

Avdelningen för Byggnadsfysik
Rapport TVBH—22/3071
Lund 2022

Fallstudie i provhus med uteluftventi- lerat vindsutrymme

- Mätningar och simuleringar

Lars-Erik Harderup



LUNDS
UNIVERSITET

Fallstudie i provhus med uteluftventilerat vindsutrymme

Mätningar och simuleringar

Lars-Erik Harderup

Avdelningsrapport

Avdelningen för Byggnadsfysik
Institutionen för Bygg- och miljöteknologi
Lunds Universitet
Box 118
221 00 Lund

© Lars-Erik Harderup

ISRN LUTVDG/TVBH—22/3071—SE(172)

ISSN 0349-4950

ISBN 978-91-88722-73-7

Institutionen för bygg- och miljöteknologi

Lunds tekniska högskola

Lunds universitet

Box 118

221 00 LUND

Titel:

Fallstudie i provhus med uteluftventilerat vindsutrymme. -Mätningar och simuleringar

Författare: Lars-Erik Harderup

Nyckelord: kalla vindar, provhus, fuktillstånd, underlagstak, mätningar, simuleringar

Sammanfattning

Omfattningen av fukt- och mögelskador på uteluftsventilerade kalla vindar har ökat under de senaste decennierna. Detta beror på ett flertal samverkande faktorer såsom ett välisolerat vindsbjälklag samt byte från lokal värmekälla med varm skorstensstock till andra uppvärmningsformer som inte bidrar till uppvärmningen av vindsutrymmet. Enligt gängse rekommendationer ska kalla vindsutrymmen ventileras med utomhusluft för att undvika att värmeläckaget från bostaden värmer upp den yttre takytan vintertid, vilket kan leda till snösmältning på takytan och istappar vid den ouppvärmda takfoten. Med allt mer välisolerade vindsbjälklag kommer dock klimatet i vindsutrymmet att mer och mer likna utomhusklimatet, åtminstone under mulna vinterdagar. Det ursprungliga huvudsyftet med ventilationen är därmed inte längre lika aktuellt. Däremot leder den lägre temperaturen till att den fuktupptagande förmågan för luften minskar. Det innebär att fuktig luft som kan transporteras till vinden från inomhusluften via diffusion och fuktkonvektion genom otätheter ger ökad risk för fuktrelaterade skador. Även vatten från små och tillfälliga vattenläckage eller ackumulerad fukt får svårare att torka ut. I dessa tak är det framförallt i yttertakens inneryta som fuktproblem kan uppstå. Hög RF eller kondens kan leda till mögel, blånad och röta på träbaserade material (Arfvidsson et al, 2017).

I ett kallt ventilerat vindsutrymme finns alltid ett yttertak som måste vara tätt mot både snö och smältvatten, vilket medför att det också finns material i konstruktionen som gör det mer eller mindre tätt mot vattenånga. I traditionella yttertak utgörs tätskiktet ofta av en underlagspapp på råspont. Som ett alternativ till den traditionella underlagstäckningen kan istället användas en mindre diffusionstät ångbroms. Enligt (Arfvidsson et al, 2017) kan detta ibland vara en lämplig lösning. Risken för fuktskador under byggskedet måste dock beaktas.

För att undersöka om det blir några skillnader i klimatet på en kall vind och dess omgivande byggnadsdelar med traditionellt underlagstak jämfört med en modern ångbroms har fältmätningar genomförts i ett provhus intill LTH i Lund. Resultaten från fallstudien visar att det inte blir några avgörande skillnader i fuktillstånd vid en jämförelse mellan två olika underlagsmaterial på råspont. De undersökta underlagstaken var traditionell takpapp och en diffusionsöppen underlagsprodukt. I de fall skillnader kunde konstateras var dessa små, men oftast till fördel för det diffusionsöppna underlagstaket.

Resultat från en relativt omfattande litteraturstudie redovisas, med ett kort separat referat för varje enskild rapport. Litteraturstudien visar att intresset för kalla tak ventilerade med uteluft är av stort intresse, både nationellt och internationellt. I många fall kommer man fram till ungefär samma slutsatser. Nämligen att uteluftsventilerade vindar är en riskkonstruktion, speciellt om de är välisolerade. Det varnas också för att tilläggsisolera befintliga byggnader utan att först genomföra en grundlig analys om vad detta kan leda till ur fuktsynvinkel. Som ett stickspår innehåller litteraturstudien även några referat med parallelltak som ventileras med uteluft, samt kompakta tak med diffusionsöppna taktäckningar. I många rapporter inom områden framhålls också vikten av väl genomtänkta lösningar och ett noggrant arbetsutförande.

Abstract

In recent decades, moisture and mould damage to outdoor ventilated attics has increased. This is due to several interacting factors, such as a well-insulated attic floor and a change from a local heat source with a warm chimney to other forms of heating that do not contribute to the heating of the attic. According to old recommendations, cold attics should be ventilated with outdoor air to avoid the heat leakage from the living area heating the outer roof surface in winter, which can lead to melting snow on the roof surface and icicles on unheated eaves. With increasingly well-insulated attic floors, however, the climate in the attic will become more and more similar to the outdoor climate, especially during cloudy winter days. The original primary purpose of ventilation is thus no longer as relevant. The lower temperature also leads to a decrease in the moisture absorption capacity of the air. This means that moist air that can be transported to the attic from the indoor air via diffusion and convection through leaks increases the risk of moisture-related problems. Even water from minor and temporary water leaks or accumulated moisture makes it harder to dry out. High relative humidity or condensation can lead to mould, blue fungus and even rot on wood-based materials (Arfvidsson et al., 2017).

On a cold-ventilated attic, there is always an outer roof that must be tight against snow and meltwater, which means that there are also materials in the construction that make it more or less vapour tight. In traditional roofs, the waterproofing layer often consists of an asphalt-impregnated paperboard on a tongued and grooved board. As an alternative to the conventional solution, a less diffusion-tight product is used instead. According to (Arfvidsson et al., 2017), this can sometimes be a suitable solution. However, the risk of moisture damage during the construction phase must be considered.

Field measurements have been carried out in a test house close to LTH in Lund to investigate whether there will be any differences in the climate on a cold attic and its surrounding building parts with a traditional outer roof compared to a modern product with less vapour resistance. The case study results show no decisive differences in moisture conditions when comparing two different surface materials on a tongued and grooved board. The outer roofs examined was traditional roofing felt and a diffusion-open product. In cases where differences could be found, these were small but usually to the advantage of the diffusion-open product.

Results from a relatively extensive literature study are reported, with a separate summary for each report. The literature study shows that the interest in cold roofs ventilated with outdoor air is of great interest, both nationally and internationally. In many cases, approximately the same conclusions are reached. Namely that outdoor ventilated attics are a risk construction, especially if they are well insulated. There is also a warning to additionally insulate existing buildings without first conducting a thorough analysis of what this can lead to from a humidity point of view. The literature study also contains articles on parallel roofs ventilated with outdoor air and compact roofs with diffusion-open roof coverings. Many reports within this area emphasize the importance of well-thought-out solutions and careful work execution.

Förord

Initiativtagare till projektet var Johan Bergström, Trelleborg Building Systems, numera verksam vid Strängbetong samt Lars-Erik Harderup, LTH. Arbetet har genomförts med ekonomiskt stöd från Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF, projektnummer 11765. Projektledare har varit Lennart Skog från NCC. Även Niklas Sparw från NCC och Jasper Cole från Trelleborg Building Systems har medverkat i projektet. NCC:s byggserviceenhet i Lund hjälpte till vid ombyggnaden av taket på provhuset. Trelleborg Building Systems har bidragit med material och även delfinansiering för ombyggnaden av taket på provhuset.

Av många olika skäl har det tagit oerhört lång tid att slutföra projektet. Detta medför att de resultat som redovisas gäller för produkter som användes omkring år 2005.

Författaren tackar alla inblandade för det fantastiska tålamod som ni alla har visat för att slutföra projektet.

Lund i mars 2022

Lars-Erik Harderup

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	iii
Abstract	v
Förord	vii
Innehållsförteckning.....	ix
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.1.1 Tänkbara fördelar med diffusionsöppna underlagstak	3
1.1.2 Tänkbara nackdelar med diffusionsöppna underlagstak.....	4
1.2 Syfte.....	4
1.3 Metoder	5
2 Litteraturstudie	5
2.1 Assessment of hygrothermal performance and mould growth risk in ventilated attics in respect to possible climate changes in Sweden.....	6
2.2 Hygrothermal conditions in cold, north facing attic spaces under the eaves with vapour-open roofing underlay in a cool, temperate climate.....	8
2.3 Field Study on the Thermal and Hygrothermal Performance of Insulated Ventilated Nail Base System.....	10
2.4 Impact of Cool Roofing Membranes on the Hygrothermal Performance of Low-Sloped Roof Structures in Timber Construction.....	10
2.5 Field Measurements of Moisture in Cold Ventilated Attics with Different Types of Insulation Materials and Vapor Barrier	13
2.6 The performance of unventilated wooden roofs with smart vapour barriers during winter conditions.....	13
2.7 Vapour resistance of modern roof underlay products at real winter conditions	15
2.8 Moisture conditions in a cold attic – Case study of design	18
2.9 Riskanalyser för ventilerade kallvindskonstruktioner	19
2.10 Smart Vapour Barriers in Compact Wood Frame Roofs.....	20
2.11 Highly insulated, ventilated, wood-framed attics in cool marine climates..	22
2.12 Advanced modelling of vapor resistance of moisture dependent vapor retarder	24
2.13 Field measurements of moisture variation in cold ventilated attics with different ceiling constructions.	25
2.14 Hygrothermal behaviour of compact roofs in wood frame constructions through on-site measurements.....	26
2.15 Measured temperature and moisture conditions in the roof attic of a one-and-a-half story house	27
2.16 Ventilated wooden roofs: Influence of local weather conditions - measurements	28
2.17 Fuktanalys av klimatvind – Mögelproblematik på vindsutrymme	29
2.18 Fuktproblem på kallvindar. En riskbedömning av olika byggtkniska lösningar i Sydsverige	31
2.19 Fuktrisker i kallvindsutrymmen – problem och förbättringsmetoder.....	31
2.20 Fuktproblem i uteluftsventilerade kallvindar	32

2.21	Metoder för spårgasmätning i kalla vindsutrymmen.....	33
3	Fallstudie	35
3.1	Genomförande	35
3.2	Kalibrering.....	37
3.3	Fukttillskott	40
3.4	Mätresultat.....	41
3.4.1	Loggermätningar	41
3.4.2	Fuktkvot.....	54
3.4.3	Mätresultat mellan råspont och underlagstäckning	61
4	Simuleringar	77
5	Jämförelser mellan simuleringar och mätningar	79
5.1	Temperatur	80
5.1.1	Under takpannor	81
5.1.2	Vindsutrymmen	84
5.1.3	Mellan råspont och underlagstäckning.....	86
5.2	Relativ fuktighet.....	90
5.2.1	Under takpannor	90
5.2.2	Vindsutrymme	93
5.2.3	Mellan råspont och underlagstäckning	96
5.2.4	Råspont.....	98
6	Energibehov.....	101
7	Applicering av undertaket	103
	Referenser.....	105
	Bilaga A – Mätresultat-Hobo	111
	Bilaga B Mätresultat-Honeywell.....	129
	Bilaga C Inställningar WUFI Pro 6.4	153
C.1	Inställningar	153
C.1.1	Uppbyggnad/Monitorposition.....	153
C.1.2	Orientering/Lutning/Höjd	154
C.1.3	Ytövergångskoefficienter.....	154
C.1.3.1	Yttre yta	154
C.1.3.2	Inre yta	154
C.1.4	Begynnelsevillkor	154
C.1.5	Tid/profil.....	154
C.1.6	Numerik	155
C.1.7	Utomhus.....	155
C.1.8	Inomhus	156
C.1.9	Parametrar.....	156
C.1.10	Begränsningar	156
C.1.11	Luftomsättning.....	157

1 Inledning

Taket har ett flertal funktioner. Bland annat ska det skydda byggnaden mot nederbörd och konstrueras så att fuktskador undviks. Taket utsätts för olika fuktbelastningar såsom regn, snö och is i större utsträckning än ytterväggar. För det kalla taket innebär det i de flesta fall även att underlagstäckningen är ångtät. Detta innebär att fukt från utrymmet under vindsbjälklaget i princip hamnar mellan två ångtäta skikt. Av nämnda skäl brukar dessa tak ventileras, vilket också är nödvändigt för att eventuell byggfukt ska kunna torka. Det förekommer att snö yr in på vinden genom ventilationsöppningarna. Detta kan förebyggas genom att skydda springan bättre eller förse väggytan med en vindavvisare, dvs. en plåt eller trälist, som avleder luftströmmen, (Arfvidsson et al, 2017).

Enligt traditionella rekommendationer ska kalla vindsutrymmen ventileras med utomhusluft för att undvika att värmeläckaget från bostaden värmer upp den yttre takytan vintertid, vilket kan leda till snösmältning på takytan och istappar vid den uppvärmda takfoten. Med allt mer välisolerade vindsbjälklag kommer klimatet i vindsutrymmet mer och mer att likna utomhusklimatet, åtminstone under mulna dagar under uppvärmningssäsongen. Det ursprungliga huvudsyftet med ventilationen är därmed inte längre lika aktuellt. Det bör dock observeras att klimatet på vinden aldrig kan bli exakt som klimatet utomhus då detta förutsätter en oändligt hög luftomsättning.

Eftersom taket ligger högst i huset förekommer det normalt under den kalla årstiden övertryck vid taket på grund av termiska drivkrafter. Trots att fläktarna i ett FT-ventilerat hus har justerats så att inflödet är lika stort som flödet ut ur byggnaden uppkommer det övertryck under taket vid lägre utetemperaturer än som rådde vid injusteringen. Fuktkonvektion är därför en vanlig orsak till fuktskador i tak.

I det traditionella yttertaket utgörs tätskiktet ofta av en underlagspapp på råspont. Som ett alternativ till den traditionella underlagstäckningen kan istället användas en ångbroms som är mindre diffusionstät. Enligt (Arfvidsson et al, 2017) kan detta ibland vara en lämplig lösning. Risken för fuktskador under byggskedet måste dock beaktas.

1.1 Bakgrund

Omfattningen av fukt- och mögelskador på kalla vindar har ökat under de senaste decennierna. Tidigare kunde dessa utrymmen i viss mån användas som förvaringsutrymme för kläder, möbler och andra inventarier. Numera får man allt oftare mögelpåväxt både på träbaserade byggnadsdelar såsom råspont och takstolar samt på material som förvaras i dessa utrymmen. Orsaken är dels utvecklingen mot allt energieffektivare hus som skett sedan 1970-talet, dels en förändring av uppvärmningssystem från lokala till regionala. Energieffektiviseringen har lett till allt tjockare isolering i vindsbjälklaget, vilket minskar värmeflödet som i sin tur leder till lägre temperaturer på vinden,

speciellt under molniga dagar på vintern. En lägre temperatur ger också en lägre mätnadsånghalt för luften vilket minskar dess fuktupptagande förmåga och ökar risken för fuktskador. Genom att i allt större utsträckning använda regionala uppvärmningssystem såsom fjärrvärme har också skorstensstocken försvunnit från huset. Precis som fallet med tjockare isolering i vindsbjälklaget leder detta till att vindsutrymmet blir kallare och fuktigare. Konsekvenserna av nämnda åtgärder blir följaktligen att vinden blir känsligare för tillskjutande fukt från omgivningen. För att förhindra att varm och fuktig luft kommer upp på vinden ställs därför högre krav på lufttätheten i vindsbjälklaget. Risken för fuktskador är särskilt stor under byggtiden p.g.a. byggfukt och otätt bjälklag. Trots att man bygger luft- och diffusionstäta bjälklag får man ibland fuktproblem på vindarna. En bidragande orsak kan vara att nattutstrålningen får större betydelse i nya hus. Under klara nätter kan utstrålningen mot rymden medföra att insidan av yttertaket får en lägre temperatur än uteluften vilket leder till högre relativ fuktighet och även kondens. I Sverige uppmärksammas problemet redan under 1970-talet i samband med tilläggsisolering (Anderlind, Bond och Stadler, 1984). Flera projekt har genomförts för att klarlägga mekanismerna och ge förslag till säkrare lösningar (Samuelson, 1992, Samuelson, 1995 och Larsson, 1995), (Harderup & Arfvidsson, 2008). Yttertak i flera skikt, t.ex. takpannor av betong eller tegel med undertäckning, ger större värmemotstånd och därmed mindre risk för ytkondensation, (Arfvidsson et al, 2017).

Beräkningar av temperatur och relativ fuktighet över en årscykel visar att normalt utförande av konstruktionerna inte klarar kraven på fuktsäkerhet enligt BBR (Hagentoft, 2007). Beräkningarna har tagit hänsyn till att fuktig luft kan läcka upp genom ett otätt bjälklag. Men det går inte att beräkningsmässigt visa att vinden klarar sig ens om bjälklaget är helt lufttätt, (Arfvidsson et al, 2017).

I en studie som genomfördes 2001 besiktigades kalla vindar i 21 småhus av samma typ i Skåne. Husen var dels 1–3 år dels cirka 10 år gamla. Från resultaten framgår att det finns en samvariation mellan mikrobiell påväxt på underlagstaket och bjälklagsisoleringens tjocklek. Ju bättre isolering i bjälklaget desto mera påväxt på underlagstaket. De undersökta taken hade isolertjocklekar från 250 till 600 mm (Samuelson & Hägerhed Engman, 2006).

I ett examensarbete vid Chalmers (Ahrnens och Borglund, 2007), konstaterades en mycket hög förekomst av mikroorganismer på undersidan av underlagstaket. I 72 % av 72 undersökta kalla vindar fanns det ”riklig” påväxt eller riklig förekomst av sporer.

I ett examensarbete från Högskolan i Borås kommer (Hansén & Strand, 2009) fram till att ökad tjocklek på takboarden, minskad bjälklagsisolering och en låg luftomsättning ger ett varmare och torrare klimat på vinden.

Enligt (Arfvidsson et al, 2017) kan problemen i välisolerade vindar delas upp i två grupper. Dels är temperaturen vintertid på vindarna obetydligt högre än ute vilket gör dem känsliga för tillförd fukt eftersom ånghalten v är mycket nära mätnad (nära 100 % RF) och dels är vinden känslig för avkylning på grund av nattutstrålning. Kommer det fuktig luft underifrån in på vinden är risken stor för hög RF, kondens och påväxt.

Lufttätheten i bjälklaget är nödvändig för att förhindra luftrörelser inifrån och ut. Lufttätt bjälklag och säkerställt undertryck inne i byggnaden eliminerar risken för fukt på grund av konvektion.

Det ursprungliga huvudsyftet med ventilationen är inte längre lika aktuellt. Det kan dock finnas andra skäl att ventilerat vindsutrymme, 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.

I ett kallt ventilerat vindsutrymme finns alltid ett yttertak som måste vara tätt mot både snö och smältvatten, vilket medför att det också blir mer eller mindre tätt mot vattenånga. För att ta hand om inifrån kommande vattenånga samt eventuell byggfukt finns det av tradition en ventilerad luftspalt på den kalla sidan om värmeisoleringen. Ventilationen sker med uteluft som passerar igenom utrymme med vinden som huvudsaklig drivkraft. Luftrörelserna kan också åstadkommas med termisk drivkraft (skorstensverkan) eller fläktar.

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, speciellt intill den takfot där inströmningen av uteluft sker.

Vattentäta produkter med förmåga att släppa igenom vattenånga har marknadsförts i Sverige under ett flertal år. Produkterna är framförallt tänkta att användas som underlagstäckning (på fast underlagstak) och som förenklade underlagstak (folietyp). I ett avslutat SBUF-projekt undersöktes en sådan produkt i ett hus i Stockholm (Harderup & Arfvidsson, 2008).

Produkterna kan ge flera fördelar, men det finns också flera potentiella risker som måste redas ut innan vi kan lita på att dessa produkter och konstruktioner inte medför fukt-skador på takkonstruktionen.

1.1.1 Tänkbara fördelar med diffusionsöppna underlagstak

- Produkterna medger enklare takkonstruktioner eftersom ventilationsöppningar inte behöver anordnas i samma omfattning. Detta gör bygget snabbare och därmed billigare.
- Genom att avsiktligt och fullständigt stoppa ventilationen finns ingen risk att ventilationen slumpmässigt blir kraftigare eller svagare än vad som var avsett. Därmed medför dessa produkter och system att det är lättare att få konstruktionen att fungera på avsett vis.
- I parallelltak kan luftspalten slopas och istället fyllas med isoleringsmaterial vilket sänker husets energianvändning.

- Om vindsutrymmet inte ventileras minskas husets energiförluster i viss mån, vilket ger sänkt energianvändning.
- Minskad energianvändning (=minskad uppvärmningskostnad) sänker husets negativa miljöpåverkan.
- Ingen risk för igensatta ventilationsanordningar, vilket annars kan leda till fukt-skador i takkonstruktionen.
- Produkterna kan produceras i större bredd och med lättare rullar, vilket ger bättre arbetsmiljö och snabbare (=billigare) montage.
- Fukt som ackumuleras av råsponten behöver inte helt och hållet återföras till vindsutrymmet. En viss del av fukten kan istället avges uppåt genom det diffusionsöppna underlagstaket.

1.1.2 Tänkbara nackdelar med diffusionsöppna underlagstak

- Att produkterna är diffusionsöppna innebär att de även kan släppa in fukt. Eftersom vindsutrymmet är oventilerat kan detta leda till skador på takkonstruktionen. Räddningen består i att det skall finnas tillräckligt långa perioder då fukten återigen kan transporteras ut genom underlagstaket. Detta problem medför att vi måste undersöka hur fuktigt klimatet blir mellan underlagstaket och taktäckningen.
- Om det bildas is på en diffusionsöppen produkt anses att den kan förlora sin förmåga att släppa ut ånga. Därmed kan det, på en oventilerad vind, ske fuktansamling under underlagstaket hela vintersäsongen. När denna fukt smälter på våren kan takkonstruktionen ta skada.
- Produkternas beständighet (beständiga funktion) är inte väl beprövad.
- Vissa typer av produkter anses medföra en "tälteffekt" och därmed vara helt olämpliga för montage direkt mot underliggande träpanel eller isolering.
- Det finns risk att underlagstak som ligger i direktkontakt med isolering utgör en lämplig kondensutfällningspunkt (till skillnad från t.ex. mineralull), vilket kan medföra att diffunderande ånga fälls ut som kondens innan den hunnit gå ut genom underlagstaket.
- Defekta ångspärrar kan släppa upp alltför mycket ånga på vinden i förhållande till vad som kan diffundera ut genom underlagstaket.
- För att minska effekten av nattutstrålning, har man i försök på SP (numera RISE), applicerat cellplast utanpå en traditionell underlagspapp. Om cellplast läggs på en diffusionsöppen produkt minskar uttorkningspotentialen. Detta kan leda till att uttorkningspotentialen reduceras, vilket eventuellt kan leda till skador.
- Under byggnadsskedet kan fukt från uttorkning av material oavsiktligt ledas upp på vinden. Även detta fall kan medföra att alltför mycket ånga leds upp på vinden i förhållande till vad som kan diffundera ut genom underlagstaket.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att undersöka fukt- och temperaturtillstånd i en byggnad med kall vind försedd med diffusionsöppet underlagstak. Detta har skett genom insamling

av mätdata i ett provhus på LTH. Mätdata från underliggande utrymme, vindsutrymme, råspont, takstolar, mellan underlagstäckning och yttertak, mellan underlagstäckning och takpannor samt omgivande klimat har samlats in kontinuerligt. Resultaten kan förhoppningsvis användas för att ge mer generella rekommendationer och anvisningar vid användning av diffusionsöppna underlagstak på kalla vindsutrymmen avseende främst fuktsäkerhet. I en mycket begränsad intervjustudie har ett fåtal personer frågats om skillnaden i att applicera traditionell underlagspapp jämfört med den diffusionsöppna produkt som undersökts i detta projekt.

1.3 Metoder

De metoder som använts inom projektet är litteratursökning via olika källor, främst via nätet. Resultat från litteraturstudien sker dels i den löpande texten, men huvudsakligen i ett separat avsnitt där ett antal referenser sammanfattas individuellt. Inom projektet har även utförts en omfattande fallstudie genom mätningar i ett provhus beläget alldeles intill LTH i Lund. I provhuset har mätningar genomförts var femtonde minut med hjälp av batteridrivna loggrar samt ett separat system med givare som anslöts med kabel till en PC belägen på vinden i provhuset. Manuella mätningar av fuktkvot och temperatur genomfördes regelbundet under hela mätperioden. I samband med de manuella mätningarna utfördes också okulärbesiktning av råspontens insida samt takstolarna. För att kontrollera mätresultaten med simuleringar har också en begränsad studie genomförts med WUFI-Pro 6.41 som är ett endimensionellt kommersiellt PC-program för hygrottermiska beräkningar.

2 Litteraturstudie

Enligt (Arfvidsson et al, 2017) förekommer det att snö yr in på vinden genom ventilationsöppningarna. Detta kan förebyggas genom att skydda springan bättre eller förse väggytan med en vindavvisare, dvs. en plåt eller trälist, som avleder luftströmmen. (Ge, Wang, Baril, 2018) anser att problemet med snöinträngning är störst i mycket kalla klimat där snöflingorna kan vara extremt små. En lösning kan vara att lägga filtermembran av polyester bakom ventilationskanalerna vid takfoten för att förhindra att snö kommer in på vinden. De ventilerade vindarna med filtermembran reducerade risken för snöinträngning, men det fanns fall med rapporterade vattenläckor och fuktskador, (Ge, Wang, Baril, 2018).

Helt oventilerad vind är ett sätt att helt eliminera risken för snöinträngning enligt (Ge, Wang, Baril, 2018) och. (Wang, 2018). Resultat från fältmätningar i tre byggnader med olika utformning, där en av byggnaderna hade en oventilerad vind, visar att snöinträngningen visserligen förhindras med åtgärden. Mätningarna visar dock att uttorkningen av byggfukt och fukttransport genom bjälklaget, speciellt under vintern, inte kan avlägsnas effektivt. Under dessa förutsättningar är den oventilerade vinden riskabel under vår- och sommarperioden vilket kan leda till fuktskador. För att lösningen ska fungera krävs att bjälklaget är mycket lufttätt, gärna kombinerat med ett lågt fukttillskott. Där emot visade mätningarna att de ventilerade vindarna hade acceptabla förhållanden.

Skisser som redovisas av (Ge, Wang, Baril, 2018) visar att det troligen finns ångtäta material i det yttre taket.

Enligt litteraturen finns det ett flertal syften med ventilationen av vindsutrymmen. Dessa är att minimera risken för fuktskador från fuktillskott genom bjälklaget, undvika isdämning och istappar vid kalla takfötter, avlägsna byggfukt samt att kyla ned utrymmet under sommaren. (CMHC, 1999), (Rowley et al, 1939), (Rose, TenWolde, 2002), (Blom, 2001), (Roppel et al, 2013) och (Arfvidsson et al, 2017).

För att belysa funktionen hos några olika typer av ångbromsar innefattar litteraturstudien även några referat med kompakta tak.

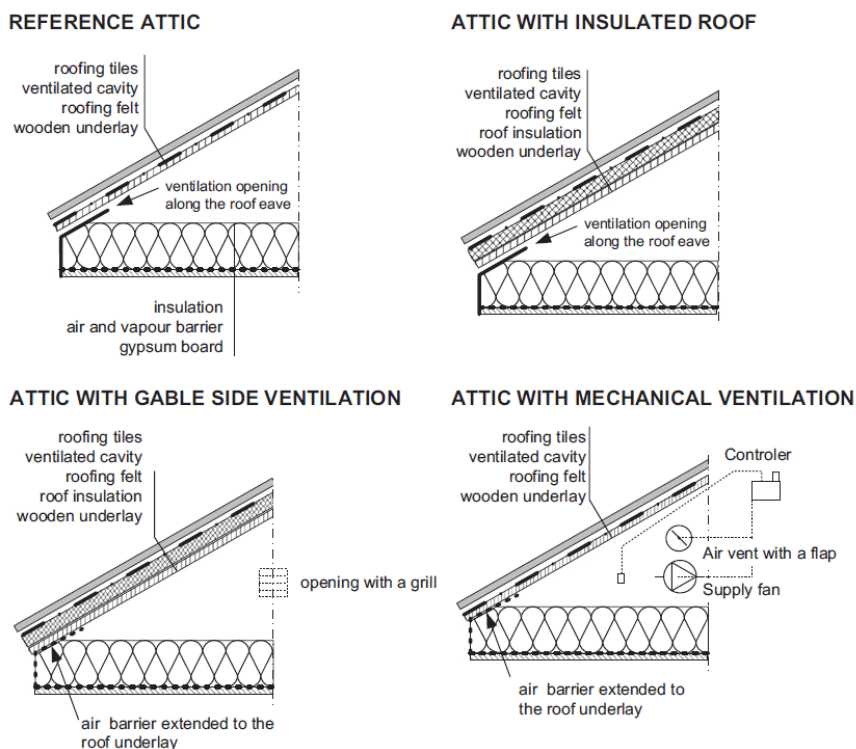
2.1 Assessment of hygrothermal performance and mould growth risk in ventilated attics in respect to possible climate changes in Sweden

I (Nik et al,2012) redovisas simulerade resultat från fyra vindsutrymmen med olika utförande, se figur 2.1. Tjockleken på värmeisoleringen är konstant 400 mm och det yttre taket utgörs utifrån räknat av takpannor, ventilerad luftspalt, underlagspapp samt 29 mm råspont.

Simuleringarna har utförts med Matlab och det framtida klimatet har utvecklats vid Rossby centrumbildning som är en del av SMHI där framtida klimatmodeller utvecklas för Svenska förhållanden.

Enligt simuleringsresultaten kommer både temperatur och luftfuktighet att öka i vindarna om klimatförändringar sker vilket också leder till ökad risk för mögel enligt Vitanens mögelmodell.

Det säkraste alternativet, enligt beräkningarna, är att installera ett mekaniskt ventilationssystem på vindarna, vilket dock ger ett ökat energibehov för driften av fläktarna. Det näst bästa alternativet är att isolera yttertaket ovanför råsponten. Med de använda modellerna för det framtida klimatet kan dock inte heller denna lösning anses som säker i framtiden. De övriga två alternativen kan inte rekommenderas enligt denna studie.



Figur 2.1 Sektioner av de fyra simulerade takkonstruktionerna ventilerade med utomhusluft, (Nik et al,2012).

Beträffande storleken på ventilationen så finns det enligt (Rose, TenWolde, 2002) många referenser till byggnadsregler (troligen huvudsakligen från Nordamerika) som rekommenderar en ventilation på 1:300. Vilket betyder att ventilationsöppningarnas area ska vara 1/300 av bjälklagets area. Enligt (Rose, TenWolde, 2002) leder en för hög ventilation till att onödigt mycket fukt kommer in på vinden vilket höjer den relativa fuktigheten. För låg ventilation leder å andra sidan till att den fukt som finns på vinden inte kan avlägsnas tillräckligt snabbt (Essah et al, 2009). (Hagentoft & Kalagasidis, 2013) har via fältmätningar konstaterat att det är möjligt att erhålla lämplig ventilation med hjälp av ett mekaniskt fläktsystem som styrs av skillnaden i ånghalt mellan vind och uteluft, dvs. endast ventilerar när ånghalten ute är lägre än på vinden.

Kommentar:

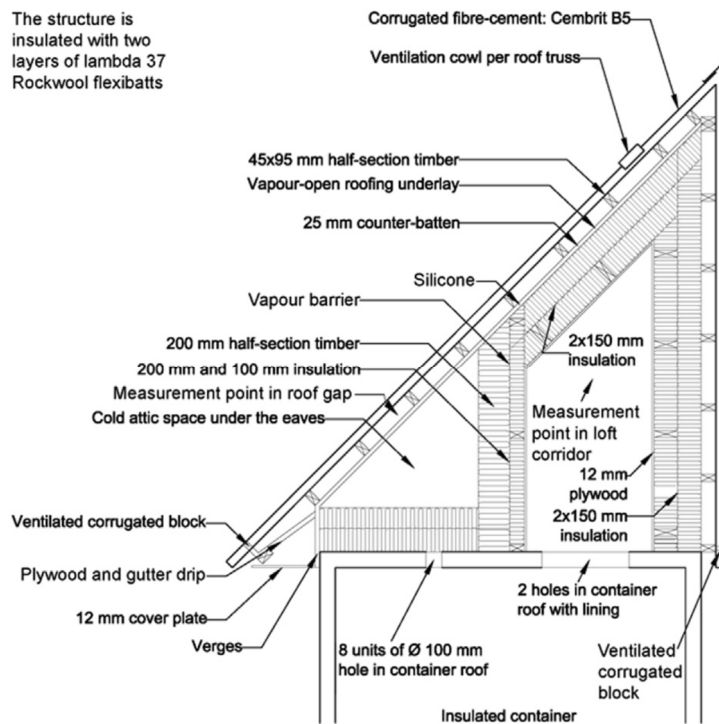
Enligt Brandt et al, 2013 rekommenderas i Danmark att ventilationsarean ska vara 1/500 av bjälklagets area.

2.2 Hygrothermal conditions in cold, north facing attic spaces under the eaves with vapour-open roofing underlay in a cool, temperate climate

(Bjarløv et al, 2016) redovisar resultat från ett provhus vid DTU (Danmarks Tekniske Universitet) med underlagstäckning med lågt ånggenomgångsmotstånd Icopal Monarperm 1000, ($Z \leq 3 \text{ (GPa m}^2 \text{ s)/kg} \approx 22,22 \cdot 10^3 \text{ s/m}$). I uppsatsen presenteras en experimentell fullskalig studie av passiva ventilationsstrategier för kalla vindsutrymmen mot norr med takbeläggningar med lågt ångmotstånd. I försöksuppställningen utgörs det kalla vindsutrymmet endast av delen intill takfoten då denna anses vara den dimensionerande delen av ett kallt tak. Mätningar av relativ fuktighet och temperatur i åtta små vindsutrymme (takfötter) med ett gemensamt underliggande rum ingick i experimentet. Graden av infiltration från det underliggande utrymmet varierade för de åtta vindsutrymmena. I vindarna varierade även ventilationsstrategin. Rummet under vindarna höll ett konstant klimat på 20 °C och 60 % relativ fuktighet. Mätningarna pågick från november 2010 till februari 2013. Efter avslutad studie gjordes en bedömning av mögelpåväxten i de åtta vindsutrymmena.

I experimentuppställningen ingår tre typer av vindsrum: En utan infiltration från det underliggande rummet, en serie med 2,25 l/s vid 50 Pa tryckskillnad (vilket motsvarar 100 % av tillåtet luftläckage enligt Dansk standard) och en med 0,9 l/s vid 50 Pa tryckskillnad (40 % av tillåtet luftläckage enligt Dansk standard). Väggarna mellan vindsutrymmena är utformade för att ge god lufttäthet. Varje serie är uppbyggd med ett utrymme utan ventilation (lufttät), en med tryckutjämnande ventilation och en med ensidig ventilation. Serien med reducerad ventilation saknar ett vindsutrymme med ensidig ventilation.

För att säkerställa att konstruktionen var torr när försöket inleddes torkades allt virke i förväg och väderskydd användes under uppförandet.



Figur 2.2 Sektion av provhuset i Lyngby.

Det underlagstak med lågt ångmotstånd som användes vid experimentet var Icopal Monarperm 1000, se tabell 2.1, som har en absorberande filt på undersidan avsedd att hålla kondenserat vatten. Den ångpermeabla underlagstäckningen kan transportera fukt i båda riktningarna, dvs. det är inte en hygrodiod.

Tabell 2.1 Tekniska egenskaper för Monarperm 1000 från Icopal.

Ånggenomgångsmotstånd, Z	$< 1,6 \cdot 10^9 \text{ (Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s)/kg} \approx 11,85 \cdot 10^3 \text{ s/m}$
Luftgenomgångsmotstånd, S _a	$\approx 1 \cdot 10^6 \text{ (Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s)/kg}$

Det använda underlagstaken visade sig vara till hjälp för att minska fuktnivåerna under perioder med ökande temperatur i vindsutrymmet då trämaterialen i konstruktionen torkar ut och släpper igenom vattenånga till utrymmet under det yttre taket av korrugerade fibercementskivor. Under perioder med fallande temperaturer är det ånggenomsläppliga underlagsmaterialen dock negativt eftersom det underlättar uppfuktningen av den kalla takfoten från omgivningen genom diffusion genom den ångöppna takbeläggningen.

Som väntat blir det fuktigare i de kalla takfötterna i de fall då de omgivande konstruktionerna har dålig lufttäthet.

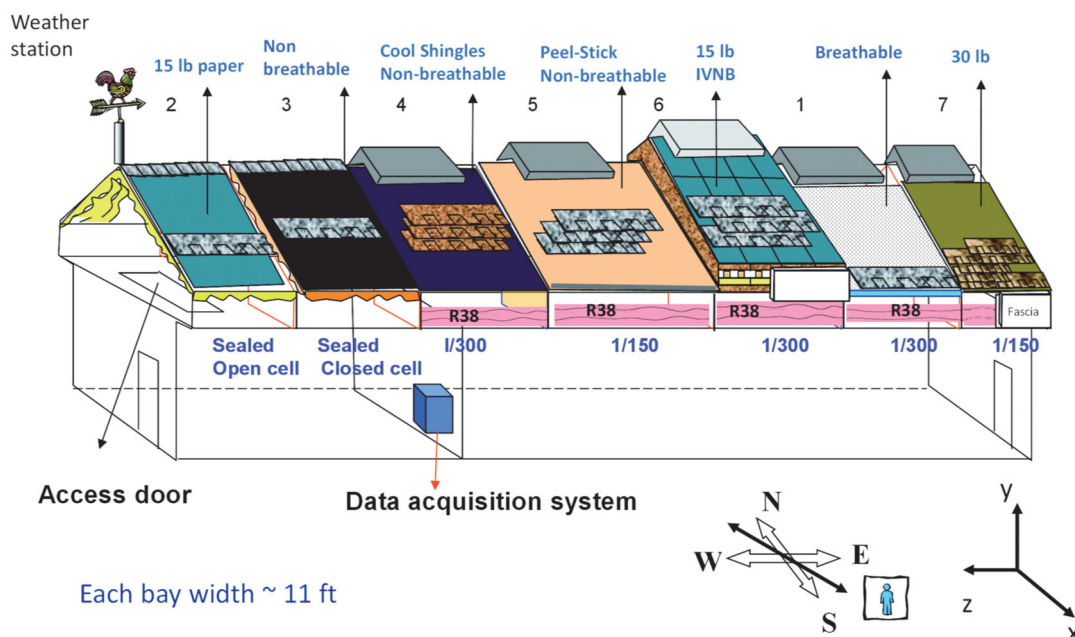
2.3 Field Study on the Thermal and Hygrothermal Performance of Insulated Ventilated Nail Base System

Studien beskriver mätningar och resultat som genomförts i ett provhus i Charleston i Sydkarolina i USA, (Shiao et al, 2016). I uppsatsen jämförs tre olika ventilerade takkonstruktioner i ett relativt varmt klimat. Referensfallet utgörs av ett tak med genomsläppligt underlagstak (breathable) och ”normala” ventilationsöppningar vid takföterna motsvarande 1:300, dvs. ventilationsöppningarna har en total area som är 1/300 av vindsbjälklagets area. Takbeläggningen utgörs av svart shingel med en absorptionsfaktor för kortvågig strålning (α_r) på 0,97. I figur 2.3 nedan benämns detta tak för 1. De sju utrymmena är lika stora med måtten $7,6 \times 3,4$ m. Tak 1 jämförs med fall 4 och 6 i figur 2.3. Tak 4 är identiskt med referensfall 1 med undantag för att det har en ljusare yta (solabsorptans 0,72) och ett ångtätt underlagstak. Konstruktionen i taksektion 6 förkortas IVNB (=Insulated Ventilated Nail Base), vilket betyder att yttertaket är värmeisolerat med 1 inch ISO (cirka 25 mm värmeisolering) ovanpå en träfiberskiva av OSB. Ovanpå isoleringen finns 50×100 mm regler som fästs mekanisk till OSB-skivan genom isoleringen. Ovanför reglarna finns ytterligare en OSB-skiva samt svart shingel ($\alpha_r=0,97$). Konstruktionen leder till ett ventilerat utrymme ovanför isoleringen. Temperaturen under samtliga vindsbjälklag höll en konstant temperatur på 21 °C under hela försöksperioden.

Resultat från en typisk sommarvecka visar att taktyp 1 har en maximal temperatur på cirka 45 °C vilket är omkring 5 °C högre än för takfall 4 och cirka 10 °C högre än för konstruktion 6. Resultat från en vecka i januari visar att det isolerade och ventilerade yttertaket även ger de minsta energiförlusterna under den kalla årstiden. Med mörk shingel undviker man även de ökade strålningsförluster som man får under vinternatten med en ljusare kulör på shingeln.

2.4 Impact of Cool Roofing Membranes on the Hygrothermal Performance of Low-Sloped Roof Structures in Timber Construction

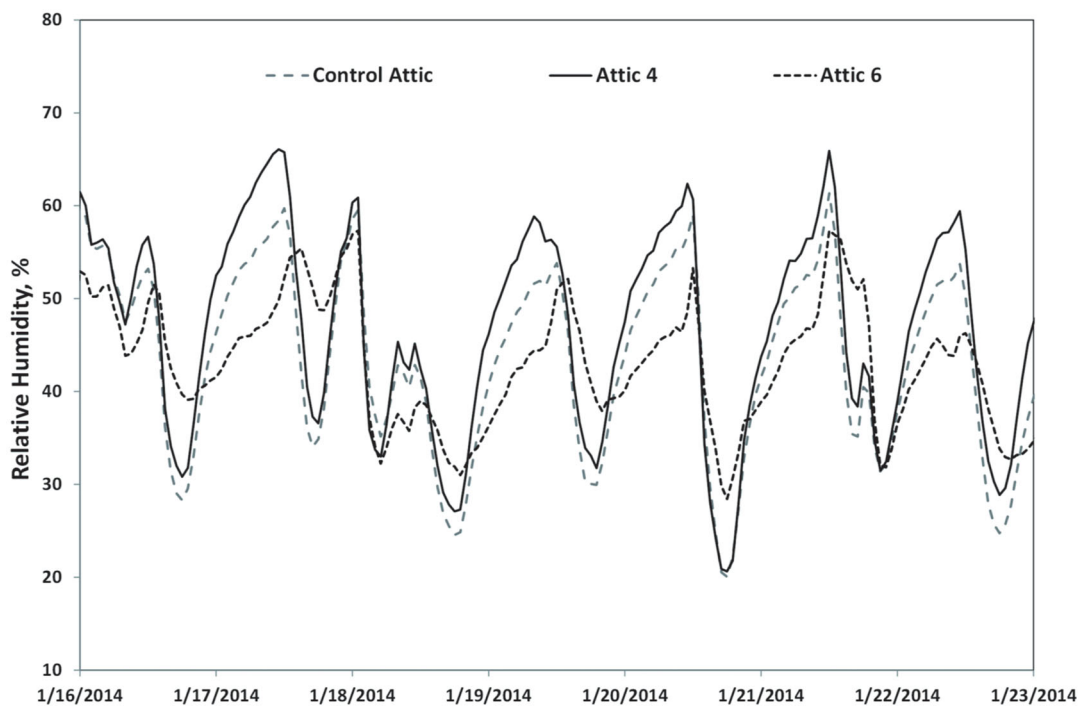
Liksom i (Shiao et al, 2016) undersöker Buxbaum et al, (2013) effekten av olika kulör på takets yttre ytskikt. Även i denna studie konstaterar författarna att olika kulör på det yttre skiktet måste betraktas som en kritisk faktor som i hög grad påverkar uttorkningen av oventilerade låglutande tak.



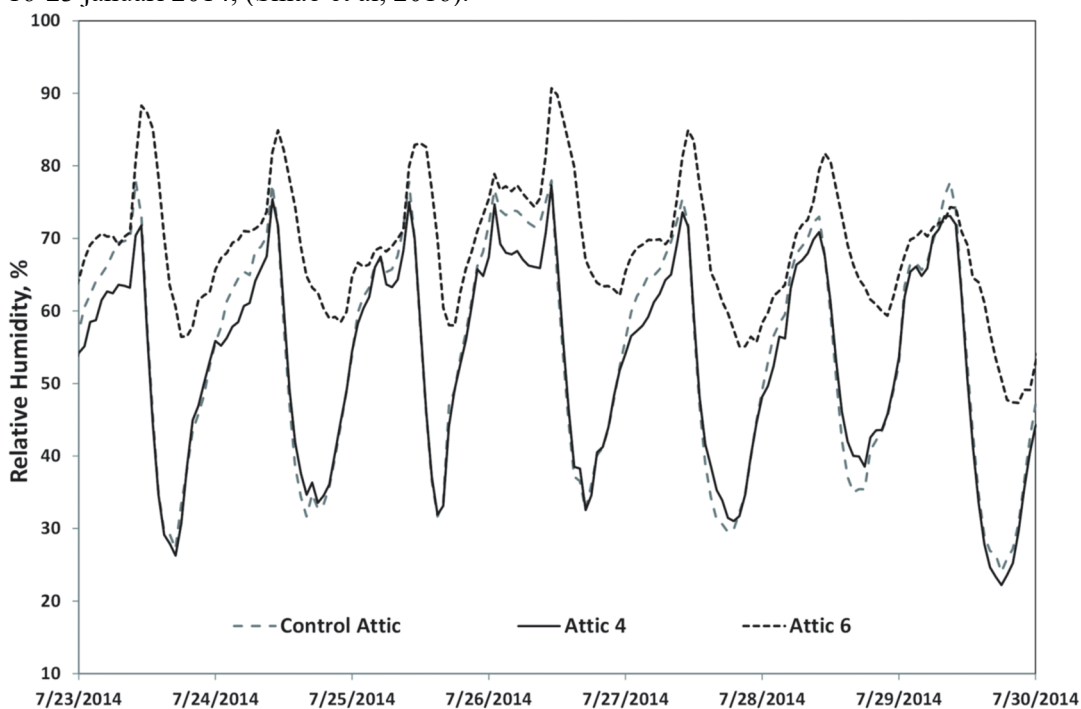
Figur 2.3 Beskrivning av de olika vindsutrymmena som ingår i försöket (Shiao et al, 2016).

Även den relativa fuktigheten jämförs för de tre undersökta takutformningarna på vintern och på sommaren. I figur 2.4 redovisas resultat från luften på vindarna 16-23 januari 2014. Shiao et al, 2016 konstaterar takkonstruktion 6 med IVNB-systemet leder till genomgående lägre relativ fuktighet jämfört med de andra två vindarna under vinterveckan. Shiao et al, 2016 noterade också att vinden med ljusare shingel resulterade i högre RH, speciellt under takbeläggningen. Resultaten antyder att en ljusare takbeläggning ger högre relativ fuktighet under vintern på grund av att en större andel av den infallande kortvågiga strålningen reflekteras.

Figur 2.5 visar den relativa fuktigheten i de tre jämförda vindsutrymmena under perioden 23-30 juli 2014, (Shiao et al, 2016). För sommarperioden visade den relativa fuktigheten att vindsluften i IVNB-systemet har högre RF jämfört med referenstak 1. Takalternativ 4, som var täckt med ljus shingel, hade däremot något lägre RF-nivåer än referenstaket.



Figur 2.4 Uppmätt relativ fuktighet i de tre undersökta vindsutrymmena under perioden 16-23 januari 2014, (Shiao et al, 2016).



Figur 2.5 Uppmätt relativ fuktighet i de tre undersökta vindsutrymmena under perioden 23-30 juli 2014, (Shiao et al, 2016).

2.5 Field Measurements of Moisture in Cold Ventilated Attics with Different Types of Insulation Materials and Vapor Barrier

Liksom många andra författare skriver (Hansen & Møller, 2016) att tjockleken på vindsisoleringen har ökat kraftigt under de senaste decennierna. Även Hansen & Møller påpekar att luftens fuktupptagande förmåga därmed minskar vilket ökar risken för fuktrelaterade problem på vindarna. I Danmark rekommenderas idag att det finns ett luft- och ångtät material på den varma sidan av vindsbjälklaget om tjockleken på isoleringen överstiger 150 mm. Före 2007 ansågs det tillräckligt med ett gipsat undertak utan genomgående luftspalter för att förhindra konvektionen, medan diffusionen ansågs så liten att det inte gav upphov till fuktskador. Med allt tjockare isoleringen är detta dock inte tillräckligt längre enligt Hansen & Møller (2016). Enklare beräkningar med olika ingångsdata för tjocklek på isoleringen, fukttillskott och ventilation på vinden visar att det måste finnas ett luft- och ångtät material i vindsbjälklaget även om tjockleken på isoleringen endast är 150 mm.

Enligt (Hansen & Møller, 2016) är låg luftomsättning på vinden den enskilt största orsaken till fuktproblem på kalla vindar i Danmark.

Fältnätningar från totalt tio enskilda byggnader redovisas i uppsatsen. Jämförande analys av mätningarna visar överraskande resultat enligt (Hansen & Møller, 2016).

- Fuktnivåerna är lägst i byggnader utan ångspärr.
- Tjockare isolering ger lägre fuktnivåer.
- Storleken på fukttillskottet har liten inverkan på fuktnivån på vinden.

Enligt författarna kan detta troligen förklaras av att den hygrokopiska isoleringen av cellulosafibrer som används i en del av husen har större betydelse än ångspärr och tjocklek på isoleringen. Det är dock viktigt notera att iakttagelserna endast baseras på mätningar i tio hus samt att skillnaderna i fuktnivåer mellan byggnaderna är små, (Hansen & Møller, 2016). Jämförelser mellan beräkningar och genomförda fältnätningar tyder också på att bjälklagen överlag är lufttäta, vilket också minskar risken för fuktrelaterade problem. En övergripande slutsats från mätningarna är att fuktnivåerna på vindarna ligger nära gränsen för mögeltillväxt och att små förändringar i randvillkor eller materialegenskaper kan leda till fuktrelaterade problem.

2.6 The performance of unventilated wooden roofs with smart vapour barriers during winter conditions

I ett laboratorieförsök har Geving & Thorsrud, (2014) undersökt funktionen hos fyra olika variabla ångbromsar i vindsbjälklaget under oventilerade vindsutrymmen under vinterförhållanden. Som referens används en normal polyetenfolie med högt ånggenomgångsmotstånd. Som fördel med de variabla ångbromsarna framhålls att det ger möjlighet för byggfukt etc. att torka ut från vinden till det underliggande utrymmet när

så behövs. Under vinterförhållanden fungerar den som en ”vanlig” ångspärr och hindrar fukt från insidan att diffundera till vindsutrymmet. Resultaten visar att de variabla ångbromsarna har olika tekniska egenskaper och bör väljas med hänsyn till det underliggande klimatet.

Ångbromsarna samt PE-folien som ingår i studien är enligt (Geving & Thorsrud, 2014):

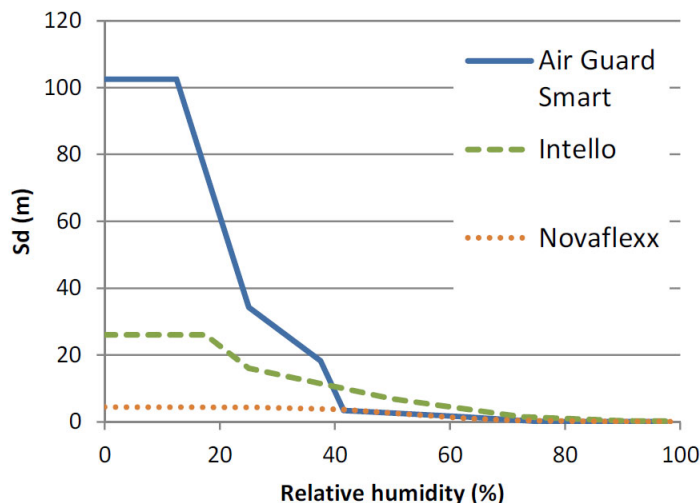
Intello, $S_d = 0,25-26$ m

AirGuard Smart, $S_d = 0,05-102$ m

Delta-Novaflexx (=Difunorm Vario), $S_d = 0,2-5$ m.

Hygrodioid 200A, $S_d = 1-20$ m.

PE-folie; $S_d = 70$ m.



Figur 2.6 S_d -värde som funktion av den relativa fuktigheten för tre av ångbromsarna, (Geving & Thorsrud, 2014). Detaljerade mätningar för Hygrodioid 200A fanns inte tillgängliga.

Geving & Thorsrud, 2014 påpekar att jämförelser mellan deras mätningar och beräkningar med WUFI 1D (version 5.1) tyder på att vissa av de redovisade sambanden i figur 2.6 inte är helt korrekta, varför ytterligare mätningar anses nödvändiga.

Fyra olika nivåer på den relativa fuktigheten inomhus undersöktes i laboratorieförsöket som pågick i tre månader. Inverkan av att placera en del av isoleringen på undersidan av ångbromsen undersöktes också. Försöken utfördes i laboratoriet vid NTU i Trondheim våren 2013.

Vid försöken utgjordes konstruktionen av följande material med början från den kalla sidan:

- Takmembran med hög ångtäthet
- 200 mm glasull
- Ångbroms eller PE-folie
- 13 mm gipsskiva.

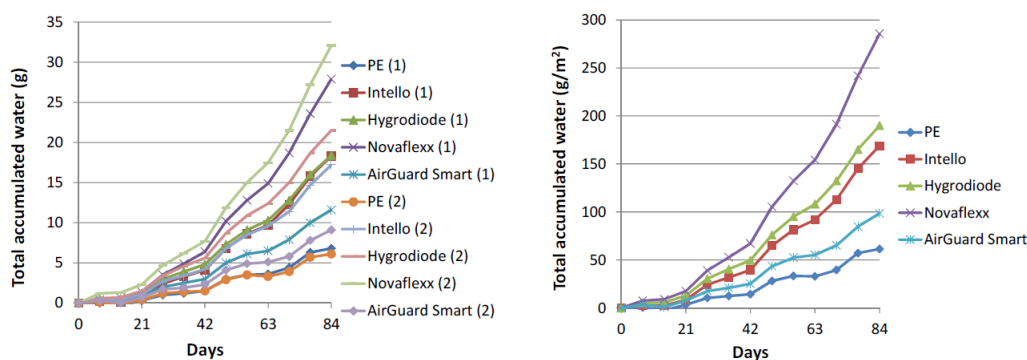
Enligt författarna (Geving & Thorsrud, 2014) kan resultaten också användas för att bedöma andra konstruktioner såsom ytterväggar och ventilerade tak där ångbromsar används.

Vid försöken användas fyra olika omgivande klimat som vardera varade i tre veckor, se tabell 2.2. Uppmätta temperaturer och relativa fuktigheter samt beräknat fuktillskott vid försöken framgår också från tabell 2.2. Vid inbyggnad var trämaterialiet i jämvikt med cirka 30 % relativ fuktighet, dvs. torrt.

Tabell 2.2 Uppmätta genomsnittliga temperaturer och relativa fuktigheter för varje delförsök, (Geving & Thorsrud, 2014).

Delförsök	T_{kall}	RF_{kall} (%)	T_{varm}	RF_{varm}	Δv (g/m^3)
1	-5,1	77,2	21,4	22,4	2
2	-5,1	77,5	23,0	32,8	4
3	-5,0	76,6	23,3	42,6	6
4	-5,0	77,0	23,2	51,7	8

Resultat från laborieförsöken beträffande fuktackumuleringen visar att Novaflexx ackumulerar mest, följt av Hygrodiode, Intello, AirGuard Smart och PE-folien. Författarna redovisar dessa resultat i figur 2.7.



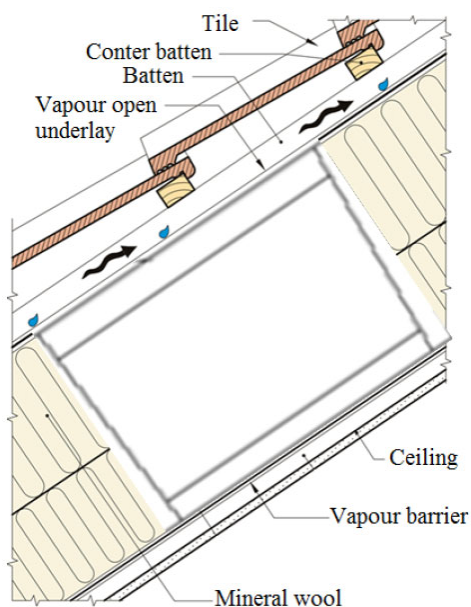
Figur 2.7 Total ackumulerad fukt mängd i samband med de fem olika försöksuppställningarna. Till vänster visas alla tio försöken (med två uppställningar per configuration). Till höger visas medelvärdet av de fem uppställningarna, (Geving & Thorsrud, 2014).

2.7 Vapour resistance of modern roof underlay products at real winter conditions

Uvsløkk et al. (2014) redovisar resultat från laborieförsök från tio olika underlagstäckningar med lågt ångmotstånd. Syftet med försöken var att undersöka om ånggenomsläppligheten och fuktflödet genom materialen varierar med den omgivande temperaturen. Av speciellt intresse är att verifiera eller falsifiera påståendet att temperaturer under 0 °C leder till isbildning på underlagstäckningen som signifikant ökar ånggenomgångsmotståndet.

Produkterna som ingår i mätningarna är endast markerade med en bokstav från A-J, dvs. vem som tillverkar och/eller marknadsför respektive produkt är okänt.

Figur 2.8 illustrerar försöksupställningen i experimenten och hur man med denna uppställning försöker efterlikna verkliga takkonstruktioner.



Figur 2.8 Sektionsskiss av ett tak. Plastlådorna som användas i försöken är markerad för att illustrera vilken del av taket som är simulerades i experimenten, (Uvsløkk, Vågen & Korsnes, 2014).

I tabell 2.3 visas de ingående tio materialen som ingick i försöket.

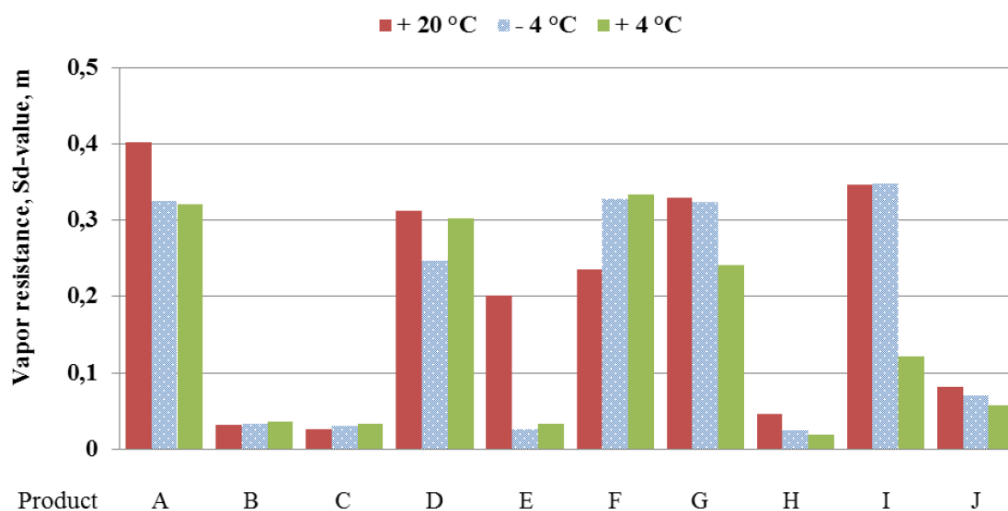
Tabell 2.3: Material som ingick i försöket.

ID	Produkttyp	Material	Tjocklek mm
A	Skiva	Träfibrer	32,0
B	Rulle	Spunnen, PE-fibrer, PP-filt	1,3
C	Rulle	Spunnen, PE-fibrer, PP-filt	0,6
D	Rulle	PU och PP, PP-filt	1,2
E	Kartong	Laminerad papp	2,1
F	Rulle	PP och PE	0,7
G	Rulle	PP	0,8
H	Rulle	PP och PE	0,8
I	Skiva	Träfibrer	20,5

J	Rulle	PP	
---	-------	----	--

Förkortningar: PE = polyeten, PP = polypropen, PU = polyuretan

Figur 2.9 visar resultaten från mätningar av ånggenomsläppligheten från den norska studien, (Uvsløkk et al, 2014). Resultat från mätningarna visar att alla tio produkter var "ångöppna" även vid temperaturer under 0 °C. Ingen av de undersökta produkterna ansågs bli "ångtäta" på grund av rimfrost eller is. Sju av tio produkter hade ungefär samma S_d värde vid temperaturer under 0 °C som vid +20 °C. Endast en produkt (F) hade märkbart högre ångmotstånd vid låga temperaturer. En av produkterna (E) hade ett märkbart lägre ångmotstånd vid frysning. Enligt Uvsløkk et al, (2014) beror detta sannolikt på att även fukttinnehållet var lägre. Det är välkänt att ett högre fukttinnehåll för bland annat trä och träbaserade produkter resulterar i högre ånggenomsläpplighet.



Figur 2.9 Uppmätta S_d värde för de tio olika underlagstäckningarna, (Uvsløkk, Vågen & Korsnes, 2014).

Det är främst vid vintertemperaturer som de mest ångöppna takunderlag, B, C, E, H och J resulterar i väsentligt snabbare torkning än den andra, A, D, F och G.

Uvsløkk et al, (2014) anser att hög ångtransportkapacitet, dvs. lägsta möjliga S_d -värde, är den viktigaste tekniska egenskapen hos takunderlagsprodukter för att motverka skadlig uppfuktning vintertid. Bra fuktabsorptionsförmågan hjälpa emellertid också till att förhindra att kondens börjar droppa under den kritiska torkningsfasen vid låga utomhustemperaturer. Det är dock viktigt att den ackumulerade fukten från vintern torkar ut innan utetemperaturen blir betydligt högre än +5 °C för att undvika mögeltillväxt, (Uvsløkk et al, 2014).

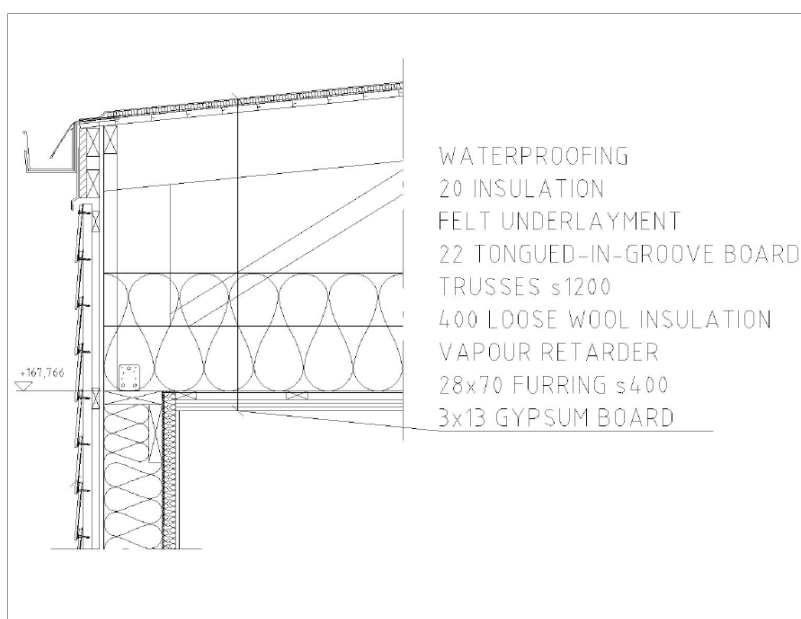
Kommentar

Som nämnts tidigare är mätningarna som ingår i projektet endast markerade med en bokstav från A-J, dvs. vem som tillverkar och/eller marknadsför respektive produkt är okänt. I slutet av uppsatsen kan man dock anta att de företag som tackas i slutet av

uppsatsen också ingår i studien med sina produkter. Dessa är Hunton Fiber AS, Huntonit AS, Icopal AS, Isola AS, Monier Roofing AB, Nortett Bygg AS and Würth Norge AS.

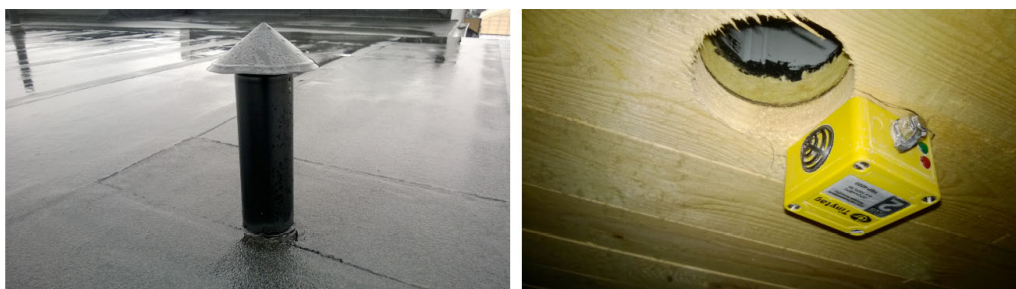
2.8 Moisture conditions in a cold attic – Case study of design

Kurkinen, 2014 redovisar resultat från fältmätningar i en byggnad uppförd 2009 med en golvsarea på 370 m². Byggnaden har ett kallt vindsutrymme med ett vindsbjälklag bestående av 400 mm lösfallnadsisolering av mineralull, se figur 2.10. Det yttre taket utgörs från ovansidan av tätskikt, 20 mm isolering, underlagspapp samt 22 mm råspont.



Figur 2.10 Sektion av taket i den undersökta byggnaden i Borås, (Kurkinen, 2014).

Enligt författaren var det möjligt att avsevärt reducera ventilationen av vindsutrymmet på grund av den ångtäta PE-folie som finns på den varma sidan av vindsbjälklaget. Vindsutrymmet ventileras endast via tre så kallade “Kinahattar”, se figur 2.11.



Figur 2.11 Ventilation av det kalla taket, (Kurkinen, 2014).

Varje timme från 2011-05-06 till 2013-02-22 mättes temperatur och relativ fuktighet i vindsutrymmet. Innan mätningarna påbörjades var fuktkvoten i råsponten 9,3 %.

Resultaten både från denna och en tidigare mätperiod som redovisades av Kurkinen & Hagentoft (2011) visar att konstruktionen fungerar i denna byggnad. Beräkningar av risken för mögel, enligt en modell från (Hagentoft et al, 2008), stöder också hypotesen. Innan metoden introduceras i större omfattning anser Kurkinen, (2014) att det behövs fler undersökningar av vindsutrymmen som enbart ventileras med ”kinahattar”.

2.9 Riskanalyser för ventilerade kallvindskonstruktioner

Hagentoft och Sasic Kalagasidis, (2013) har genomfört riskanalyser av sex olika grundutförande av kallvindar. Analysen visar spridning i teknisk funktion, speciellt avseende risk för fukt- och mögelskador samt kostnader baserade på sannolikheten för skador. Syftet med arbetet var primärt att identifiera tekniska lösningar med låg risk och livscykelkostnad, (Hagentoft & Sasic, 2013). Författarna anser att resultat av studien kan användas som ett riskbaserat beslutsinstrument vid projektering, renovering eller i samband med utveckling av nya tekniska lösningar.

För de probabilistiska beräkningarna har författarna använt Monte-Carlo metoden. Detta betyder att ett stort antal simuleringar av årliga förlopp har genomförts med olika ingångsdata. Följande spridningar i indata har beaktats, (Hagentoft & Sasic, 2013):

- Ort (Göteborg, Stockholm) och väderår 1975 till 2005 / 1990 till 2020 (klimatscenario).
- Fukttillskott inomhus: låg $1 \pm 0,5$ g/m³, medel 3 ± 1 g/m³ med normal fördelning.
- Lufttäthet/Arbetsutförande.
- Orientering av byggnaderna: N, Ö, V och S.

Gemensamt för de studerade fallen är följande:

- Takpannor
- Luftspalt
- Tätskikt av papp
- 22 mm råspont
- Ventilerad kallvind (i ett fall med reducerad ventilation)
- 400 mm isolering av mineralull i kombination med betongbjälklag eller träregelstomme
- Under träbjälklaget finns ett skikt med högt ånggenomgångsmotstånd samt en gipsskiva.

Resultaten från de sex olika utformningarna av kalla vindsutrymme har kortfattat sammanfattats av författarna i följande punkter:

- Riskerna med mögelpåväxt är generellt lägre i Stockholm än i Göteborg.

- För att öka fuktsäkerheten ska kallvindskonstruktionen generellt utformas enligt:
 - lufttäta vindsbjälklag
 - byggfukten ska torkas ut så fort som möjligt under byggtiden
 - väl ventilerade bostäder
 - helst undertryck i bostaden relativt kallvinden.
- Dagens traditionella lösning med självdragsventilation vid takfot alternativt med gavelventilation är inte fuktsäker, inte heller den med reducerad luftspalt vid takfoten. Den anses dock säkrare längre norrut i landet.
- Isolerat yttertak ger lägre risk än oisolerat tak, men ger inte en helt fuktsäker teknisk lösning. Den kan dessutom fungera olika bra och säkert i olika delar av landet och för olika orientering på byggnaden.
- Inom projektet har konstaterats att det är rationellt att behålla merparten av den tekniska lösningen med klassisk kallvind med råspont och enbart tätskikt och därmed slippa förändra takets arkitektoniska kvaliteter eller konstruktionstekniska fördelar.
- Styrd ventilation ger en säker kallvind även då framtida klimat beaktas. Det är rationellt att satsa på en enkel lösning som är säker. Med styrd ventilation kan uttorkningen av byggfukt klaras utan ytterligare installationer. Metoden ger en klimatsäker framtidslösning. Den är okänslig för beständighetsproblem med lufttäthet samt bruket av byggnaden. Med systemet förutsätts att detta ska larma vid driftsavbrott t.ex. då fläkten slutar fungera och att detta åtgärdas tämligen omgående, (Hagentoft & Sasic, 2013).
- Kostnadsmässigt är det små skillnader mellan de studerade alternativen. Detta är speciellt fallet då drifts- och skadeåtgärdskostnaderna räknas in.

2.10 Smart Vapour Barriers in Compact Wood Frame Roofs

Som i många andra studier konstaterar Geving, Stellander & Uvsløkk (2013) att i kalla klimat är det nödvändigt med ett skikt/material på den varma sidan som kan fungera både som ångspärr och förhindra luft från insidan att komma upp på vinden. Med en PE-folie erhålls ett mycket högt ångmotstånd som förhindrar att fukt från mindre läckage eller byggfukt på vinden kan transportera till utrymmet under vindsbjälklaget. Med en mindre ångtät ångbroms där ångmotståndet dessutom reduceras vid hög relativ fuktighet kan ovan nämnda problem minskas.

I denna studie undersöks tre olika nya smarta ångbromsar baserade på polyamid. Konstruktionerna i de fyra kompakta taken bestod av följande material, räknat från utsidan:

- Takmembran
- 21 mm plywood av gran
- 200 mm glasull eller expanderad polystyren (EPS)
- Smart ångbroms eller PE folie
- 13 mm gipsksiva
- Latex färg (med lågt ångmotstånd)

Försöken genomfördes vid NTU i Trondheim våren 2013. För att simulera inverkan av byggfukt eller läckage uppfuktades plywooden innan försöken genomfördes till en fuktkvot mellan 23 och 32 % FK. Under försöken varierade temperaturen cykliskt över dygnet utomhus i enlighet med mätresultat från ett tak i Trondheim. Försöken utfördes i ett försöksrum på NTU med konstant inomhusklimat, 23°C och 50 % RH.

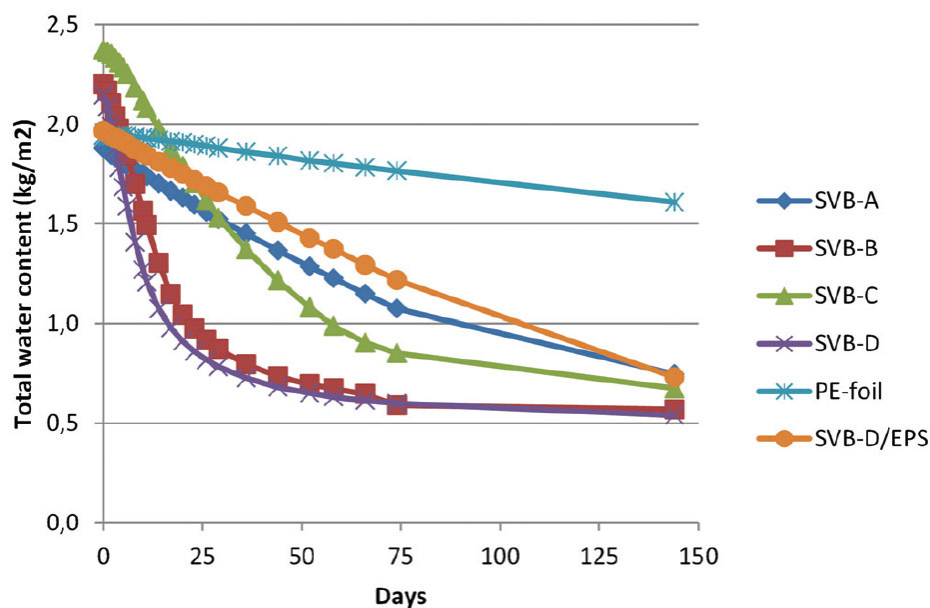
Följande tätskikt testades på den varma sidan av takkonstruktionerna i försöken:

- SVB-A: Sampolymer av polyeten-, där sampolymeren är en akryl med hygroskopiska egenskaper. S_d -värdet varierar från 0,25–26 m.
- SVB-B: Polyamid med ett S_d -värde mellan 0,2–5 m. Denna produkt tillverkas under många olika namn i Europa och Nordamerika. Produkten utvecklades ursprungligen i Tyskland i slutet av 1990-talet av Hartvig Künzel och var den första kommersiellt tillgängliga ångbromsen med fuktighetsberoende egenskaper.
- SVB-C: Består av ett tyg av syntetfibrer med goda kapillära egenskaper som är laminerad med ränder av perforerad PE-folie och polyamidfolie. Det bör noteras att denna produkt är en vidareutveckling av den ursprungliga kapilläraktiva produkten som utvecklades av Korsgaard 1985. S_d -värdet varierar mellan 1–20 m.
- SVB-D: Polyvinylalkoholfilm med vävd polypropylen som är förstärkt med ett skyddande skikt och har ett S_d -värde från 0,02–102 m.
- PE-folien har en tjocklek på 0,15 mm och ett uppskattat S_d -värde på 70 m enligt författarna.

EPS-cellplasten har ett uppskattat ångmotstånd på $\mu = 50$, (Geving et al, 2013).

I figur 2.12 redovisas resultat från Geving et al, 2013 avseende det totala fukttinnehållet i de olika undersökta takkonstruktionerna som funktion av tiden.

Geving et al, 2013 kommenterar resultaten enligt följande. SVB-B och SVB-D torkar mycket snabbare än de resterande försöksuppställningarna, följt av SVB-C och SVB-A. Som väntat är uttorkningen för PE folien mycket långsam. En jämförelse mellan SVB-D, med isolering av glasull och den med EPS visar att uppställningen med EPS torkar mycket långsammare. Vilket är väntat eftersom ångmotståndet för isoleringen av EPS är betydligt högre vilket fördröjer fuktransporten från plywood genom bjälklaget.



Figur 2.12 Totalt vatteninnehåll i de sex olika takkonstruktionerna som funktion av tiden.

Varje kurva representerar ett medelvärde från två försöksboxar med samma taklösning. (Geving, Stellander & Uvsløkk, 2013).

Hur de undersökta takkonstruktionerna fungerar under vinterförhållanden redovisas i en annan uppsats, (Uvsløkk et al, 2014).

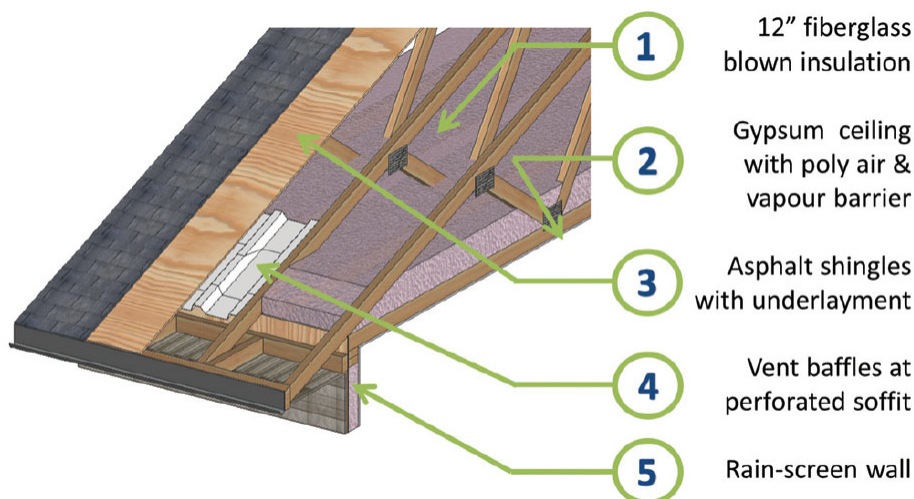
2.11 Highly insulated, ventilated, wood-framed attics in cool marine climates

Roppel et al, (2013) redovisar resultat från fallstudier i fyra byggnader i British Columbia i Kanada. Alla fyra byggnaderna färdigställdes 2004 eller 2005. Figur 2.13 kan enligt författarna illustrera konstruktionen av samtliga vindsutrymmen.

Undersökningar både med passiv spårgasteknik samt kontroll av luftätheten med Blowerdoor visade att byggnaderna var byggda med god luftäthet. Ventilationsöppningarnas totala area var större än vad den aktuella nationella normen kräver i samtliga byggnader, dvs. ventilationsarean var större än 1/300-del av bjälklagsarean. Trots detta var ventilationen på de kalla vindarna lägre än väntat. Enligt författarna var luftomsättningen ändå så pass hög för att i tillräckligt grad ventilerar ut det fuktflöde som kom från bostäderna via vindsbjälklaget.

Även om utomhusklimatet i hög grad styr både temperatur och fuktighet på vindarna, finns det dagliga cykler från solstrålning och nattutstrålning som resulterar i skillnader i fuktighet och temperatur för olika delar av vindarna. Att fuktnivåerna i plywoodskivorna fick förhöjda fuktkvoter, upp till 25 %, tyder på att högre ventilationshastigheter

inte avsevärt kommer att minska fuktnivåerna på vinden och inte kommer att reducera förekomsten av missfärgning av mögel. Resultaten från denna studie visar att vindar med god lufttätethet och tillräckligt ventilation, ändå utsätts för höga fukttillstånd på grund av det fuktiga utomhusklimatet, vilket kan leda till mögeltillväxt på kalla vindar. Mer ventilation löser inte problemet för vindsutrymme konstruerade på det sätt som visas i denna studie, och tidigare erfarenheter har visat att mindre ventilation kan leda till problem om ett lufttätt vindsbjälklag inte uppnås i praktiken. (Roppel et al, 2013).



Figur 2.13 Takkonstruktion med ventilation i de fyra husen, (Roppel et al, 2013).

För att förbättra de hygrotermiska förhållandena i denna typ av takkonstruktion föreslår författarna följande sex alternativ som bör utredas närmare:

1. Behandla samtliga träytor så att mögelpåväxt förhindras.
2. Placera isoleringsskivor på utsidan av plywoodskivorna och använd mögelresistent material på utsidan av isoleringen.
3. Placera all värmeisolering takfallet vilket ger en torr och varm konstruktion.
4. Isolera yttertakens undersida med skumisolering för att hindra mögelsporer från att komma i kontakt med plywoodskivorna vilket begränsar tillgången till syre och fukt.
5. Installera ett mekaniskt ventilationssystem som endast är i drift då fukthalten ute är lägre än på vinden.
6. Göm möglet, det kommer att finnas kvar men strategin minskar antalet rapporterade skador.

Kommentar:

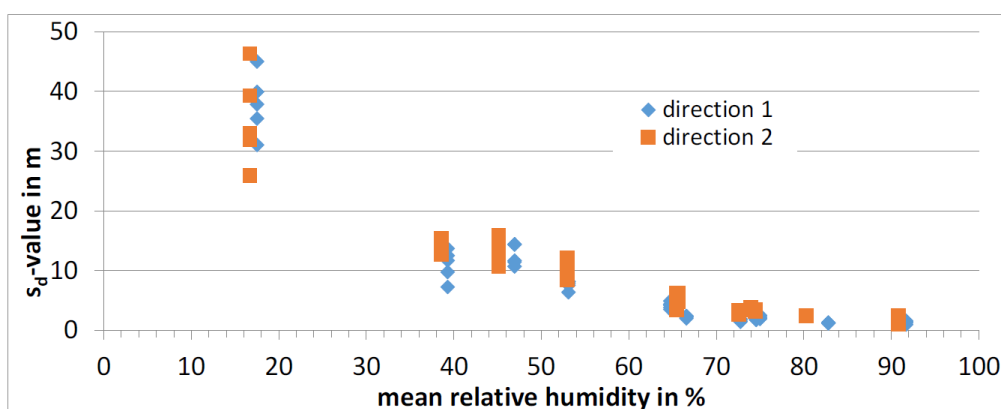
För svenska konstruktioner kan alternativ 1 och 6 omedelbart strykas. Även alternativ 4 förefaller vara en osäker metod. Alternativ 3 ger inte automatiskt en fuktsäker konstruktion.

2.12 Advanced modelling of vapor resistance of moisture dependent vapor retarder

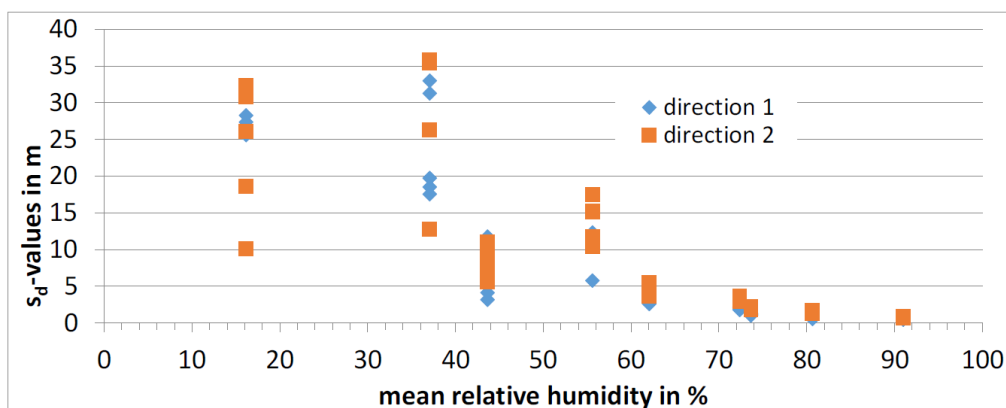
Fechner och Meißner, (2017) redovisar resultat från laboratoriemätningar på fyra olika "smarta ångbromsar", dvs. ångbromsar med varierande ångmotstånd vid olika omgivande relativ fuktighet. Produkterna redovisas endast med index från A till D. Resultaten redovisas i figurerna 2.14-2.16. Mätningar utfördes i båda riktningar för respektive membran.

Enligt författarna (Fechner och Meißner, 2017) finns det stora skillnader mellan produkterna. Produkt A och B visar betydande spridning mellan olika materialprover vid samma RF-nivå. Författarna anser att detta kan bero på naturliga spridningar från tillverkningen. Produkt B visar större spridning än produkt A, speciellt vid låg relativ fuktighet. Resultaten visas också att det finns ett riktningberoende ångmotstånd vid måttliga relativa fuktigheter både för produkt A och B. Däremot är spridningen betydligt mindre för produkterna C och D. För C-D finns det inte heller något riktningberoende på flödet, (Fechner och Meißner, 2017).

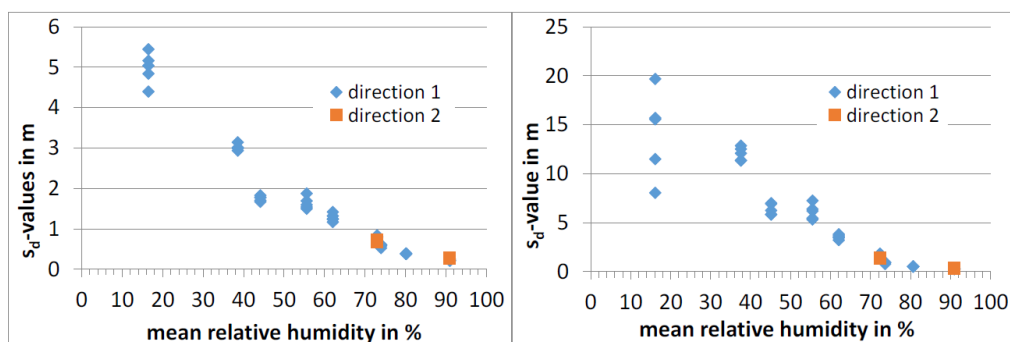
Författarna redovisar även olika ansatser att passa mätresultatet till olika typer av ekvationer. Resultaten visas att det inte går att hitta ett ekvationssamband som passar till samtliga av de fyra undersökta produkterna.



Figur 2.14 Uppmäta S_d- värde för produkt A, (Fechner och Meißner, 2017).



Figur 2.15 Uppmätta S_d - värde för produkt B, (Fechner och Meißner, 2017).



Figur 2.16 Uppmätta S_d - värde för produkt C och D, (Fechner och Meißner, 2017).

2.13 Field measurements of moisture variation in cold ventilated attics with different ceiling constructions.

I Danmark krävs för närvarande en traditionell ångspärr av PE-folie i alla vindsbjälkag om tjockleken på isoleringen överstiger 150 mm, (Hansen och Møller, 2017). För att utreda om denna rekommendation är nödvändig för olika utföranden av kalla vindar har författarna genomfört fältmätningar i 20 enfamiljshus i Danmark. Under ett år mättes temperatur och relativ fuktighet i bostadsutrymme, utomhus och på vinden i dessa byggnader.

De tjugo byggnaderna delades upp i fyra huvudgrupper:

Grupp A, byggnader utan ångspärr

Grupp B, byggnader med PE-folie som ångspärr

Grupp C, byggnader med ångbroms av Al-folie och tilläggsisolering av cellulosa

Grupp D, byggnader med ångbroms av Al-folie och tilläggsisolering av mineralull.

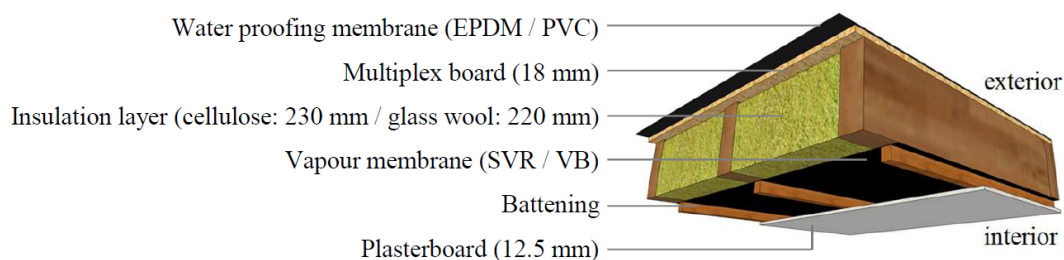
Resultaten från mätningarna, (Hansen och Møller, 2017), tyder inte på att tjockleken på värmeisoleringen i vindsbjälklaget har en avgörande betydelse på temperaturen på

vindarna, och därmed luftens förmåga att ”hålla” mer vattenånga vid högre temperatur. Enligt (Hansen och Møller, 2017) har vare sig ångspärr, isoleringens tjocklek eller typ av isolering någon avgörande betydelse på fukttillståndet på vindarna under vintersäsongen. Slutsatsen från mätningarna bygger dock på mätningar i enbart tjugo enfamiljshus under ett år.

2.14 Hygrothermal behaviour of compact roofs in wood frame constructions through on-site measurements

Långtidsmätningar i fält för fem kompakta tak, utsatta för verklig belgiskt utomhusklimat, genomfördes av Langerocka et al, (2017) för att kontrollera hur de testade konstruktionselementen fungerade under verkliga förhållanden. Vid fältförsöken undersöktes hur smarta ångbromsar, hygroskopisk isolering och kulören på det utvändiga tätskiktet inverkar på takets funktion. Smarta ångbromsar ansågs intressanta att undersöka då dessa ger möjlighet att torka ut eventuell byggfukt och läckagevatten från taken under sommaren, samtidigt som de kan förhindra fukt från insidan att transporteras in i taket under vintern. Då smarta ångbromsar har lägre maximalt ångmotstånd än traditionella folier av polyeten anser Langerocka et al, (2017) att det är väsentligt att kombinera ångbromsar med ett yttre ytskikt med mörk kulör. Därigenom ökar temperaturen på utsidan under sommaren varvid förmågan att torka fukt inåt ökar. Hygroskopisk isolering ansågs intressant att undersöka då dessa produkter har bättre förmåga att buffra fukt än mineralull, och därigenom minskar risken för allt för höga fuktnivåer inuti taket.

Försöken genomfördes i två provhus, i utsatt läge, i Belgien. I vardera provhuset finns nio olika tak med dimensionerna 1,2 m × 1,2 m. I den presenterade uppsatsen redovisas endast resultat från fem av dessa, (Langerocka et al, 2017). Mätningar av temperatur, relativ fuktighet och fuktkvot mäts i olika delar av respektive takkonstruktion. Mätningarna pågick från den 15 april 2016 till den 31 januari 2017. Langerocka et al, (2017) uppger endast att fukttillskottet inomhus motsvarar klimatklass 2 eller 3. Principiell uppbyggnad av elementen framgår av figur 2.17. I tabell 2.4 visas hur de fem olika redovisade takelementen är konstruerade.



Figur 2.17 Principiell uppbyggnad av de kompakta takelementen, (Langerocka et al, 2017).

Tabell 2.4 Typ av isolering (Insulation layer), ångtät skikt (Vapour membrane) och yttre tätskikt (Water proofing membrane) för de fem olika kompakta takelementen, (Langerocka et al, 2017).

Littera	Isolering	Ångtätt skikt	Yttre tätskikt
R1	Cellulosa	Ångspärr	EPDM (svart)
R2	Cellulosa	Smart ångbroms	EPDM (svart)
R3	Glasull	Ångspärr	EPDM (svart)
R7	Glasull	Smart ångbroms	EPDM (svart)
R8	Glasull	Smart ångbroms	PVC (vit)

Nio kompakta tak bestående av olika isoleringsmaterial, olika ångbromsar och olika utförande har utsatts för två olika inomhusklimat under knappt ett år. Det hygrotermiska beteendet har övervakats genom mätningar av fuktkvot i träelementen och relativ fuktighet i isoleringsmaterialet.

Enligt Langerocka et al, (2017) visar mätresultaten att man genom ett noggrant utförande med avseende på lufttäthet och skydd mot byggfukt för materialen, erhåller en takkonstruktion där ingen av trädelarna får en fuktkvot som överstiger 20 % under mätperioden. Valet av material som taket består av kan ändå påverka det hygrotermiska beteendet hos det kompakta taket och eventuellt orsaka en långsam fuktansamling över tid.

- Kulören på det vattentäta membranet har en avgörande inverkan. Mätresultaten visar att vatteninnehållet i träelementen var högre när man använde ett vitt takmembran istället för ett svart takmembran.
- I tak där glasullisolering kombineras med en smart ångbroms tenderar fuktkvoten i träbalkarna att vara lägre än i taklösningar med glasullisolering och ångspärr.
- Användningen av en smart ångbroms i kompakta tak med cellulosisolering visade sig ha mycket liten inverkan. För båda typerna av isoleringsmaterial utsätts dock plywooden (multiplex board) för en gradvis uppfuktning under den kalla säsongen som blir allvarligare om den kombineras med en smart ångbroms. Denna gradvisa uppfuktning anses acceptabel om det inte sker en betydande ackumulering av vatten från år till år ett annat eller om fukttinnehållet förblir under 16 %.
- Vatteninnehållet i takkonstruktionen med en hygroskopisk isolering som cellulosa har noterats vara mer stabilt än hos takkonstruktioner med glasullisolering. I kompakta tak med en smart ångbroms tenderar dock den hygroskopiska isoleringen att öka vatteninnehållet i taket.

2.15 Measured temperature and moisture conditions in the roof attic of a one-and-a-half story house

Nielsen & Morelli, 2017 redovisar mätresultat från ett 1½-plans hus i Danmark med kallt ventilerat vindsutrymme. Den undersökta byggnaden är från 1962, och har i efterhand tilläggsisolerats så att vindsbjälklaget i nuläget har 200 mm värmeisolering av mineralull. Under isoleringen finns en traditionell ångspärr av PE-folie. På vinden mät-

tes temperatur och fuktkvot kontinuerligt. Mätningar genomfördes även inuti byggnaden samt utomhus. Huset som är orienterat i nordsydlig riktning har en taklutning på cirka 45°.

Inomhustemperaturen varierade mellan 20-22 °C. På vintern var fuktkvoten på vinden och utomhus nästan identiska, medan fuktkvoten utomhus var högre än på vinden under våren. Den högsta fuktkvoten (cirka 20 % FK) registrerades på norra sidan av vinden i januari och februari. Då det sammanfaller med en period med låga temperaturer så anser Nielsen & Morelli, (2017) att det inte finns någon risk för mögeltillväxt. Från mars ökade solstrålningen temperaturen på vinden och torkade träet på vinden. Vinden var under större delen av året varmare och torrare än utomhus. Det fanns inga tecken på fuktproblem i taket. Ingen mögelpåväxt noterades på vinden, (Nielsen & Morelli, 2017).

En sammanfattning av mätningarna visar följande:

Solstrålning har stor inverkan på temperaturen på vinden.

Mätningar av fuktkvot på vinden samt utomhus visar att risken för mögel endast finns under korta perioder under vintern.

Träet på vinden är torrare än trä utomhus under större delen av året.

Mätningarna kompletterades med beräkningar som utfördes med BSIM. Vid simuleringarna varierades tjockleken på isoleringen i vindsbjälklaget från 50 to 500 mm. Beräkningarna tyder på att temperaturen på vindarna blir nästan densamma då tjockleken succesivt ökas från 200 mm till 500 mm. Av denna anledning anser författarna att tjockare isolering inte nämnvärt påverkar fukttillståndet på vinden. Det är dock viktigt att det finns en väl fungerande ång- och luftspärr som effektivt hindrar fukt från inomhusluften att transporteras till vinden via diffusion och/eller konvektion, (Nielsen & Morelli, 2017).

2.16 Ventilated wooden roofs: Influence of local weather conditions -measurements

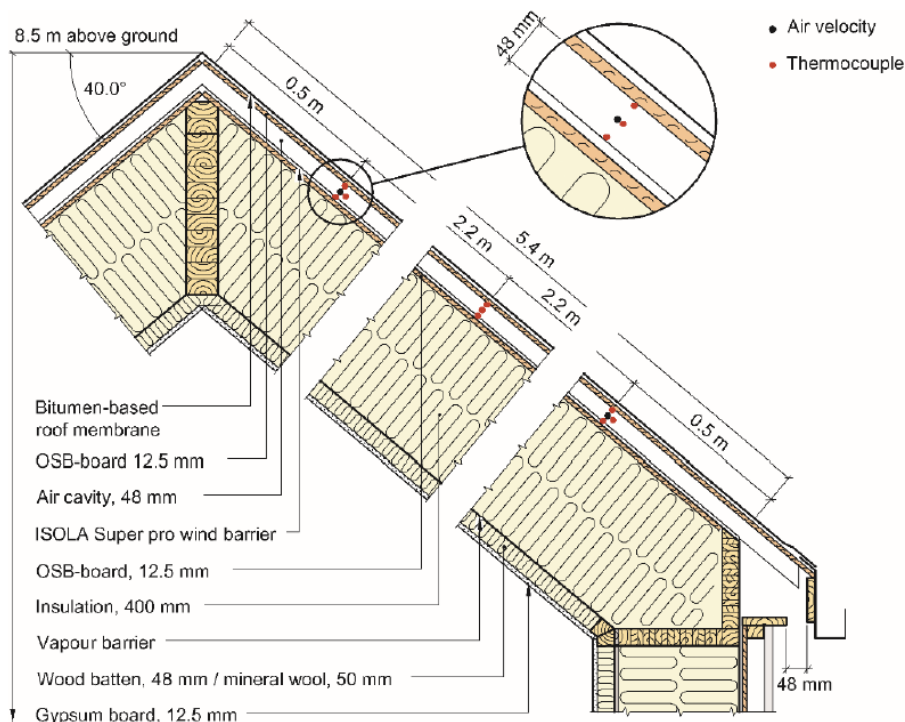
Fallstudien har två syften, (Gullbrekken et al, 2017):

- Undersöka risken för kondensation på invändiga ytor i det kompakta taket vid olika utomhusklimat, (vår, sommar och höst).
- Undersöka sambandet mellan utvändigt luftflöde och luftfukt i ett kompakt tak med träkonstruktion.

Det rektangulära provhuset är beläget vid NTU i Trondheim. De rektangulära luftspalterna vid takfötterna har vardera längden 552 mm och höjden 48 mm: Byggnaden har en total längd på 10,8 m. Taket har en lutning på 40°. Den undre ytan i den ventilerade luftspalten utgörs av ett vindskydd ovanpå en 12.5 mm hård träfiberskiva (OSB). Ovanför luftspalten finns också en OSB-skiva och ytterst en bitumenbaserad taktäckning, se figur 2.18. Observera att ventilationen av luftspalten endast sker vid takfötterna, dvs. taknocken är inte ventilerad.

I den ventilerade luftspalten mättes temperaturer på totalt 81 olika positioner i de nio facken. I två av facken mättes även luftryck och lufthastighet i olika riktningar. På en av gavelspetsarna finns en väderstation placerad på höjden 10 m.

Enligt Gullbrekken et al, (2017) visar mätresultaten från provhuset i Trondheim långa perioder när ytttemperaturen inuti den utomhusventilerade luftspalten är lägre om utomhustemperaturen, speciellt under vår och höst. Resultaten visar också ett tydligt samband mellan lufthastighet vid väderstationen och lufthastigheten i luftspalten. Den genomsnittliga lufthastigheten i luftspalten under vår, sommar och höst är cirka 11 h^{-1} under perioder med låg vindhastighet och 84 h^{-1} under perioder med högre vindhastighet. Författarna anser också att ventilation enbart vid motstående takfötter i det rektangulära provhuset ger tillräcklig ventilation, trots att taket lutade så mycket som 40° .



Figur 2.18 Principiell uppbyggnad av det kompakta taket i provhuset i Trondheim, (Gullbrekken et al, 2017).

2.17 Fuktanalys av klimatvind – Mögelproblematik på vindsutrymme

Examensarbetet studerar hur fukt- och mögelrisken inuti ett kallt vindsutrymme påverkas av isolering på utsidan av råsponten (Ingelsson & Olsson, 2013). Syftet med åtgärden är att minska effekten av nattutstrålning och därmed höja temperaturen i råsponten varvid den relativa fuktigheten sjunker. Den studerade konstruktionen analyserades för att utröna om det finns risk för mögelrisk i framtiden. För att studera mögelrisken för

olika scenarier användes först fuktberäkningsprogrammet WUFI för att beräkna temperatur- och fuktförhållanden på vinden som funktion av tiden. Med känd temperatur och relativ fuktighet bedömdes därefter risken för mögel med den så kallade dosresponsmodellen (MRD) utvecklad av Thelandersson & Isaksson (2013) och den så kallade folosmetoden, (Mundt-Petersen et al, 2012). Arbetet genomfördes som en parameterstudie med variablerna isolertjocklek, ventilation, läckage samt omgivande klimat.

Byggnaden som simuleringarna baseras på är ett flerbostadshus med sex våningar samt ett vindsutrymme. Bjälklaget är isolerat med 500 mm lösull. Den undersökta takkonstruktionen har ett sadeltak med takpannor. Under pannorna finns ett isolerande skikt av cellplast. Cellplasten vilar på en underlagspapp som ligger på råspont. Ventilationen på vinden är begränsad för att reducera mängden uteluft att komma in på vinden. Det finns ventilationsöppningar vid takfot samt vid taknock.

Arbetet är begränsat till teoretiska beräkningar i en dimension med simuleringssystemet WUFI. Vid simuleringarna antas det lutande taket vara parallellt med vindsbjälklaget och vindsutrymmet antas fungera som en bred ventilerad luftspalt.

Vid simuleringarna används uppmätt klimatdata från SMHI för tidsperioden 1990-1998 från Lund respektive Luleå. Om beräkningarna omfattar mer än nio år börjar programmet om med uteklimatet för det första året i klimatserien, dvs. 1 januari 1990.

Inomhus antas fuktbelastningen motsvara fuktklass 2 enligt EN-ISO 13788:2012, vilket motsvarar ett fukttillskott på 4 g/m^3 då utomhustemperaturen är lägre än 0°C . Temperaturen inomhus antas vara konstant $+21^\circ\text{C}$.

För att bedöma luftomsättningen på vinden har en enkel beräkningsmodell utvecklats tillsammans med handledaren Petter Wallentén. För läckage genom oavsiktliga otätheter i ångspärren från inomhusluft till vindsutrymme har de använt samma modell som Hansson & Lundgren (2009). Då flödet till viss del styrs av den termiska drivkraften blir luftomsättningen högre i Luleå än i Lund. Under en simulering antas luftomsättningen vara konstant.

Vid simuleringarna antas att 1 % av nederbörden läcker till råsponten.

Sammanfattningsvis konstateras följande.

- Isolering av cellplast på utsidan av råsponten fungerar bättre i Luleå än i Lund.
- Simuleringarna ger motstridiga resultat beträffande nyttan av utvändigt isolering.
- Tjockare råspont ger högre mögelrisk.
- En reduktion av regnläckaget från 1 % till 0,5 % ger cellplasten en viss reduktion av mögelrisken på vinden i Lund. Effekten är betydligt större om byggnaden uppförs i Luleå.

2.18 Fuktproblem på kallvindar. En riskbedömning av olika byggnadstekniska lösningar i Sydsverige

Syftet med examensarbetet (Persson & Nordgren, 2018) var att jämföra fukt klimatet för fyra olika kallvindar med olika byggnadstekniska lösningar för flerbostadshus med vindsbjälklag av betong. I samtliga kallvindar finns takstolar av trä med råspont ovanpå takstolarna. Resultaten jämförs också med resultat från ett annat examensarbete där mätningar genomfördes på kallvindar i Stockholmsregionen. Två av de fyra vindarna är belägna i Kristianstad och är traditionellt utformade uteluftventilerade kallvindar. De två övriga objektet ligger i Limhamn. I ett av dessa objekt är kallvinden kompletterad med en plastfolie på ovansidan av vindsbjälklaget med syftet att avsevärt reducera avdunstningen av byggfukt från betongbjälklaget till vindsutrymmet. I den fjärde byggnaden finns en styrd ventilation i en tät kallvind.

En okulär besiktning av kallvindarna genomfördes innan mätningarna påbörjades för att kontrollera att ingen synlig mögelpåväxt förekom.

De olika lösningarna har analyserats genom att studera resultat från mätningar av temperatur och relativ fuktighet på vindarna under perioden januari till maj och beräknad ånghalt och fuktillskott. Mätintervall för loggarna på kallvindarna var en timme. Ett MRD-diagram (MRD=Mould Resistance Design) har plottats för att få en bild av risken för mögelpåväxt.

Resultaten från studien visar att den traditionellt utformade uteluftsventilera kallvinden inte är en fuktsäker lösning i sydsvenskt klimat. Fungerar den styrda ventilationen såsom avsett är detta den bästa lösningen. Om den mekaniska ventilationen är ur drift skickas dock ingen information om detta till den fastighetsansvarige. Är systemet ur funktion under en längre tid kan kallvinden med styrd ventilation bli en riskkonstruktion. Enligt denna studie är lösningen med en plastfolie ovanpå betongbjälklaget den mest stabila och pålitliga lösningen som vare sig behöver övervakning eller underhåll.

En jämförelse med mätningarna från Stockholmsregionen visar att det sydsvenska klimatet utgör en större risk för fuktrelaterade problem på kallvindar.

2.19 Fuktrisker i kallvindsutrymmen – problem och förbättringsmetoder

Examensarbetet som utförts av Nilsson (2009) har genomförts med syftet att undersöka olika tekniska lösningar för att åstadkomma torrare kalla vindar samt för att genomföra mätningar i några flerfamiljshus uppförda av NCC för att undersöka om mögelrisk föreligger. Lösningar som studeras är (a) reducerad ventilation, (b) isolering av underlagstaket, (c) diffusionsöppen underlagstäckning direkt på takstolarna och utan råspont samt (d) styrd ventilation.

Tre av husen är byggda enligt den plattform för flerfamiljshus som NCC använde 2009. Vilket innebär att de har en konventionell vinds- och taklösning. Ett av de tre husen har dock ett snedtak med plåttaktäckning. Samtliga hus har ett 200 mm tjockt vindsbjälklag av betong, ångspärr samt 400 alternativt 450 mm isolering av lösull. De uteluftventilerade vindarna har luftspalt vid takfot samt ventilerade taknockar.

I husen där styrd ventilation testades har husen ett träbjälklag mot vinden som isoleras med 400 mm lösull. Ovanför vindsutrymmet finns ett pulpettak bestående av betongtakpannor, bärläkt, ströläkt på ett underlagstak av armerad plastduk.

Under den period då mätningar genomfördes, november 2008 till april 2009, visade mätvärden från flerfamiljshusen låg risk för mögel, med undantag för en byggnad med lågt pulpettak och taktäckning med plåt istället för tegelpannor. Det sistnämnda taket ansågs vara mer känsligt för nattutstrålning vilket enligt författaren medförde att det frekvent blev lägre temperatur på vinden än utomhus. Den låga taklutningen ansågs också öka problemen då kvarliggande snö bidrar till nedkylning av vindsutrymmet.

I det separata projektet med styrd ventilation på vinden leder lösningen till en minskning av den relativa fuktigheten med 5-10 % jämfört med referensbyggnaden.

2.20 Fuktproblem i uteluftventilerade kallvindar

I ett examensarbete från KTH har Larsson & Reivilä, 2017 genomfört mätningar i tio objekt med målet att undersöka om flerbostadshus som byggs enligt NCC:s tekniska plattform har kallvindar som har eller riskerar att få fuktskador. Alla objekten har vindsbjälklag av betong, uteluftventilerade vindsutrymmen, underlagstak av råspont och trätakstolar. I vindsbjälklaget varierar tjockleken på isoleringen mellan 400-500 mm och består antingen av lösull, glasull eller stenull. På tre av husen finns betongtakpannor medan övriga har två lager takpapp. Samtliga byggnader har ventilationsöppningar vid takfot vars höjd varierar mellan 30-70 mm. I två byggnader finns även ventilation vid taknock. Samtliga byggnader ligger i Stockholmsområdet och är färdigställda mellan åren 2004 och 2016. Takform och taklutning varierar mellan byggnaderna.

I varje objekt mättes relativ fuktighet och temperatur med loggers inomhus och utomhus en gång i timmen från den 13 februari till den 9 april. I samtliga objekt mättes även fuktkvoten i trä på kallvindarna, i råspont och takstolar i alla väderstreck. Dessa mätningar genomfördes i varje kallvind vid tre tillfällen under mätperioden. I samband med mätningar av fuktkvot genomfördes även okulärbesiktningar på samtliga kallvindar för att dokumentera konstruktionsdetaljer och eventuell mögelpåväxt.

Under mätperioden sjönk fuktkvoterna från cirka 12 % till 8 %.

Enligt (Larsson & Reivilä, 2017) är den relativa fuktigheten vid ett antal tillfällen över 75 % under mätperioden i de olika kallvindarna. Detta sker dock under perioder när temperaturerna är så låga att risker för fuktskador inte anses vara aktuella. Under mätperioden har medeltemperaturen stigit, vilket har medfört att den relativa fuktigheten

har sjunkit. Risken för mögelpåväxt har även bedömts med hjälp av diagram baserat på data från Smith och Hill samt Viitanen (anm. dessa referenser saknas i examensarbetet). Med utgångspunkt från dessa litteraturkällor anser Larsson & Reivilä, 2017 att det inte föreligger mögelrisk i någon av de undersökta vindarna under mätperioden.

Vid de okulära besiktningarna noterades inga synliga fuktskador i något av de tio olika objekten. De fel som observerades var skillnader mellan objektens konstruktionsritningar och dess verkliga utförande. Tre av objekten saknade ångspärr, vilket skulle finnas enligt ritningarna. I ett fjärde objekt saknades luftning inock som skulle finnas enligt ritningarna.

Baserat på mätresultat och okulärbesiktningar från detta examensarbete som genomfördes under perioden februari till april 2017 anser Larsson & Reivilä, 2017 att NCC:s konstruktioner för kallvindar för flerbostadshus för närvarande är säkra avseende risken för fuktskador.

2.21 Metoder för spårgasmätning i kalla vindsutrymmen

I examensarbetet har Pettersson, 2014 undersökt möjligheterna att med hjälp av spårgasteknik bestämma ventilationsflödet på en kall vind i ett litet provhus intill LTH i Lund. Byggnaden utgörs av ett enda rum med längden 7 m och bredden 3,6 m, vilket ger en area på cirka 25,2 m². Mätningarna har utförts på vinden i provhuset som är indelat i två sektioner med en mellanliggande vägg där en av sektionerna är utförd som en typisk kall vind. Ventilationen i denna del utgörs av ett kvadratisk ventilationsgaller på gaveln med arean 0,04 m². Denna del är även försedd med takfotsventilation längs med båda långsidorna i form av en öppen spalt på cirka 20 mm. Den andra halvan av vinden har varken ventilationsgaller på gaveln eller öppningar vid takfoten. Vinden har måtten 3,95×3,5×1,8 m per sektion vilket ger en volym per sektion på 12,5 m³. I samband med examensarbetet har endast den ventilerade sektionen av vinden använts då denna ansågs vara representativ för en ”normal” kallvind. Vindsbjälklaget utgörs av takstolar c/c 1200 mm, plywood som även utgör innertak, PE-folie samt 195 mm mineralull. Yttertaget utgörs utifrån räknat av betongtakpannor, läkt, underlagstäckning samt råspont och takstolar. Inom examensarbetet (Pettersson, 2014) har författaren undersökt och jämfört tre olika sätt att tillföra och mäta spårgaskoncentrationen på vinden. För mätningarna användes utrustning från Innova AirTech Instruments. För mer information om utrustningen hänvisas till Innova, 2014. Med utrustningen är det möjligt att samtidigt mäta i sex olika positioner i ett utrymme. Inom arbetet har endast fyra kanaler utnyttjats på grund av vindsutrymmets begränsade volym. De tre metoder som utarbetats och utvärderats är:

- Dosering i samtliga fyra kanaler samtidigt och kontinuerlig mätning i samtliga kanaler.
- Dosering i en kanal åt gången, men kontinuerlig mätning i samtliga kanaler.
- Dosering via en kanal till t-munstycken som fördelar dosen till fyra punkter i utrymmet och kontinuerlig mätning i samtliga kanaler.

Enligt (Pettersson, 2014) är metod tre den bästa, som bör utvärderas och utvecklas ytterligare.

Även om metodutvecklingen var det primära syftet med arbetet har detta ändå resulterat i att luftomsättningen har bestämts ett flertal gånger under våren 2014. Från metod tre varierade den utvärderade luftomsättningen mellan 0,0347 och 4,4712 omsättningar per timme, varav 71 % av de beräknade värdena ligger i intervallet mellan 1 och 4,5 oms/h. Resultaten visar också att luftomsättningen varierar påtagligt under mätperioderna. De yttre parametrar som (Pettersson, 2014) anser vara av störst betydelse är vindhastighet, vindriktning samt temperatur och tryckfördelning på vinden.

3 Fallstudie

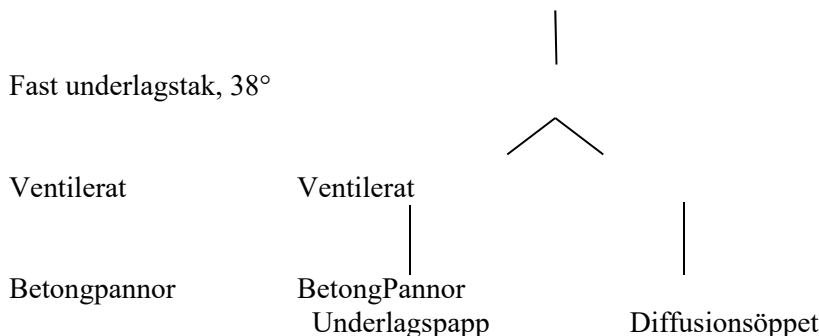
I samverkan med materialtillverkaren Trelleborg (Mataki) utvidgas och kompletteras Stockholmsstudien i (Harderup & Arfvidsson, 2008) för att utreda fördelar, nackdelar samt eventuella begränsningar för en av dessa produkter. I de mätningar som genomförts i ett befintligt provhus intill LTH i Lund har vi undersökt ett kallt vindsutrymme med diffusionsöppet underlagstak som jämförts med en traditionell underlagstäckning av asfaltimpregnerad papp. I undersökningarna ingår studier både för ventilerat och ett fall med "oventilerat" vindsutrymme, vilket i praktiken innebar att ventilationsöppningarna vid respektive takfot kraftigt reducerats genom att träplank spikades fast framför dessa. Samma metodik användes av (Harderup & Arfvidsson, 2008) i Stockholmsstudien.

3.1 Genomförande

Försöksplanen har framförallt syftat till att ge mätdata så att det finns underlag för jämförelser mellan de fall som undersökts i studien, dvs. två olika typer av underlagsmaterial på råspont, ventilerad respektive oventilerat vindsutrymme samt inverkan av väderstreck.

För att försöka täcka in olika faktorer, samtidigt som antalet parametrar måste begränsas, har mätningar genomförts i ett provhus enligt nedanstående skiss.

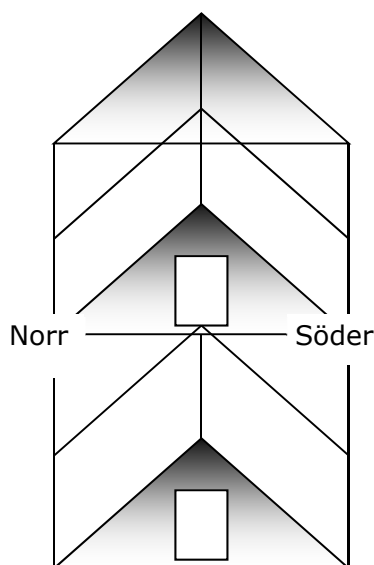
Provhus i Lund



Figur 3.1 Försöksplan för mätningarna i provhuset i Lund.

Provhuset är placerat öster om V-huset på LTH i Lund och är enbart byggt som ett provhus. Av denna anledning är huset obebott och följaktligen är fuktillskottet försumbart. Byggnaden är däremot alltid uppvärmd till cirka $+20^{\circ}\text{C}$ under uppvärmningssäsongen. Det finns ingen kylning av huset varför temperaturen sommartid kan vara betydligt högre än $+20^{\circ}\text{C}$.

Provhuset har nocken i öst-västlig riktning. Det är därför möjligt att undersöka hur väderstrecket påverkar klimat och fuktillstånd i det kalla taket, se figur 3.2.



Figur 2.2 Skiss över provhuset. Dörr intill vindsutrymmet på gavel mot väster samt avskiljande vägg som delar upp vinden i två lika stora delar med en tät dörr emellan.

Provhuset har längden 7,7 m och bredden 4,0 m. Fri höjd i utrymmet under den uteluftventilerade vinden är 2,5 m. Vindsbjälklaget utgörs uppifrån räknat av 195 mm isolering av mineralull samt 45×195 horisontella träbalkar c/c 1200 mm, 0,2 mm PE-folie samt 12 mm plywood som även utgör innertaket. Yttertaket utgörs utifrån räknat av mörkröda betongtakpannor, bär- och ströläkt, underlagstäckning samt råspont och takstolar. Taklutningen är 38°.

Vinden utgörs ursprungligen av ett enda rum med längden 7 m och bredden 3,6 m, vilket ger en area på cirka 25,2 m². Efter ombyggnad av taket är vindsutrymmet uppdelat i två delar. I den östra delen finns en diffusionsöppen produkt på råsponten. I den västra delen finns en traditionell underlagspapp på råsponten. Ovanför underlagspappen är konstruktion identisk med den östra delen av yttertaket. Inledningsvis var båda delarna ventilerade vid takfot med en öppen spalt på cirka 20 mm och med gavelventiler med arean 0,04 m². Vinden har måtten 3,95×3,5×1,8 m per sektion vilket ger en volym per sektion på 12,5 m³.

För att undersöka effekten av minskad ventilation reducerades denna i den östra delen genom att ventilationsgallret på gaveln stängdes samtidigt som öppningarna vid takfoten minskades med ett stående plank. Åtgärden utfördes 18-20 april 2007. Åtgärden påverkade dock inte resultaten varför reducerad ventilation inte kommer att diskuteras vidare i rapporten.

Produkternas monteringsgenskaper ingår inte som del av projektet.

3.2 Kalibrering

För att i kvalitetssäkra mätningar av denna typ är det nödvändigt att kalibrera mätsensorerna. Detta bör om möjligt ske både före och efter mätperioden. Inom detta projekt har kalibrering av både temperatur och relativ fuktighet utförts i en Thunder precisionsfuktkammare, (Thunder Scientific Corporation Model 2500). Batteridrivna mätsensorer av typen Hobo Pro användes för att mäta temperatur och relativ fuktighet i vindsutrymme, inne och ute samt i utrymmet mellan underlagstäckning och betongtakpannor. Tunna sensorer av fabrikatet Honeywell placerades mellan råspont och underlagstäckning. Även dessa kalibrerades före och efter avslutade mätningar. Tyvärr gick kalibreringsresultaten från Honeywellsensorerna efter avslutad mätperiod förlorade i samband med att en av våra laboratorieingenjörer hastigt avled.

Kalibreringsmetodik

Kalibrering av RF utfördes vid 30, 50, 75, 85, 95 och 97 %

Detta upprepades vid temperaturerna +16 °C, +20 °C och +30 °C, se figur 3.3 som illustrerar utseendet på polynomfunktioner för en givare.

Tillämpning av kalibreringarna.

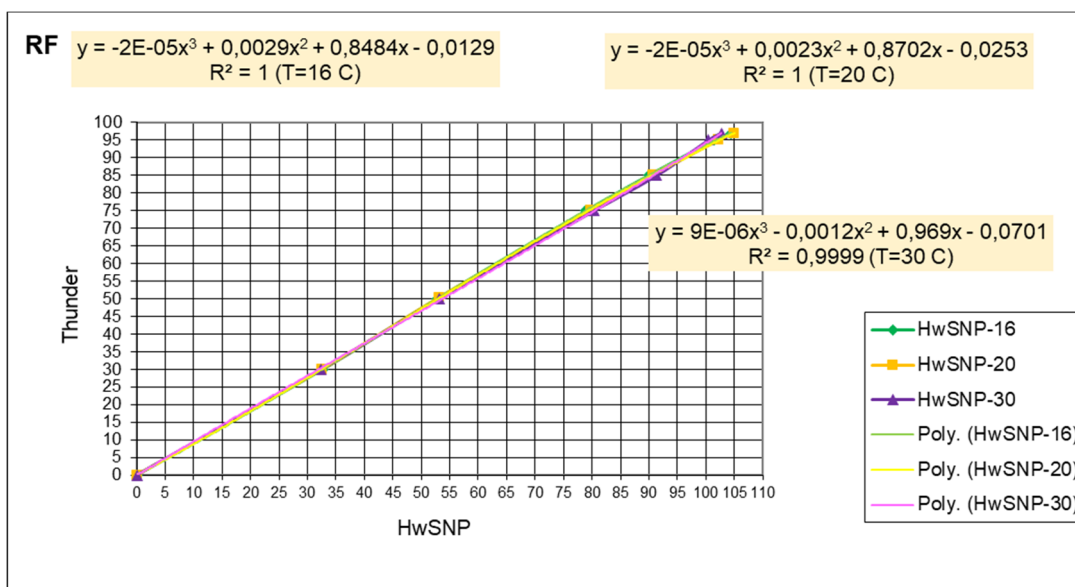
Polynomfunktioner för samtliga sensorer, både för temperatur och relativ fuktighet, dvs. totalt 50 polynomfunktioner med oftast två termer för temperaturen och tre för RF. Polynomfunktionerna används för att kalibrera varje uppmätt data. Utanför gränserna för polynomfunktionerna antas att avvikelserna är densamma som för undre respektive övre uppmätt gräns för RF respektive temperatur.

Mellan två polynomfunktioner bestämda vid olika temperatur utförs linjär interpolering.

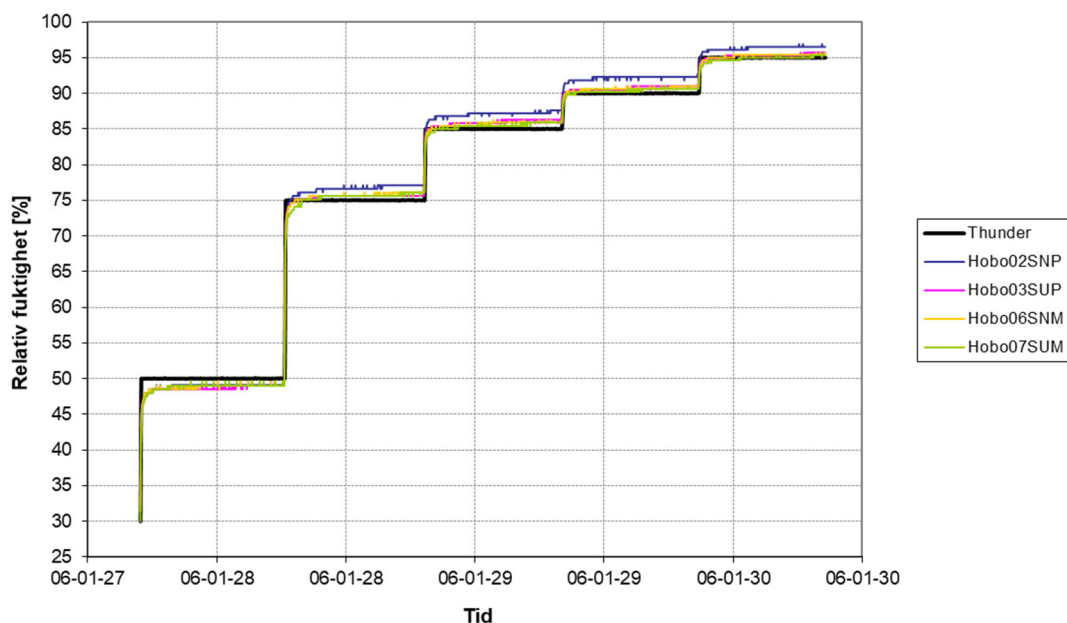
Avvikelser mellan kalibreringar före respektive efter mätperioden beaktas genom att anta att skillnaden ändras linjärt med tiden. Detta är troligen inte ett helt korrekt antagande då avvikelserna mellan avläst och "sant värde" mycket väl kan komma plötsligt t.ex. då en givare utsätts för kondens eller plötslig nedsmutsning. Detta går dock inte att ta hänsyn till varför ett linjärt förlopp anses vara det bästa sättet att ta hänsyn till förändringarna mellan två kalibreringstillfällen.

En annan felkälla är att det i alla givare finns en viss termisk och hygroskopisk massa. Detta medför att snabba förändringar i omgivande temperatur och relativ fuktighet inte går följa då det krävs en viss tidsperiod innan givarna kommer i fullständig jämvikt med det omgivande klimatet, se figur 3.4. I detta projekt har medelvärden från kalibreringarna från de sex sista timmarna innan byte av klimat använts som "sant" värde.

Ytterligare en försvårande omständighet är att det kan finnas en viss hysteres i givarna vilket innebär att det kan finnas avvikelser i registrerat värde beroende på om det handlar om uppfuktning eller uttorkning av den omgivande luften. Eventuell hysteres har inte beaktats i detta projekt.



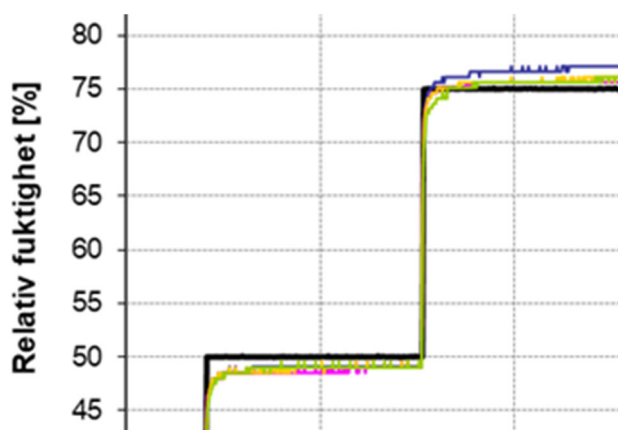
Figur. 3.3 Exempel på resultat från kalibrering avseende relativ fuktighet med inlagda polynomfunktioner för temperaturerna +16 °, +20 °C och +30 °C. Som framgår av ekvationerna går dessa nästan genom origo om RF är noll. Även om skillnaderna vid olika temperatur är liten har linjär interpolering med hänsyn till temperaturen vid varje mät-tillfälle ändå beaktats.



Figur 3.4 Exempel på resultat från kalibrering i precisionsfuktkammaren vid LTH. Som framgår av figuren är det alltid en viss fördröjning i förändring av RF hos givarna efter en omedelbar stegändring av RF i precisionsfuktkammaren vid konstant temperatur (Thunder, svart linje).

Genom att förstora och endast visa en liten del av kalibreringskurvan enligt figur 3.4 framgår också att de aktuella batteridrivna givarna generellt visar för lågt värde vid 50 % RF i precisionsfuktkammaren och ett för högt värde vid 75 % relativ fuktighet och därutöver, se figur 3.5. Vid ytterligare förstoring går det också att urskilja att givarna inte har helt identiska tidskonstanter, dvs. de är mer eller mindre snabba på att anpassa sig till ett nytt klimat.

Ovanstående diskuterade felkällor visar att redovisade resultat alltid är behäftade med fel, trots noggrann kalibrering.



Figur 3.5 Förstorad del av figur 3.2 visar att tidskonstanten för givarna varierar något. Observera att samtliga givare visar något för låg RF vid 50 % medan de visar något för höga värden vid 75 % och därutöver.

Vid beräkning och redovisning av ånghalter krävs ett empiriskt samband för att beskriva mätnadsånghalten vid olika temperatur. I denna rapport har ekvation 3.1 och 3.2 använts, som är hämtad från en äldre version av Fukthandbok (Nevander & Elmarsson, 1994). Detta samband är inte lika exakt som det samband som redovisas av (Arfvidsson, Harderup & Samuelson, 2017) men är tillräckligt bra med hänsyn till andra felkällor som beskrivs ovan.

$$p_s(T) = a \cdot \left(b + \frac{T}{100} \right)^n \quad [\text{Pa}] \quad \text{ekv (3.1)}$$

$$\begin{array}{llll} 0 \leq T \leq 30 & a = 288,68 \text{ Pa} & b = 1,098 & n = 8,02 \\ -20 \leq T < 0 & a = 4,689 \text{ Pa} & b = 1,486 & n = 12,3 \end{array}$$

$$v_s(T) = p_s(T) \cdot \frac{M_v}{R \cdot (273,15 + T)} \quad [\text{kg/m}^3] \quad \text{ekv (3.2)}$$

$M_v = 18,02$ (molekylvikten för vatten), [kg/kmol]

$R = 8314,3$ (allmänna gaskonstanten), [J/(kmol·K)]

$T = \text{temperaturen}$, [°C]

Med uppmätt temperatur och relativ fuktighet samt ekvationerna (3.1) och (3.2) är det därefter enkelt att beräkna ånghalten med hjälp av ekvation (3.3).

$$v = v_s(T) \cdot \frac{RF}{100} \quad \text{ekv (3.3)}$$

v = aktuell ånghalt, [kg/m³]
 $v_s(T)$ = mätnadsånghalt vid temperaturen T, [kg/m³]

3.3 Fukttillskott

Vid beräkning av fukttillskottet (v_{FT}) är det för det generella fallet nödvändigt att ta hänsyn till volymförändringen då luften flyttas till ett utrymme med annan temperatur. Detta kan utföras genom att tillämpa den allmänna gaslagen. Anta att en luftvolym har temperaturen T_1 och ånghalten v_1 . Luftvolymen flyttas varvid den kommer att anta temperaturen $T_2 > T_1$. Totaltrycket antas oförändrat. Luftvolymen kommer då att expandera på grund av sänkt densitet vilket leder till att koncentrationen av gasmolekyler kommer att minska. Den nya gaskoncentrationen v_2 kommer då att bli lägre än v_1 . Om luftvolymen istället går från varmt till kallt ökar koncentrationen av vattenånga. Hänsyn till volymändringen medför således att beräkning av fukttillskottet leder till ett högre fukttillskott då temperaturen ute är lägre än inomhus. Då temperaturen är högre utomhus än inomhus blir följaktligen fukttillskottet mindre då volymförändringen beaktas.

$$v_2 = \left(\frac{T_1 + 273}{T_2 + 273} \right) \cdot v_1 \quad \text{ekv (3.4)}$$

I ekvation (3.4) ska temperaturerna T_1 och T_2 anges i grader Celsius.

Ett generellt problem vid beräkning av fukttillskott är att man alltid subtraherar uteånghalten från ånghalten inomhus vid en och samma tidpunkt, se ekvation (3.5).

$$v_{FT} = v_i - v_e \quad \text{ekv (3.5)}$$

Detta leder givetvis till ett fel då utomhusluften inte omedelbart ”hinner in” i byggnaden. Som exempel kan nämnas att vid en normal luftomsättning på cirka 0,5 luftomsättningar per timme i en bostad tar det två timmar att byta ut all luft, om vi antar fullständig omblandning av luften. För att ekvation (3.5) ska vara helt korrekt krävs alltså en oändligt hög luftomsättning, vilket i sin tur leder till att fukttillskottet är lika med noll.

Detta fel är i stort sett omöjligt att undvika, men måste ändå vara känt vid utvärderingar av uppmätta fukttillskott. Följden av tidsfördröjningen för uteånghalten (v_e) att komma in i byggnaden medför att vi ibland kan få oväntade fukttillskott vid snabba förändringar i utomhusklimatet. Ett plötsligt väderomslag från torrt till nederbörd kan således medföra att vi en tidsperiod efter att regnet börjar får ett negativt fukttillskott.

En annan felkälla som alltid finns, men som är svår att beakta vid normala beräkningar av fukttillskottet, är mängden och typen av fuktbufferande material som finns i direkt

kontakt med luften inomhus. Att negligera fuktbufferande material leder till att variationerna i det beräknade fuktillskottet alltid överdrivs. Hur mycket det avviker från verkligheten beror på mängden material och på hur hög ånggenomsläpplighet dessa har. Med en hög ånggenomsläpplighet och stor exponeringsarea mot inomhusluften kan sådana material påtagligt dämpa variationerna i ånghalten inomhus. Detta sker dock alltid med en viss tidsfördröjning som det enkla sambandet för beräkning av fuktillskottet inte heller tar hänsyn till.

I denna studie är dock fuktillskottet försumbart varför felkällorna som beskrivs i detta avsnitt anses vara utan betydelse.

3.4 Mätresultat

Mätningarna utfördes med tre olika system.

Ett system med batteridrivna loggrar har använts för att två gånger per timme mäta temperatur och relativ fuktighet i luften på några olika platser inuti det kalla vindsutrymmet i provhuset, på några olika platser mellan underlagstäckning och betongpannor samt utomhus.

Mätningar av temperatur och relativ fuktighet genomfördes också mellan råspont och underlagstäckning. Dessa mätningar utfördes med ett separat system med givare som anslöts med en tunn kabel till en PC belägen på vinden i provhuset. Dessa mätningar skedde var femtonde minut. Givarna som användes för dessa mätningar har en tjocklek på endast några få millimeter och är därför väl lämpad för mätningar av detta slag. En traditionell batteridrivna logger med betydligt större dimensioner i alla riktningar hade stört mätningarna i sådan omfattning att resultaten i stort sett varit värdelösa. Dessutom hade metoden tvingat oss att demontera både takpannor och underlagstäckning vid varje batteribyte.

Slutligen genomfördes manuella mätningar av fuktkvot och temperatur vid totalt 51 olika tillfällen under mätperioden.

För den intresserade redovisas fler resultat från mätningarna i bilaga A och B.

3.4.1 Loggermätningar

Loggrarnas ungefärliga placering framgår av nedanstående tabell. Samtliga loggrar som är placerade mellan takpannor och underlagstäckning på råspont ligger i mitt emellan två takstolar. Nedre delen av taket betyder att de placerades cirka 0,5 ovanför ytterväggen. Övre delen av taket betyder att de ligger cirka 0,5 från taknocken. De två loggrar som finns på den kalla vinden är fritt hängande mitt i respektive takhalva. Givaren inomhus finns på en neutral plats i provhuset under det isolerade vindsbjälklaget. Utomhusgivaren placerades väl skyddad under takfoten på norra sidan av huset.

Tabell 3.1: Ungefärlig placering av batteridrivna loggrar.

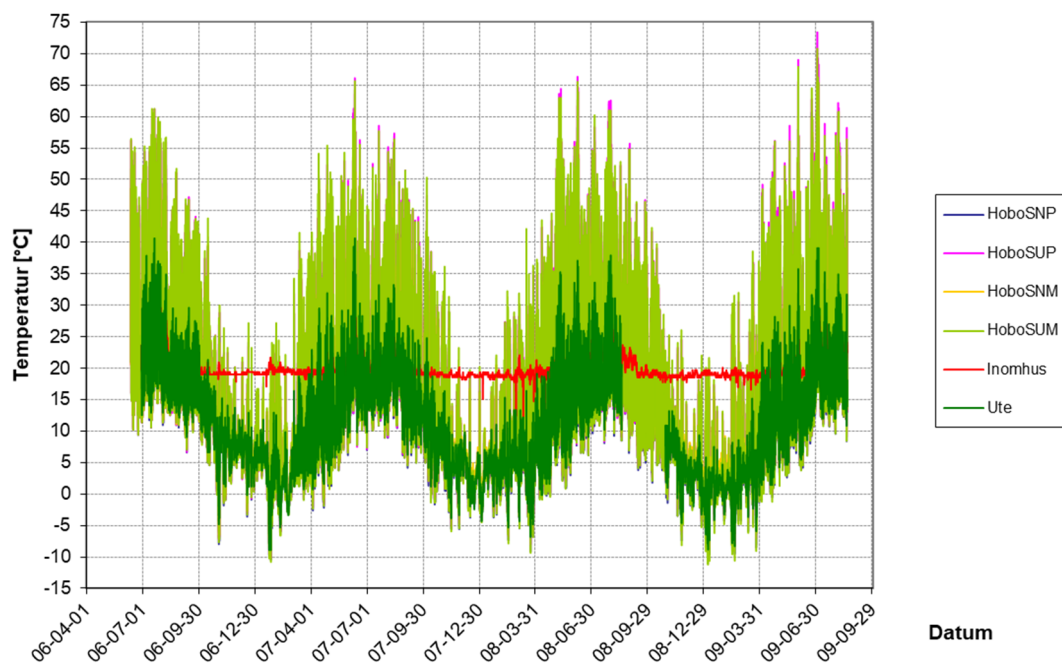
Littera	Väderstreck	Placering
HoboSNP	Söder	Nedre delen av taket, underlagspapp
HoboSUP	Söder	Övre delen av taket, underlagspapp
HoboSNM	Söder	Nedre delen av taket, diffusionsöppen
HoboSUM	Söder	Övre delen av taket, diffusionsöppen
HoboNNP	Norr	Nedre delen av taket, underlagspapp
HoboNUP	Norr	Övre delen av taket, underlagspapp
HoboNNM	Norr	Nedre delen av taket, diffusionsöppen
HoboNUM	Norr	Övre delen av taket, diffusionsöppen
VindP	-	Vindsluft, underlagspapp
VindM	-	Vindsluft, diffusionsöppen
Inomhus	-	Inomhus under vindsbjälklaget
Ute	Norr	Utomhus i skyddat läge under takfot

3.4.1.1 Temperatur

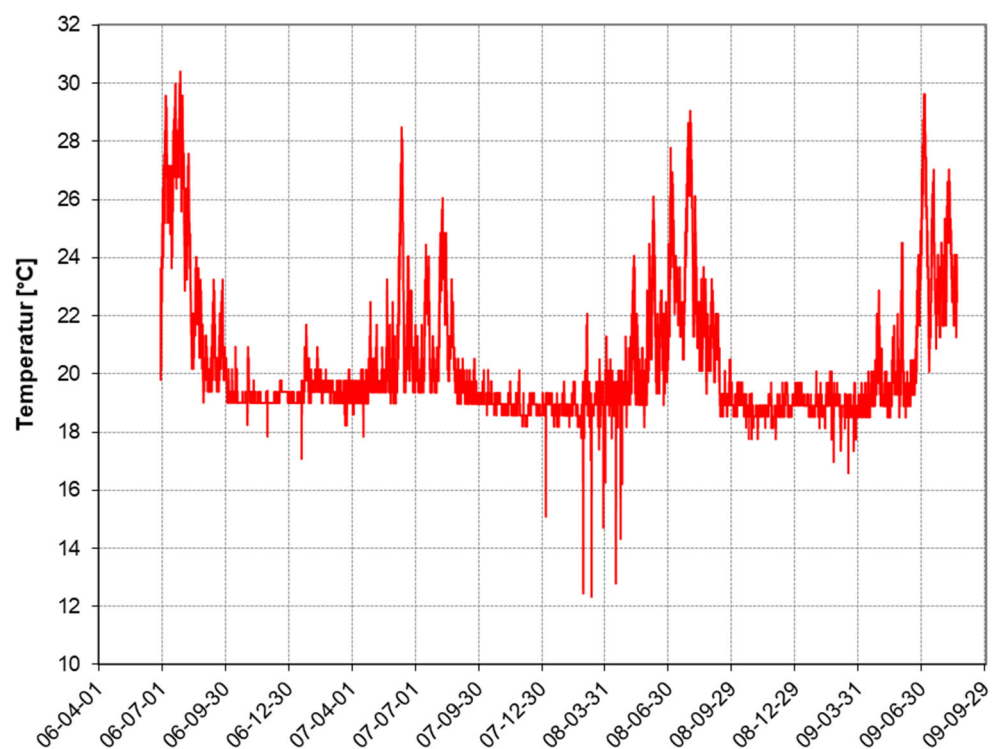
Figur 3.6 visar temperaturer för alla fyra loggrarna placerade på den södra sidan av taket samt inomhus och ute. Som framgår av figuren fluktuerar temperaturerna snabbt. Det kan även noteras att det finns stora temperaturvariationer mellan sommar och vinter trots att provhuset är placerat i södra Sverige. Det är också uppenbart att det är svårt att utläsa temperaturvariationerna för en enskild logger under takpannorna. Fortsättningsvis kommer därför resultaten från mätningarna att presenteras med månadsmedelvärden som omfattar hela mätperioden. För den intresserade finns fler diagram i en bilaga i slutet av rapporten.

Beträffande temperaturvariationerna utomhus så visar figur 3.6 att dessa är mindre än variationerna under takpannorna mot söder, vilket är ett väntat resultat.

Från figur 3.6 kan vi konstatera att inomhustemperaturen är jämn under uppvärmnings-säsongen med en temperatur omkring 19 °C. Under sommaren stiger temperaturen periodvis till uppåt 30 °C. Medeltemperaturen för hela mätperioden är +20,3 °C.



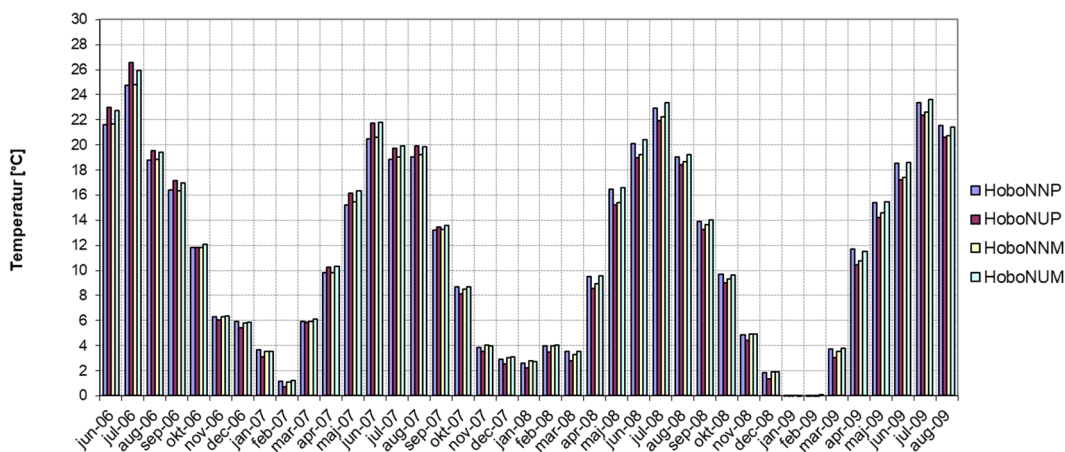
Figur 3.6 Temperatur för samtliga loggrar mot söder samt inne och ute.



Figur 3.7 Inomhustemperatur under hela mätperioden.



Figur 3.8 Månadsmedeltemperaturer mot söder mellan underlagstäckning och takpannor av betong.



Figur 3.9 Månadsmedeltemperaturer mot norr mellan underlagstäckning och takpannor av betong.

Resultaten kan sammanfattas i följande punkter.

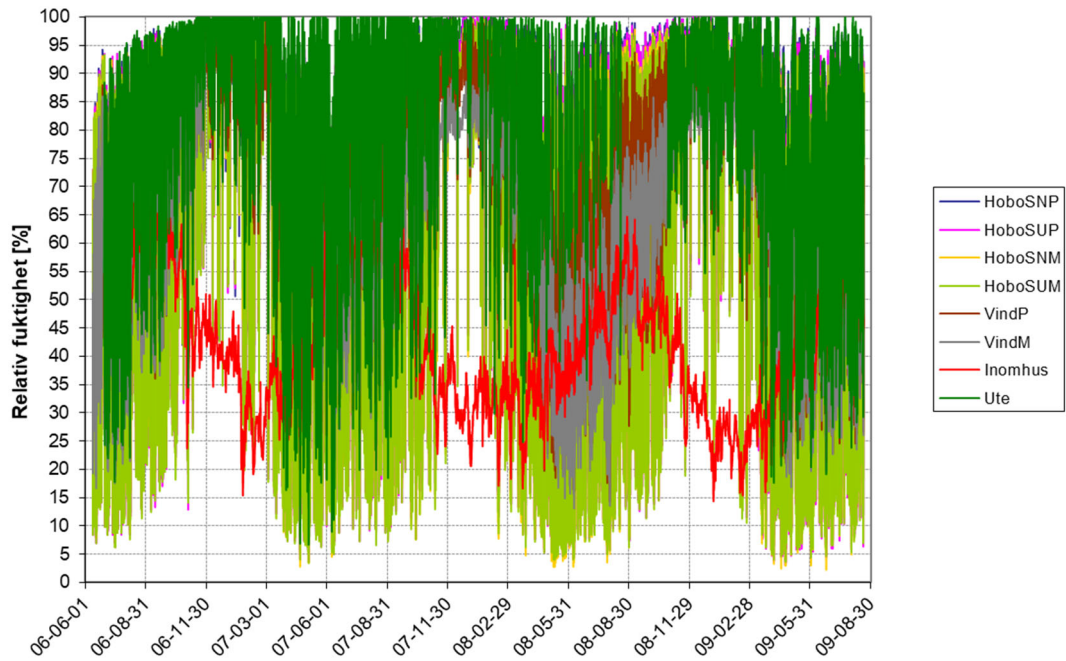
- Figur 3.8 visar att temperaturen mot söder alltid är något högre nära taknocken om underlagstäckningen utgörs av traditionell papp.
- Om råsponten är belagd med en mer ånggenomsläpplig täckning blir jämförelsen mellan loggern nära takfot och nära taknock mer komplicerad för söder, se figur 3.8. Under de kallaste månaderna (oktober-mars) är temperaturen högre nära takfoten. Under resterande månader (april-september) är däremot temperaturen i allmänhet högre i närheten av tacknocken.

- Figur 3.9 redovisar månadsmedeltemperaturer mot norr mellan underlagstäckning och takpannor av betong. Med traditionell underlagspapp på råsponen blir resultaten långt ifrån entydiga. Under sommaren 2006 och 2007 är temperaturen högst nära taknocken. För de efterföljande två åren är det tvärtom, dvs. den högsta temperaturen erhålls nära takfoten under den varma delarna av året. För de kallaste månaderna är däremot resultaten mer entydiga, med de högsta temperaturerna nära takfoten. Skillnaderna är dock små.
- Med ett mer ånggenomsläppligt ytskikt på råsponen visar resultaten i figur 3.9 att temperaturen hela tiden är högre nära taknocken jämfört med temperaturen intill takfoten. Skillnaden under de kalla månaderna är dock mycket små.

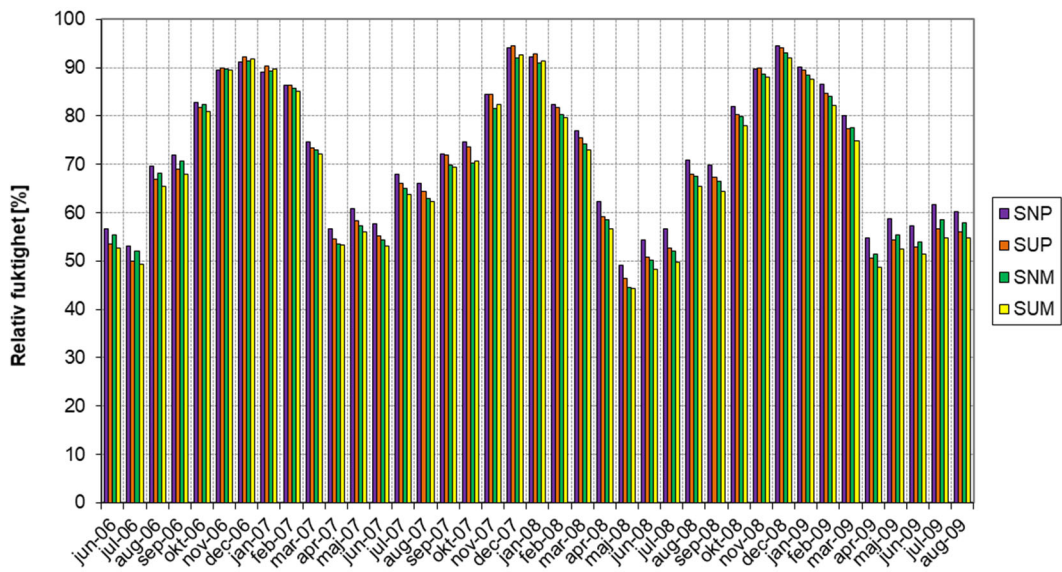
3.4.1.2 Relativ fuktighet

Figur 3.10 visar relativ fuktighet för alla fyra loggrarna placerade på den södra sidan av taket samt inomhus och ute. Som framgår av figuren fluktuerar den relativa fuktigheten snabbt. Det kan även noteras att den relativa fuktigheten för utomhusluften ofta ligger nära 100 %. Observera också att den relativa fuktigheten utomhus har varit mycket låg under korta tidsperioder. Det är också uppenbart att det är svårt att utläsa variationerna i relativ fuktighet för en enskild logger under takpannorna. Försättningsvis kommer därför resultaten från mätningarna att presenteras med månadsmedelvärden som omfattar hela mätperioden. För den intresserade finns fler diagram i en bilaga i slutet av rapporten.

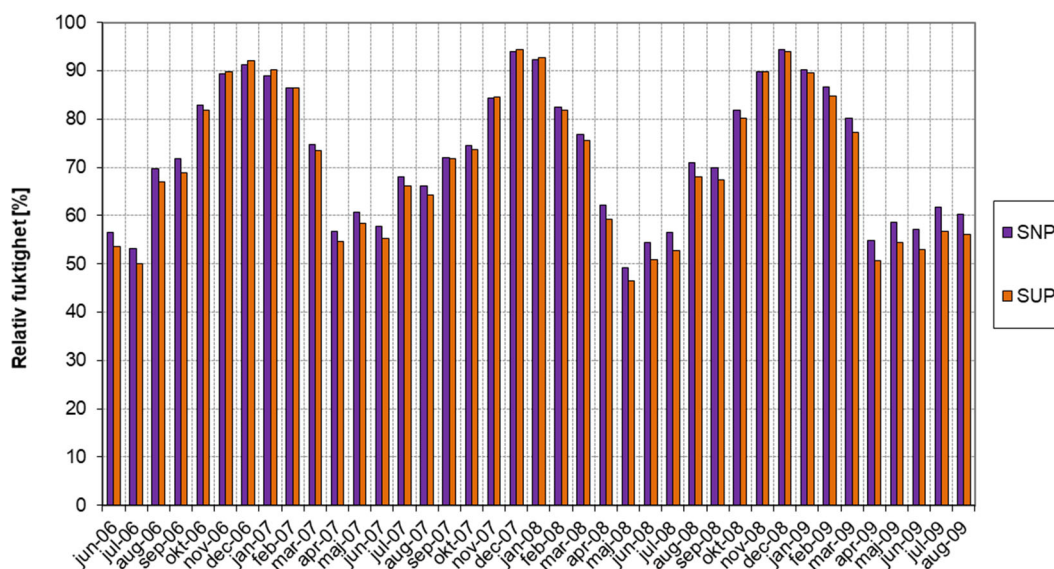
Från figur 3.10 kan vi konstatera att den relativa fuktigheten inomhus varierar betydligt mindre än utomhus, vilket är väntat. Under sommaren stiger den relativa fuktigheten till omkring 65 % medan den vintertid kan vara så låg som 15 % vid enstaka mätfällen.



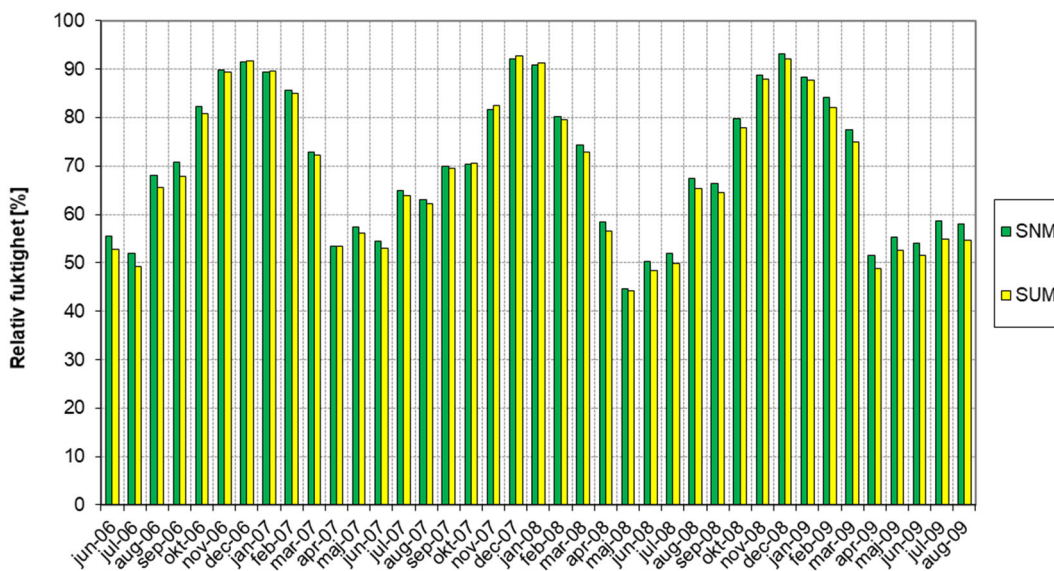
Figur 3.10 Relativ fuktighet (%) från samtliga loggrar mot söder, på vindarna samt inne och ute.



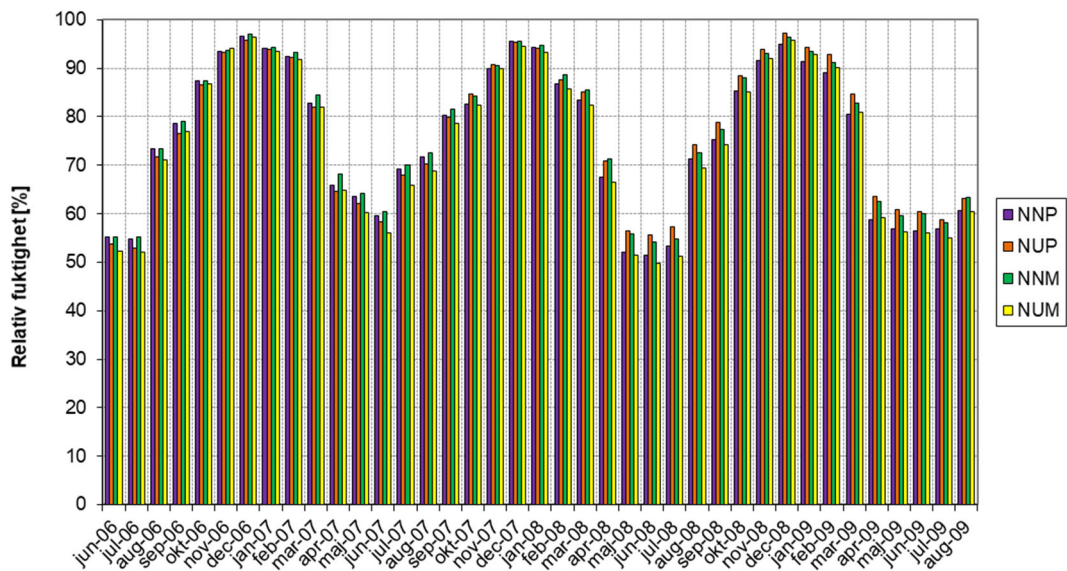
Figur 3.11 Månadsmedelvärden för relativ fuktighet (%) från samtliga fyra loggrar mot söder.



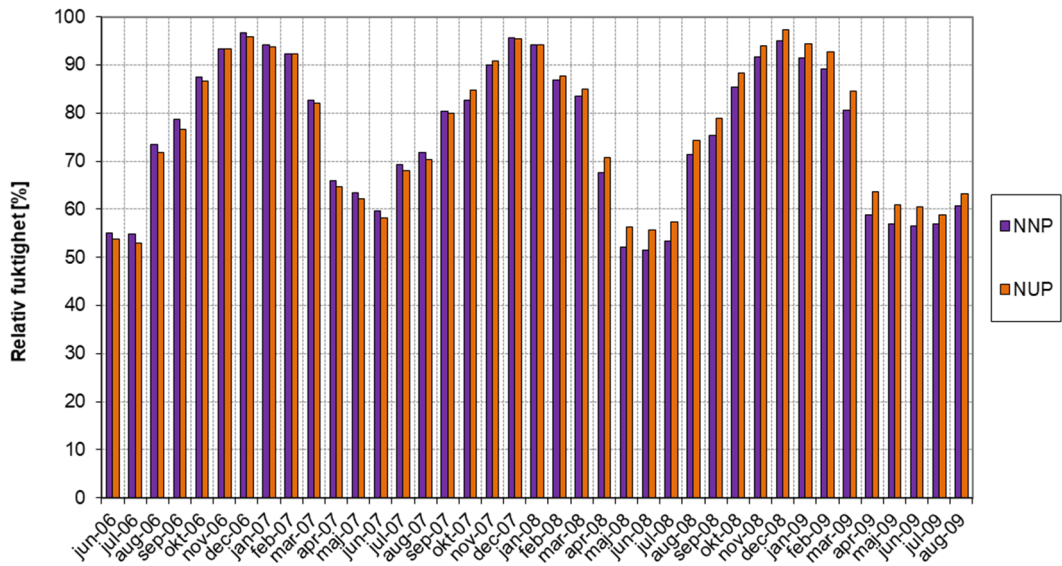
Figur 3.12 Månadsmedelvärden för relativ fuktighet (%) från två loggrar mot söder med traditionell underlagspapp på råsponten.



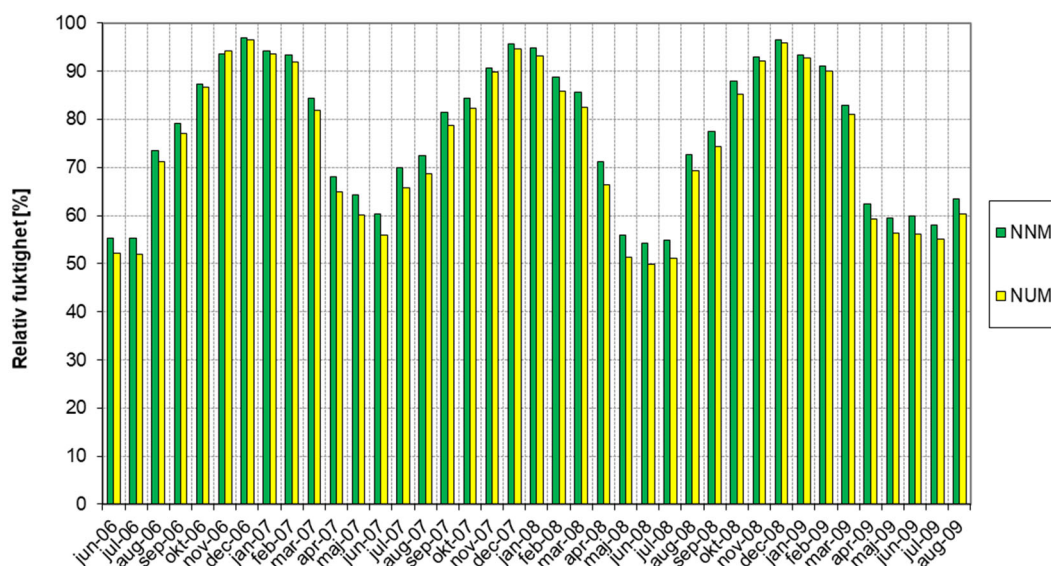
Figur 3.13 Månadsmedelvärden för relativ fuktighet (%) från två loggrar mot söder med ånggenomsläppligt ytskikt på råsponten.



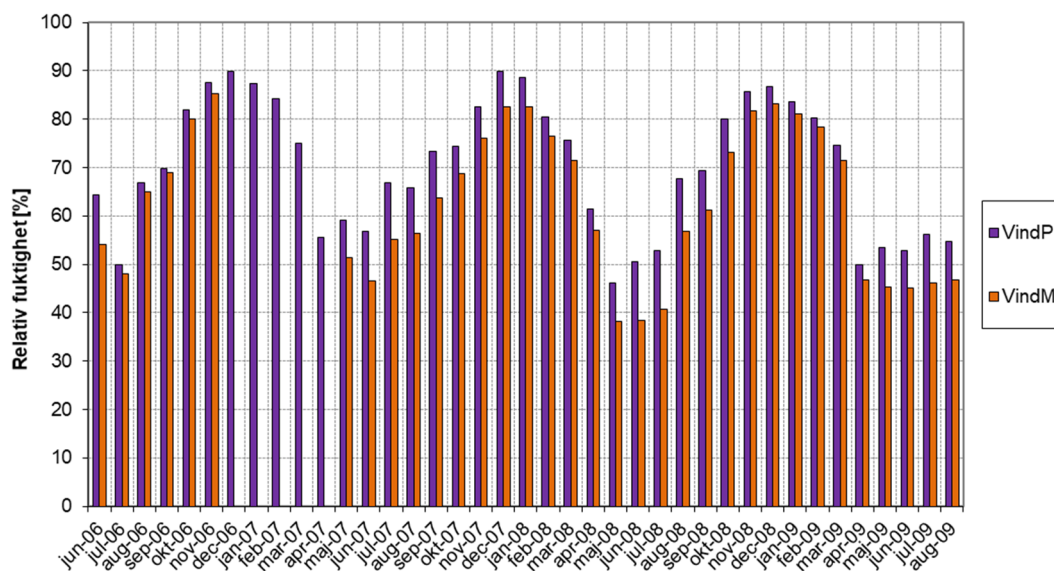
Figur 3.14 Månadsmedelvärden för relativ fuktighet (%) från samtliga fyra loggrar mot norr.



Figur 3.15 Månadsmedelvärden för relativ fuktighet (%) från två loggrar mot norr med traditionell underlagspapp på råsponten.



Figur 3.16 Månadsmedelvärden för relativ fuktighet (%) från två loggrar mot norr med ånggenomsläppligt ytskikt på råsponten.



Figur 3.17 Månadsmedelvärden för relativ fuktighet (%) från de två loggrar som var placerade i de kalla vindsutrymmena.

Resultaten kan sammanfattas i följande punkter.

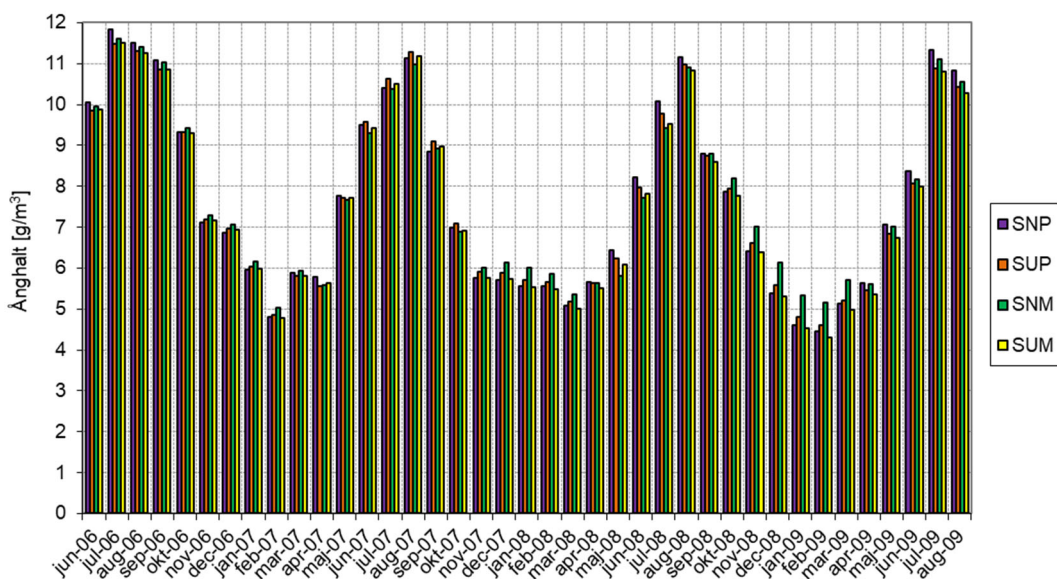
- I figur 3.12 redovisas månadsmedelvärden för de två loggrar, orienterade mot söder, som låg ovanpå traditionell underlagsspapp. Resultaten visar att det existerade

märkbara skillnader i relativ fuktighet under de varma månaderna mellan loggern som ligger nära takfot respektive den som ligger nära taknock. Den relativa fuktigheten var alltid högre närmast takfoten.

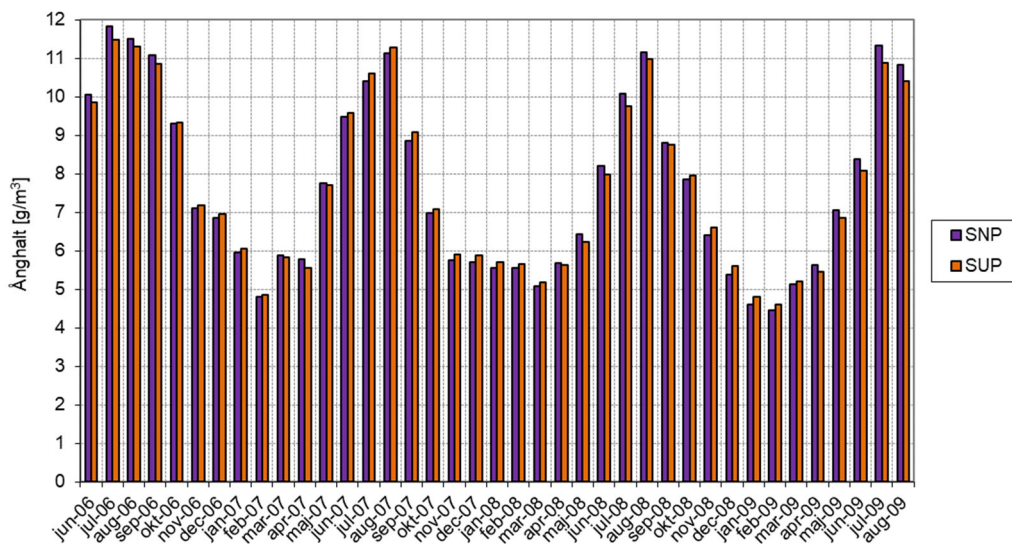
- Från figur 3.12 går det också att konstatera att den genomsnittliga relativa fuktigheten var större än 80 % under perioden oktober till och med februari under samtliga tre vintersäsongerna. Under dessa perioder är dock temperaturen ganska låg varför mögelrisken måste betraktas som liten. Ströläkt och bärläkt ligger dessutom i en yttre del av taket som inte kan anses påverka inomhusmiljön.
- Figur 3.13 visar att samma mönster som konstaterades från analysen av figur 3.12 finns för den del av taket mot söder där det finns ett relativt ånggenomsläppligt material på råspontens utsida.
- Analys av resultaten i figur 3.11 antyder att den relativa fuktigheten nästan genomgående är något högre för mät punkt SNP, dvs. för den nedre delen av taket som har traditionell underlagspapp på råsponten.
- I figur 3.17 visas relativ fuktighet från de två loggrar som var placerade i respektive vindsutrymme under hela mätperioden. Under perioden december 2006 till och med april 2007 gav logger VindM en mängd orimliga värden. Därför har resultat från denna logger utelämnats i figur 3.17. En jämförelse mellan övriga månader visar att den relativa fuktigheten alltid var högre i den del av byggnaden där det fanns en traditionell underlagspapp på råsponten. Detta tyder på att det finns en fukttransport genom den ånggenomsläppliga duk som låg ovanför den andra halvan av taket.
- Den 18-20 april 2007 reducerades ventilationen i den halva av vinden som var försedd med ånggenomsläppligt material på råsponten. Reduktionen utfördes med stående plank som spikades fast mellan takstolarna nere vid takfötterna. Denna åtgärd förefaller dock inte ha påverkat fuktigheten på vinden i märkbar omfattning.

3.4.1.3 Änghalt

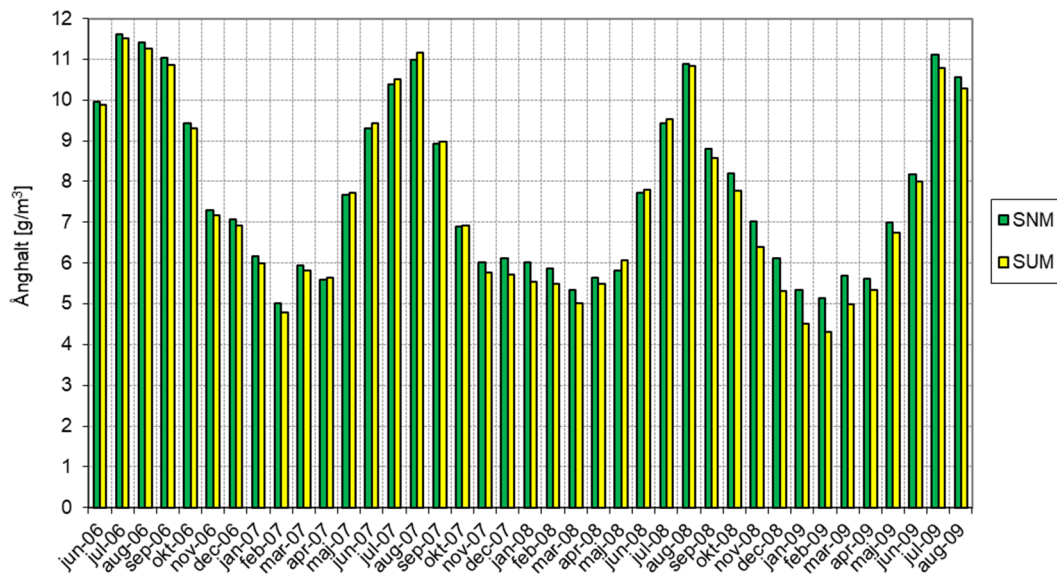
Med känd temperatur och relativ fuktighet är det relativt enkelt att beräkna änghalten. Liksom för temperaturer och relativa fuktigheter är det nästintill omöjligt att utvärdera änghalten genom att betrakta diagram där samtliga värden presenteras. Därför redovisas resultaten enbart som medelvärde för mätperiodens olika månader.



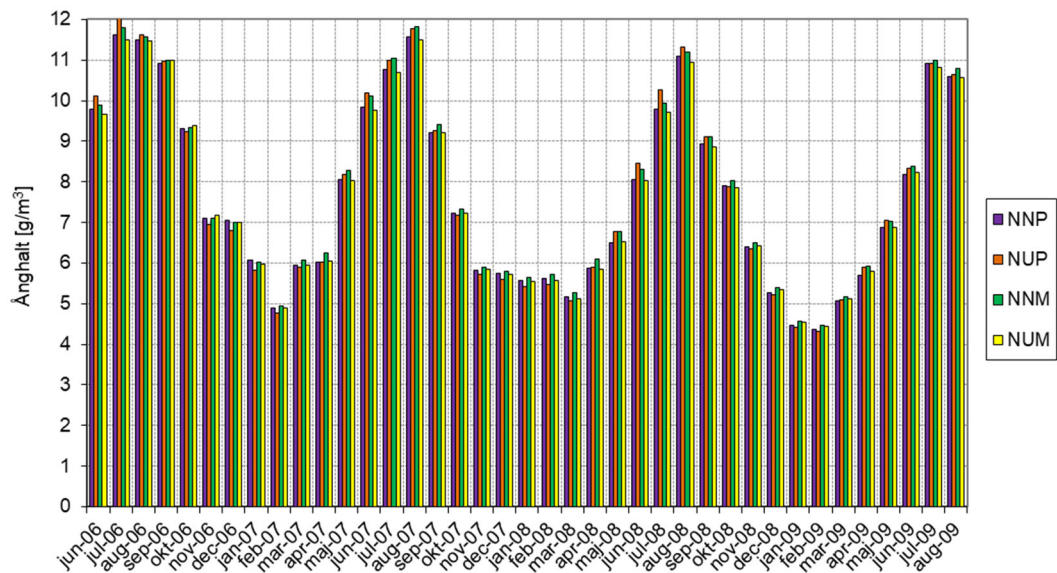
Figur 3.18 Månadsmedelvärden för ånghalt (g/m^3) från samtliga fyra loggrar mot söder.



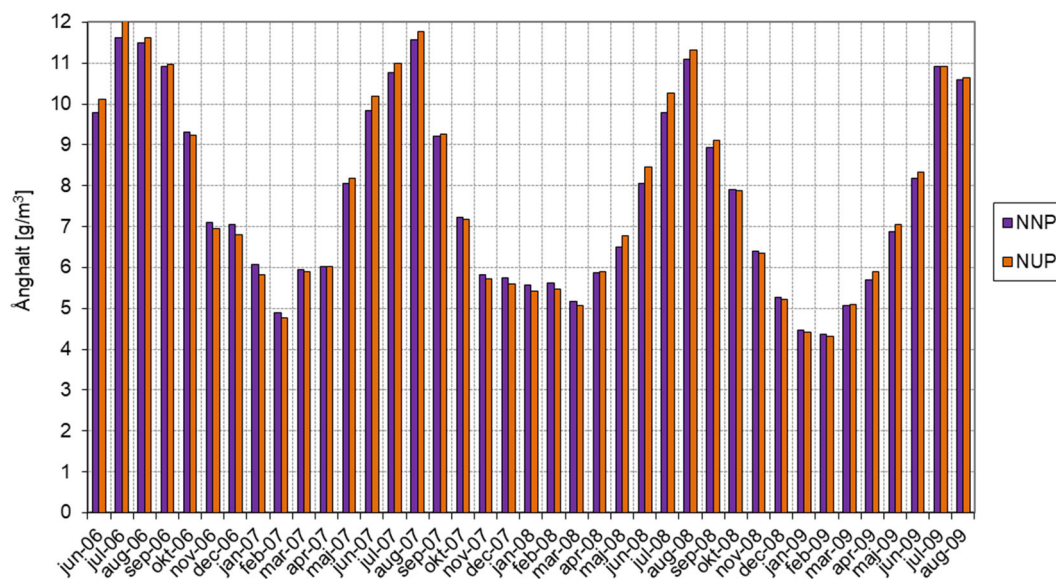
Figur 3.19 Månadsmedelvärden för ånghalt (g/m^3) från de två loggrar mot söder som fanns ovanför takdelen med traditionell underlagspapp på råsponten.



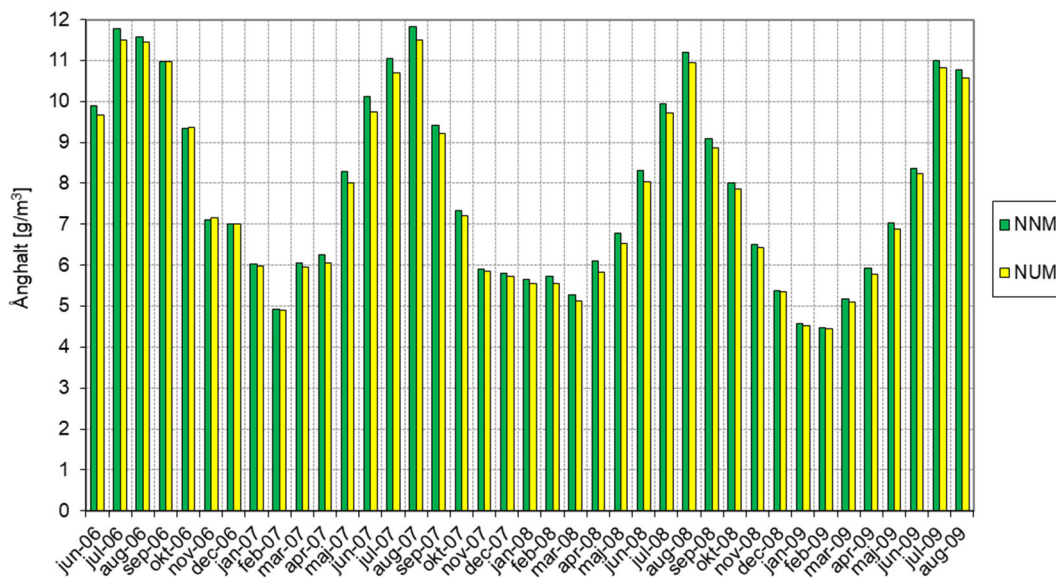
Figur 3.20 Månadsmedelvärden för ånghalt (g/m^3) från de två loggrar mot söder som fanns ovanför takdelen med ånggenomsläppligt ytskikt på råsponten.



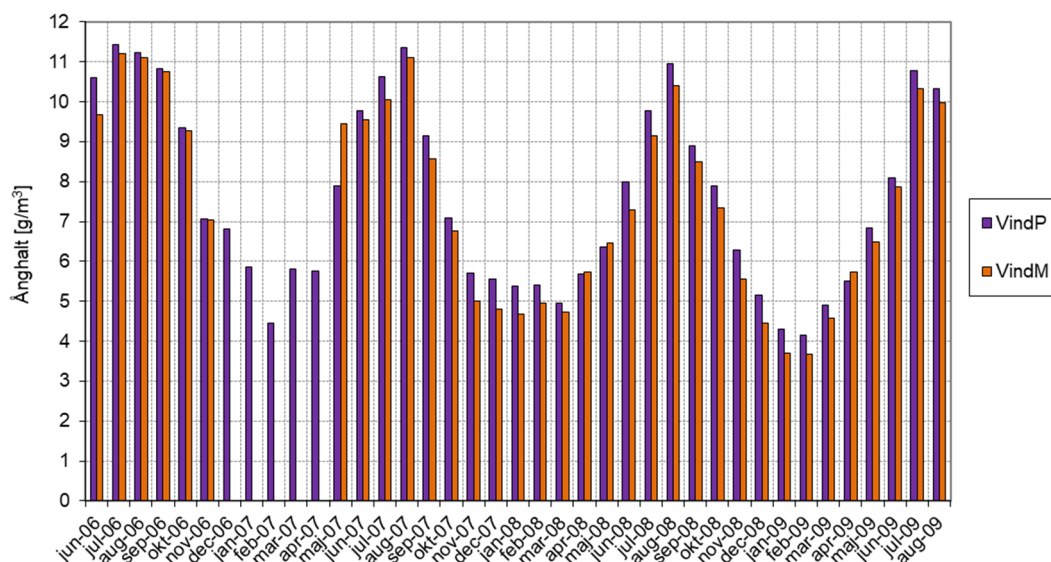
Figur 3.21 Månadsmedelvärden för ånghalt (g/m^3) från samtliga fyra loggrar mot norr.



Figur 3.22 Månadsmedelvärden för ånghalt (g/m^3) från de två loggrar mot norr som fanns ovanför takdelen med traditionell underlagspapp på råsponten.



Figur 3.23 Månadsmedelvärden för ånghalt (g/m^3) från de två loggrar mot norr som fanns ovanför takdelen med ånggenomsläppligt ytskikt på råsponten.



Figur 3.24 Månadsmedelvärden för ånghalt (g/m^3) från de två loggrar som var placerade i de kalla vindsutrymmena.

Resultaten kan sammanfattas i följande punkter.

- I figur 3.18 redovisas månadsmedelvärden av de beräknade ånghalterna från samtliga loggrar orienterade mot söder. Som väntat följer variationerna de som är normala för utomhusluften i Lund. Ånghalten är som lägst på vintern när utomhustemperaturen är som lägst och stiger efterhand som temperaturen ute stiger.
- Skillnaderna mellan staplarna för enskilda månader är liten, vilket betyder att det inte är speciellt stor skillnad i ånghalt mellan norr och söder respektive nära takfot samt nära taknock.
- Genom att studera resultaten närmare går det dock att konstatera att det finns små skillnader i ånghalt för de olika fallen. Från figur 3.19 kan man konstatera att ånghalten oftast är något högre nära takfoten mot söder jämfört med nära taknocken mot samma väderstreck då det finns vanlig underlagspapp på råsponten. Slutsatsen är dock inte giltig för hela mätperioden vilken kan observeras för sommaren 2007 och den efterföljande vintern då ånghalten är något högre intill taknock mot söder.
- Motsvarande jämförelse för söder och ånggenomsläppligt ytskikt på råsponten visar att det oftast är små skillnader, undantaget vintern 2008/09 då ånghalten i den nedre delen av taket är märkbart högre än nära taknocken, se figur 3.20.

3.4.2 Fuktkvot

Fuktkvot på vinden mättes manuellt med ett handhållet instrument. Instrumentet som användes är av fabrikatet Protimeter Timbermaster som mäter resistansen mellan två stift. Resistansen som är fuktberoende översätts sedan till en fuktkvot av instrumentet. Mätningarna utfördes vid 51 olika tillfällen från 2006-06-29 till och med 2009-09-19.

Detta betyder att det i genomsnitt var 22,5 dygn mellan mättillfällena. Under hela mätperioden fanns det totalt 10 par fast monterade stift. Åtta av dessa par var placerade på olika ställen i råsponten, medan två par var monterade i takstolarna. Avståndet mellan stiften var detsamma som används i den slaghammare som tillhör instrumentet. Samtliga stift var inslagna till cirka 10 mm djup. För att underlätta mätningarna fanns grova isolerade kopparkablar lödat på varje stift. Intill varje par av stift fanns ett termoelement som även dessa placerades på 10 mm djup. Ett mätdjup på 10 mm kan tyckas litet, men ger ändå en avsevärd dämpning och fäsfördröjning jämfört med fluktuationerna i den omgivande luften på vinden.

Fuktkvot och temperatur avlästes samtidigt vid alla mättillfällen. I nedanstående tabell finns information om mätpunkternas placering.

Tabell 3.2: Placering av par av stift samt tillhörande termoelement för mätning av fuktkvot samt temperatur i råspont samt takstolar.

Littera	Placering	Underlagstäckning
A	0,7 m från takfot, mellan takstolar i råspont, Söder	Diffusionsöppen
B	0,7 m frånnock, mellan takstolar i råspont, Söder	Diffusionsöppen
C	0,7 m från takfot, mellan takstolar i råspont, Norr	Diffusionsöppen
D	0,7 m frånnock, mellan takstolar i råspont, Norr	Diffusionsöppen
E	0,7 m från takfot, mellan takstolar i råspont, Söder	Papp
F	0,7 m frånnock, mellan takstolar i råspont, Söder	Papp
G	0,7 m från takfot, mellan takstolar i råspont, Norr	Papp
H	0,7 m från takfot, mellan takstolar i råspont, Norr	Papp
I	1,0 m frånnock i takstol, Söder	Diffusionsöppen
J	1,0 m frånnock i takstol, Söder	Papp

Enligt Rosenkilde (2003) minskar resistansen i trä med stigande temperatur, vilket är tvärt emot för metaller. I metaller är det elektroner som är bär laddningarna medan det i trä är joner. I trä finns det två former av joner, bundna och fria. Endast de fria jonerna kan transportera laddningar. Antalet fria joner ökar med stigande temperatur, (Rosenkilde, 2003).

Hur temperaturberoendet ska hanteras har redovisats i ett flertal rapporter, exempelvis (Samuelsson (1992)). I denna rapport finns även en ekvation för detta samband som Samuelsson (1992) har anpassat till skotsk fur och norsk gran. I denna rapport antas ekvationen gälla för det virke som finns i takstolar och råspont i provhuset. Ekvationen visas nedan.

$$u_k = \frac{u + 0,567 - 0,0260 \cdot (T + 2,8) + 0,000051 \cdot (T + 2,8)^2}{0,881 \cdot (1,0056)^{(T + 2,8)}} \quad \text{ekv (3.6)}$$

där

u = avläst fuktkvot (%)

u_k = temperaturkorrigerad fuktkvot (%)

T = temperatur i virket (°C)

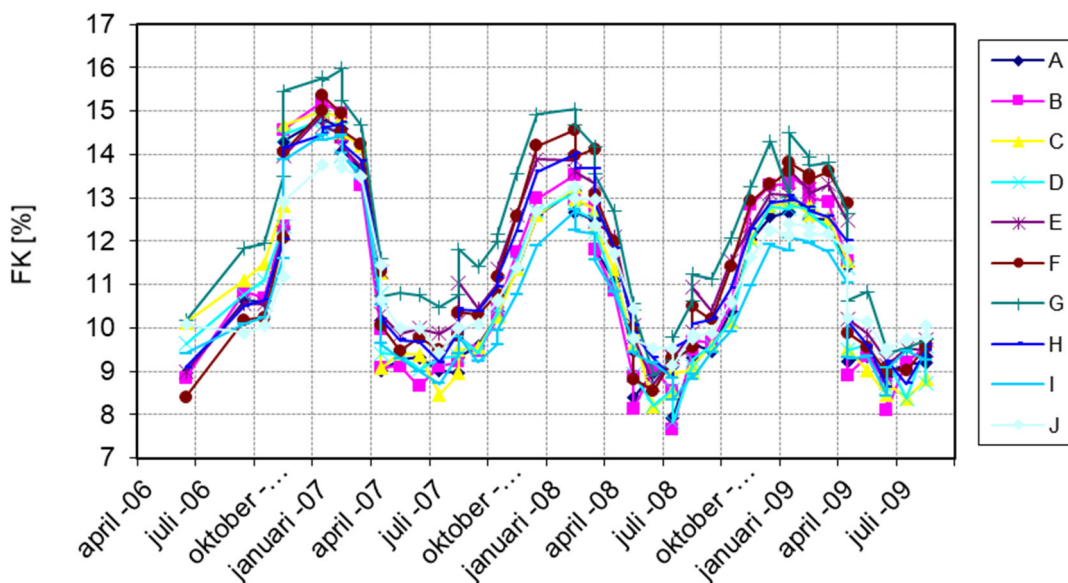
Ekvationen ovan har använts för att temperaturkorrigera de uppmätta fuktkvoterna.

I figurerna 3.25-3.33 redovisas resultaten från de momentana mätningarna av fuktkvot och temperatur från de 51 mättillfällena.

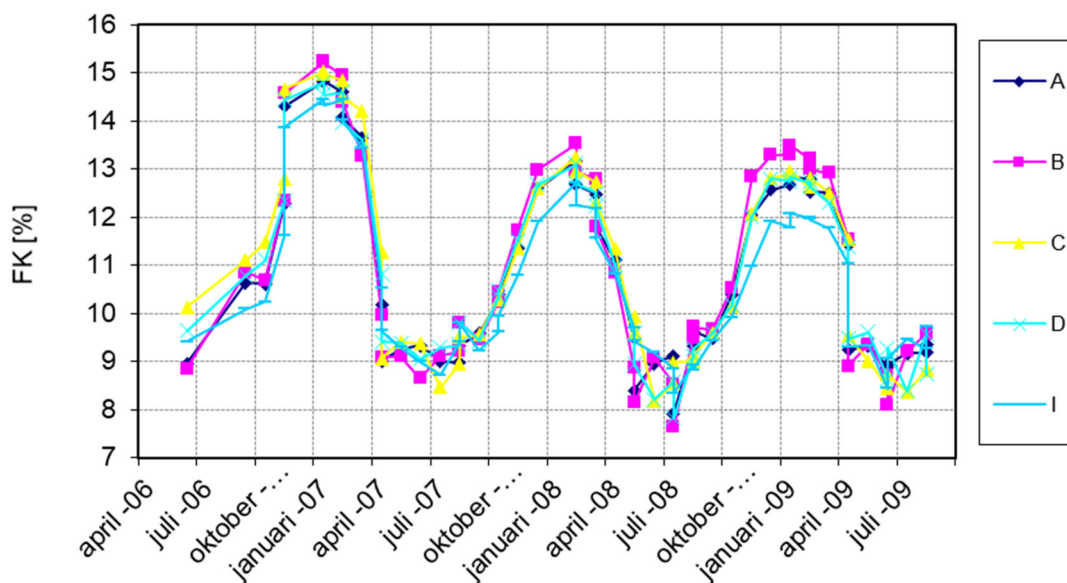
Resultaten kan sammanfattas i följande punkter.

- Från figur 3.25-3.27, 3.29 samt 3.31-3.32 är det uppenbart att fuktkvoten följer ett årligen återkommande mönster med högst värden i början av respektive år. Lägst värden erhålls ett halvt år senare, det vill säga i juli. Skillnader mellan enskilda år är också uppenbara, vilket har samband med naturliga variationer i det omgivande utomhusklimatet.
- Temperaturvariationerna följer givetvis samma mönster med högst värde på sommaren och lägst under vintern.
- Från figur 3.25 ser man att det finns skillnader i fuktkvot vid ett och samma mättillfälle. Dessa skillnader kan variera med flera % fuktkvot. Ofta har mätpunkt G den högsta fuktkvoten. Varför denna mätpunkt oftast ligger högst finns det ingen uppenbar förklaring till.
- Figur 3.26 visar endast fuktkvoter från den halva av vinden som har diffusionsöppen underlagstäckning på råsponten. Här syns det tydligt att fuktkvoten i takstolen är lägre än de fyra mätpunkterna i råsponten under den kalla delen av året. Däremot finns det inga tydliga skillnader mellan mätpunkter orienterade mot söder respektive norr. Det kan också noteras att fuktkvoterna generellt var högre under den första vintern. Detta beror helt och hållet på variationer i utomhusklimatet då provhuset uppfördes ett flertal år innan försöken genomfördes varför inverkan av eventuell byggfukt inte kan vara orsaken.
- Figur 3.27 visar endast fuktkvoter från den halva av vinden som har traditionell underlagstäckning av papp på råsponten. I likhet med figur 3.26 går det att konstatera att fuktkvoten i takstolen generellt är lägre än i råsponten. Inte heller i denna takhalva syns några tydliga skillnader mellan mätpunkter orienterade mot söder respektive norr.
- I figur 3.29 redovisas medelvärde av fuktkvoten för de två vindshalvorna med diffusionsöppet material på råsponten respektive traditionell underlagspapp. Här går det att utläsa att råsponten generellt är torrare i den del av vinden som är försedd med ett diffusionsöppet material på råsponten. Skillnaden tycks också vara oberoende av årstiden.
- I figur 3.31 visas medelvärden av uppmätta temperaturkorrigerade fuktkvoter exponerade mot söder och mot norr. Skillnaderna är mycket små och kan i praktiken anses som försumbara med hänsyn till mätonoggrannheten för resistiva mätningar.
- Från figur 3.30 framgår att medeltemperaturen i råspont och takstolar är något högre på sommaren under de två första åren av mätningarna i den vindshalva som

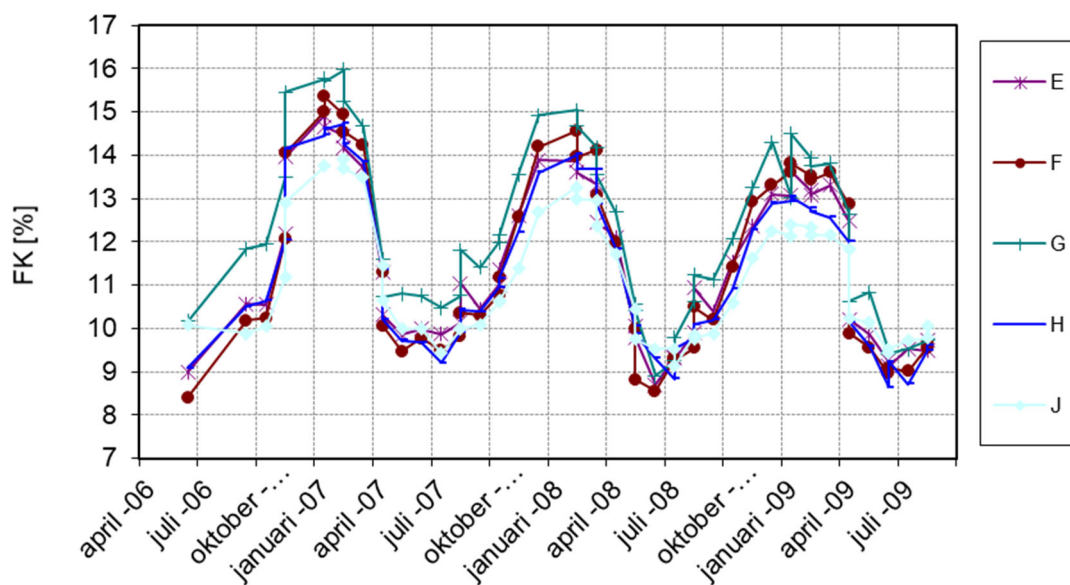
är försedd med ett diffusionsöppet material på råsPonten. Under den sista sommaren är denna skillnad dock försumbar. Orsaken till dessa skillnader är inte uppenbar.



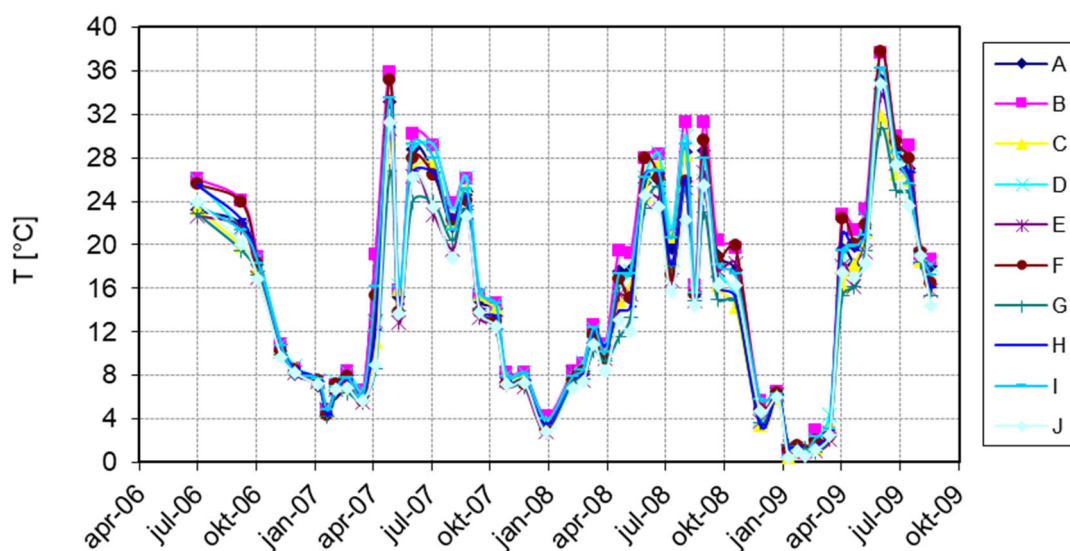
Figur 3.25 Uppmätt och temperaturkorrigerad fuktkvot (%) på vinden. Samtliga mät-punkter (A-J).



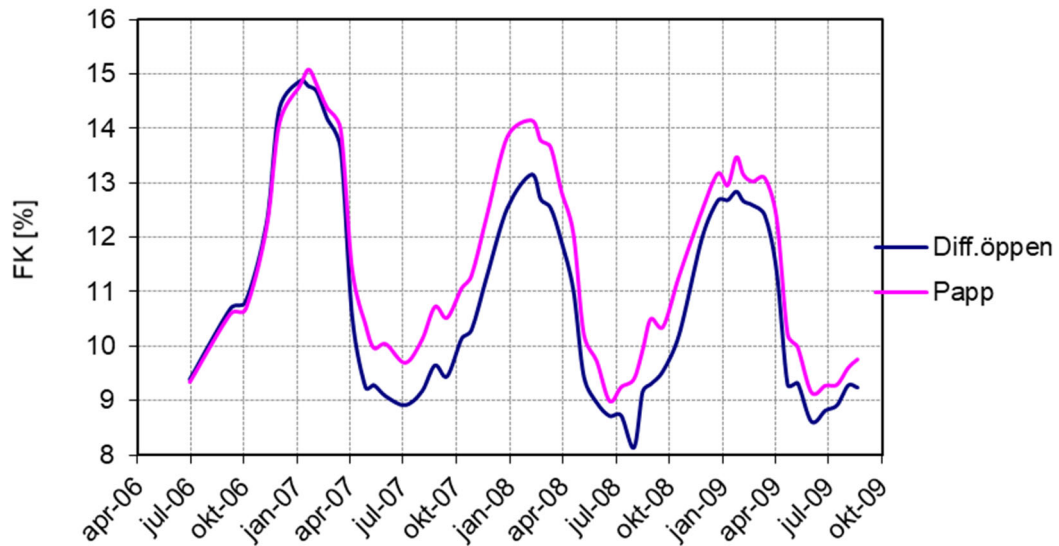
Figur 3.26 Uppmätt och temperaturkorrigerad fuktkvot (%) på vinden. Endast mät-punkter från vindsdelen med diffusionsöppen underlagstäckning på råsPonten, dvs. A-D samt I.



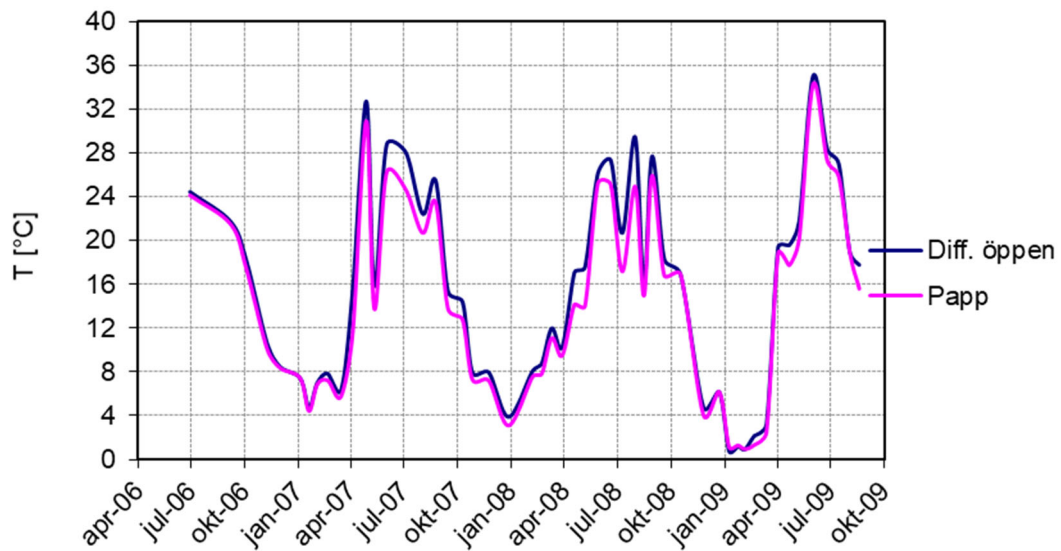
Figur 3.27 Uppmätt och temperaturkorrigerad fuktkvot (%) på vinden. Endast mät-punkter från vindsdelen med traditionell underlagspapp på råsponten, dvs. E-H samt J.



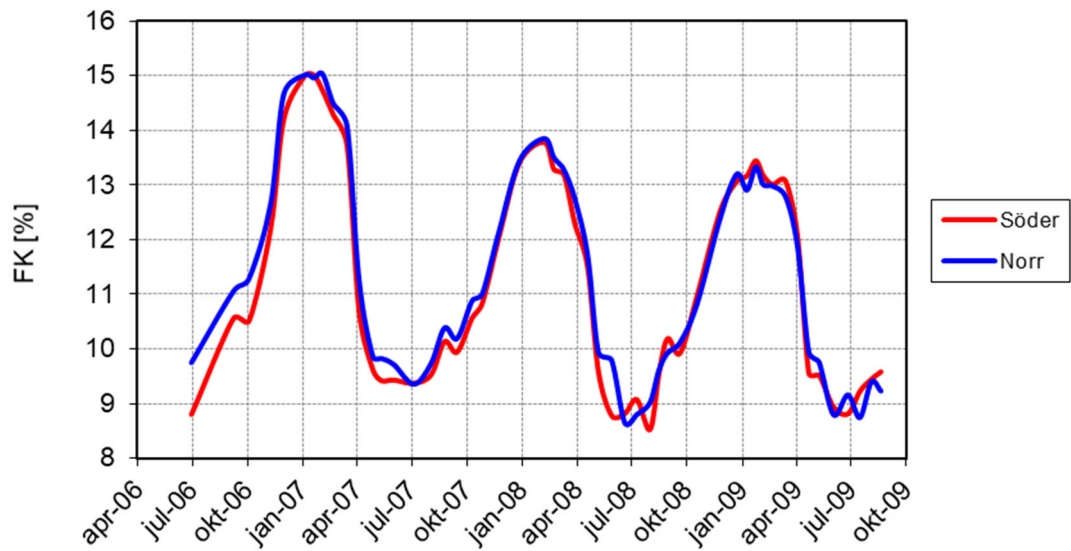
Figur 3.28 Uppmätt temperatur (°C) i trä på vinden. Samtliga mätpunkter (A-J).



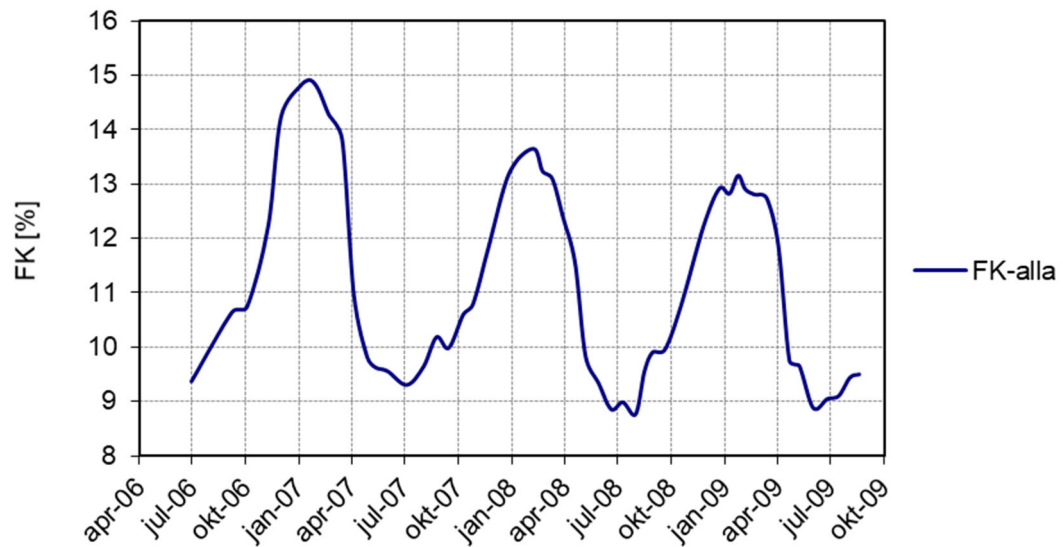
Figur 3.29 Uppmätt temperaturkorrigerad fuktkvot (%) på vinden. Medelvärde för de två vindshalvorna med diffusionsöppet respektive traditionell underlagspapp.



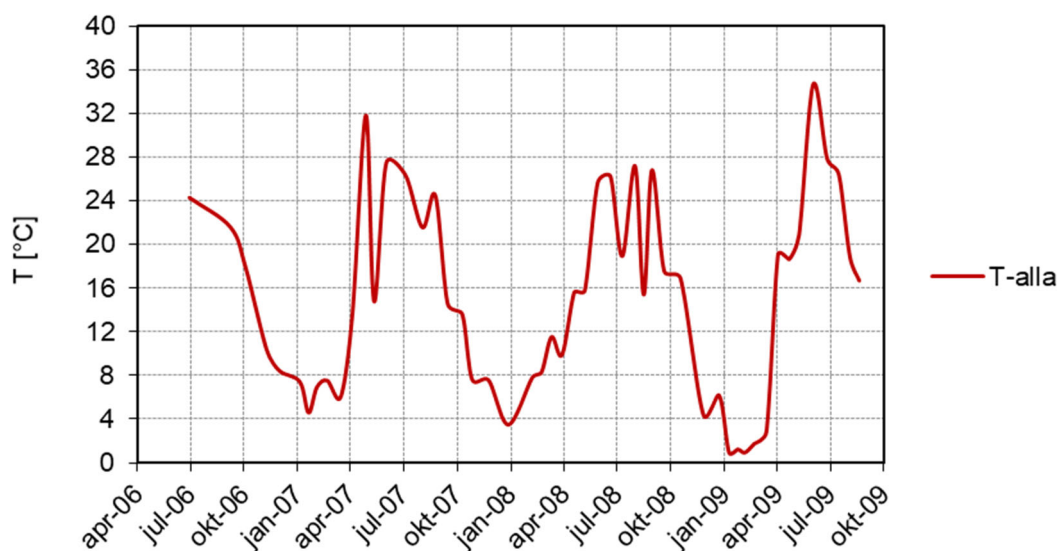
Figur 3.30 Uppmätt temperatur (°C) i trä på vinden. Medelvärde för de två vindshalvorna med diffusionsöppet respektive traditionell underlagspapp.



Figur 3.31 Uppmätt temperaturkorrigerad fuktkvot (%) på vinden. Medelvärde för samtliga mätpunkter mot söder respektive mot norr.



Figur 3.32 Uppmätt temperaturkorrigerad fuktkvot (%) på vinden. Medelvärde för samtliga mätpunkter (A-J).



Figur 3.33 Uppmätt temperatur (°C) på vinden. Medelvärde för samtliga mätpunkter (A-J).

3.4.3 Mätresultat mellan råspont och underlagstäckning

Sensorernas ungefärliga placering framgår av nedanstående tabell. Samtliga sensorer som är placerade mellan råspont och underlagstäckning ligger mitt emellan två takstolar. Nedre delen av taket betyder att de placerades cirka 0,5 ovanför ytterväggen, dvs. under en Hobologger. Övre delen av taket betyder att de ligger cirka 0,5 från taknocken. Även här under en Hobologger. Mitt emellan undre och övre mätpunkten finns också sensorer som mäter temperatur och relativ fuktighet mellan råspont och underlagstäckning.

Tabell 3.3: Ungefärlig placering av sensorer mellan råspont och underlagstäckning.

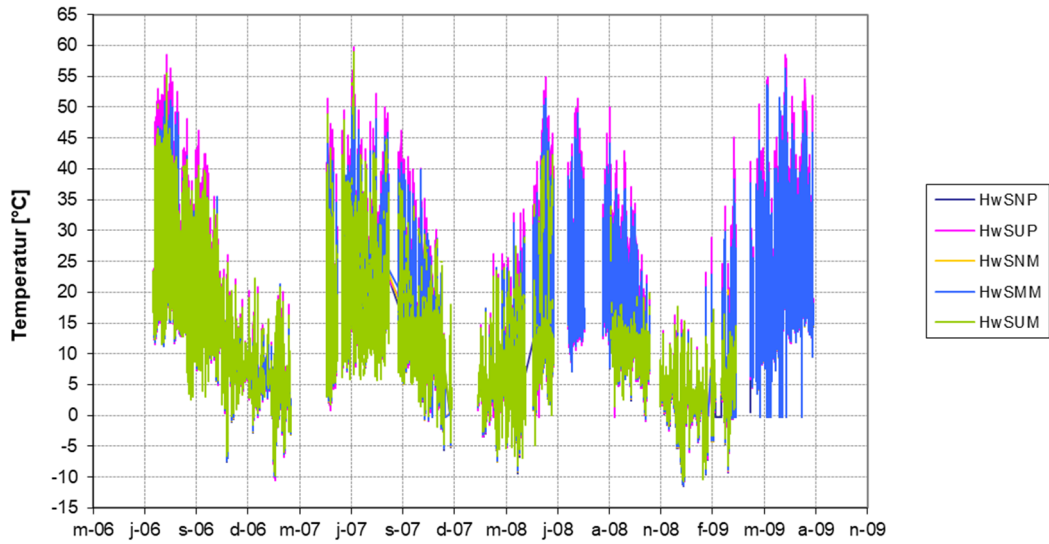
Littera	Väderstreck	Placering
HwSNP	Söder	Nedre delen av taket, underlagspapp
HwSMP	Söder	Mitten av taket, underlagspapp. <i>Trasig</i>
HwSUP	Söder	Övre delen av taket, underlagspapp
HwSNM	Söder	Nedre delen av taket, diffusionsöppen
HwSMM	Söder	Mitten av taket, diffusionsöppen
HwSUM	Söder	Övre delen av taket, diffusionsöppen
HwNNP	Norr	Nedre delen av taket, underlagspapp
HwNMP	Norr	Mitten av taket, underlagspapp
HwNUP	Norr	Övre delen av taket, underlagspapp
HwNNM	Norr	Nedre delen av taket, diffusionsöppen
HwNMM	Norr	Mitten av taket, diffusionsöppen
HwNUM	Norr	Övre delen av taket, diffusionsöppen

3.4.3.1 Temperatur

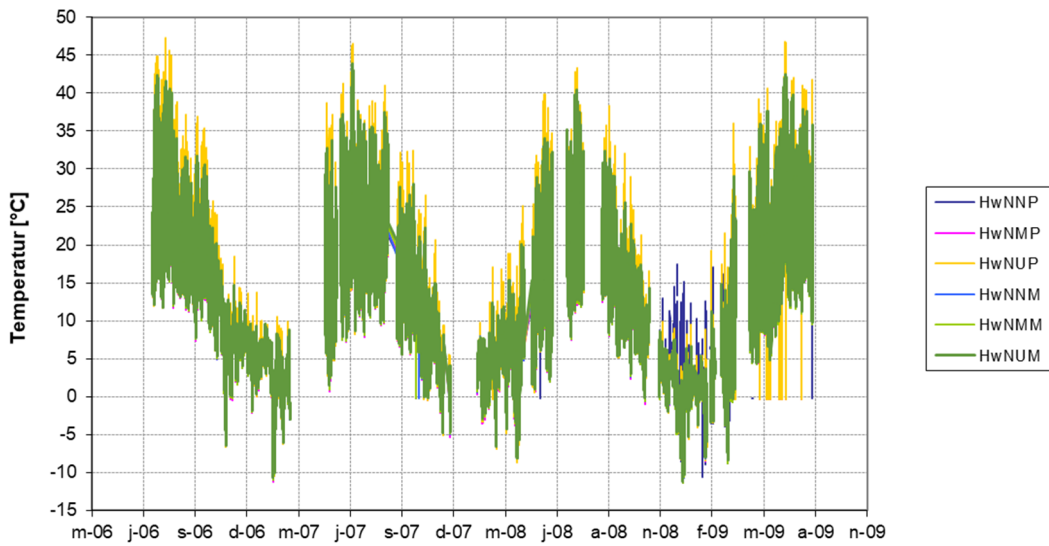
Figur 3.34 visar temperaturer för alla fem sensorerna placerade på den södra sidan av taket mellan råspont och underlagstäckning. Som framgår av figuren fluktuerar temperaturerna snabbt. Det kan även noteras att det finns stora temperaturvariationer mellan sommar och vinter trots att provhuset är placerat i södra Sverige. Under sommaren noteras temperaturer nära 60 grader Celsius vid ett flertal tillfällen. Nattetid kan temperaturen under sommaren sjunka till cirka +5°C. Det är också uppenbart att det är svårt att utläsa temperaturvariationerna för en enskild sensor. Försättningsvis kommer därför resultaten från mätningarna att utvärderas från månadsmedelvärden som omfattar hela mätperioden. För den intresserade finns fler diagram i en bilaga i slutet av rapporten.

Resultaten kan sammanfattas i följande punkter.

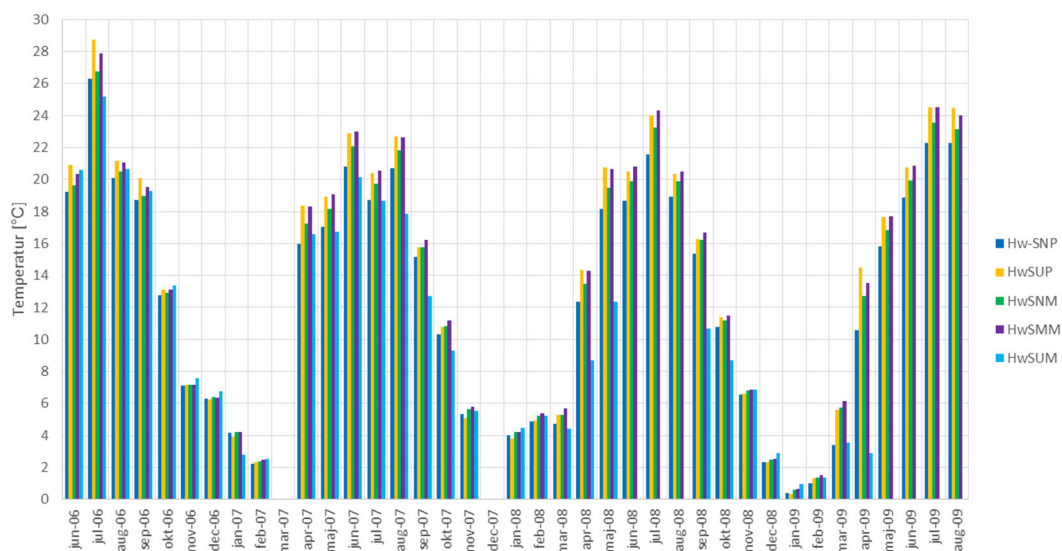
- Sommaren 2006 var märkbart varmare än de efterföljande åren då mätningarna pågick.
- Från figur 3.36 går det att utläsa att månadsmedeltemperaturerna för södersidan genomgående är högst vid HwSUP och HwSMM, dvs. övre delen av taket med underlagspapp samt mittdelen av taket med ånggenomsläppligt underlagstak. Då det inte finns något i närheten som skuggar byggnaden saknas förklaring till denna iakttagelse.
- I figur 3.37 redovisas enbart mätresultat från den södra sidan av taket, som är försedd med traditionell underlagspapp. Genomgående är temperaturen högre i den övre delen av denna takdel. Som framgår av figur 3.38 saknas detta tydliga samband för södra delen av taket som har diffusionsöppen underlagstäckning.
- För den norra sidan av taket visar resultaten i figur 3.39 att temperaturen oftast är något högre i de övre delarna av taket (HwNUP och HwNUM). Skillnaderna i temperatur för varje enskild månad är dock överlag ganska små.
- Månadsmedeltemperaturerna i den del av taket som är orienterat mot norr och försedd med traditionell underlagspapp redovisas i figur 3.40. Inom respektive månad, med något enstaka undantag, är temperaturen högst i den övre delen av taket och sjunker successivt mot den undre delen av taket. Precis samma mönster visar resultaten i figur 3.41 som avser den del av norra taket som har diffusionsöppen taktäckning på råsponten.



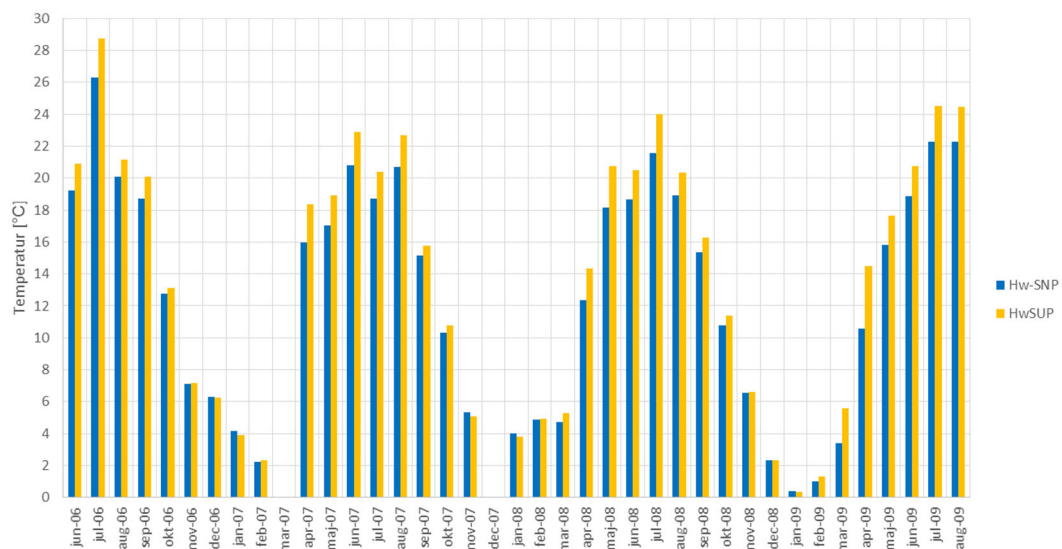
Figur 3.34 Temperatur för samtliga sensorer mot söder.



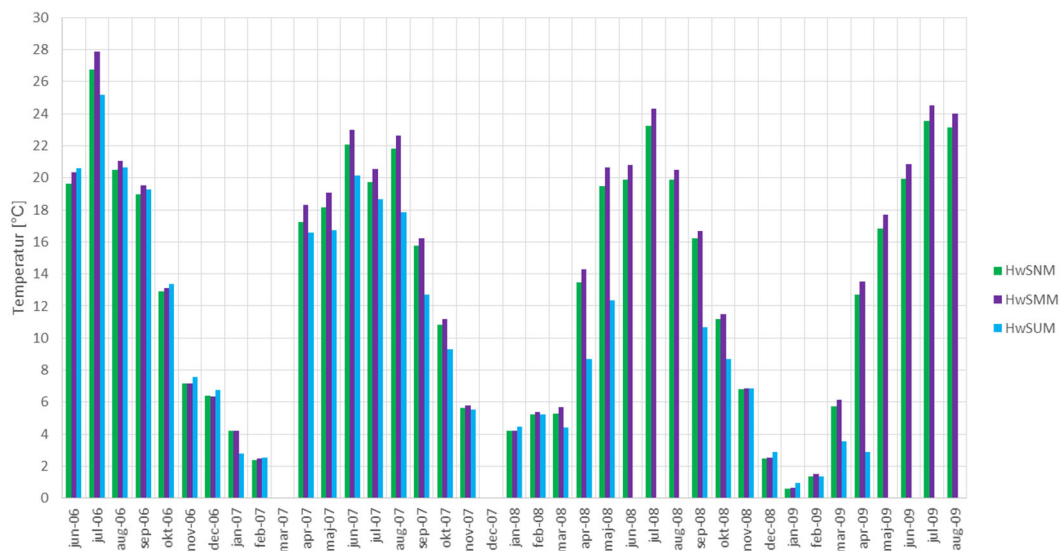
Figur 3.35 Temperatur för samtliga sensorer mot norr.



Figur 3.36 Månadsmedeltemperaturer mot söder från samtliga sensorer mellan råspont och underlagstäckning.



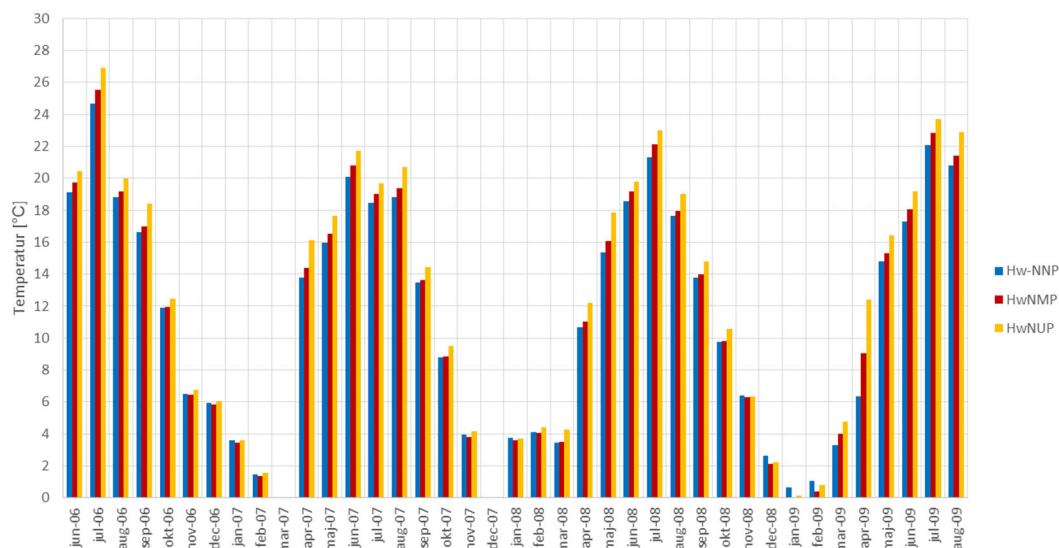
Figur 3.37 Månadsmedeltemperaturer från två sensorer mot söder med traditionell underlagspapp på råsponten.



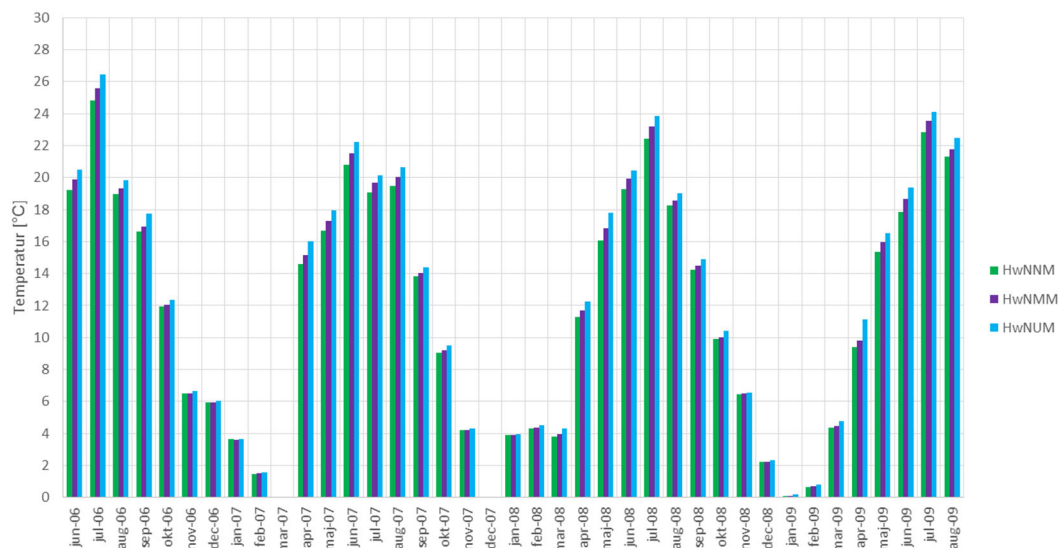
Figur 3.38 Månadsmedeltemperaturer från tre sensorer mot söder med diffusionsöppen underlagstäckning på råsponten.



Figur 3.39 Månadsmedeltemperaturer från samtliga sensorer mot norr mellan råspont och underlagstäckning.



Figur 3.40 Månadsmedeltemperaturer från tre sensorer mot norr med traditionell underlagspapp på råsponten.



Figur 3.41 Månadsmedeltemperaturer från tre sensorer mot norr med diffusionsöppen underlagstäckning på råsponten.

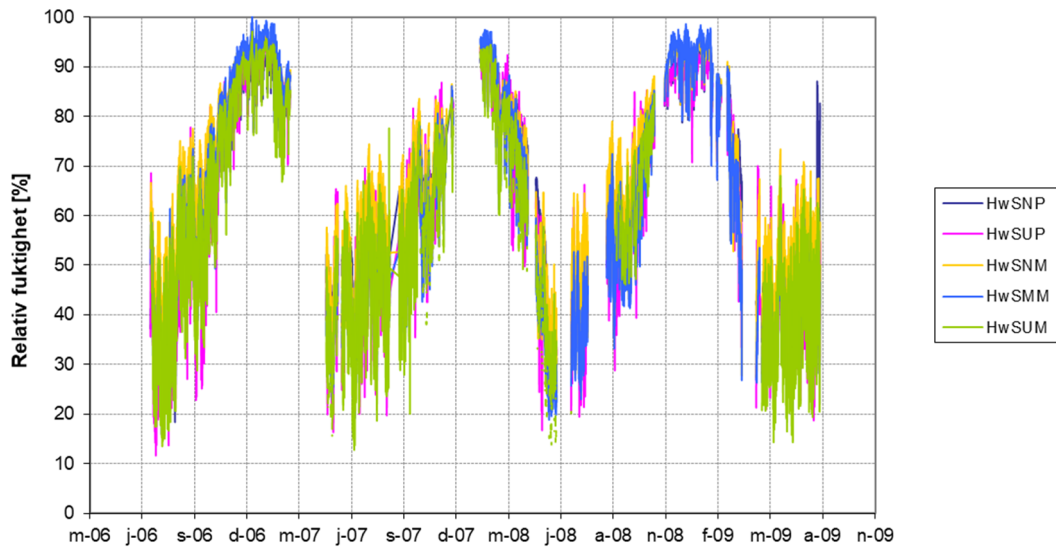
3.4.3.2 Relativ fuktighet

Samtliga resultat från mätningarna mot söder mellan råspont och underlagstäckning redovisas i figur 3.42. Motsvarande resultat för den norra delen av taket framgår av figur 3.44.

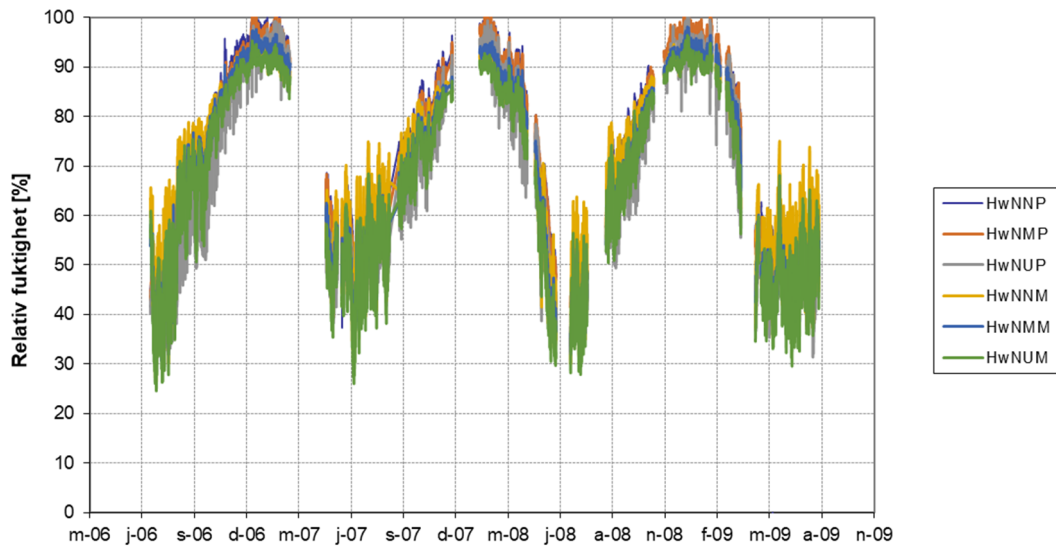
Månadsmedelvärden för samma mätningar mot söder redovisas i figurerna 3.45-3.47. Motsvarande månadsmedelvärden för den norra sidan av taket redovisas i figurerna 3.48-3.50.

Resultaten kan sammanfattas i följande punkter.

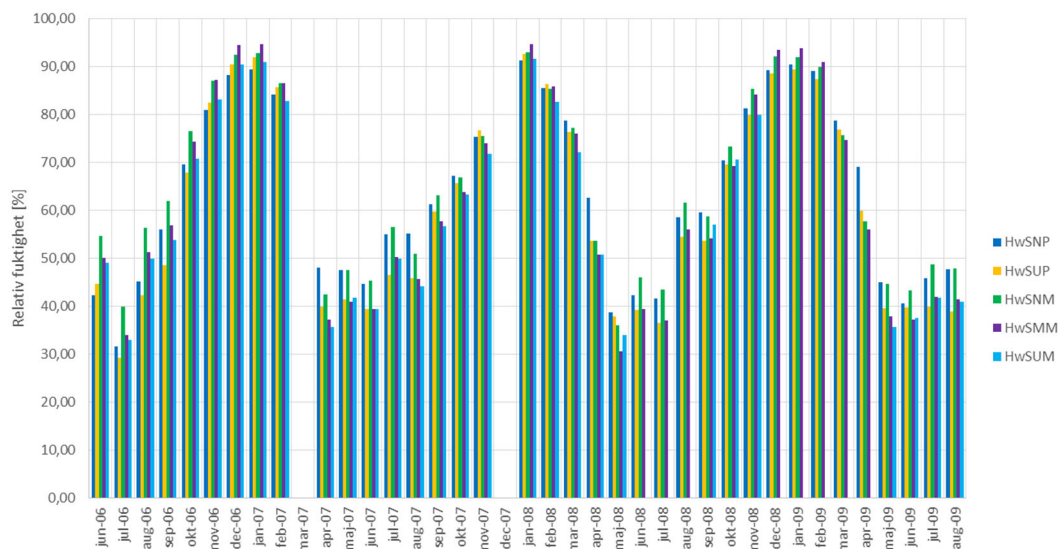
- Från figur 3.42 framgår att den relativa fuktigheten överlag är högst i mätpunkten HwSMM under vintersäsongen. Denna sensor var placerad mitt på taket under den diffusionsöppna underlagstäckningen som under flera månader visar en relativ fuktighet mellan 90 % och nästan 100 %. Under den varma delen av året är å andra sidan den relativ fuktigheten lägst i denna del av taket med en relativ fuktighet som varierar mellan 20 % och 30 %. Samma mönster kan ses i figur 3.47.
- För samtliga mätpunkter mot söder framgår av figur 3.42 att den relativa fuktigheten ligger mellan 80 % och 90 % under långa perioder under de kalla årstiderna. Alla mätpunkter mot söder visar också låga relativa fuktigheter under sommaren. Samma mönster syns från månadsmedelvärden mot söder under de kalla årstiderna, se figur 3.45. Relativa fuktigheter överstigande 90 % registreras för sammanlagt sex månader under mätperioden.
- Från figur 3.44 framgår att ett likartat mönster finns för mätpunkterna mot norr, dvs. höga relativa fuktigheter på vintern och låga på sommaren. För sommarperioderna är dock den relativa fuktigheten högre mot norr än för motsvarande mätpunkter orienterade mot söder.
- Månadsmedelvärde för den norra takdelen redovisas i figurerna 3.48-3.50. Från figuren går det att utläsa att den relativa fuktigheten överstiger 90 % under totalt 8 månader under de kalla delarna av mätperioden.
- Vilken av staplarna inom varje enskild månad som är högst varierar. Det betyder att det inte finns någon enskild mätpunkt mot norr som alltid visar högst månadsmedelvärde avseende den relativa fuktigheten. Vid närmare studium av figur 3.49 framkommer dock att mätpunkt HwNNP, som ligger i den nedre delen av den norra takdelen som är orienterad mot norr, har något högre relativ fuktighet än de två övriga med traditionell underlagspapp. Den övre delen av taket (HwNUP) har generellt lägst relativ fuktighet. Skillnaden är större på sommaren än på vintern.



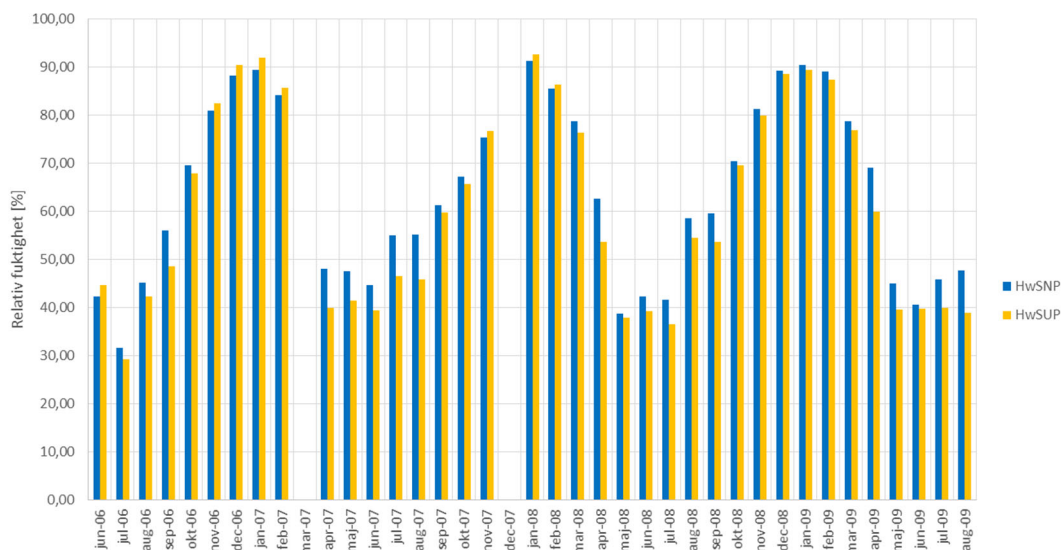
Figur 3.42 Relativ fuktighet för samtliga sensorer mot söder.



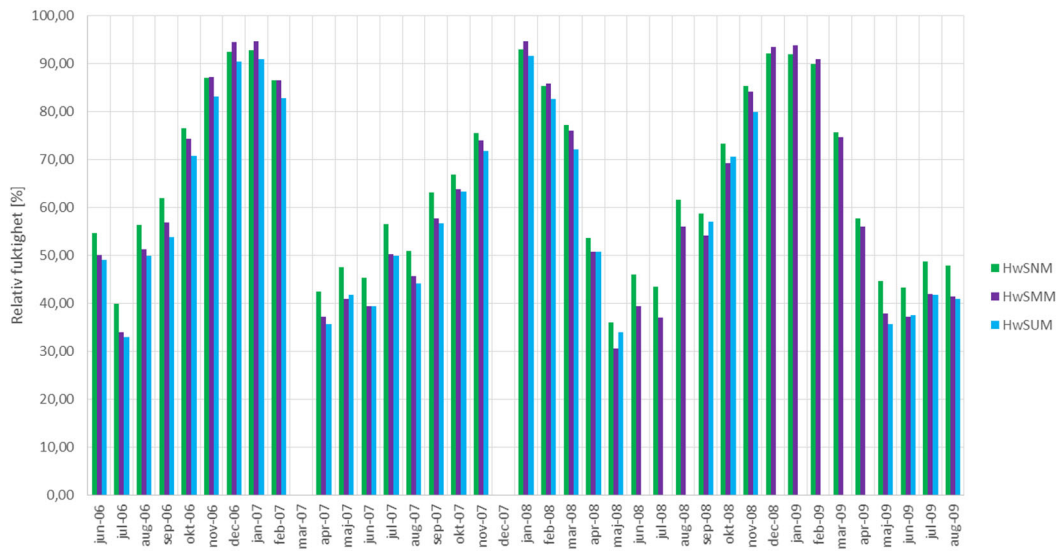
Figur 3.44 Relativ fuktighet för samtliga sensorer mot norr.



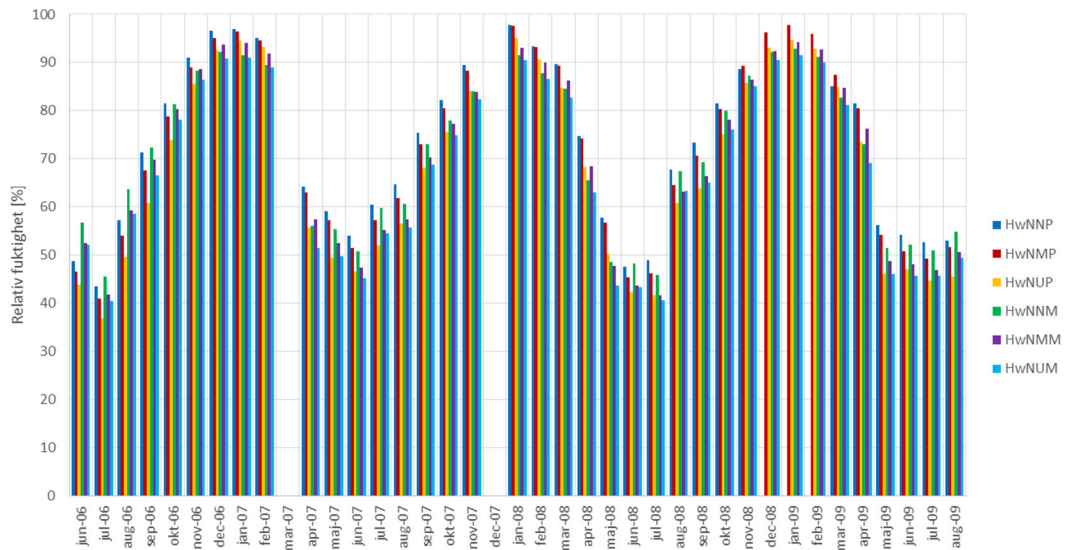
Figur 3.45 Månadsmedelvärden för relativ fuktighet (%) från samtliga fem sensorer mot söder.



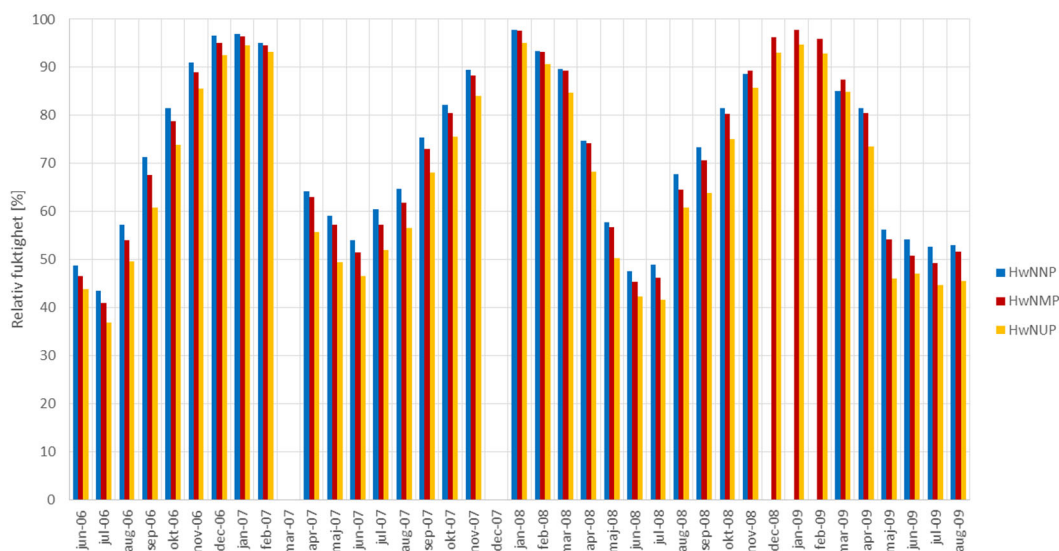
Figur 3.46 Månadsmedelvärden för relativ fuktighet (%) från två sensorer mot söder med traditionell underlagspapp på råsponten.



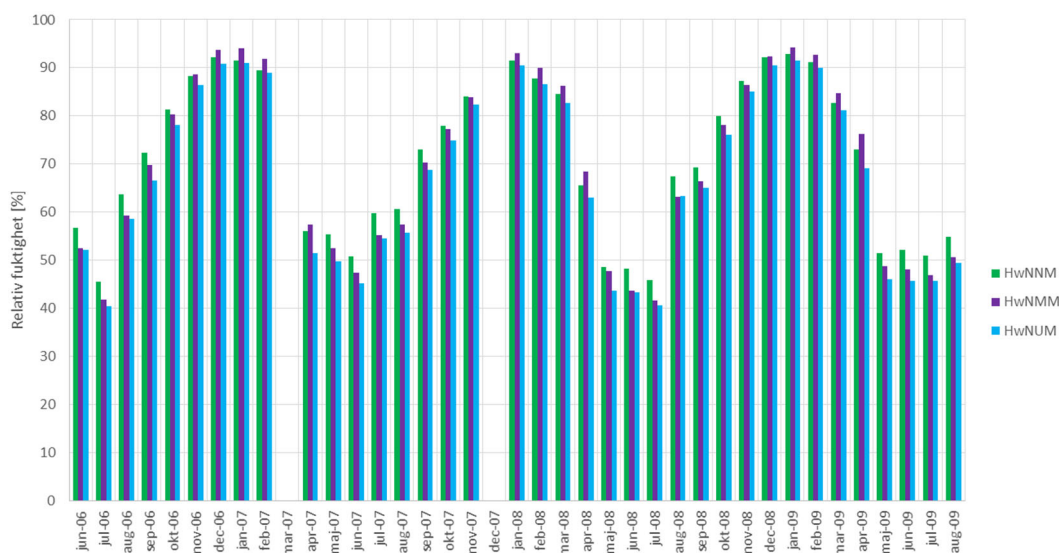
Figur 3.47 Månadsmedelvärden för relativ fuktighet (%) från tre sensorer mot söder med ånggenomsläppligt material på råsponen.



Figur 3.48 Månadsmedelvärden för relativ fuktighet (%) från samtliga sex sensorer mot norr.



Figur 3.49 Månadsmedelvärden för relativ fuktighet (%) från tre sensorer mot norr med traditionell underlagspapp på råsponten.



Figur 3.50 Månadsmedelvärden för relativ fuktighet (%) från tre sensorer mot norr med ånggenomsläppligt material på råsponten.

3.4.3.3 Ånghalt

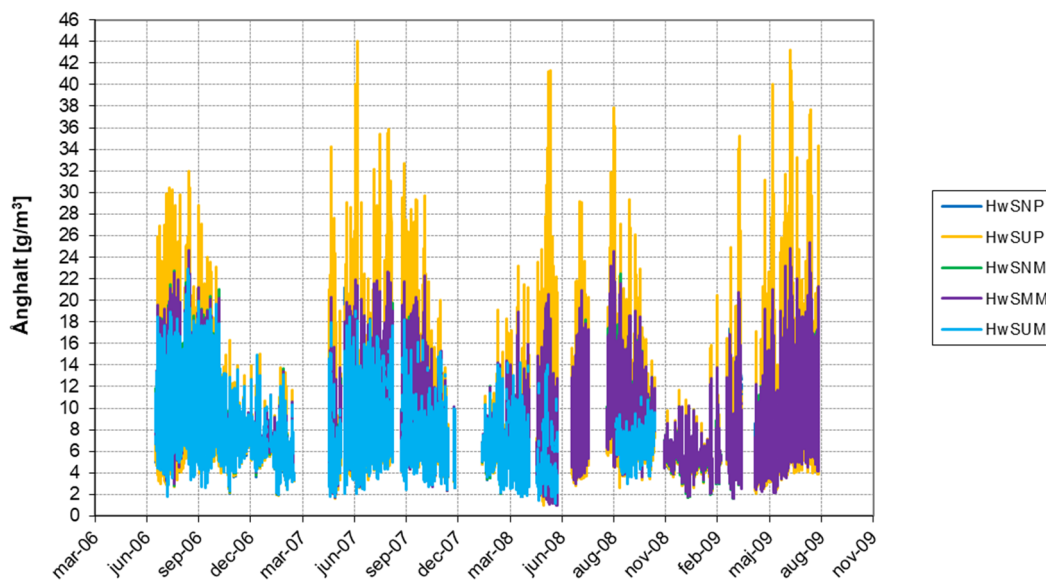
Med känd temperatur och relativ fuktighet är det som tidigare påpekats enkelt att beräkna ånghalten. Liksom för temperaturer och relativa fuktigheter är det nästintill omöjligt att utvärdera ånghalterna enbart genom att betrakta diagram där samtliga värden presenteras.

Figureerna 3.53-3.58 redovisar månadsmedelvärden från beräknade ånghalter mellan råsponten och underlagstäckningen.

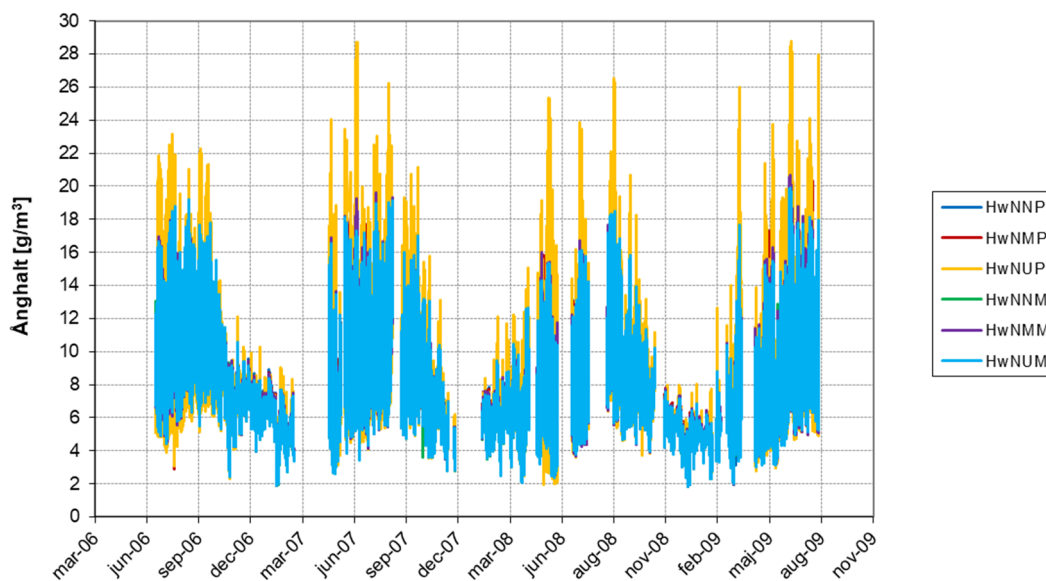
Resultaten kan sammanfattas i följande punkter.

- Från figur 3.51 är det uppenbart att ånghalten för sensor HwSUP är avsevärt högre än för övriga sensorer mot söder, speciellt under de varma årstiderna. Som framgår från tabell 3.3 är denna sensor placerad i den övre delen av taket under underlagspappen. En jämförelse med HwSUM som har motsvarande läge mellan råspont och diffusionsöppen underlagstäckning visar att ånghalten här är betydligt lägre, speciellt under den varma årstiden. Orsaken till denna skillnad är inte uppenbar.
- Resultaten från den norra delen av taket redovisas i figur 3.52. Även här är ånghalten högre för sensor HwNUP, dvs. sensorn som sitter i ovankant av taket under takpappen. Dock är de maximala ånghalterna under sommaren inte alls så höga som under takpappen på den södra sidan (HwSUP). De högre ånghalterna även på den norra sidan under takpappen tyder på att det kanske förekommer ett lokalt läckage intill taknocken på den del av taket där den traditionella takpappen finns. Denna hypotes har dock aldrig undersökts genom att demontera tacknock och takpannor.
- I figur 3.53 redovisas månadsmedelvärden för ånghalten (g/m^3) från samtliga fem sensorer mot söder mellan råspont och underlagstäckning. Samtliga sensorer visar högre värden på sommaren än på vintern vilket visar att ånghalterna följer variationerna i uteånghalten över året. Samma variationer noterades för loggrarna mellan underlagstäckning och betongtakpannor.
- Då sensor HwSUM var ur funktion längre perioder från och med juni 2008 jämförs endast den första delen av mätperioden. Under den första sommaren var ånghalten högst för sensor HwSNM som var placerad i den nedre delen av taket mot söder under den diffusionsöppna underlagstäckningen. Efterföljande sommar visar dock inte samma entydiga resultat. Den inbördes ordningen mellan de olika sensorerna mot söder ändras ofta från månad till månad vilket medför att några slutsatser inte kan dras.
- Från figur 3.54 framgår att ånghalterna under den traditionella takpappen mot söder alltid har högst månadsmedelvärden i augusti. Skillnaderna mellan samma månad under olika år visar tydliga skillnader vilket betyder att variationer i ånghalten för utomhusklimatet påverkar. Vilken av de två staplarna som är högst varierar ofta varför några generella slutsatser om variationer i ånghalt mellan olika delar av denna del av taket inte kan dras.
- Från figur 3.55 framgår tydligt under sommaren att den nedre delen av takdelen (HwSNM) har högst ånghalt och att den övre delen (HwSUM) har den lägsta. Denna skillnad går inte att observera under vintermånaderna.
- Figur 3.56-3.58 redovisar månadsvis medelvärden av ånghalterna i den norra delen av taket. I allmänhet är skillnaderna små för alla enskilda månader. Däremot

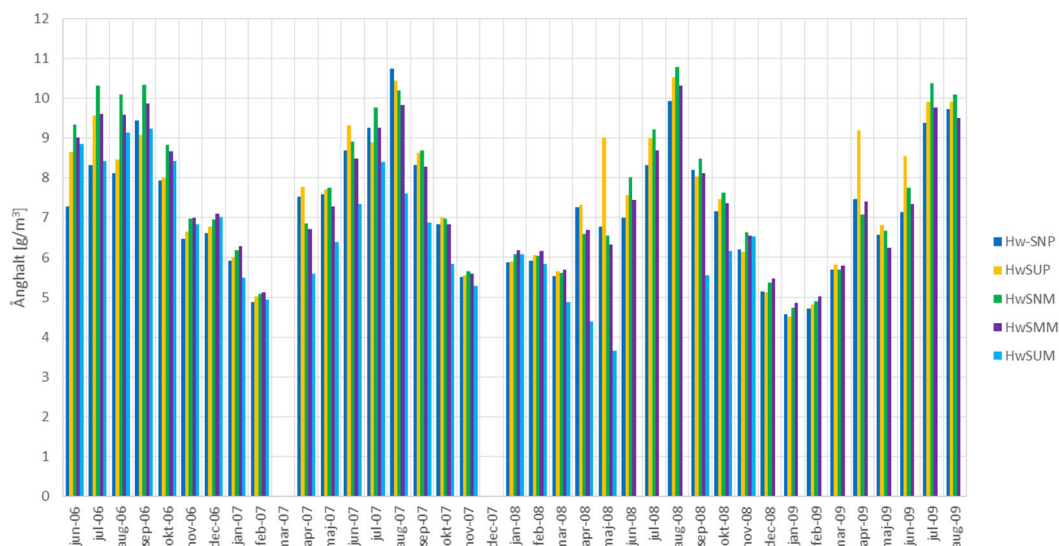
finns det som väntat tydliga skillnader mellan sommar och vinter, med högst värden på sommaren.



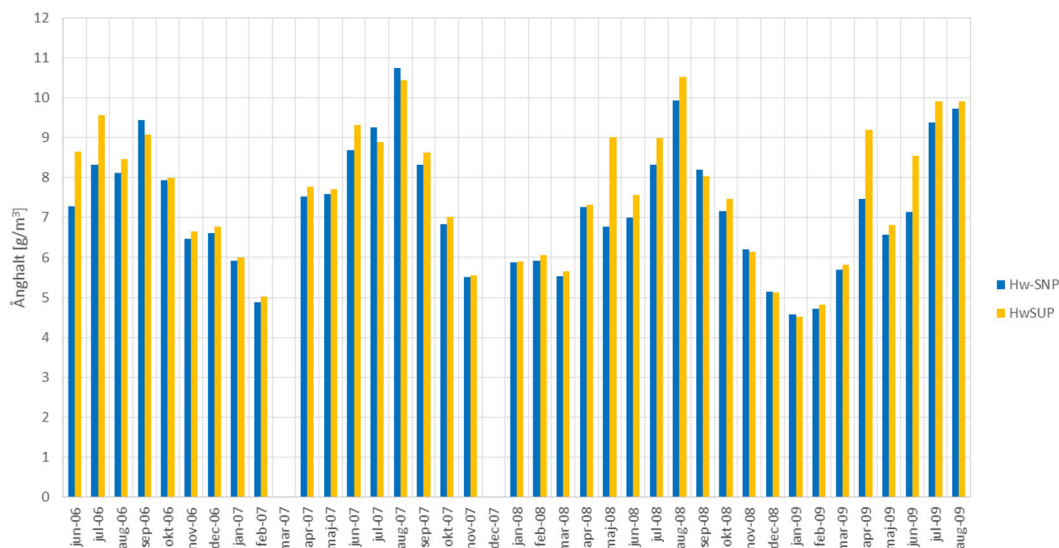
Figur 3.51 Ånghalt (g/m^3) från samtliga fem sensorer mot söder mellan råspont och underlagstäckning.



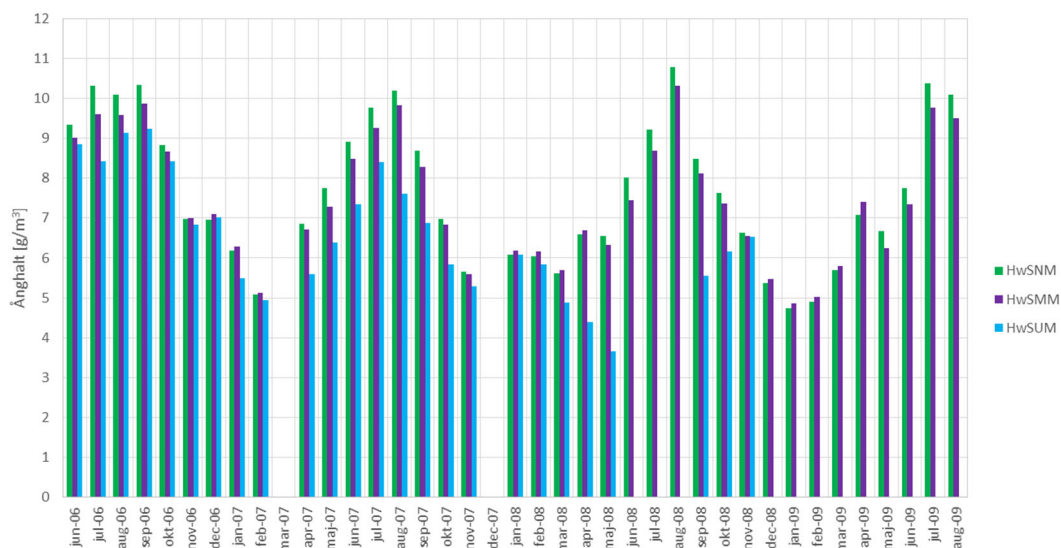
Figur 3.52 Ånghalt (g/m^3) från samtliga sex sensorer mot norr mellan råspont och underlagstäckning.



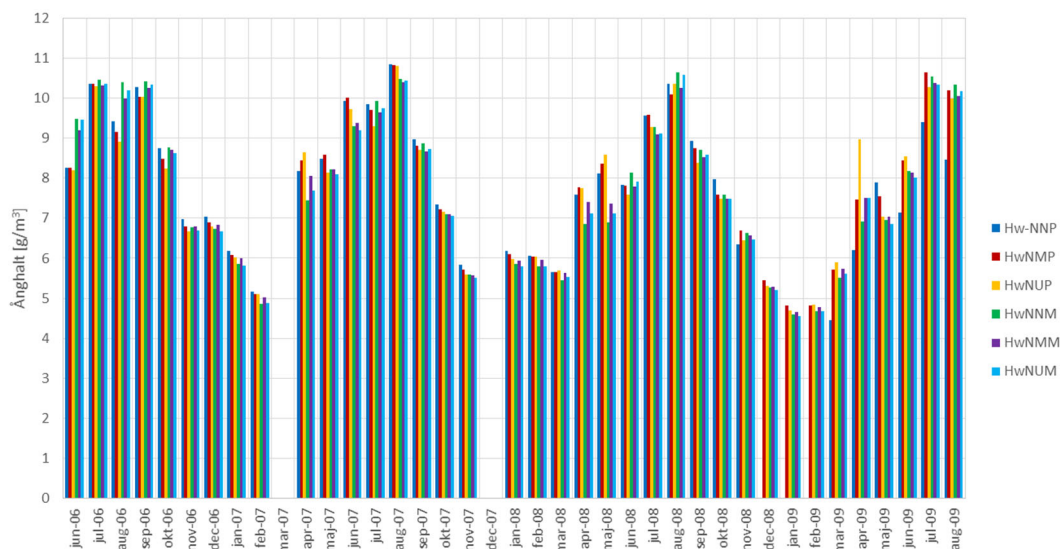
Figur 3.53 Månadsmedelvärde för ånghalt (g/m^3) avseende samtliga fem sensorer mot söder mellan råspont och underlagstäckning.



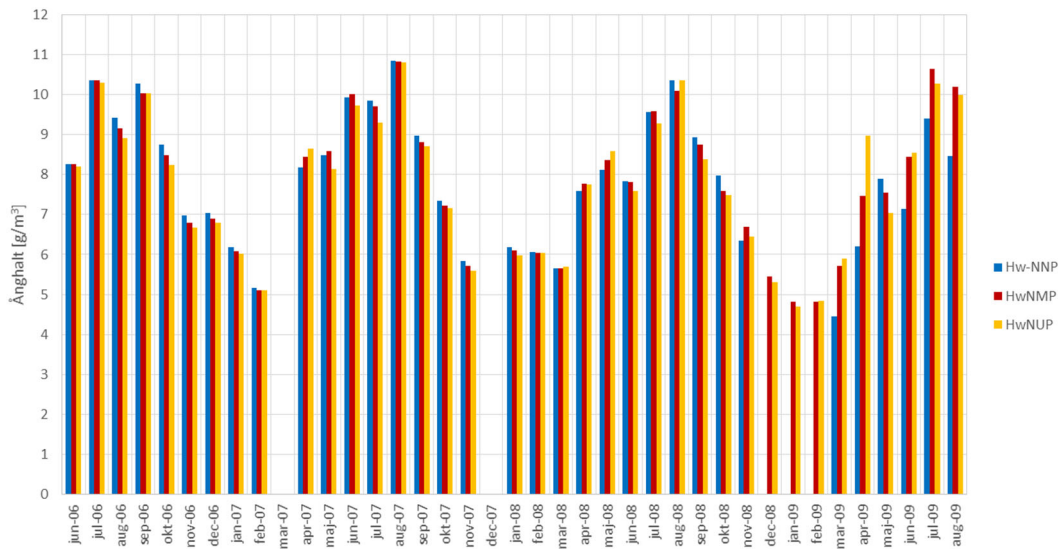
Figur 3.54 Månadsmedelvärde för ånghalt (g/m^3) avseende de två sensorerna mot söder mellan råspont och underlagstäckning av papp.



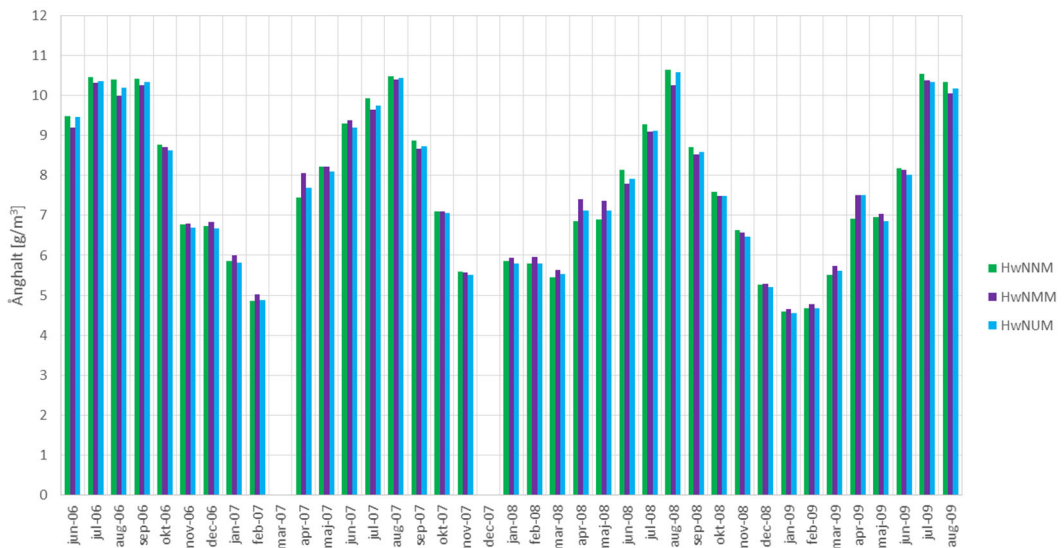
Figur 3.55 Månadsmedelvärde för ånghalt (g/m^3) avseende de tre sensorerna mot söder mellan råspont och underlagstäckning av diffusionsöppen produkt.



Figur 3.56 Månadsmedelvärde för ånghalt (g/m^3) avseende samtliga sex sensorer mot norr mellan råspont och underlagstäckning.



Figur 3.57 Månadsmedelvärde för ånghalt (g/m^3) avseende de tre sensorerna mot norr mellan råspont och underlagstäckning av papp.



Figur 3.58 Månadsmedelvärde för ånghalt (g/m^3) avseende de tre sensorerna mot norr mellan råspont och underlagstäckning av diffusionsöppen produkt.

4 Simuleringar

Datorberäkningar har utförts med det kommersiella datorverktyget WUFI-Pro 6.4. Syftet med beräkningarna var att jämföra resultaten med mätresultaten från provhuset vid LTH i Lund. Med beräkningsverktyget är det också möjligt att studera hur olika faktorer påverkar resultatet. Inställningar i WUFI som använts vid beräkningarna redovisas i bilaga C. Det hade givetvis varit möjligt att göra fler simuleringar för att studera olika faktorer. Av speciellt intresse hade varit att studera hur förväntade framtida klimatförändringar påverkar klimatet på vinden. Det skulle också vara intressant att studera hur klimatet i andra delar av landet påverkar de hygrotermiska förhållandena på vinden. Detta faller dock utanför ramen för projektet.

För att undvika effekter av insvängningsproblem vid de transienta simuleringarna börjar samtliga beräkningar den 1 januari 2005 och avslutas den 31 december 2009. Det är dock endast resultat från försöksperioden som redovisas i denna rapport.

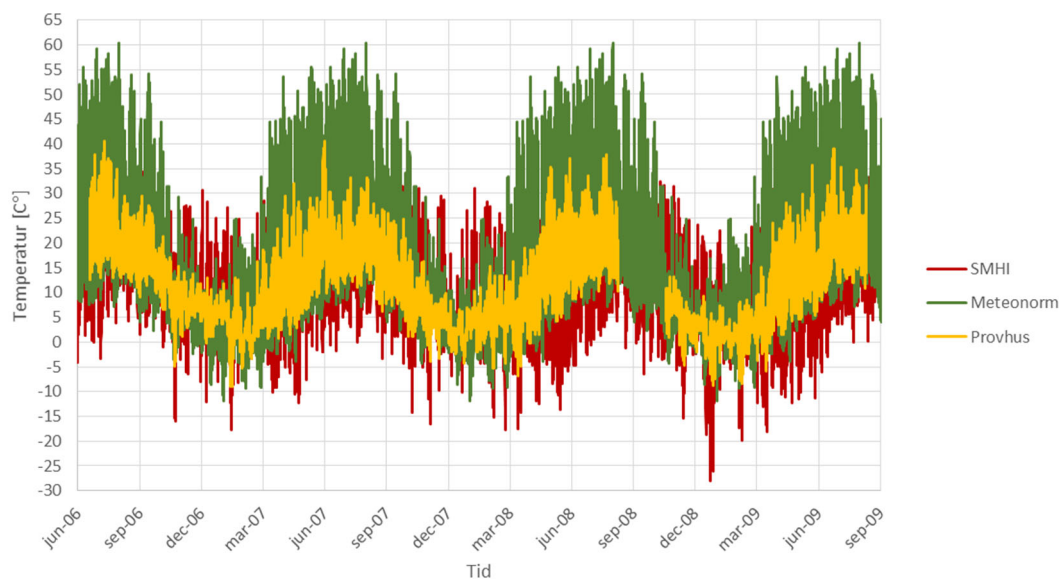
5 Jämförelser mellan simuleringar och mätningar

I figur 5.1 jämförs utetemperaturen som använts vid simuleringar med uppmätt utomhustemperatur intill provhuset. Från figuren ser man att det finns tydliga skillnader i temperatur. Framför allt visar mätningarna från SMHI betydligt större variationer än de lokala mätningarna intill provhuset.

Skälen till skillnaderna är flera.

- Mätningarna har inte skett på samma ställe och höjd. De mätningar som SMHI utför sker alltid på 10 m höjd i utsatt läge. Mätningarna intill provhuset har däremot skett i skyddat läge och endast cirka tre meter över markytan.
- Det finns inte kompletta mätningar från SMHI för Lund som går att använda som indata till beräkningarna med WUFI. Vissa klimatparametrar har hämtats från en klimatstation i Malmö, medan molnigheten kommer från Falsterbo. Slutligen har direktstrålning samt globalstrålningen beräknats med Strång som är ett program som tillhandahålls av SMHI. Även om många av ovanstående parametrar inte direkt påverkar lufttemperaturen utomhus har de avgörande betydelse för de förhållanden som beräknas på vindar och under takpannor.
- Överensstämmelsen mellan de lokala mätningarna av temperatur och resultaten med det artificiella klimatet beräknat med Meteonorm visar betydligt bättre överensstämmelse. En anledning till den bättre överensstämmelsen kan vara att samtliga klimatparametrar beräknas och/eller interpoleras för koordinater som ligger närmare provhuset än den blandning av klimatparametrar som sammanställts för SMHI-klimatet. En uppenbar nackdel med klimatdata från Meteonorm är att samma år upprepas hela tiden, vilket medför att skillnader och extremvärden för enskilda år inte ingår. Samma brist gäller för övrigt vid användandet av de klimatfiler som ingår i WUFI-Pro.

Figur 5.1 visar också att mätningarna intill provhuset var ur funktion hösten 2008. Skälet till avbrottet var ett antal olika tekniska problem med mätutrustningen. Följden av dessa problem var att resultaten inte ansågs tillförlitliga varför flera månader ströks från utvärderingen.



Figur 5.1 Uppmätt temperatur intill provhuset samt utomhustemperatur från SMHI och Meteonorm för samma tidsperiod.

I tabell 5.1 redovisas de åtta olika beräkningsfall som redovisas i de följande figurerna i detta avsnitt. Att numreringen börjar på nio beror på att de första åtta beräkningsfallen utfördes med klimatdata från SMHI.

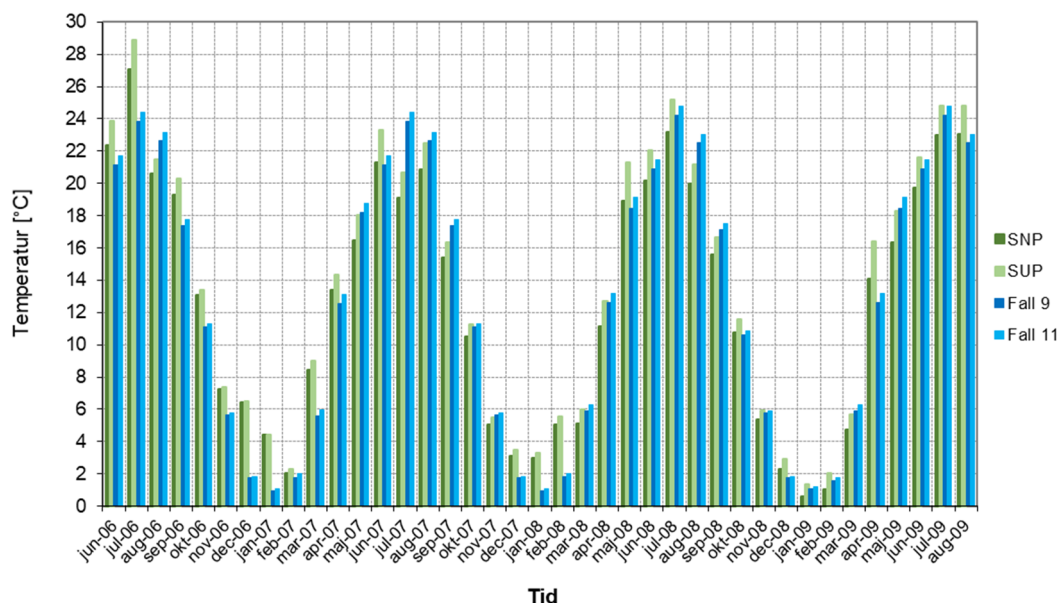
Tabell 5.1: Förklaring till de beräkningsfall som redovisas i de kommande figurerna.

Littera	Orientering	Luftomsättning under takpannor	Luftomsättning på vinden	Underlag
Fall 9	Söder	50	2,75	Papp
Fall 10	Söder	50	2,75	Diffusionsöppet
Fall 11	Söder	50	0,55	Papp
Fall 12	Söder	50	0,55	Diffusionsöppet
Fall 13	Norr	50	2,75	Papp
Fall 14	Norr	50	2,75	Diffusionsöppet
Fall 15	Norr	50	0,55	Papp
Fall 16	Norr	50	0,55	Diffusionsöppet

5.1 Temperatur

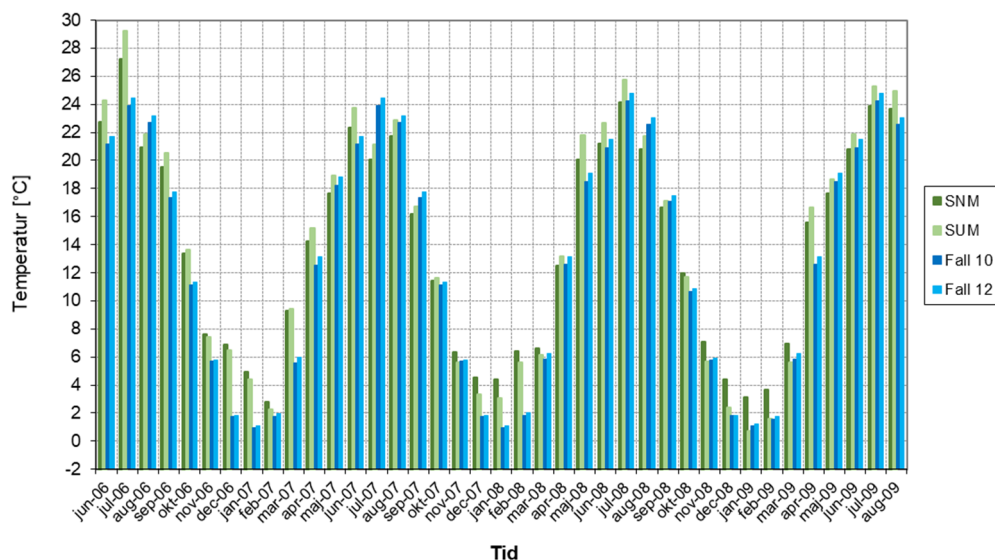
Temperaturer har beräknats för varje timme under försöksperioden med WUFI-Pro. Med timvärden blir det dock omöjligt att utvärdera resultaten på grund av de snabba svängningarna. Fortsättningsvis redovisas därför resultaten enbart med månadsmedelvärden. Nackdelen med medelvärdesbildningen är att snabba fluktuationer samt extremvärden försvinner från analysen. Fördelen med månadsmedelvärden är att det är relativt enkelt att jämföra olika scenarier.

5.1.1 Under takpannor



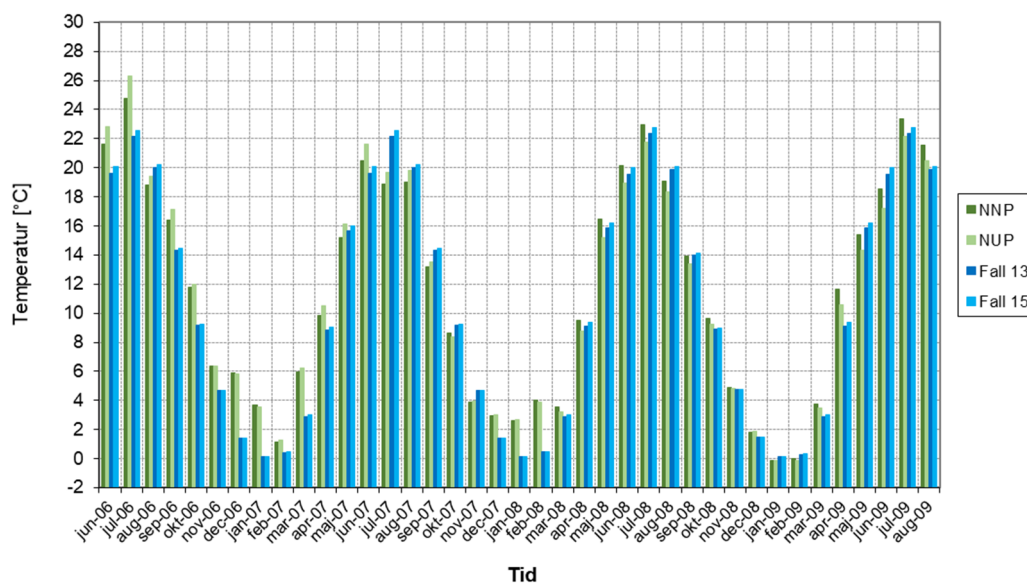
Figur 5.2 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden av temperaturen (°C) mot söder under takpannorna med traditionell underlagstäckning av papp. Betydelsen av SNP respektive SUP framgår av tabell 3.1.

Resultaten i figur 5.2 visar att överensstämmelsen mellan beräkningar och mätningar är sämre under de första månaderna av mätperioden. Under dessa månader är de uppmätta temperaturerna betydligt högre än de simulerade. Anledningen skulle kunna vara att det verkliga klimatet avvek från den simulerade utomhustemperaturen. En närmare analys av temperaturerna i figur 5.1 visar att det finns skillnader, men att utomhustemperaturen från simuleringarna med Meteororm var högre än de uppmätta för de första månaderna, vilket borde leda till att de beräknade temperaturerna var högre än de uppmätta och inte tvärtom. Skillnader i kortvågig strålning mellan ”verkligheten” och simuleringarna förefaller därför som en mer rimlig förklaring. Under resterande delar av första året är däremot överensstämmelsen relativt god. Ett annat tänkbart skäl till skillnaderna kan bero på antagandet om konstant luftomsättning under hela simuleringsperioden. Under den resterande delen av mätperioden sker ökning och minskningar samstämmigt, vilket är en förväntad årstidsvariation. Efter högsommaren är generellt beräknade temperaturer högre än uppmätta. Slutligen kan noteras att Fall 9 och fall 11 alltid är ganska lika. Det betyder att antagen luftomsättning på vinden inte har så stor betydelse för resultaten.

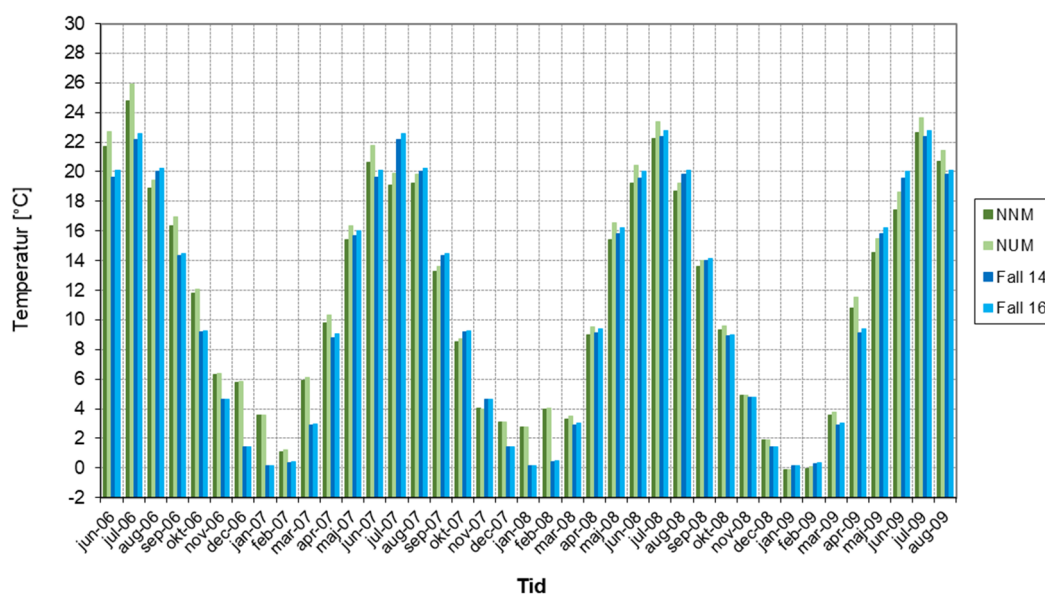


Figur 5.3 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden av temperaturen (°C) mot söder under takpannorna med diffusionsöppen underlagstäckning. Betydelsen av SNM respektive SUM framgår av tabell 3.1.

Jämförelsen mellan beräknade och uppmätta temperaturer i figurerna 5.3 och 5.4 visar samma mönster som figur 5.2. Det vill säga sämre överensstämmelse under de första månaderna. Troliga skillnader till differenserna är desamma som diskuterats ovan. Från figur 5.3 och 5.4 kan vi också konstatera att överensstämmelsen är ganska dålig under vintrarna.



Figur 5.4 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden av temperaturen (°C) mot norr under takpannorna med traditionell underlagstäckning av papp. Betydelsen av NNP respektive NUP framgår av tabell 3.1.

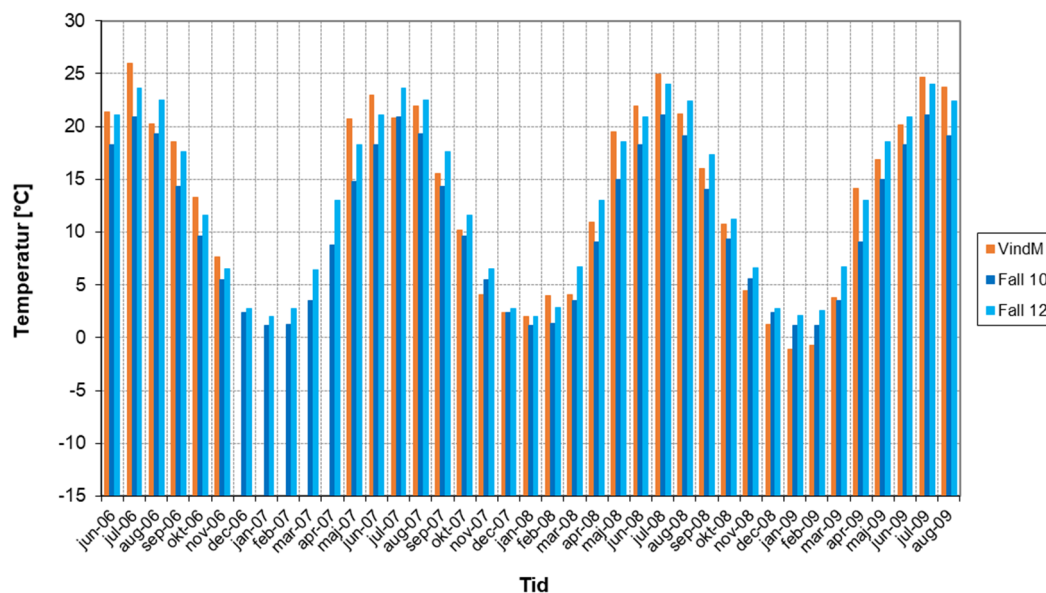


Figur 5.5 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden av temperaturen (°C) mot norr under takpannorna med diffusionsöppen underlagstäckning. Betydelsen av NNM respektive NUM framgår av tabell 3.1.

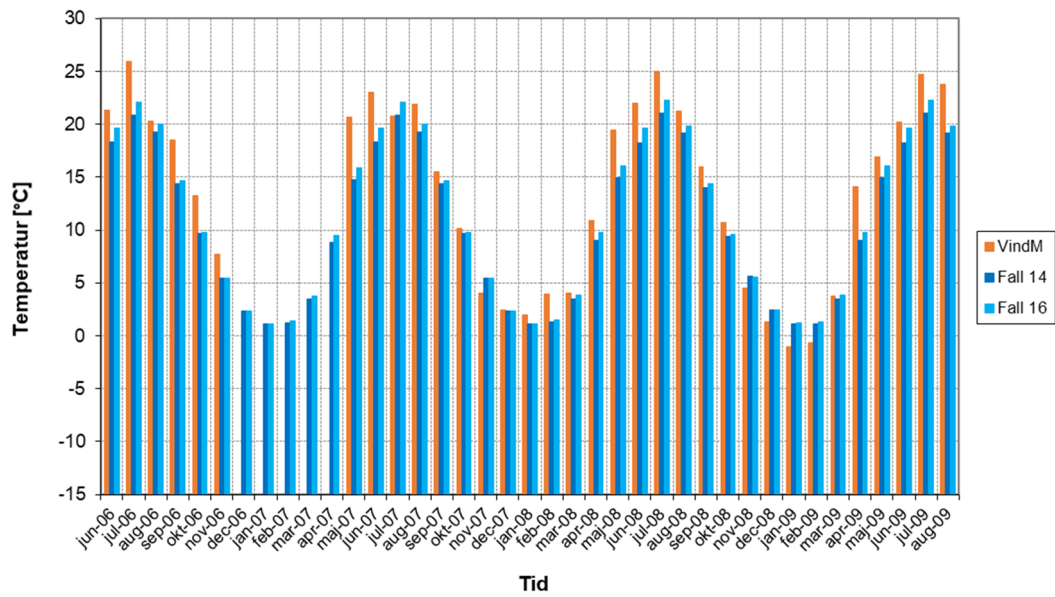
Jämförelsen mellan beräknande och uppmätta månadsmedelvärden som presenteras i figur 5.5 visar, liksom tidigare relativt dålig överensstämmelse under de första måna-

derna av mätperioden. Liksom tidigare är även här överensstämmelsen mellan mätningar och beräkningar relativt god under de varma årstiderna. Även här har storleken på luftomsättningen liten betydelse. Det finns dock en svag genomgående tendens att beräknade temperaturer är något högre vid en lägre luftomsättning på vinden. Denna iakttagelse gäller för alla fyra figurerna, dvs. figurerna 5.2-5.5.

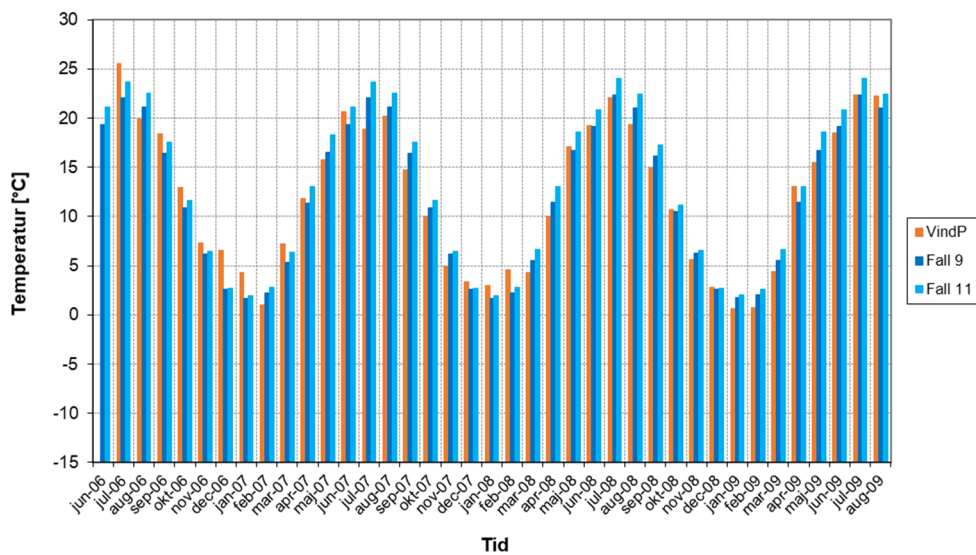
5.1.2 Vindsutrymmen



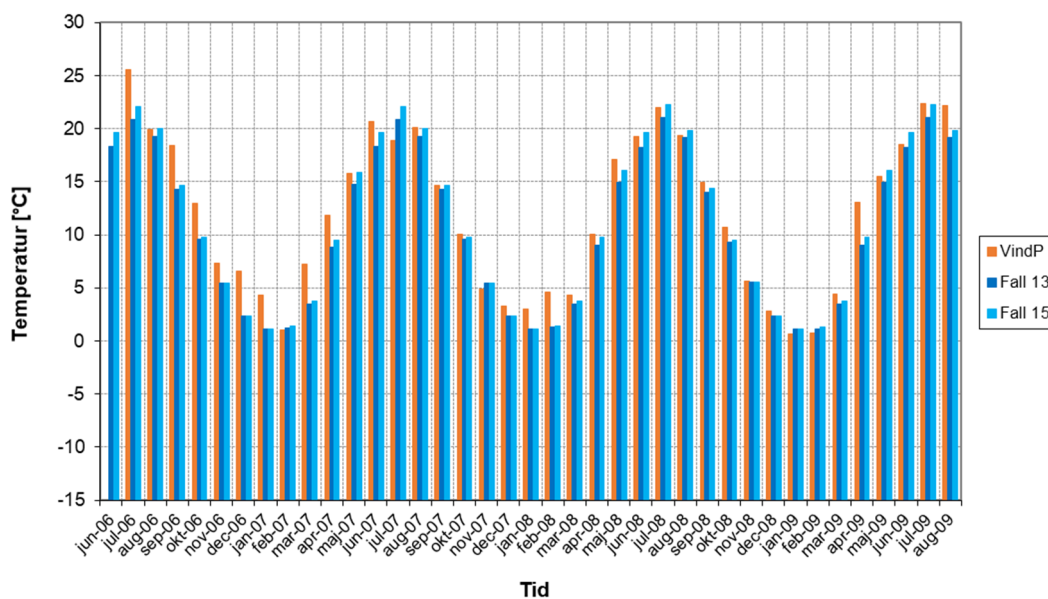
Figur 5.6 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden mot söder av temperaturen (°C) i vindsutrymme med diffusionsöppen underlagstäckning. Betydelsen av VindM framgår av tabell 3.1.



Figur 5.7 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden mot norr av temperaturen (°C) i vindsutrymme med diffusionsöppen underlagstäckning. Betydelsen av VindM framgår av tabell 3.1.



Figur 5.8 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden mot söder av temperaturen (°C) i vindsutrymme med traditionell underlagstäckning av papp. Betydelsen av VindP framgår av tabell 3.1.



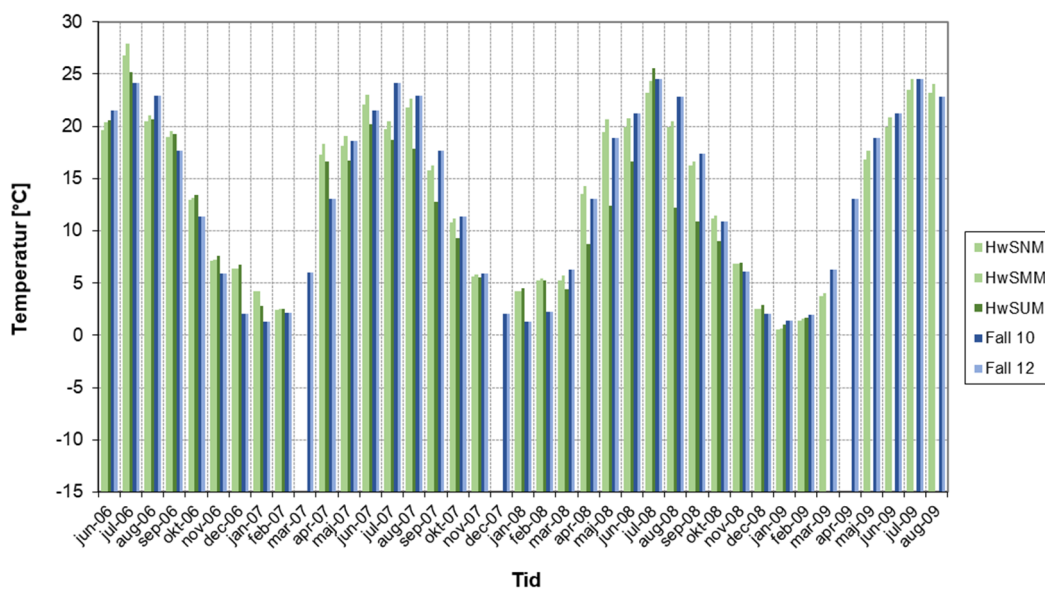
Figur 5.9 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden mot norr av temperaturen (°C) i vindsutrymme med traditionell underlagstäckning av papp. Betydelsen av VindP framgår av tabell 3.1.

Från figur 5.6 och 5.7 kan vi inledningsvis konstatera att det saknas mätvärden under perioden december 2006 till och med april 2007. Under de varma delarna av året kan vi också konstatera att uppmätta temperaturer (VindM) alltid är högre än simulerade. Vad detta beror på är inte klarlagt.

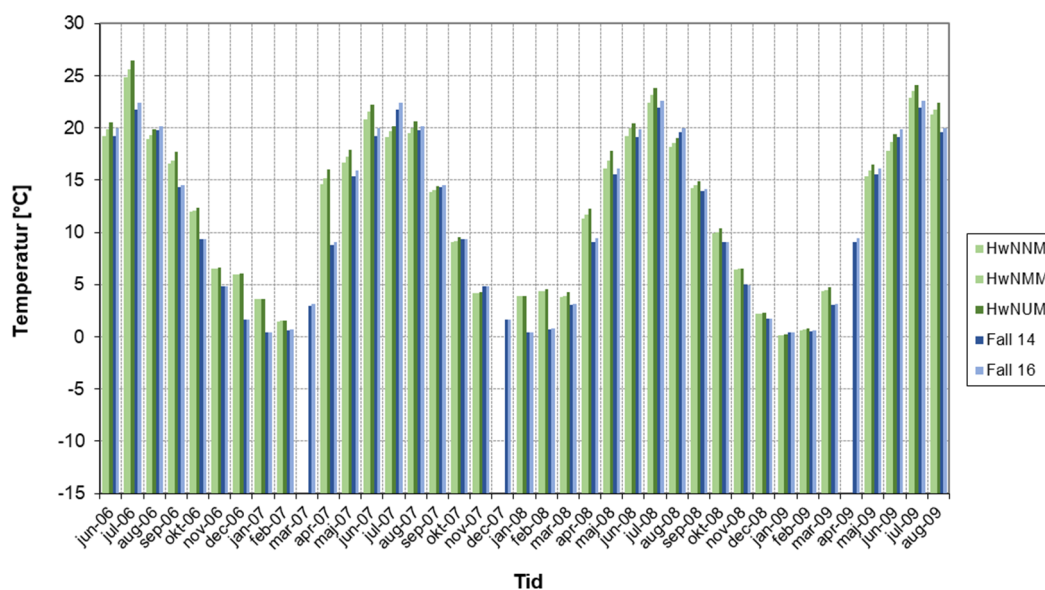
Motsvarande analys för figur 5.8-5.9 visar samma tendens som då underlagstäckningen utgörs av diffusionsöppen duk. Skillnaderna mellan mätningar och beräkningar är dock mindre, speciellt för den södra sidan. Även här visar simuleringarna att en högre antagen luftomsättning på vinden leder till en lägre temperatur, vilket är förväntat.

5.1.3 Mellan råspont och underlagstäckning

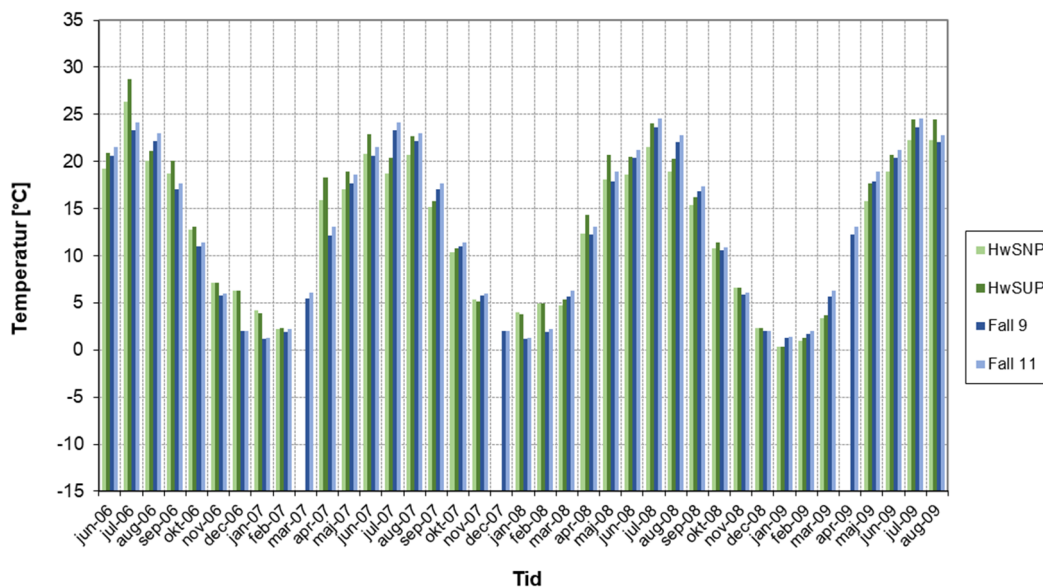
Mätningar utfördes vid totalt 12 olika positioner mellan råspont och underlagstäckning. Placeringen av dessa framgår av tabell 3.3. Detta innebär att det fanns 6 mätpunkter mot norr samt lika många mot söder. I vardera väderstrecken var hälften av dessa givare, dvs. tre stycken placerade under traditionell underlagspapp medan de tre övriga fanns under den diffusionsöppna underlagstäckningen.



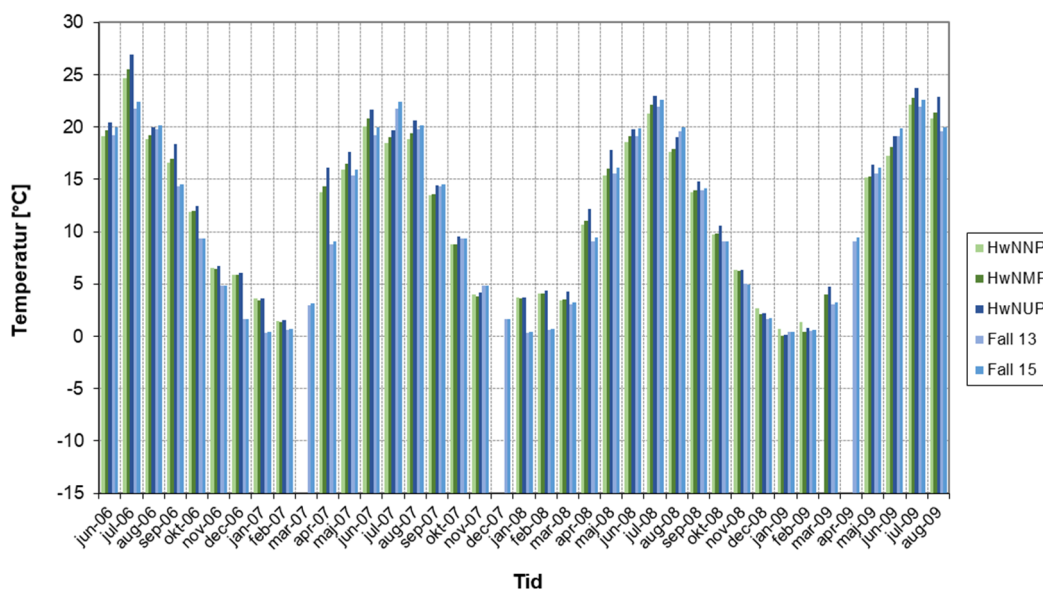
Figur 5.10 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden mot söder avseende temperaturen (°C) mellan råspond och diffusionsöppen underlagstäckning. Betydelsen av HwSNM, HwSMM och HwSUM framgår av tabell 3.3. I Fall 10 är antagen luftomsättning på vinden 2,75 oms/h medan den reducerats till 0,55 oms/h i Fall 12.



Figur 5.11 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden mot norr avseende temperaturen (°C) mellan råspont och diffusionsöppen underlagstäckning. Betydelsen av HwNNM, HwNMM och HwNUM framgår av tabell 3.3. I Fall 14 är antagen luftomsättning på vinden 2,75 oms/h medan den reducerats till 0,55 oms/h i Fall 16.



Figur 5.12 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden mot söder avseende temperaturen (°C) mellan råspont och traditionell underlagstäckning av papp. Betydelsen av HwSNP och HwSUP framgår av tabell 3.3. I Fall 9 är antagen luftomsättning på vinden 2,75 oms/h medan den reducerats till 0,55 oms/h i Fall 11.



Figur 5.13 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden mot norr avseende temperaturen (°C) mellan råspont och traditionell underlagstäckning av papp. Betydelsen av HwNNP, HwNMP och HwNUP framgår av tabell 3.3. I Fall 13 är antagningen luftomsättning på vinden 2,75 oms/h medan den reducerats till 0,55 oms/h i Fall 15.

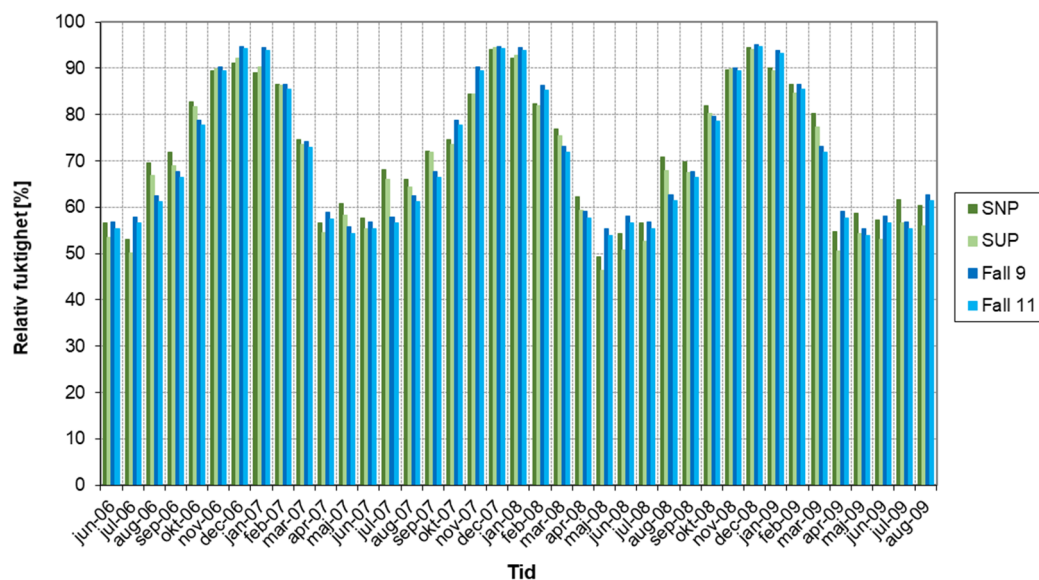
Analys av resultaten i figurerna 5.10-5.13 visar att temperaturerna, som väntat följer årsvariationerna i utomhustemperaturen. En jämförelse mellan figur 5.10 och 5.11 visar att överensstämmelsen mellan beräkningar och mätningar är avsevärt bättre mot norr än mot söder. Skillnaden i temperatur mellan norr och söder är dock ganska liten då månadsmedelvärden betraktas. En analys av timvisa skillnader visar dock att temperaturvariationerna är större mot söder än mot norr, vilket är förväntat.

Om vi istället betraktar figur 5.12 och 5.13 ser vi att differenserna mellan simuleringar och mätningar generellt är mindre än motsvarande analys för figurerna 5.10 och 5.11. Detta är lite anmärkningsvärt då den enda skillnaden mellan konstruktionerna är materialet på råsponten. Även om dessa produkter har olika kulör borde skillnaderna ändå vara nästintill försumbara då båda produkterna är skyddade från kortvägig strålning. En tänkbar förklaring är att den del av byggnaden som har traditionell underlagspapp kan få något kortare exponering mot solstrålning under sen eftermiddag och kväll, vilket kan resultera i mindre skillnader i ytemperatur för denna del av byggnaden. Skillnaderna varierar dock mellan åren varför det troligen även finns en annan förklaring till de iakttagna differenserna.

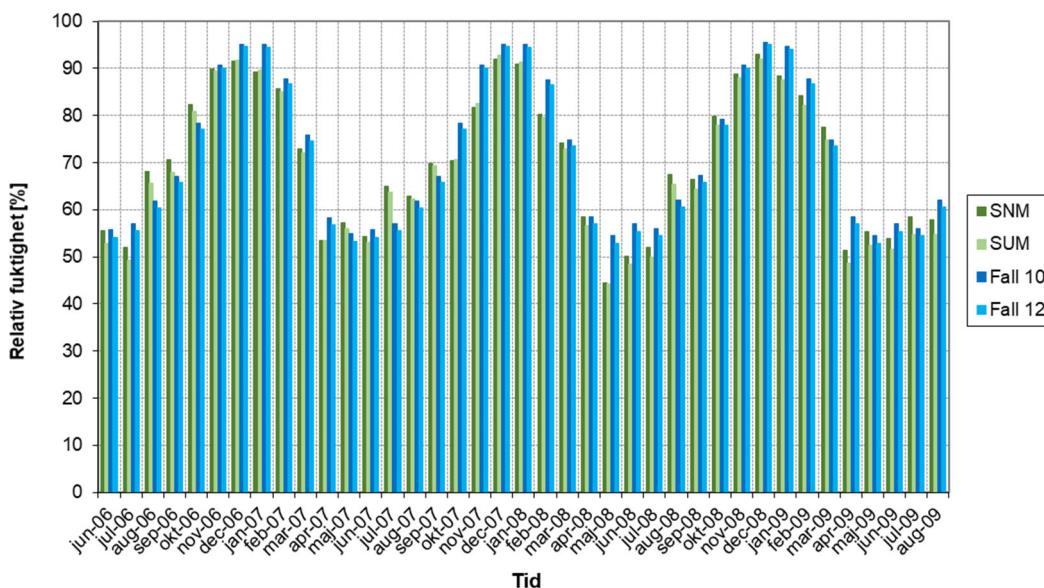
5.2 Relativ fuktighet

Relativa fuktigheter har beräknats och mätts på exakt samma platser som temperaturerna.

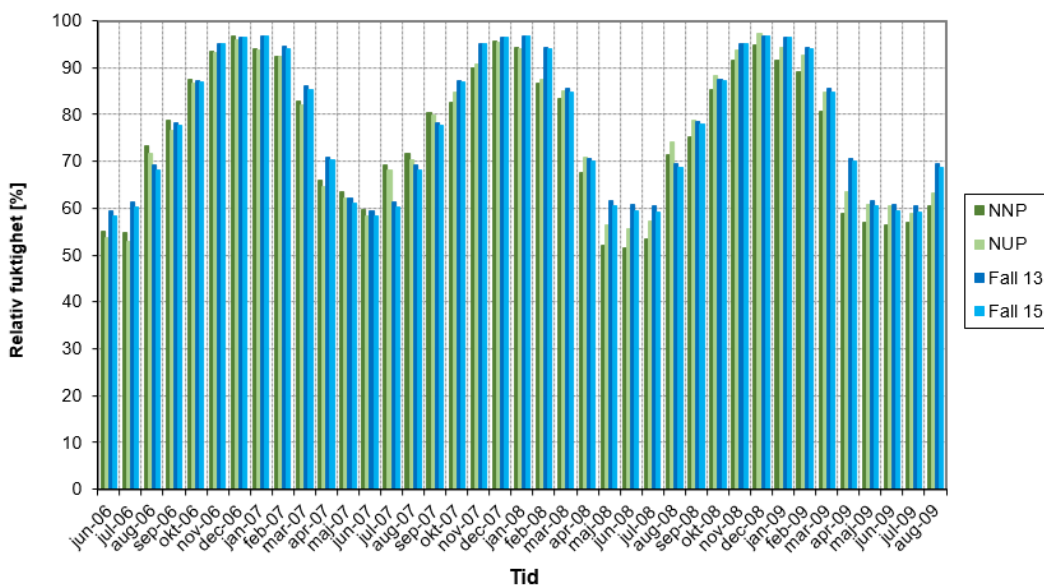
5.2.1 Under takpannor



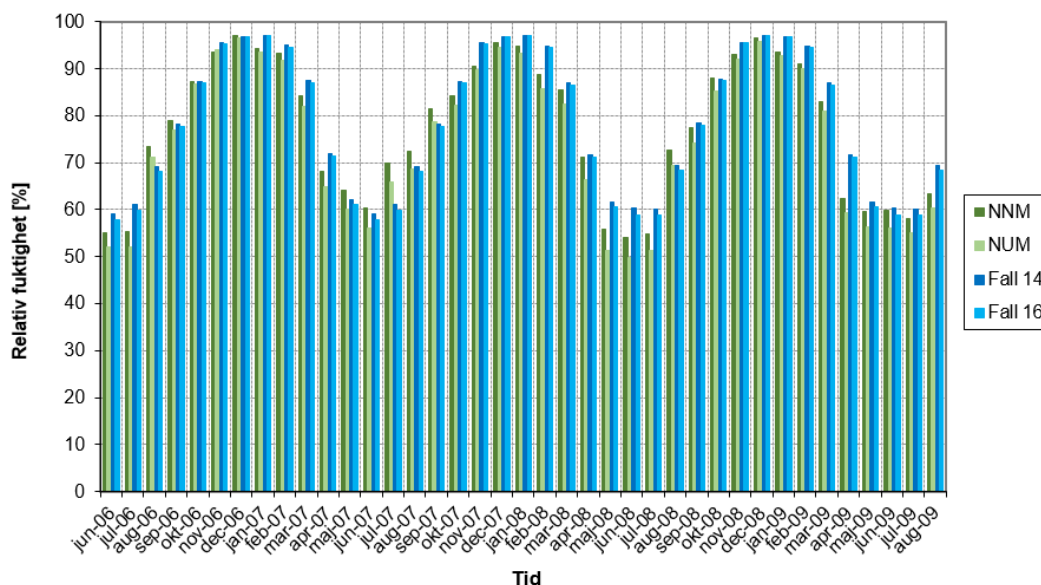
Figur 5.14 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden av relativ fuktighet (%) mot söder under takpannorna med traditionell underlagstäckning av papp. Betydelsen av SNP respektive SUP framgår av tabell 3.1. I Fall 9 är antagen luftomsättning på vinden 2,75 oms/h medan den reducerats till 0,55 oms/h i Fall 11.



Figur 5.15 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden av relativ fuktighet (%) mot söder under takpannorna med diffusionsöppen underlagstäckning. Betydelsen av SNM respektive SUM framgår av tabell 3.1. I Fall 10 är antagen luftomsättning på vinden 2,75 oms/h medan den reducerats till 0,55 oms/h i Fall 12.



Figur 5.16 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden av relativ fuktighet (%) mot norr under takpannorna med traditionell underlagstäckning av papp. Betydelsen av NNP respektive NUP framgår av tabell 3.1. I Fall 13 är antagen luftomsättning på vinden 2,75 oms/h medan den reducerats till 0,55 oms/h i Fall 15.



Figur 5.17 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden av relativ fuktighet (%) mot norr under takpannorna med diffusionsöppen underlagstäckning. Betydelsen av NNM respektive NUM framgår av tabell 3.1. I Fall 14 är antagen luftomsättning på vinden 2,75 oms/h medan den reducerats till 0,55 oms/h i Fall 16.

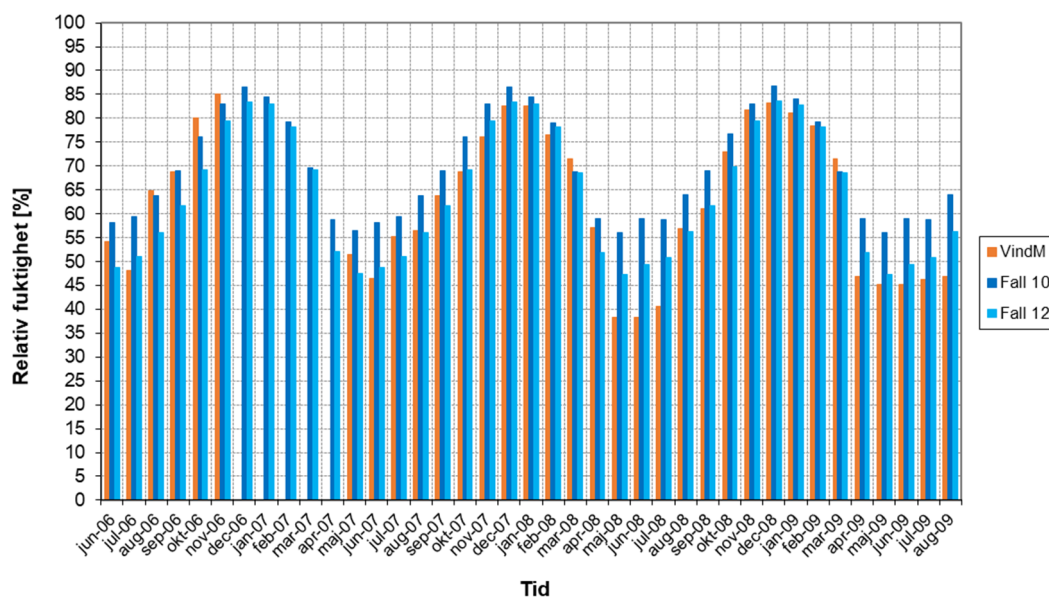
Genom att studera och jämföra figurerna 5.14 och 5.15 ser man att skillnaderna är ganska små mellan både uppmätta och beräknade resultat samt mellan traditionell underlagstäckning och diffusionsöppen underlagstäckning för takytorna som är orienterade mot söder. Med tanke på att utrymmet sannolikt påverkas av utomhusklimatet i hög utsträckning är säsongsvariationerna väntade.

En jämförelse mellan figurerna 5.16 och 5.17 visar också små skillnader mellan de två underlagstäckningar som är orienterade mot norr.

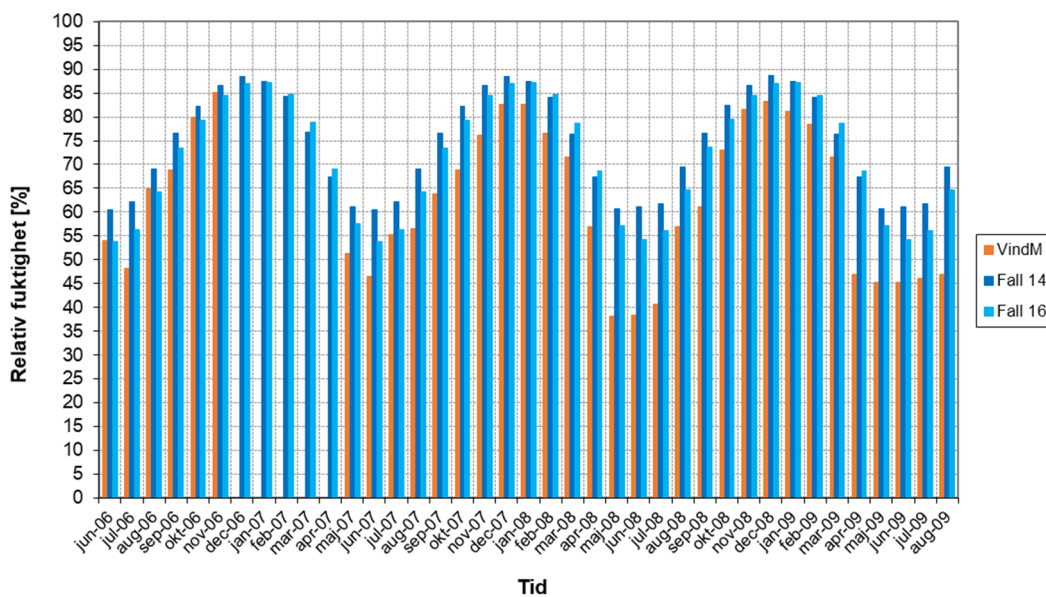
Beträffande storleken på luftomsättningen har denna parameter också liten inverkan på resultatet.

Från figurerna 5-14-5.17 kan vi slutligen konstatera att det finns avvikelser de första månaderna av mätperioden mellan beräknade och uppmätta relativa fuktigheter i utrymmet under takpannorna.

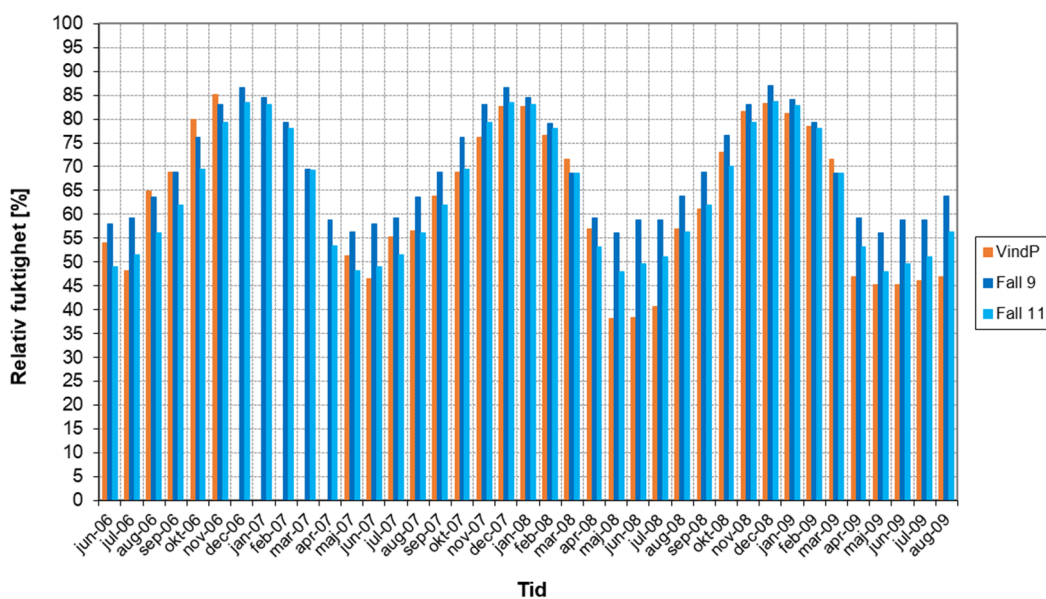
5.2.2 Vindsutrymme



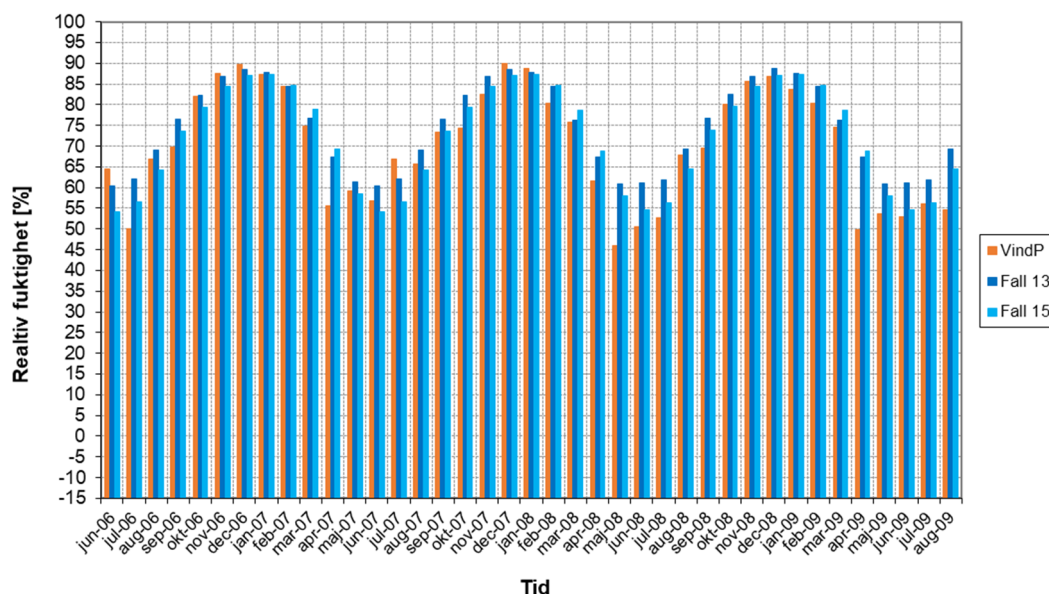
Figur 5.18 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden mot söder av relativ fuktighet (%) i vindsutrymme med diffusionsöppen underlagstäckning. Betydelsen av VindM framgår av tabell 3.1. I Fall 10 är antagen luftomsättning på vinden 2,75 oms/h medan den reducerats till 0,55 oms/h i Fall 12.



Figur 5.19 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden mot norr av relativ fuktighet (%) i vindsutrymme med diffusionsöppen underlagstäckning. Betydelsen av VindM framgår av tabell 3.1. I Fall 14 är antagen luftomsättning på vinden 2,75 oms/h medan den reducerats till 0,55 oms/h i Fall 16.



Figur 5.20 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden mot söder av relativ fuktighet (%) i vindsutrymme med traditionell underlagstäckning av papp. Betydelsen av VindP framgår av tabell 3.1. I Fall 9 är antagen luftomsättning på vinden 2,75 oms/h medan den reducerats till 0,55 oms/h i Fall 11.

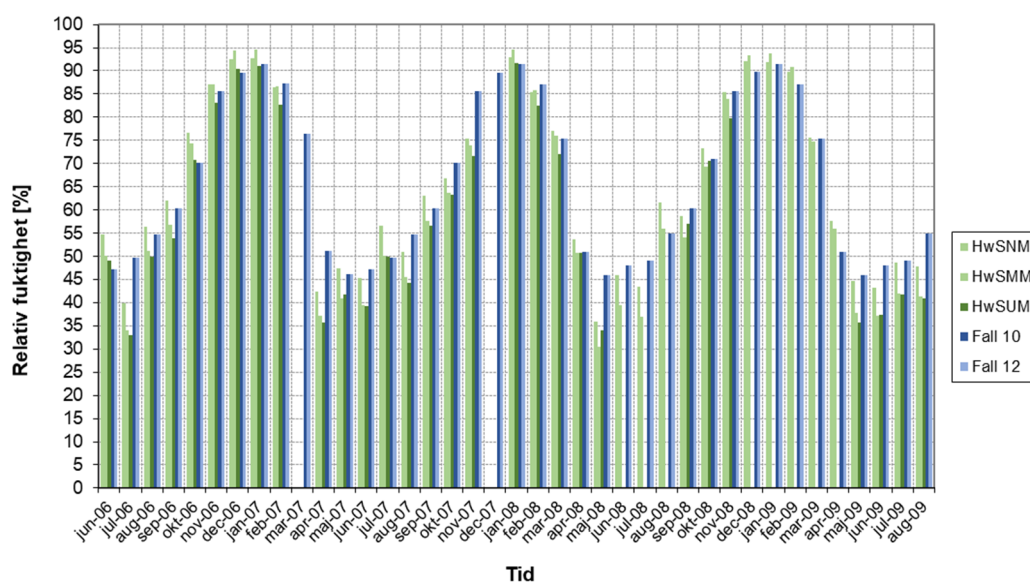


Figur 5.21 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden mot norr av relativ fuktighet (%) i vindsutrymme med traditionell underlagstäckning av papp. Betydelsen av VindP framgår av tabell 3.1. I Fall 13 är antagen luftomsättning på vinden 2,75 oms/h medan den reducerats till 0,55 oms/h i Fall 15.

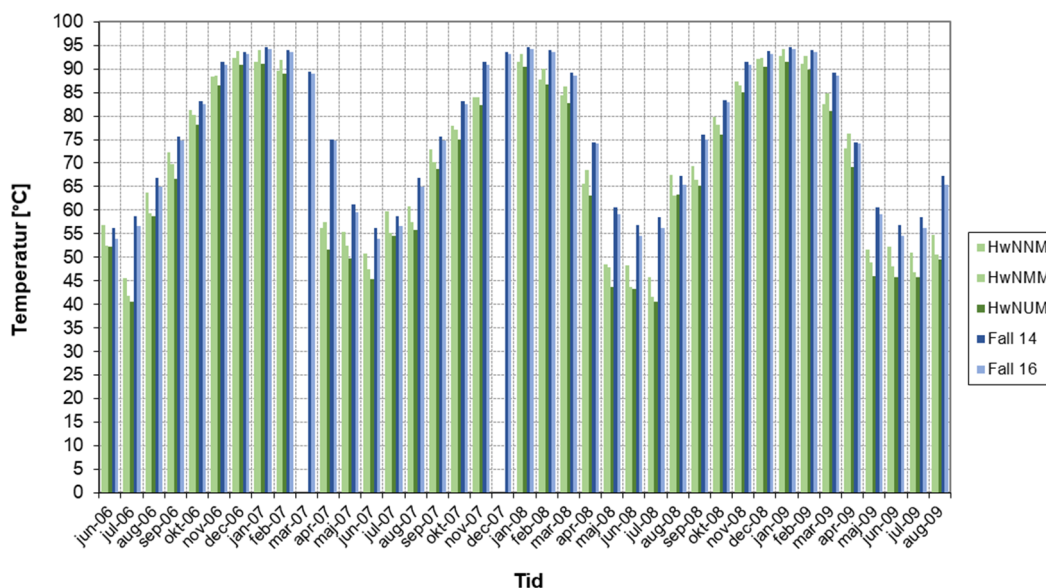
Med undantag för de första månaderna av mätperioden visar simuleringar för vindsutrymme med diffusionsöppen underlagstäckning, se figur 5.18-5.19, avsevärt högre relativ fuktighet än motsvarande mätvärden. Detta är speciellt markant under sommaren 2008 och 2009. Under sommaren 2008 och 2009 framgår också att antagen luftomsättning för vinden har relativt stor inverkan på de simulerade resultaten. Det ska dock observeras att en högre luftomsättning resulterar i högre relativ fuktighet. Detta har också noterats i ett flertal publikationer från de senaste decennierna. En anledning anses vara att nattutstrålningen får mindre betydelse då luftomsättningen reduceras.

Om taket har traditionell underlagstäckning eller diffusionsöppen har dock inte speciellt stor betydelse för den relativa fuktigheten på vinden enligt både simuleringar och mätningar.

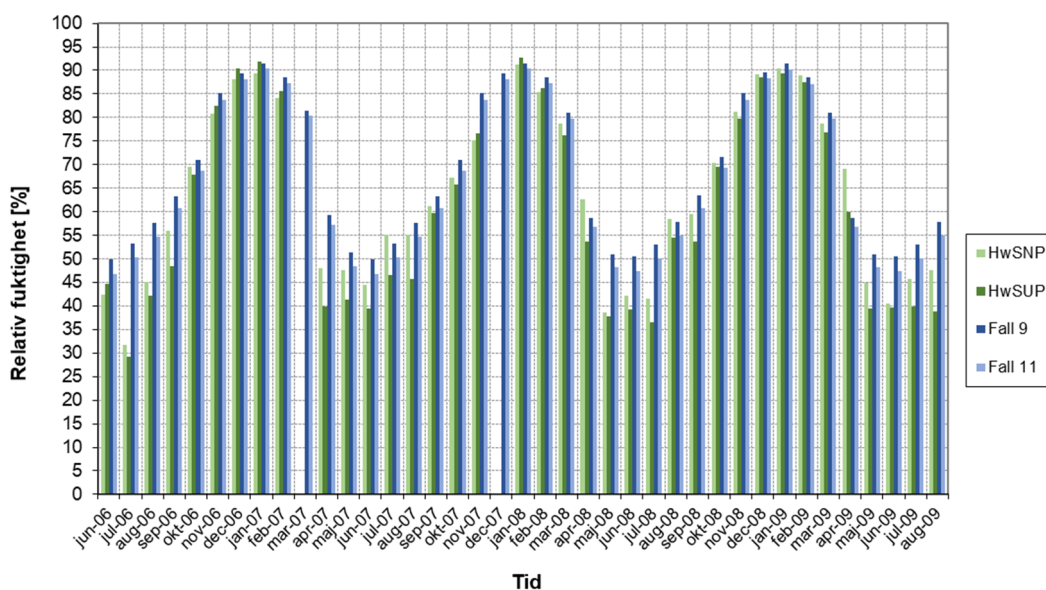
5.2.3 Mellan råspont och underlagstäckning



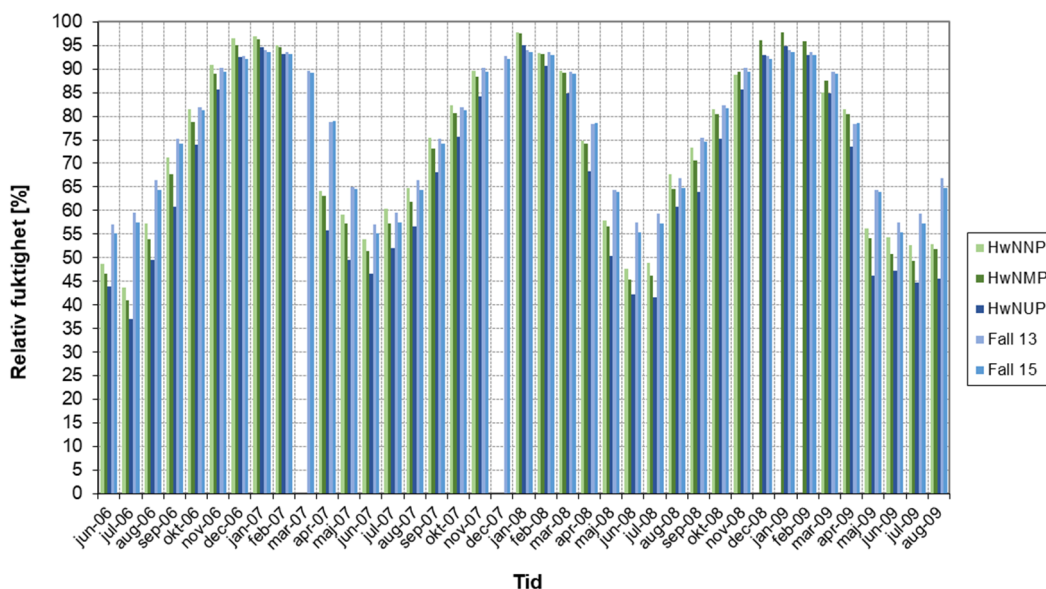
Figur 5.22 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden mot söder avseende relativ fuktighet (%) mellan råspont och diffusionsöppen underlagstäckning. Betydelsen av HwSNM, HwSMM och HwSUM framgår av tabell 3.3. I Fall 10 är antagen luftomsättning på vinden 2,75 oms/h medan den reducerats till 0,55 oms/h i Fall 12.



Figur 5.23 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden mot norr avseende relativ fuktighet (%) mellan råspont och diffusionsöppen underlagstäckning. Betydelsen av HwNNM, HwNMM och HwNUM framgår av tabell 3.3. I Fall 14 är antagen luftomsättning på vinden 2,75 oms/h medan den reducerats till 0,55 oms/h i Fall 16.



Figur 5.24 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden mot söder avseende relativ fuktighet (%) mellan råspont och traditionell underlagstäckning av papp. Betydelsen av HwSNP och HwSUP framgår av tabell 3.3. I Fall 9 är antagen luftomsättning på vinden 2,75 oms/h medan den reducerats till 0,55 oms/h i Fall 11.



Figur 5.25 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade månadsmedelvärden mot norr avseende relativ fuktighet (%) mellan råspont och traditionell underlagstäckning av papp. Betydelsen av HwNNP, HwNMP och HwNUP framgår av tabell 3.3. I Fall 13 är antagen luftomsättning på vinden 2,75 oms/h medan den reducerats till 0,55 oms/h i Fall 15.

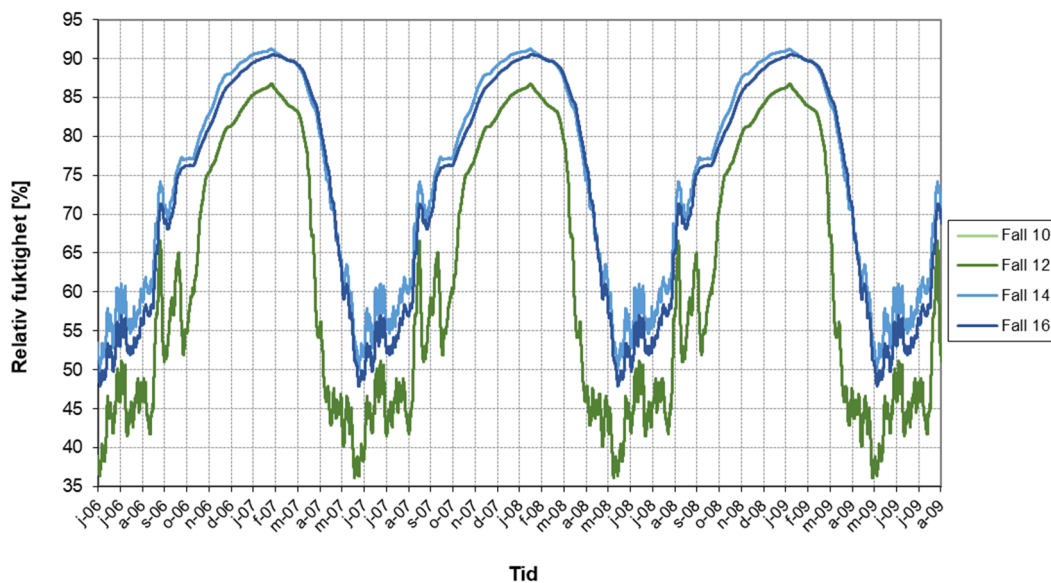
Om vi börjar med att studera figurerna 5.22 och 5.23, som avser den halva av taket där det finns diffusionsöppen underlagstäckning på råsponten, så kan man konstatera att det är små skillnader mellan de tre mätpunkterna orienterade mot söder respektive norr. Perioder med höga relativa fuktigheter är längre för ytan mot norr jämfört med söder, se figur 5.22-5.23. För alla månader under den aktuella perioden resulterar simuleringarna i högre relativ fuktighet än mätningarna.

Figurerna 5.24-5.25 redovisar relativa fuktigheter i den halva av taket som är försedd med traditionell underlagstäckning på råsponten. Dessa staplar liknar i sin form figurerna 5.22-5.23 som analyserades i föregående stycke.

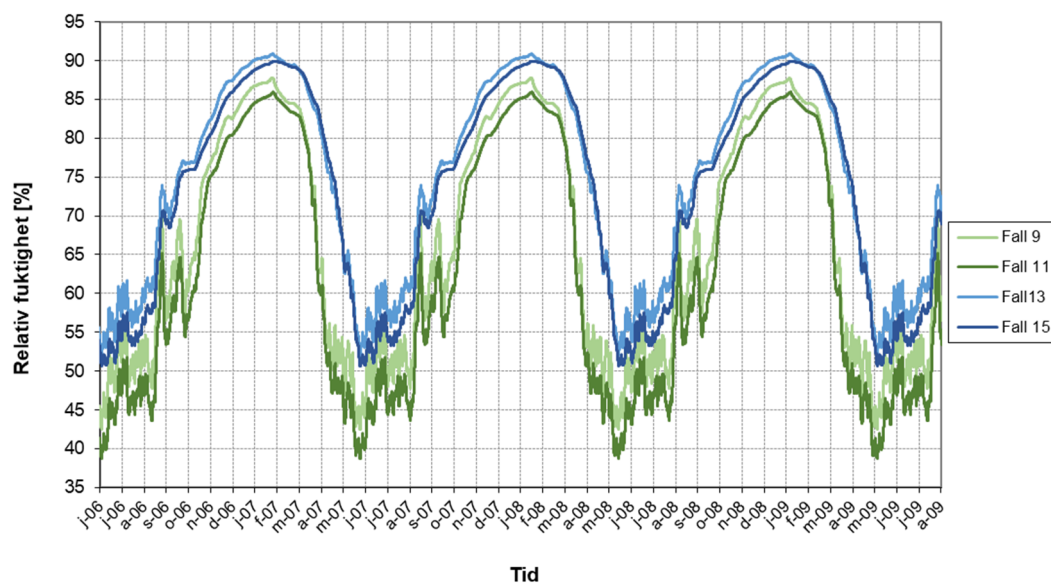
Oberoende av typ av underlagstak eller väderstreck kan man konstatera att den relativa fuktigheten är hög mellan råspont och underlagstäckning under de kalla delarna av de år som ingick i studien. Under sommarmånaderna är däremot den relativa fuktigheten förhållandevis låg.

5.2.4 Råspont

Den relativa fuktigheten i mitten av råsponten har också undersöks med simuleringssprogrammet WUFI-Pro. Resultaten från dessa simuleringar redovisas i de nedanstående figurerna, se figur 5.26 och 5.27.



Figur 5.26 Beräknad relativ fuktighet (%) i råsponten med diffusionsöppet underlagstak. I Fall 10 och 14 är luftomsättningen 2,75 oms/h. För Fall 12 och 16 är luftomsättningen 0,55 oms/h. Fall 10 och 12 är orienterade mot söder medan Fall 14 och 16 är riktade mot norr.



Figur 5.27 Beräknad relativ fuktighet (%) i råsponten med traditionellt underlagstak av underlagspapp. I Fall 9 och 13 är luftomsättningen 2,75 oms/h. För Fall 11 och 15 är luftomsättningen 0,55 oms/h. Fall 9 och 11 är orienterade mot söder medan Fall 13 och 15 är riktade mot norr.

Fall 9 och 12 visar stora likheter, men är inte helt identiska.

De beräknade resultaten som redovisas i figurerna 5.26 och 5.27 visar att Fall 14 och 16 samt Fall 13 och 15 i stort sett identiska. Dessa fall gäller samtliga för den lägre luftomsättningen, dvs. 0,55 oms/h i vindsutrymmena. Fall 10 och 12 i figur 5.26 är så lika att det ser ut som om det endast finns en kurva.

Från figur 5.27 kan man också konstatera att det föreligger skillnader mellan Fall 9 och 11. Den relativa fuktigheten är alltid högre för Fall 9, dvs. då luftomsättningen i vindsutrymmet antas vara 2,75 oms/h.

Enligt resultaten från simuleringarna i denna rapport får man följaktligen en något högre relativ fuktighet i råsponten då denna är orienterad mot norr, oberoende av vilken typ av underlagstak som finns på råsponten, vilket förefaller troligt då ett norrläge innebär mindre kortvågig strålning som kan driva ut fukten under sommaren.

6 Energibehov

Valet mellan traditionell underlagstäckning av papp eller någon form av diffusionsöppet undertak på råspont har en helt försumbar inverkan på energibehovet för både byggnaden som helhet och vindsutrymmet.

7 Applicering av undertaket

Att applicera ett traditionell underlagspapp på råspont är en välkänd arbetsuppgift för såväl beskrivare som utförare. Strukturen på pappen medför att halkrisken inte är speciellt stor, även vid lättare regn. För vissa diffusionsöppna produkter är dock friktionskoefficienten betydligt lägre än för vanlig takpapp. Risken för att halka ökar därvid.

Halkrisken påtalades av byggnadsarbetare i samband med insamling av mätdata till det projekt som Arfvidsson och Harderup utförde och som resulterade i rapporten "Fukt-säkerhet i kalla vindsutrymmen – Slutrapport", (Harderup & Arfvidsson, 2008). Vid omläggning av taket på provhuset där mätningarna utfördes inom detta projekt intervjuades arbetsutförarna. Även dessa ansåg att halkrisken var större på den diffusionsöppna produkten jämfört med vanlig underlagspapp. Några andra undersökningar om halkrisken har inte utförts inom ramen för detta projekt.

Referenser

Ahrnens, C. & Borglund, E. E. (2007). Fukt på kallvindar – en kartläggning av småhus i Västra Götalands län (Examensarbete 2007:11). Göteborg: Chalmers tekniska högskola.

Anderlind Gunnar, Bond Sven, Stadler, Claes-Göran (1984). Fuktförhållanden vid tilläggsisolering av vindsbjälklag. Swedisol.

Arfvidsson J, Harderup L-E & Samuelson I. (2017). Fukthandbok Praktik och teori. Utgåva 4. Svensk Byggtjänst 2017. ISBN: 9789173338233.

Bjarløv S.P., Johnston C.J., Hansen M.H. (2016). Hygrothermal conditions in cold, north facing attic spaces under the eaves with vapour-open roofing underlay in a cool, temperate climate. *Building and Environment* 95 (2016) 272-282.

Blom Peter, (2001). Venting of attics and pitched, insulated roofs, *J. Build. Phys.* 25.1 (2001) 32–50. Envelopes of Whole Building XII International Conference, 2013 (Florida, USA).

Brandt, Bunch-Nielsen, Christensen, Gudum, Hansen och Møller, (2013). SBI-anvisning 224 - Fugt i bygninger 2. udgave, København SV: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, 2013.

Buxbaum Christoph, Gallent Wolfgang, Paulitsch Simon, Pankratz Oskar, (2013). ASHRAE Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Building XII International Conference, Florida, USA.

CMHC, (1999). Attic Venting, Attic Moisture and Ice Dams. Canada, Canada Mortgage and Housing Corporation, Ottawa, ON.

EN-ISO 13788:2012. Hygrothermal performance of building components and building elements — Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation — Calculation methods.

Essah E.A., Sanders C.H., Baker P., Kalagasidis A.S. (2009). Condensation and moisture transport in cold roofs: effects of roof underlay, *Build. Res. Inf.* 37 (2) (2009) 117–128.

Fechner Heiko, Meißner Frank, (2017). Advanced modelling of vapor resistance of moisture dependent vapor retarder. 11th Nordic Symposium on Building Physics, NSB2017, 11-14 June 2017, Trondheim, Norway.

Ge H, Wang R, Baril D. (2018) Field measurements of hygrothermal performance of attics in extreme cold climates. *Building & Environment*, Volume 134, 15 April 2018, Pages 114-130.

Geving Stig, Stellander Markus, Uvsløkk Sivert (2013). Smart Vapour Barriers in Compact Wood Frame Roofs. Envelopes of Whole Building XII International Conference, 2013 (Florida, USA).

Geving Stig, Thorsrud Eirik, (2014). The performance of unventilated wooden roofs with smart vapour barriers during winter conditions. ISBN: 978-91-88722-53-9

(TVBH-3061). NSB 2014, 10th Nordic Symposium on Building Physics, 15-19 June 2014 Lund, Sweden.

Gullbrekken Lars, Kvande Tore, Time Berit, (2017). Ventilated wooden roofs: Influence of local weather conditions -measurements. 11th Nordic Symposium on Building Physics, NSB2017, 11-14 June 2017, Trondheim, Norway.

Hagentoft C-E, Sasic Kalagasidis A, (2013). Riskanalyser för ventilerade kallvindskonstruktioner SBUF-projekt 12438, Formas-BIC 11.

Hagentoft C-E., Sasic Kalagasidis A., Nilsson S. F. & Thorin M. (2008). Mould growth control in cold attics through adaptive ventilation. Nordic Symposium on Building Physics 2008, Copenhagen, Denmark.

Hagentoft, Carl-Eric och Nilsson, Stefan (2007), Väg- och vattenbyggaren – fuktsäkring av kallvindar. Nummer 2/2007.

Hansén Magnus och Strand Per, (2009). Kallvindskonstruktioner – Hänsyn tagen till fukt- och brandkrav för kvarteret Tuppen i Borås. Högskolan i Borås, examensarbete Nr 5/2009.

Hansen Thor, Møller Eva, (2016). Field Measurements of Moisture in Cold Ventilated Attics with Different Types of Insulation Materials and Vapor Barrier. Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings XIII International Conference, Clearwater, Florida, 2016.

Hansen Thor, Møller Eva, (2017). Field measurements of moisture variation in cold ventilated attics with different ceiling constructions. 11th Nordic Symposium on Building Physics, NSB2017, 11-14 June 2017, Trondheim, Norway.

Hansson D. Lundgren N (2009). Problematiken isolerade vindsbjälklag i uteluftventilerade kallvindar, Examensarbete 2009:06 inom Byggt teknik och Design, KTH Stockholm.

Harderup Lars-Erik och Arfvidsson Jesper, (2008). Fuktsäkerhet i kalla vindsutrymmen – Slutrapport. Avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds Universitet. ISRN LUTVDG/TVBH--08/3050--SE(50), ISSN 0349-4950, ISBN 978-91-88722-38-6

Hägerhed Engman, Linda och Samuelson, Ingemar (2006). Redovisning av fältundersökning och forskningsprojekt: Kalla Vindar - problem och förbättringar. Bygg & Teknik 4/2006.

Ingelsson Marcus & Olsson Marcus (2013). Fuktanalys av klimatvind –Mögelproblematik på vindsutrymme. LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg, Lunds Universitet, Byggt teknik med arkitektur. Examensarbete 2013.

Innova (2014). 1312 Photoacoustic Multi-gas Monitor. Tillgänglig http://innova.lumasenseinc.com/uploads/media/1312_User_Manual_be6002-11_01.pdf>2014-03-10

Kurkinen K. & Hagentoft C-E. (2011). Application of risk assessment technique to attics. 9th Nordic Symposium on Building Physics - NSB 2011, Tampere Finland.

Kurkinen Kimmo, (2014). Moisture conditions in a cold attic – Case study of design. ISBN: 978-91-88722-53-9 (TVBH-3061). NSB 2014, 10th Nordic Symposium on Building Physics, 15-19 June 2014 Lund, Sweden.

Langerocka Charline, Tilmansa Antoine, De Metsa Timo, Loncoura Xavier, Nguyena Evelyne, Charrona Stéphane, Michauxa Benoît, (2017). Hygrothermal behaviour of compact roofs in wood frame constructions through on-site measurements. 11th Nordic Symposium on Building Physics, NSB2017, 11-14 June 2017, Trondheim, Norway.

Larsson Anton, Rainio Reivilä Johannes, 2017. Fuktproblem i uteluftsventilerade kallvindar. Moisture problems in outdoor air ventilated cold attics. Examensarbete No 450 i byggnadsteknik, Bygghälsa, KTH.

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

Mundt-Petersen S O, Wallentén P, Toratti T & Hiekkinen J, (2012). Moisture risk evaluation and determination of required measures to avoid mould damage using the Folos 2D visual mould chart. Thermophysics 2012 – Conference proceedings, 17th International Meeting of Thermophysical Society.

Mundt-Petersen S.O. (2013). Comparison of hygrothermal measurements and calculations in a single-family wooden house on the west coast of Sweden. TVBH-3054. Lund, LTH.

Mundt-Petersen, S.O. (2013). Comparison of hygrothermal measurements and calculations in a multi-family wooden house on the north-eastern coast of Sweden. TVBH-3055. Lund, LTH.

Mundt-Petersen, S.O. (2013). Comparison of hygrothermal measurements and calculations in a single-family wooden house in the Swedish town of Växjö. TVBH-3056. Lund, LTH.

Mundt-Petersen, S.O. (2013). Comparison of hygrothermal measurements and calculations in a multi-family wooden house in the Swedish town of Växjö. TVBH-3057. Lund, LTH.

Mundt-Petersen, S.O. (2013). Comparison of hygrothermal measurements and calculations in a single-family wooden house in the Swedish municipality of Upplands-Bro. TVBH-3058. Lund, LTH.

Nevander L. E., Elmarsson B. (1994). Fuktguide. Praktik och teori. Svensk Byggtjänst, Andra reviderade utgåvan ISBN 91-7332-716-6.

Nielsen Anker, Morelli Martin, (2017). Measured temperature and moisture conditions in the roof attic of a one-and-a-half story house. 11th Nordic Symposium on Building Physics, NSB2017, 11-14 June 2017, Trondheim, Norway.

Nik Vahid, Sasic Kalagasidis Angela, Kjellström Erik (2012). Assessment of hygrothermal performance and mould growth risk in ventilated attics in respect to possible climate changes in Sweden. Building and Environment 55 (2012) 96-109.

- Nilsson Peter (2009). Fuktrisker i kallvindsutrymmen – problem och förbättringsmetoder Examensarbete nr 388 i Byggnadsteknik Bygghvetenskap KTH 2009.
- Olsson Lars, (2015). Fuktförhållanden i välisolerade takkonstruktioner – fältmätningar. Bygg & teknik 4/15.
- Persson Filippa, Nordgren Pierre (2018). Fuktproblem på kallvindar. En riskbedömning av olika byggtekniska lösningar i Sydsverige. Högskolan i Halmstad. Examensarbete byggingenjör.
- Pettersson Björn (2014). Metoder för spårgasmätning i kalla vindsutrymmen. Examensarbete, ISRN LUTVDG/TVBH-14/5078—SE(62). Avdelningen för Byggnadsfysik, LTH, Lund.
- Roppel P., Norris N., Lawton M. (2013). Highly insulated, ventilated, wood-framed attics in cool marine climates. ASHRAE Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Building XII International Conference, Florida, USA.
- Rose William B., TenWolde Anton, (2002). Issues related to Venting of Attics and Cathedral Ceilings, ASHRAE J. 44.10 (2002) 26 (ASHRAE, USA).
- Rosenkilde Anders (2003). Elektriska egenskaper hos trä. Träteck, Rapport P 0310037. ISSN 1102-1071. ISRN TRÄTEK-R—03/037—SE.
- Rowley F.B., Algren A.B., Lund C.E. (1939). Condensation of moisture and its relation to building construction and operation, ASHVE Trans. 44 (1115).
- Samuelsson Anders (1992). Calibration Curves for Resistance-type Moisture Meters. Paper presented at 3rd IUFRO International Wood Drying Conference, Vienna, August 18-21, 1992. Träteck, Rapport I 9302012. ISSN 1102-1071. ISRN TRÄTEK-R—93/012—SE.
- Samuelson Ingemar (1992). Fuktsäkrare byggnadsdelar SP AR 1992:17.
- Samuelson, Ingemar (1992). Att undersöka innemiljö: en beskrivning av tillvägagångssätt och val av metoder vid skadeutredning. SP rapport, 0284-5172; 1993:01. ISBN 91-7848-380-8.
- Samuelson Ingemar (1995). Fuktbalans i kalla vindsutrymmen: betydelsen av ventilation och val av isoleringsmaterial. SP rapport, 0284-5172; 1995:68. ISBN 9178485967.
- Samuelson Ingemar, Hägerhed Engman Linda (2006). Kalla vindar – problem och förbättringar Bygg&Teknik 4:06.
- Shiao Ming, Miller William, Railkar Sudhir, Desjarlais Andre, (2016). Field Study on the Thermal and Hygrothermal Performance of Insulated Ventilated Nail Base System. Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings XIII International Conference, Clearwater, Florida, 2016.
- Thelandersson Sven, Isaksson Tord, (2013). Mould resistance design (MRD) model for evaluation of risk for microbial growth under varying climate conditions. Building and Environment, no 65, pp 18-25.

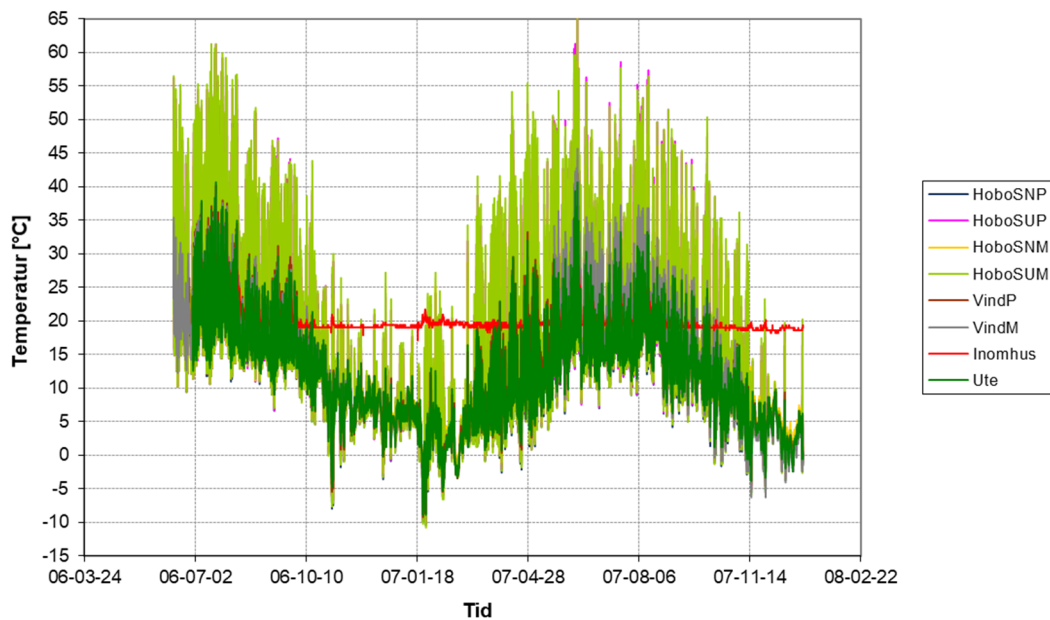
Uvsløkk Sivert, Vågen Magnus, Korsnes Silje. (2014). Vapour resistance of modern roof underlay products at real winter conditions. ISBN: 978-91-88722-53-9 (TVBH-3061). NSB 2014, 10th Nordic Symposium on Building Physics, 15-19 June 2014 Lund, Sweden.

Wang Ruolin, (2018). Attic Ventilation in Extremely Cold Climate - Field Measurements and Hygrothermal Simulation. Department of Building, Civil, and Environmental Engineering, Concordia University, Montreal, Quebec, Canada.

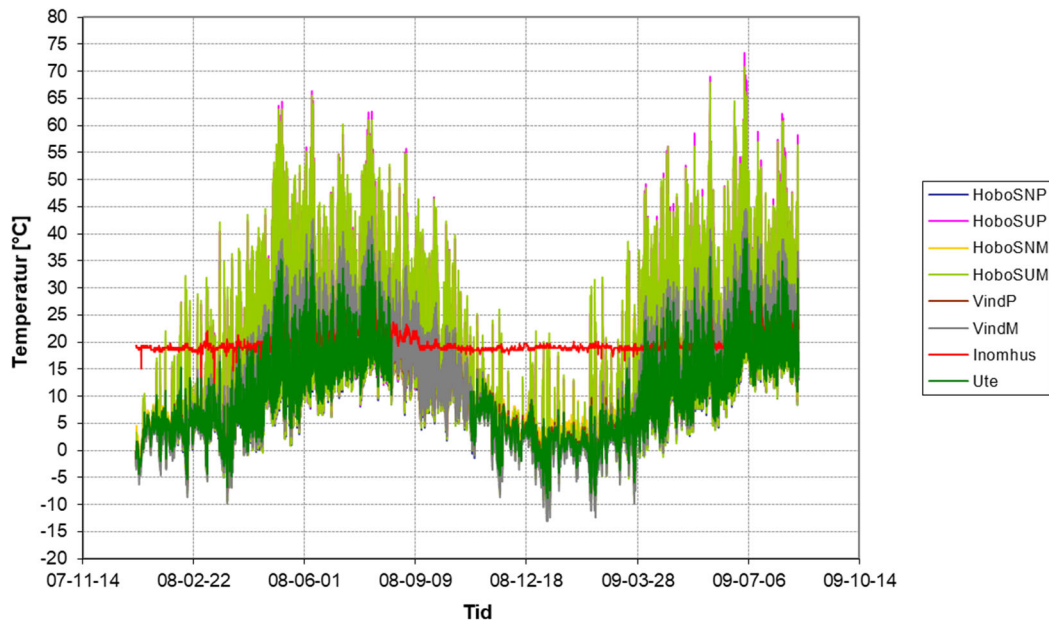
Bilaga A – Mätresultat-Hobo

Loggrar mellan underlagstäckning och betongpannor, vindsutrymme samt utomhus.

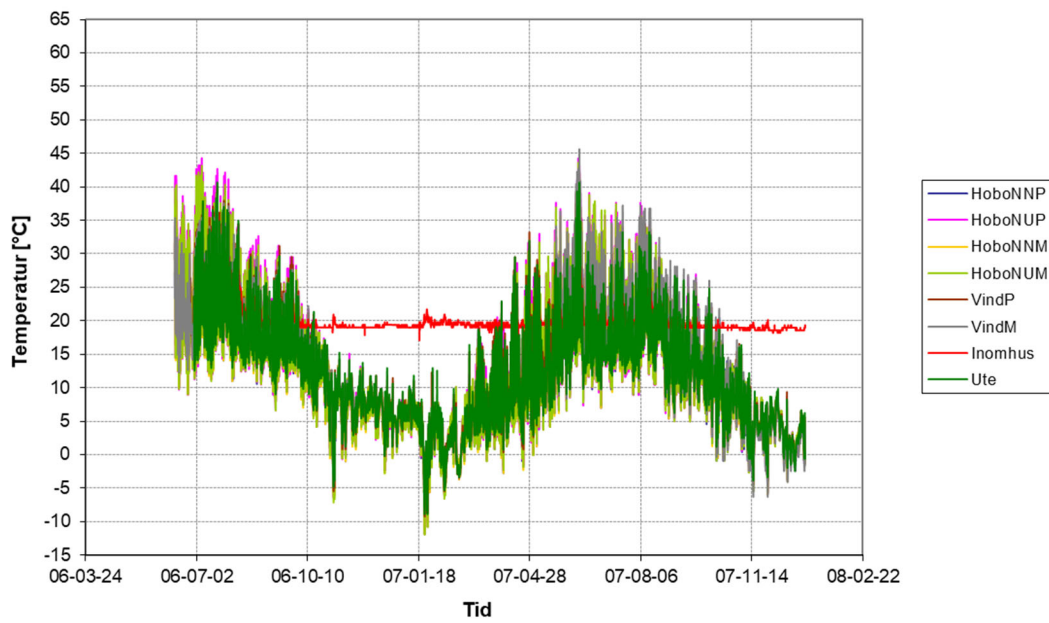
Söder, 060612-071231



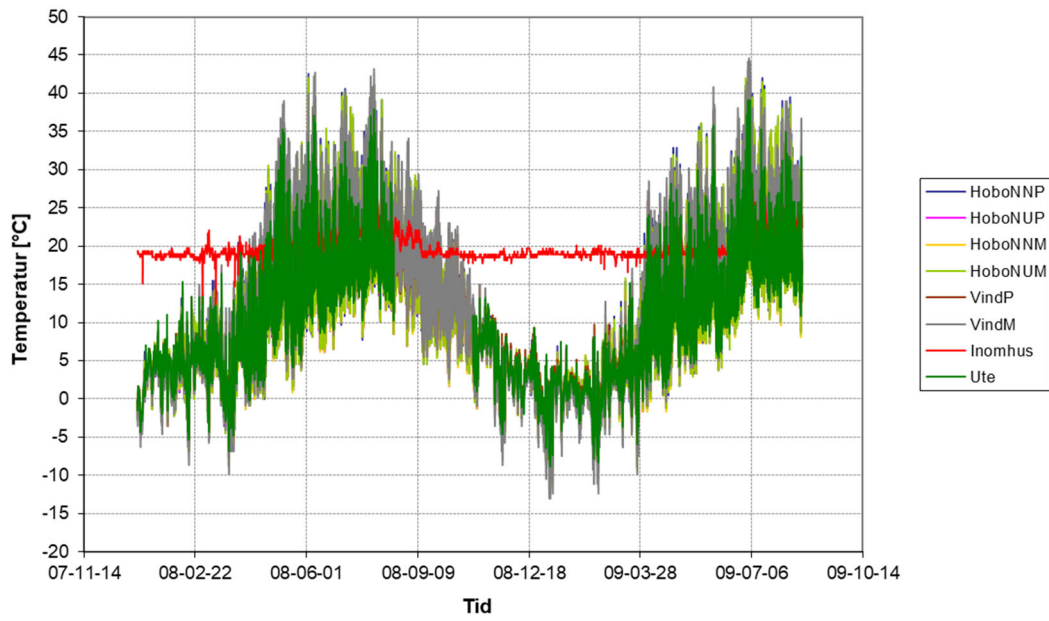
Söder, 080101-090824



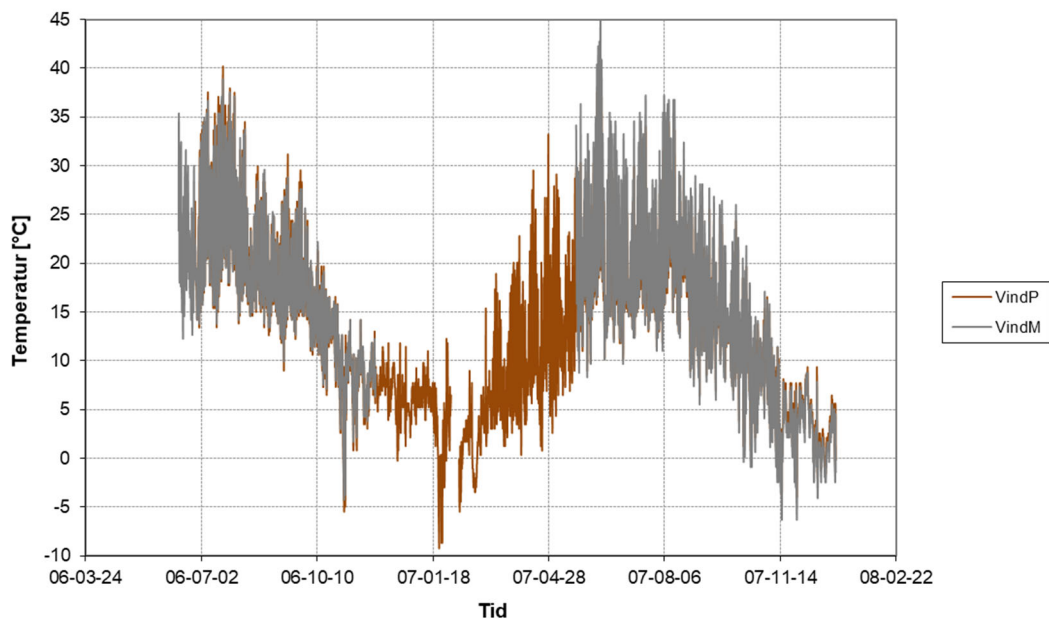
Norr, 060612-071231



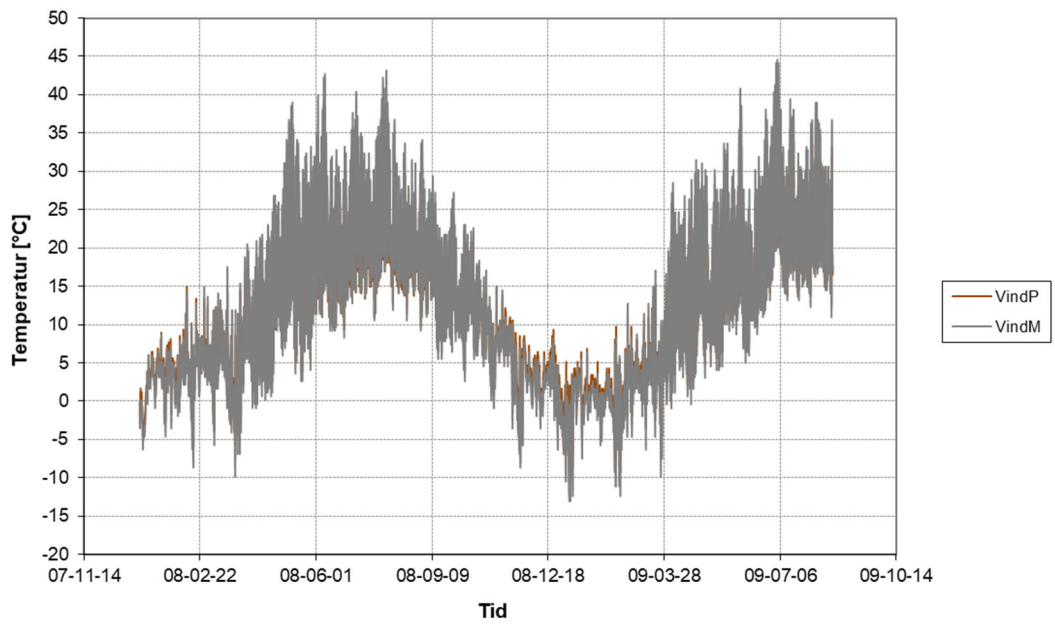
Norr, 080101-090824



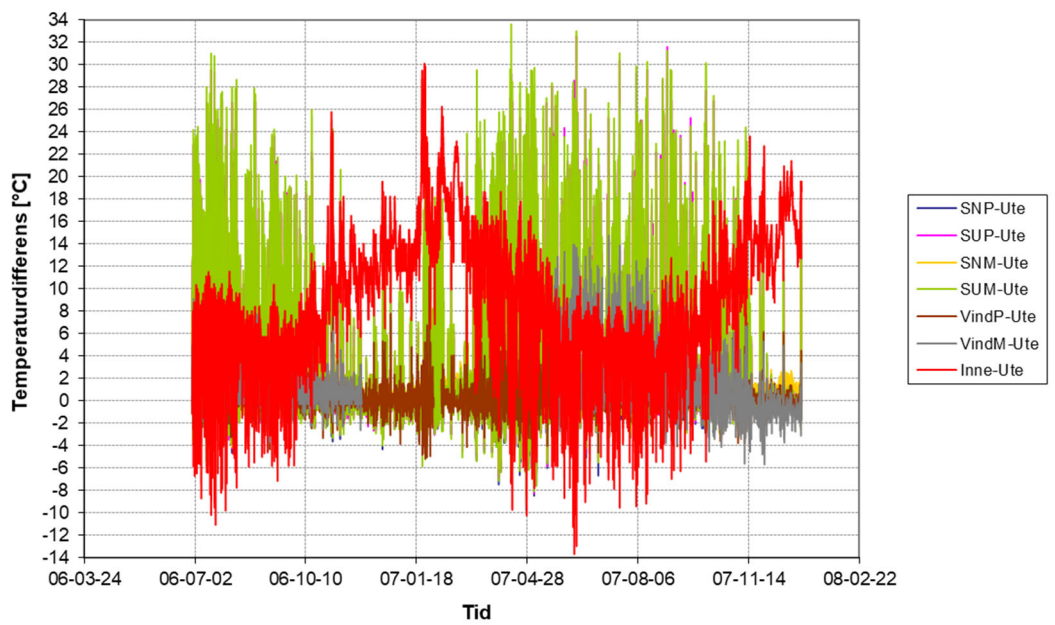
Vind, 060612-071231



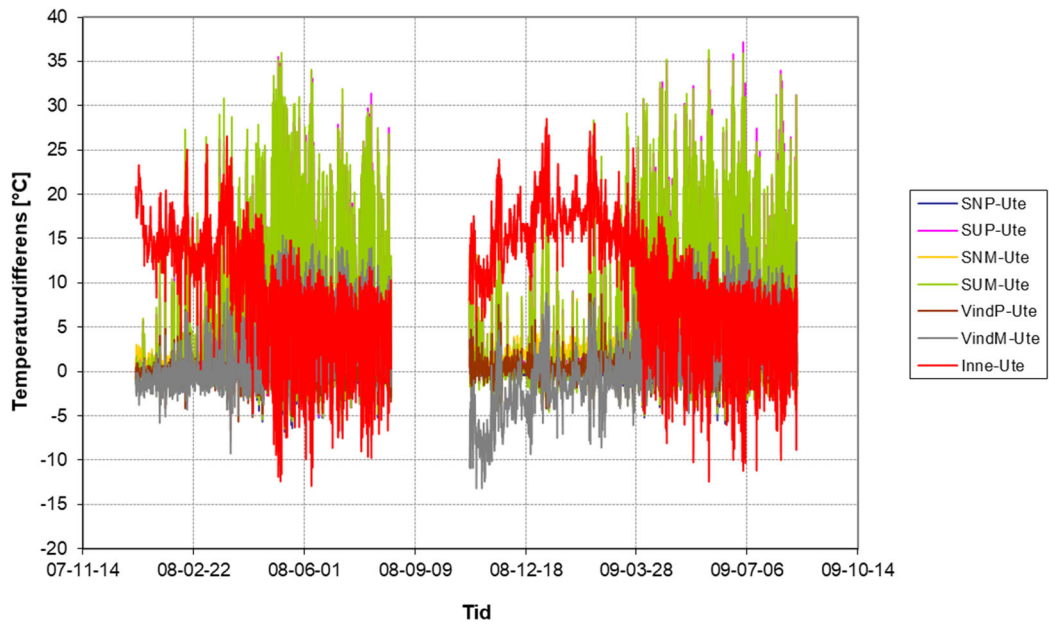
Vind, 080101-090824



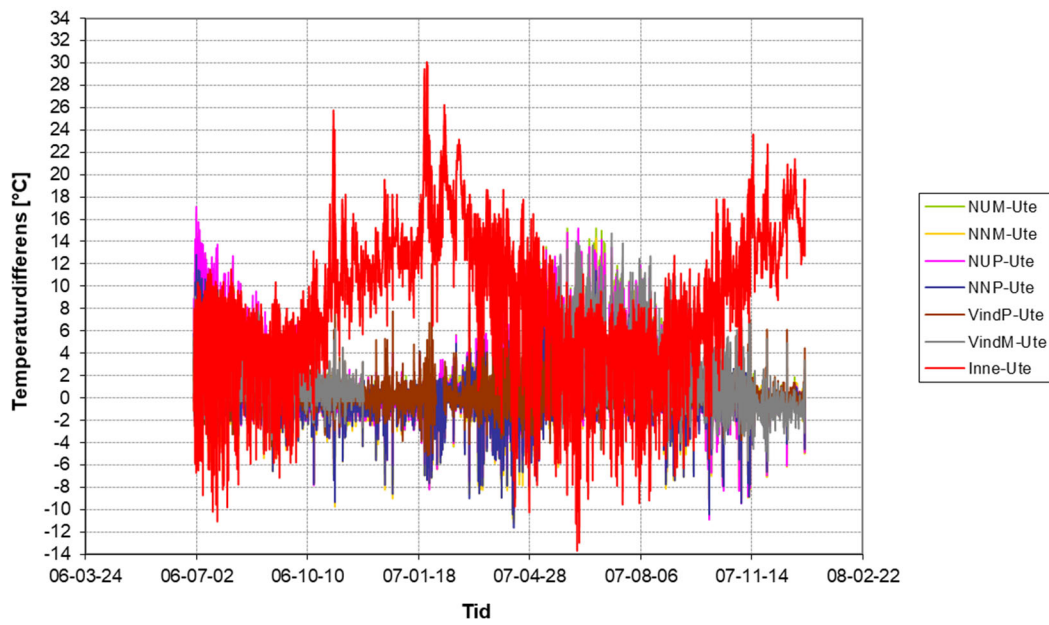
Söder, 060612-071231



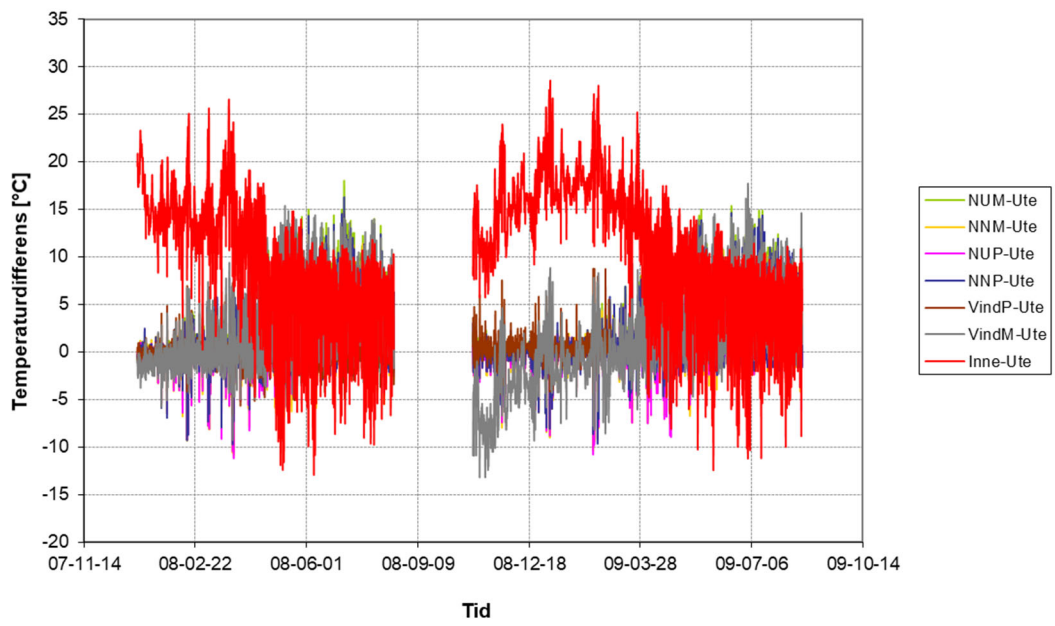
Söder, 080101-090824



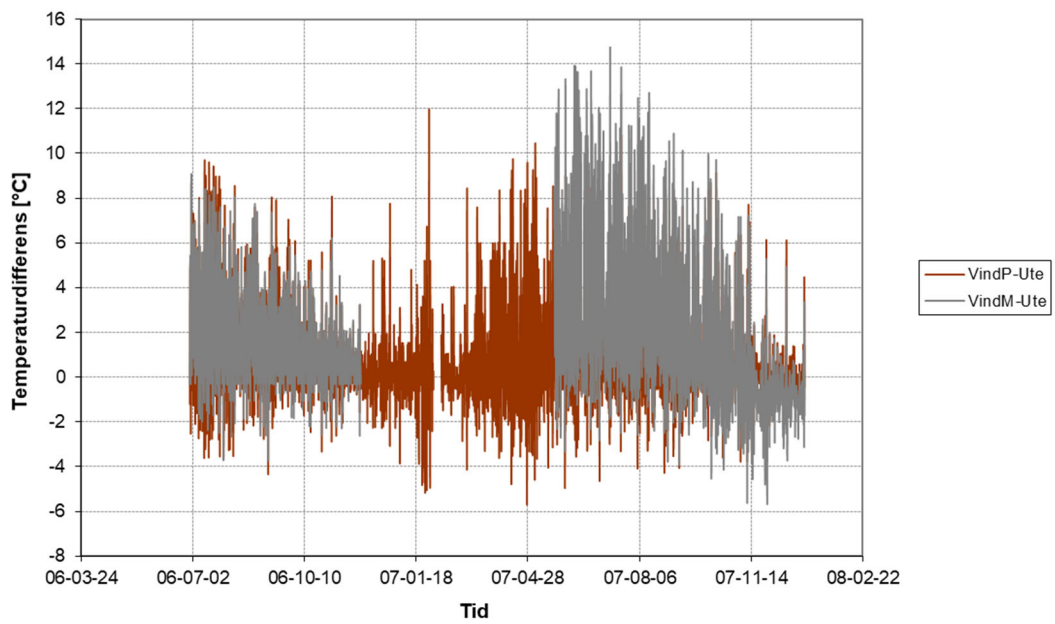
Norr, 060612-071231



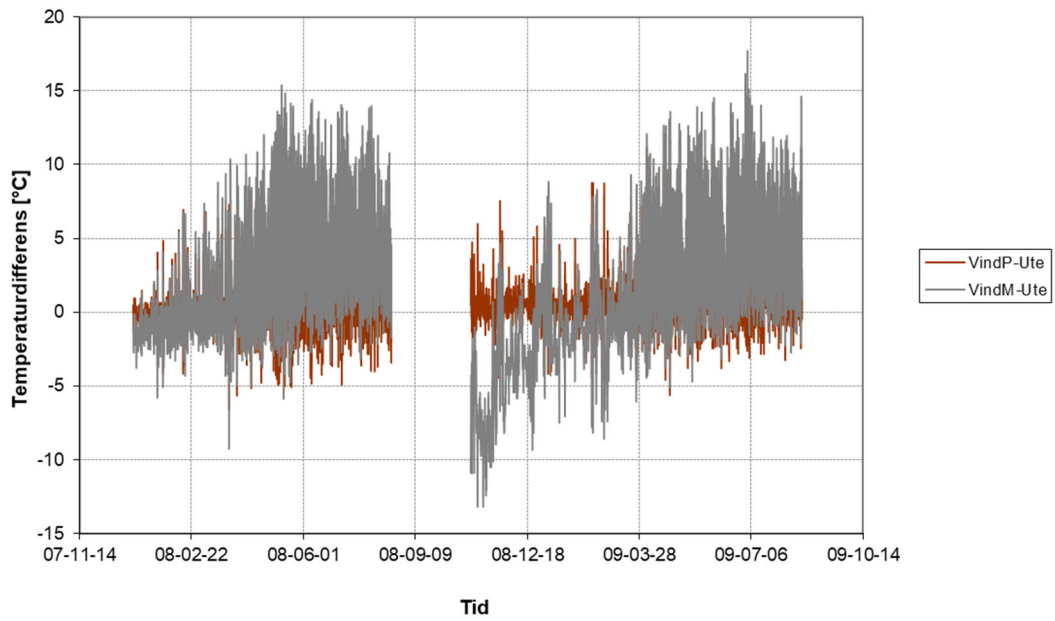
Norr, 080101-090824



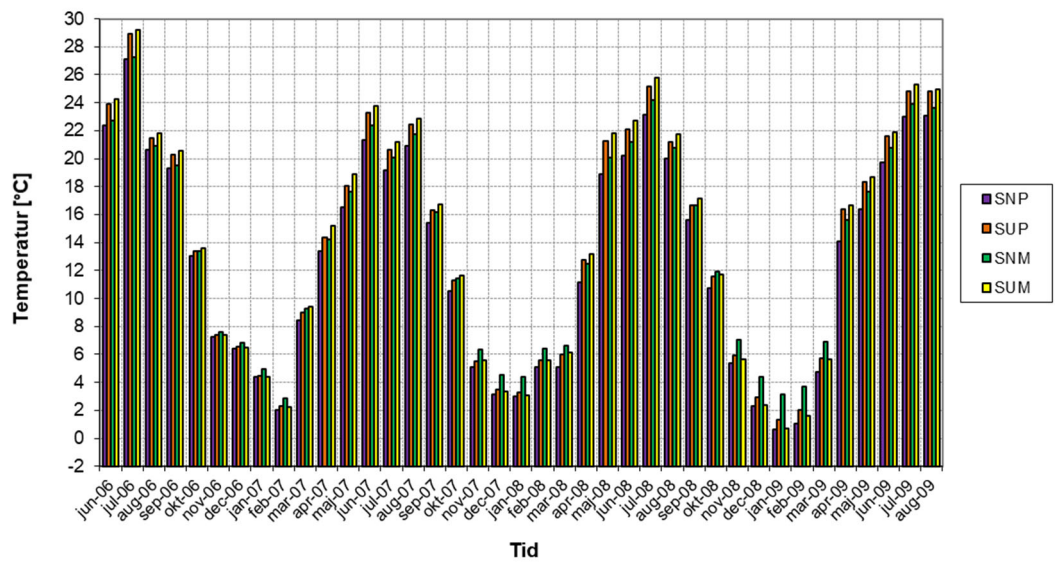
Vind, 060612-071231



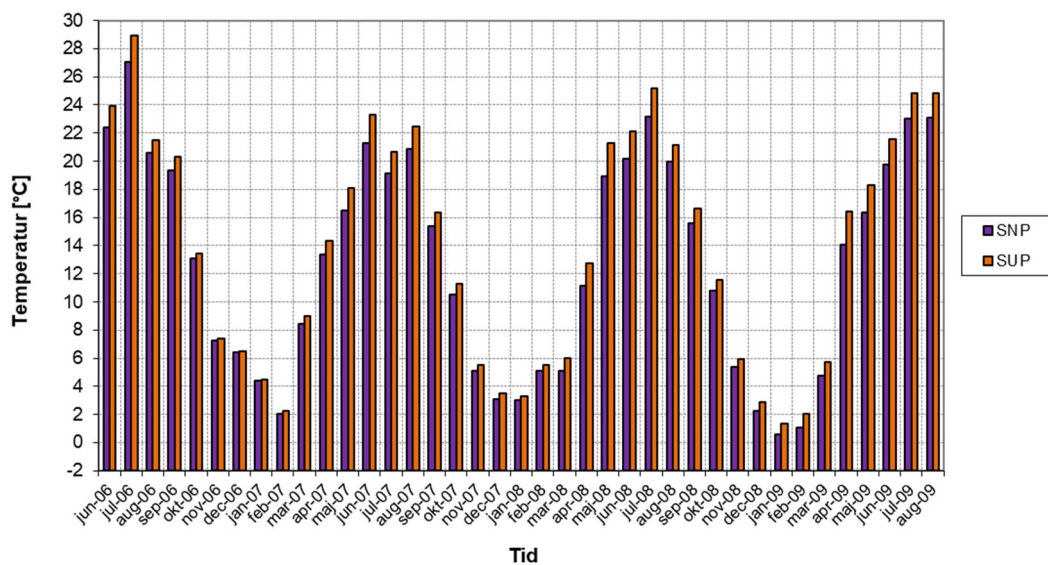
Vind, 080101-090824



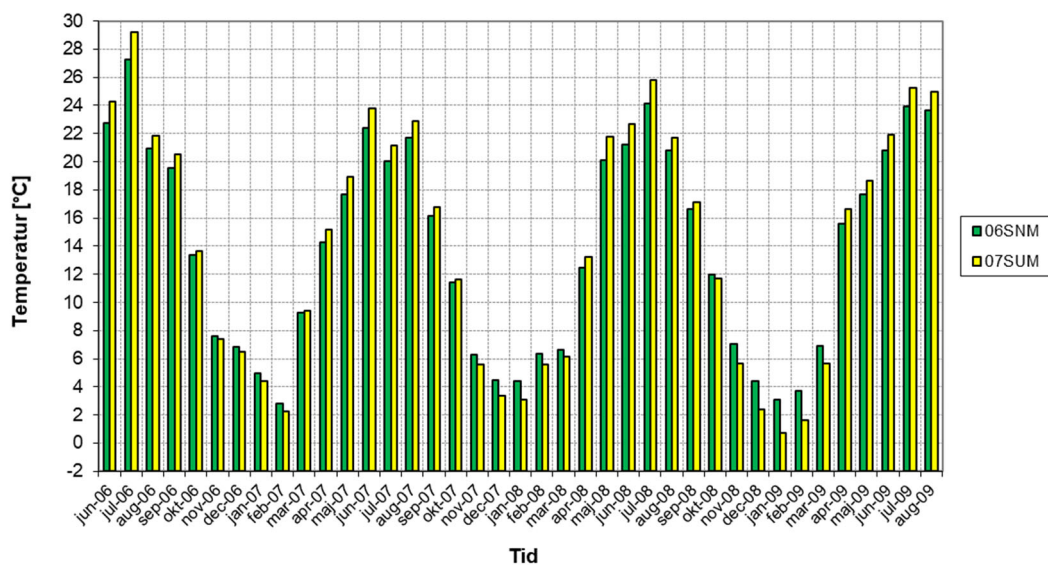
Månadsmedelvärde - temperatur, juni-06 – augusti-09



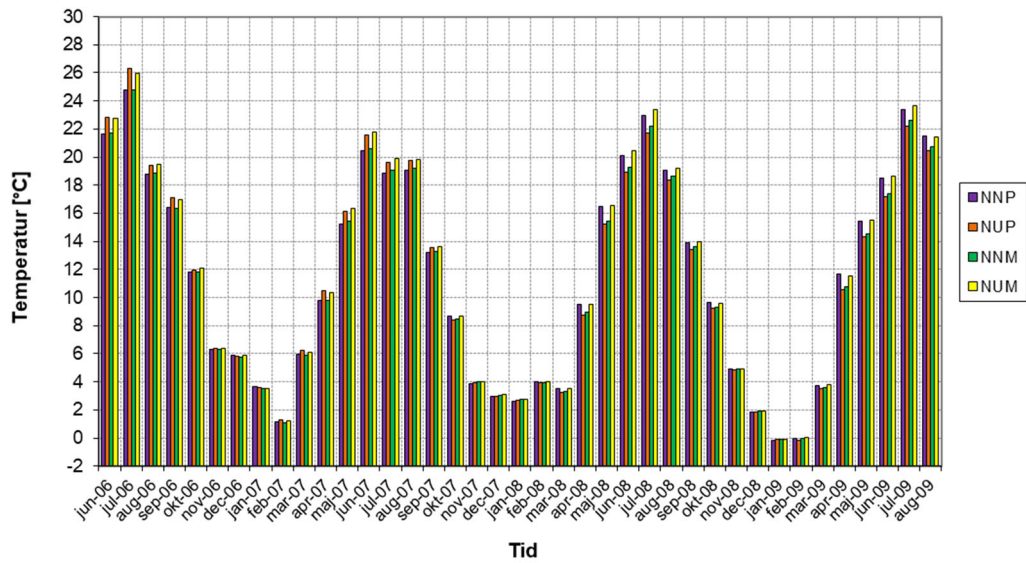
Månadsmedelvärde - temperatur, juni-06 – augusti-09



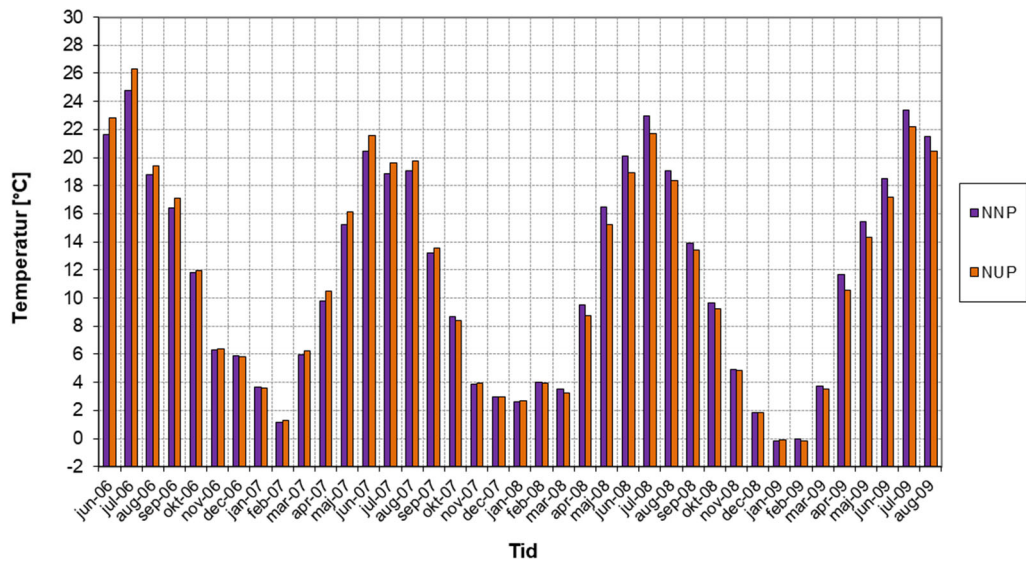
Månadsmedelvärde - temperatur, juni-06 – augusti-09



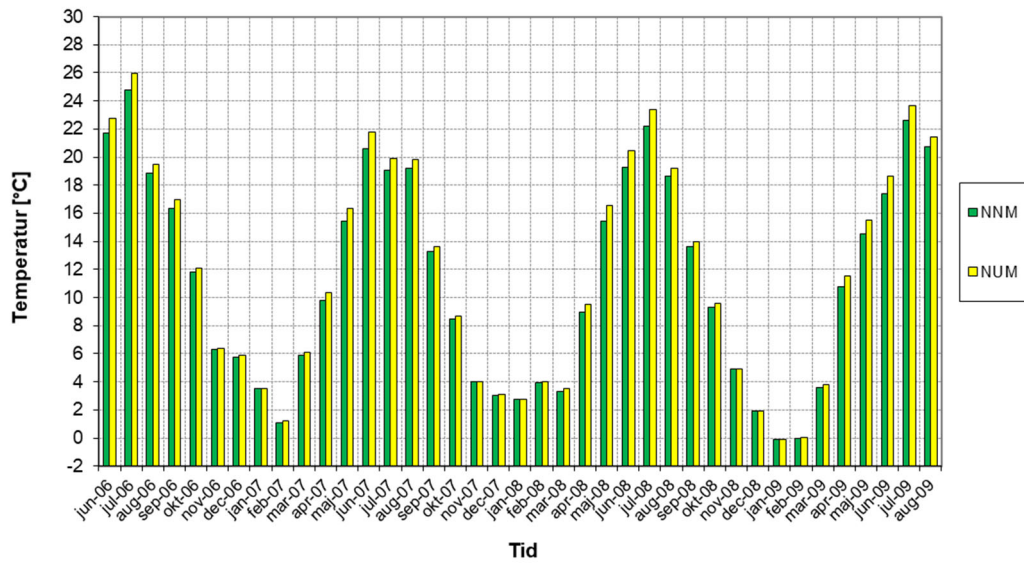
Månadsmedelvärde - temperatur, juni-06 – augusti-09



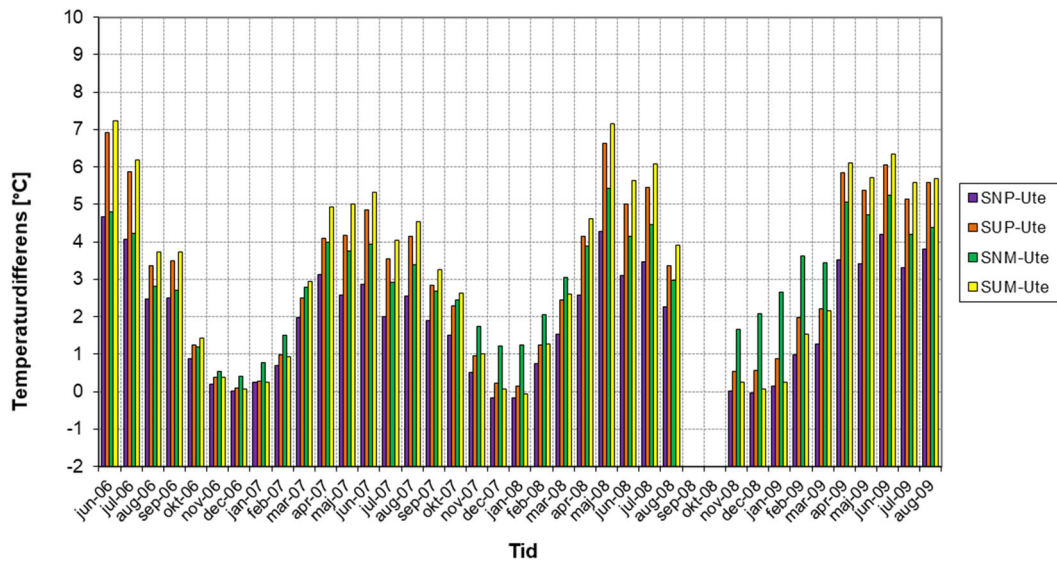
Månadsmedelvärde - temperatur, juni-06 – augusti-09



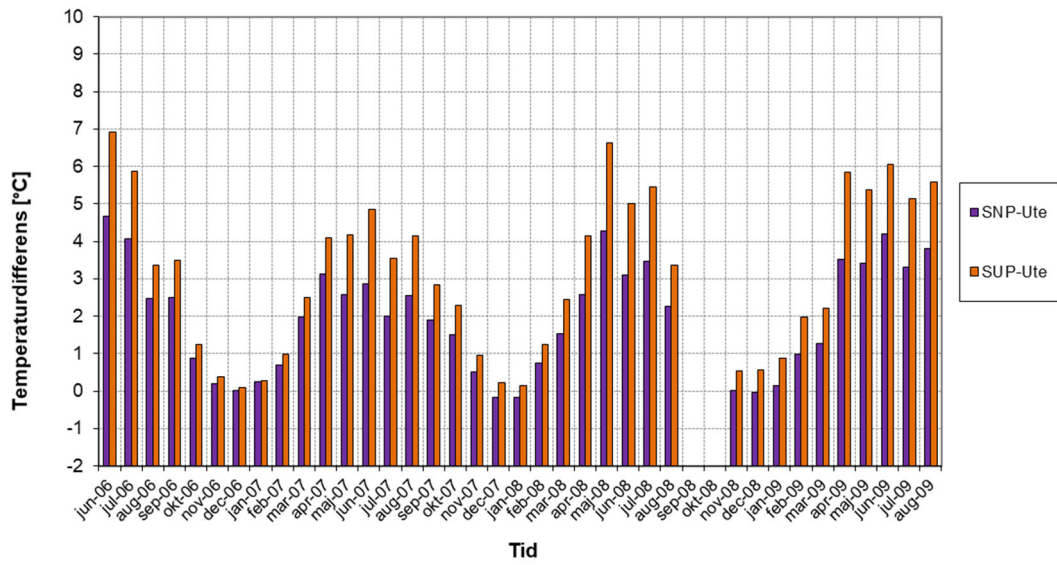
Månadsmedelvärde - temperatur, juni-06 – augusti-09



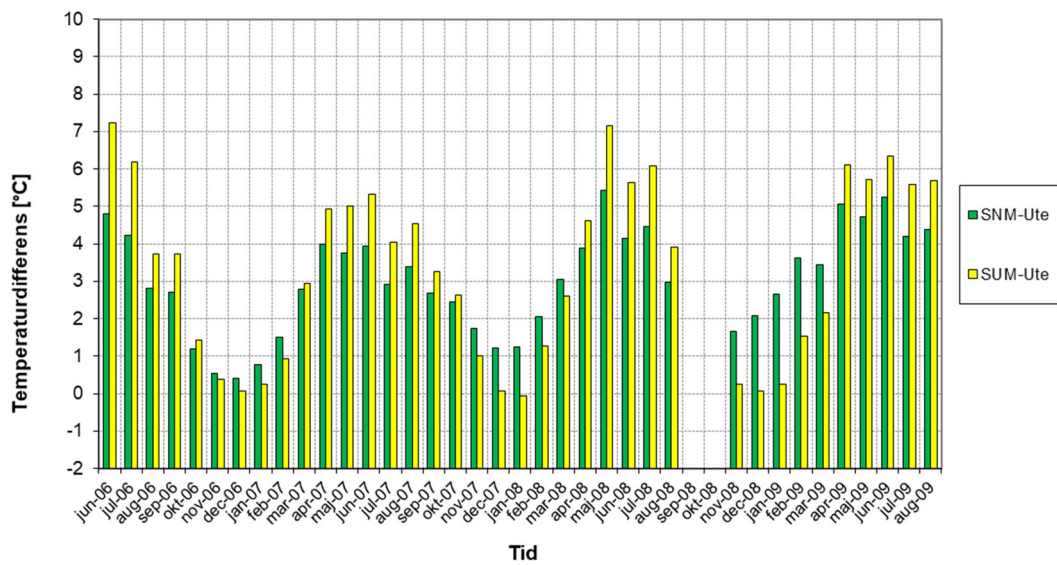
Månadsmedelvärde - temperaturdifferens, juni-06 – augusti-09



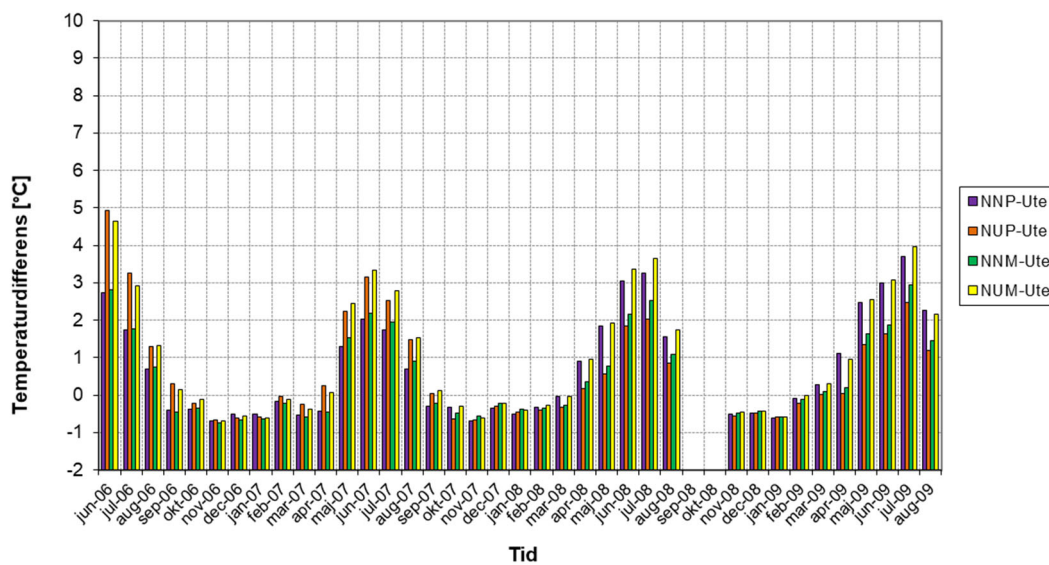
Månadsmedelvärde - temperaturdifferens, juni-06 – augusti-09



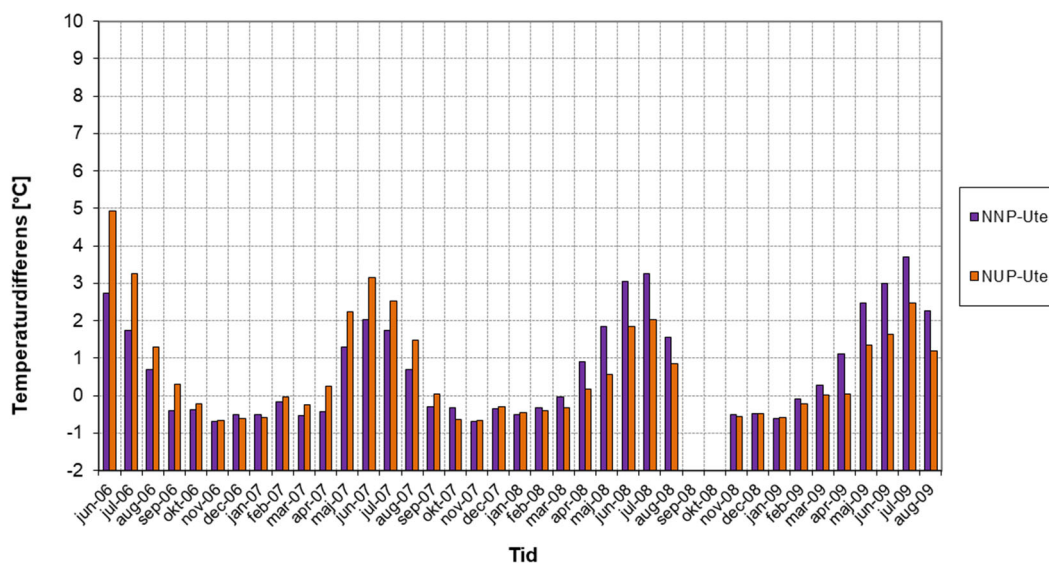
Månadsmedelvärde - temperaturdifferens, juni-06 – augusti-09



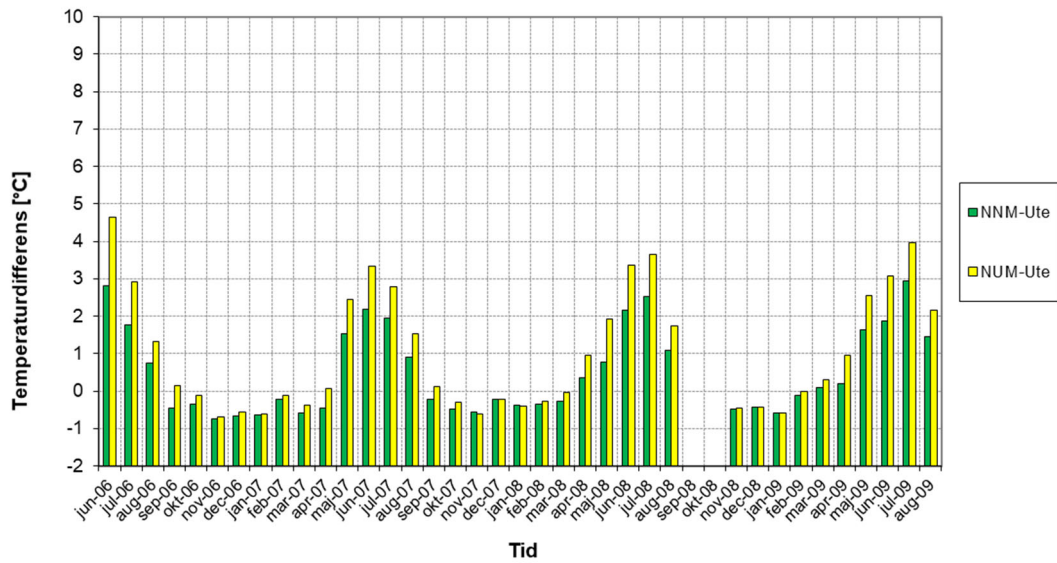
Månadsmedelvärde - temperaturdifferens, juni-06 – augusti-09



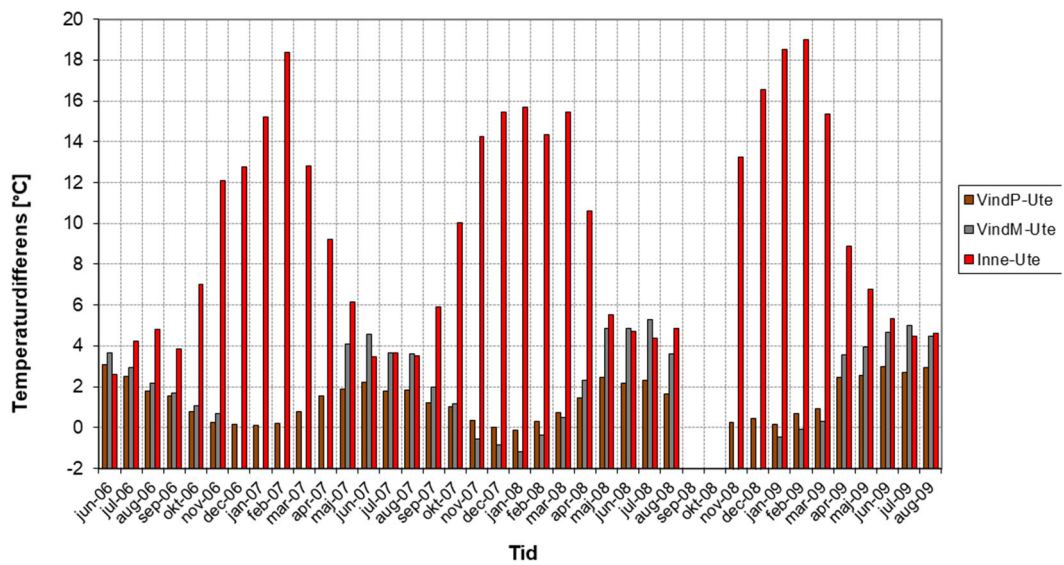
Månadsmedelvärde - temperaturdifferens, juni-06 – augusti-09



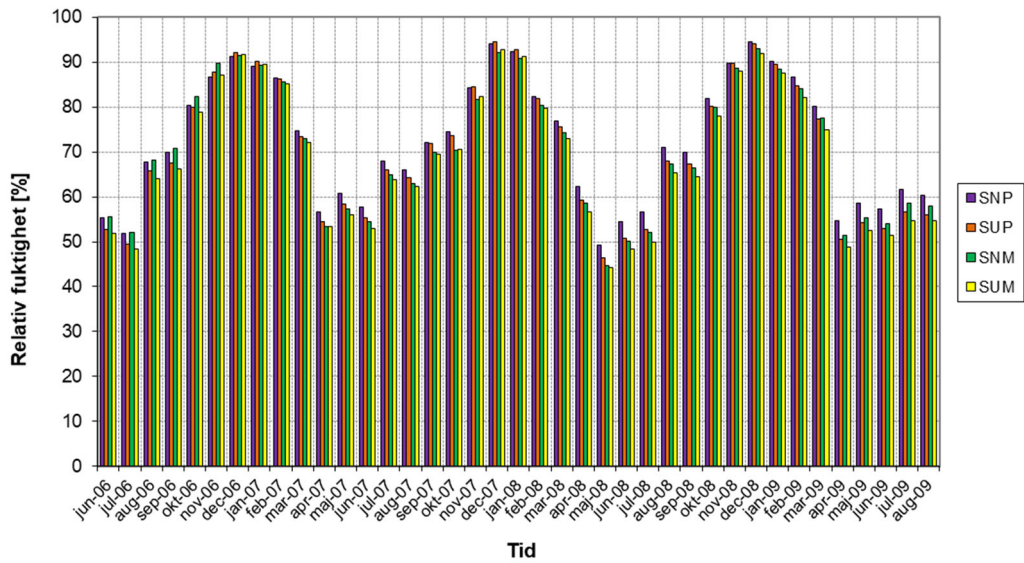
Månadsmedelvärde - temperaturdifferens, juni-06 – augusti-09



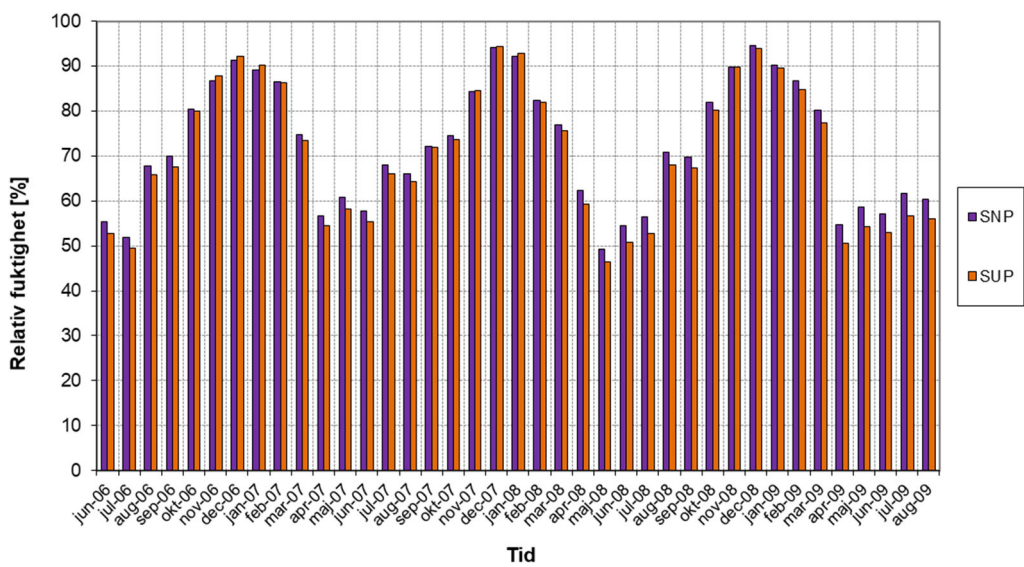
Månadsmedelvärde - temperaturdifferens, juni-06 – augusti-09



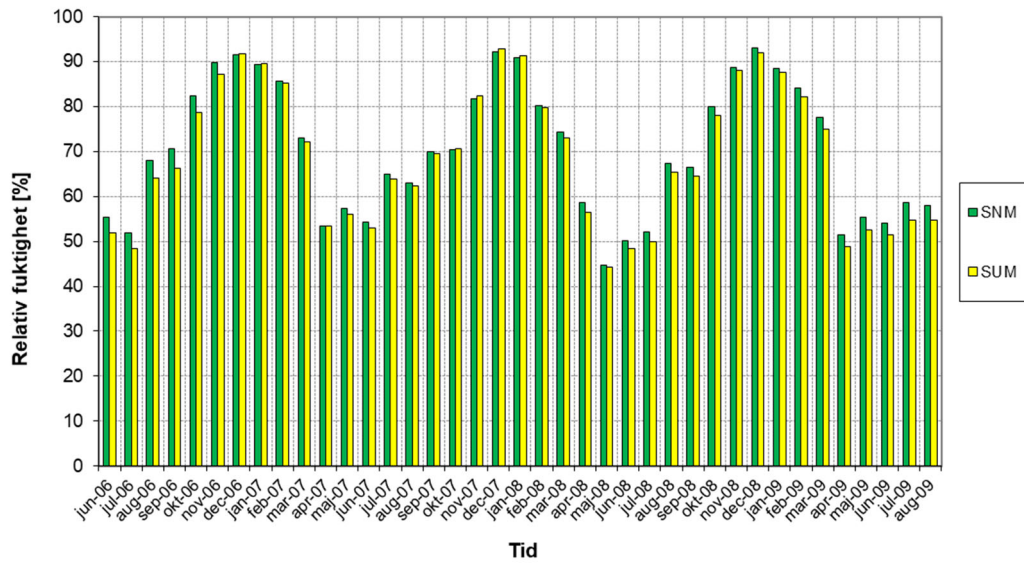
Månadsmedelvärde – relativ fuktighet, juni-06 – augusti-09



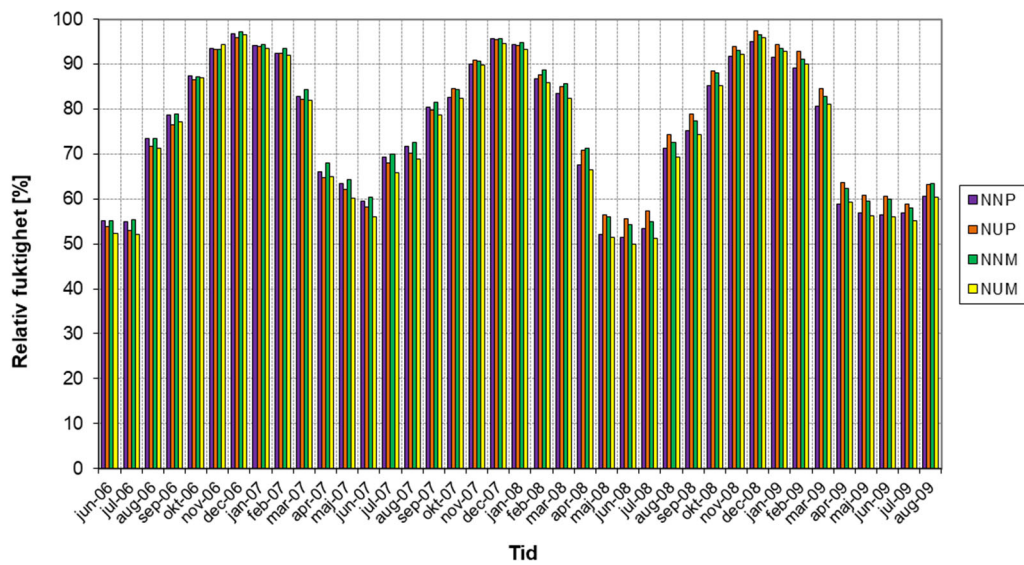
Månadsmedelvärde – relativ fuktighet, juni-06 – augusti-09



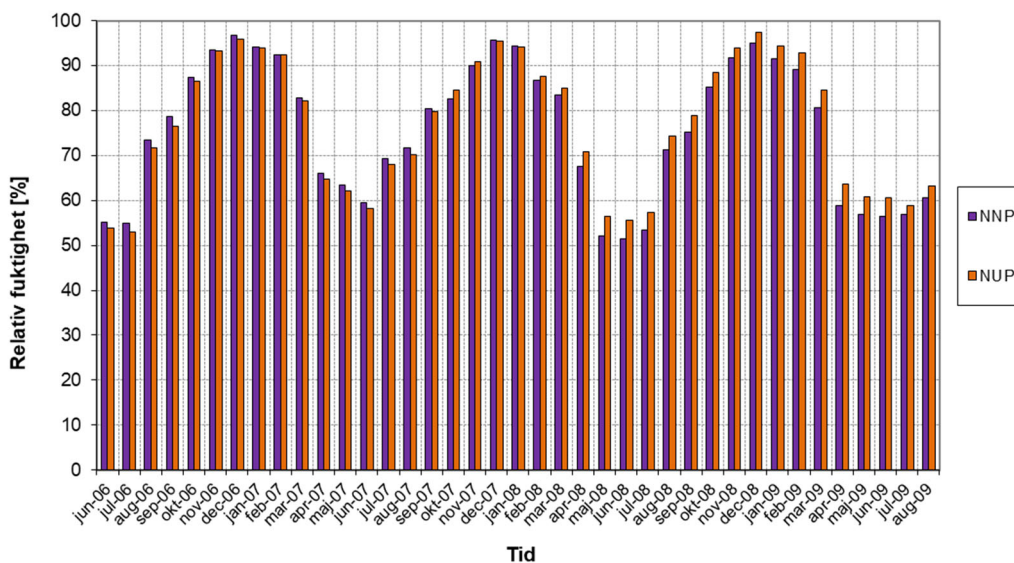
Månadsmedelvärde – relativ fuktighet, juni-06 – augusti-09



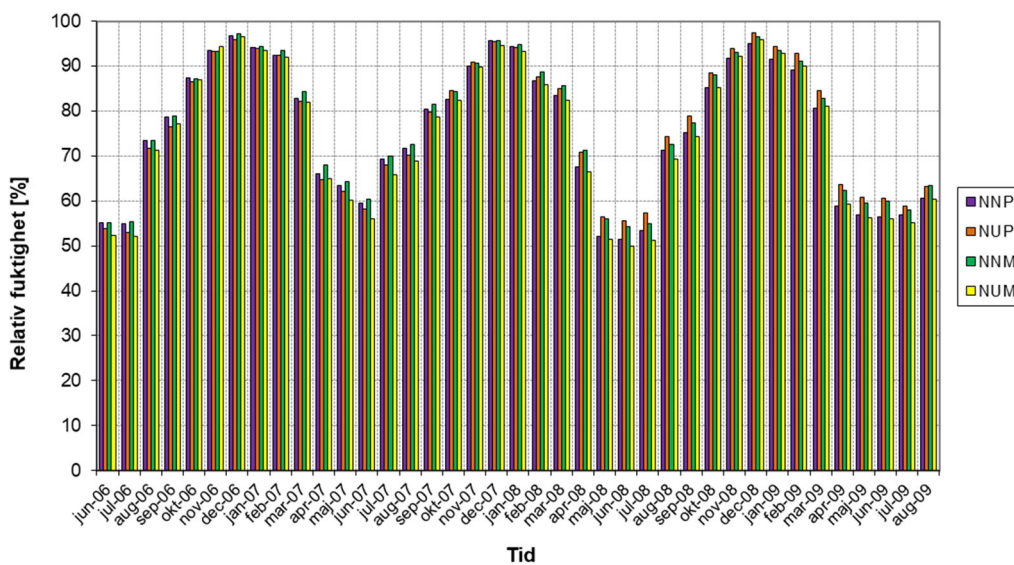
Månadsmedelvärde – relativ fuktighet, juni-06 – augusti-09



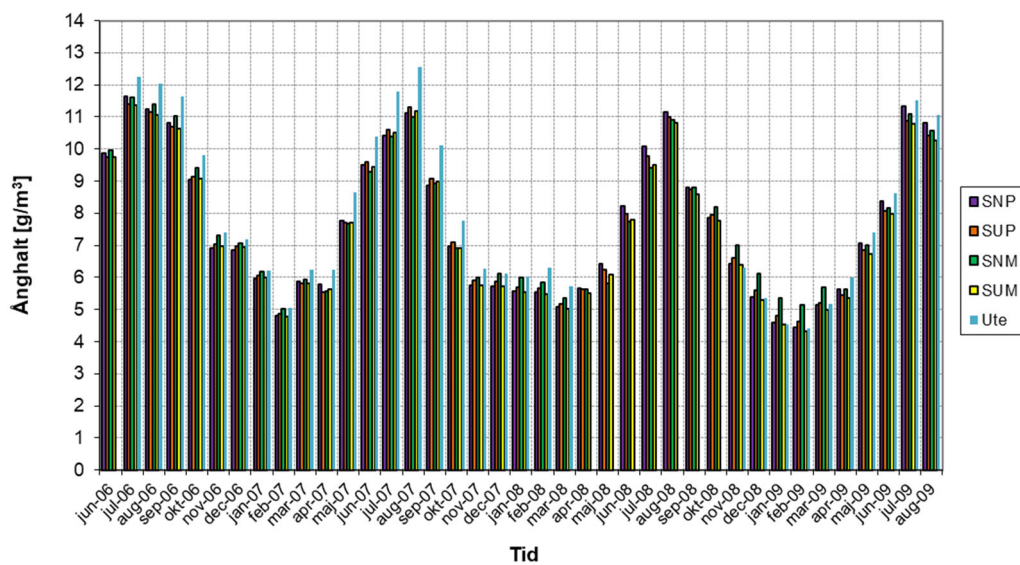
Månadsmedelvärde – relativ fuktighet, juni-06 – augusti-09



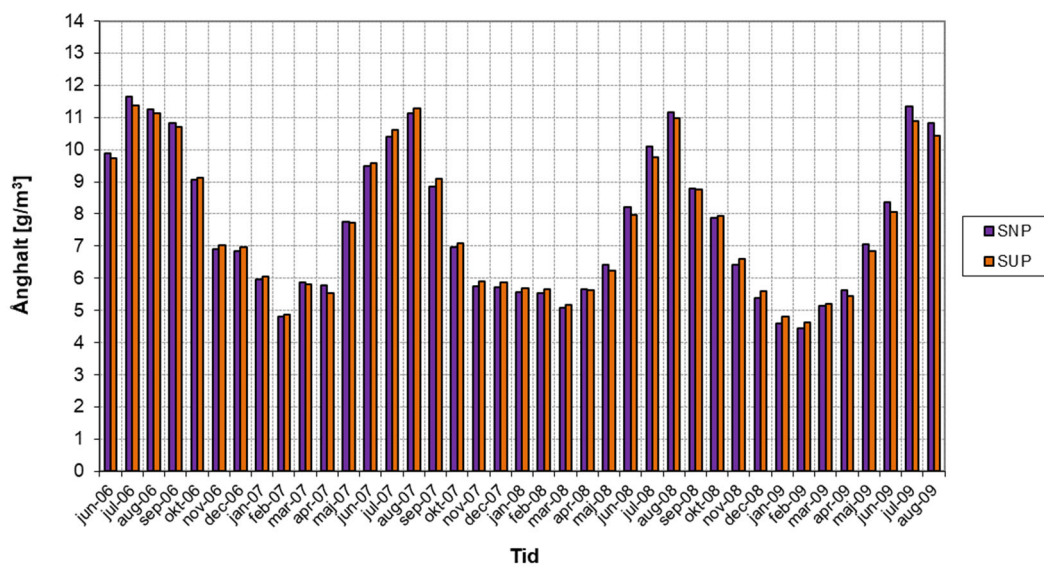
Månadsmedelvärde – relativ fuktighet, juni-06 – augusti-09



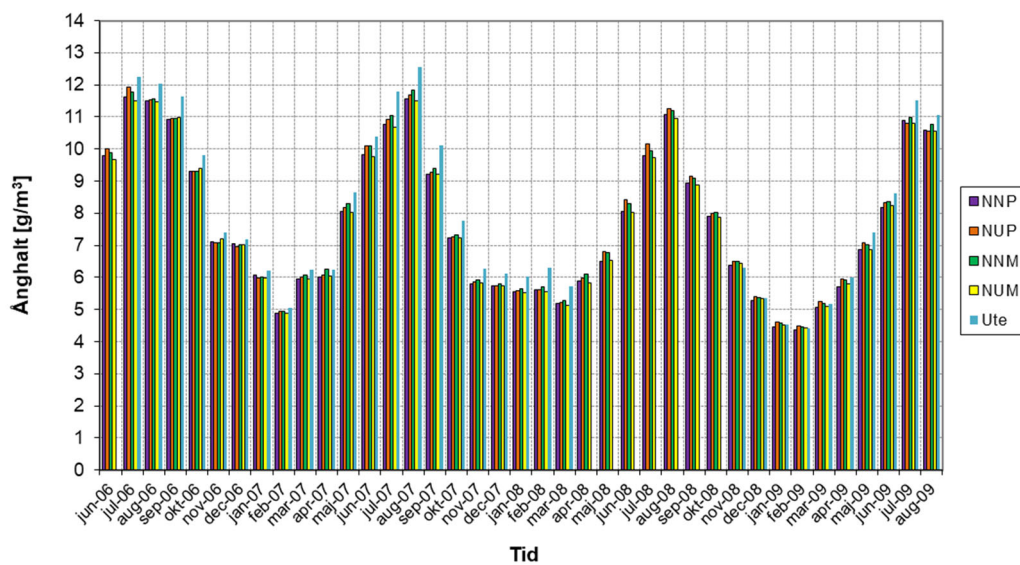
Månadsmedelvärde – ånghalt, juni-06 – augusti-09



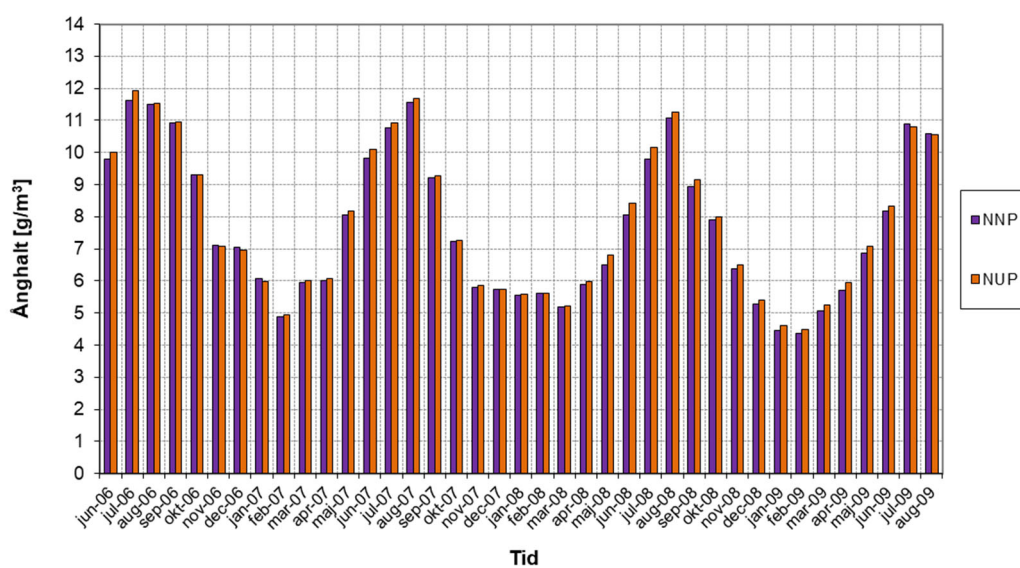
Månadsmedelvärde – ånghalt, juni-06 – augusti-09



Månadsmedelvärde – ånghalt, juni-06 – augusti-09



Månadsmedelvärde – ånghalt, juni-06 – augusti-09

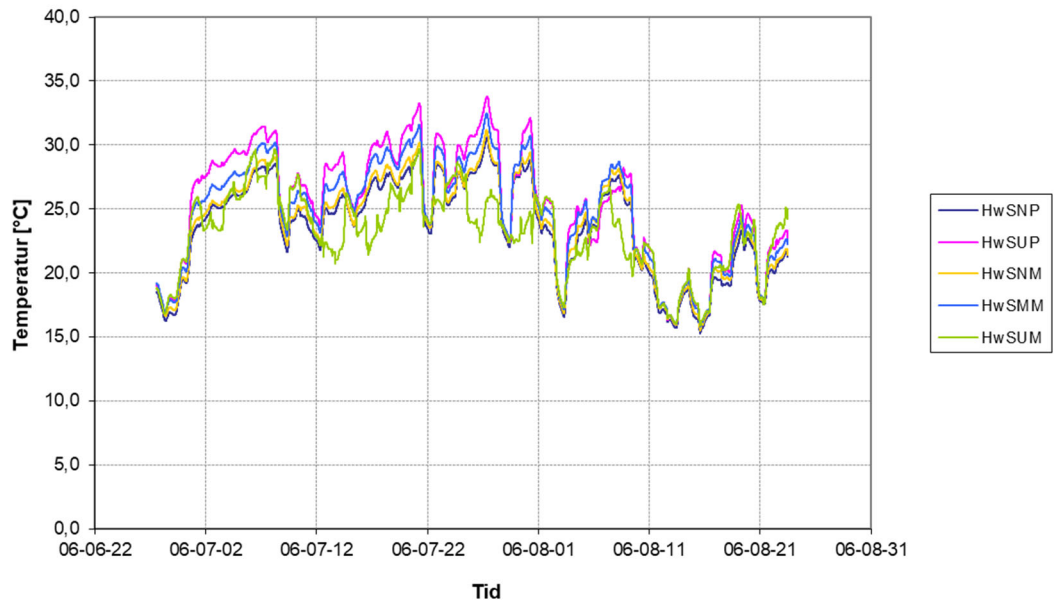


Bilaga B Mätresultat-Honeywell

Mätsensorer mellan råspont och underlagstäckning.

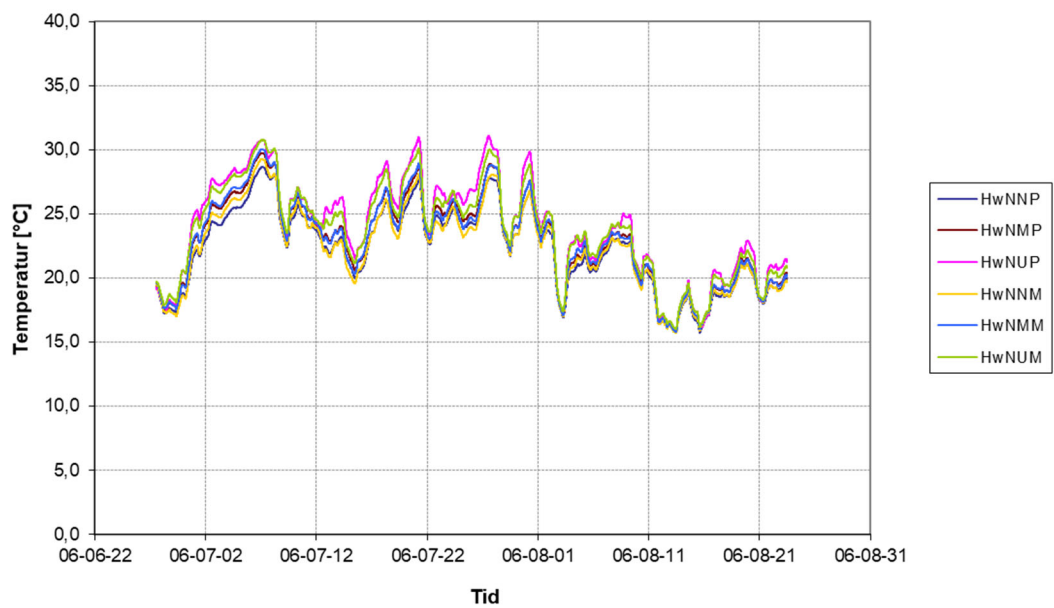
Provhuset - tak, HoneyWell Söder Glidande dygnsmedelvärde

060626-060823



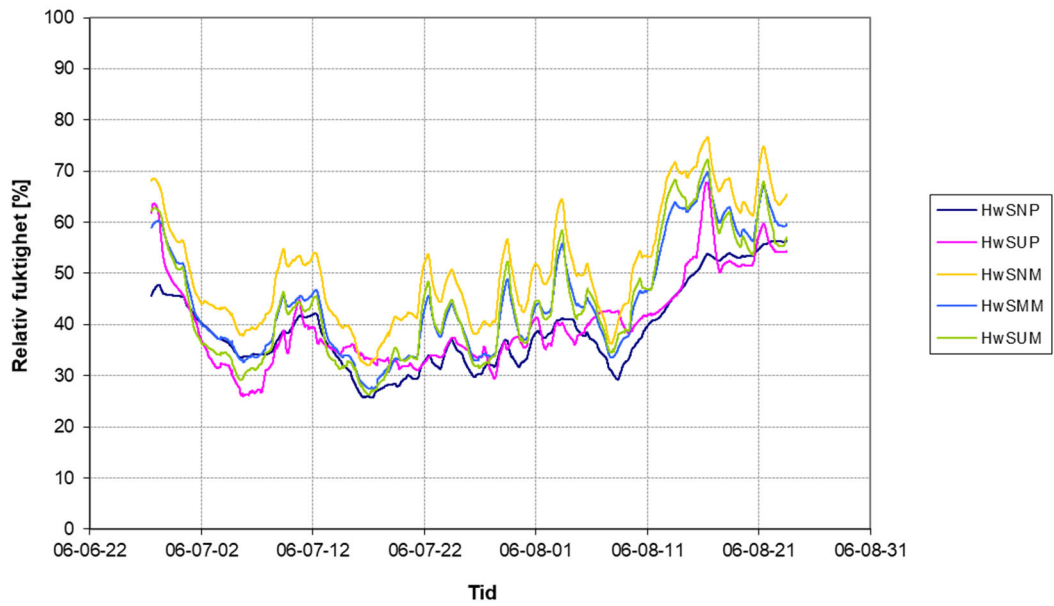
Provhuset - tak HoneyWell Norr Glidande dygnsmedelvärde

060626-060823



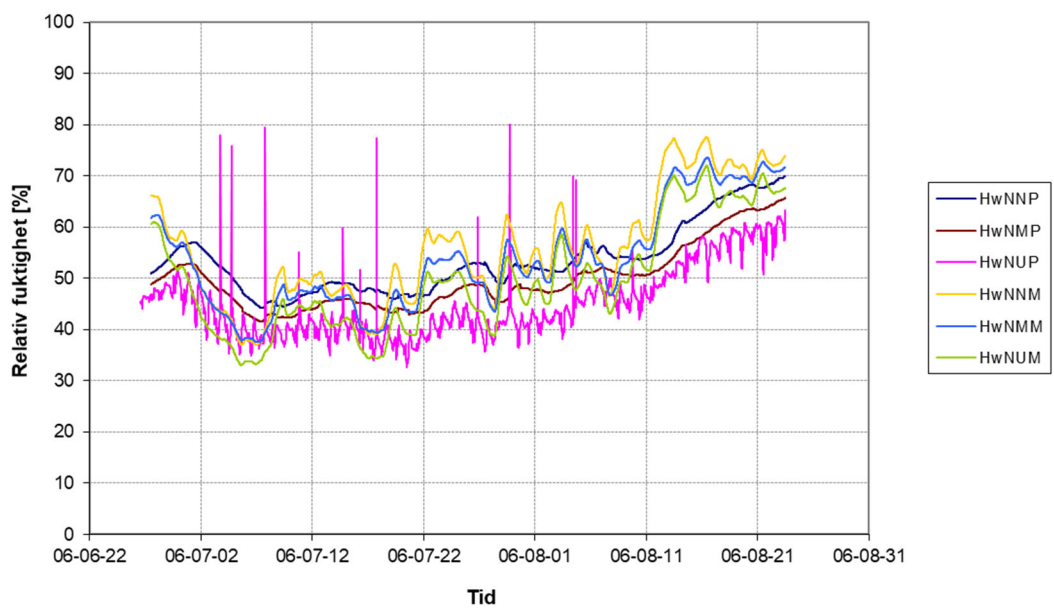
Provhuset - tak, Honeywell Söder - Glidande dygnsmedelvärde

060626-060823



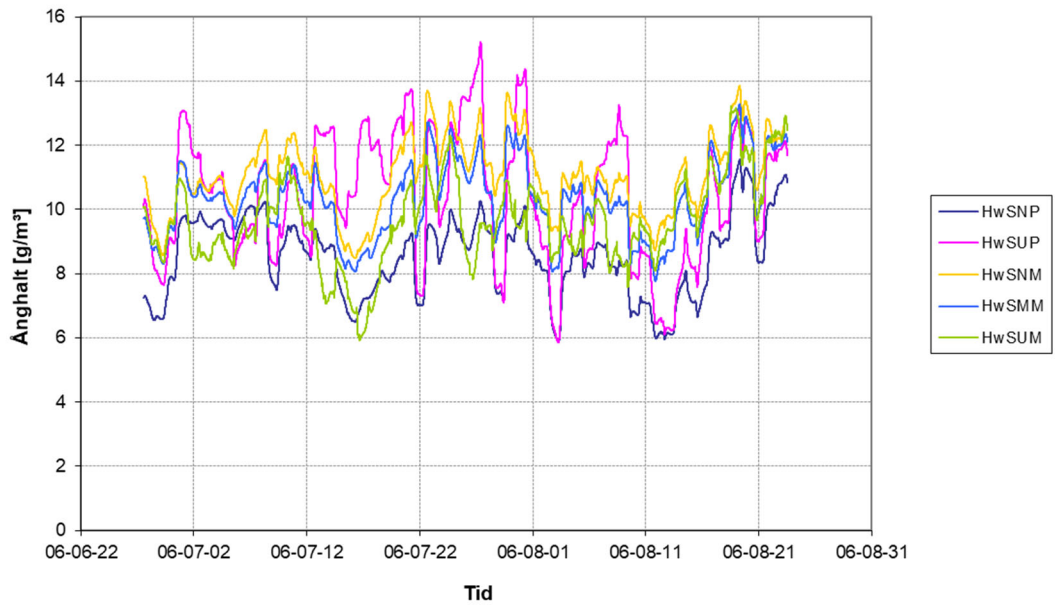
Provhuset - tak, Honeywell Norr - Glidande dygnsmedelvärde

060626-060823



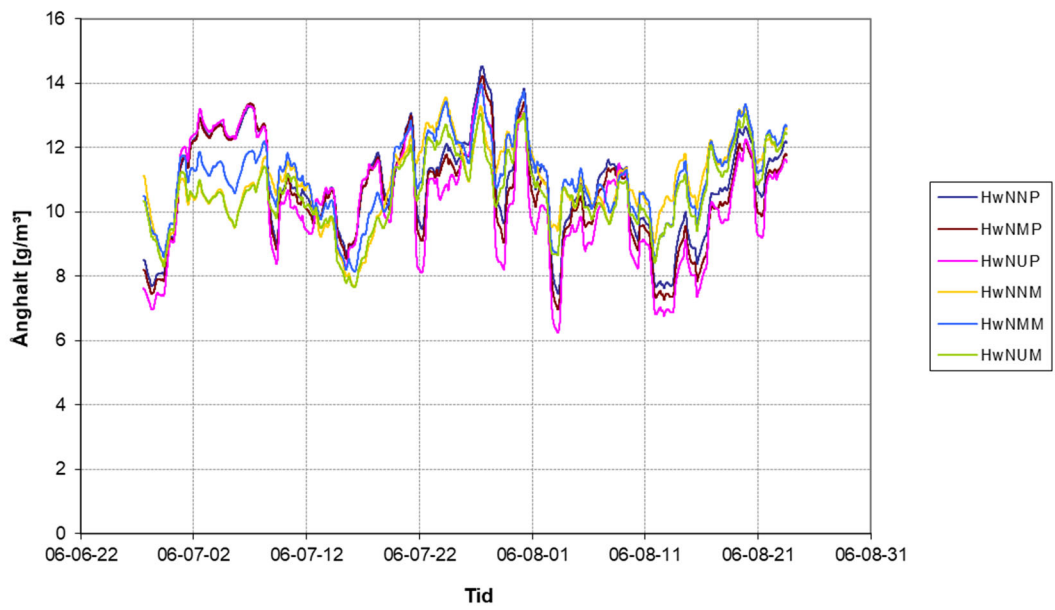
Provhuset - tak, Honeywell Söder - glidande dygnsmedelvärde

060626-060823



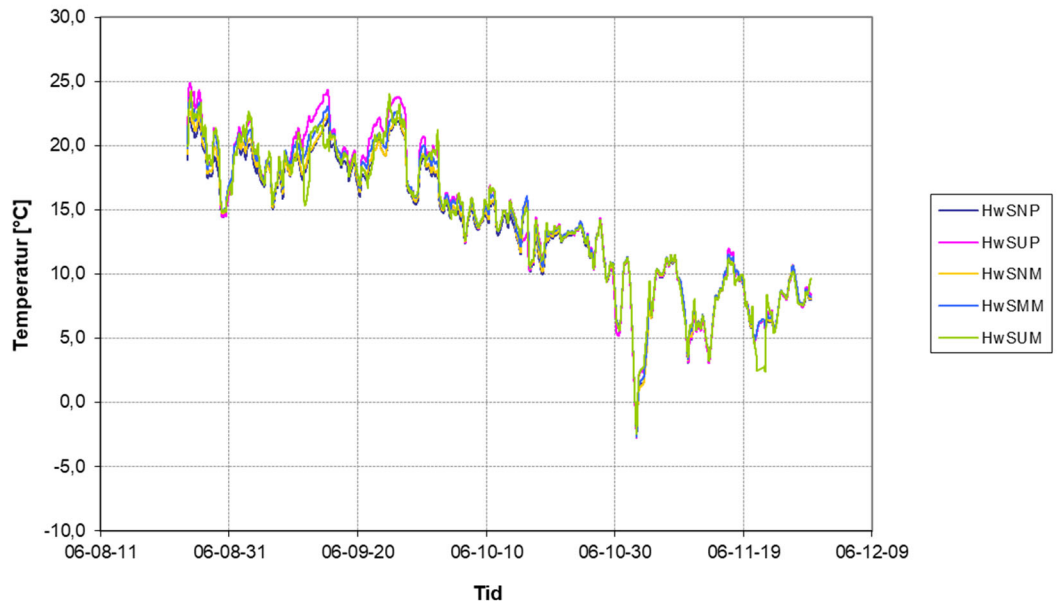
Provhuset - tak, Honeywell Norr - Glidande dygnsmedelvärde

060626-060823



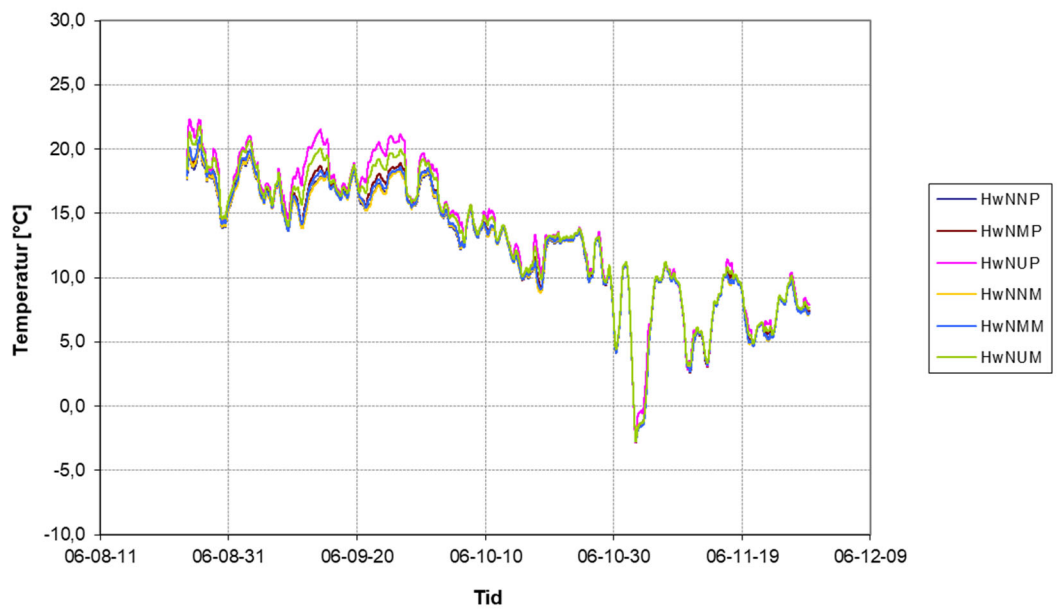
Provhuset - tak, HoneyWell Söder - Glidande dygnsmedelvärde

060823-061129



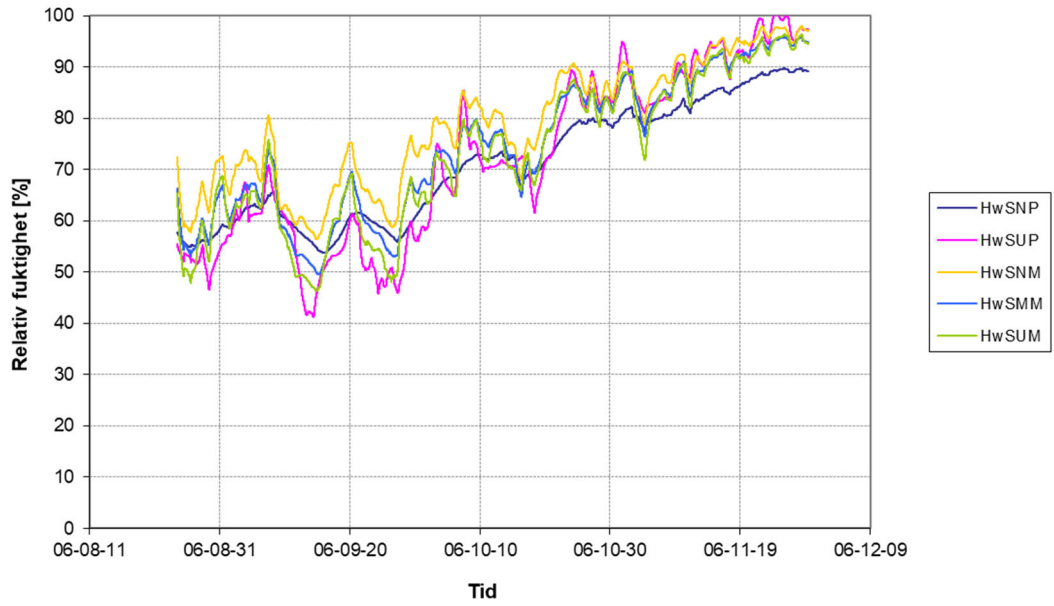
Provhuset - tak HoneyWell Norr - Glidande dygnsmedelvärde

060823-061129



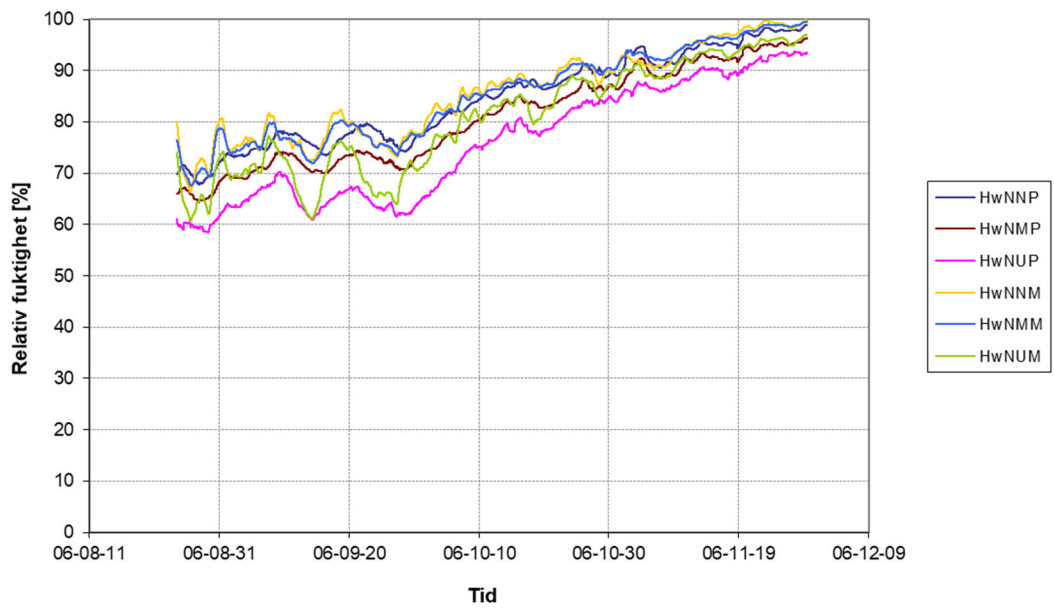
Provhuset - tak, Honeywell Söder - Glidande dygnsmedelvärde

060823-061129



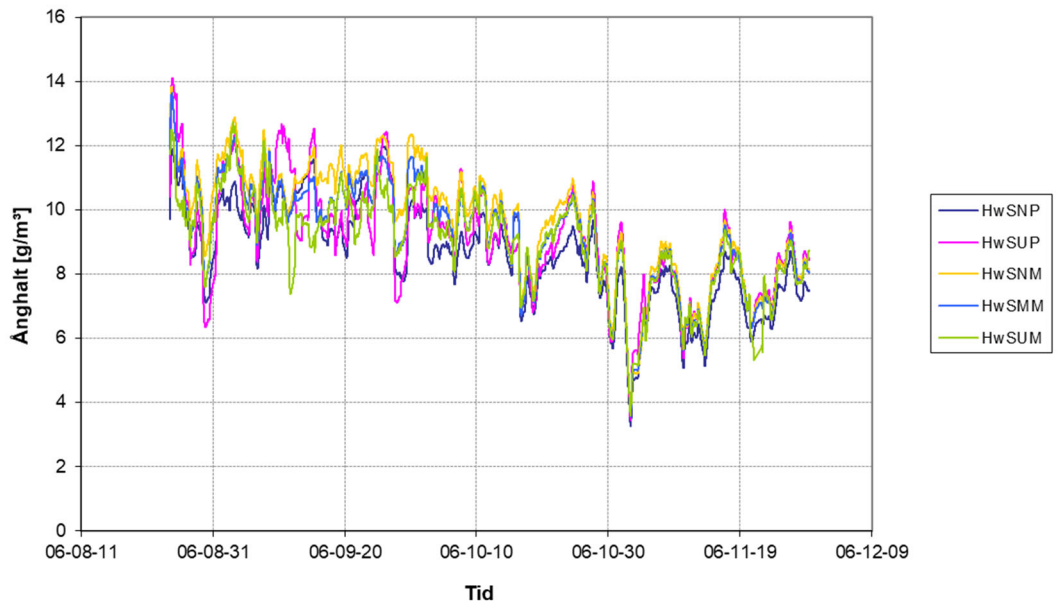
Provhuset - tak, Honeywell Norr - glidande dygnsmedelvärde

060823-061129



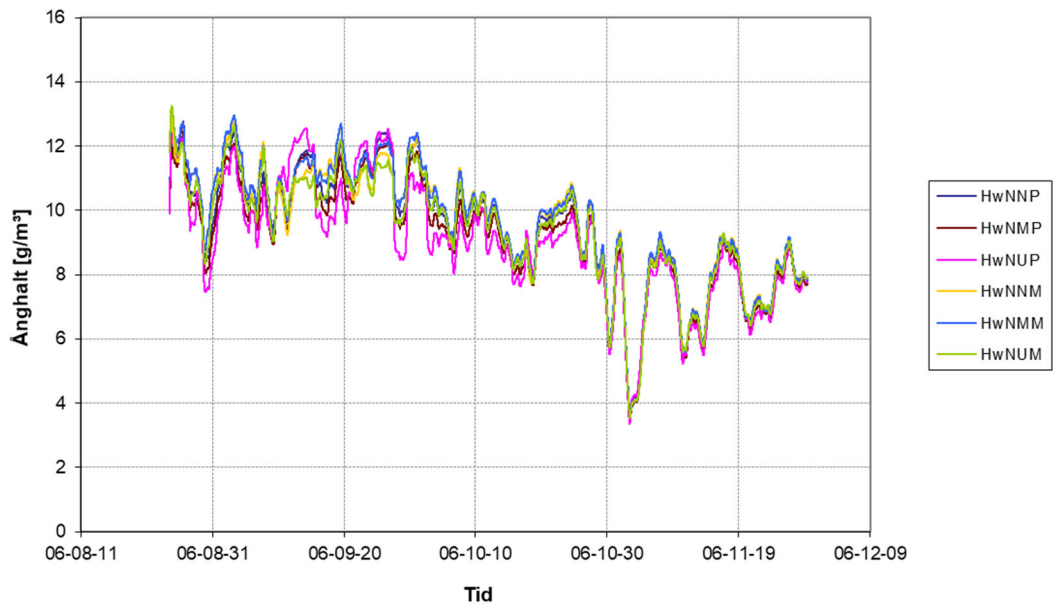
Provhuset - tak, Honeywell Söder - Glidande dygnsmedelvärde

060823-061129



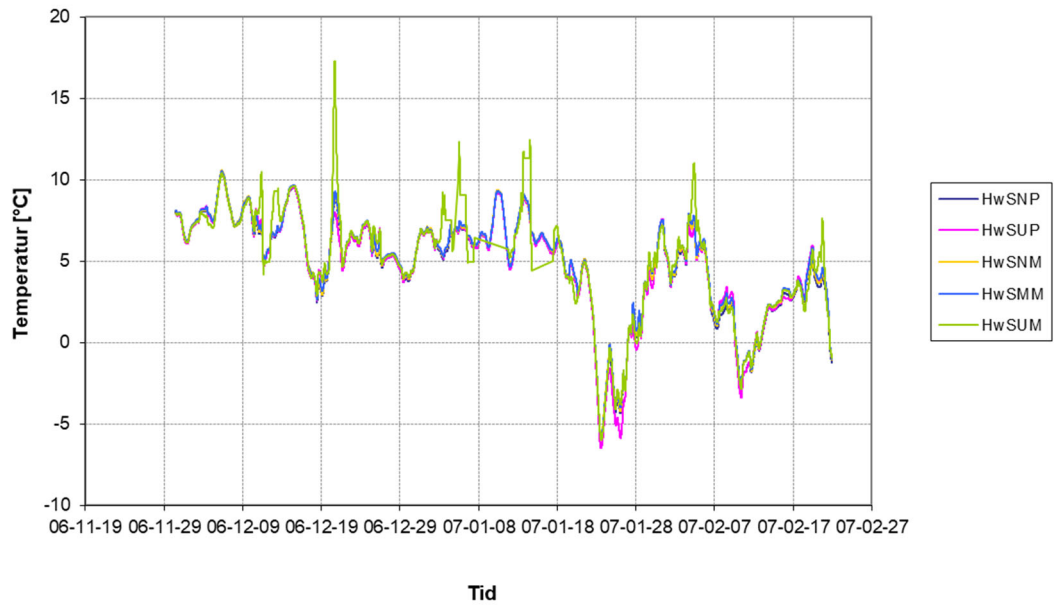
Provhuset - tak, Honeywell Norr - Glidande dygnsmedelvärde

060823-061129



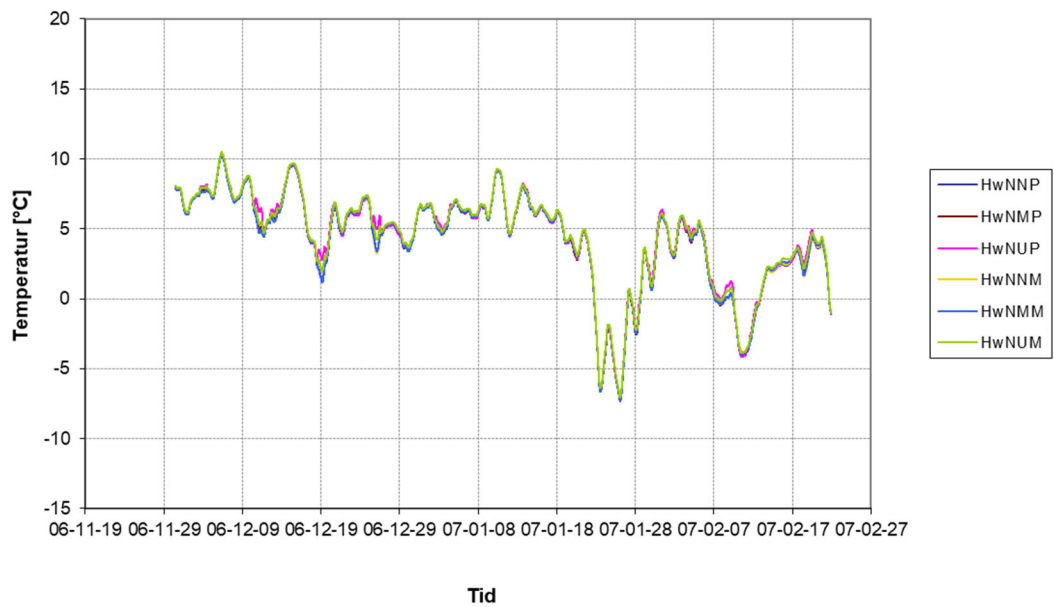
Provhuset - tak, HoneyWell Söder - Glidande dygnsmedelvärde

061129-070221



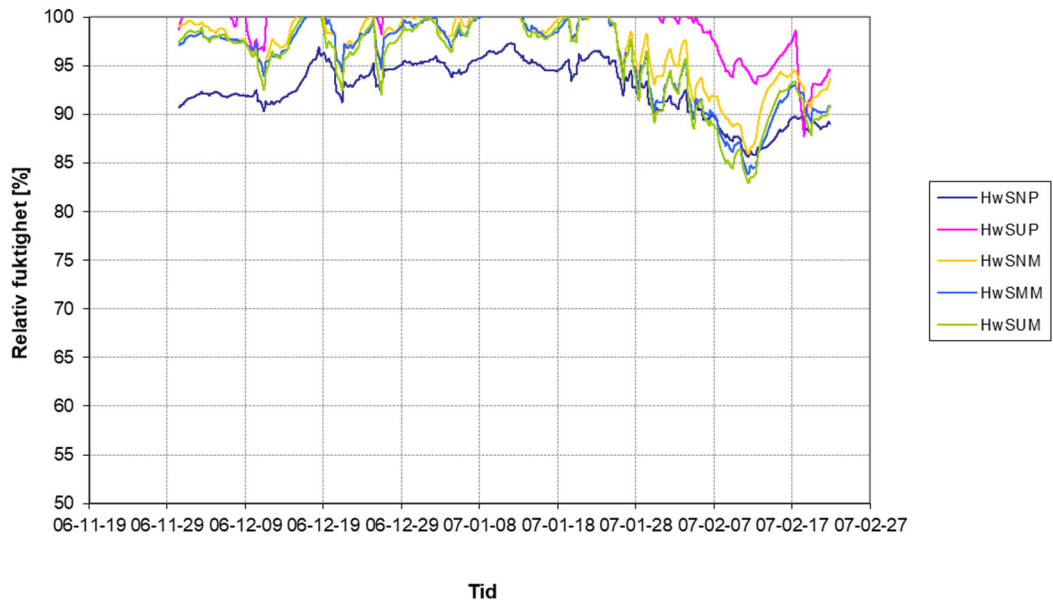
Provhuset - tak HoneyWell Norr - Glidande dygnsmedelvärde

061129-070221



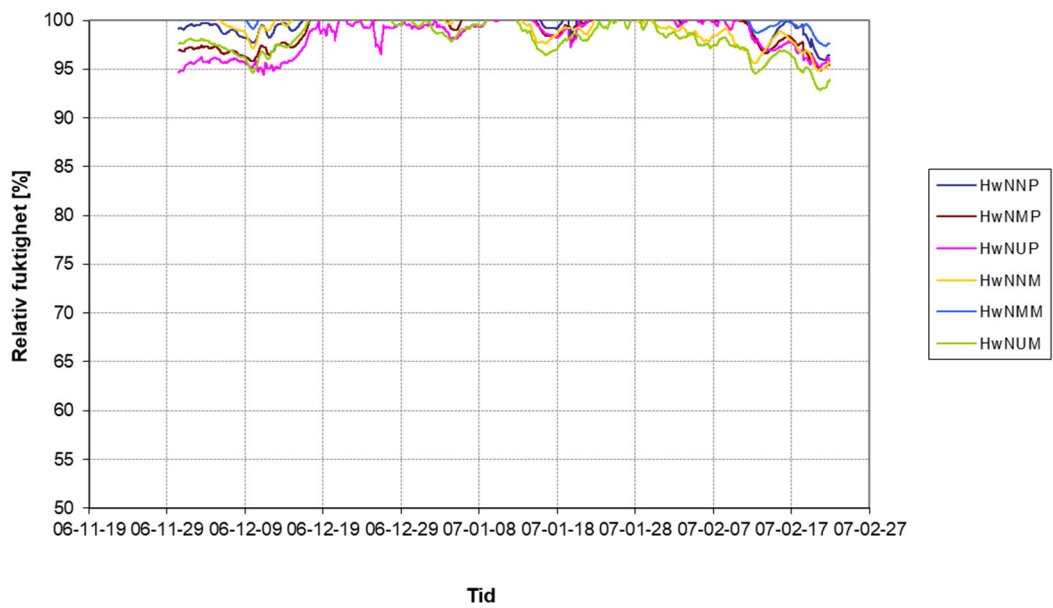
Provhuset - tak, Honeywell Söder - Glidande dygnsmedelvärde

061129-070221



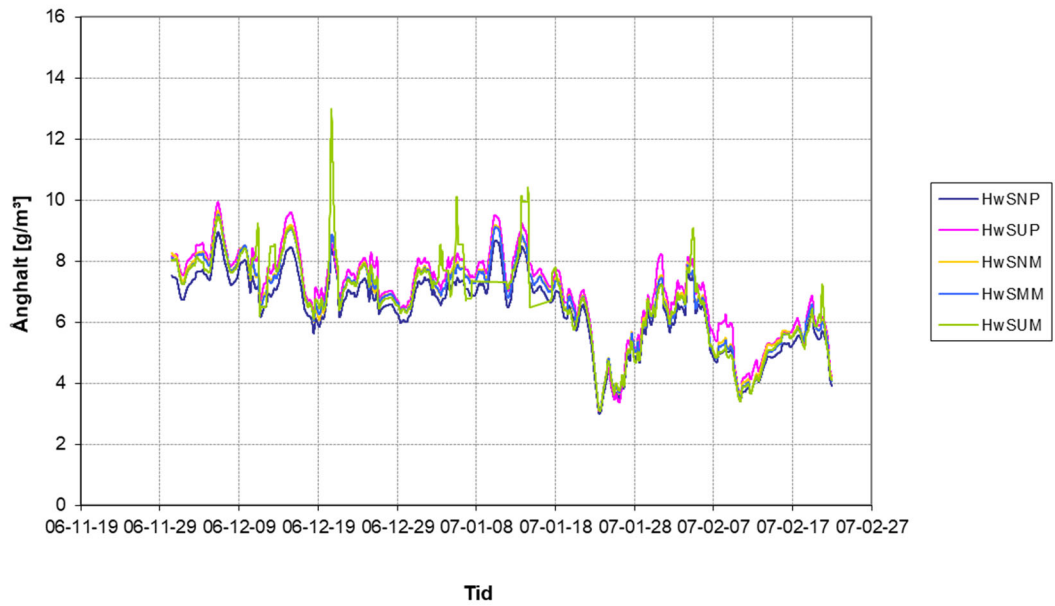
Provhuset - tak, Honeywell Norr - Glidande dygnsmedelvärde

061129-070221



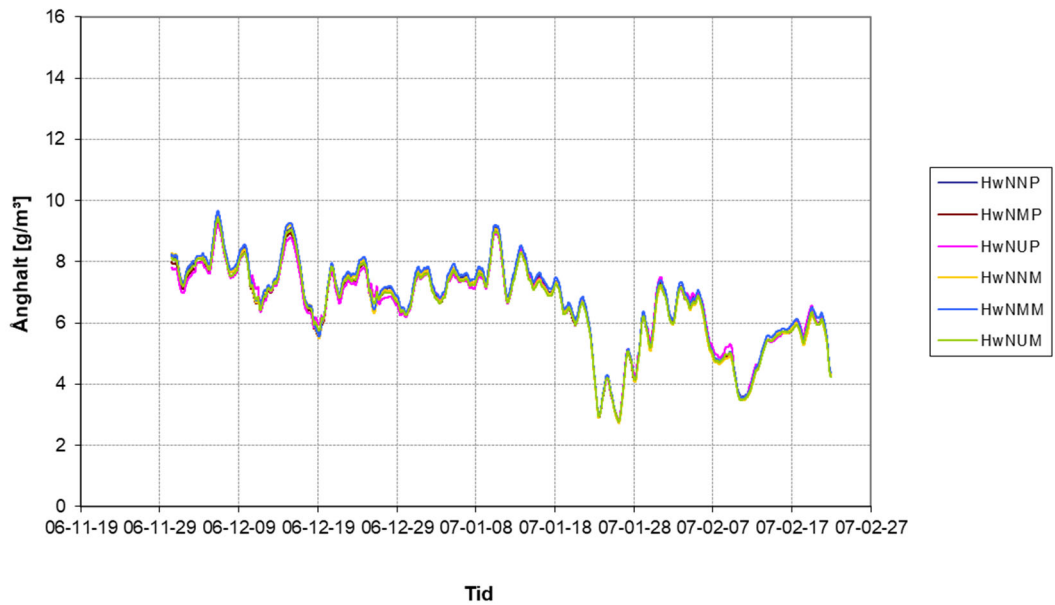
Provhuset - tak, Honeywell Söder - Glidande dygnsmedelvärde

061129-070221



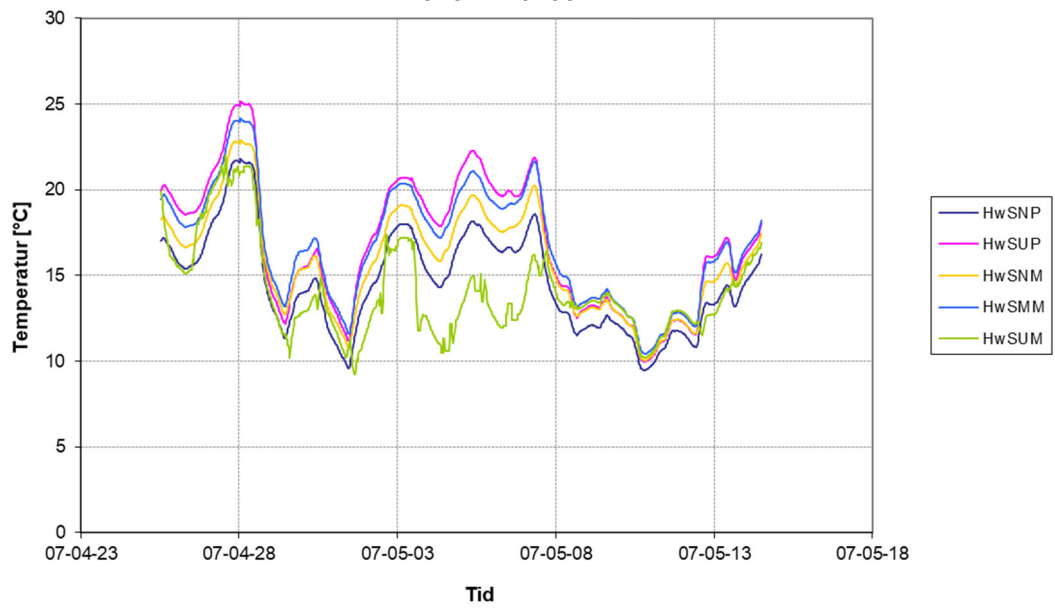
Provhuset - tak, Honeywell Norr - Glidande dygnsmedelvärde

061129-070221



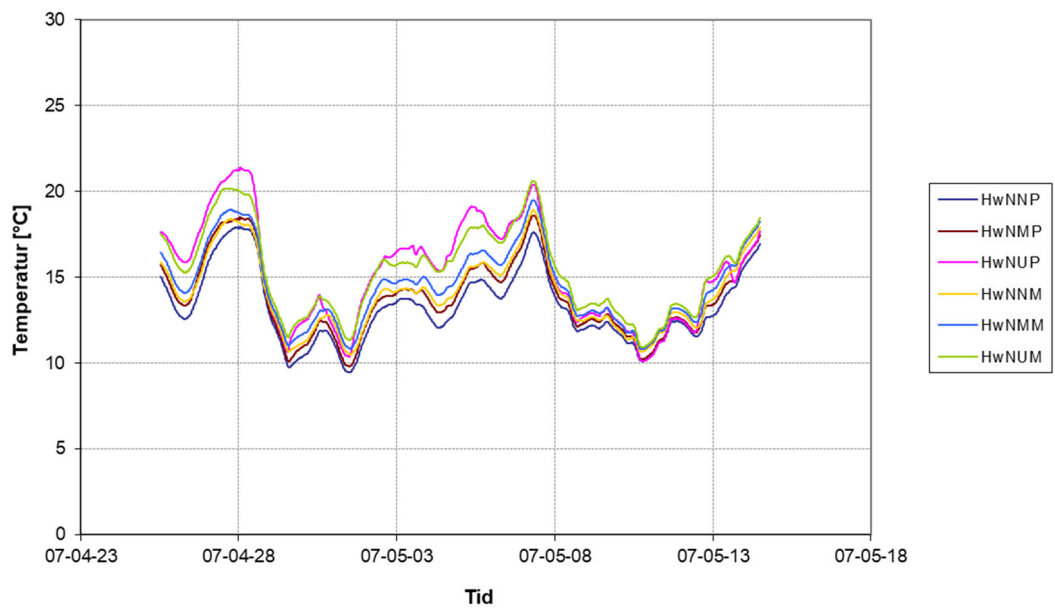
Provhuset - tak, HoneyWell Söder - Glidande dygnsmedelvärde

070424-070514



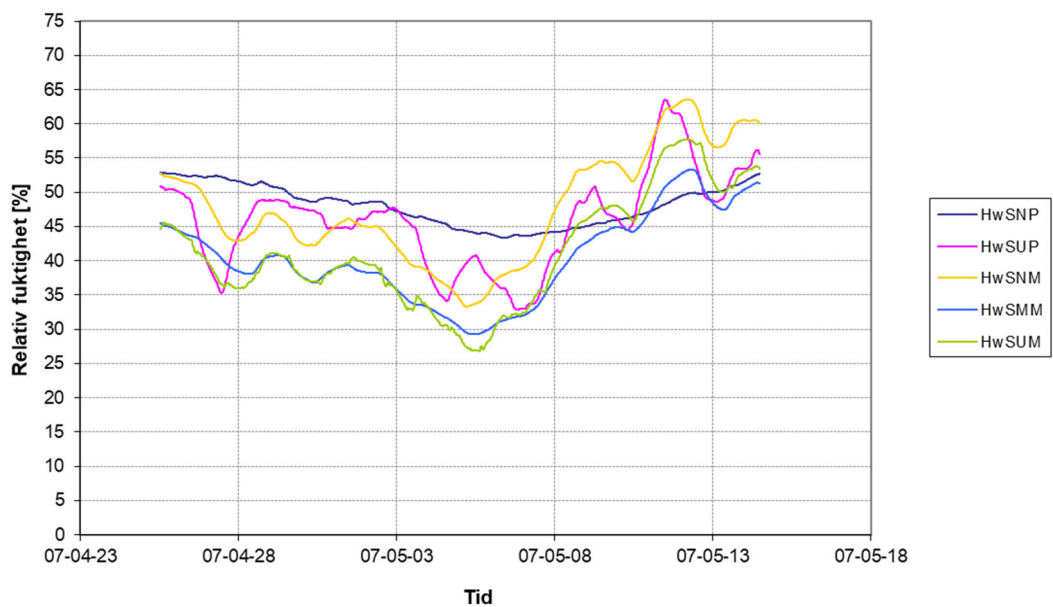
Provhuset - tak HoneyWell Norr - Glidande dygnsmedelvärde

070424-070514



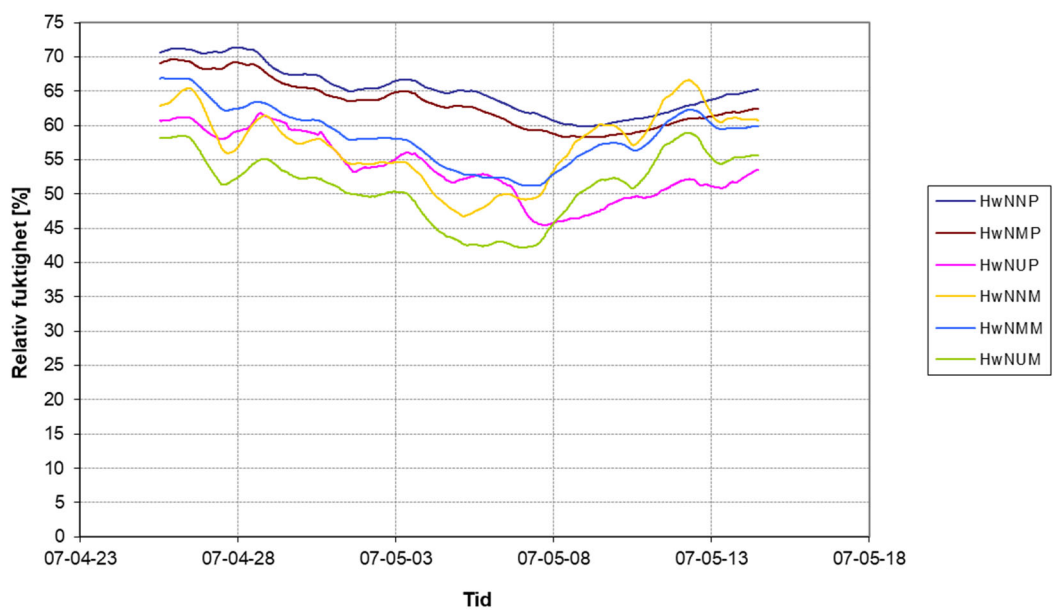
Provhuset - tak, Honeywell Söder - Glidande dygnsmedelvärde

070424-070514



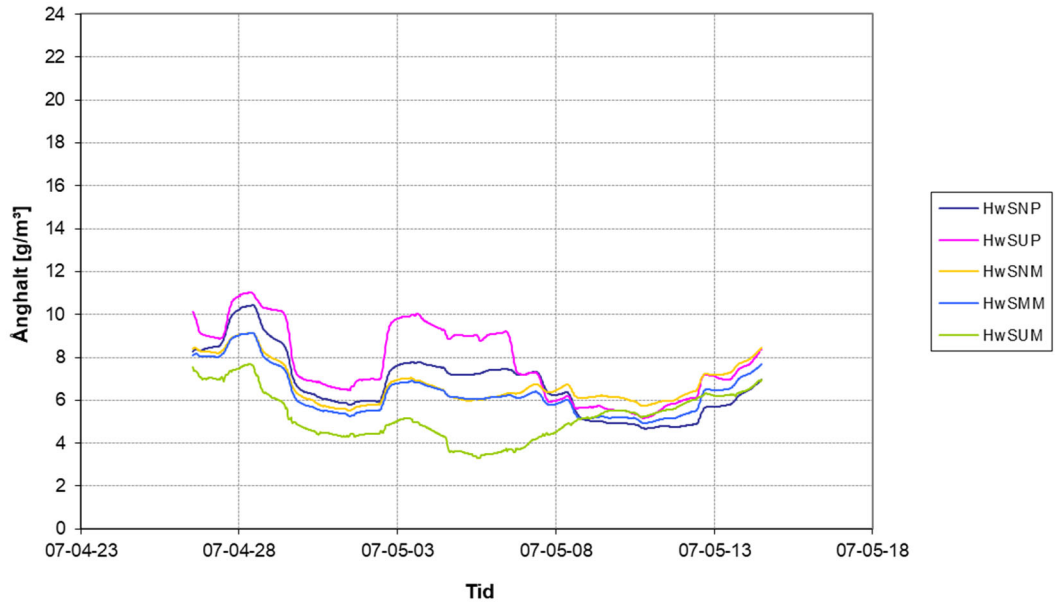
Provhuset - tak, Honeywell Norr - Glidande dygnsmedelvärde

070424-070514



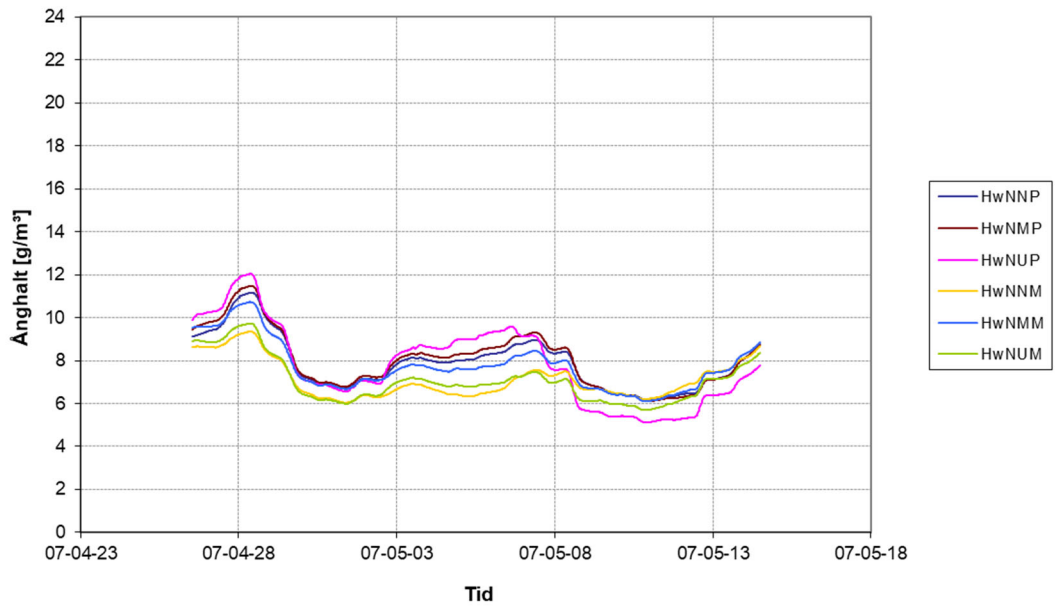
Provhuset - tak, Honeywell Söder Glidande dygnsmedelvärde

070424-070514



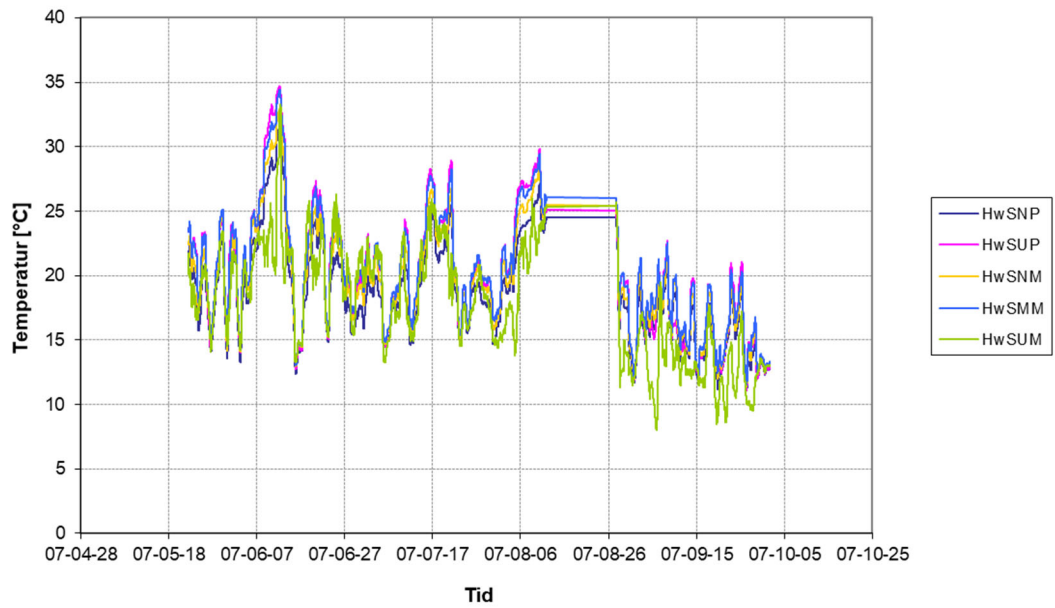
Provhuset - tak, Honeywell Norr Glidande dygnsmedelvärde

070424-070514



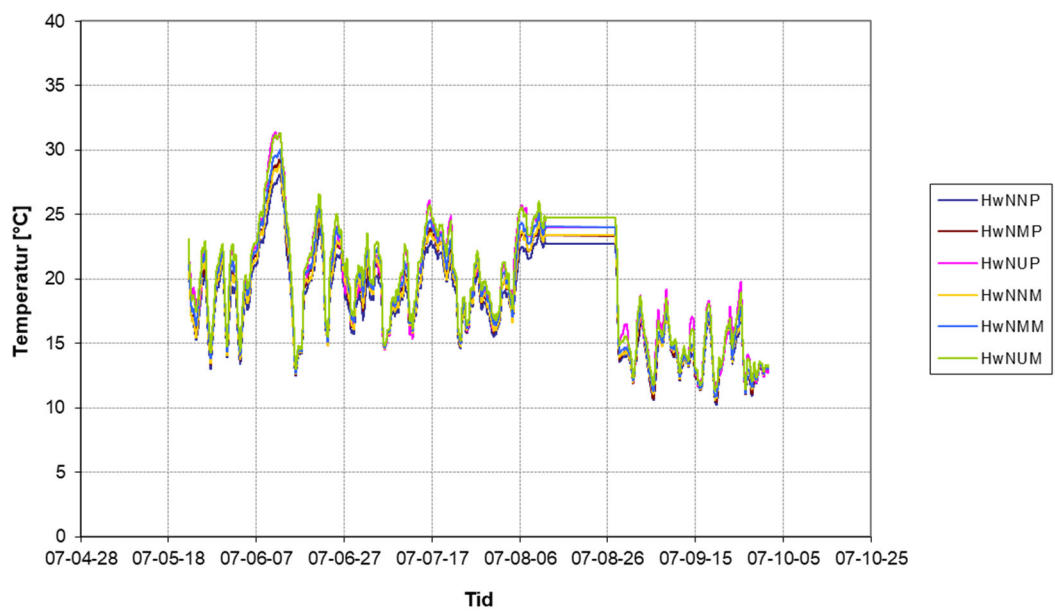
Provhuset - tak, HoneyWell Söder Glidande dygnsmedelvärde

070521-071001



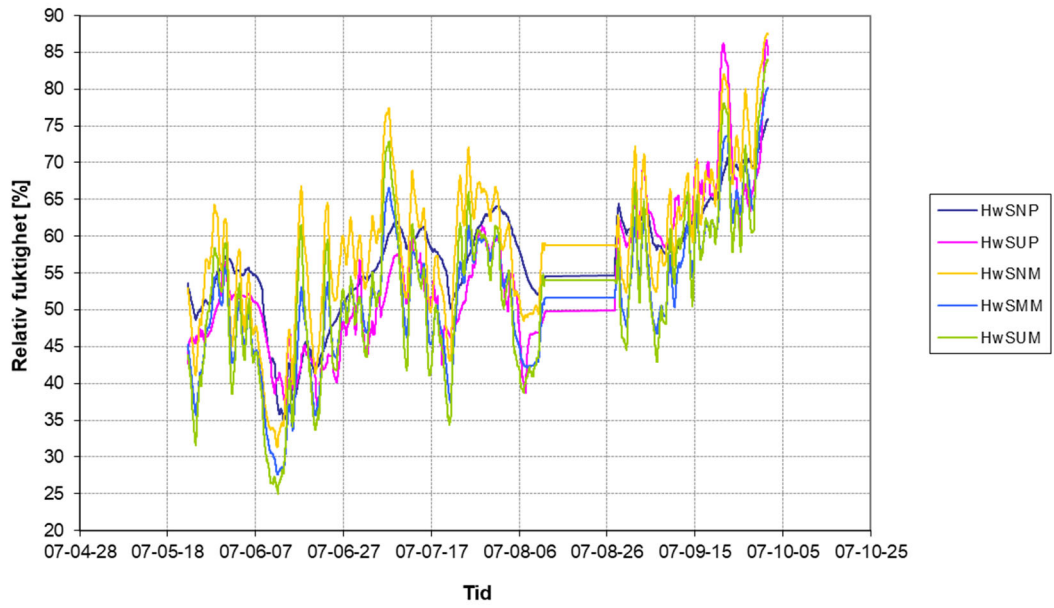
Provhuset - tak HoneyWell Norr Glidande dygnsmedelvärde

070521-071001



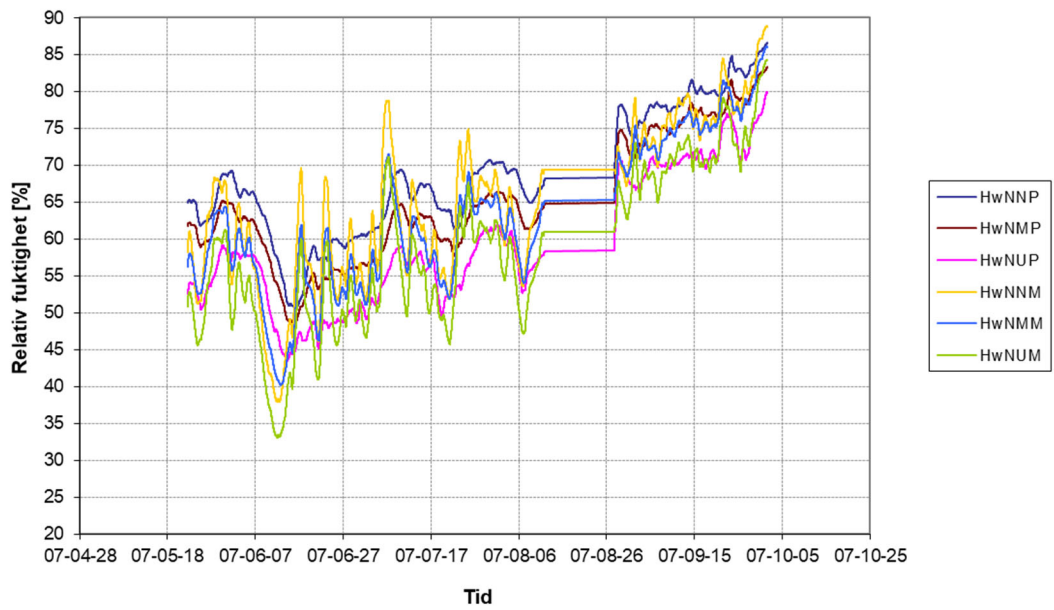
Provhuset - tak, Honeywell Söder Glidande dygnsmedelvärde

070521-071001

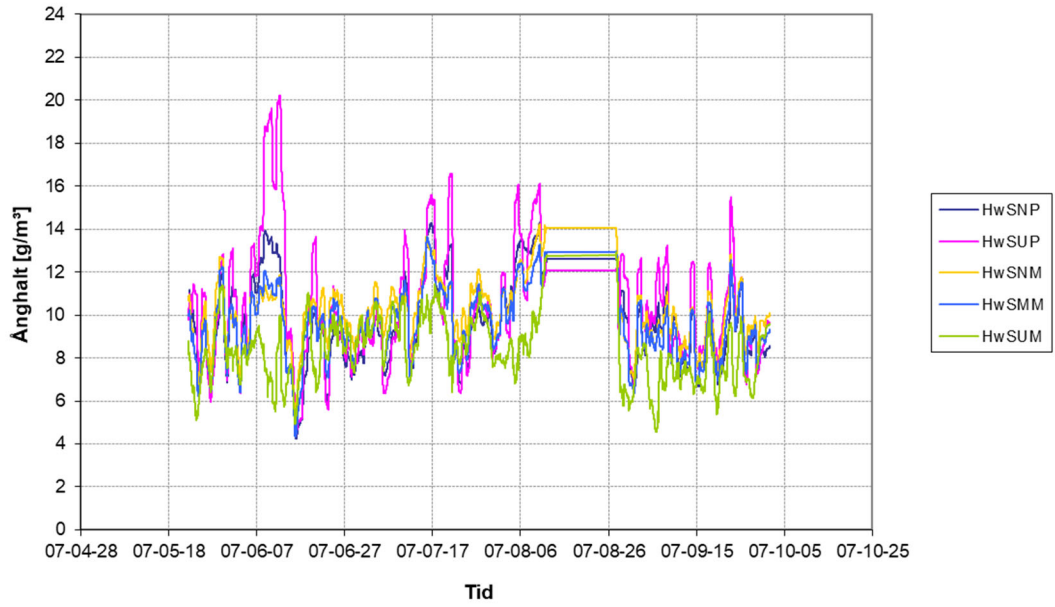


Provhuset - tak, Honeywell Norr Glidande dygnsmedelvärde

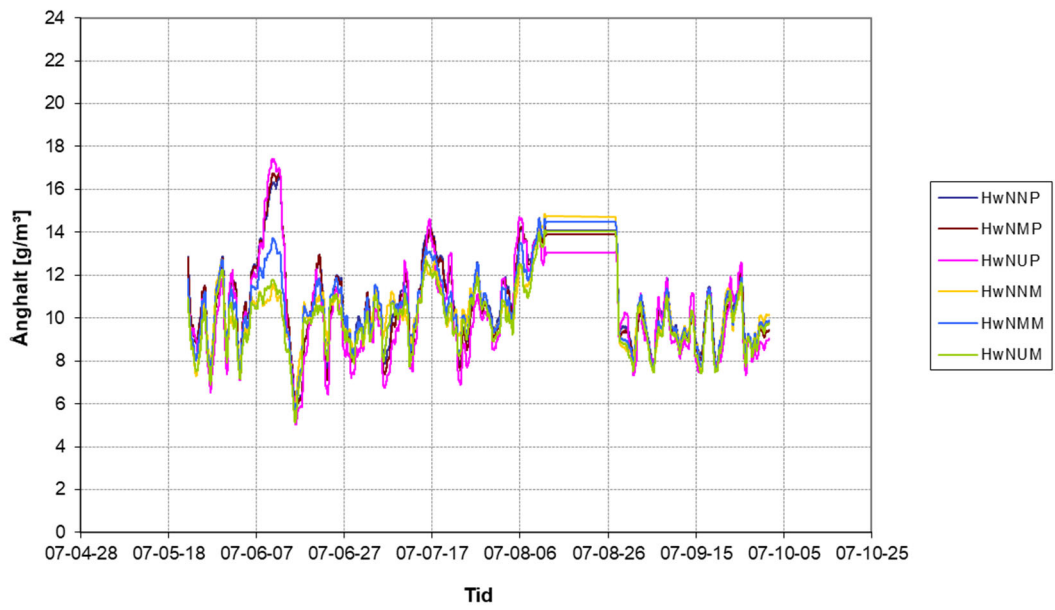
070521-071001



Provhuset - tak, Honeywell Söder Glidande dygnsmedelvärde
070521-071001

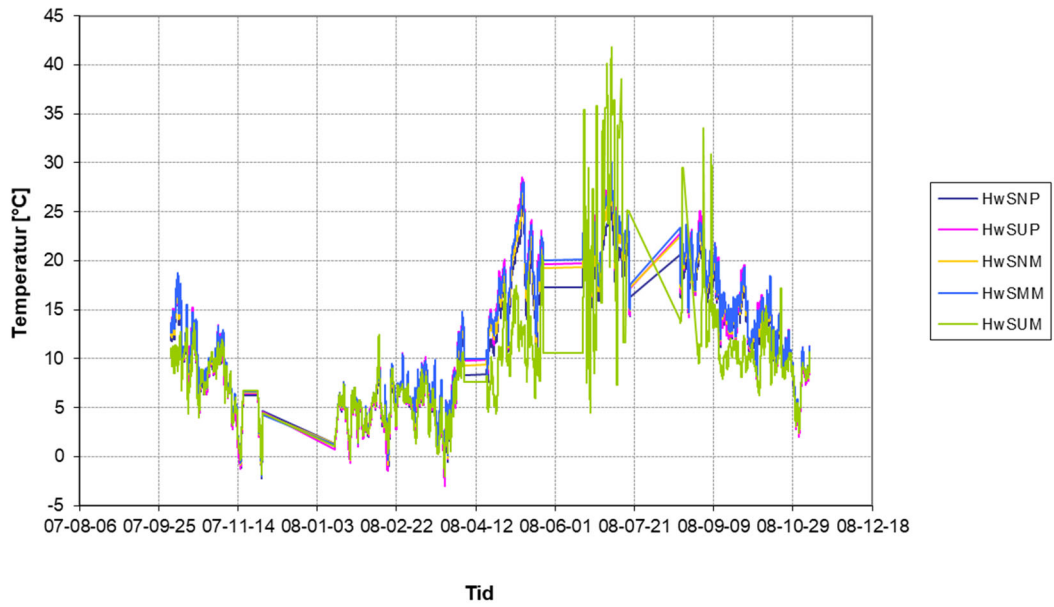


Provhuset - tak, Honeywell Norr Glidande dygnsmedelvärde
070521-071001



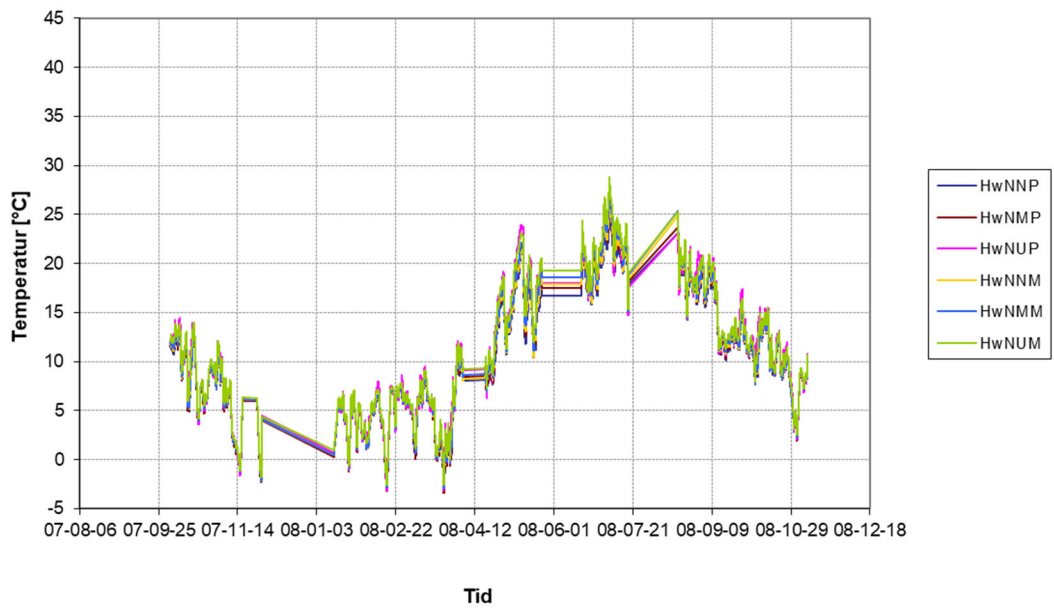
Provhuset - tak, HoneyWell Söder Glidande dygnsmedelvärde

071001-081108



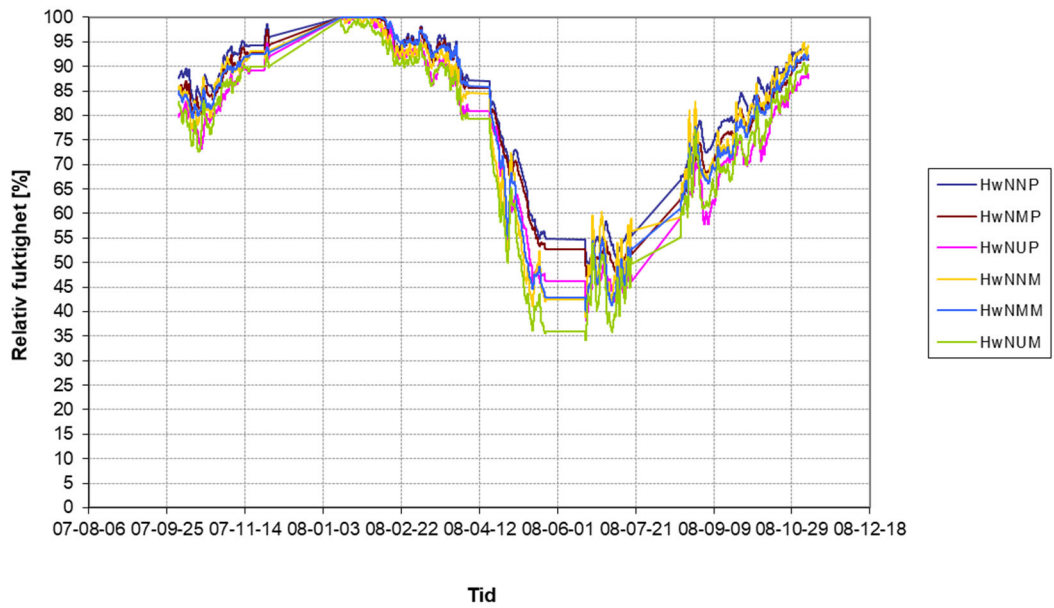
Provhuset - tak HoneyWell Norr Glidande dygnsmedelvärde

071001-081108



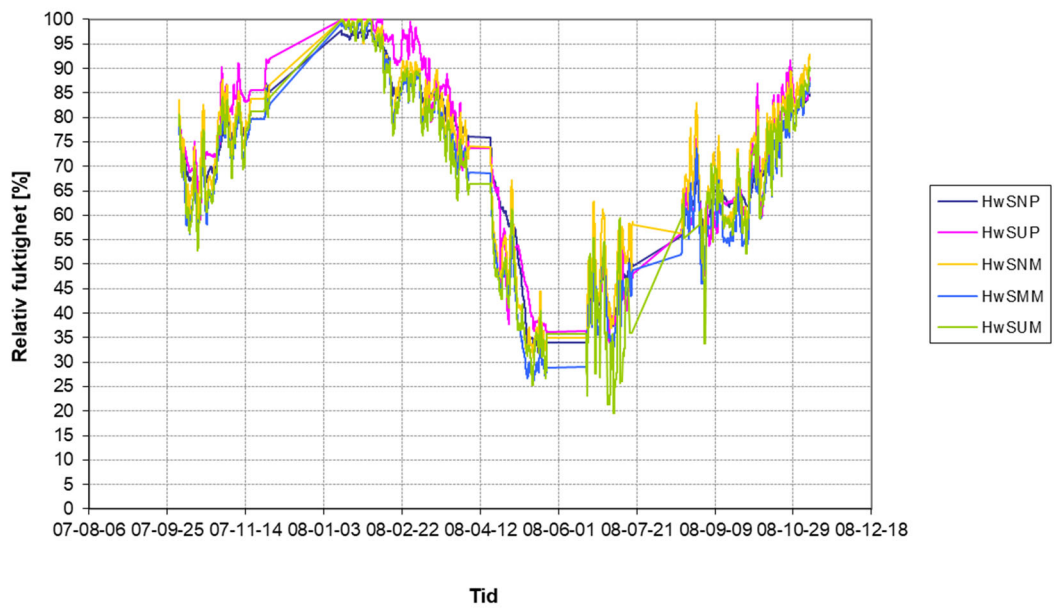
Provhuset - tak, Honeywell Norr Glidande dygnsmedelvärde

071001-081108



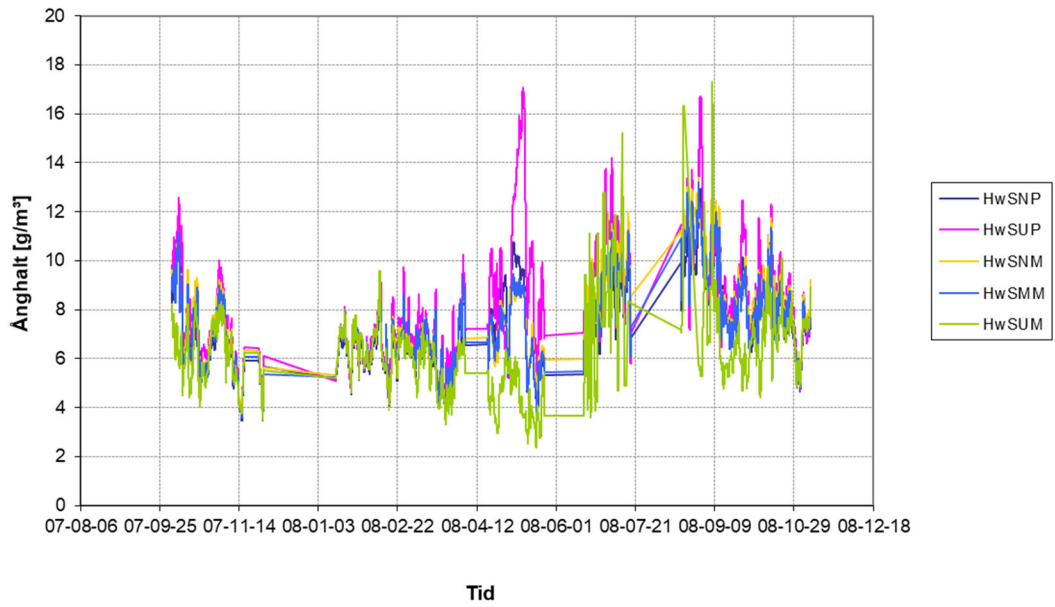
Provhuset - tak, Honeywell Söder Glidande dygnsmedelvärde

071001-081108



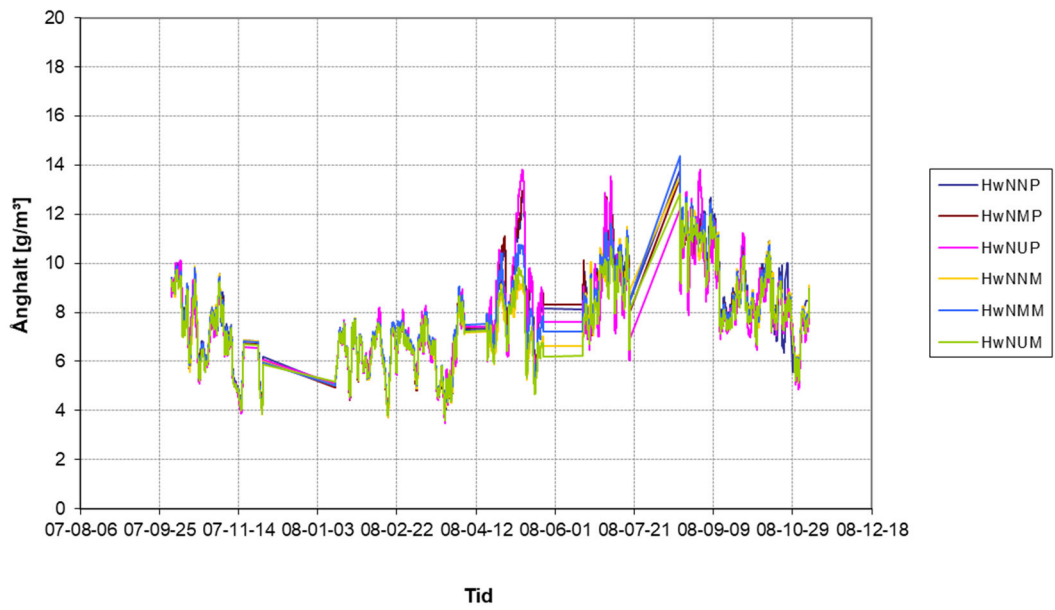
Provhuset - tak, Honeywell Söder Glidande dygnsmedelvärde

071001-081108



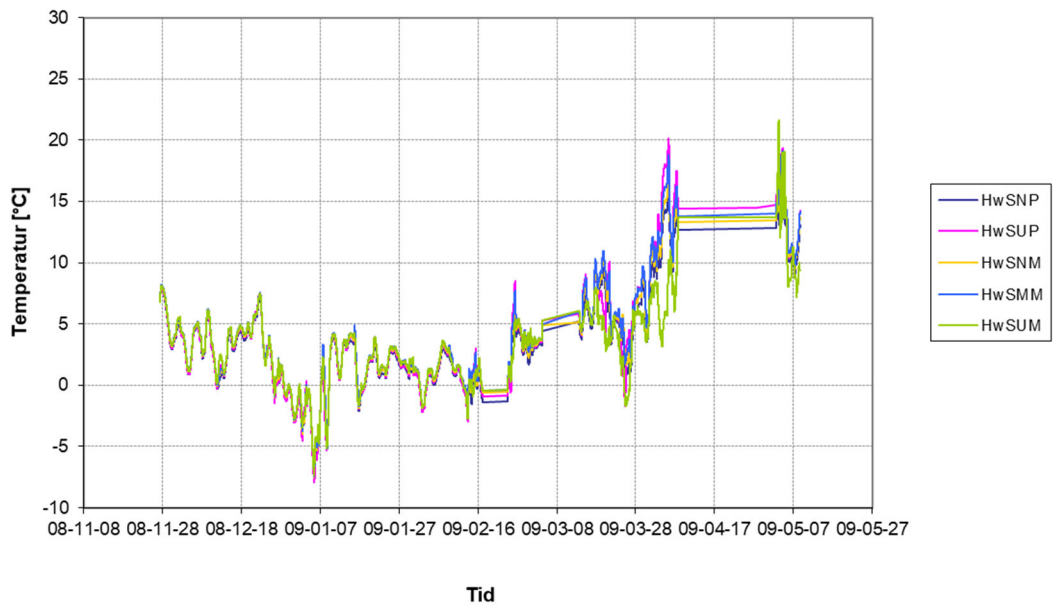
Provhuset - tak, Honeywell Norr Glidande dygnsmedelvärde

071001-081108



Provhuset - tak, HoneyWell Söder Glidande dygnsmedelvärde

081126-090508



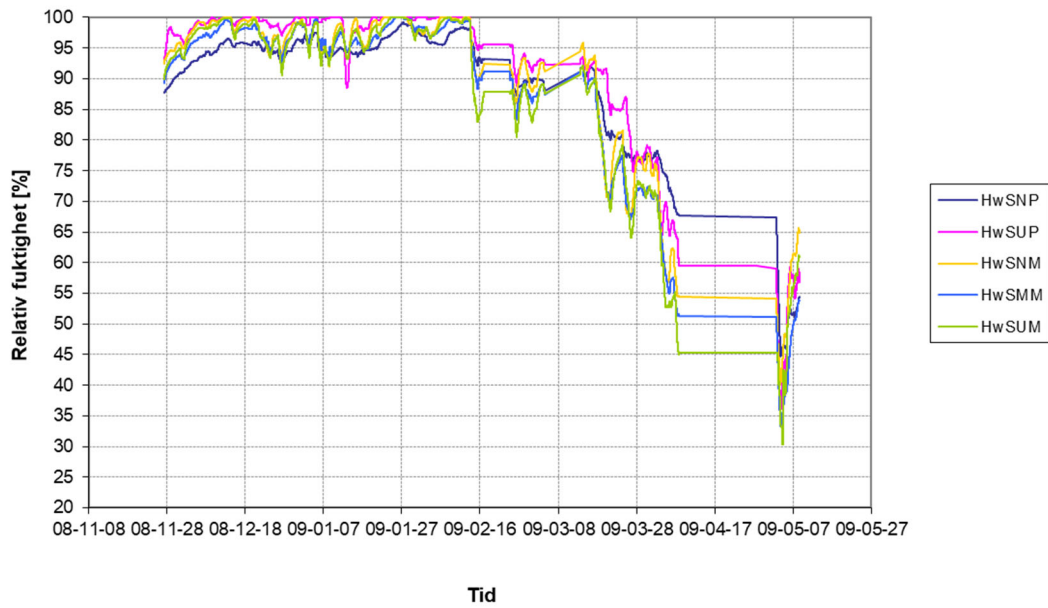
Provhuset - tak HoneyWell Norr Glidande dygnsmedelvärde

081126-090508



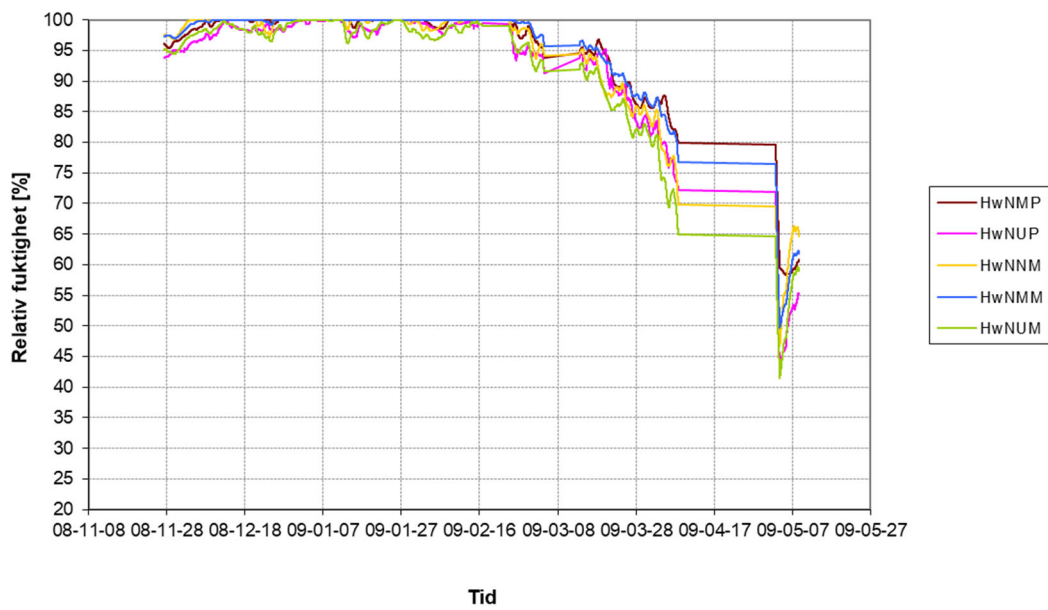
Provhuset - tak, Honeywell Söder Glidande dygnsmedelvärde

081126-090508



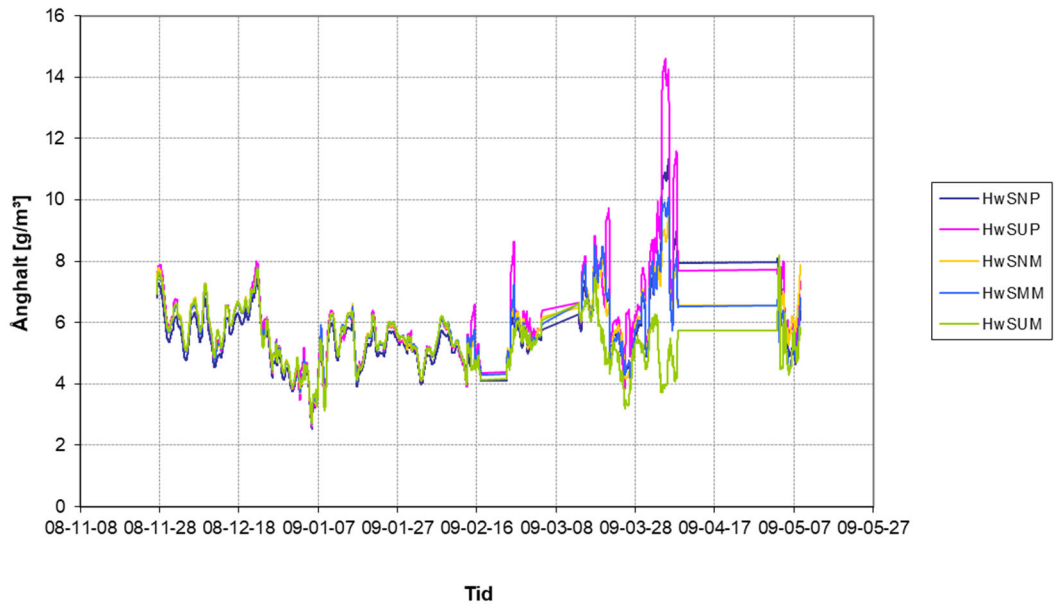
Provhuset - tak, Honeywell Norr

081126-090508



Provhuset - tak, Honeywell Söder Glidande dygnsmedelvärde

081126-090508



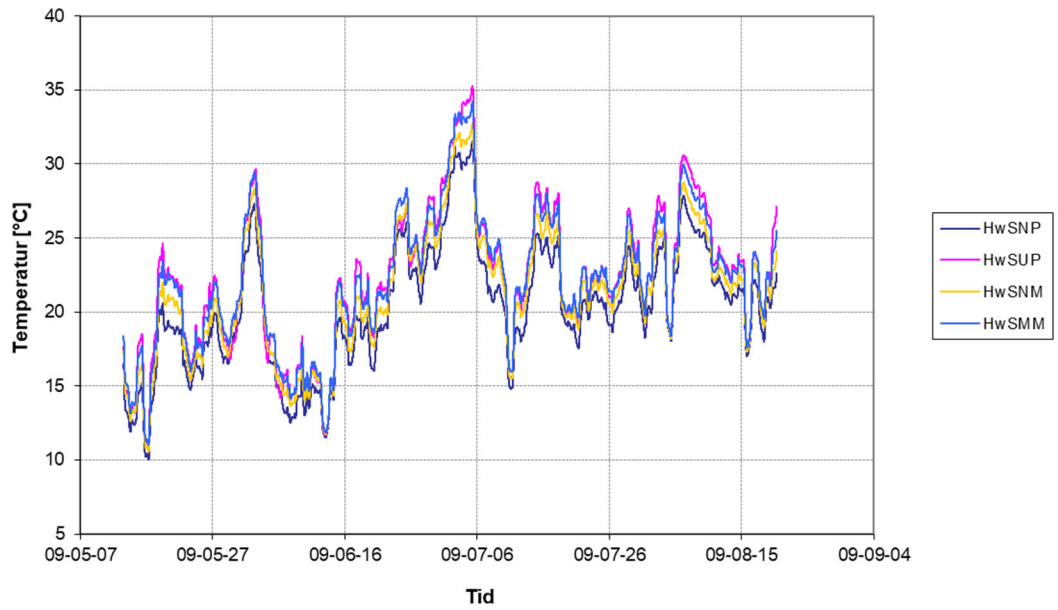
Provhuset - tak, Honeywell Norr Glidande dygnsmedelvärde

081126-090508



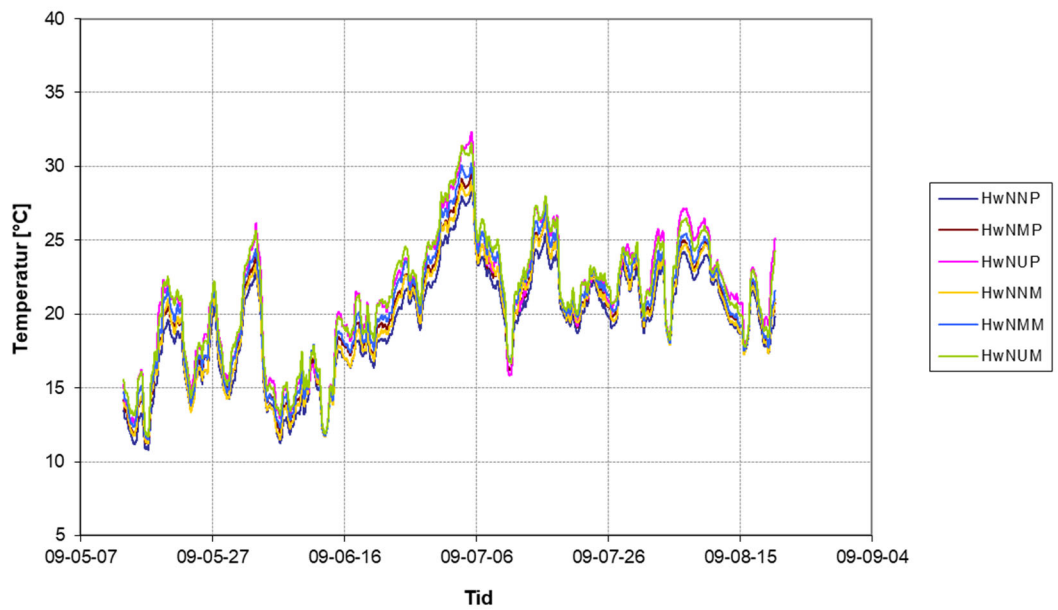
Provhuset - tak, HoneyWell Söder Glidande dygnsmedelvärde

090512-090820



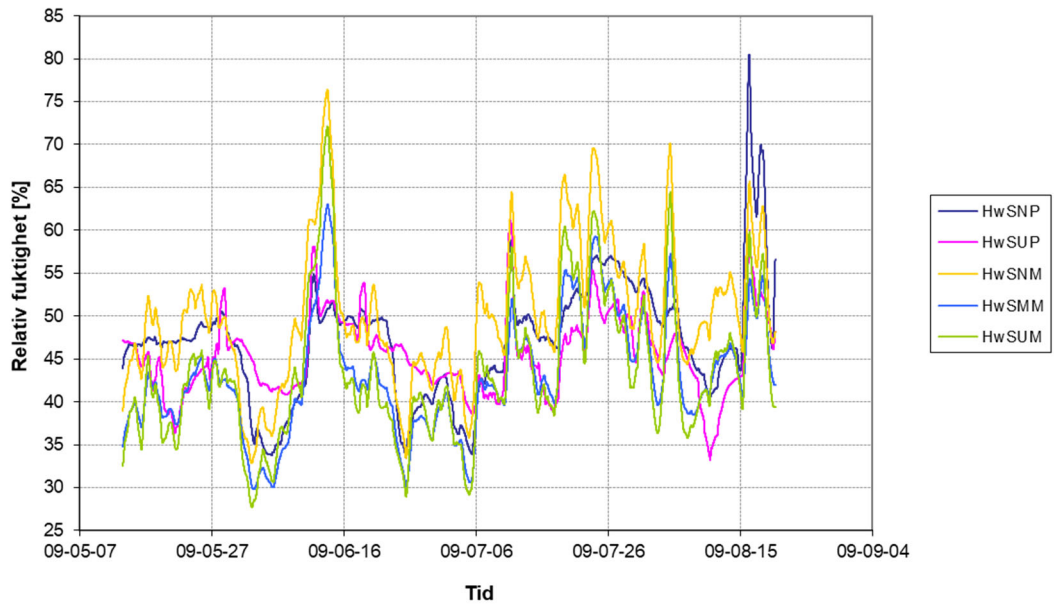
Provhuset - tak HoneyWell Norr Glidande dygnsmedelvärden

090512-090820



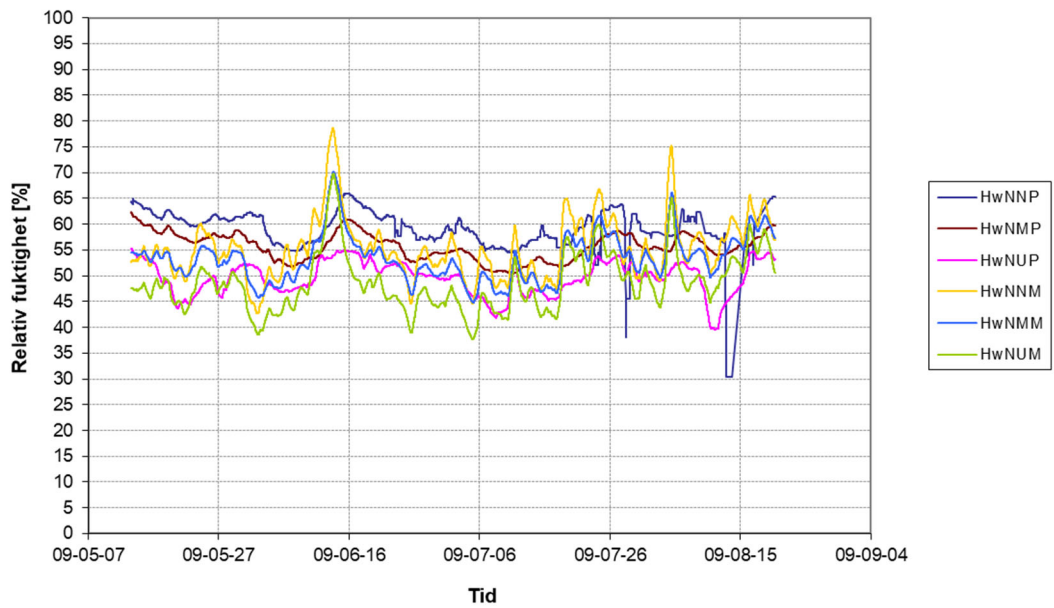
Provhuset - tak, Honeywell Söder Glidande dygnsmedelvärde

090512-090820



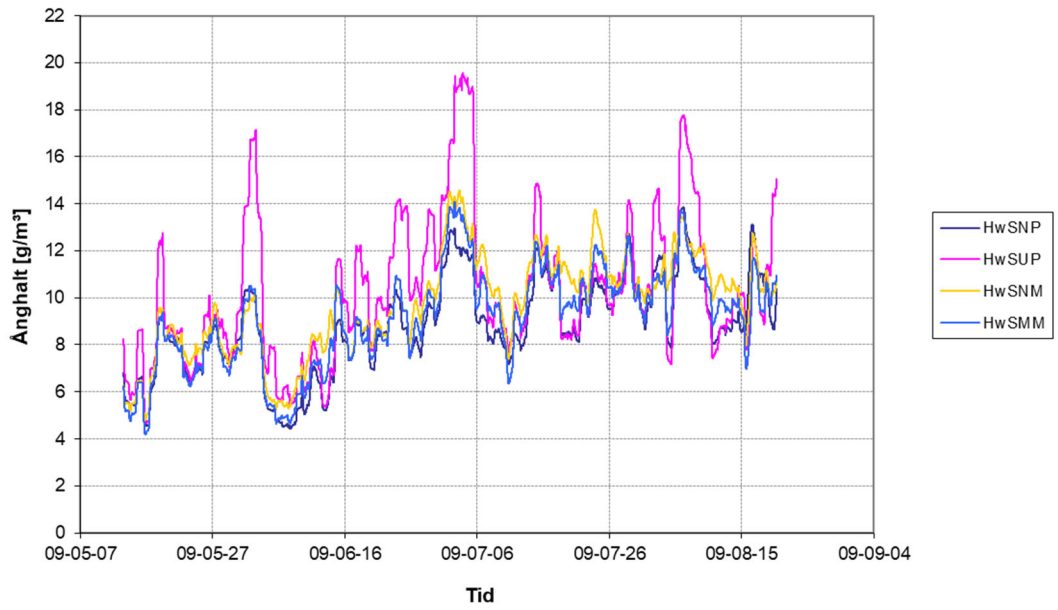
Provhuset - tak, Honeywell Norr Glidande dygnsmedelvärde

090512-090820



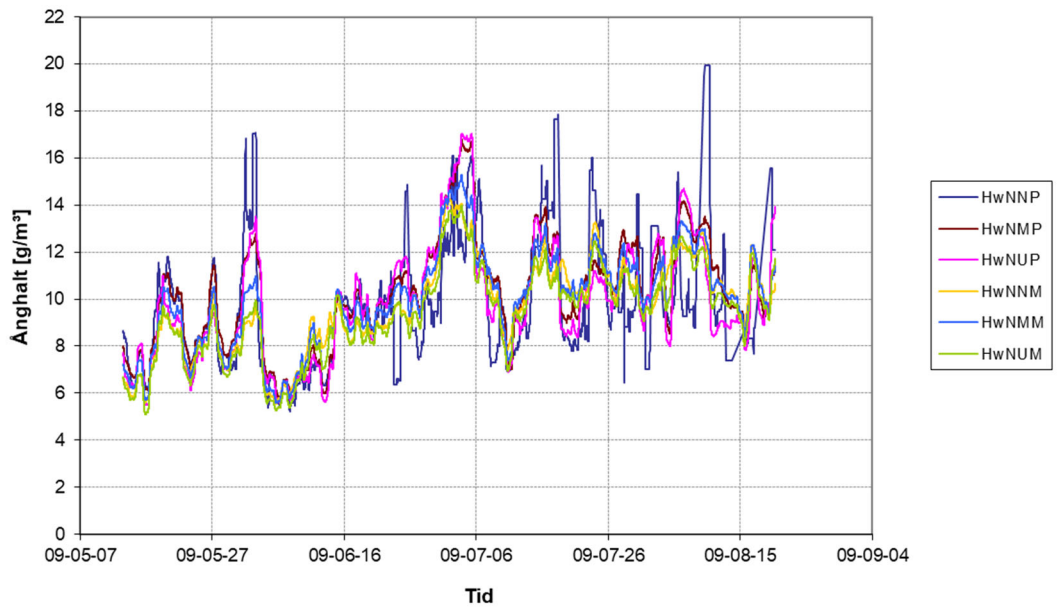
Provhuset - tak, Honeywell Söder Glidande dygnsmedelvärde

090512-090820



Provhuset - tak, Honeywell Norr Glidande dygnsmedelvärde

090512-090820



Bilaga C Inställningar WUFI Pro 6.4

Samtliga simuleringar har utförts med det kommersiella PC-programmet WUFI Pro 6.4. Beräkningarna genomförs i yttertak och uteluftventilerat vindsutrymme. Då simuleringsverktyget är endimensionellt är det inte möjligt att studera detaljer, genomföringar och anslutningar som till sin natur är två- eller tredimensionella. Vid simuleringarna är det ibland också nödvändigt att förenkla konstruktionerna genom att utesluta vissa delar av konstruktionen såsom ströläkt och bärläkt och ersätta dessa med en ventilerad luftspalt. Dessa förenklingar anses inte påverka resultatet i nämnvärd omfattning. Vissa materialegenskaper går inte att i detalj simulera såsom exakt kulör på takpannor etc. I dessa situationer väljs egenskaper som bedöms likna den verkliga konstruktionen i största möjliga utsträckning.

C.1 Inställningar

På de följande sidorna redovisas i korthet de inställningar som krävs för att genomföra beräkningar med programmet.

C.1.1 Uppbyggnad/Monitorposition

Modellen är i stora drag uppbyggd enligt nedanstående tabell.

Tabell C1: Indata till WUFI Pro 6.4

Material	Materialval i WUFI	Tjocklek (mm)
Betongpannor	Betong VCT 0,5, välhydratiserad	11
Ströläkt och bärläkt	Air Layer 30 mm	2
	Air Layer 30 mm; without additional moisture capacity	30
	Air Layer 30 mm	2
Alt. 1 Underlagspapp	Asphalt Impregnated Paper (10 min Paper)	2,5
Alt. 2 Diffusionsöppet underlagstak	3M™ Vapor Permeable Air Barrier 3015VP	0,5
Oventilerad luftspalt	Air Layer 10 mm	2
Råspont	Skandinavisk gran vinkelrett fibre	22
Vindsutrymme	Air Layer 150 mm	2
	Air Layer 150 mm; without additional moisture capacity	150
	Air Layer 150 mm	2
Mineralull	ISOVER ULTIMATE Klemmfilz - 035	195
Plastfolie	PE-folie 0,2 mm (Sd = 87)	1
Plywood	Plywood Board	12

Figur C1: Konstruktion enligt WUFI 6.4

C.1.2 Orientering/Lutning/Höjd

Orientering: Söder eller Norr

Lutning: 38°

Slagregnskoefficient:

R1: 1,0

R2: 0 s/m

C.1.3 Ytövergångskoefficienter

C.1.3.1 Yttre yta

Värmeövergångsmotstånd [Tak]

Vindberoende [Avböckad]

Sd-värde [Ingen ytbehandling]

Absorptionstal för kortvågig strålning [0,85, Takpannor, betong, bruna]

Emissionstal för långvågig strålning [0,9]

Reduktionsfaktorer orsakade av skuggning

 För absorptionsförmåga [1,0, Ingen skuggning]

 För emissivitet [1,0]

Explicit strålningsbalans [Förböckad]

Terräng, kortvågig reflektionsförmåga [0,2, standardvärde]]

Absorptionstal för regnvatten [0,5, Användardefinierat]

C.1.3.2 Inre yta

Värmemotstånd [0,125, Tak]

S_d-värde [Ingen ytbehandling]

C.1.4 Begynnelsevillkor

Begynnelsefuktighet i byggnadsdel [Medelvärde över byggnadsdel]

Begynnelsetemperatur i byggnadsdel [Medelvärde över byggnadsdel]

Relativ fuktighet vid start [80 %]

Begynnelsetemperatur i byggnadsdel [10 °C.]

C.1.5 Tid/profil

Start [2005-01-01 00:00]

Slut [2010-01-31 23:00] Ett extra dygn för att få med skottdagen 2008.

Tidssteg [1 h]

C.1.6 Numerik

Beräkningstyp:

Värmetransportberäkning [Förbockad]

Fukttransportberäkning [Förbockad]

Hygrotermiska specialinställningar:

Utan kapillärtransport [Avbockad]

Utan latent värme ånga-vätska [Avbockad]

Exkluderar temperaturberoende p.g.a. fasomvandling [Avbockad]

Utan latent värme vätska-fast [Avbockad]

Exkluderar värmeledningsförmågans temperatur- och fuktberoende [Avbockad]

Numeriska parametrar:

Ökad noggrannhet [Förbockad]

Konvergensförbättring [Förbockad]

Adaptiv tidsstegskontroll:

Sätt på [Förbockad]

Steg [3]

Max. steg [5]

Geometri:

Kartesiska [Markerad]

C.1.7 Utomhus

Karta/Fil:

1. Klimatdata från SMHI
 - Malmö A: Temperatur, RF, vind, nederbörd
 - Lund + Beräknat med Strång (före 2008-01-01): Globalstrålning
 - Beräknat med Strång: Direktstrålning
 - Moln: Falsterbo
2. Beräknat för Lund med Meteonorm V7.1.11
 - Azimut: 0°=South eller 180°=North
 - Inclination=0°
 - Albedo=Automatic
 - Horizon=Custom
 - Atmospheric turbidity=Interpolated
 - Data Import =--
 - Dataset=Use Meteonorm 7 climate data
 - Period radiation=1991-2010
 - Period temperature=2000-2009
 - Output format/Building simulation=WUFI / WAC

C.1.8 Inomhus

ISO13788

Använd vänster klimat [Förböckad]

Temperatur/Medelvärde [20°C]

Relativ fuktighet [Användardefinierat]

Fuktlast [0 g/m³], (oberoende av temperaturen utomhus)

C.1.9 Parametrar

Parametrar som varierar är luftomsättning på vinden, klimatdata utomhus samt typ av underlagstak på råsponten.

För luftomsättningen på vinden hämtas rimligt medelvärde från de mätningar med spår-gas som utförts av Pettersson (2014) på vinden i provhuset. Mätningarna utfördes enbart med normal ventilation på vinden, dvs. öppna luftspalter vid båda takfötterna samt fullt öppna gavelventiler. Resultat från Pettersson (2014) visar att ventilationen totalt sett varierar inom ett brett intervall från 0,0347 till 4,4712 omsättningar per timme, 71 % av de beräknade värdena ligger i intervallet mellan 1 och 4,5 oms/h. Medelvärdet för detta intervall blir 2,75 luftomsättningar per timme, som används vid omräkning till luftomsättning i WUFI-modellen i denna rapport, se avsnitt C.1.11.

För fallet med reducerad ventilation antas att denna motsvarar 20 % av ventilationen vid ”normalfallet”. Huruvida detta är sant har dock inte stöd från mätningar. Med reducerad ventilation blir således antagen luftomsättning 0,55 per timme.

Beträffande klimatet utomhus testades uppmätt klimatdata från SMHI för perioden 2005-01-01 till och med 2009-12-31. För att undersöka effekten av ett ”normalklimat” för orten används ett syntetiskt klimat beräknat med Meteonorm V7.1.11. Denna fil omfattar endast ett kalenderår. För en simulering som omfattar exempelvis fem år innebär detta att samma klimatdatafil upprepas fem gånger.

Två olika typer av underlagsmaterial på råsponten används i denna studie. Det första materialet är en traditionell underlagspapp. Det andra materialet är en ångbroms som normalt används som frihängande, dvs. utan underliggande råspont.

C.1.10 Begränsningar

I WUFI ingår materialdata från olika källor. Dessa omfattar material från Tyskland, Japan, Sverige, Nordamerika, Norge, Österrike samt en del data från företag. Den mest omfattande materialdatabasen är inte oväntat från Tyskland. Om exakt material saknas i databaserna väljs ett material med liknade egenskaper som det man avser använda vid simuleringarna.

Luftspalten mellan takpannor och underlagstäckning består i den aktuella konstruktionen av ströläkt samt bärläkt. Vid simuleringarna antas att detta utrymme uteslutande utgörs av luft. I WUFI finns två sorters luft att välja mellan. Den ena typen av luft kan

lagra orimligt stora mängder fukt, upp till 50 kg/m^3 . Den andra typen av luft kan endast lagra cirka 17 g/m^3 , vilket motsvarar mätnadsånghalten för luft vid knappt $+20^\circ\text{C}$. Den andra typen av luft, med lågt maximalt fukttinnehåll är det som bäst överensstämmer med verklig luft. Beräkningar i WUFI blir dock numeriskt besvärliga att utföra då ett material med hög fuktkapacitet, såsom trä, finns i direkt anslutning till vanlig luft. För att få smidigare numeriska modeller är det därför nödvändigt att använda ett tunt lager av luft med hög fuktkapacitet i direkt anslutning till material med hög fuktlagrande förmåga. För att säkerställa numerisk stabilitet kommer av denna anledning varje avsiktligt ventilerad luftspalt att byggas upp av tre lager luft.

Samma resonemang om luftspalter tillämpas för det uteluftventilerade vindsutrymmet, dvs. även för vinden används tre lager med luft. Två tunna med vardera 2 mm tjocklek närmast omgivande material och däremellan ett lager med ”vanlig” luft med tjockleken 150 mm.

C.1.11 Luftomsättning

Luftspalten mellan underlagstäckning och betongtakpannor anses vara mycket väl ventilerat med en luftomsättning motsvarande 50 omsättningar per timme.

Luftomsättningen på vinden måste räknas om från 2,75 omsättningar per timme, enligt avsnitt C.1.9, till en ekvivalent som är anpassad till den endimensionella modellen i WUFI.

Räkna på en 1 m bred strimla av det verkliga taket. Byggnaden är 7,0 m lång, 3,6 m bredd och har en taklutning på 38° . Då taket i provhuset är uppdelat i två lika stora sektioner blir volymen för respektive sektion enligt nedan.

Höjden i vindsutrymmet är.

$$H = \tan(38^\circ) \cdot \frac{3,6}{2} = 1,41 \text{ m}$$

$$V_{tak} = H \cdot \frac{B}{2} \cdot 1 = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 1 = 2,54 \text{ m}^3$$

Spalthöjden i WUFI-modellen är totalt 0,154 m.

Spaltens volym räknat per meter blir.

$$V_{spalt} = 1 \cdot 0,154 \cdot 1,8 = 0,28 \text{ m}^3$$

$$Q_{tak} = n_{tak} \cdot V_{tak} = 2,75 \cdot 2,54 = 6,99 \approx 7 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$n_{spalt} = \frac{Q_{tak}}{V_{spalt}} = \frac{6,99}{0,28} = 24,96 \approx 25 \text{ oms/h}$$

För fallet med reducerad ventilation enligt avsnitt C.1.9 blir följaktligen luftomsättningen i spalten.

$$n_{spalt}^{red} = 24,96 \cdot 0,20 = 4,99 \approx 5 \text{ oms/h}$$