

SBi 2008:08

Fugtstyret boligventilation

Målinger og evaluering



Fugtstyret boligventilation

Målinger og evaluering

Niels C. Bergsøe
Alireza Afshari

Titel	Fugtstyret boligventilation
Undertitel	Målinger og evaluering
Serietitel	SBi 2008:08
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2008
Forfattere	Niels C. Bergsøe, Alireza Afshari
Sprog	Dansk
Sidetæl	76
Litteratur-henvisninger	Side 39
Emneord	Ventilation, boliger, energi, energiforbrug, fugt, mekanisk ventilation, varmekorbrug
ISBN	978-87-563-1330-8
Fotos	Alireza Afshari, Niels C. Bergsøe
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Dr. Neergaards Vej 15, DK-2970 Hørsholm E-post sbi@sbi.dk www.sbi.dk

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen: *SBi 2008:08: Fugtstyret boligventilation. Målinger og evaluering. (2008)*

Indhold

Forord	4
Sammenfatning	5
Introduktion	7
Forsøgsanlæg og metoder	9
Funktionsbeskrivelse	9
Behovsstyret ventilationsanlæg	9
Traditionelt mekanisk udsugningsanlæg	10
Bebyggelsen Søndermarken	10
Placering af anlæggene	11
Forsøgsanlæggenes opbygning	12
Aggregater	12
Udsugningsventiler i wc- og baderum	12
Udeluftventiler	14
Emhætter	15
Målemetoder	15
Temperatur og relativ fugtighed	15
Ventilation	16
CO ₂ -koncentration	17
Resultater	18
Terminologi	18
DCV-lejligheder	18
Ref-lejligheder	18
Uds-lejligheder	18
Omfang af resultater	18
DCV-1	18
Ref-3 og Ref-4	19
Uds-3	19
Uds-4	19
Udeklima	20
Ventilation	21
Temperatur, relativ fugtighed og absolut vanddampindhold	22
Fugttilførsel	26
CO ₂ -koncentration	26
Aflæsning af elmålere	27
Ventilationsentreprenørens indreguleringsrapport	28
Beboernes synspunkter	28
Diskussion og evaluering af resultaterne	29
Ventilation	29
Effektøptag	31
Relativ fugtighed, absolut vandindhold, fugttilførsel	31
CO ₂ -målinger	33
Beboernes synspunkter	34
Konklusion	37
Litteratur	39
Bilag	41

Forord

Et led i indsatsen for at reducere energiforbruget forbundet med ventilation i bygninger er at vurdere mulighederne for at anvende behovsstyret ventilation i etageboliger. SBI har for en del år siden iværksat et samlet projektprogram om el- og energieffektiv, behovsstyret boligventilation, hvor den overordnede målsætning har været, at udvikle og afprøve nye effektive ventilationsstrategier, hvor der med mindst muligt energiforbrug opnås et godt indeklima. Denne rapport afslutter tredje og sidste fase i projektprogrammet. De to foregående faser har omfattet vurderinger af ventilationsbehovet i boliger, computersimuleringer af udvalgte ventilationsstrategier og fuldskalaforsøg i laboratoriet. I denne tredje fase er der foretaget undersøgelser og målinger i praksis i en etageboligbebyggelse på Frederiksberg. Formålet har været at demonstrere, at energiforbruget til ventilation i etageboliger kan reduceres i forhold til nuværende praksis, uden at det går ud over indeklimaet.

Projektet er gennemført under ELFORs PSO – F&U 2003 med ELFOR projektnr. 335-17 og med titlen "El-effektiv boligventilation".

Projektet er gennemført i samarbejde med KAB (tidligere KAB - Bygge- og Boligadministration) og Exhausto A/S. Undersøgelserne i et antal lejligheder er gennemført i bebyggelsen Søndermarken på Frederiksberg, som er en afdeling under Frederiksberg forenede Boligselskaber, FfB. Undersøgelserne er gennemført i samarbejde med Frederiksberg forenede Boligselskaber, afdelingsbestyrelsen i Søndermarken og KAB. Rambøll Danmark A/S har været rådgiver, byggeleder og tilsynsførende på byggesagen i forbindelse med installation af ventilationsanlæggene og efterfølgende demontering af disse og retablering af forholdene.

Ud over faglige bidrag til projektet har Frederiksberg forenede Boligselskaber og Exhausto A/S hver for sig ydet betydelige økonomiske bidrag til projektet; Frederiksberg forenede Boligselskaber til projektering og installation af forsøgsanlæggene og Exhausto A/S til ventilationskomponenter, både standardkomponenter og specialudviklede. Disse økonomiske bidrag har haft afgørende betydning for projektets gennemførelse.

Statens Byggeforskningsinstitut
Aalborg Universitet
Afdelingen for Energi og Miljø
December 2007

Søren Aggerholm
Forskningschef

Sammenfatning

Idéen i behovsstyret ventilation er, at tilpasse ventilationen til menneskers og bygningers behov så der tilvejebringes et tilfredsstillende indeklima, og så energiforbruget begrænses.

I samråd med KAB blev etageboligbebyggelsen Søndermarken på Frederiksberg, som er en afdeling under Frederiksberg forenede Boligselskaber, udpeget som egnet til forsøg med behovsstyret ventilation i etageboliger. Ved forsøgene blev der i bebyggelsen installeret to mekaniske udsugningsanlæg, henholdsvis et behovsstyret og et traditionelt etageboligudsugningsanlæg.

Det behovsstyrede anlæg fungerer på en sådan måde, at i de lejligheder som betjenes af dette anlæg, reguleres ventilationen efter rumluftens fugtighed. En central udsugningsventilator fjerner luft fra lejligheden gennem en fugtstyret emhætte i køkkenet og en passiv, fugtstyret udsugningsventil i wc- og baderum. I lejlighedernes beboelsesrum er der passive, fugtstyrede udeluftventiler i ydervæggene. Udsugningsventilen og udeluftventilerne har indbygget et fugtfølsomt bånd, som regulerer spjældåbningen i afhængighed af rumluftens fugtighed. En stigning i luftfugtigheden medfører en forøgelse af spjældåbningen.

Det andet anlæg, etageboligudsugningsanlægget, er traditionelt i sin opbygning. En central udsugningsventilator med konstant ydelse fjerner luft fra lejligheden gennem en almindelig emhætte i køkkenet og en almindelig udsugningsventil i wc- og baderum. I ydervæggene i beboelsesrummene er der almindelige udeluftventiler.

Ved begge anlægstyper giver emhætterne beboerne mulighed for manuelt at skifte til forceret drift i en begrænset periode.

Undersøgelserne har omfattet i alt tolv lejligheder; fire lejligheder med behovsstyret ventilation, fire lejligheder med traditionel mekanisk udsugning og fire lejligheder, hvor der ikke er ændret på de eksisterende ventilationsinstallationer, som alene er aftrækskanaler fra køkkenet og wc- og baderum.

Forsøgsperioden har været fra december 2005 til maj 2006. I hver af lejlighederne er der foretaget målinger af ventilationen og af rumluftens temperatur og relative fugtighed. Ventilationsmålingerne er foretaget ved hjælp af PFT-metoden, mens målingerne af temperatur og relativ fugtighed er foretaget ved hjælp af programmerbare mini-dataloggere type TinyTags *Ultra*. I udvalgte lejligheder er der foretaget målinger af CO₂-koncentrationen. Målingerne er foretaget ved hjælp af programmerbare dataloggere, som i funktion svarer til TinyTags *Ultra*. Desuden er der foretaget periodevis aflæsninger af el-målere ved de to udsugningsanlæg. Gennem samtaler med beboerne er der spurgt til synspunkter på forsøgsanlæggenes funktion, og ved undersøgelsesernes afslutning er beboerne i interviewform hørt om deres overordnede mening om ventilationen og indeklimaet i forsøgsperioden.

Overordnet bekræfter undersøgelserne de indikationer og resultater, som er fundet dels ved de teoretiske studier dels ved laboratorieundersøgelserne i de tidligere faser i projektprogrammet. Styring af ventilationen efter rumluftens fugtighed gør det muligt at reducere el-forbruget til drift af ventilatorerne, samtidig med at der opretholdes et tilfredsstillende indeklima. Set ud fra et fugtrelateret synspunkt er indeklimaet i lejlighederne med fugtstyret ventilation forbedret væsentligt i forhold til indeklimaet både i de uberørte lejligheder og i lejlighederne med traditionel mekanisk udsugning. Af økonomiske og praktiske grunde måtte omfanget af lejligheder, som kunne indgå i

undersøgelsen, begrænses, så materialet er ikke tilstrækkeligt til videregående statistiske analyser.

Resultaterne tyder på, at idéen om at styre ventilationen i etageboliger efter behovet og at anvende rumluftens relative fugtighed som styringsparameter kan anvendes, men undersøgelserne har samtidig tydeliggjort, at der er behov for, at en række praktiske forhold tages under behandling. Desuden er yderligere undersøgelser med andre forudsætninger nødvendige, for at der kan drages videre konklusioner, ligesom parametre som termisk komfort og luftkvalitet bør studeres nøjere og indgå som kriterier ved vurdering af behovsstyret ventilation i boliger.

Undersøgelserne er gennemført som led i et forsøgsprojekt og under særlige vilkår. Det understreges, at gældende regler ikke tillader anvendelse af styringsprincipper for ventilationen, som kan medføre, at bygningsreglementets krav til udelufttilførslen underskrides. Det kan imidlertid anbefales at anvende passive, fugtstyrede udeluftventiler i ydervæggene i beboelsesrummene. Forudsætningen er, at ventilerne indstilles på en sådan måde, at de i grundstillingen lever op til reglementets krav om frit åbningsareal og ved forhøjet luftfugtighed i rummet åbner yderligere.

Introduktion

Tanker om at anvende behovsstyring af ventilationen med henblik på reduktion af energiforbruget til ventilation er ikke nye. I såvel national som international litteratur, både den som på et overordnet niveau diskuterer metoder og muligheder for nedbringelse af energiforbruget, og den som mere detaljeret og konkret behandler besparelspotentialer, er behovsstyret ventilation fremhævet som en mulighed. Princippet vil i idealsituationen medføre, at et rum eller en bygning til enhver tid ventileres med den nødvendige og tilstrækkelige luftmængde.

Behovsstyring af ventilationen ses fx anvendt i kontor- og undervisningsbygninger. I sådanne bygninger forekommer ofte planmæssige og klart adskilte brugsperioder og ikke-brugsperioder, og samtidig er ventilationsbehovet i mange tilfælde veldefineret, fx ud fra personbelastning. I boliger, derimod, kan ikke-brugsperioderne være mere uforudsigelige, og ventilationsbehovet er ikke alene knyttet til persontilstedeværelse.

I bygningsreglementet regnes boliger for at være i brug hele døgnet. Udsugningen skal derfor være konstant og med nærmere specificeret ydelse. Navnlig i mindre boliger kan såvel el-forbruget til ventilatordriften som energiforbruget til opvarmning af ventilationsluften være unødvendigt stort. Et tidligere projekt om boligventilation (Bergsøe & Aggerholm, 2001) konkluderede i 2001, at der ikke kunne opnås væsentlig reduktion af bruttoenergiforbrug og miljøbelastning fra ventilationen ved at anvende mekanisk indblæsning og udsugning med varmegenvinding, sådan som anlæggene blev udformet på daværende tidspunkt og med den daværende virkningsgrad og miljøbelastning ved produktion af elektricitet. I tiden efter at det nævnte projekt blev afsluttet, er der sket væsentlige ændringer i bygningsreglementets energibestemmelser, og fx er der indført krav til temperaturvirkningsgraden af varmegenvindingsaggregater i ventilationsanlæg.

Energibesparelser på boligventilationsområdet kan opnås ved (1) at reducere el-forbruget til ventilatordriften gennem hensigtsmæssig udformning af anlæggene med henblik på lav SEL og begrænsede system- og tryktab og ved (2) at reducere både varmetabet og el-forbruget gennem kontrol – evt. nedsættelse – af den udsugede luftmængde.

I 1999 iværksatte SBI et samlet projektprogram i tre faser om el- og energieffektiv, behovsstyret boligventilation. Den første fase er gennemført under Energistyrelsens Energiforskningsprogram EFP-99 (Bergsøe, 2000). I projektet er der foretaget en vurdering af ventilationsbehovet i fremtidens boliger herunder mulighederne for at reducere basisventilationen i forhold til gældende krav. I det første af rapportens to hovedafsnit konkluderes, at i fremtidens boliger vil rumluftens vanddampindhold være bestemmende for ventilationsbehovet. I det andet hovedafsnit vises en række beregninger af ventilationsforholdene i en fiktiv bolig. Beregningerne viser, at ved hensigtsmæssig styring af såvel luftfjernelse som lufttilførsel kan basisventilationen i gennemsnit over døgnet være op til 25 pct. lavere, uden at det medfører forringelse af indeklimaet eller risiko for fugtskader.

Modelberegningerne har dannet grundlag for studier af en række forskellige ventilationsstrategier i et efterfølgende EFP 2000 projekt (Afshari & Bergsøe, 2007). I projektet, som udgør fase to i projektprogrammet, er udvalgte strategier afprøvet i fuld skala under kontrollerede forhold i laboratoriet. Målet med de praktiske afprøvninger har været at undersøge modelberegningernes pålidelighed og at vurdere strategiernes anvendelighed i praksis. Resultaterne af laboratorieforsøgene viser god overensstemmelse med modelberegningerne, og resultaterne underbygger forventningerne til,

at der kan opnås energibesparelser ved reduktion af basisventilationen i boliger.

Nærværende projekt udgør tredje og sidste fase i projektprogrammet. I denne fase er der foretaget afprøvninger af behovsstyret ventilation i en etageboligbebyggelse på Frederiksberg.

Forsøgsanlæg og metoder

I en udvalgt bebyggelse er der installeret to mekaniske udsugningsanlæg. Det ene er et behovsstyret anlæg, som fungerer på en sådan måde, at i de lejligheder som betjenes af dette anlæg, reguleres ventilationen efter rumluftens fugtighed. Det andet anlæg er udformet som et traditionelt mekanisk etageboligudsugningsanlæg med konstant drift. Som en tredje gruppe indgår lejligheder, hvor der ikke er ændret på de eksisterende muligheder for ventilation. I de tre grupper af lejligheder er der foretaget målinger og undersøgelser til vurdering af funktionen af behovsstyret ventilation.

Nedenfor beskrives forsøgsanlæggenes funktion og opbygning, den udvalgte bebyggelse samt udstyr og metoder til måling af temperatur, relativ fugtighed og ventilation.

Funktionsbeskrivelse

Behovsstyret ventilationsanlæg

På baggrund af resultater og erfaringer fra de foregående faser i det tidligere nævnte projektprogram om energieffektiv behovsstyret boligventilation er styringsparameteren for det behovsstyrede udsugningsanlæg i dette projekt rumluftens fugtighed.

I forsøgslejlighedernes køkken er der monteret en fugtstyret emhætte, og i lejlighedernes wc- og baderum er der monteret en fugtstyret udsugningsventil. En central udsugningsventilator fjerner luft fra lejligheden gennem henholdsvis emhætte og udsugningsventil. Spjældåbningen i emhætten styres elektrisk via en hygrostat, som er anbragt på væggen i køkkenet. Spjældåbningen i udsugningsventilen i wc- og baderummet styres passivt ved hjælp af et fugtfølsomt bånd, som er indbygget i ventilen. En stigning i rumluftens fugtighed vil både i emhætten og i udsugningsventilen resultere i en forøget spjældåbning. Det centrale udsugningsanlæg er forsynet med en konstantrykregulering, således at en forøget spjældåbning i emhætten og/eller i udsugningsventilen vil medføre en forøgelse af den udsugede luftmængde. Derudover har beboerne mulighed for manuelt at forøge udsugningen i køkkenet i en tidsbegrænset periode ved tryk på en knap på emhætten.

I den første fase i det samlede projektprogram blev det vist, at regulering af udsugningen alene kan være acceptabelt, når der alene ses på rumluftens indhold af forureninger. Princippet vil imidlertid ikke med sikkerhed tilfredsstillende almindelige anbefalinger til maksimal acceptabel luftfugtighed inde. Det er nødvendigt, at der i sammenhæng med regulering af udsugningen sikres effektiv udnyttelse af den tilførte udeluft, fx ved at den tilføres de rum, hvor der er behov.

I denne undersøgelse er der monteret passive, fugtstyrede udeluftventiler i ydervæggene i beboelsesrummene. Efter samme princip som udsugningsventilen i wc- og baderummet har udeluftventilerne et indbygget fugtfølsomt bånd, som regulerer spjældåbningen i ventilen i afhængighed af rumluftens fugtighed. En stigning i luftfugtigheden medfører en forøgelse af spjældåbningen. Ventilen er konstrueret på en sådan måde, at udeluften, som strømmer gennem ventilen, ikke påvirker det fugtfølsomme bånd.

Idéen med passive, fugtstyrede udeluftventiler er, eksempelvis, at når beboerne om natten opholder sig i soverummet, vil fugtafgivelsen fra personer medføre en stigning i rumluftens fugtighed, som igen vil medføre, at

udeluftventilen åbner mere. Udeluftventilen i den ubenyttede stue vil samtidig lukke lidt til. Den samlede udelufttilførsel til lejligheden vil derfor i hovedsagen ske til det rum, hvor der er størst behov. Herved udnyttes den tilførte udeluft effektivt.

Det behovsstyrede ventilationsanlæg beskrives yderligere nedenfor.

Traditionelt mekanisk udsugningsanlæg

Det andet udsugningsanlæg er opbygget som et traditionelt mekanisk etageboligudsugningsanlæg.

I forsøgslejlighedernes køkken er der monteret en almindelig emhætte og i wc- og baderummet er der monteret en almindelig udsugningsventil. Udsugningsanlægget er i permanent drift, og suger konstant gennem emhætte og udsugningsventil. Ligesom ved det fugtstyrede ventilationsanlæg har beboerne mulighed for manuelt at forøge udsugningen gennem emhætten i en tidsbegrænset periode ved tryk på en knap på emhætten.

I ydervæggene i beboelsesrummene er der monteret almindelige, manuelt regulerbare udeluftventiler.

Bebyggelsen Søndermarken

I samråd med KAB blev bebyggelsen Søndermarken på Frederiksberg udpeget som en egnet bebyggelse til forsøgene. Søndermarken er en afdeling under Frederiksberg forenede Boligselskaber, FfB. Bebyggelsen er opført i 1951-55 og består af fem punkthuse støbt in situ. Hvert punkt hus er på 14 etager og en tagetage. I den nederste etage er der fællesfaciliteter herunder vaskerier og i ét af husene butikker. På de øvrige etager er der i hvert punkt hus i de fleste tilfælde 6 lejligheder. Bebyggelsen omfatter i alt 434 lejligheder, hvoraf ca. 2/3 er med 2 værelser og 1 kammer og ca. 1/3 er med 2 værelser og 2 kamre. Derudover er der nogle få lejligheder, som er mindre og nogle få, som er større.

Ventilationsinstallationerne i lejlighederne består af naturlige aftrækskanaler fra køkken og wc- og baderum. Enkelte beboere har på eget initiativ monteret en emhætte med kulfilter – en såkaldt recirkulationsemhætte.



Figur 1. Aftrækskanal fra wc- og baderum, fra køkken (to eksempler) og spalte under dør til wc- og baderum.

Placering af anlæggene

Allerede under de indledende overvejelser og i den tidlige planlægning af projektet var det besluttet, at de praktiske undersøgelser skulle omfatte et antal lejligheder med behovsstyret ventilation og et antal lejligheder med traditionel mekanisk udsugning. Der ville således være nødvendigt, at der blev installeret to mekaniske udsugningsanlæg med tilhørende kanalføring til forsøgslejlighederne. Desuden var det besluttet, at der i projektet skulle indgå et antal lejligheder, hvor der ikke blev ændret ved de eksisterende ventilationsinstallationer.

Undersøgelserne måtte af både praktiske og økonomiske grunde begrænses til at omfatte et mindre antal lejligheder, og det var eksempelvis ikke muligt at inddrage samtlige lejligheder fra 1. til 15. etage i den ene side i en opgang. Overvejelser om at anbringe ventilationsanlæggene på 15. etage eller på taget og anvende de eksisterende aftrækskanaler som udsugningskanaler fra forsøgslejlighederne måtte forkastes. Dels ville der være praktiske problemer ved at anbringe anlæggene på 15. etage eller på taget, dels var der usikkerhed om aftrækskanalernes tilstand. Desuden ville det medføre betydelige omkostninger til boring af huller i facaden til udeluftventiler i den højde. Endelig ville forsøgslejligheder beliggende på de øverste etager i bebyggelsen, fx 15., 14. eller 13. etage, ikke kunne betragtes som repræsentative for eksisterende etageboliger.

Det blev derfor besluttet, at anbringe udsugningsanlæggene i den nederste etage dvs. i terrænniveau med afkastet fra anlæggene ført gennem ydervæggen i gadeniveau. På myndighedernes forlangende ville der blive monteret kulfilter på afkastsiden af hensyn til lugtgener.

Fra det enkelte anlæg er der ved boring gennem etageadskillelserne ført en lodret hovedkanal op til 1. og 2. etage og herfra vandrette fordelingskanaler ud til forsøgslejlighedernes køkken og wc- og baderum. Den lodrette hovedkanal er ført i en BS60-skakt, mens de vandrette fordelingskanaler inde i lejlighederne er ført synligt under loft.

De to anlæg blev installeret i hvert sit punkthus. Figur 2 og Figur 3 viser ét af de to anlæg.



Figur 2. Den ene af udsugningsanlæggene anbragt i den nederste etage og med afkastet ført gennem ydervæggen i gadeniveau.



Figur 3. Kanalføring og lyd-dæmpere fra anlæg til lodret hovedkanal.

Forsøgsanlæggenes opbygning

Samtlige komponenter både til det behovsstyrede ventilationsanlæg og til det traditionelle mekaniske udsugningsanlæg er leveret af Exhausto A/S inklusive passive, fugtstyrede udsugnings- og udeluftventiler, fugtstyrede og almindelige emhætter samt almindelige udsugnings- og udeluftventiler. Ventilationsentreprenøren har leveret ventilationskanaler, brandspjæld, lyd-dæmpere etc.

Aggregater

Hvert af de to anlæg består af en Exhausto BESB 250-4 ventilator med en MGE motor. BESB er en boksventilator med centrifugalhjul med bagudbøjede skovle. Ventilatoren er optaget på de danske el-selskabers liste over spareventilatorer®, dvs. ventilatorer, som lever op til krav om høj energieffektivitet. MGE motoren er en energibesparende motor beregnet til behovsstyring via en indbygget mikrofrekvensomformer.

Ventilator og motor til det traditionelle udsugningsanlæg kunne eventuelt have været valgt fra et billigere produktsortiment end BESB og MGE, da det ville være det almindelige valg i praksis.

Begge anlæg er udstyret med konstanttrykregulering type MAC 11 med tryktransducer. Tryktransduceren måler det aktuelle tryk i kanalsystemet, og regulatoren tilpasser ventilatorens ydelse i forhold til det indstillede tryk.

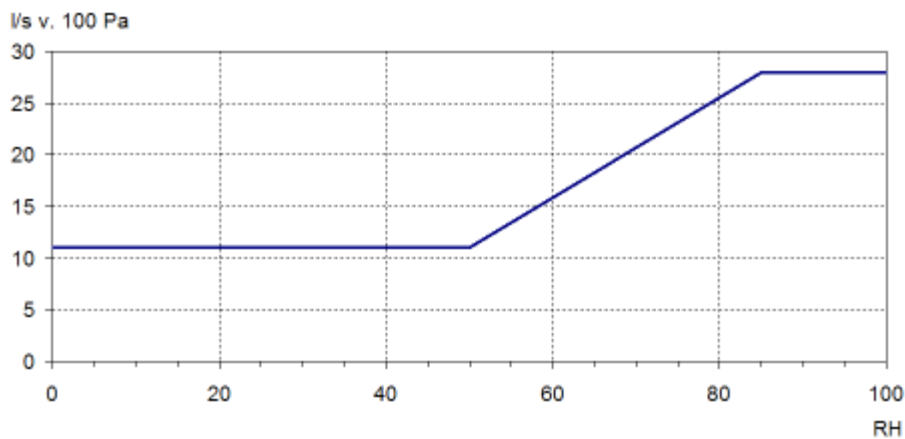
Udsugningsventiler i wc- og baderum

I forsøgslejlighederne med behovsstyret ventilation er udsugningsventilerne i wc- og baderum passive, fugtstyrede ventiler fabrikat Exhausto type BXL 879.

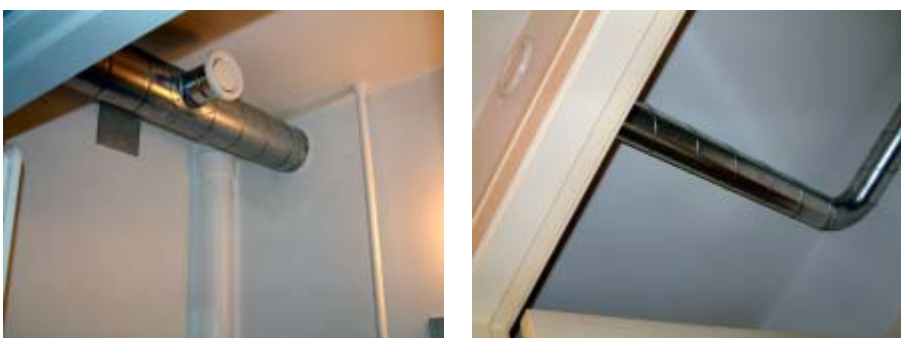
Spjældet i ventilen består af to halvdele. Med den ene spjældhalvdel indstilles basisudsugningen gennem ventilen. Eksempelvis kan basisudsugningen ved en trykdifferens på 100 Pa indstilles til mellem 4 l/s og 19 l/s. Den anden spjældhalvdel, som er koblet til det tidligere nævnte indbyggede fugtfølsomme bånd, bestemmer forøgelsen i udsugningen i afhængighed af rumluftens fugtighed. Fugtniveauet, hvor det fugtstyrede spjæld i ventilen begynder at åbne, kan justeres fra 30 %RH til 60 %RH.



Figur 4. Fugtstyret udsugningsventil i wc- og baderum; fabrikat Exhausto type BXL 879. Ventilens udvendige mål er ca. 16 x 23 cm.



Figur 5. Den anvendte karakteristik i dette projekt for fugtstyringen i udsugningsventilen BXL 879.



Figur 6. Standard udsugningsventil fabrikat Exhausto type URH 100.

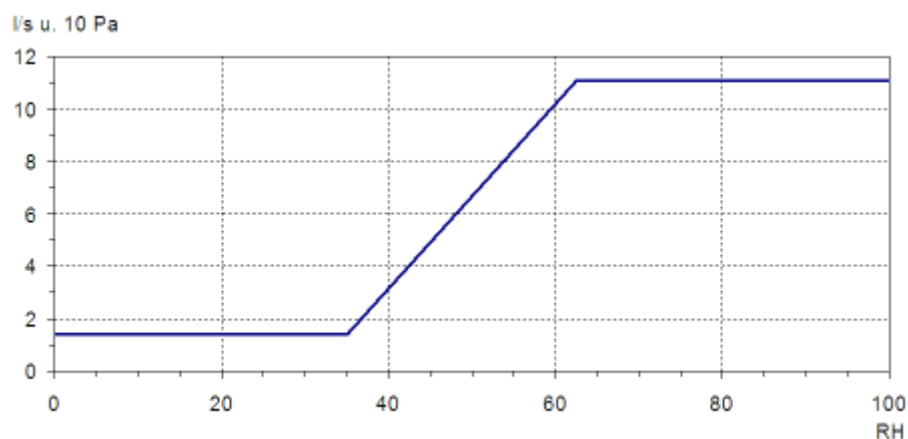
Figur 5 viser karakteristikken, som er anvendt i dette projekt; basisudsugningen er forindstillet til 11 l/s ved 100 Pa (spjældpos. 4), og det nedre niveau for fugtreguleringen er sat til 50 %RH.

I lejlighederne med traditionel mekanisk udsugning sker udsugningen i wc- og baderum gennem standard udsugningsventiler fabrikat Exhausto type URH 100 forindstillet til 15 l/s (54 m³/h), se Figur 6.

Udeluftventiler

I forsøgslejlighederne med behovsstyret ventilation er der i beboelsesrummene anbragt passive fugtstyrede udeluftventiler fabrikat Aereco type EHT 5-40. Det indbyggede fugtfølsomme bånd regulerer åbningsgraden af to spjæld; ét på hver side af ventilen. Ventilens maksimale fri åbningsareal er 40 cm^2 . Figur 7 viser karakteristikken for ventilen og Figur 8 viser et eksempel.

I lejlighederne med traditionel mekanisk udsugning er der i beboelsesrummene anbragt almindelige manuelt regulerbare udeluftventiler, fabrikat Fresh type 90. I en enkelt lejlighed blev der efter beboernes ønske på grund af trækgener anbragt en cirkulær ventiltype, se Figur 9.



Figur 7. Karakteristik for passiv fugtstyret udeluftventil fabrikat Aereco type EHT 5-40.



Figur 8. Fugtstyret udeluftventil fabr. Aereco type EHT 5-40. Ventilens udvendige mål er ca. 14 x 24 cm.



Figur 9. Standard udeluftventiler.



Figur 10. Emhætte fabrikat Exhausto type ESL 130 WE og hygrostat i lejlighed med behovstyret ventilation.

Emhætter

Der er installeret emhætter såvel i lejlighederne med behovsstyret ventilation som i lejlighederne med traditionel mekanisk udsugning. Emhætten er en variant af Exhaustos model slimline type ESL 130 WE.

I lejlighederne med behovsstyret ventilation er der i sammenhæng med emhætten installeret en hygrostat type HYRK. Hygrostaten er forbundet til emhættens spjæld via et styringsmodul og ved et forudindstillet fugtniveau skifter emhætten til forceret drift. I dette projekt er forindstillingen til forceret drift sat til 50 %RH, og ydelsen ved forceret drift er sat til 45 l/s (162 m³/h). Basisudsugningen er forindstillet til 10 l/s (36 m³/h).

I lejligheder med traditionel mekanisk udsugning er emhættens ydelse sat til 20 l/s (72 m³/h) i basisudsugning og 40 l/s (144 m³/h) ved forceret drift.

I begge grupper af lejligheder indeholder emhætten desuden en elektrisk timer, som gør det muligt for beboerne manuelt at skifte til forceret drift.

Målemetoder

Temperatur og relativ fugtighed

Målingerne af rumluftens temperatur og relative fugtighed er foretaget ved hjælp af programmerbare mini-dataloggere fabrikat Gemini Data Loggers type TinyTags *Ultra*, se Figur 11. Én datalogger registrerer sammenhængende værdier af rumtemperatur og relativ fugtighed. Dataloggerne er i denne undersøgelse programmeret til at foretage registrering hvert 15. minut.

Til at begynde med blev der installeret fire dataloggere i hver lejlighed placeret i henholdsvis stue, soverum, køkken og wc- og baderum. Undervejs i undersøgelsen blev det besluttet, at begrænse målingerne til stue og soverum.

Der findes valide måleresultater fra december 2005 til maj 2006. Måleresultater før denne periode er ikke anvendelige på grund fejl og mangler ved forsøgsanlæggene, og måleresultater efter maj 2005 er usikre, da det er uden for opvarmningsperioden.



Figur 11. TinyTag *Ultra*, PFT sporgaskilde og PFT adsorptionsrør.

De benyttede dataloggere er beregnet til anvendelse inden for måleområderne $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ og 0 \%RH til 95 \%RH i ikke-kondenserende omgivelser. Gældende for den interne temperaturføler i loggeren er instrumentusikkerheden $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ i intervallet $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, opløsningen er $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ved $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ og tidskonstanten er ca. 5 minutter til 90 \% . Instrumentusikkerheden for måling af relativ luftfugtighed er $\pm 3\text{ \%RH}$ ved $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ og med lav temperaturafhængighed, opløsningen er bedre end $0,5\text{ \%RH}$ og tidskonstanten er ca. 10 sekunder til 90 \% .

Ventilation

Målingerne af ventilationen er foretaget ved hjælp af passiv sporgasteknik, den såkaldte PFT-metode. PFT står for *Perfluorcarbon Tracer* – de anvendte sporgastyper er perfluorcarboner, som er organiske forbindelser af perfluoralkylcycloalkan-familien.

PFT-metoden er en sporgasmetode efter konstant-dosering princippet. Sporgas frigives kontinuert, med en kendt rate og passivt fra nogle små sporgaskilder. Registreringen af den gennemsnitlige sporgaskoncentration i rumluften sker ved passiv opsamling i adsorptionsrør.

En sporgaskilde består af et metalhylster ($l = 32\text{ mm}$, $d = 6,6\text{ mm}$) lukket med en silikoneprop, hvorigennem sporgassen diffunderer. Et adsorptionsrør består af et glasrør ($l = 64\text{ mm}$, $d = 6,4\text{ mm}$), som indeholder en adsorbent beslægtet med aktivt kul. Se Figur 11. Adsorptionsrørene analyseres i laboratoriet ved termisk desorption og gaschromatografi.

Målinger med PFT-metoden gennemføres over en periode, og resultatet af målingen er den gennemsnitlige udelufttilførsel i måleperioden. Erfaringer viser, at ved måling i boliger er en måleperiode på mellem én og to uger passende.

Det er med PFT-metoden muligt at anvende op til tre forskellige sporgastyper samtidigt. En bygning eller en bolig kan derfor opdeles i zoner, så også interne luftudvekslinger mellem zonerne kan bestemmes. Det er dog en forudsætning, at bygningen eller boligen i ventilationsmæssig sammenhæng består af adskilte zoner. PFT-metoden er beskrevet i (Bergsøe, 1992).

Der er foretaget målinger af ventilationen i de 3 x 4 lejligheder i to perioder; i december 2005 og i januar 2006.

Alle målinger er sat i gang ved, at SBI har opsat måleudstyret i lejlighederne, og de fleste målinger er afsluttet ved, at SBI ved et nyt besøg mellem én og to uger senere har indsamlet det igen. I udvalgte tilfælde har SBI efter aftale med beboerne udleveret frankerede svarkuverter i sammenhæng med opsætning af udstyret. Efter instruktion har beboerne nedtaget udstyret og returneret dette til SBI. Proceduren er en lettelse både for beboerne og for SBI, da der spares et besøg i lejligheden, men da der stilles krav til håndtering af udstyret i forbindelse med nedtagningen, er proceduren ikke anvendelig i alle tilfælde.

Usikkerheden på en måling med PFT-metoden indbefatter instrumentusikkerhed, som skønnes at være i størrelsesordenen $\pm 10\text{--}15\text{ \%}$, og usikkerhed, som kan henføres til metodens beregningsmæssige grundlag. Grundlaget for bestemmelse af den gennemsnitlige udelufttilførsel i måleperioden er blandt andet måling af den gennemsnitlige sporgaskoncentration i måleperioden. Sporgaskoncentrationen vil normalt ikke være konstant gennem hele måleperioden og afhængig af karakteren af variationer i koncentrationen.

nen, vil proceduren medføre en systematisk undervurdering af den gennemsnitlige udelufttilførsel. Det skønnes, at den systematiske fejl i praksis vil være højst -15 %.

CO₂-koncentration

I tre lejligheder med behovsstyret ventilation er der foretaget kontinuerte målinger af CO₂-koncentrationen. Målingerne er foretaget ved hjælp af programmerbare dataloggere fabrikat Intab type TinyTags CO₂. Dataloggerne fungerer på omtrent samme måde som de førnævnte TinyTags *Ultra*, som er anvendt til måling af temperatur og relativ fugtighed. Også ved CO₂-målingerne er der foretaget registrering hvert 15. minut.

CO₂-loggernes måleområde er 0-2000 ppm, og de er beregnet til anvendelse inden for områderne -20 °C til +70 °C og 0 %RH til 95 %RH i ikke-kondenserende omgivelser. Ved måleværdier lavere end ca. 1100 ppm er instrumentusikkerheden ±55 ppm, mens den ved større værdier er 5 % af den aflæste værdi. Temperaturafhængigheden er mindre end 2 ppm/°C.

Resultater

Terminologi

Forsøget har involveret i alt 12 lejligheder, som har været inddelt i tre grupper hver på fire lejligheder.

DCV-lejligheder

I fire lejligheder er behovsstyret ventilation afprøvet med rumluftens fugtighed som styringsparameter. I litteraturen – også dansk – betegnes behovsstyret ventilation ofte DCV. Forkortelsen kommer af Demand Controlled Ventilation. I denne rapport betegnes de fire lejligheder med behovsstyret ventilation henholdsvis DCV-1, DCV-2, DCV-3 og DCV-4. Det bemærkes, at betegnelsen DCV og Demand Controlled Ventilation ikke i sig selv angiver hvilken parameter, der danner grundlag for styring af ventilationen.

Ref-lejligheder

Med henblik på vurdering af ventilationsforholdene i lejlighederne med behovsstyret ventilation (DCV-1 – DCV-4) er der udvalgt fire referencelejligheder, hvor der ikke er ændret på de eksisterende ventilationsinstallationer. I rapporten betegnes lejlighederne henholdsvis Ref-1, Ref-2, Ref-3 og Ref-4.

Uds-lejligheder

Til yderligere vurdering af ventilationsforholdene i lejlighederne med behovsstyret ventilation er der i fire lejligheder installeret kontinuert, mekanisk udsugning. Lejlighederne betegnes i rapporten Uds-1, Uds-2, Uds-3 og Uds-4.

Omfang af resultater

Der er opnået pålidelige måleresultater i en undersøgelsesperiode, som strækker sig fra december 2005 til maj 2006. Behandling og diskussion af dataloggernes registreringer og deraf afledte størrelser, fx absolut vanddampindhold i rumluften og fugtilførsel i lejlighederne, er baseret på målingerne i stue, soverum og køkken, mens resultaterne af målingerne i lejlighedernes wc- og baderum behandles særskilt.

Nedenfor redegøres for, at der i nogle tilfælde mangler data og at det i andre har været nødvendigt at ekskludere data.

DCV-1

Det stod tidligt klart, at det ville være nødvendigt at behandle måleresultaterne fra lejligheden DCV-1 særskilt. Det har efterfølgende vist sig nødvendigt at ekskludere måleresultaterne fra denne lejlighed.

Ét forhold er, at det var usikkert, om den fordeling og placering af måleudstyr, som SBI havde valgt, ville blive opretholdt. I alle lejligheder blev måleudstyret tilset – og i mange tilfælde skiftet – nogle gange undervejs i perioden. Udstyr, som ved en periodes start var anbragt ét sted i DCV-1, kunne i nogle tilfælde ved periodens slutning genfindes et andet sted og eventuelt i et andet rum. Det gælder såvel dataloggere som udstyr til den første ventilationsmåling, hvorimod der er tillid til den anden ventilationsmåling.

Et andet forhold er, at der var eksempler på, at noget af det anbragte udstyr bortkom; det kunne ikke genfindes ved de periodiske besøg.

Et tredje forhold er, at lejligheden blev anvendt på en atypisk måde. Familien var personrig (det nøjagtige antal kunne vanskeligt fastslås), og fx blev alle rummene i lejligheden anvendt som soverum og ikke kun om natten. Også tilberedning af mad, som ofte var til mange personer, foregik på urtraditionelle tidspunkter og over lang tid.

Lejligheden indgik i undersøgelsen som forsøgslejlighed med behovsstyret ventilation. Det var derfor ikke muligt at erstatte den med en anden.

Overvejelser om at afskære lejligheden, så det behovsstyrede anlæg ikke skulle betjene denne lejlighed, blev forkastet. Operationen ville gribe afgørende ind i de i gangværende målinger, og det ville byde praktiske problemer at retablere den oprindelige ventilation i lejligheden i løbet af kort tid.

Målingerne i lejligheden blev indstillet medio februar 2006. Måleresultater frem til da er vist i bilaget, men de kan ikke tillægges særlig betydning.

Ref-3 og Ref-4

Beboerne i to af referencelejlighederne fortrød, at de havde givet tilsagn om at medvirke i undersøgelserne. Det varede ca. en måned, før to nye referencelejligheder var udvalgt. Der findes derfor ikke måledata for erstatningslejlighederne Ref-3 og Ref-4 fra den første måned og ej heller fra den første serie ventilationsmålinger.

Dataloggeren, som var anbragt i soverummet i Ref-3, var bortkommet ved forsøgsperiodens slutning. Der forekommer derfor ingen data fra soverummet i Ref-3.

Beboerne i Ref-3 og Ref-4 ønskede ikke at deltage i den afsluttende måleperiode. For Ref-3 drejer det sig om ca. 2,5 uger; for Ref-4 drejer det sig om ca. 5 uger.

Uds-3

På grund af en defekt i dataloggeren findes der ingen måledata fra stuen i Uds-3 i den sidste 6-ugers måleperiode.

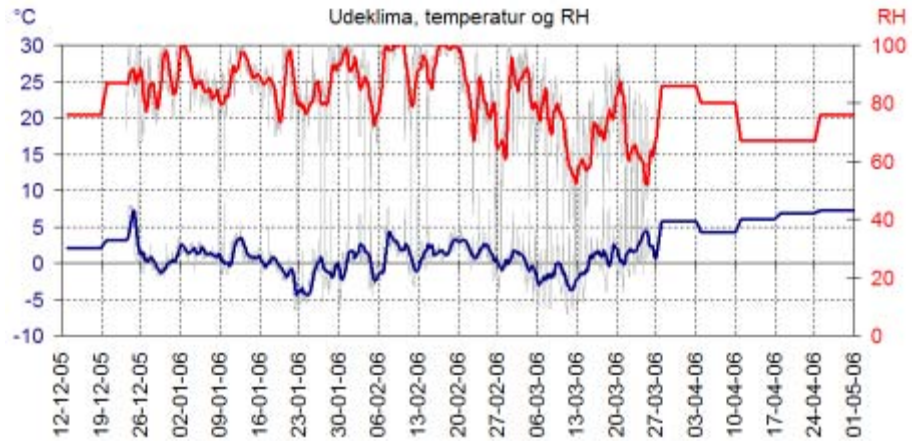
Uds-4

Som beskrevet ovenfor i afsnittet "Ventilation" blev det i nogle tilfælde aftalt, at beboerne kunne returnere måleudstyr fra deres lejlighed i SBI-frankerede svarkuverter. I lejligheden Uds-4 blev ikke blot udstyr til ventilationsmålinger returneret med post, men også dataloggere. Dataloggerne fra den sidste måleperiode i Uds-4 var bortkommet ved periodens slutning. Det kan ikke udelukkes, at dataloggerne er gået tabt i posten.

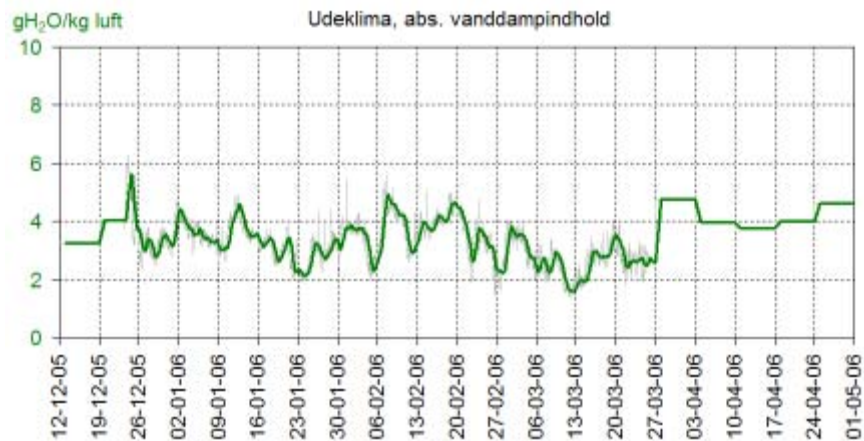
Resultatet af den anden ventilationsmåling i Uds-4 er ekskluderet, da målingen antages at være fejlagtig. Udelufttilførslen er målt til 5,3 l/s.. Årsagen til fejlmålingen er ikke klarlagt.

Udeklima

Figur 12 og Figur 13 viser udeklimaet i måleperioden. Udeklimaet er målt med en TinyTag *Ultra* anbragt beskyttet uden for det punkthus, hvor det traditionelle mekaniske udsugningsanlæg var installeret. Værdierne for udeluftens absolute vanddampindhold er beregnet på grundlag af de målte temperaturer og relative fugtigheder. Manglende værdier navnlig sidst i perioden er suppleret med ugeværdier fra DMI.



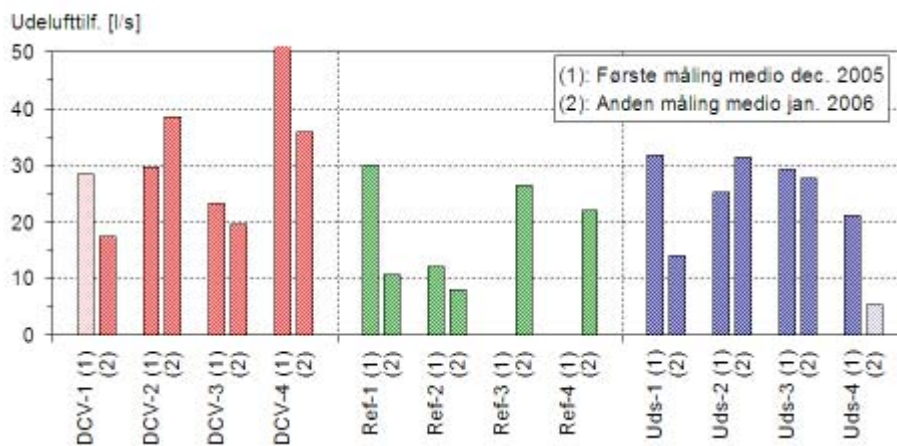
Figur 12. Udetemperatur (blå, venstre ordinat) og relativ fugtighed ude (rød, højre ordinat) i måleperioden. De lysegrå kurver er 15 minutters registreringer; de fuldt optrukne kurver er døgnmiddelværdier.



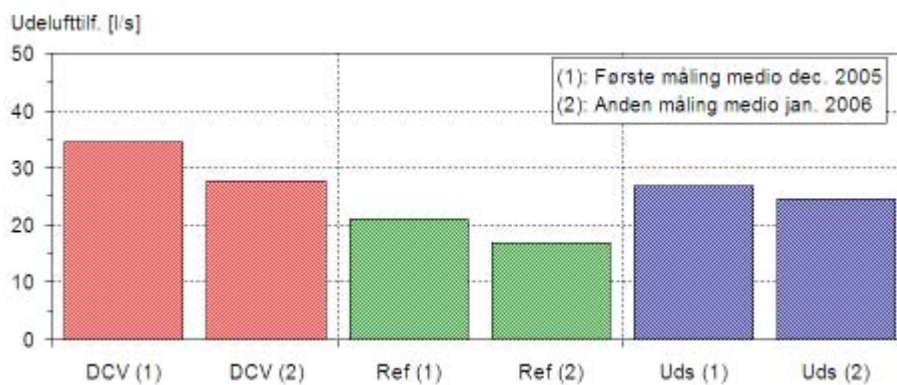
Figur 13. Udeluftens absolute vanddampindhold i måleperioden. Den lysegrå kurve er baseret på 15 minutters registreringer af temperatur og relativ fugtighed; den fuldt optrukne kurve er døgnmiddelværdier.

Ventilation

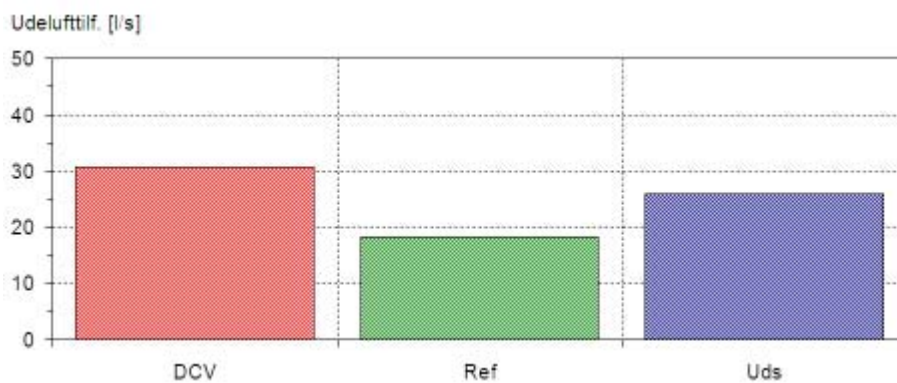
Resultaterne af ventilationsmålingerne med PFT-metoden er vist i Figur 14, Figur 15 og Figur 16 nedenfor. Figur 14 viser resultatet af hver enkelt måling; Figur 15 viser for hver lejlighedsgruppe gennemsnittet af målingerne i hver af perioderne og Figur 16 viser det samlede gennemsnit for hver af de tre lejlighedsgrupper. Ved undersøgelserne har måleperiodens længde ved såvel den første som den anden måling været mellem én og to uger.



Figur 14. Resultater af ventilationsmålinger med PFT-metoden. Den første måling i DCV-1 og den anden måling i Uds-4 er markeret med en lysere tone, da resultaterne ikke indgår i efterfølgende analyser.



Figur 15. Gennemsnitlig udelufttilførsel ved henholdsvis den første og den anden måling i de tre grupper af forsøgslejligheder.



Figur 16. Gennemsnitlig udelufttilførsel (alle lejligheder og begge måleperioder) i de tre grupper af forsøgslejligheder.

Temperatur, relativ fugtighed og absolut vanddampindhold

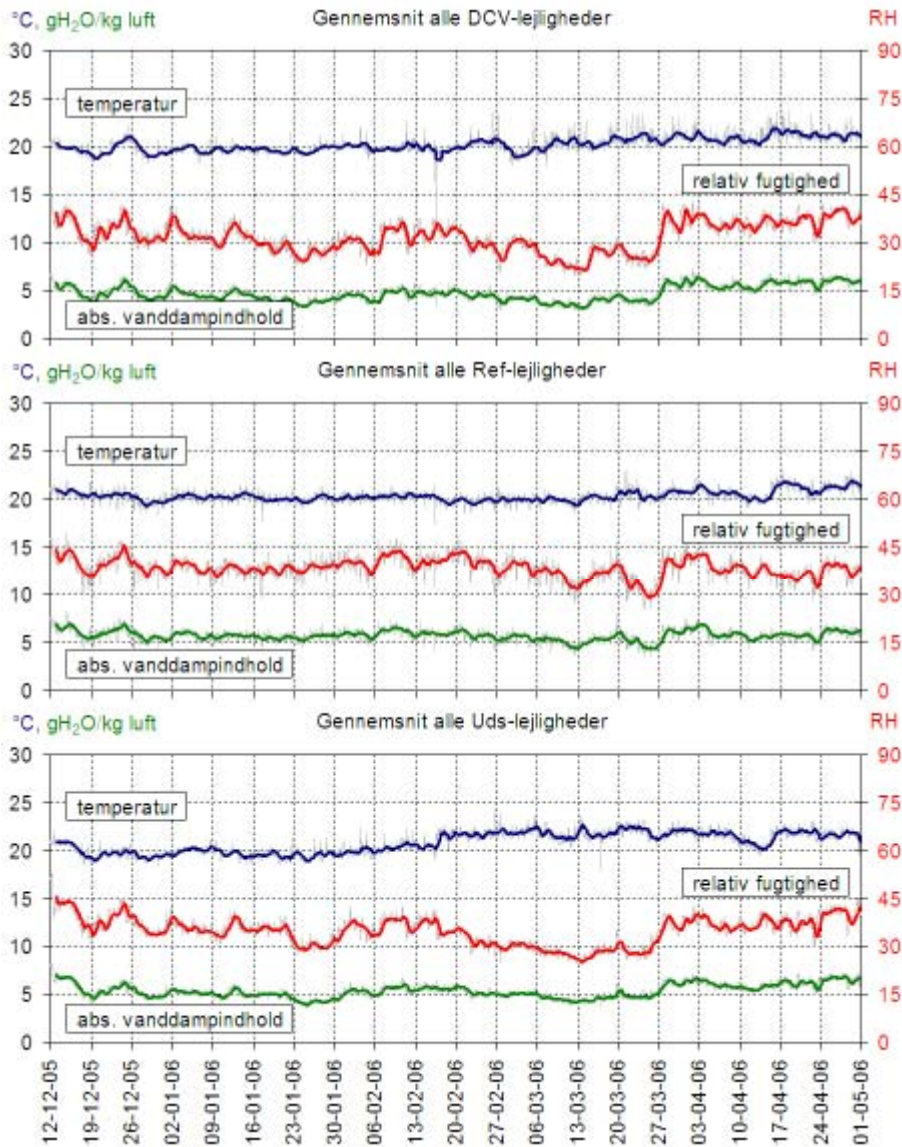
Bilaget side 41 ff. indeholder en komplet figursamling fra samtlige målinger i de enkelte lejligheder og i de enkelte rum. Nedenfor vises tabeller og figurer, som sammenfatter og sammenstiller måleresultater fra de tre grupper af lejligheder.

Table 1. Sammenfatning af målinger med dataloggere i lejlighederne.

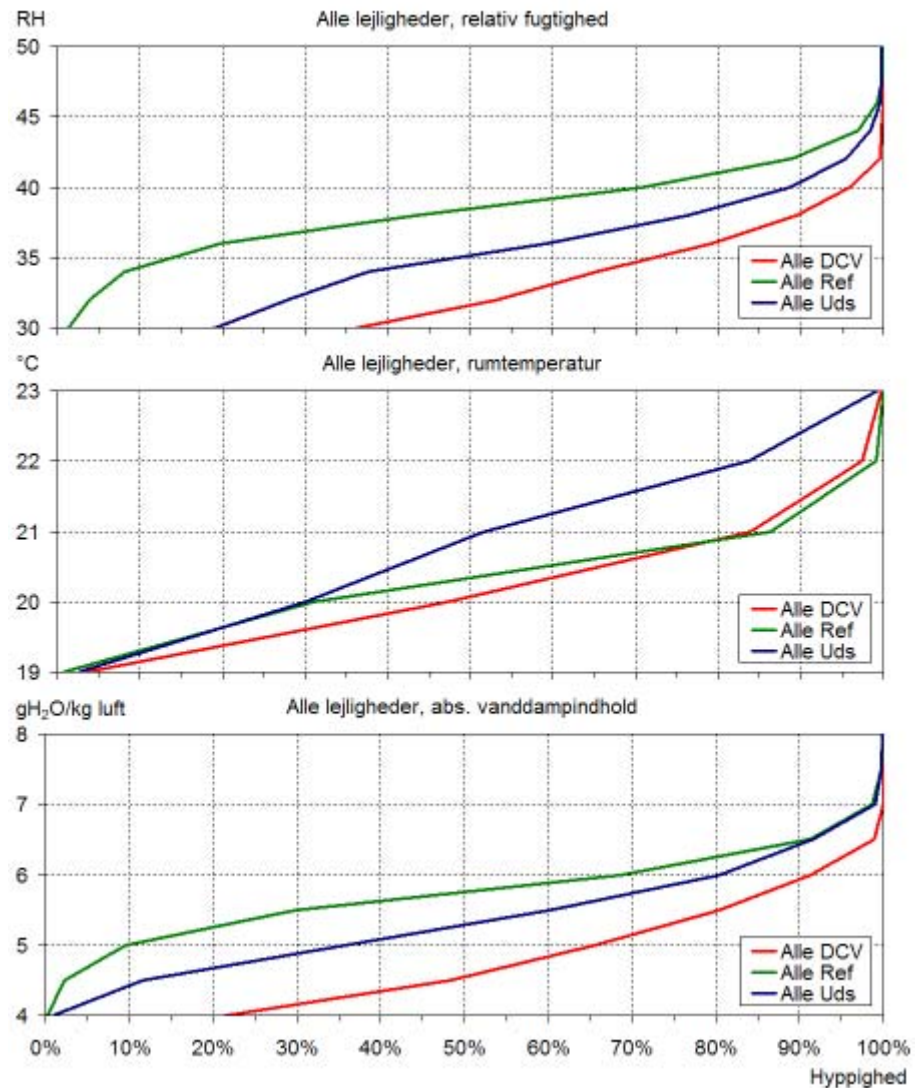
		Dataomfang	Gennemsnit	Gennemsnit	Gennemsnit
		[dage]	RH	temp.	abs H ₂ O
			[%RH]	[°C]	[gH ₂ O/kgluft]
DCV-2	Stue	135	28,2	22,4	4,9
	Soverum	135	30,1	21,3	4,8
	Køkken	79	30,7	21,6	5,0
	Bad	79	44,7	21,1	7,0
DCV-3	Stue	140	31,6	21,9	5,3
	Soverum	140	38,2	17,7	4,7
	Køkken	67	37,8	17,5	4,7
	Bad	67	38,1	20,4	5,7
DCV-4	Stue	140	27,8	19,7	4,0
	Soverum	140	30,9	18,1	4,0
	Køkken	67	33,1	20,7	5,1
Ref-1	Stue	140	31,8	21,0	5,0
	Soverum	140	36,0	17,4	4,4
	Køkken	67	34,7	19,1	4,8
	Bad	67	30,4	21,8	5,0
Ref-2	Stue	140	38,1	21,1	6,0
	Soverum	140	39,5	21,6	6,5
	Køkken	67	43,3	22,0	7,3
	Bad	67	49,2	21,4	7,9
Ref-3	Stue	84	34,7	21,3	5,6
	Køkken	84	41,7	19,3	5,9
	Bad	84	36,3	22,4	6,3
Ref-4	Stue	66	34,7	21,9	5,8
	Soverum	66	58,4	17,6	7,3
	Bad	66	43,0	21,4	6,9
Uds-1	Stue	140	30,5	22,8	5,4
	Soverum	140	37,9	18,7	5,1
	Børneværelse	67	32,1	18,6	4,3
	Bad	66	33,2	21,6	5,4
Uds-2	Stue	140	29,4	23,1	5,3
	Soverum	140	31,5	22,9	5,6
	Køkken	67	33,4	20,1	4,9
	Bad	67	33,6	21,9	5,6
Uds-3	Stue	95	32,5	22,4	5,6
	Soverum	140	39,7	20,5	6,0
	Køkken	67	44,3	14,9	4,6
	Bad	67	37,2	20,7	5,7
Uds-4	Stue	67	34,1	19,5	4,8
	Soverum	67	44,4	18,4	5,9
	Køkken	67	39,9	17,0	4,8
	Bad	67	43,3	19,8	6,3

Tabel 1 sammenfatter på tabelform resultaterne af målingerne med data-loggere i de enkelte rum i de enkelte lejligheder. Figur 17 viser for hver af de tre lejlighedsgrupper DCV, Ref og Uds gennemsnitlig relativ luftfugtighed og gennemsnitlig rumtemperatur. På baggrund af disse to parametre er rumluftens absolutte vanddampindhold beregnet [$\text{gH}_2\text{O}/\text{kg}$ luft] og vist i både Tabel 1 og Figur 17.

Efterfølgende Figur 18 viser kumuleret, relativ fordeling af henholdsvis relativ luftfugtighed, rumtemperatur og absolut vanddampindhold i rumluften i de tre grupper af lejligheder.



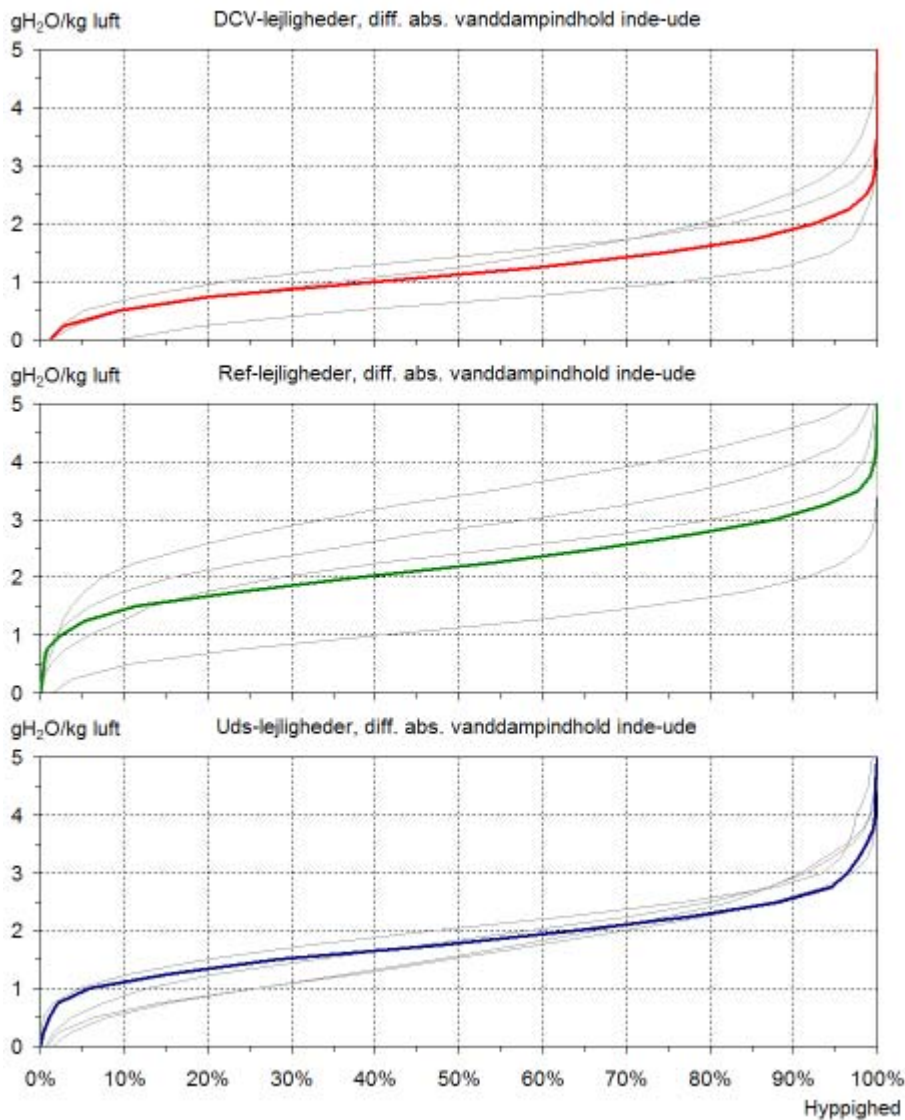
Figur 17. Figuren viser for henholdsvis alle DCV-lejligheder, alle Ref-lejligheder og alle Uds-lejligheder og for perioden december 2005 til maj 2006 gennemsnittet af målingerne af rumtemperaturen (blå, venstre ordinatakse) og rumluftens relative fugtighed (rød, højre ordinatakse). På baggrund af målingerne af temperatur og relativ fugtighed er rumluftens absolutte vanddampindhold beregnet (grøn, venstre ordinatakse). Abscisseaksen nederst er fælles for de tre diagrammer. De lysegrå kurver er gennemsnittet af 15 minutters registreringer; de fuldt optrukne kurver er døgnmiddelværdier.



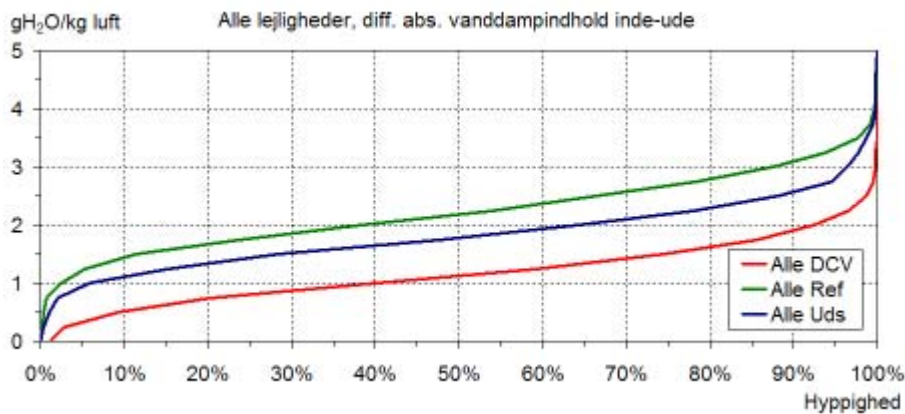
Figur 18. Figuren viser kumuleret, relativ fordeling af henholdsvis relativ luftfugtighed, rumtemperatur og absolut vanddampindhold i rumluften i de tre grupper af lejligheder. Kurverne viser den procentvise andel af tiden i måleperioden, hvor der er målt en lavere værdi end angivet på ordinataksen. Abscisseaksen nederst er fælles for de tre diagrammer.
 Eksempel (grøn kurve øverst): I 70 procent af tiden er den relative luftfugtighed i gennemsnit for alle Ref-lejlighederne 40 %RH eller lavere.

På baggrund af målingerne af udeluftens temperatur og relative fugtighed er på tilsvarende måde udeluftens absolutte vanddampindhold beregnet.

Figur 19 viser for hver af de tre grupper af lejligheder kumuleret, relativ fordeling af den gennemsnitlige differens mellem indeluftens og udeluftens vanddampindhold såvel for hver lejlighed som i gennemsnit for gruppen af lejligheder. For at lette muligheden for sammenligning grupperne imellem viser Figur 20 de samme tre kurver for gennemsnittet for hver lejlighedsgruppe i samme diagram.



Figur 19. Figuren viser kumuleret, relativ fordeling af differensen mellem indeluftens og udeluftens absolutte vanddampindhold i de tre grupper af lejligheder. Kurverne viser den procentvise andel af tiden i måleperioden, hvor differensen i vanddampindhold er lavere end angivet på ordinataksen. Abscisseaksen nederst er fælles for de tre diagrammer. De lysegrå kurver repræsenterer de enkelte lejligheder; de fuldt optrukne kurver angiver gennemsnittet for gruppen af lejligheder. Eksempel (rød kurve øverst): I gennemsnit for DCV-lejlighederne er differensen mellem indeluftens og udeluftens absolutte vanddampindhold i 90 procent af tiden lavere end ca. 1,9 gH₂O/kg luft.

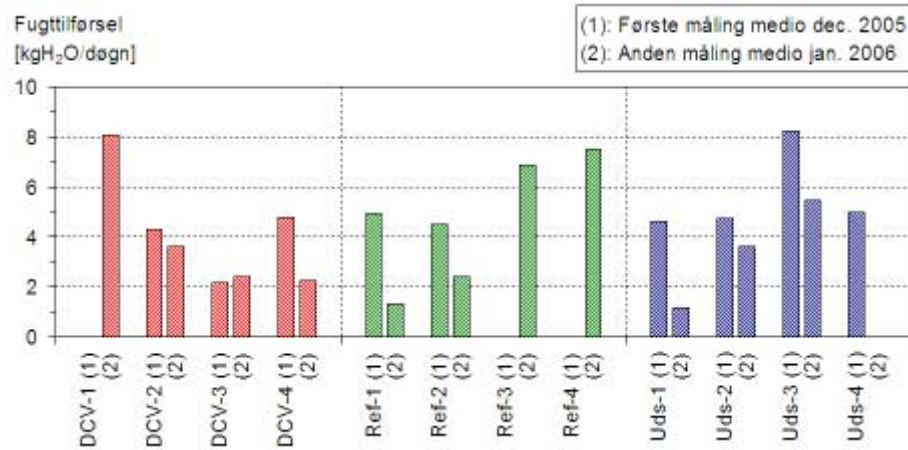


Figur 20. Figuren viser for hver af de tre grupper af lejligheder kumuleret, relativ fordeling af den gennemsnitlige differens mellem indeluftens og udeluftens absolutte vanddampindhold. Kurverne viser den procentvise andel af tiden i måleperioden, hvor differensen er lavere end angivet på ordinataksen. Eksempel (grøn kurve øverst): I gennemsnit for Ref-lejlighederne er differensen mellem indeluftens og udeluftens absolutte vanddampindhold i 90 procent af tiden lavere end ca. 3,1 gH₂O/kg luft.

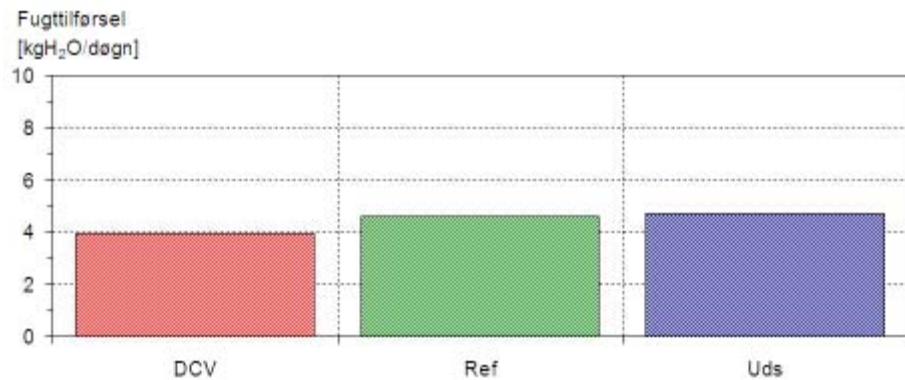
Fugttilførsel

Størrelsen af rumluftens vanddampindhold er bestemt af den tilførte udelufts vanddampindhold samt tilskuddet fra fugtproducerende kilder i lejligheden, fx personer, madlavning, tøjvask og rengøring. Under forudsætning af stationære forhold vil den relative størrelse af fugttilskuddet til rumluftens vanddampindhold navnlig afhænge af ventilationens størrelse.

Figur 21 og Figur 22 viser det gennemsnitlige fugttilskud i $\text{kgH}_2\text{O}/\text{døgn}$.



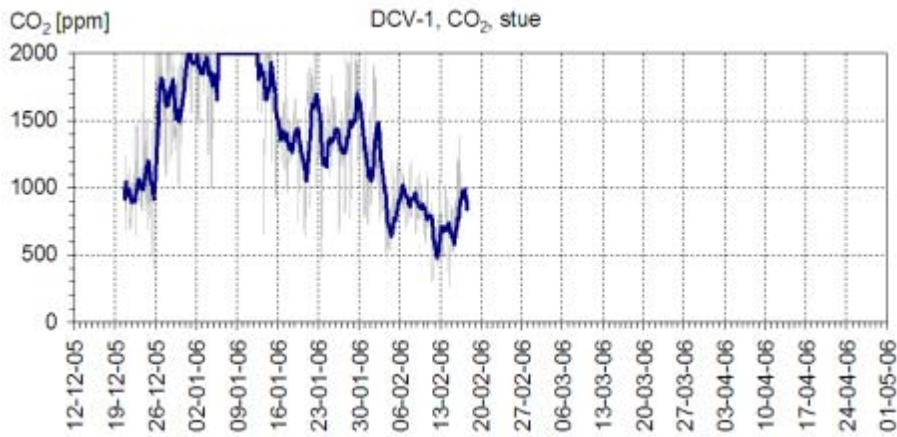
Figur 21. Gennemsnitlig fugttilførsel pr. døgn i hver af de to perioder, hvor ventilationen er bestemt.



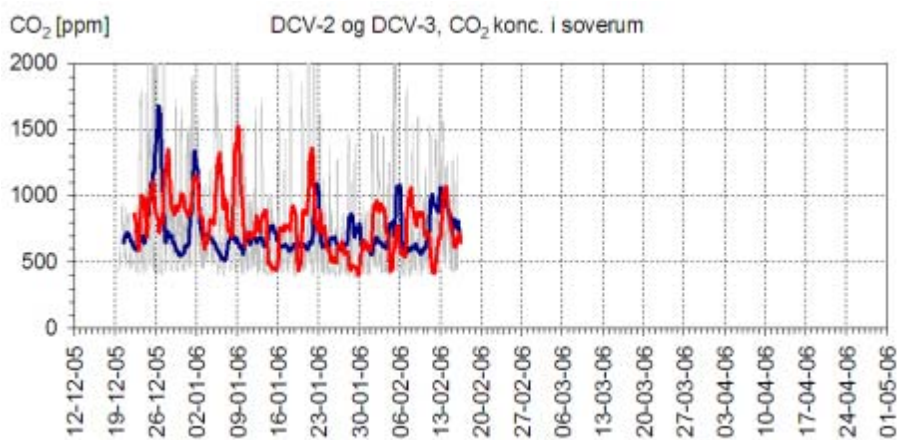
Figur 22. Gennemsnitlig fugttilførsel pr. døgn (alle lejligheder og begge måleperioder) for hver af de tre grupper af lejligheder, hvor ventilationen er bestemt.

CO₂-koncentration

I lejlighederne DCV-1, DCV-2 og DCV-3 blev CO₂-koncentrationen målt kontinuert i en 9-ugers periode fra ultimo december 2005 til ultimo februar 2006. Resultater er vist i Figur 23 og Figur 24 nedenfor. Resultaterne understøtter beslutningen om at ekskludere DCV-1.



Figur 23. CO₂-koncentrationen i stuen i lejligheden DCV-1. Den lysegrå kurve er 15 minutters registreringer; den fuldt optrukne kurve er døgnmiddelværdier.

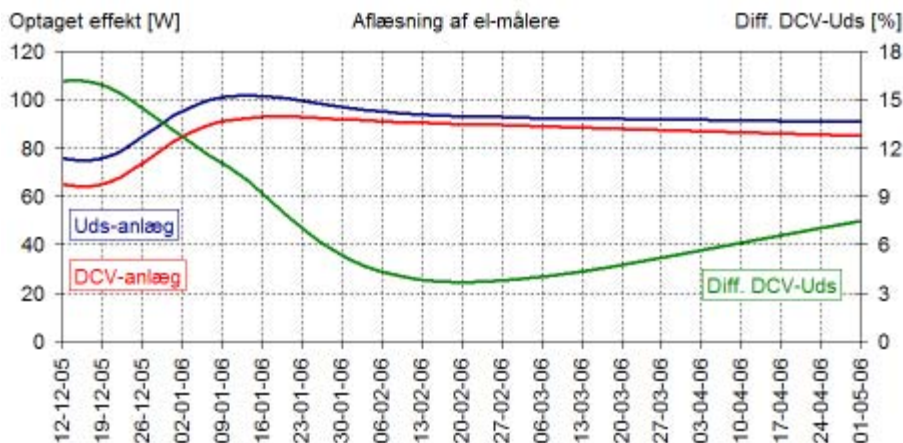


Figur 24. CO₂-koncentrationen i soverummet i DCV-2 (blå kurve) og i soverummet i DCV-3 (rød kurve). De lysegrå kurver er 15 minutters registreringer; de fuldt optrukne kurver er døgnmiddelværdier.

Aflæsning af elmålere

Udsugningsanlæggenes samlede el-forbrug i den betragtede periode er aflæst til 283 kWh for DCV-anlægget og til 306 kWh for Uds-anlægget. Gennemsnitlig optaget effekt for de to anlæg er henholdsvis 85 W og 92 W.

Figur 25 viser på basis af periodevise aflæsninger tilnærmet kontinuert effektoptag for anlæggene samt Uds-anlæggets større effektoptag i procent.



Figur 25. Optaget effekt for henholdsvis DCV-anlægget og Uds-anlægget (venstre ordinatakse) samt Uds-anlæggets procentvise større effektoptag (højre ordinatakse).

Ventilationsentreprenørens indreguleringsrapport

Ventilationsentreprenøren har leveret en målerapport efter aflevering og indregulering af anlæggene. Rapporten er gengivet i nedenstående Tabel 2 og Tabel 3. Det er oplyst, at målingerne er udført ved hjælp af varmetrådsanemometer (TSI model 8345 – M – GB) og efter proportionalitetsmetoden. Instrumentets målefejl er oplyst til 4,9 %.

For at opretholde anonymiteten er DCV-lejlighederne anført som DCV-x. Ventilationsentreprenøren har i målerapporten angivet forkerte lejlighedsbetegnelser for Uds-lejlighederne; derfor er de i tabellen anført som Uds-?

Tabel 2. Ventilationsentreprenørens målerapport vedrørende DCV-anlægget.

		Projekt maks. [m ³ /h]	Målt [m ³ /h]	Projekt min. [m ³ /h]	Målt [m ³ /h]
	Hovedluftmængde	1036	1150		
DCV-x	Emhætte	162	166	36	40
	Bad	36	40		
DCV-x	Emhætte	162	160	36	40
	Bad	36	40		
DCV-x	Emhætte	162	165	36	42
	Bad	36	39		
DCV-x	Emhætte	162	168	36	42
	Bad	36	45		

Tabel 3. Ventilationsentreprenørens målerapport vedrørende Uds-anlægget.

		Projekt [m ³ /h]	Målt [m ³ /h]
	Hovedluftmængde	792	834
Uds-?	Emhætte	144	150
	Bad	54	59
Uds-?	Emhætte	144	150
	Bad	54	57
Uds-?	Emhætte	144	149
	Bad	54	60
Uds-?	Emhætte	144	152
	Bad	54	57

Beboernes synspunkter

I tilknytning til de periodiske tilsyn og udskiftninger af måleudstyr i lejlighederne er der gennem samtaler med beboerne spurgt til synspunkter på forsøgsanlæggenes drift og funktion. Ved undersøgelsernes afslutning i maj 2006 er beboerne i interviewform hørt om deres overordnede mening om ventilationen og indeklimaet i forsøgsperioden, herunder om de vurderer, at der er sket en forbedring eller en forringelse af forholdene i forhold til de oprindelige ventilationsforhold.

Beboernes synspunkter og vurderinger er behandlet side 34 i afsnittet "Diskussion og evaluering af resultaterne" nedenfor.

Diskussion og evaluering af resultaterne

For en ordens skyld erindres om de betegnelser, som anvendes for de tre grupper af forsøgslejligheder, se afsnittet "Terminologi" side 18:

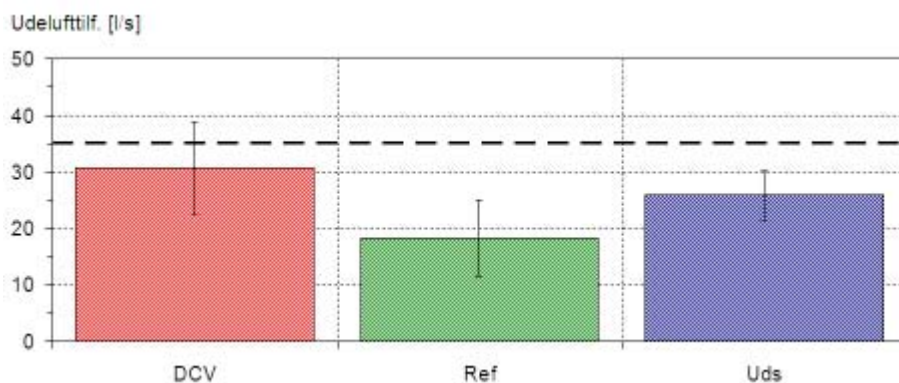
- DCV-1...4:** Lejligheder, hvor ventilationen er baseret på styring efter behovet, (DCV=Demand Controlled Ventilation). Styringsparameteren er rumluftens fugtighed.
- Ref-1...4:** Lejligheder, hvor ventilationen er baseret på de eksisterende installationer, dvs. aftrækskanaler i køkken og wc- og baderum.
- Uds-1...4:** Lejligheder, hvor ventilationen er baseret på traditionel mekanisk udsugning fra køkken og wc- og baderum.

Ventilation

Resultaterne af ventilationsmålingerne er vist i figurerne side 21. Det fremgår af figurerne, at såvel i den første som i den anden måleperiode er udelufttilførslen i gennemsnit større i lejlighederne med mekanisk udsugning (både DCV- og Uds-lejlighederne) end i lejlighederne med oprindelige aftrækskanaler. Desuden ses det, at udelufttilførslen i gennemsnit er større i DCV-lejlighederne end i Uds-lejlighederne.

Endvidere fremgår det af figurerne, at der sker et fald i den gennemsnitlige udelufttilførsel fra den første måleperiode til den anden, og at faldet går igen i alle tre grupper af lejligheder. Faldet fra den første til den anden måleperiode er ca. 20 procent i DCV-lejlighederne og Ref-lejlighederne, mens det i Uds-lejlighederne er lidt mindre end 10 procent.

Både det gældende bygningsreglement BR-95 og det kommende BR-08 foreskriver for etageboliger, at boligheder skal ventileres ved et mekanisk ventilationsanlæg, ventilationsanlægget skal være i drift permanent, og den samlede ydelse fra udsugningen skal være mindst 20 l/s fra køkken og 15 l/s fra wc- og baderum. I Figur 26 nedenfor er myndighedskravet på 35 l/s angivet ved en vandret, punkteret linje. Figuren viser, på samme måde som Figur 16 side 21, den gennemsnitlige udelufttilførsel i hver af de tre grupper af lejligheder (gennemsnit af alle lejligheder og begge måleperioder), og i figuren er desuden angivet 95 % konfidensintervaller.



Figur 26. Gennemsnitlig udelufttilførsel (for alle lejligheder og for begge måleperioder) og 95 % konfidensinterval i de tre grupper af forsøgslejligheder. Den vandrette, punkterede linje ved 35 l/s indikerer bygningsreglementets krav til ydelsen af den mekaniske udsugning i etageboliger.

Det fremgår af figuren, at den gennemsnitlige udelufttilførsel i DCV-lejlighederne er bestemt til ca. 31 l/s, og konfidensintervallet indikerer, at gennemsnittet ikke er signifikant lavere end reglementskravet på 35 l/s.

For Ref-lejlighederne er den gennemsnitlige udelufttilførsel bestemt til ca. 18 l/s svarende til ca. 50 procent af reglementskravet og signifikant lavere end kravet. I Ref-lejlighederne er udelufttilførslen baseret på funktionen af de eksisterende, naturlige aftrækskanaler i køkken og wc- og baderum. Kanalernes funktion og den resulterende udelufttilførsel er afhængig af udeklimaet, herunder temperaturforskellen inde-ude. Årsager til den lave udelufttilførsel i Ref-lejlighederne skal formodentlig søges i dels aftrækskanalernes nominelle tværsnitsareal, som er ca. 60 procent af gældende regler, dels det faktum, at der ikke findes udeluftventiler i ydervæggene i lejlighedernes beboelsesrum. Endvidere er der usikkerhed om aftrækskanalernes tilstand, dvs. deres tilsmudsningsgrad og dermed det effektive åbningsareal. I (Bergsøe, 1996) er det gennem beregninger tydeliggjort, hvordan funktionen af naturlige ventilationssystemer afhænger af aftrækskanalernes tværsnitsareal og udeluftventilernes antal, størrelse og placering.

Det er usikkert at lægge resultater af målinger i blot fire lejligheder til grund for en generel vurdering af ventilationsforholdene i bebyggelsens lejligheder. Som tidligere nævnt omfatter bebyggelsen i alt 434 lejligheder. Det bør dog nævnes, at der foreligger eksempler på lejligheder, hvor der forekommer fugtproblemer, og hvor det ikke kan afvises, at årsagen til problemerne er utilstrækkelig ventilation. Som følge heraf er bebyggelsens afdelingsbestyrelse i færd med at udarbejde planer med henblik på forbedring af ventilationen i lejlighederne.

Den mekaniske udsugning i Uds-lejlighederne er projekteret således, at anlægget i basistilstanden yder de foreskrevne 35 l/s pr. lejlighed og med fordelingen 20 l/s fra køkkenet og 15 l/s fra wc- og baderum. Beboerne har mulighed for i en periode at øge udsugningen i køkkenet ved tryk på en knap på emhætten. Ifølge det projekterede fordobles udsugningen gennem emhætten herved, og den samlede udsugning fra lejligheden øges til 55 l/s. Figur 26 ovenfor viser, at i gennemsnit for Uds-lejlighederne er udelufttilførslen målt til ca. 26 l/s. Det er signifikant lavere end gældende regler, og det lever ikke op til de projekterede værdier.

Det fremgår af ventilationsentreprenørens målerapport, som i øvrigt alene omfatter målinger ved forceret udsugning, at anlægget under målingerne ydede ca. 5 procent mere end de projekterede værdier, se Tabel 3 side 28. Det forekommer overraskende, at der er så stor forskel på de to målinger. Ventilationsmålingerne med passiv sporgasteknik, PFT-metoden, er gennemført kort tid efter aflevering af anlægget, dvs. kort efter ventilationsentreprenørens målinger. Desuden indbefatter målinger med PFT-metoden beboernes brug af lejligheden, fx åbning af døre og vinduer i forbindelse med udluftning, som gør, at det normalt må forventes, at målinger med PFT-metoden vil vise resultater, som er mindst på niveau med den mekaniske udsugning.

Eftersyn af anlægget, herunder om anlægget eksempelvis ved en fejl skulle være forbundet med en styring af almenbelysningen i bebyggelsen, så anlægget i perioder ville være ude af drift, afslørede ingen fejl. Periodiske aflæsninger af el-måleren ved anlægget afslørede heller ikke uregelmæssigheder i anlæggets drift.

I tilknytning til den mekaniske udsugning, blev der i lejlighedernes beboelsesrum monteret traditionelle udeluftventiler i ydervæggene. Der er ikke foretaget en konsekvent registrering af beboernes brug af udeluftventilerne, herunder om ventilerne eventuelt er holdt permanent lukkede i forsøgsperioden. Da udsugningsanlægget imidlertid er udstyret med konstanttrykregulering, og lejlighederne antageligvis ikke er tætte i særlig grad, vil eventuelt lukkede udeluftventiler næppe kunne medføre en reduktion af ventilationen i størrelsesordenen 25 procent.

Effektoptag

Gennemsnitlig optaget effekt for hvert af de to anlæg er bestemt til 92 W for det traditionelle udsugningsanlæg og 85 W for DCV-anlægget, svarende til henholdsvis 23 W og 21 W pr. lejlighed. Sammenlignet med Uds-anlægget er effektoptaget i DCV-anlægget således ca. 8 procent lavere. Samtidig viser ventilationsmålingerne, at den gennemsnitlige udelufttilførsel (gennemsnit af alle lejligheder og begge måleperioder) er ca. 16 procent større i DCV-lejlighederne end i Uds-lejlighederne.

Forskellene, som ikke er signifikante, kan eventuelt henføres til forskelle i tryktab i de to anlæg. Anlæggene er opbygget på principielt samme måde, og i forbindelse med installation af anlæggene blev det tilstræbt, at de udførelsesmæssigt skulle være så ens som muligt. Der forekommer dog forskelle. Foruden komponentforskelle dikteret af forsøgene, er der navnlig forskelle i føringen af fordelingskanalerne i de enkelte lejligheder, og ved aggregaterne forekommer forskelle ved tilslutningen af kanaler og lyddæmpere, som medfører forskelle i systemtab.

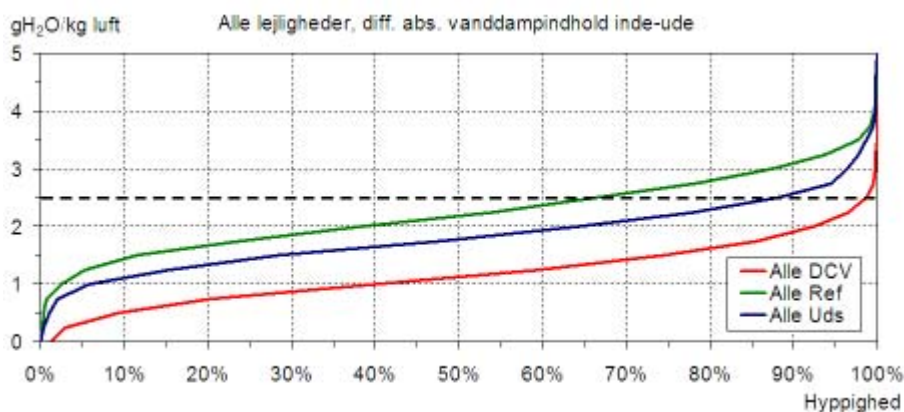
Relativ fugtighed, absolut vandindhold, fugttilførsel

Resultater af målinger af rumluftens temperatur og relative fugtighed og følgeberegninger af rumluftens absolutte vanddampindhold er vist i figurer side 22 ff. Beregninger af fugttilførslen i lejlighederne er vist side 26.

Med henblik på modvirkning af kondensation på vinduer bør differensen mellem rumluftens og udeluftens absolutte vanddampindhold være lavere end ca. 2,5 g vand pr. kg luft. Det kan vises (Olufsen, 1984), at en differens på 3,3-4,2 g vand pr. kg luft kan medføre problemer i boliger med 2-lags vinduer, når rumtemperaturen sænkes og gardiner trækkes for.

I Figur 27 nedenfor er grænsen på 2,5 g vand pr. kg luft indtegnet ved en vandret, punkteret linje. Det fremgår af figuren, at differensen mellem rumluftens og udeluftens absolutte vanddampindhold er målt til at være lavere end 2,5 g vand pr. kg luft i ca. 99 procent af tiden i DCV-lejlighederne, mens grænsen overskrides i mere end 30 procent af tiden i Ref-lejlighederne. I Uds-lejlighederne overskrides grænsen på 2,5 g vand pr. kg luft i lidt mere end 10 procent af tiden.

Figur 19 side 25 antyder resultater for de enkelte lejligheder. Det fremgår af figuren, at i lejlighederne med mekanisk udsugning (både DCV- og Uds-lejligheder) er fugtforholdene mere ensartede, såvel for den enkelte lejlighed som lejlighederne imellem, end i de naturligt ventilerede Ref-lejligheder. I Ref-lejlighederne er differensen mellem rumluftens og udeluftens absolutte vanddampindhold både højere og mere varierende.



Figur 27. Figuren viser for hver af de tre grupper af lejligheder kumuleret, relativ fordeling af den gennemsnitlige differens mellem indelufts- og udeluftens absolutte vanddampindhold. Kurverne viser den procentvise andel af tiden i måleperioden, hvor differensen er lavere end angivet på ordinataksen. Den vandrette, punkterede linje indikerer typisk kritisk grænse for kondensation på vinduer.

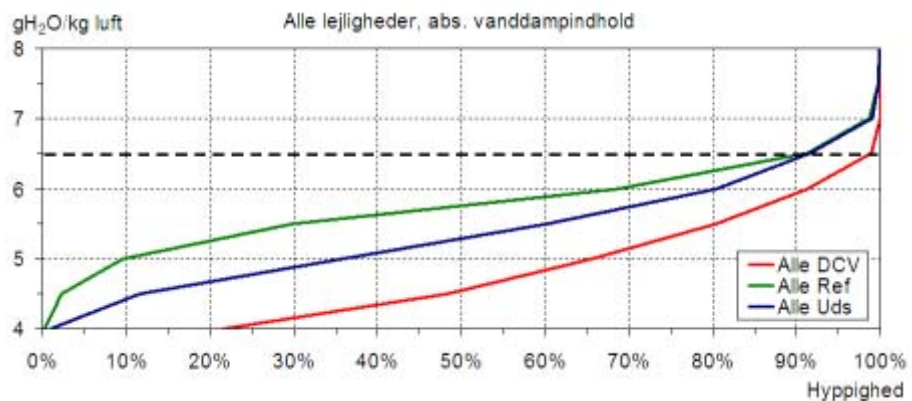
Rumluftens vanddampindhold bør være så lavt, at antallet af husstøvmider reduceres til ingen eller til få pr. gram husstøv. I (Harving, Jensen & Dahl, 1994) er vist en undersøgelse af sammenhængen mellem husstøvmideforekomsten i boliger og ventilationen/luftfugtigheden. Undersøgelsen peger på, at der er en sammenhæng mellem høj luftfugtighed og høj husstøvmideforekomst, således at husstøvmider især forekommer i boliger, hvor rumluftens vanddampindhold er over ca. 7 g vand pr. kg luft, svarende til ca. 45 %RH ved en rumtemperatur på ca. 21 °C.

Figur 18 side 24 viser, at i de målte DCV-lejligheder har rumluftens absolutte vanddampindhold været under 7 g vand pr. kg luft i hele måleperioden. Sættes grænsen for rumluftens absolutte vanddampindhold til 6,5 g vand pr. kg luft, svarende til 45 %RH ved 20 °C, overskrides grænsen i ca. 1 procent af tiden i DCV-lejlighederne. I både Uds-lejlighederne og i Ref-lejlighederne overskrides grænsen i ca. 10 procent af tiden. Det fremgår af figuren, at såvel rumluftens relative fugtighed som rumluftens absolutte vanddampindhold er størst i de naturligt ventilerede Ref-lejligheder, mens de nævnte parametre er lavest i DCV-lejlighederne. I Figur 28 nedenfor er den nederste figur i Figur 18 gentaget, med grænsen på 6,5 g vand pr. kg luft angivet ved en vandret, punkteret linje.

Målingerne i lejlighederne er gennemført fra december til maj, altså i en vinter- og forårsperiode. En tidligere feltundersøgelse (Bergsøe, 1994a), som blandt andet omfattede måling af rumluftens relative fugtighed i et stort antal boliger, bekræftede effekten af velkendte årstidsvariationer i udeluftens vanddampindhold. Således viser feltundersøgelsen, at rumluftens relative luftfugtighed i gennemsnit er signifikant højere i efterårs/vintermåneder end i vinter/forårsmåneder. I den foreliggende undersøgelse var målingerne oprindeligt planlagt til igangsætning i oktober, men måtte af flere grunde udsættes, se nedenfor. Det må forventes, men kan følgelig ikke påvises, at der ville have været målt højere relative luftfugtigheder i lejlighederne, hvis måleperioden havde indbefattet efterårsmåneder.

Størrelsen af rumluftens vanddampindhold er bestemt af den tilførte udeluftens vanddampindhold samt tilførslen af fugt fra fugtproducerende kilder i lejligheden. Fugttilførslen i lejligheden afhænger af familiens størrelse, idet personer afgiver fugt til rumluften, og familiens brug af lejligheden hvad angår fugtproducerende processer i husholdningen, fx tøjvask, opvask, madlavning, rengøring etc.

Resultater af beregninger af fugttilførslen i lejlighederne er vist i Figur 21 og Figur 22 side 26. Fugttilførslen i DCV-lejlighederne er beregnet til 3,9 kg vand pr. døgn, mens fugttilførslen i Ref-lejlighederne og Uds-lejlighederne er beregnet til henholdsvis 4,6 og 4,7 kg vand pr. døgn.



Figur 28. Figuren viser kumuleret, relativ fordeling af rumluftens absolutte vanddampindhold i de tre grupper af lejligheder. Kurverne viser den procentvise andel af tiden i måleperioden, hvor der er målt en lavere værdi end angivet på ordinataksen. Den vandrette, punkterede linje indikerer typisk grænse for høj husstøvmideforekomst.

I en bredt tilrettelagt undersøgelse af ventilationsforholdene i renoverede og ikke-renoverede etageboliger (Bergsøe, 1994b) blev der fundet en gennemsnitlig fugttilførsel på 2,9 kg vand/døgn i renoverede lejligheder og på 3,9 kg vand/døgn i ikke-renoverede lejligheder. Kriteriet, for om en lejlighed blev betegnet renoveret eller ikke-renoveret, var alene, om der inden for de senere år var installeret nye vinduer med 2-lags termoruder, og om fugerne var blevet udskiftet eller eftertætnet. Undersøgelserne blev gennemført i etageboliger opført mellem ca. 1930 og 1960 og under udeklimatiske forhold, som er sammenlignelige med udeklimaet i denne undersøgelse. Bebyggelsen Søndermarken er opført i årene 1951-55 og ved sammenligning med lejlighederne, som indgår i den nævnte undersøgelse, må lejlighederne i Søndermarken betegnes som en mellemting mellem de renoverede og de ikke-renoverede. I Søndermarken er vinduerne udskiftet, og fugerne er både udskiftet og tætnet, men samtidig er det et faktum, at der i flere tilfælde er konstateret eksempler på utætheder både omkring vinduer og omkring facadeelementer.

Sættes de beregnede fugttilførsler i forhold til antallet af personer, der bor i lejlighederne, fås en gennemsnitligt fugttilførsel for samtlige lejligheder på ca. 1,8 kg vand/døgn pr. person. De gennemsnitlige fugttilførsler pr. person i den førnævnte undersøgelse blev fundet til 1,5 kg vand/døgn pr. person og 2,1 kg vand/døgn pr. person for henholdsvis renoverede og ikke-renoverede lejligheder.

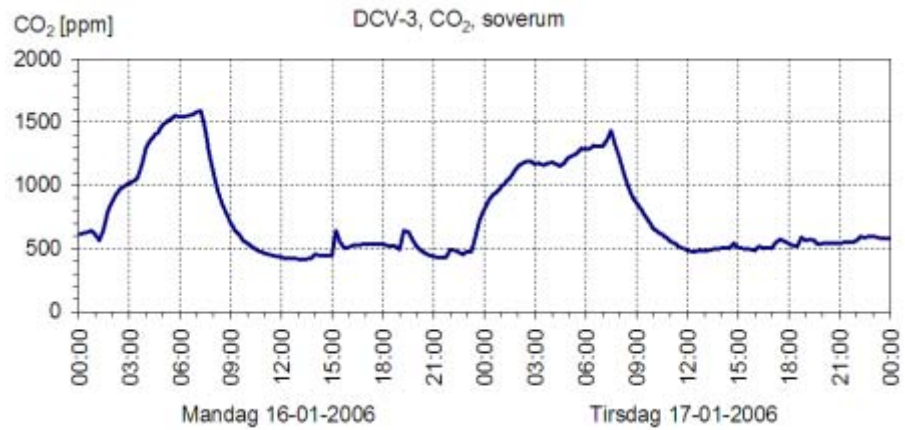
CO₂-målinger

CO₂ i rumluften hidrører hovedsagelig fra persontilstedeværelse. Typiske indendørs CO₂-koncentrationer er uskadelige og kan ikke fornemmes af mennesker, men CO₂-koncentrationen er en god indikator for koncentrationen af andre menneskelige forureninger, som kan opleves generende. I indeklimamæssig sammenhæng kan CO₂-koncentrationen derfor anvendes som retningsgiver for, om udelufttilførslen er tilstrækkelig i forhold til antallet af personer i rummet. Navnlig i kontor- og undervisningsbyggeri er det muligt at anvende CO₂ som parameter for behovsstyring af ventilationen, eksempelvis i møderum og i klasserum. For god ordens skyld skal det tilføjes, at selvom CO₂ er en god indikator for forureningen forårsaget af mennesker, er CO₂ ofte en dårlig generel indikator for den oplevede luftkvalitet. Den omfatter ikke forureningskilder, der ikke producerer CO₂, og den omfatter ikke farlige luftforureningskomponenter såsom CO og radon.

Når det gælder boliger, er ventilationsbehovet først og fremmest bestemt af rumluftens fugtighed, og ydermere denne er ikke nødvendigvis tidsmæssigt knyttet til persontilstedeværelse. I boliger kan der sagtens være et ventilationsbehov, selvom der ikke er personer til stede; der kan fx være vaske-tøj, der hænger til tørre i badeværelset, mens familiemedlemmerne er på arbejde eller i skole. Princippet med at anvende rumluftens CO₂-indhold som styringsparameter vil derfor ikke fungere hensigtsmæssigt.

Resultaterne af CO₂-målinger i tre DCV-lejligheder er vist side 27. Det fremgår af Figur 23, at i lejligheden DCV-1 er CO₂-koncentrationen høj og væsentlig højere end almindelige anbefalinger til CO₂-koncentrationen i beboelsesrum i boliger, som er i størrelsesordenen 1000-1500 ppm.

Figur 29 nedenfor viser et udsnit af målingerne i soverummet i DCV-3. Det kan af kurven aflæses, at familien mandag gik i seng kl. 1:00 og stod op den følgende morgen ca. kl. 7:30. Om aftenen gik familien i seng kl. 23:00 og stod op tirsdag morgen ca. kl. 7:30. Mandag ca. kl. 15:00 og ca. kl. 19:00 var der kortvarigt ophold i soverummet, men ellers er soverummet kun benyttet om natten. Sidst på natten til mandag overskrides almindelige anbefalinger til CO₂-koncentrationen i beboelsesrum i boliger.



Figur 29. CO₂-koncentrationen i en 48-timers periode i soverummet i lejligheden DCV-3.

Beboernes synspunkter

Planlagt målestart i oktober 2005 måtte udskydes, da installationerne var både fejlbehæftede og uafsluttede. I flere lejligheder var der ikke konsekvent monteret den rette type udeluftventil, men blandet fugtstyrede og traditionelle. De eksisterende aftrækskanaler, som under forsøgene skulle være blændet i DCV- og Uds-lejlighederne, var blændet i nogle lejligheder og ikke i andre. Fejlene blev rettet, men det medførte i øvrigt, at der var en periode, hvor anlæggene ikke var i drift, mens aftrækskanalerne var blændet. Forståeligt førte dette til klager fra beboerne over manglende ventilation i lejligheden. Figur 30 viser eksempler på ufuldstændige installationer.

Installationsarbejderne i de enkelte lejligheder kunne ikke undgå at medføre betydelige ulemper og forstyrrelser for de berørte beboere. I entreen blev der boret gennem etageadskillelsen af hensyn til hovedkanalen, og fordelingskanalerne blev ført gennem væggene til køkken og bad. I beboelsesrummene blev der boret gennem ydervæggen af hensyn til udeluftventilerne. Foruden de midlertidige ulemper under installationen måtte beboerne i forsøgsperioden acceptere synlige kanaler, lydæmpere og brandspjæld i lofterne i entre, køkken og bad; kanaler og komponenter som i de færreste tilfælde pynter. Figur 31 nedenfor viser udvalgte eksempler.

Udeluftventilerne i lejlighedernes beboelsesrum måtte af både konstruktionsmæssige og praktiske årsager monteres over vinduerne. Såvel i DCV-lejlighederne som i Uds-lejlighederne kunne det i visse tilfælde ikke undgås, at placeringen var mindre ideel. Figur 32 nedenfor viser eksempler på både ideelle og ikke ideelle placeringer.



Figur 30. Eksempler på ufuldstændige installationer. Til venstre wc- og baderum i en Uds-lejlighed hvor den eksisterende aftrækskanal ikke er blændet. Til højre et køkken hvor den eksisterende aftrækskanal er blændet, mens der endnu kun er boret hul i væggen over døren til kanalen for den mekaniske udsugning.



Figur 31. Eksempler på kanalføring i forsøgslejlighederne.

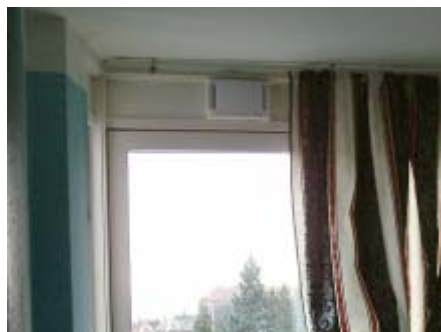
Grundet det begrænsede antal lejligheder og beboere, der indgår i undersøgelserne, er der ikke foretaget egentlige spørgeskemaundersøgelser til belysning af beboernes vurderinger af forsøgene. Synspunkter er indhentet dels ved løbende samtaler med beboerne dels ved et simpelt interviewske- ma i forbindelse med undersøgelsernes afslutning.

Det generelle synspunkt blandt beboerne er, at forsøgsanlæggene med mekanisk udsugning ikke har medført en mærkbar forbedring af ventilationsforholdene i forhold til situationen med de eksisterende naturlige aftræks- kanaler.

Beboerne udtrykker generelt nogen grad af tilfredshed med installationen af udeluftventiler, selvom trækgener nævnes. Desuden vurderes udsugningen i wc- og baderum ikke helt så negativt som udsugningen gennem em- hættten i køkkenet.

På spørgsmål om hvordan beboerne imødeser forsøgsperiodens afslut- ning, udtrykkes der ikke beklagelse. Nogle beboere accepterer, at forsøgs- anlæggene demonteres og de oprindelige ventilationsforhold retableres, mens andre ser frem til det.

Ulemperne, som beboerne har måttet døje i forsøgsperioden, herunder navnlig gener, de blev påført, i forbindelse med installationsarbejderne i lej- ligheden, er sandsynligvis en medvirkende årsag til, at mange beboere ser frem til, at forsøgene afsluttes. Det ville have været en fordel, hvis det havde været muligt at benytte de eksisterende aftrækskanaler.



Figur 32. Eksempler på ideel placering af udeluftventiler (de øverste fire fotos) og mindre ideel placering (de nederste fire fotos).

Konklusion

Resultaterne af undersøgelserne i etageboligbebyggelsen viser, at i lejlighederne med behovsstyret ventilation er udelufttilførslen i gennemsnit ca. 16 procent større end i lejlighederne med traditionel mekanisk udsugning. Samtidig er effektoptaget i det behovsstyrede udsugningsanlæg er ca. 8 procent lavere end i det traditionelle mekaniske udsugningsanlæg. Forskellene, som ikke er signifikante, kan eventuelt henføres til forskelle i tryktab i de to anlæg. Anlæggene er tilstræbt sammenlignelige i opbygning og udformning, men foruden forskelligheder begrundet i forsøgene forekommer utilsigtede forskelle i kanalføringer og aggregatmontering, som er ensbetydende med forskelle i tryk- og systemtab.

Det traditionelle udsugningsanlæg er dimensioneret og indreguleret således, at det i basistilstanden for den enkelte lejlighed yder en luftmængde, som svarer til bygningsreglementets krav, men både det traditionelle og det fugtstyrede udsugningsanlæg er i stand til periodisk at yde en større udsuget luftmængde end kravet. I gennemsnit for måleperioderne er ventilationen i Uds-lejlighederne lavere end foreskrevet i bygningsreglementet.

På baggrund af målinger af temperatur og relativ luftfugtighed i lejlighederne er rumluftens absolutte vanddampindhold beregnet. Vanddampindholdet i rumluften har betydning for forekomsten af husstøvmider, der er kilde til de fleste astmatilfælde.

Resultaterne viser, at i lejlighederne med traditionel mekanisk udsugning og i lejlighederne hvor der ikke er ændret på de oprindelige ventilationsinstallationer, er grænsen for risiko for gener fra husstøvmider overskredet i ca. 10 procent af tiden. I lejlighederne med behovsstyret ventilation har rumluftens absolutte vanddampindhold været over grænsen på 6,5 g vand pr. kg luft, svarende til ca. 45 %RH ved 20 °C, i ca. 1 procent af tiden.

Differensen mellem rumluftens og udeluftens absolutte vanddampindhold har betydning for risikoen for kondensdannelse og deraf følgende mug- og skimmelsvampevækst. Grænsen er sat ved en differens på 2,5 g vand pr. kg luft. Udsættelse for fugt og skimmelsvampevækst kan give helbredspåvirkninger, typisk i form af irritation af luftveje, øjne og hud samt hovedpine og træthed.

Resultaterne viser, at i lejlighederne med behovsstyret ventilation er differensen mellem rumluftens og udeluftens absolutte vanddampindhold målt til i 99 procent af tiden at være under grænsen for risiko for kondens og deraf følgende skimmelsvampeproblemer. I lejlighederne med traditionel mekanisk udsugning er grænsen overskredet i ca. 10 procent af tiden, hvor der er målt, og i de oprindelige lejligheder er grænsen overskredet i ca. 30 procent af tiden.

Overordnet bekræfter undersøgelserne de indikationer og resultater, som er fundet dels ved de teoretiske studier (Bergsøe, 2000) dels ved laboratorieundersøgelserne i de tidligere faser i projektprogrammet (Afshari & Bergsøe, 2007). Styling af ventilationen efter rumluftens fugtighed åbner mulighed for at reducere el-forbruget til drift af ventilatorerne, samtidig med at der opretholdes et tilfredsstillende indeklima. Anskuet ud fra et fugtrelateret synspunkt er indeklimaet i lejlighederne med fugtstyret ventilation ved disse undersøgelser forbedret væsentligt i forhold til indeklimaet i de uberørte lejligheder og også i forhold til lejlighederne med traditionel mekanisk udsugning. Af økonomiske og praktiske grunde måtte omfanget af lejligheder, som kunne indgå i undersøgelsen, begrænses, så materialet har ikke et omfang, som tillader egentlige statistiske analyser.

Resultaterne tyder på, at idéen om at styre ventilationen i etageboliger efter behovet og at anvende rumluftens relative fugtighed som styringsparameter kan anvendes, men undersøgelserne har samtidig tydeliggjort, at der er behov for, at en række praktiske forhold tages under behandling.

Ved denne undersøgelse bød montage af anlæggene, føring af hoved- og fordelingskanaler og installationsarbejderne i de enkelte lejligheder på en række vanskeligheder, som blandt andet indebar ulemper for de berørte beboere. De fleste af vanskelighederne kan dog henføres til, at der har været tale om midlertidige forsøgsanlæg, og at det derfor undervejs har været nødvendigt at tage hensyn til, at de oprindelige forhold skulle reetableres ved forsøgenes afslutning. Dette gælder blandt andet placeringen af anlæggene i den nederste etage i bebyggelsen. Ved nybyggeri eller i forbindelse med renovering af en ejendom, må det forventes, at praktiske vanskeligheder af denne art vil være mindre fremtrædende.

Montagen af udeluftventiler måtte gøres under hensyntagen til, at bebyggelsens facade skulle reetableres. Havde dette ikke været nødvendigt, ville det have været muligt, at anbringe ventilerne på en mere hensigtsmæssig måde i de enkelte lejligheder og i de enkelte rum. Det ville medføre en større sikkerhed for, at ventilerne fungerede efter hensigten, både hvad angår de fugtstyrede ventilers regulering efter rumluftens fugtighed, og hvad angår trækfri udelufttilførsel.

Konstantrykregulering af udsugningsanlæg i etageboligbebyggelser er en kendt og prøvet teknik, men at knytte reguleringen sammen med fugtstyring er hidtil kun sket i forsøgssammenhænge. Der må lægges vægt på, at der anvendes komponenter med høj driftssikkerhed, og installationen af selve systemet sker med omhu og omtanke. Det er nødvendigt, at både ventilationsentreprenør og ejendommens driftspersonale er bevidst om systemets virkemåde. Ved indregulering og aflevering af systemet er det vigtigt, at der gennemføres afprøvninger og målinger i et sådant omfang, at det er sikkerhed for, at alle dele af systemet fungerer efter hensigten, både i normal-situationen og under forceret drift.

Når udsugningen styres efter behovet, kan udsugningen i perioder være lavere end gældende bestemmelser og i andre perioder højere. Ved hensigtsmæssig brugeradfærd er det muligt i gennemsnit at reducere udsugningen i forhold til gældende bestemmelser. Herved opnås en sænkning af energiforbruget såvel til driften af ventilatorerne som til opvarmning af den tilførte udeluft. Nærværende undersøgelse er gennemført som led i et forsøgsprojekt og under særlige vilkår. Det understreges, at det efter gældende bestemmelser ikke er tilladt at anvende styringsprincipper for ventilationen i etageboliger, som kan medføre, at bygningsreglementets krav til udelufttilførslen underskrides. Det kan imidlertid anbefales at anvende passive, fugtstyrede udeluftventiler i ydervæggene i beboelsesrummene. Forudsætningen er, at ventilerne indstilles på en sådan måde, at de i grundstillingen lever op til reglementets krav om frit åbningsareal og ved forhøjet luftfugtighed i rummet åbner yderligere.

Litteratur

- Olufsen, P. (1984). *Boligventilationssystemer. Teori og erfaringer* (SBI-rapport 161). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Bergsøe, N. C. (1992). *Passiv sporgasmetode til ventilationsundersøgelser. Beskrivelse og analyse af PFT-metoden* (SBI-rapport 227). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Bergsøe, N. C. (1994a). *Ventilationsforhold i nyere, naturligt ventilerede enfamiliehuse* (SBI-rapport 236). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Bergsøe, N. C. (1994b). *Ventilationsforhold i renoverede og ikke-renoverede etageboliger* (SBI-rapport 241). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Harving, H., Jensen, J. K., & Dahl, R. (1994). *Husstøvmideforekomst i boliger. Sammenhæng med boligventilation og luftfugtighed*. Ugeskrift for læger 156/8, 21. feb. 1994. Videnskab og praksis.
- Bergsøe, N. C. (1996). *Naturlig ventilation i enfamiliehuse* (SBI-meddelelse 116). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Bergsøe, N. C. (2000). *Vurdering af ventilationsbehov* (SBI-meddelelse 130). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.
- Bergsøe, N. C., & Aggerholm, S. (2001). *Energieffektiv boligventilation*. Dansk Magasinet. 1(4), s. 12-15.
- Afshari, A., Bergsøe, N. C. (2007). *Humidity as a control parameter for ventilation*. In print.

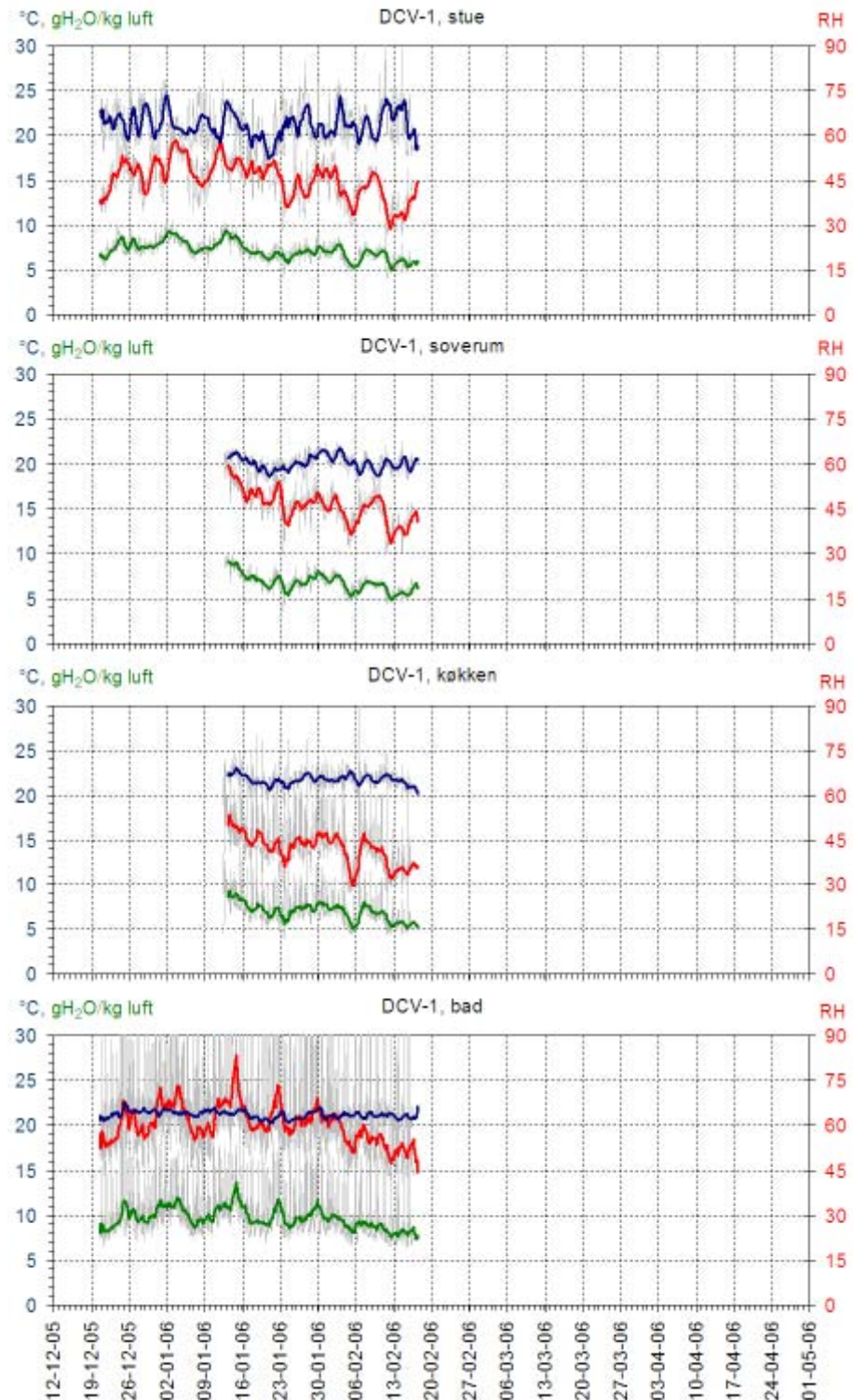
Bilag

Dette bilag indeholder diverse dokumentation.

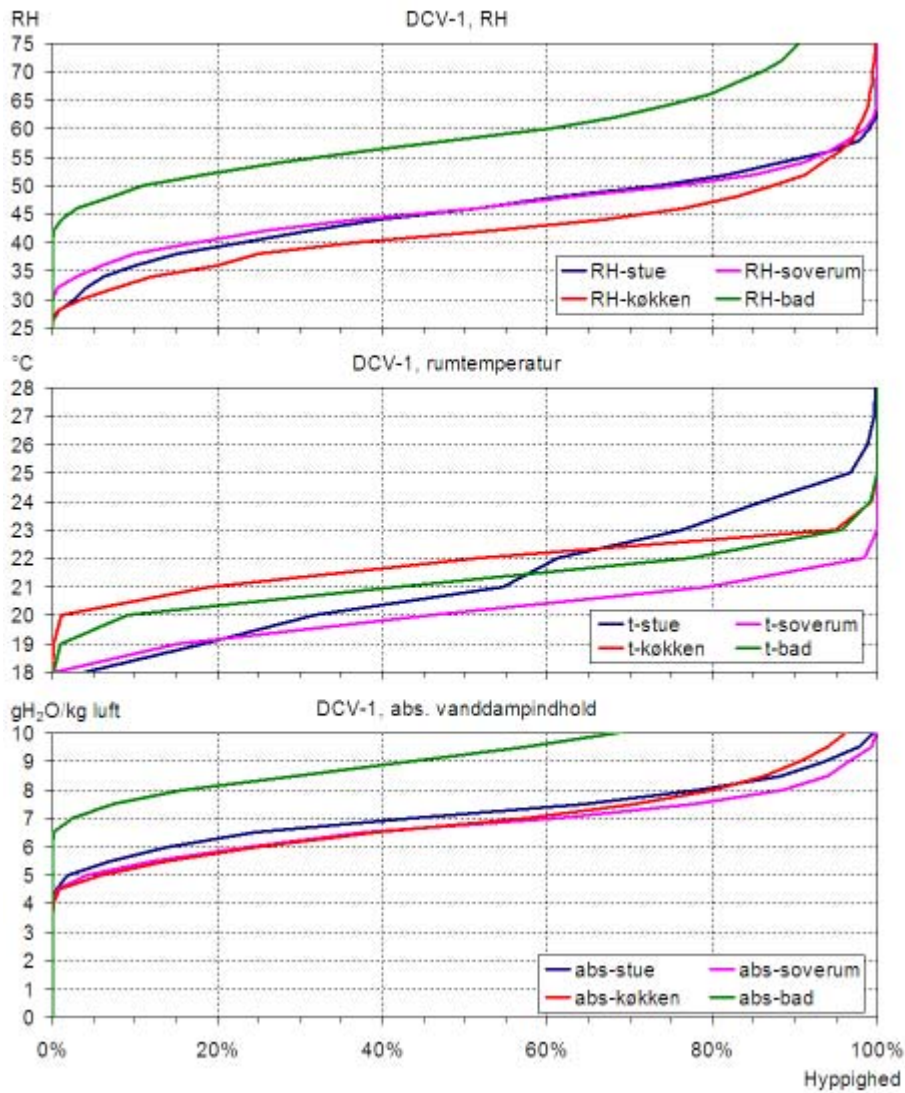
DCV: Demand Controlled Ventilation ~ behovsstyret ventilation
DCV-1 – DCV-4: Fire forsøgslejligheder med DCV
Ref-1 – Ref-4: Fire referencelejligheder; eksisterende forhold
Uds-1 – Uds-4: Fire forsøgslejligheder med mekanisk udsugning

DCV-1	42
DCV-2	44
DCV-3	46
DCV-4	48
Ref-1	50
Ref-2	52
Ref-3	54
Ref-4	56
Uds-1	58
Uds-2	60
Uds-3	62
Uds-4	64
Alle lejl., individuelle rum, RH middelværdi og SD.	66
Alle lejl., individuelle rum, temp. middelværdi og SD.	67
Alle lejl., individuelle rum, absH ₂ O middelværdi og SD.	68
DCV, ekskl./inkl. bad, RH, temp., absH ₂ O.	69
DCV-2_4, ekskl./inkl. bad, RH, temp., absH ₂ O.	71
Ref, ekskl./inkl. bad, RH, temp., absH ₂ O.	73
Uds, ekskl./inkl. bad, RH, temp., absH ₂ O.	75

DCV-1



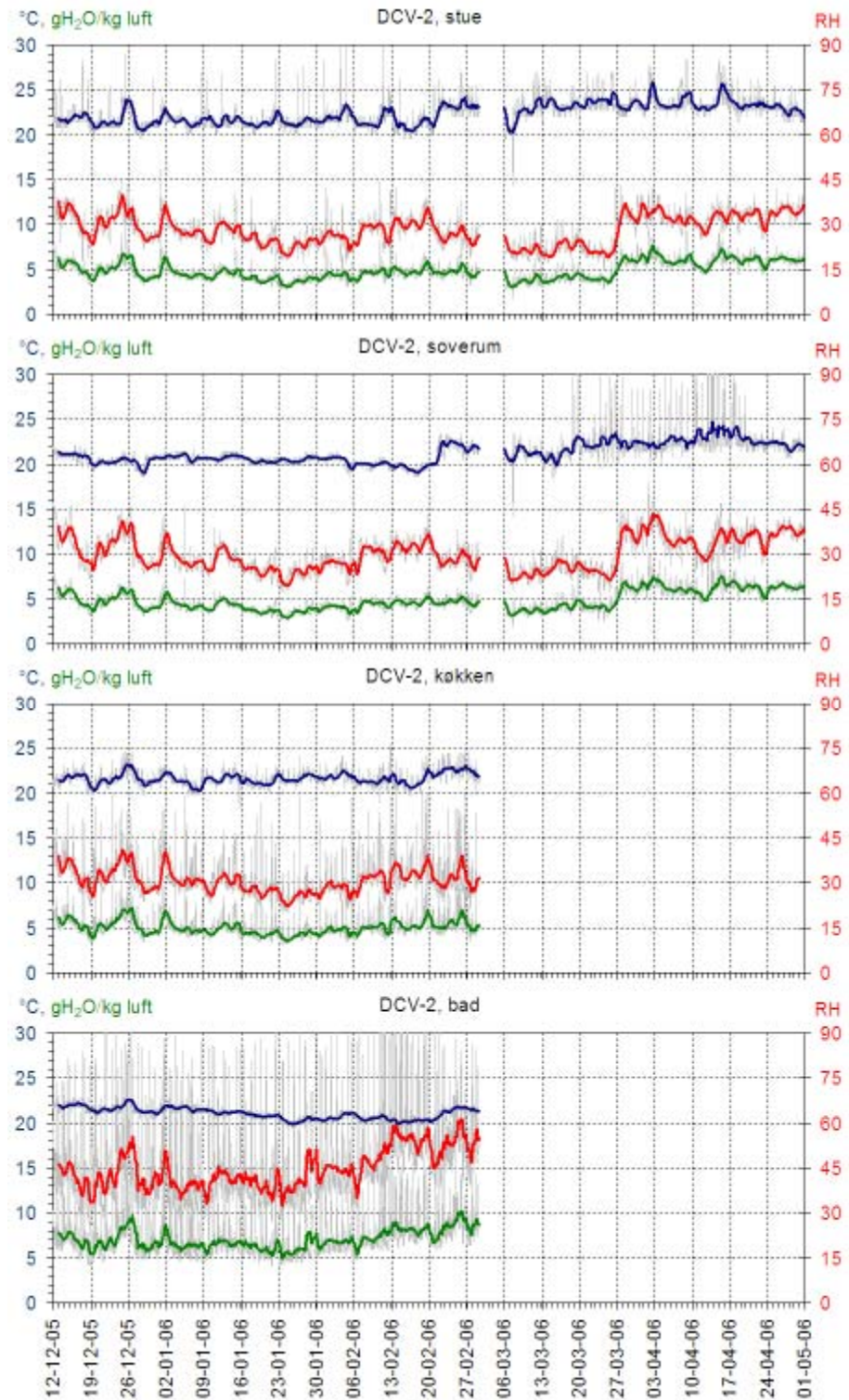
Figur 33. Figuren viser for henholdsvis stue, soverum, køkken og bad i lejligheden DCV-1 og for perioden december 2005 til maj 2006 resultaterne af målinger af rumtemperaturen (blå, venstre ordinat) og rumluftens relative fugtighed (rød, højre ordinat). På baggrund heraf er rumluftens absolutte vandindhold beregnet (grøn, venstre ordinat). De lysegrå kurver er 15 minutters registreringer; de fuldt optrukne kurver er døgnmiddelværdier.



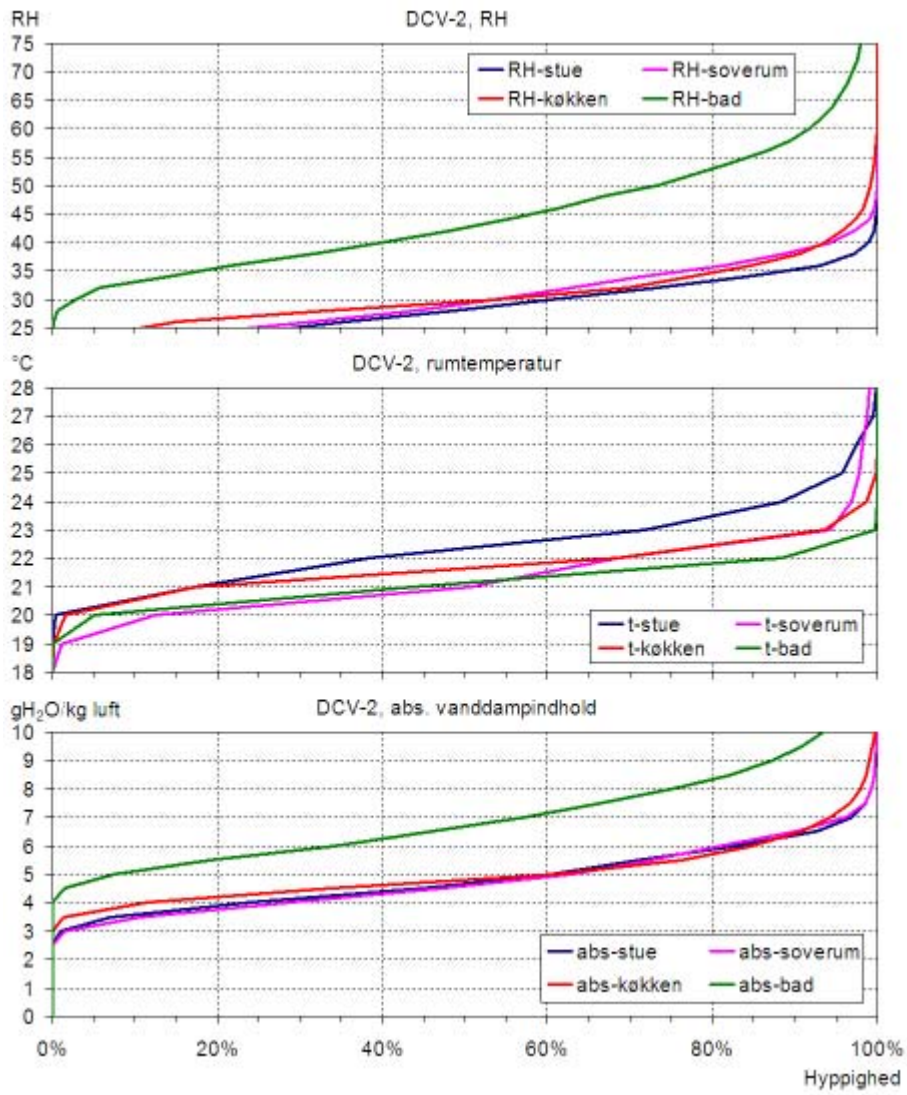
Figur 34. Figuren viser kumuleret, relativ fordeling af henholdsvis relativ luftfugtighed, rumtemperatur og absolut vanddampindhold i rumluften i de fire rum i lejligheden DCV-1. Kurverne viser den procentvise andel af tiden i måleperioden, hvor der er målt en lavere værdi end angivet på ordinataksen.

Eksempel (øverste grønne kurve): I ca. 60 procent af tiden er den relative luftfugtighed i baderummet målt til 60 %RH eller lavere.

DCV-2

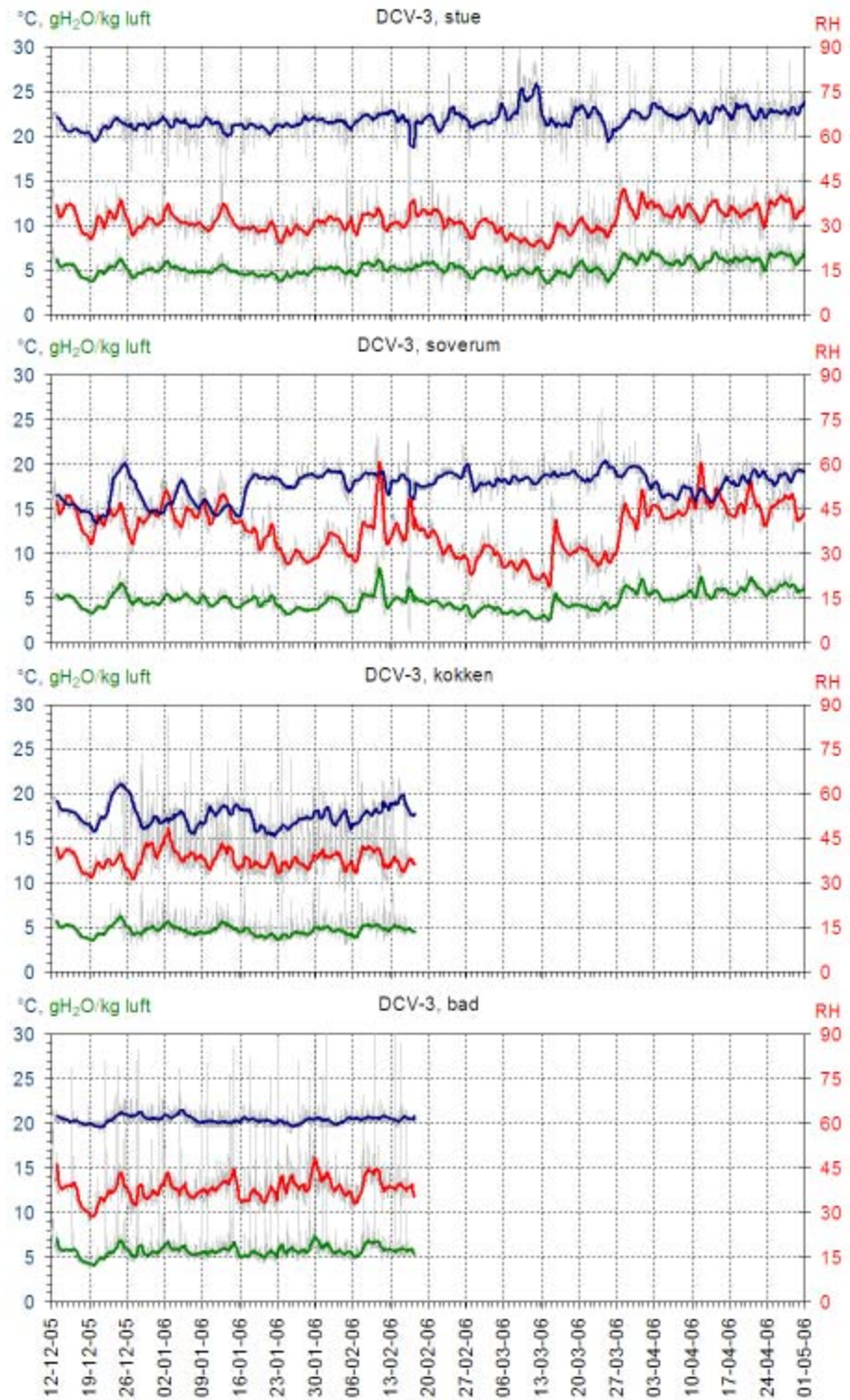


Figur 35. Se figurtekst til Figur 33 side 42.

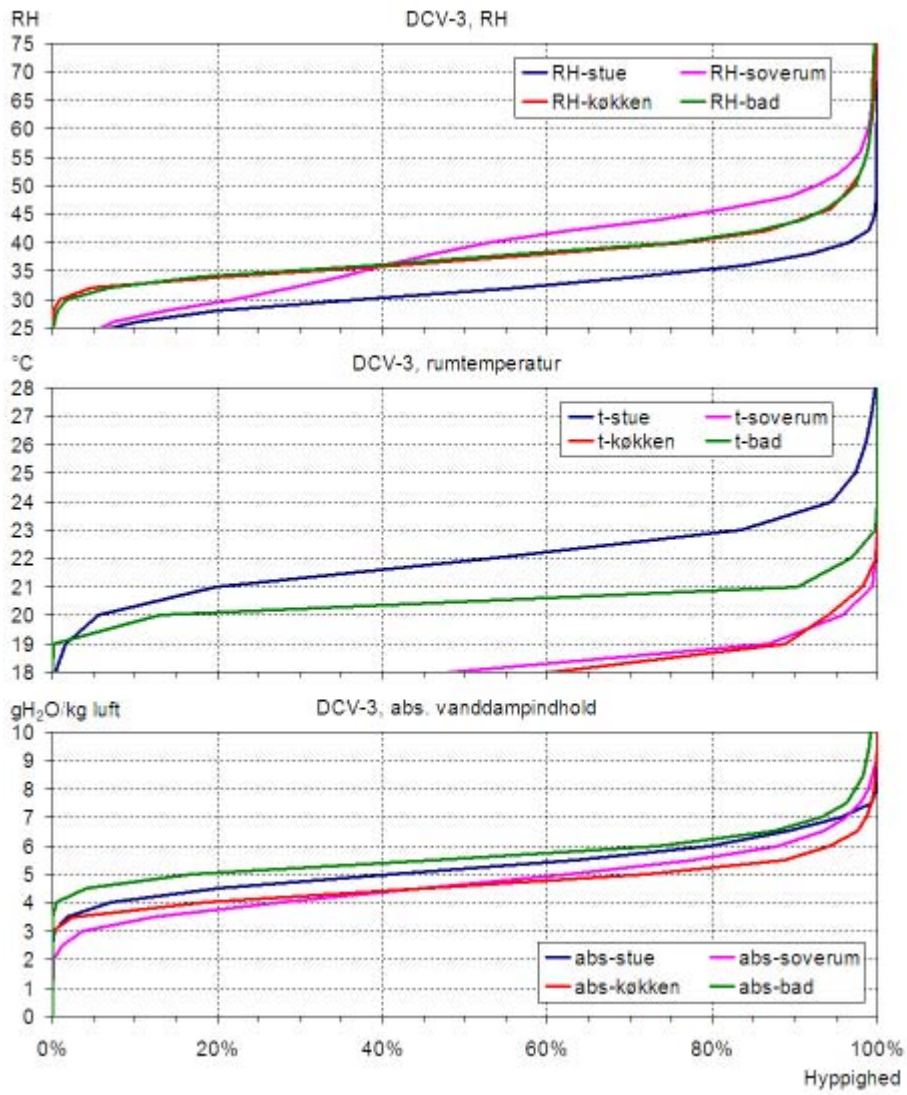


Figur 36. Se figurtekst til Figur 34 side 43.

DCV-3

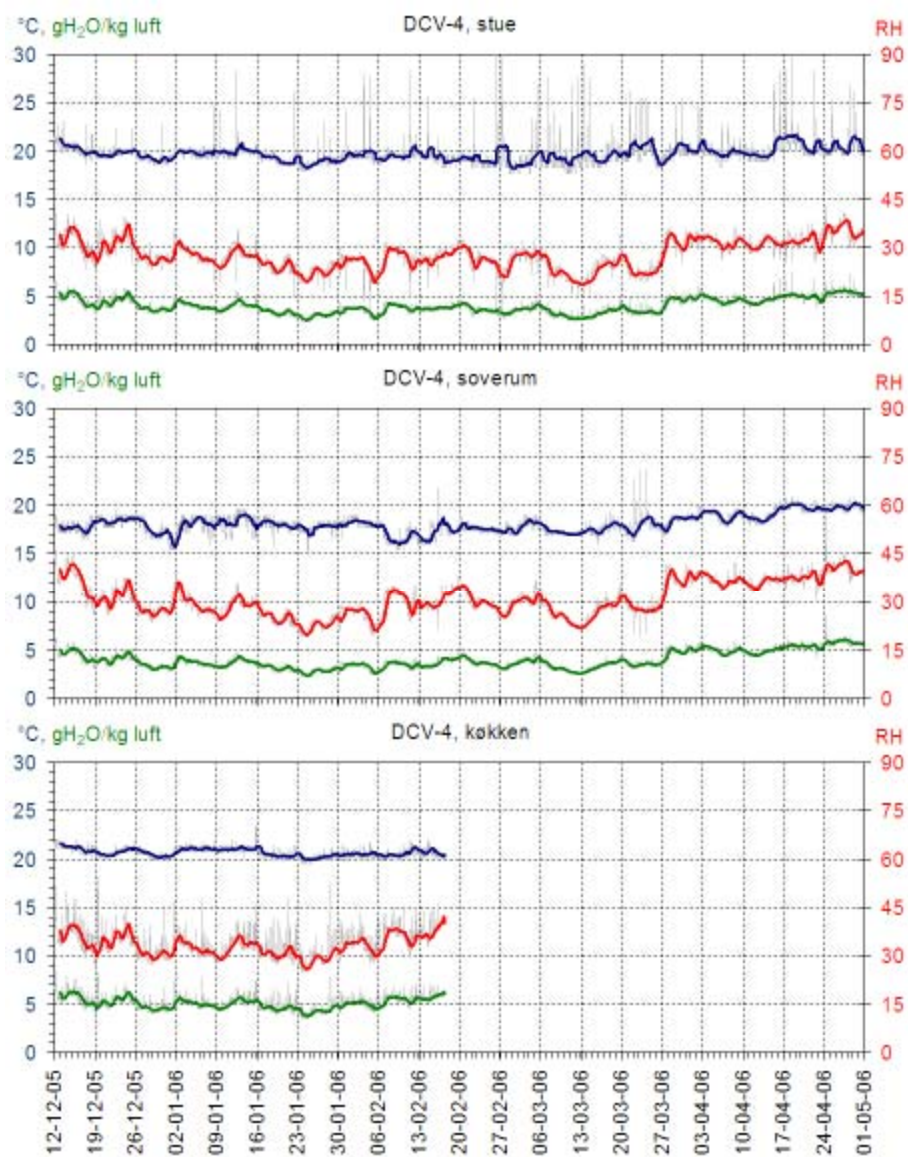


Figur 37. Se figurtekst til Figur 33 side 42.

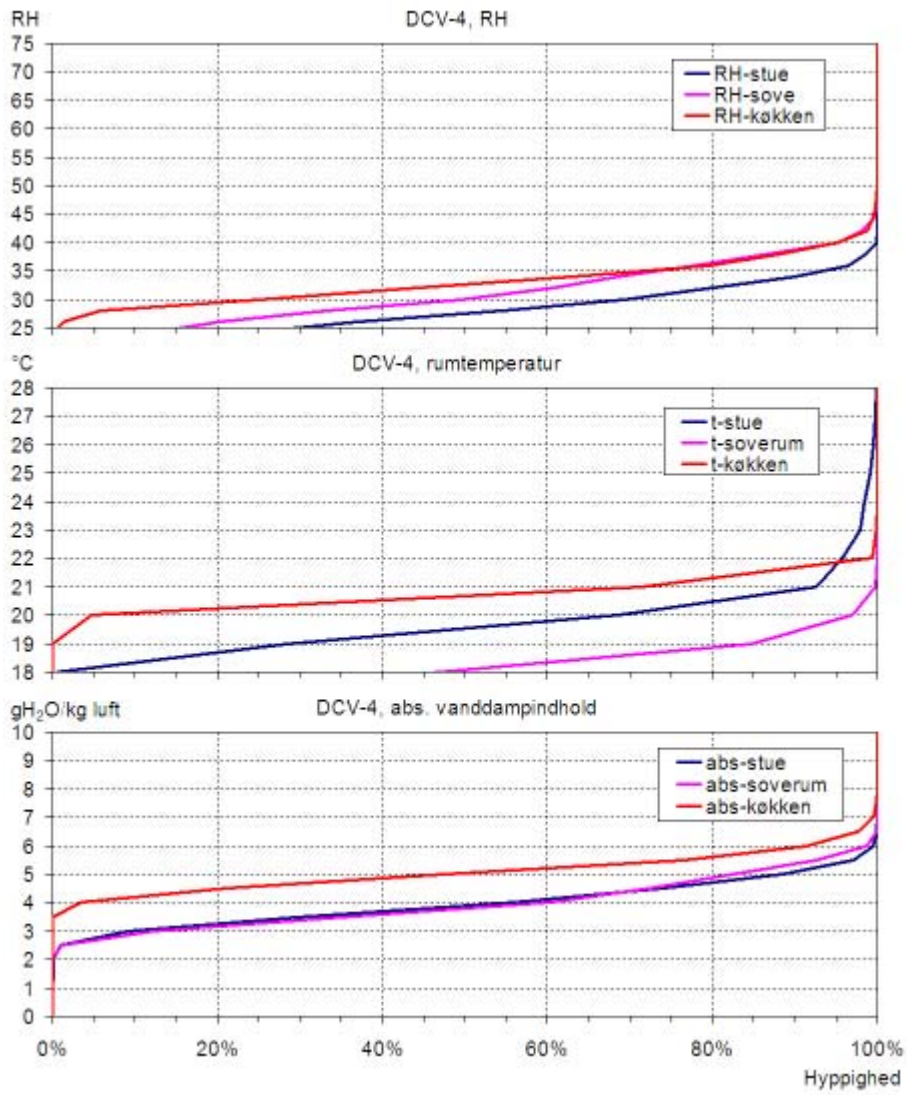


Figur 38. Se figurtekst til Figur 34 side 43.

DCV-4

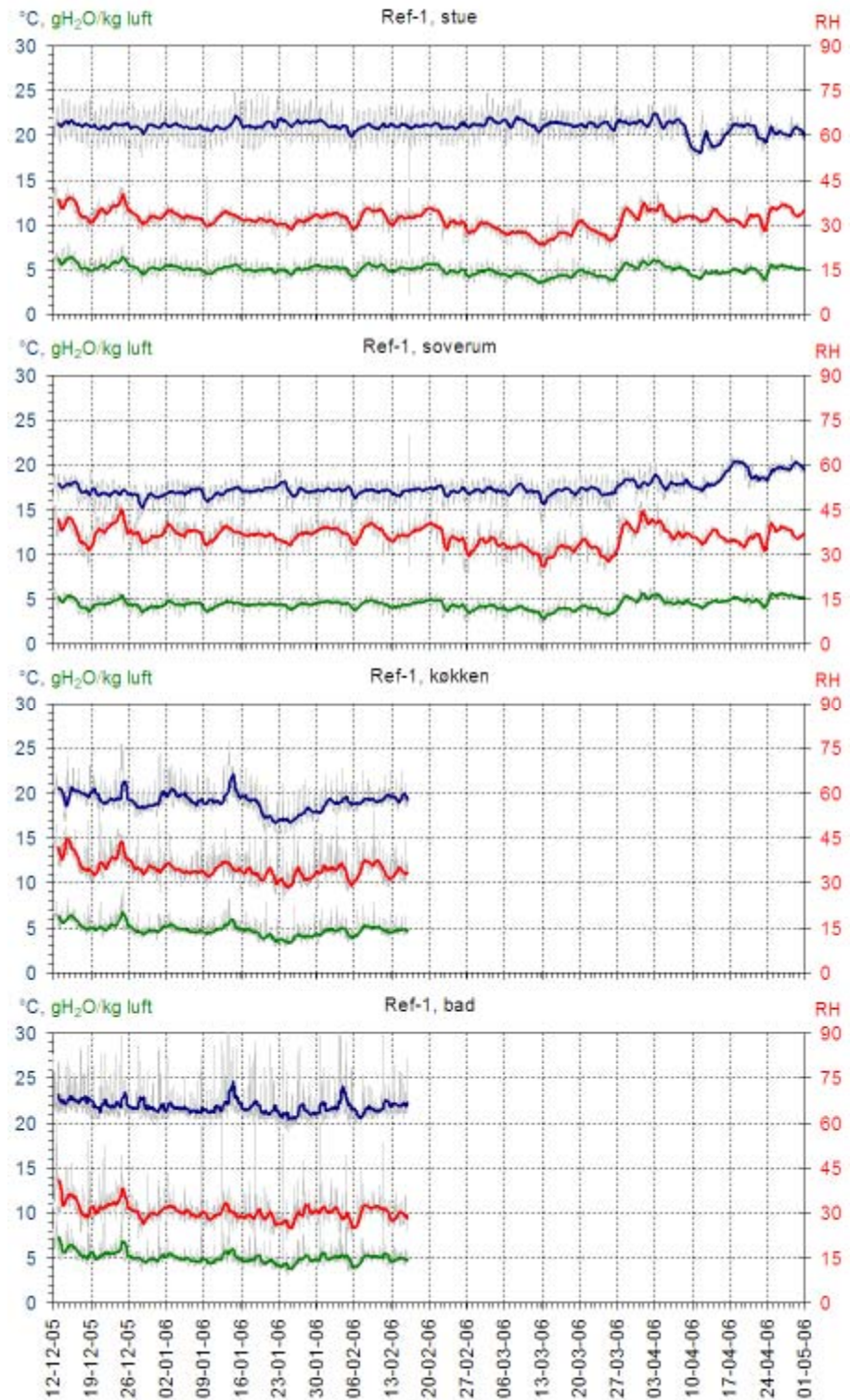


Figur 39. Se figurtekst til Figur 33 side 42.

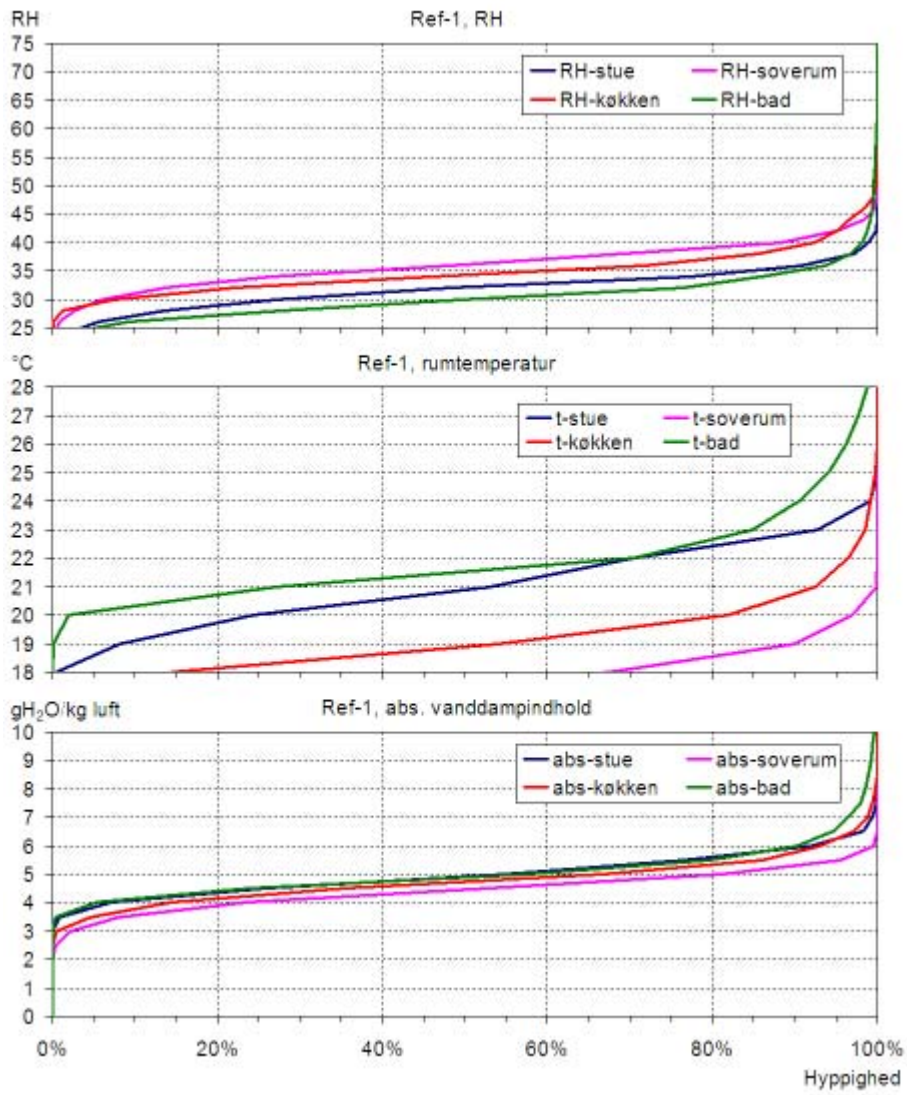


Figur 40. Se figurtekst til Figur 34 side 43.

Ref-1

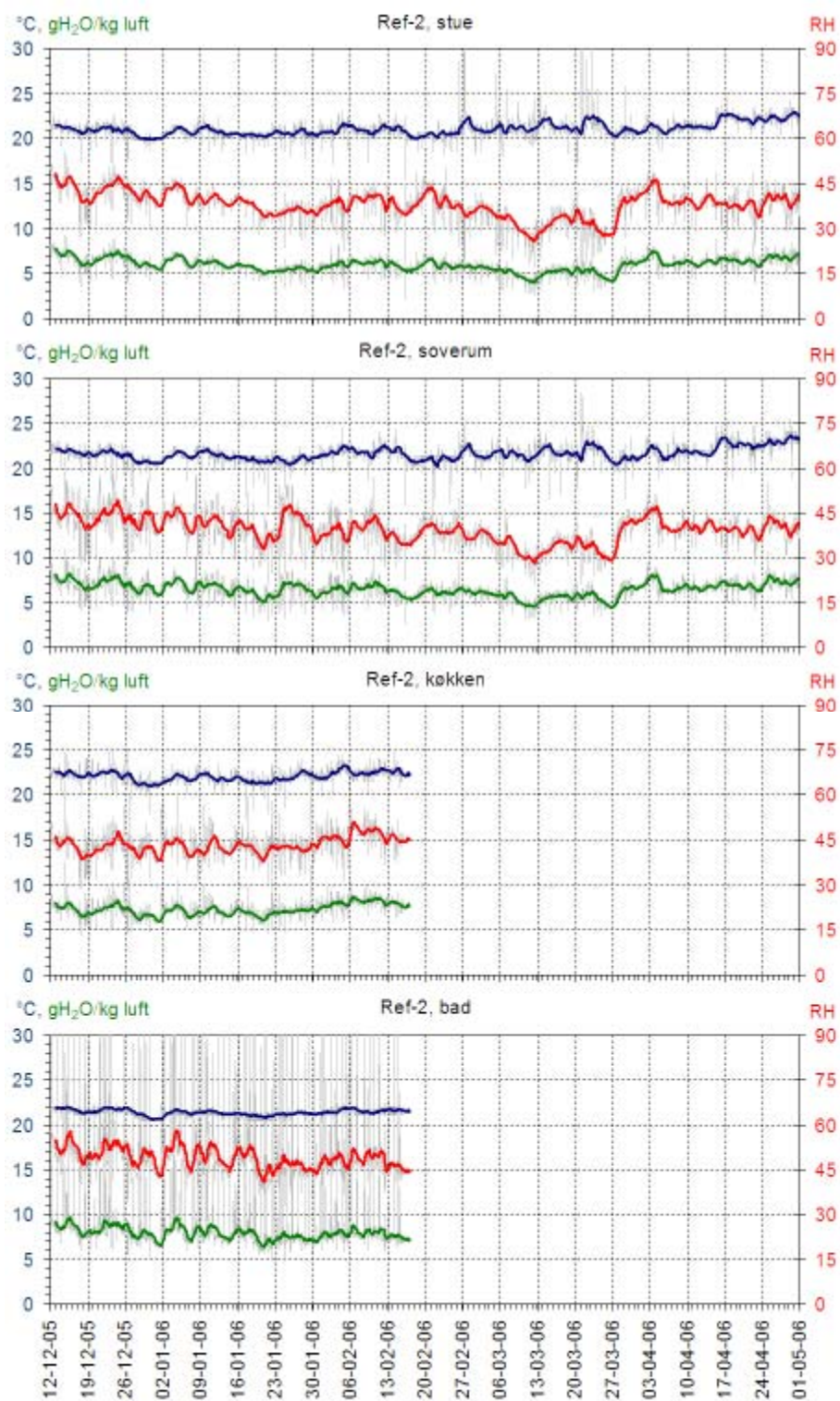


Figur 41. Se figurtekst til Figur 33 side 42.

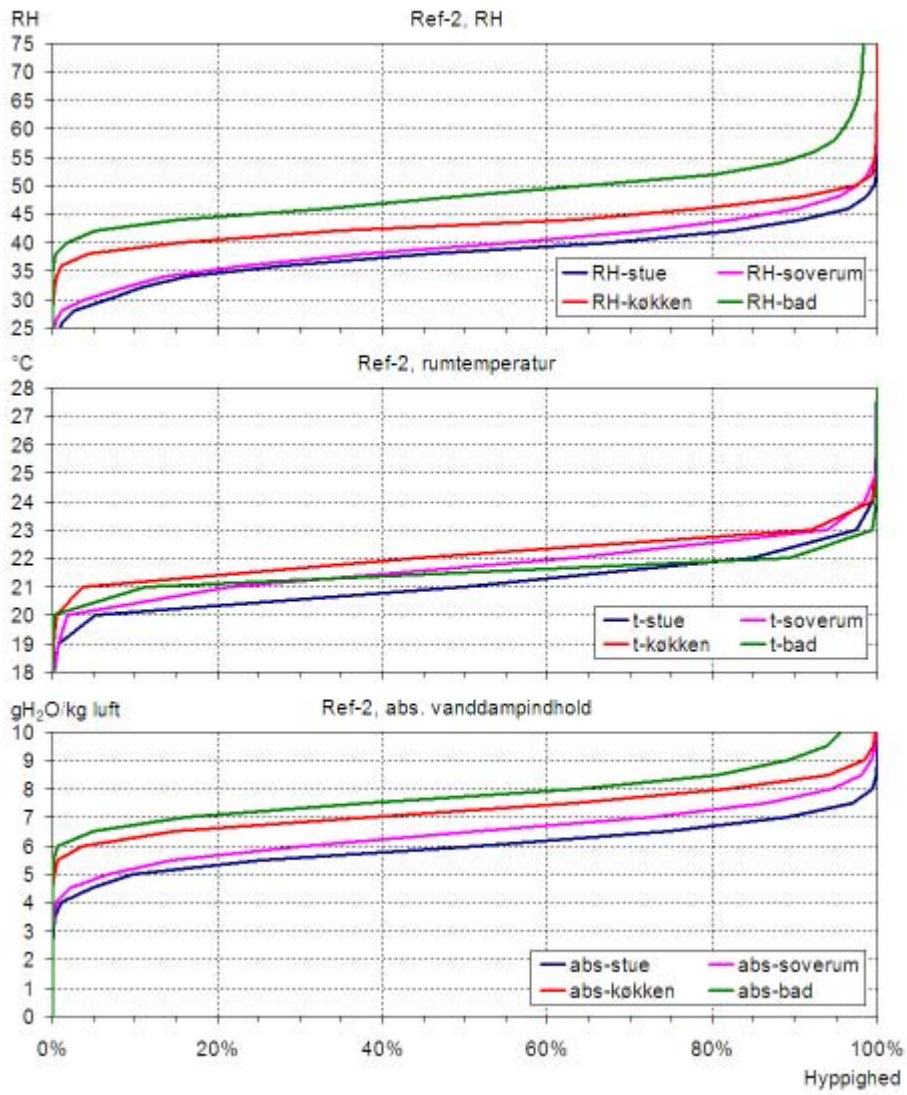


Figur 42. Se figurtekst til Figur 34 side 43.

Ref-2

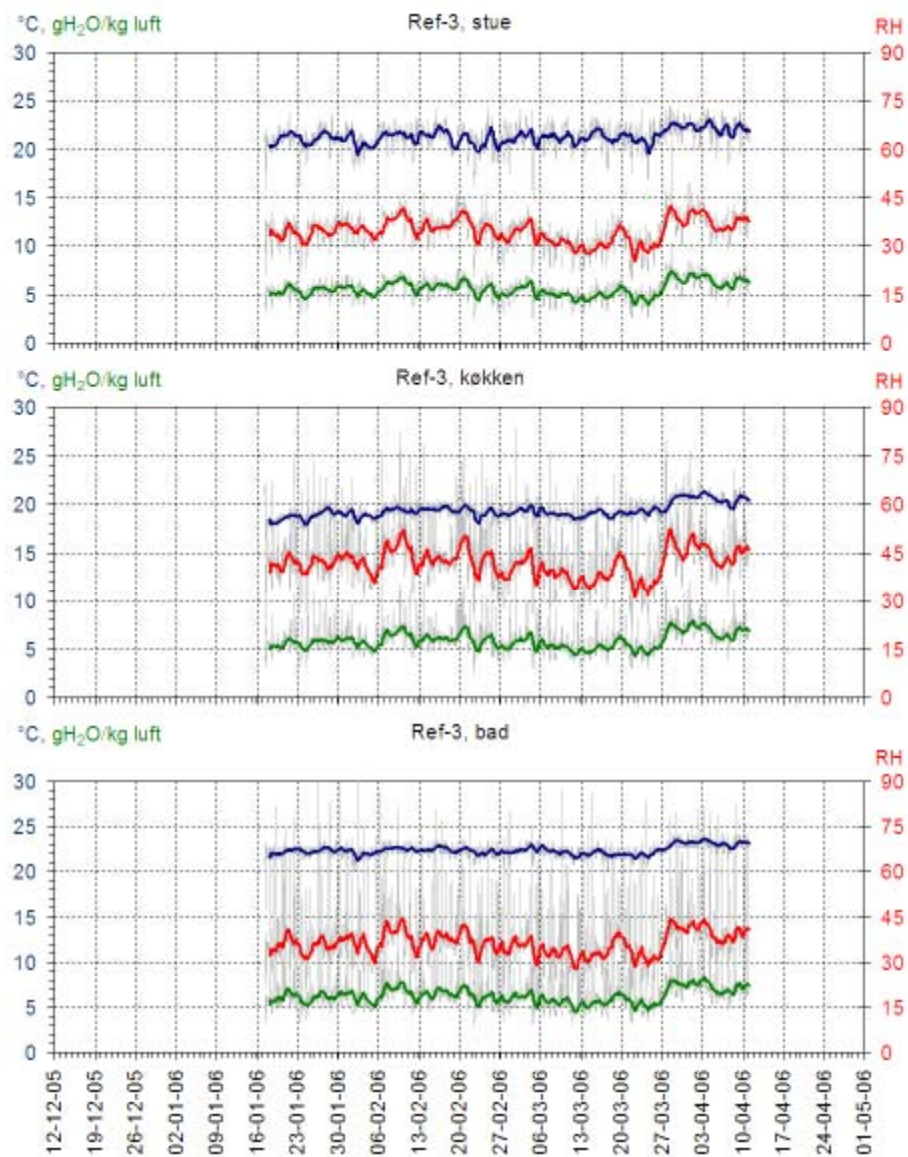


Figur 43. Se figurtekst til Figur 33 side 42.

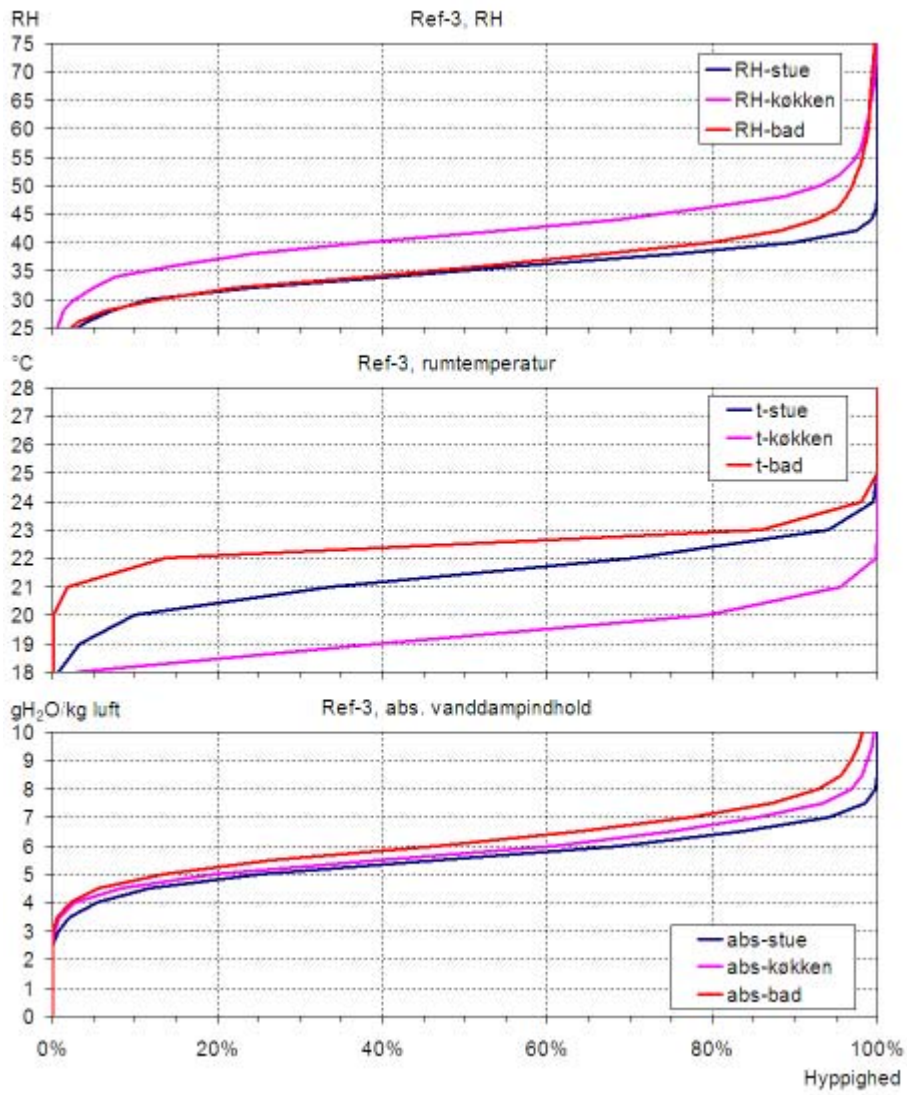


Figur 44. Se figurtekst til Figur 34 side 43.

Ref-3

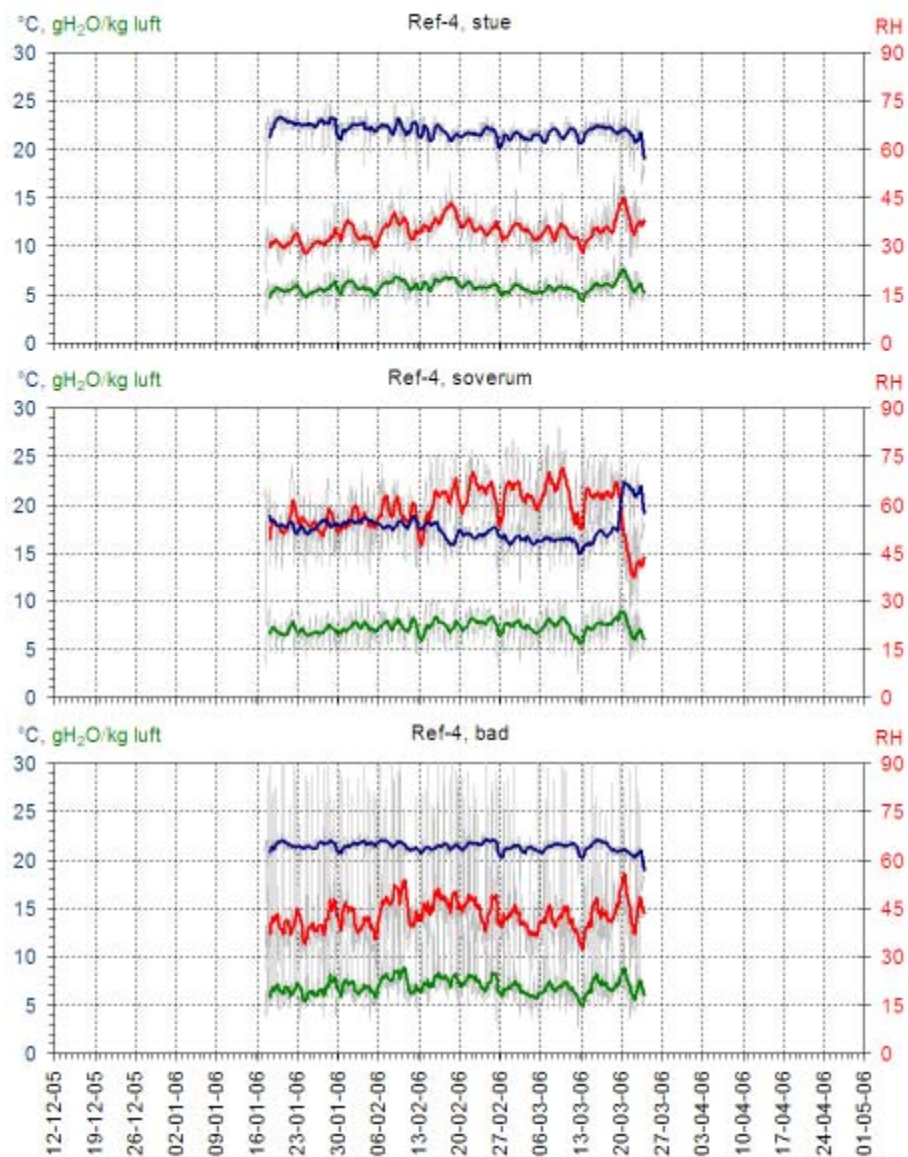


Figur 45. Se figurtekst til Figur 33 side 42.

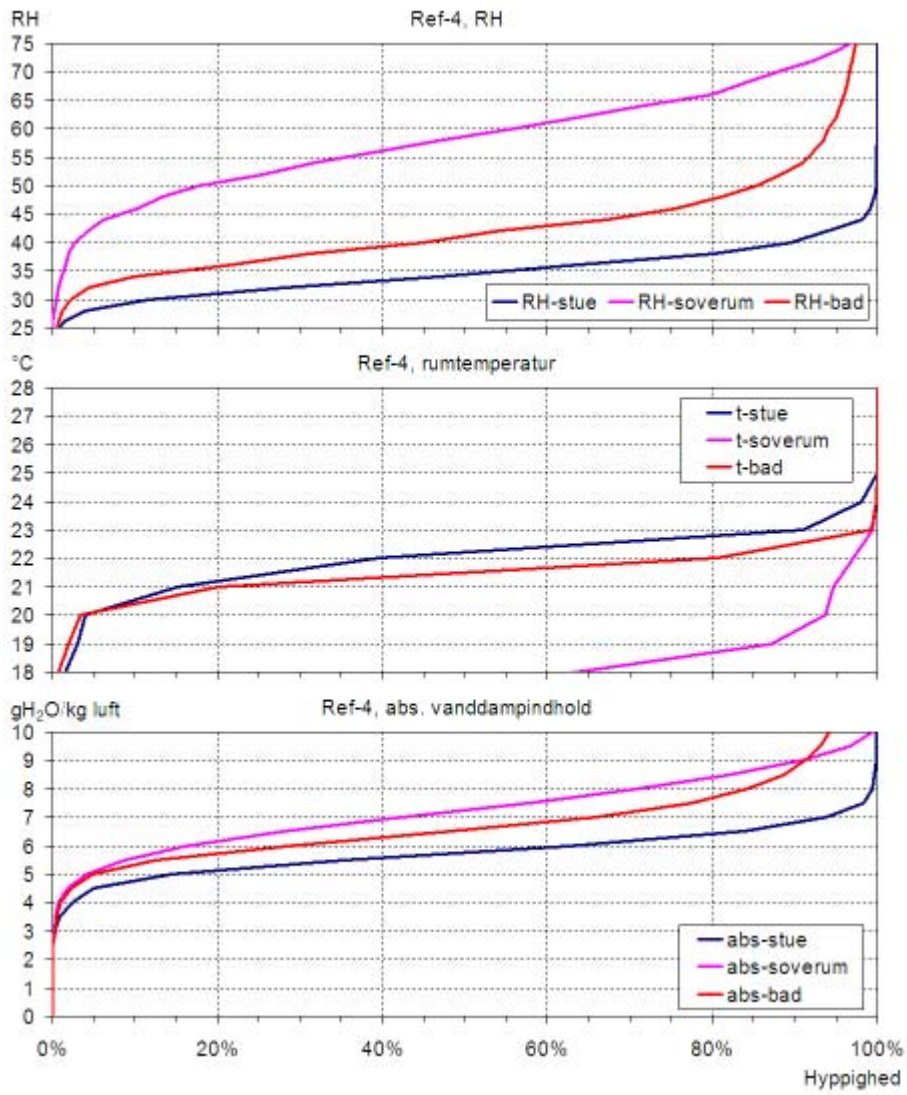


Figur 46. Se figurtekst til Figur 34 side 43.

Ref-4

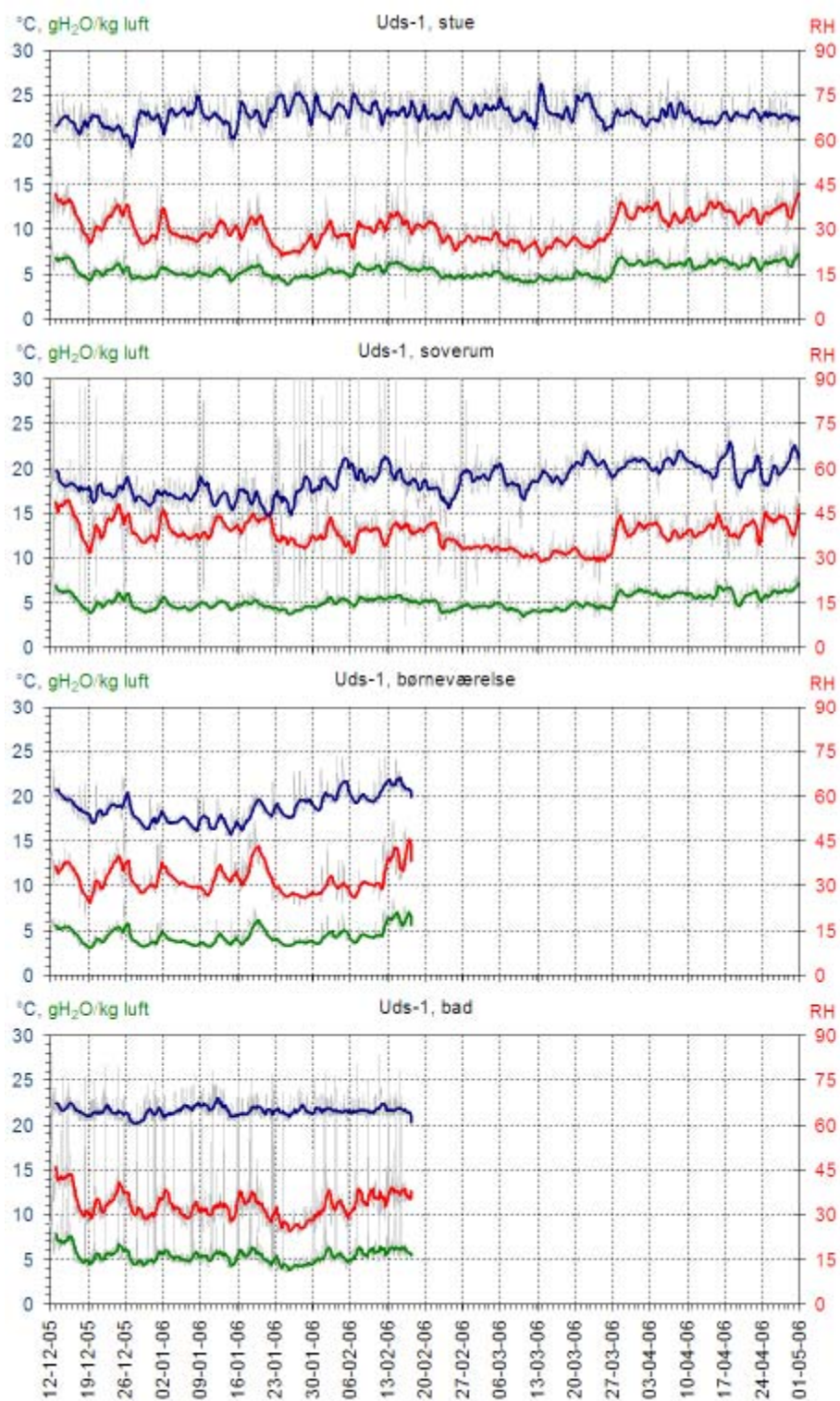


Figur 47. Se figurtekst til Figur 33 side 42.

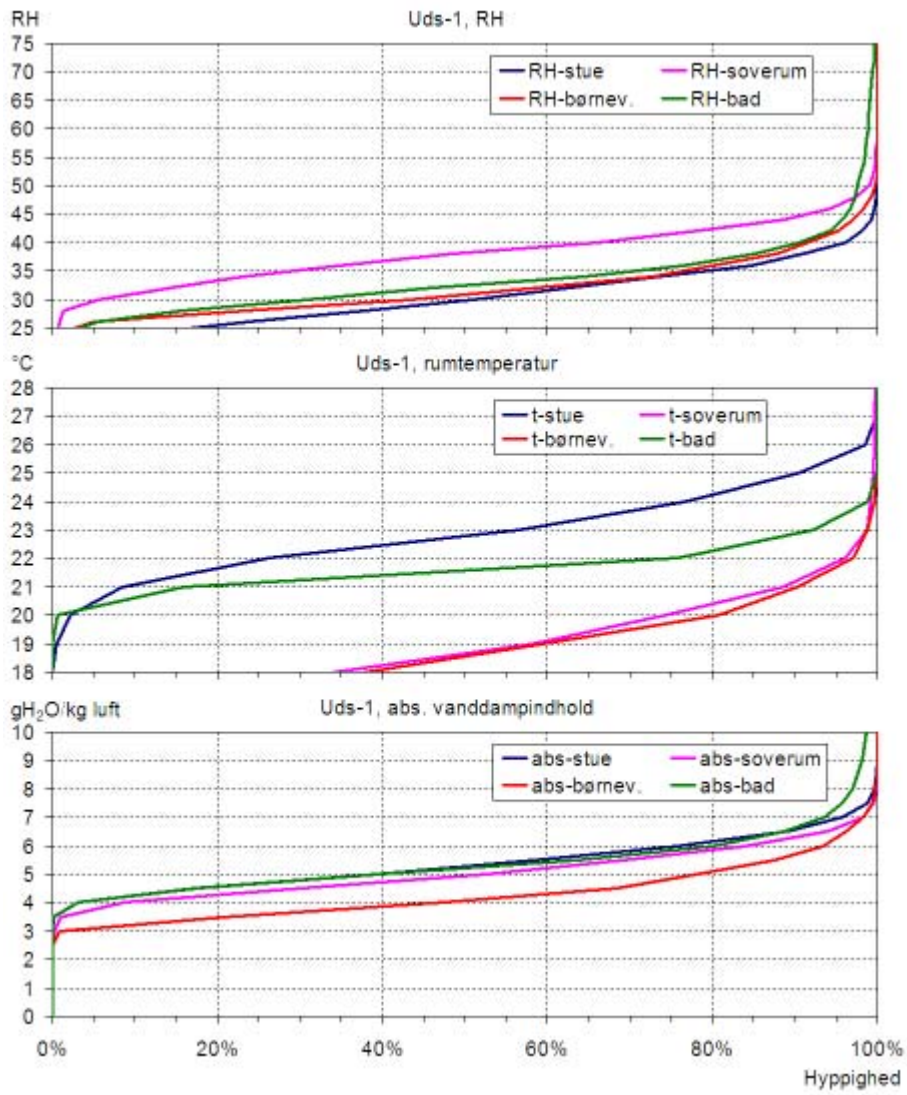


Figur 48. Se figurtekst til Figur 34 side 43.

Uds-1

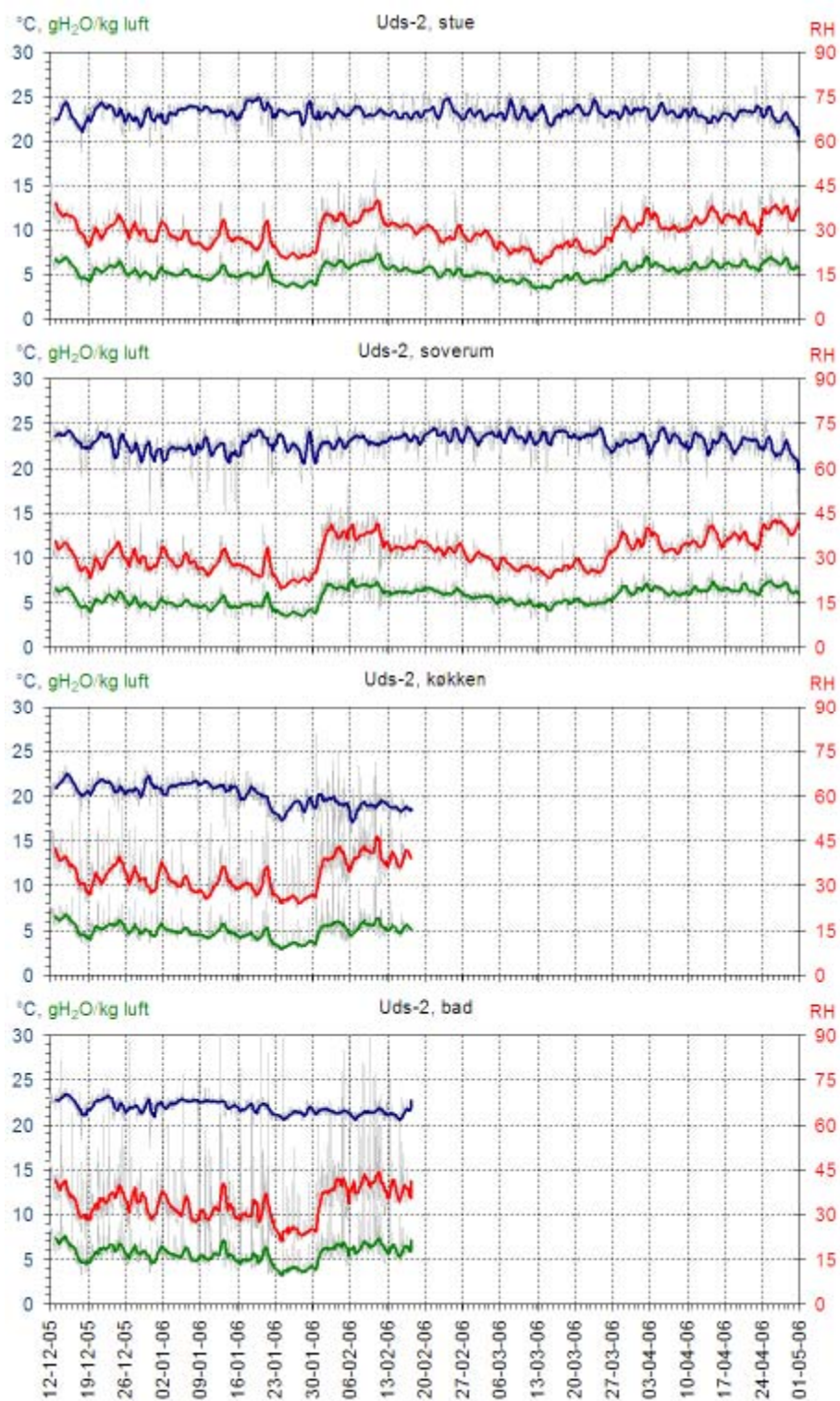


Figur 49. Se figurtekst til Figur 33 side 42.

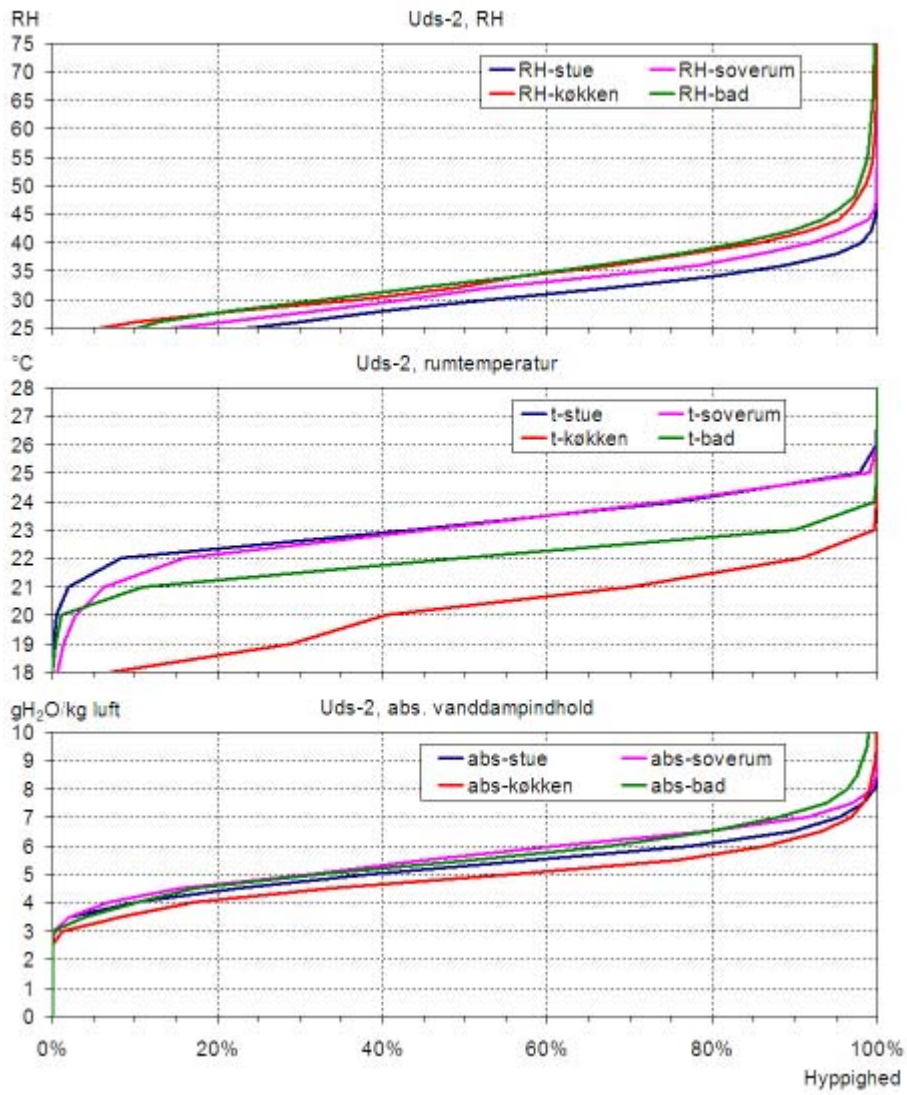


Figur 50. Se figurtekst til Figur 34 side 43.

Uds-2

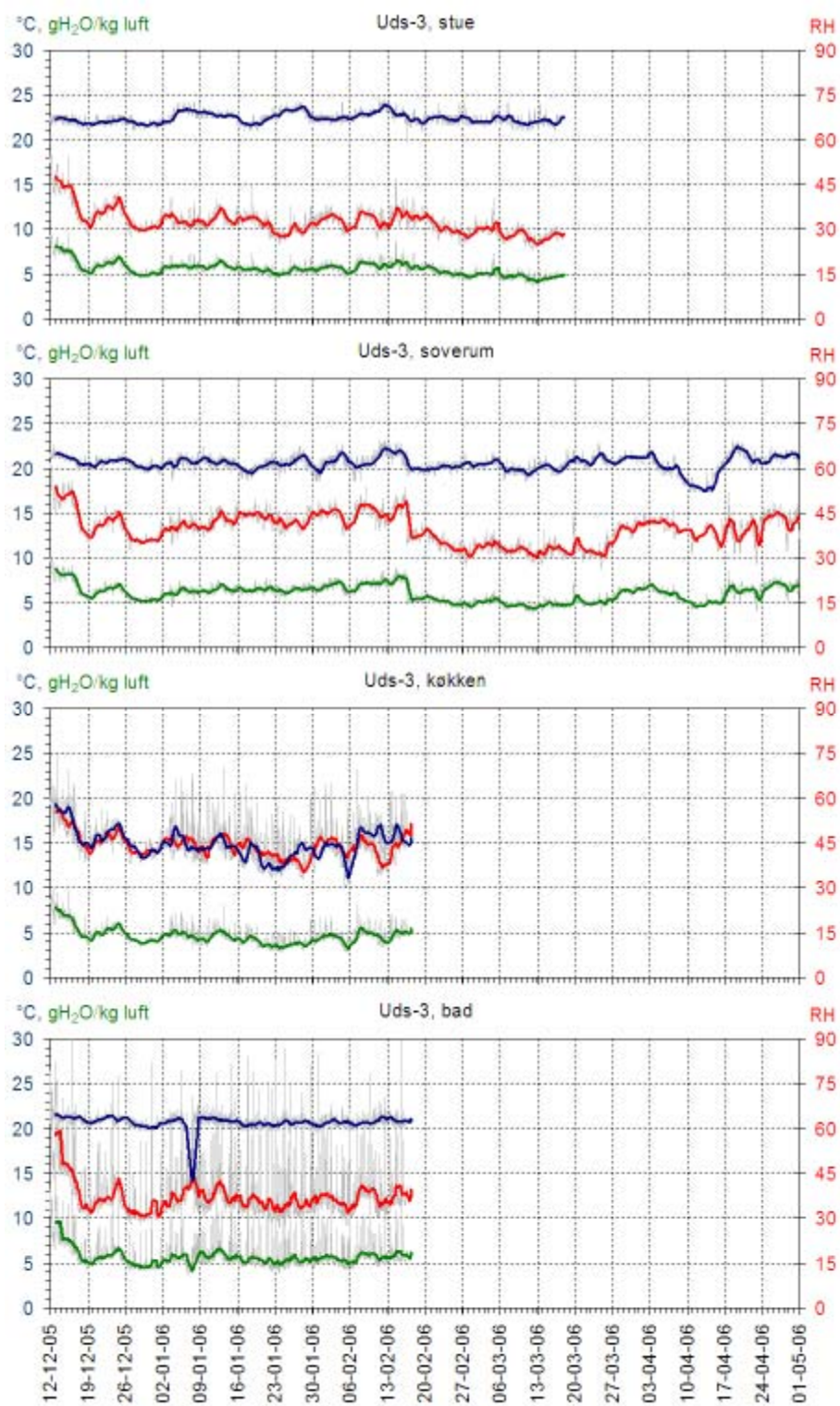


Figur 51. Se figurtekst til Figur 33 side 42.

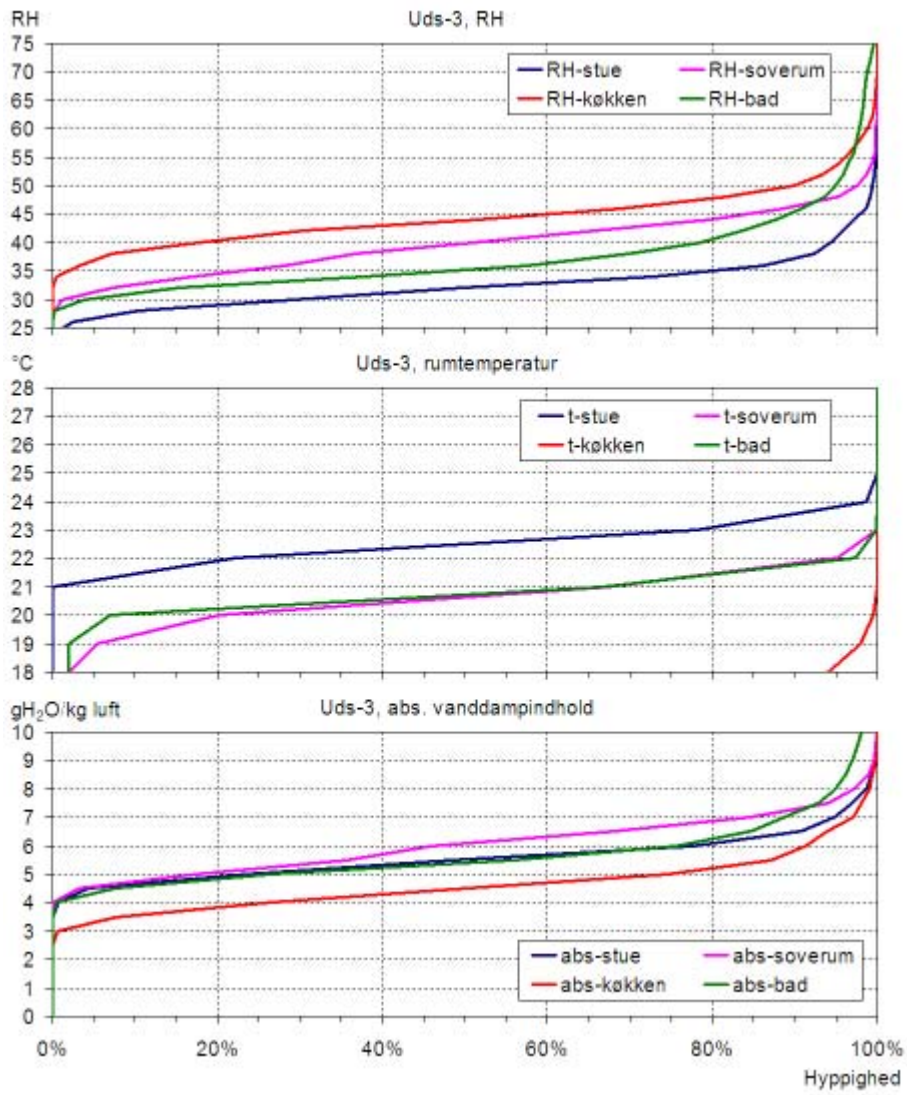


Figur 52. Se figurtekst til Figur 34 side 43.

Uds-3

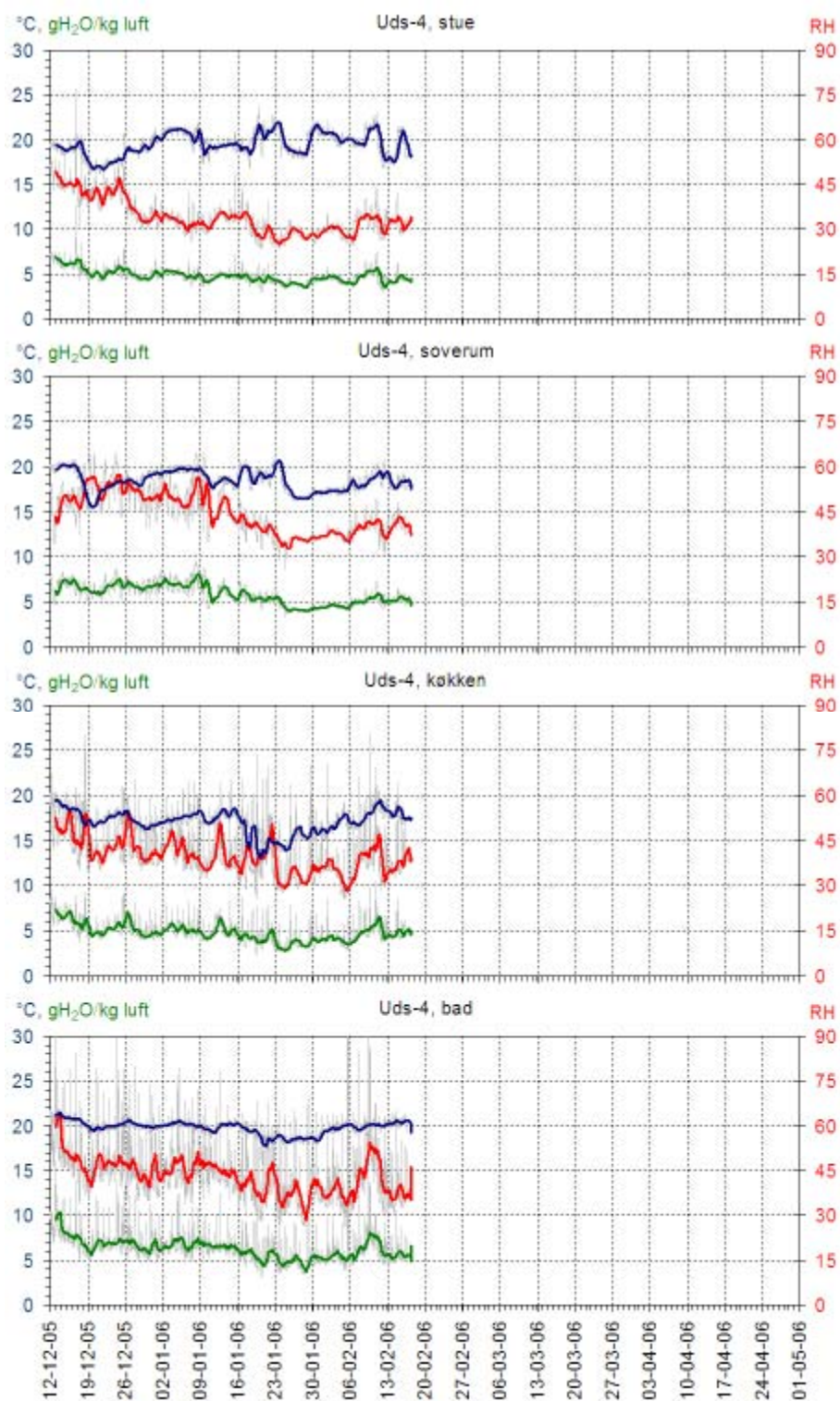


Figur 53. Se figurtekst til Figur 33 side 42.

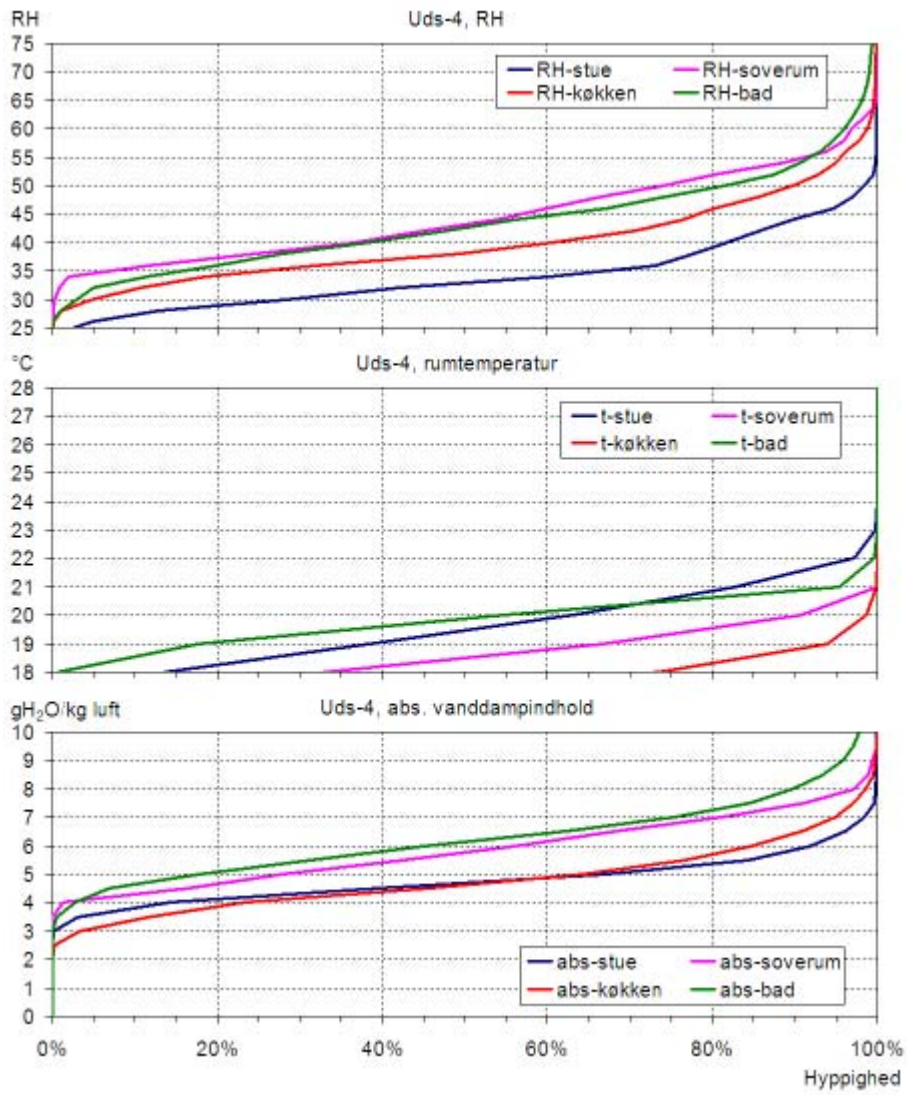


Figur 54. Se figurtekst til Figur 34 side 43.

Uds-4

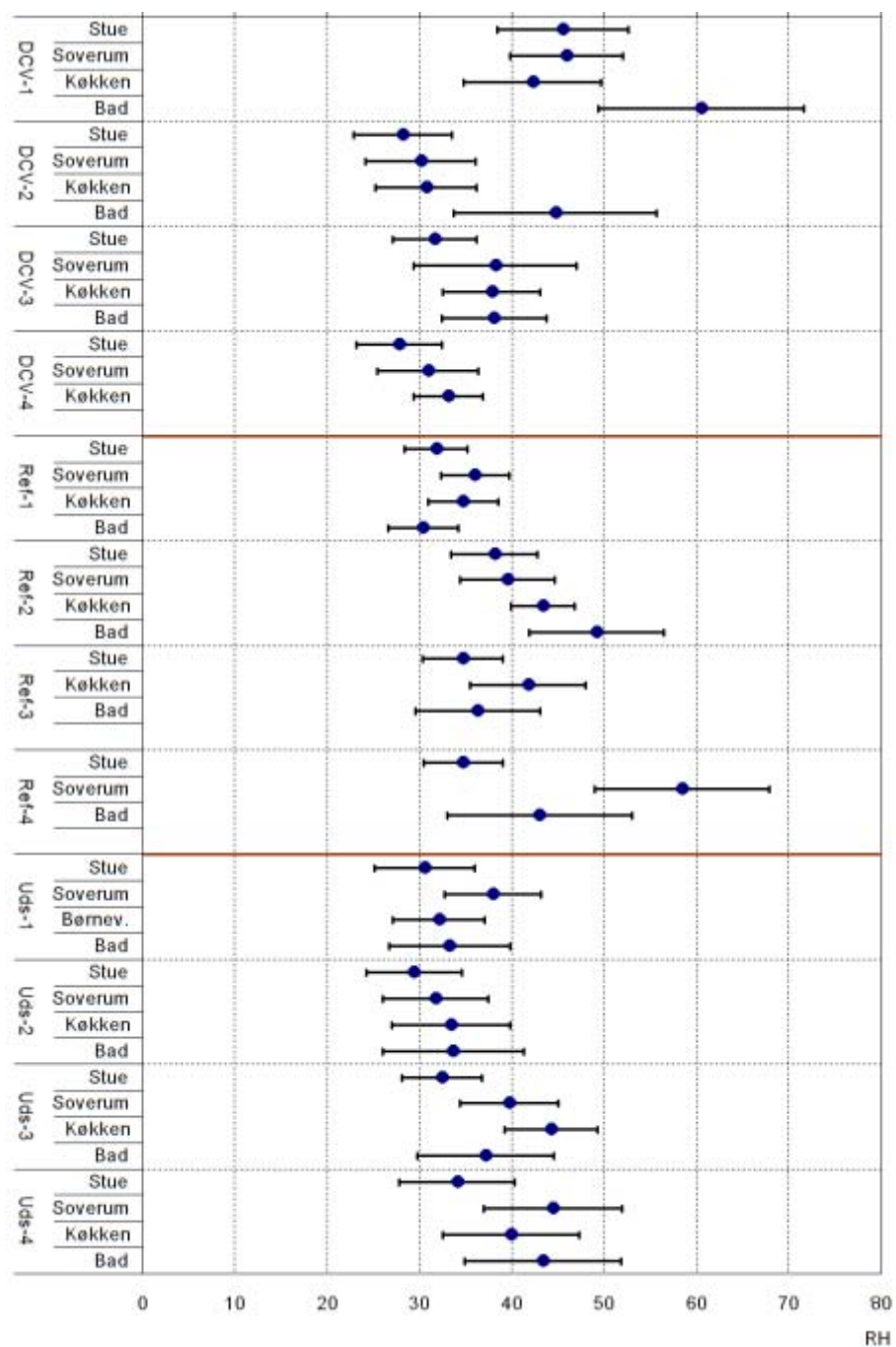


Figur 55. Se figurtekst til Figur 33 side 42.



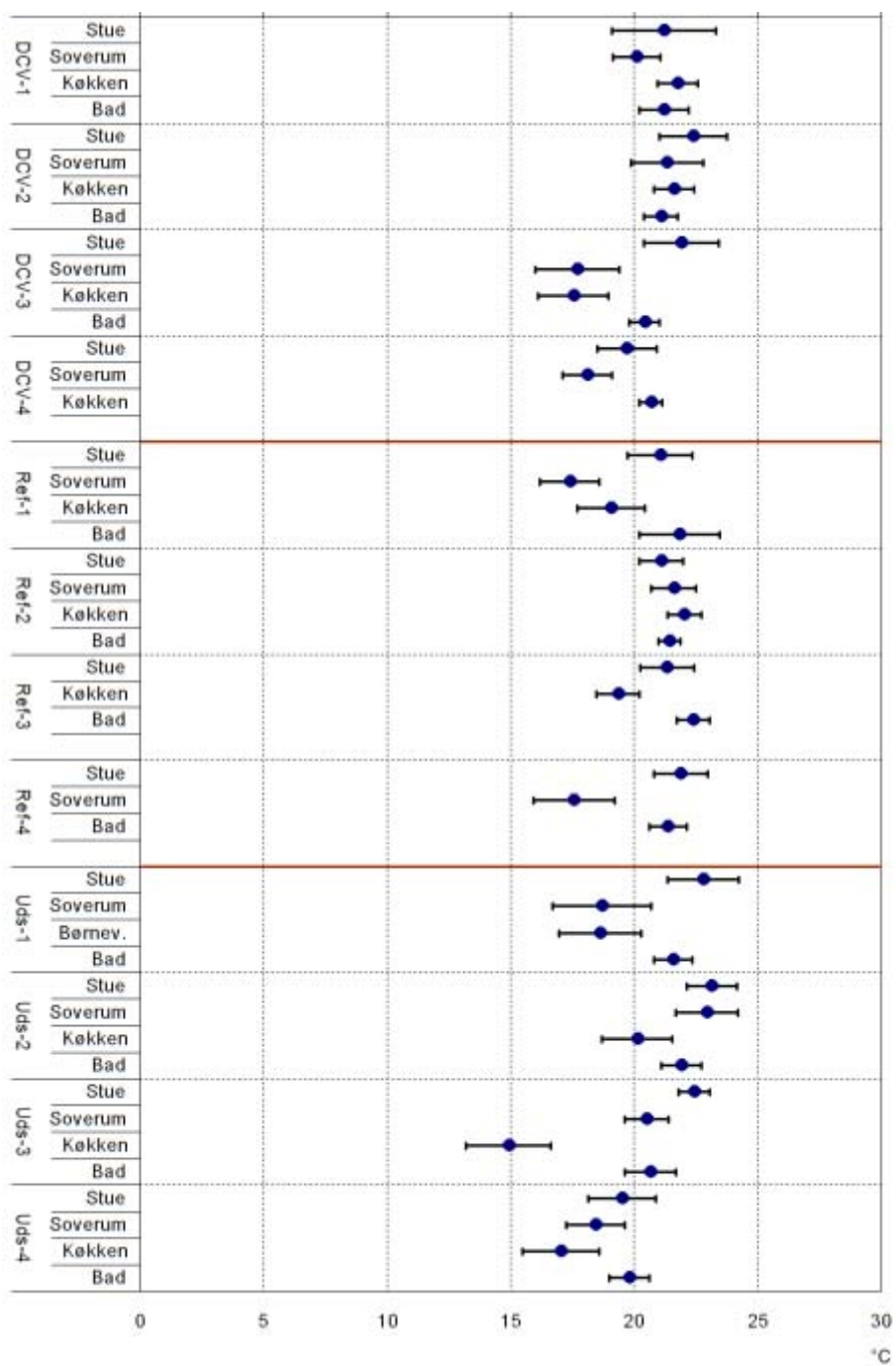
Figur 56. Se figurtekst til Figur 34 side 43.

Alle lejl. , individuelle rum, RH middelværdi og SD.



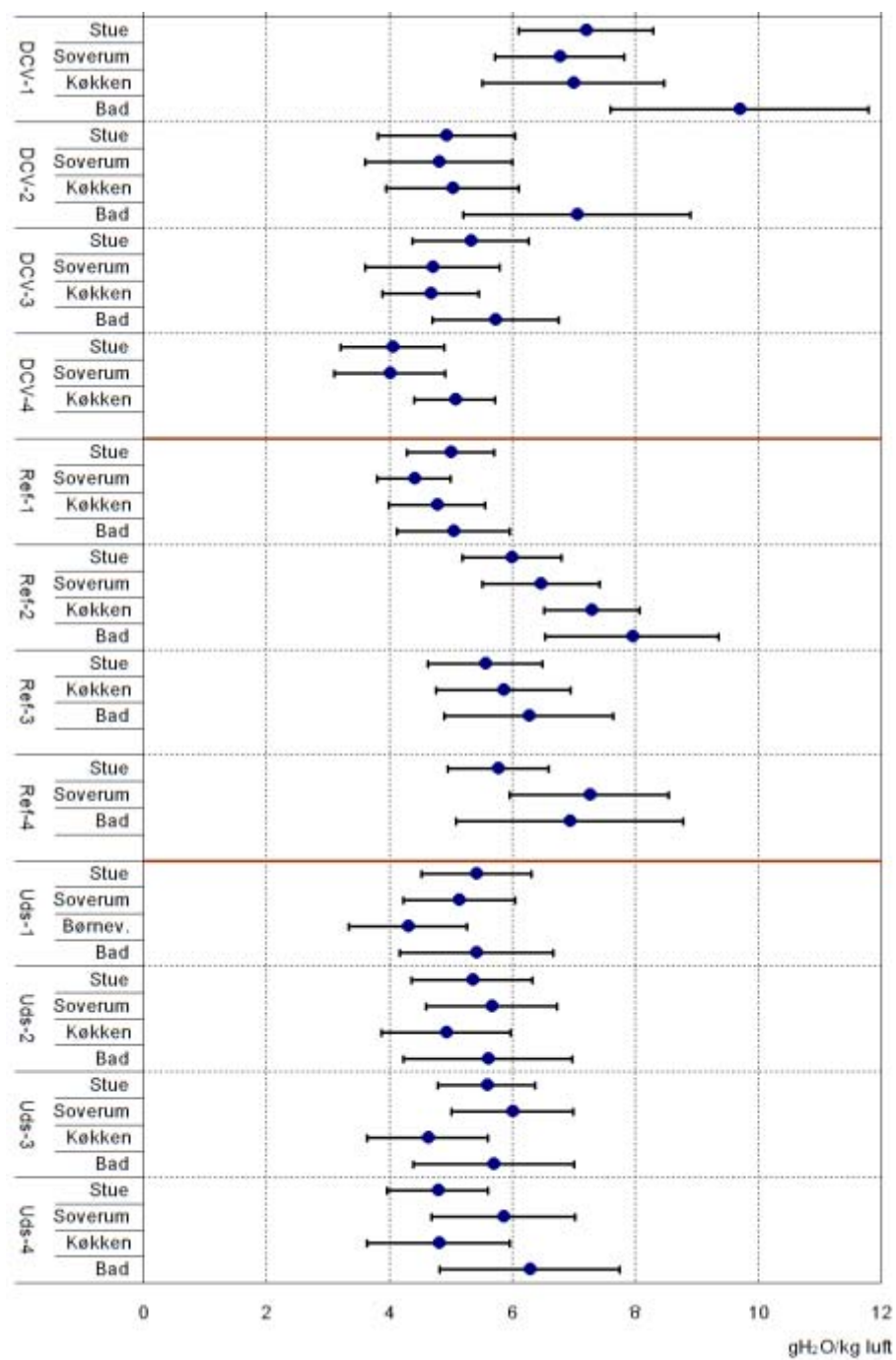
Figur 57. Figuren viser middelværdi og standardafvigelse på den målte relative fugtighed i de enkelte rum i de enkelte lejligheder.

Alle lejl. , individuelle rum, temp. middelværdi og SD.



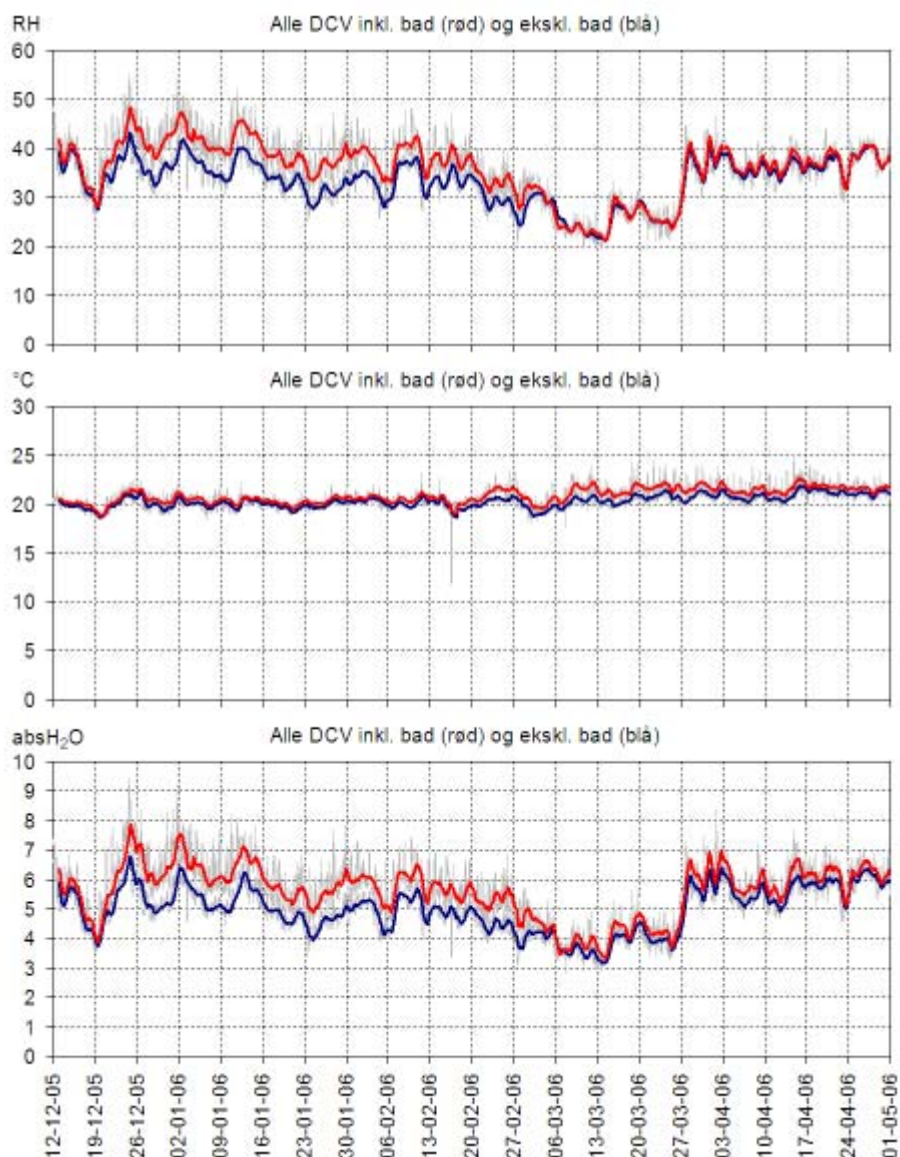
Figur 58. Figuren viser middelværdi og standardafvigelse på den målte rumtemperatur i de enkelte rum i de enkelte lejligheder.

Alle lejl., individuelle rum, absH₂O middelværdi og SD.

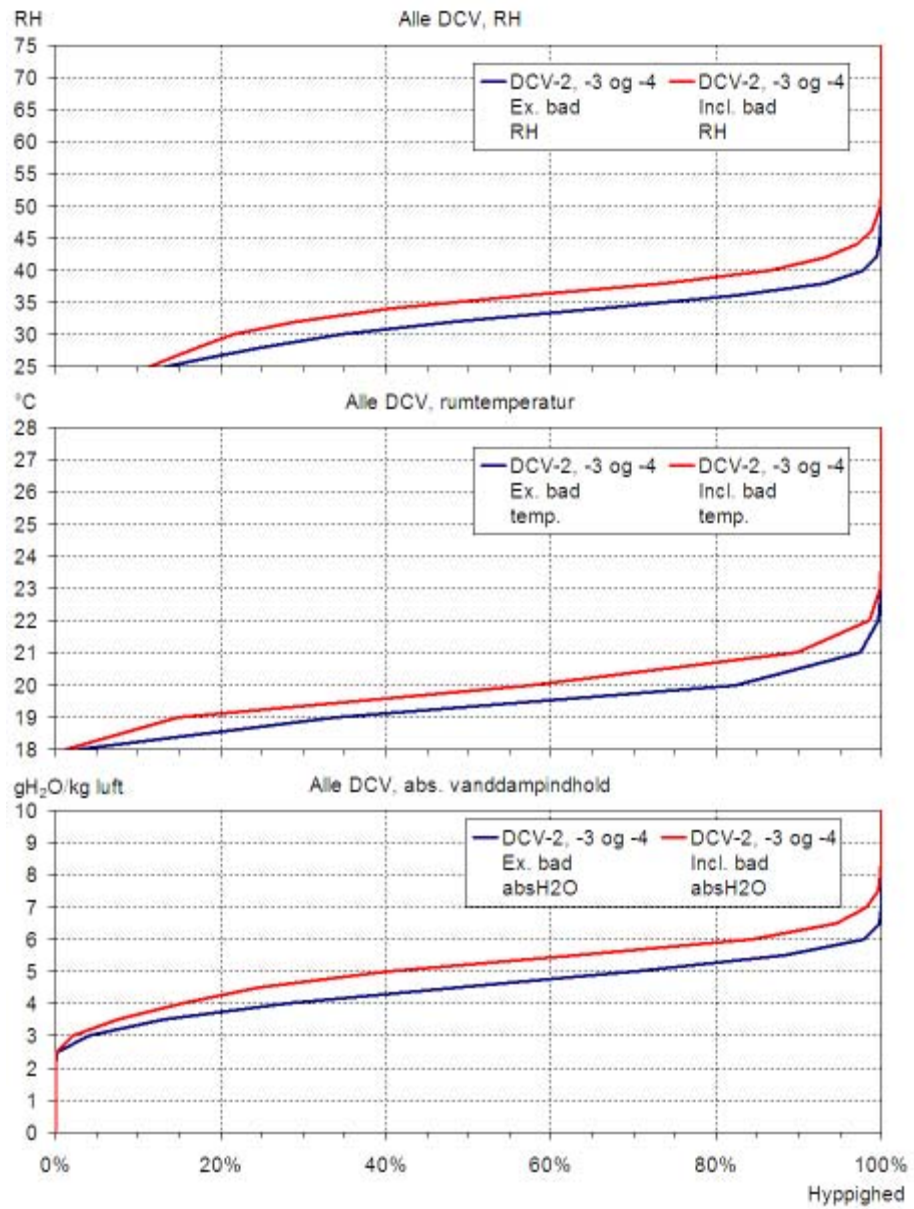


Figur 59. Figuren viser middelværdi og standardafvigelse på rumluftens absolutte vandindhold i de enkelte rum i de enkelte lejligheder. Det absolutte vandindhold er beregnet på grundlag af de målte relative luftfugtigheder og rumtemperaturer.

DCV, ekskl./inkl. bad, RH, temp., absH₂O.

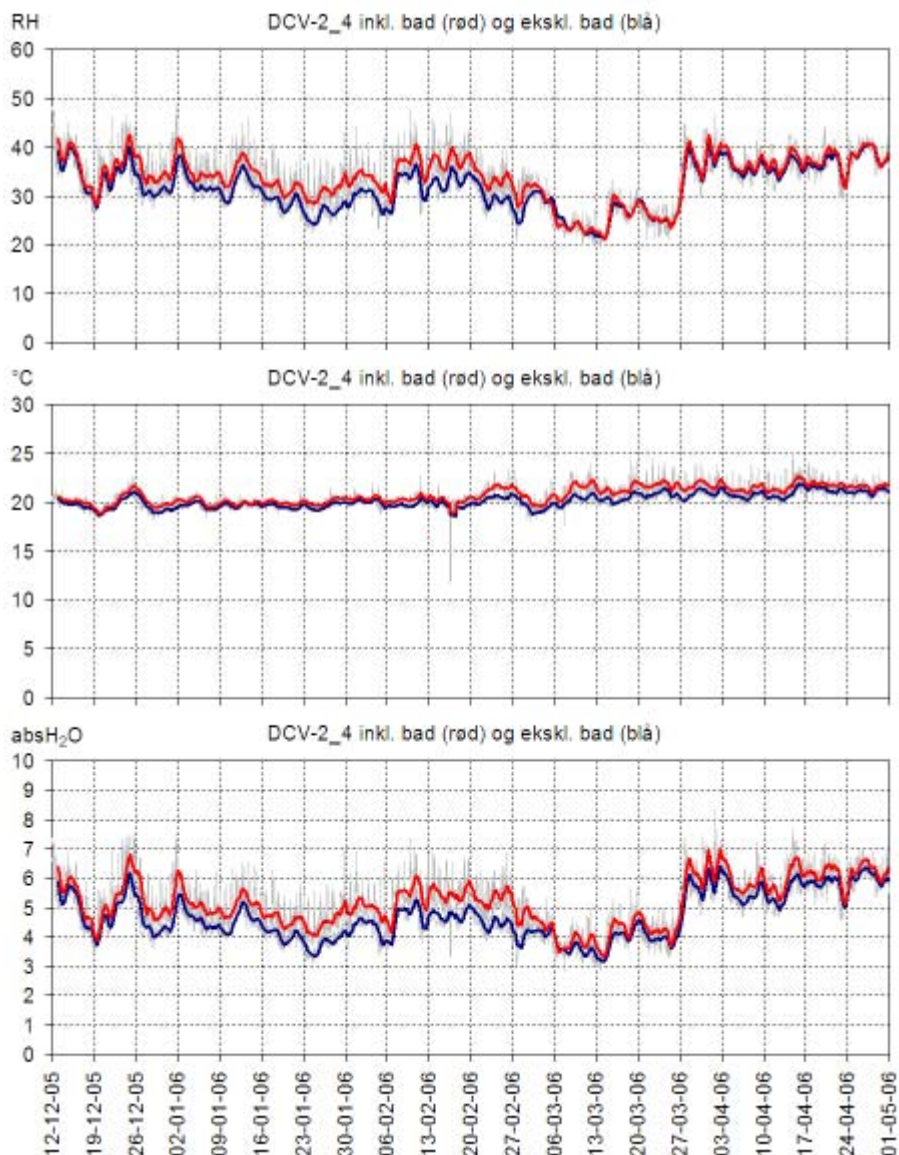


Figur 60. Figuren viser gennemsnittet for alle fire lejligheder med DCV af rumluftens relative fugtighed, rumtemperaturen og rumluftens absolutte vandindhold henholdsvis eksklusiv (blå kurve) og inklusiv (rød kurve) måleresultaterne fra baderummet. De lysegrå kurver er 15 minutters registreringer; de fuldt optrukne kurver er døgnmiddelværdier.

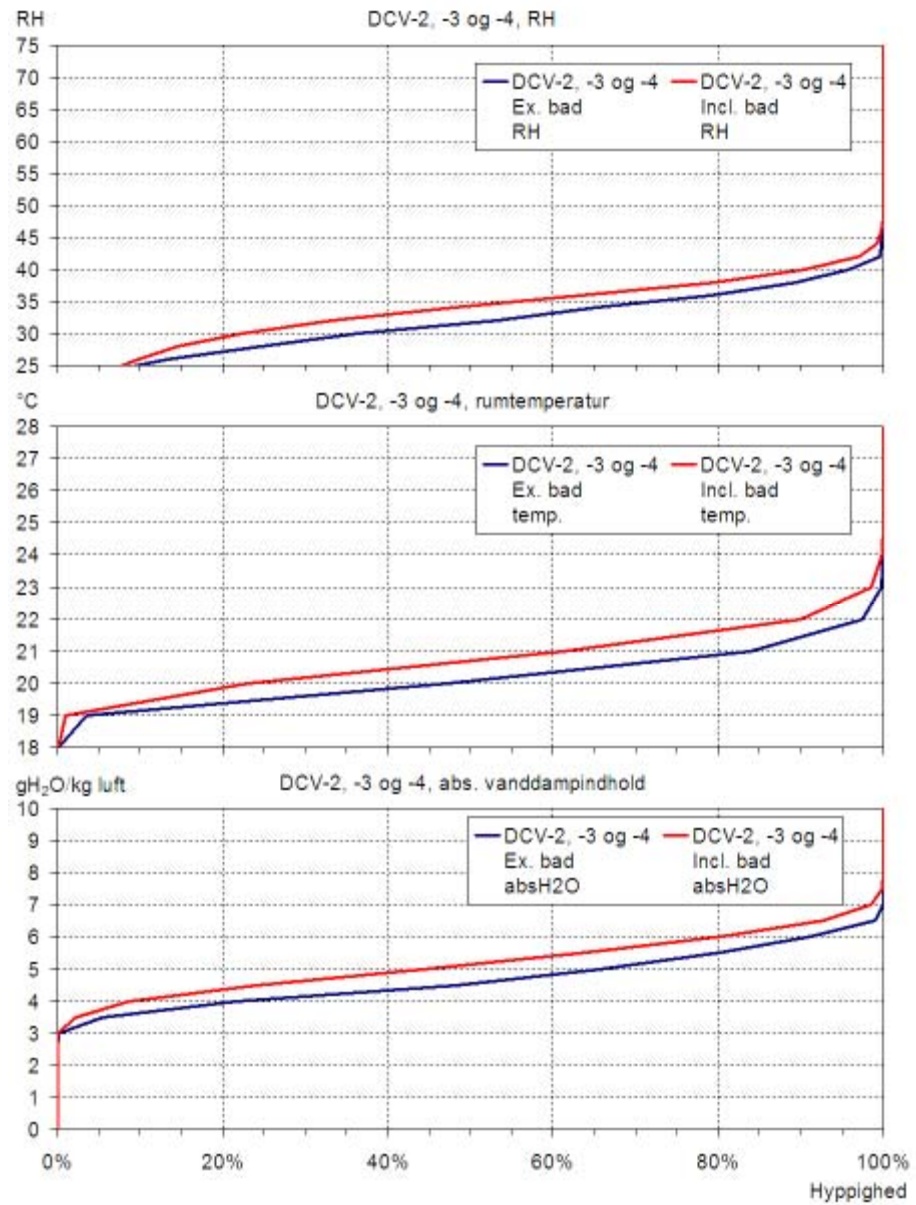


Figur 61. Se figurtekst til Figur 34 side 43.

DCV-2_4, ekskl./inkl. bad, RH, temp., absH₂O.

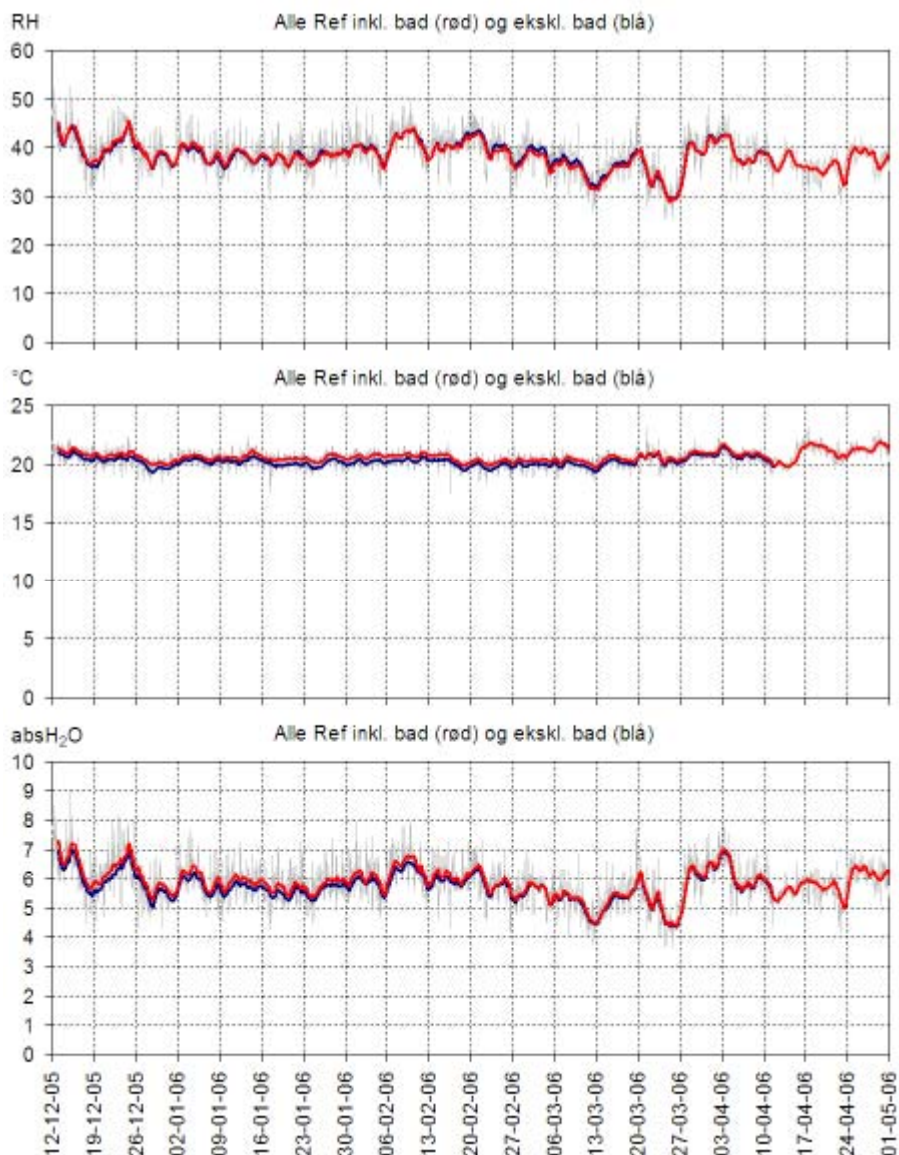


Figur 62. Figuren viser gennemsnittet for DCV-2, DCV-3 og DCV-4 af rumluftens relative fugtighed, rumtemperaturen og rumluftens absolutte vandindhold henholdsvis eksklusiv (blå kurve) og inklusiv (rød kurve) måleresultaterne fra baderummet. De lysegrå kurver er 15 minutters registreringer; de fuldt optrukne kurver er døgnmiddelværdier.

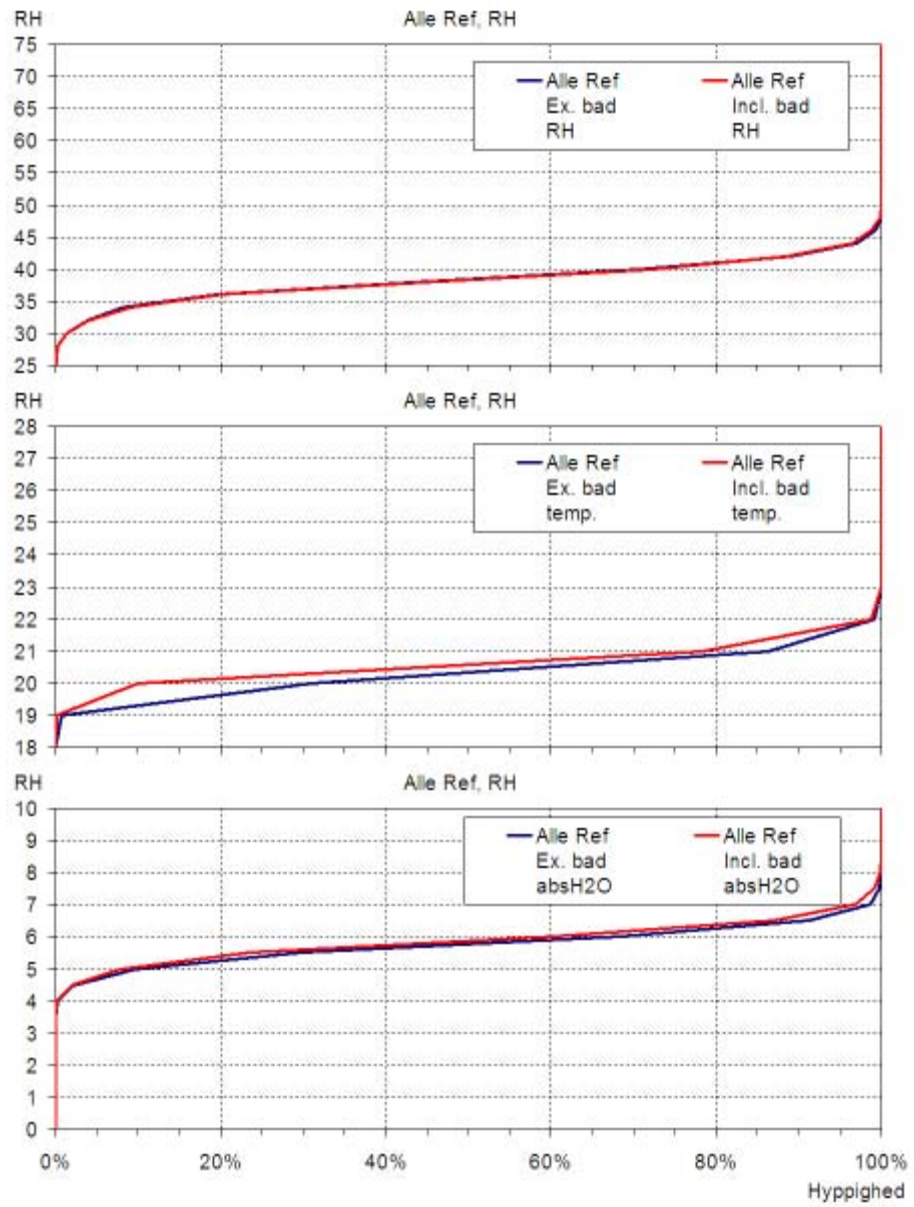


Figur 63. Se figurtekst til Figur 34 side 43.

Ref, ekskl./inkl. bad, RH, temp., absH₂O.

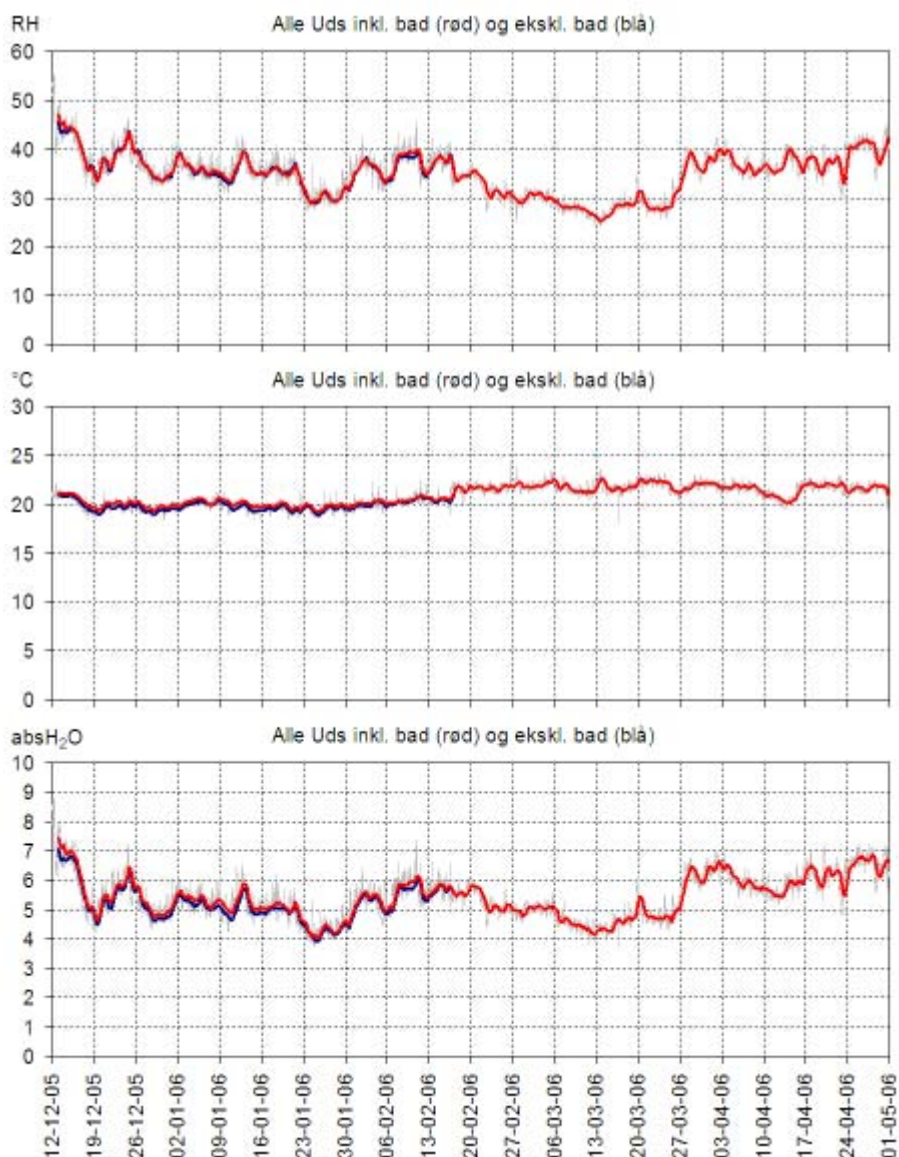


Figur 64. Figuren viser gennemsnittet for alle fire referencelejligheder af rumluftens relative fugtighed, rumtemperaturen og rumluftens absolutte vandindhold henholdsvis eksklusiv (blå kurve) og inklusiv (rød kurve) måleresultaterne fra baderummet. De lysegrå kurver er 15 minutters registreringer; de fuldt optrukne kurver er døgnmiddelværdier.

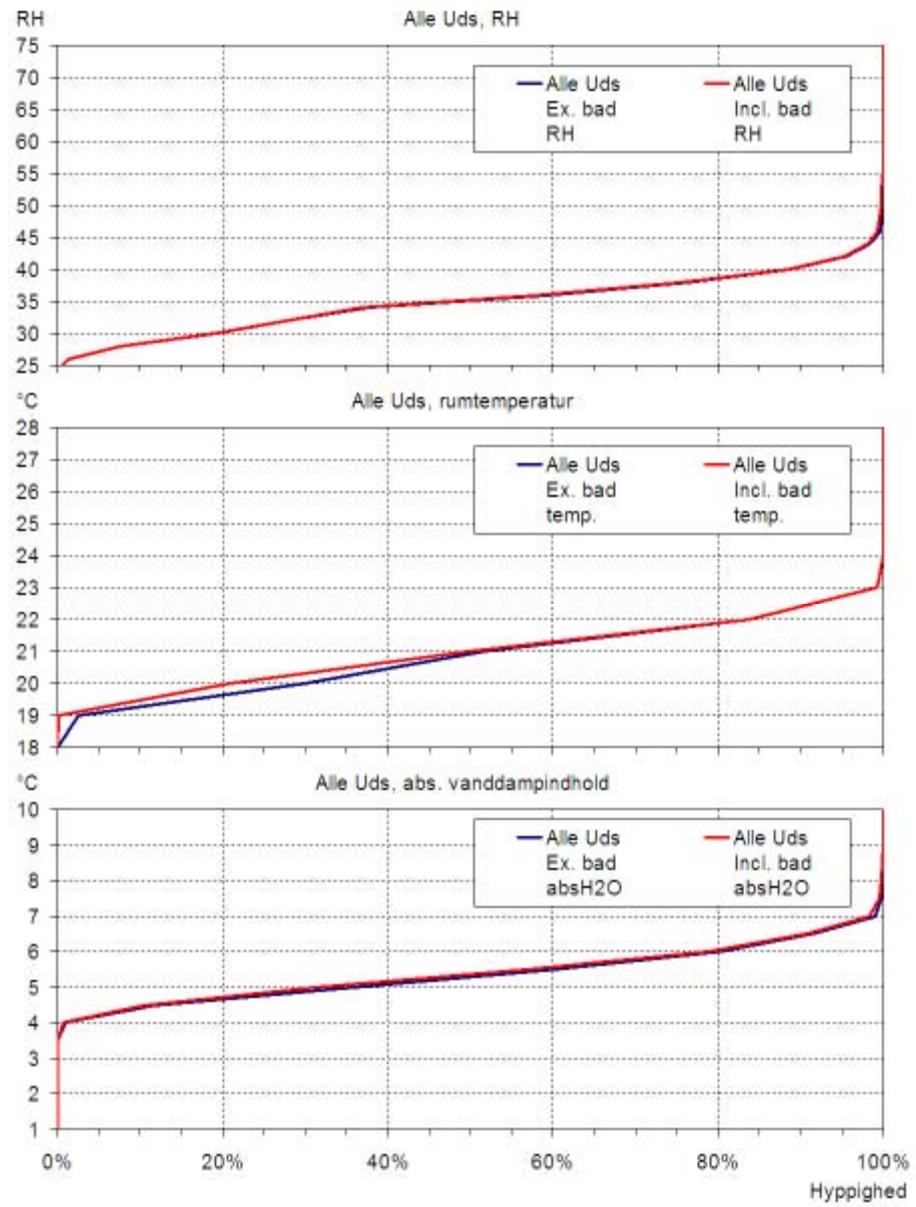


Figur 65. Se figurtekst til Figur 34 side 43.

Uds, ekskl./inkl. bad, RH, temp., absH₂O.



Figur 66. Figuren viser gennemsnittet for alle fire lejligheder med mekanisk udsugning af rumluftens relative fugtighed, rumtemperaturen og rumluftens absolute vandindhold henholdsvis eksklusiv (blå kurve) og inklusiv (rød kurve) måleresultaterne fra baderummet. De lysegrå kurver er 15 minutters registreringer; de fuldt optrukne kurver er døgnmiddelværdier.



Figur 67. Se figurtekst til Figur 34 side 43.

Idéen i behovsstyret ventilation er, at tilpasse ventilationen til menneskers og bygningers behov så der tilvejebringes et tilfredsstillende indeklima, og så energiforbruget begrænses. Denne rapport afslutter tredje og sidste fase i et projektprogram om behovsstyret boligventilation. De tidligere faser har omfattet teoretiske udredninger og laboratorieforsøg. I dette projekt er der i en etageboligbebyggelse på Frederiksberg installeret dels et behovsstyret ventilationsanlæg dels et traditionelt mekanisk udsugningsanlæg. Der er foretaget målinger i tolv lejligheder. Fire af lejlighederne var ventileret ved behovsstyret ventilation, fire ved traditionel mekanisk udsugning, og i de sidste fire lejligheder var ventilationen alene baseret på de oprindelige aftrækskanaler fra køkken og bad. I lejlighederne med behovsstyret ventilation var ventilationen styret efter rumluftens fugtighed.

1. udgave, 2008

ISBN 978-87-563-1330-8