



LUND UNIVERSITY

Fuktsäkerhet i kalla vindsutrymmen : slutrapport

Harderup, Lars-Erik; Arfvidsson, Jesper

2008

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Harderup, L.-E., & Arfvidsson, J. (2008). *Fuktsäkerhet i kalla vindsutrymmen : slutrapport*. (Rapport TVBH; Vol. 3050). Byggnadsfysik LTH, Lunds Tekniska Högskola. <http://www.byfy.lth.se/fileadmin/byfy/files/TVBH-3000pdf/TVBH-3050L-HJA.pdf>

Total number of authors:

2

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Fuktsäkerhet i kalla vindsutrymmen

Slutrapport

Lars-Erik Harderup, Jesper Arfvidsson

Rapport TVBH-3050 Lund 2008

Avdelningen för Byggnadsfysik, LTH



LUND
UNIVERSITY

Fuktsäkerhet i kalla vindsutrymmen

Slutrapport

Lars-Erik Harderup, Jesper Arfvidsson

Building Physics LTH
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

ISRN LUTVDG/TVBH--08/3050--SE(50)
ISSN 0349-4950
ISBN 978-91-88722-38-6
©2008 Lars-Erik Harderup, Jesper Arfvidsson

Förord

Omfattningen av fukt- och mögelskador på kalla vindar har ökat under de senaste decennierna. Detta beror bland annat på tjockare värmeisolering i vindsbjälklaget samt avsaknad av skorstensstock genom vindsutrymmet. Kalla vindsutrymmen är primärt ventilerade för att undvika att värmeläckaget från bostaden ska värma upp den yttre takytan vintertid, vilket kan leda till snösmältning på takytan och istappar vid takfoten. Med allt mer välisolerade vindsbjälklag kommer klimatet i vindsutrymmet att likna utomhusklimatet. Det ursprungliga huvudsyftet med ventilationen gäller därmed inte längre. Det kan dock finnas andra skäl att ventiler vindsutrymmet, t.ex. för att bortföra den fuktiga luft som kan transporteras till vinden från inomhusluften via diffusion och fuktkonvektion genom otätheter. Även vatten från små och tillfälliga vattenläckage eller ackumulerad fukt kan avlägsnas från vinden med hjälp av ventilationen.

Det finns emellertid även nackdelar med ventilationen. Vindtrycket mot byggnaden kan ibland ge upphov till ett undertryck på vinden, som ökar fuktkonvektionen genom vindsbjälklaget. Under klara nätter kan nattutstrålningen medföra att temperaturen på undersidan av undertaket får en lägre temperatur än utomhus, vilket ökar risken för kondens.

För att undersöka några av de alternativa åtgärder som föreslagits för att få ett torrare klimat på välisolerade kalla vindar har fältmätningar genomförts i fem flerfamiljshus i Stockholms-trakten.

Initiativtagare till projektet är Johnny Kellner, JM numera verksam vid Veidekke Bostad. Arbetet har genomförts med ekonomiskt stöd från Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF. JM har bidragit med hus där mätningarna kunde genomföras samt de merkostnader som de alternativa åtgärderna medförde under byggfasen. Anneli Svensson från JM i Stockholm har deltagit i projektets senare del.

Lund i februari 2008

Jesper Arfvidsson och Lars-Erik Harderup

Innehållsförteckning

| | |
|-------------------------------------------------------|----|
| Förord | 3 |
| Innehållsförteckning | 5 |
| Sammanfattning | 7 |
| 1 Inledning | 9 |
| 1.1 Bakgrund | 9 |
| 1.2 Syfte | 9 |
| 1.3 Avgränsningar | 9 |
| 1.4 Metod | 9 |
| 2 Kort beskrivning av mätobjekten | 11 |
| 3 Mätningar | 15 |
| 4 Mätresultat | 19 |
| 4.1 Kalibreringsresultat | 19 |
| 4.1.1 Paradsängen | 19 |
| 4.1.2 Majrogården | 20 |
| 4.2 Temperatur | 20 |
| 4.2.1 Paradsängen | 20 |
| 4.2.2 Majrogården | 22 |
| 4.3 Relativ fuktighet | 23 |
| 4.3.1 Paradsängen | 23 |
| 4.3.2 Majrogården | 26 |
| 4.4 Ånghalt | 27 |
| 4.4.1 Paradsängen | 28 |
| 4.4.2 Majrogården | 29 |
| 4.5 Fukttillskott | 30 |
| 4.5.1 Paradsängen | 31 |
| 4.5.2 Majrogården | 32 |
| 4.6 Fuktkvot | 33 |
| 4.6.1 Paradsängen | 33 |
| 4.6.2 Majrogården | 33 |
| 5 Beräkningsresultat | 35 |
| 5.1 Hus 4 (referenshus) | 35 |
| 5.2 Hus 7 (50 mm isolering under råsponten) | 37 |
| 5.3 Hus 8 (värmekällor) | 38 |
| 5.4 Hus 9 (reducerad ventilation) | 40 |
| 5.5 Jämförelser mellan husen | 41 |
| 6 Diskussion och slutsatser | 43 |
| 6.1 Hus 4. Referenshus | 43 |
| 6.2 Hus 7. Värmeisolering under råspont | 43 |
| 6.3 Hus 8. Värmekällor | 44 |
| 6.4 Hus 9. Reducerad ventilation | 44 |
| 6.5 Hus Majrogården | 45 |
| 6.6 Sammanfattande iakttagelser och kommentarer | 45 |
| 6.6.1 Paradsängen | 45 |
| 6.6.2 Majrogården | 46 |
| 7 Referenser | 49 |

Sammanfattning

En ökning av skador på kalla ventilerade vindar orsakade av kondensproblem har iakttagits. En ökad isolering i vindsbjälklaget i kombination med att skorstensstocken numera är kall, eller saknas helt, har bidragit till att vindsutrymmet blivit kallare. Med skorsten säkerställdes alltid ett undertryck i hela byggnaden samt en bättre luftomsättning under uppvärmningssäsongen. Utan skorsten får vi följaktligen en sämre ventilation och större risk för övertryck i byggnadens övre delar. För att säkerställa att varm, fuktig inomhusluft inte kommer upp på vinden har vikten av lufttäthet i vindsbjälklaget ökat. Trots att man bygger lufttäta bjälklag får man ibland kondensproblem på kalla vindar. En bidragande orsak kan vara att nattutstrålningen får större betydelse i nybyggda kalla vindsutrymme.

Målet med projektet är att prediktera fukt och temperaturtillstånd i kalla vindar och därmed risken för fuktrelaterade skador. Detta har skett genom att praktiskt prova olika alternativa utformningar på vindar och takkonstruktioner på kalla vindar och jämföra med beräkningar. Experimentell insamling av data från nybyggda konstruktioner samt omgivande klimat har samlats in och verifierats mot beräkningar. Följande konstruktioner har undersökts:

Värmeisolering under råspont - I jämförelse med referenshuset ligger temperaturerna generellt högre. Vidare registrerades ett högre fukttillskott under sommaren samt något mindre under vintern.

Värmekällor på vinden - I jämförelse med referenshuset ligger temperaturerna generellt något högre, medan relativa fuktigheten ligger något lägre. Höga värden för fukttillskottet registrerades i samband med kompletterande betonggjutning på mellanbjälklagen.

Reducerad ventilation - I jämförelse med referenshuset ligger temperaturerna något högre på sommaren och något lägre på vintern. Relativa fuktigheten ligger lägre på sommaren men ungefär lika på vintern. Fukttillskottet är förhöjt under första vintern p.g.a. kompletterande pågjutning.

Reducerad ventilation i kombination med diffusionsöppen underlagstäckning på råspont – I en kompletterande fallstudie undersöktes reducerad ventilation i kombination med diffusionsöppen underlagstäckning på råspont. Slutsatsen från denna studie och liknade pågående studier i Storbritannien är att reducerad ventilation i kombination med diffusionsöppen underlagstäckning på råspont tycks minska risken för fukt och mögelskador i jämförelse med en traditionellt ventilerad vind med underlagspapp på råspont.

Gemensamt för samtliga vindar är att lufttemperaturen nästan alltid är högre på vindarna i jämförelse med uteluften. Fukttillskottet under vintern är mycket litet. Detta tyder på att luftläckaget underifrån är litet eller inget alls, vilket ur fuktsäkerhetssynpunkt är positivt. Det uppmätta fukttillskottet är lägre under vintern i samtliga hus. Fukttillskottet är dock mycket högt under produktionsskedet i några av husen. Därför är det viktigt att luft- och ångtätande åtgärder mellan vindsutrymme och underliggande lokaler utförs i ett tidigt skede. Plastfolie, tätningar av genomföringar och anslutningar samt tät vindslucka är direkt avgörande för en acceptabel fuktnivå i vindsutrymmet. En dålig luft- och ångtäthet under byggskedet kan få negativa konsekvenser under mycket lång tid.

Det är olämpligt att reducera ventilationen under byggskedet eftersom risken finns att byggfukten kan fukta upp vinden. Däremot bör åtgärden, med gott resultat, kunna genomföras under driftsskedet under förutsättning att god lufttäthet gentemot bostadsutrymmen kan garanteras under byggnadens hela livslängd.

Isolering på utsida av råspont bör fungera väl tillsammans med normal underlagspapp. Vid användning av diffusionsöppen underlagstäckning på råspont i kombination med relativt ångtät cellplast minskar dock ånggenomsläppligheten.

Beräkningar har genomförts för de fyra husen i Paradsängen. Resultaten från dessa visar att samtliga provade åtgärder är gynnsamma och minskar risken för fuktskador. Jämförelser mellan beräkningar och mätningar visar på god överensstämmelse. Generellt är skillnaderna störst under vintern, beräkningarna ligger dock på säkra sidan, det vill säga beräkningarna ger högre relativa fuktigheter än vad mätningarna visar. Uppskattningar av luftomsättningen på vindarna tycks stämma.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

En ökning av skador på kalla ventilerade vindar orsakade av kondensproblem och/eller hög relativ fuktighet har iakttagits. Detta kan ses som en effekt av den utveckling mot mer energi-effektiva hus som skett sedan 1970-talet. En ökad isolering i vindsbjälklaget i kombination med att skorstensstocken numera är kall, eller saknas helt, har bidragit till att vindsutrymmet blivit kallare. Med skorsten säkerställdes alltid ett undertryck i hela byggnaden samt en bättre luftomsättning under uppvärmningssäsongen. Utan skorsten får vi följaktligen en sämre ventilation och större risk för övertryck i byggnadens övre delar. För att säkerställa att varm, fuktig inomhusluft inte kommer upp på vinden har vikten av lufttäthet i vindsbjälklaget ökat. "Ekologiskt byggande" med öppna bjälklag har ibland skapat problem. Nu har det emellertid visat sig att trots att man försöker bygga lufttäta bjälklag får man ibland kondensproblem på kalla vindar. En bidragande orsak kan vara att nattutstrålningen får större betydelse i nybyggda kalla vindsutrymme. Under klara nätter kan detta medföra att insidan av yttertaket får en lägre temperatur än uteluften vilket leder till högre relativ fuktighet och även kondens. I Sverige har problemet tidigare uppmärksammats av Ingemar Samuelson (1995) samt Lars-Erik Larsson (1995). Några av husen som uppfördes i Örebro i samband med Bo92 (Elmroth & Samuelson, 1996) har modifierade takkonstruktioner som utformats med tanke på det beskrivna problemet.

1.2 Syfte

Målet med projektet är att prediktera fukt och temperaturtillstånd i kalla vindar och därmed risken för fuktrelaterade skador.

Detta har skett genom att praktiskt prova olika alternativa utformningar på vindsbjälklag och takkonstruktioner på kalla vindar. Experimentell insamling av data från nybyggda konstruktioner samt omgivande klimat har samlats in och verifierats mot beräkningar. Resultaten från projekten kan användas till att ge ett säkrare beslutsunderlag vid produktion/utformning av kalla vindar.

1.3 Avgränsningar

Undersökningen avser enbart ventilerade kalla vindar och genomfördes som fallstudier, med de begränsningar som detta medför. Resultaten kan således inte generaliseras till andra konstruktioner, klimat eller vindsvolymer. Mätningar har enbart genomförts i vindutrymme samt utomhus vilket innebär att någon hänsyn till inomhusklimatet i bostadsdelen inte har tagits.

1.4 Metod

Undersökningen har genomförts som två fallstudier. Den första omfattade fyra vindsutrymme, varav ett har varit referensobjekt och de övriga modifierats på olika sätt. Den andra fallstudien gjordes i ett vindsutrymme med reducerad ventilation och diffusionsöppen underlagstäckning på råspont. I samtliga vindutrymme har mätningar av temperaturer och fuktighet genomförts under en två års period. Även temperatur och fuktighet ute har registrerats. Vidare så har temperatur och fuktighet simulerats med hjälp av beräkningsverktyget HAM-tools. Avsikten är att klargöra i vilken utsträckning man med hjälp av befintliga beräkningsverktyg kan prediktera klimatet i vindsutrymme.

Hus 4-Paradsängen

Hus nr 4 utgör referensobjekt i Paradsängen och här har inte vindsutrymmet modifierats på något sätt, utan kan betraktas som ett ”normalt” uteluftsventilerat vindsutrymme.

Hus 7-Paradsängen

I yttertaket i vindsutrymmet på hus 7 har en 50 mm värmeisolering med falsad expanderad cellplast ($\delta_v=(0,9 - 1,4) \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) placerats på insida råspons. Isoleringen borde naturligtvis i själva verket sitta på utsidan av råsponsen men för att det skall vara möjligt att på ett enkelt sätt återställa konstruktionen till ursprungligt skick var detta enda möjligheten.

Avsikten med värmeisolering på utsidan av råsponsen är att minska utstrålningen mot den kalla himmeln nattetid. Yttertaket insida borde således bli varmare än utan isolering och därigenom minskas risken för kondens mot insidan av yttertaket.

Åtgärden är aktuell året om.

Hus 8-Paradsängen

I hus 8 har två värmekällor på vardera 200 Watt placerats i vindsutrymmet. Dessa kan t.ex. motsvara oisolerade fläktmotorer placerade i vindsutrymmet.

Avsikten med värmekällorna är att vintertid höja temperaturen i vindsutrymmet och därigenom minska risken för kondensation.

Åtgärden var på grund av energibesparingar endast aktiv under vinterperioden.

Hus 9-Paradsängen

I hus 9 var ventilationen vid takfot reducerad året om medan ”kinahatten” var tilltäppt vintertid.

Avsikten med reduktionen av ventilationen är att mindre mängd fuktig luft kan komma in i vindsutrymmet och därigenom minskar risken för skadlig kondens mot det kalla yttertaket.

Hus Majrogården

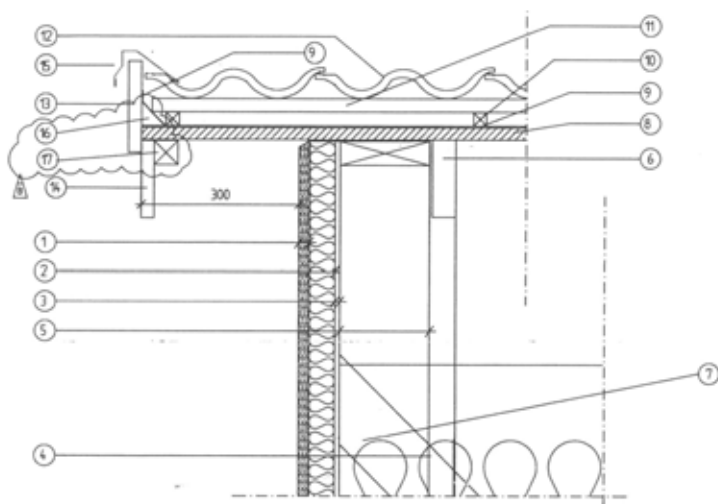
Mätningarna har genomförts i ett fyra våningars flerfamiljshus i stadsdelen Gubbängen i Stockholmsregionen, se Bild 1. Byggnaden färdigställdes under 2004. Huset har en stomme av betong samt ytterväggar enligt figur 2.

Taket består utifrån och in av takpannor, bärläkt, ströläkt, diffusionsöppen underlagstäckning och råspons, se figur 2. Ovanpå vindsbjälklaget av plattsjuten betong finns 400 mm värmeisolering av lösull. Ventilationen i vindsutrymmet är kraftigt reducerad genom ”stängda” gavel- och takfotsöppningar, se Bild 2.

Avsikten med reduktionen av ventilationen är att mindre mängd fuktig luft kan komma in i vindsutrymmet och därigenom minskar risken för skadlig kondens mot det kalla yttertaket. Avsikten med den diffusionsöppna underlagstäckningen är att undersöka om konstruktioner med råspons minskar fuktbelastningen i det kalla vindsutrymmet genom att en del av fuktbufferingen i råsponsen kan diffundera ut genom underlagstäckningen och därmed inte behöver återföras till vindsluften.



Bild 1. Majrogården i Gubbängen.



Figur 2: Sektionsdetalj av vindsutrymmet.

1. Tunnputs, cirka 8 mm
2. Serporockskiva, 50 mm
3. 9 mm utegips
4. 400 mm lösull
5. Regelstomme av 45×170 träregel
6. Takstol
7. 45×120 snedsträva s1200
8. Råspont 23 mm
9. Diffusionsöppen underlagstäckning
10. Ströläkt 25×25 c600
11. Bärläkt 25×38
12. Betongpannor, obehandlade tegelröd
13. Vindskiva 23×145
14. Vindskiva 25×145
15. Plåtavtäckning
16. Trekantlist 45×45
17. Regel 45×45



Bild 2. Ventilationen i vindsutrymmet är kraftigt reducerad genom "stängda" gavel- och takfotsöppningar.

För att undvika höga fukttillskott på vinden under byggskedet reducerades inte ventilationen förrän byggnaden var färdigställd. Tidigare erfarenheter från projektet i kvarteret Paradsängen har visat det olämpliga i att ha reducerad ventilation under byggskedet.

3 Mätningar

I samtliga hus har följande mätningar genomförts:

- Fuktkvot i takstolar intill råspont på ca 5 mm djup på 3-5 ställen.
- Temperaturen i takstolar intill råspont på 5 mm djup på 3-5 ställen.
- Relativa fuktigheten i vindsluften på minst 5 ställen.
- Temperaturen i vindsluften på minst 5 ställen.

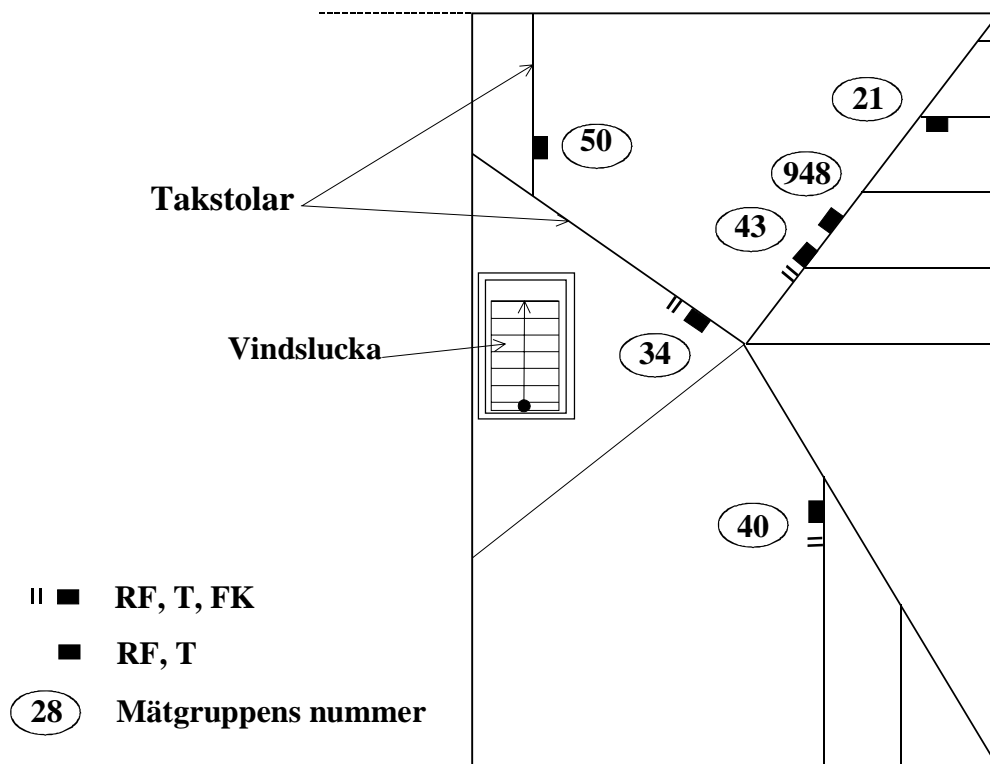
Fuktkvot och temperatur har även mätts i några olika punkter i råsponten i Hus-Majrogården.

Fuktkvot i trä har mätts med träfuktmätare D 0211, Protimeter Timbermaster.

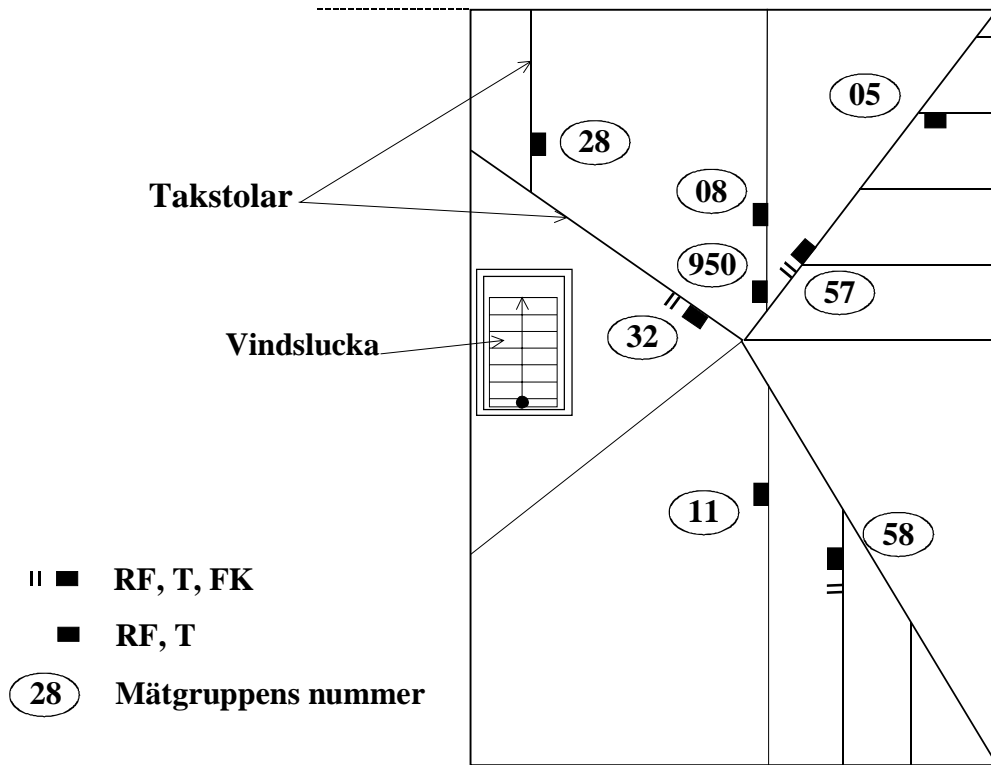
Temperatur i trä har mätts med termoelement och avlästs med termoelementförstärkare Digi-tron 2000T, typ K.

Relativa fuktigheten och temperaturen i luften i vindsutrymmena har mätts med Testo 175-2 samt med HOBO Pro. Dessa mätningar har skett varannan timme under hela försöksperioden.

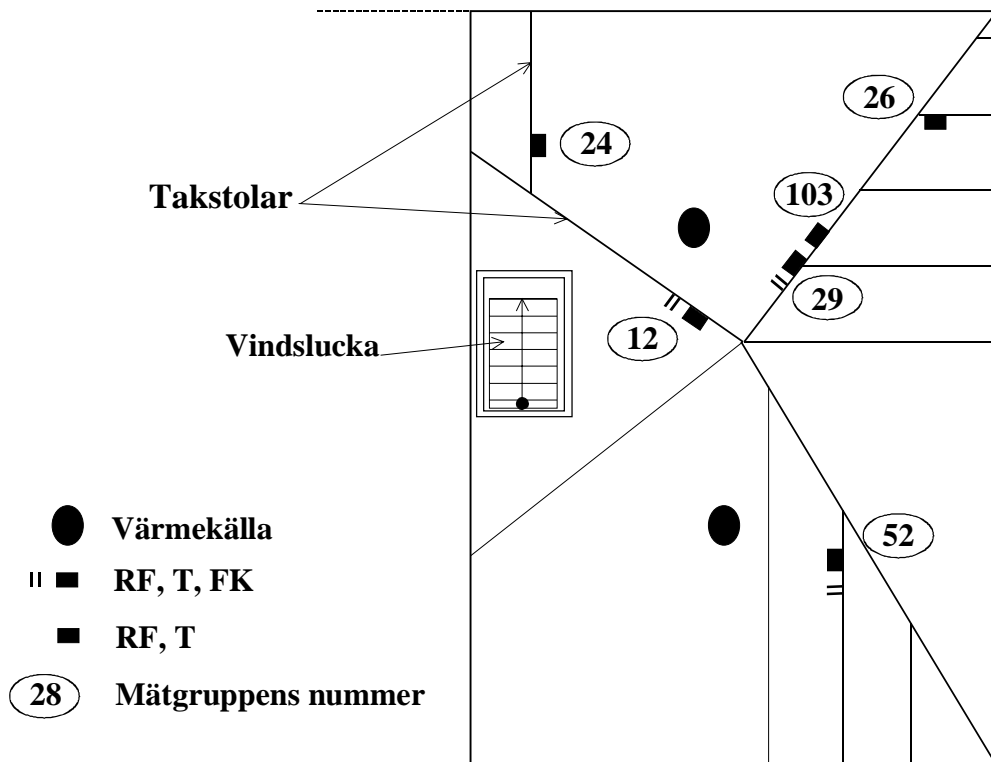
Mätpunkterna i vindsutrymmena framgår av figurerna 3 – 7. De positioner för loggarna som anges med två siffror i figur 3-6 visar placeringen av Testo 175-2, medan positioner som anges med tre siffror visar placeringen av loggar av typen Hobo H8 Pro.



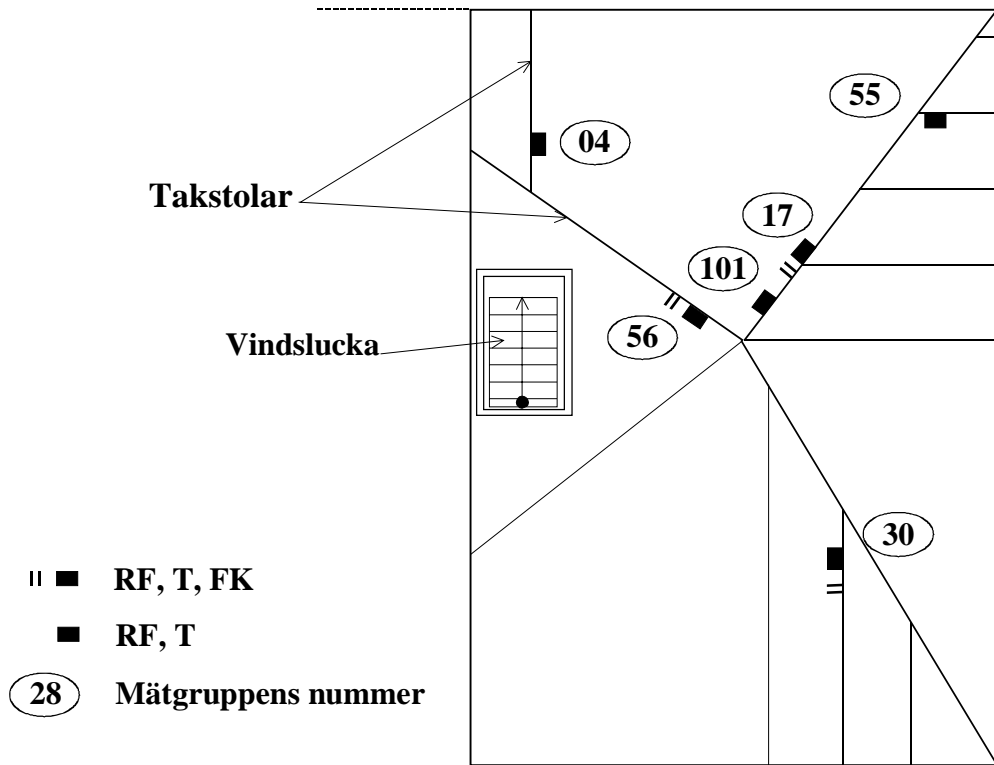
Figur 3. Mätpunkternas placering i Hus 4-Paradsängen (referenshus).



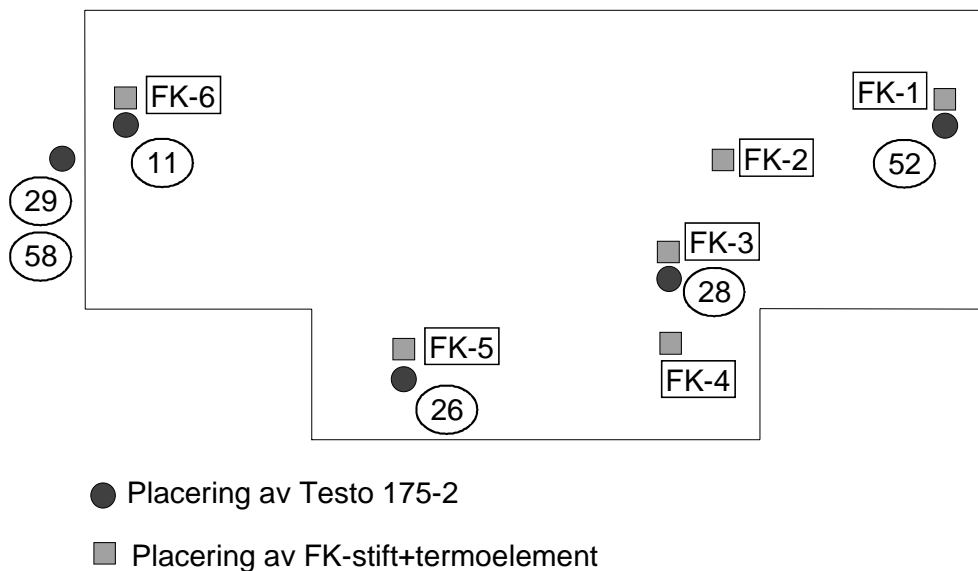
Figur 4. Mätpunkternas placering i Hus 7-Paradsängen (50 mm värmeisolering under råspont).



Figur 5. Mätpunkternas placering i Hus 8-Paradsängen (värmekällor).



Figur 6. Mätpunkternas placering i Hus 9-Paradsängen (reducerad ventilation).



Figur 7. Mätpunkternas placering i Hus Majrogården (reducerad ventilation med ånggenomsläpplig underlagstäckning på råspont).

Relativa fuktigheten och temperaturen utomhus har i samtliga hus registrerats med Testo 175-2. Under sista delen av försöksperioden i Paradsängen har dessa mätningar dock skett med Hobo H8 Pro.

I Hus 4 och Hus 7, Paradsängen, pågick mätningarna under perioden 2002-06-28 – 2004-06-17. Då Hus 8 och Hus 9 färdigställdes senare kunde mätningarna i dessa byggnader inte påbörjas förrän i oktober 2002.

I Hus-Majrogården pågick mätningarna under perioden september 2004 till och med november 2006.

4 Mätresultat

I detta avsnitt redovisas endast medelvärden från de genomförda mätningarna. För att särskilja resultaten från olika hus används olika färger.

4.1 Kalibreringsresultat

Samtliga loggar för registrering av temperatur och relativ fuktighet kalibrerades före och efter respektive mätperiod. Kalibreringarna har utförts i en certifierad precisionsfuktkammare på LTH i Lund. Vid kalibreringen har loggarna kontrollerats vid följande relativa fuktigheter: 30%, 50%, 75%, 90% samt 95%. Vid samtliga kontroller av den relativa fuktigheten har temperaturen i precisionsfuktkammaren varit konstant +20°C.

Resultaten från kalibreringarna har jämförts med den av fabrikanten angivna onoggrannheten för utrustningen. Dessutom har kalibreringsresultaten före och efter mätperioden jämförts för varje logger.

4.1.1 Paradsängen

Kontroll av loggarna har medfört ett bortfall, antingen beroende på att temperaturen eller den relativa fuktigheten (eller ibland båda) har fallit utanför den onoggrannhet som kan accepteras vid så långa fältmätningar som det här är fråga om. Bortfallet leder till att den spridning i temperatur och relativ fuktighet som kan finnas inom ett enskilt vindsutrymme inte alltid återspeglas i redovisade medelvärden.

Beträffande Hobo H8 Pro loggarna visade dessa bra resultat vid kalibreringarna, både beträffande temperatur och beträffande relativ fuktighet. Att Hobo loggarna har högre noggrannhet och bättre långtidsstabilitet kan delvis förklaras med att de är av senare modell, medan Testo 175-2 loggarna är från 1997.

Under perioderna 2002-10-25 – 2003-02-21 samt 2003-05-15 – 2003-10-17 finns ytterligare bortfall på grund av att batterierna i ett antal loggar laddades ur fullständigt och därmed förlorades samtliga mätvärden.

Loggen som registrerade temperatur och relativ fuktighet utomhus i Paradsängen var ursprungligen placerad i en centralt placerad ek i bostadsområden. Olyckligtvis sågades man ned eken under projekttiden varför det saknas mätresultat för utomhusklimatet under januari och februari 2003. Vid besöket i februari 2003 flyttades utomhusloggen till en närliggande tall.

I rapporten redovisas endast medelvärden i figurer och tabeller. Vid beräkning av medelvärden ingår normalt enbart resultat från de loggar som godkänts vid kalibreringen. För vissa mätperioder leder resultaten från kalibreringen och dåliga batterier till att det helt saknas mätresultat. Om det finns mätvärden i ett hus under en mätperiod, men samtliga fungerande loggar gallrats bort vid kalibreringen, redovisar ändå resultaten. Givetvis måste man då betänka att felet i de redovisade mätresultaten tidvis är större än vad som egentligen borde accepteras. I förekommande fall redovisas detta i texten.

Avläsning av fuktkvot och temperatur intill fuktkvotsstiften avlästes av personal på byggarbetsplatsen fram till att samtliga byggnader var färdigställda. Därefter skedde avläsningar huvudsakligen vid de tillfällen då loggarna tömdes på mätvärden.

4.1.2 Majrogården

Även beträffande Majrogården skedde kalibrering av mätutrustningen både före och efter mätperioden. Här genomfördes en linjär interpolering av samtliga mätvärden med hjälp av kalibreringskurvorna för respektive logger. I övrigt genomfördes mätningarna på samma sätt som beskrivits för Paradsängen.

Utomhusgivaren placerades ovanför det norra gavelfönstret.

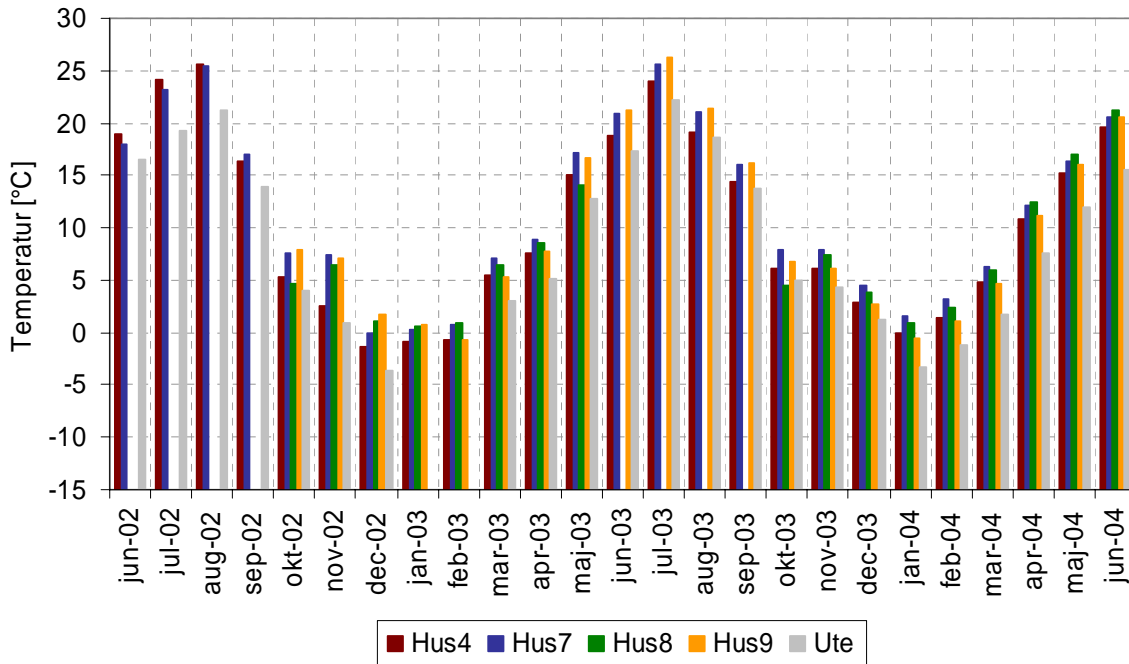
4.2 Temperatur

4.2.1 Paradsängen

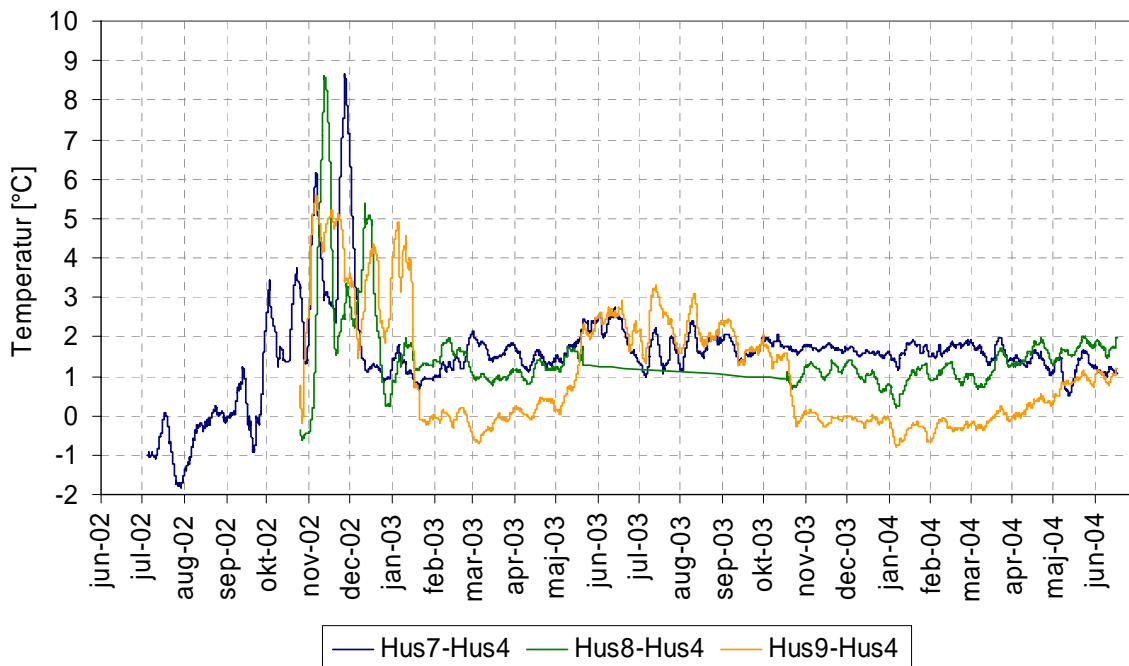
I detta avsnitt visas medelvärden av temperaturmätningarna i Paradsängen.

Tabell 1: Månadsmedeltemperaturer (°C) på vinden i de fyra mätobjekten samt utomhus.

| Månad | Hus 4 | Hus 7 | Hus 8 | Hus 9 | Ute |
|---------|-------|-------|-------|-------|------|
| Jun -02 | 18,9 | 18,0 | | | 16,5 |
| Jul -02 | 24,2 | 23,1 | | | 19,2 |
| Aug -02 | 25,7 | 25,5 | | | 21,2 |
| Sep -02 | 16,4 | 17,0 | | | 13,9 |
| Okt -02 | 5,3 | 7,6 | 4,7 | 7,9 | 4,0 |
| Nov -02 | 2,6 | 7,5 | 6,5 | 7,2 | 0,9 |
| Dec -02 | -1,4 | 0,0 | 1,1 | 1,7 | -3,7 |
| Jan -03 | -0,8 | 0,2 | 0,6 | 0,7 | |
| Feb -03 | -0,6 | 0,8 | 0,9 | -0,8 | |
| Mar -03 | 5,4 | 7,1 | 6,4 | 5,2 | 3,1 |
| Apr -03 | 7,5 | 8,9 | 8,6 | 7,7 | 5,1 |
| Maj -03 | 15,1 | 17,1 | 14,2 | 16,6 | 12,8 |
| Jun -03 | 18,8 | 20,9 | | 21,2 | 17,3 |
| Jul -03 | 24,0 | 25,5 | | 26,3 | 22,1 |
| Aug -03 | 19,1 | 21,1 | | 21,4 | 18,6 |
| Sep -03 | 14,3 | 16,1 | | 16,2 | 13,8 |
| Okt -03 | 6,1 | 7,9 | | 6,8 | 4,9 |
| Nov -03 | 6,2 | 7,9 | 7,3 | 6,1 | 4,3 |
| Dec -03 | 2,8 | 4,4 | 3,8 | 2,7 | 1,2 |
| Jan -04 | 0,0 | 1,6 | 0,9 | -0,5 | -3,4 |
| Feb -04 | 1,4 | 3,1 | 2,4 | 1,1 | -1,2 |
| Mar -04 | 4,8 | 6,3 | 5,9 | 4,7 | 1,8 |
| Apr -04 | 10,8 | 12,2 | 12,4 | 11,1 | 7,6 |
| Maj -04 | 15,2 | 16,4 | 16,9 | 16,1 | 12,0 |
| Jun -04 | 19,5 | 20,6 | 21,3 | 20,6 | 15,6 |



Figur 8. Månadsmedeltemperaturer (°C) i de fyra mätobjekten samt utomhus.



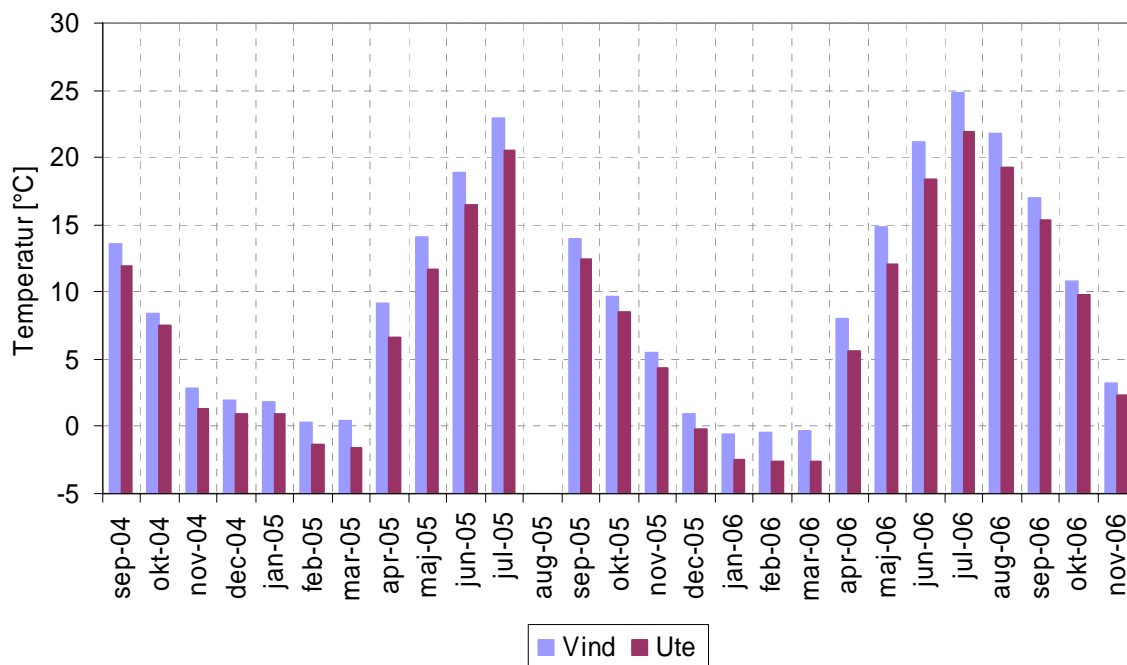
Figur 9. Temperaturdifferens (°C) mellan referenshuset (Hus 4) och de övriga mätobjekten. I figuren redovisas differenserna med glidande veckomedeltemperaturer. Den rätta linjen (Hus8-Hus4) från mitten av maj 2003 till mitten av oktober 2003 beror på att det saknas mätvärden för Hus 8 under denna period.

4.2.2 Majrogården

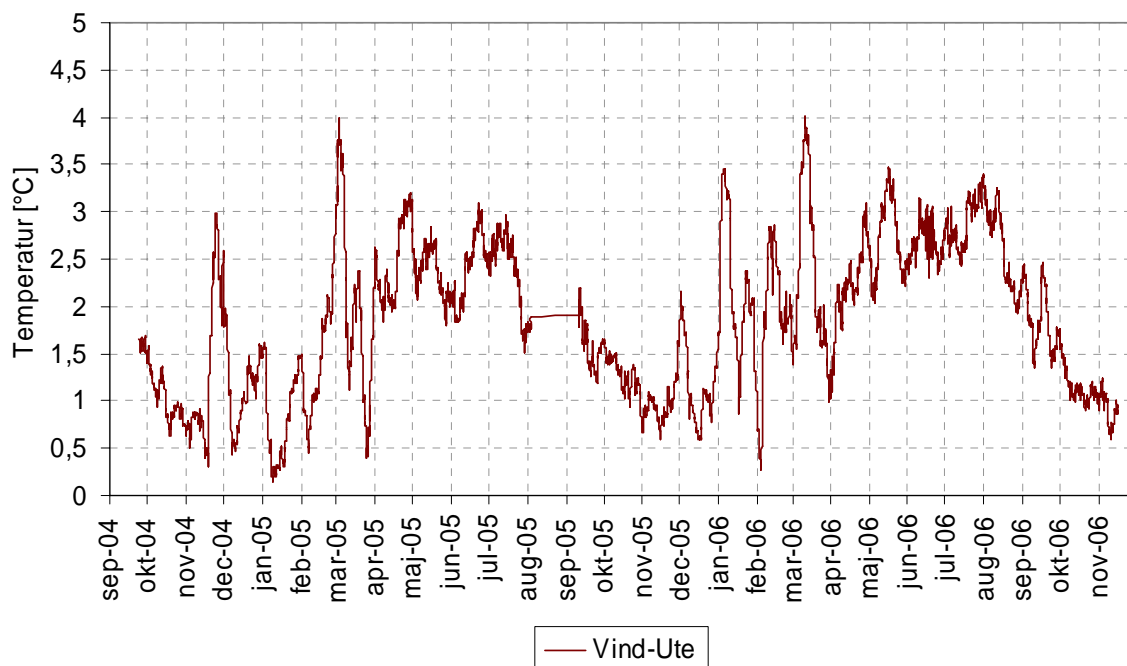
I detta avsnitt visas medelvärden av temperaturmätningarna i Majrogården. För augusti 2005 saknas dock mätvärden.

Tabell 2: Månadsmedeltemperaturer (°C) på vinden med reducerad ventilation och diffusionsöppen underlagstäckning samt utomhus.

| Månad | Vind | Ute | Månad | Vind | Ute |
|---------|------|------|---------|------|------|
| Sep -04 | 13,5 | 12,0 | Jan -06 | -0,6 | -2,5 |
| Okt -04 | 8,4 | 7,5 | Feb -06 | -0,5 | -2,6 |
| Nov -04 | 2,9 | 1,4 | Mar -06 | -0,3 | -2,6 |
| Dec -04 | 2,0 | 1,0 | Apr -06 | 8,0 | 5,6 |
| Jan -05 | 1,8 | 1,0 | Maj -06 | 14,8 | 12,1 |
| Feb -05 | 0,3 | -1,3 | Jun -06 | 21,1 | 18,4 |
| Mar -05 | 0,4 | -1,6 | Jul -06 | 24,9 | 21,9 |
| Apr -05 | 9,1 | 6,7 | Aug -06 | 21,7 | 19,2 |
| Maj -05 | 14,1 | 11,7 | Sep -06 | 17,0 | 15,3 |
| Jun -05 | 18,8 | 16,4 | Okt -06 | 10,8 | 9,7 |
| Jul -05 | 22,9 | 20,6 | Nov -06 | 3,3 | 2,4 |
| Aug -05 | | | | | |
| Sep -05 | 14,0 | 12,4 | | | |
| Okt -05 | 9,7 | 8,5 | | | |
| Nov -05 | 5,4 | 4,3 | | | |
| Dec -05 | 1,0 | -0,2 | | | |



Figur 10. Månadsmedeltemperatur på vinden samt utomhus.



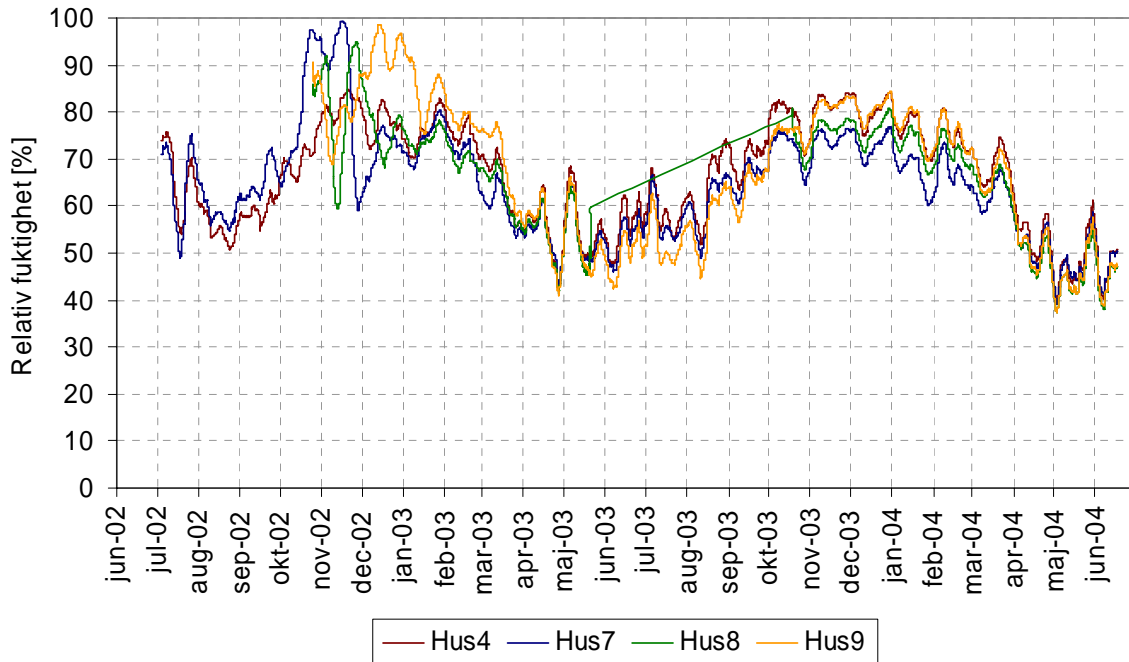
Figur 11. Temperaturdifferens mellan vind och utomhus redovisas som glidande veckomedelvärden.

4.3 Relativ fuktighet

4.3.1 Paradsängen

Antalet loggar som ingår i medelvärdesbildningen för den relativa fuktigheten i respektive vindsutrymme varierar. Det saknas t.ex. tillförlitliga data för den relativa fuktigheten i Hus 4 för perioderna 2002-10-25 – 2003-02-21 och 2003-05-15 – 2003-19-17. För dessa perioder har medelvärden bildats från samtliga tillgängliga loggar.

I figur 9 redovisas glidande veckomedelvärden för den relativa fuktigheten i de fyra vindsutrymmena på Paradsängen. Glidande medelvärden betyder att man beräknar medelvärden för ett konstant antal värden som successivt byts ut. Eftersom mätningarna skedde varannan timme betyder detta att det genomfördes 12 mätningar per dygn, eller 84 mätningar per vecka. Följaktligen ingår mätningarna 1-84 i den första beräkningen av det glidande veckomedelvärdet. Nästa beräkning innefattar mätningarna 2-85 osv.

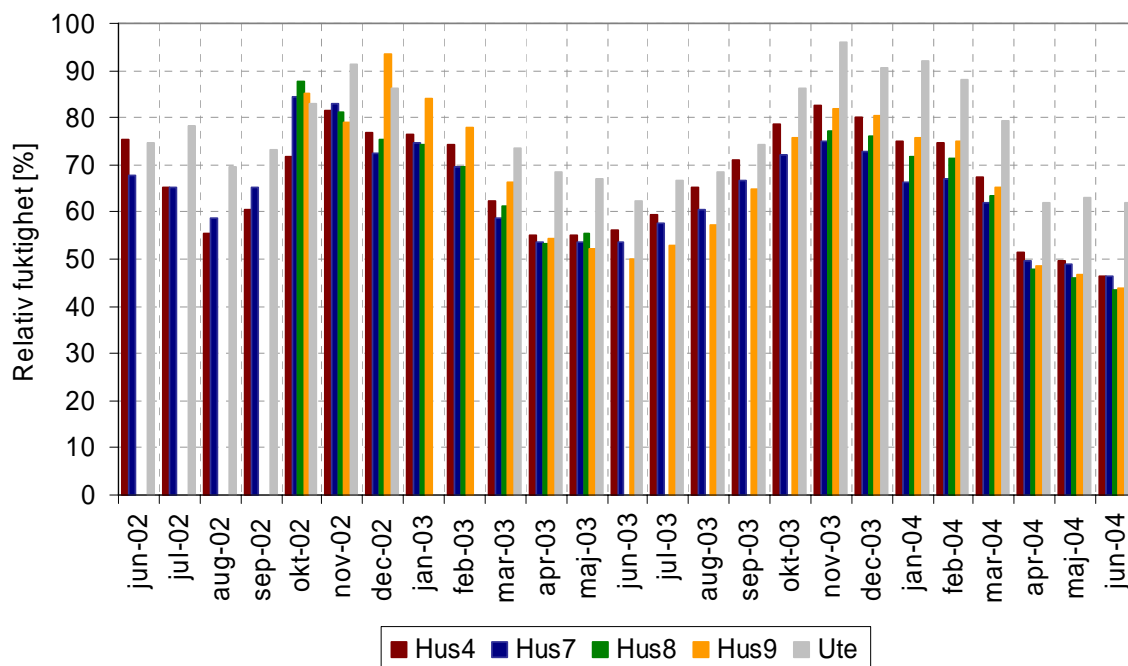


Figur 12. Glidande veckomedel-RF (%) i de kalla vindarna i de fyra mätobjekten samt utomhus.

Den negativa konsekvensen av alla medelvärdesbildningar är att samtliga extremvärden försvinner i redovisningen. Fördelen är att kurvorna inte blir så ”fladdriga” och därmed också tydligare och lättare att tolka. För de aktuella vindsutrymmena försvinner inte så mycket ”nyttig” information med medelvärdesbildningen, utom möjligen för vindsutrymmet i Hus 7 där råsponten har avskärmats med värmeisolering av cellplast. I övriga vindsutrymmen fungerar råsponten som fuktbuffert vid korta och snabba förändringar i det omgivande klimatet, vilket innebär att det inte bildas kondens på dessa ytor även om den relativa fuktigheten vid ytorna tidvis är 100 %. I Hus 7 är däremot endast delar av takstolarna direkt exponerade mot vindsluften, vilket avsevärt reducerar den tillgängliga fukt- och värmekapaciteten.

Tabell 3: Månadsmedelvärden för den relativa fuktigheten (%) på vindarna i de fyra husen samt utomhus.

| Månad | Hus 4 | Hus 7 | Hus 8 | Hus 9 | Ute |
|---------|-------|-------|-------|-------|-----|
| Jun -02 | 75 | 68 | | | 75 |
| Jul -02 | 65 | 65 | | | 78 |
| Aug -02 | 55 | 59 | | | 70 |
| Sep -02 | 60 | 65 | | | 73 |
| Okt -02 | 72 | 84 | 88 | 85 | 83 |
| Nov -02 | 81 | 83 | 81 | 79 | 91 |
| Dec -02 | 77 | 72 | 75 | 93 | 86 |
| Jan -03 | 76 | 75 | 74 | 84 | |
| Feb -03 | 74 | 69 | 69 | 78 | |
| Mar -03 | 62 | 59 | 61 | 66 | 74 |
| Apr -03 | 55 | 54 | 53 | 54 | 68 |
| Maj -03 | 55 | 54 | 56 | 52 | 67 |
| Jun -03 | 56 | 53 | | 50 | 62 |
| Jul -03 | 59 | 58 | | 53 | 67 |
| Aug -03 | 65 | 60 | | 57 | 69 |
| Sep -03 | 71 | 67 | | 65 | 74 |
| Okt -03 | 78 | 72 | | 76 | 86 |
| Nov -03 | 83 | 75 | 77 | 82 | 96 |
| Dec -03 | 80 | 73 | 76 | 80 | 91 |
| Jan -04 | 75 | 66 | 72 | 76 | 92 |
| Feb -04 | 75 | 67 | 71 | 75 | 88 |
| Mar -04 | 67 | 62 | 63 | 65 | 79 |
| Apr -04 | 51 | 50 | 48 | 49 | 62 |
| Maj -04 | 50 | 49 | 46 | 47 | 63 |
| Jun -04 | 46 | 47 | 44 | 44 | 62 |

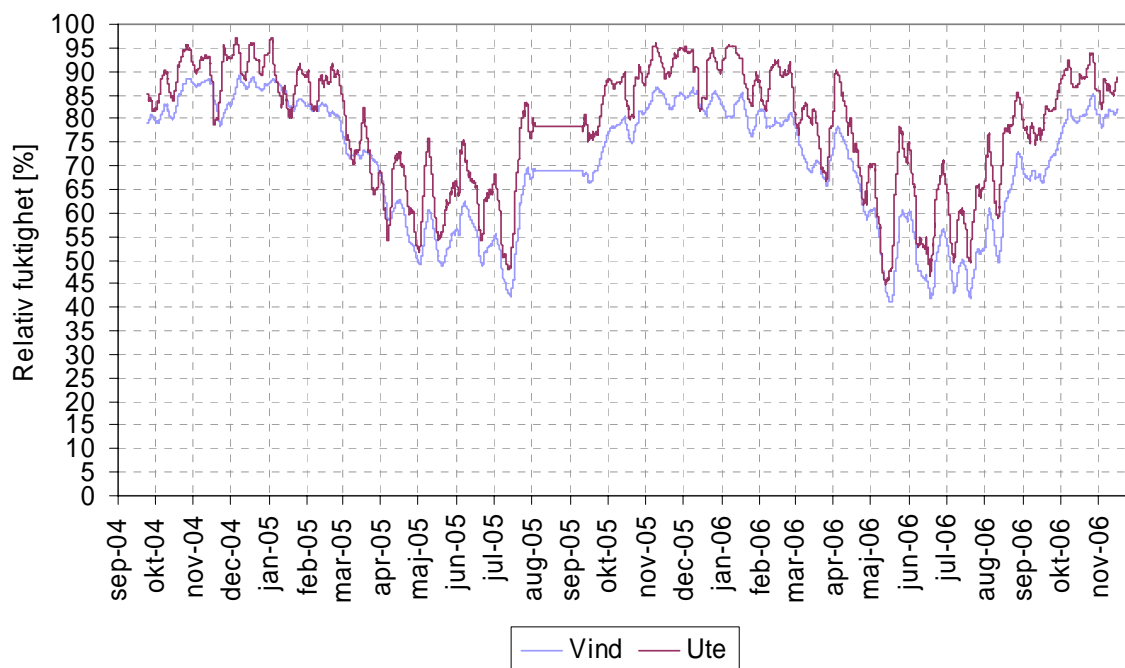


Figur 13. Månadsmedel-RF (%) i de fyra mätobjekten samt utomhus.

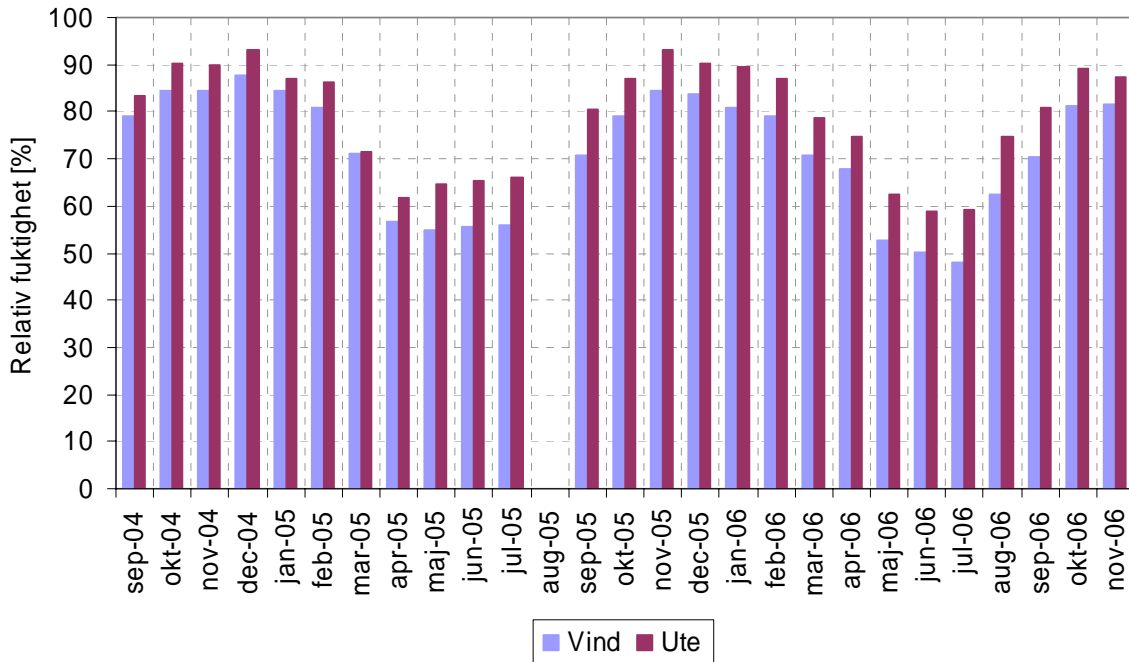
4.3.2 Majrogården

Tabell 4: Månadsmedelvärden för den relativa fuktigheten (%) på vinden med reducerad ventilation och diffusionsöppen underlagstäckning samt utomhus.

| Månad | Vind | Ute | Månad | Vind | Ute |
|---------|------|-----|---------|------|-----|
| Sep -04 | 79 | 83 | Jan -06 | 81 | 90 |
| Okt -04 | 84 | 90 | Feb -06 | 79 | 87 |
| Nov -04 | 84 | 90 | Mar -06 | 71 | 79 |
| Dec -04 | 88 | 93 | Apr -06 | 68 | 75 |
| Jan -05 | 84 | 87 | Maj -06 | 53 | 63 |
| Feb -05 | 81 | 86 | Jun -06 | 50 | 59 |
| Mar -05 | 71 | 71 | Jul -06 | 48 | 59 |
| Apr -05 | 57 | 62 | Aug -06 | 63 | 75 |
| Maj -05 | 55 | 65 | Sep -06 | 70 | 81 |
| Jun -05 | 56 | 65 | Okt -06 | 81 | 89 |
| Jul -05 | 56 | 66 | Nov -06 | 81 | 87 |
| Aug -05 | | | | | |
| Sep -05 | 71 | 81 | | | |
| Okt -05 | 79 | 87 | | | |
| Nov -05 | 85 | 93 | | | |
| Dec -05 | 84 | 90 | | | |



Figur 14. Glidande veckomedel-RF (%) i vinden med reducerad ventilation och diffusionsöppen underlagstäckning samt utomhus.



Figur 15. Månadsmedel-RF (%) i vinden med reducerad ventilation och diffusionsöppen underlagstäckning samt utomhus.

4.4 Ånghalt

För att kunna beräkna ånghalten måste man känna mätnadsånghalten för den aktuella temperaturen. Mätnadsånghalten har beräknats med följande ekvation:

$$p_s(T) = a \cdot \left(b + \frac{T}{100} \right)^n \quad (1)$$

$$0 \leq T \leq 30 \quad a = 288,68 \text{ Pa} \quad b = 1,098 \quad n = 8,02$$

$$-20 \leq T < 0 \quad a = 4,689 \text{ Pa} \quad b = 1,486 \quad n = 12,3$$

$$v_s(T) = p_s(T) \cdot \frac{M_v}{R \cdot (273,15 + T)} \quad (2)$$

| | | |
|-----------|---------------------------------|-------------------|
| p_s | mätnadsångtryck | Pa |
| T | temperatur | °C |
| a, b, n | koefficienter | - |
| v_s | mätnadsånghalt | kg/m ³ |
| M_v | gasens molekylvikt | kg/(kmol) |
| R | allmänna gaskonstanten = 8314,3 | J/(kmol·K) |

Med känd mätnadsånghalt kan den aktuella ånghalten beräknas.

$$v = \varphi \cdot v_s(T) \quad (3)$$

| | | |
|-----------|--------------------------------------------|-------------------|
| v | ånghalt | kg/m ³ |
| φ | relativ fuktighet, $0 \leq \varphi \leq 1$ | - |

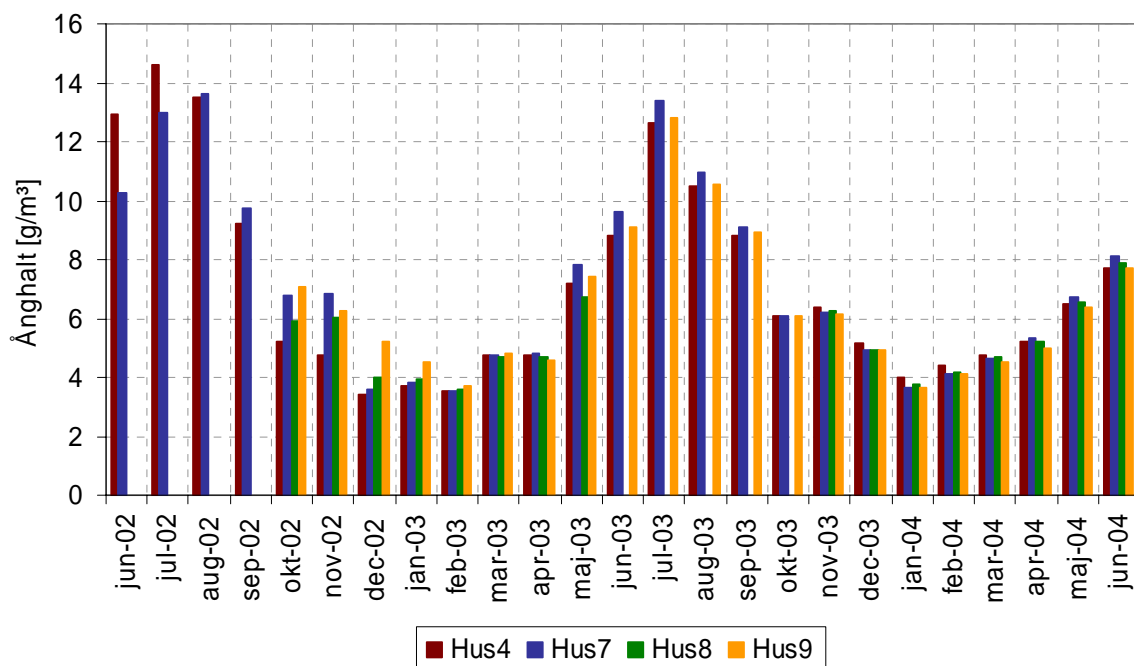
4.4.1 Paradsängen

Vid beräkning av medelvärden för ånghalter, och fuktillskott, i respektive vindsutrymme ingår endast de loggar som har acceptabel noggrannhet både beträffande temperatur och beträffande relativ fuktighet. För de fyra vindsutrymmena betyder detta att för Hus 4 ingår endast logg 43, för Hus 7 ingår loggarna 8, 28 och 32, för Hus 8 ingår 12, 26, 29 och 52 och för Hus 9 ingår 4, och 17. För samtliga husen tillkommer Hobologgarna under den sista mätperioden som sträcker sig från 2004-03-04 till och med 2004-06-17.

Under de mätperioder då det saknas värden från de accepterade loggarna beräknas medelvärden från alla återstående loggar.

Tabell 5: Månadsmedelvärden för ånghalten (g/m^3) på vindarna i de fyra husen.

| Månad | Hus 4 | Hus 7 | Hus 8 | Hus 9 |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| Jun -02 | 12,9 | 10,3 | | |
| Jul -02 | 14,6 | 13,0 | | |
| Aug -02 | 13,5 | 13,6 | | |
| Sep -02 | 9,2 | 9,8 | | |
| Okt -02 | 5,2 | 6,8 | 5,9 | 7,1 |
| Nov -02 | 4,8 | 6,8 | 6,0 | 6,3 |
| Dec -02 | 3,4 | 3,6 | 4,0 | 5,2 |
| Jan -03 | 3,7 | 3,8 | 3,9 | 4,5 |
| Feb -03 | 3,6 | 3,5 | 3,6 | 3,7 |
| Mar -03 | 4,8 | 4,7 | 4,7 | 4,8 |
| Apr -03 | 4,8 | 4,8 | 4,7 | 4,6 |
| Maj -03 | 7,2 | 7,9 | 6,7 | 7,4 |
| Jun -03 | 8,8 | 9,6 | | 9,1 |
| Jul -03 | 12,7 | 13,4 | | 12,8 |
| Aug -03 | 10,5 | 11,0 | | 10,5 |
| Sep -03 | 8,8 | 9,1 | | 8,9 |
| Okt -03 | 6,1 | 6,1 | | 6,1 |
| Nov -03 | 6,4 | 6,2 | 6,2 | 6,1 |
| Dec -03 | 5,1 | 4,9 | 4,9 | 4,9 |
| Jan -04 | 4,0 | 3,7 | 3,9 | 3,7 |
| Feb -04 | 4,4 | 4,1 | 4,2 | 4,1 |
| Mar -04 | 4,8 | 4,6 | 4,7 | 4,5 |
| Apr -04 | 5,2 | 5,3 | 5,2 | 5,0 |
| Maj -04 | 6,5 | 6,7 | 6,6 | 6,4 |
| Jun -04 | 7,7 | 8,1 | 7,9 | 7,7 |

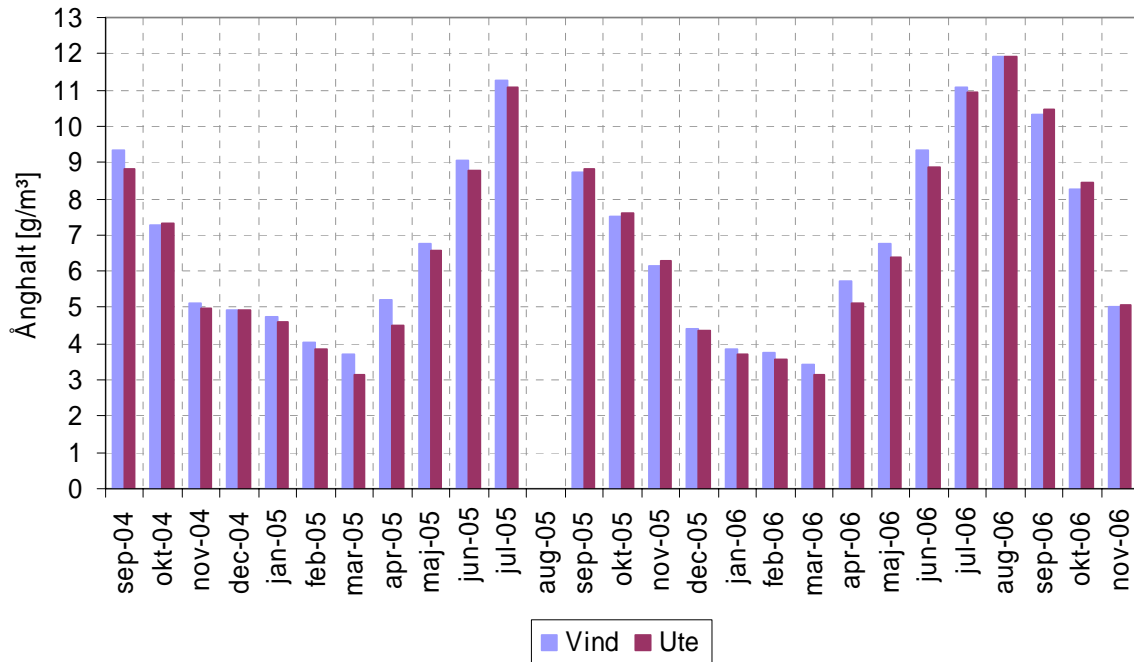


Figur 16. Månadsmedelvärden för ånghalten (g/m^3) på vindarna i de fyra mätobjekten.

4.4.2 Majrogården

Tabell 6: Månadsmedelvärden för ånghalten (g/m^3) på vinden med reducerad ventilation och diffusionsöppen underlagstäckning samt utomhus.

| Månad | Vind | Ute | Månad | Vind | Ute |
|---------|------|------|---------|------|------|
| Sep -04 | 9,3 | 8,8 | Jan -06 | 3,8 | 3,7 |
| Okt -04 | 7,3 | 7,3 | Feb -06 | 3,7 | 3,6 |
| Nov -04 | 5,1 | 5,0 | Mar -06 | 3,4 | 3,2 |
| Dec -04 | 4,9 | 4,9 | Apr -06 | 5,7 | 5,1 |
| Jan -05 | 4,7 | 4,6 | Maj -06 | 6,8 | 6,4 |
| Feb -05 | 4,0 | 3,8 | Jun -06 | 9,4 | 8,9 |
| Mar -05 | 3,7 | 3,1 | Jul -06 | 11,1 | 11,0 |
| Apr -05 | 5,2 | 4,5 | Aug -06 | 11,9 | 11,9 |
| Maj -05 | 6,8 | 6,6 | Sep -06 | 10,3 | 10,4 |
| Jun -05 | 9,1 | 8,8 | Okt -06 | 8,3 | 8,4 |
| Jul -05 | 11,3 | 11,1 | Nov -06 | 5,0 | 5,1 |
| Aug -05 | | | | | |
| Sep -05 | 8,7 | 8,8 | | | |
| Okt -05 | 7,5 | 7,6 | | | |
| Nov -05 | 6,1 | 6,3 | | | |
| Dec -05 | 4,4 | 4,4 | | | |



Figur 17. Månadsmedelvärden för ånghalten (g/m^3) i vinden med reducerad ventilation och diffusionsöppen underlagstäckning samt utomhus.

4.5 Fukttillskott

Fukttillskottet är skillnaden i ånghalt mellan luften på respektive vindsutrymme och luften utomhus. När en luftvolym flyttas från en temperatur till en annan temperatur ändras dess volym, under förutsättning att totaltrycket är konstant. Då luften flyttas från en lägre temperatur till en högre expanderar luften vilket leder till att koncentrationen av gasmolekyler minskar. Vid beräkning av fukttillskottet kan man ta hänsyn till detta genom att införa en så kallad volymfaktor. Med hjälp av allmänna gaslagen kan denna uttryckas med följande ekvation.

$$v_2 = \left(\frac{T_1 + 273,15}{T_2 + 273,15} \right) \cdot v_1 = f \cdot v_1 \quad [\text{kg/m}^3] \quad (4)$$

Temperaturen T anges i grader C.

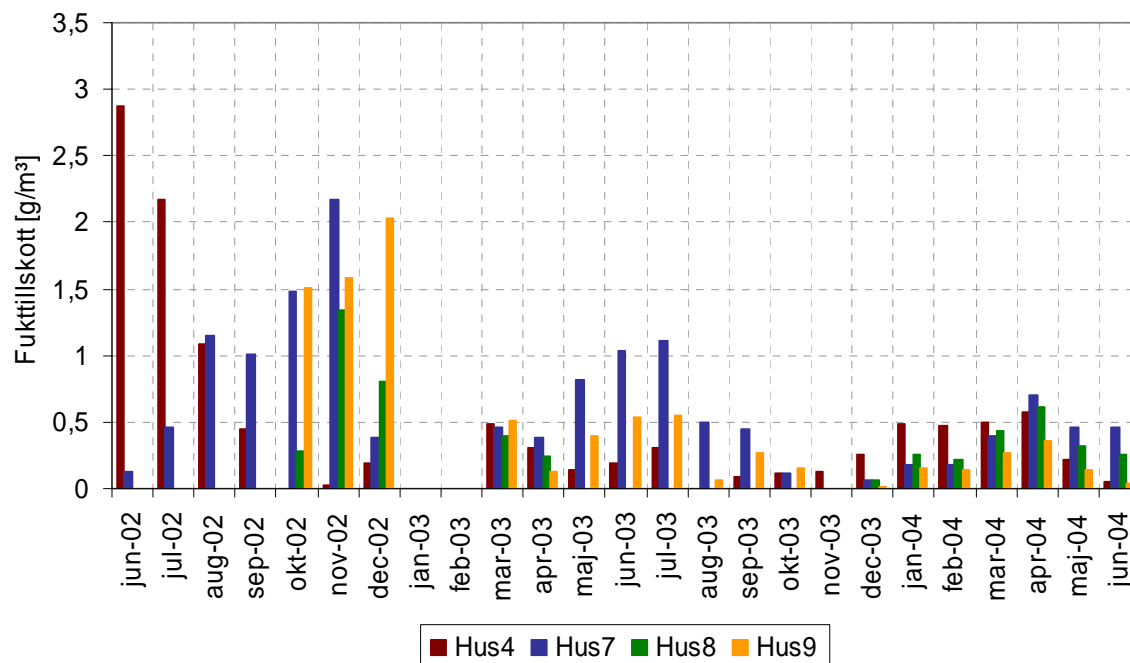
Volymfaktorn kan vara större eller mindre än 1. En luftvolym som flyttas från kallt till varmt får en volymfaktor som är mindre än 1 och vid flyttning från varmt till kallt blir den större än 1.

I denna skrift ingår volymfaktorn vid samtliga beräkningar av fukttillskottet.

4.5.1 Paradsängen

Tabell 7: Månadsmedelvärden för fukttillskottet (g/m^3) på vindarna i de fyra husen.

| Månad | Hus 4 | Hus 7 | Hus 8 | Hus 9 |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| Jun -02 | 2,9 | 0,1 | | |
| Jul -02 | 2,2 | 0,5 | | |
| Aug -02 | 1,1 | 1,2 | | |
| Sep -02 | 0,5 | 1,0 | | |
| Okt -02 | -0,1 | 1,5 | 0,3 | 1,5 |
| Nov -02 | 0,0 | 2,2 | 1,3 | 1,6 |
| Dec -02 | 0,2 | 0,4 | 0,8 | 2,0 |
| Jan -03 | | | | |
| Feb -03 | | | | |
| Mar -03 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,5 |
| Apr -03 | 0,3 | 0,4 | 0,2 | 0,1 |
| Maj -03 | 0,1 | 0,8 | 0,0 | 0,4 |
| Jun -03 | 0,2 | 1,0 | | 0,5 |
| Jul -03 | 0,3 | 1,1 | | 0,6 |
| Aug -03 | 0,0 | 0,5 | | 0,1 |
| Sep -03 | 0,1 | 0,5 | | 0,3 |
| Okt -03 | 0,1 | 0,1 | | 0,1 |
| Nov -03 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | -0,1 |
| Dec -03 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,0 |
| Jan -04 | 0,5 | 0,2 | 0,3 | 0,2 |
| Feb -04 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 0,1 |
| Mar -04 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,3 |
| Apr -04 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,4 |
| Maj -04 | 0,2 | 0,5 | 0,3 | 0,1 |
| Jun -04 | 0,0 | 0,5 | 0,3 | 0,0 |

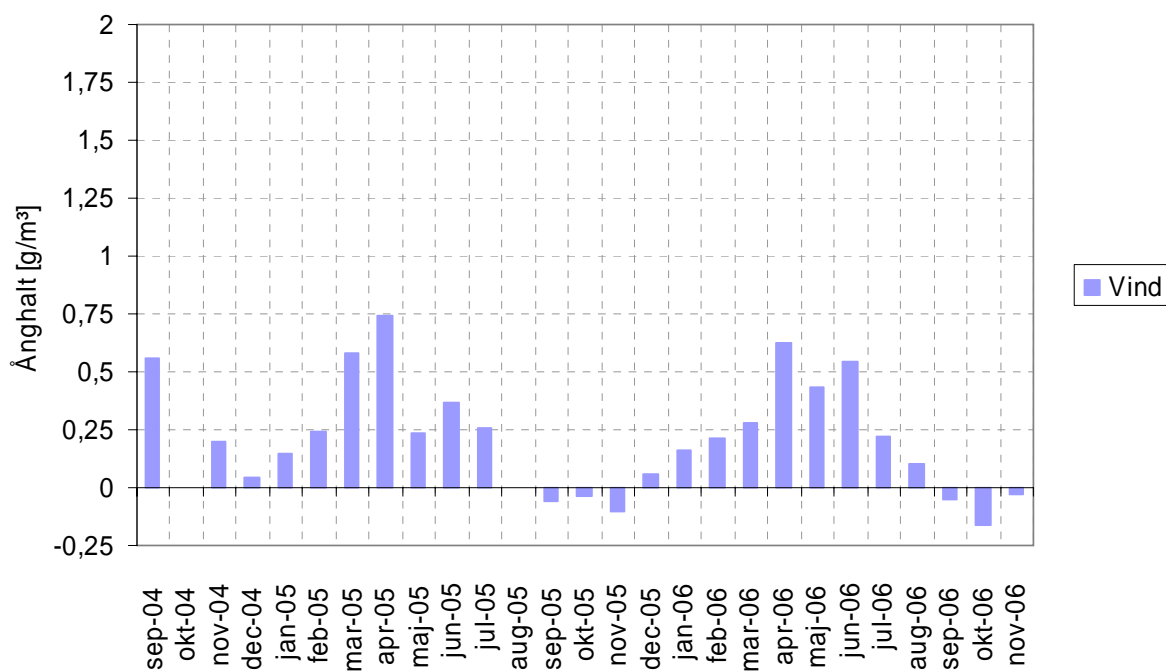


Figur 18. Månadsmedelvärden för fukttillskottet (g/m^3) på vindarna i de fyra husen.

4.5.2 Majrogården

Tabell 8: Månadsmedelvärden för fuktillskottet (g/m^3) på vinden med reducerad ventilation och diffusionsöppen underlagstäckning.

| Månad | Vind | Månad | Vind |
|---------|------|---------|------|
| Sep -04 | 0,6 | Jan -06 | 0,2 |
| Okt -04 | 0,0 | Feb -06 | 0,2 |
| Nov -04 | 0,2 | Mar -06 | 0,3 |
| Dec -04 | 0,0 | Apr -06 | 0,6 |
| Jan -05 | 0,1 | Maj -06 | 0,4 |
| Feb -05 | 0,2 | Jun -06 | 0,5 |
| Mar -05 | 0,6 | Jul -06 | 0,2 |
| Apr -05 | 0,7 | Aug -06 | 0,1 |
| Maj -05 | 0,2 | Sep -06 | -0,0 |
| Jun -05 | 0,4 | Okt -06 | -0,2 |
| Jul -05 | 0,3 | Nov -06 | -0,0 |
| Aug -05 | | | |
| Sep -05 | -0,1 | | |
| Okt -05 | -0,0 | | |
| Nov -05 | -0,1 | | |
| Dec -05 | 0,1 | | |

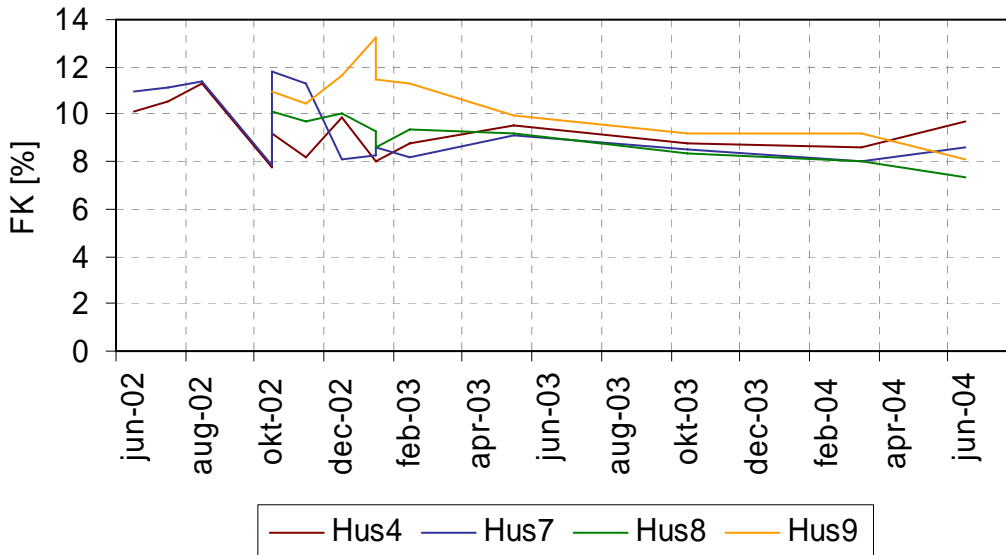


Figur 19. Månadsmedelvärden för fuktillskottet (g/m^3) på vinden med reducerad ventilation och diffusionsöppen underlagstäckning.

4.6 Fuktkvot

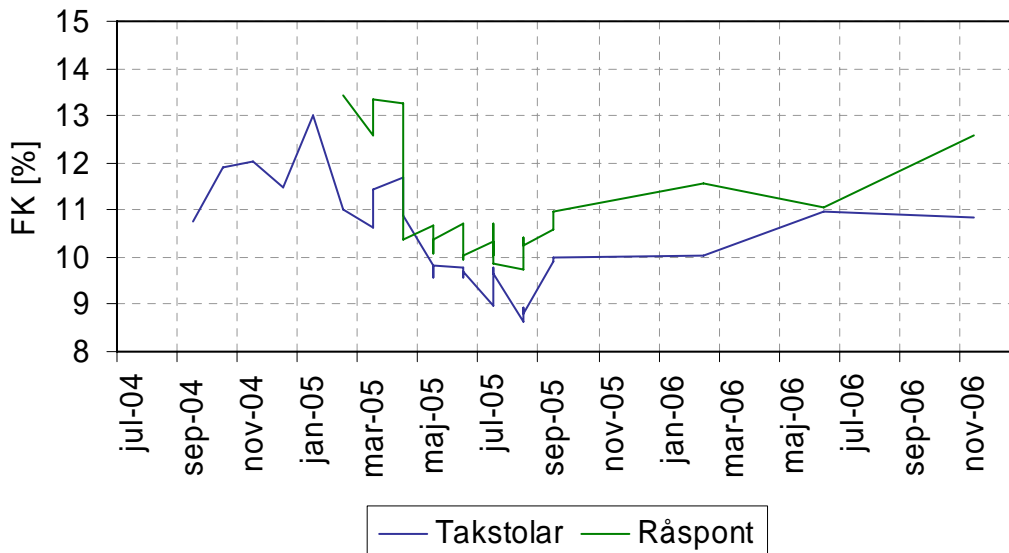
4.6.1 Paradsängen

I vardera av de fyra vindsutrymmena fanns det tre par fuktkvotsstift. Dessa var placerade intill en logg. I direkt anslutning till varje par av fuktkvotsstift fanns även ett termoelement av koppar/konstantan. Medelvärden från de tre paren av stift i respektive hus redovisas i figur 13.



Figur 20. Medelvärden av fuktkvot (%) för respektive hus.

4.6.2 Majrogården



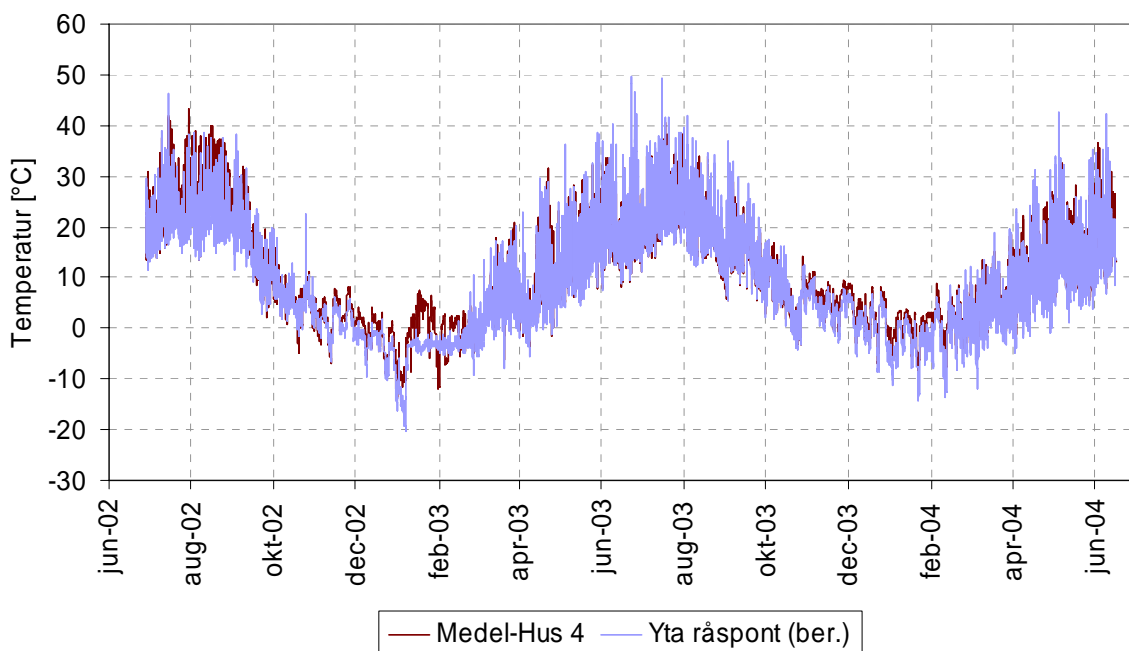
Figur 21. Medelvärden av fuktkvot (%) på vinden med reducerad ventilation och diffusionsöppen underlagstäckning.

5 Beräkningsresultat

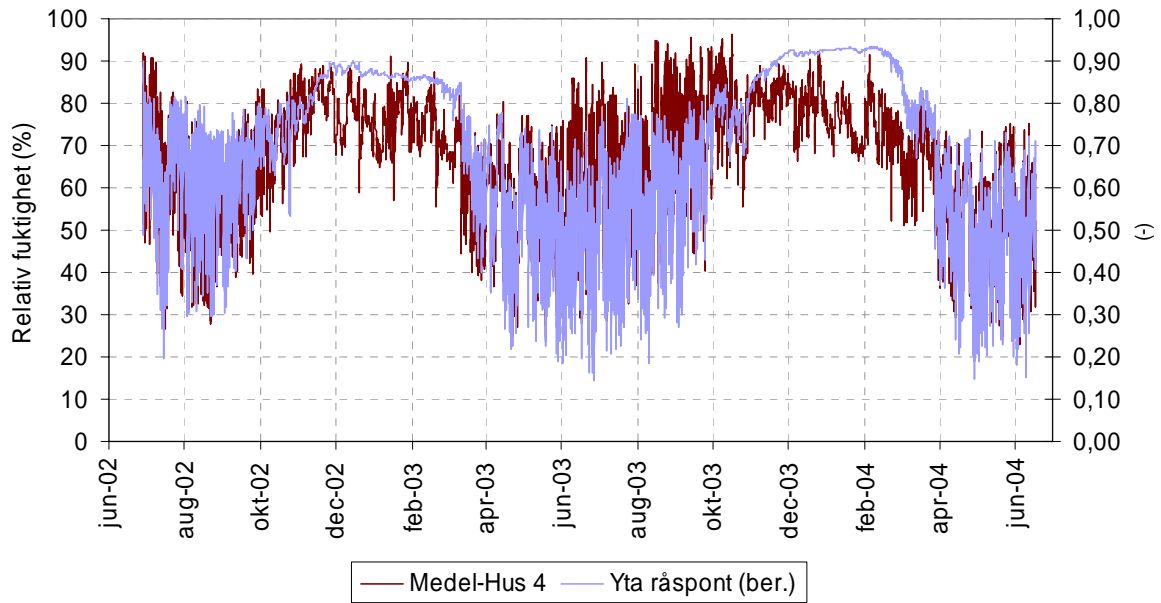
I detta avsnitt redovisas resultat från datorberäkningar som utförts av Angela Sasic Kalagasiadis, Byggnadsfysik Chalmers. Jämförande beräkningar har endast genomförts för de fyra husen i Paradsängen. Vid beräkningarna har uteklimatet från mätningarna använts som indata. Andra klimatdata som behövs till beräkningarna, såsom direkt och diffus solstrålningen har beräknats. För de tidsperioder då uppmätt utomhusklimat har saknats har detta beräknats med det kommersiella datorprogrammet Meteonorm. Förutom geometri för de olika vindsutrymmena och relevant materialdata krävs även luftomsättningen på vindarna som indata till beräkningarna. För Hus 4, Hus 7 och Hus 8 har luftomsättningen antagits vara omkring 2,0 luftomsättningar per timme, medan luftomsättningen i Hus 9 antas vara 0,2 omsättningar per timme i genomsnitt. Vid samtliga beräkningar har temperaturen under vindsbjälklaget (inomhus) antagits till +22°C.

I figurerna i detta avsnitt redovisas förutom beräknade värden även de uppmätta medelvärden som presenterats tidigare.

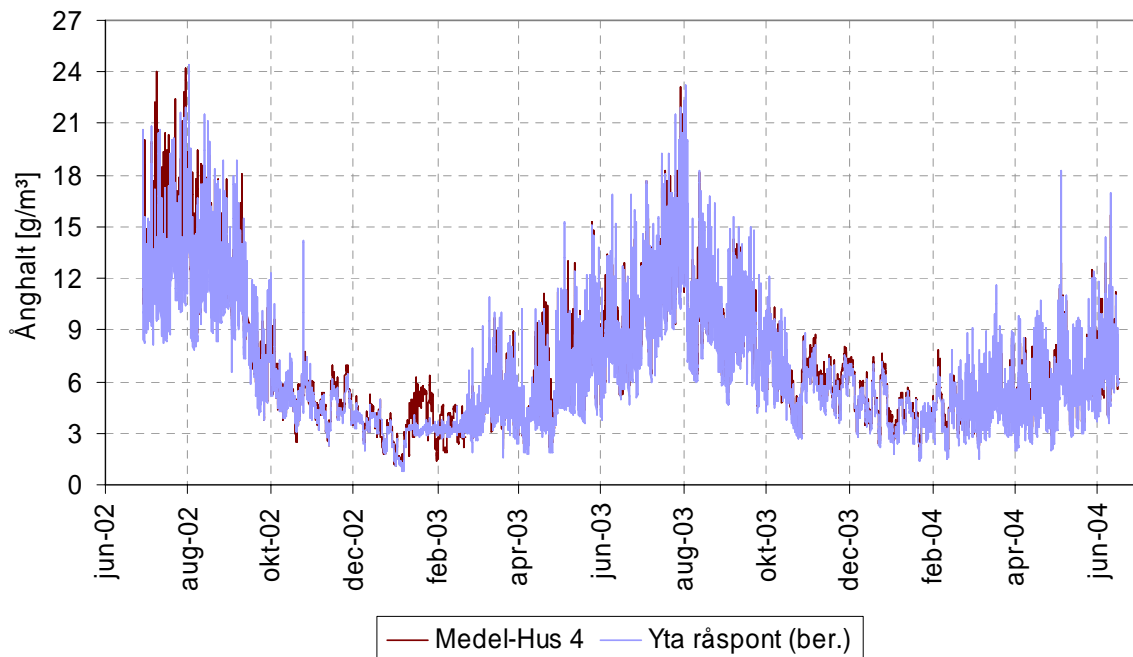
5.1 Hus 4 (referenshus)



Figur 22. Medelvärden av temperaturmätningar (°C) i Hus 4 samt beräknad temperatur vid invändig yta av råspont.

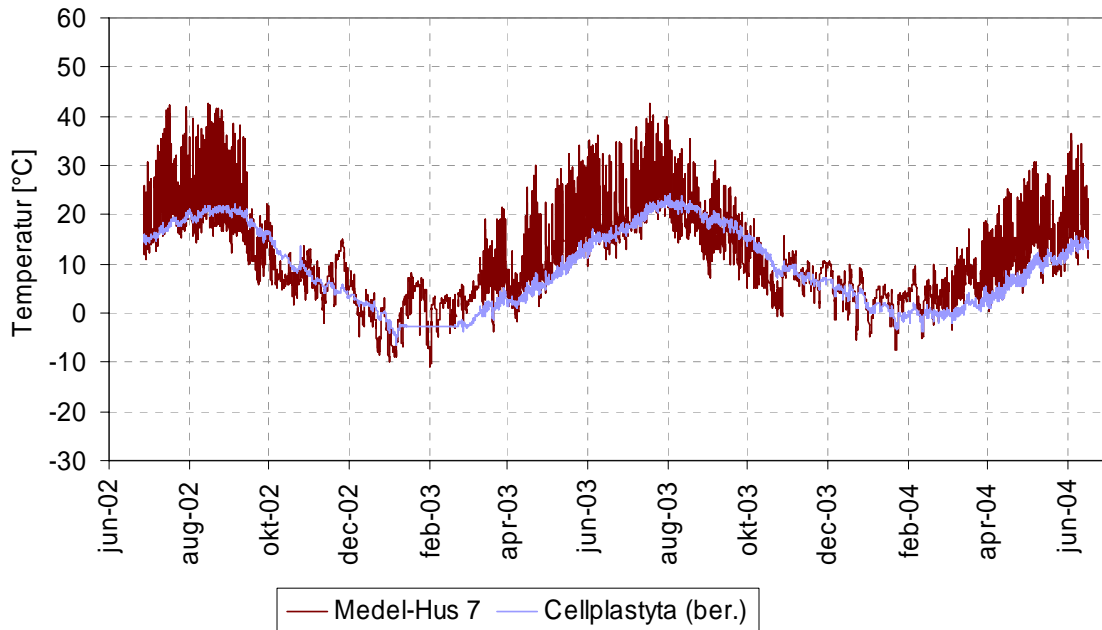


Figur 23. Medelvärden av RF-mätningar (%) i Hus 4 samt beräknad relativ fuktighet (-) vid invändig yta av råspont.

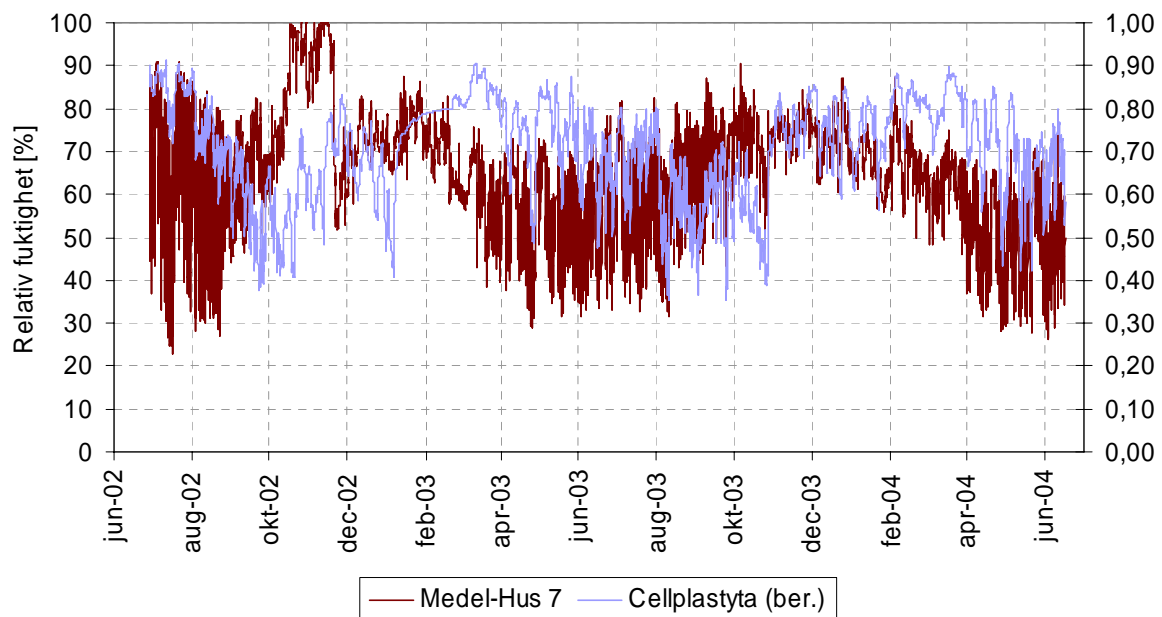


Figur 24. Medelvärden av "ånghaltsmätningar" (g/m^3) i Hus 4 samt beräknad ånghalt vid invändig yta av råspont.

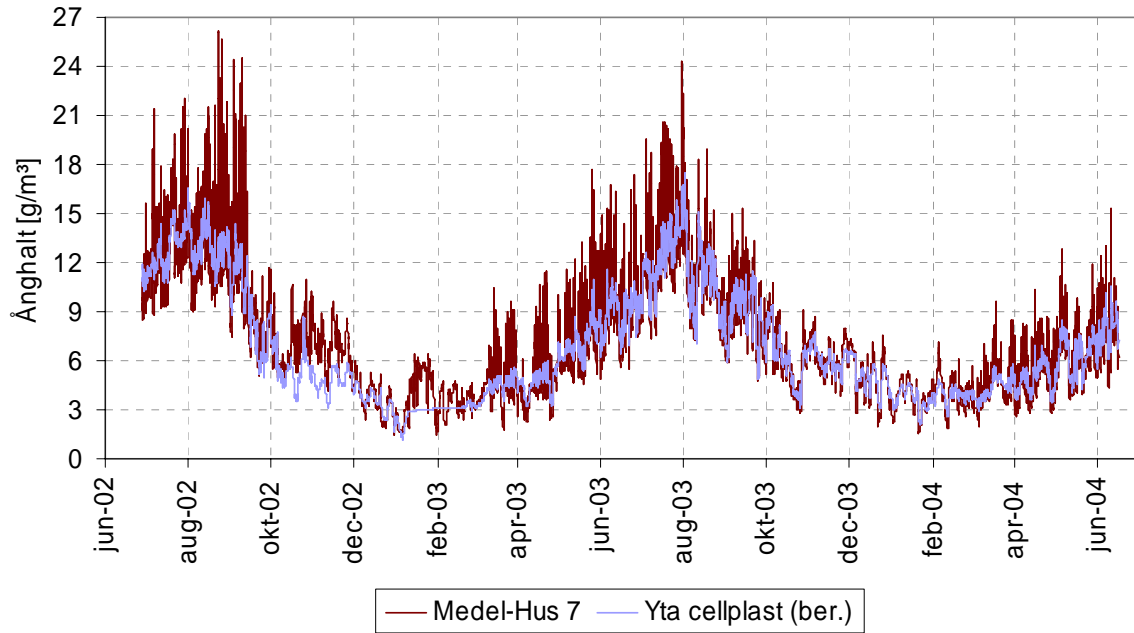
5.2 Hus 7 (50 mm isolering under råsponten)



Figur 25. Medelvärden av temperaturmätningar (°C) i Hus 7 samt beräknad temperatur vid invändig yta av cellplast.

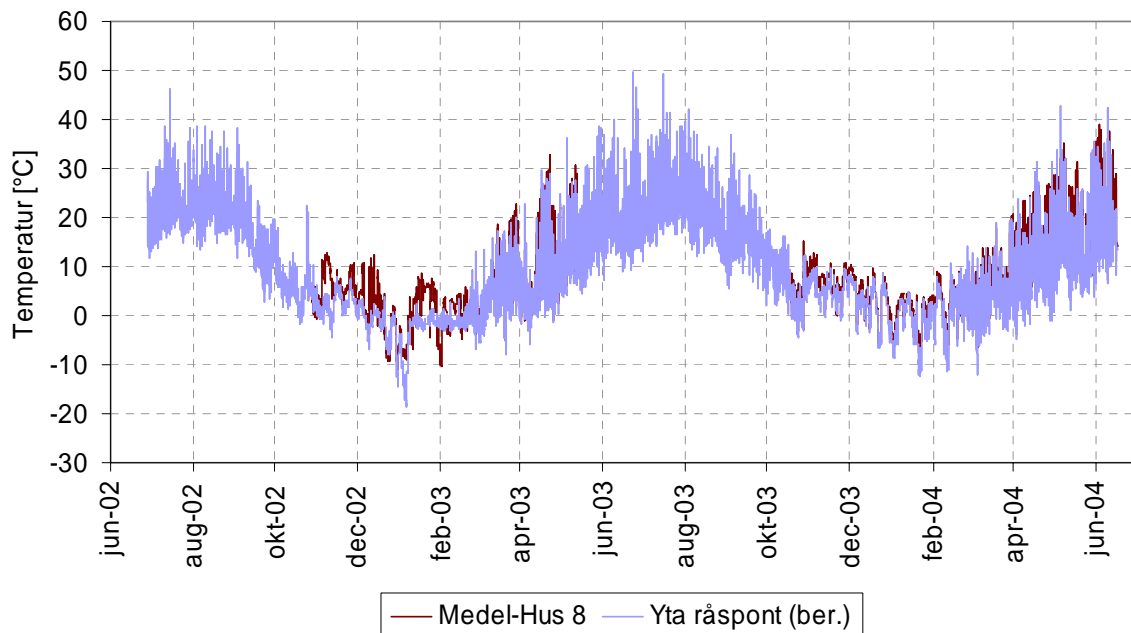


Figur 26. Medelvärden av RF-mätningar (%) i Hus 7 samt beräknad relativ fuktighet (-) vid invändig yta av cellplast.

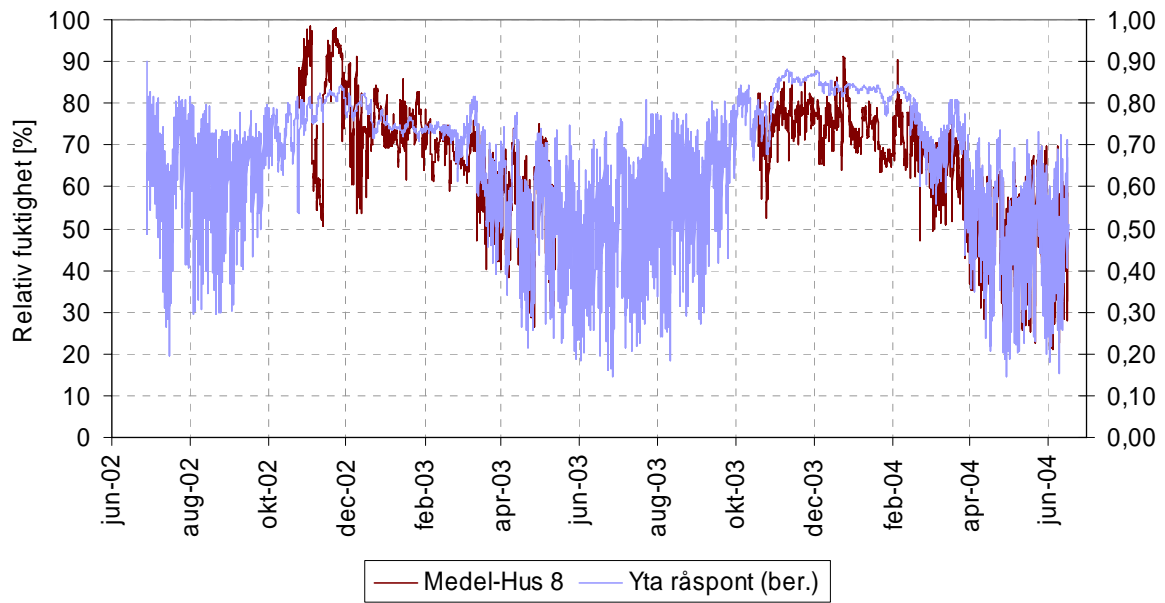


Figur 27. Medelvärden av "ånghaltsmätningar" (g/m^3) i Hus 7 samt beräknad ånghalt vid invändig yta av cellplast.

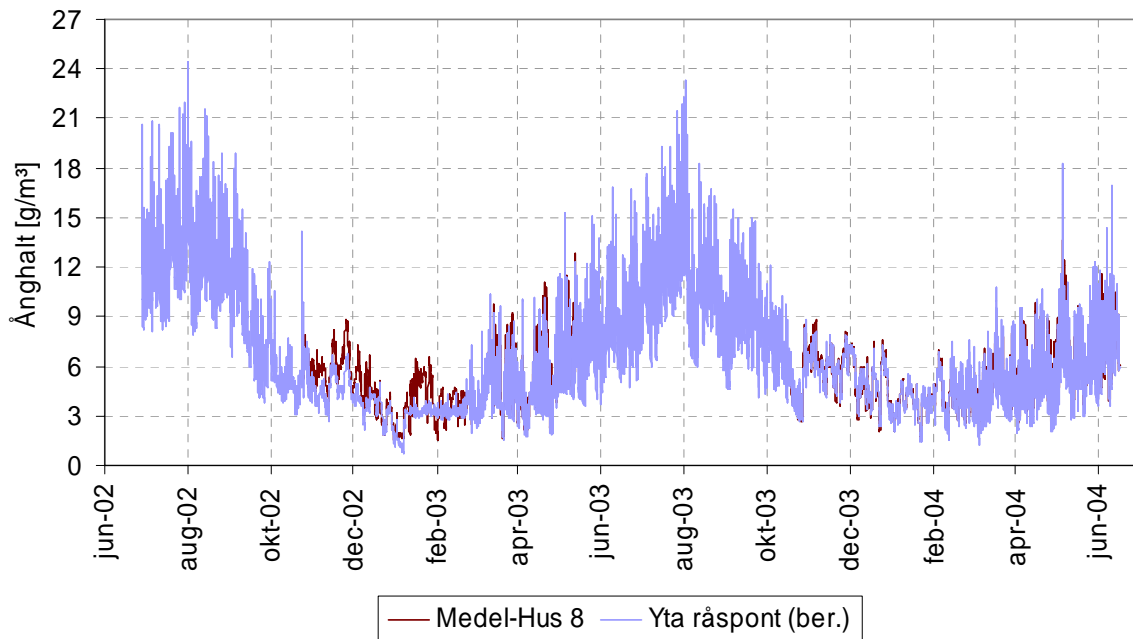
5.3 Hus 8 (värmekällor)



Figur 28. Medelvärden av temperaturmätningar ($^{\circ}\text{C}$) i Hus 8 samt beräknad temperatur vid invändig yta av råspons.

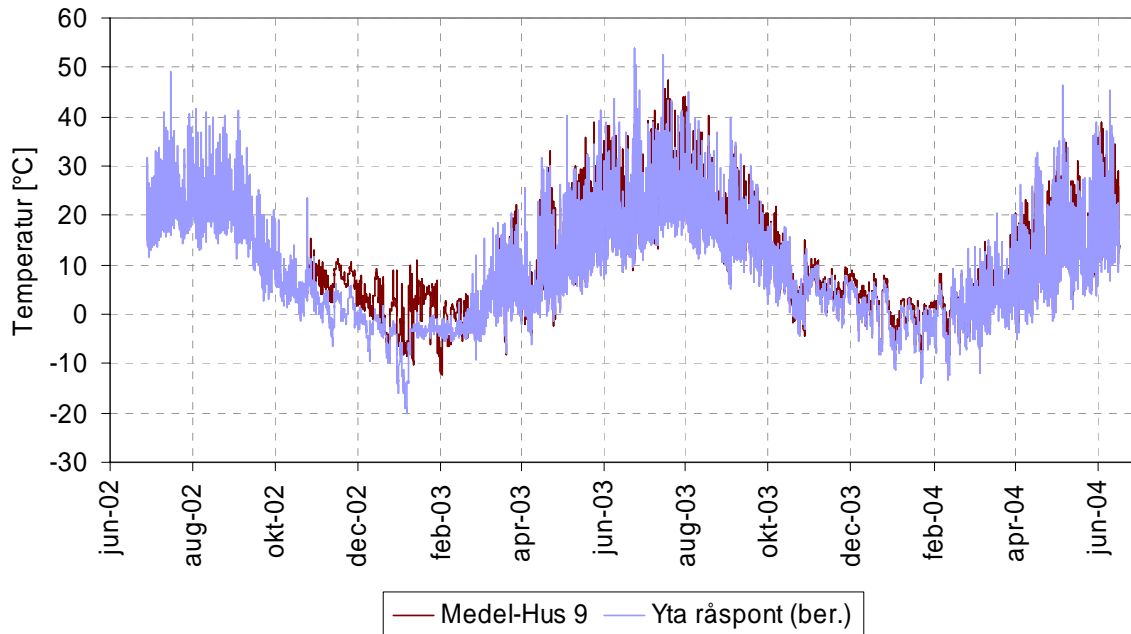


Figur 29. Medelvärden av RF-mätningar (%) i Hus 8 samt beräknad relativ fuktighet (-) vid invändig yta av råspont.

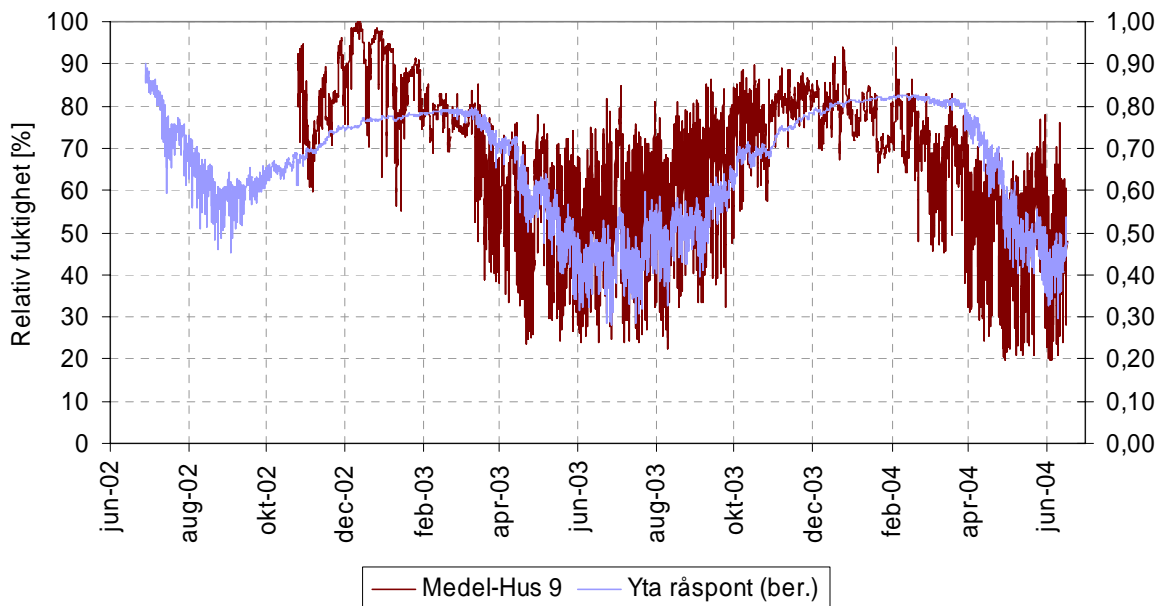


Figur 30. Medelvärden av "ånghaltsmätningar" (g/m³) i Hus 8 samt beräknad ånghalt vid invändig yta av råspont.

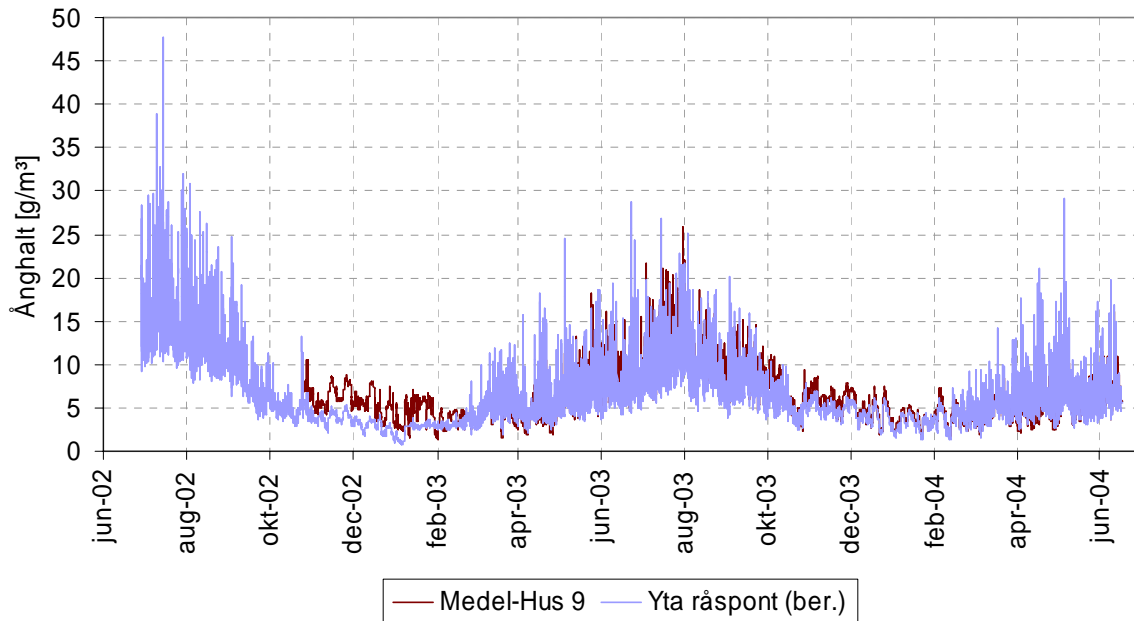
5.4 Hus 9 (reducerad ventilation)



Figur 31. Medelvärden av temperaturmätningar (°C) i Hus 9 samt beräknad temperatur vid invändig yta av råspont.

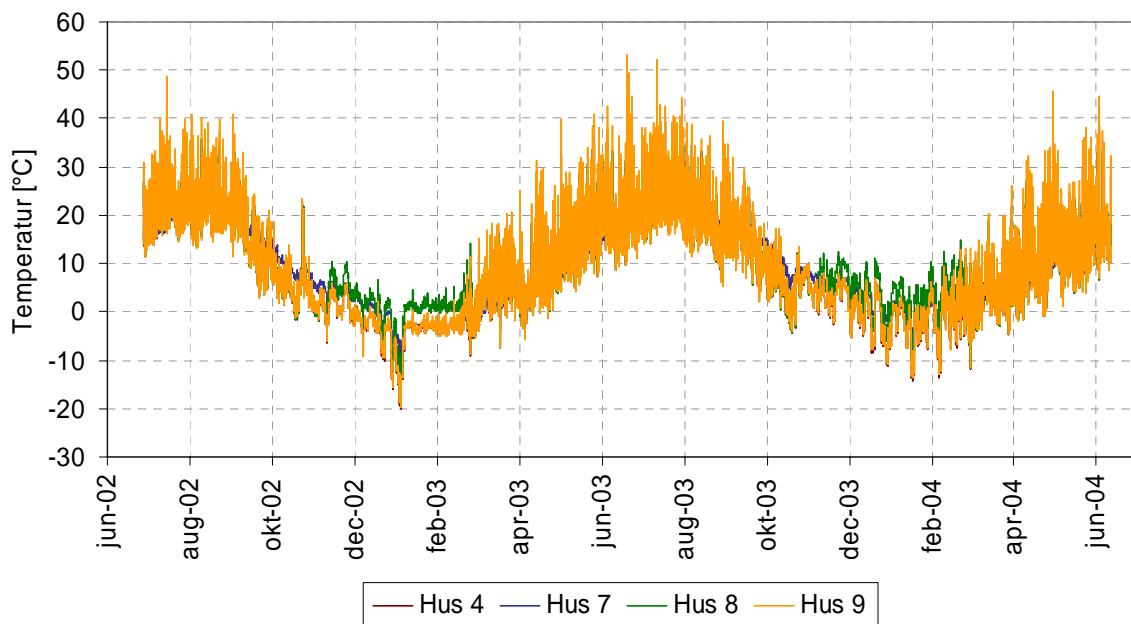


Figur 32. Medelvärden av RF-mätningar (%) i Hus 9 samt beräknad relativ fuktighet (-) vid invändig yta av råspont.

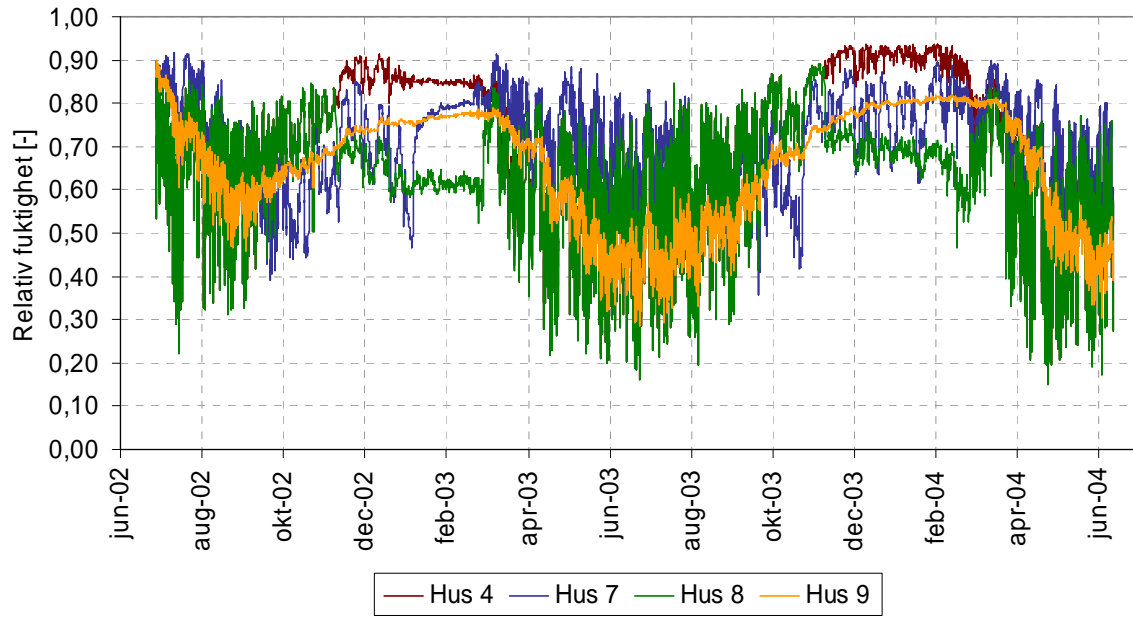


Figur 33. Medelvärden av "ånghaltsmätningar" (g/m^3) i Hus 9 samt beräknad ånghalt vid invändig yta av råspont.

5.5 Jämförelser mellan husen



Figur 34. Beräknade lufttemperaturer ($^{\circ}\text{C}$) i de fyra vindsutrymmena.



Figur 35. Beräknade relativa fuktigheter (-) i de fyra vindsutrymmena.

6 Diskussion och slutsatser

Följande diskussion och slutsatser baseras på mätningar och beräkningar. Ett hus i taget kommenteras varefter några sammanfattande kommentarer följer.

6.1 Hus 4. Referenshus

- Temperaturerna varierade mellan -15°C och $+45^{\circ}\text{C}$. Det var små variationer mellan de olika åren. Amplituden var störst på sommaren, $20-25^{\circ}\text{C}$. På vintern reducerades amplituden till $5-10^{\circ}\text{C}$.
- Ånghalten varierade mellan 1 och 24 g/m^3 . På sommaren var amplituden $8-12\text{ g/m}^3$, och på vintern $2-4\text{ g/m}^3$.
- Relativa fuktigheten varierade mellan 25 % och 95 %. Liksom för temperaturen och ånghalten var amplituden störst på sommaren 25-50 %. På vintern var amplituden 5-20 %.
- Fukttillskottet hade sitt maximum under första sommaren, 15 g/m^3 . Fukttillskotten under sommaren 2003, som kan anses vara mer representativt för konstruktionen var maximalt 8 g/m^3 . Från medelvärden registrerades endast små fukttillskott under vintern.
- Fuktkvotmätningarna i takstolar visade på ganska konstanta värden vid normal drift. Mätvärdena låg mellan 8,5 % och 10 %.

6.2 Hus 7. Värmeisolering under råspont

- Temperaturerna varierade mellan -10°C och $+40^{\circ}\text{C}$. Det var små variationer mellan de olika åren. Amplituden var störst på sommaren $20-25^{\circ}\text{C}$. På vintern var den $5-10^{\circ}\text{C}$.
- Ånghalten varierade mellan 1 och 25 g/m^3 . Amplituden var störst på sommaren $5-12\text{ g/m}^3$, medan den på vintern minskade till $1-3\text{ g/m}^3$.
- Relativa fuktigheten varierade mellan 30 % och 100 %. De höga värdena registrerades under oktober och november 2002. Under denna period genomfördes kompletterande gjutning med lättballastbetong, 200-300 mm över samtliga mellanbjälklag. Byggfukten från detta arbetsmoment beaktades inte tillräckligt utan ett rejält fukttillskott skapades. Den fuktiga luften kunde fritt strömma upp på vinden genom vindsluckan som olyckligtvis var öppen. Då detta uppmärksammades vidtogs genast avfuktande åtgärder. Relativa fuktigheten sjönk därefter snabbt. En annan anledning till de höga värdena är att cellplastisoleringen, som ligger på insidan av råsponten, medför att fuktbuffringen i råsponten reduceras. Amplitud var störst på sommaren 15-30 %, medan den på vintern reducerades till 5-10 %.
- Fukttillskottet hade sitt maximum under hösten 2002, 17 g/m^3 , på grund av betonggjutning. Fukttillskotten under sommaren 2003 var maximalt 11 g/m^3 . Knappast något fukttillskott överhuvudtaget registrerades under vintern vid normala förhållanden.
- Fuktkvotmätningarna i takstolar visade på högre värden under byggtiden. Dessa förhöjda värden var märkbara under minst ett halvt år. Därefter låg mätvärdena mellan 8 % och 9 %.

I jämförelse med referenshuset (hus 4) ligger temperaturerna generellt högre, ånghalten något högre på sommaren samt något lägre på vintern, relativa fuktigheten varierar mindre, högre fukttillskott registreras under sommaren samt något mindre under vintern. Fuktkvotmätningarna visar på något lägre värden i jämförelse med referenshuset.

6.3 Hus 8. Värmekällor

- Temperaturerna varierar mellan -10°C och $+35^{\circ}\text{C}$, dock saknas mätdata för juni-oktober 2003. Variationerna är små mellan de olika åren. Amplituden var störst på sommaren, $20-25^{\circ}\text{C}$, medan den sjönk till $5-10^{\circ}\text{C}$ på vintern.
- Ånghalten varierade mellan 1 och 16 g/m^3 . Amplituden var störst på sommaren, medan den på vintern låg på $2-4\text{ g/m}^3$.
- Relativa fuktigheten varierade mellan drygt 20 % och knappt 100 %. Värden nära 100 % mättes upp i samband med kompletterande gjutning på samma sätt som är beskrivet under hus 7. Effekten av pågjutningen blev dock mindre i hus 8. Amplituden var störst på sommaren 20-30 %, medan den på vintern sjönk till 5-15 %.
- Fukttillskottet hade sitt maximum under sommaren 2002, 6 g/m^3 . Knappt något fukttillskott överhuvudtaget registrerades under vintern.
- Fuktkvotmätningarna i takstolar visade på värden mellan 7,5 % och 9 %, under sista året av mätperioden.

I jämförelse med referenshuset (hus 4) ligger temperaturerna generellt något högre under uppvärmningssäsongen, medan relativa fuktigheten ligger något lägre. Ånghalten, under de perioder då mätvärden finns tillgängliga, är likartad med referenshuset. De högre värdena för fukttillskottet under november december 2002 beror på kompletterande betonggjutning på mellanbjälklagen, i övrigt är fukttillskottet likartat med referenshuset. Fuktkvotmätningarna visar på något lägre värden i jämförelse med referenshuset.

6.4 Hus 9. Reducerad ventilation

- Temperaturerna varierade mellan -10°C och $+45^{\circ}\text{C}$. Det var små variationer mellan de olika åren. Amplituden var störst på sommaren, $20-25^{\circ}\text{C}$, medan den på vintern var $5-15^{\circ}\text{C}$.
- Ånghalten varierade mellan 2 och 25 g/m^3 . Amplituden var störst på sommaren, $5-15\text{ g/m}^3$, och $1-4\text{ g/m}^3$ på vintern.
- Relativa fuktigheten varierade mellan drygt 25 % och knappt 100 %. Värden nära 100 % mättes upp i samband med kompletterande gjutning på samma sätt som är beskrivet under hus 7 och 8. Effekten i detta hus blev dock något mindre än i hus 7. Amplituden var störst på sommaren, 20-35 %, och 5-20 % på vintern.
- Fukttillskottet hade sitt maximum under sommaren 2002, 11 g/m^3 . Knappast något fukttillskott överhuvudtaget registrerades under vintern.
- Fuktkvotmätningarna i takstolar visade på högre värden under byggtiden. Dessa förhöjda värden var märkbara under hela mätperioden. Mätvärdena vid normal drift låg mellan 8 % och 10 %.

I jämförelse med referenshuset (hus 4) ligger temperaturerna något högre på sommaren och ungefär på samma nivå under andra vintern. Relativa fuktigheten ligger lägre på sommaren men ungefär lika på vintern. Ånghalten varierar i högre grad under sommarperioden. Fukttillskottet är förhöjt under första vintern (p.g.a. kompletterande pågjutning), och även högre än i referenshuset under sommarperioderna, men lägre under vintern 2003-2004. Fuktkvotmätningarna visar på något högre värden i jämförelse med referenshuset.

6.5 Hus Majrogården

- Temperaturerna varierade mellan -10°C och $+35^{\circ}\text{C}$. Det var små variationer mellan de två åren. Amplituden var störst på sommaren, $15-20^{\circ}\text{C}$, medan den på vintern var $5-10^{\circ}\text{C}$.
- Ånghalten varierade mellan 2 och 17 g/m^3 . Amplituden var störst på sommaren, $2-8\text{ g/m}^3$, och $2-4\text{ g/m}^3$ på vintern.
- Relativa fuktigheten varierade mellan 30 % och drygt 90 %. Amplituden var störst på sommaren, $15-30\%$, och $5-15\%$ på vintern.
- Fukttillskottet hade sitt maximum under sommaren 2006, 7 g/m^3 , medan normala sommarvärden är $3-4\text{ g/m}^3$. Fukttillskottet på vintern överstiger sällan 1 g/m^3 .
- Fuktkvotmätningarna i takstolar och råspont visade på något förhöjda värden under byggtiden. Mätvärdena vid normal drift låg mellan 10 % och 13 %.

I figur 10 redovisades månadsmedeltemperatur på vinden baserat på medelvärden från de fyra loggrarna samt utomhus. Vi kan konstatera att det alltid är varmare i vindsutrymmet än vad det är utomhus. I figur 11, som visar temperaturskillnaderna mellan vind och utomhus, ser vi detta tydligare. På vintern är det ca 0,5 till 3 grader varmare på vinden och på sommaren mellan 2 och 3,5 grader varmare. Under kortare tidsperioder är variationerna större. I figur 15 redovisas månadsmedelvärden för den relativa fuktigheten i vindsutrymmen. Vi ser tydligt att den relativa fuktigheten alltid, både vinter och sommar, är lägre på vinden jämfört med utomhus. I figur 17 redovisas månadsmedelvärde för ånghalter (g/m^3) på vinden samt utomhus. Ånghalten är mestadels något högre på vinden än utomhus. Detta framgår också tydligt i figur 19 där fukttillskottet redovisas. Eftersom skillnaden blir allt större ju längre fram i uppvärmningssäsongerna vi kommer tyder detta på ett visst luftläckage från bostads- till vindsutrymme. Detta stämmer väl med att de termiska drivkrafterna är störst under vintern då temperaturskillnaderna är som störst. I figur 21 redovisas medelvärden av fuktkvoten i takstolar och råspont. Vi kan konstatera att fuktkvoten är något högre i råsponten jämfört med takstolarna. Vid samtliga mättillfällen har dock värdena varit på nivåer långt under de kritiska.

6.6 Sammanfattande iakttagelser och kommentarer

Eftersom mätningarna har genomförts under olika tidsperioder, och därför inte är direkt jämförbara har vi valt att dela upp våra sammanfattande iakttagelser och kommentarer i två avsnitt.

6.6.1 Paradsängen

Vi har i detta resonemang valt att titta på perioden juni 2003 – juni 2004 eftersom denna period är mest representativ för husen vid normal drift.

Gemensamt för samtliga vindar är att lufttemperaturen nästan alltid är högre på vindarna i jämförelse med uteluften, se figur 8 samt tabell 1. Hus 7 och 8 uppvisar de högsta lufttemperaturerna. För dessa hus är temperaturerna alltid högre än i hus 4, referenshuset. Under vintern, oktober 2003 – mars 2004, är det hus 7 som uppvisar de högsta temperaturerna. I hus 9, reducerad ventilation, är temperaturerna under vintern lägre än referenshuset, medan det omvända gäller under sommaren.

Fukttillskottet under vintern 2003-2004 är mycket litet. Detta tyder på att det inte sker något luftläckage underifrån, vilket ur fuktsäkerhetssynpunkt är positivt. Den skillnad i fukttillskott som dock finns mellan husen visar på ett lägre fukttillskott under vintern för samtliga tre hus i

jämförelse med referenshuset. Fukttillskottet på sommaren ligger i storleksordningen $0,5 \text{ g/m}^3$ för samtliga hus, se figur 18. Detta kan bero på mätfel, läckage från nederbörd eller lokal kondensation i närheten av takfot. Det är dock inte troligt att fukttillskottet härrör från att ineluften läcker ut i vindsutrymmet.

Fukttillskottet är mycket högt i samband med gjutning och pågjutning av betong på mellanbjälklagen. Det är viktigt att luft- och ångtätande åtgärder mellan vindsutrymme och underliggande lokaler utförs i ett tidigt skede. Plastfolie, tätningar av genomföringar och anslutningar samt tät vindslucka är direkt avgörande för en acceptabel fuktnivå i vindsutrymmet. En dålig luft- och ångtäthet kan få negativa konsekvenser under mycket lång tid framåt, se figurerna 12 och 13 samt tabell 3. Detta är en mycket viktig lärdom inför framtiden.

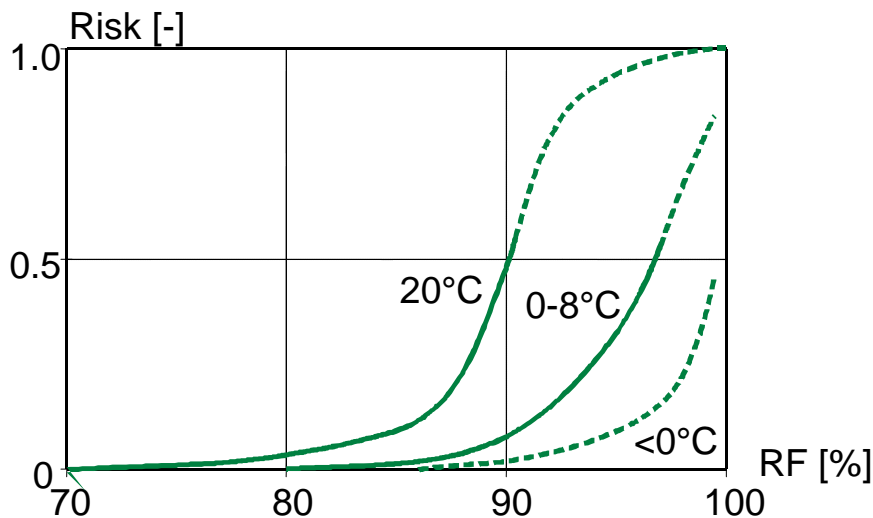
Enligt resonemanget ovan är således reducering av ventilationen en olämplig åtgärd under byggskedet. Däremot bör den, med gott resultat, kunna genomföras under driftsskedet under förutsättning att god lufttäthet gentemot bostadsutrymmen kan garanteras under byggnadens hela livslängd. Användning av reducerad ventilation bör ytterligare studeras och nya tekniker provas och utvecklas.

Isolering på utsida av råspont bör fungera väl tillsammans med normal underlagspapp. Vid användning av nya material såsom ”ångbroms” i kombination med relativt ångtät cellplast försvinner ångbromsens funktion helt eller delvis. Detta bör vidare undersökas.

Beräkningsmässigt är samtliga åtgärder gynnsamma och minskar risken för fuktskador, se figur 34-35. Jämförelser mellan beräkningar och mätningar visar på god överensstämmelse. Generellt är skillnaderna störst under vintern, beräkningarna ligger dock på säkra sidan, det vill säga beräkningarna ger högre relativa fuktigheter än vad mätningarna visar. Korttidsvariationerna underskattas dock av beräkningarna, speciellt under vintern. Uppskattningar av luftomsättningen på vindarna verkar stämma. De beräkningsverktyg som här använts lämpar sig således väl för parameterstudier.

6.6.2 Majrogården

Mätningarna visar att temperaturen på vinden alltid är högre än utomhus under mätperioden. Eftersom mätnadsånghalten i luft stiger med ökande temperatur kommer detta att leda till en sänkning av den relativa fuktigheten i vindsluften i jämförelse med uteluften. Det stämmer med de värden som registrerats för relativa fuktigheten d.v.s. den relativa fuktigheten på vinden är alltid lägre än utomhus. Detta innebär att temperaturökningen i vindsutrymmet mer än väl kompenserar för det tidigare redovisade fukttillskottet, d.v.s. den relativa fuktigheten är lägre än utomhusluften trots att vi har ett fukttillskott på vinden under uppvärmningssäsongen. Mellan mars och september 2005 och 2006 ligger vi alltid under 75% relativ fuktighet, d.v.s. under nivån för mögelrisk enligt figur 36 och kapitel 6:5 i BBR (2006). Mellan oktober och februari ligger vi mellan 79% och 88% relativ fuktighet. Månadsmedeltemperaturen på vinden under denna årstid varierar mellan $-0,6$ och $+10,8^\circ\text{C}$. Genom att kombinera mätresultaten från figur 10 och 15 med figur 36 ser vi att den maximala mögelrisken baserat på månadsmedelvärden är 0,02 och inträffar i oktober 2004. Om vi antar att det finns en viss mängd kvarvarande byggfukt i början av mätperioden blir den maximala mögelrisken under normala förhållanden 0,01 och inträffar i oktober 2005 och 2006. Fuktkvotmätningarna i råspont och takstolar visar på låga värden. Från figur 21 ser vi också att fuktkvoten i råsponten nästan alltid är något högre än i takstolarna.



Figur 36. Risk för mögelpåväxt vid olika fukttillstånd för virke som hanterats på ett omsorgsfullt sätt. Värdena för lägre temperaturer är mycket osäkra (Nevander&Elmarsson, 1994).

Ånghalten på vinden följer i stora drag variationerna utomhus, möjligen med en viss fasförskjutning. Ånghalten på vinden är under sommarmånaderna något lägre än utomhus vilket betyder negativa fukttillskott. En orsak kan vara att vindsluften avfuktas genom att kondens fälls ut på råsponten under kalla klara nätter, för att sedan antingen torka ut genom yttertakets eller vid senare tillfälle återföras till vindsluften som ett fukttillskott. Fukt från vindsutrymmet kan diffundera genom råspont och diffusionsöppen underlagstäckning. Detta innebär att den fukt som ackumuleras i råspont och takstolar inte nödvändigtvis behöver återföras till vindsutrymmet. Den eventuella uppfuktningen av råsponten som en följd av nattutstrålningen blir också mindre när ventilationen är lägre. En fördel med reducerad ventilation är att risken för nattutstrålning och den därmed sammanhängande risken för kondens vid takfoten minskar. Ovanstående resonemang gäller även under vintern. Utan denna effekt skulle vi sannolikt mätt upp ett högre värde på fukttillskottet under vintern. En annan fördel med att reducera ventilationen vid takfot och gavelspetsar är att risken för snöinträngning minskar, snö som senare smälter och kan orsaka fukt och mögelskador. Det är dock viktigt att komma ihåg att ombesörja en god ventilation av vindsutrymmet under byggskedet. Därför är det viktigt att ventilationsöppningar går att öppna och stänga efter behov.

Slutsatsen från denna fallstudie är att reducerad ventilation i kombination med diffusionsöppen underlagstäckning på råspont tycks minska risken för fukt och mögelskador i jämförelse med en traditionellt ventilerad vind med underlagspapp på råspont.

7 Referenser

Boverket. Regelsamling för byggregler – Boverkets byggregler, BBR. ISBN 91-7147-960-0. Boverket, juni 2006.

Elmroth Arne & Samuelson Ingemar. Den nya trästaden – erfarenheter från Bo92, SP-Rapport 1996:21, Borås 1996.

Larsson Lars-Erik. Kallvindsutrymmen, P-95:1, Arb. Nr. 851, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, 1995.

Nevander L E & Elmarsson B. Fukthandbok. ISBN 91-7332-716-6. Svensk Byggtjänst, Stockholm 1994.

Samuelson Ingemar. Fuktbalans i kalla vindsutrymmen, SP Rapport 1995:68, Borås, 1995.

Sasic-Kalagasidis Angela. Ham-Tools. An Integrated Tool for Heat, Air and Moisture Transfer Analyses in Building Physics, P-04:1 arb nr 985, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, 2004.