



LUND UNIVERSITY

Ventilation och inomhusmiljö i moderna småhus – Mätningar och analys

Bagge, Hans; Johansson, Dennis; Jönsson, Dan; Rydén, Jesper; Fransson, Victor

2022

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Bagge, H., Johansson, D., Jönsson, D., Rydén, J., & Fransson, V. (2022). *Ventilation och inomhusmiljö i moderna småhus – Mätningar och analys*. (7130 uppl.) Lund University, Lund Institute of Technology, Division of Building Services, P.O. Box 118, SE-22100 LUND, Sweden,.

Total number of authors:
5

General rights

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

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

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

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

Take down policy

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

LUND UNIVERSITY

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

Ventilation och innemiljö i moderna småhus – Mätningar och analys

Hans Bagge
Dennis Johansson
Dan Jönsson
Jesper Rydén
Victor Fransson

Avdelningen för Byggnadsfysik & Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds Tekniska Högskola
Lunds universitet, 2022
Rapport TVIT-7130

© Hans Bagge, Dennis Johansson, Dan Jönsson, Jesper Rydén, Victor Fransson 2022

ISRN LUTVDG/TVIT – 22/7130--SE(111)

Avdelningen för Byggnadsfysik & Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds Tekniska Högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

Förord

En studie som kartlägger inomhusmiljön i svenska småhus har länge behövts, speciellt för nyare småhus. Tack vare våra finansörer blev det möjligt. Ett stort tack till PVF och Formas. Ett tack riktas också till de företagsrepresentanter som har fungerat som referensgrupp och deltagit på PVF:s möten och kommit med idéer och synpunkter på projektet. Ett tack går också till alla media som har hjälpt till att sprida våra resultat under projektets gång. Vi vill också rikta ett stort tack till alla villaägare som har varit med i projektet och deltagit med att samla in data!

Lund, Augusti 2021

Innehållsförteckning

1	Introduktion.....	7
1.1	Bakgrund	7
1.2	Syfte.....	9
2	Metod.....	11
2.1	Urval av orter och byggnader samt mätperioder	11
2.2	Orternas uteklimat	11
2.3	Insamling av data.....	13
2.4	Statistiska metoder och modeller	14
2.4.1	Regression och Anova – linjära modeller	14
2.4.2	Övrig metodik	14
3	Presentation av husen.....	17
3.1	Area, boendetäthet	17
3.2	Uppvärmnings- och ventilationssystem.....	19
3.3	Vädringsmönster	19
4	Resultat från enkätstudien.....	21
4.1	Upplevelse av inomhusmiljö – luftkvalitet.....	21
4.2	Upplevelse av inomhusmiljö – ljudförhållanden	25
4.3	Upplevelse av inomhusmiljö – värmekomfort.....	27
5	Hur är ventilationsflödet och vad störs man av?.....	29
5.1	Uppmätta ventilationsflöden	29
5.2	Frånluftsflöden och störningar.....	33
6	Inomhustemperatur och relativ fuktighet.....	37
6.1	Variation under året.....	37
6.2	Fördelning under uppvärmningssäsongen.....	43
6.3	Inomhustemperatur som funktion av utomhustemperaturen.....	46
6.4	Samband mellan relativ fuktighet inomhus och olika parametrar	49
6.5	Samband mellan inomhustemperatur och olika parametrar	50
7	Fukttillskott.....	53
7.1	Fukttillskottets variation under året	53
7.2	Fukttillskottet som funktion av utomhustemperaturen.....	56
8	Koldioxidkoncentrationer i sovrum och hall	59
8.1	Medelvärden under året och fördelning mellan byggnader	59

8.2	Koldioxidkoncentrationen i relation till ventilationsflöde och antalet personer	64
8.3	Koncentrationen i sovrum och husets ventilationsflöde	65
8.4	Koncentrationen i hall och husets ventilationsflöde	68
8.5	Koncentrationen i sovrum och antalet personer i huset	70
8.6	Koldioxidkoncentrationer som funktion av antal personer och ventilationsflöde	72
8.7	Vädring och koldioxidkoncentrationer	74
9	Variationer i indata till energiberäkningar – påverkan på beräkningsresultat	77
9.1	Uppmätta parametrar och deras fördelning.....	77
9.2	Hushållsel och tappvarmvatten baserat på antalet personer	79
9.3	Simuleringsmodell.....	79
9.4	Simuleringsmetod	80
9.5	Resultat.....	80
10	Diskussion.....	83
11	Referenser	85
12	Bilagor.....	87
12.1	Temperaturer	87
12.2	Relativ fuktighet.....	94
12.3	Fukttillskott	101
12.4	Koldioxid.....	105
12.5	Uteklimat.....	108

1 Introduktion

Enligt SCB finns det cirka 2 miljoner småhus i Sverige, vilket gör dem till den vanligaste bostadstypen. Omkring 9 000 nya småhus byggs varje år och när det gäller hållbarhetsmål är det viktigt att dessa nya byggnader fungerar bra från alla hållbarhetsaspekter. Fristående husbyggande involverar ett antal aktörer, till exempel myndigheter/tillsynsorgan, kommuner, material- och produktionsindustrier, projekteringsingenjörer, entreprenörer och utvecklare/ägare. Det industriella behovet av kunskap om hur nybyggnader fungerar är därför stort.

I den här rapporten presenteras mätningar, gjorda i 150 småhus i tre grupper. 50 småhus valdes inom ett område i en kommun i södra Sverige, Jönköping, och 50 hus valdes inom ett område i en kommun i norra Sverige, Umeå. Ytterligare mätningar gjordes i 50 småhus som var utspridda i hela Sverige. Med detta uppnåddes en täckning av byggnader med olika tekniska lösningar, energiprestanda och geografisk placering samtidigt som det blev möjligt att inför framtiden bedöma hur södra respektive norra Sverige kan jämföras med hela Sverige. Upplägget har givit mätdata från förhållandevis många småhus med god spridning till en rimlig mätkostnad. Eftersom BETSI-studien mätte i småhus byggda fram till 2005, valdes i detta projekt småhus byggda 2006-2015.

Tidigare studier i Sverige av ventilation i småhus byggda före 2006 visar att de ofta är undermåligt ventilerade. Detta ger konsekvenser på en god inomhusmiljö och risk för fuktskador. Vidare ger det en skenbart låg energianvändning om man förutsätter att luftflödet måste höjas. För att säkerställa bra inomhusmiljö behövde tidigare studier följas av en ny som studerade hus byggda från och med 2006. Dessutom, för att vi ska kunna utveckla energieffektiva och ändamålsenliga småhus framöver, behövdes mer praktisk kunskap om hur ventilation, inomhusmiljö och energianvändning fungerar i småhus som är byggda på senare år. Forskningsprojektet gjordes i samarbete med Plåt&Vent Forum (PVF) som gav 38% i samfinansiering varav 88% i form av kontanter. Dessutom skedde samarbete kring spridning och kommunikation med Springtime AB. Springtime och PVF har sedan projektet startade genomfört mängder med mediainsatser i tidningar, webbinslag, radio och tv.

Projektet genomfördes av forskare på de två avdelningarna för Installationsteknik och Byggnadsfysik på LTH. Hans Bagge och Dennis Johansson har planerat metoder och mätupplägg, möjliggjort finansiering av projektet samt analyserat alla mätdata och enkätsvar. Dan Jönsson har planerat genomförandet av mätningarna, installerat all mätutrustning, delat ut enkäter och utfört alla mätningar i husen och kommunicerat med de boende. Victor Fransson har gjort energiberäkningar baserat på mätresultaten och Jesper Rydén, Sveriges lantbruksuniversitet, har utfört statistisk analys av mätresultaten.

1.1 Bakgrund

Människor påverkas betydligt av inomhusmiljön och studier, även om de inte är nya, visar att vi tillbringas större delen av vår tid inomhus (Lech et al, 1996). Det är också väl dokumenterat att ventilationen påverkar människors hälsa och välbefinnande samt prestation (Bornehag et al, 2005; Hägerhed-Engman et al, 2009; Fischer et al, 2015; Seppänen och Fisk, 2005; Jönsson, 2005). Dålig ventilation kan leda till problem med fuktskador (Abdul et al, 2015; Johansson et al, 2014). Det är väldokumenterat att fukt och därav följande tillväxt av mikrobiologiska ämnen som mögel och bakterier liksom andra ämnen som ska avlägsnas med ventilation kan leda till hälsoproblem (Emenius et al, 2004; Bornehag et al, 2005; Antova et al, 2008; Sun et al, 2009; Haverinen-Shaughnessy, 2012; Tagigawaa, et al, 2012; Guo et al,

2013; Wang et al, 2013; Sahlberga et al, 2013; Suna och Sundell, 2014; Choi et al, 2014 ; Takaoka et al, 2016). Det visar sig också att ur ett samhällsperspektiv så kan kostnader sparas om värdet av god hälsa, välbefinnande och prestanda tas hänsyn till (Jansson, 2006; Johansson, 2009). Här ges ett urval av studier, och det är klart att det finns många studier över hela världen under en ganska lång tidsperiod som visar att det är klart att ventilation av byggnader är viktigt och inte får förbises.

BETSI -studien som genomfördes av Boverket (Boverket, 2010) undersökte ventilation i småhus byggda före 2006. Man såg att dessa ofta var otillräckligt ventilerade, även i de mer moderna småhusen som var byggda mellan 1996 och 2005. Några förklaringar gavs inte till varför ventilationen var i underkant. Under de senaste åren har F- (FVP-) eller FTX-ventilation installerats i nästan alla småhus, vilket har ökat möjligheten att uppfylla kraven på god ventilation. Enligt de svenska byggreglerna bör luftflödet vara 0,35 l/(s·m²) men få studier har gjorts som visar att detta i själva verket är tillräckligt för att säkerställa frisk luft för alla boende i alla delar av en byggnad. Dessutom finns det mycket lite praktisk erfarenhet av hur mycket av en byggnads uppmätta prestanda som kan bero på dålig ventilation. Genom att mäta luftflödet, koldioxid och fukt, som ventilationen är avsedd att ta bort, och inomhustemperatur är det möjligt att bestämma en acceptabel ventilationsnivå och hur detta påverkar byggnadens energianvändning och effektvärden. Eftersom dessa parametrar är energirelaterade kommer de att få allt större betydelse eftersom kraven på byggnader skärps mot nZEB-krav. Resultat från ett antal forskningsprojekt har visat att trots att moderna välisolerade byggnader med till- och frånluftventilationssystem kan erbjuda god termisk komfort vid en lägre inomhustemperatur än i äldre byggnader, är inomhustemperaturerna högre under uppvärmningssäsongen i dessa moderna byggnader, och ett antal grader högre än projekterat, vilket leder till felaktiga tolkningar av energianvändningarna (Enerbuild, 2012; Thomsen et al, 2005). Mätstudier som BETSI och initiativ som SVEBY -programmet har gett en viss mängd information men det saknas fortfarande kunskap om hur ventilationen faktiskt fungerar i småhus och särskilt i nybyggda hus. SVEBY-programmet påpekar också att referensdata för användarrelaterade energiparametrar måste uppdateras och läggas till.

Fukttillskottet i en byggnad avgör hur byggnadsskalet hanterar risken för fuktskador (Nevander och Elmarsson, 1994; Abdul et al., 2015). Det saknas långtidsmätningar av fukttillskott i småhus medan viss data för flerbostadshus finns tillgängliga (Bagge et al., 2010; Bagge et al., 2014). Koldioxidhalten är en vanlig indikator på luftkvaliteten. Ändringar kan användas för att bestämma närvaro (Melikov och Markov, 2014). Återigen saknas mätningar i moderna småhus även om det finns ett antal mätningar för befintliga flerbostadshus (Johansson et al., 2011; Johansson et al., 2015).

Ett framgångsrikt införande av nya byggregler, där både ett specifikt ventilationsluftflöde och väsentligt förbättrad energiprestanda är målet, kräver goda kunskaper om den faktiska ventilationsprestandan för hus som nyligen byggts. En viktig del av en byggnads energiprestanda kan spåras tillbaka till hur ventilationssystemet fungerar och, om det är ett för lågt ventilationsflöde, kan byggnaden felaktigt anses ha en bra energiprestanda när det i själva verket beror på ett för lågt ventilationsflöde. Detta kan då dölja andra brister i byggnaden som annars skulle vara viktiga att utreda.

Samtidigt är det viktigt att informera om fördelar och nackdelar för allmänheten så att de olika aktörerna och intressenterna, från material- och produktleverantörer till de boende själva, får ökad förståelse för ventilations roll. Samhället har fokuserat på hållbarhet och det är viktigt att forskning kommunicerar vad bra hållbarhet är och hur det uppnås i ett bredare perspektiv. Samtidigt behöver husägare praktisk kunskap så att de kan hantera sina hus på ett

optimalt sätt vilket har visat sig vara effektivt (Enerbuild, 2012). Av denna anledning är det önskvärt att det sker en strategiskt riktad informationsspridning till dessa grupper.

Kommunikation av olika delresultat har under projektet genomförts till olika aktörer och intressenter i samhället som boende, husägare, byggherrar, entreprenörer, konsulter, användare och myndigheter med hjälp av en professionell kommunikatör, Springtime AB, och via Plåt & Vent Forum AB nätverk samt genom nationella konferenser arrangerade av Fuktcentrum och på seminarier om inomhusmiljö under Almedalsveckan 2018.

1.2 Syfte

Huvudsyftet med projektet är att genomföra en representativ empirisk studie av ventilation och inomhusrelaterade parametrar i nybyggda småhus i Sverige, med följande delmål:

- Tillhandahålla representativa data för småhus byggda efter BETSI -studien, där hus som byggdes före 2006 undersöktes, för att ge kontinuitet i uppmätta data fram till idag. Mätningarna kommer att utföras under ett helt år, i motsats till många andra studier där mätningar endast har utförts under korta perioder, vilket har begränsat analysmöjligheterna. Hus används faktiskt året om under olika klimatförhållanden och data krävs därför för ett helt år.
- Att analysera och beskriva mätdata för att ge kunskap om hur moderna småhus fungerar och ge resonemang kring ventilation och inomhusrelaterade parametrar även med tanke på framtida krav på energi- och fuktsäkerhetsprojektering avseende nZEB.
- Att kommunicera resultat och slutsatser till offentliga och privata aktörer och intressenter i syfte att öka kunskapen och medvetenheten om ventilation och energianvändning i småhus.
- Att presentera uppmätta parametrar så att olika aktörer kan använda dem som referensdata och jämförelsematerial

Projektet syftar till att ge ökad kunskap om småhus och deras användare, vilket i sin tur kan vara en del i att göra det möjligt för den framtida bostadsindustrin att utveckla nya tekniker och säkerställa kvaliteten på energieffektiva hus.

2 Metod

Projektets metod kan i korthet sammanfattas i följande punkter:

- Bestämma studieobjekt, byggnader
- Besöka byggnaderna
 - Montera mätutrustning för kontinuerliga mätningar
 - Genomföra momentana mätningar
 - Dela ut enkät om inneklimat
- Samla in och strukturera mätdata
- Analysera mätdata
- Rapportera och kommunicera

Resultat och analyser presenteras i rapportens resultatkapitel. Detaljerad metod för de olika analyser som gjorts av mätdata materialet beskrivs i rapportens resultatkapitel. Nedan beskrivs mer generella metoder för projektet.

2.1 Urval av orter och byggnader samt mätperioder

Studien har utförts i två etapper. I etapp 1 valdes två medelstora svenska städer ut för mätningar i 50 småhus per stad, Jönköping i södra delen av Sverige (latitud 57,77°) och Umeå i norra delen av Sverige (latitud 63,83°). Villaområden byggda under perioden 2006-2015 identifierades i städerna och i dessa områden delades ett informationsmaterial om projektet ut i brevlådor. I materialet beskrevs projektet och syftet med projektet, att det fanns möjlighet att vara med i projektet genom att mätningar skulle utföras i huset, hur mätdata skulle användas samt att det var frivilligt att delta. Efter ett par dagar gjordes ett besök där det fanns möjlighet att personligen diskutera projektet och om husinnehavarna var intresserade av att vara med bestämdes en tid för att göra mätningar och installera mätutrustning.

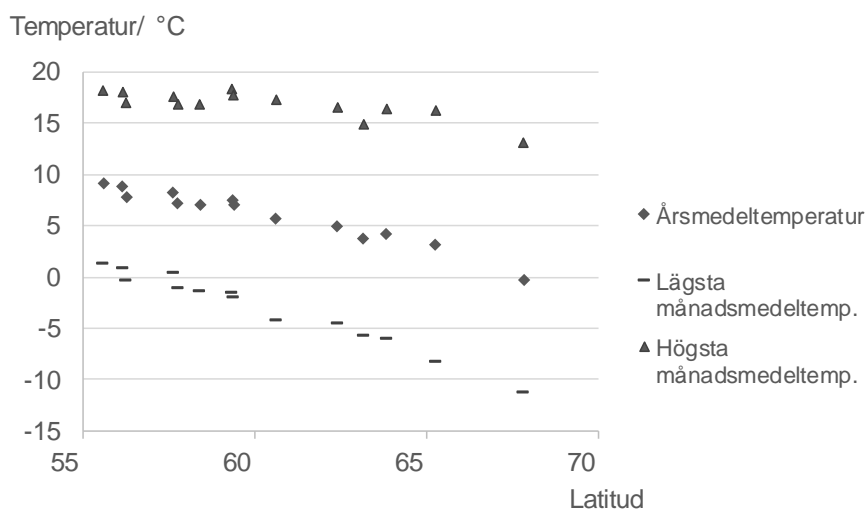
I etapp 2 valdes 12 orter genom att på en Sverigekarta pricka in orter så att det totala urvalet av orter såg ut att representera en spridning i landet från söder till norr, kust och inland samt olika storlek på tätort. Orterna, deras latitud samt en del uteklimatdata presenteras i Tabell 2.1. Kontakt togs med stadsbyggnadskontoren på orterna och bland småhus byggda på orten mellan 2006 och 2015 valdes slumpmässigt cirka 10 adresser. Till dessa adresser skickades ett brev som beskrev projektet och syftet med projektet, att det fanns möjlighet att vara med i projektet genom att mätningar skulle utföras i huset, hur mätdata skulle användas samt att det var frivilligt att delta. I brevet fanns kontaktuppgifter till forskargruppen för eventuella frågor samt möjligheten att via e-post eller telefon anmäla intresse för att vara med i studien. Responsen var god och det var enkelt att hitta småhus som kunde vara med i studien.

2.2 Orternas uteklimat

I Tabell 2.1 presenteras latituden för de tätorter som ingår i studien tillsammans med ortens månadsmedeltemperatur samt månadsmedeltemperaturerna för årets varmaste respektive kallaste månad på orten. Dessa data är hämtade från SMHI. Figur 2.1 presenterar de temperaturer som finns i Tabell 2.1 Latitud, årsmedeltemperatur samt högsta respektive lägsta månadsmedeltemperatur (data från SMHI) för de olika tätorterna som ingår i studien.

Tabell 2.1 Latitud, årsmedeltemperatur samt högsta respektive lägsta månadsmedeltemperatur (data från SMHI) för de olika tätorterna som ingått i studien.

Tätort	Latitud/°	Årsmedeltemperatur /°C	Lägsta månadsmedeltemp. /°C	Högsta månadsmedeltemp. /°C
Malmö	55,61	9,18	1,24	18,25
Karlskrona	56,15	8,84	0,82	18,03
Hässleholm	56,28	7,73	-0,29	16,97
Visby	57,64	8,18	0,38	17,59
Jönköping	57,77	7,20	-1,09	16,87
Skara	58,41	7,06	-1,43	16,93
Stockholm	59,35	7,44	-1,62	18,31
Karlstad	59,38	7,03	-1,98	17,68
Falun	60,62	5,70	-4,31	17,28
Sundsvall	62,41	4,99	-4,48	16,49
Östersund	63,17	3,70	-5,79	14,94
Umeå	63,83	4,27	-6,04	16,38
Piteå	65,26	3,14	-8,30	16,26
Kiruna	67,83	-0,35	-11,31	13,17



Figur 2.1 Årsmedeltemperatur samt lägsta och högsta månadsmedeltemperatur (data från SMHI) som funktion av latituden för de tätorter som ingår i studien.

Av värdena i Tabell 2.1 och Figur 2.1 framgår att årsmedeltemperaturen varierade inom ett spann på nästan 10°C mellan de olika orterna. Månadsmedeltemperaturen för årets kallaste månad på de olika orterna varierade inom ett spann på nästan 15°C medan månadsmedeltemperaturen för årets varmaste månad på de olika orterna varierade inom ett spann på cirka 5°C. För fyra av orterna är den lägsta månadsmedeltemperaturen högre än årsmedeltemperaturen i Kiruna. Den variation i temperatur som kan ses för orter på nästan samma latitud kan bero på om tätorten ligger vid kust eller inland samt öst- eller västkust. Medan både årsmedeltemperaturen och lägsta månadsmedeltemperatur har tydliga gradienter med minskad temperatur för ökad latitud är gradienten väsentligt mindre för högsta månadsmedeltemperatur och för orter på latituder mindre än cirka 60 finns det ingen tydlig gradient.

2.3 Insamling av data

Insamlad data från projektet omfattar både momentana mätningar vid enstaka tillfällen, kontinuerliga mätningar över ett år och kvalitativa data i form av enkätsvar. I alla hus har temperatur och relativ fuktighet mätts i hall och största sovrum kontinuerligt under cirka ett år med en tidsupplösning om var 5:e eller 6:e minut beroende på vilken mätutrustning som använts. I 70 hus har även koldioxidkoncentrationen mätts i dessa rum.

Varje hus har besökts för att montera mätutrustningen som mätt kontinuerligt under ett år. Under besöket mättes även luftflöden i ventilationsdonen. En allmän övergripande statuskontroll av byggnaderna gjordes i diskussion med de boende för att identifiera eventuella uppenbara problem som kan relateras till ventilation, inomhusmiljö och energianvändning. I samband med besöket delades enkäter som behandlade de boendes upplevelse av inomhusklimatet ut tillsammans med förfrankerade kuvert som sedan de besvarade enkäterna kunde skickas med. Frågor i enkätaterialet var motsvarande dem som användes i BETSI-studien (Boverket, 2009) men utan frågor som behandlar hälsa.

I etapp 1 har inomhustemperatur och relativ fuktighet mätts med Hobo UX100. Temperatursensorn har en noggrannhet på $\pm 0,21^\circ\text{C}$ vid temperaturer 0 till 50°C och driften per år är lägre än $0,1^\circ\text{C}$. Sensorn för relativ fuktighet har en noggrannhet på typiskt $\pm 2,5\%$ (maximalt $\pm 3,5\%$) vid relativ fuktighet mellan 10% till 90% och utanför detta intervall är noggrannheten typiskt $\pm 5\%$.

I de byggnader som koldioxidkoncentrationer mätts i under etapp 1 förutom koldioxid även temperatur och relativ fuktighet mätts med Extech SD800. Koldioxidsensorn mäter koncentrationen med noggrannheten ± 40 ppm för koncentrationer lägre än 1000 ppm. Temperatursensorn har en noggrannhet på $\pm 0,8^\circ\text{C}$. Sensorn för relativ fuktighet har en noggrannhet på $\pm 4\%$ i spannet mellan 10 och 90% relativ fuktighet.

I etapp 2 har koldioxidkoncentrationer, temperatur och relativ fuktighet mätts med IC-Meter Mobile. Koldioxidsensorn mäter med en noggrannheten ± 30 ppm. Temperatursensorn mäter med noggrannheten $\pm 0,3^\circ$ och driften per år är mindre än $0,04^\circ\text{C}$. Sensorn för relativ fuktighet mäter med noggrannheten $\pm 2\%$ inom intervallet 20-80% och driften per år är lägre än $0,5\%$.

Mätinstrumentet Swema 3000 har använts för att utifrån differenstryck över kända ventilationsdon mäta ventilationens luftflöde. Mätosäkerhet vid $23^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ anges för differenstryck till $\pm 1\%$ av avläst värde, lägst $\pm 0,4$ Pa (efter nollning), för barometer $\pm 2,5$ hPa och för temperatur med inkluderat termoelement $\pm 0,3^\circ\text{C}$ vid -10 till 70°C .

I de fall ventilationsdonens specifikationer varit okända eller andra omständigheter inte möjliggjort differenstrycksmätningar har tillbehöret luftflödesstos använts tillsammans med Swema 3000. Luftflödesstosen har en mätosäkerhet för luftflöde på $\pm 3\%$, som minst min $\pm 0,5$ l/s eller $\pm 1,8$ m³/h.

Utomhusklimatdata har hämtats från SMHI för orter där detta har funnits tillgängligt och mätts med HOBOS loggrar vid byggnaderna där så inte var fallet.

2.4 Statistiska metoder och modeller

I många sammanhang vill man utreda om en skillnad i förväntat utfall mellan två grupper kan anses statistiskt säkerställd. Beroende på datatyp och datainsamlingens natur kan då olika former av statistiska test utföras. I tillämpad statistik kan ofta resultatet av ett test sammanfattas i ett s.k. p-värde. Om detta är lägre än ett på förhand bestämt värde (vanligtvis 0,05) anses man ha en statistiskt påvisad skillnad.

2.4.1 Regression och Anova – linjära modeller

Flertalet analyser i denna rapport sker med linjär regressionsanalys. Man har då en uttalad **responsvariabel** och en eller flera **kovariater** (enkel resp. multipel regression). I matrisform kan modellen skrivas

$$y = X\beta + e$$

där y är en vektor med observationer av responsvariabeln, designmatrisen X innehåller observationer av kovariaterna och e är en vektor som betecknar slumpmässigt fel. Vektorn β innehåller regressionskoefficienter motsvarande kovariaterna. En kovariat kan vara en kategorisk variabel, t.ex. beskriva ventilationssystem av två typer. I situationen med endast en kovariat vilken är kategorisk, talar man om variansanalys (Anova), ensidig indelning.

För praktiska ändamål kan en regressionsmodell sammanfattas i tabeller där de skattade regressionskoefficienterna presenteras. I modern programvara presenteras då oftast även ett p-värde för kovariaten i fråga. I modeller med flera ingående kovariater utgör detta ett sätt att utreda om ingående kovariater är statistiskt signifikanta (på statistiskt fackspråk görs test av Wald-typ för varje enskild kovariat). Alternativt kan en skattad modell sammanfattas i en Anovatabell. Även där kan p-värden avläsas.

I statistisk metodik talas ibland om hantering av s.k. upprepade mätningar. Detta blir aktuellt i föreliggande arbete, då vi har mätningar av flera hus från samma ort. Själva orten kan då stå för ett bidrag till slumpmässig variation, som man primärt inte är intresserad av. En metodik är då att införa en linjär blandad modell (engelska: linear mixed model). Med statistiskt språkbruk talar man om flera varianskomponenter, vilka uppträder i en sådan modell. En matrisformulering ges av

$$y = X\beta + Zu + e$$

där det utöver tidigare modell tillkommit en s.k. incidensmatris Z och slumpmässiga effekter i vektorn u med tillhörande varianskomponenter.

Då responsvariabeln är ett heltal, eller binär, används metodik från generaliserade linjära modeller. I det förra fallet Poissonregression eller negativ-binomial-regression, i det senare, logistisk regression.

Skattningar av parametrar i de presenterade modellerna kan ske med metodik baserad på maximum likelihood och finns implementerat i programvara. I detta arbete har använts R, där speciellt för de blandade modellerna paketet lme4 har kommit till använts.

2.4.2 Övrig metodik

I en del sammanhang vill man testa ett statistiskt säkerställt beroende mellan två kategoriska variabler. Typiskt är då att använda varianter av chi²-test. I fallet med två variabler, vardera med två nivåer, kan Fishers exakta test komma till användning.

I några studier har vi enbart studerat korrelationen mellan två (kontinuerliga) variabler, alltså ingen regressionsmodell med parametrar att skatta. Även här kan ett test utföras, och ett p-värde kan genereras, vilket kan underlätta beslut kring eventuell statistisk säkerställd korrelation.

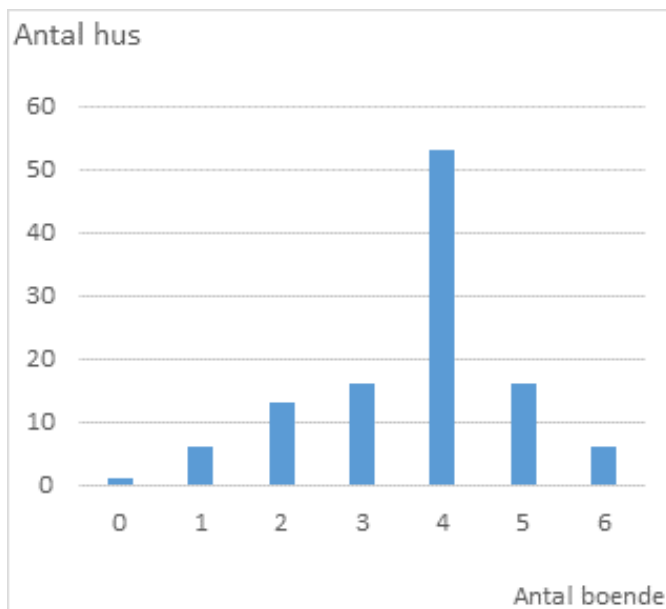
I något fall har det s.k. Kruskal-Wallis test använts för att utreda eventuell signifikant mellan grupper. Detta är ett s.k. ickeparametriskt test som baseras på inbördes ranger hos observationer. Det har sämre statistisk styrka än motsvarande test som bygger på fördelningsantaganden, men kan ses som ett alternativ i krävande situationer.

3 Presentation av husen

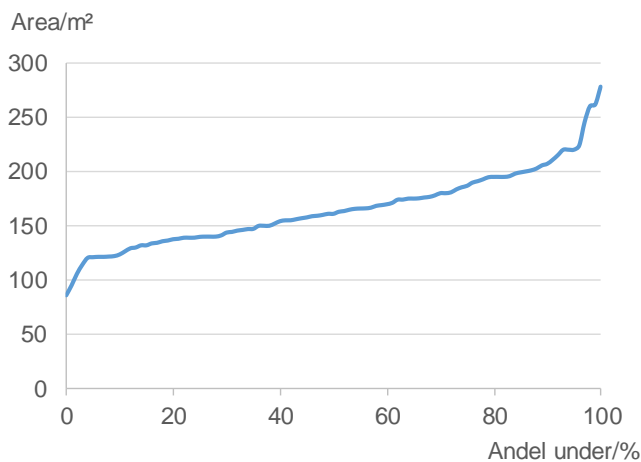
Data om de studerade husen har insamlats genom enkäter och i samband med besök i husen. Det handlar om exempelvis hur många som bor i husen och vilket uppvärmningssystem och ventilationssystem som används. Uppgift om golvarea finns för samtliga hus i studien medan uppgift om andra parametrar saknas för delar av materialet då detta inte informerats om i samband med besök i husen eller i enkäten.

3.1 Area, boendetäthet

I Figur 3.1 nedan presenteras hur många personer som bor i 109 av de studerade husen som denna uppgift finns för. I ett av husen är det angivet att det inte bor någon samtidigt som det inkommit svar för huset och en anledning kan vara att huset inte används som permanentbostad. Det vanligaste antalet boende är fyra personer vilket är aktuellt för nästan hälften av de studerade husen.

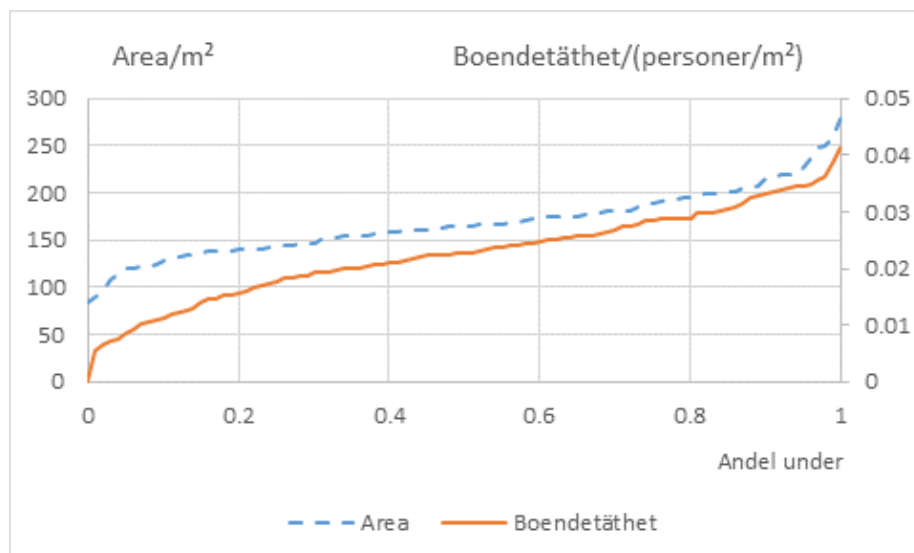


Figur 3.1 Antalet hus med ett visst antal boende.



Figur 3.2 Fördelning av golvarean i de studerade husen.

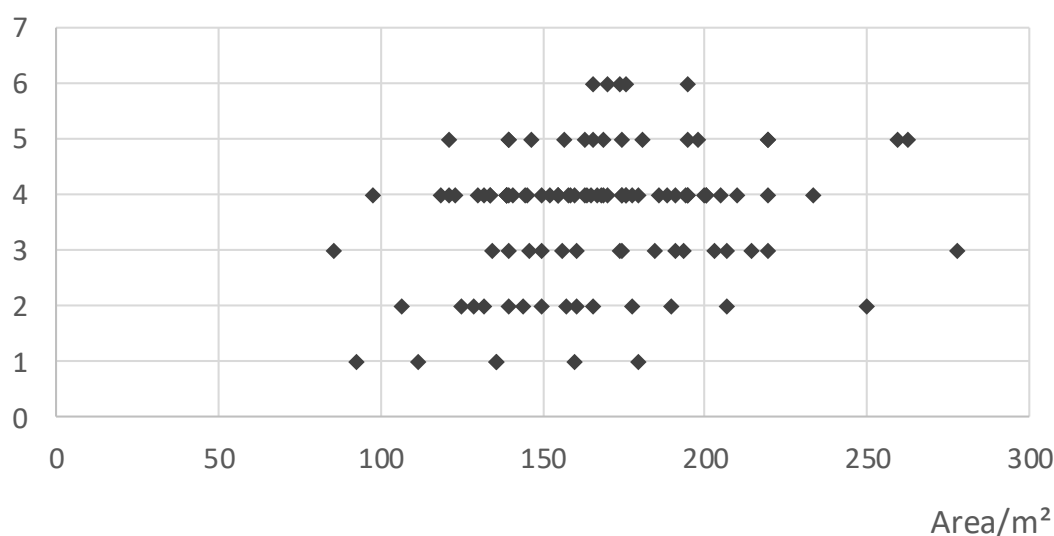
Husens area varierar från cirka 90 m² till 280 m² och i medeltal är arean 165 m² och medianen är 161 m². Fördelningen av arean presenteras i Figur 3.2. För de byggnader som det finns information om antalet boende kan boendetätheten beräknas och den varierar från noll till strax över 0,04 personer per m². Det är ett hus som har boendetäthet noll vilket följer av att det i enkäten inte angetts att det bor någon i det huset. Figur 3.3 presenterar fördelningarna för husens area och för boendetätheten. Medianvärdet för boendetätheten är cirka 0,022 personer/m².



Figur 3.3 Fördelning av area och boendetäthet.

Figur 3.4 visar antal personer i husen som funktion av husens area. Av resultatet i figuren framgår att i hus med en area på cirka 175 m² kan det bo allt mellan en och sex personer. Medan det i hus som är större än detta har mer än en boende och mindre än cirka 175 m² har färre än sex boende. I nästan hälften av husen bor det fyra personer och arean i dessa hus varierar mellan cirka 100 och 240 m². Det ger att i hus med fyra boende varierar boendetätheten mellan cirka 0,017 och 0,04 personer/m².

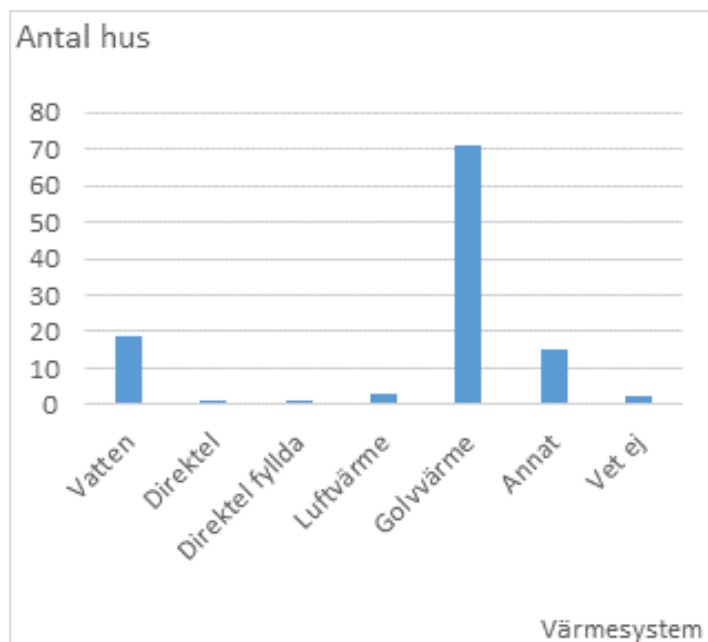
Antal personer/-



Figur 3.4 Antal personer som funktion av golvarean.

3.2 Uppvärmnings- och ventilationssystem

Figur 3.5 presenterar vilket uppvärmningssystem som finns i husen. Av figuren framgår att de flesta husen har golvvärme. Direktel, elvärme och luftvärme förekommer i enstaka hus.



Figur 3.5 Antal hus med ett visst uppvärmningssystem.

När det gäller ventilationssystem så är det vanligaste systemet mekanisk frånluft vilket används i cirka tre fjärdedelar av husen medan mekanisk till- och frånluft används i cirka en fjärdedel av husen. Några få hus använder självdrag.

3.3 Vädringsmönster

I enkätfrågorna som de boende har besvarats finns två frågor om vädring, där den första frågan gäller hur frekvent det vädras. Den frågan kan besvaras: dagligen; ungefär en gång i veckan; någon gång i månaden; sällan eller aldrig. Den andra frågan gäller på vilket sätt det vädras när det vädras och den kan besvaras: fönster öppet hela dagen/natten; fönster öppet i några timmar; med korsdrag några minuter; vädrar aldrig. Genom att kombinera svaren på dessa två frågor fås 11 olika vädringsmönster som byggs upp av hur ofta man vädrar och på vilket sätt. Andelen som använder de olika vädringsmönstren presenteras i Tabell 3.1.

Tabell 3.1 Vädringsmönster

Andel/%	Vädringsmönster
27	Vädrar aldrig
16	Vädrar någon gång i månaden genom att ha korsdrag några minuter
15	Vädrar sällan, då med korsdrag några minuter
8	Vädrar sällan, då med fönster öppet några timmar
7	Vädrar ungefär en gång i veckan med fönster öppet några timmar
6	Vädrar ungefär en gång i veckan med korsdrag några minuter
5	Vädrar dagligen med fönster öppet några timmar
5	Vädrar dagligen med fönster öppet hela dagen/natten
5	Vädrar dagligen med korsdrag några minuter
4	Vädrar någon gång i månaden med fönster öppet några timmar
1	Vädrar ungefär en gång per vecka med fönster öppet hela dagen/natten

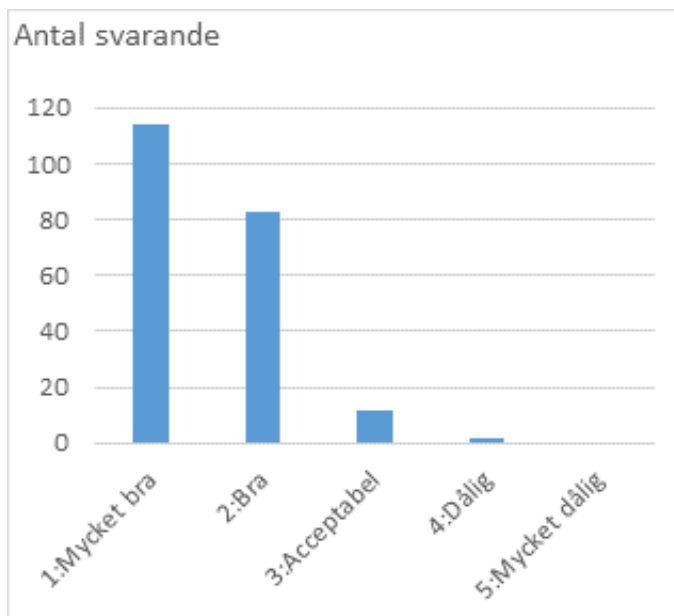
Det enskilt vanligaste vädringsmönstret, drygt en fjärdedel, är att det aldrig vädras. Strax över 30 % vädrar sällan eller någon gång i månaden och då med korsdrag. Cirka 15% vädrar dagligen och inom denna grupp har två tredjedelar fönster öppna några timmar eller hela dagen/natten. Av de 15 % (16 hus) som det vädras dagligen i är det bara ett hus som har FTX ventilation. Av de 27 % (30 hus) som det aldrig vädras i har 37 % (11 hus) FTX ventilation. Det finns ett statistiskt signifikant beroende mellan kategorivariablerna vädringsvana och ventilationssystem. Ett Fishers exakta test ger p-värdet 0,035 vilket innebär att det är statistiskt signifikant att det är vanligare att det är FTX ventilation i hus som det aldrig vädras i medan det är vanligare med F ventilation i hus som det vädras dagligen i.

4 Resultat från enkätstudien

Det har kommit in svar från totalt 211 vuxna från 111 hus. De besvarade enkäterna innehåller information om både tekniska data för husen och hur de som bor i husen upplever inomhusklimatet utifrån bland annat värmekomfort och ljudmiljö. Genom kombinationen av tekniska data och upplevelse av inomhusmiljö är det möjligt att studera olika samband mellan tekniska parametrar och inomhusmiljön.

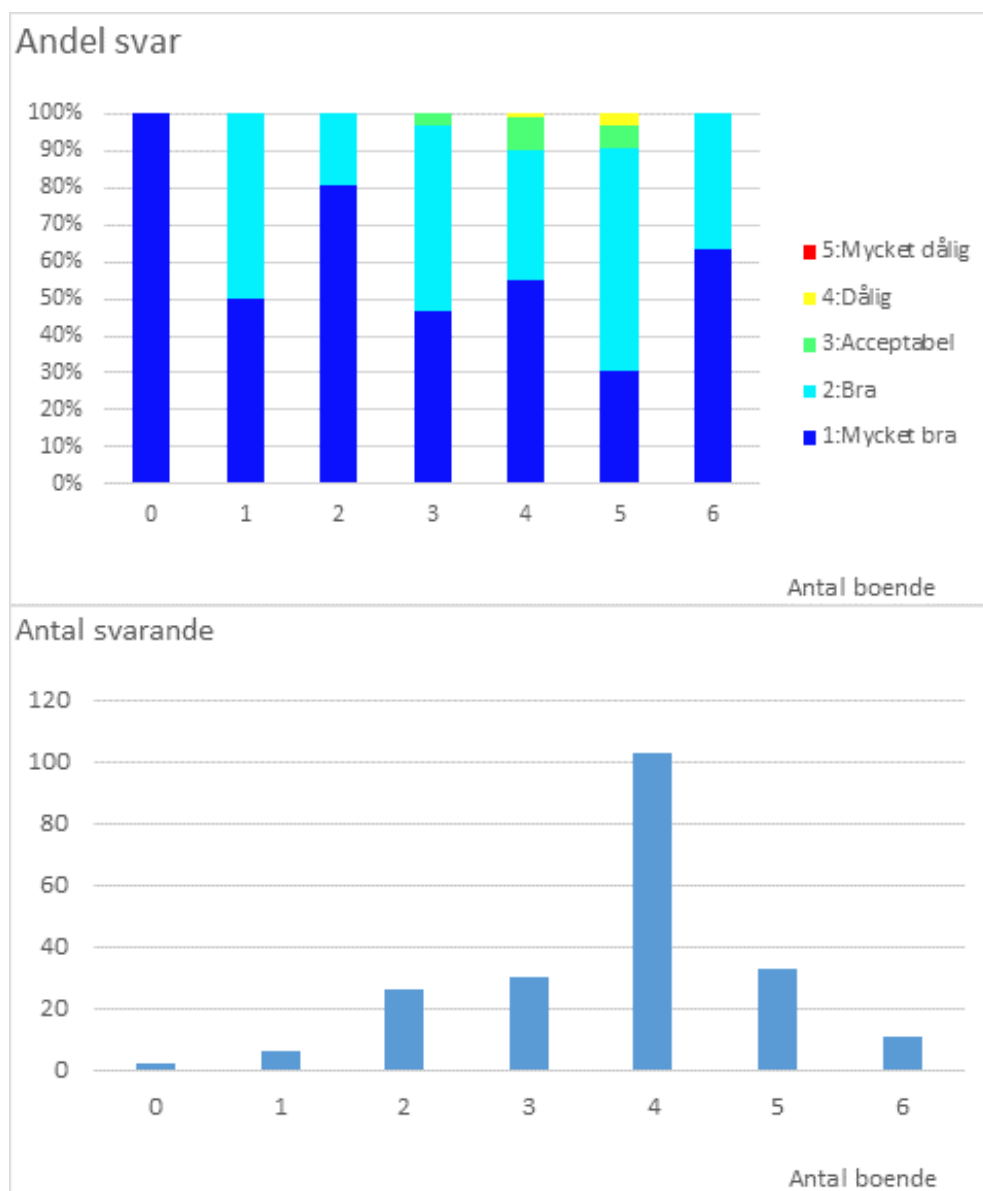
4.1 Upplevelse av inomhusmiljö – luftkvalitet

I enkäten som de boende besvarat finns en generell övergripande fråga om hur man upplever luftkvaliteten i bostaden. Figur 4.1 presenterar svaren på den generella frågan om luftkvaliteten. Det är endast en av 211 svarande som tycker att luftkvaliteten är Dålig medan mer än hälften tycker att den är Mycket bra. Det är positivt att i stort sett alla som svarat upplever att luftkvaliteten är Bra eller Mycket bra.



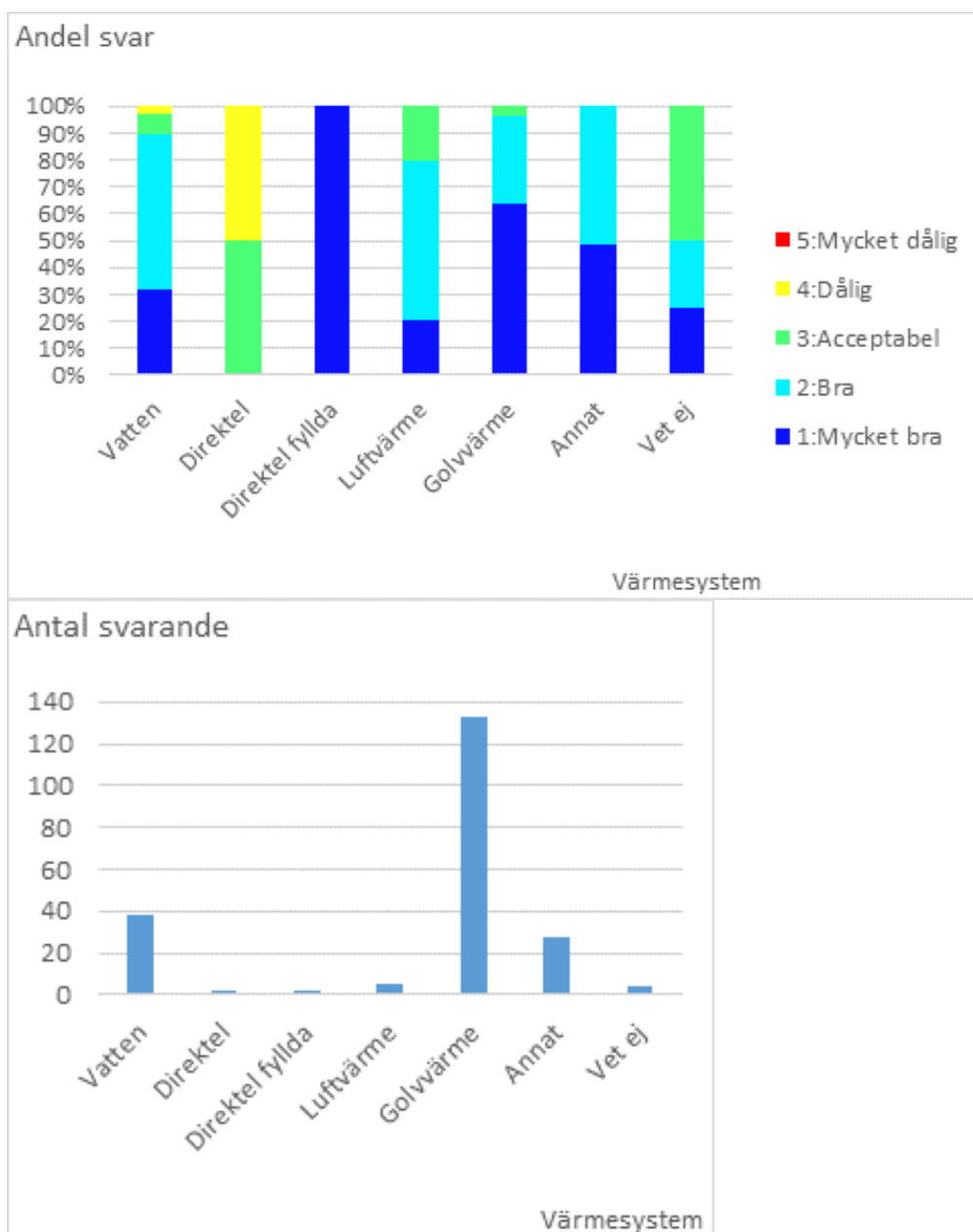
Figur 4.1 Antalet svar om hur man generellt upplever luftkvaliteten.

I Figur 4.2 har svaret på den generella frågan om hur man upplever luftkvaliteten delats upp beroende på antalet personer som bor i huset. Med tanke på att i stort sett alla tycker att luftkvaliteten är bra är den enda egentliga skillnaden som kan studeras hur fördelningen mellan svaren Bra och Mycket bra är. I Antal boende-grupperna 3, 4 och 5 förekommer enstaka svar som anger att luftkvaliteten är Acceptabel och i Antal boende-gruppen 5 ett enstaka svar som anger att luftkvaliteten är Dålig.



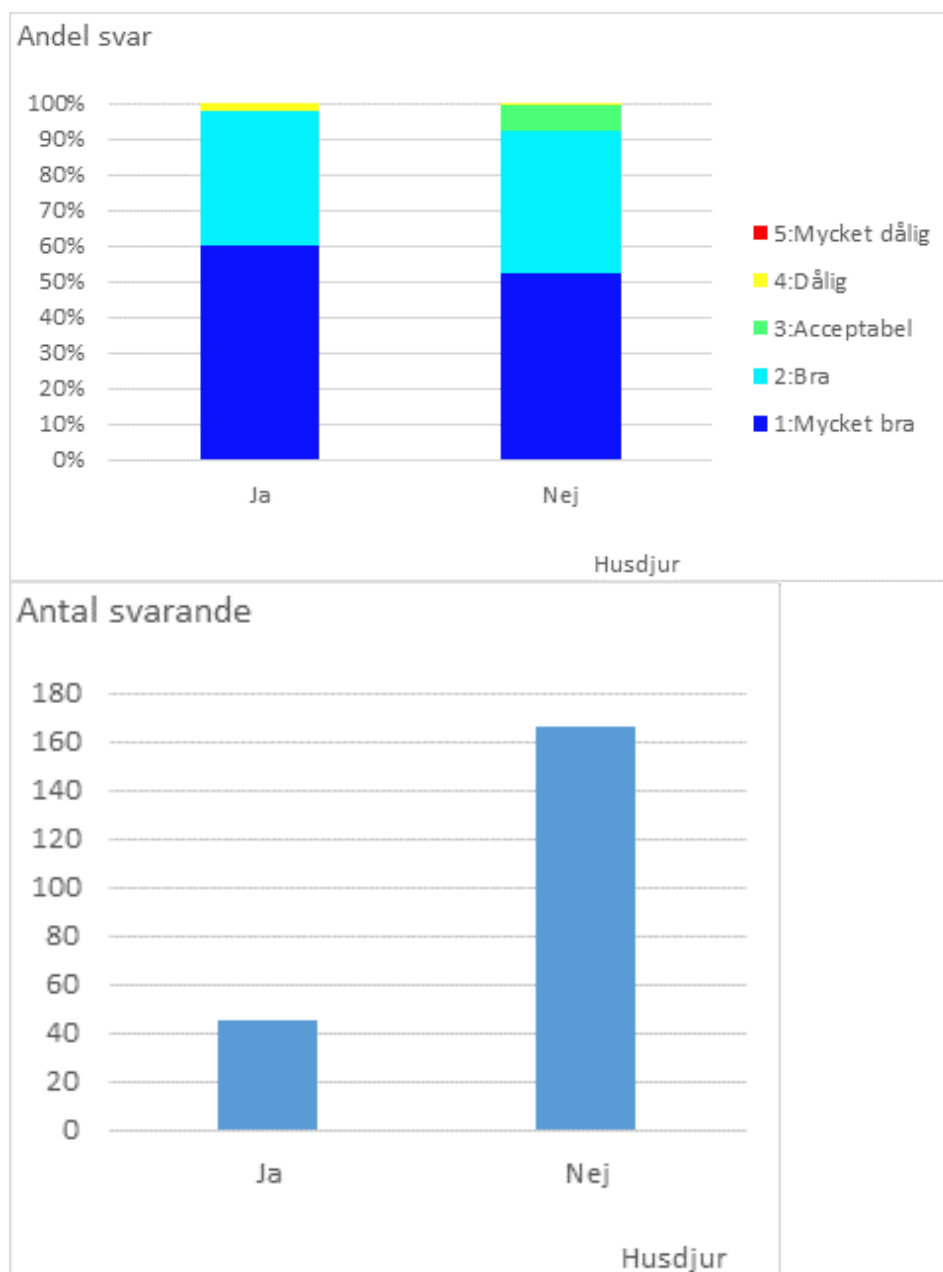
Figur 4.2 Andel svar om hur man generellt upplever luftkvaliteten fördelat på olika antal boende (övre). Antalet personer i de olika Antal boende-grupperna (undre).

I Figur 4.3 har svaret på den generella frågan om hur man upplever luftkvaliteten delats upp beroende på vilket uppvärmningssystem som finns i huset. Golvvärme är det dominerande systemet och övriga uppvärmningssystem används endast i enstaka hus vilket gör att det är svårt att jämföra svaren om luftkvaliteten med de olika uppvärmningssystemen. Hälften av svaren från hus med direktel anger att luftkvaliteten är dålig men eftersom det endast är något enstaka hus av dem som studerat som använder direktverkande el så är det svårt dra någon slutsats i förhållande till de övriga uppvärmningssystemen.



Figur 4.3 Andel svar om hur man generellt upplever luftkvalitén fördelat på olika uppvärmningssystem (övre). Antalet personer i de olika värmesystemgrupperna (undre).

Ungefär 20% av dem som svarat anger att de har husdjur och i Figur 4.4 presenteras svaret på den generella frågan om luftkvalité. Av figuren framgår att det i stort sett inte skiljer sig hur frågan besvarats av de två grupperna.

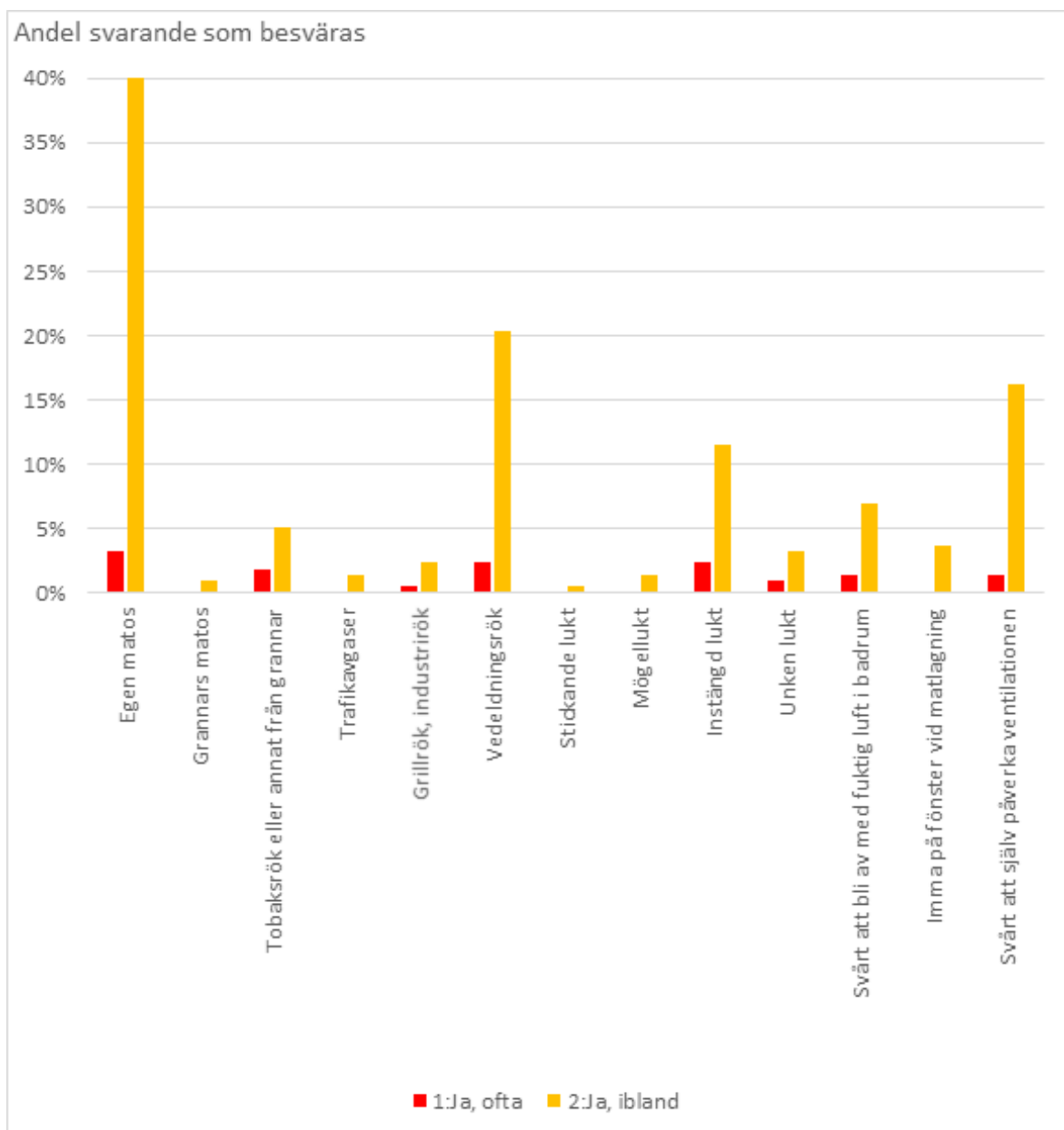


Figur 4.4 Andel svar om hur man generellt upplever luftkvaliteten fördelat på dem som har respektive inte har husdjur. Antalet personer i de två grupperna presenteras i den undre delen av figuren.

En av enkätfrågorna går in mer i detalj på om man störs av lukter och problem med ventilationen, vilka lukter det i så fall är samt om man störs ofta eller ibland. I Figur 4.5 presenteras hur frågan besvarats. Oavsett vilken lukt det handlar om är det förhållandevis få som störs ofta med en högsta andel om 3 % gällande eget matos. Däremot är det 40% som ibland störs av eget matos. Det kan tänkas att det i dessa nybyggda hus är vanligt med öppen planlösning mellan kök och sällskapsrum vilket ställer höga krav på köksfläktens förmåga att fånga in matos vilket kan kräva mycket höga flöden, vilket man normalt inte har i spisfläktar för villor.

Näst efter eget matos besväras drygt 20 % ibland av vedeldningsrök vilket kan indikera att det är populärt med kaminer och den tredje vanligaste lukten som man besväras av är instängd lukt som 12 % besväras av ibland. Vad gäller problem med ventilationen svarar 16 % att man ibland har svårt att påverka ventilationen, vilket är ett svar som är svårt att tolka eftersom man

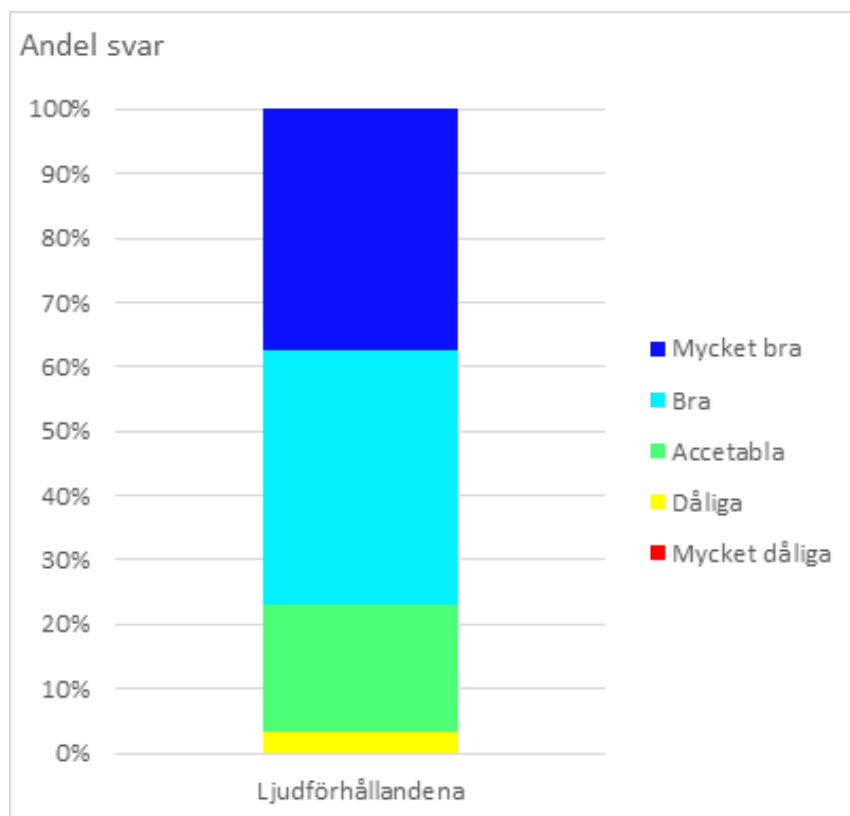
i praktiken sällan kan påverka ventilationssystemet annat än av och på, medan man kan påverka vädring och spisfläkt.



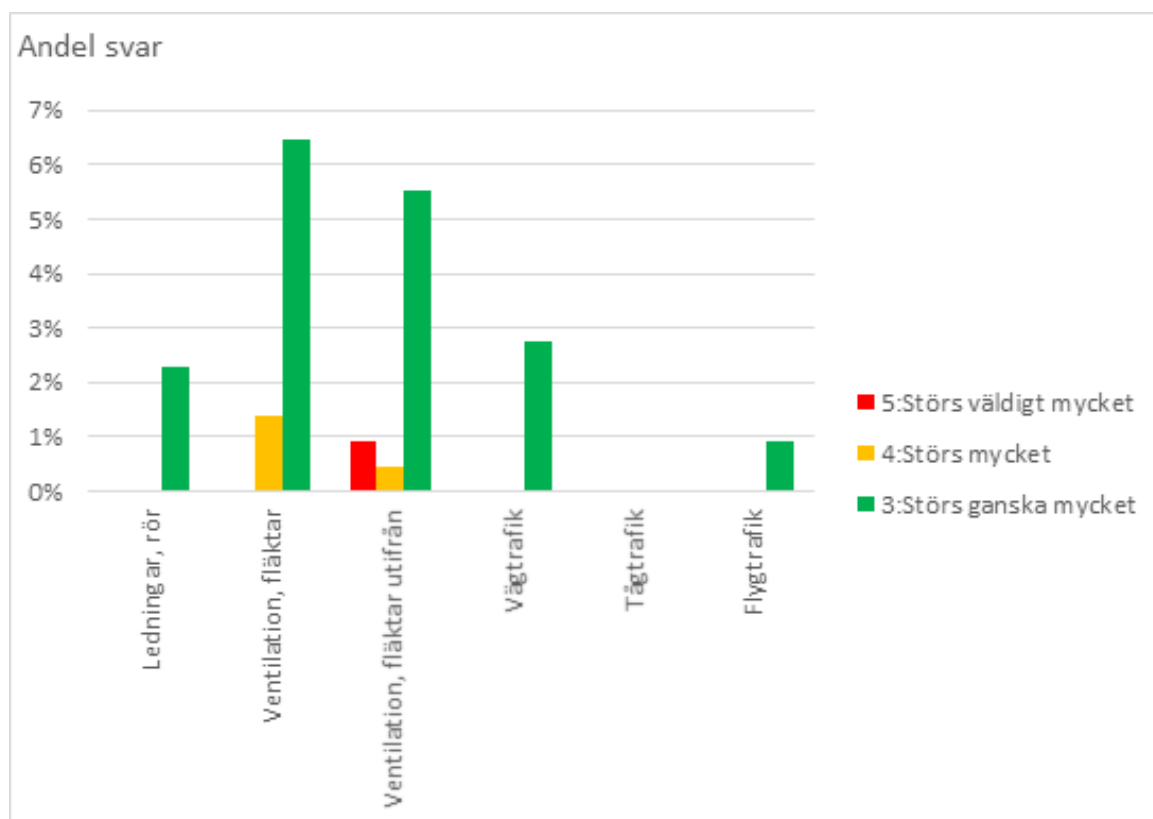
Figur 4.5 Andel som svarat att de ofta eller ibland störs av olika lukter eller problem med ventilationen.

4.2 Upplevelse av inomhusmiljö – ljudförhållanden

I enkäten som de boende besvarat finns en generell övergripande fråga om hur man upplever ljudförhållandena i bostaden. Figur 4.6 presenterar svaren på den generella frågan om ljudförhållandena. Mer än tre fjärdedelar av dem som svarat tycker att ljudförhållandena är Bra eller mycket bra medan cirka 20% anser att de är Acceptabla. Några enstaka anser att ljudförhållandena är Dåliga. En kompletterande fråga går in mer i detalj på vilka ljud som man eventuellt störs av. Figur 4.7 presenteras hur svaren är på den frågan. Det framgår att de två ljuden som störst andel störs av är ljud från ventilationen som både kan vara ljud inifrån och utifrån. Det är cirka 6% som störs ganska mycket av fläktljud och lika stor andel som störs av fläktar utifrån. Strax under 3% störs av vägtrafik.



Figur 4.6 Andel svar om hur man generellt upplever ljutförhållandena.



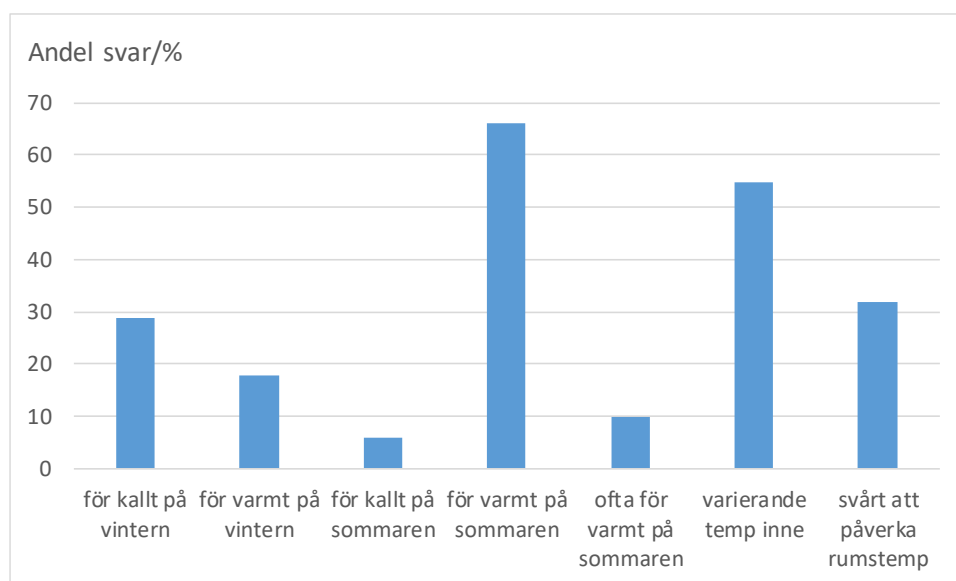
Figur 4.7 Andel som svarat att man i olika grad störs av olika ljud.

4.3 Upplevelse av inomhusmiljö – värmekomfort

I enkäten som de boende besvarat finns en generell övergripande fråga om hur man upplever värmekomforten i bostaden. Denna fråga har av samtliga besvarat som Mycket bra, Bra eller Acceptabel och ingen har valt svarsalternativen Dålig eller mycket dålig. På en mer detaljerad fråga om olika delar av värmekomforten har det framkommit att det ibland eller ofta förekommer att man besväras av olika saker som kopplar till värmekomforten. Det ska noteras att det är ovanligt med svar som anger att man ofta besväras. I Figur 4.8 presenteras andelen svar som svarat något av svarsalternativen "ibland" eller "ofta" gällande om man besväras av delar av värmekomforten. För frågan om man "besväras av att det är för varmt på sommaren" presenteras dels andelen som svarat något av alternativen "ibland" eller "ofta" samt separat andelen som svarat "ofta". Det är 66 % som ibland eller ofta besväras av att det är för varmt inomhus på sommaren men det är endast 10 % som ofta besväras av detta. Nästan 30 % besväras av att det ibland eller ofta är för varmt på vintern medan strax under 20 % besväras av att det ibland eller ofta är för kallt på vintern. Mer än hälften av de som svarat på enkäten besväras ibland eller ofta av att temperaturen inomhus varierar när det är temperaturväxlingar utomhus. Eventuellt kan golvvärmesystem, som är det vanligaste uppvärmningssystemet i de studerade byggnaderna, som har en stor termisk massa och kan ta lång tid att svara på ett effektbehov vara en förklaring. Drygt 30 % har svarat att de ibland eller ofta besväras av att de har svårt att själva påverka rumstemperaturen.

Svaren indikerar att det kan finnas potential att utveckla värmesystem, styr- och regler-system för att bättre och snabbare kompensera för ett ändrat effektbehov vilket kan minska temperaturvariationer under uppvärmningssäsongen. Det kan även finnas behov av att utveckla system som gör att det är enklare att påverka temperaturen inomhus.

I gruppen som aldrig vädrar, se kapitel 3.3 är det nästan dubbelt så stor andel personer som upplever problem med varierande rumstemperatur och upplever att det är svårt att påverka rumstemperaturen. Eventuellt skulle den dagliga vädringen kunna vara ett sätt att försöka kompensera för svårigheten att styra inomhustemperaturen.

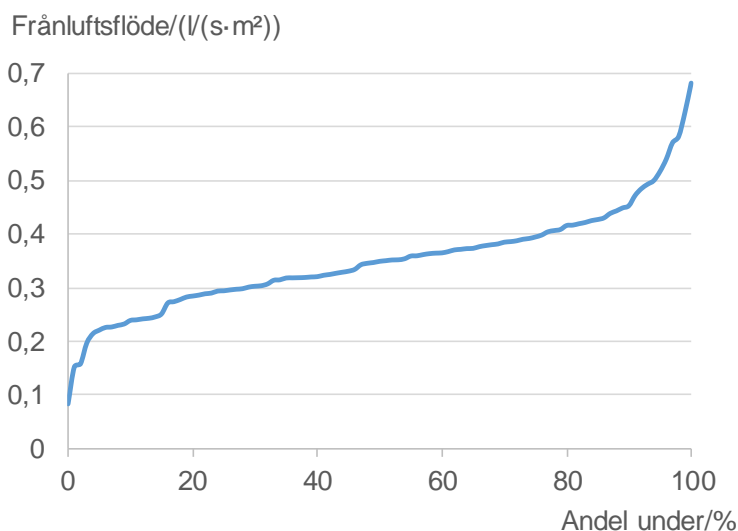


Figur 4.8 Andel som svarat att man ibland eller ofta besväras av olika delar av värmekomforten samt för "för varmt på sommaren" även separat redovisat för "ofta".

5 Hur är ventilationsflödet och vad störs man av?

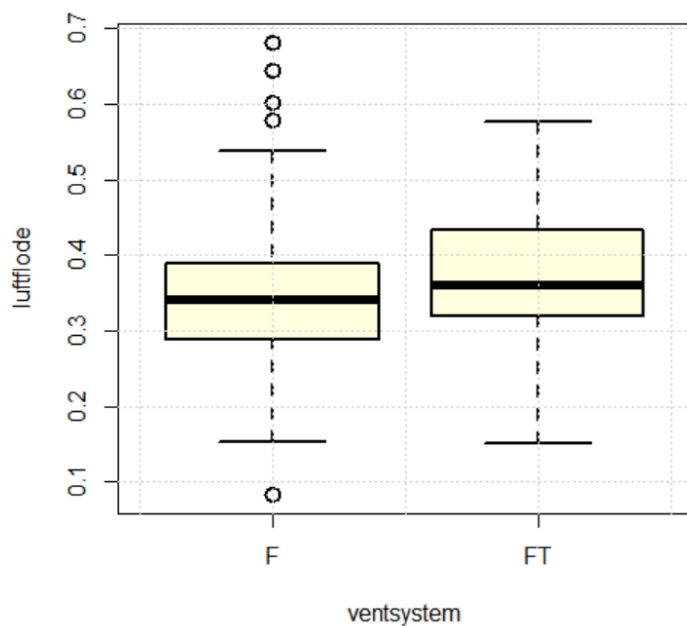
5.1 Uppmätta ventilationsflöden

Figur 5.1 presenterar fördelningen av uppmätta frånluftsflöden i de 141 studerade hus som har F eller FTX ventilation. Frånluftsflödet varierar mellan 0,08 och 0,78 l/(s·m²) med både medianvärde och medelvärde 0,35 l/(s·m²). Den stora skillnaden i ventilationsflöde mellan de olika husen kan vara en förklaring till avvikelser i energianvändning för uppvärmning mellan till synes likvärdiga småhus där skillnaden inte förklaras av skillnader i inomhustemperatur eller familjestorlek. Detta pekar på hur viktigt det är att mäta och kartlägga tillräckligt många parametrar innan man uttalar sig om en uppmätt energianvändning.



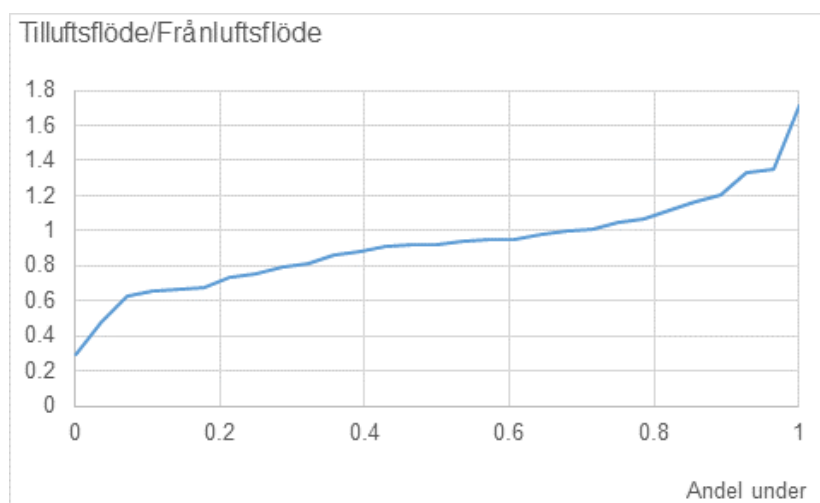
Figur 5.1 Fördelningen av uppmätta frånluftsflöden i 141 hus med F eller FTX ventilation.

Av de 10 hus som har lägst frånluftsflöde per golvareal, i genomsnitt 0,18 l/(s·m²), har endast två FTX medan det är fem som har FTX av de 10 hus som har högst frånluftsflöde, i genomsnitt 0,57 l/(s·m²). Samtidigt har de högsta frånluftsflödena mätts upp i hus med F-system. Figur 5.2 presenterar uppmätta frånluftsflöden i form av en boxplot för de två systemen F och FT (FTX). Av resultatet i figuren framgår att medianvärdet för FTX-system är något högre än för F system och att spridningen för de 50% av mätvärdena som är närmast medianen har ungefär samma spridning i de två grupperna. Statistisk analys med Anova respektive Kruskal-Wallis test visar inte på någon signifikant skillnad i frånluftsflöde för de två olika systemen.



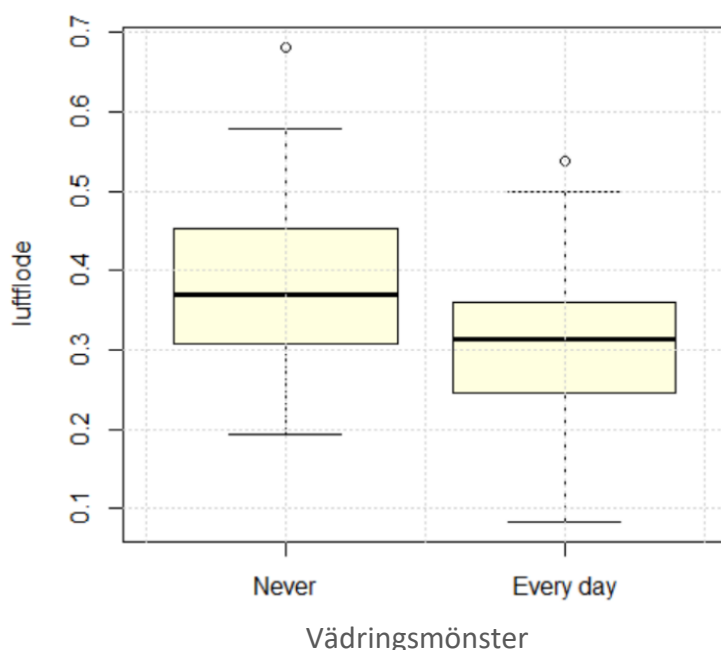
Figur 5.2 Boxplot som på y-axeln redovisar frånluftsflöde $l/(s \cdot m^2)$ för de olika mekaniska ventilationssystemen F och FT (FTX).

Eventuell förekomst av tryckobalanser i hus med FTX-ventilation kan vara avgörande för om det finns risk för fuktkonvektion i byggnadsskalet eller inte. I typiskt svenskt uteklimat är risken med övertryck att luft med högre ånghalt drivs ut konvektivt genom skalet och att kondens sker i väggen. Problemet med obalans är också att hela flödet inte passerar värmeväxlaren. Å andra sidan gör obalans att det ofrivilliga läckaget minskar, vilket om obalansen är inom omkring 10% innebär att det blir en ringa förlust eller ingen alls, men det kan också vara att det ger en liten vinst. Figur 5.3 visar varaktigheten för kvoten mellan tillufts- och frånluftsflöde i de 29 hus som har FTX och därmed mätta tilluftsflöden i tilluftsdonen. Medelvärde och median är strax under 1, vilket är önskat, men resultatet i figuren visar också en ganska stor spridning.



Figur 5.3 Varaktigheten för kvoten mellan tilluftsflöde och frånluftsflöde i husen med FTX-ventilation.

I Tabell 3.1 presenteras olika vädringsmönster och det visade sig att det är vanligare med F system i hus som det vädras dagligen i och vanligare med FTX system i hus som det aldrig vädras i. I de hus som vädrar varje dag är det uppmätta ventilationsflödet i donen i genomsnitt $0,32 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ medan det uppmätta ventilationsflödet i hus som det aldrig vädras i är det uppmätta ventilationsflödet i donen $0,39 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$. Figur 5.4 presenterar spridningen i frånluftsflöde i form av en boxplot för de två grupperna ”vädrar aldrig” och ”vädrar varje dag”. En hypotes skulle kunna vara att med ett högre ventilationsflöde finns det mindre anledning att vädra. Statistisk analys med klassisk Anova och med mixed model visar båda att det finns signifikans på nivån 0,05. Den statistiska analysen visar alltså sammantaget att i hus som det aldrig vädras i är det vanligare med FTX-system och högre ventilationsflöde jämfört med hus som det vädras dagligen i där det istället är vanligare med F-system och lägre ventilationsflöde.



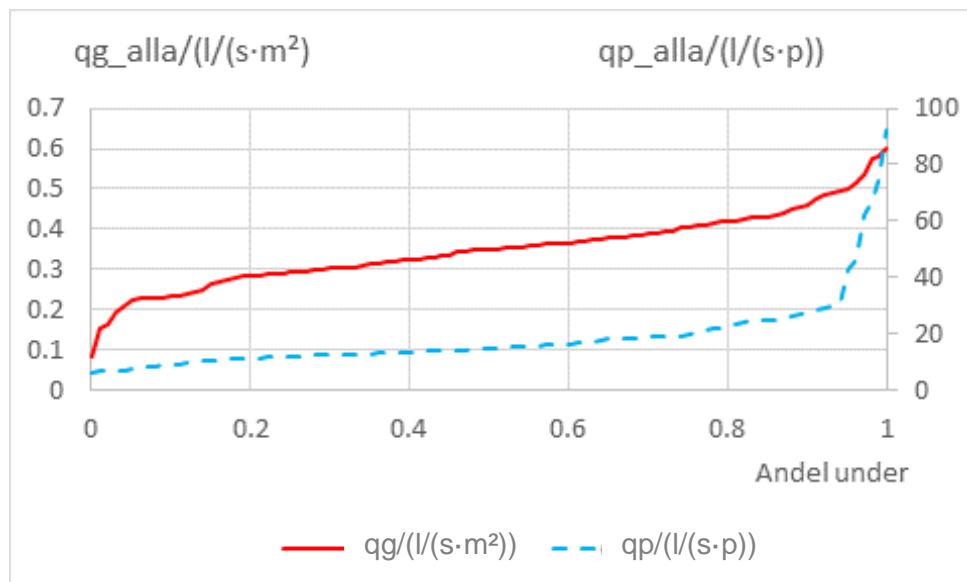
Figur 5.4 Boxplot som på y-axeln redovisar frånluftsflöde ($\text{l/(s}\cdot\text{m}^2)$) för de grupperna hus som det aldrig vädras i eller som det vädras i varje dag.

Ventilationsflöden anges ofta med enheten liter per sekund och kvadratmeter bostadsyta eller som luftomsättningstal med enheten per timme. Dessa mått relaterar till bostadens yta respektive volym. Det kan även vara intressant att relatera luftflödet till antalet personer i bostaden men detta introducerar en del svårigheter kring hur antal personer ska mätas eller hur man ska uppskatta antalet personer i en befintlig eller ny bostad som projekteras. I de 111 småhus som det finns enkätsvar från finns svar på frågan om hur många personer som bor i bostaden och det möjliggör att vi förutom att studera luftflödet i relation till bostadens area även kan studera det i relation till antalet personer som bor i bostaden.

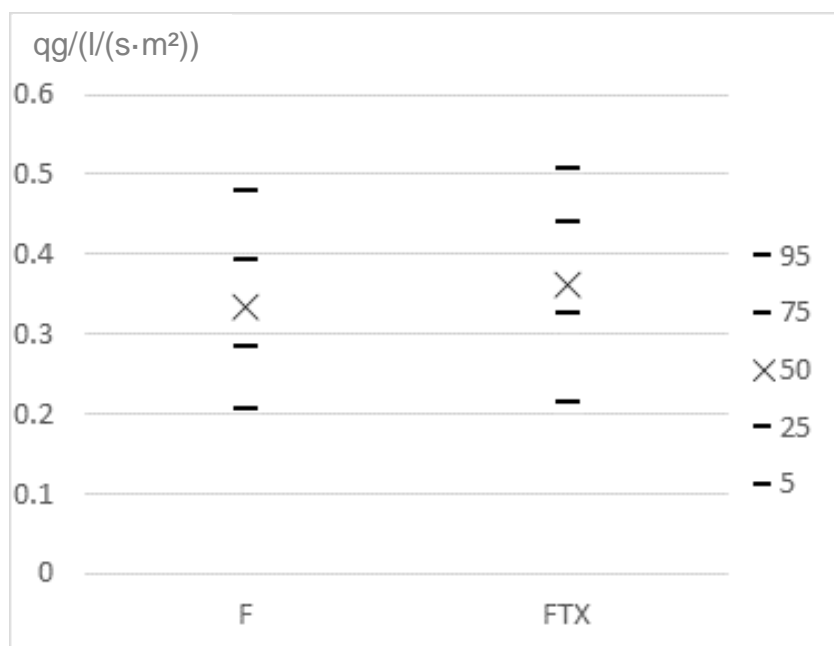
I de undersökta husen som det även finns enkätsvar från finns 77 frånluftssystem (F) och 28 till- och frånluftssystem med värmeåtervinning (FTX). Övriga 6 hus har självdragsystem eller det var inte möjligt att mäta flödet i samband med besök i husen, och dessa har uteslutits i

analysen på grund av att det inte har varit möjligt att mäta luftflödet. I husen med frånluftssystem är det mycket vanligt med frånluftsvärmepump.

I Figur 5.5 presenteras frånluftsfördelningen per boyta respektive per person för alla studerade hus. Av figuren framgår att medianflödet ligger kring de 0,35 l/(s·m²) som brukar användas som krav för ventilationen men det är mycket stor skillnad i frånluftsfördelning mellan huset med högst respektive lägst flöde. För flödet per yta är kvoten mellan högsta och lägsta flöde cirka 7 medan det för flödet per person är en kvot på cirka 14. I Figur 5.6 presenteras några percentilmått för fördelningen i frånluftsfördelning uppdelat på ventilationssystem F respektive FTX med syftet att åskådliggöra skillnader mellan systemen även om det inte är signifikant skillnad. Husen med FTX-system har i medeltal lite drygt 10 % högre frånluftsfördelning än husen med F-system och alla percentilmått i figuren är något högre för FTX-systemen. Percentilmåtten i Figur 5.6 visar att för husen med F-system har de 50 % av husen som ligger närmast medianvärdet ett frånluftsfördelning mellan 0,29 och 0,39 l/(s·m²). För FTX-system har de 50 % av husen som ligger närmast medianvärdet ett frånluftsfördelning mellan 0,33 och 0,44 l/(s·m²).



Figur 5.5 Storleks sorterade uppmätta frånluftsfördelningen per golvyta (qg), avläses på vänster y-axel, och per person (qp) avläses på höger y-axel.



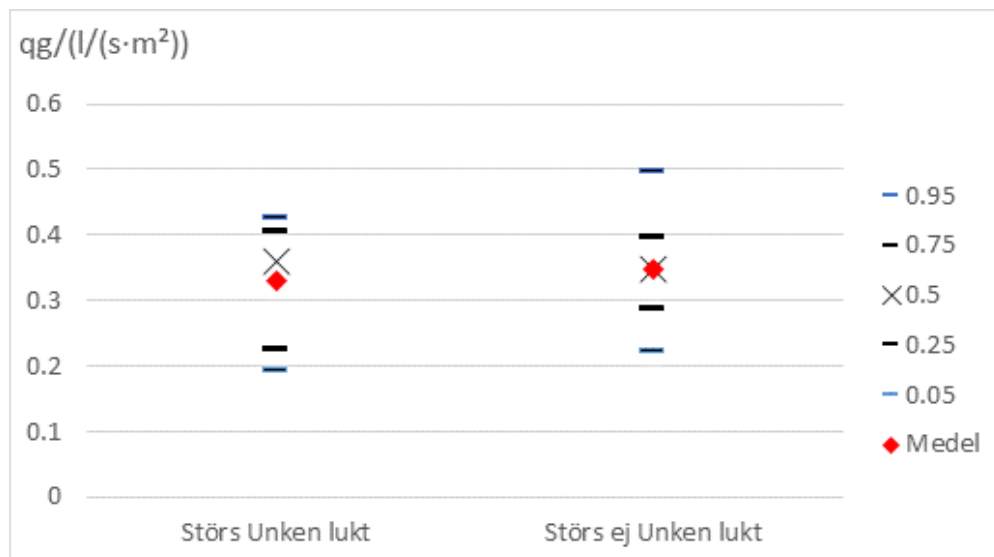
Figur 5.6 Några percentilmått för frånluftsflöden per golvarea (qg) för frånluftssystem respektive till- och frånluftssystem.

5.2 Frånluftsflöden och störningar

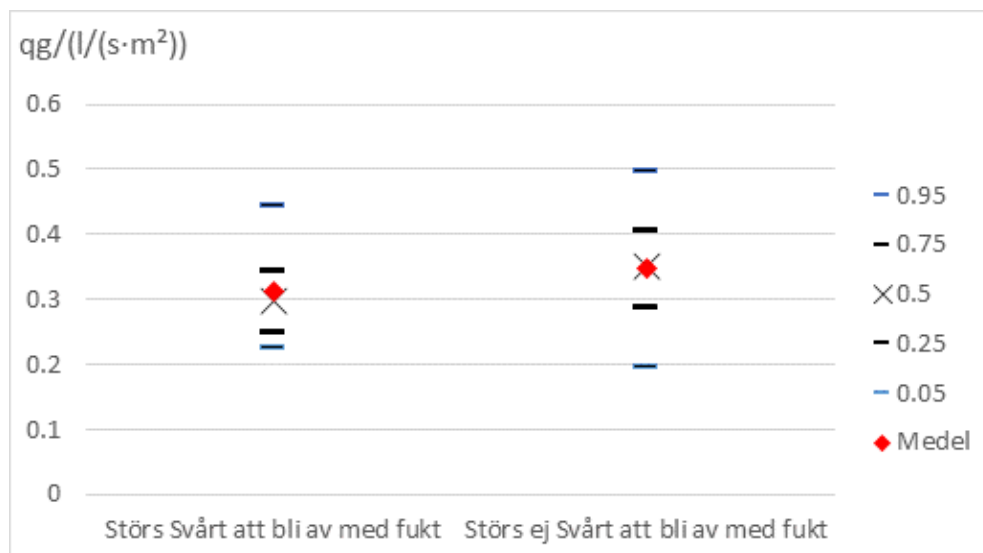
Den generella slutsatsen från enkätfrågorna om hur man upplevde inomhusmiljön var att de allra flesta var mycket nöjda. Det är både i absoluta och relativa tal få som störs av olika saker i inomhusmiljön, men i de fall det förekommer att man störs är det intressant att kunna studera om det finns samband med frånluftsflödet, som här används som ett mått på ventilationen. En del av det man störs av skulle kunna ha en rimlig koppling till ventilationen och det är för dessa aspekter som undersökningen gjorts. För varje störning som undersöks skapas två grupper, en grupp med dem som inte upplever någon störning och en grupp med dem som störs. I gruppen som störs finns både de som svarat att de störs ofta och att de störs någon gång. Med tanke på att det generellt är så få som angett att de störs är det förhållandevis stor skillnad i storlek mellan de två grupper som jämförs för respektive störning och därför är det svårt med signifikansen och resultat som presenteras här får ses som indikativa.

Figur 5.7 - Figur 5.11 nedan presenterar olika percentilmått samt medelvärde för frånluftsflödet i de två grupperna för respektive undersökt störning. I kapitel 4 presenteras andelen som störs av olika saker i inomhusmiljön. För samtliga fem undersökta störningar är frånluftsflödets medelvärde något lägre i gruppen som störs jämfört med gruppen som inte störs. Detta skulle kunna vara förväntat för alla undersökta aspekter förutom den som gäller ljudförhållanden där ett ökat ventilationsflöde bör resultera i en högre ljudnivå från ventilationen. Den största skillnaden i frånluftsflöde mellan de två grupperna gäller för ”imma på fönster vid matlagning” där gruppen som inte störs av det har 25 % högre luftflöde. När det gäller ”svårt att bli av med fukt i badrum” är motsvarande skillnad 13 %. När de olika percentilerna jämförs är det tydligt att det i grupperna som inte störs finns ventilationsflöden som är lika låga eller lägre än i gruppen som störs vilket indikerar att andra parametrar än luftflödet också påverkar. Att en unken lukt uppkommer behöver inte bero på ett lågt luftflöde medan ett större luftflöde kan ”spä ut” en unken lukt om en sådan finns. Svårighet att bli av med fukt och imma på fönster kan bero på exempelvis fönstrets karakteristik och luftutbyteseffektiviteten förutom just flödet, men även på hur mycket mat man lagar. Det är

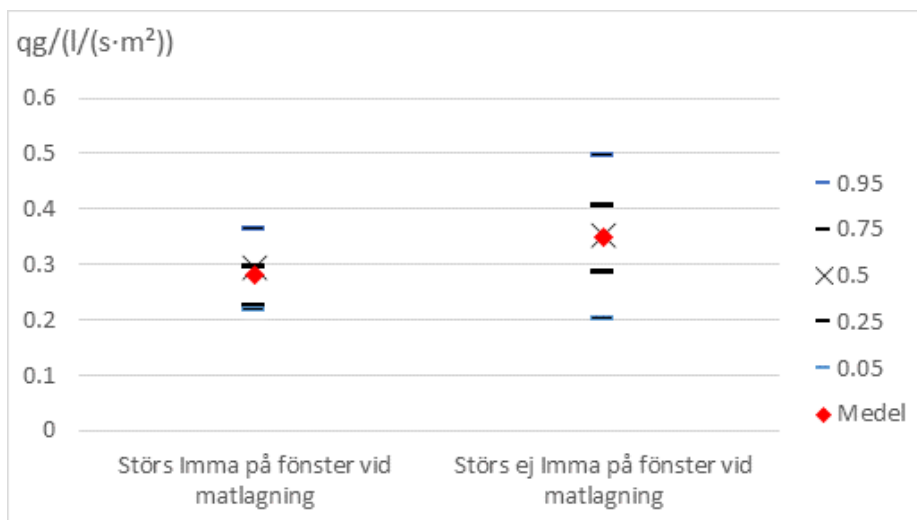
intressant att jämförelsen indikerar att gruppen som störs av de olika aspekterna generellt har lägre medelvärde och median för frånluftsflödet. Detta kan peka på ventilationens betydelse för en god inomhusmiljö generellt samtidigt som den stora skillnaden i flöde mellan olika byggnader visar att det även är andra parametrar än frånluftsflödet som är avgörande för olika aspekter som typiskt sätts i samband med ventilationen. Att gruppen som störs av svårighet att påverka ventilationsflödet har ett lägre medelflöde än gruppen som inte störs av detta kan indikera att den svårighet som upplevs kan bestå i att få ett tillräckligt högt flöde eller att man saknar kunskap om hur man ändrar flödet.



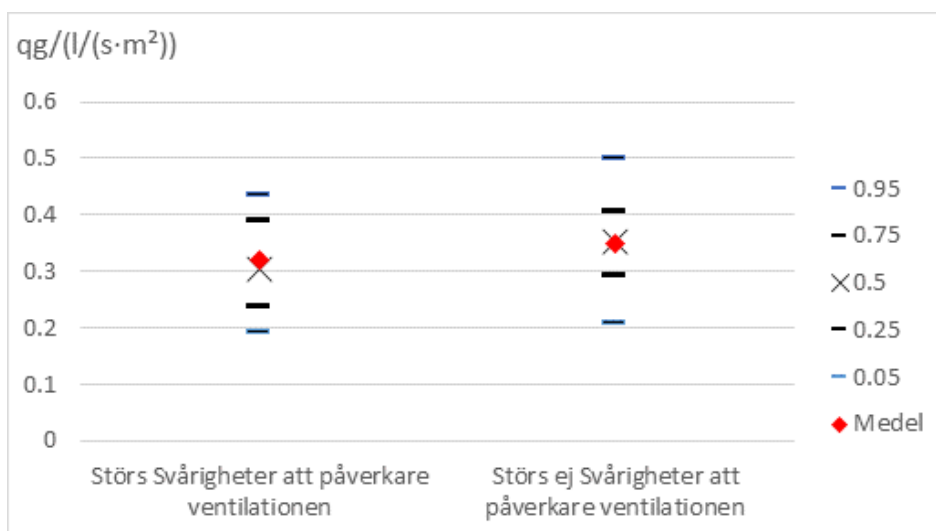
Figur 5.7 Olika percentilmått samt medelvärde för frånluftsflödet för gruppen som störs respektive inte störs av unken lukt.



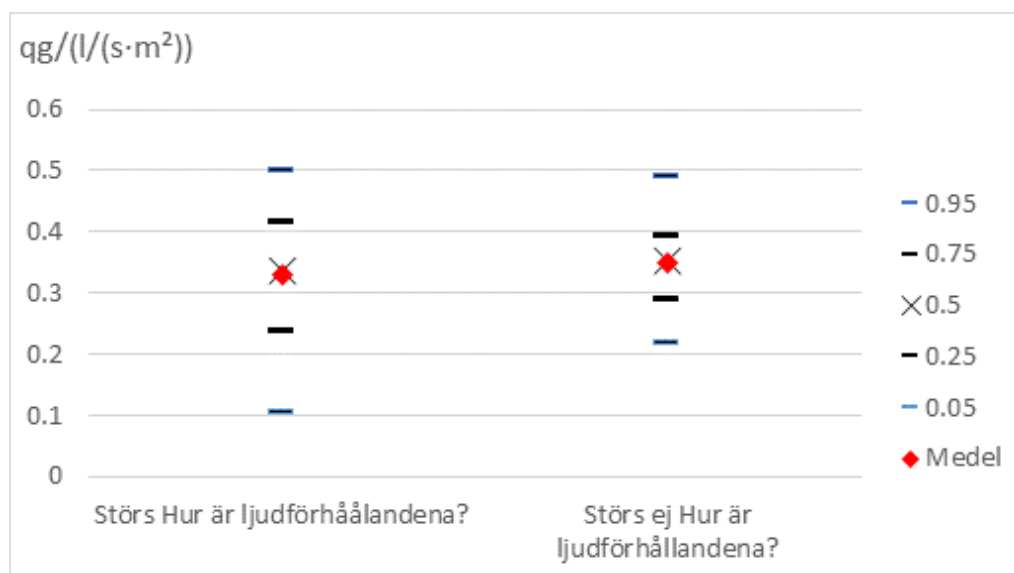
Figur 5.8 Olika percentilmått samt medelvärde för frånluftsflödet för gruppen som störs respektive inte störs av svårighet att bli av med fukt i badrum.



Figur 5.9 Olika percentilmått samt medelvärde för frånluftsflödet för gruppen som störs respektive inte störs av imma på fönster vid matlagning.



Figur 5.10 Olika percentilmått samt medelvärde för frånluftsflödet för gruppen som störs respektive inte störs av svårighet att påverka ventilationen.



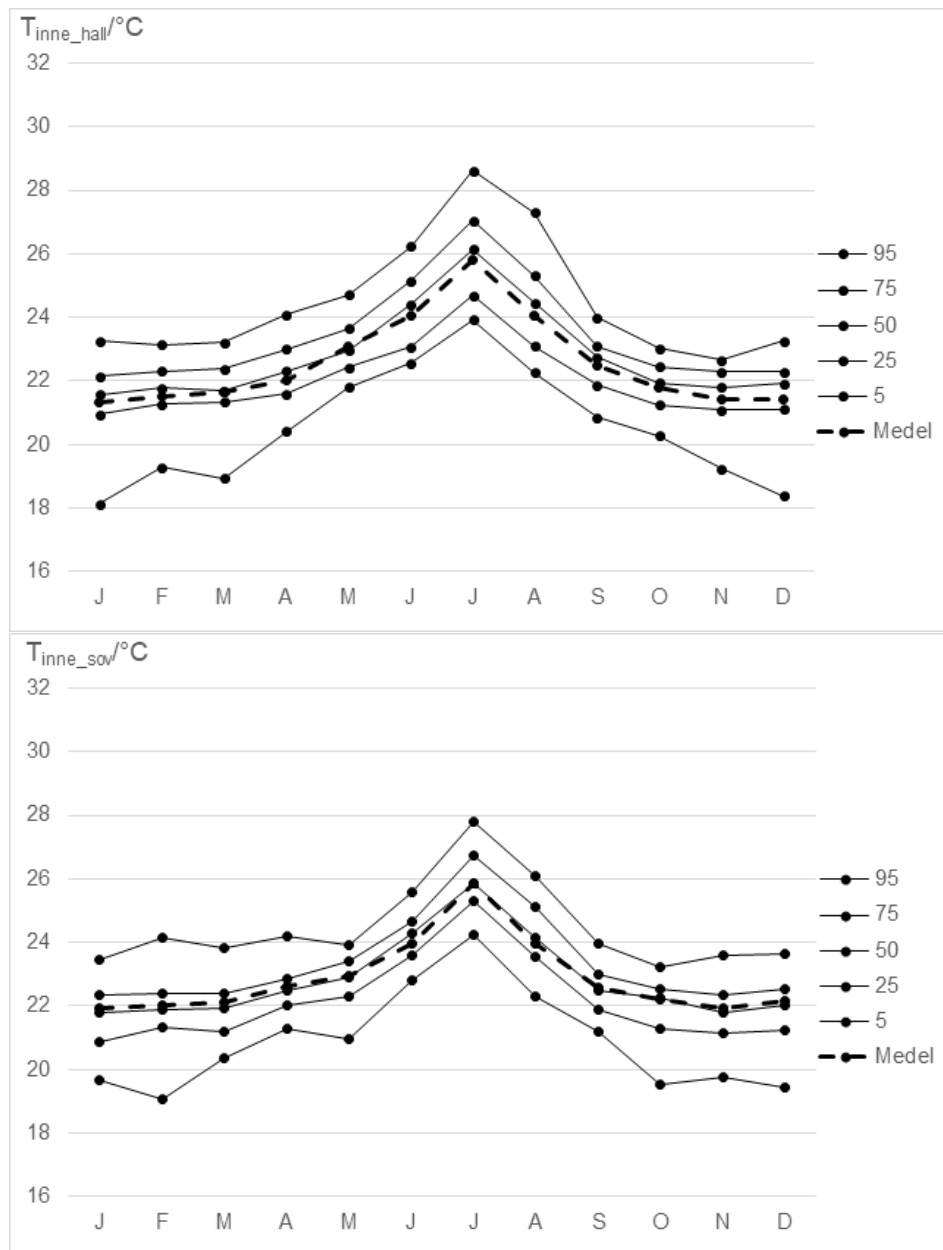
Figur 5.11 Olika percentilmått samt medelvärde för frånluftsflödet för gruppen som störs respektive inte störs av ljudförhållanden.

6 Inomhustemperatur och relativ fuktighet

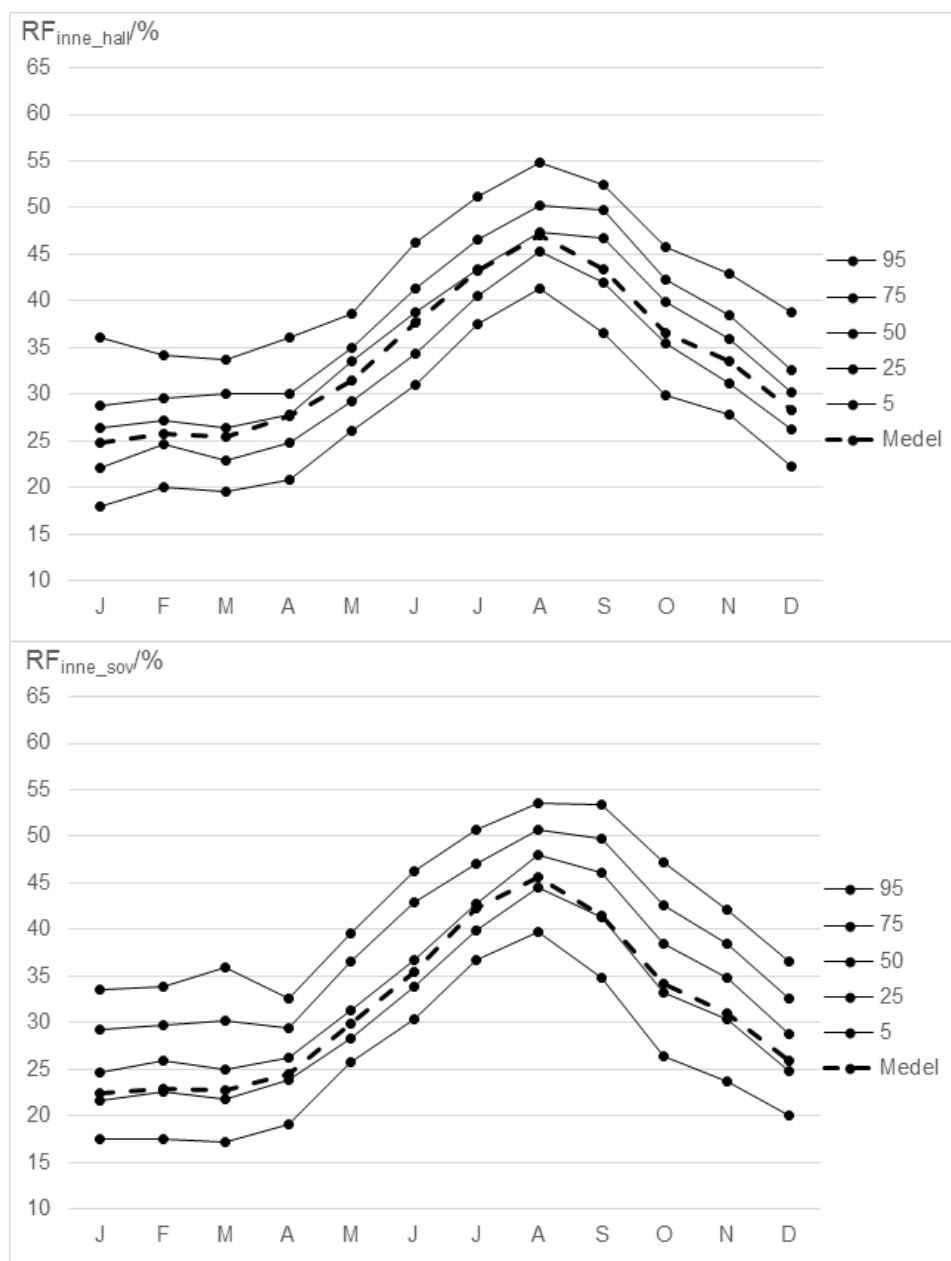
6.1 Variation under året

Mätningarna av temperatur och relativ fuktighet och temperatur har gjorts under ett år i central hall och sovrums. Figur 1 presenterar percentiler och medelvärde för månadsmedeltemperaturer uppmätta i hall och sovrums i husen på de 12 orterna. I Figur 6.1 framgår hur temperaturen varierar under året och med hjälp av percentilerna går det att se hur vanligt det är med olika temperaturer under årets månader i de olika husen. Exempelvis ger avläsningen av 95-percentilen för sovrums i mars att 95% av husen hade en inomhustemperatur i sovrums som var lägre än 24°C vilket innebär att 5% av husen hade mer än 24°C som månadsmedeltemperatur i sovrums under mars. På samma sätt ger avläsningen av 5-percentilsvärdet att 5% av husen hade en inomhustemperatur i sovrums som är lägre än 20,2°C vilket innebär att 95% av husen har en högre månadsmedeltemperatur än 20,2°C. Dessa två avläsningar ger tillsammans att 90% av husen under mars hade en månadsmedeltemperatur i sovrums på mellan 20,2°C och 24°C samtidigt som medelvärdet baserat på alla hus på de 12 orterna var 22,1°C. Skillnaden i temperatur motsvarar en skillnad i årlig uppvärmningsenergi på cirka 10 kWh/m² i ett modernt småhus vilket både är en väsentlig skillnad i absoluta tal och inte minst relativt där 24°C innebär drygt 40% högre energianvändning för uppvärmning av byggnaden. Av Figur 6.1 framgår att det är stora variationer under året och medan inomhustemperaturens medelvärde är kring 22°C under de månader som typiskt kräver uppvärmning så är månadsmedelvärdet under juli cirka 26°C. I juli är det endast 5% av husen som har en månadsmedeltemperatur lägre än 24°C medan 5% av husen har en månadsmedeltemperatur över 28°C. Under sommaren kan inomhustemperaturen till stor del bero på utomhustemperaturen och solstrålningen vilka båda kan variera beroende på var i landet huset är beläget. I Figur 6.3 och Figur 6.5 presenteras på motsvarande sätt olika percentiler för månadsmedeltemperaturen uppmätt i husen i Jönköping respektive Umeå.

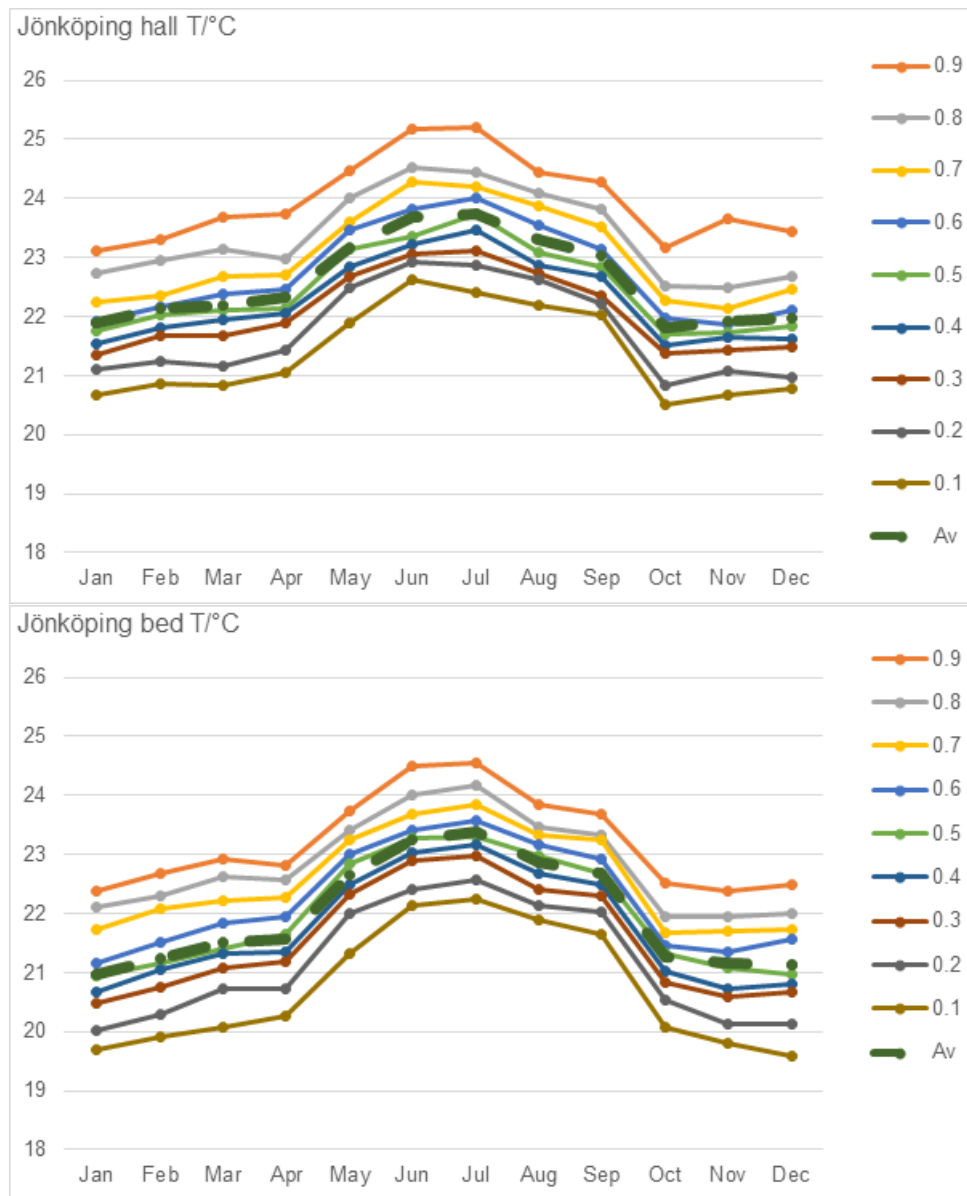
På samma sätt som beskrivet för temperaturerna ovan presenteras i Figur 6.2 motsvarande medelvärden för relativ fuktighet. Det framgår hur den relativa fuktigheten varierar under året och motsvarande avläsningar som i exemplet med temperaturer ovan ger i Figur 6.2 att i sovrums i mars hade 95% av husen ett månadsmedelvärde lägre än 35% RF och 5% av husen hade månadsmedelvärde lägre än 17% RF vilket innebär att 90% av husen hade månadsmedel mellan 17-35% RF i sovrums under mars. Medelvärdet för alla husens sovrumsmätningar under mars var 23% RF. Under månaderna januari-mars har en fjärdedel av husen månadsmedel i sovrums som är lägre än 23% RF. Under sommarmånaderna är RF högre och i sovrums är det bara 5% av husen som har månadsmedelvärde lägre än 40% RF under juli samtidigt som 5% av husen har över 54% RF och medelvärdet är 42% RF. I Figur 6.4 och Figur 6.6 presenteras på motsvarande sätt olika percentiler för den relativa fuktighetens månadsmedelvärde uppmätt i husen i Jönköping respektive Umeå.



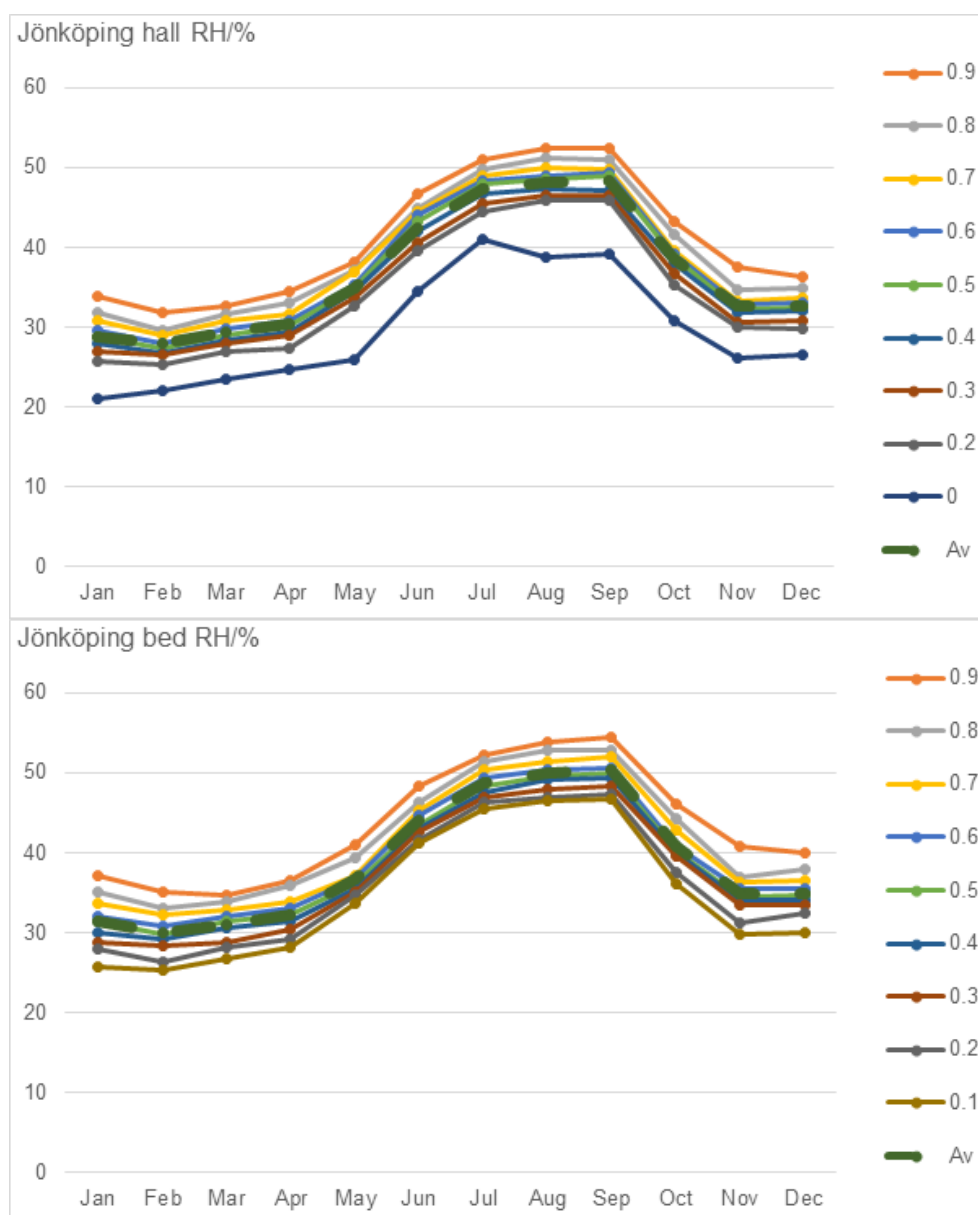
Figur 6.1 Månadsmedeltemperaturer uppmätta i hall (övre) och sovrum (undre) i hus på 12 orter.



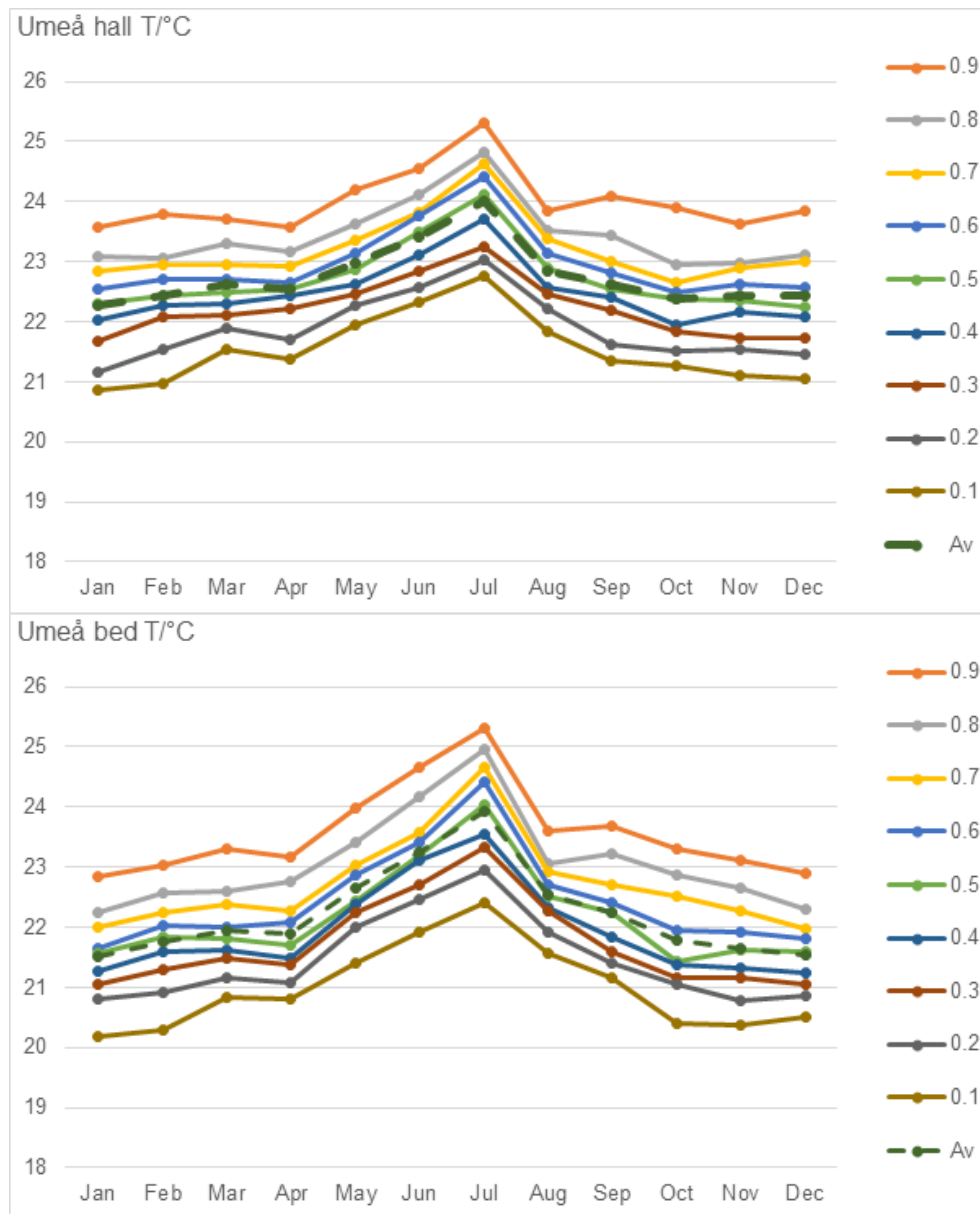
Figur 6.2 Månadsmedel RF uppmätta i hall (övre) och sovrum (undre) i hus på 12 olika orter.



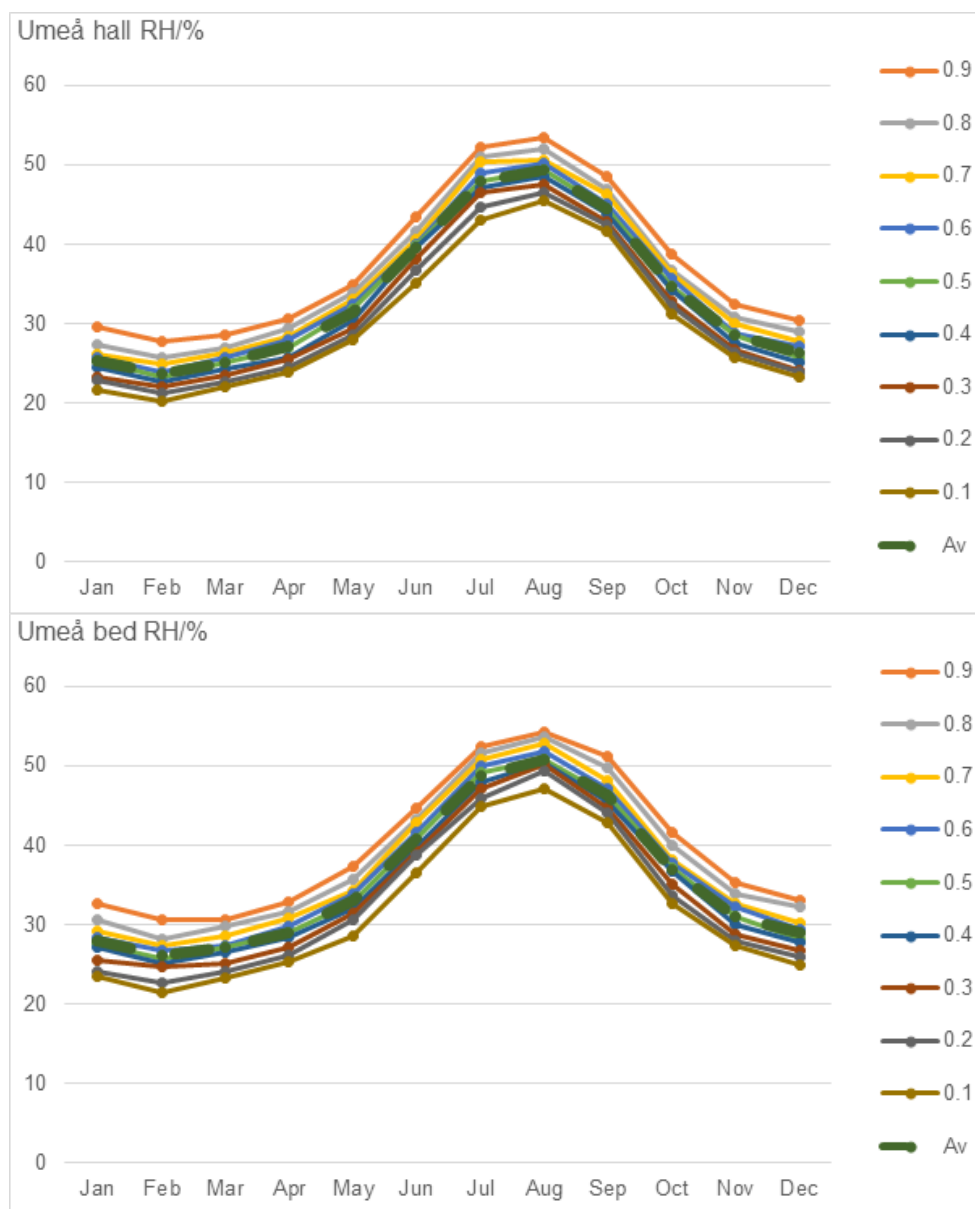
Figur 6.3 Månadsmedeltemperaturer uppmätta i hall (övre) och sovrum (undre) i hus i Jönköping.



Figur 6.4 Månadsmedel RH uppmätta i hall (övre) och sovrum (undre) i hus i Jönköping.



Figur 6.5 Månadsmedeltemperaturer uppmätta i hall (övre) och sovrum (undre) i hus i Umeå.



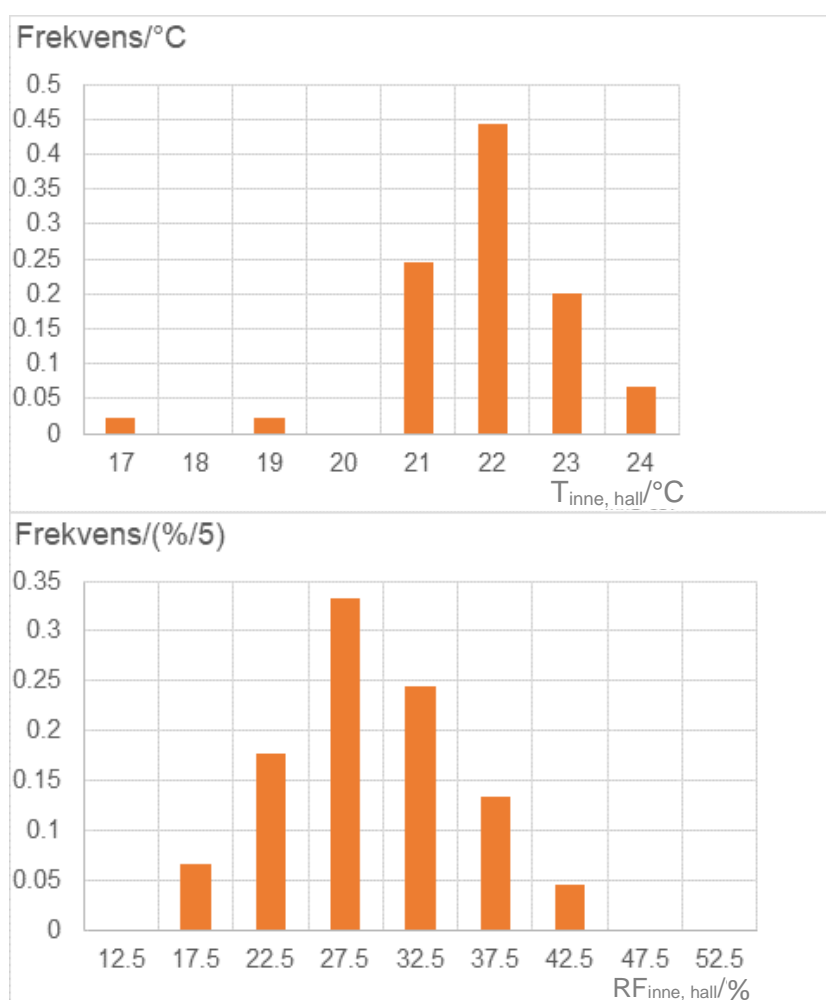
Figur 6.6 Månadsmedel RH uppmätta i hall (övre) och sovrum (undre) i hus i Umeå.

6.2 Fördelning under uppvärmningssäsongen

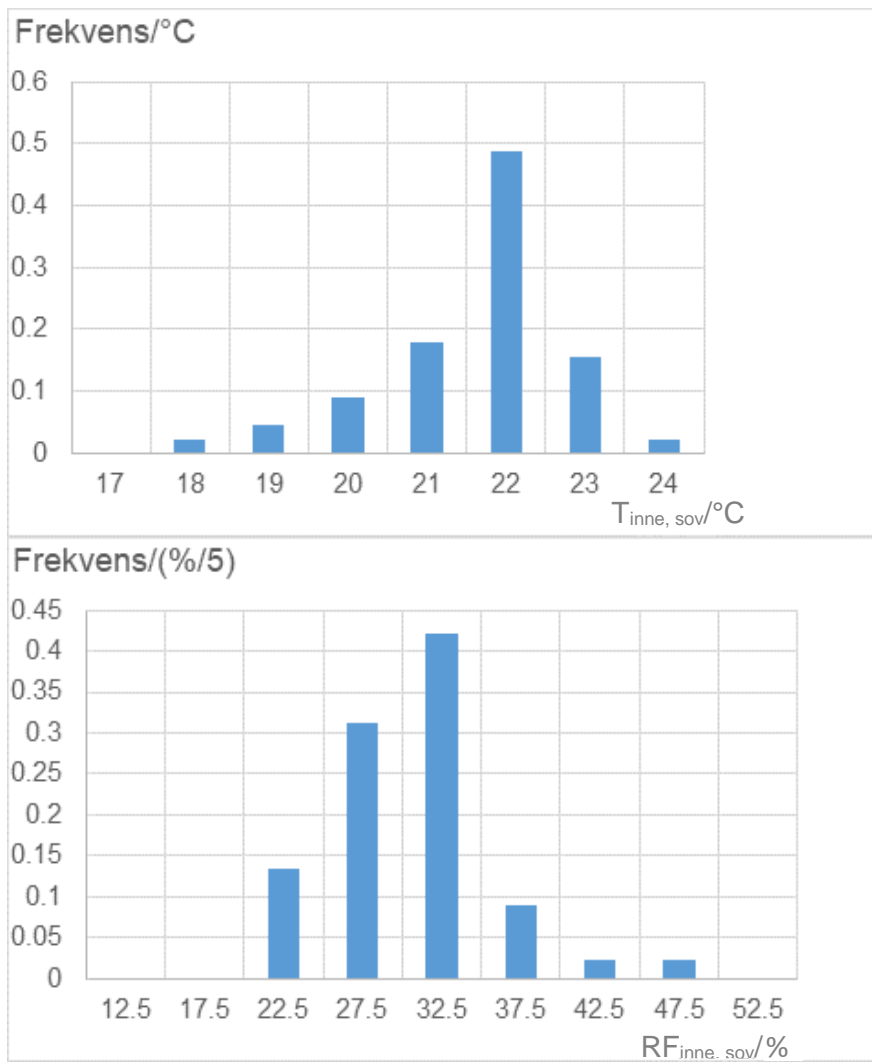
Figurerna nedan presenterar hur uppmätta inomhustemperaturer och relativa fuktigheter under uppvärmningssäsongen fördelar sig mellan husen på de 12 orterna, vilket innebär från och med oktober till och med april. Värden presenteras i Figur 6.7 - Figur 6.9 för hall, sovrum samt som medelvärde för huset baserat på mätningarna i sovrum och hall. I Figur 6.9 som presenterar medelvärdet framgår att strax över 60 % av husen har en medeltemperatur under uppvärmningssäsongen inom spannet 21,5-22,5°C. I Boverkets Betsi-studie som omfattande hus byggda före 2005 var det cirka 28 % av småhusen som hade mellan 21,5-22,5°C under uppvärmningssäsongen samtidigt som cirka 27 % av husen hade mellan 20,5-21,5°C. I Figur 6.9 framgår att det jämförelsevis är något färre, cirka 18 % av husen, i denna studie som har inomhustemperatur mellan 20,5-21,5°C under uppvärmningssäsongen. I denna studie är medelvärdet på inomhustemperaturen under uppvärmningssäsongen 21,9°C vilket är något högre än i Boverkets Betsi-studie där medelvärdet för småhus byggda före 2005 var 21,2°C. Även om de uppmätta värdena i denna studie generellt är något högre än de värden som presenteras för småhus byggda före 2005 så är det generella utseendet på fördelningen mellan

temperaturen i olika hus, dvs förhållandet mellan staplarna i Figur 6.9, liknande de tidigare mätningarna. Mätningarna i detta projekt visar att generellt är temperaturen under uppvärmningssäsongen något högre i hall, i medeltal 22,1°C, jämfört med i sovrum där den i medeltal var 21,6°C.

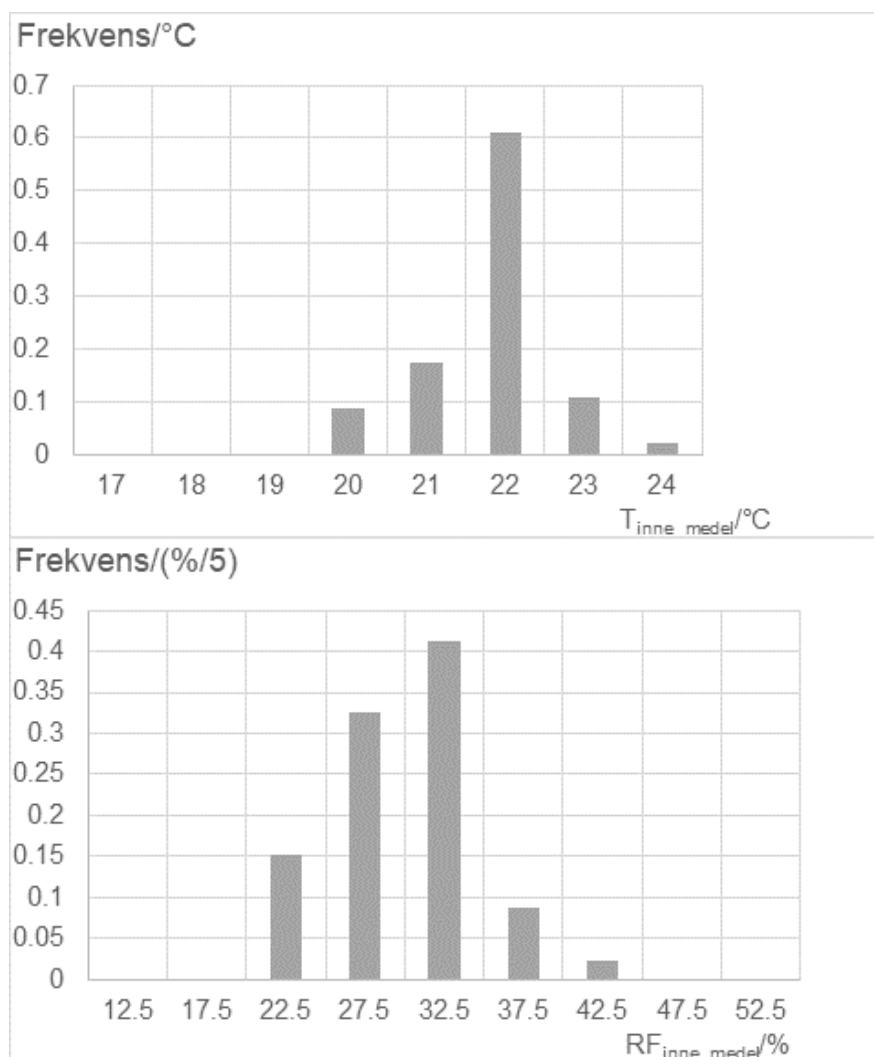
Vad gäller den relativa fuktigheten så har drygt 40% av husen RF på mellan 30-35% vilket även var de vanligaste värdena på RF i Boverkets Betsi-studie. Cirka 14% av husen har under uppvärmningssäsongen RF på mellan 20-25% vilket är mer än dubbelt så hög andel som i Betsi-studien. Skillnaden i relativ fuktighet inomhus i de olika husen kan bero på många olika saker såsom olika fuktproduktion, luftomsättning, inomhustemperatur och inte minst uteklimat. Exempelvis kommer ett hus i Kiruna som har en ”normal” fuktbelastning och inomhustemperatur på 22°C under januari ha 18% RF inomhus medan ett hus i Malmö skulle ha 30% RF inomhus. Mätningarna visar att generellt är den relativa fuktigheten under uppvärmningssäsongen något högre i sovrum, i medeltal 29%, jämfört med i hallen där den i medeltal var 26%.



Figur 6.7 Temperatur och relativ fuktighet uppmätt i hall under uppvärmningssäsongen (oktober-april) i hus på de 12 orterna. För temperatur anger varje stapel andelen byggnader med temperaturer inom $\pm 0,5^\circ\text{C}$ från angivet heltal. För relativ fuktighet anger varje stapel andelen byggnader med RF inom $\pm 2,5$ från angiven RF.



Figur 6.8 Temperatur och relativ fuktighet uppmätt i sovrum under uppvärmningssäsongen (oktober-april) i hus på de 12 orterna. För temperatur anger varje stapel andelen byggnader med temperaturer inom $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ från angivet heltal. För relativ fuktighet anger varje stapel andelen byggnader med RF inom $\pm 2,5$ från angiven RF.



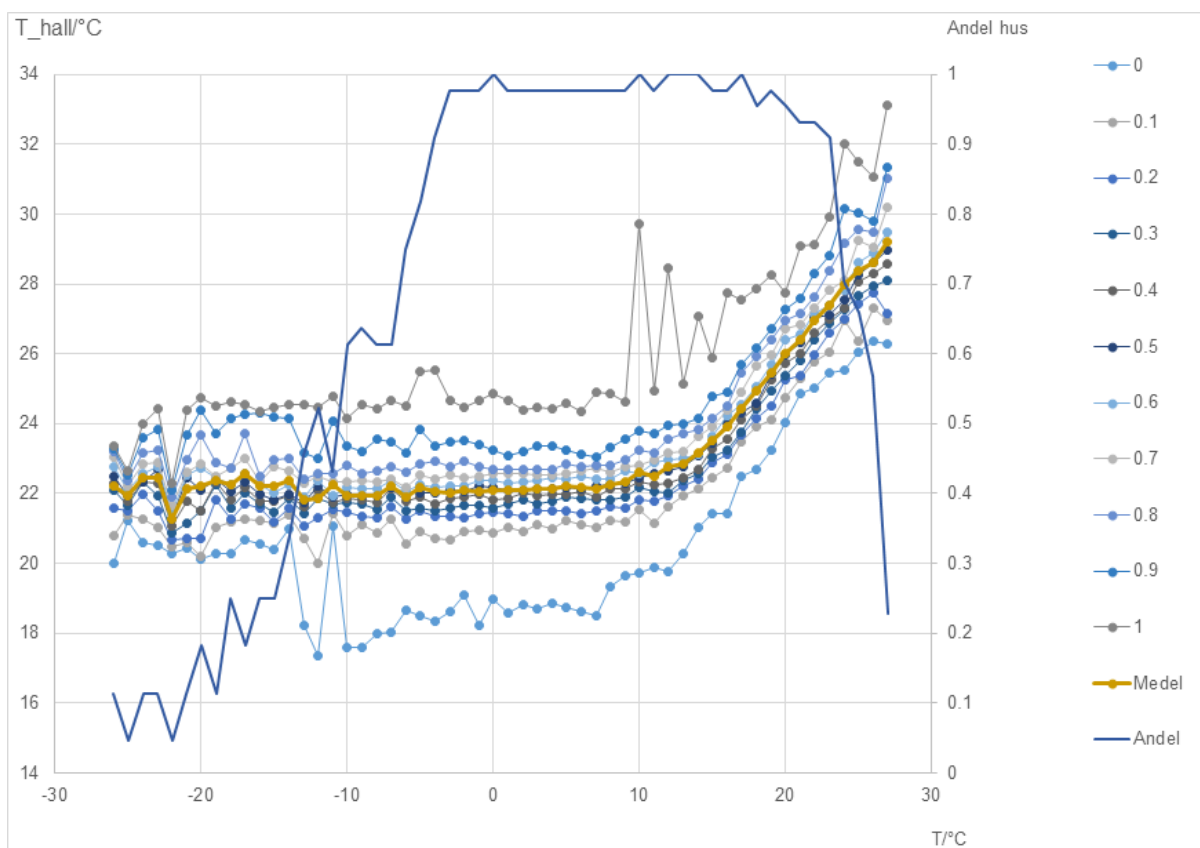
Figur 6.9 Byggnadsmedelvärde (baserat på mätningar i sovrum och hall) för temperatur och relativ fuktighet under uppvärmningssäsongen (oktober-april) i hus på de 12 orterna. För temperatur anger varje stapel andelen byggnader med temperaturer inom $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ från angivet heltal. För relativ fuktighet anger varje stapel andelen byggnader med RF inom $\pm 2,5$ från angiven RF.

6.3 Inomhustemperatur som funktion av utomhustemperaturen

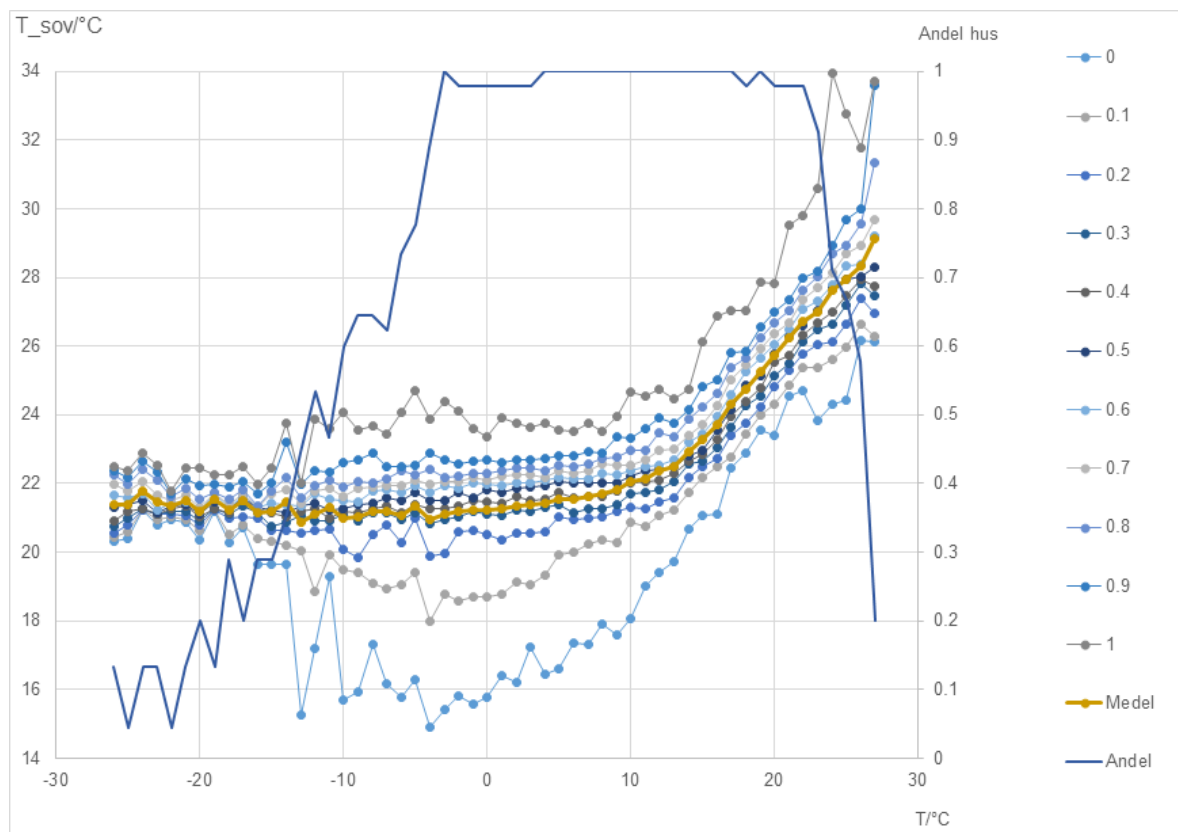
Tidigare genomförda mätstudier av inomhustemperaturer i bostäder i Sverige har oftast behandlat inomhustemperaturen under uppvärmningssäsongen. Detta kan förklaras av att inomhustemperaturen är en viktig parameter som påverkas byggnadens uppvärmningsbehov. I svenska byggnader finns typiskt ett uppvärmningssystem med styr- och reglerfunktioner med syftet att ge en önskad inomhustemperatur då ett uppvärmningsbehov föreligger. När utomhustemperaturen når en viss temperatur behövs ingen uppvärmning från uppvärmningssystemet utan så kallad gratisvärme från exempelvis personer, apparater och solen gör att inomhustemperaturen blir samma eller högre än den önskade temperaturen. Eftersom kyla typiskt inte används i bostäder i Sverige finns det inget styr- och regler-system för inomhustemperaturen utanför uppvärmningssäsongen. Det är då i viss mån möjligt för de boende att påverka inomhustemperaturen med eventuell användning av solavskärmning eller vädring. Vädring kan beroende på utetemperaturen och mikroklimatförhållanden även

innebära ökad inomhustemperatur. Det är därför intressant att studera hur inomhustemperaturen varierar med utomhustemperaturen.

Figur 6.10 och Figur 6.11 presenterar inomhustemperaturen i husen på de 12 olika orterna som funktion av utomhustemperaturen. Inomhustemperaturernas dygnsmedelvärde för respektive hus har sorterats baserat på dygnsmedeltemperaturer i steg om hela grader med ett intervall på $\pm 0,5^\circ\text{C}$. För varje hus och varje utetemperaturintervall om $\pm 0,5^\circ\text{C}$ har inomhustemperaturens medelvärde beräknats vilket innebär att i figurerna avläses vad medelvärdet och olika percentiler för inomhustemperaturens dygnsmedelvärde (avläses på x-axel) har varit under dygn med en viss utetemperatur (avläses på primär y-axel). På sekundär y-axel avläses andelen hus som det finns data för den dygnsmedeltemperatur som anges på x-axeln. De skillnader i klimat som finns mellan norra och södra Sverige och husens fördelning över landet gör att det för höga och låga dygnsmedeltemperaturer bara finns data från en mindre andel av husen.



Figur 6.10 Inomhustemperatur i hall som funktion av utomhustemperaturen, dygnsmedelvärden, baserat på mätningar i hus på de 12 orterna. På sekundär y-axel avläses andelen hus som percentilerna vid en viss utomhustemperatur baseras på.



Figur 6.11 Inomhustemperatur i sovrum som funktion av utomhustemperaturen, dygnsmedelvärden. På sekundär y-axel avläses andelen hus som percentilerna vid en viss utomhustemperatur baseras på.

Resultatet i figurerna visar som förväntat att inomhustemperaturen ökar med ökad utomhustemperatur. För inomhustemperaturen i hall, Figur 6.10 är linjen som redovisar medelvärdet mer eller mindre horisontell upp till en utomhustemperatur på 7°C och för utomhustemperaturer över det ökar inomhustemperaturen med en ökad gradient till utomhustemperatur kring 14°C. För utomhustemperaturer över 14°C är gradienten mer eller mindre konstant och när dygnsmedeltemperaturen utomhus ökar 5°C ökar dygnsmedeltemperaturen i hallen cirka 2°C. När dygnsmedeltemperaturen utomhus är kring 20°C är dygnsmedeltemperaturen i hall cirka 26°C.

För inomhustemperaturen i sovrum, Figur 6.11, visar linjen som redovisar medelvärdet på att inomhustemperaturen börjar öka med en liten gradient, cirka 1/10 redan vid utomhustemperaturer kring 0°C. På samma sätt som för hallen klar gradienten när utomhustemperaturen överstiger 7°C för utomhustemperaturer över cirka 14°C är gradienten mer eller mindre konstant 5/2. När dygnsmedeltemperaturen utomhus är kring 20°C är dygnsmedeltemperaturen i sovrum cirka 26°C.

Resultatet i Figur 6.10 och Figur 6.11 presenterar hur husen fungerar med tanke på vad inomhustemperaturen blir vid olika utomhustemperaturer, även under sommarsäsongen. Detta kan användas för att undersöka hur ett ändra klimat med högre utomhustemperaturer sommartid kan förväntas påverka inomhustemperaturerna i våra bostäder.

6.4 Samband mellan relativ fuktighet inomhus och olika parametrar

Fysikalisk teori innebär att den relativa fuktigheten inomhus beror på ånghalten i utomhusluften, fuktproduktionen som tillförs inomhusluften (fuktavgivning från människor, matlagning, duschning etc.), ventilationsflödet och inomhustemperaturen. Under uppvärmningssäsongen är den relativa fuktigheten i utomhusluften generellt över 80 % och då mätnadsånghalten i utomhusluften bestäms av utomhustemperaturen så kommer ånghalten i utomhusluften samvariera med utomhustemperaturen. Detta samband är inte linjärt men för kallare temperaturer är avvikelsen från ett linjärt samband mindre.

För datamaterialet från etapp 2 har statistisk analys använts för att studera om följande variabler signifikant beskriver relativ fuktighet i hall under uppvärmningssäsong (okt-apr) respektive relativ fuktighet i sovrum under nätter (kl. 00-04) under uppvärmningssäsong (okt-apr):

- Lägsta månadsmedeltemperatur/°C
- Frånluftsflöde/(l/(s·m²))
- Typ av ventilationssystem (F eller FTX)
- Persontäthet/(p/m²)

Den statistiska analysen har gjorts dels med multipel regression, dels med mixed model. Den senare modellen tar hänsyn slumpmässig variation orter emellan. Resultaten redovisas i anova-tabeller.

För den relativa fuktigheten i hall under uppvärmningssäsong, presenteras resultatet från den blandade modellen i tabell 6.1. Från p-värdena finner vi Lägsta månadstemperatur som den mest signifikanta variabeln ($p=6.7E-7$); även Frånluftsflöde är signifikant på nivån 0,05 ($p=0,049$).

Tabell 6.1 Anova-tabell där eventuella signifikanta variabler framgår, avseende relativ luftfuktighet i hall under uppvärmningssäsong (okt-apr).

```
> Anova (mlx)
Analysis of Deviance Table (Type II Wald chisquare tests)

Response: rav
      Chisq Df Pr(>Chisq)
mintempute 24.6982 1 6.705e-07 ***
luftflode  3.8913 1 0.04854 *
ventsystem 2.0609 1 0.15112
persperm2  0.0012 1 0.97247
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

För den relativa fuktigheten i sovrum under nätter under uppvärmningssäsong, redovisas resultatet i tabell 6.2. Även här är Lägsta månadstemperatur den mest signifikanta variabeln ($p=2.0E-8$). Frånluftsflödet är inte signifikant på nivån 0,05 ($p=9.1E-2$). Däremot är persontätheten i huset en signifikant variabel ($p=0,42$), vilket kan verka lite förvånande eftersom antalet personer i sovrummet och därmed den lokala fuktproduktionen där inte borde bero på antalet personer i huset utan hur många som sover i rummet, vilket generellt antas vara en eller två personer.

Tabell 6.2 Anova-tabell där eventuella signifikanta variabler framgår, avseende relativ luftfuktighet i sovrum under nätter (kl. 00-04) under uppvärmningssäsong (okt-apr).

```
> Anova(mlx)
Analysis of Deviance Table (Type II Wald chisquare tests)

Response: rfav

      Chisq Df Pr(>Chisq)
mintempute 31.4689  1 2.027e-08 ***
luftflode  2.8626  1  0.09066  .
ventsystem 1.4455  1  0.22926
persperm2  4.1495  1  0.04165  *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Det är intressant att notera att i hallen där det förväntades ett starkare samband mellan persontätheten i huset och den relativa fuktigheten jämfört med i sovrummet nattetid visade den statistiska analysen att det var tvärt om när utetemperatur, och ventilationsflöde etc. vägs in i modellen. Detta kan uppfattas som att det i sovrum råder ett starkare samband mellan relativ fuktighet och persontäthet, jämfört med hall.

6.5 Samband mellan inomhustemperatur och olika parametrar

I de figurer i kapitel 6 som presenterar inomhustemperaturer, exempelvis Figur 6.3 och Figur 6.11, framgår att det dels är stor skillnad i inomhustemperatur under uppvärmningssäsong och sommar men även mellan olika hus vid samma utetemperatur och under samma månad. Det är intressant att undersöka om det finns någon studerad variabel som kan förklara de skillnader i inomhustemperatur som finns mellan olika hus. En uppenbar förklaring till nivån på uppmätta inomhustemperaturer, framförallt under uppvärmningssäsong, är den temperatur som de som bor i huset vill ha och som de förmodligen har ställt in uppvärmningssystem och termostater utifrån. I det enkätmaterial som använts finns ingen fråga om detta men det hade varit mycket intressant att inkludera i framtida studier.

För datamaterialet från etapp 2 har statistisk analys använts för att studera om följande variabler signifikant beskriver inomhustemperaturen i hall och i sovrum under natten (kl. 00-04) under uppvärmningssäsongen (okt-apr) respektive sommarsäsongen (jun-aug):

- Lägsta månadsmedeltemperatur/°C
- Högsta månadsmedeltemperatur/°C (endast vid analys av sommarsäsongen)
- Frånluftsflöde/(l/(s·m²))
- Typ av ventilationssystem (F eller FTX)
- Persontäthet/(p/m²)

Den statistiska analysen har gjorts dels med multipel regression, dels med blandad modell. Den senare modellen tar hänsyn till slumpmässig variation orter emellan. Resultaten redovisas i anova-tabeller.

För temperaturerna under uppvärmningssäsongen presenteras resultatet från den blandade modellen i Tabell 6.3 och Tabell 6.4. Både för temperaturen i hall och för temperaturen i sovrum visar p-värdena att inga av de studerade variablerna är signifikanta. Detta är rimligt med tanke på att uppvärmningssystemets styr- och reglerteknik ska hålla den önskade inomhustemperaturen under uppvärmningssäsongen och förutsatt att uppvärmningssystemet

inte är underdimensionerat eller de interna värmelasterna extrema bör ingen av de studerade variablerna påverka inomhustemperaturen under uppvärmningssäsongen.

Tabell 6.3 Anova-tabell där eventuella signifikanta variabler framgår, avseende temperatur i hall under uppvärmningssäsong (okt-apr).

```
> Anova(mlx)
Analysis of Deviance Table (Type II Wald chisquare tests)

Response: tav1
      Chisq Df Pr(>Chisq)
mintempute 0.4384 1 0.5079
luftflode 2.2006 1 0.1380
ventsysteem 0.3968 1 0.5288
persperm2 0.9258 1 0.3360
```

Tabell 6.4 Anova-tabell där eventuella signifikanta variabler framgår, avseende temperatur i sovrum under natten (kl. 00-04) under uppvärmningssäsong (okt-apr).

```
> Anova(mlx)
Analysis of Deviance Table (Type II Wald chisquare tests)

Response: tav3
      Chisq Df Pr(>Chisq)
mintempute 1.6449 1 0.1997
luftflode 0.5555 1 0.4561
ventsysteem 0.0365 1 0.8485
persperm2 0.3275 1 0.5672
```

För temperaturerna under sommarsäsongen presenteras resultatet från den blandade modellen i Tabell 6.5 och Tabell 6.6. Både för temperaturen i hall och för temperaturen i sovrum visar p-värdena att variabeln Högsta månadsmedeltemperatur är signifikant på nivån 0,01. Det verkar rimligt att denna variabel har signifikans men tester har visat att även variabeln Lägsta månadsmedeltemperatur är signifikant på nivån 0,01. Det finns samband mellan lägsta och högsta månadsmedelvärde och båda variablerna har samband med latituden. För temperaturen i hallen finns en signifikans på den lägre nivån 0,10 för variabeln Frånluftsflöde. Det kan vara rimligt att ett högre frånluftsflöde kan ge en lägre inomhustemperatur om utomhustemperaturen är lägre än utomhustemperaturen och särskilt om det högre luftflödet gör att huset kan kylas mer under natten då det kan vara större skillnad mellan utetemperaturen och inomhustemperaturen. Däremot skulle ett högre ventilationsflöde kunna öka inomhustemperaturen om utetemperaturen, eller temperaturen i mikroklimatet där luften till huset tas in, är högre än inomhustemperaturen.

Tabell 6.5 Anova-tabell där eventuella signifikanta variabler framgår, avseende temperatur i hall under sommarsäsong (jun-aug).

```
> Anova(mlx)
Analysis of Deviance Table (Type II Wald chisquare tests)

Response: tav2
      Chisq Df Pr(>Chisq)
maxtempute 8.2733 1 0.004023 **
luftflode 3.0013 1 0.083198 .
ventsysteem 0.9942 1 0.318722
persperm2 2.3750 1 0.123295
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabell 6.6 Anova-tabell där eventuella signifikanta variabler framgår, avseende temperatur i sovrum under natten (kl. 00-04) under sommarsäsong (jun-aug).

```
> Anova(mlx)
Analysis of Deviance Table (Type II Wald chisquare tests)

Response: tav4
      Chisq Df Pr(>Chisq)
maxtempete 7.3259 1 0.006797 **
luftflode  1.2903 1 0.255991
ventsystem 0.0127 1 0.910271
persperm2  0.1678 1 0.682077
---
Signif. codes:  0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

7 Fukttillskott

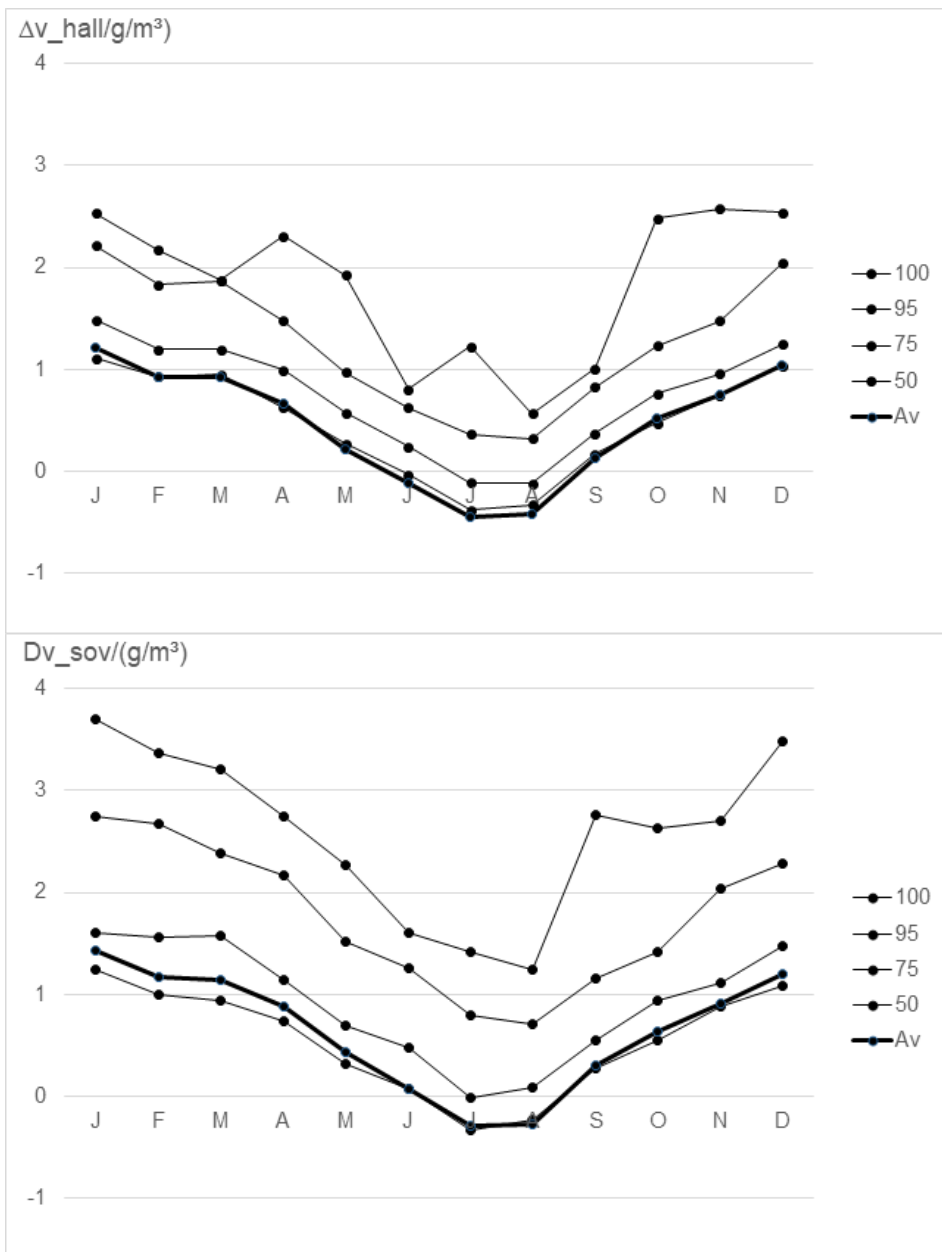
Fukttillskottet definieras som skillnaden mellan ånghalt i inomhus- och utomhusluften. Fukt tillförs inomhusluften från exempelvis människor, djur, växter, disk, tvätt, bad, dusch och matlagning. Hur mycket som tillförs samt hur stor rumsvolym som fukten tillförs i och hur mycket det ventileras kommer att bestämma vad ånghalten inomhus blir. Det är alltså beteende och vanor som exempelvis hur många som bor tillsammans, hur mycket man duschar och hur mycket man vädrar, som i mycket kommer att bestämma fukttillskottets storlek. Brukarbeteende ändras med tiden och det brukar exemplifieras med att nuförtiden duschas det mer i badrum i 60-talshus jämfört med när de var nya.

Genom att resonera kring rimliga scenarier i en bostad kan olika nivåer på fukttillskottet uppskattas. Utifrån att en viss mängd fukt tillförs en volym med en viss ventilation under en given tid kan fukttillskottet bestämmas. Om en familj och gäster, totalt åtta personer, samlas i ett 20 m² stort vardagsrum i en lägenhet om 3 rum och kök i Stockholm för att titta på tecknad film 24 december och luftomsättningen är 0,5 h⁻¹ ger en överslagsberäkning att fukttillskottet efter två timmar kommer att vara 10,5 g/m³. Gästerna stannar över natten och familjen och gästerna tränger ihop sig i de två sovrummen, fyra personer per sovrum. Om ett av sovrummen är 10 m² och ventilationen är anpassad för två sovplatser, 4 l/s och sovplats, kommer det efter åtta timmar med fyra personer vara ett fukttillskott på 3,5 g/m³. Om personerna skulle begränsa ventilationen till hälften för att de upplever drag kommer fukttillskottet efter åtta timmar istället vara cirka 7 g/m³.

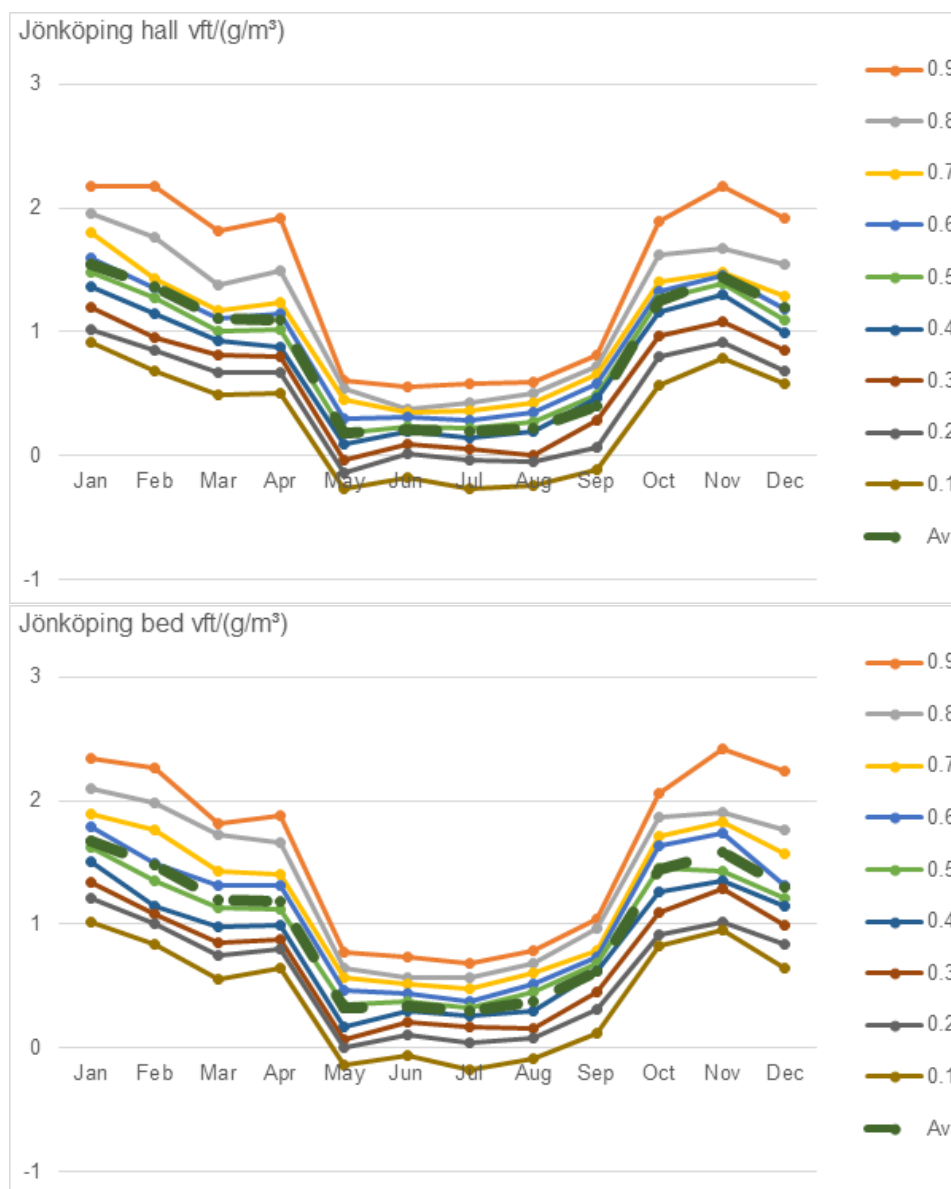
Det som exemplifieras ovan ger en uppskattning av vad fukttillskottet skulle kunna bli i olika rum för ett par scenarier. Det är inte möjligt att med hjälp av enkel teori simulera beteende varför kunskap om de verkliga förhållandena i bostäder kräver mätningar i verkliga bostäder.

7.1 Fukttillskottets variation under året

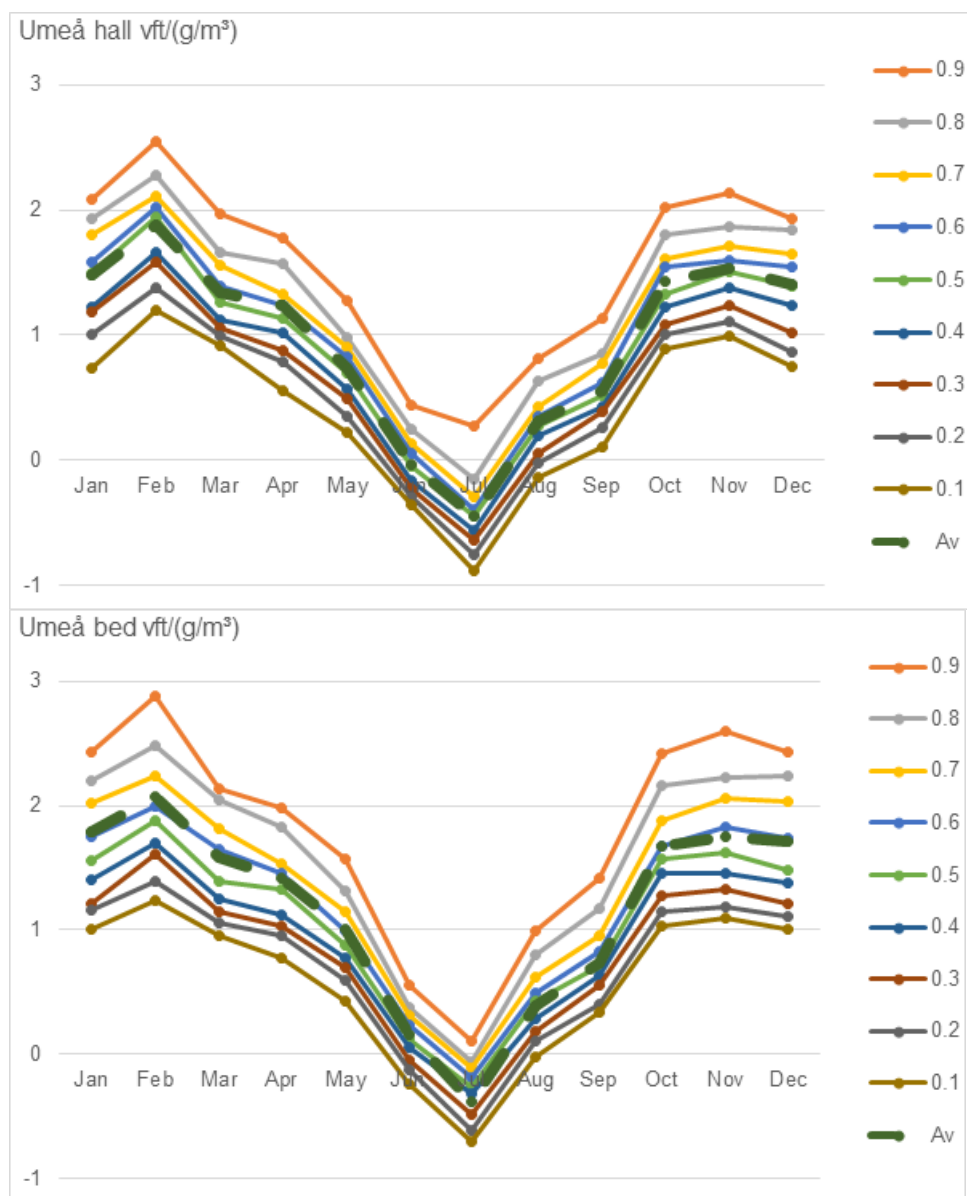
Baserat på uppmätta temperaturer och relativa fuktigheter i hall, och sovrum har luftens ånghalter beräknats. Ånghalter utomhus har beräknats baserat på uppmätta temperaturer från närliggande SMHI-klimatstation eller från mätningar i direkt anslutning till husen. Skillnaden mellan ånghalten i hall respektive sovrum och i uteluften definierar fukttillskottet. För varje timme har timmens fukttillskott beräknats. Figur 7.1 presenterar medelvärde och några percentiler för fukttillskottets månadsmedelvärde i husen på de 12 olika orterna. Som förväntat och i överensstämmelse med tidigare studier, både svenska och från andra länder, är det stor variation i månadsmedelvärden beroende på årstid med högst fukttillskott under vintern och lägst under sommaren. Skillnaden i fukttillskott vid varma och kalla temperaturer antas kunna bero på exempelvis omfattande vädring sommartid, olika matlagingsvanor under sommar och vinter, torkning av tvätt utomhus på sommaren etc. Av Figur 7.1 framgår att fukttillskottet i både hall och sovrum generellt minskar månad för månad mellan januari och juli samt ökar för varje månad mellan juli och december. Men, profilerna för 95 percentilen och maxvärdet (100 percentilen) visar att fukttillskottet i specifika hus kan ändras i motsatt riktning mellan olika månader. Figur 7.2 och Figur 7.3 presenterar på motsvarande sätt olika percentiler för fukttillskottets månadsmedelvärde uppmätt i husen i Jönköping respektive Umeå. Av resultatet i figurerna framgår att det är förhållandevis stora skillnader i fukttillskott i de olika byggnaderna. Detta överensstämmer med resultat från andra studier.



Figur 7.1 Fukttillskottets månadsmedelvärden uppmätt i hall (övre) och i sovrum (undre) i hus på de 12 olika orterna.



Figur 7.2 Fukttillskottets månadsmedelvärden uppmätt i hall (övre) och i sovrum (undre) i hus i Jönköping.



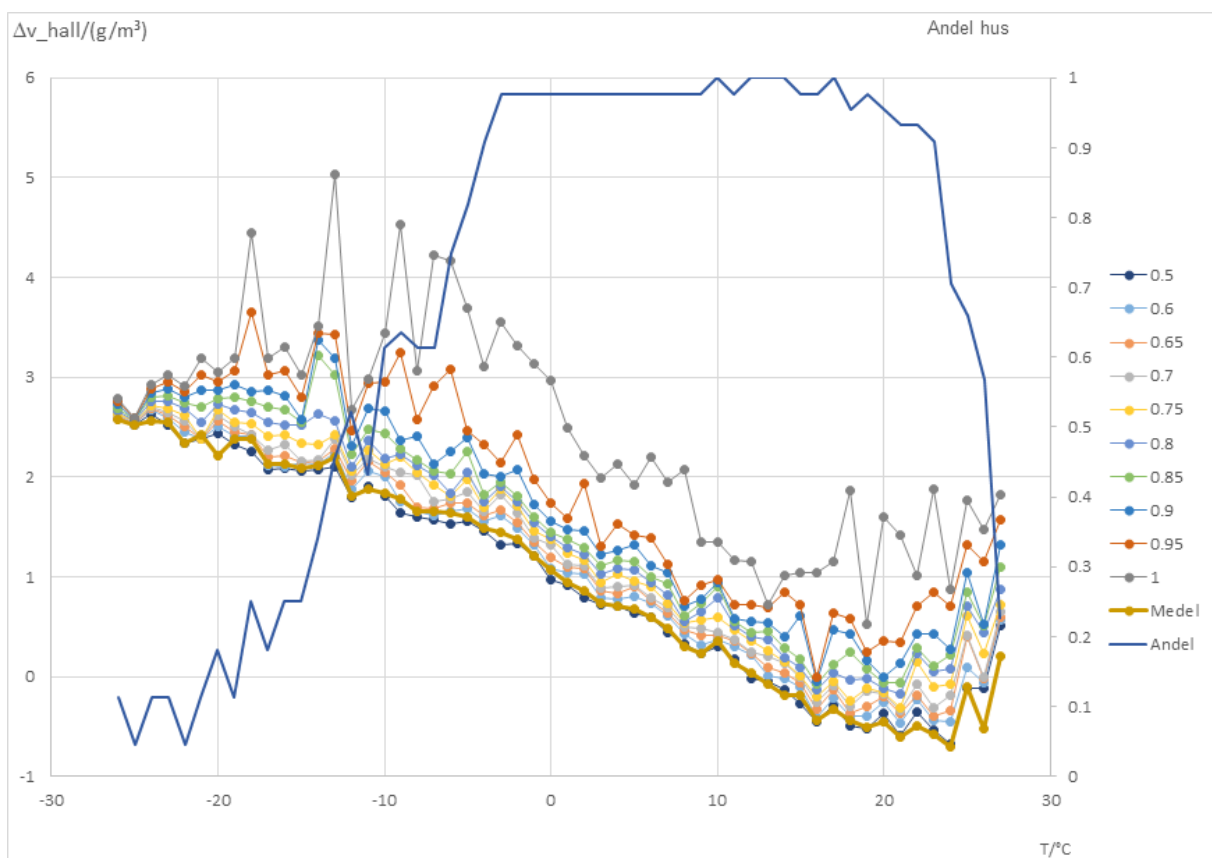
Figur 7.3 Fukttillskottets månadsmedelvärden uppmätt i hall (övre) och i sovrum (undre) i hus i Umeå.

7.2 Fukttillskottet som funktion av utomhustemperaturen

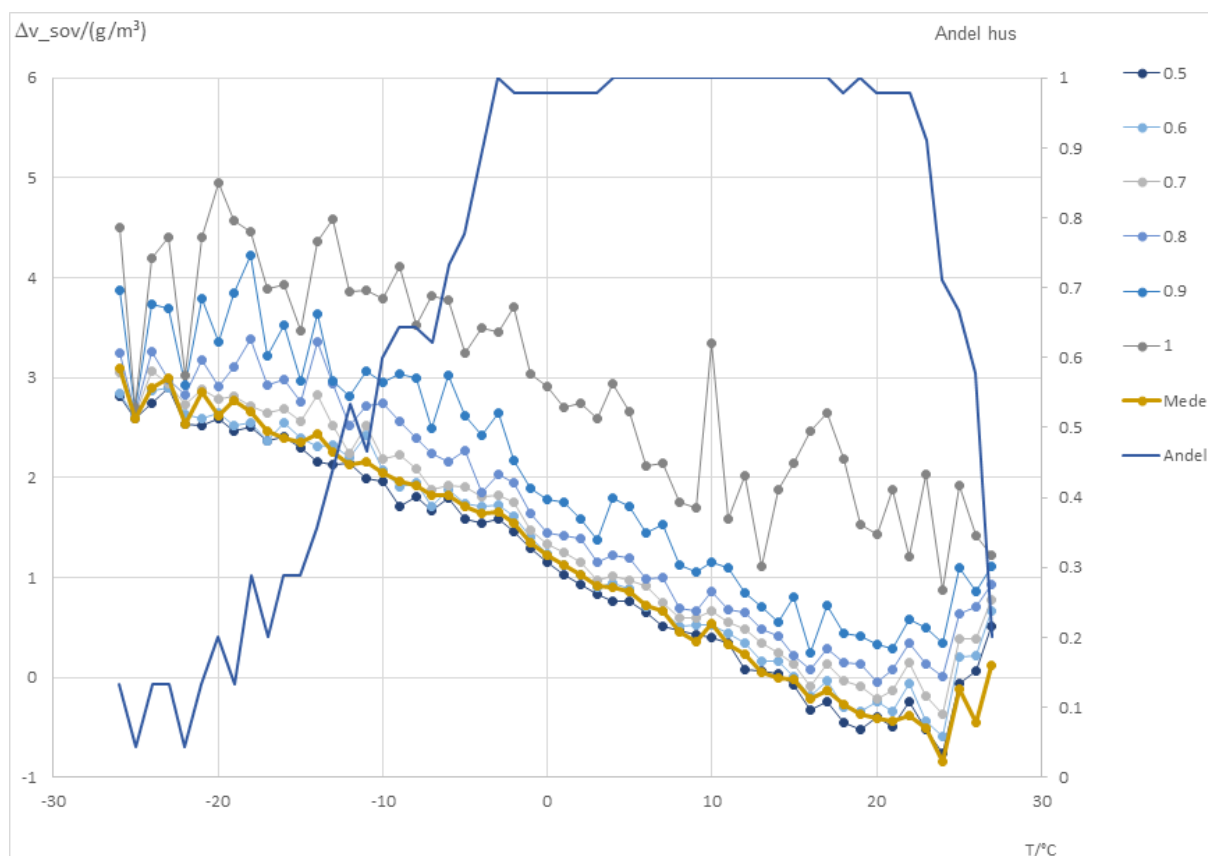
Av Figur 7.1 - Figur 7.3 indikeras att fukttillskottet varierar med utomhustemperaturen. I Fukthandboken (Arfvidsson et al, 2017) presenteras två sätt att beskriva fukttillskottet och hur det varierar med utomhustemperaturen genom inneklimatemodeller. En av modellerna utgår från Künzels (1997) och den beskriver fukttillskottet som styckvis linjära funktioner av utetemperatur inom tre intervall (låg, medel och hög) som uppåt definieras av linjära funktioner som alla ger fukttillskottet 0 g/m³ vid $T_{ute}=20^{\circ}\text{C}$ och vid $T_{ute}=-10^{\circ}\text{C}$ är 3, 6 respektive 9 g/m³ för de tre olika intervallen (låg, medel och hög). Den andra modellen beskrivs i standarden EN 13788 där fukttillskottet beskrivs som konstant tills utetemperatur är 0°C och sedan linjärt avtagande med ökande utetemperatur ner till noll när utetemperatur är 20°C. För utetemperaturer lägre än noll anges fukttillskottet till följande värden; för utrymmen som är obebodda (klass 1) anges fukttillskottet till 2 g/m³, för bostäder som har normal närvaro och ventilation (klass 2) anges fukttillskottet till 4 g/m³ och för bostäder med okänd närvaro (klass 3) anges fukttillskottet till 6 g/m³. Dessa värden är enligt standarden ”den övre gränsen för fuktbelastningen” i bostäder. För att kunna jämföra med de etablerade

inneklimateklasserna enligt ovan som beskriver fuktillskottet som varierande med utetemperaturer behöver mätningar av inneklimatet i bostäder kopplas till utetemperaturer.

Figur 7.4 och Figur 7.5 presenterar fuktillskottet i husen på de 12 olika orterna som funktion av utomhustemperaturen. Fuktillskottets dygnsmedelvärde för respektive hus har sorterats baserat på dygnsmedeltemperaturer i steg om hela grader med ett intervall på $\pm 0,5^\circ\text{C}$. För varje hus och varje utetemperaturintervall om $\pm 0,5^\circ\text{C}$ har fuktillskottets medelvärde beräknats vilket innebär att i figurerna avläses vad medelvärdet och olika percentiler för fuktillskottets dygnsmedelvärde (avläses på x-axel) har varit under dygn med en viss utetemperatur (avläses på primär y-axel). På sekundär y-axel avläses andelen hus som det finns data för den dygnsmedeltemperatur som anges på x-axeln. Med tanke på de skillnader i klimat som finns mellan norra och södra Sverige och husens fördelning över landet gör att det för höga och låga dygnsmedeltemperaturer bara finns data från en mindre andel av husen.



Figur 7.4 Fuktillskott i hall som funktion av utomhustemperaturen, dygnsmedelvärdet, baserat på mätningar i hus på de 12 orterna. På sekundär y-axel avläses andelen hus som percentilerna vid en viss utomhustemperatur baseras på.



Figur 7.5 Fuktillskott i sovrum som funktion av utomhustemperaturen, dygnsmedelvärden, baserat på mätningar i hus på de 12 orterna. På sekundär y-axel avläses andelen hus som percentilerna vid en viss utomhustemperatur baseras på.

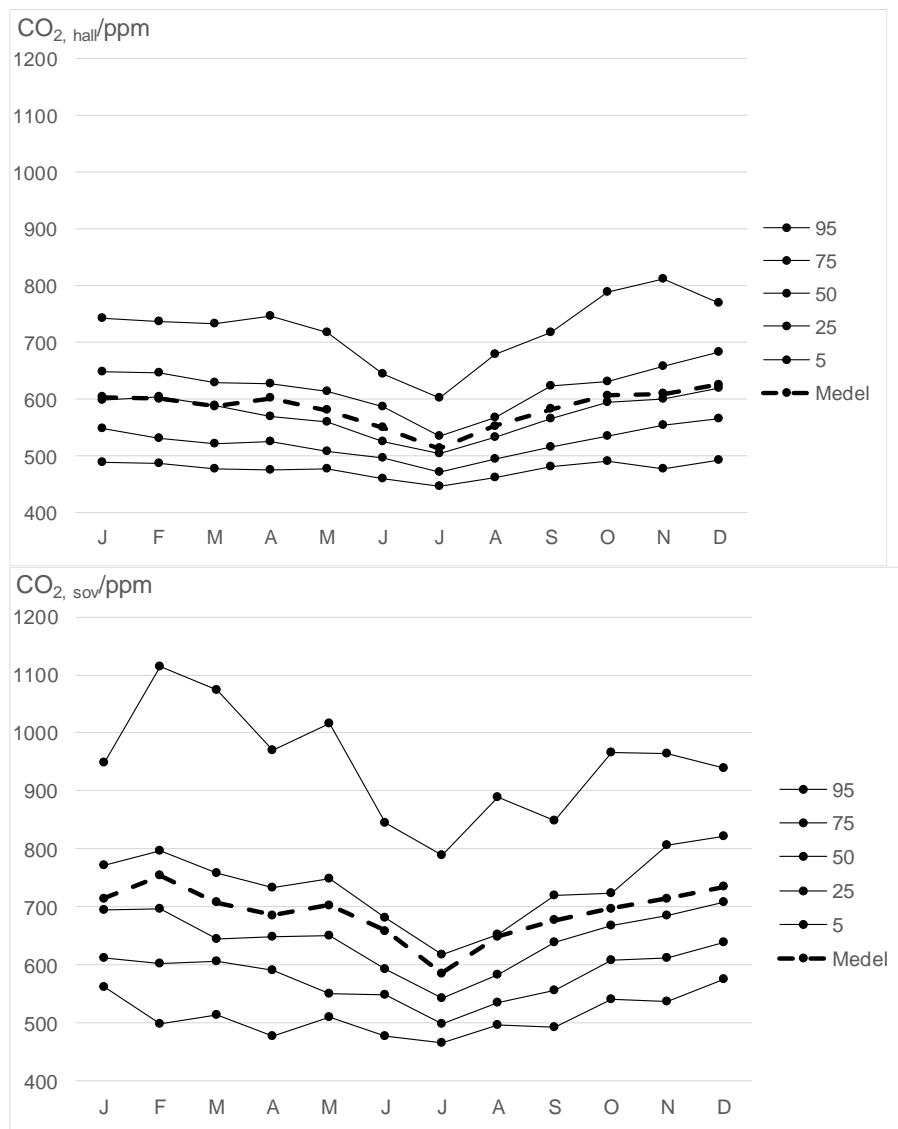
Av Figur 7.4 och Figur 7.5 framgår att fuktillskottet generellt är minskande med ökande utetemperatur upp till 20°C vilket överensstämmer med inneklimatmodellen enligt Künzle (1997). Däremot framgår inte att fuktillskottet skulle vara konstant för utetemperaturer lägre än 0°C på motsvarande sätt som inneklimatmodellen i EN 13788 anger. Vid utetemperaturer nära de varmaste och kallaste kan det särskilt för de högre percentilerna vara stora hopp i fuktillskott mellan två dygnsmedelutetemperaturer som ligger bredvid varandra. Det kan förklaras med att det för dessa dygnsmedelutetemperaturer endast finns ett eller några få dygn och att andelen byggnader är liten. Vid temperaturer över 20°C ökar fuktillskottet med ökande utetemperatur i överensstämmelse med vad som identifierats i mätningar av Kalamees et al (2005).

När percentilerna för fuktillskotten som presenteras för hall och sovrum i Figur 7.4 och Figur 7.5 jämförs med inneklimatmodellen enligt Künzle (1997) finns en ungefärlig överensstämmelse mellan linjen som beskriver 95-percentilen för hall och linjen som beskriver 90-percentilen för sovrum (dvs att fuktillskottet vid dessa percentiler är cirka 3 g/m³ när dygnsmedeltemperaturen utomhus är -10°C och cirka 0 när dygnsmedeltemperaturen utomhus är 20°C) och intervallet som beskriver lågt fuktillskott. När det gäller de enstaka byggnader som har fuktillskott som överstiger dessa värden avviker linjerna som beskriver percentilerna gentemot inneklimatmodellen genom att lutningen på linjen innebär att dygnsmedelfuktillskottet inte är 0 när dygnsmedeltemperaturen är 20°C.

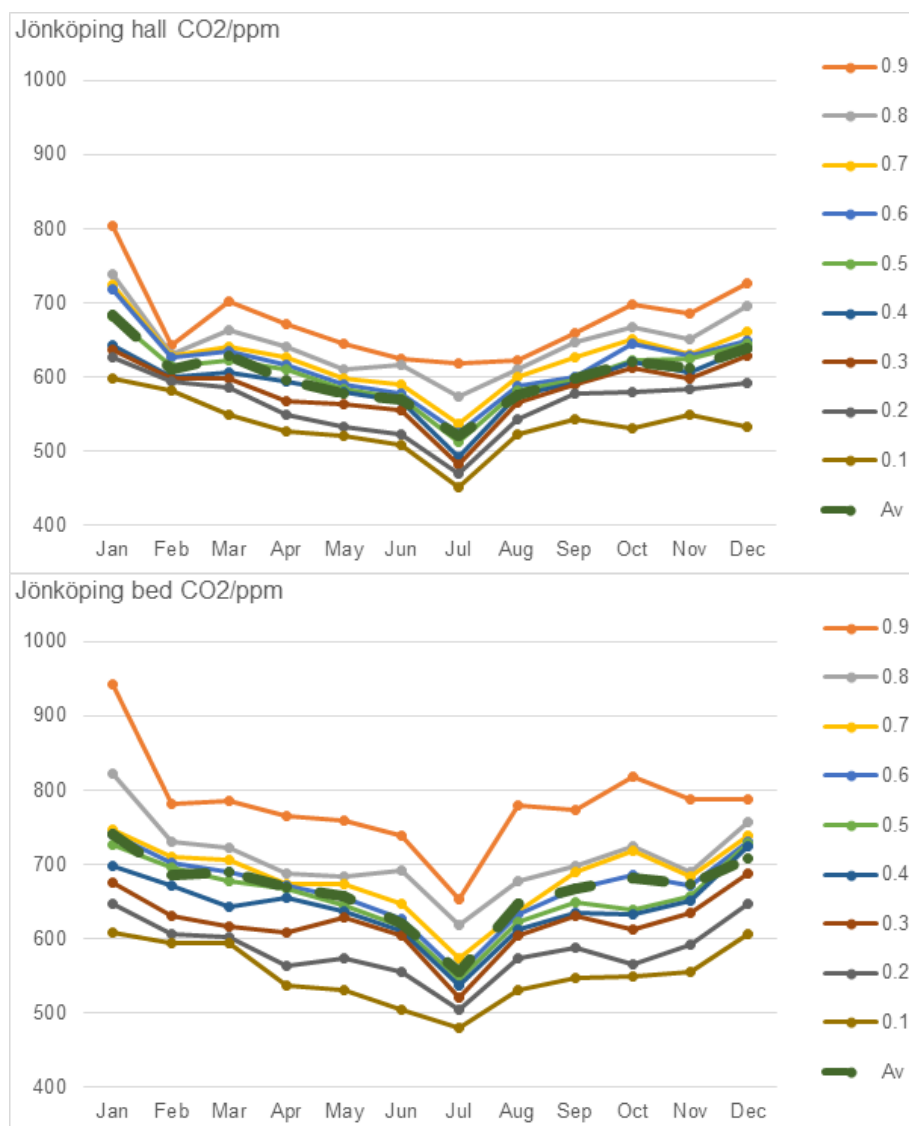
8 Koldioxidkoncentrationer i sovrum och hall

8.1 Medelvärden under året och fördelning mellan byggnader

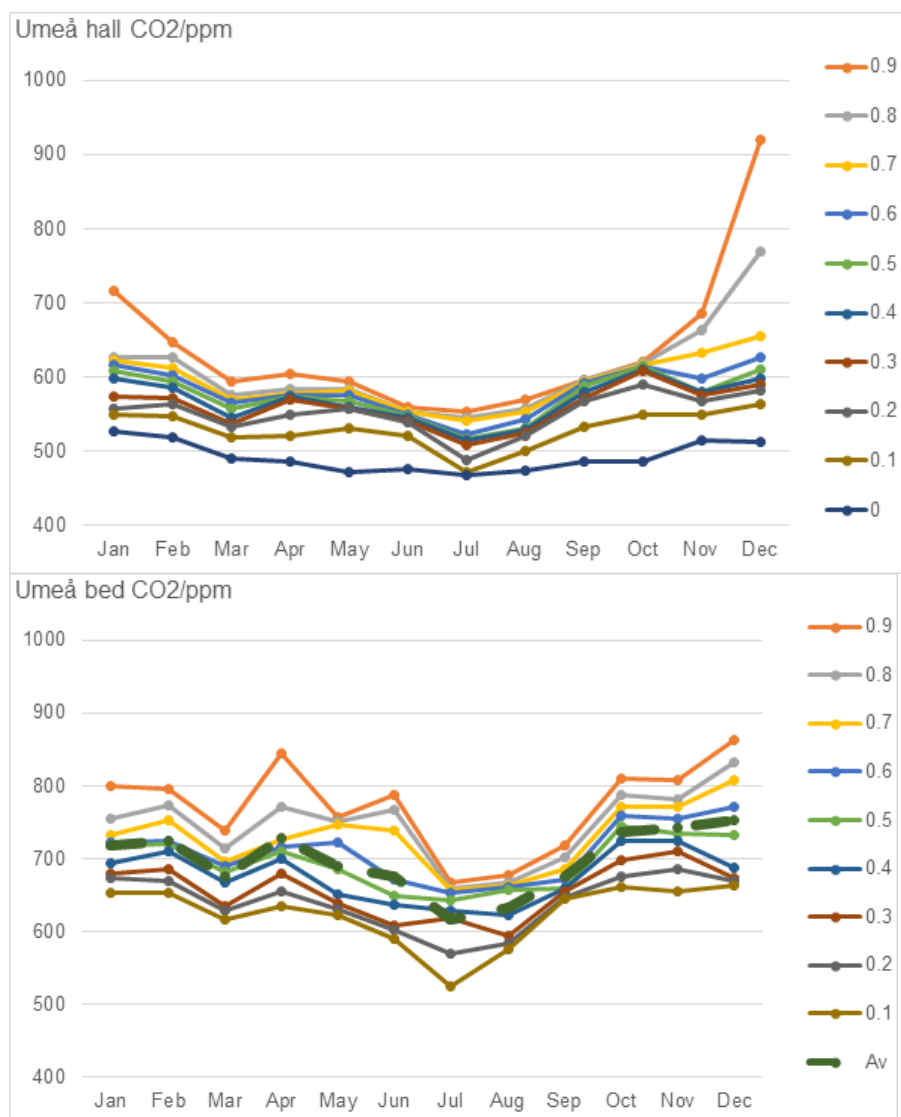
Figur 8.1 presenterar percentiler och medelvärden för månadsmedelvärden i hall och sovrum i de studerade husen på 12 olika orter. Den årstidsvariation som är tydlig i figuren antas till stor del bero på en ökad vädring vid varmare väderlek vilket ger en högre luftomsättning som minskar koldioxidkoncentrationen. Under den varmare årstiden kan mer tid förväntas spenderas utomhus och under sommaren kan semester spenderas hemifrån vilket minskar koldioxidproduktionen i huset och därmed koldioxidkoncentrationen. Medelvärdet för sovrum är cirka 100 ppm högre än för hall kontinuerligt under året. Det är en väsentligt större skillnad mellan koldioxidkoncentrationen i de olika husens sovrum än vad det är mellan de olika husens hallar. I januari är skillnaden mellan 5- och 95-percentilen för medelvärdena uppmätta i hall i de olika husen cirka 250 ppm och 90% av husen ligger mellan cirka 500 och 750 ppm. För sovrum i januari är motsvarande skillnad cirka 400 ppm och 90 % av husen ligger mellan cirka 550 och 950 ppm. Det är värt att notera att 95-percentilen för sovrum ligger kring 1000 ppm under vintermånaderna vilket innebär att 5 % av husen har månadsmedelvärde över detta i sovrum. Med tanke på att man typiskt spenderar åtminstone cirka 8 timmar per dygn i sovrummet är det av intresse att koldioxidnivån inte är för hög där. I Figur 8.2 och Figur 8.3 presenteras på motsvarande sätt olika percentiler för fukttilskottets månadsmedelvärde uppmätt i husen i Jönköping respektive Umeå.



Figur 8.1 Månadsmedelvärden för årets 12 månader. För varje månad redovisas medelvärde för samtliga hus (streckad linje), och olika percentiler som visar fördelningen mellan de olika husen på de 12 orterna i studien.



Figur 8.2 Månadsmedelvärden uppmätta i hus i Jönköping för årets 12 månader. För varje månad redovisas medelvärde för hus (streckad linje), och olika percentiler som visar fördelningen mellan de olika husen i Jönköping.

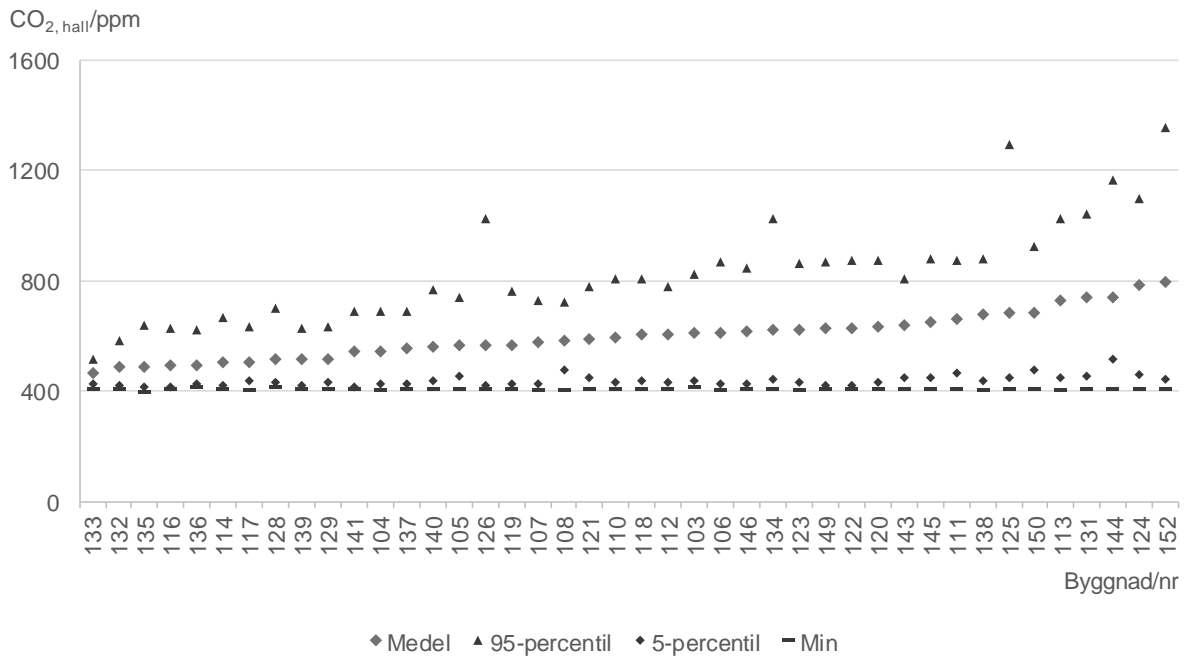


Figur 8.3 Månadsmedelvärden uppmätta i hus i Umeå för årets 12 månader. För varje månad redovisas medelvärde för hus (streckad linje), och olika percentiler som visar fördelningen mellan de olika husen i Umeå.

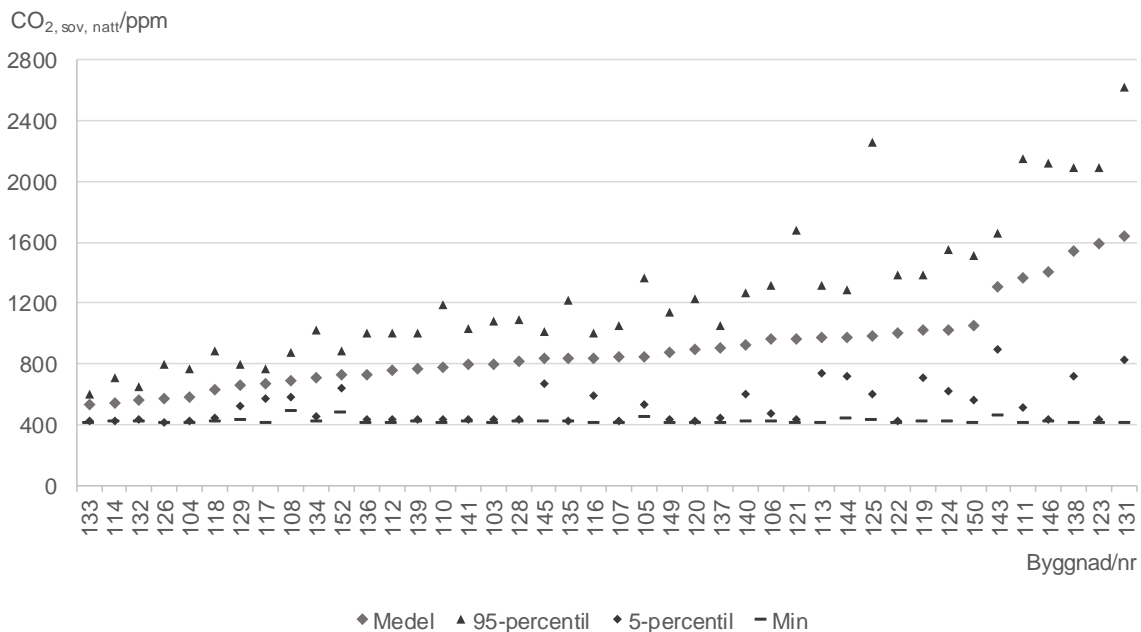
Med tanke på årstidsvariationen som ses i exempelvis Figur 8.1 med högre värden under de månader då det är uppvärmningssäsong samtidigt som man sannolikt spenderar mer tid inomhus hemma under uppvärmningssäsongen så sorteras dess månader, oktober-april, ut och används i de följande analyserna.

I Figur 8.4 presenteras koldioxidkoncentrationen uppmätt i hall under uppvärmningssäsong i hus på de 12 orterna. På x-axeln presenteras byggnadernas projektnummer och byggnaderna är sorterade i storleksordning utifrån medelvärdet i hallen. I figuren presenteras även för respektive byggnad minsta uppmätta timmedelvärde samt 5- och 95-percentilerna baserat på timmedelvärden under uppvärmningssäsong. Figur 8.5 presenterar motsvarande information för koldioxidkoncentrationer uppmätta i sovrum under nattimmarna kl. 00 – kl. 04. Dygnets första fyra timmar har valts då det bedömts att de flesta då sover i sovrummen och koldioxidkoncentrationen under dessa timmar kan vara representativ för att beskriva koncentrationen när sovrummet används. Om 95-percentilen studeras framgår att nästan hälften av sovrummen under 5 % av natttiden har koldioxidkoncentration på 1200 ppm eller högre och 17 % av sovrummen har ett medelvärde som är över 1200 ppm nattetid. Ofta anges 1000 ppm som ett riktvärde för koldioxidkoncentrationen och mätningarna indikerar att det

kan finnas anledning att både under projektering och under drift adressera att tillräcklig luftomsättning i sovrum kan säkerställas för att begränsa koldioxidnivåer.



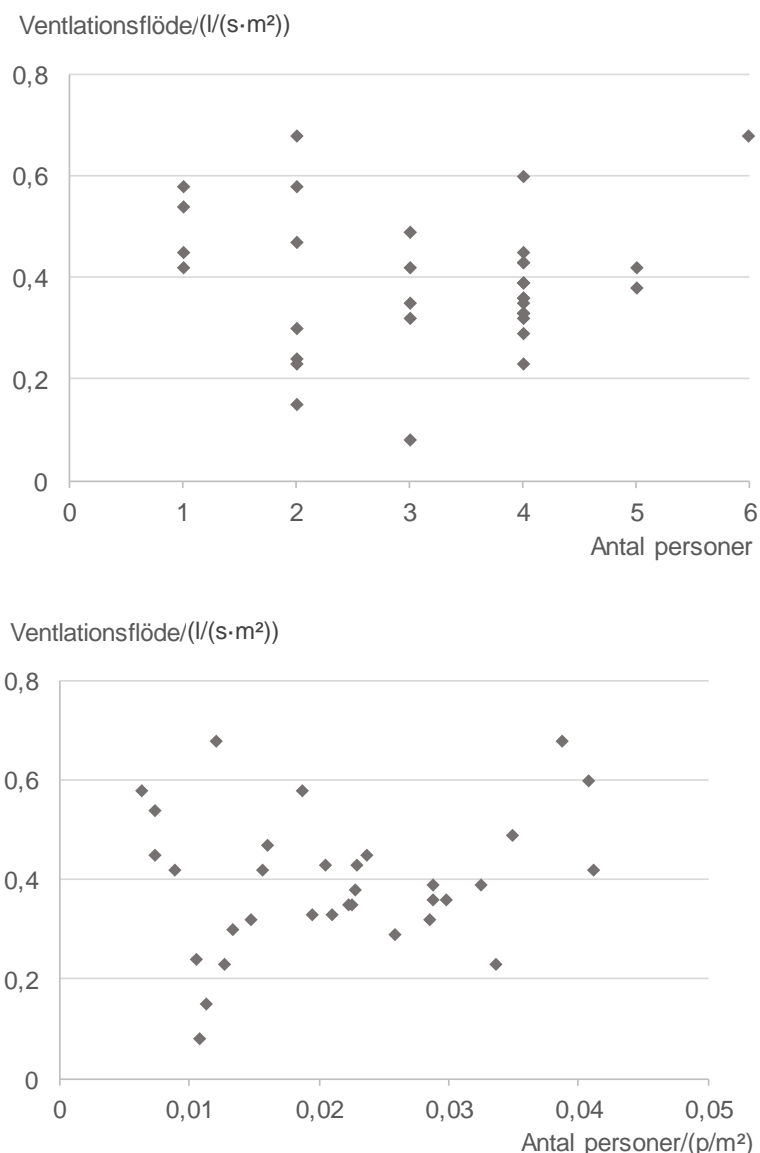
Figur 8.4 Uppmätt koldioxidkoncentration i hall i de studerade byggnaderna på de 12 orterna. I figuren har byggnaderna storleks sorterats i baserat på medelvärdet. I figuren anges även minimum värde samt 5- och 95-percentiler baserat på timmedelvärden.



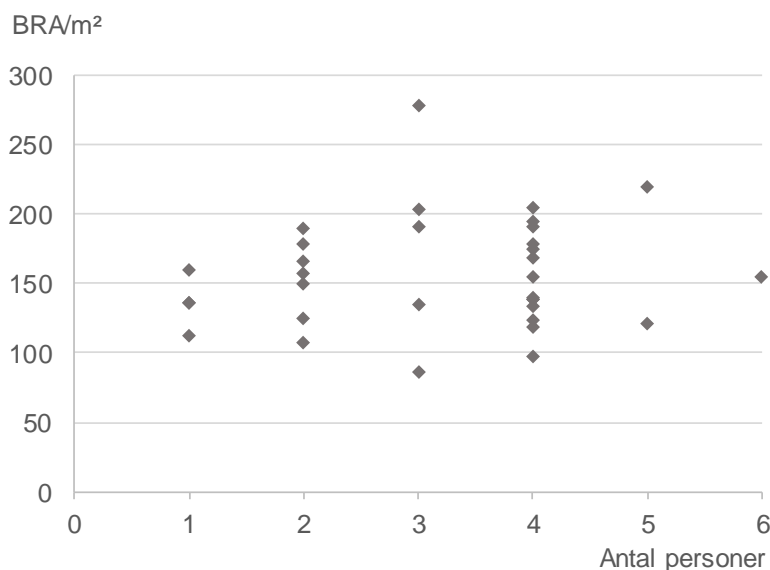
Figur 8.5 Uppmätt koldioxidkoncentration i sovrum i de studerade byggnaderna på de 12 orterna. I figuren har byggnaderna storleks sorterats i baserat på medelvärdet. I figuren anges även minimum värde samt 5- och 95-percentiler baserat på timmedelvärden.

8.2 Koldioxidkoncentrationen i relation till ventilationsflöde och antalet personer

Som framgår av Figur 8.5 är det en förhållandevis stor variation i uppmätt koldioxidkoncentration natttid mellan de olika studerande sovrummen och även mellan uppmätta koncentrationer i de olika husens hallar skiljer det en del. I samma hus är det totala ventilationsflödet mätt och genom enkätsvar finns information om hur många personer som bor i husen. Det finns därför möjlighet att undersöka om det finns samband mellan de uppmätta luftomsättningarna, antalet personer och de uppmätta koldioxidnivåerna. I Figur 8.6 presenteras ventilationsflödet som funktion av antalet personer och som funktion av antalet personer per golvarea. De plottade värdena visar att det inte finns något tydligt samband mellan dessa parametrar i de studerade husen. Inte heller mellan antalet personer och husets golvarea finns något tydligt samband vilket plottade värden i Figur 8.7 visar.



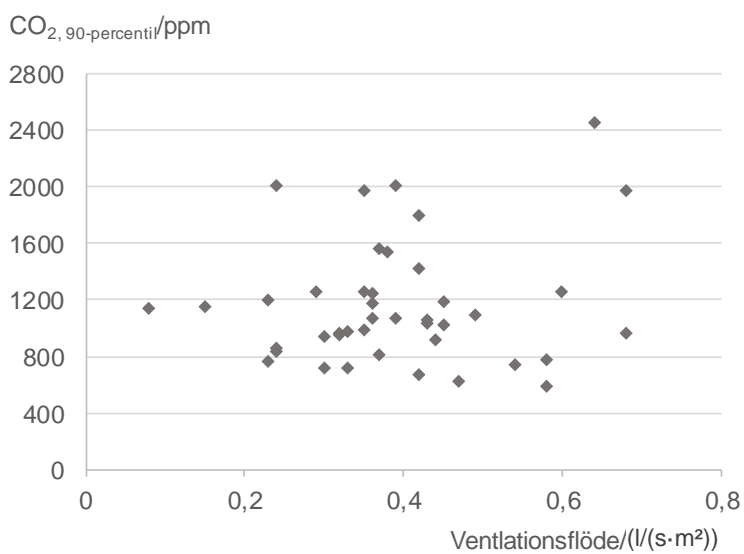
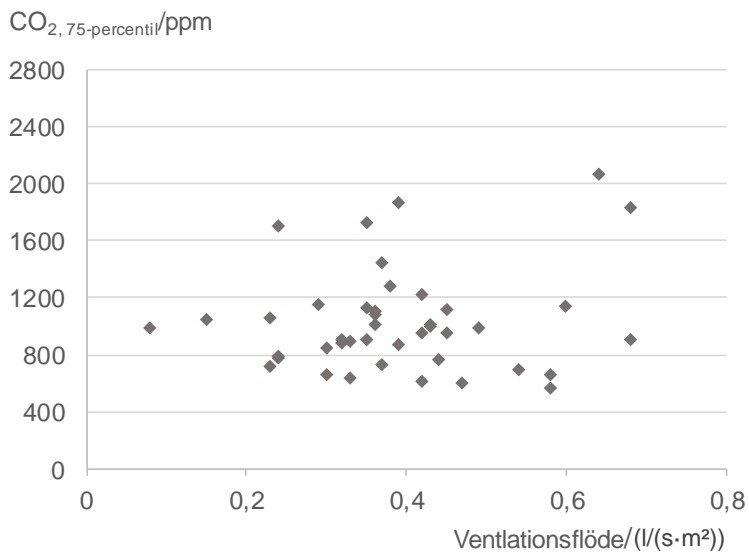
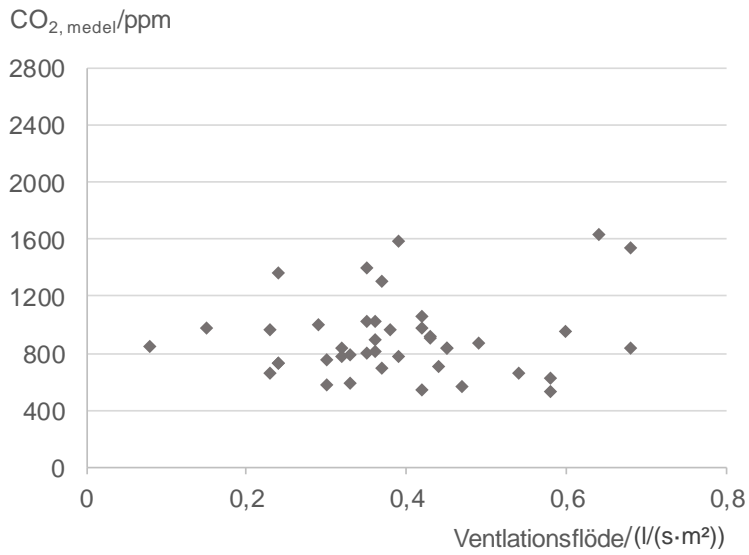
Figur 8.6 Ventilationsflödet per golvarea som funktion av antalet personer och som funktion av antalet personer per golvarea.



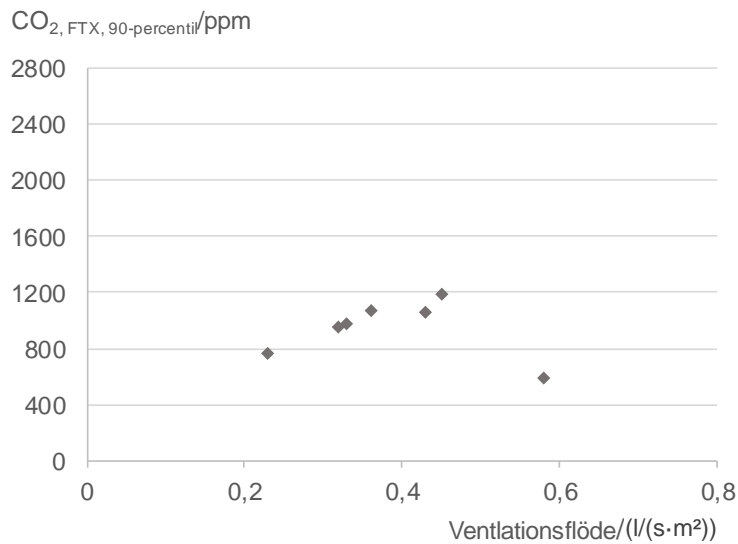
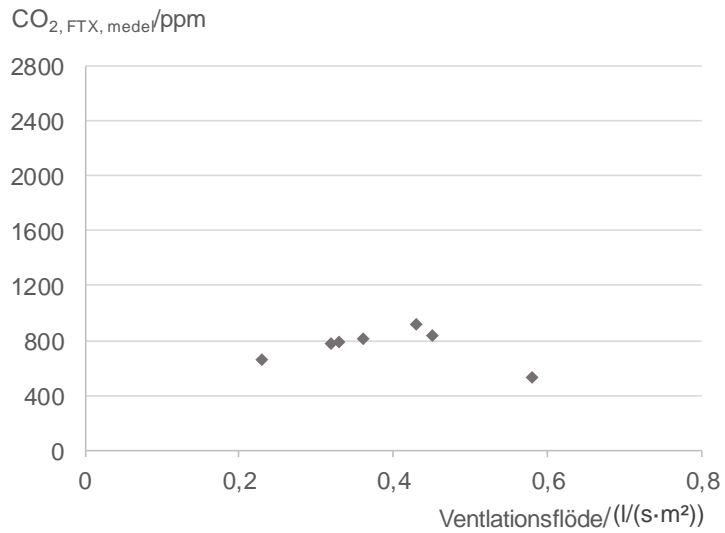
Figur 8.7 Golvarea som funktion av antalet personer.

8.3 Koncentrationen i sovrum och husets ventilationsflöde

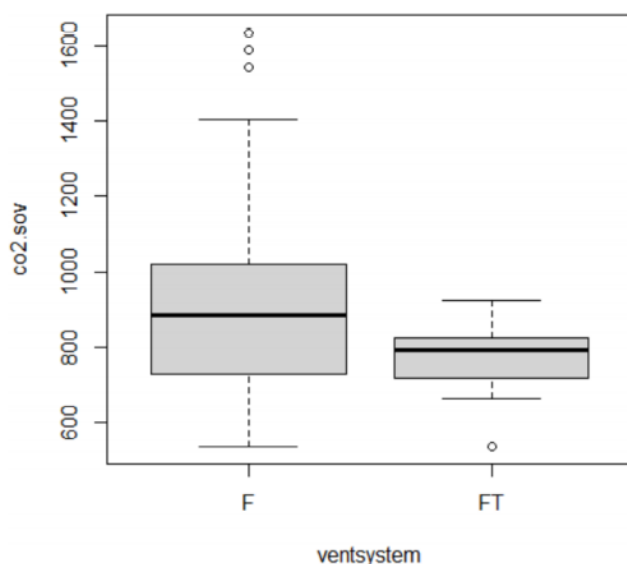
I Figur 8.8 presenteras olika mått för koldioxidkoncentrationen uppmätt nattetid i sovrum som funktioner av husets totala ventilationsflöde. Koldioxidkoncentrationen nattetid (medelvärdet mellan kl. 00-04) används för att representera koldioxidnivån i sovrummet då det typiskt förväntas användas sammanhängande. De samband som finns mellan koldioxidkoncentrationen i sovrummen nattetid och husets totala ventilationsflöde är svaga och detta resultat indikerar att byggnadens totala ventilationsflöde säger ganska lite om den faktiska luftomsättningen i sovrummet när det används. Om huset använder frånluftsventilation kan luftomsättningen i ett sovrum påverkas om exempelvis dörren är stängd eller det vädras i något annat rum. I Figur 8.9 har de hus som har FTX-ventilation sorterats ut och presenteras separat. I hus med FTX bör varje sovrum ha egen mekaniskt styrd tilluft. Antalet studerade hus med FTX är få i förhållande till samtliga hus och det är därför svårt att göra en rättvisande jämförelse men det är värt att notera att i dessa hus sovrum är koldioxidkoncentrationen generellt sett relativt låg även om 90-percentilsvärdena visar att 10 % av tiden är koncentrationen 1000 ppm eller mer i nästan hälften av sovrummen med FTX. Detta kan peka på att även om det finns mekanisk ventilation med tilluft i sovrum finns det anledning att säkerställa att nivån på koldioxidkoncentrationen kan hållas på en bra nivå. För koldioxidkoncentrationer uppmätta i sovrum under natten (kl. 00-04) under uppvärmningssäsong (okt-apr) presenteras variationen i de två grupperna med olika ventilationssystem i en boxplot i Figur 8.10. Statistisk analys med klassisk anova, mixed model samt icke-parametriskt test med Kruskal-Wallis visar alla på att det inte finns någon signifikant skillnad mellan de två ventilationssystemen och koldioxidnivån i sovrum under natten.



Figur 8.8 Koldioxidkoncentrationens medelvärde samt 75- och 90-percentil baserat på timmedelvärden uppmätta i sovrum.



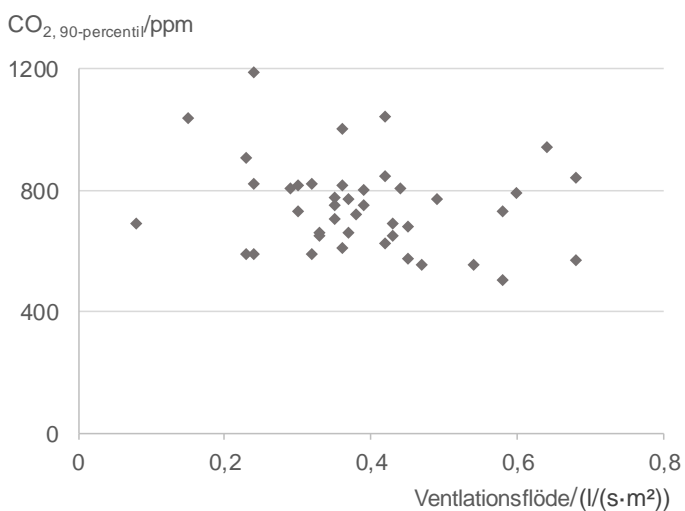
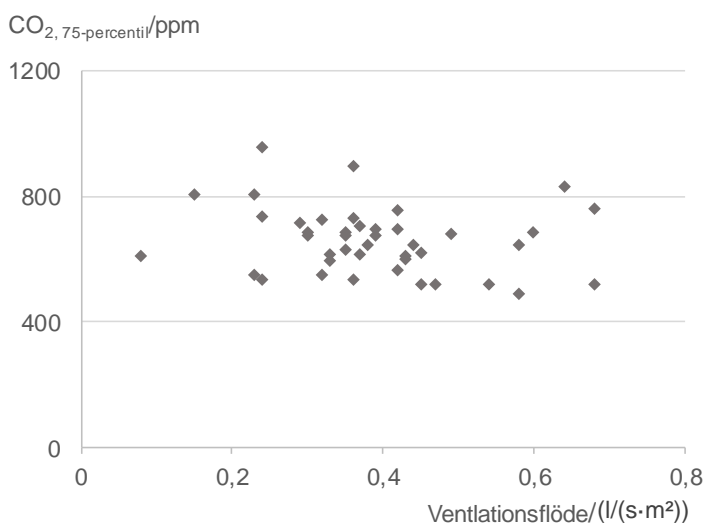
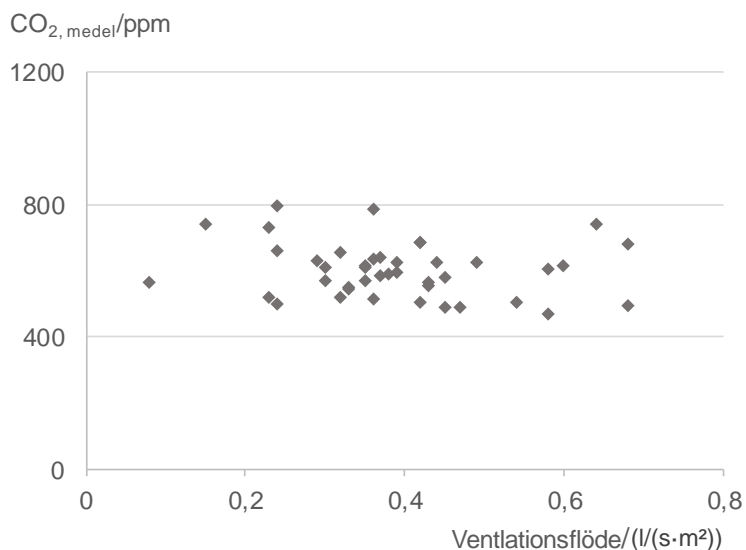
Figur 8.9 Koldioxidkoncentrationens medelvärde och 90-percentil baserat på timmedelvärden uppmätta i sovrum under nätter (kl. 00-04) under uppvärmningssäsong (april-okt) i byggnader med FTX ventilation.



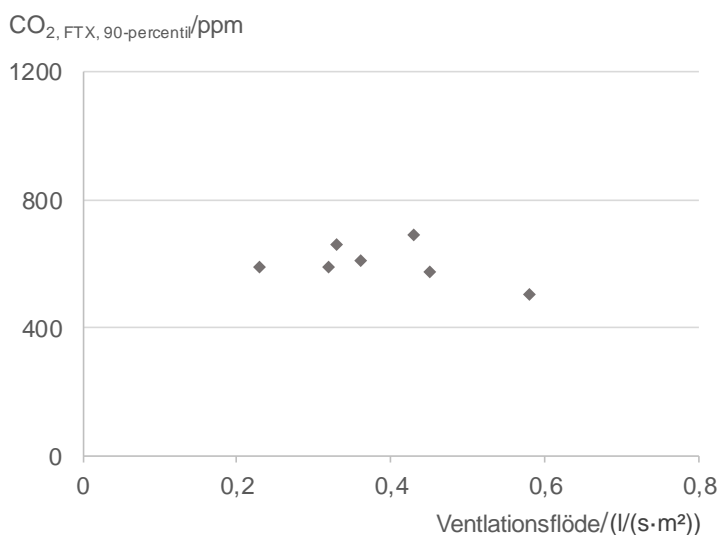
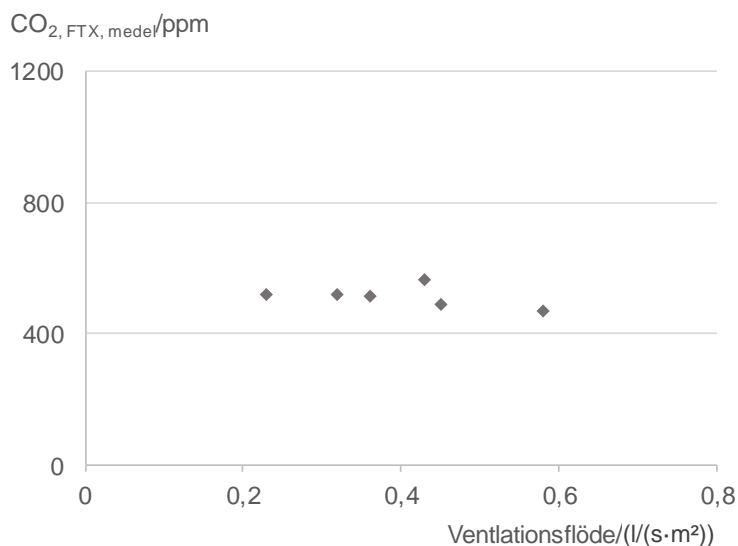
Figur 8.10 Boxplot som på y-axeln redovisar koldioxidkoncentration i sovrum under natten (kl. 00-04) under uppvärmningssäsong (okt-apr) för de två grupperna hus med F respektive FT-system (FTX).

8.4 Koncentrationen i hall och husets ventilationsflöde

Figur 8.11 presenterar motsvarande som Figur 8.8 men för koldioxidkoncentrationer uppmätta i hall och även för dessa är sambanden mellan koncentration och husets totala luftflöde mycket svaga vilket framgår av plottade värden. I Figur 8.12 presenteras koncentrationerna i hall för de hus som har FTX ventilation och precis som för sovrum är koncentrationerna i dessa hus generellt låga.



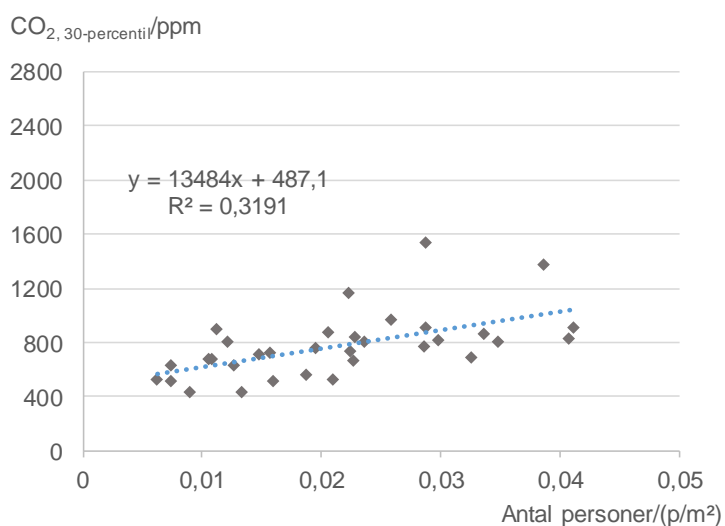
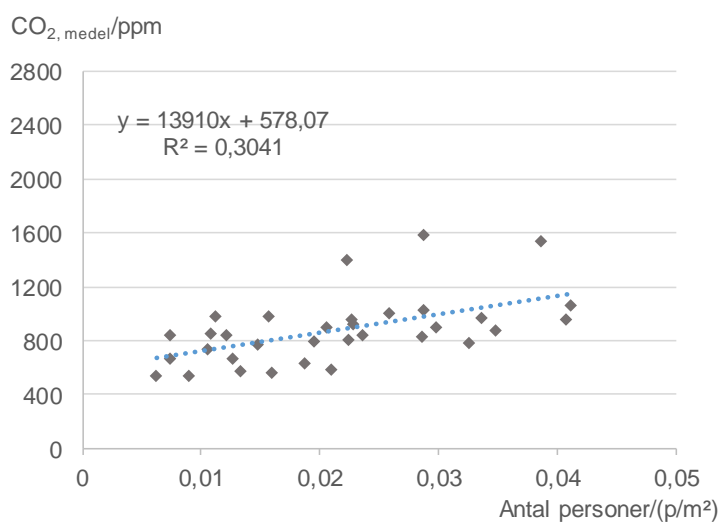
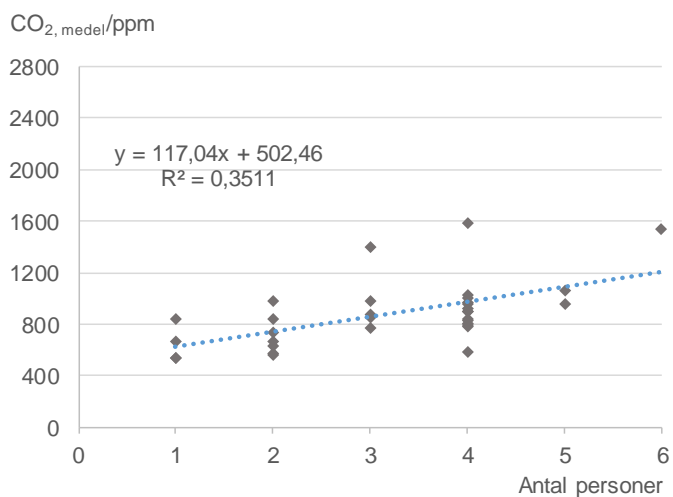
Figur 8.11 Koldioxidkoncentrationens medelvärde samt 75- och 90-percentil baserat på timmedelvärden uppmätta i hall under uppvärmningssäsong (april-okt).



Figur 8.12 Koldioxidkoncentrationens medelvärde och 90-percentil baserat på timmedelvärden uppmätta i hall under uppvärmningssäsong (april-okt) i byggnader med FTX ventilation.

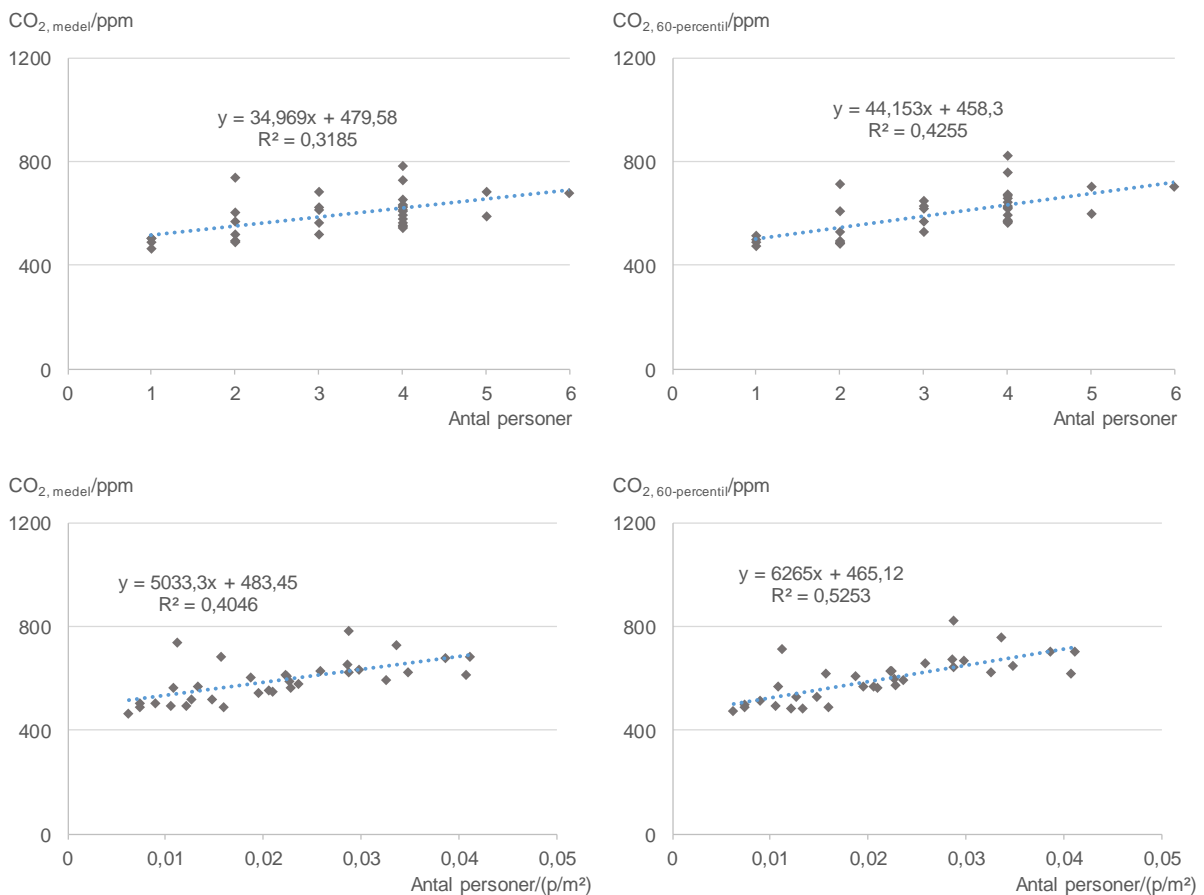
8.5 Koncentrationen i sovrum och antalet personer i huset

Figur 8.13 presenterar koldioxidkoncentrationen i sovrum som funktion av antalet personer och antalet personer per golvarea. För båda måtten testades vilket värde av medelvärdet och percentiler i steg om 5 % som hade starkast samband med koldioxidkoncentrationen. För antalet personer var det starkaste sambandet med koldioxidkoncentrationens medelvärde medan det för antalet personer per golvarea var starkast samband med koldioxidkoncentrationens 30-percentil. Sambandet mellan antal personer och koncentrationen har ett R^2 -värde på 0,35 vilket kan tolkas som att 35 % av koldioxidkoncentrationens medelvärde förklaras av antalet personer i huset. Det kan vid en första anblick verka konstigt att koncentrationen i sovrummet har ett samband med antalet personer i huset då det får anses som osannolikt att alla sover i samma sovrum och det inte bör vara någon luft från övriga huset som passerar genom sovrummet. Kanske kan olika tryckförhållanden över klimatskalet och luftströmmar inomhus medföra att inomhusluften delvis blandas i alla rum, särskilt om innerdörrar står öppna.



Figur 8.13 Koldioxidkoncentrationens medelvärde, uppmätt under nätter (kl. 00-04) under uppvärmningssäsong (april-okt), som funktion av antalet personer i byggnaden och som funktion av antalet personer per golvarea i byggnaden samt motsvarande för koldioxidkoncentrationens 30 percentil som funktion av antalet personer per golvarea i byggnaden.

Figur 8.14 presenterar koldioxidkoncentrationen i hall som funktion av antalet personer och antalet personer per golvyta. För båda måtten testades vilket värde av medelvärdet och percentiler i steg om 5 % som hade starkast samband med koldioxidkoncentrationen. För båda måtten var det starkaste sambandet med koldioxidkoncentrationens 60-percentil. Sambandet mellan antal personer per golvyta och koncentrationen har ett R^2 -värde på 0,53 vilket kan tolkas som att drygt 50 % av koldioxidkoncentrationens medelvärde förklaras av antalet personer per golvyta i huset. Det är väntat att det bör vara ett starkare samband mellan hallens koldioxidkoncentration och antalet personer i huset eftersom luftens väg från bostadens olika rum typiskt passerar hallen.

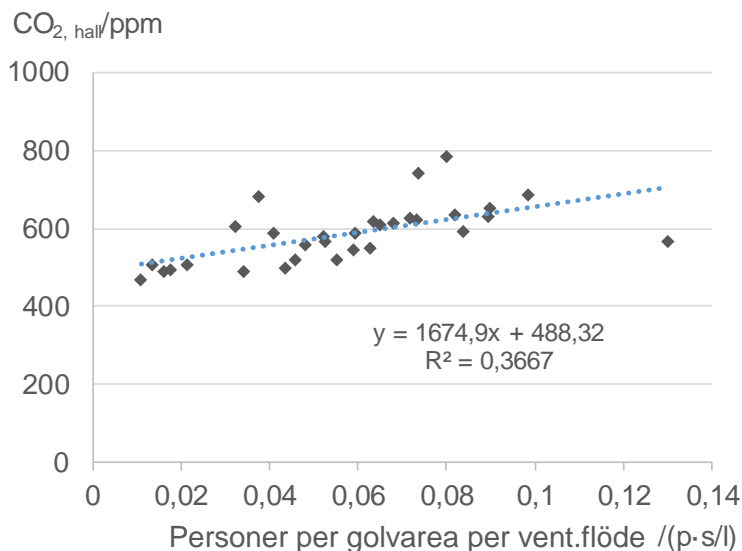
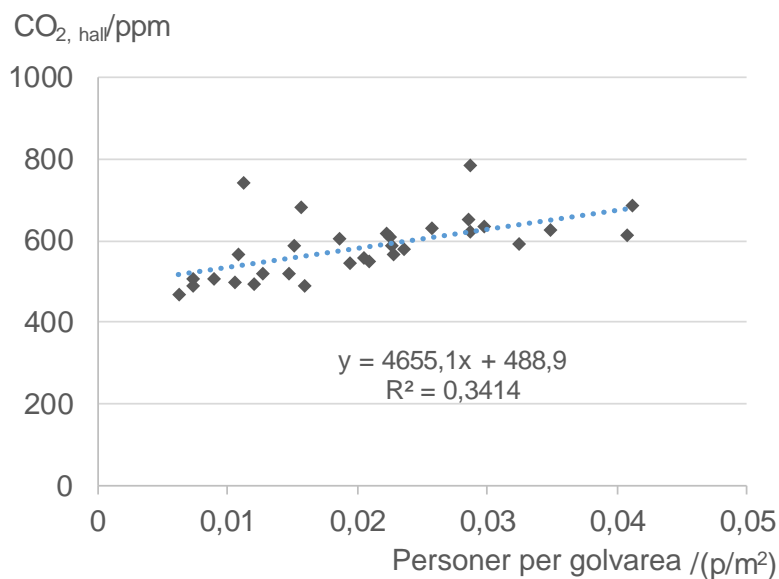


Figur 8.14 Koldioxidkoncentrationens medelvärde och 60-percentil, uppmätt i hall under uppvärmningssäsong (okt-april), som funktion av antalet personer i byggnaden och samma värden som funktion av antalet personer per golvyta i byggnaden.

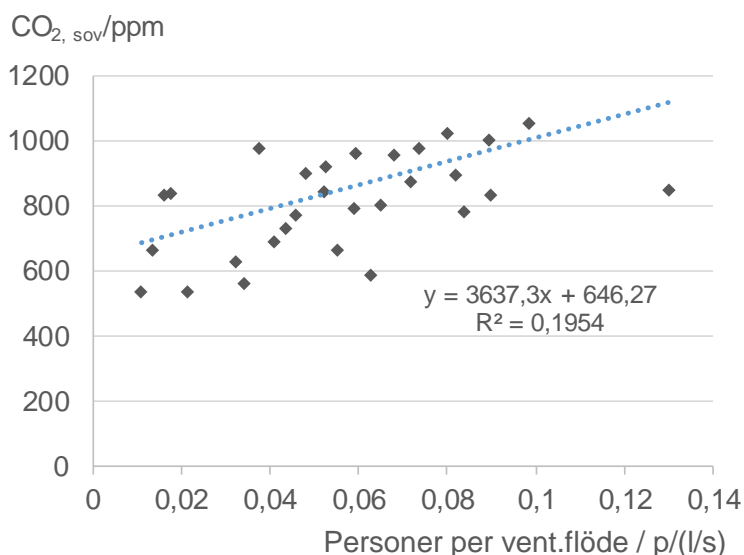
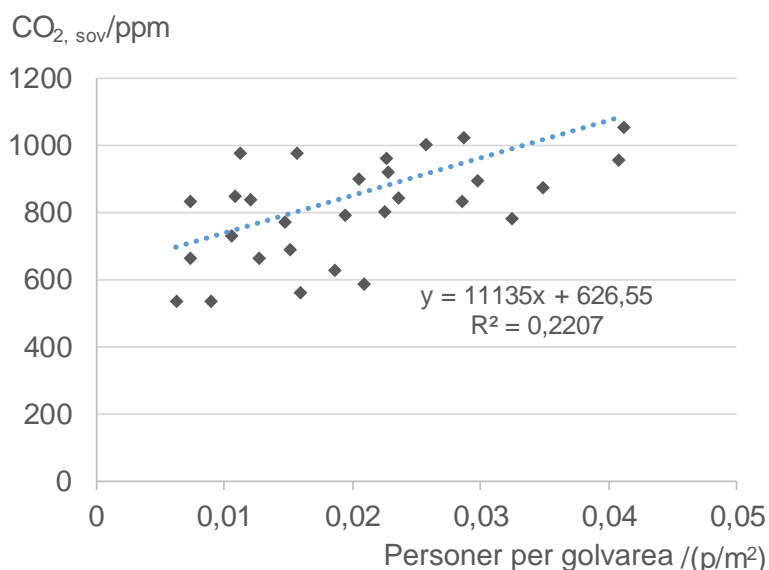
8.6 Koldioxidkoncentrationer som funktion av antal personer och ventilationsflöde

I ovanstående kapitel har samband mellan koldioxidkoncentrationer och ventilationsflöde respektive persontäthet studerats var för sig. När både ventilationsflöde och persontäthet är kända kan koldioxidkoncentrationen beskrivas baserat på båda dessa parametrar då koldioxidkoncentrationen borde bero på dels hur mycket som produceras (beror på antalet personer) och dels hur stor ventilationen är. I Figur 8.15 och Figur 8.16 presenteras koldioxidkoncentrationer i hall och sovrums som funktioner av antalet personer per golvyta respektive antalet personer per golvyta dividerat med ventilationsflödet per golvyta för den delmängd av hus som dessa tre parametrar finns tillgängliga för. I figurerna presenteras linjära

regressioner och de R^2 värden som presenteras i figurerna visar på att det för koldioxidkoncentrationen i hall är något högre korrelation när parametern personer per golvarea dividerat med ventilationsflöde per golvarea används. Det omvända gäller för R^2 värden för sovrum där det är något högre korrelation när koldioxidkoncentrationen beskrivs som en funktion av personer per golvarea. Vad gäller koldioxidkoncentrationen i hall kunde det vara förväntat att det skulle bli en bättre korrelation när en parameter som baseras på både persontätheten och ventilationen användes men det hade förväntats att det skulle ha större påverkan på R^2 -värdet. Baserat på värdena i dessa studerade hus blir slutsatsen att koldioxidkoncentrationen i hallen i stort sett inte förklaras bättre av om både persontäthet och ventilationsflöde är kända jämfört med om bara persontätheten är känd.



Figur 8.15 Koldioxidkoncentrationens medelvärde, uppmätt i hall under uppvärmningssäsong (okt-april), som funktion av antalet personer per golvarea och samma värden som funktion av antalet personer per golvarea dividerat med ventilationsflödet.

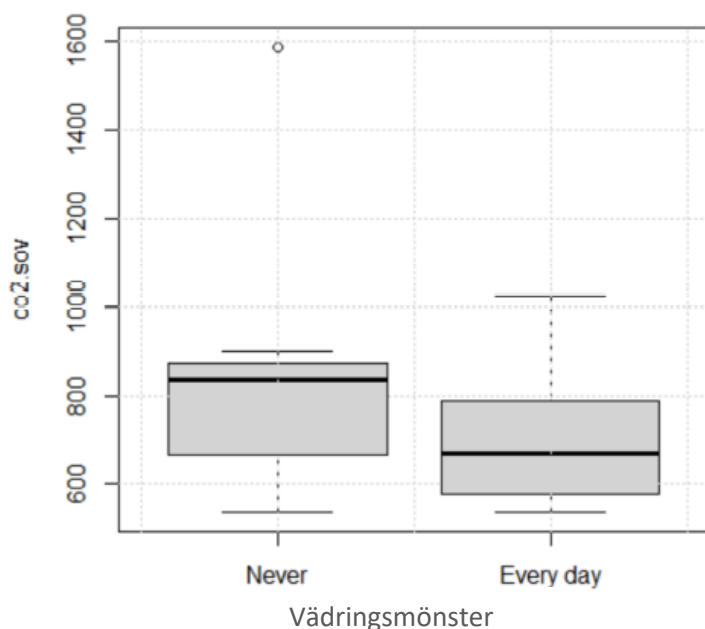


Figur 8.16 Koldioxidkoncentrationens medelvärde, uppmätt i sovrum under nätter (kl. 00-04) under uppvärmningssäsong (okt-april), som funktion av antalet personer per golvarea och samma värden som funktion av antalet personer per ventilationsflöde.

8.7 Vädring och koldioxidkoncentrationer

I gruppen hus som det vädras dagligen i har CO₂ koncentrationer mätts i åtta hus och i gruppen av hus som det aldrig vädras i har CO₂ koncentrationer mätts i tio hus. Uppmätta CO₂ koncentrationer i sovrum under uppvärmningssäsongens nätter är i medeltal 700 PPM i hus som det vädras dagligen i medan den i medeltal är 850 PPM i hus som det aldrig vädras i. Koldioxidkoncentrationen uppmätt i hall under uppvärmningssäsongen är i båda grupperna 570 PPM. Figur 8.17 presenterar spridningen i koldioxidkoncentration i sovrum under natten (kl. 00-04) under uppvärmningssäsong form av en boxplot för de två grupperna ”vädrar aldrig” och ”vädrar varje dag”. En hypotes skulle kunna vara att i hus som det vädras i varje dag skulle vädringen kunna ske i sovrummet och kanske nattetid vilket skulle kunna öka luftomsättningen i sovrummet och därmed minska koldioxidkoncentrationen. Statistisk analys med mixed model innefattande förutom variabeln vädringsmönster (aldrig eller dagligen) även variabelerna lägsta månadsmedeltemperatur, ventilationsflöde, ventilationssystem (F eller

FTX) och persontäthet ger att det finns mycket tydlig signifikans ($p=2,3E-5$) för variabeln vädringsmönster. Av resultatet i Figur 8.17 framgår att det i gruppen hus som det aldrig vädras i finns ett extremvärde och om detta inte tas med i analysen blir vädringsmönster signifikant på den svagare 0,10 nivån. Dessa analyser är gjorda på en delmängd av materialet utifrån vädringsmönster "aldrig" och "dagligen". Om hela materialet med koldioxidkoncentrationer studeras finns flera värden som ligger i närheten av extremvärdet i Figur 8.17 och det talar för att detta värde bör vara med i analysen.



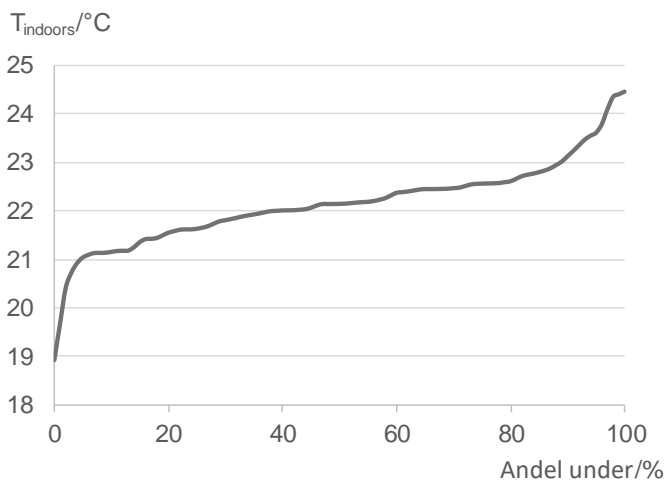
Figur 8.17 Boxplot som på y-axeln redovisar koldioxidkoncentration i sovrum under natten (kl. 00-04) under uppvärmningssäsong för de grupperna hus som det aldrig vädras i eller som det vädras i varje dag.

9 Variationer i indata till energiberäkningar – påverkan på beräkningsresultat

I tidigare kapitel har resultat om inomhustemperaturer, luftflöden och antal personer i husen presenteras. Dessa parametrar är viktiga indata till energiberäkningar. Resultatet i de tidigare kapitlen har visat att dessa parametrar har en stor variation och att det inte finns några tydliga samband mellan dem. Därför är det intressant att undersöka hur resultat från energiberäkningar påverkas om indata ansätts variera enligt de fördelningar som presenteras i denna rapport.

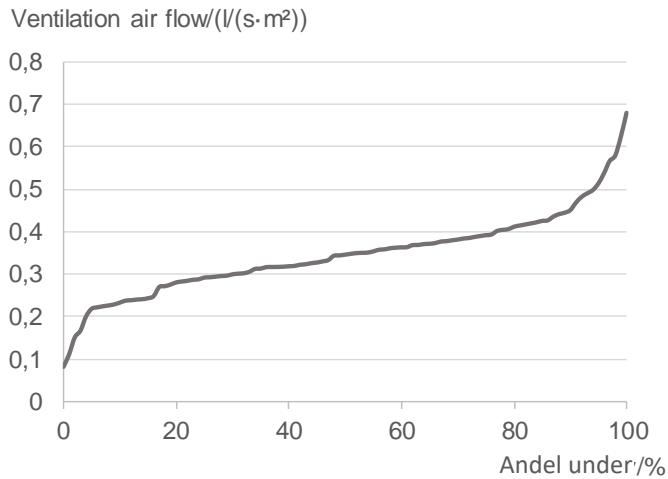
9.1 Uppmätta parametrar och deras fördelning

I Figur 9.1 presenteras fördelningen av inomhustemperaturer under uppvärmningssäsongen. Det är medelvärdet för inomhustemperaturen uppmätt i hall under månaderna oktober till och med april som i den här tillämpningen används för att representera den temperatur som huset värms upp till. I de olika husen har denna temperatur varierat mellan 18,9 och 24,5 °C. Medelvärdet är 22,1 °C och medianvärdet är 22,2 °C. De 50 % värden som ligger närmast medianvärdet varierar mellan 21,6 och 22,6 °C.



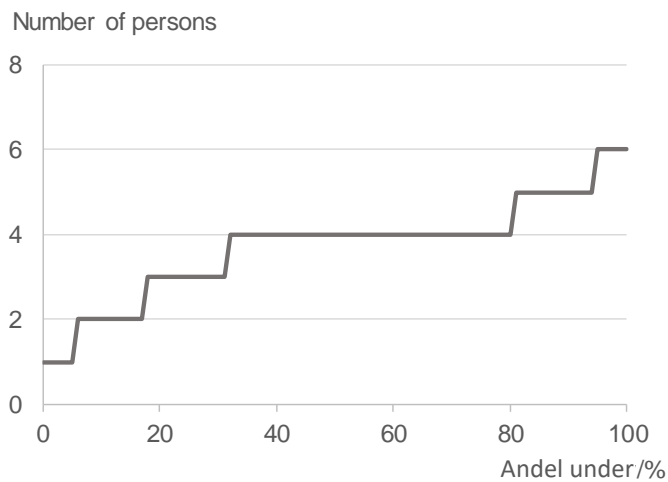
Figur 9.1 Fördelning av medeltemperaturen inomhus under uppvärmningssäsongen.

I Figur 9.2 presenteras fördelningen av ventilationssystemets luftflöde uppmätt i samband med att mätutrustningen monterades vilket innebär att det är ett punktvärde. Husen har haft ventilationssystem med konstant flöde, de få hus som hade självdrag är inte med i detta datamaterial, men i samband med byte av filter eller rengöring av don kan ventilationsflödet ändras. Om detta sker oberoende mellan olika hus så kan mätdataunderlaget från över 100 hus ses som representativt för hur fördelningen ser ut över tid i beståndet. I de olika husen varierade det uppmätta luftflödet mellan 0,08 och 0,68 l/(s·m²). Medelvärdet och medianvärdet är båda 0,35 l/(s·m²). De 50 % värden som ligger närmast medianvärdet varierar mellan 0,29 och 0,39 l/(s·m²).



Figur 9.2 Fördelning av momentant uppmätta luftflöden.

I Figur 9.3 presenteras fördelningen av antalet personer som bor i husen. Data baseras på svar från enkäter. I de olika husen varierade antalet personer som bor i dem från 1 till 6 personer per hus. Medelvärde och medianvärdet är båda 4 personer. I 50 % av husen är det 4 personer som bor.



Figur 9.3 Fördelning av antalet personer per byggnad.

9.2 Hushållsel och tappvarmvatten baserat på antalet personer

Hushållsel och tappvarmvatten är viktiga poster i en byggnads energibalans och i lågenergi är dessa båda poster de som utgör den största delen av den totala energianvändningen. De beror båda på hur byggnaden används av dem som bor i den. Sveby anger schabloner för hur årlig användning av hushållsel och tappvarmvatten kan beskrivas utifrån hur många som bor i ett småhus. Mätstudier från lägenheter visar att användningen av både hushållsel och tappvarmvatten kan variera stort mellan lägenheter med samma antal boende. I denna studie används de schabloner som Sveby anger för att beskriva den årliga användningen av både hushållsel och tappvarmvatten.

- Hushållsel: 2500 kWh per hushåll + 800 kWh per person och år.
- Tappvarmvatten: 14³ m per person och år (motsvarar ca 800 kWh/person och år).

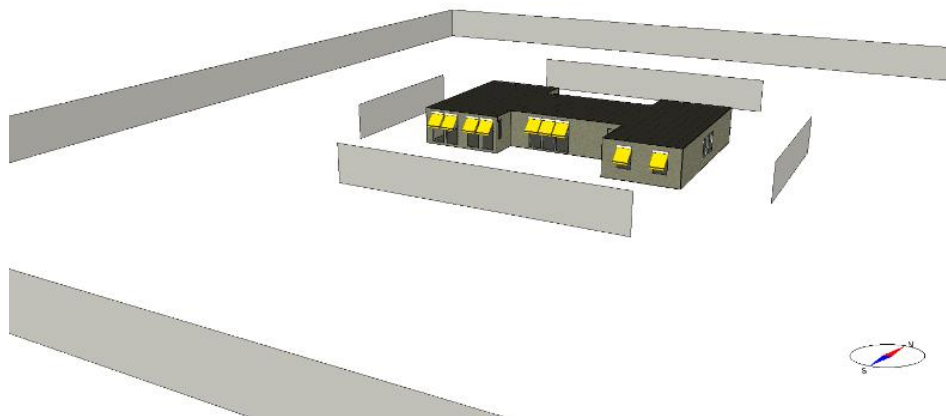
9.3 Simuleringsmodell

För årsenergiberäkningarna har programmet IDA-ICE 4.8 använts. Programmet använder dynamiska tidssteg för att göra beräkningar för varje zon i modellen. För varje tidssteg beräknas effektbalansen i byggnaden som sammankopplar byggnadstekniska-, installationstekniska egenskaper för byggnaden med uteklimatet och interaktionen av användarna i byggnaden. Uppvärmningsenergin som är i fokus här blir då summan av den energi som måste tillföras för att balansera effektbalansen i varje sådant tidssteg. I energiberäkningsprogrammet har en modell av ett småhus som bedöms som typiskt för tiden byggts upp. Byggnadens storlek, 160 m² valdes utifrån att det var medelstorleken på de studerade husen i projektet. Nedan beskrivs översiktligt data för husets klimatskal, ventilations- och värmesystem etc.

Byggnadsdata

- U-värden
 - Grund 0,08 W/(m²·K)
 - Ytterväggar 0,1 W/(m²·K)
 - Tak 0,08 W/(m²·K)
 - Fönster 0,8 W/(m²·K)
 - Dörrar 1,0 W/(m²·K)
- Köldbryggor har ansattas till 20 % av transmissionsförlusterna
- Luftläckage vinddrivet 0,3 l/(s·m²) omslutande yta vid 50 Pa tryckskillnad
- Solavskärmning i form av markiser används för fönster mot söder
 - När det är sol 1 april-31 oktober
- Ventilationssystem
 - FTX med verkningsgrad 80 %
 - Fläktar SFP-tal 1,0 kW/(m³/s)
 - Lägsta avluftstemperatur 0 °C
 - Lägsta tilluftstemperatur 20 °C
 - Etc.
- Närvarotider, personer
 - 14 h per dygn, kl. 00 – kl. 07 och kl. 17 – kl. 24
- Uteklimat
 - Stockholm

Figur 9.4 visar en vy över byggnaden som byggts upp i simuleringsmodellen. Omgivande bebyggelse och annat i omgivningen som skuggar byggnaden är modellerat som skärmar på olika avstånd från byggnaden och med olika utbredning.



Figur 9.4 Vy i 3-D av den simulerade byggnaden med omgivande skuggning från programmet IDA-ICE

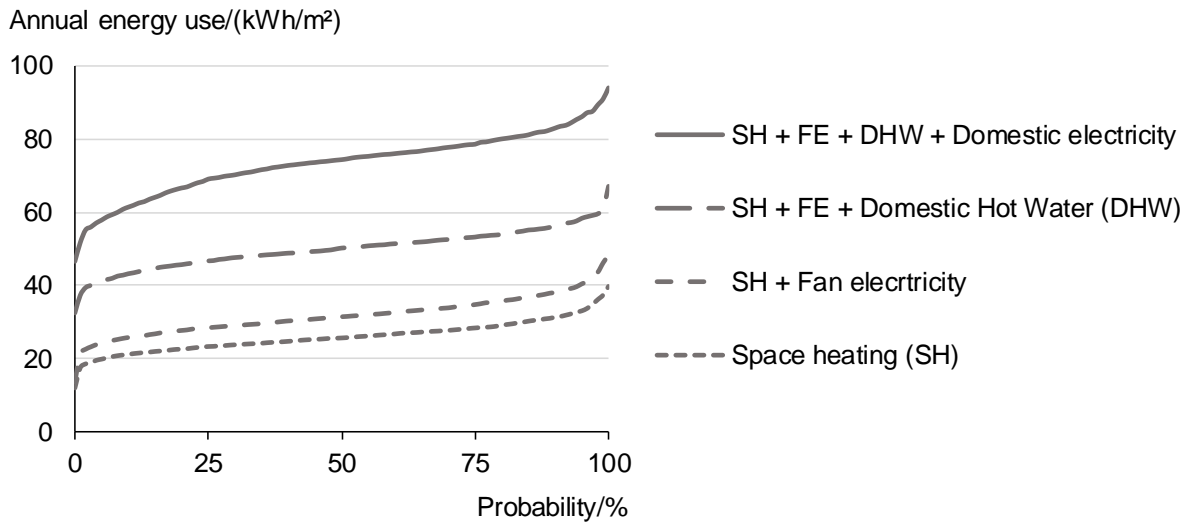
9.4 Simuleringsmetod

Energianvändningen för byggnaden i simuleringsmodellen har beräknats 1000 gånger där varje simulering har gjorts med en uppsättning indata för inomhustemperatur, ventilationsflöde och antal personer som var och en valts slumpmässigt från de fördelningar som beskriver parametrarna (Figur 9.1 - Figur 9.3). Värdet på hushållsel och tappvarmvatten har bestämts av det slumpade värdet på närvaro. De 1000 resultaten från beräkningarna i form av energianvändningen kan representera den fördelning i energianvändning som det skulle bli i 1000 likadana hus med parametrar som varierar på samma sätt som i mätdata materialet. Resultatet beskriver då den osäkerhet som finns gällande vilken energianvändning som ett småhus kommer att få när man inte känner till dessa parametrars värde. För att hantera indata och slumpning av parametrarna samt för att hantera, strukturera och analysera utdata har bland annat MATLAB använts.

9.5 Resultat

Figur 9.5 presenterar fördelningen av de beräknade energianvändningarna fördelat på fyra olika mått för energianvändningen:

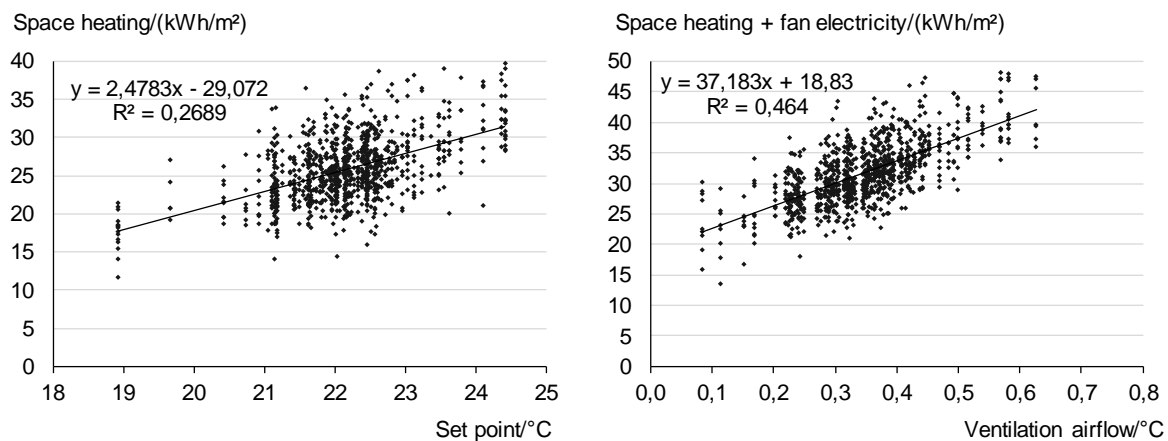
- Space heating (SH): Den energi som krävs för att värma upp byggnaden till den önskade inomhustemperaturen
- SH + Fan electricity (FE): Samma som plus elenergi för att driva fläktar.
- SH + FE + Domestic Hot Water (DHW): Samma som ovan plus energi för att värma tappvarmvatten. Motsvarar specifik energianvändning utan viktning av energislag.
- SH + FE + DHW + Domestic electricity: Samma som ovan plus elenergi för hushållsel. Detta beskriver den totala energianvändningen utan viktning av energislag.



Figur 9.5 Fördelning av olika beräknade energier.

Den totala energianvändningen varierar mellan 47 och 94 kWh/m² och har medel och medianvärde på 74 kWh/m². De 50 % av resultaten som ligger närmast medianen varierar mellan 69 och 79 kWh/m² vilket innebär att hälften av energianvändningarna ligger cirka ± 5 kWh/m², eller ± 7 % från medelvärdet. Energianvändningen för att värma byggnaden har medel och medianvärde på 26 kWh/m² medan de 50 % av resultaten som ligger närmast medianen varierar mellan 23 och 28 kWh/m² vilket innebär att hälften av energianvändningarna ligger cirka ± 3 kWh/m², eller ± 12 % från medelvärdet.

Figur 9.6 presenterar den beräknade uppvärmningen för att värma byggnaden som funktion av den inomhustemperatur som huset värms till och samma energi plus elenergi för fläktar som funktion av ventilationsflödet. Den förhållandevis stora variationen i energianvändning vid samma inomhustemperatur eller vid samma luftflöde visar tydligt att även om det finns tydliga samband mellan dessa två parametrar och energianvändningarna så är variationen i andra parametrar så pass stor inverkan på energianvändningen att det skulle vara svårt att uttala sig om en uppmätt energianvändnings rimlighet även om en av dessa parametrar mätts. Detta exemplifierar att det är viktigt att hitta en kombination av parametrar att mäta för att kunna verifiera en byggnads energiprestanda och för att kunna förklara eventuell avvikelse mot projekterat värde.



Figur 9.6 Energianvändning för uppvärmning som funktion av inomhustemperaturens börvärde (till vänster) och energi för uppvärmning plus fläktel som funktion av ventilationsflödet (till höger).

10 Diskussion

Efter att ha mätt inneklimateparametrar i nästan 150 hus och jämfört resultaten med enkätsvar från över 100 hus så kan det konstateras att moderna småhus i Sverige fungerar ganska väl och klagomålen är ganska få. Inga större anmärkningar framkom i statusbestämningarna vid besöken och kanske beror det på att husen är ganska nya. Samband mellan olika variabler och klagomål är ofta ganska svaga och variationerna ganska stora vilket innebär att slump i hur människor beter sig och tycker verkar ofta avgöra mer än tekniska egenskaper hos husen. Anmärkningsvärt är att ventilationsflödena även i dessa nästan nya hus med tydliga luftflödeskrav från byggreglerna varierar så mycket som de gör. I något fall provades filterbyte vilket delvis hjälpte, men för övrigt har inte studien grävt djupare i anledningen till vare sig för lågt som för högt ventilationsflöde. Studien ger heller inte svar på om ventilationsflödena har varit felaktiga när husen var helt nya eller om det har blivit så med tiden.

Ungefär fyra hus av fem i denna studie hade frånluftsventilation och ungefär en femtedel hade till- och frånluftsventilation. För de frånluftsventilerade husen är det för fuktsäkerheten viktiga undertrycket säkerställt, men för husen med till- och frånluftsventilation är kvoten mellan till- och frånluftsflöde oroande varierande, och framför allt förekommer övertryck. Frågor om eventuell radonförekomst har inte undersökts. I sådana fall kan det vara viktigt med balans. Mer forskning behövs för att kartlägga och lösa problemet med övertryck. Projektets fokus har inte varit att undersöka om frånluftsventilation eller till- och frånluftsventilation är att föredra ur olika synvinklar. Även om vissa samband med enkätsvaren har undersökts, behöver olika perspektiv analyseras i detalj för att komma vidare i den frågan. I vissa hus ser man ganska höga koldioxidkoncentrationer speciellt i sovrum under mer än försumbar tid. En viktig fråga för framtiden är vad som ska ligga till grund för ventilationsflödeskrav. Idag är det uteluftsflöde per golvyta och det beaktar inte relativ fuktighet i ineluften, materialemissioner eller ens hur många som bor i eller för stunden finns i huset. Det borde finnas potential att förbättra både inneklimat, fuktsäkerhet och energianvändning genom bättre behovsstyrning även i småhus.

Något som gör studien unik är att årets alla säsonger har ingått, och därmed exempelvis innetemperatur på sommaren. Speciellt sommaren 2018 visade det sig bli väldigt varmt tidvis i många hus. Framför allt innebär denna studie att det finns beskrivande data på ett antal parametrar i nästan nya småhus och att detta kan komplettera andra studier på äldre småhus, lägenheter och andra byggnader.

Resultatet från mätningarna visar på att det är stora variationer i både inomhustemperatur och relativ fuktighet mellan olika hus. Detta visar på hur viktigt det är att planera och projektera byggnaders konstruktioner och tekniska system på ett sätt så att de kan hantera de variationer som finns mellan olika brukare. Skillnaden i inomhustemperatur under uppvärmningssäsongen för de 90 % av husen som ligger närmast medianvärdet innebär en skillnad i årlig uppvärmningsenergi på cirka 10 kWh/m² vilket i ett modernt småhus motsvarar över 40%. Detta visar på hur viktigt det är att hantera olika inomhustemperaturer när energiberäkningar och energiuppföljningar görs. Vad gäller den relativa fuktigheten inomhus så visar även den på stora variationer mellan olika byggnader. Under vintern har vissa hus lågt relativ fuktighet inomhus, lägre än 20% RF i månadsmedelvärde.

I 17 % av sovrummen är koldioxidkoncentrationen i medeltal över 1200 ppm under uppvärmningssäsongens nätter. Detta skulle kunna innebära att det behövs mer fokus på att säkerställa en tillräcklig luftomsättning i sovrum. Uppmätta totala frånluftsflöden har inga

tydliga samband med koldioxidkoncentrationerna i sovrum vilket innebär att även om husets ventilation på byggnadsnivå är tillräcklig så är det inte säkert att alla rum ventileras tillräckligt.

Spridningen i ventilationsflöde är stor och det är av vikt att småhus injusteras både när de är nya och under drift. Ett för lågt flöde kan ge dålig inomhusmiljö medan ett för högt flöde ger onödig energianvändning.

Ett par enkätfrågor behandlar vädring och svaren visar att i 30% av husen vädras man aldrig medan det vädras dagligen i 15% av husen. Statistisk analys av andra variabler inom dessa två grupper visar att i hus som det aldrig vädras i är det vanligare med FTX-system och högre ventilationsflöde jämfört med hus som det vädras dagligen i där det istället är vanligare med F-system och lägre ventilationsflöde.

Frågan om obalans i FTX-system bör utredas vidare med tanke på den stora variationen i de mätta husen med FTX-ventilation. Dels skulle faran med övertryck behöva undersökas med mätningar och beräkningar i fortsatt forskning, dels skulle fler mätningar och kontroller utföras på småhus med FTX-ventilation, och slutligen skulle bättre riktlinjer tas fram för att undvika övertryck i dessa hus, som väntas bli vanligare i framtiden, speciellt om man kan påvisa en stor fuktsäkerhetsrisk.

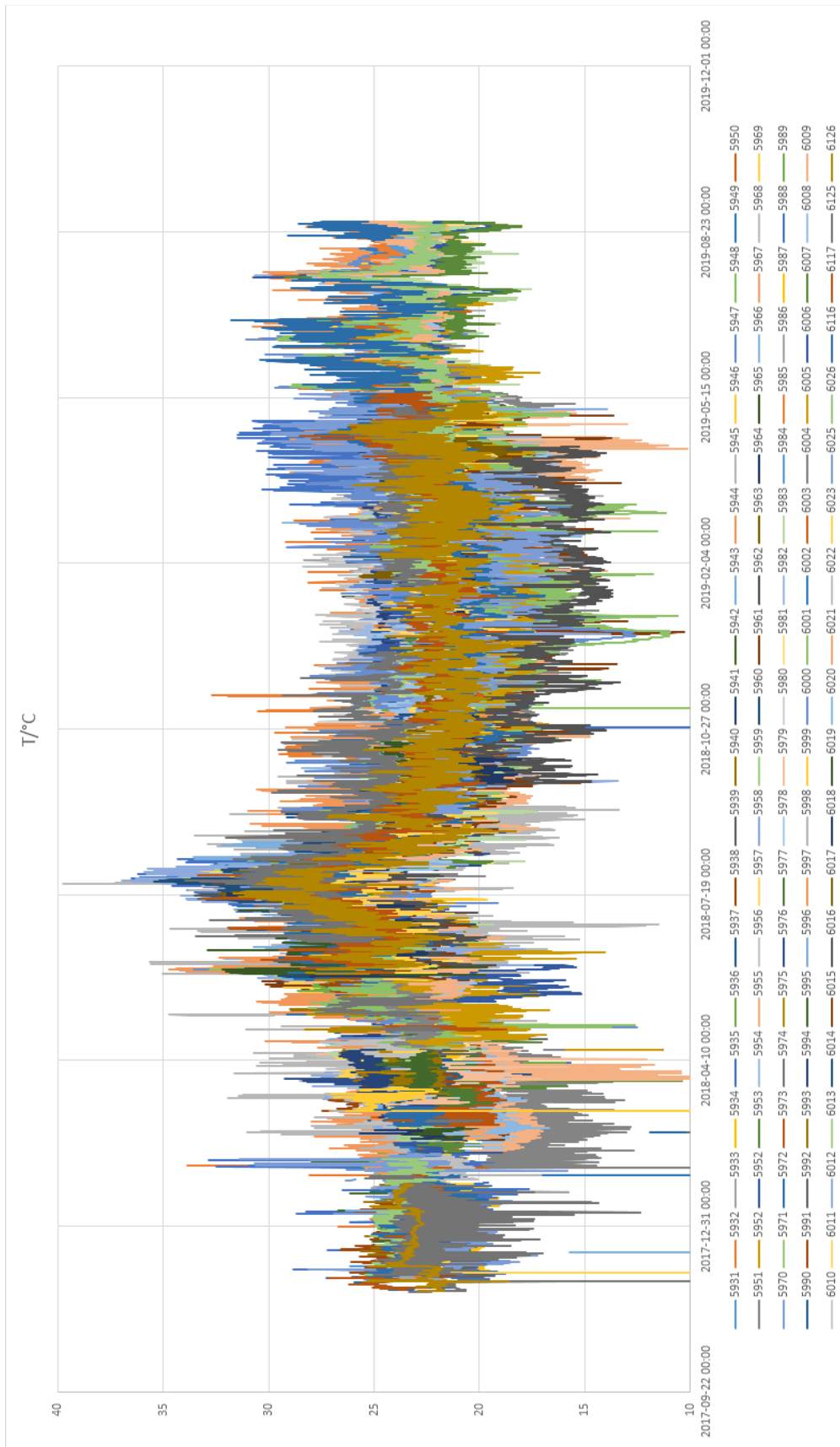
11 Referenser

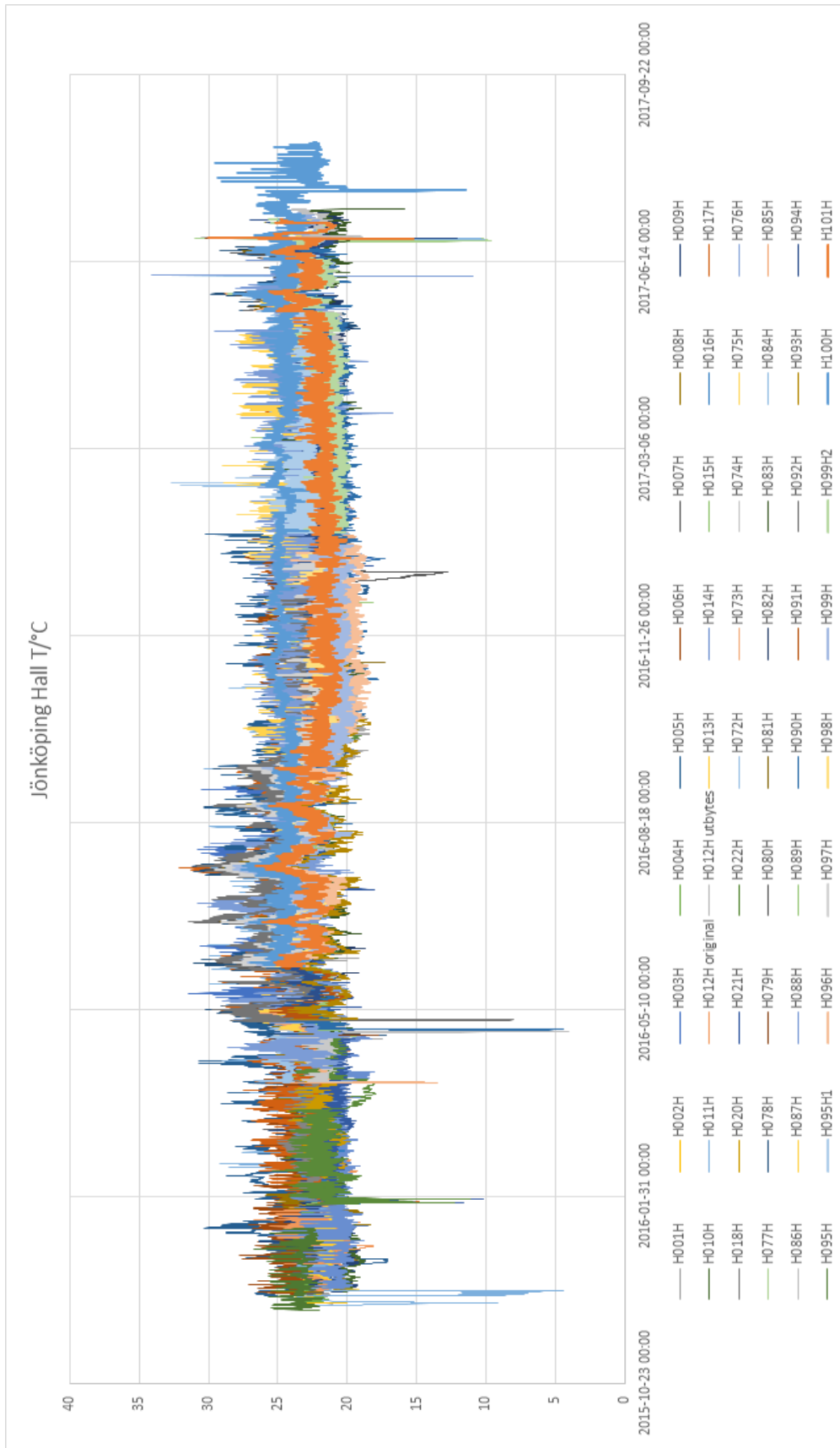
- Abdul HA Wallentén P Johansson D 2015 Moisture supply Set Point for avoidance of moisture damage in Swedish multifamily houses, 6th International Building Physics Conference
- Antova T Pattenden S Brunekreef B Heinrich J Rudnai P Forastiere F Luttmann-Gibson H Grize L Katsnelson B Moshhammer H Nikiforov B Slachtova H Slotova K Zlotkowska R Fletcher T 2008 Exposure to indoor mould and children's respiratory health in the PATY study, *Epidemiol Community Health*, 62:708-714
- Bagge H Johansson D Lindström L 2010, Indoor Hygrothermal Conditions in Multi-Family Dwellings – Measurements and Analysis, Building Envelope conference, Clearwater Beach
- Bagge H Johansson D Lindström L 2014 Measured Indoor Hygrothermal Conditions and Occupancy Levels in an Arctic Swedish Multi-Family Building, ASHRAE HVAC&R
- Bornehag CG Sundell J Hägerhed-Engman L Sigsgaard T 2005 Association between ventilation rates in 390 Swedish homes and allergic symptoms in children, *Indoor Air* 15(4):275-280
- Bornehag CG Sundell J Hägerhed-Engman L Sigsgaard T Janson S Aberg N 2005 'Dampness' at home and its association with airway, nose, and skin symptoms among 10,851 preschool children in Sweden: a cross-sectional study, *Indoor Air* 15:48-55
- Boverket 2010 Energi i bebyggelsen – tekniska egenskaper och beräkningar – resultat från BETSI
- Choi J Chuna C Sun Y Choi Y Kwona S Bornehag CG Sundell J 2014 Associations between building characteristics and children's allergic symptoms – A cross-sectional study on child's health and home in Seoul, South Korea, *Building and Environment* 75:176–181
- Emenius G Svartengren M Korsgaard J Nordvall L Pershagen G Wickman M 2004 Building Characteristics, Indoor Air Quality and Recurrent Wheezing in very young Children - a Nested Case-Control Study within the BAMSE Birth Cohort, *Indoor Air* 14:34-42
- Enerbuild 2012 User habits, impact on energy consumption in passive houses, Final result 5.4, June
- Fischer A Ljungström E Hägerhed Engman L Langer S 2015 Ventilation strategies and indoor particulate matter in a classroom, *Indoor Air* 25(2):168–175
- Guo P Yokoyama K Piao F Sakai K Khalequzzaman M Kamijima M Nakajima T Kitamura F 2013 Sick Building Syndrome by Indoor Air Pollution in Dalian, China, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 10(4):1489-1504
- Haverinen-Shaughnessy U 2012) Prevalence of dampness and mold in European housing stock, *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 22:461–467
- Hägerhed-Engman L Sigsgaard T Samuelson I Sundell J Janson S Bornehag CG 2009 Low home ventilation rate in combination with moldy odor from the building structure increase the risk for allergic symptoms in children, *Indoor Air* 19(3):184-192
- Jansson SA 2006 Health economic epidemiology of obstructive airway diseases: The obstructive lung disease in northern Sweden studies - thesis VII, doctoral thesis 06:146, Institute of Environmental Medicine, Stockholm, Sweden
- Johansson D 2009 The life cycle costs of indoor climate systems in dwellings and offices taking into account system choice, airflow rate, health and productivity, *Building and Environment*, 44(2):368-376

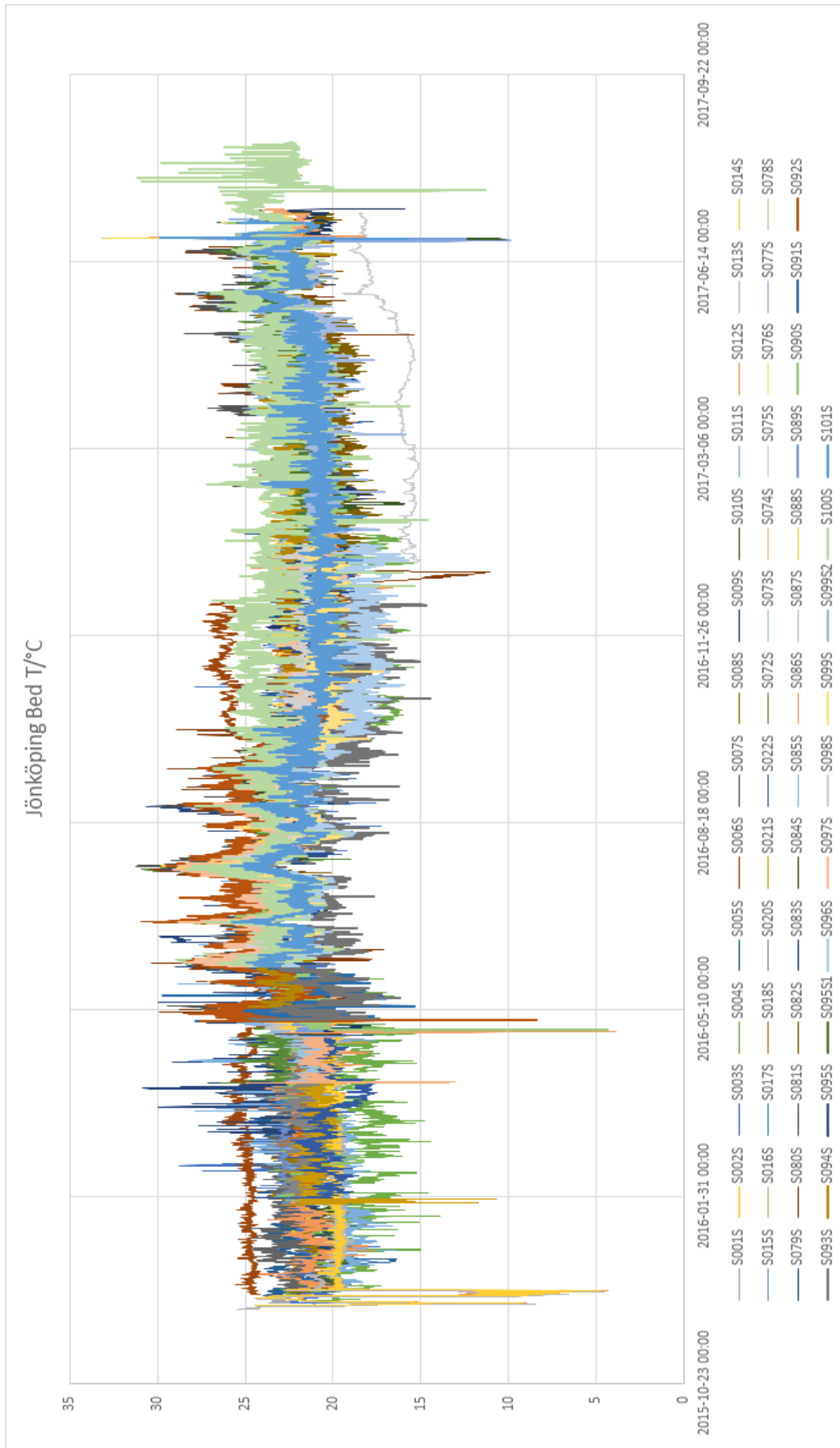
- Johansson D Bagge H Lindström L 2011 Measurements of occupancy levels in multi-family dwellings – Application on demand controlled ventilation, *Energy and Buildings*, 43(9):2449–2455
- Johansson D Arfvidsson J Bagge H Harderup LE Stein J Wallentén P 2014 Destructive testing in buildings – building performance investigation and comparisons with non-destructive testing, *Nordic Building Physics Symposium*, Lund
- Johansson D Bagge H 2015 Measured Occupancy Levels in Apartments and the Consequential Simulated Energy Benefit from Demand Controlled Ventilation, *ASHRAE annual conference 2015*, Atlanta
- Jönsson A 2005 Indoor temperature as a goods and as a factor of production, *Indoor Air conference*, Beijing
- Lech JA Wilby K McMullen E Laporte K 1996 The Canadian human activity pattern survey: Report of Methods and Population Surveyed, *Chronic Diseases in Canada*, 17:3/4
- Melikov AK Markov DG 2014 Novel approach for evaluation of air change rate in naturally ventilated occupied spaces based on metabolic CO₂ time variation, *Indoor Air conference*, Hong Kong
- Sahlberga B Gunnbjörnsdóttir M Soone A Jogie R Gislason T Wieslander G Janson C Norbäck D 2013 Airborne molds and bacteria, microbial volatile organic compounds (MVOC), plasticizers and formaldehyde in dwellings in three North European cities in relation to sick building syndrome (SBS) *Science of The Total Environment* 444:433–440
- Seppänen O Fisk WJ 2005 Some quantitative relations between indoor environmental quality and work performance and health, *Indoor Air conference*, Beijing
- Sun Y Zhang Y Sundell J Fan Z Bao L 2009 Dampness at dorm and its associations with allergy and airways infection among college students in China: a cross-sectional study, *Indoor Air* 19(2):174–182
- Sun Y Sundell J 2013 On Associations between Housing Characteristics, Dampness and Asthma and Allergies among Children in Northeast Texas, *Indoor and Built Environment* 22:678-684
- Sundell J et al 2011 Commenting 20 years of indoor air – Ventilation rates and health: multidisciplinary review of the scientific literature, *Indoor Air* 21:191-204
- Takaoka M Suzuki K Norbäck D 2016 Sick Building Syndrome Among Junior High School Students in Japan in Relation to the Home and School Environment, *Global Journal of Health Science* 8:2
- Takigawa T Saijō Y Morimoto K Nakayama K Shibata E Tanaka M Yoshimura T Chikara H Kishig R 2012 A longitudinal study of aldehydes and volatile organic compounds associated with subjective symptoms related to sick building syndrome in new dwellings in Japan, *Science of The Total Environment* 15:61–67
- Thomsen KE Schultz JM Poel B 2005 Measured performance of 12 demonstration projects – IEA Task 13 “advanced solar low energy buildings”, *Energy and Buildings* 37:111-119
- Wang H Li B Yang Q Wei Y Wang J Liu Y Qu Y Sundell J 2013 Dampness in dwellings and its associations with asthma and allergies among children in Chongqing: A cross-sectional study, *Chinese Science Bulletin* 58:34

12 Bilagor

12.1 Temperaturer

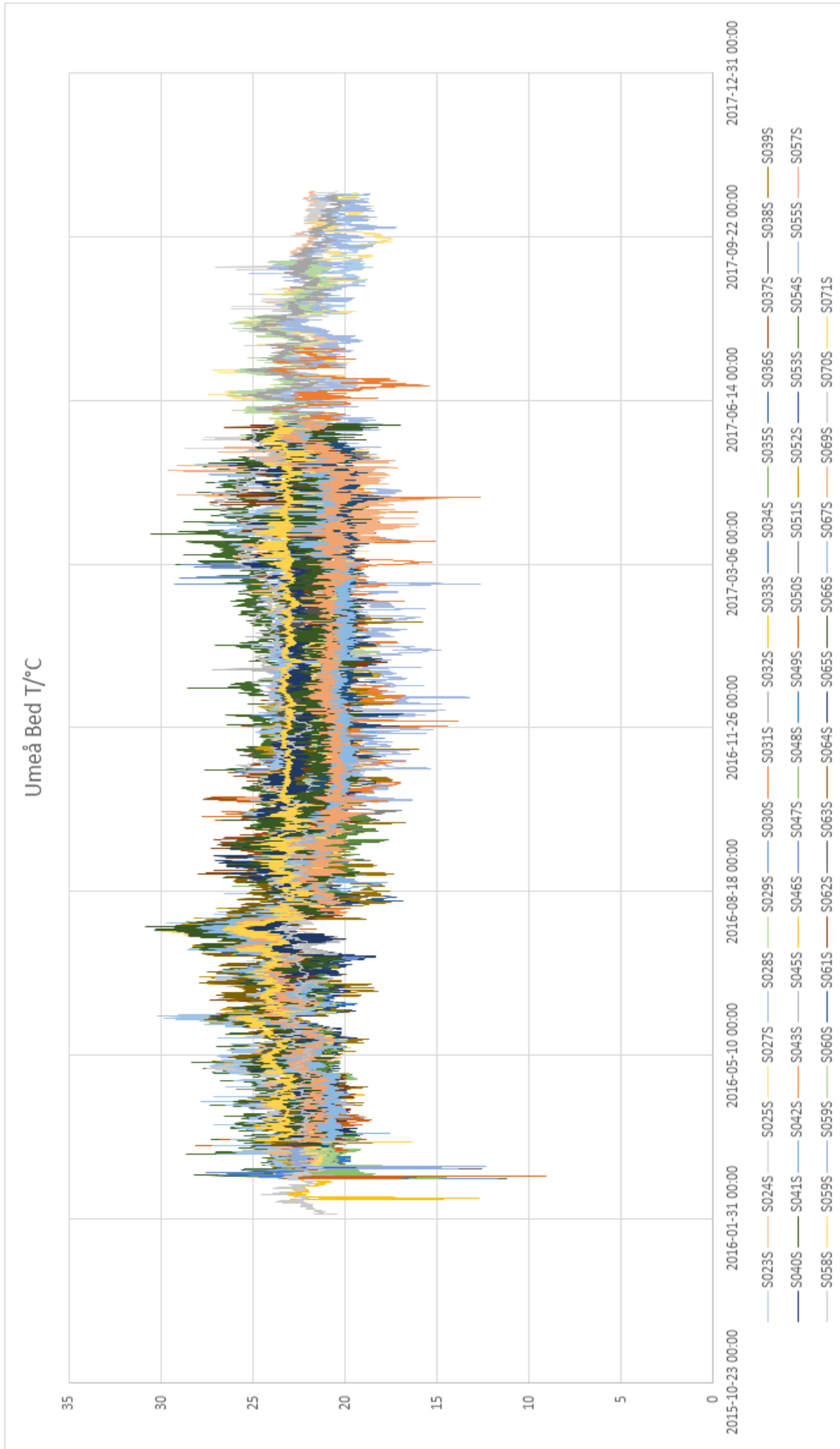




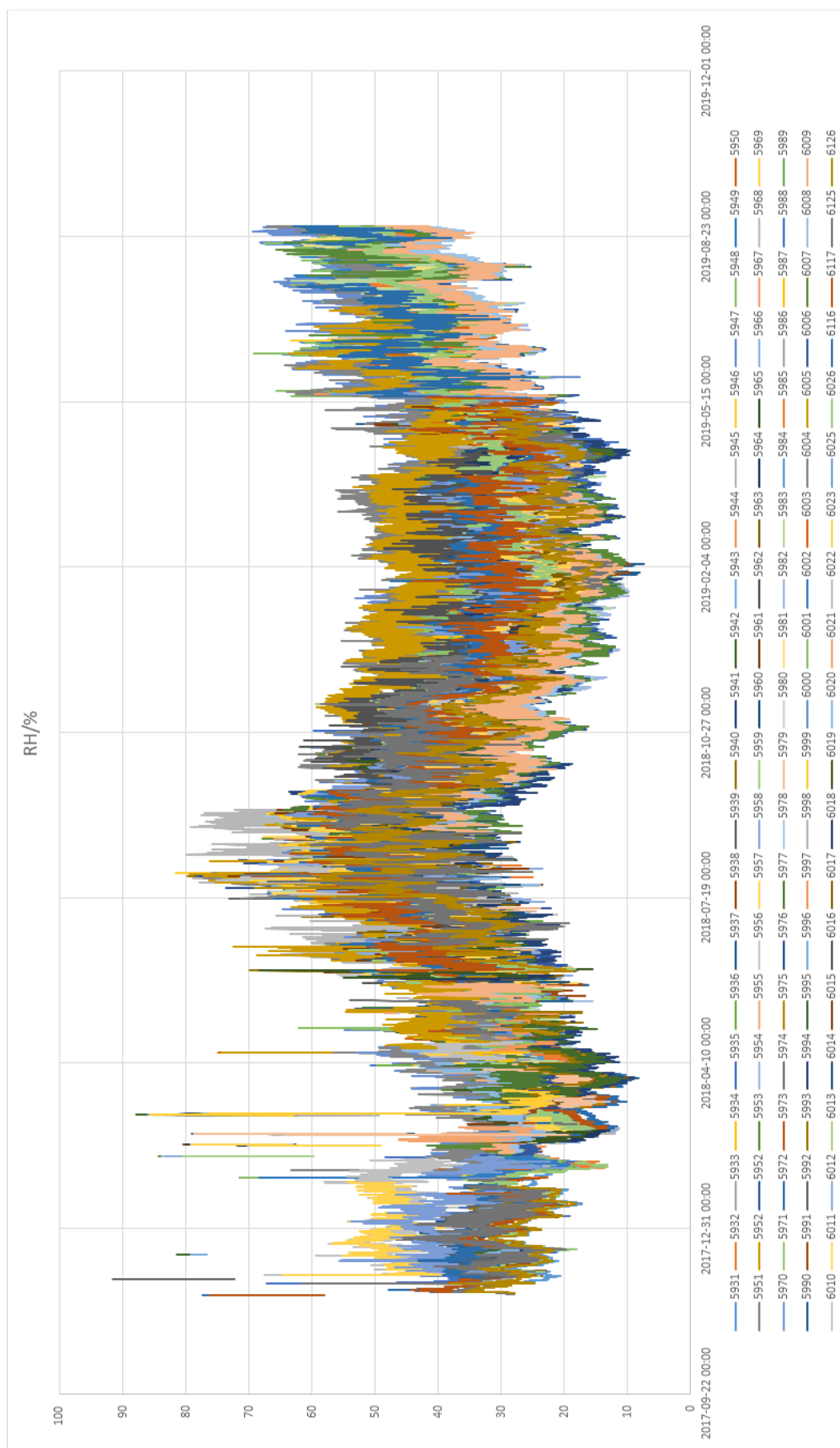


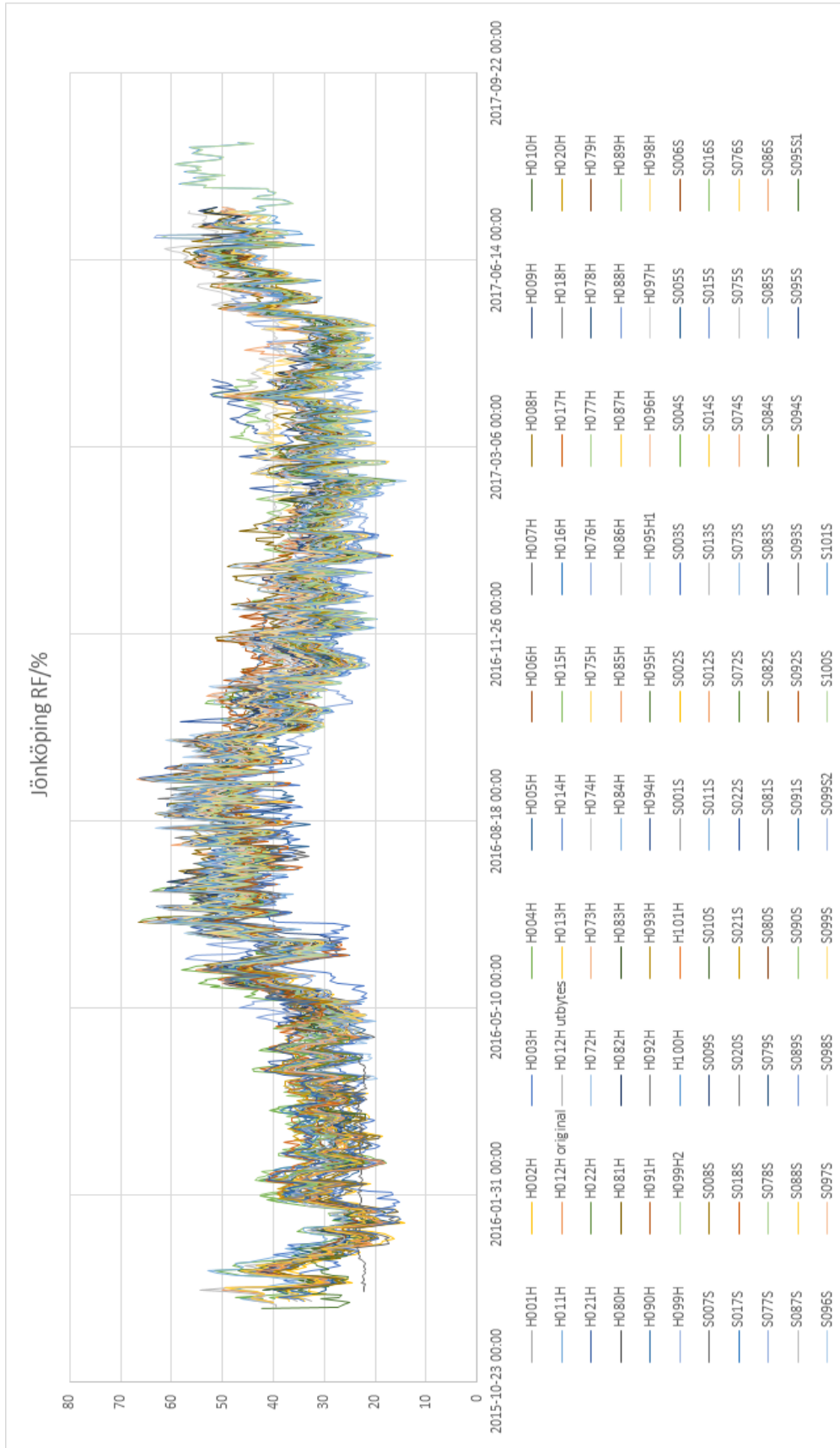


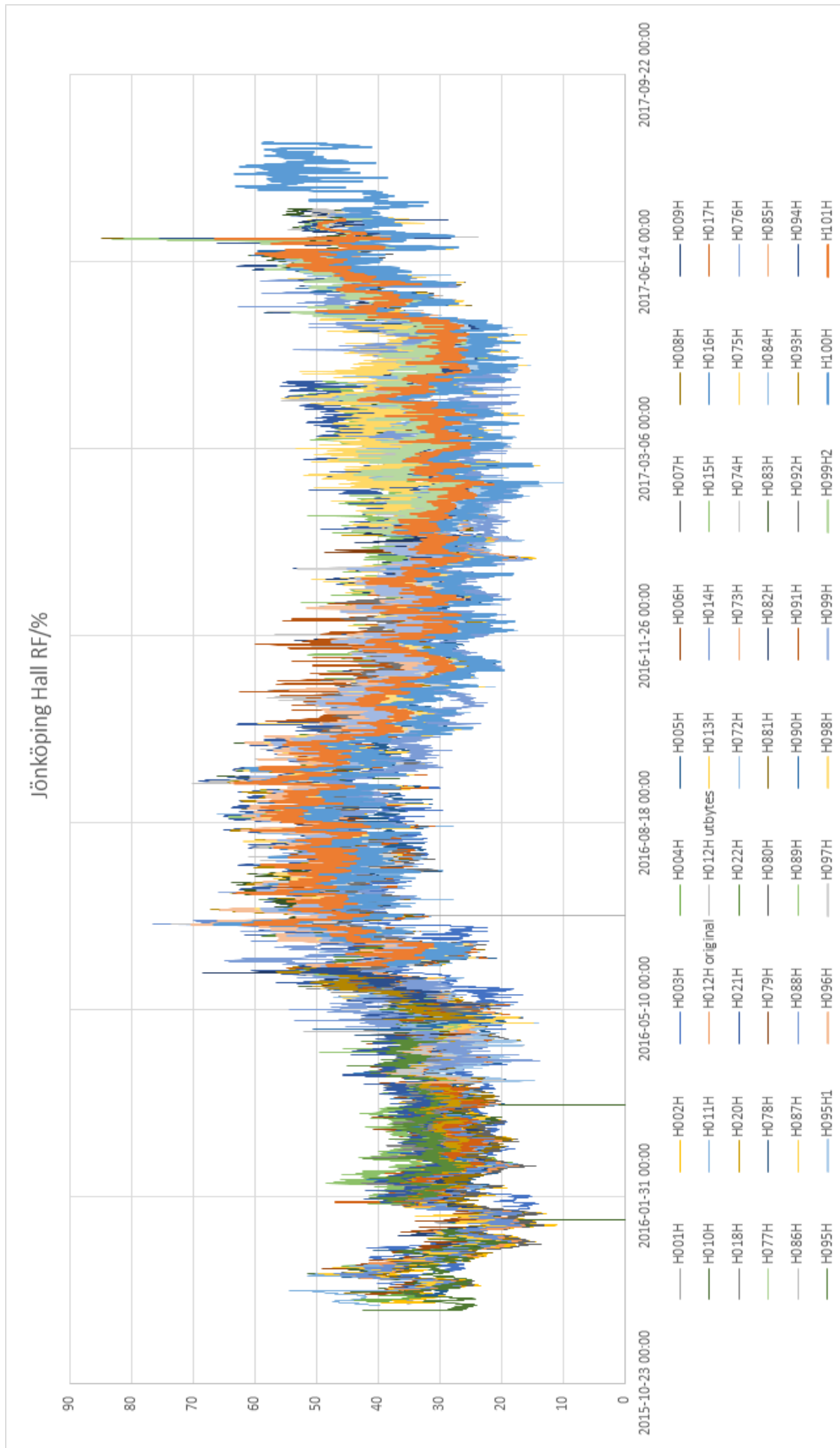


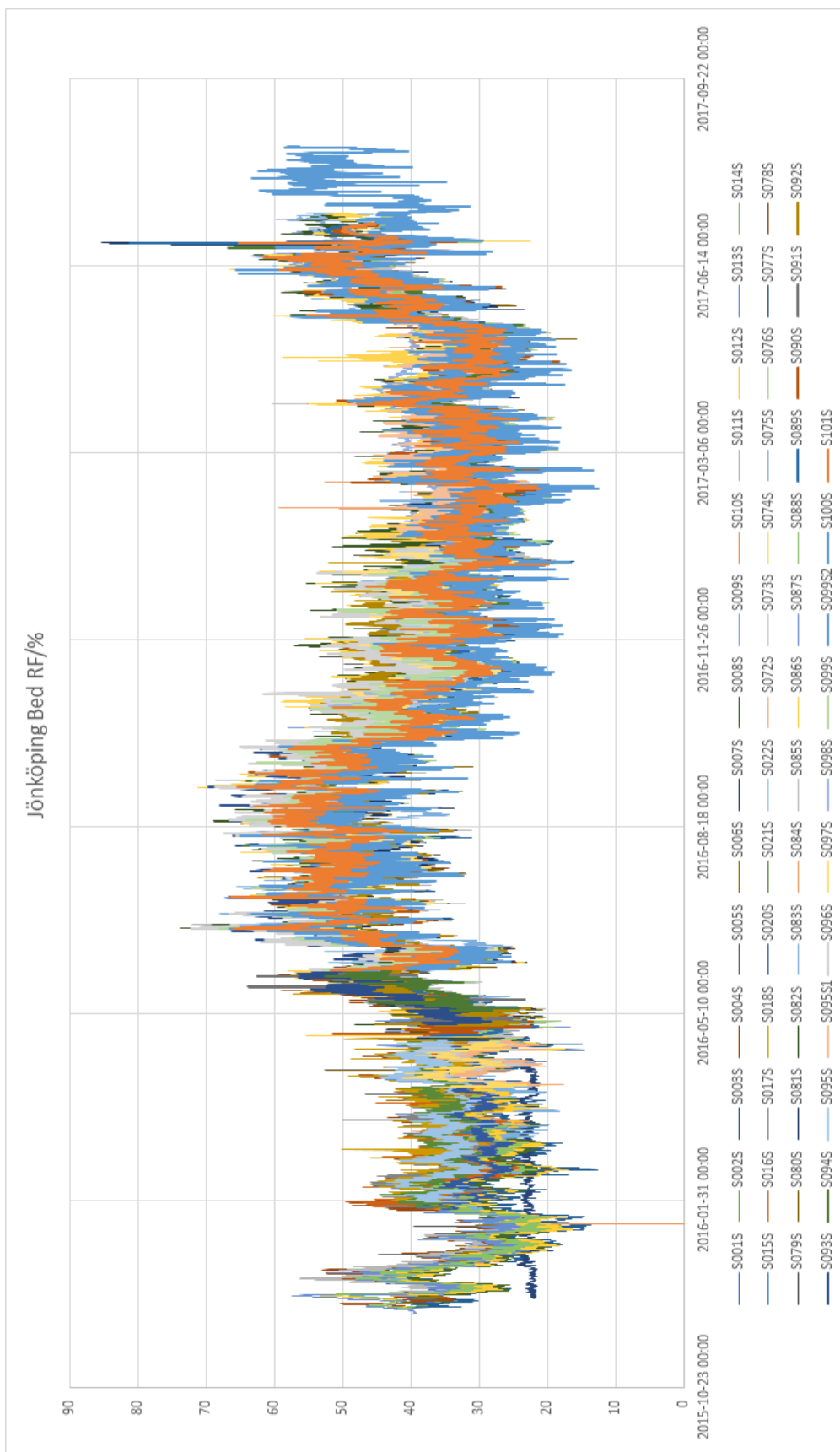


12.2 Relativ fuktighet

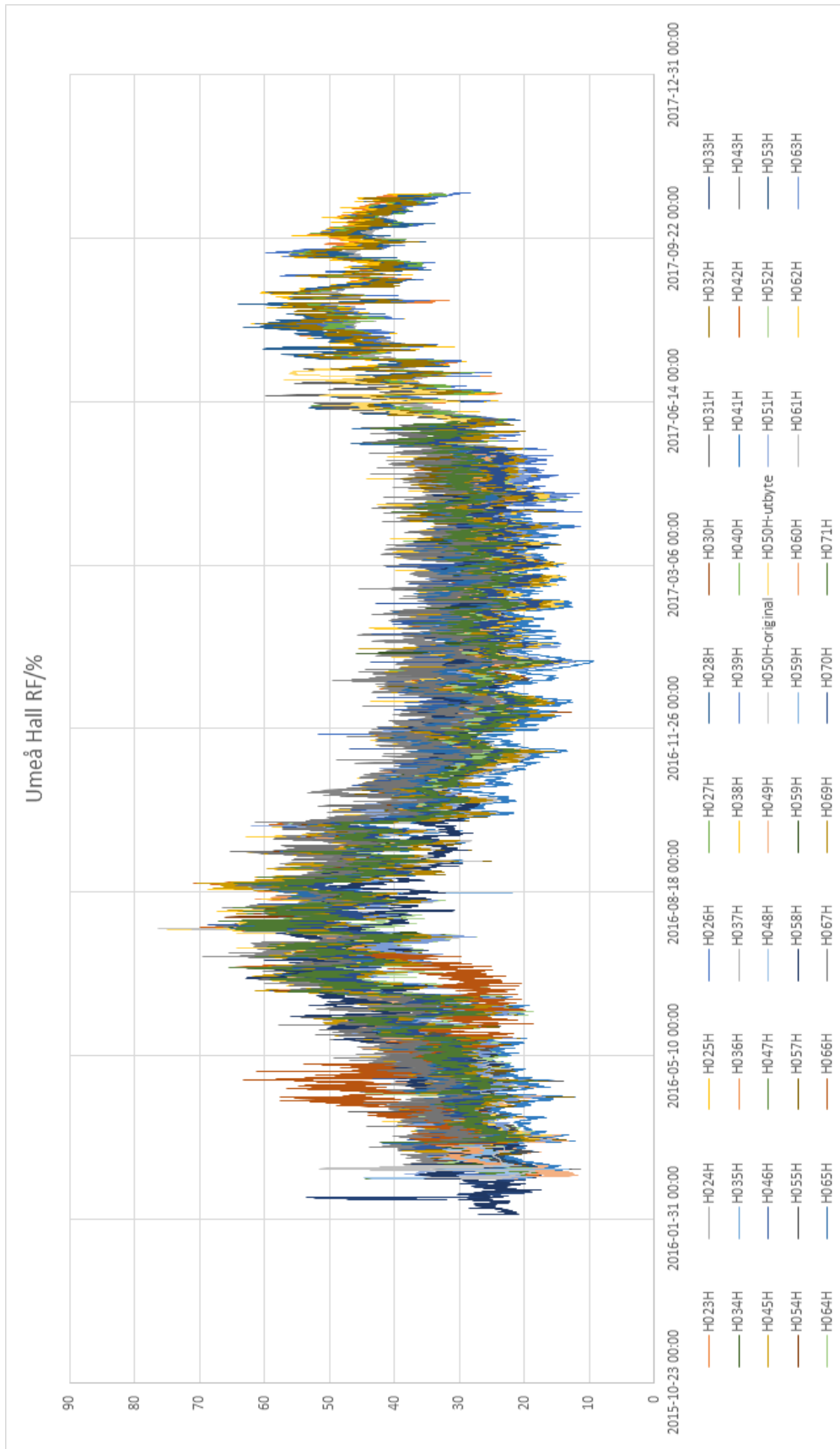


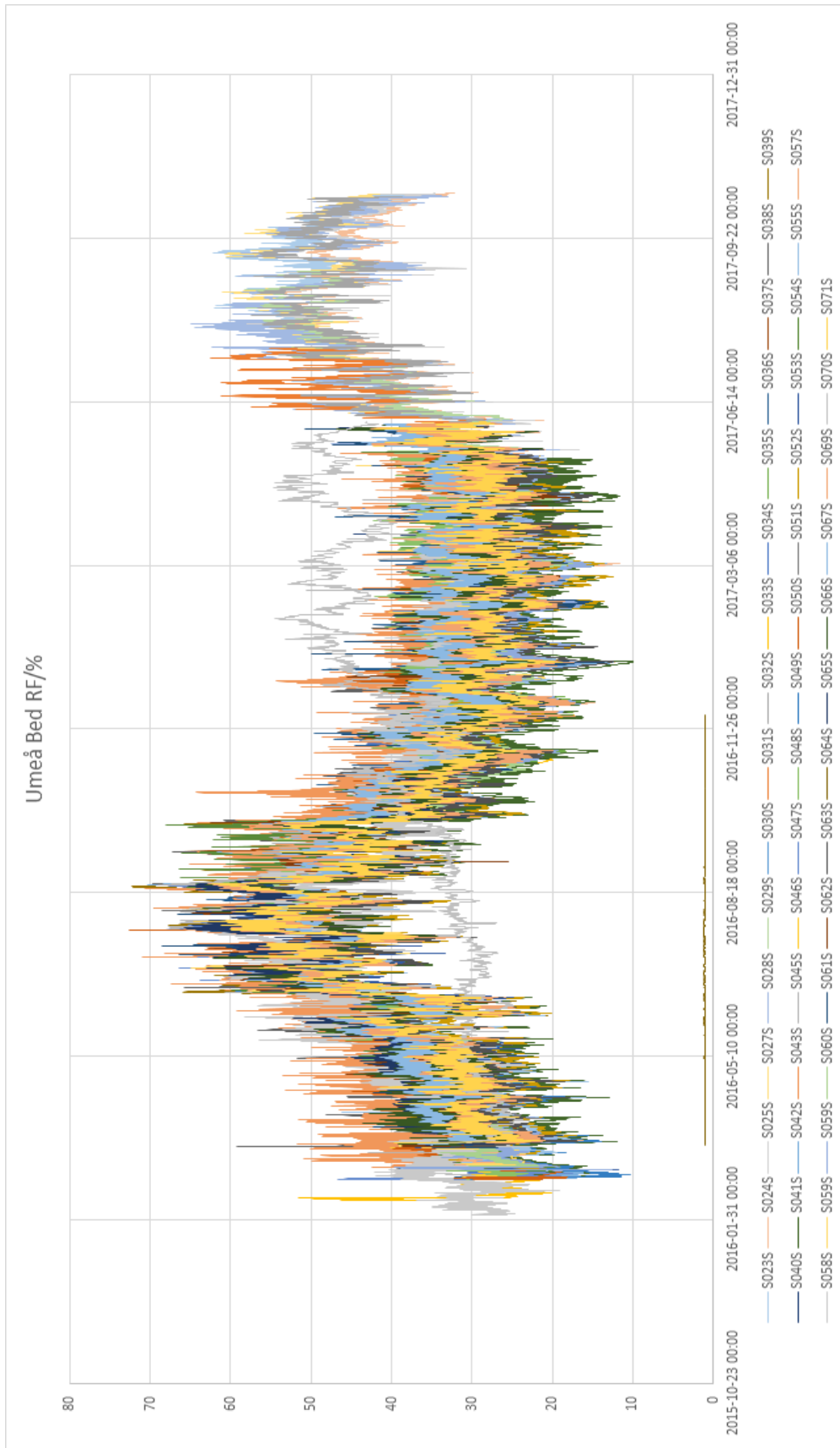




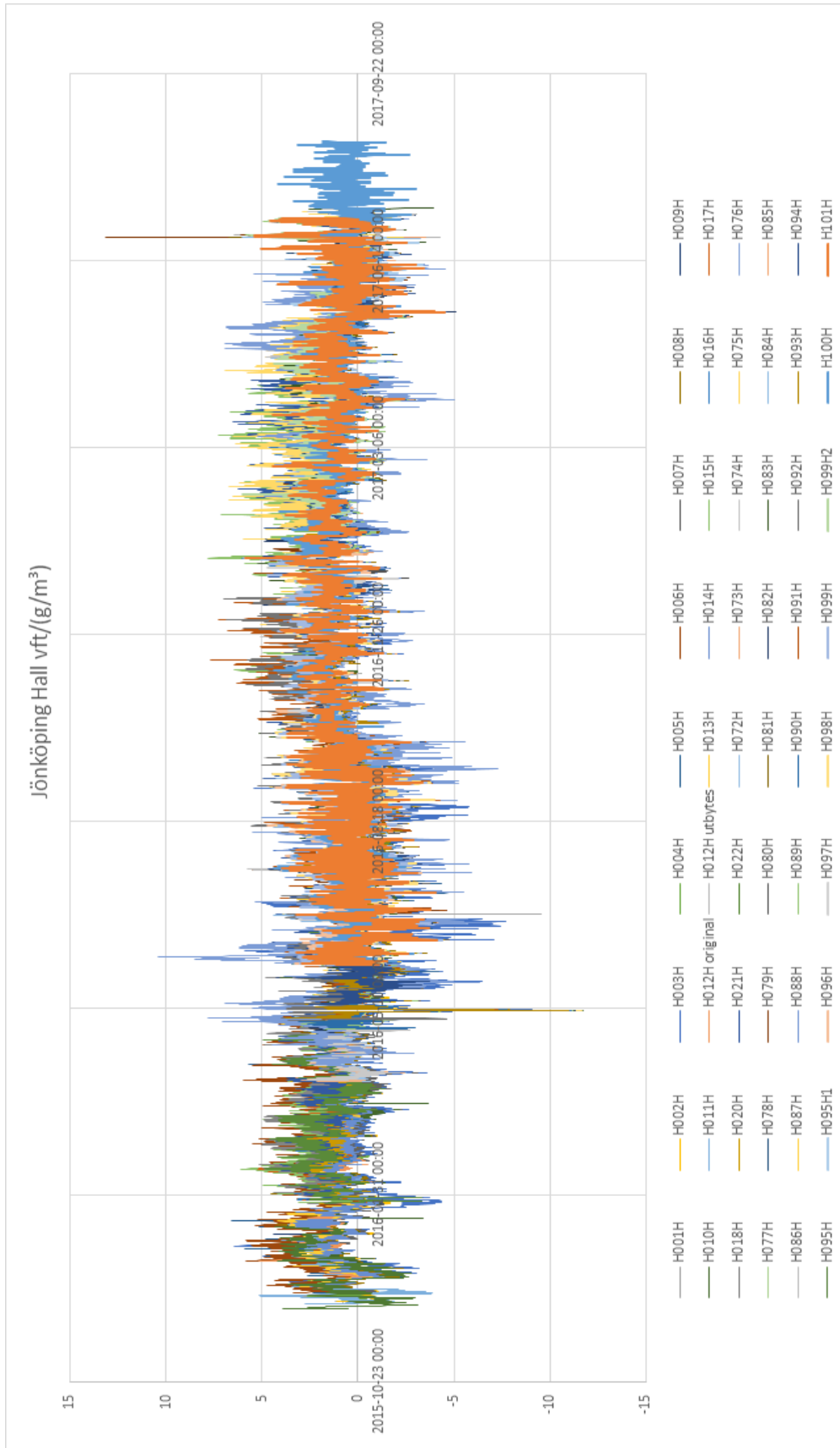


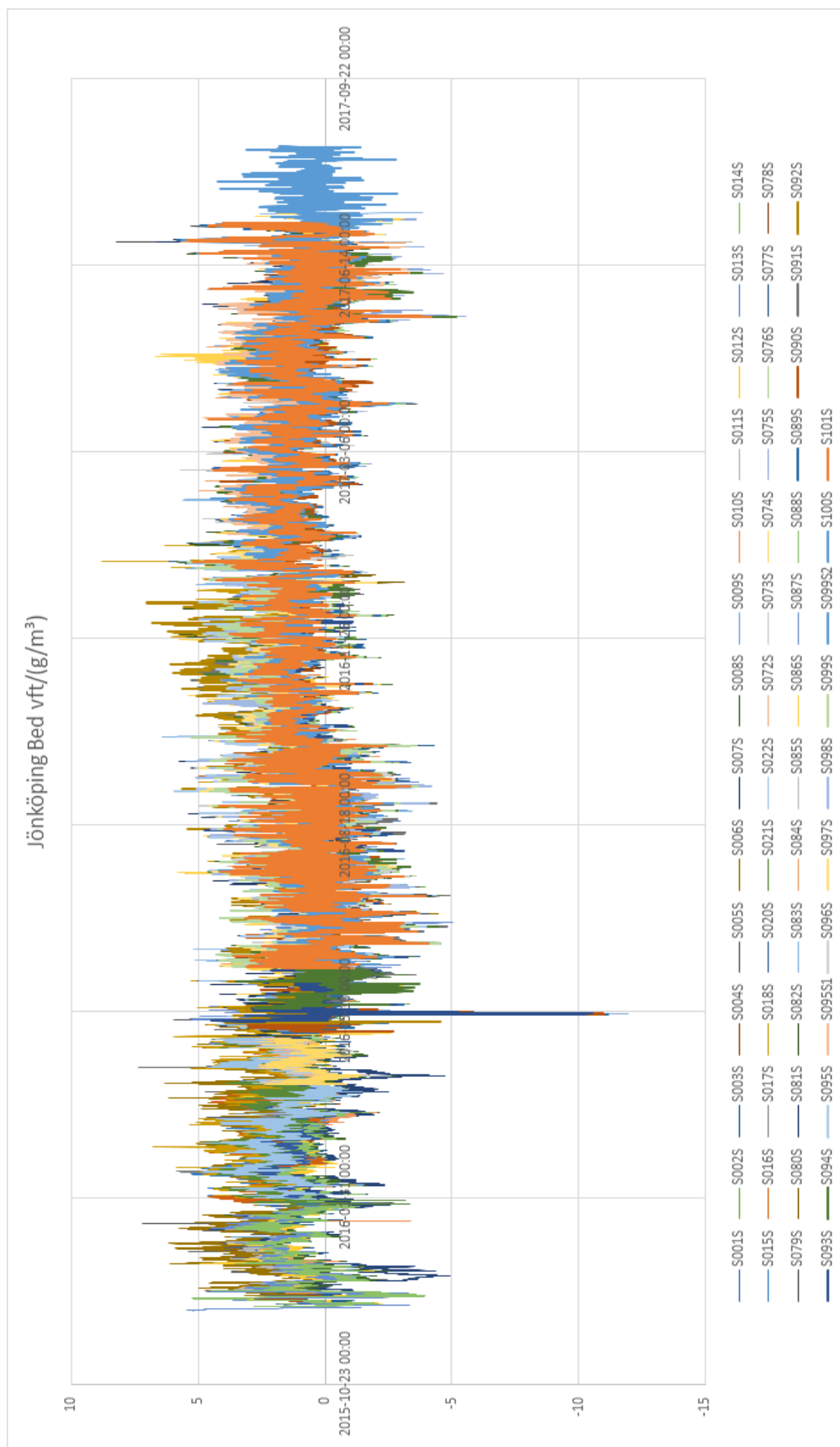


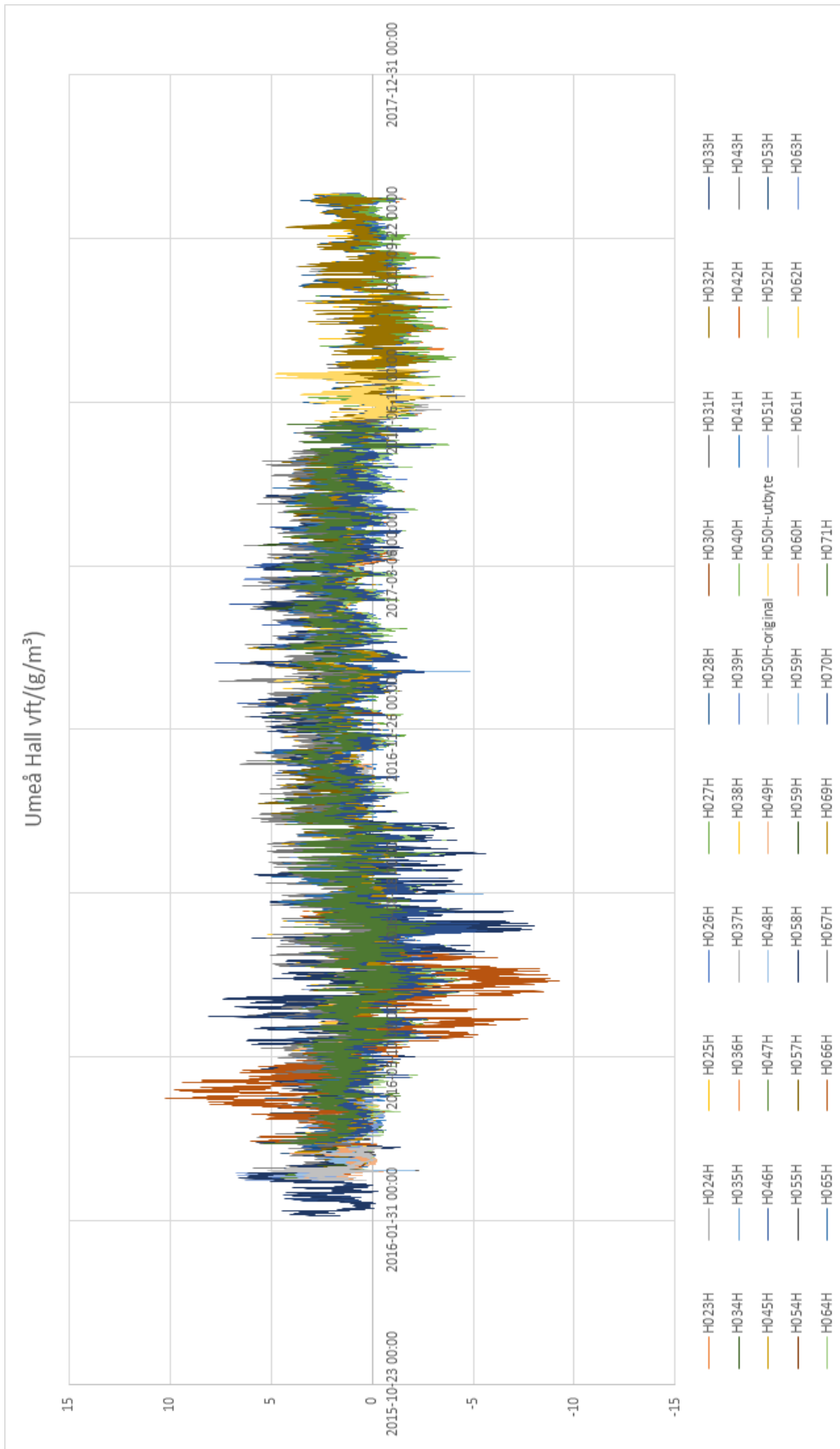


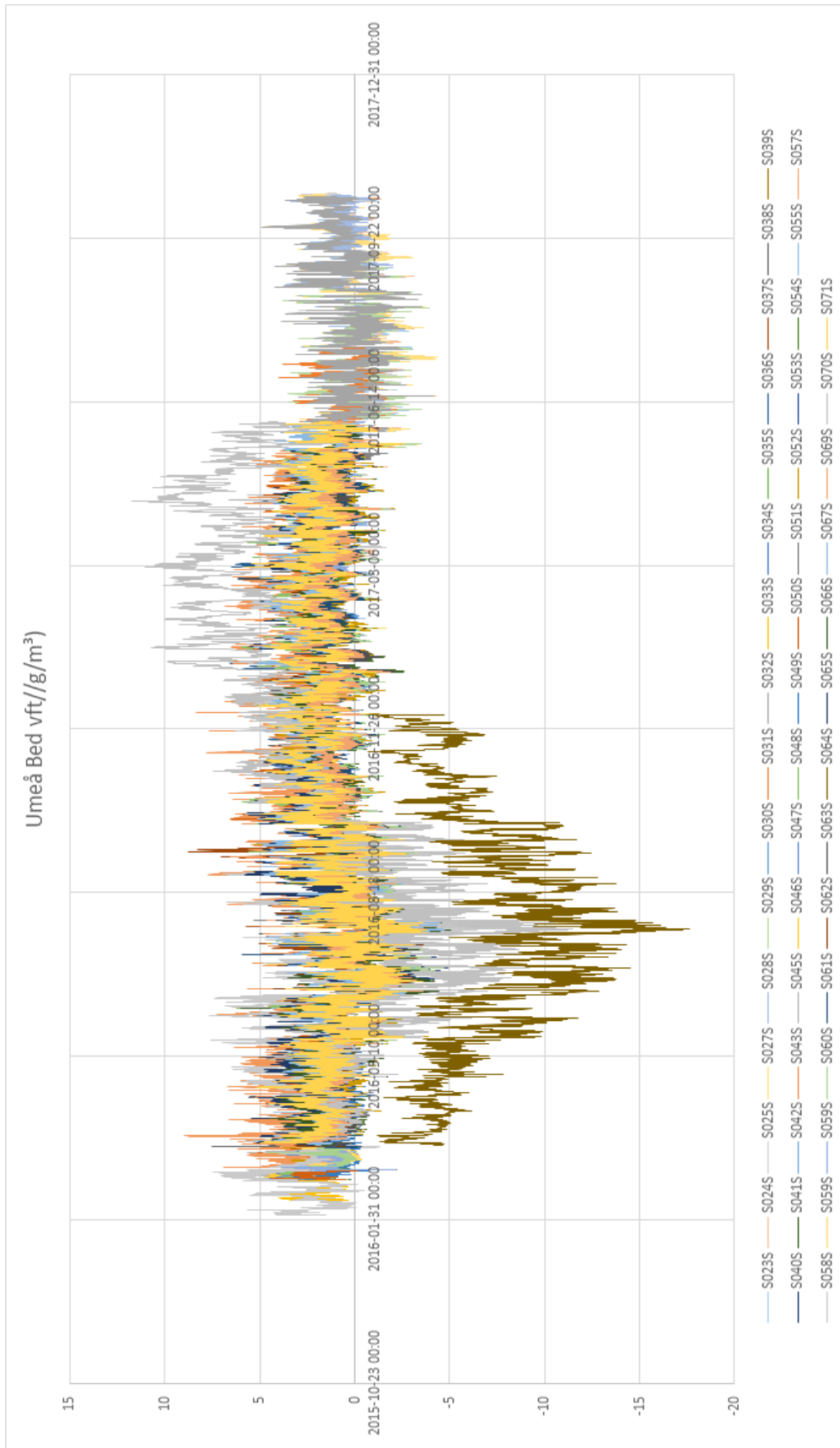


12.3 Fukttillskott

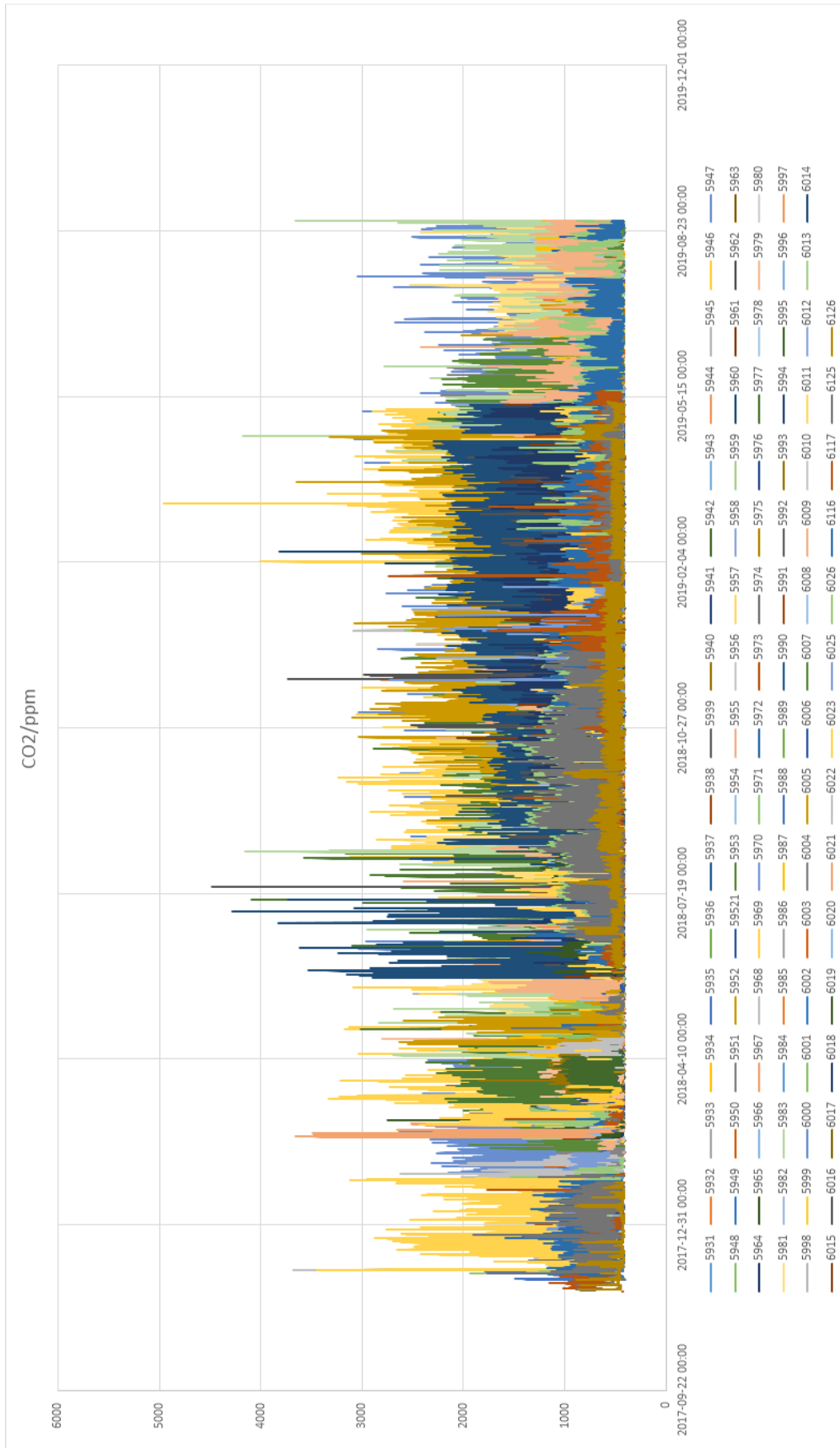


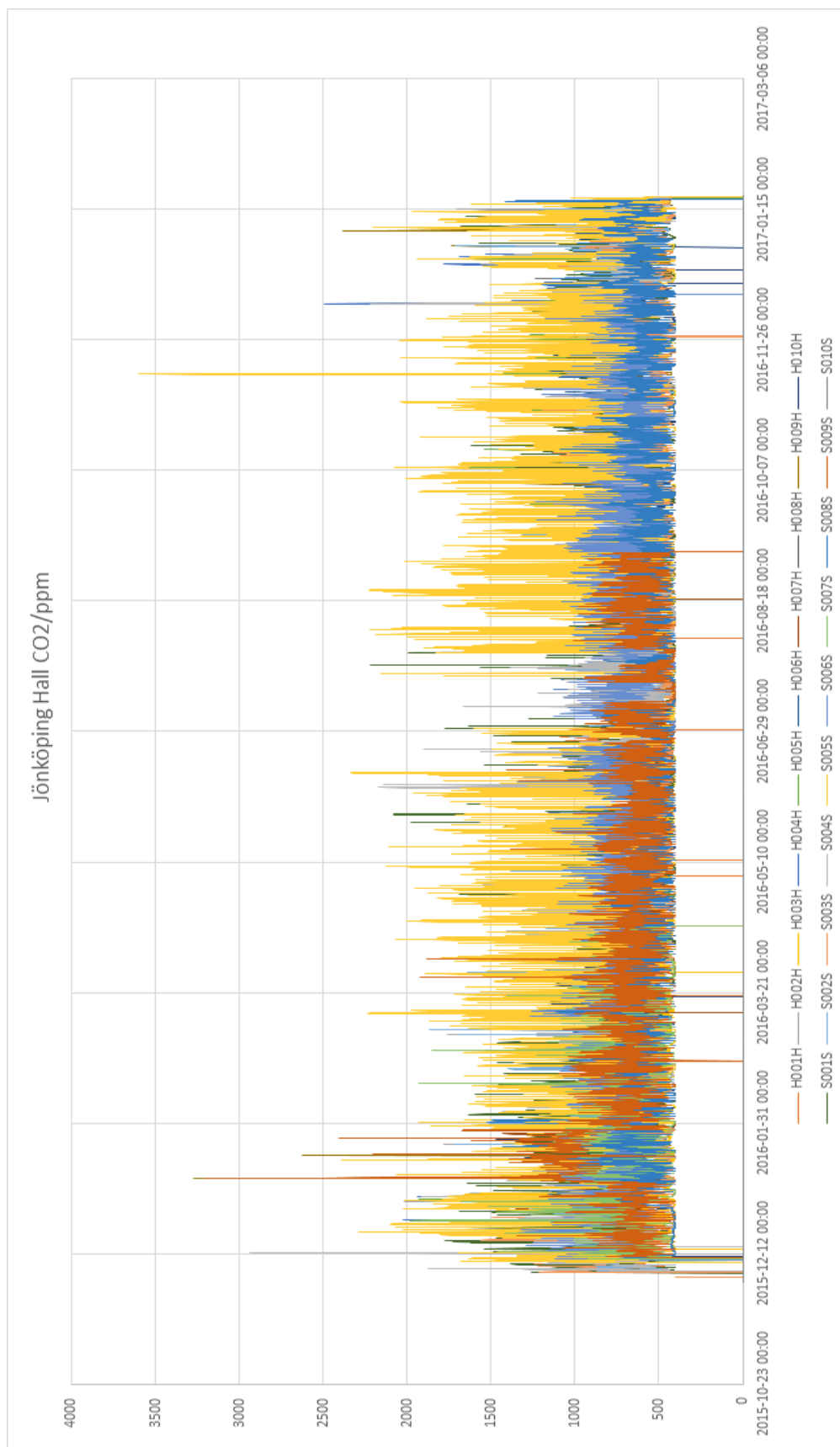


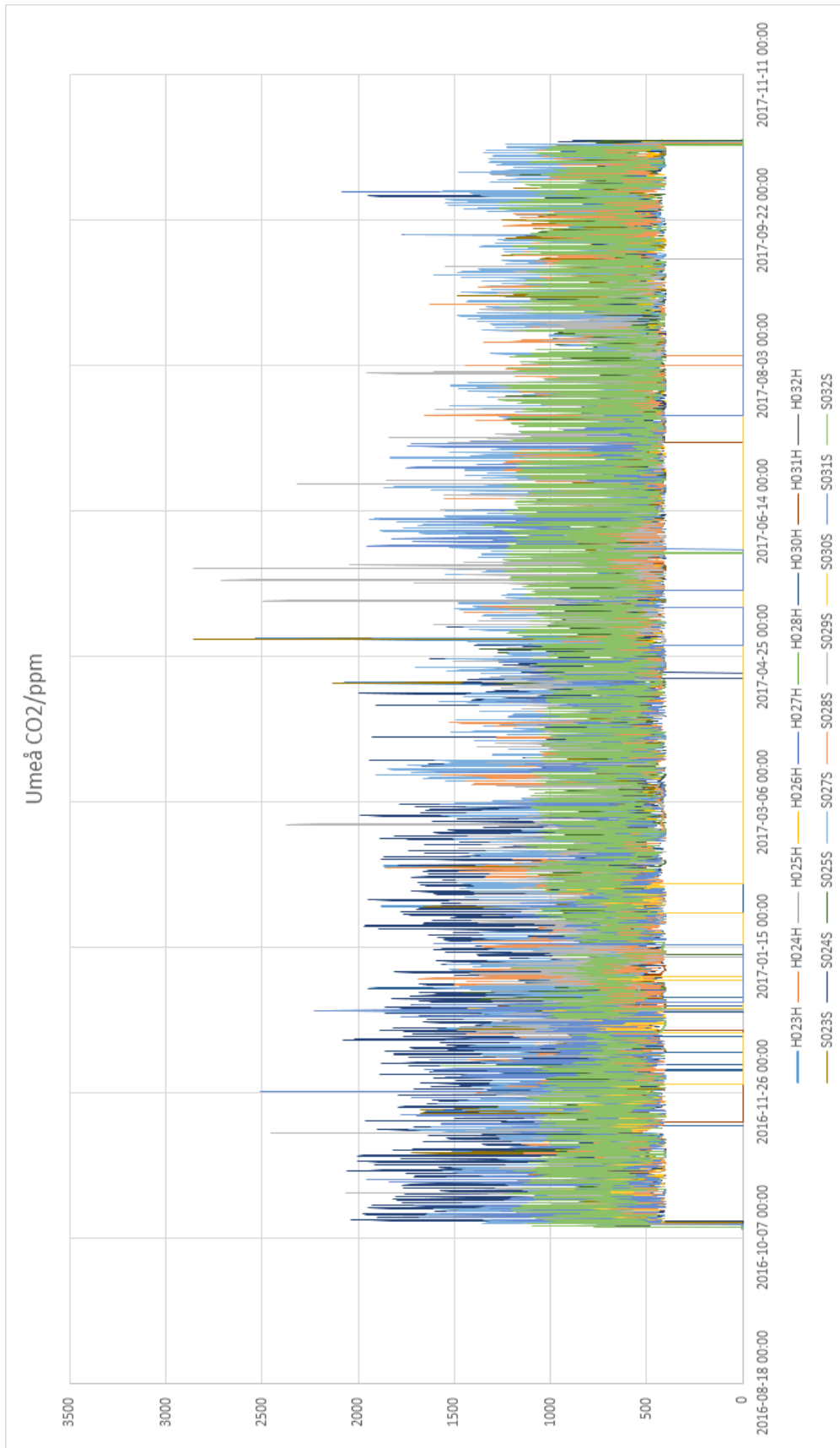




12.4 Koldioxid







12.5 Uteklimat

