

Slutrapport för Etapp I av:

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

Projektledare: Carl-Eric Hagentoft, Chalmers Byggnadsfysik

Projektgrupp: Angela Sasic, Chalmers Byggnadsfysik
Rolf Jonsson, Wäst Bygg
Dick Jimar, JK Bygg
Charlotte Svensson-Tengberg, Skanska
Martin Lindström, NCC

Referensgrupp: Företagen inom FoU-Väst

Innehållsförteckning

	sida
Sammanfattning	3
1. Bakgrund och erfarenheter av kontrollerad ventilation	4
2. Projektbeskrivning	8
3. Studerad byggnad och kallvind	8
4. Beräkningsverktyg och bedömning av mögelrisk	9
5. Beräkningsresultat	12
6. Byggnadsteknisk analys och ekonomi	17
7. Slutsatser	19
Referenser	20
Bilaga 1: Hygrotermiska förhållanden under ett år	21
Bilaga 2: Byggnadsteknik för lufttät kallvindskonstruktion	34
Bilaga 3: Kostnadskalkyl för lufttät kallvind	35

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, inte minst påskyndad av det just nu aktuella införandet av energideklaration av byggnader.

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 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 bruksstiden 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.

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 examensarbete ”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 % ± 7 % av alla småhus i Västra Götalands län kan antas ha kallvindar och att 72 % ± 12 % av dem kan antas ha en riklig förekomst av mögelsvamp på kallvinden.

Fukt

Fuktrelaterade problem uppstår då det finns fuktkällor, såsom regngensomslag (läckage) genom yttertaket, 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 suggs in och ansamlas i ytmaterialet. 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.

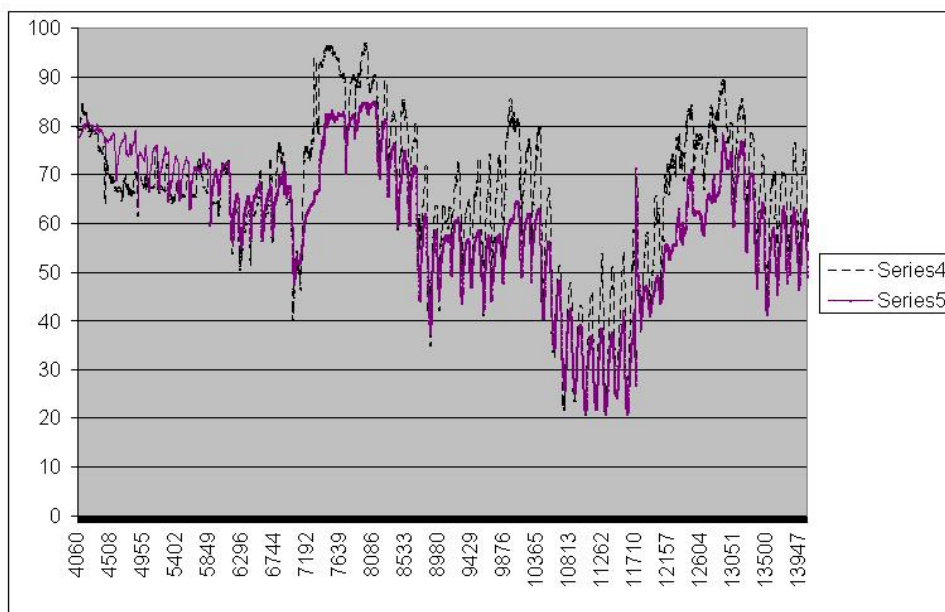
För att ha kontroll av ventilationen krävs en reduktion av okontrollerad luftinfiltration. Detta betyder att utrymmet inte har ventilöppningar vid takfot eller vidnock, samt att kallvindens tak görs så lufttät som möjligt. Effekten av den kontrollerade ventilationen blir allt bättre ju tätare angränsningsytorna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

Resultat från experiment på SP och i fält

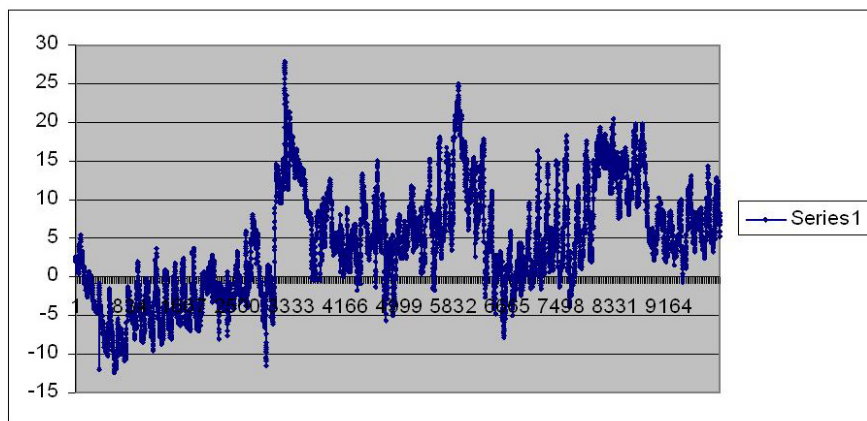
Ett möjligt ventilationskoncept, VentoVind™, har under våren 2006 testats på SPs testvindar under ledning av Ingemar Samuelson. Här följer en kort presentation av resultaten från testernas första perioder. Mätningarna pågår fortfarande för att visa långtidseffekten av konceptet.

Figuren nedan redovisar den uttorkning som sker då fläkten är påslagen under en period mellan 1/3 till 31/5 2006 (Sampling var 10:e minut). Den mörkare, undre linjen visar graden av fuktighet (RF) på vinden med VentoVind™. Den ljusare, övre linjen visar graden av fuktighet på en referensvind. Till en början följer kurvorna varandra men den ventilationskontrollerade vinden får successivt lägre och lägre fuktighet i relation till den andra vinden. Anledningen till att kurvorna stiger och sjunker beror på naturliga dygnsvariationer.



Figur 2. Uppmätt RF i referensvind (Serie 4) och vind med VentoVind™ (Serie 5) under perioden 1/3-2006 till 31/5-2006.

Nästa figur visar skillnad i RF ($RF_{\text{refvind}} - RF_{\text{VentoVind}^{\text{TM}}}$) mellan de två vindarna. RF-mätningarna visar en lägre och klart stabilare nivå för vinden med VentoVind™ installerad. Under nätterna är RF upp till 28 procentenheter lägre.



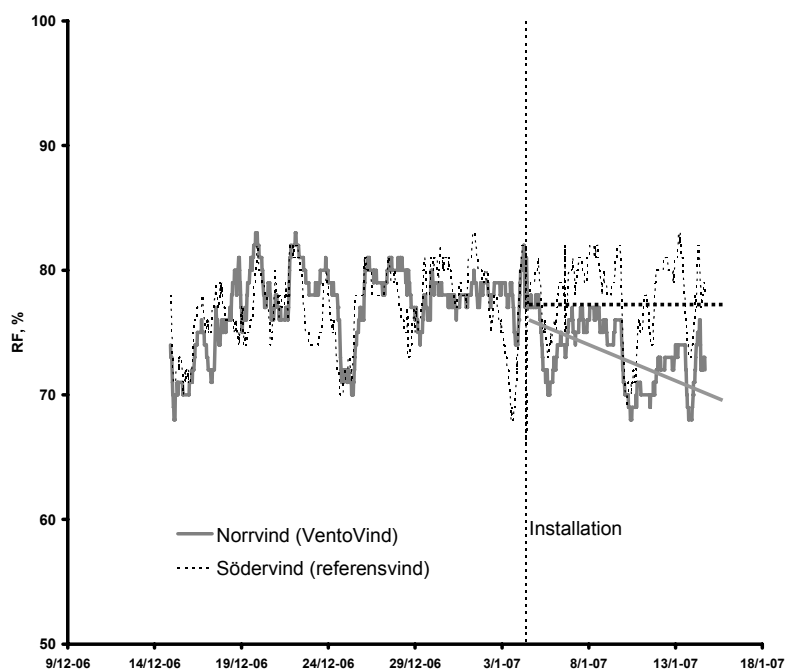
Figur 3. Uppmätt skillnad i RF mellan referensvind och vind med VentoVind™ ($RF_{refvind} - RF_{VentoVind™}$) under perioden 1/3-2006 till 31/5-2006.

Månadsmedel för skillnaden i RF är; Mars -0,54%, April +6,19% och Maj +7,22%. Det innebär att det i genomsnitt är 7,22% RF torrare på testvinden under maj månad. Fuktkvoten framgår av följande tabell:

Tabell 1. Uppmätt fuktkvot på SP-vindarna i slutet av april.

Fuktkvot (slutet av april)	Plywood	Träbjälke
Referensvind:	0,15 kg/kg	0,14 kg/kg
Testvind:	0,13 kg/kg	0,13 kg/kg

Ett antal pilotprojekt pågår i regi av ett Chalmers groddföretag, Ventotech AB, som visar på tydligt positiva resultat från fältförsök i kallvindar på befintliga bostadshus. I några fall finns referensvindar och historiska mätningar att jämföra mot och resultaten är mycket positiva. Man ser en tydlig förbättring av fuktillståndet på vinden efter att ventilationen börjat styras.



Figur 4. Mätresultat från båda sidovindarna på ett 1 1/2-planshus i Vallentuna. VentoVind installerades på norrvinden den 4 januari 2007. Innan dess var fuktförhållandena på de båda

vindarna i stort sett identiska. Efter installationen ser man tydligt hur luftfuktigheten på norrvinden sjunker relativt södervinden.

2. Projektbeskrivning

Projektet med evaluering av metoder samt fältförsök innehåller två etapper. Den första etappen (Ettapp I, start oktober 2006) som redovisas i denna rapport innehåller två delar:

1. 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.
2. Produktionstekniska aspekterna belysas och kvantifieras ekonomiskt. Energikostnader och livscykelkostnader ska analyseras.

3. Studerad byggnad och kallvind

Byggnaden är ett tvåplans bostadshus på cirka 150 m², dvs cirka 75 m² 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.

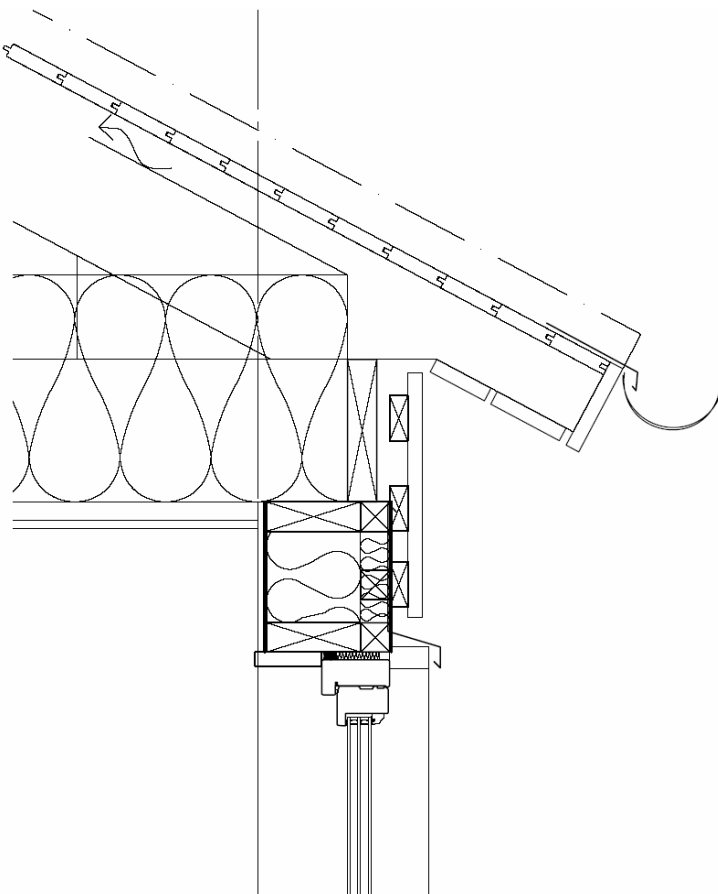
Byggnaden har mekanisk frånluftsventilation med tilluft genom tilluftsdon i yttervägg.

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 5: 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 6, som visar tiden det tar för mögelpåväxt vid olika (stabila) temperatur och RF-nivåer. Motsvarande resultat finns dock ej för dynamiska tillstånd.

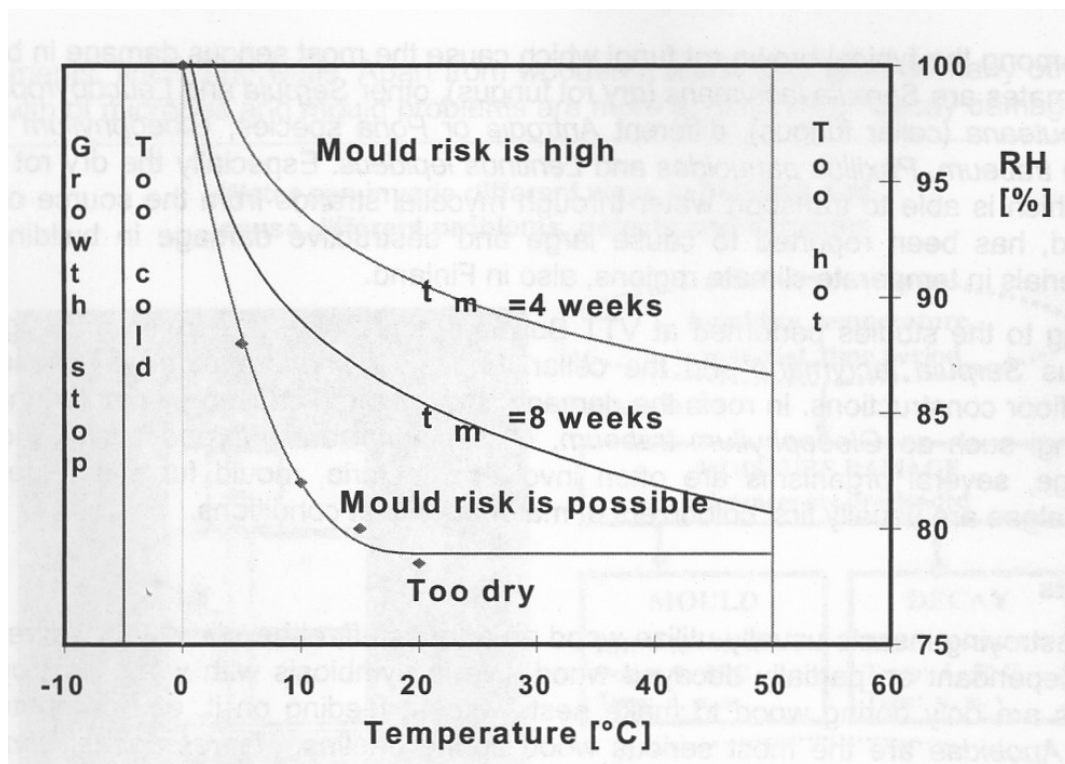


Figure 6 Förutsättningar för mögelpåväxt. Tid för etablering av mögel på trä. (Viitanen 2001)

Viitanen har också föreslagit ett mögelindex med skala enligt Tabell 2.

Tabell 2. 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 7.

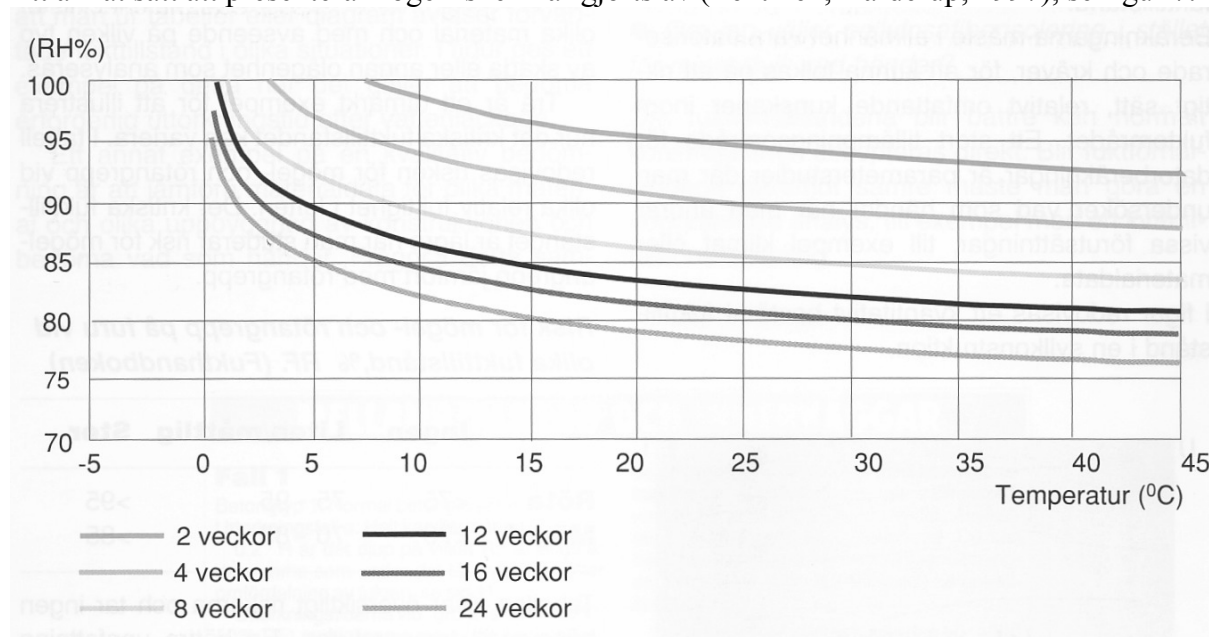


Figure 7. Nödvändig tid för mögelpåväxt på gran- och furuvirke vid olika RF och temperaturer. (Lehtinen, Harderup 1997).

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

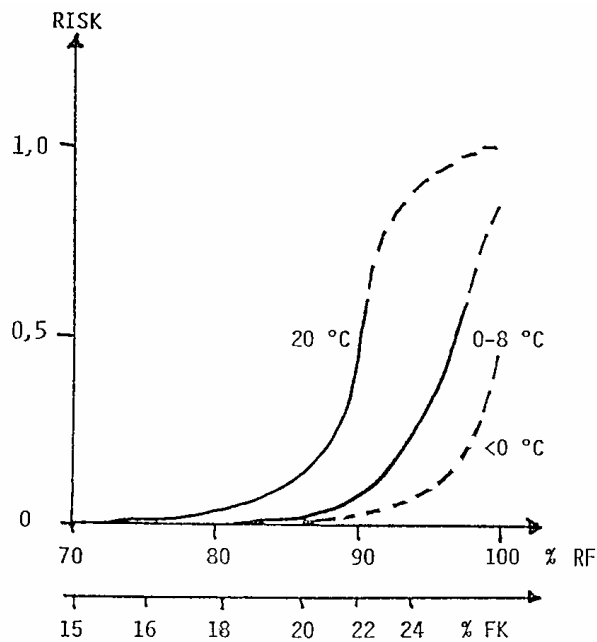


Figure 8. Mögelrisk vid olika RF och temperaturer (Nevander, Elmarsson 1991)

De 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 fuktillskott på ca 3 g/m³.

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

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

Bjälklagets värmeisoleringsjocklek är 0,4 m.

Byggnadens luftvolym är 396 m³ och den totala exponerade klimatskalsarean är 338 m². 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 m³/h luft att läcka uppåt. I första fallet är alla byggnadsytor lika otäta och i andra fallet är vindsbjälklaget 4 ggr tätare än övriga klimatskalsytor. I sista fallet är det helt tätt.

Volymen inne på kallvinden är ca 80 m³ och takarean (utåt) 189 m². Vindsbjälklagets area är 74,8 m². Lufttätheten för kallvinden i normalfallet baseras på antagandet om en 20 mm bred

(1 cm lång luftströmningskanal) 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 effektivas öppningsarean $0,55 \text{ m}^2 (=0,74 \times 0,74 \text{ m})$.

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 $0,03 \text{ m}^2 (=0,17 \times 0,17 \text{ m})$.

Luftrycket 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 $75 \text{ m}^3/\text{h}$ 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 3. Olika alternativ som finns för varje parameter i studien. Alla kombinationer är dock ej beräknade.

Ventilationssystem i vistelsezon	Bjälklagstäthet	Kallvindstäthet	Vindsventilation
F	Otät 0.85 oms/h Vol hus vid 50 Pa	Vanlig 130 oms/h Vol vind vid 50 Pa	Vanlig
FT	Medelotät 0.27 oms/h Vol hus vid 50 Pa	Tätad 7 oms/h Vol vind vid 50 Pa	Styrd
	Tät 0 oms/h Vol hus vid 50 Pa	Väl tätad 1 oms/h Vol vind vid 50 Pa	
		Tät 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 4. Beräknat luftflöde upp till kallvinden genom bjälklaget. Medelflöden (m^3/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 diagram form i figurerna 10 till 22 i 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.

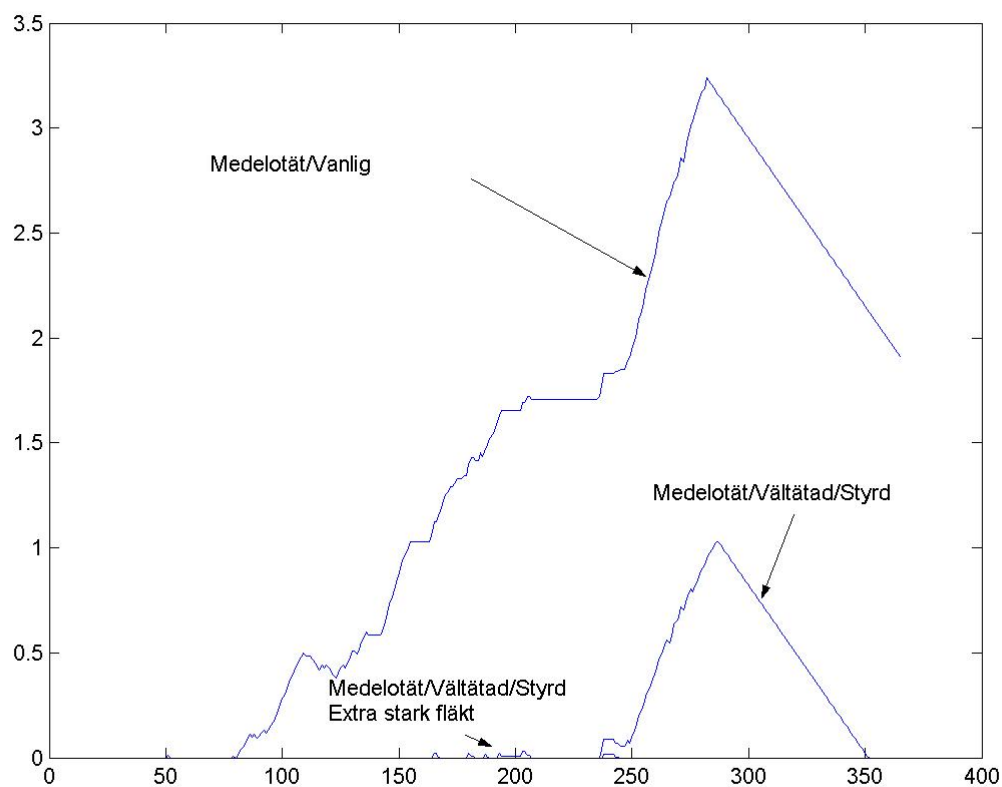
Av detta skäl kan vi speciellt titta på temperaturspannet 5-15 °C och RF över 80% respektive temperatur över 15 °C och RF över 70%. Vi räknar också, för jämförelsens skull, veckorna över 90% RF och temperaturspannet 0-5 °C. Framräknad mögelindex presenteras också.

Tabell 5 och 6 nedan visar antalet veckor som dessa tillstånd beräknats fram över året på norrsidan:

Tabell 5. 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 9 visar hur mögelindex ändras över tiden på kallvindens norrsida för tre FT-ventilerade byggnader (Grundfall).



Figur 9. Variation i mögelindex från första sommaren ($M=0$) till nästa sommar. Beräkningar för grundfallet med medelotät vindsbjälklag. Byggnaden har ett FT-ventilationssystem.

Tabell 6 visar det beräknade mögelindexet för fallen med F-ventilerad byggnad.

Tabell 6. 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 tät	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 (råspon). 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 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.

De potentiella risker som kan kopplas till införandet av energideklarationen och råd om energieffektivisering, dvs. tilläggsisolering av vindsbjälklagsisolering, är också tydliga men svårvärderade.

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 m² stort vindsbjälklag (Örebro). Enligt föreningen av svenska tillverkare och ensamimportörer av mineralull, Swedisol, ligger ett ekonomiskt optimum för vindsbjälklagsisolering idag på ca 500 mm.

7. Slutsatser

Beräkningsresultaten för fukttillståndet 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 yttertaketets 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.

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.

Ahrmens 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.

Länk:

<http://www.chalmers.se/cee/SV/avdelningar/byggnadsteknologi/forskargrupper/tillampat-varme-och2125/kallvindar>

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.

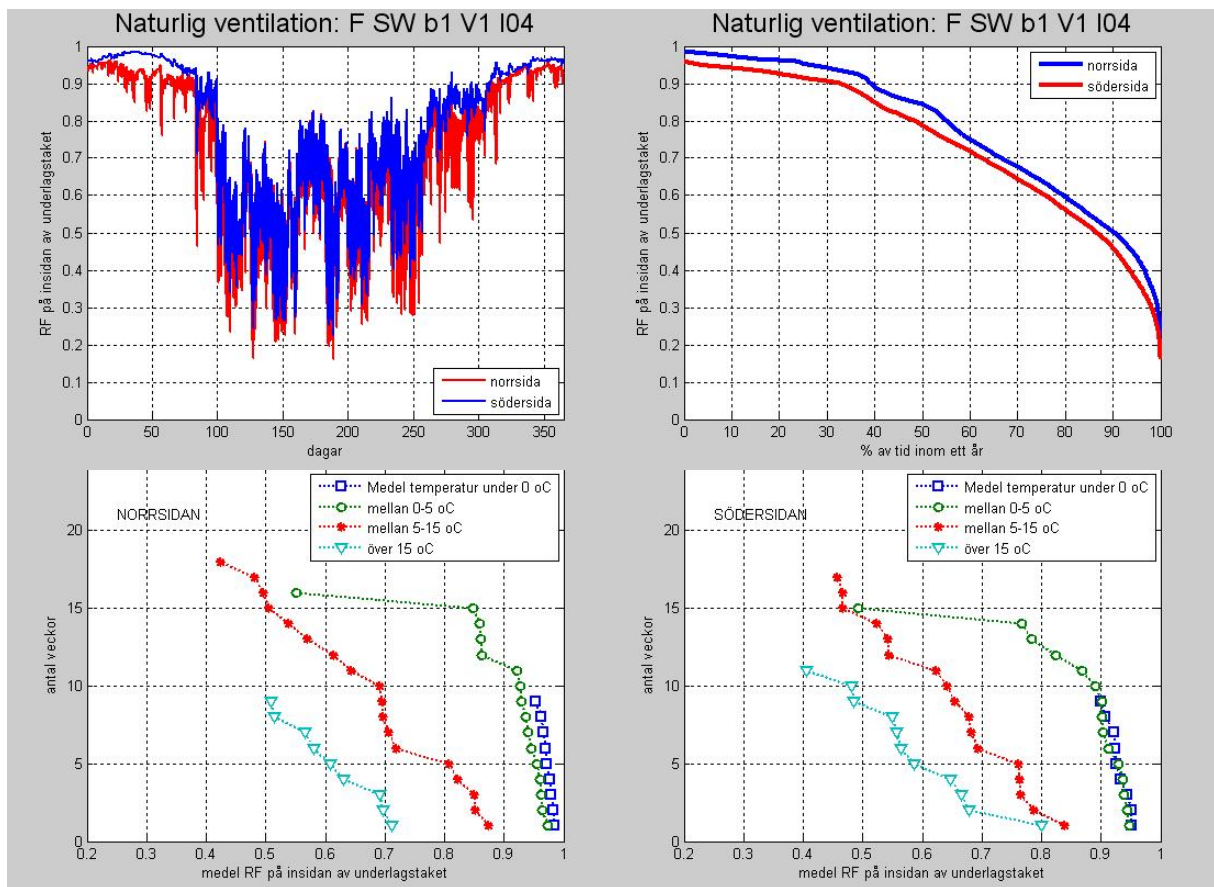
Engman, L., Samuelson, I, 2006. *Redovisning av fältundersökning och forskningsprojekt: Kalla vindar – problem och förbättringar*. Bygg & Teknik 4/2006.

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

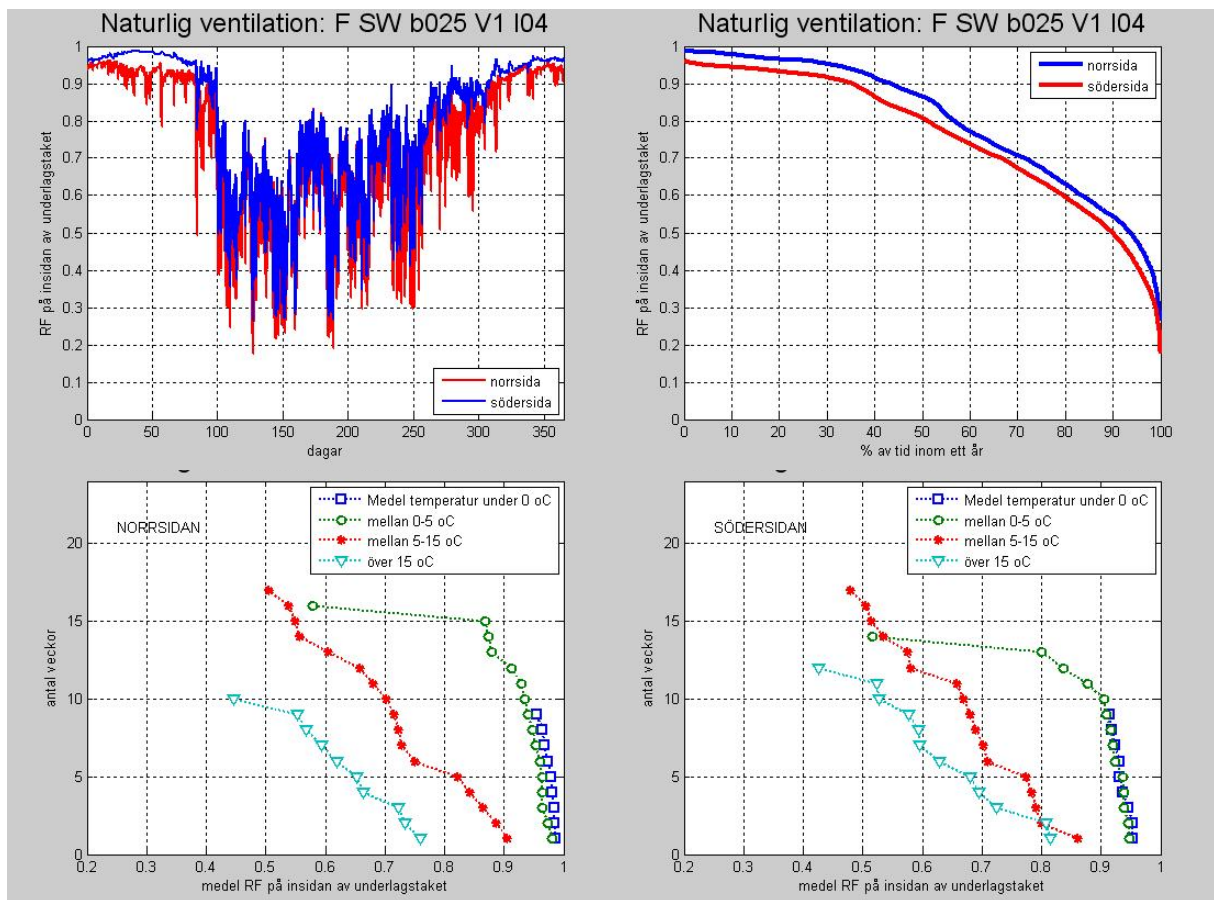
Lehtinen, T., Harderup, E. 1997. *Safety factor based physical design procedures-framework and case examples of wooden wall structures*. IUFRO 5.02 conference Copenhagen, Denmark, June 18-20, 1997.

Bilaga 1: Hygrotermiska förhållanden under ett år

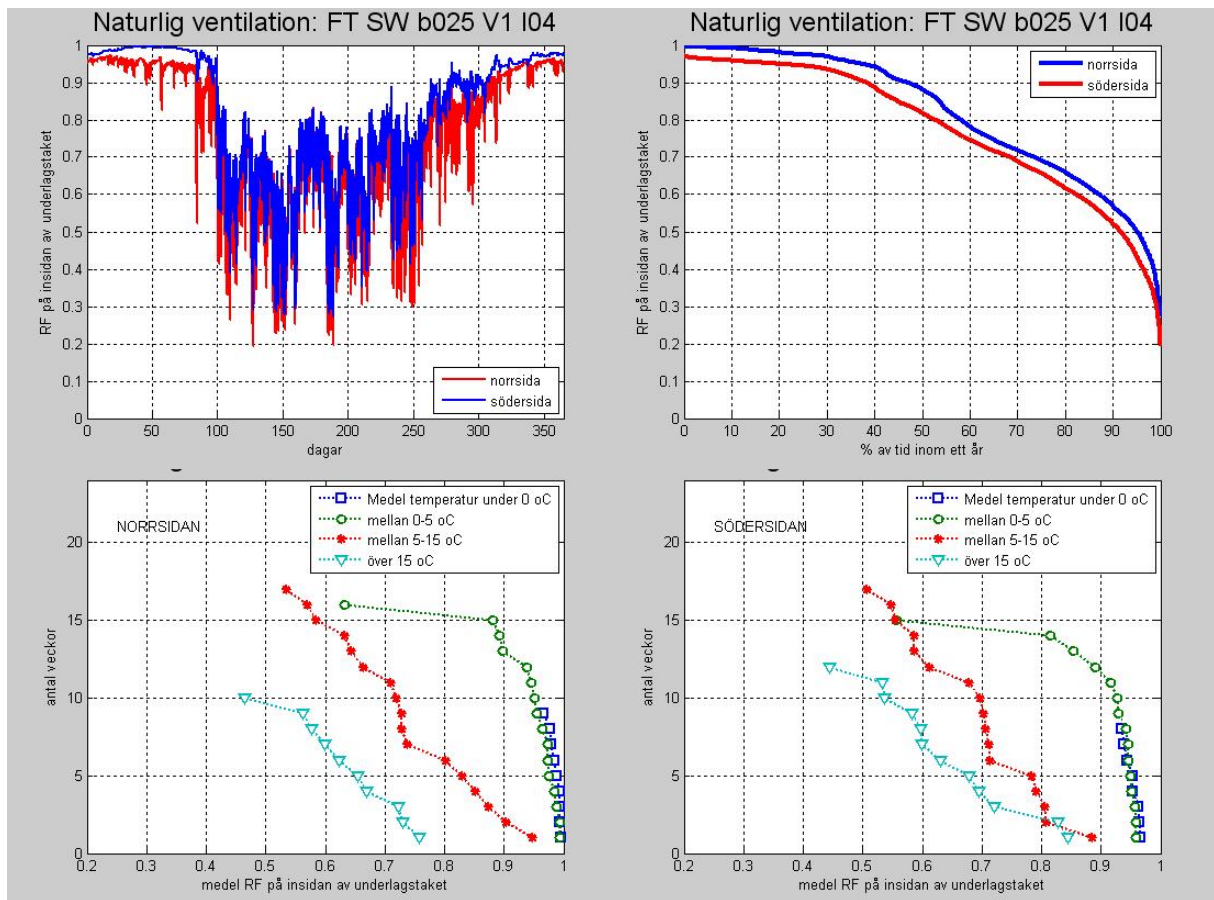
Vi tittar först på några grundfall **utan styrd ventilation**.



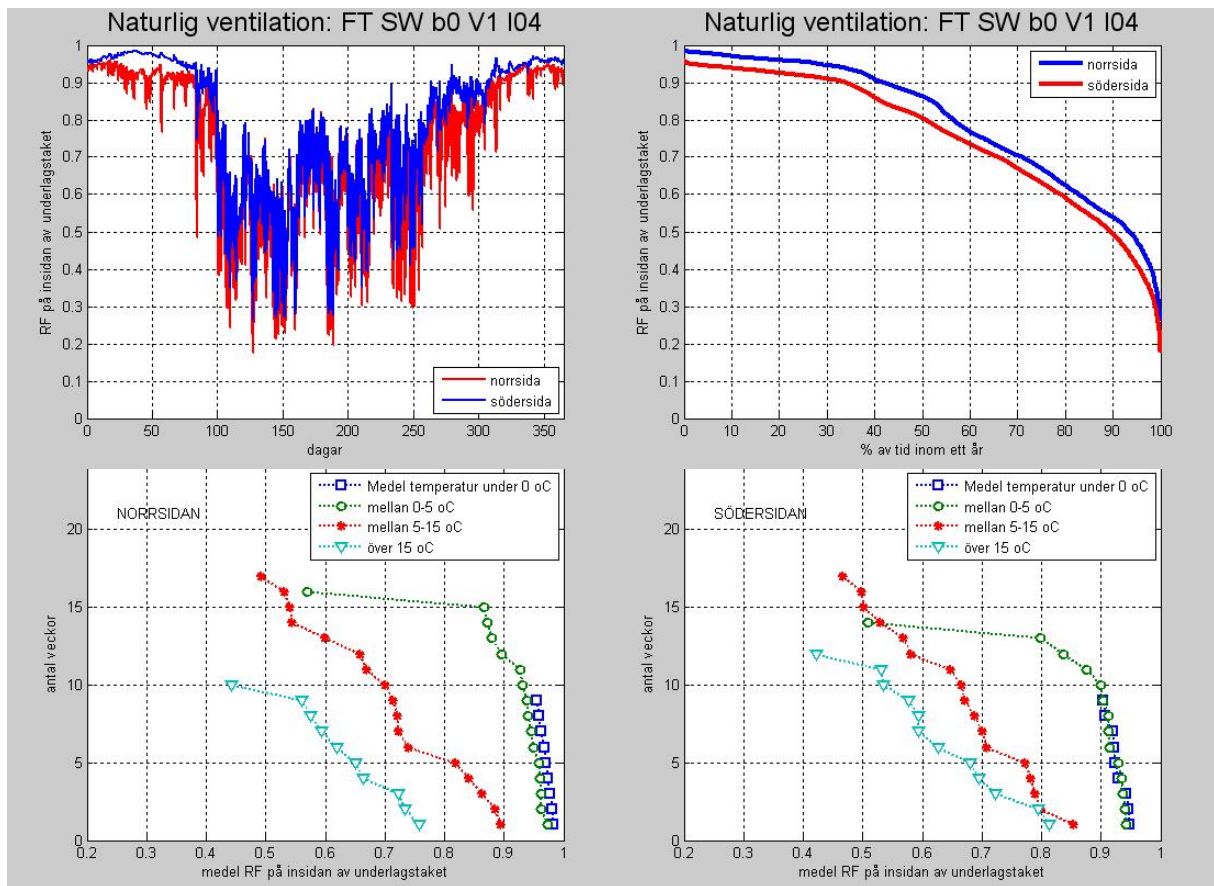
Figur 10. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr- och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: F-ventilation/(Bjälklag:Otät)/(Kallvind:Vanlig)



Figur 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: F-ventilation/(Bjälklag:Medelotät)/(Kallvind:Vanlig)

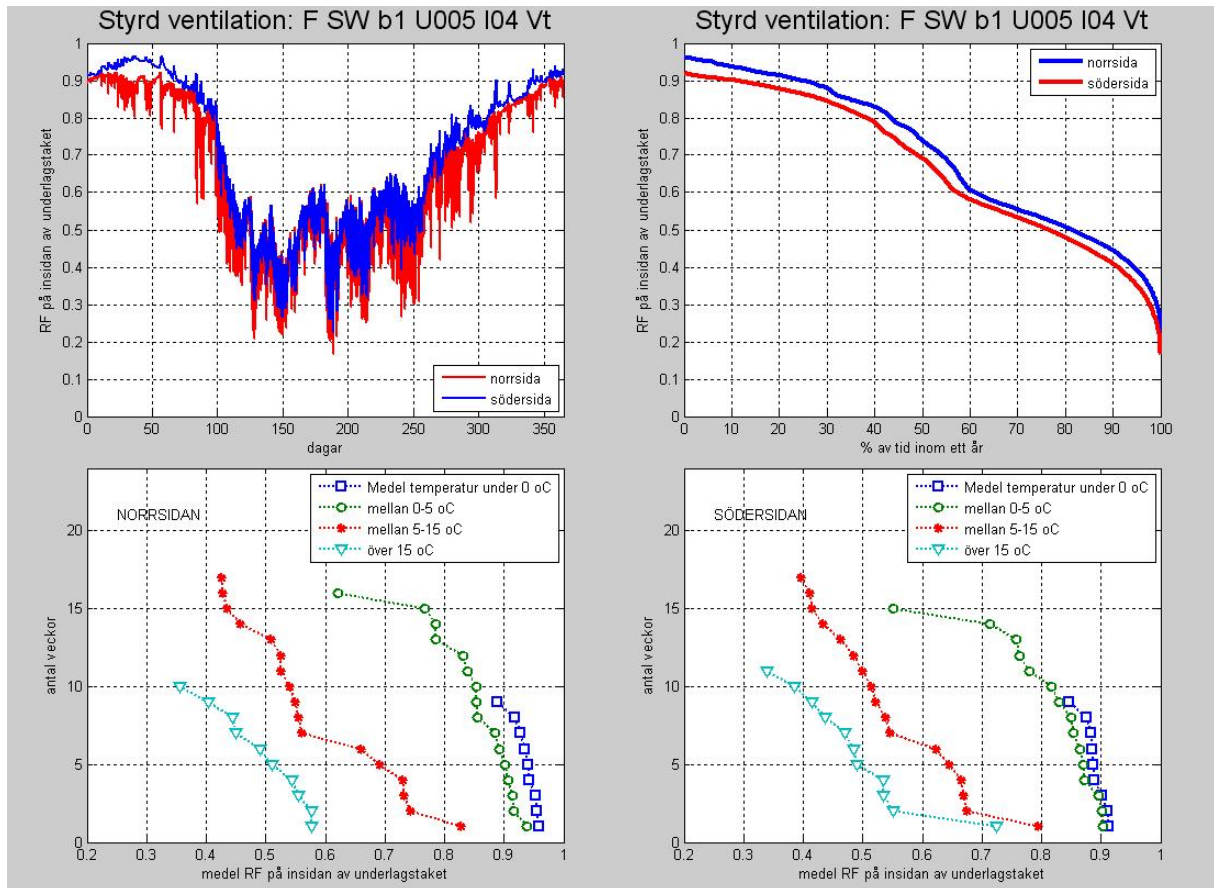


Figur 12. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr- och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: FT-ventilation/(Bjälklag: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

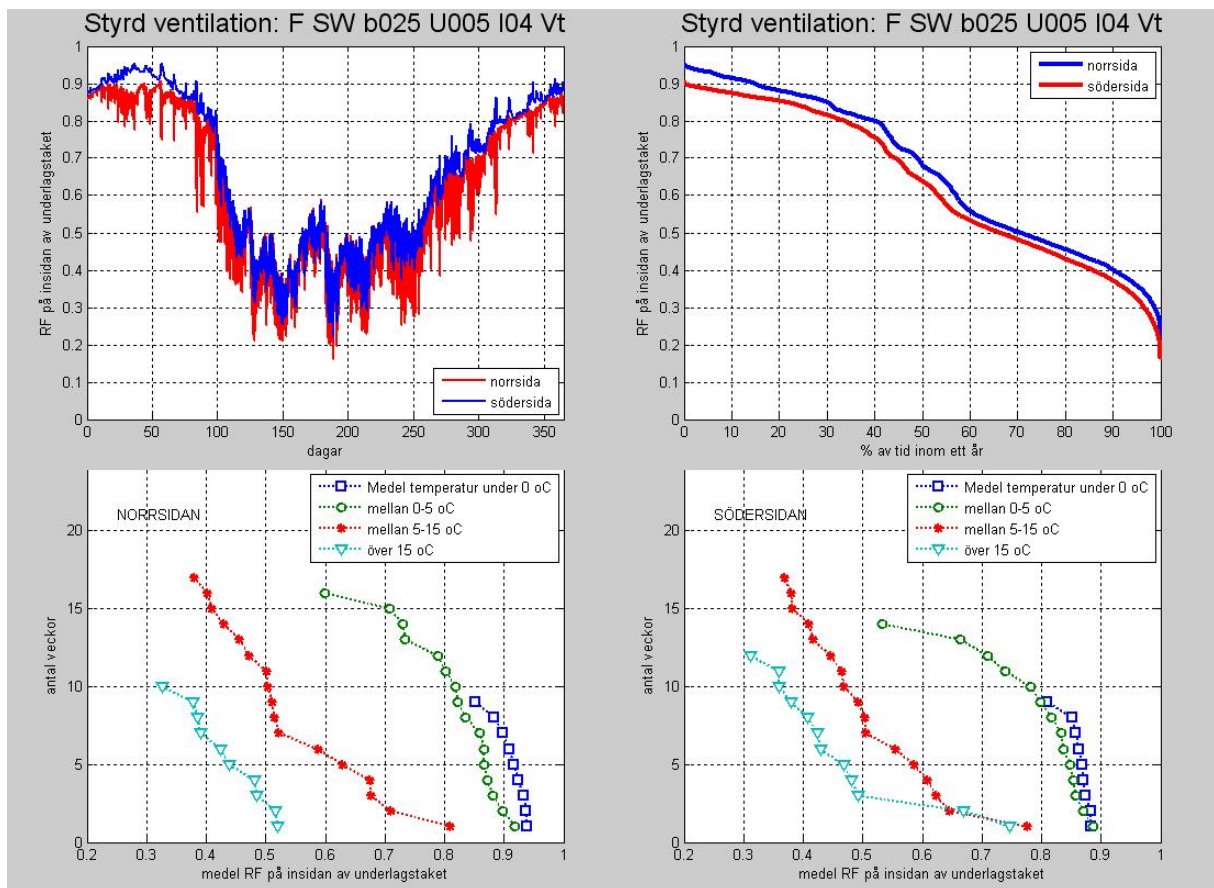


Figur 13. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr - och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: FT-ventilation/(Bjälklag:Tät)/(Kallvind:Vanlig)

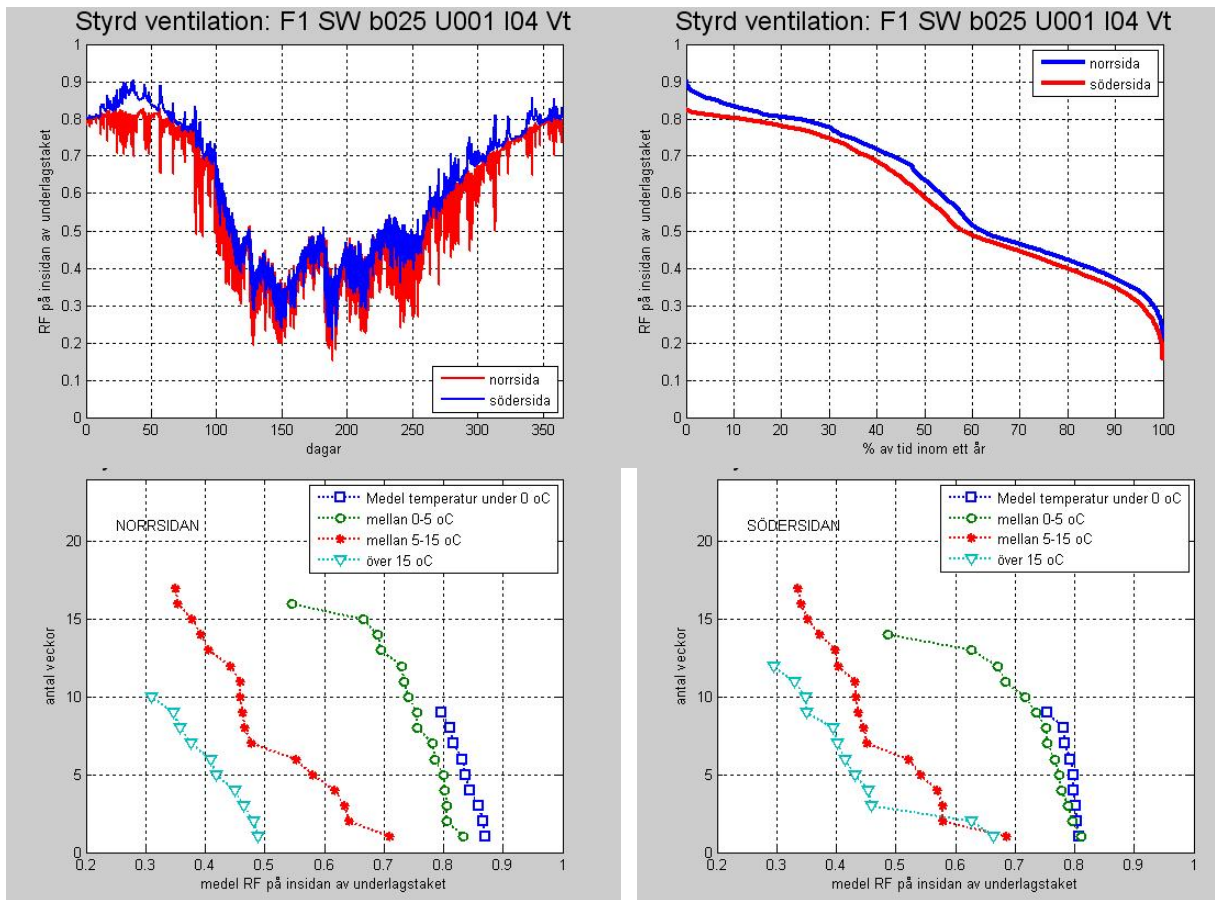
Med styrd ventilation:



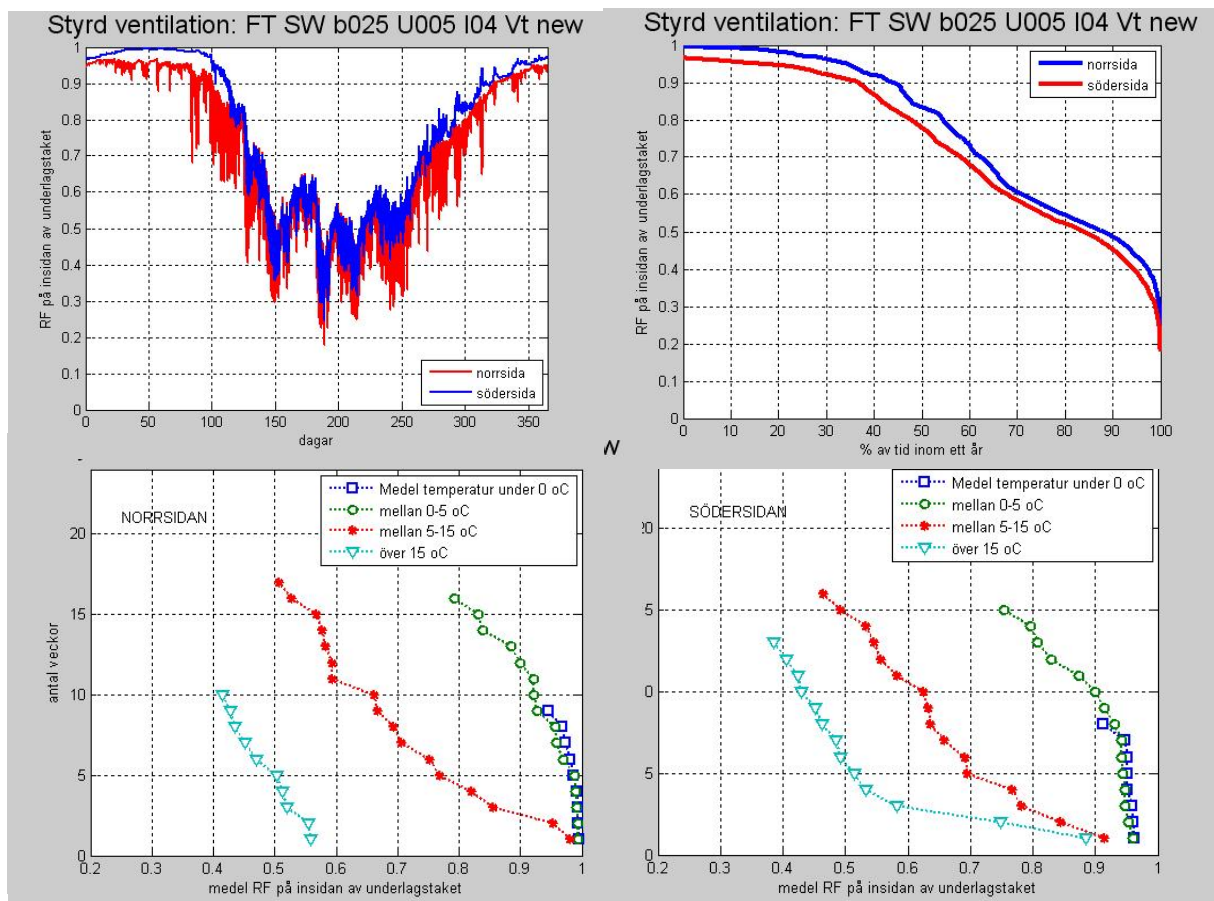
Figur 14. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr - och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: F-ventilation/(Bjälklag:Otät)/(Kallvind:Tätad)



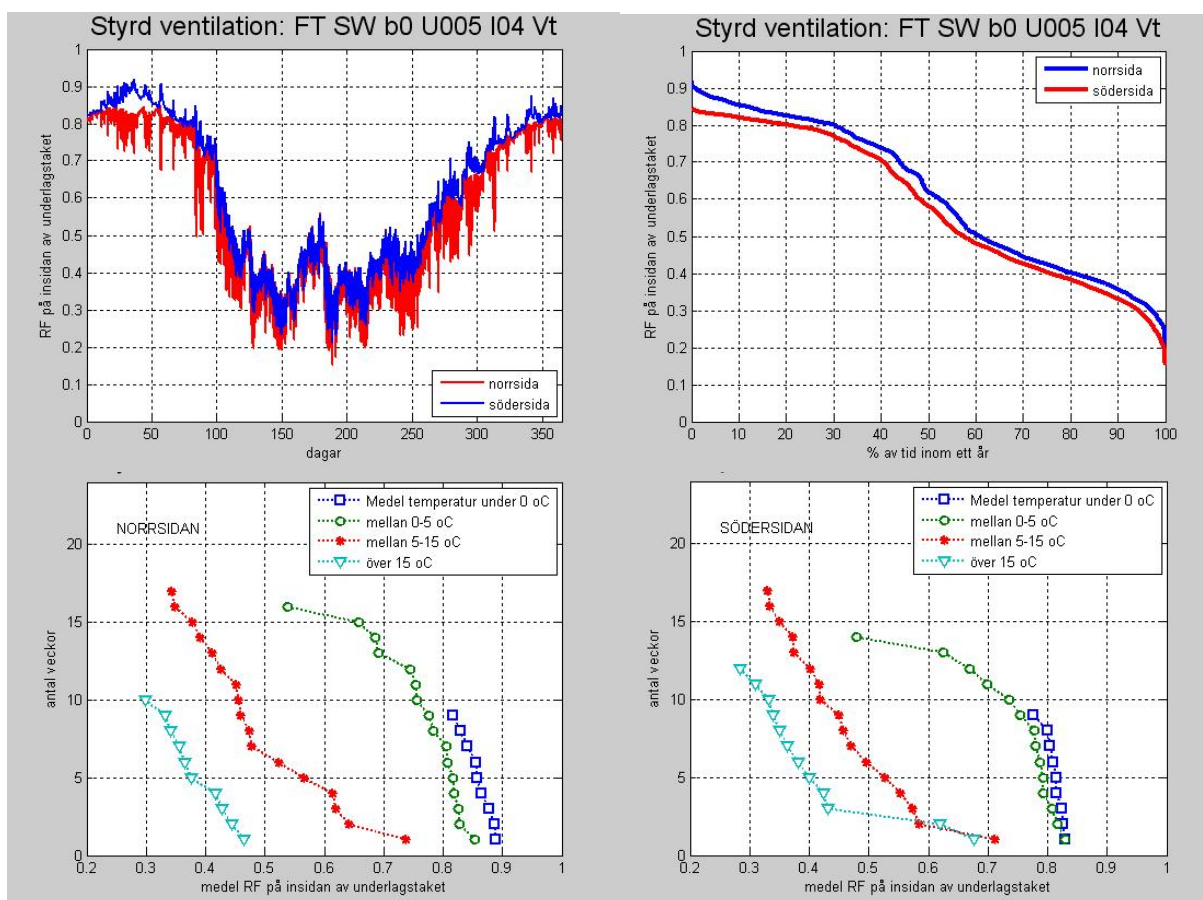
Figur 15. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr - och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: F-ventilation/(Bjälklag:Medelotät)/(Kallvind:Tätad)



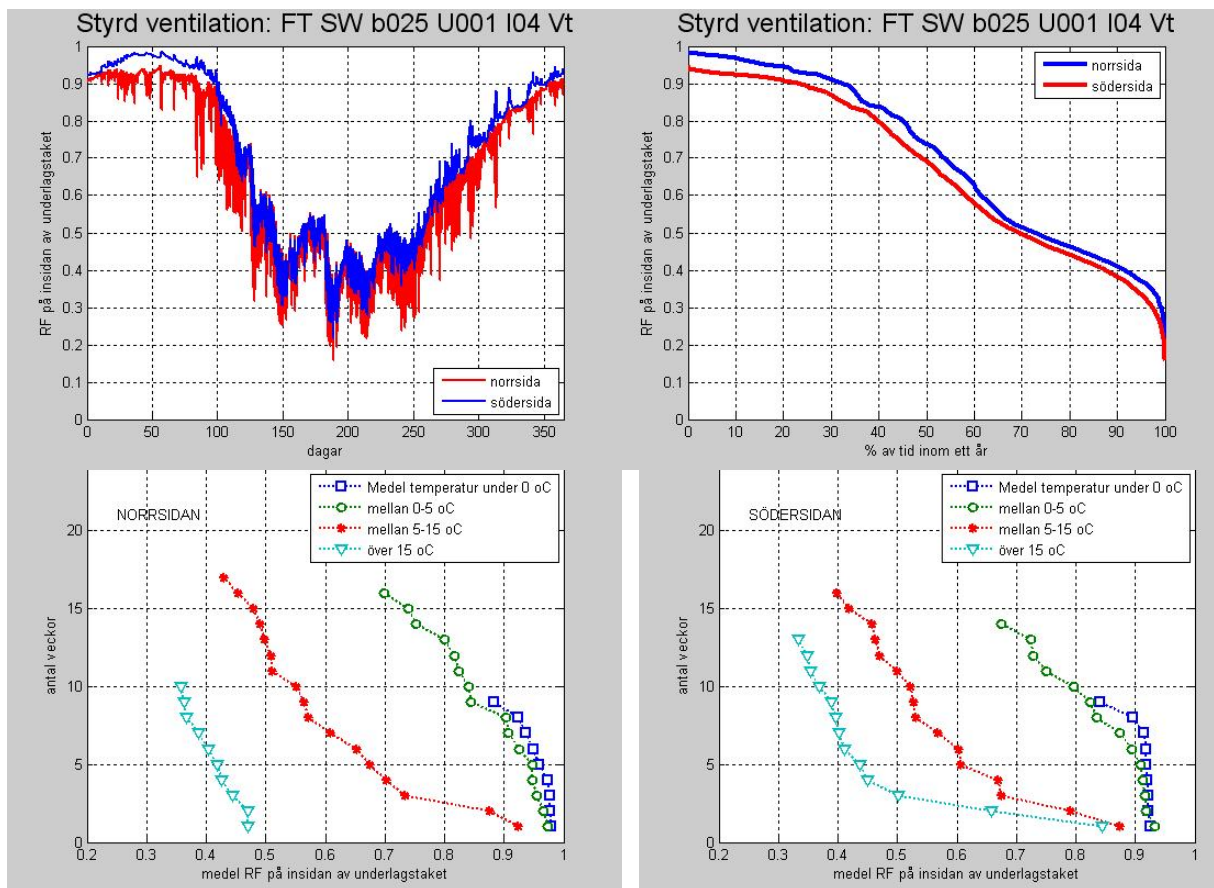
Figur 16. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr - och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: F-ventilation/(Bjälklag:Medelotät)/(Kallvind: Vål tätad), Tätare byggnad.



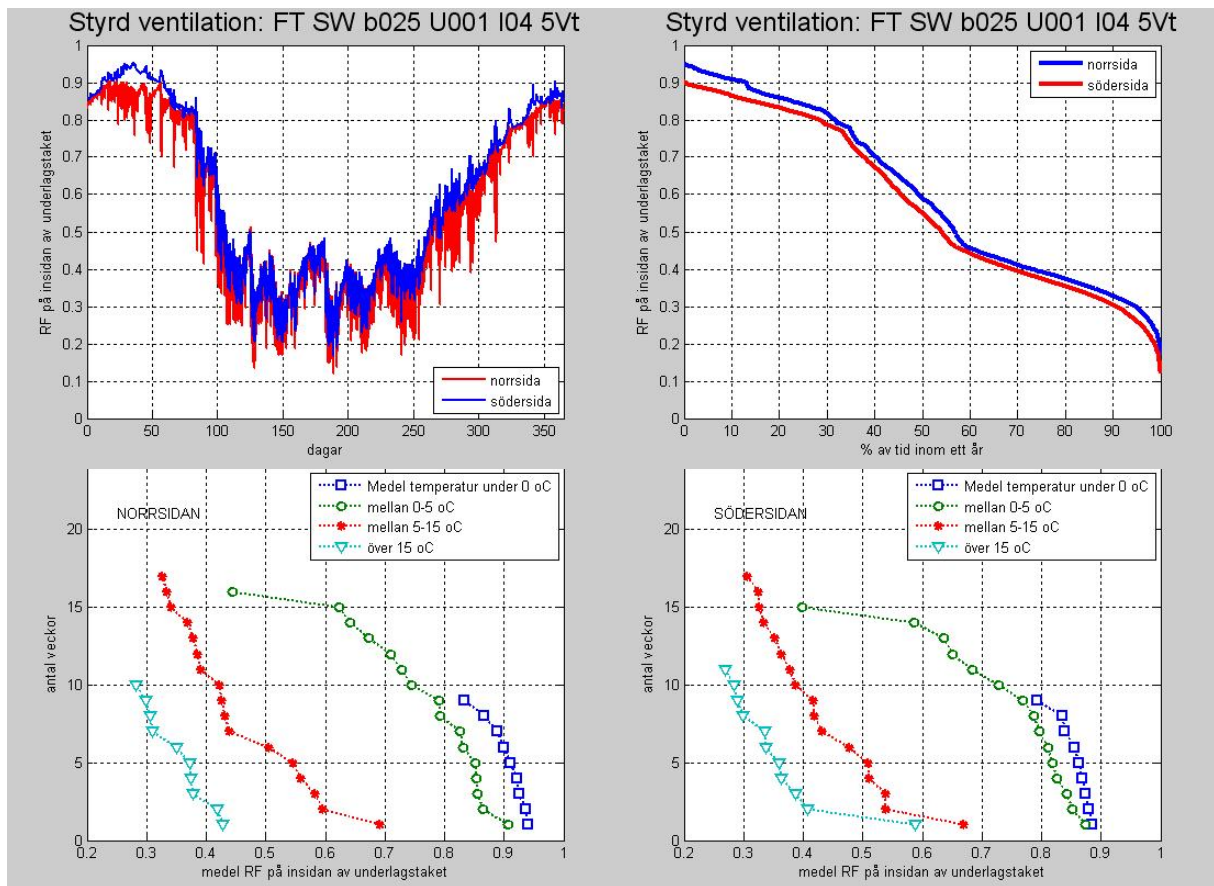
Figur 17. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr - och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: FT-ventilation/(Bjälklag:Medelotät)/(Kallvind:Tätad)



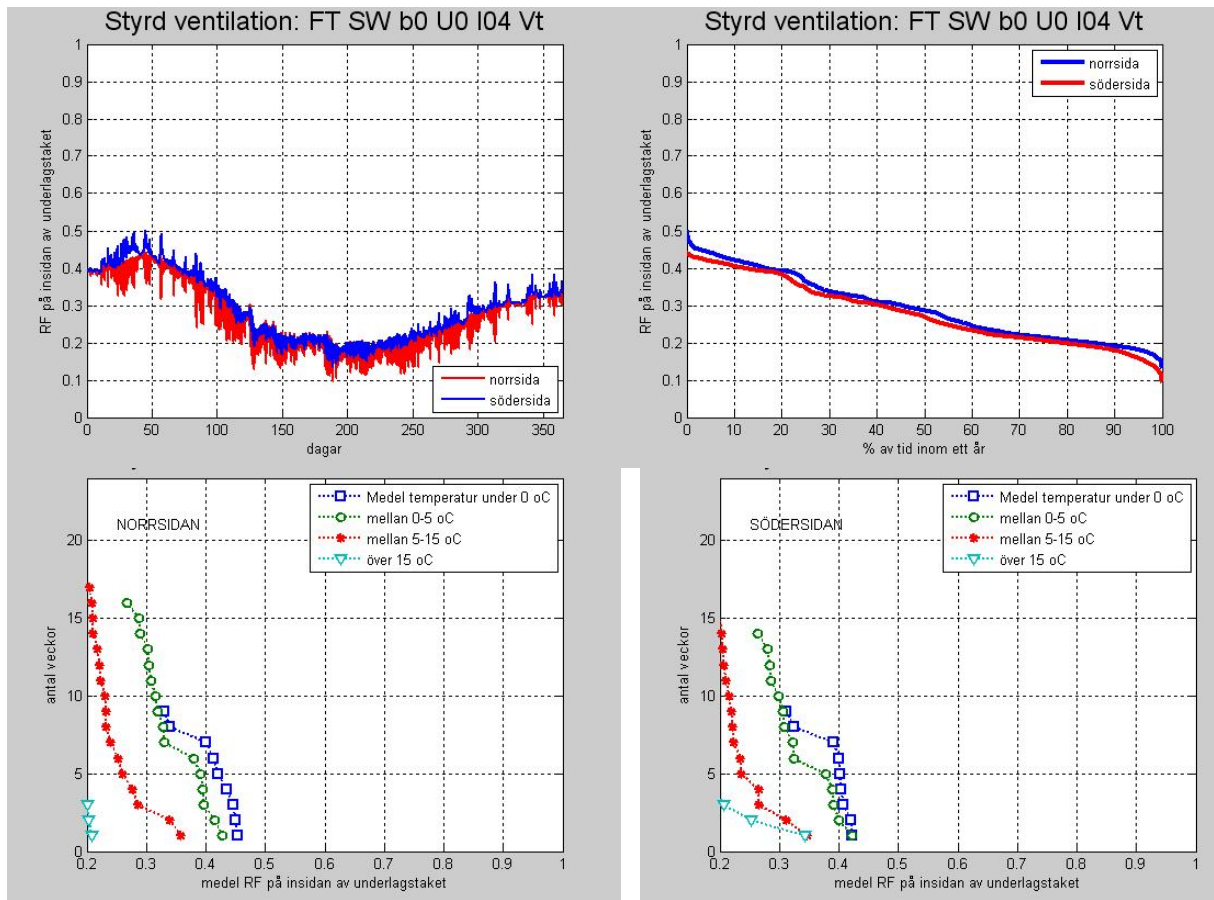
Figur 18. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr - och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: FT-ventilation/(Bjälklag:Tät)/(Kallvind:Tätad)



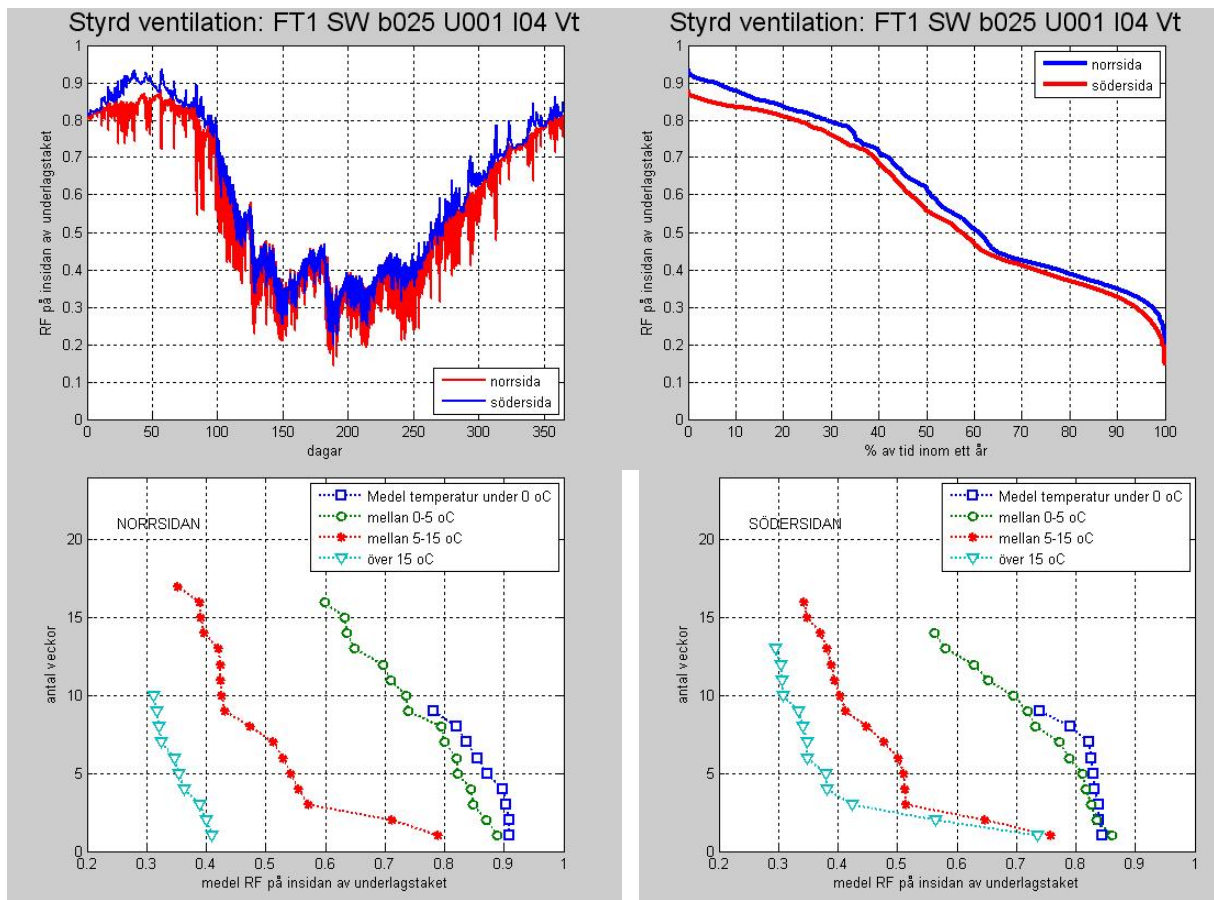
Figur 19. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr - och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: FT-ventilation/(Bjälklag:Medelotät)/(Kallvind:Väl tätad)



Figur 20. 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), Kraftigare vindsfläkt.



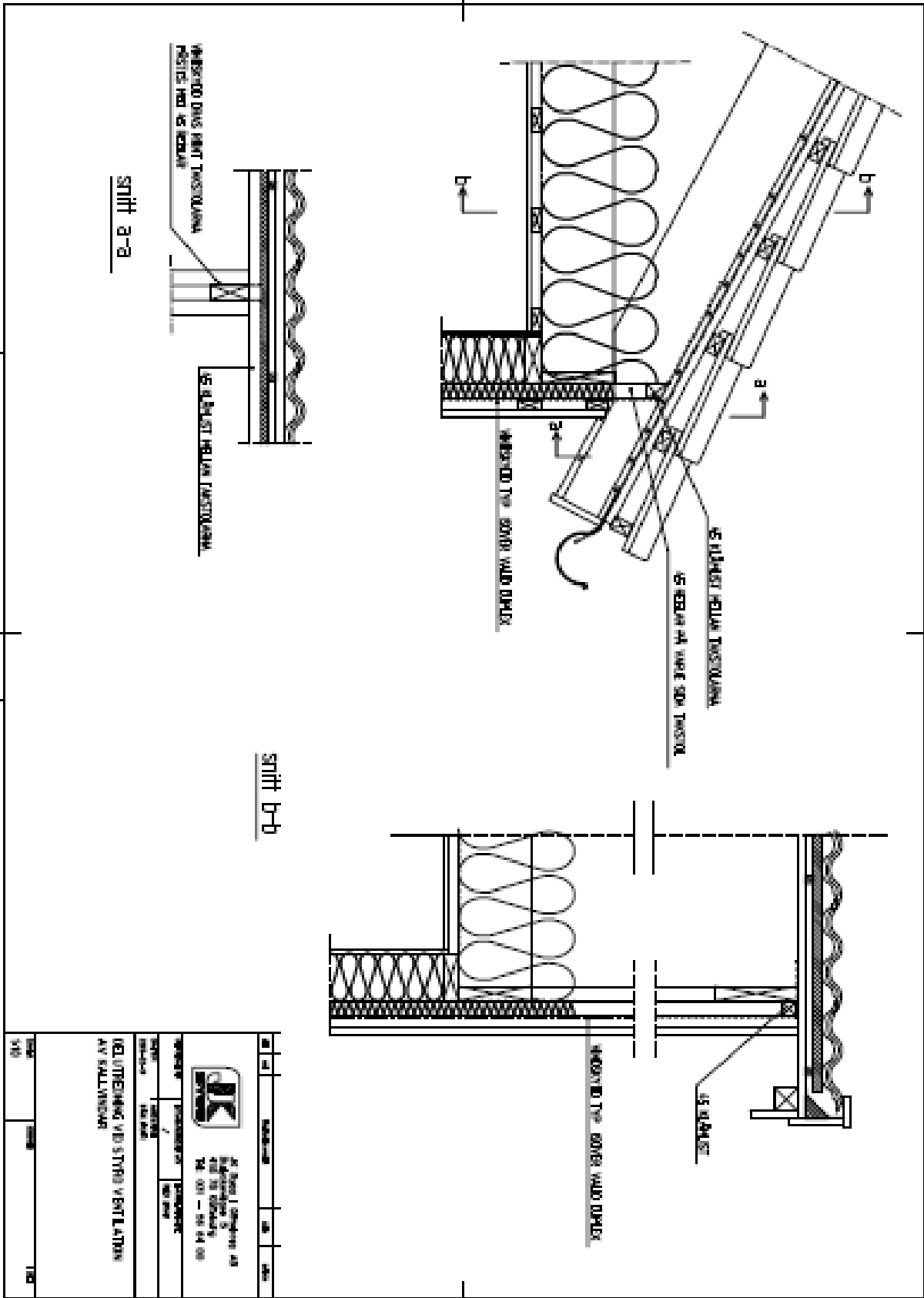
Figur 21. Relativ fuktighet i underlagstaket på norr - och sydsida över året, dels som funktion av dagen på året samt som varaktighetskurvor (som ger del av året ett visst RF överskrids). De nedre figurerna ger hur lång tid (av ett år) ett visst RF råder inom ett givet temperaturintervall. Fall: FT-ventilation/(Bjälklag:Tät)/(Kallvind:Tät)



Figur 22. 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), Tätare byggnad.

Bilaga 2. Byggnadsteknik för lufttät kallvindskonstruktion.



Bilaga 3 : Kostnads kalkyl för lufttät kallvind.

JK BYGG		JK Bygg i Göteborg AB Bulvökevägen 5 419 78 GÖTEBORG		Projektnummer Projektnamn Projekt Beskrivning		Kallvind med styrd v Kallvind med styrd vent. Kallvind med styrd vent :		Nettokalkyl		:Byggdel SBER:Byggdel SBEI		Datum Tid Side Valuta	
Kod	Benämning	Mängd	Enhet	Arbete (h)	Material	UE	Pris	Total	Ritm				
	Nettokalkyl			7	741	2'340		5'143					
97	Avgående			-5	-506			-2'074					
	Takfot	-22	m	0.305	-6.7	44.66	-983	133.12	-2'920				
	20 mu board - 33 Isover3313 b=1200	-22	m	0.100	-2.2	25.90	-570	54.90	-1'208				
	Arbetare	Arb	7010			0.100	-2.2	290.00	-638				
	20 mu board - 33 Isover3313 b= 1200	Mtrl					-22	25.90	-570				
	45x45 regel l=400	-22		0.080	-1.8	2.20	-48	25.40	-559				
	Arbetare	Arb	7010			0.080	-1.8	290.00	-510				
	45x45 regel l=400	Mtrl				10	-24.2	2.00	-48				
	Insektsnät b=300	-22	m	0.050	-1.1	6.50	-143	21.00	-462				
	Arbetare	Arb	7010			0.050	-1.1	290.00	-319				
	Insektsnät b=300	Mtrl					-22	6.50	-143				
	9 GU	-6.6	m2	0.250	-1.6	33.55	-221	106.05	-700				
	Arbetare	Arb	7010			0.250	-1.6	290.00	-479				
	9 GU	Mtrl				10	-7.3	30.50	-221				
	Taknock	-11	m	0.200	-2.2	10.00	-110	68.00	-748				
	Nockvent	-11	st	0.200	-2.2	10.00	-110	68.00	-748				
	Arbetare	Arb	7010			0.200	-2.2	290.00	-638				
	Nockvent	Mtrl					-11	10.00	-110				
	Inget avgående för takgenomföringar			1				0.00	0				
	Gavel	17.5	m2	0.200	3.5	33.55	587	91.55	1'602				
	9 GU	17.5	m2	0.200	3.5	33.55	587	91.55	1'602				
98	Tillkommande			13	1'247	2'340		7'217					
	Måttav Händig Kalkyl Prisav												

	JK Bygg i Göteborg AB Bulyokevägen 5 418 78 GÖTEBORG	Projektnummer Projektnamn Projekt Beskrivning	:Källvind med styrd v :Källvind med styrd vent. :Källvind med styrd vent :				Nettokalbyl	:Byggdel S8ERByggdel SBEI		Datum Tid Stad Valuta	:2007-02-13	:14.09	:2(2)	:SEK
			Kod	Benämning	Mängd	Enhet		Arbete (h)	Material		UE	Pris	Total	Ritm
	Takfot		22	m	0.410	9	24.65	542	68.18	1'500	211.73	4'658		
	Isover Vario Duplex		11	m2	0.200	2.2	35.00	385			93.00	1'023		
	Arbetare	Arb	7010					0.200	2.2	tim	290.00	638		
	Isover Vario Duplex	Mtrl							11	m2	35.00	385		
	Limning av duk		50	m					30.00	1500	30.00	1'500		
	Limning av duk	UE							50	m	30.00	1'500		
	45x45 regel på takstol l=150		44	st	0.080	3.5	0.83	36			24.02	1'057		
	Arbetare	Arb	7010					0.080	3.5	tim	290.00	1'021		
	45x45 regel på takstol l=150	Mtrl					10		48.4	st	0.75	36		
	45x45 snedsågad mellan takstolar hor.		22	m	0.150	3.3	5.50	121			49.00	1'078		
	Arbetare	Arb	7010					0.150	3.3	tim	290.00	957		
	45x45 snedsågad mellan takstolar hor.	Mtrl					10		24.2	m	5.00	121		
	Gavlar		17.5	m2	0.200	3.5	40.25	704	48.00	840	146.25	2'550		
	Isover Vario Duplex		17.5	m2	0.200	3.5	40.25	704			98.25	1'719		
	Arbetare	Arb	7010					0.200	3.5	tim	290.00	1'015		
	Isover Vario Duplex	Mtrl					15		20.1	m2	35.00	704		
	Tejp i skarvar		28	m					30.00	840	30.00	840		
	Tejp i skarvar	UE							28	m	30.00	840		
	Inga extra kostnader för tätning kring luvar och avluftare		1								0.00	0		
