byggfysiksynpunkt. Genom att fylla igen alla håligheter i den befintliga fasaden minskar brandspridningsrisken. Valet av isoleringsmaterial beror både på brandkrav och på byggnadskrav.

Anpassningslagret kan även fungera som utrymme för nya installationer. Genom att lägga rör och kanaler i TES-elementet, behöver man inte modifiera allt för mycket i den befintliga fasaden eller innerväggarna. Man måste garantera samma lufttäthet, brandsäkerhet, ljudkrav och tekniska krav för fasadsystemet som om det inte är installationer dragna i väggen. Moduler eller kanaler formas där installationerna dras. Beroende på hur stora installationerna är och hur dem ska dras kan man placera de på olika sätt i fasadelementet. Man kan antingen placera dem på utsidan av den existerande väggen och täcka dem med TES-elementet, eller montera installationerna inuti fasadsystemet. Vilket alternativ man väljer beror på utseende på den befintliga väggen och utformning och mängd av installationerna (Lattke et al, 2011).

### *2.2.3.2 Mellanlagret*

Lager nummer två är huvudlagret och utgör den största delen av energieffektiviseringen som uppnås med det nya fasadsystemet. Mellanlagret består av en träregelkonstruktion med mellanliggande isolering, det är i det här lagret den huvudsakliga isoleringen finns. Dimensionen på isoleringen kan anpassas beroende på de krav som finns och de önskningskunder har, grundversionen består av 200 mm isolering. TES-fasadens isoleringslager medför att värmetransporten genom väggen minskar och därmed även uppvärmningsbehovet. Den befintliga konstruktionen hålls varm med det nya lagret isolering vilket höjer inomhuskomforten genom högre ytemperaturer (Lattke et al, 2011).

### *2.2.3.3 Klimatskalet*

Det tredje och yttersta lagret av TES-elementen kallas panellagret och utgör byggnadens nya klimatskal. Fasadytskiktet kan bestå av i stort sett valfritt material; trä, plåt, tegel, glas och till och med plast. Det tredje lagrets huvudsakliga funktion är att skapa en vindtät varmväggskonstruktion samt skydda byggnaden mot fukt och vind från utsidan och släppa ut ånga och fukt från insidan. Klimatskalet ska bemöta kraven på täthet, styvhet, skydd mot mekanisk påverkan, brandmotstånd och ljudisolering (Lattke et al, 2011).

### **2.2.4 Produktion**

Bortsett från anpassningslagret, vilket måste sättas fast på plats, prefabriceras fasadelementen som identiska eller liknande moduler. Att elementen ser likadana ut är en förutsättning för fabriksstillverkning. Byggnader från perioden år 1950 till 1980 är ofta enkla och regelbundna i fasaden, vilket gör dem optimala för energieffektivisering med TES EnergyFaçade. De svenska miljonprogramhusen passar bra in på den beskrivningen.

Dimensionerna på elementen kan uppgå till 12x3,8 meter och anpassas efter byggnaden, hänsyn tas till våningshöjder och bärande konstruktion att fästa elementen i. Produktionen underlättas av att fasadelementet har minimalt med sammansättningar (ram, fyllning och panel) och är rektangulär och styv i formen. Under produktionen kan fönster samt VVS integreras i fasadelementen (Lattke et al, 2011).

### 2.2.5 Montering

Under tillverkningen av TES-elementen förbereds den kommande fixeringen vid den befintliga väggen. På plats monteras elementen var för sig och sätts sedan ihop med de intilliggande elementen. Byggnadsstrukturen på befintlig bebyggelse består ofta av en ojämn yta och med otillräcklig hållfasthet i strukturen, fasadsystemets fastsättning måste därför alltid anpassas till den befintliga byggnaden. TES-elementen kan i princip fästas på vilket ytskikt som helst, det krävs dock en detaljerad utredning för att kartlägga den befintliga byggnadens skador innan arbetet påbörjas.

För byggnader byggda mellan 1950 och 1980 finns det framförallt två karaktäristiska konstruktioner: skelettkonstruktion, d.v.s. pelar-balksystem, samt massiv konstruktion. Montering i en skelettkonstruktion blir relativt enkel genom att den gamla fasaden i de flesta fall rivs bort helt och ersätts med TES-element. Montering i en massiv konstruktion medför fler komplikationer eftersom att det ofta finns defekter och skador i ytskiktet och framförallt måste hänsyn tas till dimensioner och materialsammansättning där den befintliga väggen möter TES-elementen (Lattke et al, 2011).

## 2.3 Industrialiserat byggande

Målet med E2Rebuild är att ta fram en metod för industrialiserat byggande. Det innebär att effektivisera byggandet i helhet, alla processer fram till färdig produkt. Danielsson och Wahlström (2005) sammanfattar i sitt examensarbete industrialiserat byggande som eliminering av slöseri, slutet tillverkningsmiljö och utvecklad projekteringsfas. Målet med industrialiserat byggande är att slutprodukten ska bli kostnadseffektivare men med samma eller bättre kvalitet.

Man kan dela upp industrialiserandet i förbättringar på byggarbetsplatsen och förbättringar genom att förflytta delar av processen till fabriksmiljö. Förbättringar på byggarbetsplatsen kan handla om förbättrade kommunikationsverktyg, visualisering genom BIM, effektiviserade leveranser och kontinuerlig uppföljning av tidsplan för mindre förseningar. Förbättringar utanför byggarbetsplatsen i form av fabriksframställning kan jämföras med bilindustrins löpandebandsystem. Att på så sätt framställa stora volymer med stor upprepningspotential ska göra processen effektivare.



Det man måste skilja på är industriellt och industrialiserat byggande. Industriellt byggande är ofta prefabricerat, vilket i de flesta fall är kärnan och en självklar beståndsdel för att uppnå effektivare byggande och därmed industrialiserat byggande. Alltså är industriellt byggande ett verktyg till att nå industrialiserat byggande, men inte en obligatorisk del (Danielsson & Wahlström, 2005).

Engström (2013) skriver att E2Rebuild definierar industrialiserad renovering som: ”En noggrant utvecklad byggprocess för att ändra byggnader som redan är i bruk genom anpassning av ny teknik, utrustning eller system, med en väl lämpad organisation för effektiv hantering, beredning och kontroll av ingående aktiviteter, flöden, resurser och resultat för vilka högt utvecklade komponenter kan användas för att skapa maximalt kundvärde”

### 2.3.1 TES-Metoden

TES-metoden är en metod som är framtagen för att industrialisera byggandet, i detta fall tillsammans med TES EnergyFaçade, genom en systematisk och moderniserad process med alla steg från projektering till montering. Metoden togs fram för att det behövdes en renoveringsmetod som gick att använda i stor skala med prefabricerade byggnadsdelar och som minskade energianvändandet avsevärt. Den skulle även vara anpassningsbar för hela Europa. Målet med TES-metoden var från början bara att energieffektivisera, men den skulle även kunna minska utsläpp av växthusgaser. Byggnader ansvarar för stora mängder av de utsläpp av växthusgaser som sker i Europa, under både produktion av byggnadsmaterial, förvaltning och rivning. Tanken är att genom användning av förnybara material som trä ska man skapa ekologisk och hållbar renovering. En energieffektivisering av byggnader ska genom en industrialiserad metod kunna uppnås både genom att byggnaden i sig minskar sitt energianvändande, men även genom resurseffektivisering. Byggnadssektorn står för en stor del av materialanvändandet och ändrande av arbetssätt kan göra skillnad vad det gäller materialförbrukning. Två strategier togs fram för TES-metoden, det första att ta tillvara på och energieffektivisera befintlig bebyggelse, det andra ett ökat användande av förnybara material som trä och andra biologiska byggnadsmaterial (Lattke et al, 2011).

#### 2.3.1.1 Tillvägagångssätt

Tanken med metoden är att skapa ett flytande arbetsflöde som startar med en utvärdering av den befintliga byggnaden och därefter grundliga och noggranna projekteringar. Arbetssätt som digital mätning och avläsning, planering och prefabricerad framställning, montering och anpassning på plats, ingår i metoden. När man arbetar med prefabricerade lösningar kan ändringsarbeten

under själva produktionen bli väldigt kostsamma, en välgjort projektering är därför viktig. Med dagens moderna mätmetoder finns förbättrade möjligheter att anpassa ett fasadsystem som TES EnergyFaçade till den befintliga byggnaden. Med hjälp av 3D-scanning får man en detaljerad bild av befintlig yta och byggnad, som sedan används i alla steg i framställning och montering av den nya fasaden.

I utvärderingen av den befintliga konstruktionen är det några parametrar som måste analyseras, då främst:

- Det allmänna tillståndet.
- Defekter i konstruktionen som t.ex. korrosion i betongen.
- Om skikt eller delar behöver rivas eller tas bort från konstruktionen.
- Bärförmåga och tillståndet på möjliga punkter/zoner för förankring av fasadsystemet.
- Brandskydd, brandklass och resistensnivå.
- Skicket på de existerande sammanfogningarna mellan olika konstruktionsdelar.
- Egenskaper för de befintliga materialen så som t.ex. U-värde.
- Var det finns köldbryggor i den befintliga konstruktionen.
- Om det finns miljöfarliga ämnen eller material.
- Noggranna geometriska mätvärden.
- Tillgänglighet runt den kommande byggarbetsplatsen och närliggande område (Lattke et al, 2011).

### *2.3.1.2 Förväntat resultat*

Minskade växthusgasutsläpp och värmeenergianvändning är ett förväntat resultat av TES-metoden. Ökad lufttäthet och minskad värmetransmission genom väggarna kan ge en minskning av värmeenergianvändning med upp till 80-90% genom väggar, och 50 % för nya fönster. Även förnyade och utbytta installationer för värme och ventilation kan spara värmeenergi med upp till 25 % (Lattke et al, 2011).

## **2.4 Miljonprogramhus**

Miljonprogrammet bedrevs i Sverige 1964-75 och gick ut på att det skulle produceras en miljon bostäder i Sverige under denna tidsperiod. Bostadspolitiken kom till genom de bostadsköer som 1964 innehöll ca 400 000 personer. Miljonprogramhusen är väldigt typiska och känns lätt igen på sin enkla och återkommande utformning. Kända exempel på områden med

mycket lägenhetshus från den här perioden är Rosengård i Malmö, Råslätt i Jönköping och Tensta-Rinkeby i Stockholm. Totalt producerades 1 006 000 lägenheter i Sverige under de tio år miljonprogrammet pågick (Jörnmark, 2013).

#### 2.4.1 Det karaktäristiska miljonprogramhuset

Husen som byggdes under miljonprogrammet har ett karaktäristiskt utseende med enkel och upprepande utformning. Orsaken till den enkla utformningen var i vissa fall en förberedelse för prefabricering och på vissa ställen en konsekvens av prefabricering (VVS Företagen, 2009).

##### 2.4.1.1 Konstruktion och utseende

På 60-talet gick konstruktionen från att ha en längsgående hjärtvägg till att istället ha flera tvärgående. Detta möjliggjorde för att gå ifrån de tunga, bärande ytterväggarna och istället göra lätta utfackningsväggar som i vissa fall kunde prefabriceras.

Miljonprogramshusen består ofta av en bärande stomme i betong med utfackningsväggar av:

- murade lättbetongblock som putsats,
- rumsstora sandwichelement som inifrån och ut bestod av 100 mm betong, 100 mm mineralull och 50 mm betong, eller
- träregelstomme med 100 mm mineralull och fasad av eternitskivor, fasadplåt, fasadtegel eller betong.

Det typiska miljonprogramhuset är ett trevåningslamellhus som saknar vindsvåning och i vissa fall även källare. Det har ett låglutande tak med invändiga stuprör. Balkonger finns ofta på ena långsidan av huset, den andra långsidan är slät och gavlarna är ofta fönsterlösa (VVS Företagen, 2009).

##### 2.4.1.2 Byggnadstekniska problem

Flerbostadshusen från miljonprogrammet är i regel dåligt isolerade i tak och väggar. Isoleringen av miljonprogramshusen består av cirka 100 mm i väggar och 150 mm i tak, idag är isoleringsdimensionerna minst det dubbla.

Fönstren är tvåglasfönster med U-värde på runt  $2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$  (VVS företagen, 2009), vilket kan jämföras med dagens treglasfönster med U-värden på runt  $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ . De bästa fönstren som finns på marknaden idag når ända ner till  $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ .<sup>1</sup>

De ytterväggstyper som användes under miljonprogrammet dras med beständighetsproblem som korroderande armering och frostnedbrytning samt

---

<sup>1</sup> Tekn. Dr. Stephen Burke, NCC, samtal 2013-03-01 – 2013-04-29.

andra problem som dålig ljudisolerande förmåga. Väggarnas termiska prestanda bedöms vara nedsatta p.g.a. fukt från slagregn. Fuktiga ytterväggar medför lägre yttemperaturer under de kalla årstiderna och därmed även försämrad komfort för de boende (Molnár et al, 2013).

Fönsterkarmarna är ofta otäta och det förekommer även luftläckage i anslutningarna mellan yttervägg och fönsterkarm. Det finns gott om köldbryggor i klimatskalet och lufttätheten är dålig. Ofta är balkongerna i betong och utkragade från golvbjälklaget, vilket gör att de utgör stora köldbryggor. Andra vanliga köldbryggor finns i anslutningen yttervägg-bjälklag och yttervägg-hjärtvägg. Det förekommer även otätheter i anslutningarna mellan lägenheter vilket medför dålig ljudisolering lägenheter emellan.

Det är många miljonprogramhus som idag har fuktproblem i källare eller platta på mark. En otät bottenplatta kan ge läckage av markradon. På 60-talet var det vanligt med frånluftsvärme och på 70-talet kom till- och frånluftsvärme, båda ventilationssystemen saknade möjlighet till värmeåtervinning. Ventilationskanalerna har ofta dålig täthet vilket gör att de läcker varmluft och fläktarna i frånluftssystemen har dålig verkningsgrad vilket medför att åtgången på el blir onödigt hög. Självdragssystem har i regel slutat fungera som de ska p.g.a. ombyggnad eller bristfälligt underhåll. För ett typiskt miljonprogramhus ligger energianvändningen på runt 220 kWh/m<sup>2</sup> (VVS Företagen, 2009).

Det har gjorts försök att uppgradera en del av miljonprogrambeståndets ytterväggar med hjälp av tilläggsisolering och enstegstätade putsade fasader. Enstegstätade fasader var en vid uppförandet inte tillräckligt beprövad energieffektiviserande lösning som i efterhand visat sig leda till fuktrelaterade problem då det läckt in vatten i konstruktionerna som inte haft möjlighet att torka ut (Molnár et al, 2013). Tilläggsisolering på befintlig fasad innebär ofta köldbryggor där de nya reglarna fästs. För att undvika köldbryggor är det en idé att göra en fribärande yttre konstruktion som fästs en bit ut från den befintliga fasaden (Orrling och Larsson, 2009).

#### 2.4.2 Renoveringsbehov

Det är nu 50 år sedan de första miljonprogramhusen byggdes. Det är hög tid att renovera alla dessa hus och lägenheter. Eftersom att kraven på bl.a. energianvändning, fuktinnehåll, inomhusklimat och tätskikt i våtutrymmen är mycket högre idag än när de byggdes är det omfattande renoveringar som väntar. Andra förutsättningar som gjorde att energianvändningen inte

prioriterades var att energipriserna var lägre då än vad de är idag.<sup>1</sup> Ett fasadsystem som TES EnergyFaçade, om det uppfyller alla krav, skulle underlätta renoverandet av alla dessa hus genom ett färdigt koncept att bara sätta upp.

Högberg och Lind (2011) skriver att det finns en stor potential för energieffektivisering av miljonprogramhusen, även om det finns stora variationer i hur husen är byggda och fungerar kan det i många fall handla om besparingar på runt 30 %. Enligt beräkningarna för användandet av TES EnergyFaçade kan besparingarna bli betydligt större än så. Högberg och Lind (2011) skriver också att orsaken till att dessa energieffektiviserande åtgärder inte är vanliga är att de inte är ekonomiskt lönsamma. En annan aspekt på behovet av renovering av miljonprogramhusen är att energipriserna ökar, vilket medför större boendekostnader och mindre ekonomiska marginaler till reparationer och underhåll av den befintliga bebyggelsen (Molnár m.fl., 2013). Det blir en nedåtgående spiral, som innebär att det befintliga bostadsbeståndet står och förfaller, i värsta fall har de många miljonprogrambostadsområdena förvandlats till spökstäder i framtiden.

## 2.5 Regler och krav

De byggnadstekniska kraven i Sverige har ändrats en hel del sedan miljonprogramhusen byggdes och i Tyskland, där TES EnergyFaçade härstammar ifrån, är det helt andra krav än i Sverige när det gäller fukt i konstruktioner. Att fasaden uppfyller kraven i Tyskland betyder inte automatiskt att den uppfyller de svenska kraven. För att kunna lokalisera de byggnadstekniska problemen med att renovera ett 50 år gammalt hus så att de uppfyller dagens svenska krav med ett tyskt fasadsystem behöver samtliga krav definieras.

### 2.5.1 Sverige

#### 2.5.1.1 Dåtidens krav

”Värmeisoleringen hos en byggnad har två syften, dels ska ytemperaturen inte bli för hög eller låg, dels ska värmeförlusterna genom byggnadsdelen inte bli för stora. Sålunda måste t.ex. en byggnads ytterväggar isoleras i sådan utsträckning att ytemperaturen på insidan inte underskrider rumsluftens temperatur så mycket att kondensering och till följd därav hygieniska olägenheter uppstår. Därutöver bör man bestämma graden av värmeisolering från ekonomiska synpunkter” (Tell, 1964). Tell skriver även att det är viktigt

---

<sup>1</sup> Tekn. Dr. Byggnadsfysik, Ledande Teknisk Specialist Stephen Burke, NCC, samtal 2013-03-01 – 2013-04-29.

att undvika fuktansamling och stora inre luftrörelser i konstruktionen vid utformningen av klimatskalets uppbyggnad.

### 2.5.1.2 Dagens krav

Boverkets byggregler är den regelsamling som gäller för nybyggnationer och renoveringar i dag. I BBR är det följande tre paragrafer som berör renovering av miljonprogramhus och det eventuella användandet av TES EnergyFaçade i Sverige, ur fuktsynpunkt:

#### ”6:52 Högsta tillåtna fukttillstånd

Vid bestämning av högsta tillåtna fukttillstånd ska kritiska fukttillstånd användas varvid hänsyn tas till osäkerhet i beräkningsmodell, ingångsparametrar (t.ex. materialdata) eller mätmetoder.

För material och materialytor, där mögel och bakterier kan växa, ska väl undersökta och dokumenterade kritiska fukttillstånd användas. Vid bestämning av ett materials kritiska fukttillstånd ska hänsyn tas till eventuell nedsmutsning av materialet.

Om det kritiska fukttillståndet för ett material inte är väl undersökt och dokumenterat ska en relativ fuktighet (RF) på 75 % användas som kritiskt fukttillstånd” (Boverkets författningssamling, 2011).

#### ”6:53 Fuktsäkerhet

Byggnader ska utformas så att varken konstruktionen eller utrymmen i byggnaden kan skadas av fukt.

Fukttillståndet i en byggnadsdel ska inte överskrida det högsta tillåtna fukttillståndet om det inte är orimligt med hänsyn till byggnadsdelens avsedda användning.

Fukttillståndet ska beräknas utifrån de mest ogynnsamma förutsättningarna” (Boverkets författningssamling, 2011).

#### ”6:5324 Väggar, fönster och dörrar

##### Allmänt råd

Fasadbeklädnader av träpanel, skivor och dylikt samt skalmurar bör anordnas så att utifrån kommande fukt inte kan nå fuktkänsliga byggnadsdelar.

Detsamma gäller för fönster, dörrar, infästningar, ventilationsanordningar, fogar och andra detaljer som går igenom eller ansluter mot väggen.

Väggar av material med byggfukt, och mot vilka väggfasta fuktkänsliga inredningar m.m. monteras, bör ges möjlighet att torka ut eller så bör de fuktkänsliga delarna av inredningen skyddas.

Avståndet mellan markytan och underkant fuktkänsliga fasader bör vara minst 20 cm så att regnstänk inte gör fasaden fuktig eller smutsar ned denna” (Boverkets författningssamling, 2011).

## 2.5.2 Tyskland

I Tyskland finns det en standard för bevarande av trä i konstruktioner som heter DIN68800 Träskydd (Ott, 2013). DIN 68800 Träskydd trädde i kraft i oktober 2011 och ersatte tidigare versioner skrivna mellan åren 1974-1984 (Planquadrat Architekten, 2013). Den nya standarden relaterar till EN 350-1: 1994, som är en europeisk standard för ”metoder för bestämning av den naturliga förmågan för obehandlat massivt trä att angripas av röta och mögel, insekter och marina organismer samt principen av klassning av träarter baserad på resultat av dessa testmetoder” (APA, 2012).

”Det finns några generella krav i DIN68800:

- Konstruktionsvirke får inte ha en fukthalt på över 20 % när den används i byggnader.
- Det finns hårdare kriterier för fukttinnehåll i trä i EN 1995-1-1 beroende på användningsklassen. Tekniskt sett ska alltid tekniskt uttorkat konstruktionsvirke med ett fukttinnehåll lägre än 15 % +/- 3 % användas, precis som det står i KVH. ([www.kvh.eu](http://www.kvh.eu))
- Andra material i kombination med trä, t.ex. isolering, är inte tillåtna när de ökar träets fukttinnehåll vid kontakt, d.v.s. att våta material inte är tillåtet i kombination med trä.
- Relativ fuktighet får inte överstiga 85 % kontinuerligt under längre period än en veckas tid. Kondensation orsakad av hög fuktighet i trämaterial är tillåtet några dagar per månad.
- Ventilation av träet är nödvändig i de fall träet kommer utsättas för våta material och en högre relativ fuktighet än tillåtet.
- För slutna träregelkonstruktioner ska uttorkningskapaciteten vara  $\geq 250$  g/m<sup>2</sup>a vatten för takkonstruktioner och  $\geq 100$  g/m<sup>2</sup>a för väggar och innertak. Detta ska bevisas med en Glaserberäkning.
- För slutna träregelkonstruktioner finns det regler för ångmotståndet för panelen av träregelkonstruktionen och den likvärdiga luftspaltstjockleken (sd-värdet) enligt tabellen:

Tabelle 1 — Anforderungen an wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicken

$s_d$ -Wert außen	$s_d$ -Wert innen
$\leq 0,1 \text{ m}$	$\geq 1,0 \text{ m}$
$\leq 0,3 \text{ m}$	$\geq 2,0 \text{ m}$
$0,3 \text{ m}^a \leq s_d \leq 4,0 \text{ m}^a$	$6 \times s_d$ außen <sup>a</sup>
Dabei sind zusätzliche Dämmschichten auf der Raumseite bis 20 % des Gesamtwärmedurchlasswiderstandes zulässig.	
<sup>a</sup> Nur bei werksseitiger Vorfertigung nach Holztafelbaurichtlinie.	

„ 1

## 2.6 Fuktbegrepp

### 2.6.1 Fukttransport

Fukt är vatten i form av ånga, vätska eller is, och förekommer överallt. Fukt kan transporteras i material på tre olika sätt: diffusion, konvektion och transport i vätskefas.

Diffusion innebär ångtransport till följd av en ånghaltsskillnad. Luften innehåller en viss mängd vattenånga som kallas ånghalt, vilket beskriver hur många kg vatten en  $\text{m}^3$  luft innehåller. Om ånghalten är olika hög på t.ex. olika sidor om en vägg sker en utjämning av ånghalten som innebär att fukten förflyttas till den sidan med lägre ånghalt. Fukttransport i vätskefas kan ske med olika drivkrafter: vattenövertryck, tyngdkraft, kapillär kraft och vindtryck (Nevander & Elmarsson, 1994). Fuktkonvektion är fukt i ångfas som följer med en luftström skapad av lufttrycksskillnader till följd av vind, temperaturskillnader eller påverkan av ventilationssystem. Det som avgör storleken på konvektionen är lufttryck, täthet i konstruktionen och luftens ånghalt. Fuktkonvektion kan få allvarliga konsekvenser om varm och fuktig luft pressas igenom en otät konstruktion och kyls ned under transporten. Om luften kyls tillräckligt kan kondens uppstå och fukt kan ansamlas i konstruktionen. Vid invändigt övertryck är risk för kondensation till följd av fuktkonvektion som störst (Sandin, 2010).

### 2.6.2 Mögel

Mögel bildar sporer och mikroorganismer för att ha möjlighet att sprida ut sig över en större yta. Dessa sporer finns alltid i en viss mängd i luften och sedimenterar så småningom på olika material. Därigenom finns det inga helt rena material. Sporerna gror om förutsättningarna är gynnsamma och mögelsvamp kan börja växa. De kraven på miljön för att svampen ska leva är bl.a. fukt, näring, pH, temperatur och tillgång på syre. När sporen grott

<sup>1</sup> Architekt Dipl. Ing. (Univ.) Stephan Ott, E-postmeddelande 2013-04-30.



fortskridet till ett nätverk av sporer som sedan bildar mycel som växer på ytan. Mycelet i sin tur bildar nya sporer så att svampen kan reproduceras.

Mögelsvampar växer olika bra i och på olika material, och har olika stor möjlighet att utvecklas. Att bedöma i vilken utsträckning mögel kan växa är svårt, för det är många olika förhållanden som ska stämma. Materialets kritiska fuktillstånd, alltså lägsta fuktighet där ett specifikt material kan förändras negativt till följd av fuktpåverkan, räcker inte för att veta när mögelpåväxt kan ske. Tillgången på näring är avgörande men finns i de flesta fall hos byggnadsmaterialet och kan vara t.ex. nedsmutsning. Kraven på temperatur och tillgång till syre uppfylls oftast vid normala förhållanden, och är alltså inget som begränsar tillväxten. Det som då blir avgörande om mögelpåväxt sker eller inte är tillgång på fukt, för under en viss RF kan svampen inte växa. Dessutom måste fuktigheten vara kontinuerlig under en viss tid för tillväxten sker i olika faser. Trots att alla förhållanden är gynnsamma tar det en viss tid innan svampen börjar växa, om då fuktigheten minskar avbryts tillväxten och angreppet går tillbaka. Detta innebär att även om ett material blir snabbt uppfuktat som t.ex. vid en vattenskada, är det en tillräckligt hög hastigheten på uttorkningen som kan förhindra påväxt av mögel (Johansson, 2006; Johansson et al, 2005).

### 2.6.3 Trä och fukt

Trä består av cellulosa, hemicellulosa och lignin, som alla har stor benägenhet att absorbera vattenånga. Det är därför ett av de byggmaterial som har ett stort fuktinnehåll även vid normala relativa fuktigheter. Eftersom att träbaserade material är organiska och bryts ner av mikroorganismer, är de extra känsliga för mögel och rötangrepp.

Att mikroorganismer bryter ner trä är en naturlig del av kolets kretslopp. När vi bygger med trä tar vi träet ur dess naturliga kretslopp och vill då även undvika att träet bryts ner, för att det vi byggt ska vara beständigt. För att de nedbrytande mikroorganismerna ska kunna leva behövs rätt temperatur, tillräckligt fuktinnehåll och tillgång på syre. Det finns tekniker för hur det går att undvika mögel och rötangrepp på trä, kärnan i detta är att fuktinnehållet inte får vara högt när det är varmt. Byggtekniska fel och brister, som byggfukt som inte har möjlighet att torka ut, otillräcklig ventilation, avsaknad eller felaktig utformning av vattenavrinning och kondensbildning i väggar, leder till höga halter fukt i trä (Burström, 2008).

Träets fuktkvot eller den omgivande miljöns och angränsande materials relativa fuktighet är avgörande för om det kan ske mögelpåväxt eller inte. Inverkan av temperatur, ljus, varaktighet och lufthastighet är också parametrar som påverkar. Även om det finns underlag för påväxt så krävs fortsatta

förhållanden för att det ska fortgå. Som dimensionerat värde på relativ fuktighet i trä och andra organiska material anges 80 %. Detta är inte ett definitivt värde eftersom många parametrar påverkar. Erfarenheter säger att trä utomhus kan klara RF över 80 % utan mögelpåväxt, om det är skyddat mot regn. Undersökningar vid låga temperaturer är inte lika tillförlitliga men man vet av erfarenhet att trä kan utsättas för högre fuktighet om temperaturen är lägre (Nevander & Elmarsson, 1994).

#### 2.6.4 Konsekvenser

Fukttekniska krav för byggnader är till för att skapa en beständig byggnad med en hälsosam inomhusmiljö. En byggnad med fuktskador är i regel ohälsosam av emissioner från fuktiga byggnadsmaterial som förorenar luften. Det krävs att man skyddar byggnaden både mot fritt vatten och också vatten i ångform. Fritt vatten innebär skydd mot nederbörd både under byggtid och senare (ex. städ- och duschvatten), skydd mot ytvatten och uppstigande markfukt. Vatten i ångform eller ångtransport innebär att man ska hindra stora fukttillstånd i konstruktionen till följd av att fuktig inomhusluft tränger in. Höga fukttillstånd kan leda till att kondensation uppstår, som sker då vattenånga träffar en kall yta. Kallare luft kan hålla en mindre mängd vattenånga vilket medför kondensation (Sandin, 2010).

##### 2.6.4.1 Röta och missfärgning

Det finns flera olika grupper av svampar som gör angrepp på byggnadsmaterialet. Huvudgrupperna är missfärgande svampar och rötsvampar. De missfärgande svamparna lever av lösliga ämnen på träet, och ger som namnet antyder missfärgning på materialet. Svamparna medför ingen minskning av hållfasthet i materialet, utan angreppet är endast estetiskt. Dock kan ett angrepp av missfärgande svampar senare leda till röta, eftersom det visar på att fuktkvoten i materialet är hög. Mögelsvampar och blånadssvampar hör till gruppen missfärgande svampar. Mögelsvamparna ger en obehaglig lukt, och blånadssvamparna ger gröna, bruna, svarta eller blåa missfärgningar. Rötsvamparnas angrepp är allvarligare, eftersom hållfastheten försämras i materialet. Brunrötesvampar, vedmusslingen och hussvampen är exempel på rötsvampar. Vissa rötsvampar lever inne i materialet och är svåra att upptäcka, andra kräver riktigt höga fuktkvoter vilket endast uppkommer i samband med läckage eller bristande regnskydd (Burström, 2008). Det som är överensstämmande för samtliga rötsvampar är att de på olika sätt bryter ned vedcellerna och på så sätt minskar beständighet och hållfasthet och ökar deformationer (Nevander & Elmarsson, 1994).

#### 2.6.4.2 *Hussvamp*

Den äkta hussvampen är en av de farligaste rötsvamparna man kan få angrepp av därför att den är mycket snabbväxande. Hussvampens mycel bildar långa strängar, så svampen har goda förutsättningar för att sprida sig över en stor yta. Den kräver precis som andra rötsvampar en viss fuktkvot i materialet för att börja växa, ca 30 % är optimalt. Det som dock skiljer sig från andra rötsvampar är att även vid minskad fuktkvot, ända ner till 17 % fortsätter svampen att växa obehindrat, pga. att vid nedbrytning av träet, som kan gå mycket snabbt, skapar den eget vatten som behövs för dess tillväxt. Den utsöndrar enzymer som spjälkar cellulosamolekylerna i träet, vilket leder till att cellulosa förstörs, men inte ligninet. Följden blir att träet blir brunfärgat, minskar i volym och spricker. Hussvampen finns nästan uteslutande i fuktiga inomhuslokaler (Burström, 2008).

## 3 Fuktberäkningar

För att undersöka vilka tendenser för mögelpåväxt och uttorkningsegenskaper TES EnergyFaçade besitter har fuktberäkningar genomförts.

Fuktberäkningarna har simulerats för tre platser i Sverige; Lund, Stockholm och Kiruna. Referensobjektet är det samma för samtliga platser: kvarteret Giganten i Halmstad. Referensobjektets utfackningsväggar består av sandwichelement, exakt hur de är uppbyggda framgår inte av ritningarna från år 1962 och vi har därför gjort en kvalificerad uppskattning baserad på hur sandwichelementen brukade se ut under 60- och 70-talet: inifrån och ut är det 100 mm betong, 100 mm mineralull, 50 mm betong.

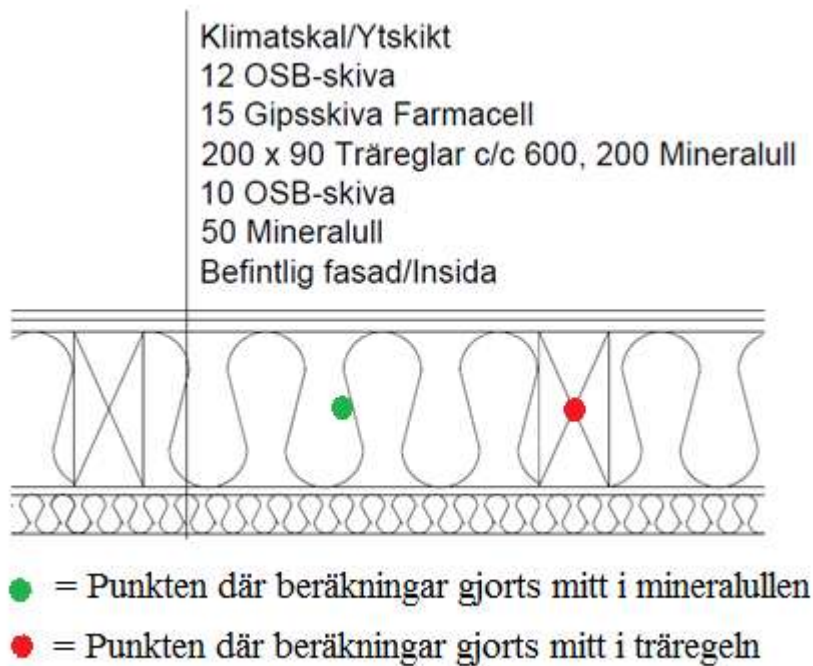
### 3.1 Beräkningsprogram

#### 3.1.1 WUFI 4

WUFI är ett beräkningsprogram utvecklad av Fraunhofer Institut für Bauphysik i Tyskland, den svenska versionen som vi har använt är framtagen av Fuktcentrum, avdelningen för Byggnadsfysik vid Lunds Tekniska Högskola. Programmet används för att verifiera risken för bland annat mögelpåväxt i konstruktioner och byggnadsdelar och tar hänsyn till både värme- och fukttransporter (Fuktcentrum). I WUFI visar beräkningarna hur stor risken är för kondens i byggnadsdelar, hur fort byggfukt torkar ut, hur konstruktionen påverkas av slagregn, hur renoveringar påverkar byggnaden fukt- och värmemässigt samt hur de termiska egenskaperna hos konstruktioner påverkas av användandet och olika klimatzoner (Fraunhofer IBP).

Byggnadsdelar och konstruktioner i flera skikt kan sättas ihop i programmet, klimatbelastningar och andra fuktkällor kan regleras och resultatet blir realistiska beräkningar av icke-stationära värme- och fuktförhållanden (Fuktcentrum).

WUFI 4 är ett endimensionellt program, där det inte går att se hur träreglar och mineralull i samma skikt samverkar. TES-fasaden är en träregelkonstruktion och eftersom vi anser att mineralullen och träreglarna påverkar varandra ur fuktsynpunkt har vi gjort beräkningar både genom träregeln och genom mineralullen.



Figur 3: Beräkningspunkter i konstruktionerna.

### 3.1.1.1 Påverkande faktorer

Vid beräkningar med WUFI 4 är det enligt S. Olof Mundt Petersen några faktorer som påverkar resultatet mer än andra;

- Mängden ansatt inträngande slagregn
- Var och hur djupt slagregnsinträngningen ansätts
- Hur högt luftflödet är i luftspalter och material som i till exempel mineralull
- Det vädersträck som testas, den fasad som utsätts för störst andel slagregn är normalt sett dimensionerande.<sup>1</sup>

För att ta fram ett verklighetstroget utgångsläge för fortsatta beräkningar undersökte vi ovanstående punkter närmare.

### 3.1.1.2 Värsta vädersträck

Det första steget i beräkningarna var att ta fram det värsta scenariot, det vill säga fasaden i det vädersträck som utsätts för mest slagregn, för de tre olika platserna. Samma vägg testades i alla vädersträck för att kunna jämföras – det vädersträck som gav högst fukttinhåll och mest mögelpåväxt plockades ut

<sup>1</sup> Doktorand S. Olof Mundt Petersen, Avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola, E-postmeddelande 2013-04-03.

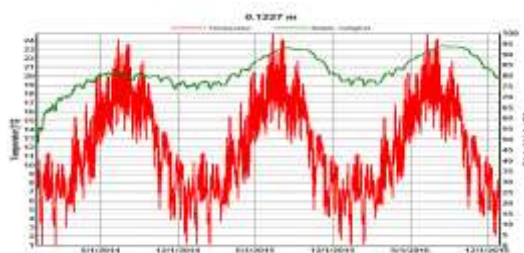
som värsta scenario, se bilaga 1. För Lund var det sydväst, för Stockholm var det öster och för Kiruna var det nordväst som var avgörande. Dessa vädersträck var de som användes i de vidare beräkningarna. I beräkningarna användes klimatdata från LTH.

### 3.1.1.3 Slagregn och inträngning

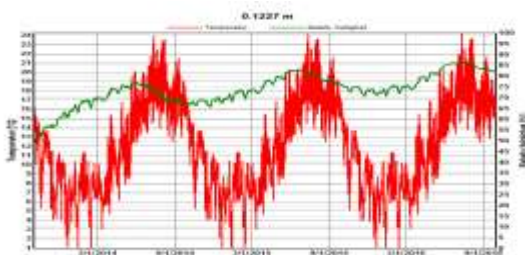
Olika halter av inträngande slagregn samt hur långt in i fasaden slagregnet tränger har testats för att uppskatta ett rimligt värde på dessa och jämföra hur resultaten skiljer sig. Tester gjordes med 0,1 %, 0,5 % och 1 % slagregn som tränger in 0,01 m in i skiktet (där slagregnet ansätts) innanför klimatskalet samt för 1 % slagregn med en inträngning på 0,001 m in i samma skikt.



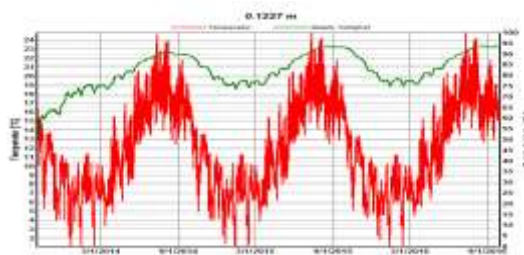
0,5 % slagregn; 0,01 m inträngning.



1 % slagregn; 0,01 m inträngning.



0,1 % slagregn; 0,01 m inträngning.



1 % slagregn; 0,001 m inträngning.

Figur 4: Relativ fuktighet: Olika slagregn och inträngning: originalvägg, Lund, genomskärning i mineralull.

Diagrammen vi fick fram visar inga betydande skillnader, mer än att 0,1 % slagregn givetvis inte fuktar ner lika mycket som 1 % slagregn. Vi valde att använda det ”värsta fallet”; 1 % slagregn som tränger 0,01 m in i träregeln i våra vidare beräkningar.

### 3.1.1.4 Ytskikt

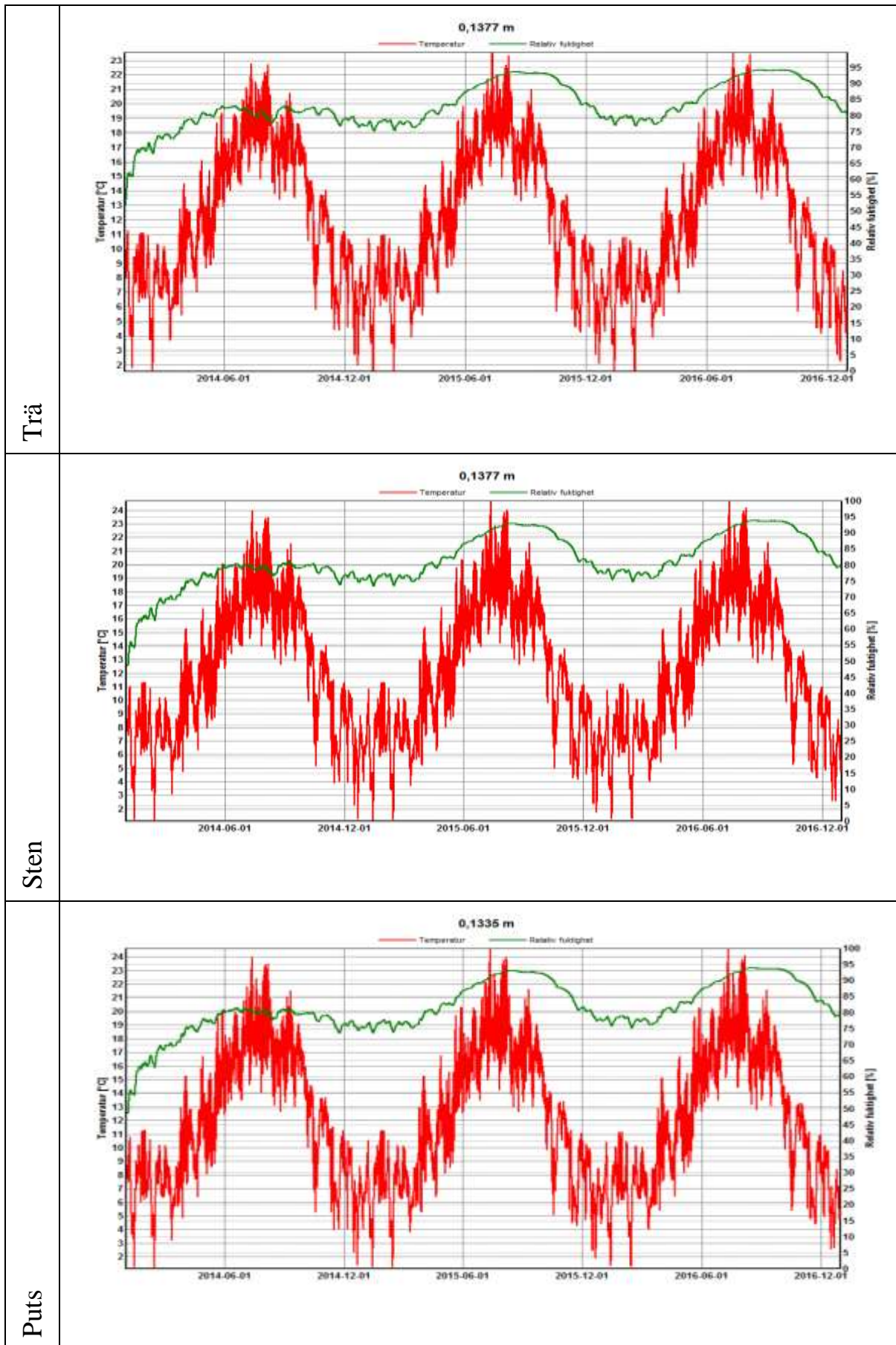
Eftersom att TES-fasaden kan konstrueras med en rad olika ytskikt testade vi skillnaderna på hur olika ytskiktsmaterial påverkade fukttinnehållet i väggen. Vi har testat tre olika ytskikt: trä, sten och puts. Vi har originalväggen som grundkonstruktion i samtliga fall, och har endast ändrat ytskiktet.

Mätningen har gjorts mitt i mineralullen och det vi vill undersöka är hur de olika ytmaterialen är beständiga mot inträngande vatten, och om de förhindrar en uttorkning eller inte av inträngd fukt. Vi har i detta fall endast undersökt RF i mineralullen.

Tabell 1. Materialdata hämtad från WUFI 4.

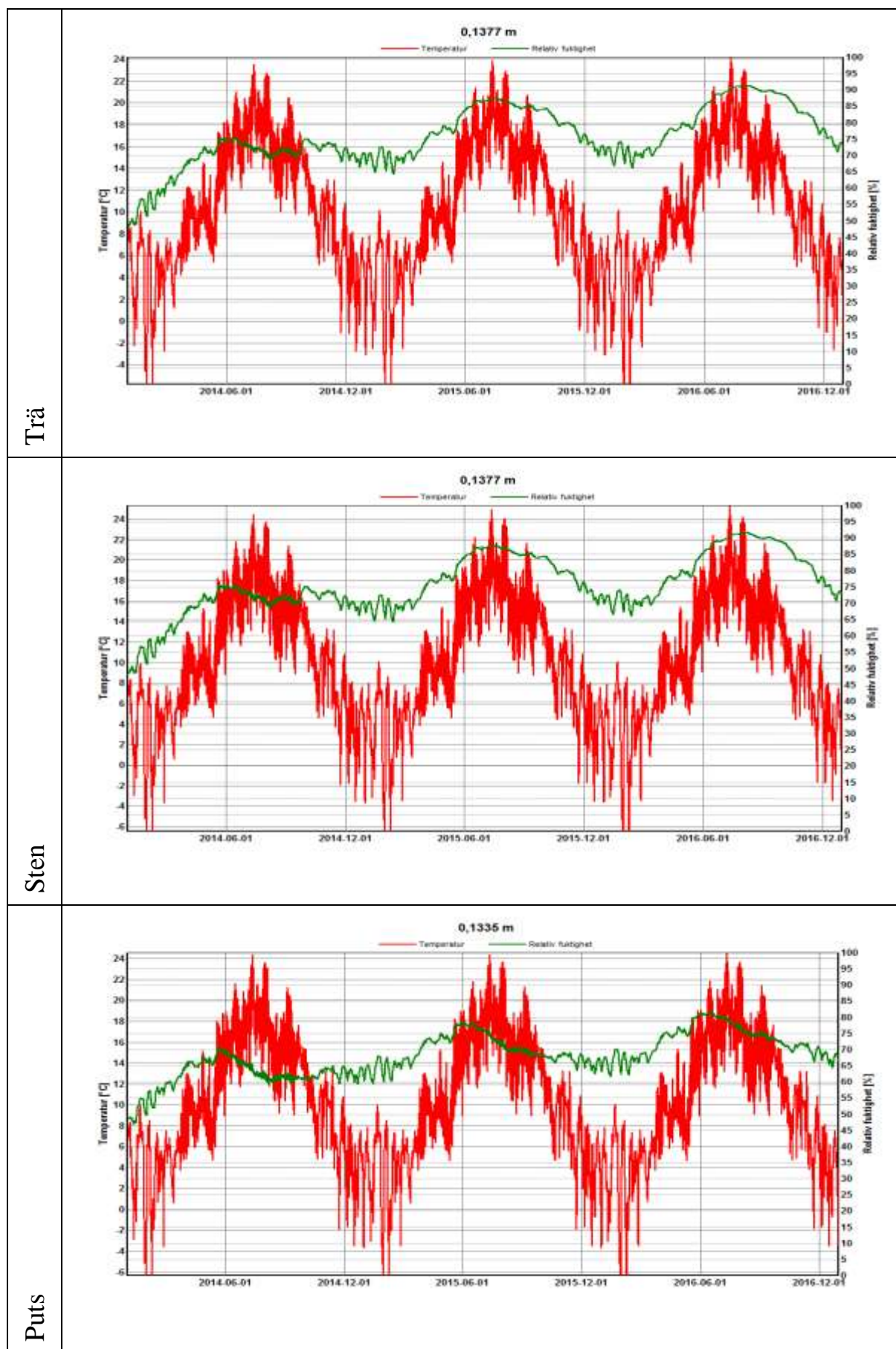
	Trä	Gotländsk sandsten	Puts
<b>Skrymdensitet, (kg/m<sup>3</sup>)</b>	450	2060	1900
<b>Porositet, (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)</b>	0,55	0,24	0,24
<b>Specifik värmekapacitet torr, (J/KgK)</b>	1500	850	850
<b>Värmeledningsförmåga torr, (W/mK)</b>	0,08	0,17	0,8
<b>Diffusionsmotstånd för vattenånga (-)</b>	9	15,6	25

Alla beräkningar är utförda i mest utsatta orienteringen från tidigare undersökning: Lund – sydväst, Stockholm – öst och Kiruna – nordväst.

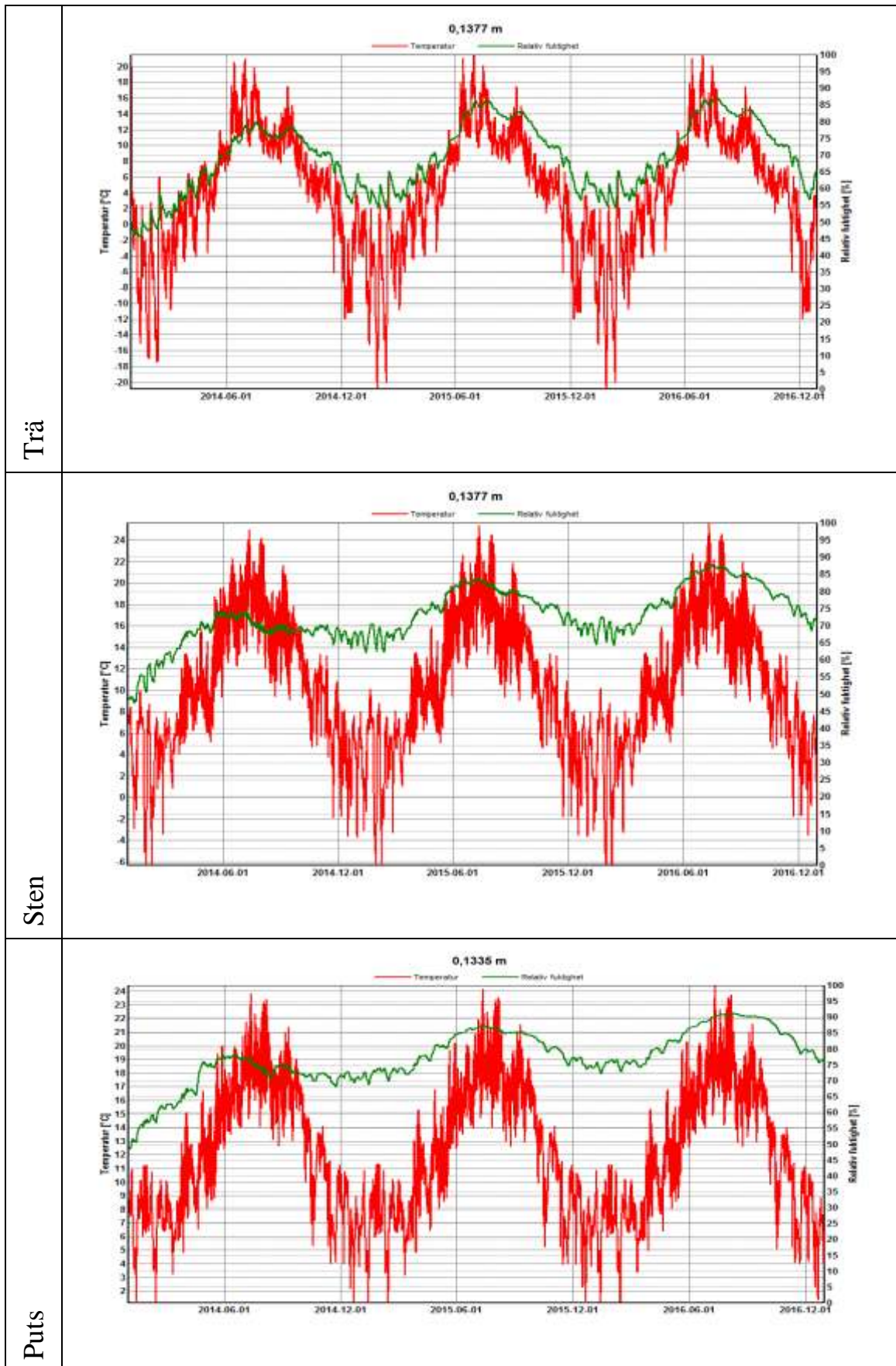


Figur 5. Olika ytskikt i Lund.





Figur 5. Olika ytskikt i Stockholm.



Figur 6. Olika ytskikt i Kiruna.

För samtliga orter är resultatet för de olika ytskikten lika varandra, och RF ligger mellan 75-85 % första året för att sedan stiga för varje år. RF minskar under vinterhalvåret för samtliga orter och ytskikt med lite varierad amplitud. Den maximala RF ligger mellan 80-95 % och uppnås det tredje året, efter kontinuerlig ökning och det skulle krävas beräkningar under en längre tid för att se en stagnering. Vi anser att eftersom det är så små skillnader mellan de olika ytskikten påverkar det inte beräkningarna nämnvärt.

### 3.1.2 Folos 2D

De fuktberäkningsprogram som finns på marknaden idag är begränsade till att endast redovisa risken för fukt och mögelpåväxt. De modeller som finns tar inte hänsyn till alla parametrar, Folosdiagrammet är ett kompletterande diagram till de mögel och fuktberäkningsmodeller som känns till i nuläget. Diagrammet kan användas för att jämföra riskerna för mögelpåväxt i olika konstruktioner, jämföra uppmätta och beräknade värden och för att visa hur risken för mögelpåväxt varierar beroende på vilken mögelmodell som används (Mundt Petersen m.fl., 2012).

Vi har tagit värden från våra beräkningar i WUFI och använt i Folosdiagrammet för att tydligare kunna avgöra huruvida det förekommer risk för mögelpåväxt eller ej och i sådana fall i vilken utsträckning och om den antagna mögelpåväxten är konstant eller periodvis.

### 3.1.3 Avläsning av diagram

I WUFI-diagrammen är röd graf temperatur och grön graf är relativ fuktighet i det skikt som data avlästs ifrån. I samtliga beräkningar har vi tagit data mitt i skiktet med träreglar och isolering, det vill säga 100 mm in i träregelstommen, oavsett hur väggen ser ut och hur den har modifierats. Beräkningar har alltid gjorts både i mineralullen och i träreglarna, därför blir det två beräkningar per stad och konstruktion.

I Folos-diagrammen är ”main construction” skiktet med mineralull och ”second construction” är träreglarna.

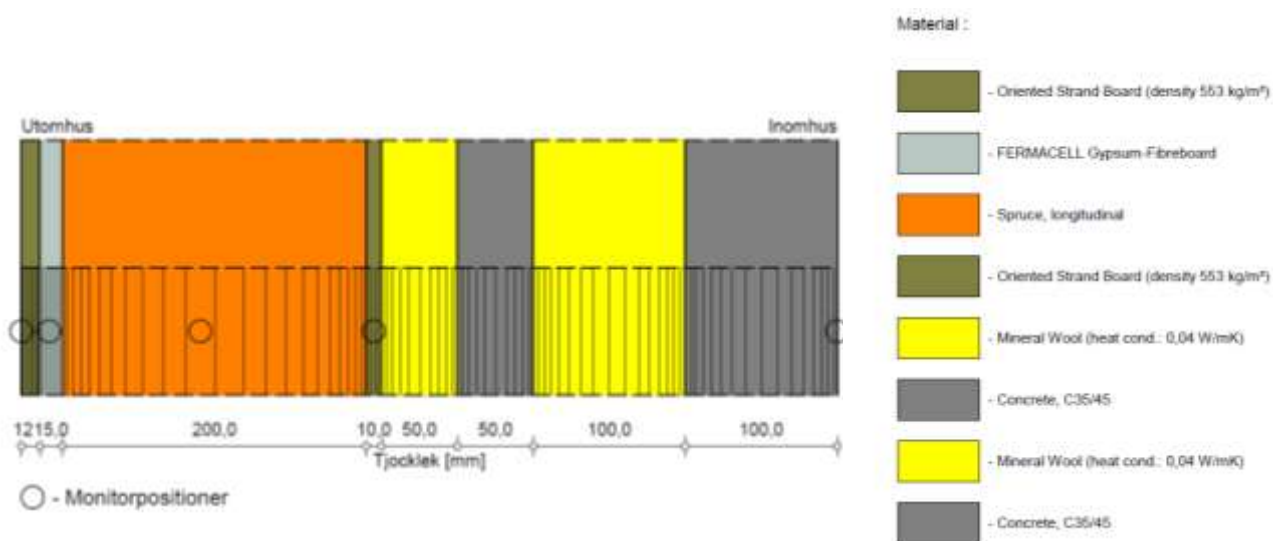
Om inget annat anges är beräkningarna gjorda med en befintlig väggkonstruktion bakom fasadelementet.

## 3.2 Konstruktioner

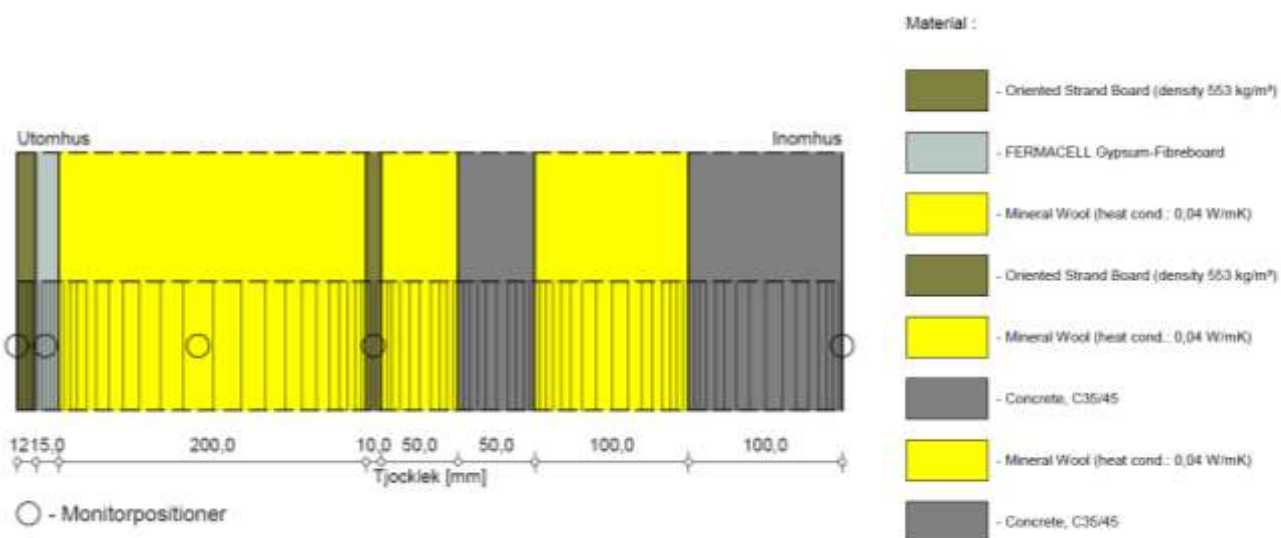
Beräkningar har gjorts på alla tre försöksorter och fuktvärden har mätts i monitorposition 3, alltså mitt i mineralullen eller träet. Positionen har valts för att lätt kunna jämföra resultat från de olika konstruktionerna. Inga kontroller av var den mest fuktkritiska positionen finns har gjorts, men extra kontroller i flera positioner har gjorts för de bästa konstruktionslösningarna. Diagram från beräkningarna finns i bilaga 2, och resultat analyseras i kapitel 4.

### 3.2.1 Vägg A: Originalvägg

TES EnergyFaçade i sitt originalutförande monterad framför den befintliga väggen. I detta fall har vi inte ändrat något i utformningen.



Figur 7: Original TES EnergyFaçade, genomskärning i trä.



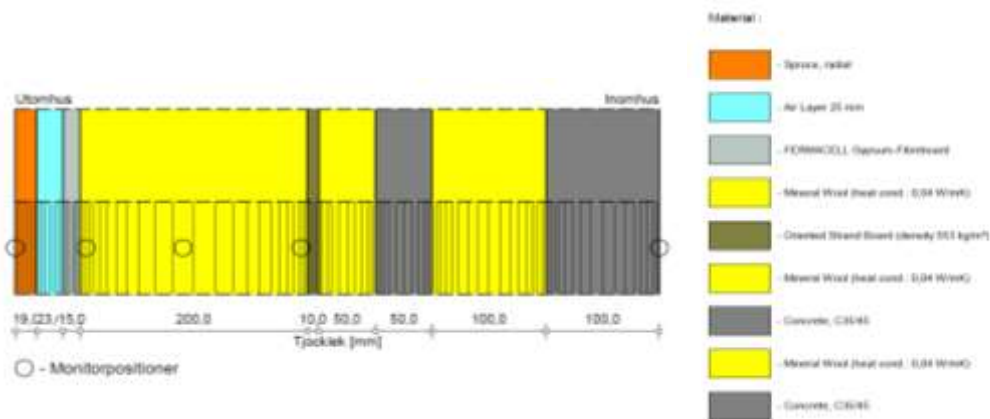
Figur 8: Original TES EnergyFaçade, genomskärning i mineralull.

### 3.2.2 Vegg B: med luftspält

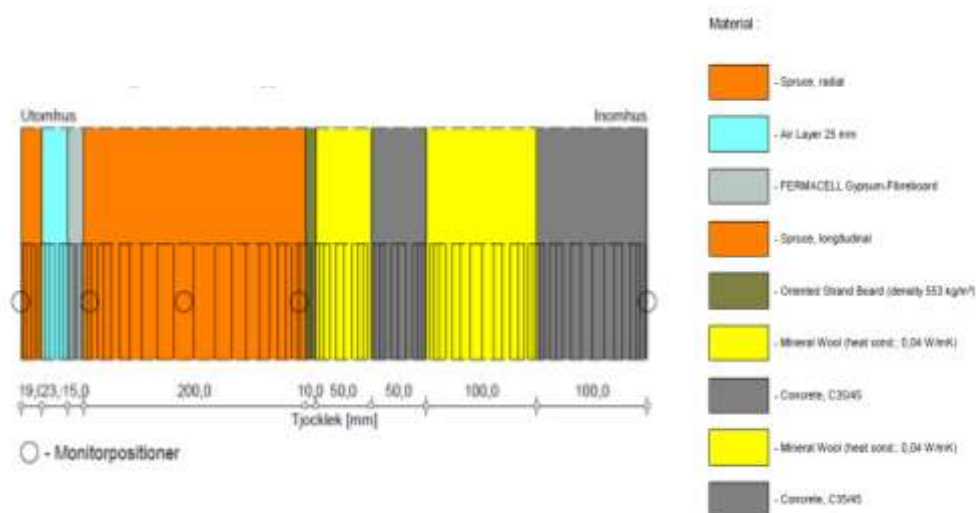
I ett försök att göra om den tyska konstruktionen så den kan uppfylla och anpassas till svenska klimat och lägsta standard enligt BBR gjorde vi följande förändringar:

- Undersökningar både med befintlig vägg och utan har gjorts. I de fall där den befintliga väggen är bortplockad har vi lagt till en fuktspärr på den inre sidan av träregel- och isoleringsskiktet.
- TES-fasaden saknar luftspält innanför ytskiktet, och vi ansåg att det behövs för att förbättra förutsättningarna för uttorkning av inträngd fukt. Vi placerade en ventilerad luftspält med en luftomsättning på 100 oms/h mellan ytskiktet och gipsskivan.

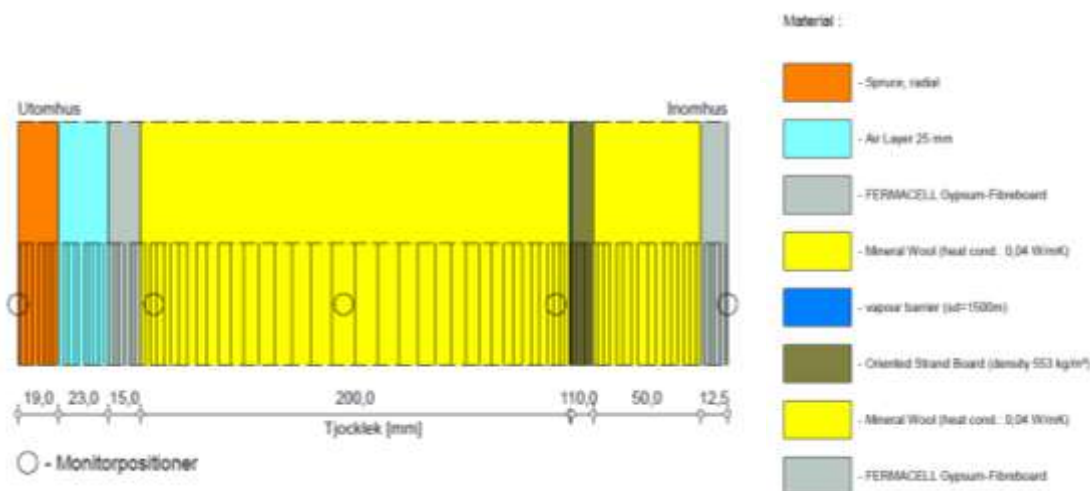
Nedan visas uppbyggnaden av de fyra utförandena av denna variant av väggen.



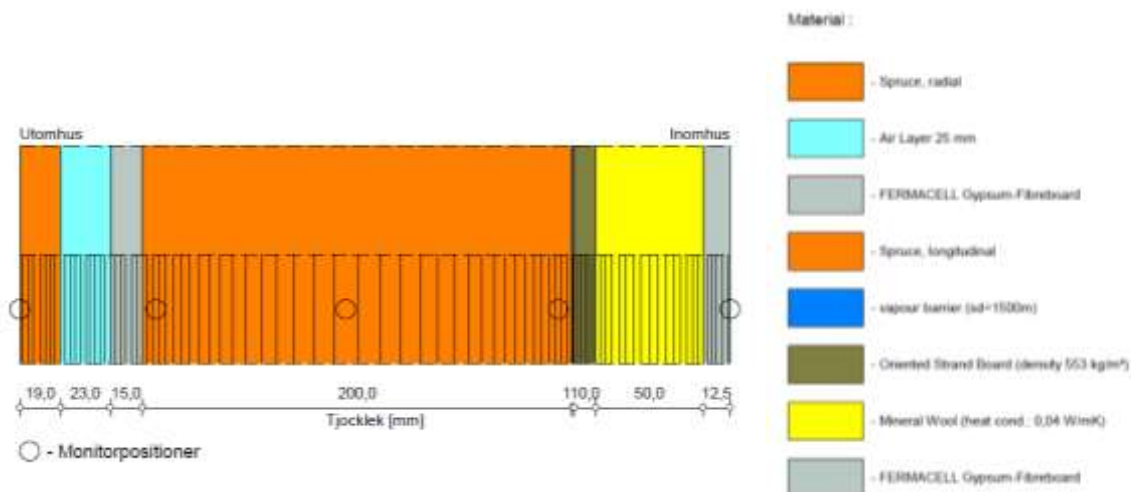
Figur 9: Konstruktion med ventilerad luftspält. Genomsnitt i mineralullsskiktet, med befintlig vägg.



Figur 10: Konstruktion med ventilerad luftspält. Genomsnitt i träskiktet, med befintlig vägg.



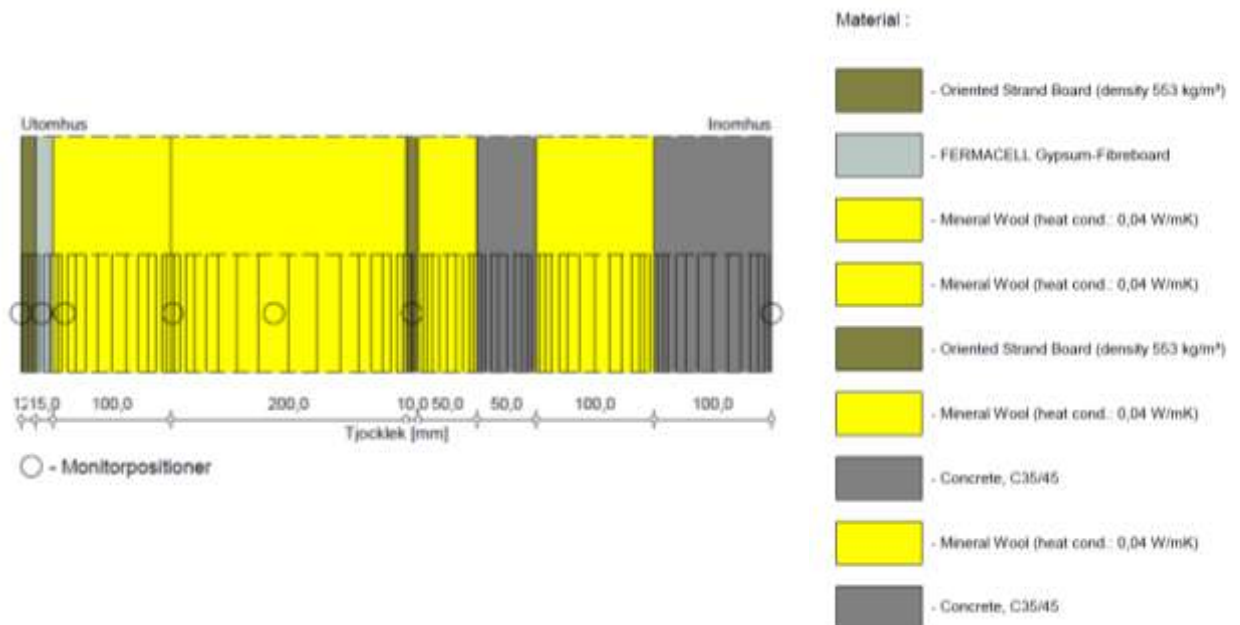
Figur 11: Konstruktion med ventilerad luftspalt. Genomsärning i mineralullsskiktet, utan befintlig vägg.



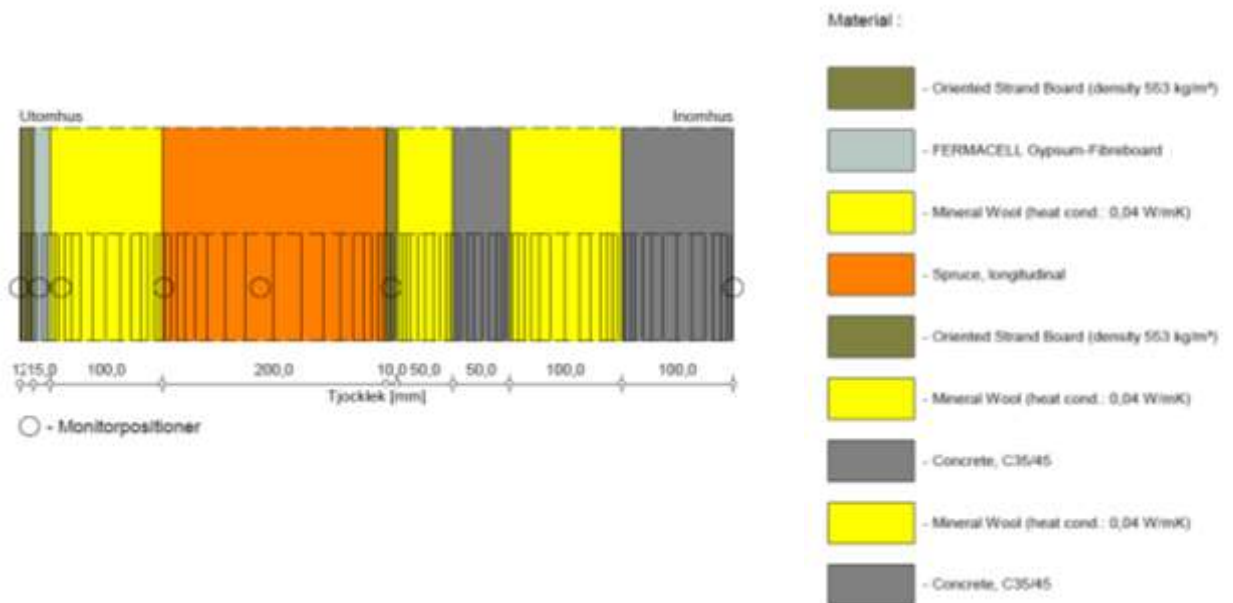
Figur 12: Konstruktion med ventilerad luftspalt. Genomsärning i träskiktet, utan befintlig vägg.

### 3.2.2.1 Vägg C: med 100 mm extra isolering

En konstruktion som håller sig varm, har också lättare att torka ut. Därför testade vi att lägga till 100 mm isolering på utsidan av treregelstommen. Vi utgår från originalkonstruktionen.



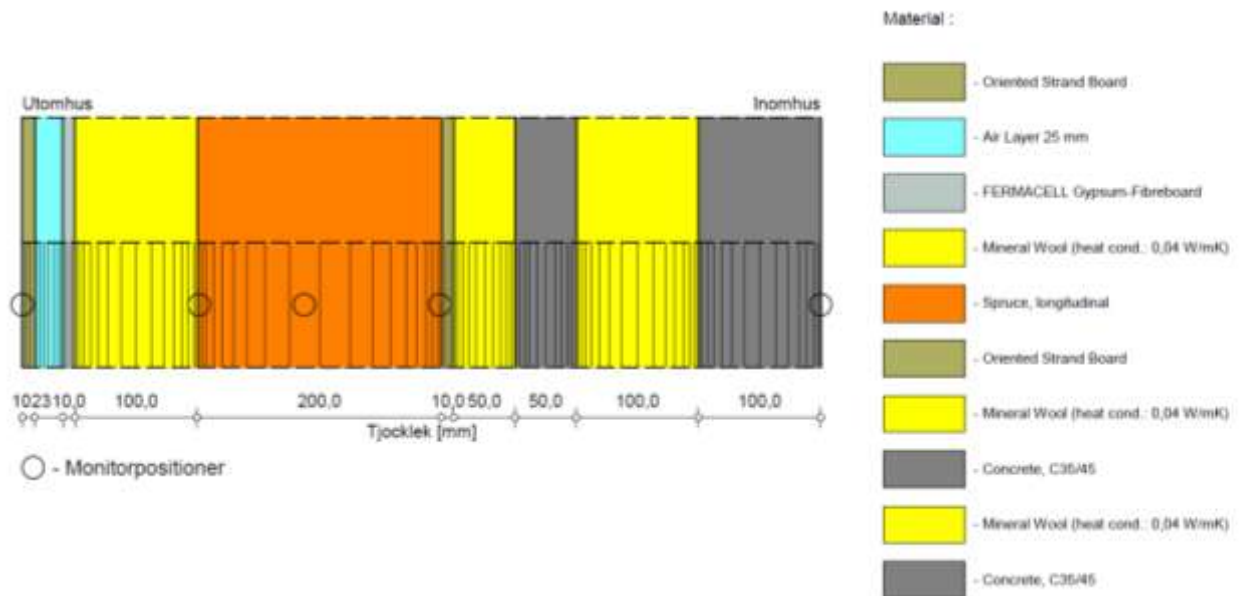
Figur 13: Konstruktion med 100 mm extra isolering utanför treregelstommen. Genomskärning i mineralullsskiktet.



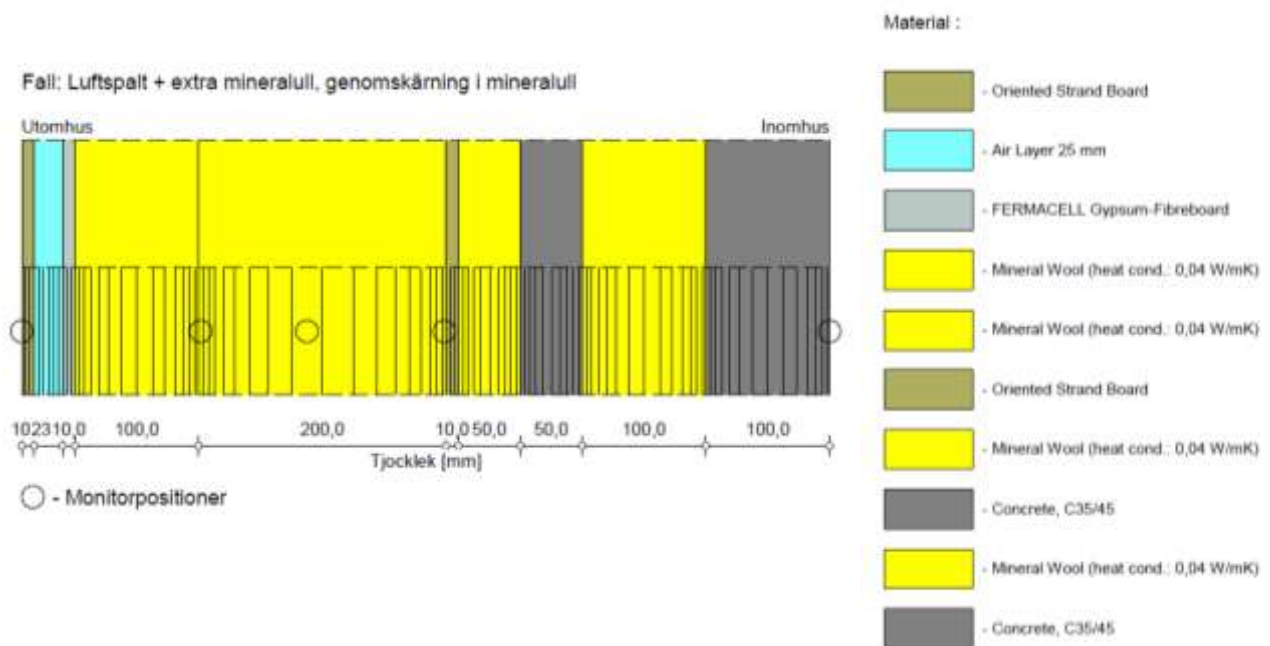
Figur 14: Konstruktion med 100 mm extra isolering utanför treregelstommen. Genomskärning i mineralullsskiktet.

### 3.2.3 Vegg D: med extra mineralullsisolering och med ventilerad luftspalt

För att underlätta ytterligare för konstruktionen att torka ut satte vi in en ventilerad luftspalt mellan det extra isolerlagret och klimatskalet.



Figur 15: Konstruktion med 100 mm extra mineralullsisolering och ventilerad luftspalt utanför träregelstommen. Genomskäring i träskiktet.

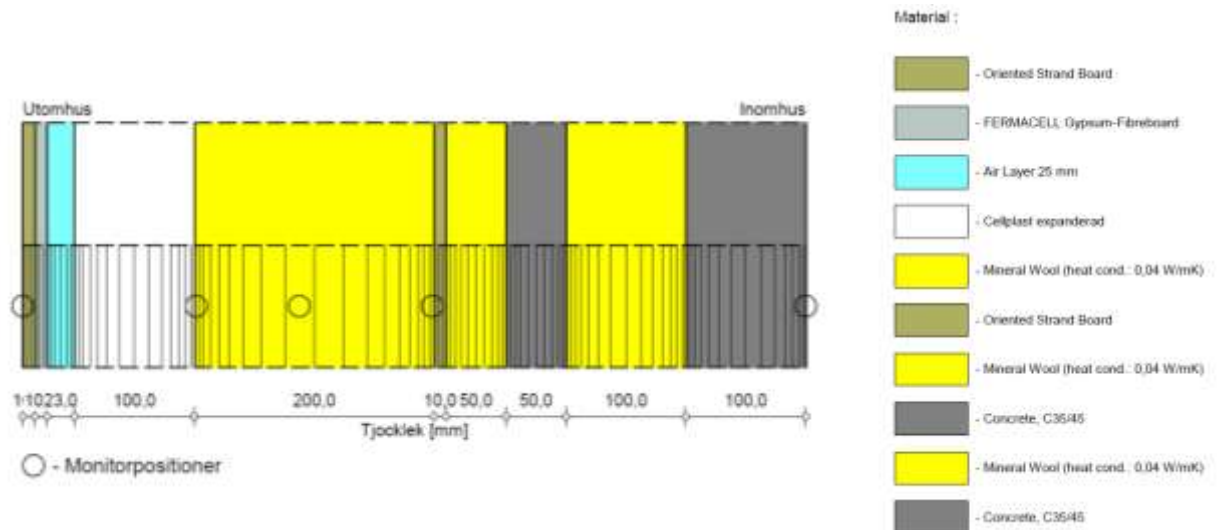


Figur 16: Konstruktion med 100 mm extra mineralullsisolering och ventilerad luftspalt utanför träregelstommen. Genomskäring i mineralullsskiktet.

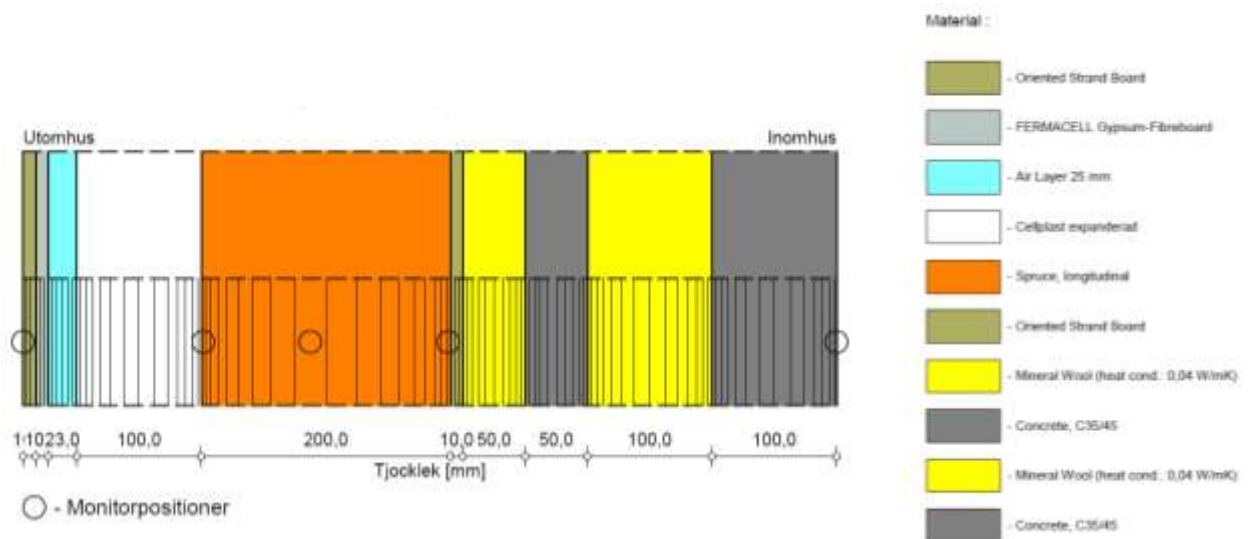


### 3.2.3.1 Vägg E: med extra cellplastisolering och med luftspalt

Vi ville undersöka hur valet av isoleringsmaterial i det extra isoleringsskiktet påverkar uttorkningen av konstruktionen, och bytte därför ut mineralullen i vägg D mot cellplastisolering. Förövrigt ar konstruktionen densamma med ventilerad luftspalt.



Figur 17: Konstruktion med 100 mm extra cellplastisolering och ventilerad luftspalt utanför träregelstommen. Genomskärning i mineralullsskiktet.



Figur 18: Konstruktion med 100 mm extra cellplastsisolering och ventilerad luftspalt utanför träregelstommen. Genomskärning i treskiktet.

## 4 Diskussion - Går TES EnergyFaçade att använda i Sverige?

### 4.1 Analys av beräkningar

#### 4.1.1 Vägg A

WUFI-beräkningarna av originalkonstruktionen visar inga goda resultat (bilaga 2, figur 28). Konstruktionen fungerar sämst i Lund; mitt i mineralullen håller sig den relativa fuktigheten på runt 75 % det första året, dock fortsätter den att stiga de nästkommande två åren. Det ser bättre ut i Stockholm och Kiruna, men även där stiger den relativa fuktigheten i mineralullen ganska snabbt över det kritiska värdet. Det ser överlag bättre ut fuktmässigt i träreglarna under de första tre åren, dock fortsätter kurvan stadigt uppåt och inga tecken på att den inkommande fukten kan torka ut visas. I Folos-diagrammet (bilaga 2, figur 29) kan vi se att det eventuellt inte kommer krävas att konstruktionen ändras lika mycket i Kiruna som i Lund för att den ska fungera i respektive klimat.

#### 4.1.2 Vägg B

I konstruktionen utan befintlig vägg visar WUFI (bilaga 2, figur 30) en jämn uppfuktning på sommaren och uttorkning på vintern för samtliga orter. Som högsta nivå når RF upp till lite över 75 % i Lund, men är inte så hög i Stockholm och Kiruna. Den ventilerade luftspalten verkar hjälpa uttorkningsprocessen avsevärt. Om man tittar på mineralullsskiktet i denna konstruktionslösning, både med och utan befintlig vägg (bilaga 2, figur 30 och 32), ökar inte högsta RF på samma sätt som i andra lösningar, utan når samma maximala nivå även efter tre år. Folos-diagrammen (bilaga 2, figur 31 och 33) visar ingen tendens till att RF överstiger  $RF_{crit}$  i någon av orterna, varken med eller utan befintlig vägg.

#### 4.1.3 Vägg C

Konstruktionen med 100 mm extra isolering visar på en viss tendens till uttorkning, eller i alla fall avstannande i uppfuktningen, av träreglarna (bilaga 2, figur 34). Däremot i mineralullen visar diagrammen för Lund och Stockholm längre perioder då RF överstiger  $RF_{crit}$ . Folos-diagrammet visar långa och ibland kontinuerliga perioder då RF överstiger  $RF_{crit}$ , för samtliga orter (bilaga 2, figur 35).

#### 4.1.4 Vägg D

Konstruktionen fungerar bra både i Stockholm och i Kiruna, både i mineralullen och i träreglarna. Fukthalterna i Lund ser emellertid fortfarande inte helt bra ut i WUFI-beräkningarna (bilaga 2, figur 36). Högsta RF stiger för varje år i Lund med betydligt större ökning än i de andra två orterna.

Folos-diagrammen kompletterar WUFI med att visa på viss risk för mögelpåväxt i Lund och ingen risk i Stockholm och Kiruna (bilaga 2, figur 37).

#### 4.1.5 Vägg E

Cellplastisoleringen ger en jämnare kurva med mindre amplituder än konstruktionen med mineralull. Den stiger kontinuerligt uppåt, utan tecken på att stagnera, vilket förmodligen beror på att den fukt som lyckas ta sig in bakom cellplasten inte har någon möjlighet att torka ut (bilaga 2, figur 38). Även i detta fall ger WUFI godkända RF-värden i Stockholm och Kiruna men inte i Lund. Folos visar liten risk för mögelpåväxt i Lund och ingen risk i de andra två orterna (bilaga 2, figur 39).

#### 4.1.6 Jämförelser

För att se hur våra olika konstruktionslösningar fungerar och om det blir lägre fukthalt och mindre mögelpåväxt än hos original TES EnergyFaçade, har vi ställt upp en mängd jämförelser. Med dessa som grund ska vi sedan försöka komma fram till ett resultat.

Sammanställning över hur stor risk för mögelpåväxt det är hos de olika konstruktionerna. Beräkningar i Folos, i mitten av träregelkonstruktionen.

Tabell 2: Sammanställning över vilken risk för mögelpåväxt de olika konstruktionerna har.

	Lund			Stockholm			Kiruna		
	Stor risk	Viss risk	Ingen risk	Stor risk	Viss risk	Ingen risk	Stor risk	Viss risk	Ingen risk
Vägg A	X			X				X	
Vägg B			X			X			X
Vägg C	X			X			X		
Vägg D		X				X			X
Vägg E		X				X			X

##### 4.1.6.1 Vägg A och vägg B (med och utan ventilerad luftspalt)

Vägg B visar lägre RF, mindre tendens till ökning och mindre amplitud än vägg A i WUFI-diagrammen i mineralullsskiktet (bilaga 3, figur 40). I träskiktet skiljer det sig inte så mycket mellan de olika väggarna (bilaga 3, figur 41). Folos-diagrammet visar den största skillnaden då vägg B inte har någon risk för mögelpåväxt i någon av de tre orterna, medan vägg A visar tendens till mögelpåväxt i samtliga fall (bilaga 3, figur 42).

#### *4.1.6.2 Väggen C och väggen D (100 mm extra mineralullsisolering – med och utan luftspalt)*

I WUFI-diagrammen kan vi se en liten förbättring i väggen D (med luftspalt) än väggen C (utan luftspalt) i mineralullen (bilaga 3, figur 44), dock finns ingen skillnad på fukthalten i träreglarna (bilaga 3, figur 45). Däremot i Folosdiagrammet (bilaga 3, figur 46) syns det en väldig skillnad, då väggen D fungerar väldigt bra i Stockholm och Kiruna och relativt bra i Lund, medan väggen C visar på mögelpåväxt i träreglarna i Lund och Stockholm och kritisk fukthalt i mineralullen mellan april och december i Kiruna.

#### *4.1.6.1 Väggen D och väggen E (100 mm extra isolering – Mineralull eller cellplast)*

Vi har jämfört hur 100 mm extra isolering utanför originalväggens 200 mm mineralull påverkar RF i väggen och om det är skillnad på olika isoleringsmaterial. Om man bara ser till hur det olika materialvalet mellan mineralull och cellplast påverkar så blir kurvan i WUFI (bilaga 3, figur 47 och 48) för cellplast lite lägre än för mineralull. Dessutom blir RF-kurvan lite mer kontinuerlig för cellplast och den för mineralull har mer amplitud mellan sommar och vinter. För båda materialen överskrider RF 75 % i mineralullen, men inte i träskiktet. Om man bara ser på WUFI-diagrammen ökar kurvan hela tiden under de tre beräkningsåren, och visar ingen tendens att plana ut. Däremot visar Folos (bilaga 3, figur 49) att RF inte överskrider det kritiska värdet i Stockholm eller Kiruna någon gång under de tre beräkningsåren. Värdet för Lund är även i detta fall sämre, och  $RF_{crit}$  överskrider, men går tillbaka igen. Mineralull ger lite högre värde än cellplast då  $RF_{crit}$  överskrider. I valet mellan mineralull och cellplast kan hänsyn tas till att cellplast medför större risk vid brand och brandspridning än mineralull.

#### *4.1.6.1 Jämförelse med och utan befintlig vägg*

Jämförelsen ”med och utan befintlig vägg” visar hur den befintliga byggnaden påverkar den relativa fuktigheten i fasaden. Beräkningar har gjorts med vägg B (med luftspalt) (bilaga 3, figur 43).

Diagrammen visar att med och utan befintlig vägg har snarlika kurvor för samtliga orter. Den befintliga väggen påverkar inte den relativa fuktigheten i den nya fasadkonstruktionen i detta fall.

#### **4.1.7 Kontroll av beräkningar**

I rapporten om TES EnergyFaçade skrivs det att all befintlig bebyggelse som ska använda sig av TES-systemet behöver genomgå en fuktanalys med hjälp av t.ex. en WUFI-beräkning. Exemplet med hur fuktsituationen ser ut i WUFI-diagrammet (bilaga 3, figur 44 och 45) jämfört med Folos-diagrammet (bilaga

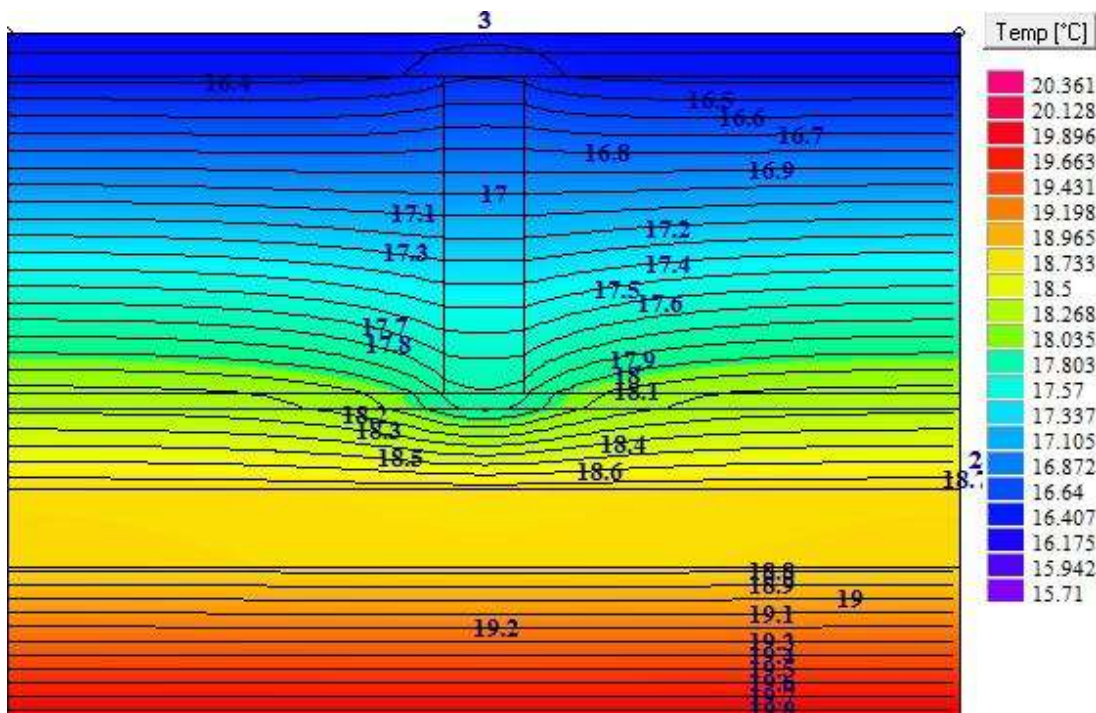
3, figur 46) för vägg C och vägg D visar att WUFI är ett bra, men bristfälligt program som behöver kompletterande diagram för att komma närmre sanningen.

I flera av våra resultat ser man att viss risk för mögelpåväxt finns i mineralullen, men inte i träet. Detta beror på att träskiktet är varmare. Man måste även ta hänsyn till att Folos är ett beräkningsprogram för organiskt material och eftersom mineralull är oorganiskt kan beräkningen vara lite sträng. Mineralull har en kritisk RF på över 85 % (Johansson et al, 2005) så om man tittar på linjen som anger RF ser man att det faktiskt inte finns någon risk för mögelpåväxt enligt några av de beräkningarna som gjorts.

Att använda ett endimensionellt beräkningsprogram för en tvådimensionell problemställning kan vara missvisande. Problematiken har legat i att vi inte haft tillgång till de program som skulle krävts. Eftersom WUFI 4 endast räknar i en dimension och då med antingen ett helt mineralullsskikt eller träskikt, istället för det sammansatta skikt det är, kan våra beräkningar vara felaktiga. För att kontrollera hur stora felmarginaler vi har att göra med gjorde vi en kontrollberäkning av temperaturprofilen i de olika skikten med hjälp av HEAT 2 för att sedan kunna jämföra temperaturprofilerna med WUFI. Beräkningarna i HEAT 2 är stationära. Vi valde en specifik tidpunkt: 2015-05-31 kl. 14.00 och tog temperaturer från Lund vid tre olika monitorpositioner i skiktet. Beräkningen med befintlig vägg användes.

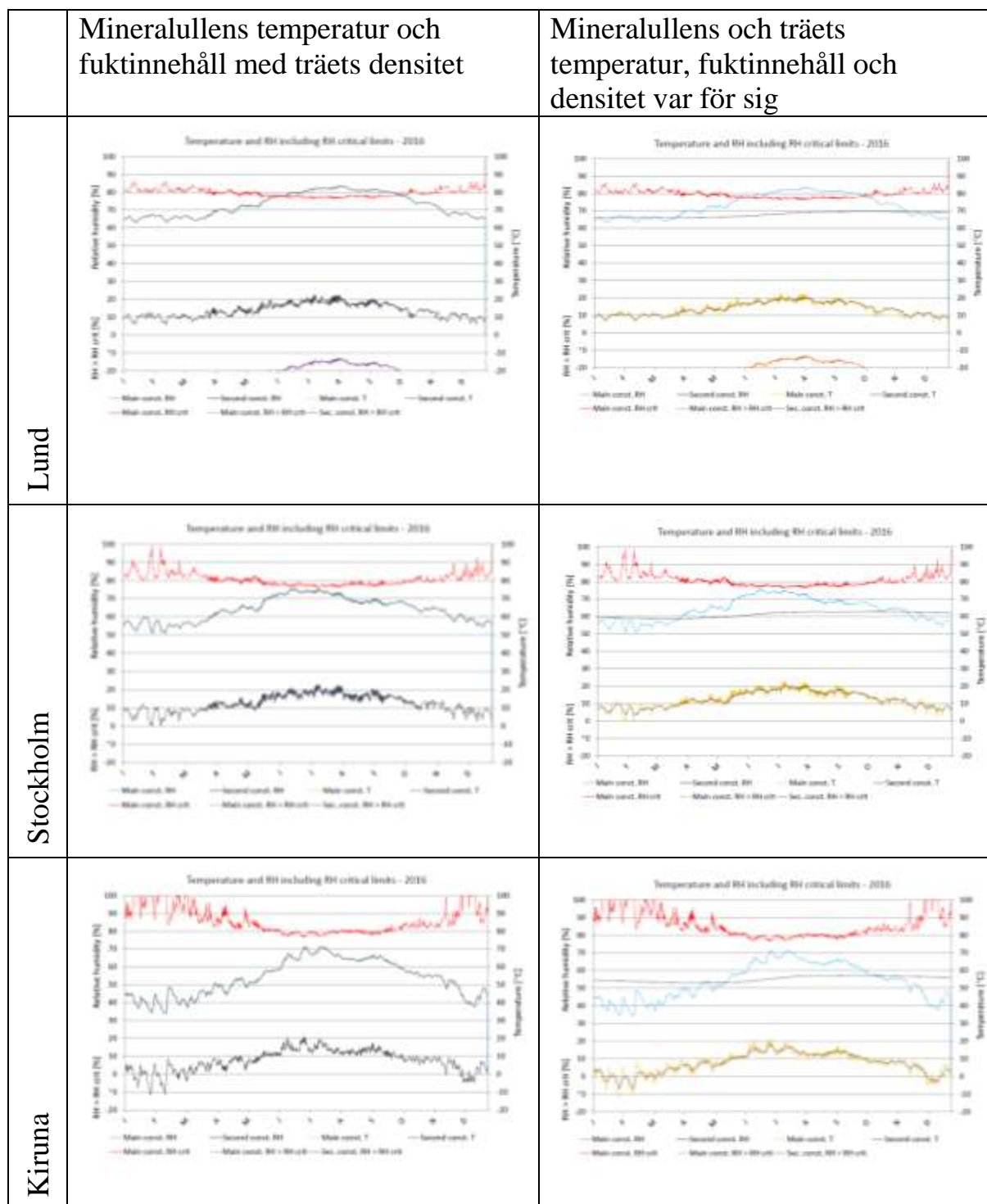
Tabell 3: Sammanställning över temperaturprofiler för de olika beräkningsprogrammen.

Monitor position	WUFI		Heat	
	Temperatur Mineralull	Temperatur trä	Temperatur Mineralull	Temperatur trä
Ytskikt	16,5 °C	16,5 °C	16,3 °C	16,3 °C
2	15,5 °C	14,5 °C	16,5 °C	16,4 °C
3	15,8 °C	13,3 °C	17,2 °C	17,3 °C
4	17,0 °C	13,7 °C	17,8 °C	18,2 °C

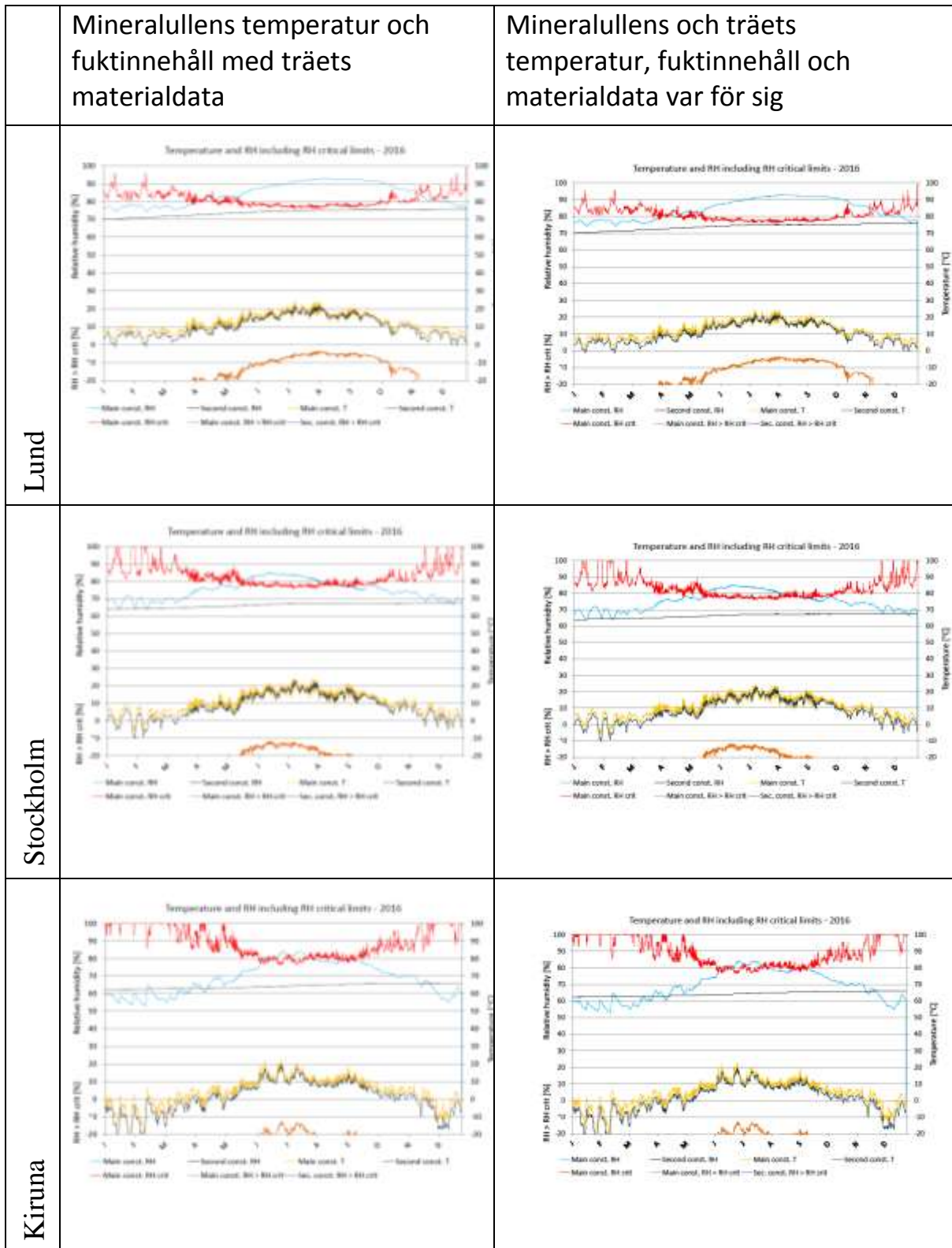


Figur 20: Heatberäkning för originalväggen med befintlig vägg.

Som man kan se i Heat-beräkningen skiljer sig inte temperaturprofilen i mineralullen och träet speciellt mycket, men skillnaden mellan de olika beräkningsprogrammen är så stora som 3°C i träskiktet. Profilerna för mineralull respektive trä i Heat-beräkningarna visar att temperaturen inte skiljer sig så mycket. Detta visar att en endimensionell beräkning genom ett massivt träskikt ger felaktiga värden och att man istället kan använda temperaturerna från mineralullen även för träberäkningarna. För att kontrollera vilka följder denna förändring skulle få och hur stor felmarginal vi får räkna med efter att ha förenklat konstruktionen på detta sätt har vi gjort en Folos-beräkning för originalväggen och vägg D där vi har tagit värdena för fuktinnehållet och temperaturen från mineralullen och satt dem tillsammans med densiteten för träet. Detta ska simulera en sammansatt konstruktion med träets egenskaper och mineralullens temperatur, eftersom mineralullen påverkar träets temperatur.



Figur 21: Folosdiagram över vägg D med mineralullsskiktets temperatur- och fuktprofil i båda skikten (till vänster) och med både mineralullsskiktets och träets temperatur- och fuktprofil (till höger). Main construction = mineralull, second construction = trä.



Figur 22: Foliosdiagram över originalväggen med mineralullsskiktets temperatur- och fuktprofil i båda skikten (till vänster) och med både mineralullsskiktets och träets temperatur- och fuktprofil (till höger). Main construction i vänstra kolumnen visar trä, i den högra kolumnen visar main construction mineralull.



Det vi kan utläsa från de här jämförelsedigrammen är att de visar samma kurva för den relativa fuktigheten i mineralullsskiktet med mineralullens materialdata som i det fall då vi använt temperaturprofilen för mineralull, men med träets materialdata. Det medför att vi kan bortse från alla beräkningar vi gjort med träets temperatur och fukttinnehåll och istället använda oss av mineralullsberäkningarna.

## 4.2 Regler och krav

### 4.2.1 Nu och då

De kraven som fanns då miljonprogrammet byggdes var i stort sett mer som riktlinjer för byggande och målet var då att undvika kondensation i konstruktionen för att minska risk för hygieniska olägenheter. Det är stor skillnad mot kraven idag och med hänsyn till det är chansen stor att många miljonprogramhus lider av fukt- och mögelskador. En fuktskadad utfackningsvägg blir inte mindre fuktskadad för att en extra fasad som TES-fasadsystemet fästes utanpå. I sådana fall finns det ett flertal vägar att gå, bland annat:

- Riva hela byggnaden och göra en nyproduktion.
- Riva den befintliga fasaden och bygga en ny.
- Riva den befintliga fasaden och montera TES EnergyFaçade.

### 4.2.2 Tyskland – Sverige

Det nuvarande svenska BBR-kravet som säger att organiska material i byggnader inte får överstiga 75 % relativ fuktighet härstammar från att mögel trivs bra och börjar växa vid just 75 % relativ fuktighet vid 20°C. Kravet är satt för att undvika mögelpåväxt helt. Det kan hända att det svenska kravet är i hårdaste laget, då mögel dör när kriterierna för mögelpåväxt försvinner och att mögel i små mängder och korta perioder kanske inte skulle påverka byggnaden och inomhusklimatet nämnvärt i det långa loppet. Sveriges 75 % -gräns är på den säkra sidan och med tanke på de fuktproblem som finns i vårt klimat är det en bra förebyggande åtgärd. Det är möjligt att de svenska kraven kommer att se annorlunda ut när forskningen kommit längre inom området, det kanske kommer utvecklas till ett krav som tar hänsyn till uttorkningsperioder eller dylikt. Det är dock inte aktuellt för tillfället och det är de gällande kraven vi har att ta hänsyn till och som måste uppfyllas.

Den tyska motsvarigheten på den svenska 75 % -gränsen är 85 % relativ fuktighet i trä, med tillåtelsen att överstiga detta värde under en veckas tid i sträck och nå kondensation några dagar i månaden. Detta visar att de tyska kraven inte på långa vägar är lika hårda som de svenska. Redan i och med att det huvudsakliga kravet ligger 10 % över riskgränsen för mögelpåväxt är ett

bevis på att de tyska kraven inte tar hänsyn till om det blir mögelskador eller inte i konstruktionen. Att den redan ”slappa” gränsen sedan får överstigas i perioder och vid vissa tillfällen till och med tillåter kondensation i det organiska materialet är bara ytterligare bevis för att tyska krav är mycket lägre och mer osäkra än svenska.

I de beräkningar som gjorts är det tydligt att TES-fasaden i sitt originalutförande inte uppfyller det svenska kravet på högsta tillåtna relativa fuktighet i organiska material. Med de stora skillnaderna i krav är det å andra sidan inte så konstigt att TES EnergyFaçade, som är utvecklad i Tyskland och därmed tar hänsyn till tyska krav, inte uppfyller de svenska kraven i sitt originalutförande.

### **4.3 Varför ska man använda eller inte använda TES EnergyFaçade?**

Det finns många fördelar med TES EnergyFaçade, men även en del nackdelar och problem.

#### *4.3.1.1 Fördelar*

Alla beräkningar av t.ex. E2Rebuilds demonstrationsobjekt visar på en stor energieffektivisering efter att ha använt TES EnergyFaçade.

Energianvändandet för byggnaderna minskas avsevärt, vilket också är det stora målet med fasadsystemet. Om man endast ser på det genom den aspekten är TES-fasaden ett väldigt bra system att komplettera befintlig bebyggelse med och man uppnår väldigt bra resultat i teorin.

Med tanke på klimatförändringarna som sker nu, har det lagts större vikt vid att energi- och resurseffektivisera byggnadsmaterial. Att då få fram en effektiv metod för att använda trämaterial på ett ”nytt och förfinat” sätt med nya mät- och konstruktionsmetoder bidrar till förbättring (Lattke et al, 2011). Något som fasadsystemets projektörer marknadsför är att det är ekologiskt och positivt ur miljösynpunkt att använda trä som konstruktionsmaterial. Trä är ett nedbrytbart material som finns naturligt i det ekologiska kretsloppet och medför därför mindre miljöpåverkan än många andra byggnadsmaterial.

I och med att fasadsystemet är prefabricerat går det relativt snabbt att montera på plats. Precis som med andra prefabricerade lösningar är det uppreparandet av liknande moment som sparar tid och pengar. TES-fasaden kan integreras i bärande system, anpassas till och fästas i nästan alla befintliga byggnader eller monteras på en bärande konstruktion efter det att befintlig vägg tagits bort. Detta gör att fasadsystemet nästan går att anpassa till vilken konstruktion som helst, oavsett om den befintliga väggen ska vara kvar, delvis tas bort eller rivs

helt. Att fasadsystemet kan ha nästan vilket ytskikt som helst gör den också väldigt lättplacerad. TES EnergyFaçade är med andra ord lätt att integrera och anpassa, vilket är väldigt positivt.

Installationskanaler är ofta nödvändiga i en renovering av miljonprogramhus eftersom ventilationen i de flesta fall utgör en stor energibov och behöver bytas ut vid renovering. Dessutom hade vi inte samma krav på ventilation under 50- till 70-talet så de befintliga kanalerna idag är oftast underdimensionerade. I många fall finns det ingen möjlighet att utföra nyinstallationer i miljonprogramhusen på ett bra och smidigt sätt, utan att bredda och göra om befintliga väggar. Möjligheten att dra installationskanaler i anpassningslagret hos TES-fasaden är därför en stor fördel med fasadsystemet. På så sätt kan de bärande innerväggarna i vissa fall bevaras intakta genom att dra kanalerna i fasadsystemet istället.

#### 4.3.1.2 Nackdelar

Isoleringen i mellanlagret består av trä- eller cellulosa-fibrer och dess fuktabsorberande förmåga ses som en positiv egenskap, eftersom att fukten kan lagras under vinterhalvåret för att sedan torka ut igen under sommarhalvåret och på så sätt inte gör någon skada på isoleringen. För att principen ”lagra-torka ut” ska fungera måste förmågan att transportera bort fukt vara större än absorptionsförmågan. Detta eftersträvas genom att skapa en så stor ånggenomsläpplighet som möjligt i det yttre lagret av TES-fasaden: ”Det tredje lagrets huvudsakliga funktion är att skapa en vindtät varmväggskonstruktion samt skydda byggnaden mot fukt och vind från utsidan och släppa ut ånga och fukt från insidan.” (Lattke et al, 2011). Fasadsystemet är uppbyggt utan luftspalt och träkonstruktionen i mellanlagret ligger i direkt kontakt med det yttre panellagret som även det är i trä. Enligt vad vi känner till finns det många allvarliga byggnadstekniska fel i detta. Det är en stor risk att träet fuktas utan att någonsin kunna torka ut ordentligt igen.

I de fall där man bevarar den befintliga väggen så kan det krävas ett ökat fundament. Även om väggen är självbärande måste den stå på något, så en gjutning för att öka plattan har krävts i vissa fall. Detta kräver en hel del arbete och resurser som kanske inte alltid räknas med från början.<sup>1</sup>

I de olika demonstrationsobjekten i E2Rebuild-projektet har TES EnergyFaçade använts på olika sätt, både med och utan befintlig vägg bakom. I Finska Oulu revs hela den befintliga väggen och fasaden och byttes till TES-fasaden och resultatet blev dyrare än vad nyproduktion hade kostat.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Tekn. Dr. Stephen Burke, NCC, samtal 2013-03-01 – 2013-04-29.

Den befintliga väggen kanske inte är optimal, men om den är så dålig att den måste rivas, skulle man kunna riva hela byggnaden. Om man med facit i hand vet att nyproduktion skulle blivit billigare är frågan om man kan motivera ett kostsamt fasadbyte med den miljö och energieffektiviseringsaspekten som finns. I de fall där väggen är i acceptabelt skick och kan bevaras är frågan om inte tilläggsisolering räcker. Om man inte behöver dra installationer i väggen, och den befintliga kan vara kvar kanske TES-fasaden är överflödigt.

Det finns bara beräknade värden för energianvändning eftersom systemet är så pass nytt och ingenting är verifierat. Det finns en risk att de beräknade värdena inte uppfylls i verkligheten.

#### **4.3.1.3 Sammanvägning**

Fördelarna med att riva en dålig fasad och montera TES EnergyFaçade är att väggarna är prefabricerade och kan sättas direkt på plats för att få ett tätt klimatskal så fort som möjligt efter rivningen av den befintliga fasaden. Det blir en helt ny fasad, med nya fönster och bra installationsmöjligheter, som är mer energieffektiv än den föregående. Nackdelen med TES EnergyFaçade är att det kan bli ekonomiskt kostsamt, i vissa fall är det billigare att riva byggnaden och bygga upp en ny. På så sätt får man en ny byggnad som anpassas efter dagens krav inom både energi och fukt. Det finns också baksidor med detta, att producera nya material är kostsamt för miljön och bevarandet av det befintliga byggnadsståndet går till spillo. Även om vi inte tycker att miljonprogramhusen är de vackraste byggnader som finns idag, är det en del av vår historia och en del av beståndet bör bevaras.

Frågan att ställa sig då man står inför valet att använda TES EnergyFaçade eller inte är om man prioriterar ekonomi, eller energi och miljö?

Fasadsystemet är enligt beräkningarna ett bra alternativ för att energieffektivisera, men kan efter avslutat projekt visa sig bli dyrare än att nyproducera. Är det inte så att kostnader styr allt idag, kommer då någon att anse att energiperspektivet väger upp?

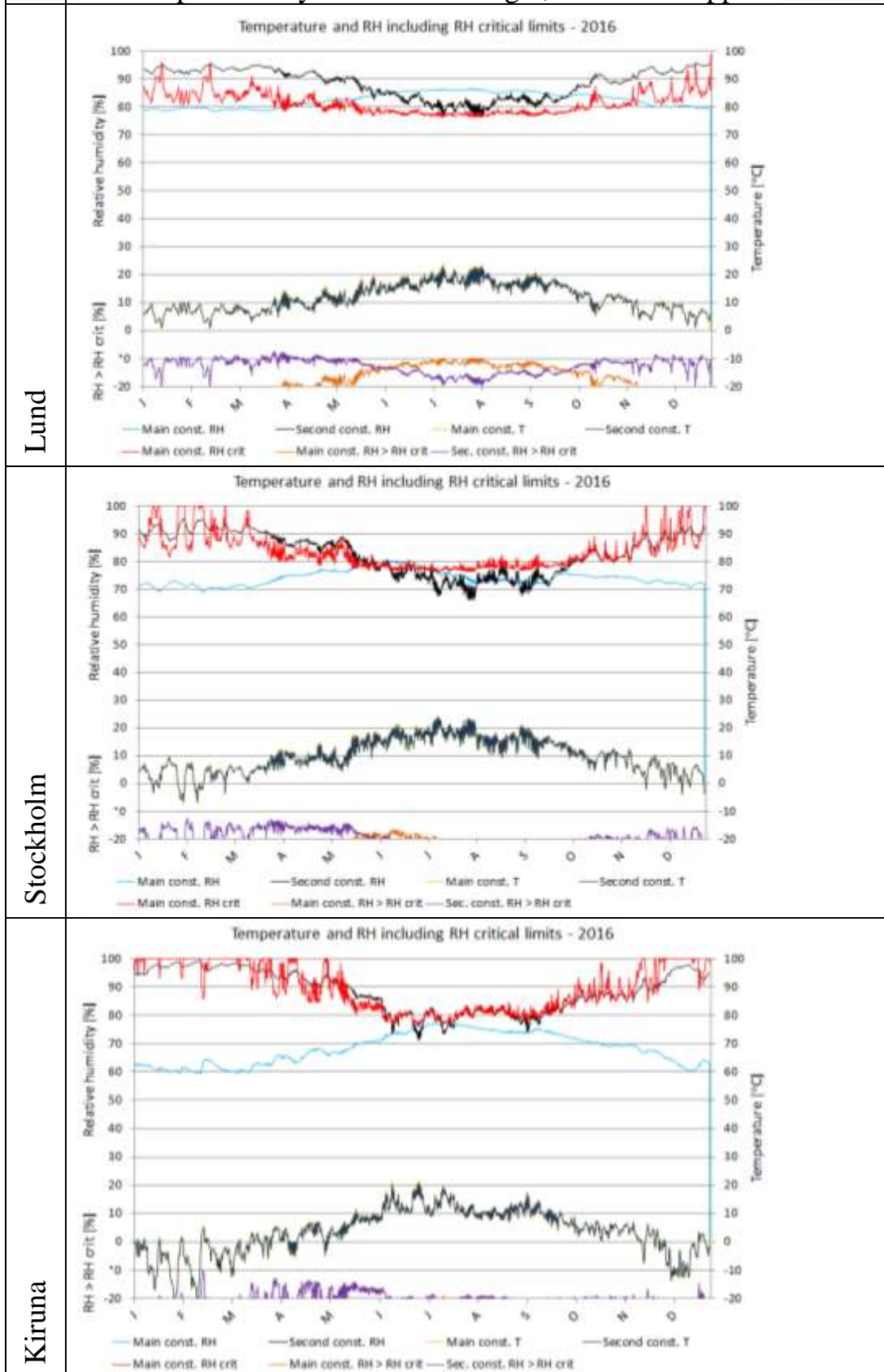
Att systemet dessutom fått flera priser för innovation och nytänkande är något vi ställer oss kritiska till. En prefabricerad fasad med träregelsystem är inget nytt, i alla fall inte i Sverige.

### **4.4 Vilka modifieringar behöver göras för att TES EnergyFaçade ska kunna användas i Sverige?**

I våra beräkningar har det varit tre konstruktionstyper vilka har utmärkt sig genom att vara bättre genom att visa mindre mögelpåväxt än de övriga, dessa är vägg B, vägg D och vägg E.

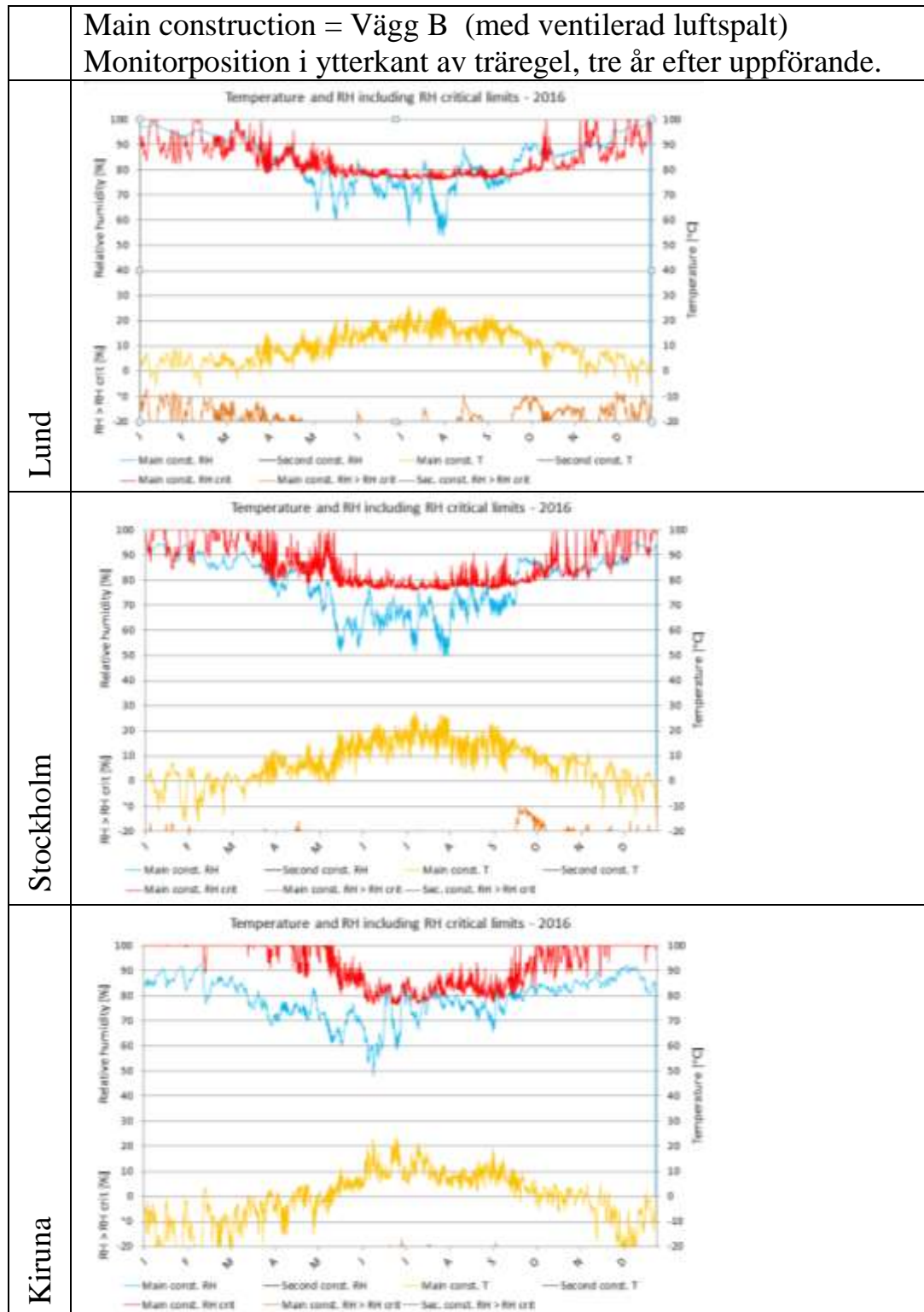
För att ytterligare kontrollera om konstruktionen håller fuktmässigt med 100 mm extra isolering samt om den extra isoleringen bör vara av cellplast eller mineralull har vi jämfört vägg D och vägg E med värden tagna från den yttre sidan på träreglarna, alltså den sida av träregeln som utsätts för mest utifrån kommande fukt (figur 23). Jämförelsen visar klart och tydligt att isolering med extra mineralull är avsevärt mycket bättre än isolering med cellplast, då cellplasten fungerar som en diffusionsspärr och stänger inne fukten i träkonstruktionen. Vägg D (mineralullsväggen) ser ut att klara sig bra i Stockholm och Kiruna, dock inte lika bra i Lund, där den relativa fuktigheten ligger på 80- 85% under hela året.

Main construction = Vagg D och Second construction = Vagg E  
 Monitorposition i ytterkant av träregel, tre år efter uppförande.



Figur23: Folosberäkning på utsidan av träregeln i Vagg D och E.

Vägg B, med ventilerad luftspalt, såg ut att fungera väldigt bra i samtliga städer, så vi gjorde en beräkning på utsidan av träregeln, för att se hur fuktigt det blir på ett mer fuktexponerat ställe. I Lund är det en del risk för mögelpåväxt, även under vinterhalvåret, i Stockholm klarar det sig bättre och i Kiruna klarar det sig bra.



Figur 24: Folosberäkning på utsidan av träregeln i Vägg B.

## 4.5 Vidareutveckling

En vidareutveckling av det här examensarbetet kan vara att kontrollera och jämföra resultaten från WUFI 4 med beräkningar i ett 2D-program som till exempel WUFI 2D.

Det skulle även vara intressant att jämföra TES EnergyFaçade med andra lösningar för renovering av befintlig bebyggelse. Vi har i det här arbetet inte tittat på energibesparingar eller ekonomiska aspekter för användandet av TES EnergyFaçade eller liknande fasadsystem.

Att jämföra beräkningar med verkliga mätningar för att se hur väl det stämmer överens kan vara intressant att göra i framtiden.

Att mäta och beräkna köldbryggor som t.ex. i skarvarna mellan elementen samt där installationer dras kan vara en intressant vidareutveckling.

## 5 Slutsats

Det är i vårt fall missvisande att genomföra en 2D-beräkning i ett endimensionellt program som WUFI 4.

I regel fungerar samtliga konstruktionslösningar bättre ju längre norr ut i Sverige vi kommer.

Tes EnergyFaçade kommer inte i sitt originalutförande att uppfylla kraven för relativ fuktighet i Sverige. Med vissa modifieringar, genom att lägga till en ventilerad luftspalt (vägg B), kan fasaden användas i Lund, Stockholm och Kiruna. En alternativ lösning är att utöver denna modifiering lägga till 100 mm extra mineralull (vägg D).



## 6 Referenser

APA. (APA- The Engineered Wood Association). *Official guidelines - EN 350-1:1994*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://apawood-europe.org/official-guidelines/european-standards/individual-standards/en-350-1/>> (2013-05-03).

Boverkets författningssamling. (2011). *Boverkets byggregler – föreskrifter och allmänna råd, BFS 2011:26 – BBR 19*. (Elektronisk) Tillgänglig: <https://rinfo.boverket.se/BBR/PDF/BFS2011-26-BBR19.pdf> (2013-04-03)

Burström, P G. (2008). *Byggnadsmaterial - Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Lund: Studentlitteratur AB.

Claesson-Jonsson, C. (2013). *Industrialiserad energieffektiv renovering av flerfamiljsbostäder i kallt klimat - E2ReBuild*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://www.cerbof.se/sa/node.asp?node=303>> (2013-04-03).

Danielsson, A & Wahlström, H. (2005). *Industrialiserat byggande – en nulägesbeskrivning*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/18125.pdf>> (2013-05-03).

Desruelles, G. (2012). *EeB PPP Project Rewiew*. (Elektronisk). Tillgänglig: <[http://www.ectp.org/cws/params/ectp/download\\_files/36D2270v1\\_EeB\\_Project\\_Review\\_2.pdf](http://www.ectp.org/cws/params/ectp/download_files/36D2270v1_EeB_Project_Review_2.pdf)> (2013-04-03).

E2Rebuild. (E2ReBuild – Industrialised energy efficient retrofitting of residential buildings in cold climates). *E2Rebuild*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://www.e2rebuild.eu/EN/Sidor/default.aspx>> (2013-04-03).

Engström, D. (2013). *E2Rebuild - WP6*. Tillgänglig: Bilaga 5.

Fraunhofer IBP. *WUFI Pro 2D Plus*. (Elektronisk). Tillgänglig: <[http://www.wufi.de/index\\_e.html](http://www.wufi.de/index_e.html)> (2013-04-26).

Fuktcentrum. *WUFI*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://www.fuktcentrum.lth.se/?id=21258>> (2013-04-25).

Hintze, S. (2013). *E2ReBuild*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://starnet.ncc.se/templates/ContentPage.aspx?id=39107&epslanguage=sv>>. (Bilaga 4). (2013-05-03).

Högberg, L & Lind, H. (2011). *Incitament för energieffektivisering i 60- och 70-talets bostadsbestånd*. Kungliga Tekniska Högskolan. Stockholm: Institutionen för Fastigheter och Byggnad (Rapport: TRITA-FOB 2011:3).

Johansson, C., Ljungberg, A. (2011). *Energiutredning vid renovering - E2Rebuild*. Bygghandling NCC Construction Sverige AB. (Uppdragsnummer: 7185177).

Johansson, P. (2006). *Kritiskt fuktillstånd för mikrobiell tillväxt på byggnadsmaterial*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://www.sp.se/sv/index/services/SPmonitor/Documents/Kritiska%20fuktillst%C3%A5nd%20mikrobiell%20p%C3%A5v%C3%A4xt.pdf>> (2013-05-03).

Johansson, P., Samuelson, I., Ekstrand-Tobin, A., Mjörnell, K., Sandberg, P I. & Sikander, E. (2005). *Kritiskt fuktillstånd för mikrobiell tillväxt på byggnadsmaterial – kunskapssammanfattning*. (Elektronisk). Tillgänglig: <[http://fuktsakerhet.se/sv/fakta/Documents/SP\\_RAPP\\_2005\\_11.pdf](http://fuktsakerhet.se/sv/fakta/Documents/SP_RAPP_2005_11.pdf)> (2013-05-03).

Jörnmark, J. (2013). Miljonprogrammet. (Elektronisk). I *Nationalencyklopedin*. Tillgänglig: <<http://www.ne.se/lang/miljonprogrammet>> (2013-03-14).

Kairi, J. (2011). *Schweighofer Prize – Winners 2011*. (Elektronisk). Tillgänglig: <<http://www.schweighofer-prize.org/winners/>> (2013-04-04).

Kaufman, H. (2009-a). *TES Energy Façade – News Archive 2011*. (Elektronisk). Tillgänglig: <[http://www.tesenergyfacade.com/index.php?id=10\\_news-archive2011\\_1](http://www.tesenergyfacade.com/index.php?id=10_news-archive2011_1)> (2013-04-04).

Kaufman, H. (2009-b). *TES Energy Façade – News*. (Elektronisk). Tillgänglig: <[http://www.tesenergyfacade.com/index.php?id=10\\_news](http://www.tesenergyfacade.com/index.php?id=10_news)> (2013-04-04).

Lattke, F., Larsen, K. E., Ott, S., Cronhjort, Y., Heikkinen, P., Kaufmann, H., Winter, S. (2011). *TES EnergyFaçade – prefabricated timber based building system for improving the energy efficiency of the building envelope*. (Elektronisk). Tillgänglig: <[http://www.tesenergyfacade.com/downloads/TES\\_Manual-ebookFINAL.pdf](http://www.tesenergyfacade.com/downloads/TES_Manual-ebookFINAL.pdf)> (2013-03-14).

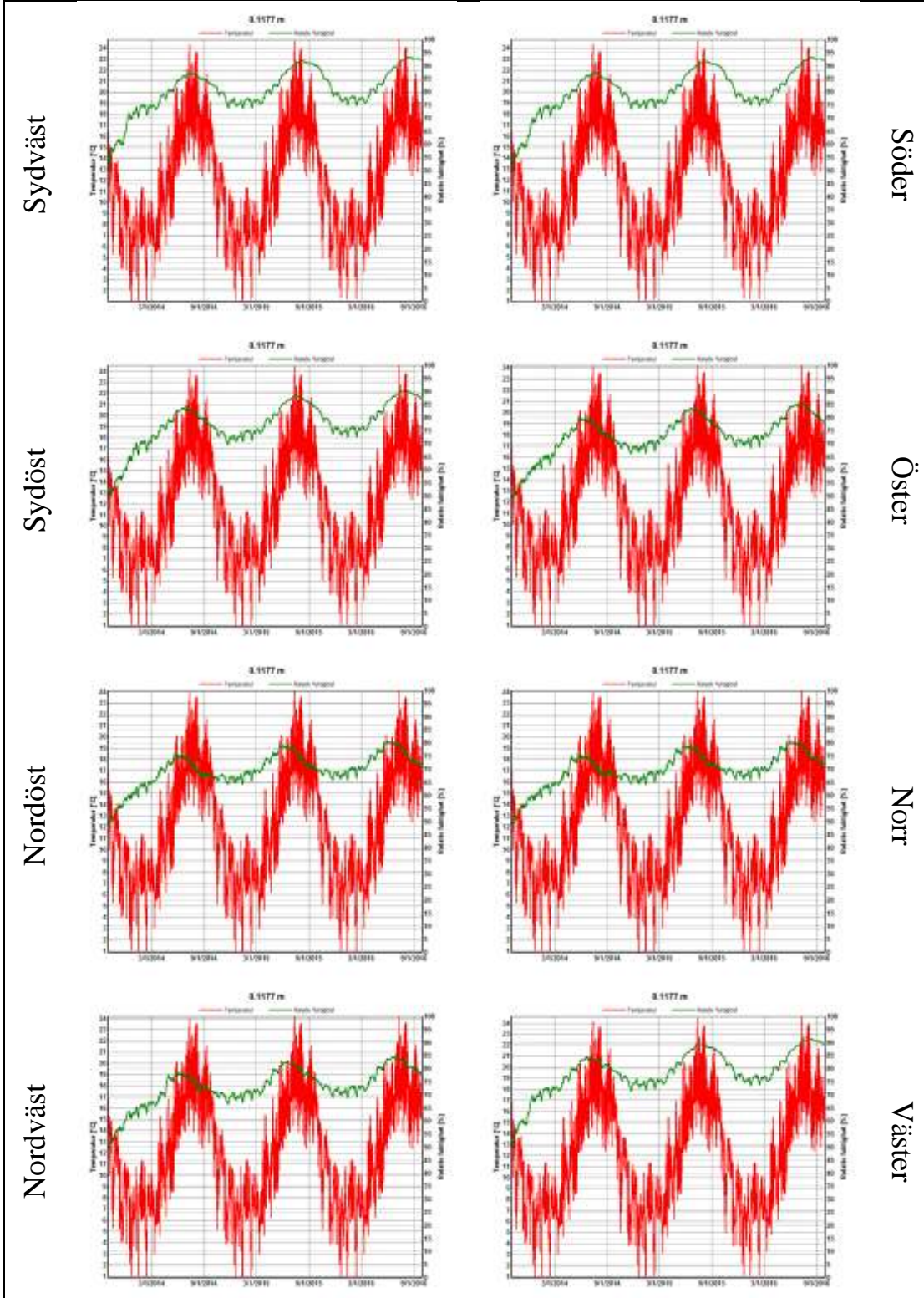
- Molnár, M., Jönsson, J., Sandin, K. & Capener, C-M. (2013). *Energieffektivisering av miljonprogrammets flerbostadshus genom beständiga tilläggsisoleringsystem*. Lunds tekniska högskola. Lund: Avdelningen för konstruktionsteknik (Rapport: TVBK-3064).
- Mundt Petersen, S O., Wallentén, P., Toratti, T., Heikkinen, J. (2012). *Moisture risk evaluation and determination of required measures to avoid mould damage using the Folos 2D visual mould chart*. Lund University, Faculty of Engineering. Lund: Department of Building Physics.
- Nevander, L E & Elmarsson, B. (1994). *Fukthandbok- Praktik och teori*. Mölnlycke: Elanders Sverige AB.
- Orrling, A. & Larsson, J. *Form och teknik vid upprustning av 60-/70-talshus*. (Elektronisk). Tillgänglig: [http://www.cerbof.se/documents/Projekt/Rapporter/Slutrapport\\_CERBOF\\_projekt\\_45.pdf](http://www.cerbof.se/documents/Projekt/Rapporter/Slutrapport_CERBOF_projekt_45.pdf) (2013-05-01).
- Planquadrat Architekten. *DIN 68800 Holzschutz*. (Elektronisk). Tillgänglig: [http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Geneigtes-Dach-DIN-68800-Holzschutz\\_2426899.html](http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Geneigtes-Dach-DIN-68800-Holzschutz_2426899.html) (2013-05-03).
- Sandin, K. (2010). *Praktisk Byggnadsfysik*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Tell, W. (1964). *BYGG - Handbok för hus-, väg- och vattenbyggnad*. Stockholm: AB Byggmästarens förlag.
- VMU. (Världskommissionen för miljö och utveckling). (1987). *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development*. Oxford paperbags.
- VVS Företagen. (2009). *Renoveringshandboken för hus byggda 1950-75*. Stockholm: Walléns Grafiska AB.

# 7 Bilagor

## 7.1 Bilaga 1: Kontroll av värsta vädersträck

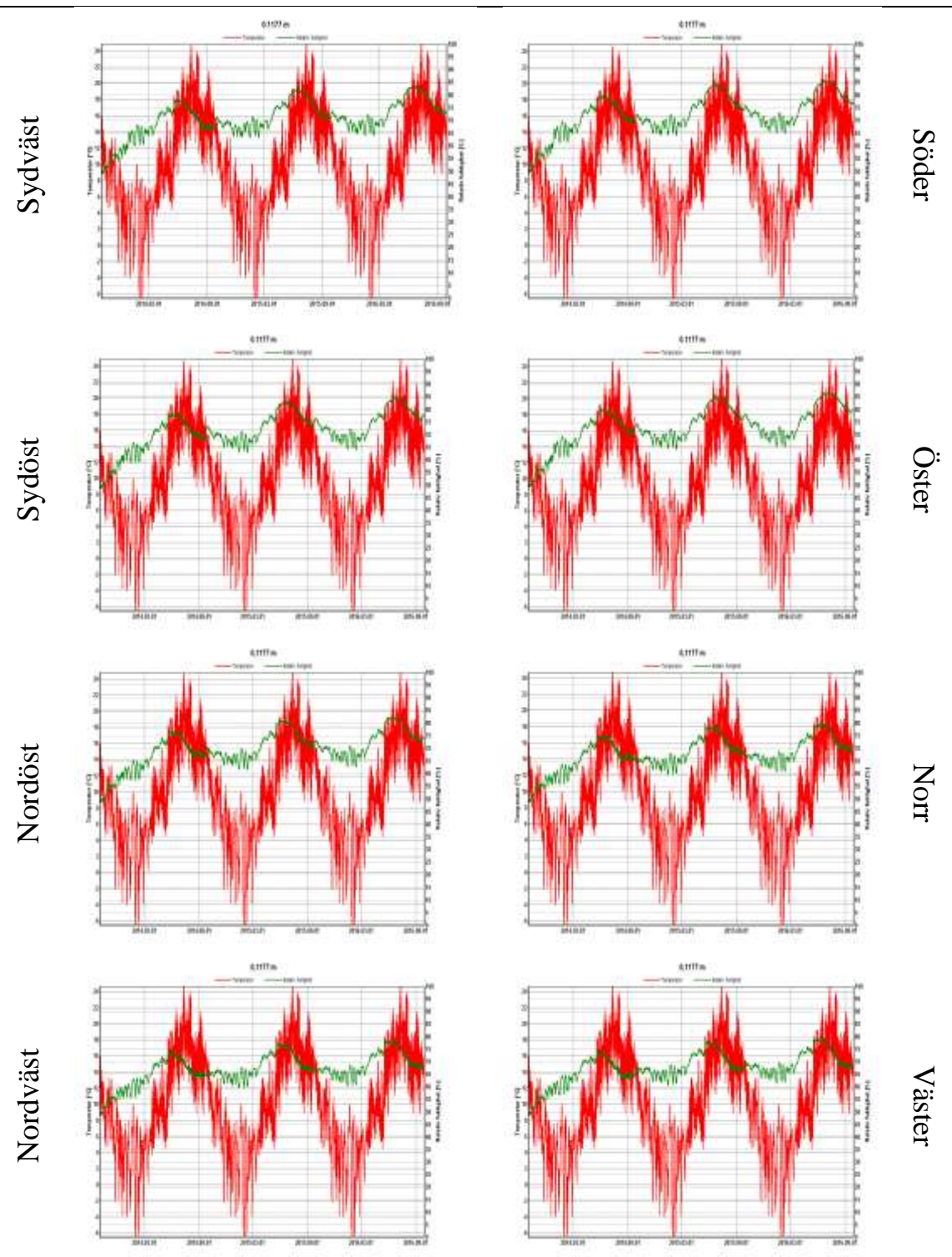
Röd graf är temperatur och grön graf är relativ fuktighet i väggen.

Lund



Figur 25: Kontroll av värsta vädersträck, Lund.

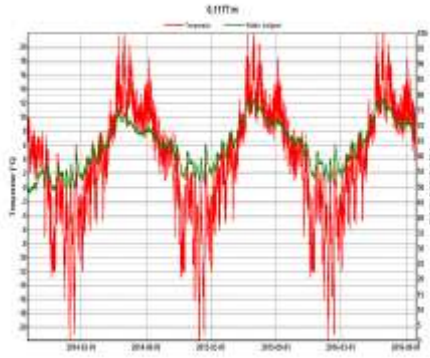
# Stockholm



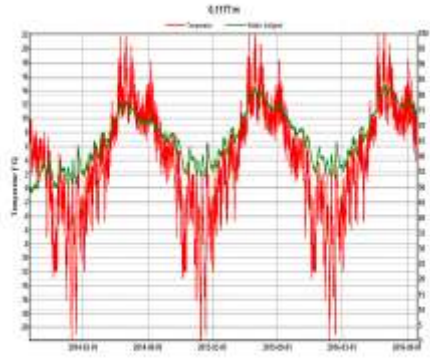
Figur 26: Kontroll av värsta väderstreck, Stockholm.

# Kiruna

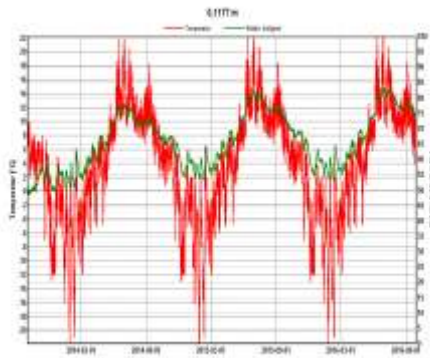
Sydväst



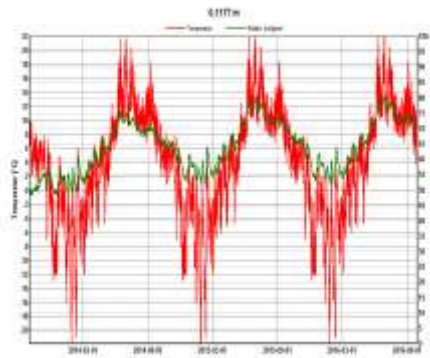
Söder



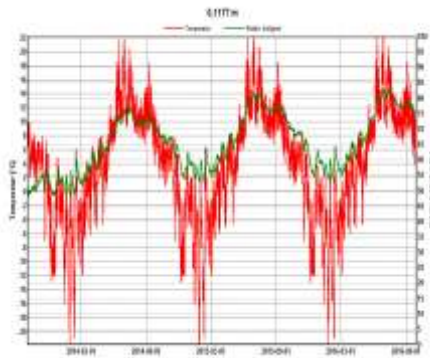
Sydöst



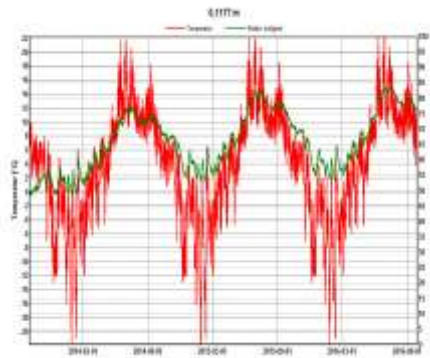
Öster



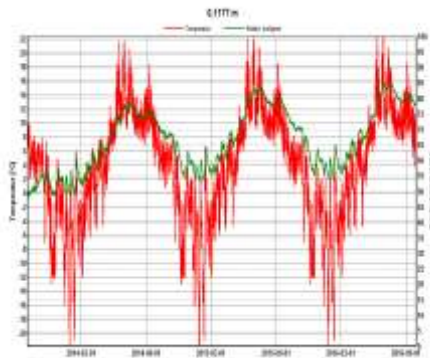
Nordöst



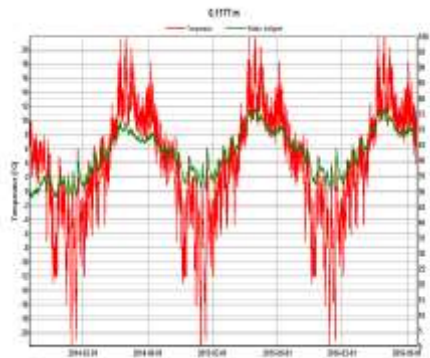
Norr



Nordväst



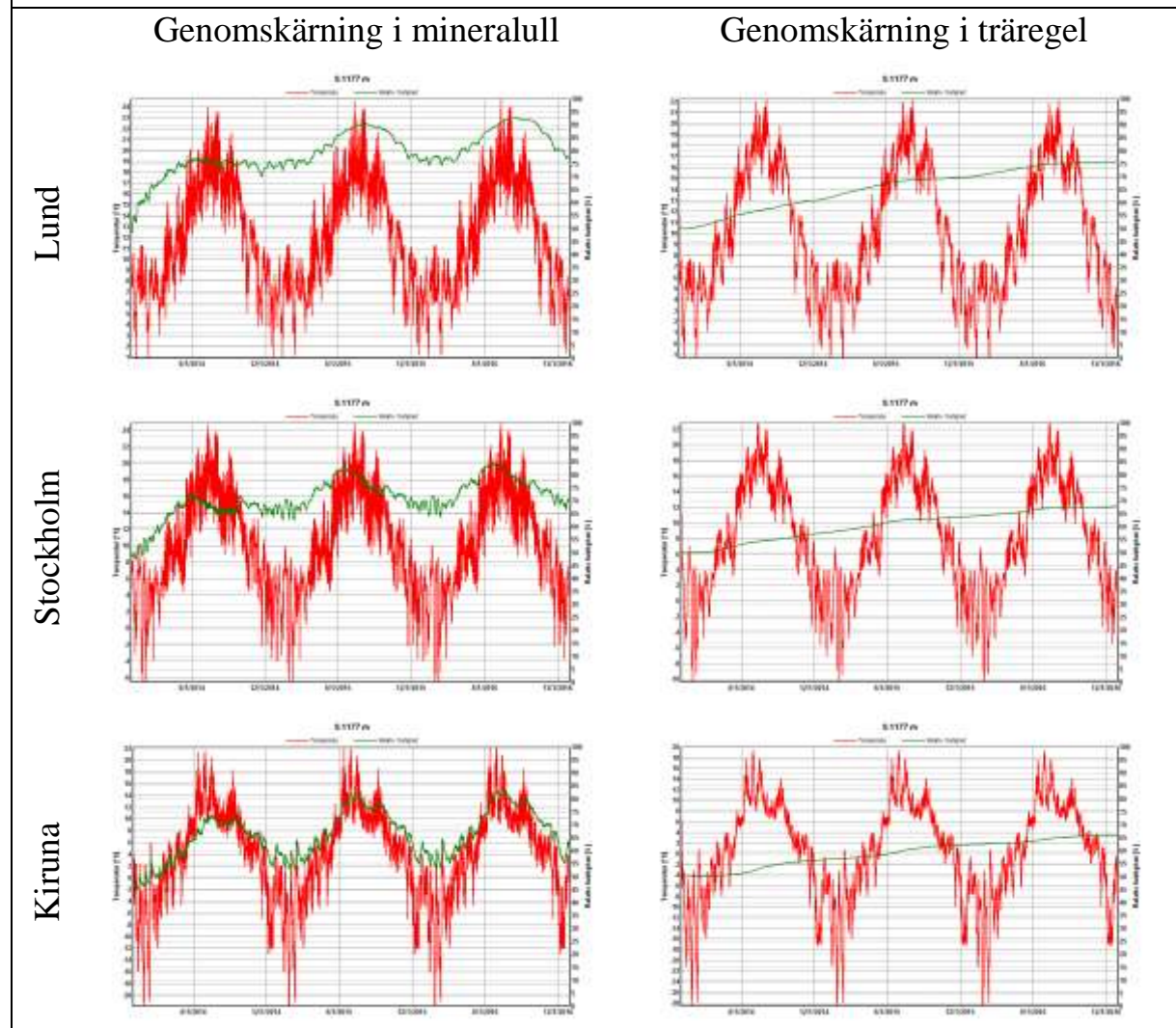
Väster



Figur 27: Kontroll av värsta väderstreck, Kiruna.

## 7.2 Bilaga 2 - Beräkningsresultat

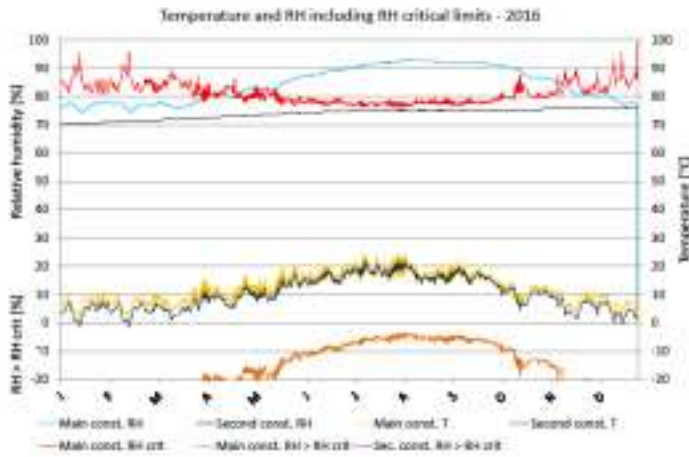
Vägg A



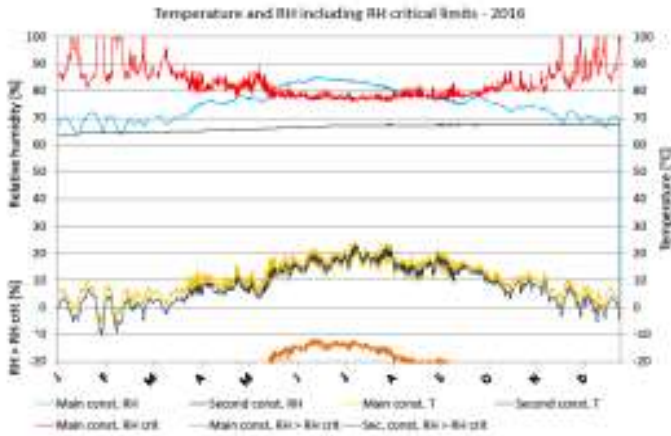
Figur 28: WUFI-diagram, vägg A.

Vägg A

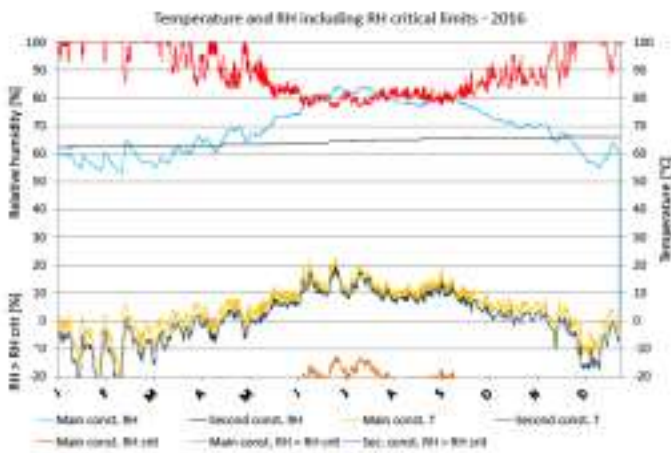
Lund



Stockholm



Kiruna



Figur 29: Folos-diagram, vägg A.

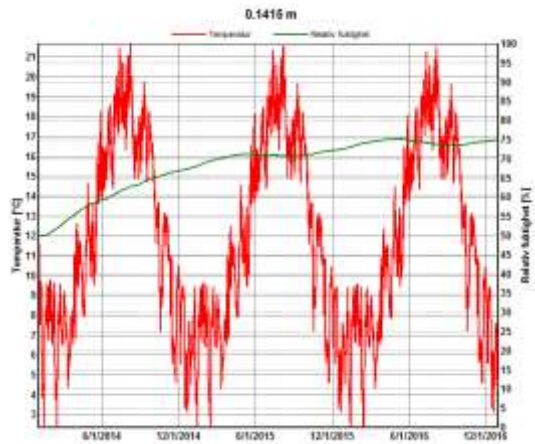
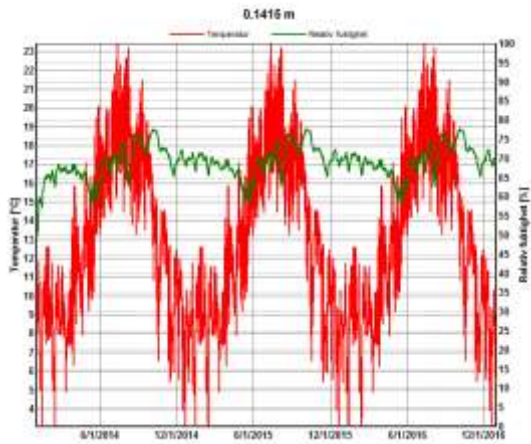


Vägg B, utan befintlig vägg

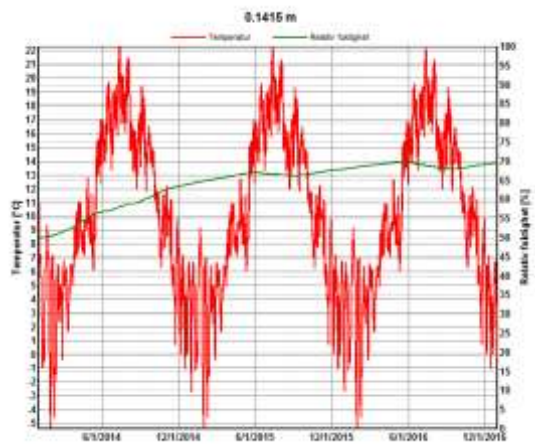
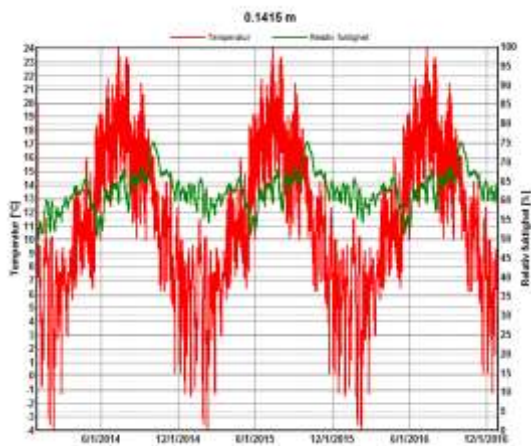
Genomsnitt i mineralull

Genomsnitt i träregel

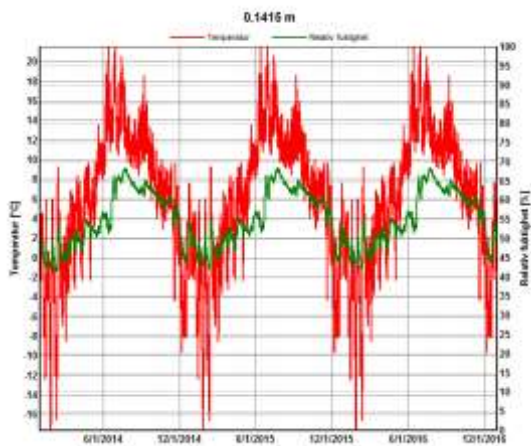
Lund



Stockholm



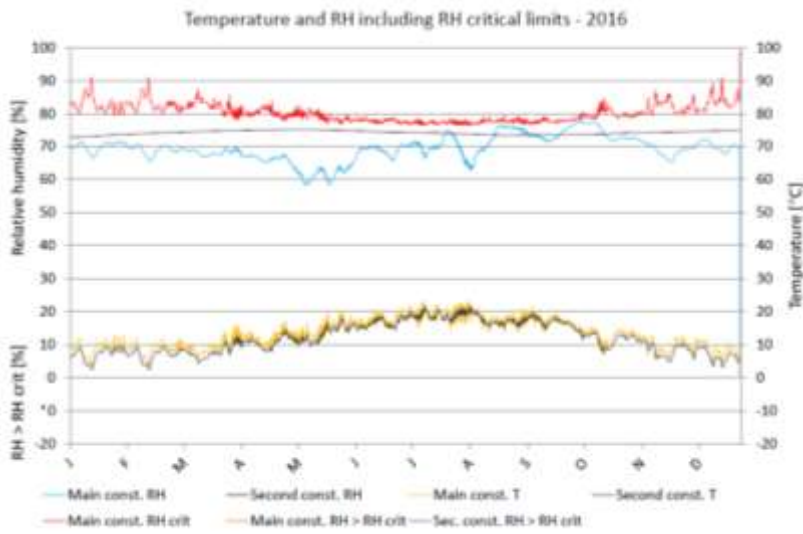
Kiruna



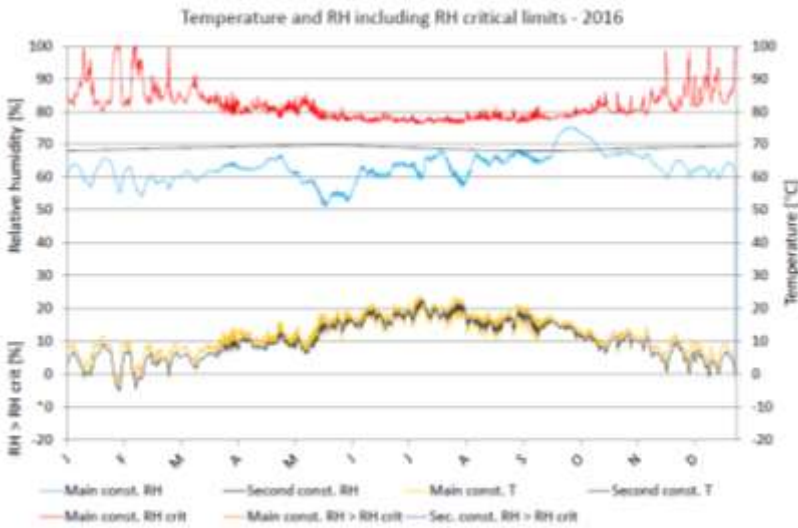
Figur 30: WUFI-diagram, vägg B utan befintlig vägg.

Vägg B, utan befintlig vägg

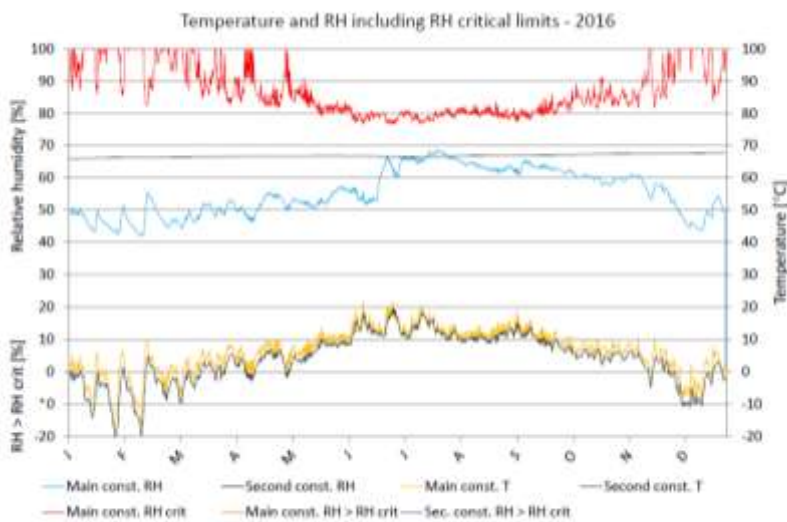
Lund



Stockholm

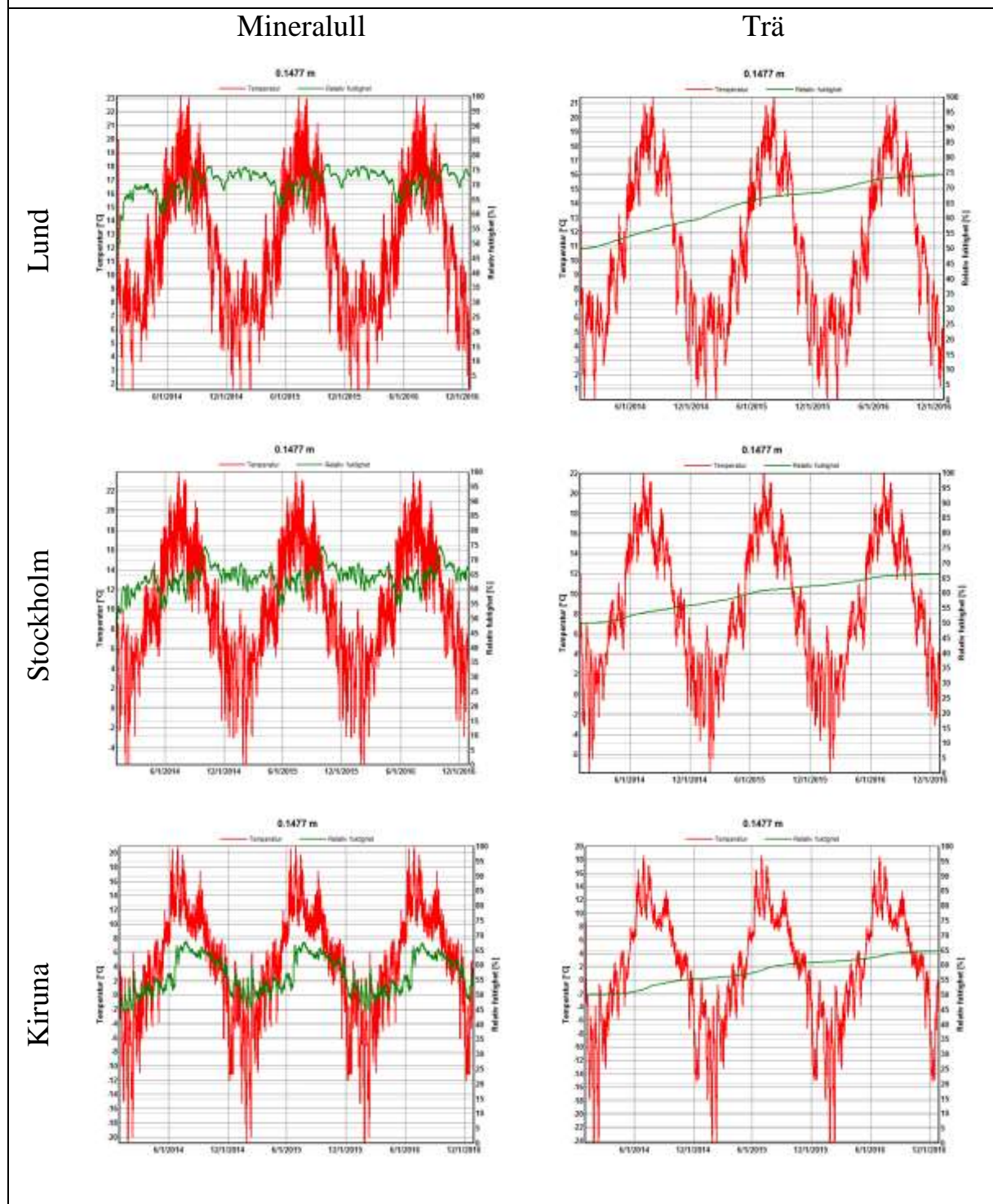


Kiruna



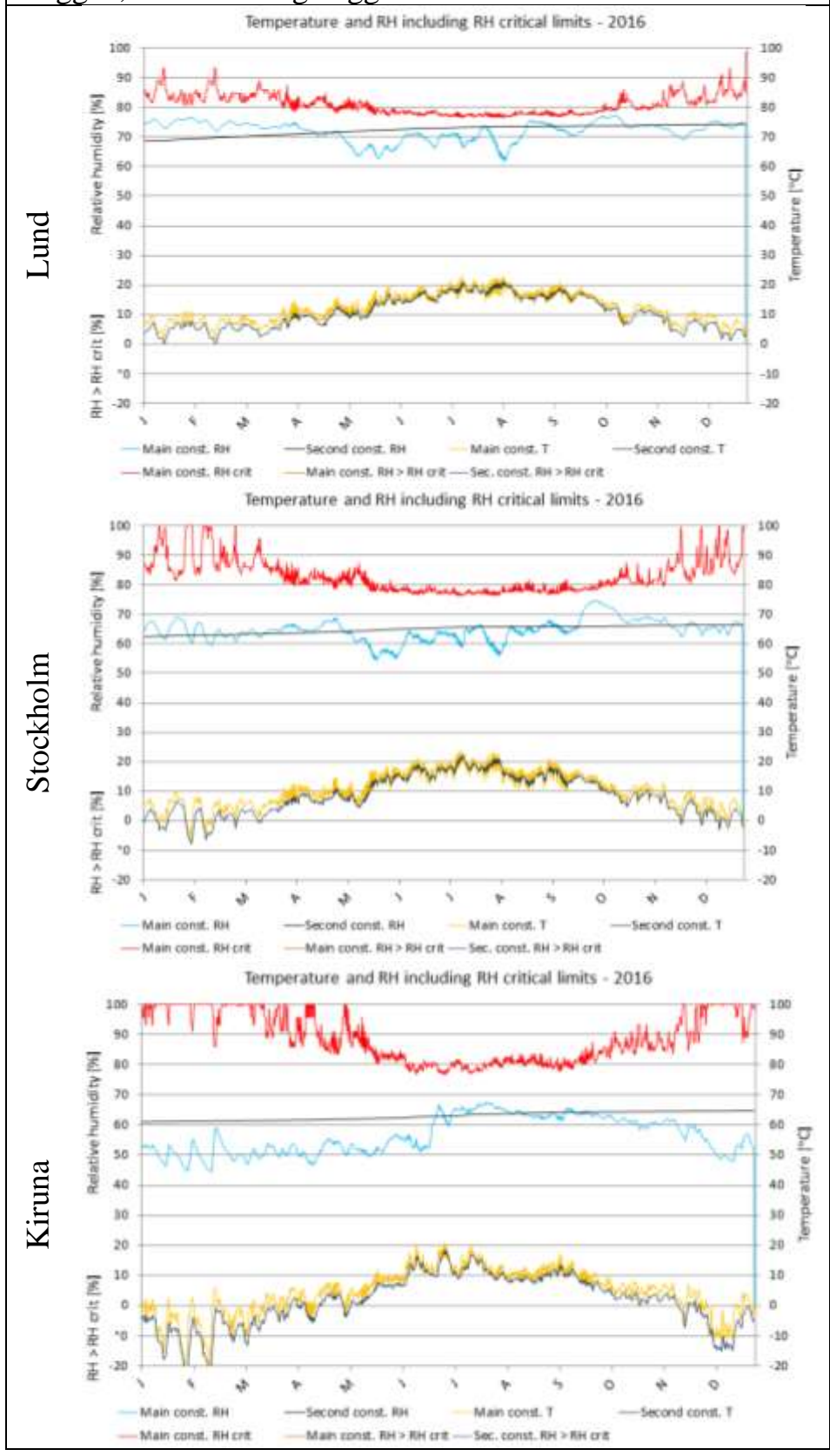
Figur 31: Folos-diagram, vägg B utan befintlig vägg.

Vägg B, med befintlig vägg



Figur 32: WUFI-diagram, vägg B med befintlig vägg.

Vägg B, med befintlig vägg



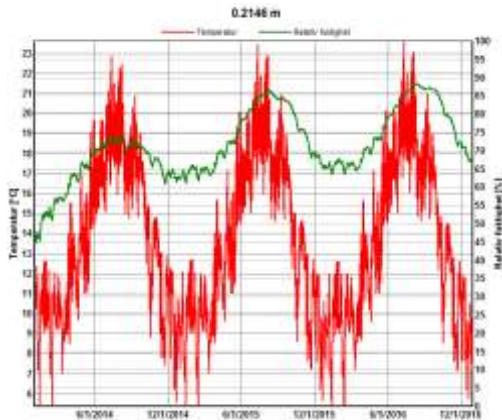
Figur 33: Folos-diagram, vägg B med befintlig vägg.

Vägg C

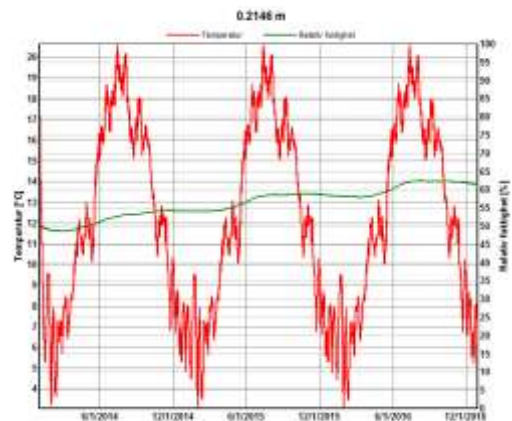
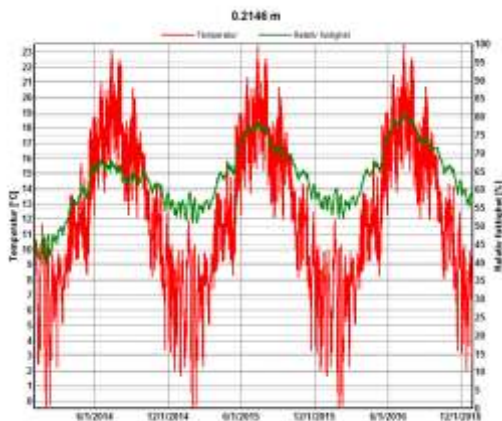
Genomsnitt i mineralull

Genomsnitt i träregel

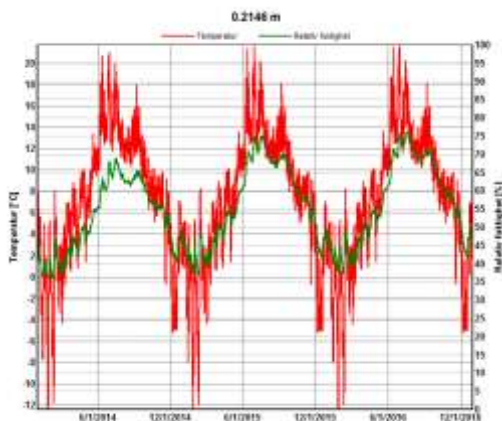
Lund



Stockholm



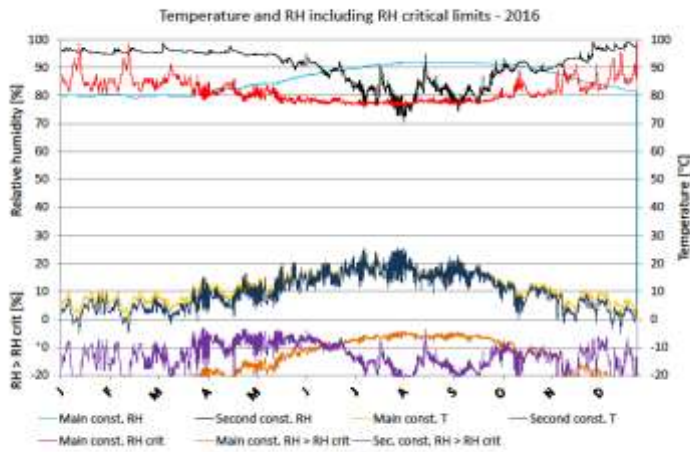
Kiruna



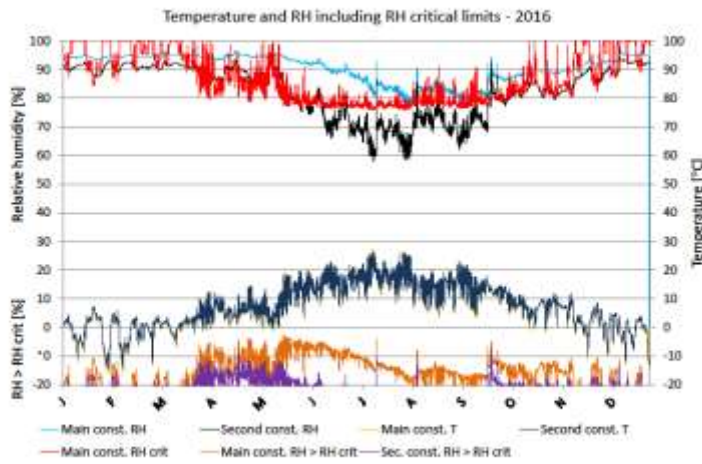
Figur 34: WUFI-diagram, vägg C.

# Vägg C

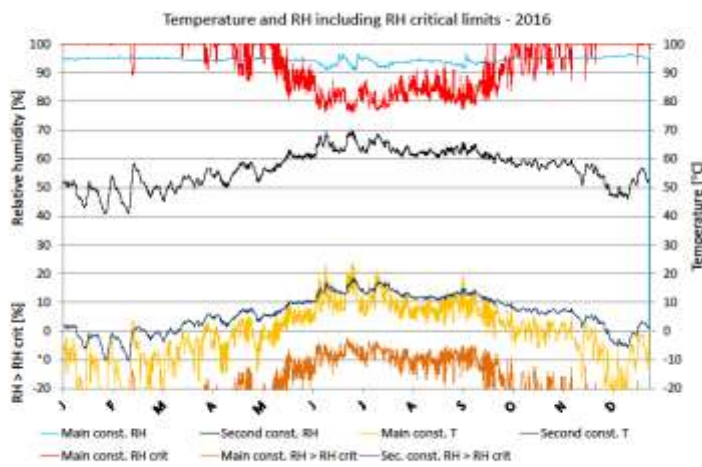
Lund



Stockholm



Kiruna



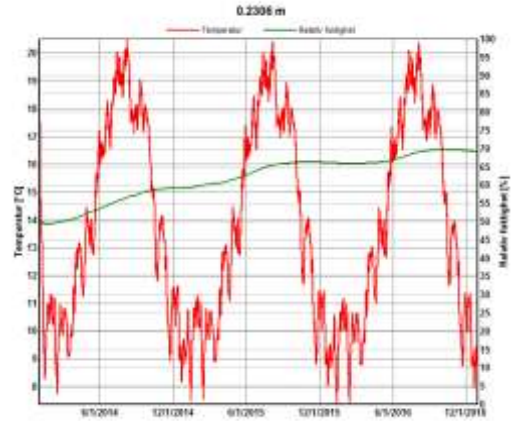
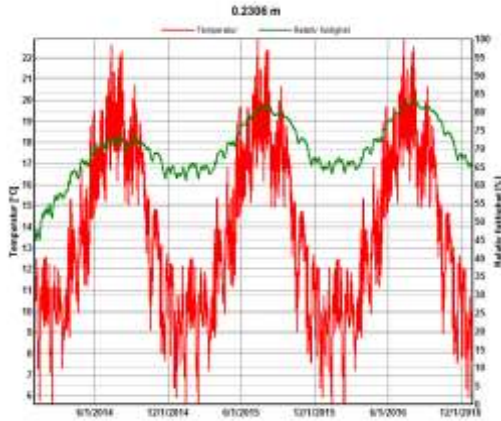
Figur 35: Folos-diagram, vägg C.

Vägg D

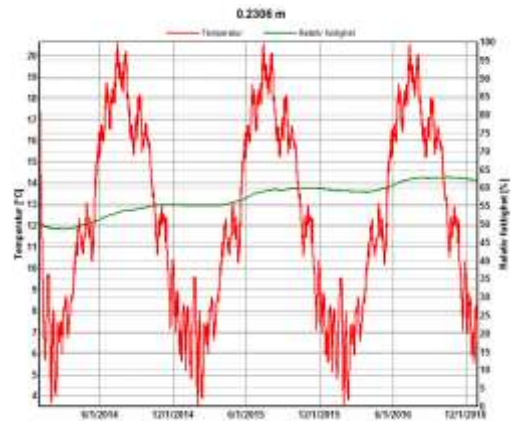
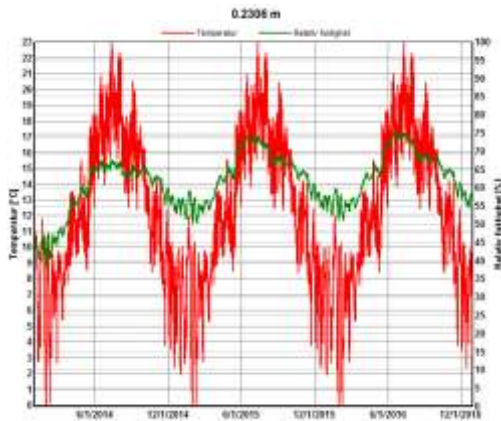
Genomsnitt i mineralull

Genomsnitt i träregel

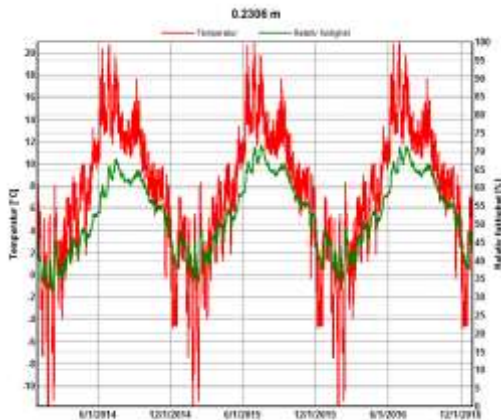
Lund



Stockholm



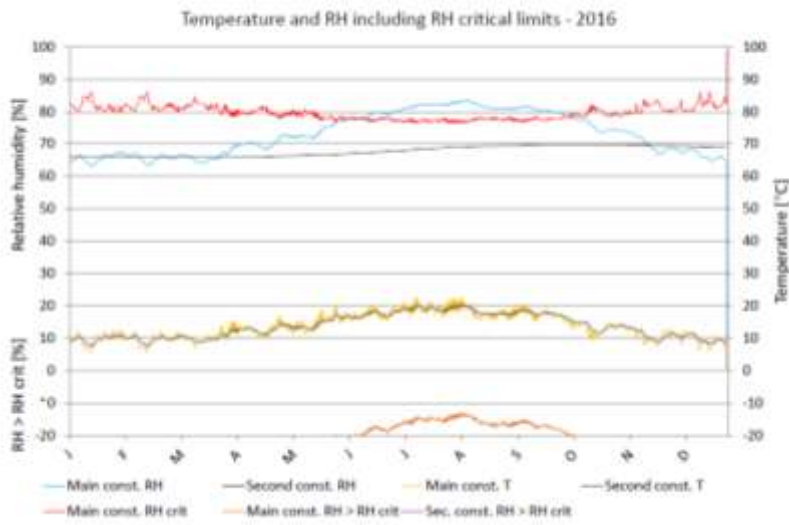
Kiruna



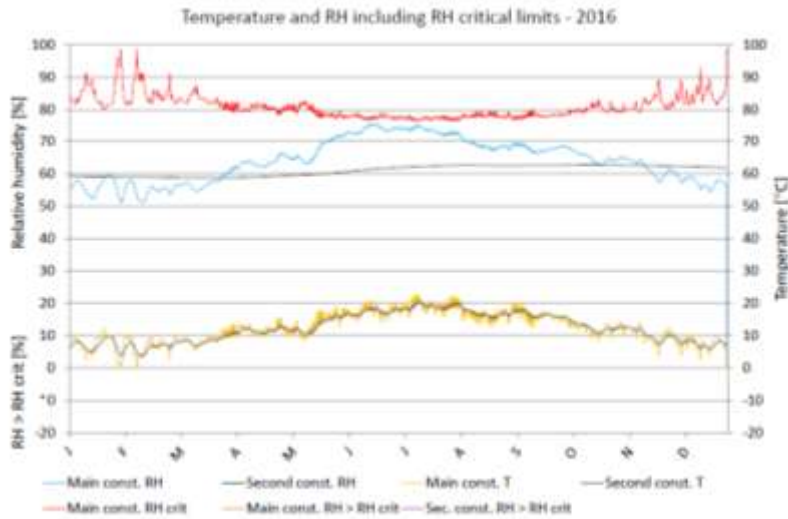
Figur 36: WUFI-diagram, vägg D.

Vägg D

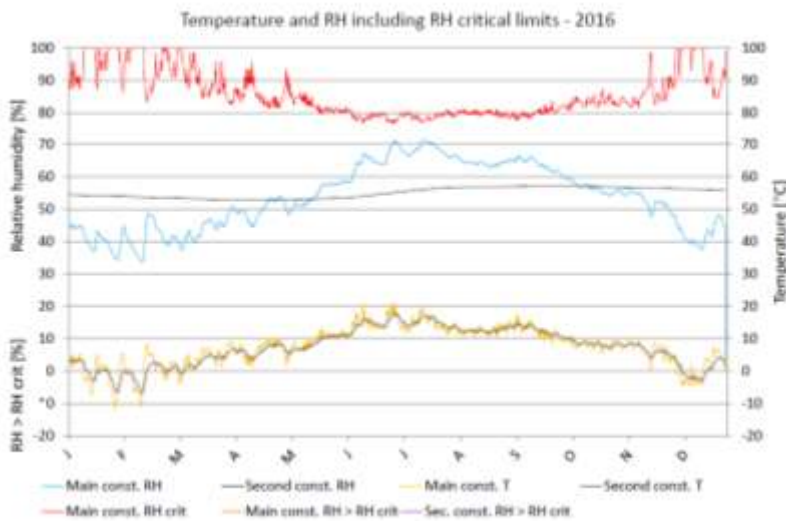
Lund



Stockholm



Kiruna



Figur 37: Folos-diagram, vägg D.

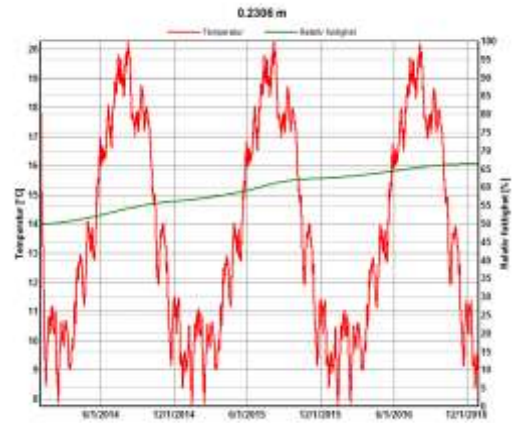


Vägg E

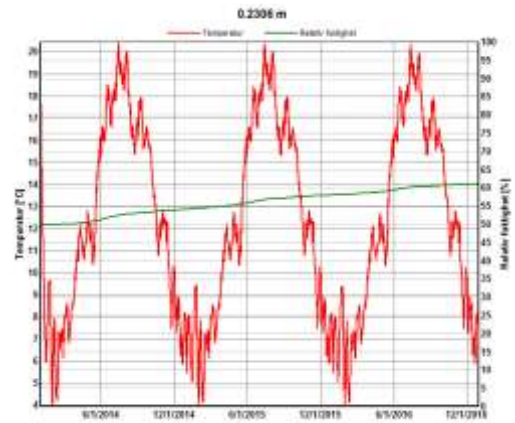
Genomsnitt i mineralull

Genomsnitt i träregel

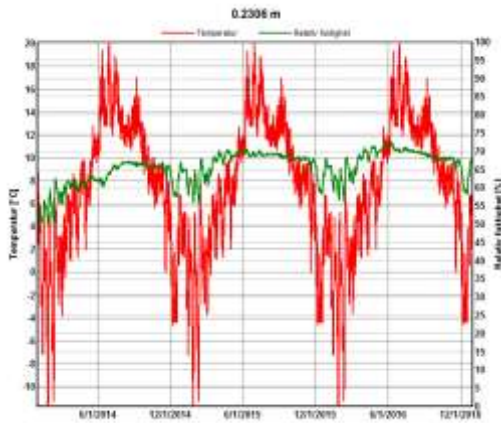
Lund



Stockholm



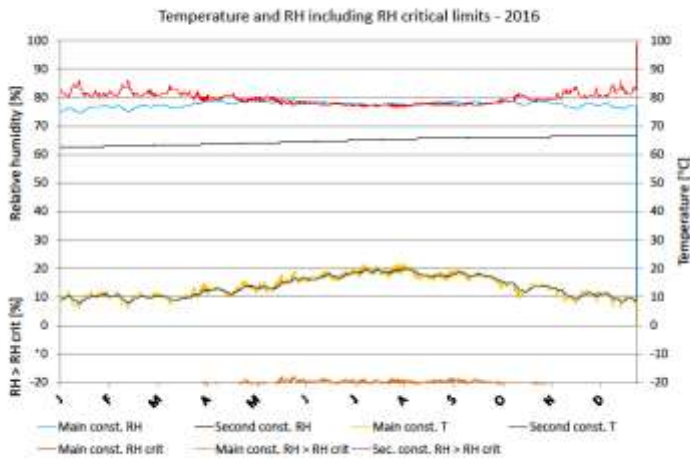
Kiruna



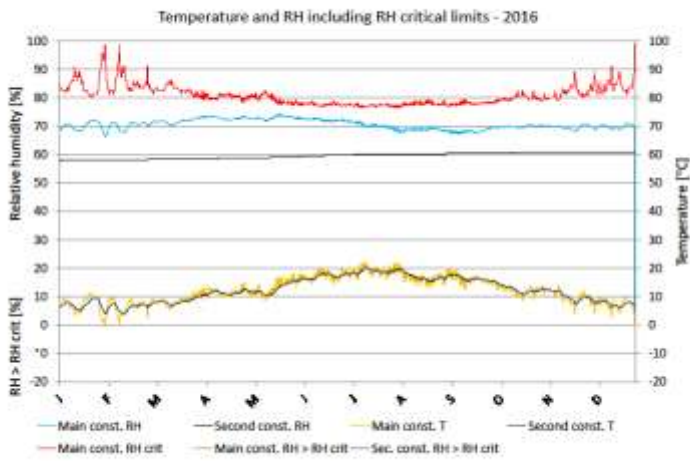
Figur 38: WUFI-diagram, vägg E.

# Vägg E

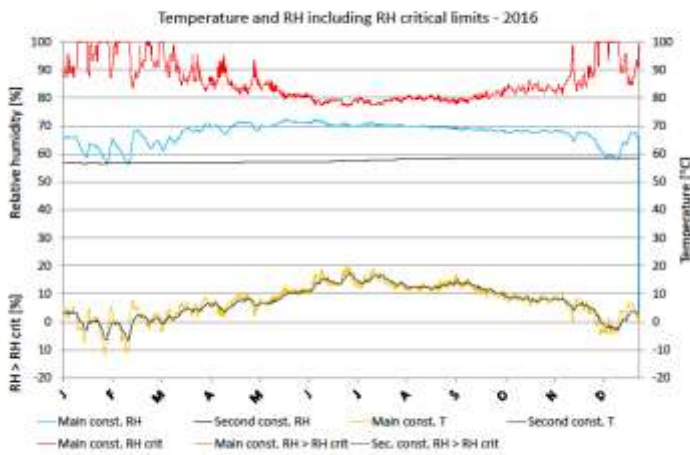
Lund



Stockholm



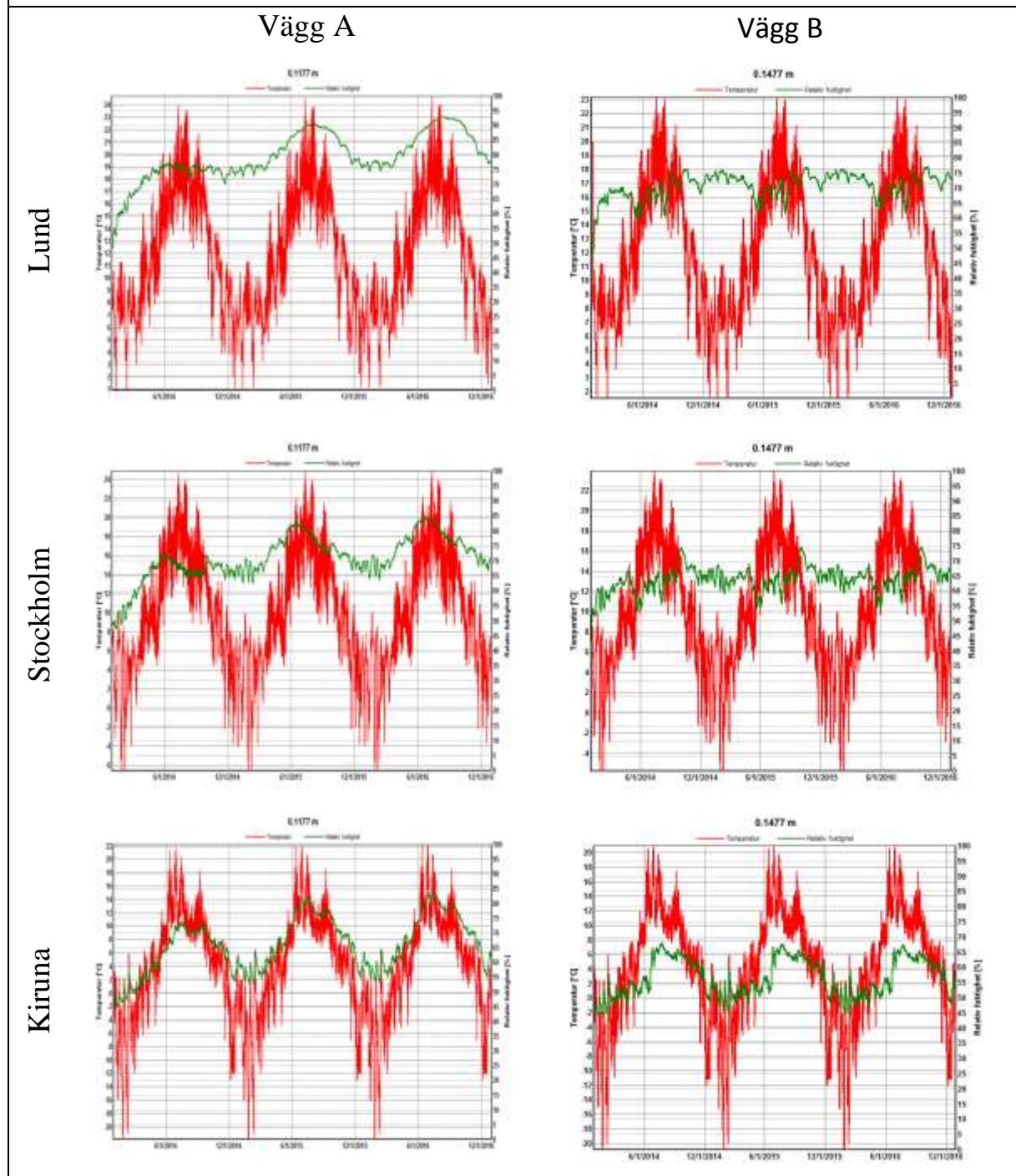
Kiruna



Figur 39: Folos-diagram, vägg E.

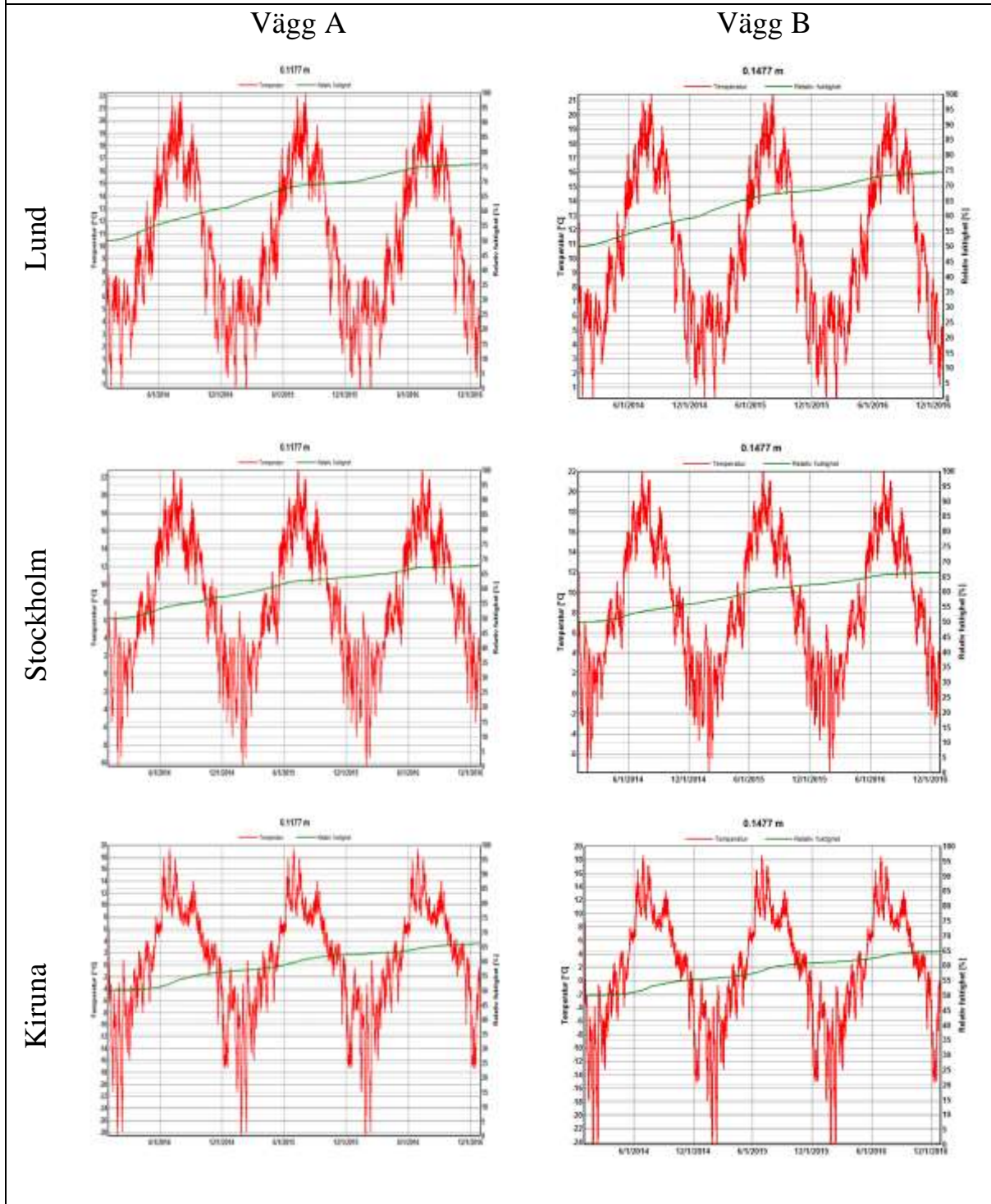
### 7.3 Bilaga 3 – Jämförelser

Jämförelse: Vägg A och vägg B (utan och med ventilerad luftspalt), i mineralullsskiktet.



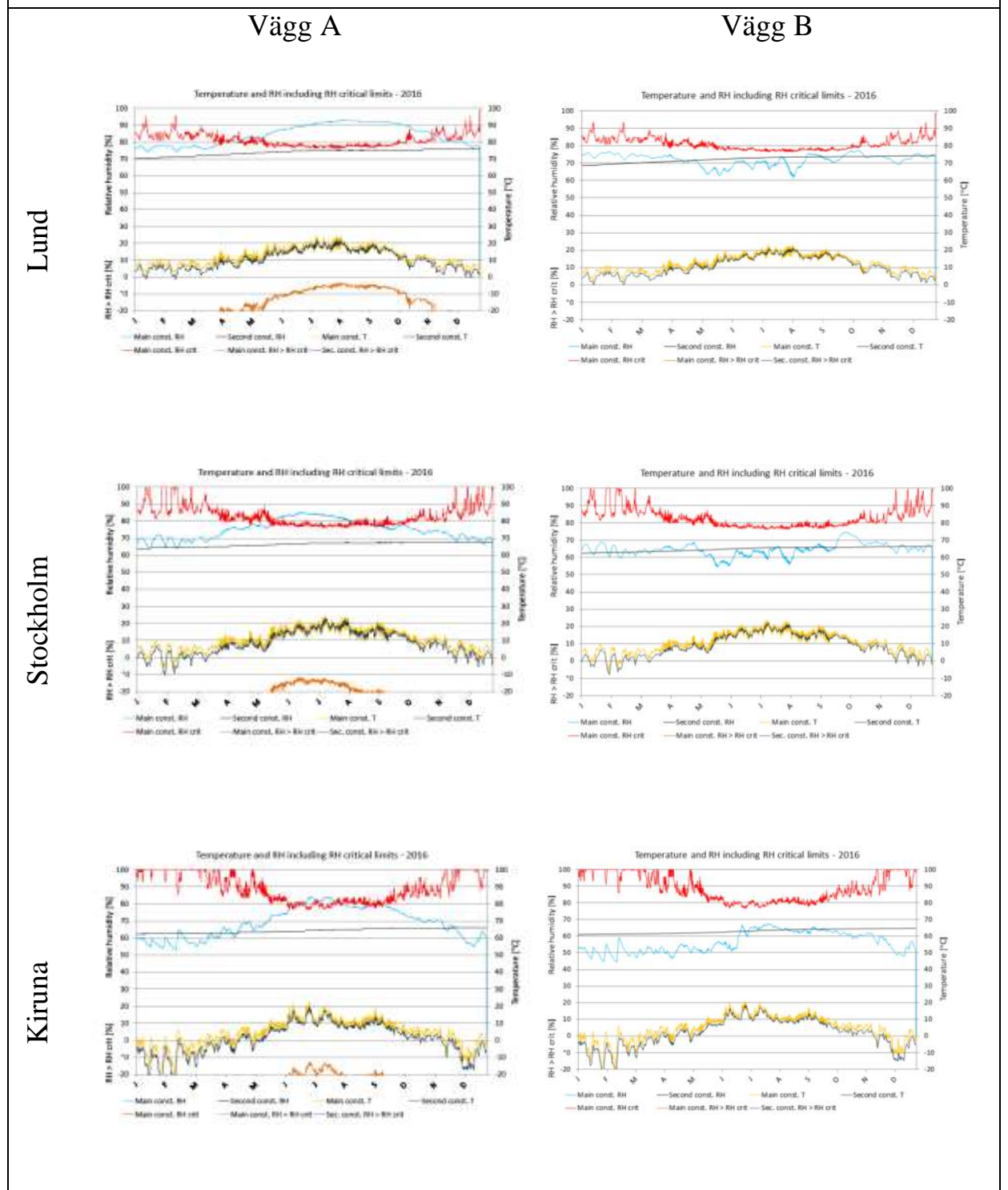
Figur 40: Jämförelse i mineralullen, vägg A och vägg B.

Jämförelse: Väg A och vägg B (utan och med ventilerad luftspalt), i träskiktet.



Figur 41: Jämförelse i träregel, vägg A och vägg B.

Jämförelse: Vägg A och vägg B (utan och med ventilerad luftspalt)



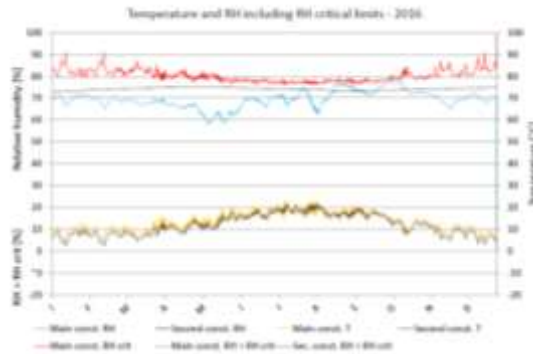
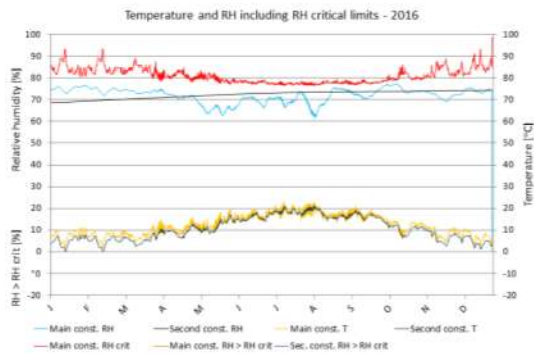
Figur 42: Jämförelse i Folos, vägg A och vägg B.

Jämförelse av vägg B, med och utan befintlig vägg.

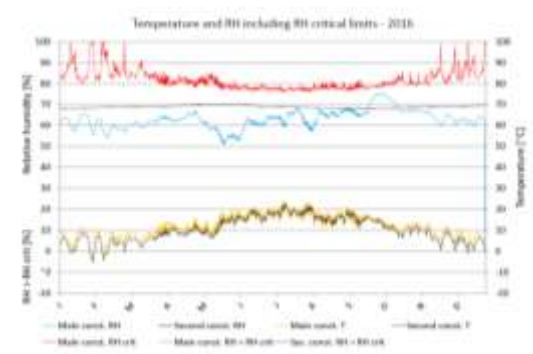
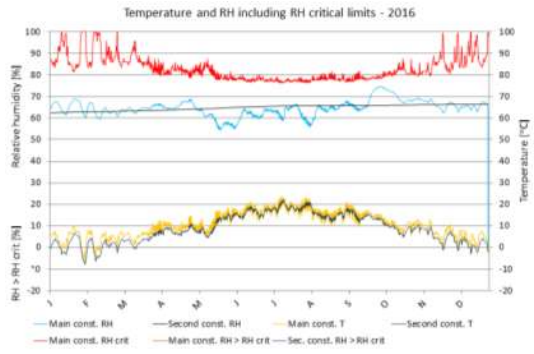
Vägg B, med befintlig vägg

Vägg B, utan befintlig vägg

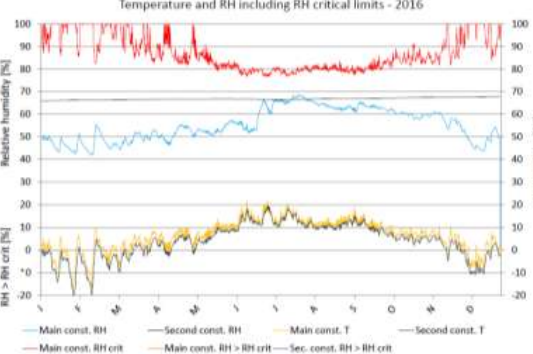
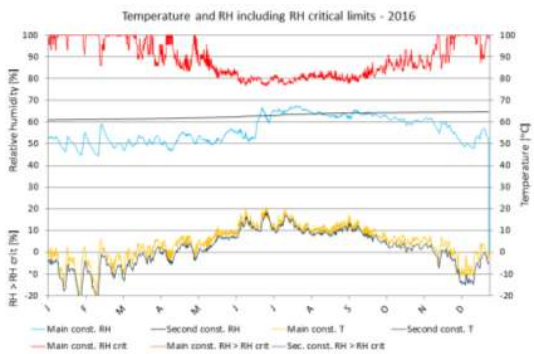
Lund



Stockholm

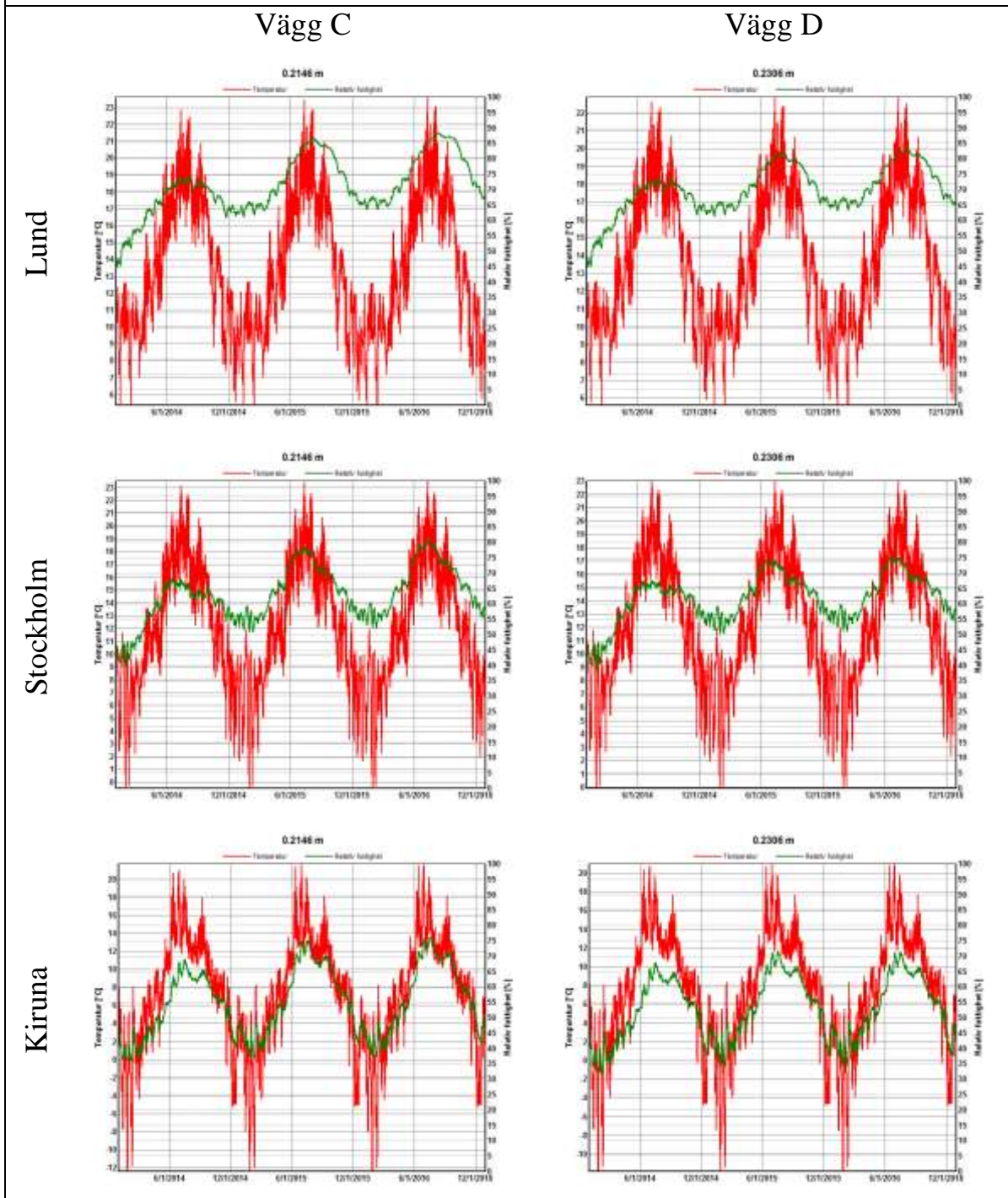


Kiruna



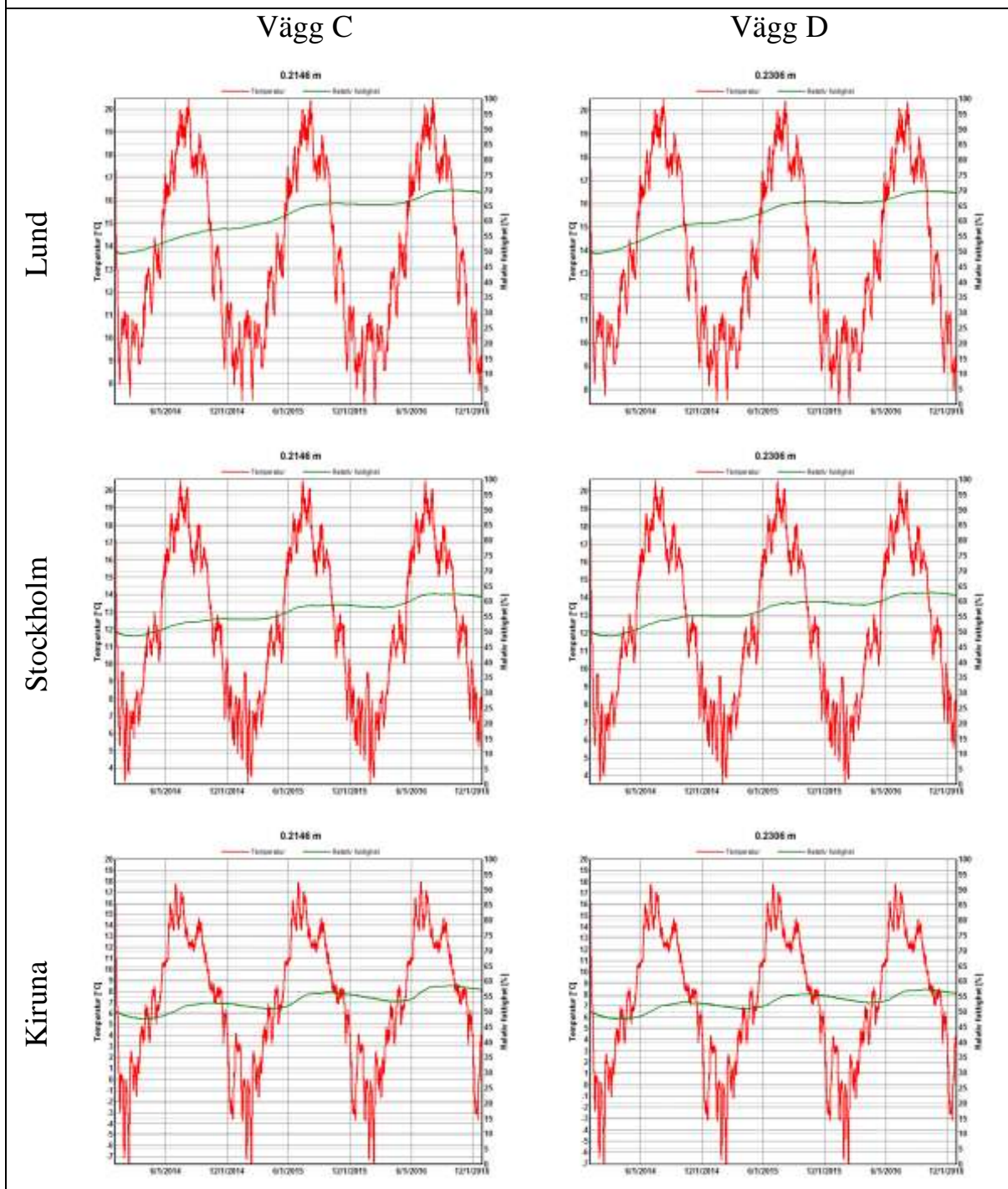
Figur 43: Jämförelse med och utan befintlig vägg, vägg B.

# Jämförelse: Vägg C och vägg D, i mineralullsskiktet



Figur 44: Jämförelse i mineralullsskiktet, vägg C och vägg D.

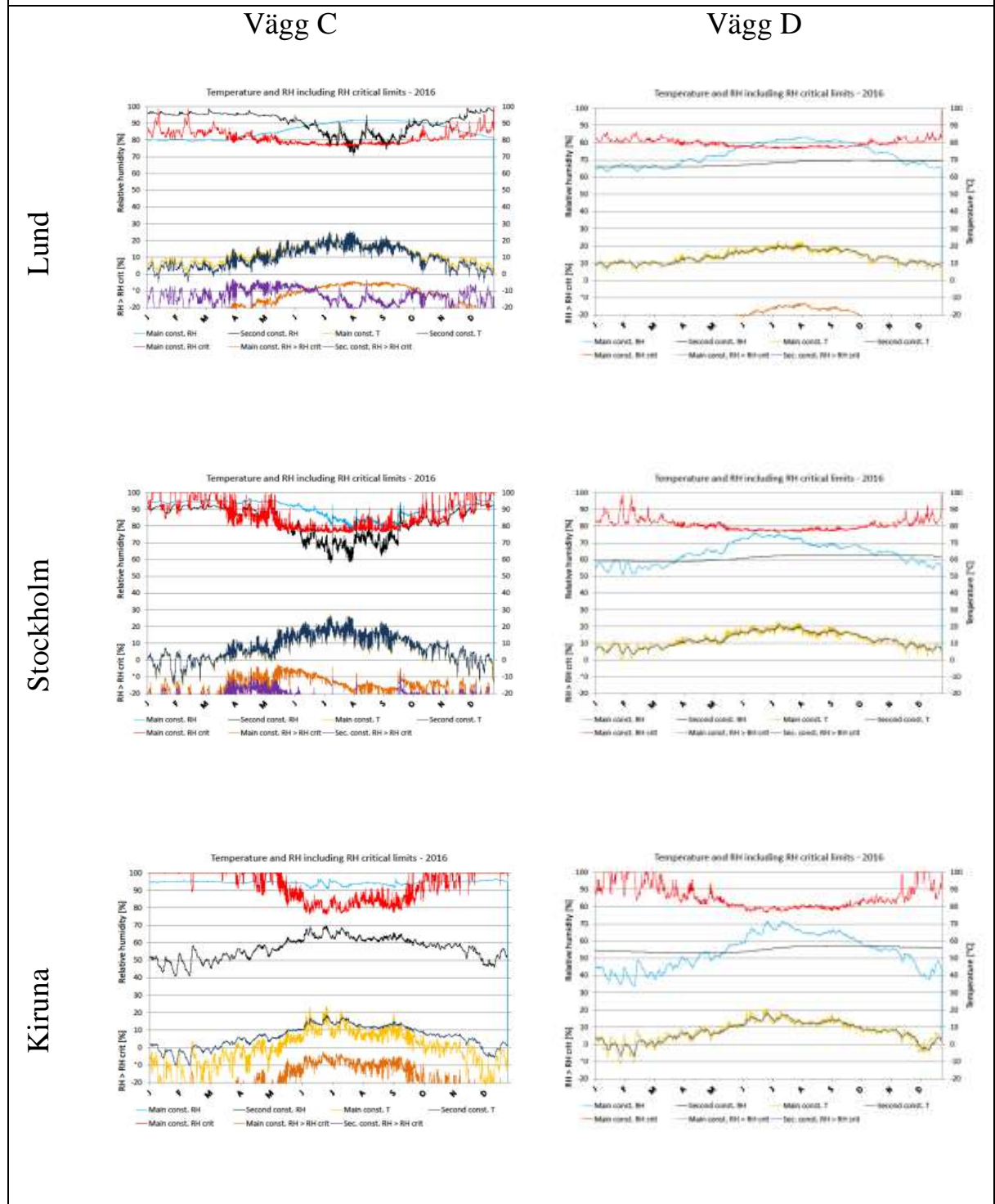
# Jämförelse: Väg C och väg D, i träreglarna



Figur 45: Jämförelse i träreglarna, vägg C och vägg D.

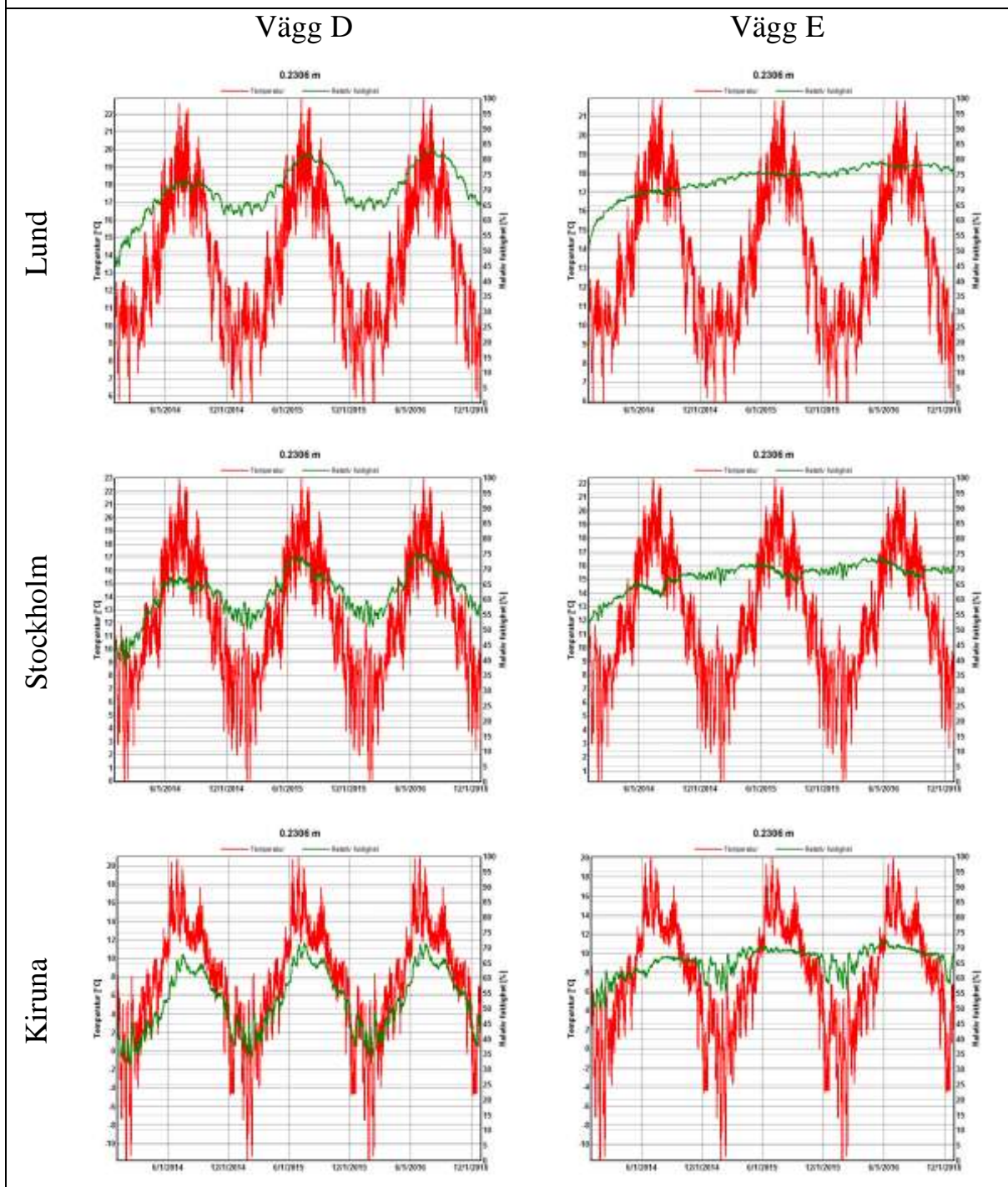


# Jämförelse: Vägg C och vägg D



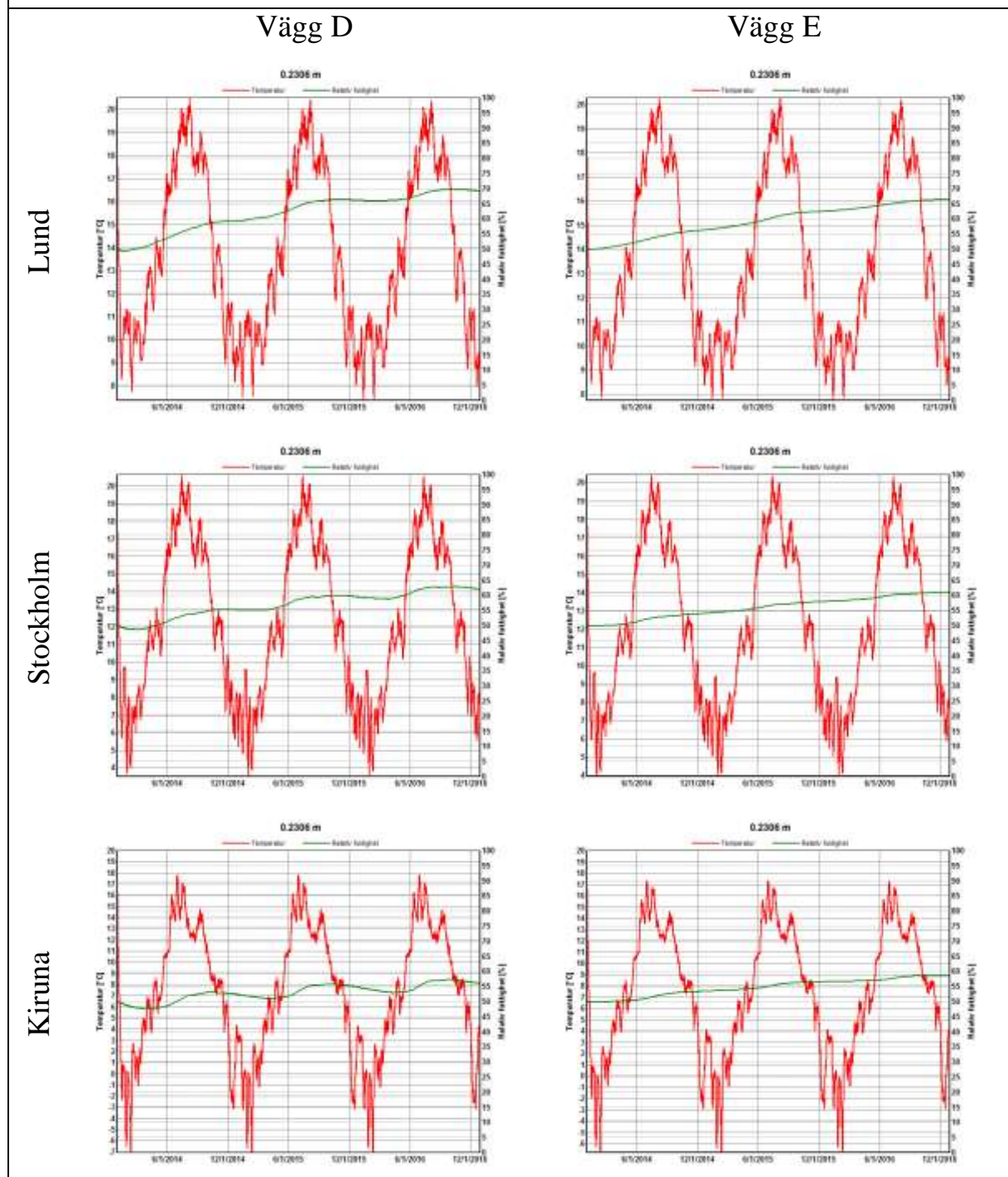
Figur 46: Jämförelse i Folos, vägg C och vägg D.

# Jämförelse: Väg D och Väg E, i mineralullsskiktet



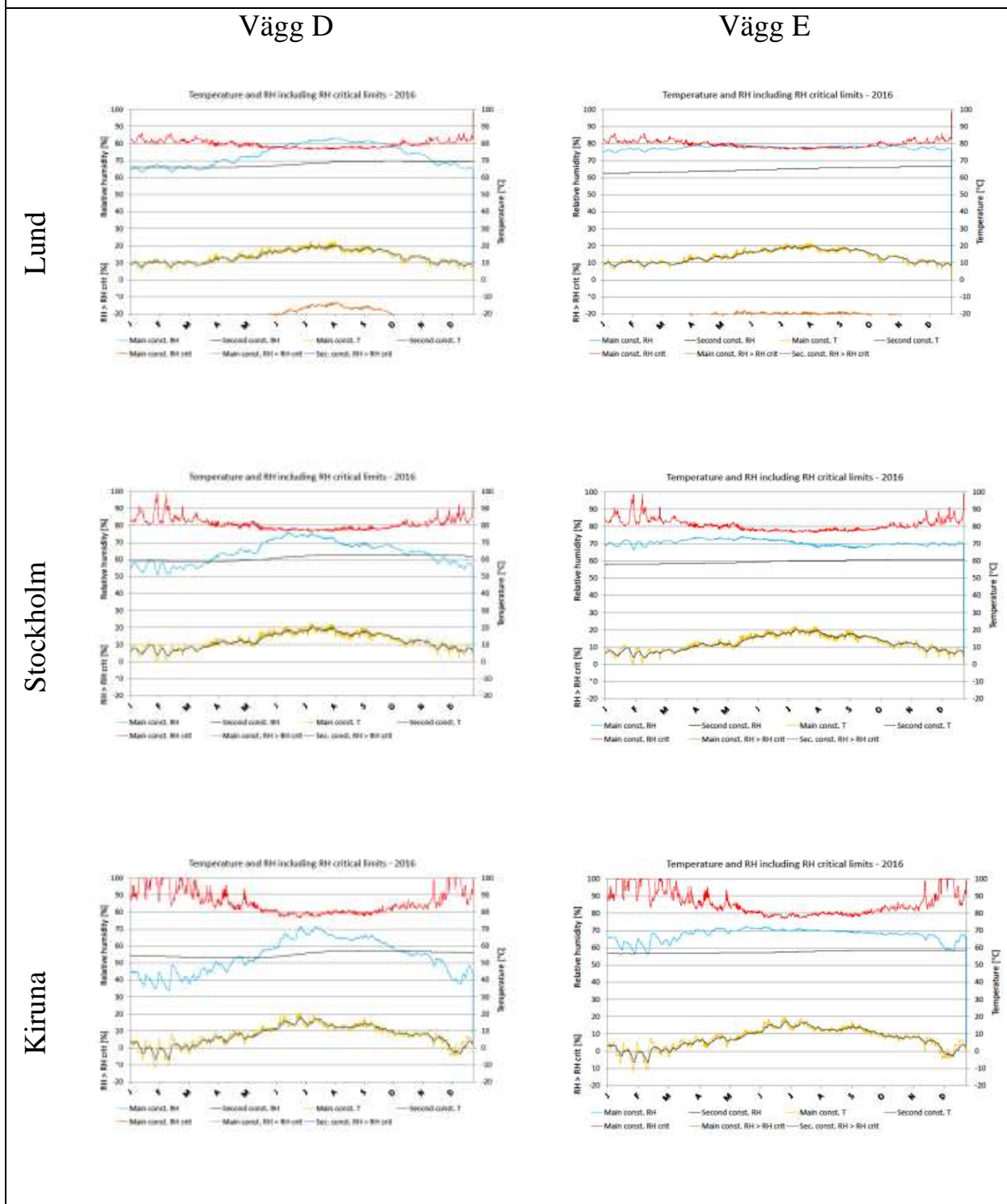
Figur 47: Jämförelse i mineralullsskiktet, vägg D och vägg E.

# Jämförelse: Vägg D och vägg E, i träregelstommen



Figur 48: Jämförelse i träregel, vägg D och vägg E.

# Jämförelse: Vägg D och vägg E



Figur 49: Jämförelse i Folos, vägg D och vägg E.

tader i egen regi  
itala bibliotek (Service)  
rmarknad Egen Regi

nomi

1

erksamhet

3U-Nytt (Nyheter)

3U-projekt

Pantura

E2ReBuild

rocesser

ätent- och mönsterskydd

apportbibliotek

idustridoktorander

kterna nyhetsbrev

änkar

tsäkert byggande

slagsverksamheten -  
llet

säkring

öp

system för  
ksamhetsstöd

istenheten Sverige

# E2ReBuild

*Energieffektiv renovering av flerbostadshus i Kalla klimat*

Projektet | NCCs deltagande | E2ReBuild partners | Publicerade rapporter

## Projektet

*1 januari 2011 startade det 3,5-åriga EU-finansierade projektet E2ReBuild - energieffektiv renovering av flerbostadshus i Kalla klimat. Projektet har 19 partner från 7 länder. MCC leder projektet som koordinator.*

Projektet ligger inom EU-kommissionens prioriterade område "energieffektiva byggnader" (EEB). EU satsar 10 miljarder euro på forskning och utveckling inom detta område under en 10-årsperiod. Detta projekt har en totalbudget på omkring 1 miljoner kronor, varav drygt hälften är EU-finansiering.

Fokus i projektet ligger på demonstrationer. De sju demonstrationerna kommer testa olika metoder och koncept för energieffektiv renovering, bland annat prefabricerade fasader. Demonstrationerna åtföljs av forskning och utveckling i områdena planering och ombyggnadsstrategier, industriella produktionsmetoder mätmetoder och boende-interaktion. Resultaten av detta ska användas till att skapa en industriell plattform för energieffektiv renovering. Inom projektet kommer också en seminarierie pågå för att utbyta kunskaper och erfarenheter mellan projektdeltagare. Projektets resultat sprids genom den externa hemsidan och deltagarkonferenser.

NCC deltar i projektet med ett demonstrationsprojekt i Halmstad; Giganten. Där demonstration görs i samarbete med fastighetsägaren, vår kund, Apartment Bo. Väst. Vi leder också delprojektet om den industriella plattformen.

Arbetet inom projektet är uppdelat i ett antal arbetspaket (work package) och delprojekt (task). Se bilden nedan (klicka på bilden för att öppna en större bild i fönster).

## 7.4 Bilaga 4

## 7.5 Bilaga 5

### **The E2ReBuild definition of Industrial Retrofitting**

A thoroughly developed building process to modify buildings already in service through the adaption of new technology, equipment or systems, with a well-suited organization for efficient management, preparation and control of the included activities, flows, resources and results for which highly developed components can be used in order to create maximum customer value