

Slutrapport för projektet:

## Effekter på funktion och kostnad av styrd ventilation av kallvindar. SBUF-projekt 11871, 11955

Projektledare: Carl-Eric Hagentoft, Chalmers Byggnadsfysik

Projektgrupp: Angela Sasic, Chalmers Byggnadsfysik  
Rolf Jonsson, Wäst Bygg  
Dick Jimar, AF Bygg  
Charlotte Svensson-Tengberg, Skanska  
Martin Lindström, NCC  
Pär Åhman, FoU-Väst

Referensgrupp: Företagen inom FoU-Väst

## Innehållsförteckning

	sida
Sammanfattning	3
1. Bakgrund och erfarenheter av kontrollerad ventilation	4
2. Projektbeskrivning	6
3. <b>Etapp I:</b> Studerad byggnad och kallvind	7
4. Beräkningsverktyg och bedömning av mögelrisk	8
5. Beräkningsresultat	11
6. Byggnadsteknisk analys och ekonomi	15
7. <b>Etapp II:</b> Mätobjekt Vistaberg, Huddinge	17
8. Mätningar i samband med installation – Vistaberg, Huddinge	18
9. Mätresultat - Vistaberg, Huddinge, vinterhalvåret 2008-2009	18
10. Mätobjekt Hamnhuset, Göteborg, vinterhalvåret 2008-2009	23
11. Beräkningsresultat - Vistaberg, Huddinge, vinterhalvåret 2008-2009. Jämförelser med mätdata	24
12. Diskussion	27
13. Slutsatser från Etapp I och II	28
Referenser	29
Bilaga 1: Etapp I; Hygrotermiska förhållanden under ett år	30
Bilaga 2: Etapp I; Byggnadsteknik för lufttät kallvindskonstruktion	43
Bilaga 3: Etapp I; Kostnadskalkyl för lufttät kallvind	44
Bilaga 4: Etapp II; Mät- och beräkningsresultat för Hygrotermiska förhållanden	46

## Sammanfattning

Studien har utgått ifrån de problem som uppmärksammats med kallvindar i moderna byggnader. Andra nyligen publicerade studier har visat att mögelförekomsten är riklig i kallvindar i minst 60% (kanske upp till 84%) av det befintliga byggnadsbeståndet. Tecken tyder på att välisolerade vindsbjälklag bidrar till problemet.

Det är självklart så att den situation som råder idag där vi med stor sannolikhet bygger in förväntade skador är helt oacceptabel och att något måste göras! Vi kan dessutom förvänta oss allt mer problem i takt med krav på ökad energieffektivisering.

En metod med lufttätade kallvindar som ventileras kontrollerat har tagits som utgångspunkt i studien för att förbättra fuktsäkerheten.

Beräkningsresultaten för fuktillståndet och temperaturen på kallvindar i småhus visar tydligt på en kraftigt reducerad eller helt eliminerad risk för mögelpåväxt vid kontrollerad ventilation och lufttätad kallvind. Beräkningarna förutsätter en lufttäthet i intervallet 1-7 luftomsättningar i timmen vid provtryckning på 50 Pa. Bristande täthet kan delvis kompenseras med en större ventilation av kallvinden.

Kontrollerad ventilation ger ännu bättre resultat i byggnader som byggts med god omsorg för klimatskalets lufttäthet, likaså ställs något lägre krav på kallvindens tätning när byggnaden har F-ventilationssystem i jämförelse med FT-ventilationssystem.

Kostnadsanalysen visar att, då rutiner etablerats, kan en väl tätad kallvind byggas utan merkostnad.

Den kontrollerade ventilationen bedöms kräva i storleksordningen 100 kWh elenergi per år för drift. Nuvärdeskostnaden, investeringskostnaden och driftskostnaden utslagen på brukstiden med en kalkylränta på 5 %, ligger i ett intervall på ca 325- 725 kr/år. Spannet beror på att investeringskostnaden bara kan uppskattas ligga mellan 5 000 och 15 000 kr. Brukstiden antages till 25 år.

Fältmätningar gjorda på fyra kallvindar i småhus i Stockholmstrakten visar att den styrda ventilationen ger stabilare och lägre relativ fuktighet under vinterhalvåret än kallvind som är traditionellt ventilerad med hjälp av luftspalter längs takfoten. Torrare klimat uppnås och risken för mögelbildning minskar drastiskt. De studerade installationerna, med varierande teknik för lufttätning av kallvinden antyder att tillräcklig lufttätningen inte verkar vara svår att uppnå.

Fältmätningar gjorda på fyra kallvindar i flerfamiljshus i Göteborg visar på att ett torrt klimat uppnåtts (max RF på strax lite drygt 80% under kort tid på vintern) och att risken för mögelbildning är marginell.

## 1. Bakgrund och erfarenheter av kontrollerad ventilation

I takt med att kallvindar värmeisolerats allt mer uppstår fler och fler fuktrelaterade skador. Det förekommer en mängd fuktproblem kopplade till kalla vindar i allmänhet och till ökad isoleringsgrad i synnerhet. Det finns en stor risk att behövliga energieffektiviseringsåtgärder får stå tillbaka för rädslan för fuktrelaterade skador.

I en utredning som gjordes på KTH- Byggnadsteknik i ett uppdrag från Småhusskadenämnden, tillfrågades 95 konsulter i en enkät. På påståendet ”Fuktproblem kommer ofta efter tilläggsisolering av vindar” instämde 83 st. I påståendet ”Ventilerade vindar har ofta problem” instämmer 53 av 95 konsulter. I en rapport från Anticimex nämns att 50 % av alla vindar får anmärkningar vid besiktning.



*Figur 1. Exempel på olika fuktskador*

Att kallvindar kan klassas som en riskkonstruktion ur fuktsynpunkt styrks av resultat från ett nyligen färdigställt examensarbetet ”Fukt på kallvindar – en kartläggning av småhus i Västra Götalands län” som har utförts på Chalmers tekniska högskola under hösten 2006.

Kartläggningen har utförts i form av en postenkät innehållande frågor om aktuellt hus och provtagningsunderlag för mykologisk analys. Postenkäten skickades ut till 200 stycken slumpmässigt utvalda fastighetsägare till friliggande småhus i Västra Götalands län. Kartläggningen fick en svarsandel på 50 % och den visar att 83 %  $\pm$  7 % av alla småhus i Västra Götalands län kan antas ha kallvindar och att 72 %  $\pm$  12 % av dem kan antas ha en riklig förekomst av mögelsvamp på kallvinden.

En nyligen utkommen rapport från Boverket, (Så mår våra hus, Boverket, 2009), visar siffror på att problem med mögel och mögellukt kopplat till kallvindar har ökat de senaste 15 åren. Uppskattningsvis har 15 % av småhusen och 2 % av flerbostadshusen i det befintliga byggnadsbeståndet mögelproblem.

### *Fukt*

Fuktrelaterade problem uppstår då det finns fuktkällor, såsom regngensomslag (läckage) genom yttertak, byggfukt i material i nyare hus samt fukten som finns i omgivande luft. Att ha ett vattentätt tak som förhindrar regnvatten att komma in är självklart.

Regnläckage ger normalt missfärgningar lokalt och man brukar se att vatten runnit längs takstol och undertak, eller att vatten droppat ner på isoleringen på vindsbjälklaget.

De andra fuktkällorna är däremot svårare att hantera, speciellt luftfukten. Luften för med sig fukt både i form av varm och fuktig inomhusluft, vilken tar sig upp genom vindsbjälklaget samt genom ventilationen av uteluft vid takfot. Under långa perioder av året uppstår hög relativ fuktighet, vilket kan leda till mögelpåväxt på undertaket av t.ex. plywood eller råspont. Det är inte alltid att man ser mörka mögelfläckar. Vid mykologisk analys konstateras ofta riklig förekomst av aktiva mögelsporer trots att möglet inte är synligt. Ett annat problem är att den biologiska aktiviteten leder till elak lukt som sprider sig på vindsutrymmet och ibland ner i huset.

Läckage av fuktig inneluft upp på vinden och utstrålning av värme från taket upp mot himlen förvärrar situationen avsevärt. Luftfukten kan kondensera och bilda vattendroppar på undertaket. Dessa sugs in och ansamlas i ytmaterial. Även problem med röta kan då uppstå.

Idag ges det mycket vaga råd till byggindustrin för hur kallvindsproblematiken ska lösas. Rådet att bygga helt lufttäta vindsbjälklag är bra, men svårt att uppnå. I moderna kallvindar skapar uteluften mer problem än det löser, genom vattenångan som ventileras in och "underkyls" pga. nattutstrålning från taket. Man vågar dock inte rekommendera att ta bort ventilationen helt i fall fukt trots allt kommer upp på vinden från bostaden genom vindsbjälklaget, eller på annat sätt. Rådet blir att ventileras "lagom".

### *Kontrollerad ventilation*

Det är svårt eller omöjligt att byggnadsteknisk skapa rätt ventilation för en kallvind som täcker både tidigt driftskede (byggfukt) och kontinuerlig drift. Varje kallvind har varierande lufttäthet och värmeisoleringsgrad av vindsbjälklaget. Ett sätt att lösa detta är att nyttja en installationsteknisk lösning med kontrollerad ventilation.

För att ha kontroll av ventilationen krävs en reduktion av okontrollerad luftinfiltration. Detta betyder att utrymmet inte har ventilöppningar vid takfot eller vidnock, samt att kallvindens tak görs så lufttät som möjligt. Effekten av den kontrollerade ventilationen blir allt bättre ju

tätare angränsningsytorna är. Det krävs ytterligare analys och mätningar, utöver de som genomförts i denna rapport, för att utreda hur känslig metoden är för otätheter.

I samband med nytillverkning leder detta nya koncept till möjliga kostnadsreduktioner, eftersom isoleringstjockleken på vinden kan ökas. Även i samband med ombyggnad och tilläggsisolering av befintliga vindar påverkas både funktion, produktionsteknik och ekonomi.

## 2. Projektbeskrivning

Projektet med evaluering av metoder samt fältförsök innehåller två etapper. Den första etappen behandlade:

- Teoretiska beräkningar av temperatur- och fuktillstånd på kallvindar. Inverkan av storleken på ventilationsflödet, krav på kallvindens lufttäthet, effekt av bjälklagets lufttäthet och värmeisoleringsgrad samt det yttre klimatet ska bedömas.
- Produktionstekniska aspekterna belysas och kvantifieras ekonomiskt. Energikostnader och livscykelkostnader ska analyseras.

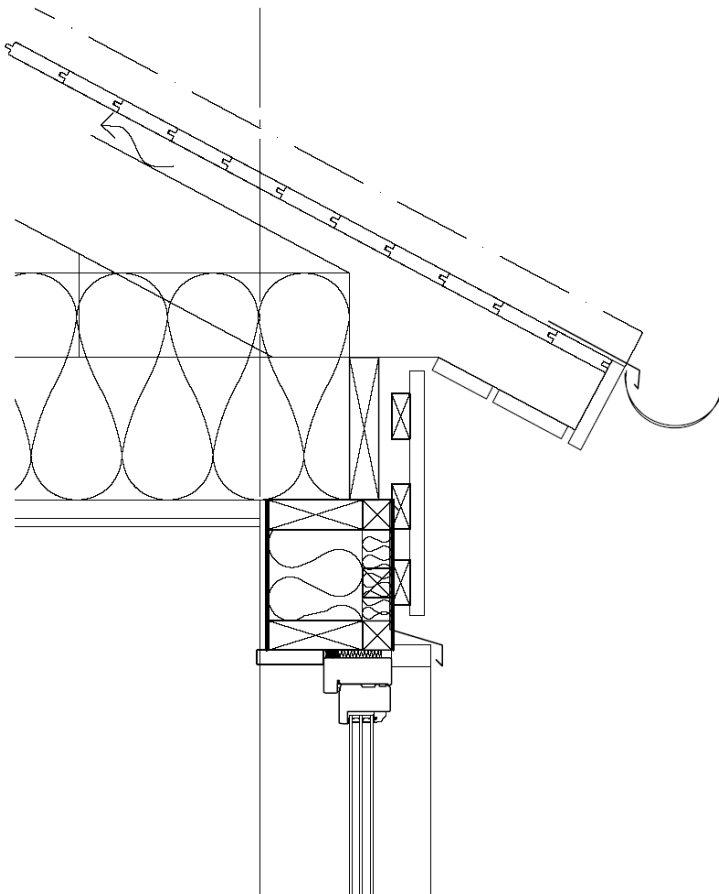
Den andra etappen innefattade:

- Fältvalidering av tekniken i ett antal försökshus.

## ETAPP I

### 3. Studerad byggnad och kallvind

Byggnaden är ett tvåplans bostadshus på cirka 150 m<sup>2</sup>, dvs cirka 75 m<sup>2</sup> per plan. Ytterväggarna är isolerade med 145+45 mm mineralull mellan korslagda regler och med ett utanpåliggande vindskydd av typ Paroc vindtät. En 0,2 mm plastfolie utgör luft- och diffusionstätning. Invändigt skivmaterial är gipsskiva. Fasaden är en träpanelsfasad. Byggnaden har mekanisk frånluftsventilation med tilluft genom tilluftsdon i yttervägg. Byggnaden är ansluten till kommunens fjärrvärmenät. Uppvärmning sker med vattenburen värme via golvslingor på bottenvåningen och radiatorer på övre plan. Takhöjd på bottenvåningen är 2,60 m och på övre plan 2,4 m. Taklutningen är 28°. Vindsbjälklaget är isolerat med 350 mm lösull. En 0,2 mm plastfolie utgör luft- och ångtätning i vindsbjälklaget. Genomföringar genom vindsbjälklaget är bl.a. fyra frånluftskanaler samt vindslucka. Även eldosor i tak kan störa vindsbjälklagets lufttätning. Taket består av betongpannor på bärläkt och ströläkt med underliggande papp på 22 mm råspont. Takstolar är placerade med s1200 mm. Kallvinden ventileras genom takfotsventilation samtnockventiler i varje takstolsfack (s1200 mm). Varannan ventil är placerad på den ena sidannocken och varannan ventil på den andra sidan för att säkerställa ventilationen av kallvinden. Nockventilernas öppning är Ø85 mm och skyddas med ett insektsnät. Takfotsspalten utgörs av 50 mm mellan vindavledare och råspont. Takfoten har en brädinklädnad och ett bakomliggande insektsnät.



*Figur 2: Detalj takfot.*

## 4. Beräkningsverktyg och bedömning av mögelrisk

### *Simuleringsmodell*

Beräkningarna av det hygrotermiska förhållandet på kallvindar har utförts av Angela Sasic med programvaran HAM-Tools som är egenutvecklad. Med detta verktyg kan förhållanden på kallvinden predikteras på ett mycket sofistikerat sätt. Verktöget är validerat (Sasic, 2004) mot bl a Ingemar Samuelssons försök 1995 på ett antal testvindar på SP i Borås, (Samuelsson 1995).

HAM-Tools har också jämförts med andra beräkningsprogram i ett EU-projekt och kan betraktas som ett state-of-the-art verktyg för kopplad värme-, fukt- och lufttransport. Verktöget är unikt med sin möjlighet att bygga upp och simulera funktionen för byggnadssystem med hjälp av grafiskt användargränssnitt.

Svårigheten vid simuleringar är bl.a. att känna till de verkliga förutsättningar som råder för en byggnad såsom; mikroklimatet i den omedelbara omgivningen till byggnaden, materialegenskaper, byggnadsdelarnas täthet, mm. Av detta skäl tvingas man göra ett antal antaganden och studera hur de olika parametrarna inverkar på resultatet.

Simuleringarna tar inte hänsyn till det mottryck som själva fläkten skapar, när den är igång, vid beräkningarna av luftflödet upp igenom vindsbjälklaget, dvs. ett antagande på den säkra sidan.

### *Mögelrisk*

En betydande osäkerhet ligger i att värdera beräkningsresultatet för det hygrotermiska tillståndet. För kallvindar behöver vi t ex värdera hur stor mögelrisken är. Det finns olika studier (Adan, 1994) som kan tjänstgöra som underlag för en sådan bedömning men det finns dessvärre ingen etablerad och erkänd metod. Vi kan stödja oss på resultat från (Viitanen, 1999, 2001, 2002), se figur 3, som visar tiden det tar för mögelpåväxt vid olika (stabila) temperatur och RF-nivåer. Motsvarande resultat finns dock ej för dynamiska tillstånd.



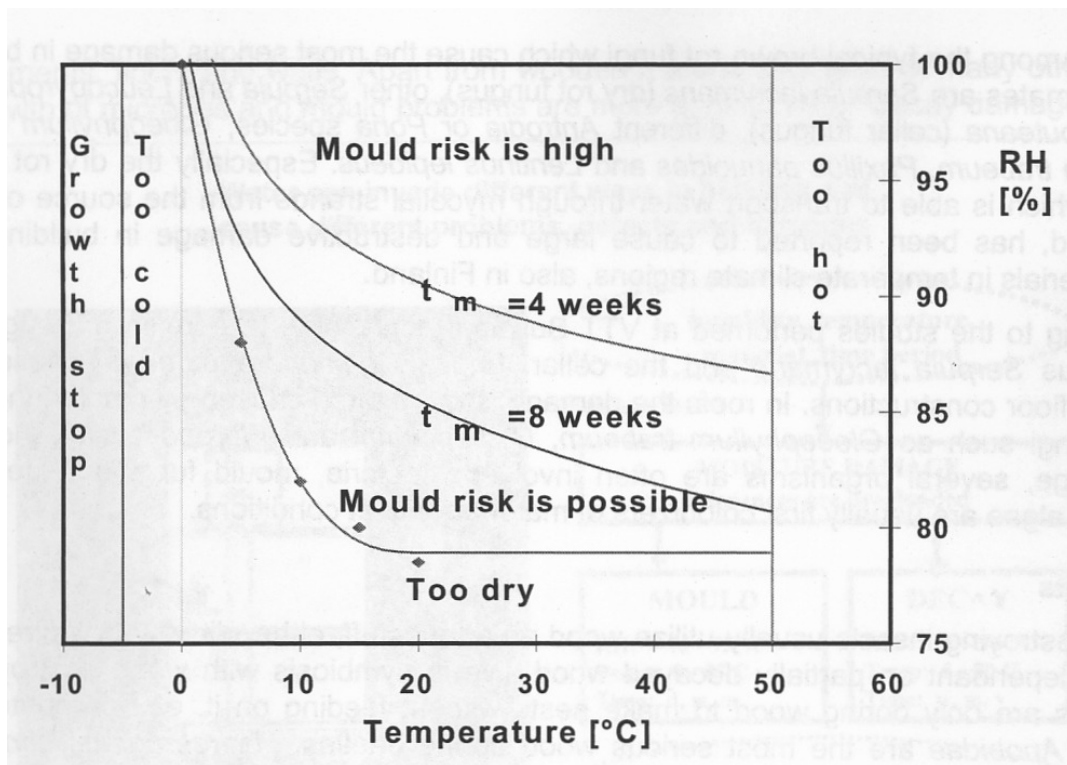


Figure 3 Förutsättningar för mögelpåväxt. Tid för etablering av mögel på trä. (Viitanen 2001)

Viitanen har också föreslagit ett mögelindex med skala enligt Tabell 1.

Tabell 1. Definition av Mögelindex.

Index	Mögeltillväxt/påväxt	
0	Ingen	Sporer har ej börjat gro
1	Någon - kan upptäckas i mikroskop	Initiellt stadium med tillväxt av hyfer
2	Medel - kan upptäckas i mikroskop	Täcker mer än 10% av ytan
3	Någon – kan upptäckas med ögat	Nya sporer bildas
4	Tydligt- synligt med ögat	Täcker mer än 10% av ytan
5	Rikligt - synligt med ögat	Täcker mer än 50% av ytan
6	Mycket rikligt och tätt	Täcker nästan hela ytan

En teoretisk modell för beräkning av mögelindex vid dynamiska förlopp har föreslagits av (Hukka, Viitanen 1999). Denna modell kommer att prövas mot beräkningsresultaten nedan.

Ett annat sätt att presentera mögelrisken har gjorts av (Lehtinen, Harderup, 1997), se figur 4.

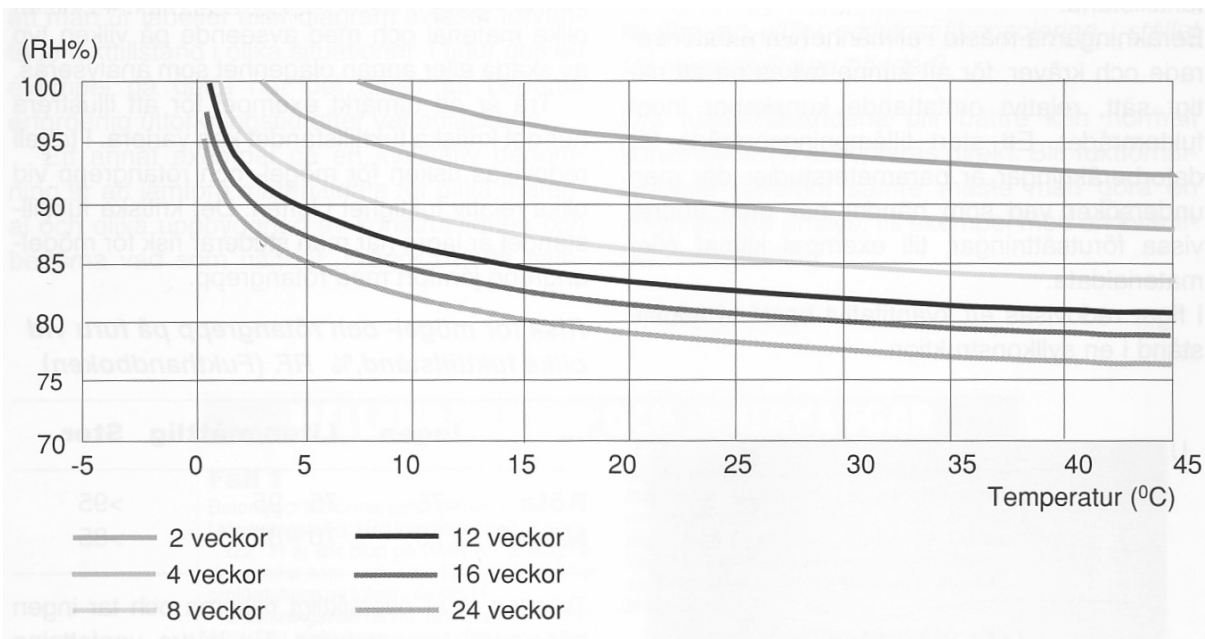


Figure 4. Nödvändig tid för mögelpåväxt på gran- och furuvirke vid olika RF och temperaturer. (Lehtinen, Harderup 1997).

Riskbedömning görs i Fukthandboken, (Nevander, Elmarsson, 1991) med hjälp av följande diagram:

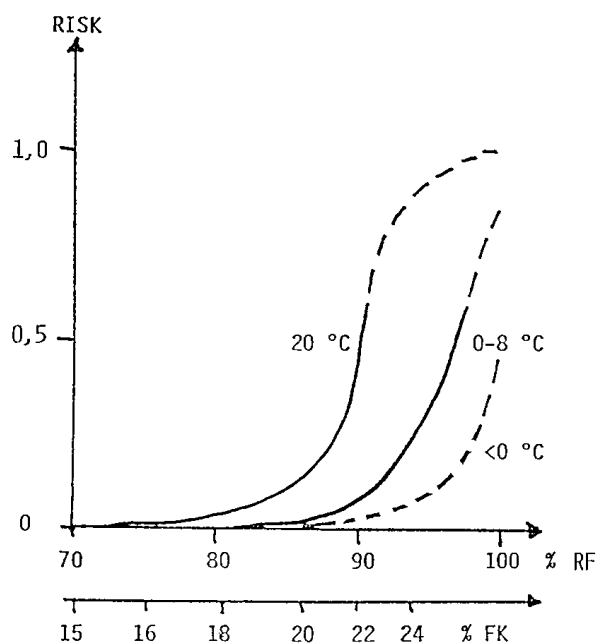


Figure 5. Möglerisk vid olika RF och temperaturer (Nevander, Elmarsson 1991)

Det schablon krav som ställs i nya BBR säger att RF inte får överstiga 75%. Detta är ett mycket tufft, för att inte säga, ett omöjligt krav att uppfylla på ett traditionellt byggnadstekniskt sätt.

## 5 Beräkningsresultat

### *Förutsättningar och parameterfall*

Väderdata representerar Västsverige och en förortsbebyggelse.

Inomhusklimatet representeras av ett RF värde för inomhusluften som är en funktion av utetemperaturen, enligt en EN-standard. Vid -10 C utomhus är RF=30% och den stiger linjärt till 60% vid utetemperaturen 20 C. I genomsnitt motsvarar detta ett fukttillskott på ca 3 g/m<sup>3</sup>.

Byggnaden är orienterad med gavlarna i väst och öst.  
Framförallt har parameterstudier av ventilationssystem, bjälklagslufttäthet och kallvindslufttätheten (utåt) utförts.

Gavelsidorna är öppna för fuktdiffusion medan övriga ytor antages vara ångdiffusionstäta.

Bjälklagets värmeisoleringstjocklek är 0,4 m.

Byggnadens luftvolym är 396 m<sup>3</sup> och den totala exponerade klimatskalsarean är 338 m<sup>2</sup>. Lufttätheten för klimatskalet har bedömts utifrån att en provtryckning med 50 Pa övertryck ger en luftomsättning på 3 oms/h. Som parameterfall för bjälklagets täthet kommer 75, 24 eller 0 m<sup>3</sup>/h luft att läcka uppåt. I första fallet är alla byggnadsytor lika otäta och i andra fallet är vindbjälklaget 4 ggr tätare än övriga klimatskalsytor. I sista fallet är det helt tätt.

Volymen inne på kallvinden är ca 80 m<sup>3</sup> och takarean (utåt) 189 m<sup>2</sup>. Vindbjälklagets area är 74,8 m<sup>2</sup>. Lufttätheten för kallvinden i normalfallet baseras på antagandet om en 20 mm bred spaltöppning vid båda sidor längs hela takfoten (totalt 10 m), samt läckage vid gavelsidorna. Vid en provtryckning motsvaras denna otäta vind av 130 luftomsättningar (för kallvindsluften) i timmen vid 50 Pa. Med antagande om en effektiv öppningsarea och att luftflödet är proportionellt mot kvadratroten av tryckskillnaden blir den effektiva öppningsarean 0,55 m<sup>2</sup> (=0,74x0,74m).

För fallet med kontrollerad ventilation antas kallvindstätheten förbättras så att luftflödet vid 50 Pa motsvarar 7, 1 respektive 0 luftomsättningar i timmen. Fallet med 7 oms/h motsvaras approximativt av en 1 mm bred ventilationsöppning längs med hela takfoten eller en effektiv läckagearea på 0,03 m<sup>2</sup> (=0,17x0,17m).

Lufttrycket i byggnaden beräknas med hjälp av uppställda massbalanser för luftflöden baserade på fläktarnas arbetskurvor, tryck på grund av temperaturskillnader och vindpåverkan.

Ventilationen i bostaden ger ca 0,6 luftomsättningar i timmen både vid F- och FT-system. Regleringen av ventilationssystemen är sådan att ett FT-system ger ett undertryck inomhus på strax under 1 Pa och F-systemet mellan 4-5 Pa, då effekter av vind och temperatur borträknas. Luftflödena som framsimuleras för FT-systemet ger att ca 75% av frånluften kommer från tilluftssystemet och resten genom otätheter i klimatskalet.

Den styrda ventilationen på vinden ger ca en luftomsättning i timmen. För en perfekt tät vind (luften går ut genom en avsedd ventil) genererar luftflödet ett övertryck på 10 Pa. För fallet

med 75 m<sup>3</sup>/h genom bjälklaget och 7 oms/h för kallvinden utåt vid 50 Pa provtryckning, alstras ett övertryck på mellan 1-2 Pa.

På grund av ett beräkningstekniskt problem tar beräkningarna inte hänsyn till det mottryck som fläkten alstrar på kallvinden. Om detta tas med kommer luftläckaget nedifrån att minska något, vilket förbättrar fuktsituationen något.

Följande parametermatris används för att lättare diskutera de olika fallen. Beteckningarna har ingen generell statistisk signifikans utan relaterar i huvudsak bara till parameterstudien.

Tabell 2. Olika alternativ som finns för varje parameter i studien. Alla kombinationer är dock ej beräknade.

Ventilationssystem i vistelsezon	Bjälklagstäthet	Kallvindstäthet	Vindsventilation
<b>F</b>	<b>Otät</b> 0.85 oms/h Vol hus vid 50 Pa	<b>Vanlig</b> 130 oms/h Vol vind vid 50 Pa	<b>Vanlig</b>
<b>FT</b>	<b>Medelotät</b> 0.27 oms/h Vol hus vid 50 Pa	<b>Tätad</b> 7 oms/h Vol vind vid 50 Pa	<b>Styrd</b>
	<b>Tät</b> 0 oms/h Vol hus vid 50 Pa	<b>Väl tätad</b> 1 oms/h Vol vind vid 50 Pa	
		<b>Tät</b> 0 oms/h Vol vind vid 50 Pa	

För några specialfall har lufttätare hus studerats som motsvarar 1 luftomsättning i timmen vid 50 Pa provtryckning.

För några fall med styrd ventilation på vinden har ventilationsflödet ökat till 5 luftomsättningar i timmen.

### Luftflöden genom bjälklaget

Tabell 3. Beräknat luftflöde upp till kallvinden genom bjälklaget. Medelflöden (m<sup>3</sup>/h) över året anges. Kallvinden är tätad för fallet kontrollerad ventilation.

Kallvindsventilation	F-ventilation	FT-ventilation
Vanlig/Otät vindsbjälklag	3,1	47,0
Vanlig/Medelotät vindsbjälklag	2,7	17,5
Kontrollerad/Otät vindsbjälklag	2,8	40,6
Kontrollerad/Medelotät vindsbjälklag	2,6	16,7

## Analys av beräkningsresultaten

Beräkningsresultaten redovisas i diagramform, se Bilaga 1.

Det är uppenbart att det är svårt att få riktigt låga RF under vinterhalvåret om inte vinden är riktigt lufttät. En tätare byggnad/vindsbjälklag hjälper till att reducera fuktigheten.

Klart är också, som förväntat, att norrsidan är den kritiska sidan.

För att bedöma mögelrisken ska vi framförallt bedöma varaktigheten av höga RF under perioder med lite högre temperaturer, motsvarande t ex en vårperiod.

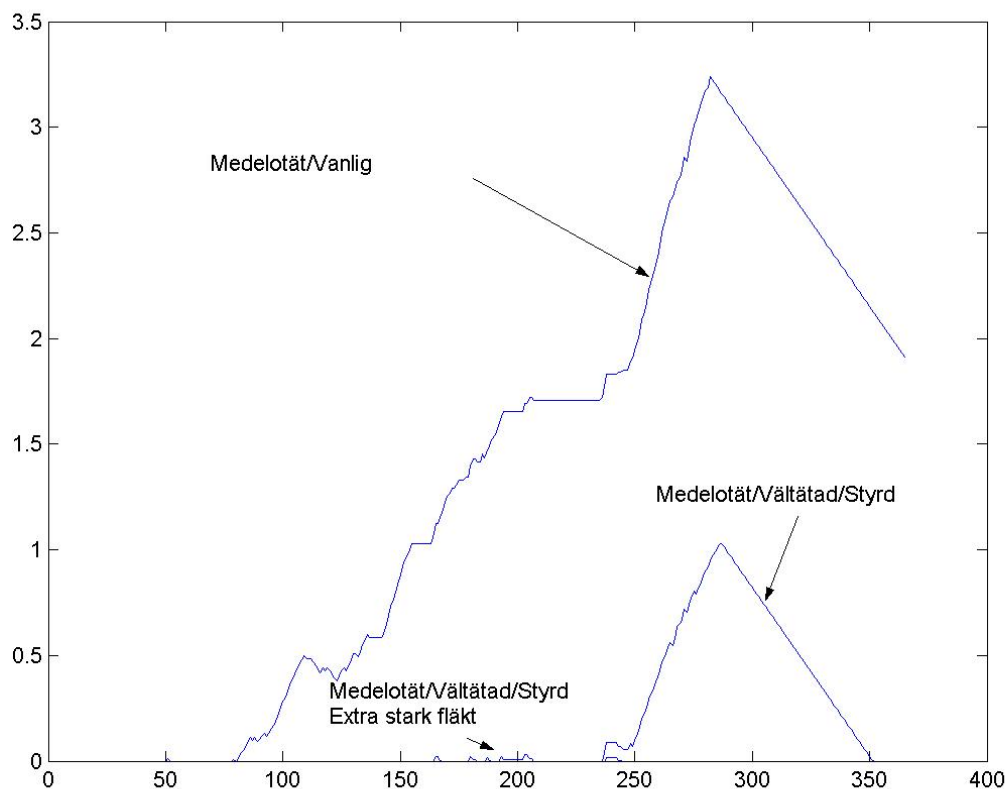
Av detta skäl kan vi speciellt titta på temperaturspannet 5-15 °C och RF över 80% respektive temperatur över 15 °C och RF över 70%. Vi räknar också, för jämförelsens skull, veckorna över 90% RF och temperaturspannet 0-5 °C. Framräknad mögelindex presenteras också.

Tabell 4 och 5 nedan visar antalet veckor som dessa tillstånd beräknats fram över året på norrsidan:

*Tabell 4. Antalet veckor som undertaket på norrsidan har befunnit sig i givna intervall för RF och temperatur. Byggnaden har ett FT-ventilationssystem.*

Byggnad	Bjälklag	Kallvind	Vinds-ventilation styrd	Antal veckor 0-5 °C över 90% RF 5-15°C över 80% RF/ Över 15°C och 70% RF	Mögel-index
Grundfall	Medelotät	Vanlig	Nej	12/6/3	3,24
Grundfall	Tät	Vanlig	Nej	11/5/3	1,35
Grundfall	Medelotät	Tätad	Ja	12/4/0	3,02
Grundfall	Medelotät	Tätad	Ja/ Extra stark fläkt	4/0/0	0,06
Grundfall	Medelotät	Väl tätad	Ja	8/2/0	1,03
Grundfall	Medelotät	Väl tätad	Ja/ Extra stark fläkt	1/0/0	0,02
Grundfall	Tät	Tätad	Ja	0/0/0	0
Grundfall	Tät	Väl tätad	Ja	0/0/0	0
Grundfall	Tät	Tät	Ja	0/0/0	0
Extra tätt	Medelotät	Väl tätad	Ja	0/0/0	0

Figur 6 visar hur mögelindex ändras över tiden på kallvindens norrsida för tre FT-ventilerade byggnader (Grundfall).



Figur 6. Variation i mögelindex från första sommaren ( $M=0$ ) till nästa sommar. Beräkningar för grundfallet med medelotät vindsbjälklag. Byggnaden har ett FT-ventilationssystem.

Tabell 5 visar det beräknade mögelindexet för fallen med F-ventilerad byggnad.

Tabell 5. Antalet veckor som undertaket på norrsidan har befunnit sig i givna intervall för RF och temperatur. Byggnaden har ett F-ventilationssystem.

Byggnad	Bjälklag	Kallvind	Vinds-ventilation styrd	Antal veckor 0-5 °C över 90% RF 5-15 °C över 80% RF Över 15 °C och 70% RF	Mögel-index
Grundfall	Otät	Vanlig	Nej	11/5/1	2,63
Grundfall	Medelotät	Vanlig	Nej	12/5/3	2,81
Grundfall	Otät	Tätad	Ja	5/1/0	0,05
Grundfall	Medelotät	Tätad	Ja	1/1/0	0,04
Grundfall	Medelotät	Tätad	Ja/ Extra stark fläkt	1/0/0	0,02
Extra tätt	Medelotät	Väl tätad	Ja	0/0/0	0

## 6. Byggnadsteknisk analys och ekonomi

### *Byggnadsteknik och produktionskostnad*

I analysen har platsbyggda hus studerats. I kostnadskalkylerna antas att den nya byggnadstekniken är känd och att utarbetade rutiner och vana vid hantering finns.

Den nya tekniken gör att ventilöppningar längs med takfötter ochnockventiler kan tas bort. Vindavledare eller insektsnät behövs ej heller mer. Material för tätning av takfot, gavlar och genomföringar tillkommer.

Utrustning för kontrollerad ventilation har inte adderats i analysen.

Två alternativa konstruktionssätt har analyserats. I det första fallet antogs att en lufttät kallvind, utan takfot, konstruerades först. På detta sätt kan ett obrutet lufttätt skikt konstrueras. Därefter monterades lösa takfötter på för att likna traditionell byggnadsteknik och arkitektur. Detta visade sig vara dyrare än att platsbygga på traditionellt sätt.

I bilaga 2 och 3, visas en teknik som ger kostnadsneutralitet vid platsbygge. Material av typen vindtät men ångöppen folie användes. Folien appliceras horisontellt längs med långsidorna och kläms mot väggens vindskydd och kallvindens undertak (råspont). På detta sätt minimeras antalet skarvar. På gavlarna måste folie appliceras på liknande sätt. Luftare och huvar tätas.

Resultaten från analysen kan förändras om en högre grad prefabelement utnyttjas.

### *Energibehov och livscykelkostnad*

Energibehovet för den mekaniska ventilationen (35 W) med en 40 procentig gångtid motsvarar ett energibehov på 123 kWh/år. Underhåll och tillsyn (fläktar, spjäll och sensorer) uppskattas till 100 kr/år. Med en investeringskostnad på 5-, 10- respektive 15-tusen kronor, en kalkylränta på 5 % och en brukstid på 25 år, motsvarar detta en total livscykelkostnad i intervallet på 8 140, 13 140 respektive 18 140 kr i en nuvärdeskostnad, dvs. som om hela kostnaden för investering och drift betalades idag i samband med installationen. Genom kalkylräntan (realränta) representerar en nedlagd krona idag ett större värde i framtiden. Om nuvärdeskostnaden slås ut på de 25 åren fås en årlig kostnad på: 326, 526 respektive 726 kr.

I denna kalkyl har ingen hänsyn tagits energibehovsförändringar pga. de eventuella förändringarna i kallvindstemperaturen som uppstått till följd av förändrad ventilation. De kan dock normalt sett betraktas som små.

### *Kostnader för fallen då inte kontrollerad ventilation utnyttjas*

Det är svårt att värdera de ekonomiska fördelarna av att ha en frisk vind. Det ses som självklart att en ny byggnad ska vara felfri. En eventuell upptäckt av mögelpåväxt och/eller mögellukt kan skapa stora oangelägenheter för de boende som är svår att värdera ekonomiskt. Krävs det sanerings eller ombyggnadsåtgärder kan kostnaden snabbt nå upp till många tiotusentals kronor.

Kostnader förknippade med bad-will på de producerande företagens varumärke har ej värderats.

En byggnad med en frisk vind representerar också ett klart högre marknadsvärde om de i övrigt är jämförbara.

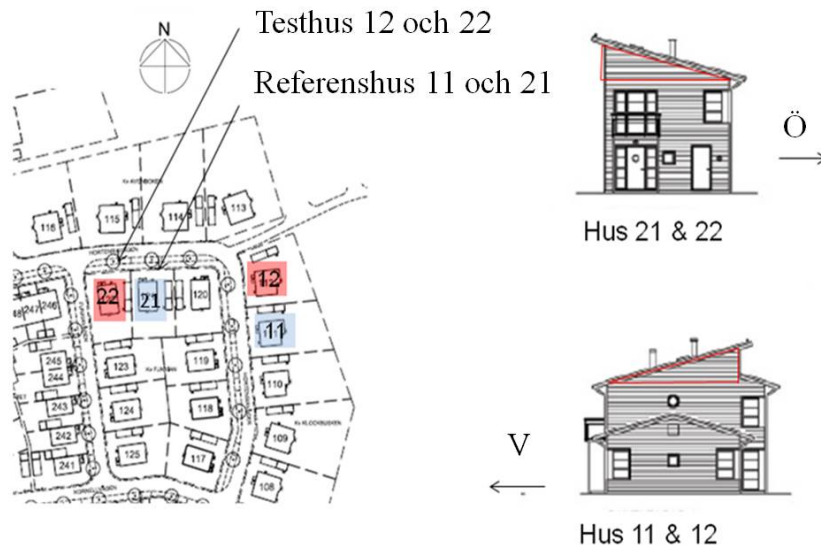
En direkt ekonomisk fördel kan kopplas till att en nyproducerad byggnad kan förses med mer isolering utan risk för att skador uppstår. Därmed ges en möjlighet för reducerat energibehov och kostnadsreduktioner. Då värmeisoleringstjockleken ökar från 200 till 500 mm reduceras energiförlusterna med ca 1 300 kWh genom ett 100 m<sup>2</sup> stort vindsbjälklag (Örebro). Enligt föreningen av svenska tillverkare och ensamimportörer av mineralull, Swedisol, ligger ett ekonomiskt optimum för vindsbjälklagsisolering idag på ca 500 mm.



## Ettapp II

### 7. Mätobjekt Vistaberg, Huddinge

Installation av mätutrustning och styrd ventilation gjordes under februari 2008. Mätningar från hösten 2008 och framåt redovisas nedan. Figur 7 visar placeringen och orienteringen av husen. Figur 8 visar fotografier av husen med styrd ventilation (Testhusen: Hus 12 och 22).



Figur 7. Placering och orientering av husen i Vistaberg. De rödfärgade husen, 12 och 22 har styrd ventilation medan, de blå, 11 och 21 har vanlig takfotsventilation.



Figur 8. Fotografier av testhusen, 12 och 22, med styrd ventilation.

Alla fyra husen har två plan. Hus 11 och 12 har en boarea på 130 m<sup>2</sup> medan hus 21 och 22 har boarean 121 m<sup>2</sup>. Husen har pulpettak, vilket inifrån räknat är uppbyggt med 21 mm råspont, underlagspapp YAP 2200, strö- och bärläkt (25x38 mm) och takpannor. Alla hus har mekanisk frånluftsventilation. Kallvindarna är isolerade med 450 mm lösullsisolering mot vindsbjälklaget. I referenshusen sker kallvindsventilationen via öppen spalt längs hela takfoten. Forskningsdelen kom, pga. av tidsskäl, in lite för sent i byggprojektet för att få tätningen ordentligt projekterad för testhusen och därmed har bästa möjliga lösningar inte kunnat realiseras. Lufttätning har skett med hjälp av upptejpade wellpappskivor (där man på

sina ställen kunde se ljus läcka in utifrån). I testhus 12 utgör lufttätningen, på vissa partier, av fiberduk som är spänd mot en yttre träpanel.

Testhusen har tjänstgjort som visningshus under mätperioden. För att säkerställa en fuktbelastning ifrån bostadsdelen har därför befuktning (Humimax HM2, 2000) till 40% RF skett i testhus 12 och 22. Referenshusen har varit bebodda under hela mätperioden.

## 8.Mätningar i samband med installation – Vistaberg, Huddinge

Resultat för lufttäthetsmätningar vid 50 Pa under- och övertryck av bostadsdelen utfördes av byggentreprenören (NCC) och finns tillgängliga för två av husen där kallvindsmätningar gjordes. För hus 12 och 22 resulterade dessa mätningar i luftläckning på 0,3 liter/(m<sup>2</sup> s) respektive 0,7 liter/(m<sup>2</sup> s). Tillgängliga data för sex hus i området ger en spridning mellan 0,3 till 0,8 liter/(m<sup>2</sup> s).

Mätning av temperatur och relativ fuktighet görs på två ställen på vindarna med kontrollerad ventilation samt utvändigt under norrgaveln. Den ena sensorn placeras centralt på vinden och den andra längre ner mot takfoten i den lägre delen av taket (samma takstolsfack, det mittersta). Sensorerna placeras på takstolarna i nära anslutning till råspontens yta. På referensvindarna görs bara mätning med en sensor som är centralt placerad på vinden.

Provtryckning av kallvindsutrymmena utfördes med hjälp av den befintliga fläkten (SystemAir K160 M) för kontrollerad ventilation. Eftersom flätkapaciteten inte är tillräcklig för att komma upp i 50 Pa extrapoleras detta värde utifrån antagandet om att luftflödet är proportionellt mot kvadratroten av tryckskillnaden och en effektiv öppningsarea. Övertrycket kunde inte hållas helt stabilt varför ett intervall anges i Tabell 6. I tabellen anges också de uppmätta fuktkvoterna vid installationstillfället.

*Tabell 6. Fuktkvoter på kallvindarna vid installation samt uppskattad luftomsättning vid 50Pa provtryckning.*

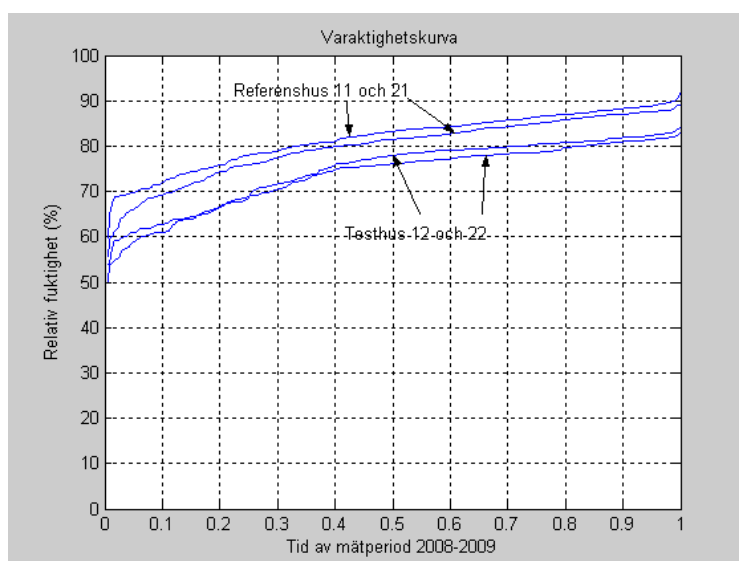
Hus	Ventilation	Fuktkvot (%) råspont (080213)	Fuktkvot (%) takstol (080213)	Luftomsättning (1/h) vid 50 Pa
11	Naturlig	19	16,5	-
12	Kontrollerad	19,6	15,6	20-30
21	Naturlig	-	-	-
22	Kontrollerad	19,9	17,8	40-55

Målsättningen, utifrån simuleringar i Etapp I, var att uppnå lufttätare kallvindar än vad som blev fallet. Målet var ställt på en luftomsättning på under 10 1/h (helst lägre än 7 1/h) vid 50 Pa.

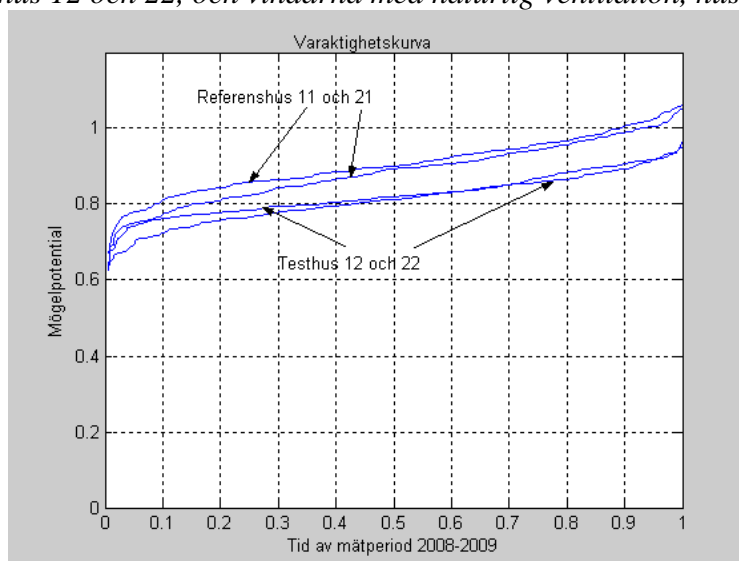
## 9.Mätresultat - Vistaberg, Huddinge, vinterhalvåret 2008-2009

Mätresultat redovisas i figur 9-10 nedan i form av varaktighetsdiagram för den relativa fuktigheten för perioden augusti 2008 t o m mars 2009. Den så kallade mögelpotentialen redovisas också för samma period. Då mögelpotentialen är lika med 1.0 ligger man enligt

(Hukka, Viitanen 1999), precis på gränsen då mögel kan växa till. Ju lägre värden desto bättre motstånd mot mögelpåväxt existerar på kallvinden.



Figur 9. Varaktighetsdiagram för den uppmätta relativa fuktigheten på kallvindarna med styrd ventilation, hus 12 och 22, och vindarna med naturlig ventilation, hus 11 och 21.



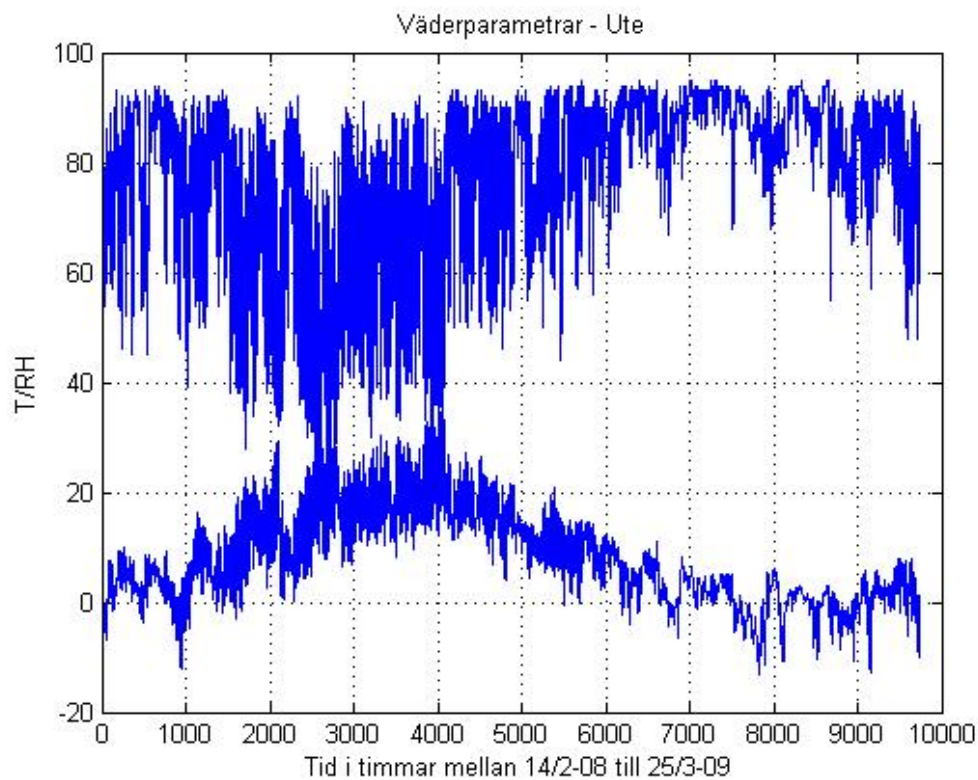
Figur 10. Mögelpotential för kallvindarna med styrd ventilation, hus 12 och 22, och vindarna med naturlig ventilation, hus 11 och 21.

Mögelpotentialen i medeltal under mätperioden för båda testhusen ligger på 0,82 medan referenshusen ligger på 0,9 (hus 11) respektive 0,88 (hus 21).

En intressant observation som gjorts utifrån mätningarna är att luftens fukttinnehåll på kallvindarna är i genomsnitt lägre än ute under mätperioden. Det finns med andra ord ett negativt fukttillskott på kallvindarna. Orsaken till detta är dels fuktupptagning i trämaterial på vindarna men framförallt pga. av den styrda ventilationen. För fallen med styrd ventilation rör det sig om ett negativt fukttillskott på 0,5-0,8 g/m<sup>3</sup>, medan för vindarna med naturlig ventilation 0,2-0,3 g/m<sup>3</sup>.

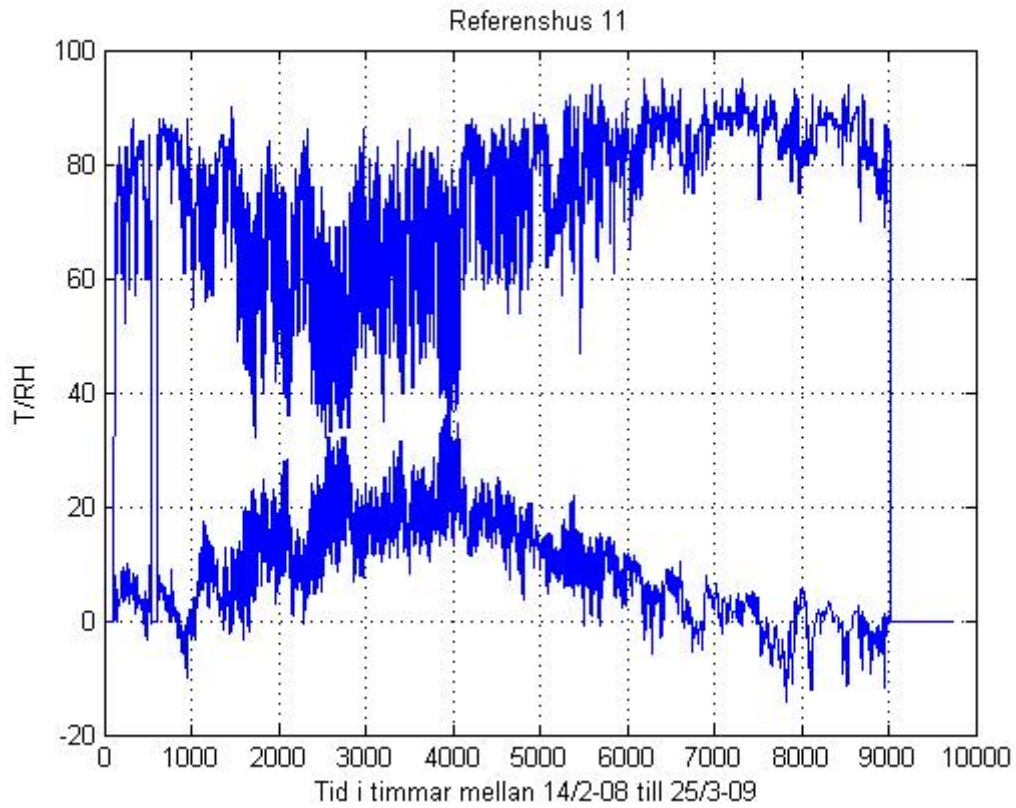
Fuktkvoten i takstolar och råspont uppmättes i testhusen den första april 2009. I takstolarna varierade fuktkvoten i träytan i intervallen; hus 12: 11,9-12,1 %, hus 22: 11,3-12,0 % . I råsponten uppmättes intervallen; hus 12: 11,8-13,5 %, hus 22: 11,1-12,9 % . Totalt mättes i 12 punkter. Mätningarna visar på en tendens till en något högre fuktkvot i råsponten jämfört med takstolarna.

Figur 14 visar uppmätt temperatur och relativ fuktighet under mätperioden.

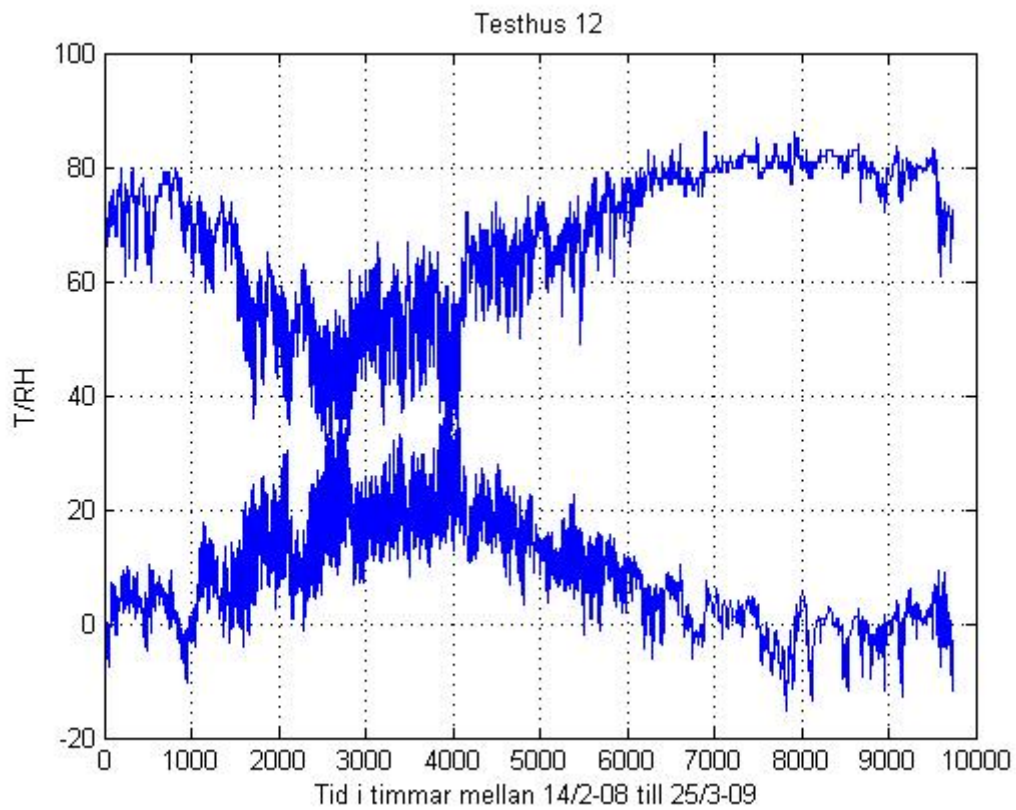


Figur 11. Mätt temperatur och relative fuktighet i utomhusluften.

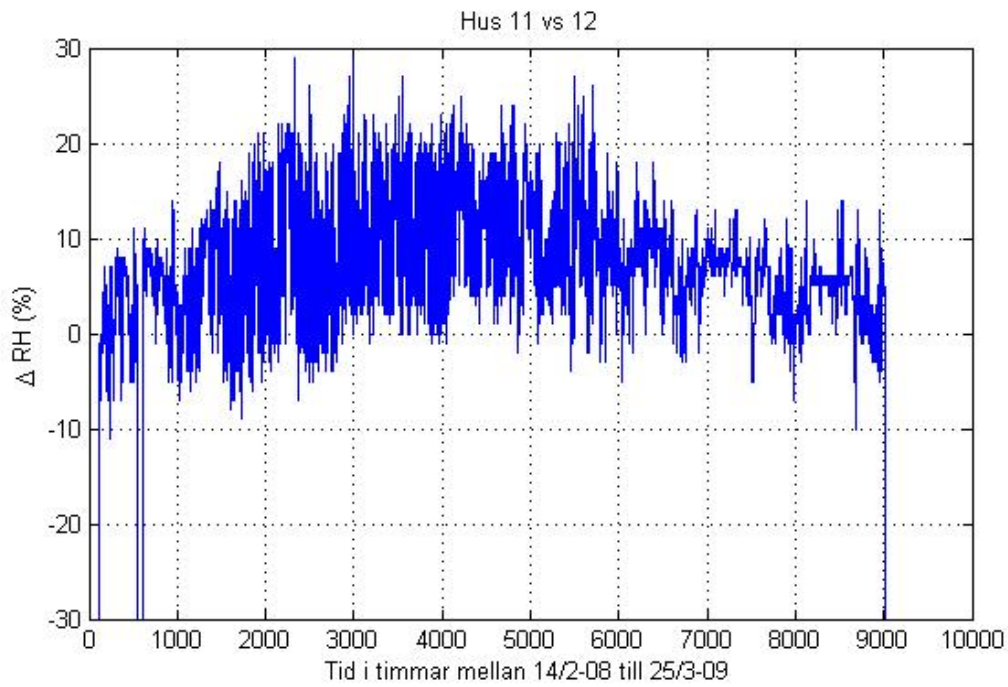
Nedan redovisas hur uppmätta värden varierar i tiden. I huvudtexten redovisas endast referenshus 11 och testhus 12, medan resultaten för de två andra husen redovisas i bilaga 4.



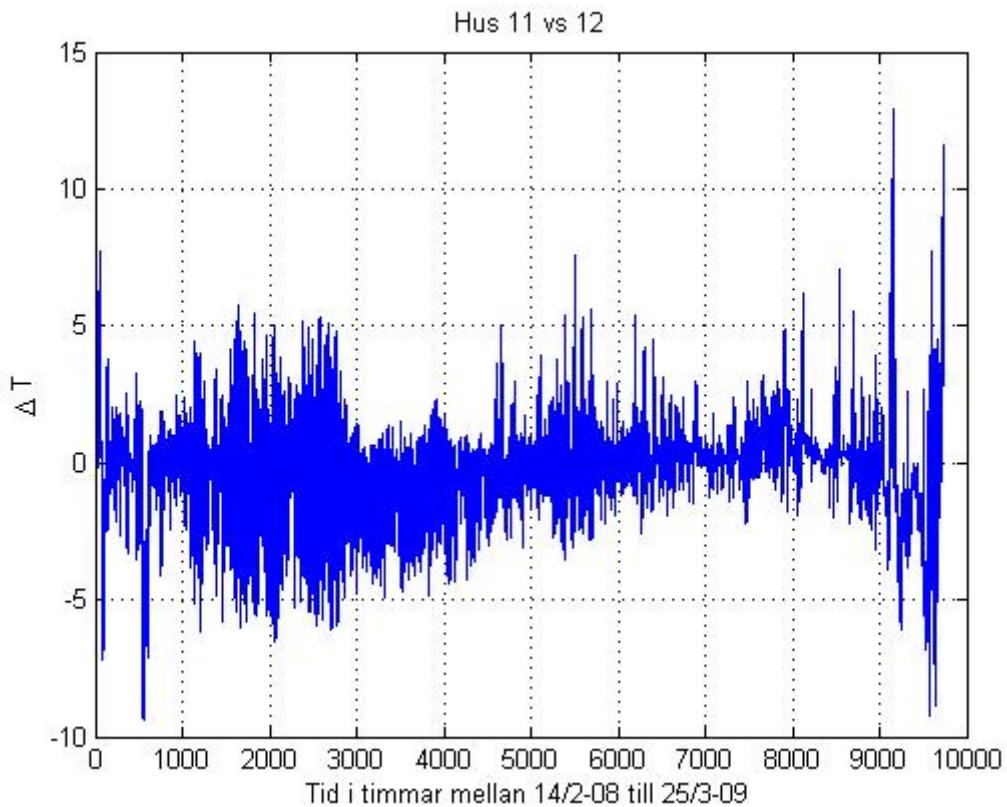
Figur 12. Mätt temperatur och relativ fuktighet i referenshus 11.



Figur 13. Mätt temperatur och relativ fuktighet i testhus 12.



Figur 14. Skillnad i mätt relativ fuktighet för referenshus 11 och testhus 12 (dvs.  $RF_{11}-RF_{12}$ ).  
Medelskillnad över perioden: +7,4 %.



Figur 15. Skillnad i mätt temperatur mellan referenshus 11 och testhus 12 ( $T_{11}-T_{12}$ ).  
Medelskillnad över perioden: -0,13 °C.

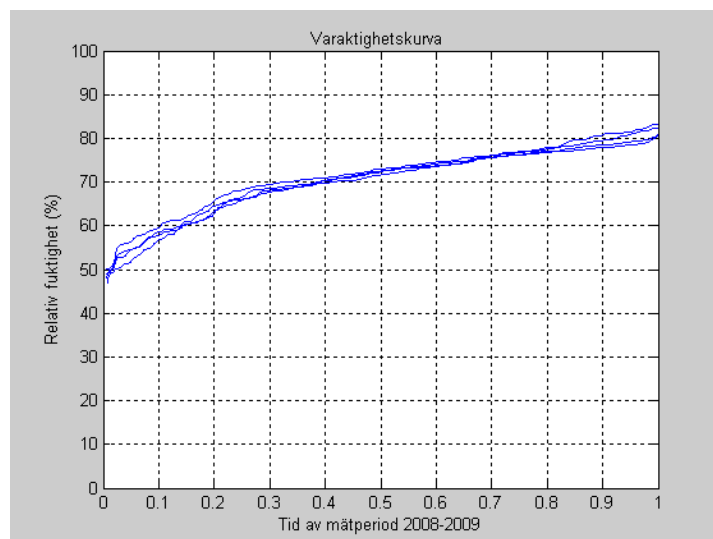
## 10.Mätobjekt Hamnhuset, Göteborg

Den styrda ventilationen var i drift under tidig höst 2008. Totalt ventileras fyra separata utrymmen. Kallvindarna projekterades för styrd ventilation vilket betyder att en klart bättre lufttätning kan förväntas än i de tidigare redovisade objekten. Vindsbjälklaget är uppbyggt av en träregelstomme med ångspärr och 500 mm lösfillnadsisolering.

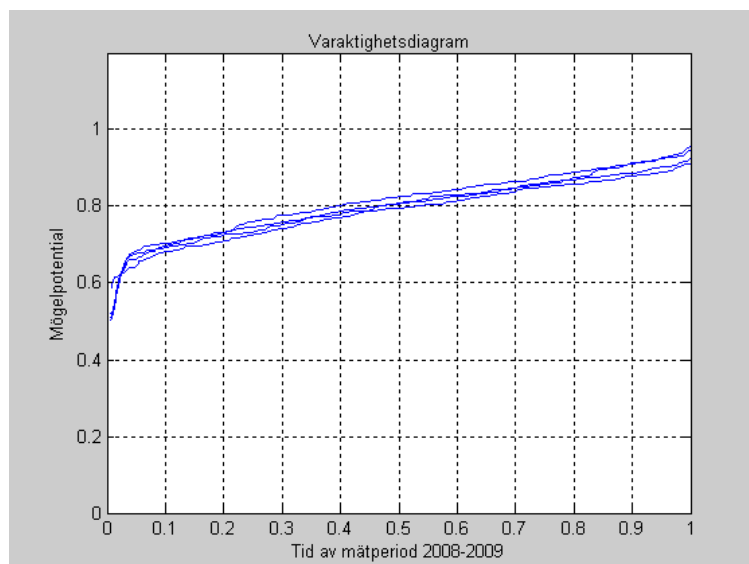


Figur 16. Hamnhuset i Göteborg (Fotot: Staffan Bolminger Älvstranden Utveckling AB)

Figur 17 visar den uppmätta relativa fuktigheten i de fyra ventilerade utrymmena. Mögelpotentialen redovisas i figur 18.



Figur 17. Varaktighetsdiagram för den uppmätta relativa fuktigheten i Hamnhusets fyra kallvindar med styrd ventilation.



Figur 18. Varaktighetsdiagram för mögelpotentialen i Hamnhusets fyra kallvindar med styrd ventilation.

## 11.Beräkningsresultat - Vistaberg, Huddinge, vinterhalvåret 2008-2009. Jämförelser med mätdata

Beräkningsmodellen HAM-Tools har använts för att simulera fuktillstånden på de fyra vindarna. Data för temperatur och RF i uteluft har hämtats direkt från mätdata på plats. Soldata kommer från SMHI och långvågig strålning från datorprogrammet Meteororm. Dessa sista data är att betrakta som de mest osäkra.

Antagandet om lufttätethet vid takfot motsvaras av en 2 mm respektive 20 mm bred spalt med aktiv öppningslängd på 7,2 m för naturligt respektive styrd ventilation. Husets interna luftvolym är 349 m<sup>3</sup> och arean på klimatskalet är 239 m<sup>2</sup>. I beräkningar antages att 24 m<sup>3</sup>/h luft läcker upp på vinden vid provtryckning med 50 Pa. Vindsbjälklaget är att betrakta som mycket tätt och mindre variationer i tätheten förändrar beräkningsresultaten endast marginellt. Frånluftsventilationen i sig reducerar läckage uppåt vilket gör situationen relativt okänslig för täthetsgraden.

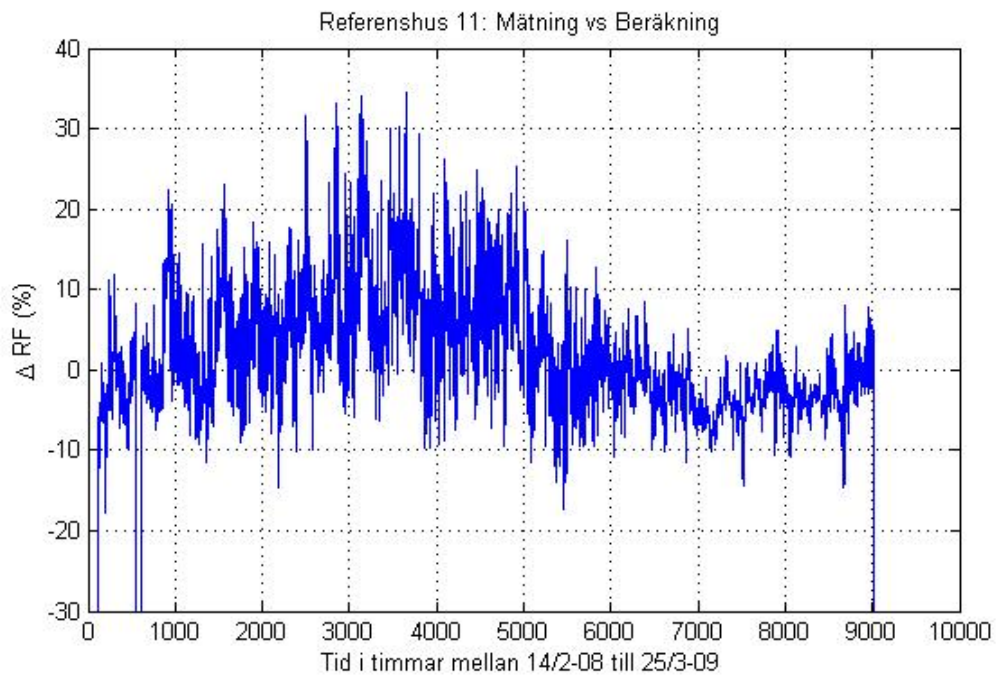
Beräkningarna ger visar på något lägre medel-RF (2-4%), figur 19-20, än mätningarna och varmare (0,8-0,9 °C), figur 21-22, vindar än i mätningarna.

Vid beräkningsmässig jämförelse mellan naturlig och styrd ventilation för referenshus 11 och testhus 12, figur 23, fås en RF-skillnad på 8,6 %.

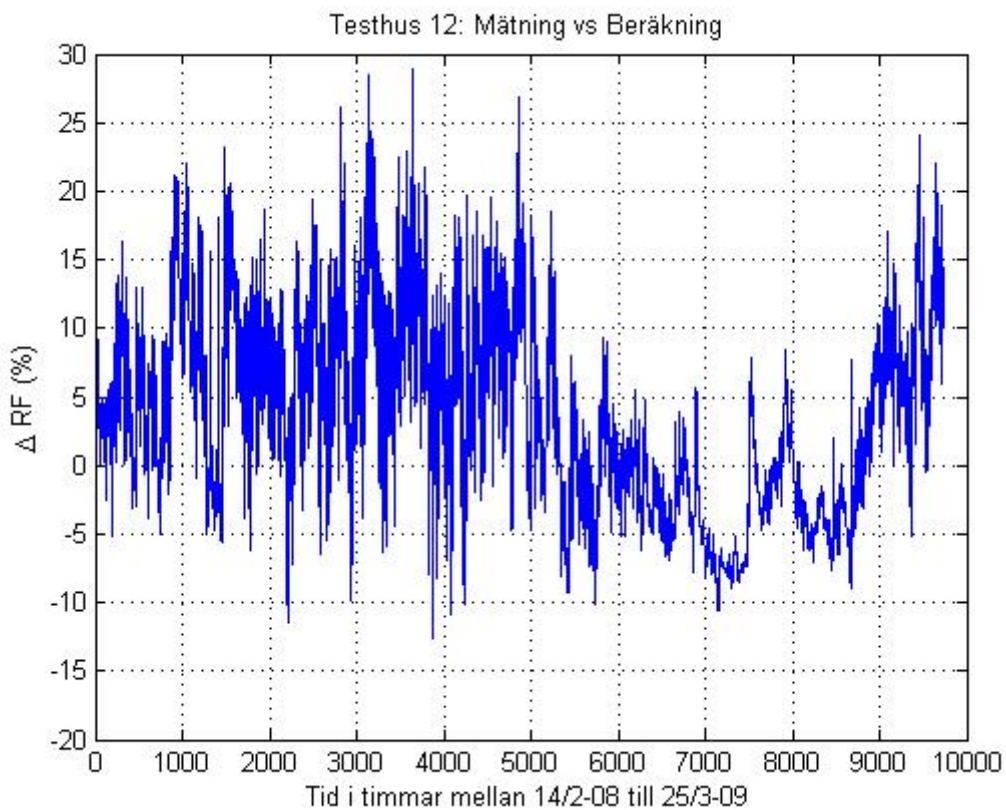
I bilaga 4 redovisas beräkningsresultat för referenshus 21 och testhus 22.

Beräkningarna visar skillnad mot mätningar på medel- RF (-1,9 – 0,3%), dvs. något för höga RF-värden. Beräkningar ger en skillnad (0,1-0,8 °C), dvs. det är lägre temperaturer än uppmätt på vindarna. Vid beräkningsmässig jämförelse mellan naturlig och styrd ventilation för referenshus 12 och testhus 22 fås en RF-skillnad på 8,7 %.

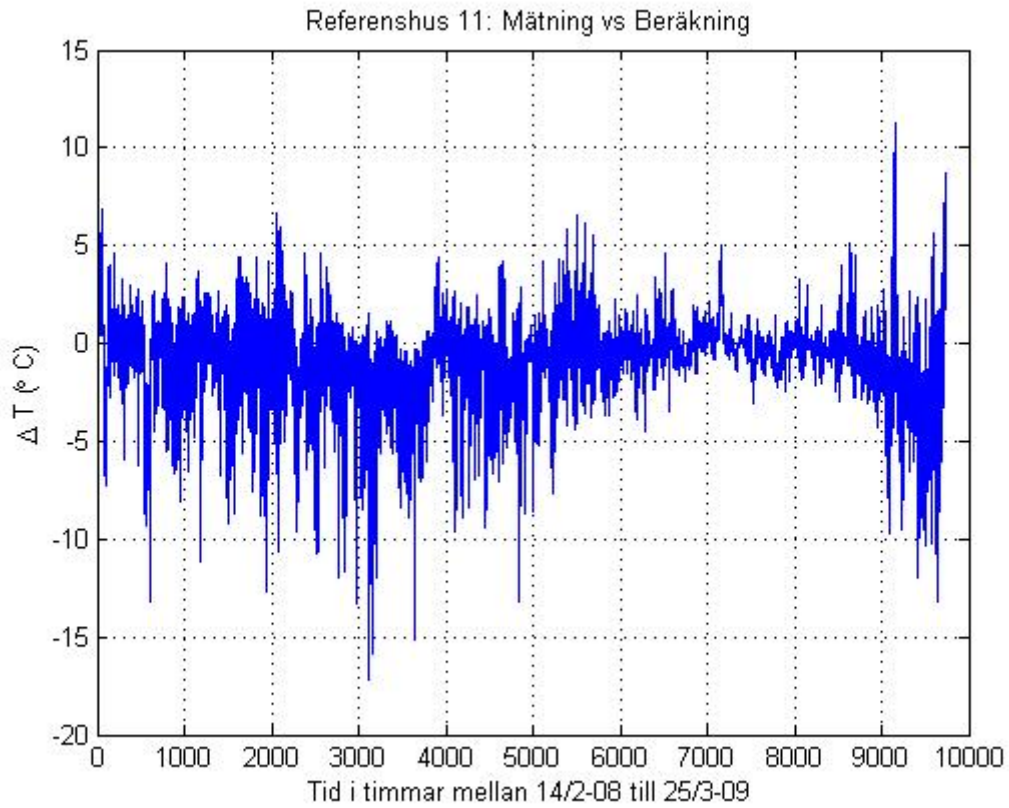




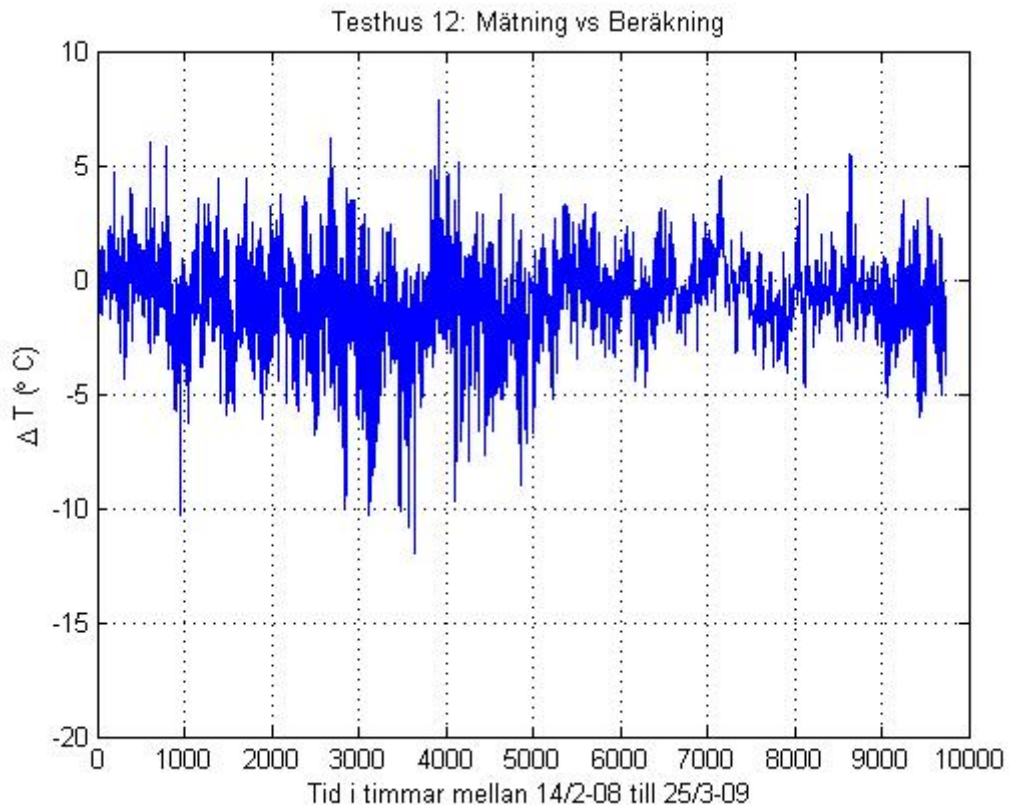
Figur 19. Skillnad i mätt och beräknad relativ fuktighet i referenshus 11 (dvs.  $RF_{11,mätt} - RF_{11,ber}$ ). Medelskillnaden över perioden är: 2,1 %.



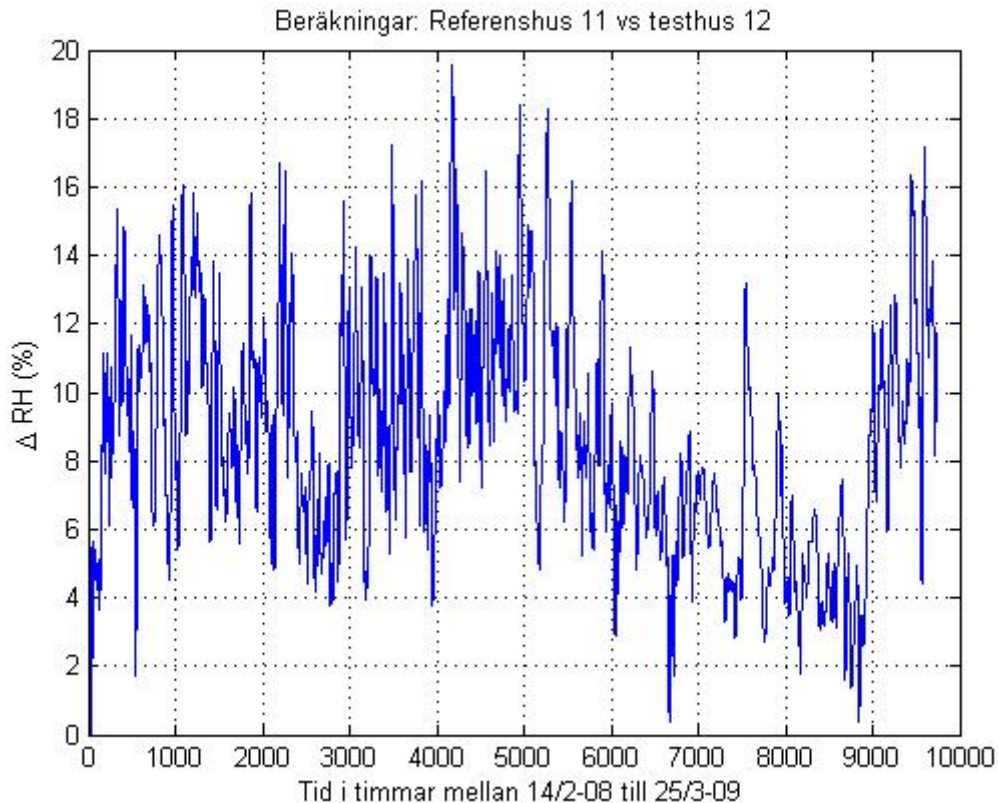
Figur 20. Skillnad i mätt och beräknad relativ fuktighet i testhus 12. (dvs.  $RF_{12,mätt} - RF_{12,ber}$ ). Medelskillnaden över perioden är: 3,7 %.



Figur 21. Skillnad i mätt och beräknad temperatur i referenshus 11. (dvs.  $T_{11,mätt} - T_{11,ber}$ ). Medelskillnaden över perioden är:  $-0.9$  °C.



Figur 22. Skillnad i mätt och beräknad temperatur i testhus 12. (dvs.  $T_{12,mätt} - T_{12,ber}$ ). Medelskillnaden över perioden är:  $-0.8$  °C.



Figur 23. Skillnad i beräknad relativ fuktighet mellan referenshus 11 och testhus 12. (dvs.  $RF_{11,ber} - RF_{12,ber}$ ). Medelskillnaden över perioden är: 8,6 %

## 12.Diskussion

BBR's schablonkrav på låg relativ fuktighet i en byggnadskonstruktion, alltid under 75%, är svår att uppnå med hjälp av endast styrd ventilation. För att uppfylla ett sådant strikt krav måste värme tillföras eller traditionell avfuktning användas, i alla fall under en del av vintern. Detta ger upphov till ökad energianvändning och ska självfallet undvikas om möjligt. Reglerna ger emellertid också öppning för andra bedömningsgrunder om tillräcklig fuktsäkerhet kan visas. I detta projekt har mera detaljerade mögelkriterier använts och fullgod fuktsäkerhet avseende mögelpåväxt visats. I en planerad fortsättning av detta projekt kommer fuktsäkerhetskriterier och riskbedömningar föreslås och analyseras.

## 13.Slutsatser från Etapp I och II

Beräkningsresultaten för fuktillståndet och temperaturen på kallvindar visar tydligt på en kraftigt reducerad eller helt eliminerad risk för mögelpåväxt vid kontrollerad ventilation. Som utgångspunkt för denna slutsats har medeltillståndet på yttertakets norra insida och kännedom om mögelrisker använts. Lokala effekter av otätheter underifrån eller ventilationsluft utifrån har emellertid inte beaktats. Fallet med riklig byggfukt har ej heller studerats utan beräkningarna motsvarar ett fortvarighetstillstånd (typiskt år).

Beräkningarna förutsätter en lufttäthet i intervallet 1-7 luftomsättningar i timmen vid provtryckning på 50 Pa. Bristande täthet kan delvis kompenseras med en större ventilation av kallvinden.

En kallvind med tätt vindsbjälklag och F-ventilationssystem klarar sig utan mögelpåväxt med mindre krav på lufttätning. Utan kontrollerad ventilation indikerar beräkningarna att mögelpåväxt uppstår.

Beräkningarna visar också att ett tätare hus är lättare åtgärdat med kontrollerad ventilation.

Kostnadsanalysen visar att, då rutiner etablerats, kan en väl tätad kallvind byggas utan merkostnad.

Den kontrollerade ventilationen bedöms kräva i storleksordningen 100 kWh elenergi per år för drift. Nuvärdeskostnaden, investeringskostnaden och driftskostnaden utslagen på brukstiden med en kalkylränta på 5 %, ligger i ett intervall på ca 325- 725 kr/år. Spannet beror på att investeringskostnaden bara kan uppskattas ligga mellan 5 000 och 15 000 kr. Brukstiden antages till 25 år.

Fältmätningar gjorda på fyra kallvindar i småhus i Stockholmstrakten visar att den styrda ventilationen ger stabilare och lägre relativ fuktighet under vinterhalvåret än kallvind som är traditionellt ventilerad med hjälp av luftspalter längs takfoten. Torrare klimat uppnås och risken för mögelbildning minskar drastiskt. De studerade installationerna, med varierande teknik för lufttätning av kallvinden antyder att tillräcklig lufttätningen inte verkar vara svår att uppnå.

Fältmätningar gjorda på fyra kallvindar i flerfamiljshus i Göteborg visar på att ett torrt klimat uppnåtts (max RF på strax lite drygt 80% under kort tid på vintern) och att risken för mögelbildning är marginell.

## Referenser

Angela Sasic-Kalagasidis *HAM-Tools. An integrated simulation tool for heat, air and moisture transfer analyses in building physics*. Doktorsavhandling, Byggnadsfysik, Chalmers P-04:1.

Ahrnens C & Borglund E (2007). *Fukt på kallvindar – En kartläggning av småhus i Västra Götalands län*, Examensarbete 2007:11, Institutionen för bygg- och miljöteknik, Chalmers tekniska högskola.

Adan, O.C.G 1994 *On the fungal defacement of interior finishes. ph.d thesis*, Technical University of Eindhoven.

Hukka E., Viitanen H.A., 1999. *A mathematical model of mould growth on wooden material*. Wood Science and Technology 33, Springer-Verlag.

Viitanen H.A., 2001. Factors affecting mould growth on kiln dried wood. VTT Finland.

Nevander, L.-E., Elmarsson B., 1994. *Fukthandboken, Praktik och teori*. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm.

Engman, L., Samuelson, I, 2006. *Redovisning av fältundersökning och forskningsprojekt: Kalla vindar – problem och förbättringar*. Bygg & Teknik 4/2006.

Samuelson, I., 1995. Fuktbalans i kala vindsutrymmen. SP-Rapport 1995:68.

Lehtinen, T., Harderup, E. 1997. *Safety factor based physical design procedures-framework and case examples of wooden wall structures*. IUFRO 5.02 conference Copenhagen, Denmark, June 18-20, 1997.

Ahrnens C., Borglund E., 2007. *Fukt på kallvindar – En kartläggning av småhus i Västra Götalands län*, Examensarbete 2007:11, Institutionen för bygg- och miljöteknik, Chalmers tekniska högskola.

Effekter på funktion och kostnad av styrd ventilation av kallvind, Hagentoft C-E, Ahrnens C & Borglund E, Bygg&Teknik, 4/2007

Styrd ventilation av kallvindar – praktiska erfarenheter, Stefan Forsaeus Nilsson och Marcus Thorin, Bygg&Teknik, 4/2007

Kontrollerad ventilation av kallvindar, Hagentoft C-E, Bygg&Teknik, 4/2008

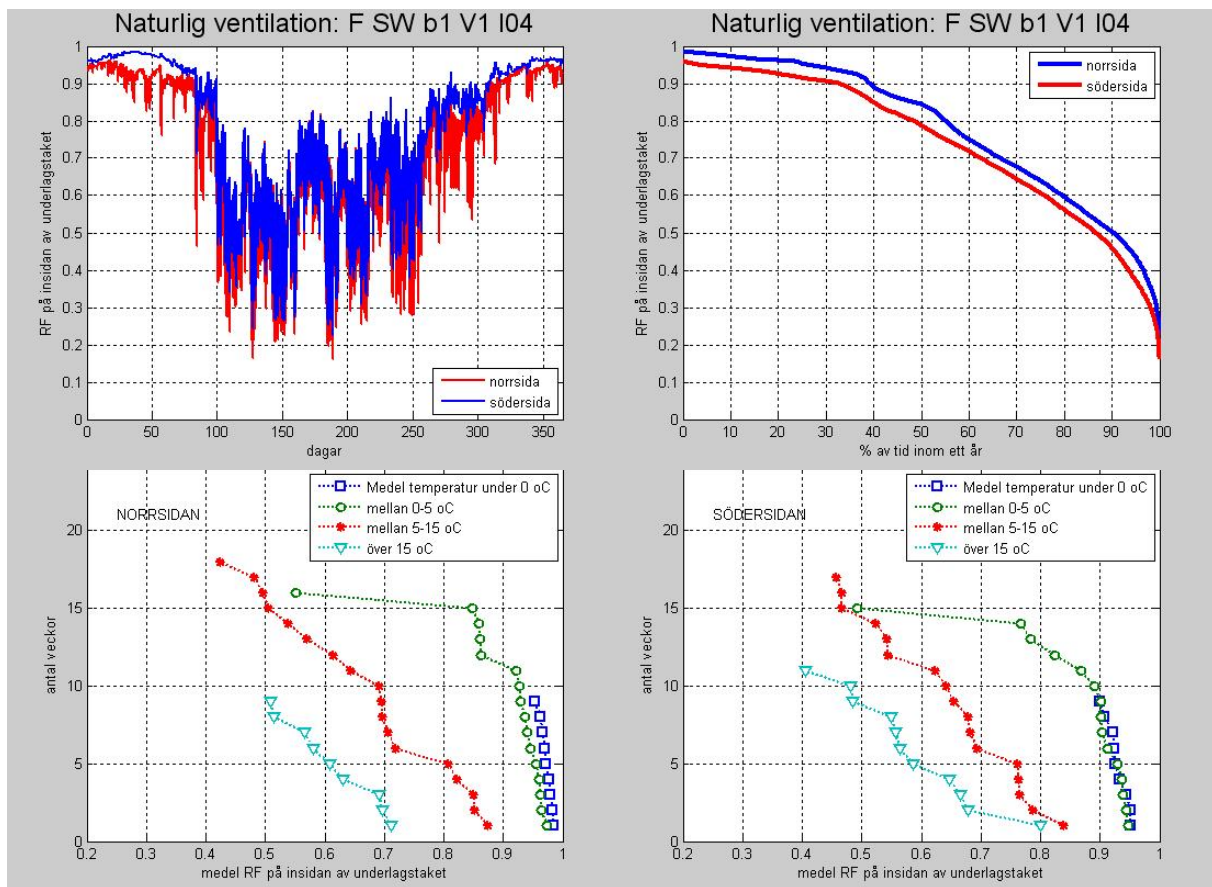
Hukka E., Viitanen H.A., 1999. *A mathematical model of mould growth on wooden material*. Wood Science and Technology 33, Springer-Verlag.

Styrd ventilation av kallvindar – Uppföljning av fältförsök. Hagentoft C-E, Bygg&Teknik, 4/2009

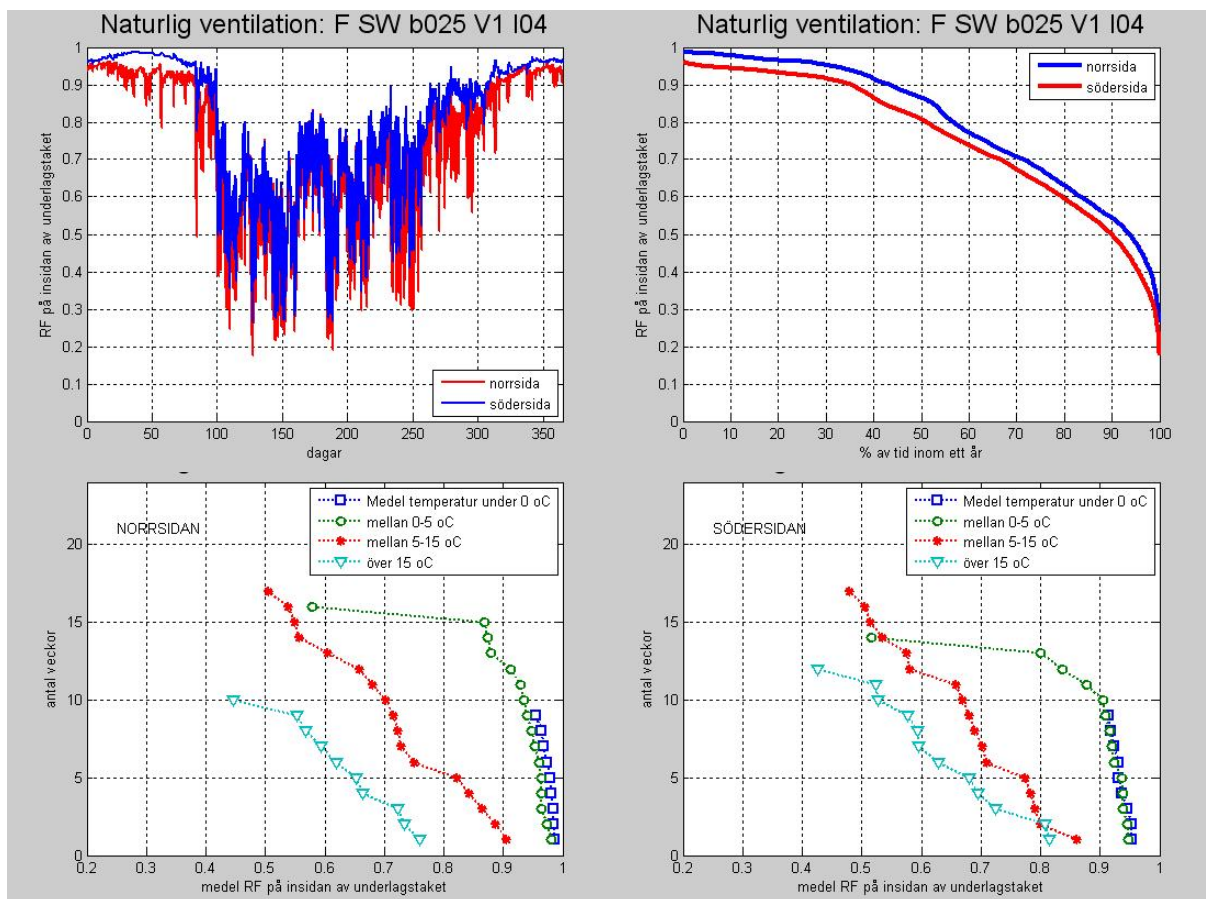
Boverket, 2009. Så mår våra hus, ISBN 978-91-86342-28-9.

## Bilaga 1: Hygrotermiska förhållanden under ett år

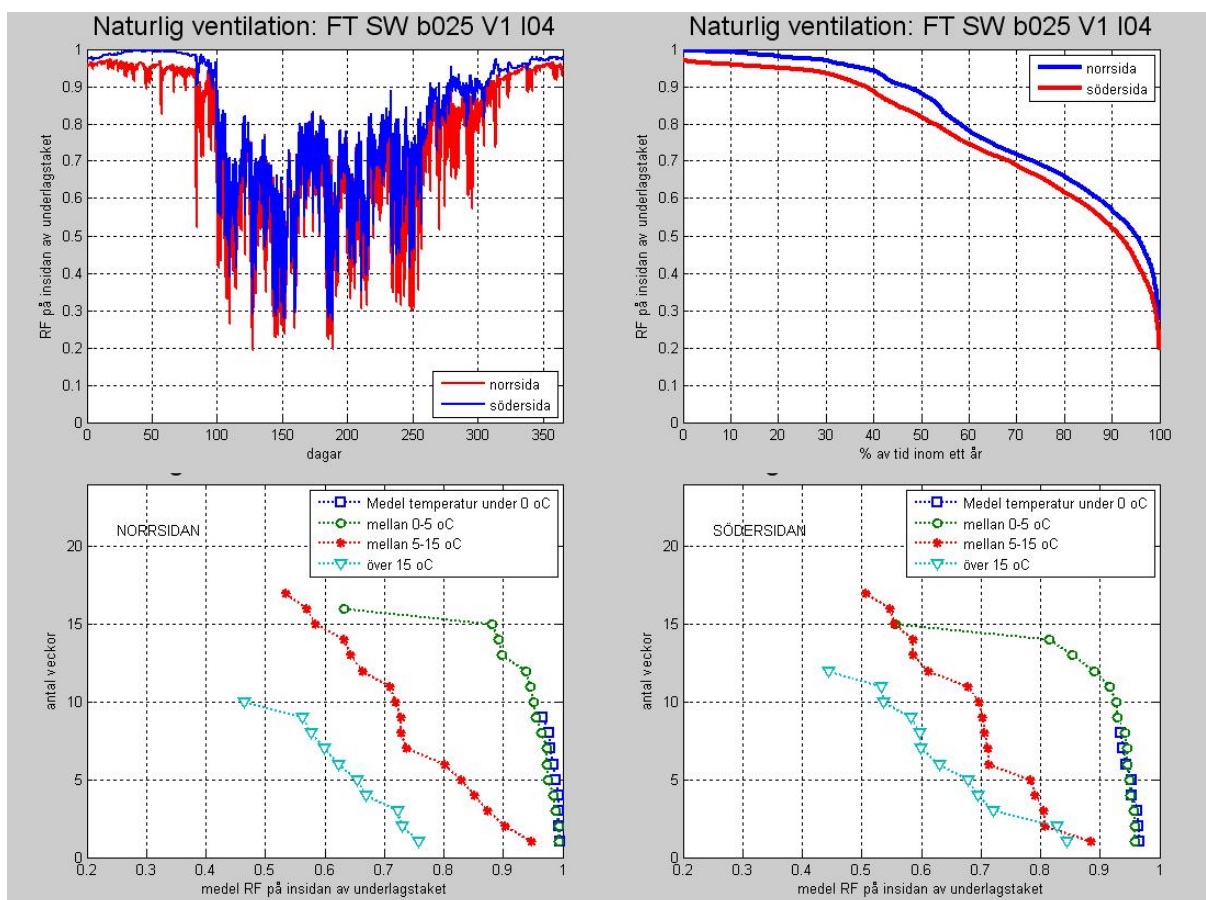
Vi tittar först på några grundfall **utan styrd ventilation**.



*Figur B1.1. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr- och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: F-ventilation/(Bjälklag:Otät)/(Kallvind:Vanlig)*

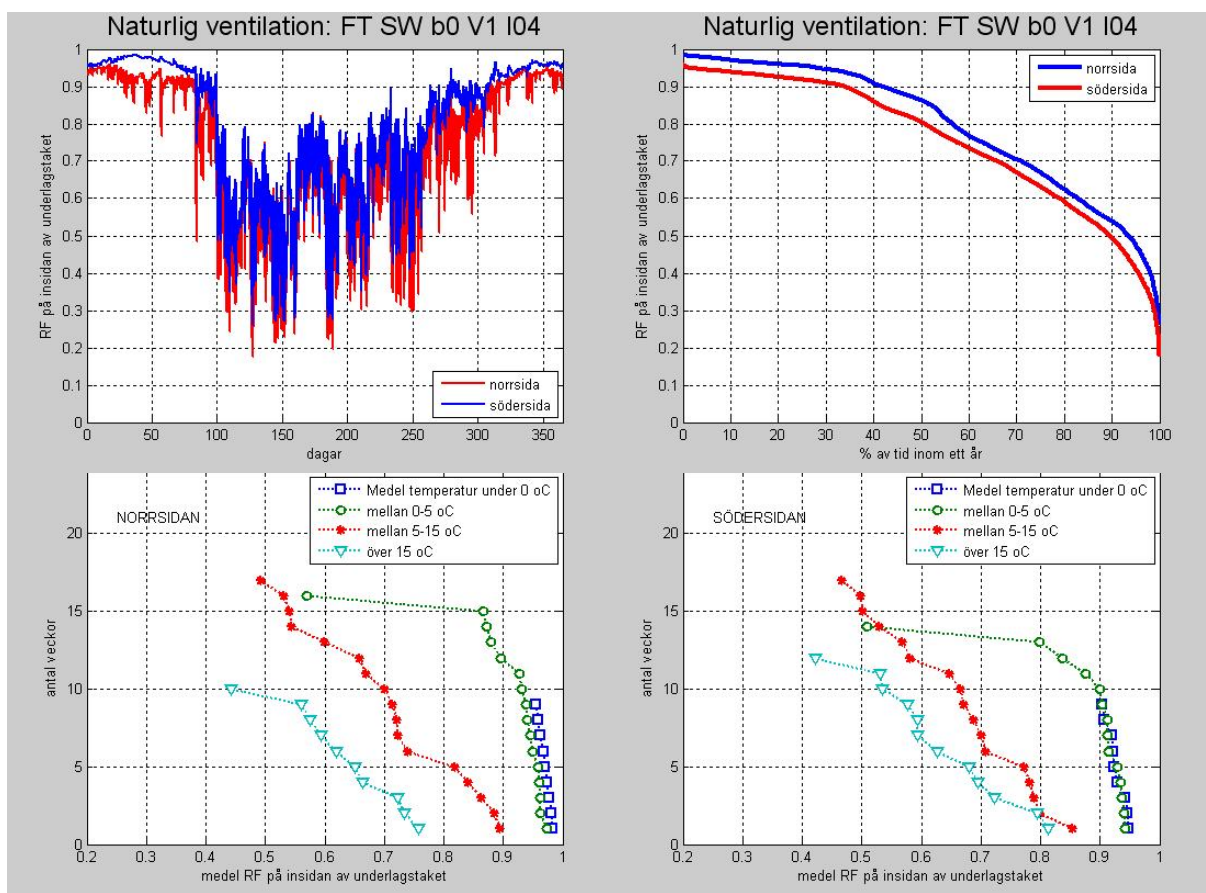


*Figur B1.2. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr - och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: F-ventilation/(Bjälklag:Medelotät)/(Kallvind:Vanlig)*



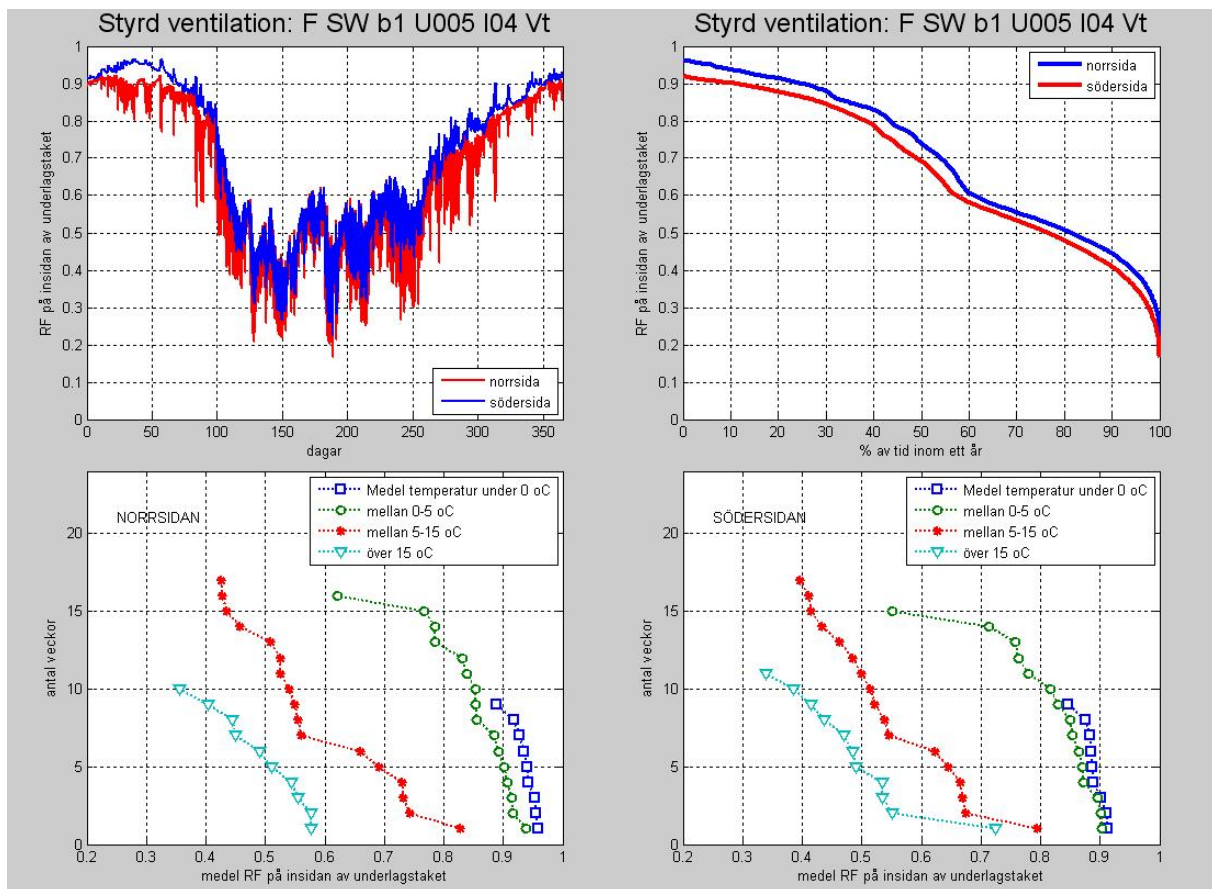
Figur B1.3. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr - och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: FT-ventilation/(Bjälklag:Medelotät)/(Kallvind:Vanlig)



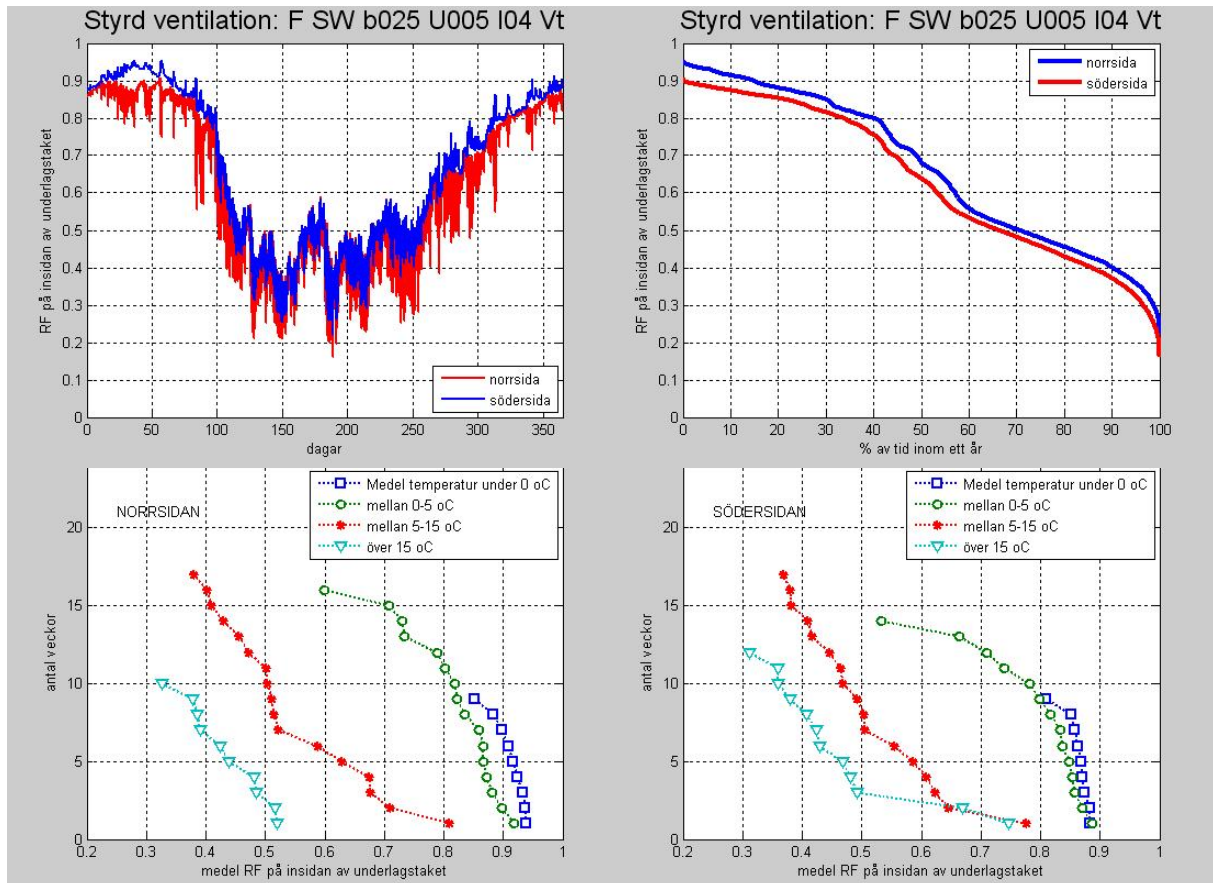


*Figur B1.4. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr - och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: FT-ventilation/(Bjälklag:Tät)/(Kallvind:Vanlig)*

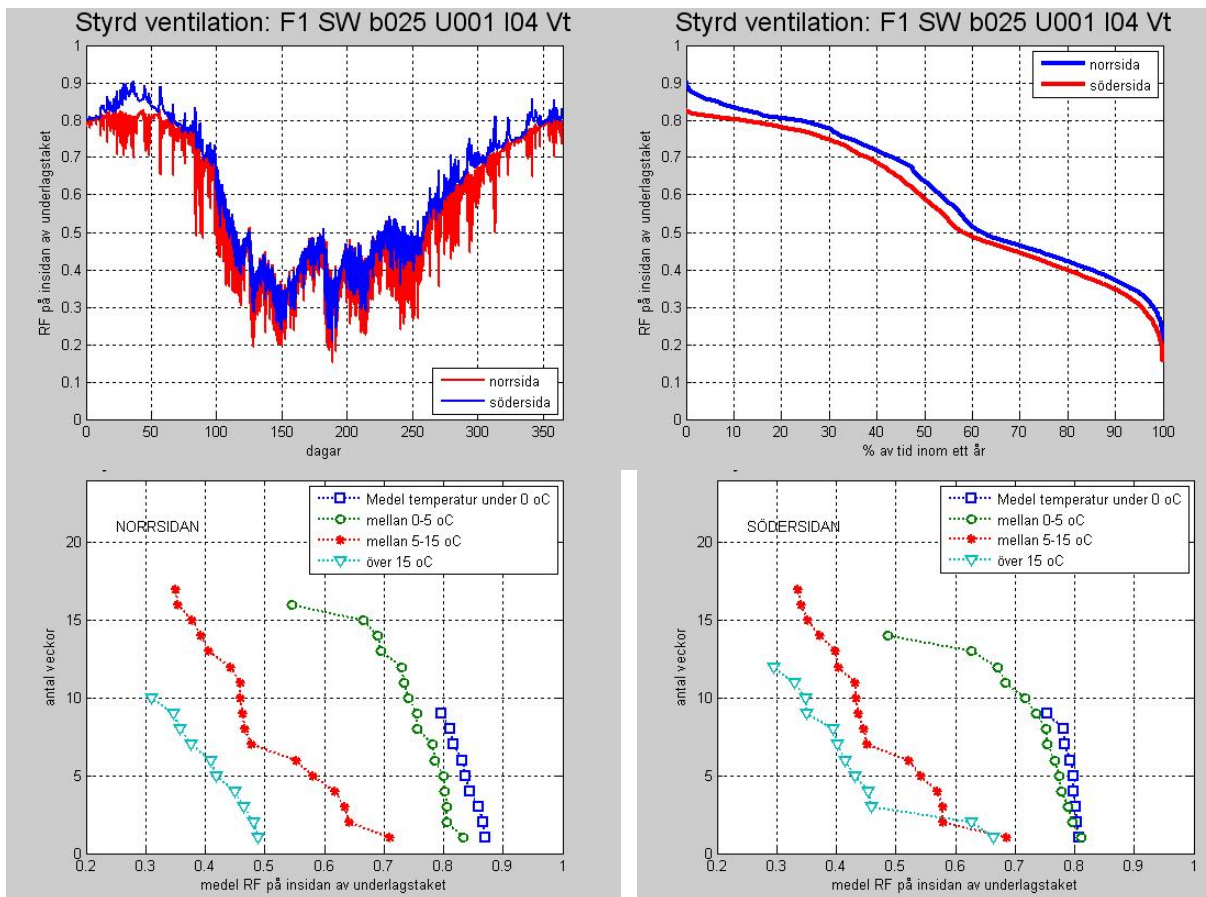
## Med styrd ventilation:



*Figur B1.5. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr - och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: F-ventilation/(Bjälklag:Otät)/(Kallvind:Tätad)*

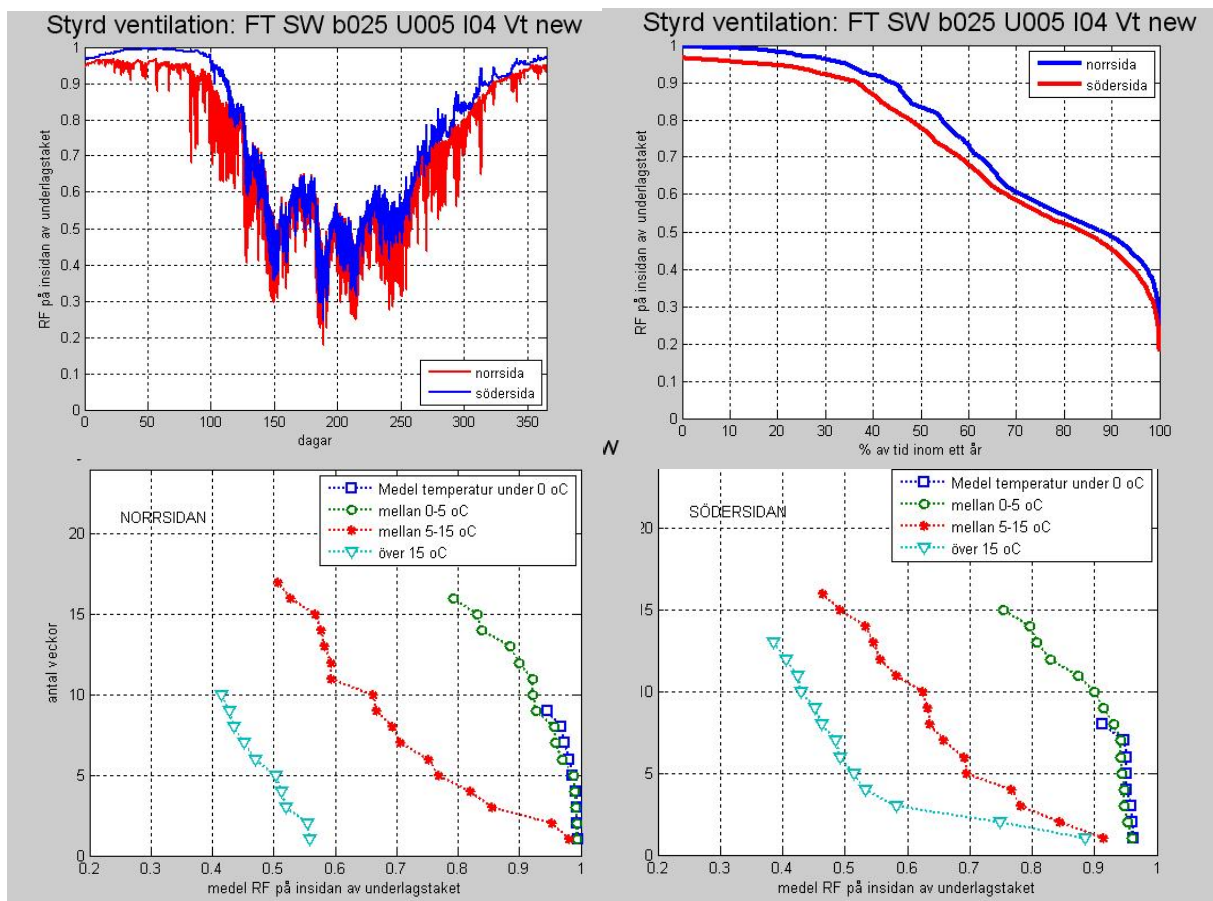


*Figur B1.6. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr - och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: F-ventilation/(Bjälklag:Medelotät)/(Kallvind:Tätad)*

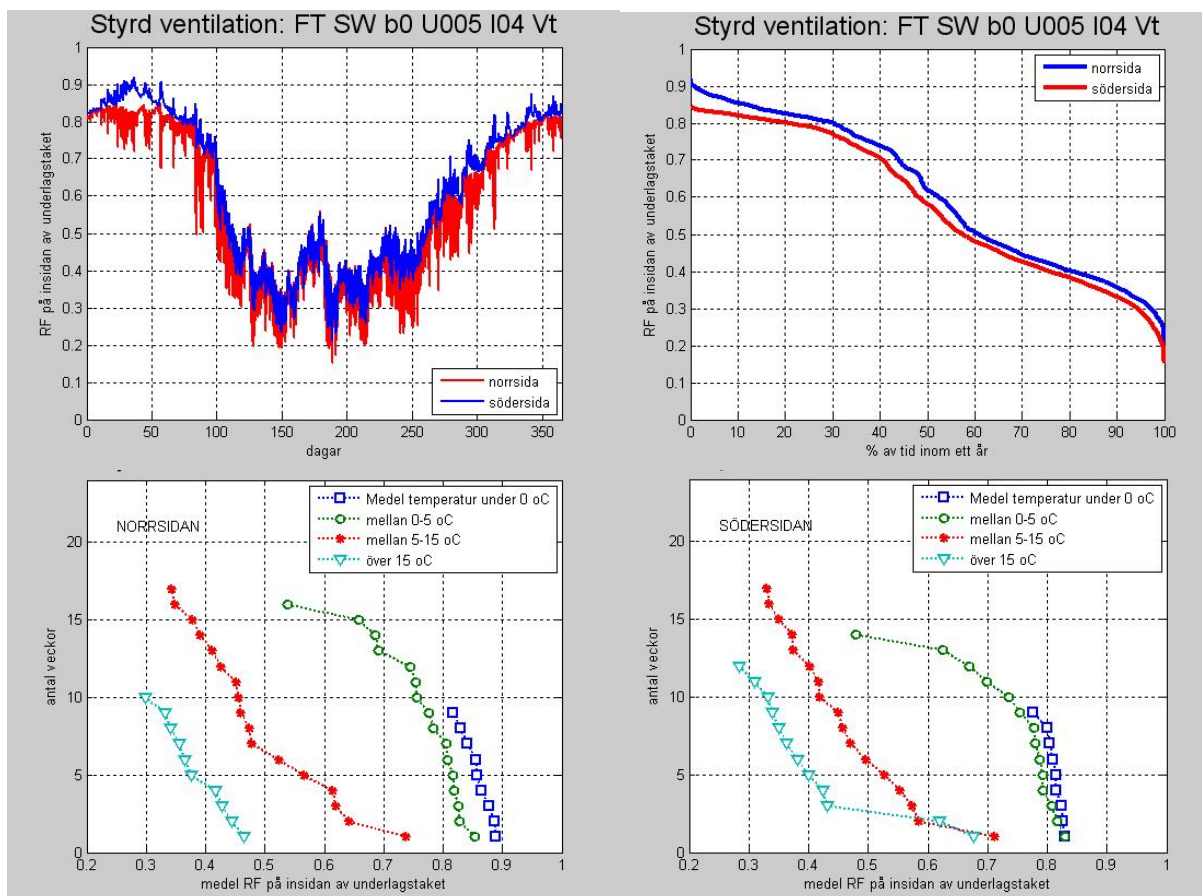


Figur B1.7. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr

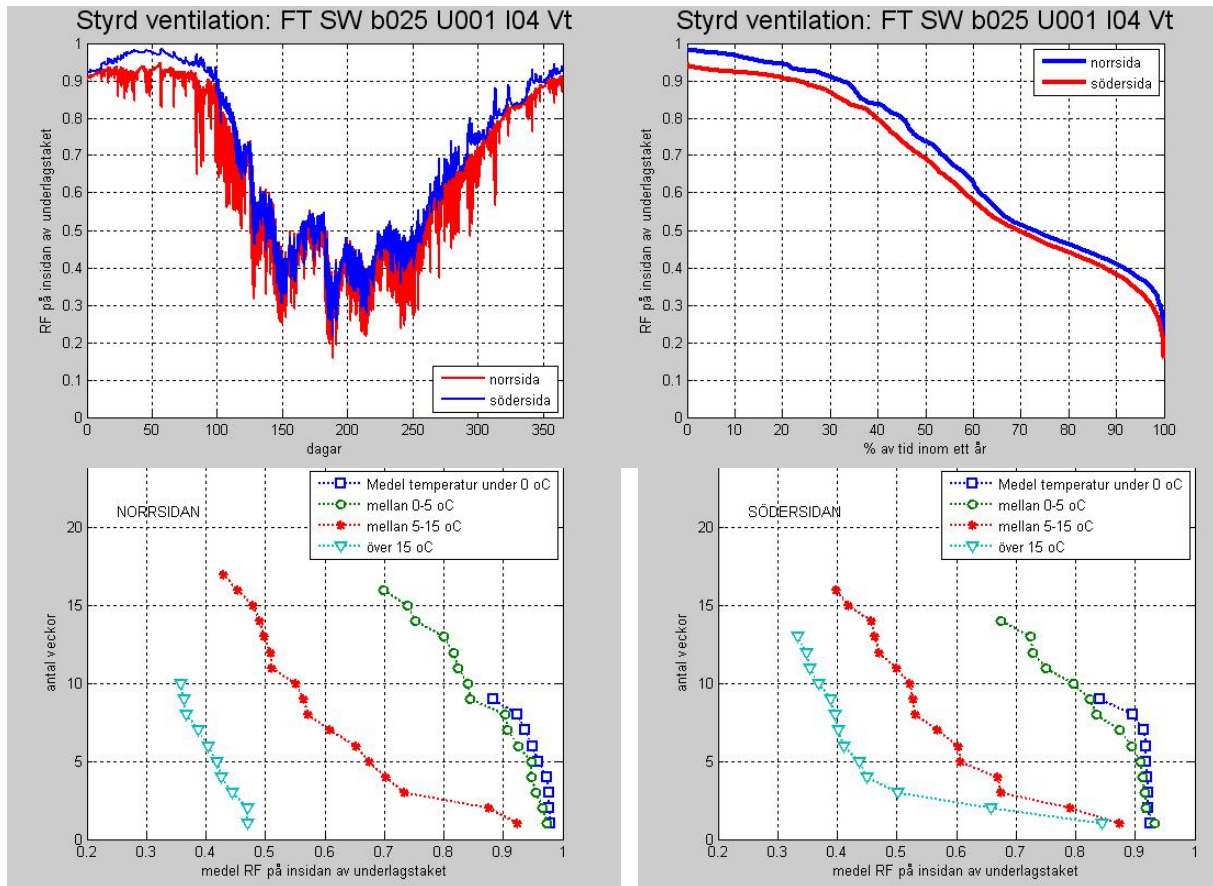
- och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: F-ventilation/(Bjälklag:Medelotät)/(Kallvind: Väl tätad), Tätare byggnad.



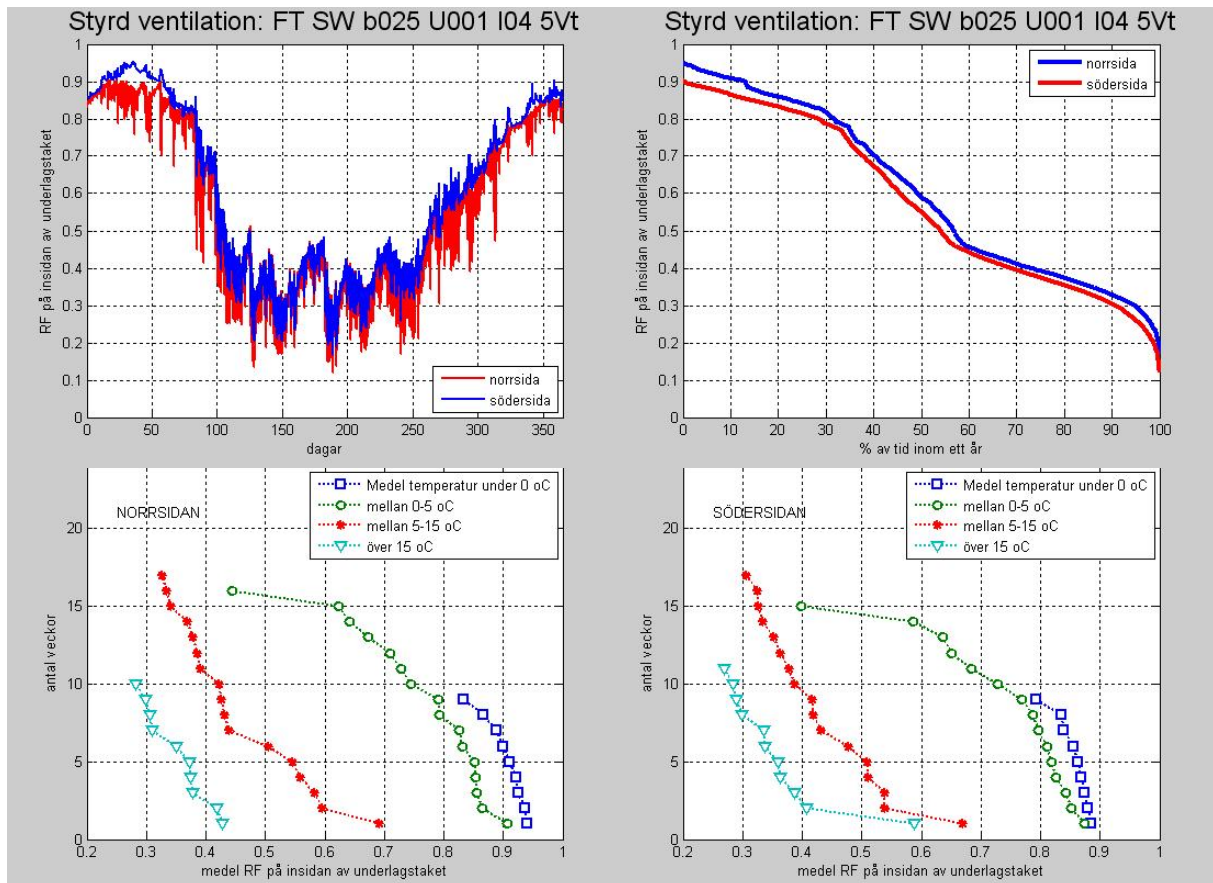
*Figur B1.8. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr - och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: FT-ventilation/(Bjälklag:Medelotät)/(Kallvind:Tätad)*



*Figur B1.9. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr - och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: FT-ventilation/(Bjälklag:Tät)/(Kallvind:Tätad)*



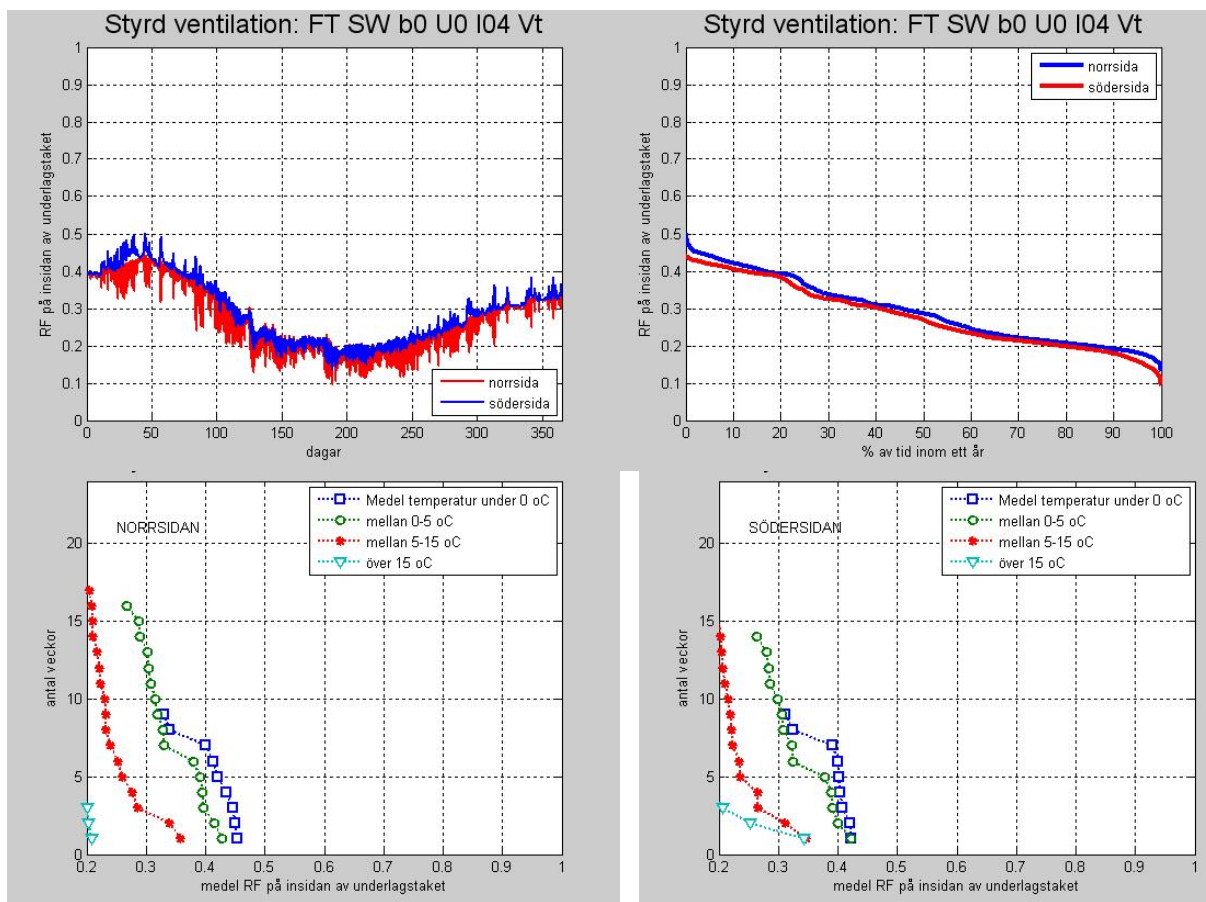
*Figur B1.10. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr - och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: FT-ventilation/(Bjälklag:Medelotät)/(Kallvind:Väl tätad)*



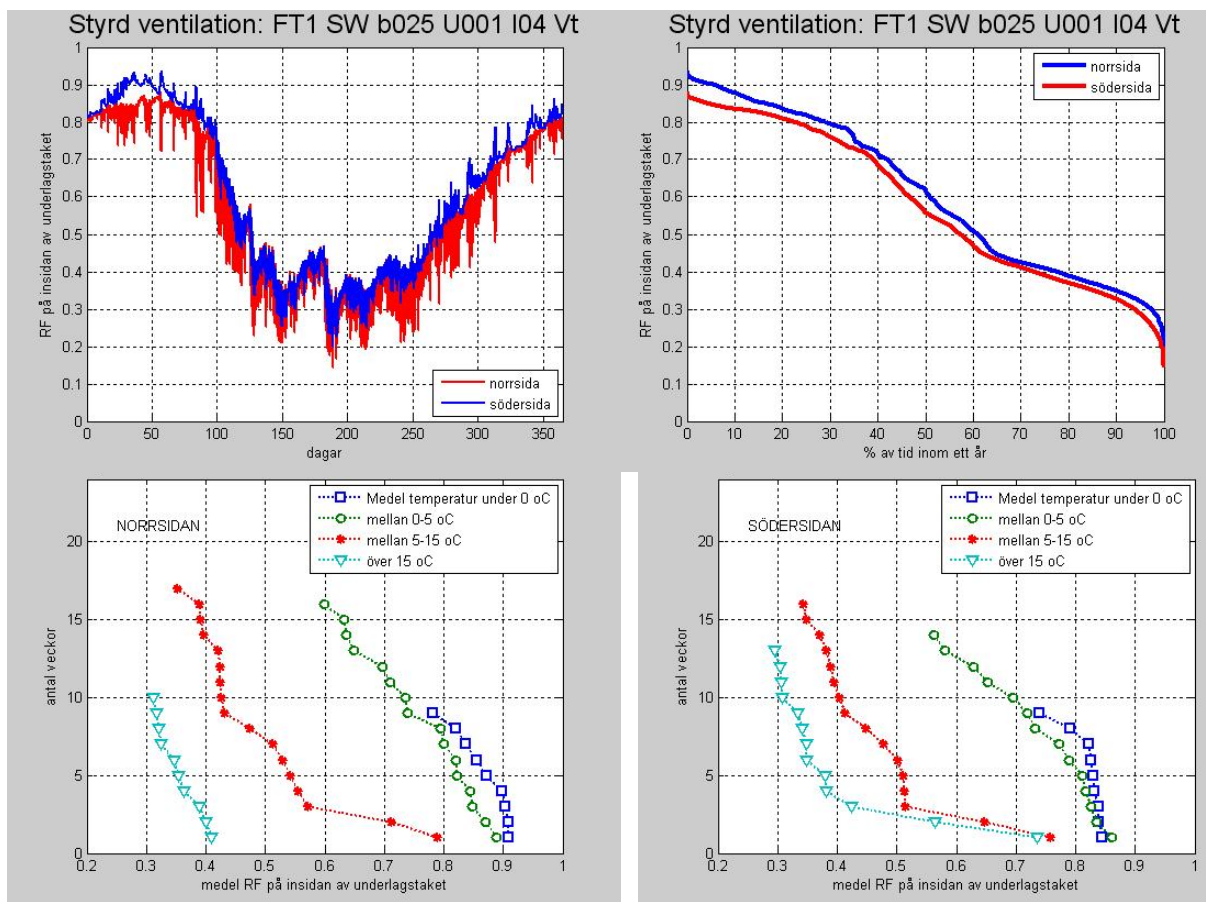
Figur B1.11. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr

- och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: FT-ventilation/(Bjälklag:Medelotät)/(Kallvind: Vål tätad), Kraftigare vindsfläkt.





*Figur B1.12. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr - och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: FT-ventilation/(Bjälklag:Tät)/(Kallvind:Tät)*




Figur B1.13. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr

- och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: FT-ventilation/(Bjälklag: Medelotät)/(Kallvind: Vål tätad), Tätare byggnad.



Bilaga 3: Kostnadskalkyl för lufttät kallvind.

 JK BYGG i Göteborg AB Buljkeväggen 5 418 78 GÖTEBORGS		Projektnummer Projekt Beskrivning		:Kallvind med styrd v :Kallvind med styrd vent. :Kallvind med styrd vent		Nettokalkyl		:Byggedel SBEF/Byggedel SBEI		Datum :2007-02-13 Tid :1:4:09 Sida :1(2) Valuta :SEK	
Kod	Benämning	Mängd	Enhet	Arbete (h)	Material	UE	Pris	Total	Ritm		
	<b>Nettokalkyl</b>			7	741	2340		5143			
97	<b>Avgående</b>			-5	-506			-2074			
	<b>Takfot</b>	-22 m	0.305	-6.7	44.66		133.12	-2929			
	20 mm board - 33 Isover3313 b=1200	-22 m	0.100	-2.2	25.90		54.90	-1208			
	Arbets				0.109	-2.2 tim	290.00	-638			
	20 mm board - 33 Isover3313 b=1200					-22 m	25.90	-570			
	<b>45x45 regel l=400</b>	-22	0.080	-1.8	2.20		25.40	-559			
	Arbets				0.089	-1.8 tim	290.00	-510			
	45x45 regel l=400					-24.2	2.00	-48			
	<b>Inskrivit b=300</b>	-22 m	0.050	-1.1	6.50		21.00	-462			
	Arbets				0.050	-1.1 tim	290.00	-319			
	Inskrivit b=300					-22 m	6.50	-143			
	<b>9 GU</b>	-6.6 m <sup>2</sup>	0.250	-1.6	33.55		106.05	-700			
	Arbets				0.250	-1.6 tim	290.00	-479			
	9 GU					-7.3 m <sup>2</sup>	30.50	-221			
	<b>Taknock</b>	-11 m	0.200	-2.2	10.00		68.00	-748			
	Nockvent	-11 st	0.200	-2.2	10.00		68.00	-748			
	Arbets				0.209	-2.2 tim	290.00	-638			
	Nockvent					-11 st	10.00	-110			
	<b>Inget avgående för takgenomföringar</b>			1			0.00	0			
	<b>Gavel</b>	17.5 m <sup>2</sup>	0.200	3.5	33.55		587	1602			
	9 GU	17.5 m <sup>2</sup>	0.200	3.5	33.55		587	1602			
98	<b>Tillkommande</b>			13	1247	2340		7217			
	Mängd av	Handläggare	Kalkylansvarig	Prisinst av							



JK BYGG i Göteborg AB  
 Blujockergatan 5  
 418 78 GÖTEBORG

**Projektnummer**  
**Projekt**  
**Beskrivning**

JKallvind med styrld v.  
 JKallvind med styrld vent.  
 JKallvind med styrld vent

**Nettokalkyl**

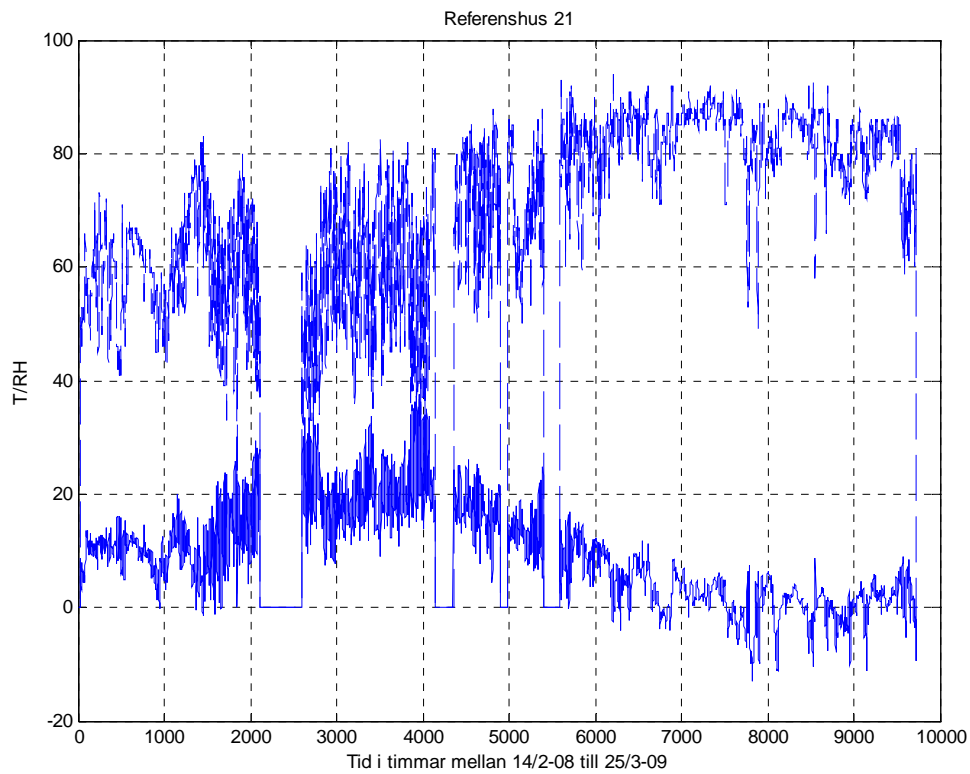
: Byggsedel SBEP Byggsedel SBEP

**Datum** :2007-02-13  
**Tid** :14:09  
**Sida** :2(2)  
**Value** :SEK

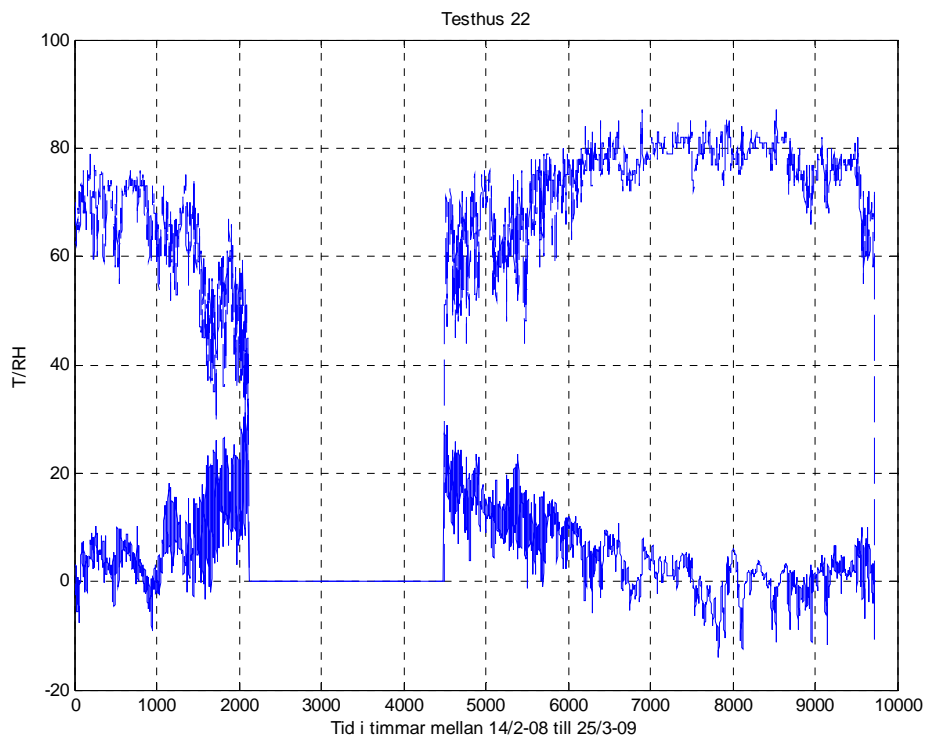
Kod	Benämning	Mängd	Enhet	Arbeta (h)	Material	UE	Pris	Total	Ritm		
	<b>Takfot</b>	<b>22 m</b>		<b>0.410</b>	<b>9</b>	<b>24.65</b>	<b>542</b>	<b>68.18</b>	<b>1'500</b>	<b>211.73</b>	<b>4658</b>
	Isover Vario Duplex	11 m <sup>2</sup>		0.200	2.2	35.00	385	2.2 tim		93.00	1.023
	Arbetare						0.200	11 m <sup>2</sup>		290.00	638
	Isover Vario Duplex									35.00	385
	Arbetare										
	<b>I inring av duk</b>	<b>50 m</b>						<b>30.00</b>	<b>1500</b>	<b>30.00</b>	<b>1500</b>
	Limning av duk							50 m		30.00	1'500
	<b>45x45 regel på takstol l=150</b>	<b>44 st</b>		<b>0.080</b>	<b>3.5</b>	<b>0.83</b>	<b>36</b>			<b>24.02</b>	<b>1.057</b>
	Arbetare						0.080	3.5 tim		290.00	1.021
	45x45 regel på takstol l=150							48.4 st		0.75	36
	Arbetare										
	<b>45x45 snedsågad mellan takstolar hor.</b>	<b>22 m</b>		<b>0.150</b>	<b>3.3</b>	<b>5.50</b>	<b>121</b>			<b>49.00</b>	<b>1.078</b>
	Arbetare						0.150	3.3 tim		290.00	957
	45x45 snedsågad mellan takstolar hor.							24.2 m		5.00	121
	Arbetare										
	<b>Garlar</b>	<b>17.5 m<sup>2</sup></b>		<b>0.200</b>	<b>3.5</b>	<b>40.25</b>	<b>704</b>	<b>48.00</b>	<b>840</b>	<b>146.25</b>	<b>2559</b>
	Isover Vario Duplex	17.5 m <sup>2</sup>		0.200	3.5	40.25	704			98.25	1.719
	Arbetare						0.200	3.5 tim		290.00	1.015
	Isover Vario Duplex							20.1 m <sup>2</sup>		35.00	704
	Arbetare										
	<b>Tjip i skarvar</b>	<b>28 m</b>						<b>30.00</b>	<b>840</b>	<b>30.00</b>	<b>840</b>
	Tjip i skarvar							28 m		30.00	840
	Arbetare										
	<b>Inga extra kostnader för tätning kring huvur och avloftare</b>	<b>1</b>								<b>0.00</b>	<b>0</b>

	Mängder av	Handtecknare	Kontrollansvarig	Prisare av
--	------------	--------------	------------------	------------

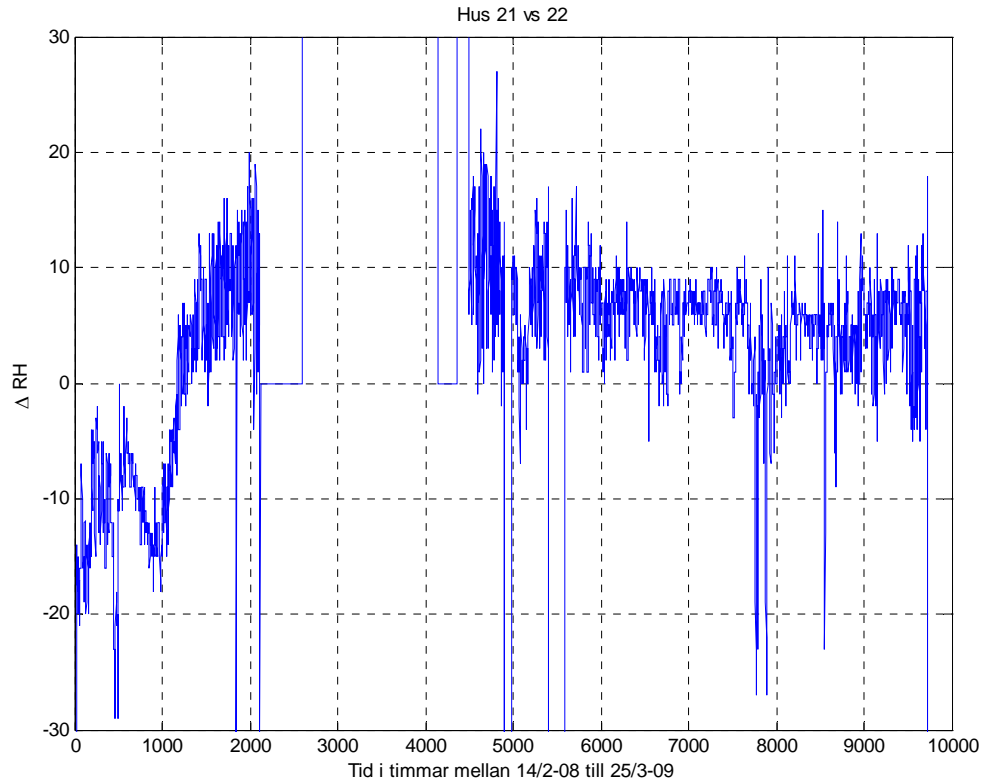
Bilaga 4. Etapp II. Mätresultat samt jämförelser mellan beräknade och mätta värden.



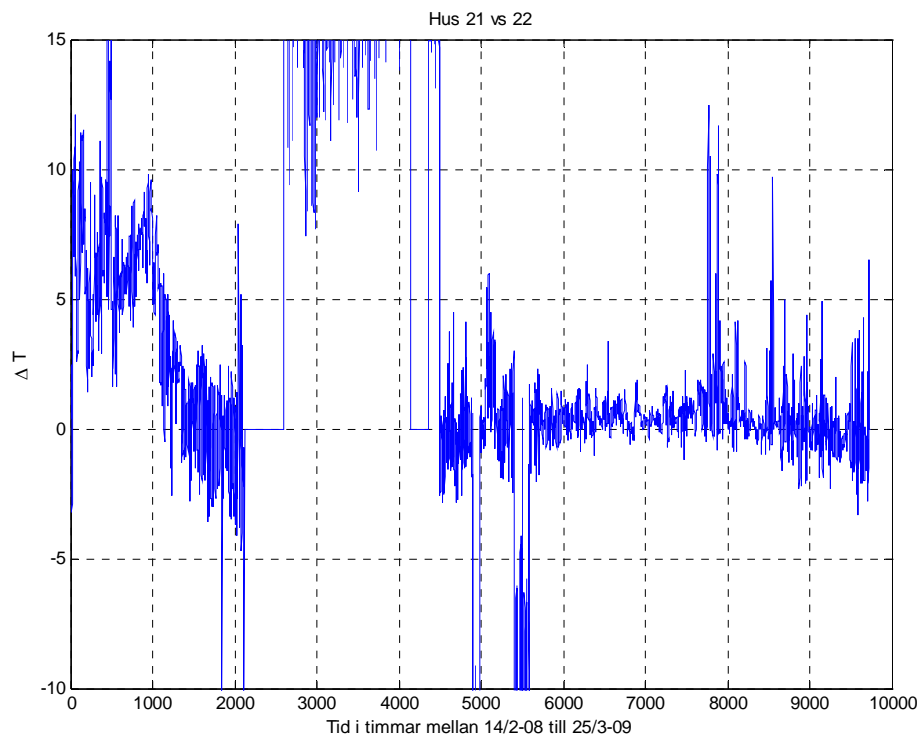
Figur B4.1. Mätt temperatur och relativ fuktighet i referenshus 21. Vindsbjälklaget isolerades först 2/4-08 (drygt 1100 timmar in på mätperioden).



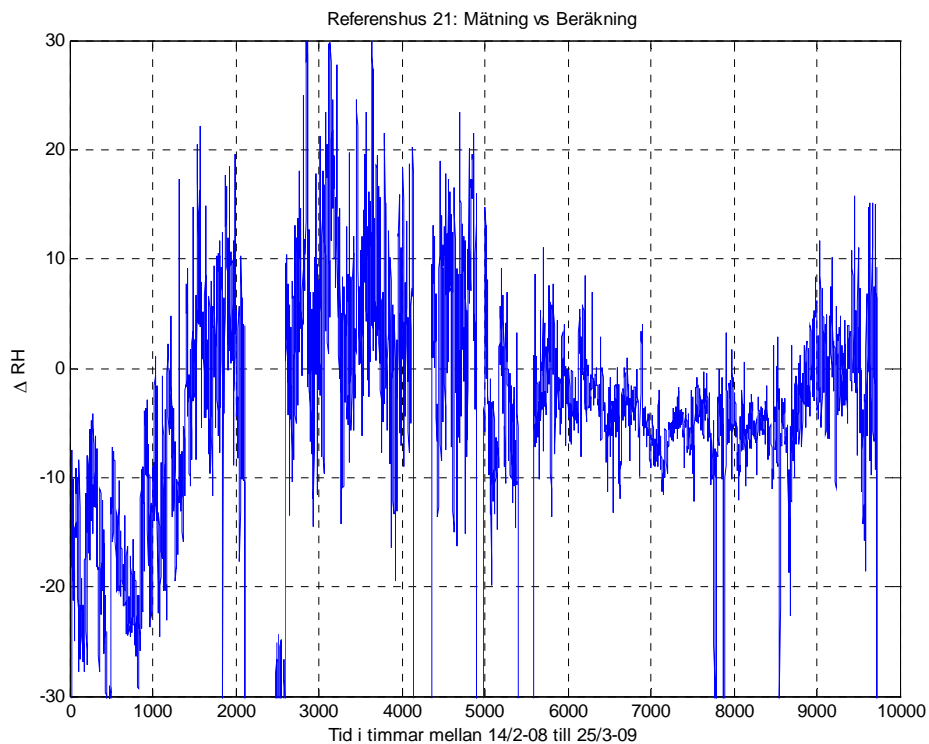
Figur B4.2. Mätt temperatur och relativ fuktighet i testhus 22.



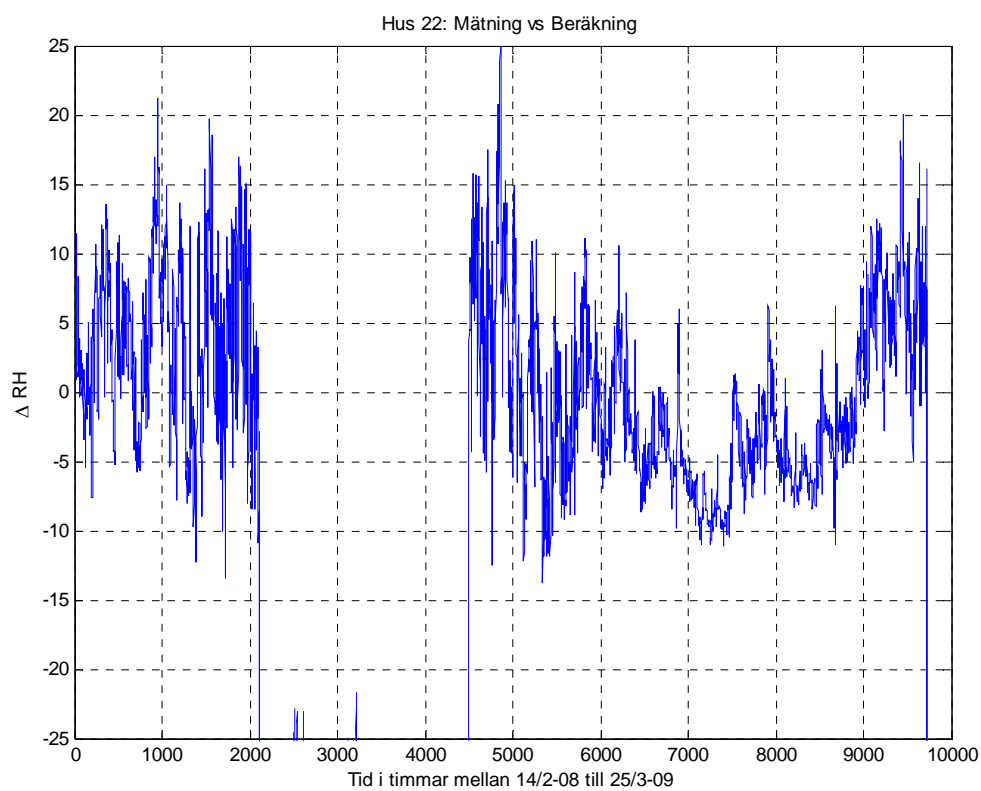
Figur B4.3. Skillnad i mätt relativ fuktighet för referenshus 21 och testhus 22 (dvs.  $RF_{21}-RF_{22}$ ). Medelskillnad över perioden: 5,5 %.



Figur B4.4. Skillnad i mätt temperatur mellan referenshus 21 och testhus 22 ( $T_{21}-T_{22}$ ). Medelskillnad över höstperioden: 0,3 °C.

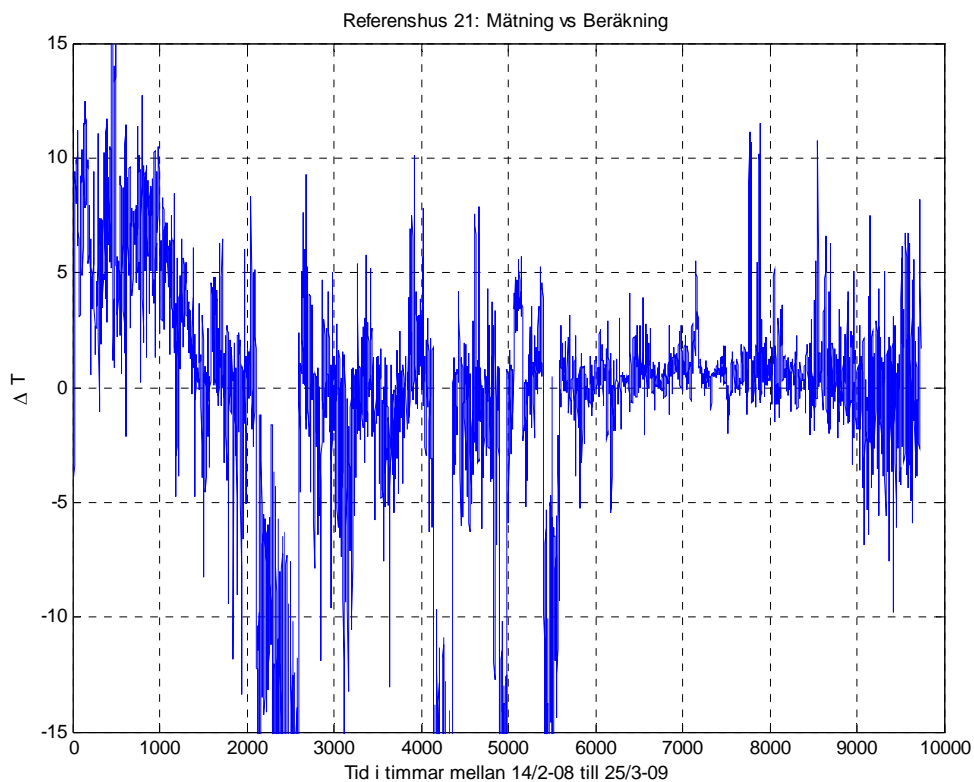


Figur B4.5. Skillnad i mätt och beräknad relativ fuktighet i referenshus 21 (dvs.  $RF_{21,mätt} - RF_{21,ber}$ ). Medelskillnaden över perioden är: -1,9 %.

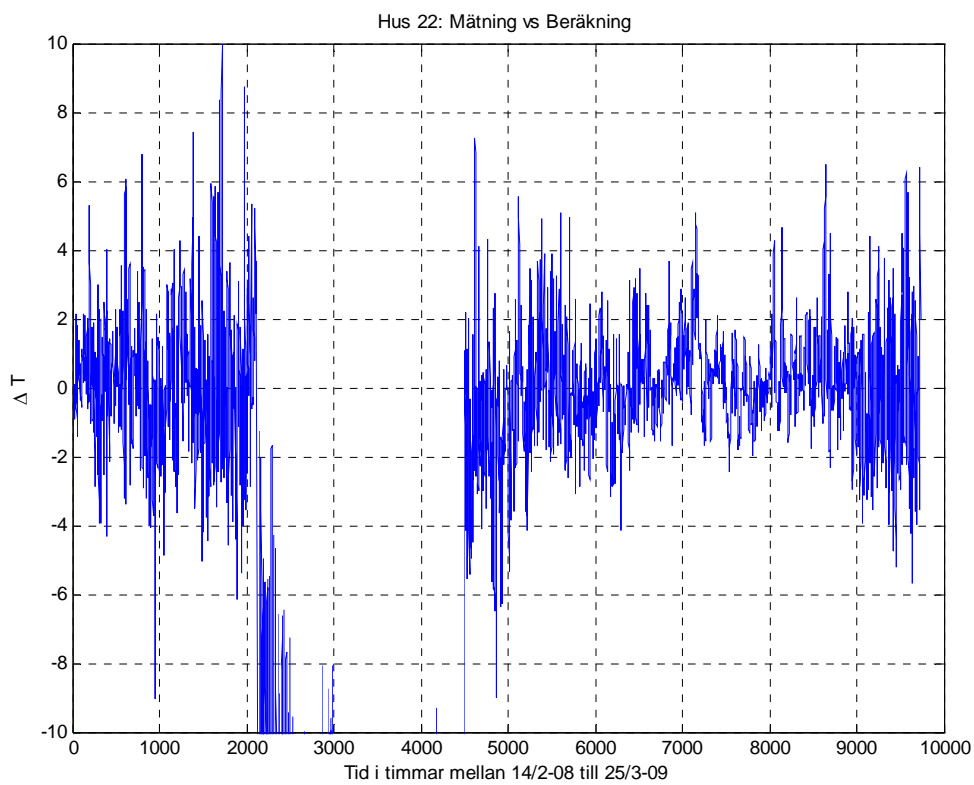


Figur B4.6. Skillnad i mätt och beräknad relativ fuktighet i testhus 22 (dvs.  $RF_{22,mätt} - RF_{22,ber}$ ). Medelskillnaden över perioden är: 0,3 %.

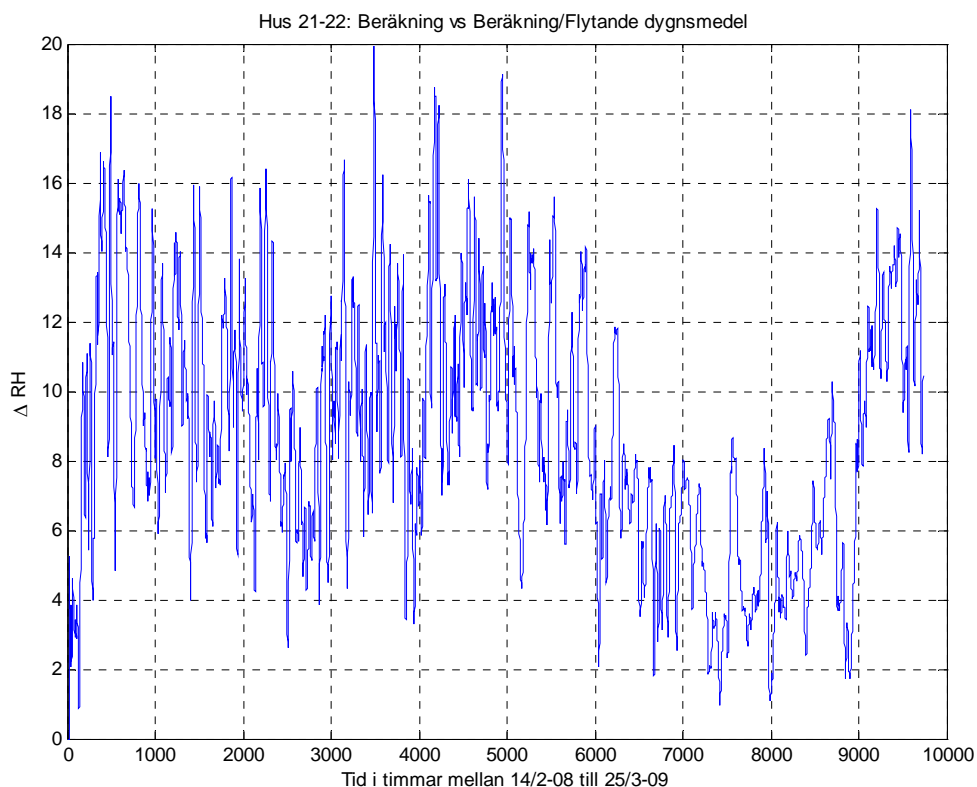




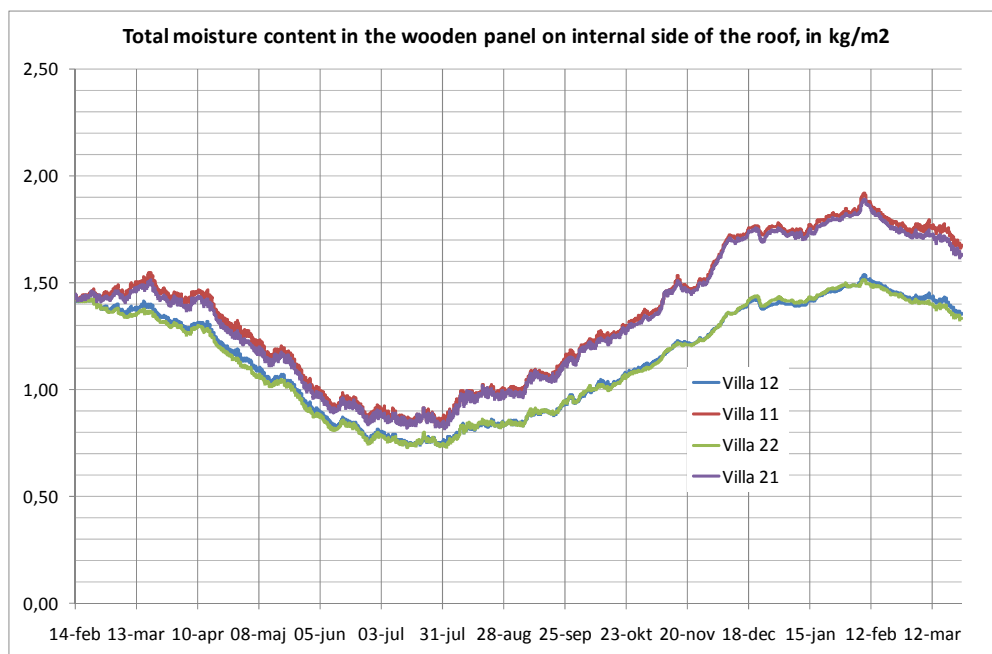
Figur B4.7. Skillnad i mätt och beräknad temperatur i referenshus 21. (dvs.  $T_{21,mätt}-T_{21,ber}$ ). Medelskillnaden över perioden är:  $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Figur B4.8. Skillnad i mätt och beräknad temperatur i testhus 22. (dvs.  $T_{22,mätt}-T_{22,ber}$ ). Medelskillnaden över perioden är:  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Figur B4.9. Skillnad i beräknad relativ fuktighet mellan referenshus 21 och testhus 22. (dvs.  $RF_{21,ber} - RF_{22,ber}$ ). Medelskillnaden över perioden är: 8,7 % (och  $-0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).



Figur B4.10. Beräknat fukttinnehåll i råsponten i taket för de fyra kallvindarna. De två testvindarna är torras (För att omvandla till fuktkvot divideras värdena i diagrammet med 13.)