





# I. Forord

Denne oppgaven er skrevet i anledning avslutningen av mastergraden innen byggeteknikk og arkitektur ved Norges miljø og biovitenskapelige universitet. Oppgaven omfatter 30 studiepoeng og ble utarbeidet våren 2014.

Trekonstruksjon og innemiljø i bygg er noen av de temaene jeg syntes er mest spennende, og som jeg i løpet av studiet har fått mer interesse for. Da en masteroppgave i samarbeid med Norsk Treteknisk institutt dukket opp grep jeg sjansen. Det har vært et spennende og utfordrende, men lærerikt semester.

Jeg vil gjerne benytte anledningen til å takke alle som har bidratt under arbeidet av rapporten. Studentsamskipnaden i Ås for tegninger over Kajaveien 15, Sebastian Knutsen ved fløy 5 som hjalp til med klimaskapet, Florian Antretter for kursing i WUFI®Pluss og veiledning i programmet i ettertid, Dimitris Kraniotis for all veiledning under masteroppgaven, Simen Lunder og Marie Skjelbred for hjelp med gjennomlesing samt venner og familie for all støtte under skriveprosessen. Sist men ikke minst vil jeg takke veilederne mine Tormod Aurlen ved NMBU og Kristine Nore ved Norsk Treteknisk institutt for all oppfølging, veiledning og motivasjon i løpet av oppgaven.

## II. Sammendrag

Masteroppgaven er skrevet i samarbeid med Norsk Treteknisk institutt og er en del av et større forskningsprosjekt de har sammen med Norges Miljø og Biovitenskapelige Universitet. Prosjektet er kalt WEEE – Wood, Energy and Experience.

Nordmenn oppholder seg stadig mer innendørs. Statistikken sier at en voksen person tilbringer 85-90% av sin tid innendørs. Samtidig som vi er mer inne, fører energikrav til at det stilles strengere krav til lufttettheten og isoleringen av bygg. Kombinasjonen av dette gjør inneklima til et viktig og nødvendig tema å diskutere. Dårlig inneklima kan være skadelig både for mennesker og bygningskonstruksjonen.

I denne oppgaven vurderes de termiske inneklima faktorene; temperatur og relativ fuktighet (RF) samt vanndampinnhold. Relativ fuktighet (RF) er essensielt ved undersøkelse av inneklima da det er med på å påvirke termisk komfort, bygningsmaterialenes levetid og utslipp, muggvekst, energibruk, menneskers oppfatning av kvaliteten til inneklima og menneskets helse. Tidligere forskning har bevist at tre har gode hygroskopiske egenskaper og er i stand til å ta til seg både fuktighet og varme, og dermed minke variasjonen av fukt og gi et lavere maksimalt fuktnivå innendørs fra daglige aktiviteter.

Oppgavens resultater er hentet inn ved hjelp av to forskjellige metoder, knyttet opp til hvert sitt forskningsspørsmål. Den første metoden omfatter målinger i en reell situasjon hvor de hygrotermiske egenskapene til tre blir undersøkt, og forsøkt påvist i en virkelig situasjon. Metode nummer to er simuleringer som utføres i det hygrotermiske bygningssimuleringsprogrammet WUFI®Plus. Her skal det undersøkes hvor stor prosentandel med eksponerte treoverflater som må til for å se en effekt på inneklimaet.

Målingene utføres i to leiligheter (A og B). Leilighetene har lik geometri, konstruksjon og samme ventilasjons og varmesystem. I leilighet B settes det inn ekstra treoverflater. Da baderommet viser store fuktpåkjenninger blir det valgt å gjøre ekstra forsøk på badet. For at resultatene skal bli bedre egnet for analyse blir forsøkene utført med kontrollerte omstendigheter. Alle de ekstra forsøkene på baderom blir utført på samme bad, både med og uten treoverflater og for alle ventilasjonsgrader på badet.

Simuleringene blir gjennomført for en modell av badet til leilighet A og B fra målingene. Det simuleres dusjsekvenser på 15 min, med fire forskjellige ventilasjonsgrader og åtte forskjellige andeler tre. Alt fra 0% til 100% treoverflate. Målingene gir ingen resultater som kan bevise den positive effekten eksponerte treoverflater har på inneklimaet. Her antas det å ha brukt for lite treoverflater i rommene, og man ser derfor ikke en tydelig forskjell på leilighet A og B.

Dusjforsøkene viser derimot tydeligere resultater. Fra forsøkene kan man konkludere med at treoverflater i rom med høye fuktpåkjenninger vil gi en positiv effekt. Dette ved å holde et

lavere vanndampinnhold i luften under hele sekvensen, og ved opptørking av rommet i ettertid. Simuleringene gav også resultater som viser at treoverflater gir en positiv effekt til inneklima. Her ser man størst effekt ved 100% treoverflate, men at treandeler helt ned til ca. 50-60% også vil gi god effekt.

Fra dusjforsøkene blir det i løpet av målingene gjort en bemerkning på det at vanndampen som oftest stiger rett til taket, og raskt trekkes ut av avtrekksvifta. Dampen vil av den grunn stort sett være i kontakt med taket. Når dampen kun er i kontakt med taket, og de øverste delene av veggen, vil det være vanskelig å oppnå stort nok treareal som er i kontakt med den fuktige luften. Arealet i taket ikke vil være stort nok til å gi ønsket effekt. Med dette i bakhodet kan en løsning være å lage en dobbel himling eller en baffel-himling som vil skape større treoverflate i taket. Dermed vil taket fungere som en regulator og holde klimaet på badet stabilt ved å utnytte fuktbufferingsegenskapene til tre.

### III. Abstract

This Master thesis is written in collaboration with the Norwegian institute of Wood Technology and is part of a bigger research project where they are collaborating with The Norwegian University of Life Science. The project is called WEEE - Wood, Energy and Experience. This thesis is taking a closer look at the interaction between wood surfaces and indoor climate.

Today we spend more of our time indoor then before. Statistics show us that a grown up person spend between 85-90% of his/her time indoors. At the same time they are increasing the demand for tight and highly insulated buildings. A combination of these two factors makes indoor environment in buildings important and necessary to discuss. Poor indoor climate can be damaging to people and the building envelope.

In this thesis factors of the thermal indoor environment are discussed. This includes temperature, relative humidity (RH) and moist content of the air. Relative humidity (RH) is essential when it comes to indoor climate research, and it can actually affect the thermal comfort, building material durability and emissions, mold growth, energy consumption, perception of indoor air quality and occupant health. Past research has shown that using materials with hygroscopic properties can absorb heat and moist and then moderate variations of the humidity and to reduce peaks of humidity levels in the indoors from diurnal activities.

The results of thesis are obtained with two different methods, each of them linked to a research question. The first method encompasses measurements in a real life situation. The second method includes simulations in WUFI®Plus, a hygrothermal building simulation software. The simulations investigate how large the wooden surface has to be to create an effect on the indoor climate.

The measurements are performed in two apartments (A and B). The apartments have the same geometry, building envelope and the same ventilation and heating system. In apartment B, extra wooden surface has been distributed around. The bathroom has large moisture loads and is therefore chosen for extra experiments. To make analyzing results more suitable the extra experiments are controlled. The experiments are thus performed in the same bathroom, with and without wooden surface and for all the ventilation levels. For the simulations a model of the bathroom from apartment A and B are used. Here, showers for 15 min are simulated. Four different ventilation levels and eight different proportions (from 0% to 100%) of wooden surfaces are tested.

The measurements show no results that can prove the positive effect exposed wooden surfaces have on the indoor climate. However, it is assumed that the amount of wooden surfaces is too small. That is why there is no evident difference between apartment A and B.

The shower experiments on the other hand, clearly show results. From these experiments one can conclude that wooden surfaces will have a positive effect in rooms with high moisture loads. This by maintaining the water vapor content low during high impacts of moisture and during the drying process after the impact. The simulations also showed a positive effect from the wooden surfaces in the indoor climate. They show that 100% wooden surfaces have the largest effect, but that wood surfaces all the way down to 50-60% can have a great effect as well.

From the shower experiments it is noticed that the water vapor rises straight to the ceiling and then gets removed by the extractor fan. The water vapor will therefore mostly affect the ceiling and the upper part of the walls. This makes it hard to achieve the adequate amount of wooden surface it takes to give a satisfying effect. With this in mind a solution could be to build a double ceiling or a baffle ceiling that will create a larger surface in the ceiling. This way the ceiling could work as a regulator and keep the climate stable by utilizing the moisture buffering capacity of wood.

## IV. Figurer

Figur 1 - skjematisk oppbygging av fiberstrukturen i bartre og langstrakte celler. Tegning: Norsk treteknisk institutt(Edwardsen et al. 2010) .....	14
Figur 2 – Tverrsnitt i trestamme som viser betegnelsene tverr, radial og Tangentialsnitt (Sagen 1999).....	15
Figur 3 – Forenklet bilde av poresystemer til materialer a)Ingen porer (eks. metal b)Kontinuerlig faststoff med lukkede porer (eks. skumglass) c)Både faststoff og poresystem er kontinuerlig (f.eks. betong, tre) d)Diskontinuerlig faststoff (f.eks. mineralull, sand) (Geving & Thue 2002).....	16
Figur 4 - viser energinivået ved forskjellige fuktinnhold i tre. Fuktigere trevirke trenger mindre energi for å frigjøre bundet vann. Ved 30% fuktinnhold er den totale fordampningsvarmen( $H_m$ ) lik fordampningsvarmen ( $H_v$ )(Siau 1984) .....	17
Figur 5 - Viser et luftfuktighetsdiagram som viser sammenheng mellom temperatur, RF, vanddampinnhold og damptrykk (Geving 1995). .....	19
Figur 6 – hvordan linseporene reagerer på kreften de blir utsatt for (Perré & Key 2006) .....	21
Figur 7 – Viser fuktinnholdet (u) i prosent av tørrvekten (Edwardsen et al. 2010).....	23
Figur 8 - Viser eksempler på sorpsjonskurver for forskjellige materialer. Figuren viser også hvordan hystereseeffekten vil virke inn på materialene (Geving & Thue 2002) .....	24
Figur 9 - Vannskade i baderom (Dinside.no 2012) .....	26
Figur 10 - viser hvilken effekt forskjellige overflatematerialer har på innendørs relativ fuktighet (Geving & Holme 2011). .....	28
Figur 11 - fukttilskudd som funksjon av luftskifte og fuktproduksjon (Geving 1995).....	29
Figur 12 - fuktlagringsfunksjonene for de hygroskopiske materialene murstein (brick), betong (concrete) og tre (wood). Metningsprosenten er vist i parentesene (Karagiozis et al. 2001). 33	
Figur 13 - Sammenligning av målinger og simuleringer for forskjellige type vær (Wufi-wiki.com 2001) .....	33
Figur 14 - Situasjonsplan for Kajaveien 15 .....	36
Figur 15 - Plantegning over leilighet B. Leilighet A har samme plantegning. De røde prikkene viser plassering til avtrekksvifte, tilluftskanal og sensorer .....	37
Figur 16 - bildene viser moduler av tre utplassert i leilighet B .....	39
Figur 17 - Bildene Viser treplanker fordelt utover baderommet. Bildet til høyre viser hvordan viften ble plassert.....	39
Figur 18 - Sensoren skrudd inn i trebitene .....	43
Figur 19 – Viser trefuktigheten, %WME .....	47
Figur 20 - Viser målt temperatur innendørs og temperatur ute for samme utvalgte periode	48
Figur 21 - Viser målt RF innendørs og RF ute for samme utvalgte periode .....	49
Figur 22- Viser svingninger i temperatur ved aktiviteter i Tabell 10.....	50
Figur 23 - Viser svingninger i RF ved aktiviteter i Tabell 10 .....	51
Figur 24 - Viser svingninger i RF ved aktiviteter i Tabell 11 i leilighet B.....	52



Figur 25 - Viser svingninger i temperatur ved aktiviteter i Tabell 11 i leilighet B.....	52
FIGUR 26 - SAMMENLIGNING AV SVINGNINGER I TEMPERATUR FOR KJØKKEN/STUE OG SOVEROM FOR TILFELDIG UTVALGT PERIODE I LEILIGHET A.....	53
Figur 27 -- Sammenligning av Svingninger i RF for kjøkken/stue og soverom for tilfeldig utvalgt periode i leilighet A.....	54
Figur 28 - Utslag fra aktiviteter ved utvalgt periode for baderom i leilighet B.....	55
Figur 29 - Utslag fra aktiviteter på baderom for valgt periode i leilighet A.....	56
Figur 30 - Viser resultatet for temperatur fra alle dusjforsøkene med ventilasjon 1.....	58
Figur 31 - Viser resultatet for RF fra alle dusjforsøkene med ventilasjon 1. Pilene illustrerer punktene i Figur 10.....	58
Figur 32 - Viser resultatet for temperatur fra alle dusjforsøkene med ventilasjonsgrad 2.....	59
Figur 33 - Viser resultatet for RF fra alle dusjforsøkene ved ventilasjonsgrad 2. Pilene illustrerer punktene i Tabell 16.....	59
Figur 34 - Viser resultatet for temperatur fra alle dusjforsøkene med ventilasjon 3.....	60
Figur 35 - Viser resultatet for RF fra alle dusjforsøkene med ventilasjon 3. Pilene illustrerer punktene i Tabell 18.....	61
Figur 36 - temperaturøkning for alle ventilasjonstallene ved dusjsimulering for tilfelle 1. Hentet fra vedlegg A.....	62
Figur 37 - RF for alle ventilasjonstallene ved .....	62
Figur 38 - viser temperaturen for alle ventilasjonstallene ved dusjsimulering for tilfelle 2 - uten treoverflater. Hentet fra vedlegg A .....	63
Figur 39 - Viser RF for alle ventilasjonstallene ved dusjsimulering for tilfelle 2 - uten treoverflate. Hentet fra vedlegg A .....	63
Figur 40 - Alle tilfellene samlet for ventilasjonsgrad 10l/s.....	64
Figur 41 - Viser temperaturen for simuleringstilfelle 1,2,3,5 og 8 for ventilasjons 5l/s. Pilen demonstrerer punkt 1 er som blir brukt i Tabell 19,.....	64
Figur 42 - relativ fuktighet for simuleringstilfellene 1,2,5,8 og 3 for ventilasjonsgrad 5l/s.....	65
Figur 43 - temperatur for simuleringstilfellene 1,2,3,5 og 8 for ventilasjonsgrad 10l/s.....	65
Figur 44 - Viser RF for simuleringstilfelle 1,2,3,5 og 8 for ventilasjonsgrad 10l/s .....	66
Figur 45 - Viser temperatur for simuleringstilfelle 1,2,3,5 og 8 for ventilasjonsgrad 15l/s.....	66
Figur 46 - Viser RF for simuleringstilfelle 1,2,3,5 og 8 for ventilasjonsgrad 15l/s .....	67
Figur 47 - Viser temperatur for simuleringstilfelle 1,2,3,5 og 8 for ventilasjonsgrad 30l/s.....	67
Figur 48 - Viser RF for simuleringstilfelle 1,2,3,5 og 8 for ventilasjonsgrad 30l/s. ....	68
Figur 49 - Figur 46 for RF ved simuleringene ved 10l/s.....	79
Figur 50 - Skisse av badet i praksis og hvordan damp stort sett kun vil være i kontakt med taket.....	83

## V. Tabeller

Tabell 1 - oversikt over fukttransportmekanismer som kan forekomme i praksis og drivpotensial for transportmekanisme (Geving & Thue 2002). .....	20
Tabell 2 - Viser forskjellige måter å angi fuktinnhold i et materiale (Geving & Thue 2002)....	22
Tabell 3 - Oversikt over fuktilder og hvor stor fuktproduksjon de har (Edvardsen et al. 2010; TenWolde & Pilon 2007). .....	26
Tabell 4 - Viser avtrekksbehov i spesialrom i boliger (Skåret & Blom 1994). .....	29
Tabell 5 - Viser rommenes flateareal og mengden tre ved runde 1 og 2 .....	38
Tabell 6 - Oversikt over sensornavn og plassering .....	40
Tabell 7 - Oversikt over forsøkene og hvordan de ble utført.....	41
Tabell 8 - Viser andelen tre brukt i hvert tilfelle for simuleringene .....	42
Tabell 9 - Viser inndata til simuleringene som avviker fra standardverdier for programmet. ....	43
Tabell 11 - Et utsnitt av tabell over aktiviteter i leilighet A fra vedlegg A.....	50
Tabell 12 - Utsnitt av aktivitetstabell for leilighet B i vedlegg A .....	52
Tabell 13 - aktivitet i utvalgt periode. Utsnitt fra aktivitetstabell for leilighet B i vedlegg A... ..	55
Tabell 14 - aktivitet i utvalgt periode. Utsnitt fra aktivitetstabell for leilighet A i vedlegg A ..	56
Tabell 15 - forsøksnummer og hvilke forhold og ventilasjonsgrad det ble brukt for hvert forsøk.....	57
Tabell 16 - Oversikt over RF, temperatur og vanndampinnhold ved punkt 1, 2 og 3 for ventilasjonsgrad 1. Punktene er illustrert i .....	58
Tabell 17 - Oversikt over RF, temperatur og vanndampinnhold ved punkt 1, 2 og 3 for ventilasjonsgrad 2. Punktene er illustrert i .....	60
Tabell 18 – Oversikt over RF, temperatur og vanndampinnhold ved punkt 1, 2 og 3 for ventilasjonsgrad 3. Punktene er illustrert i .....	61
Tabell 19 - Oversikt over tilfellene utført i simuleringene og hvor stor treandel hver hadde. ....	62
Tabell 20 - Viser vanndampinnholdet for maks RF med temperatur og for et utvalgt punkt 1 vist i Figur 43 for Ventilasjonsgrad 5l/s .....	68
Tabell 21 - Viser vanndampinnholdet for maks RF med temperatur og for et utvalgt punkt 1 vist i x. Ventilasjonsgrad 10l/s.....	69
Tabell 22 - Viser vanndampinnholdet for maks RF med temperatur og for et utvalgt punkt 1 vist i Figur 43 for xVentilasjonsgrad 15l/s .....	69
Tabell 23 - Viser vanndampinnholdet for maks RF med temperatur og for et utvalgt punkt 1 vist i Figur 43 for Ventilasjonsgrad 30l/s.....	69
Tabell 24 - Forklaring av forsøkens tilstand for badet .....	75
Tabell 25 - Vanndampinnhold for høyeste RF ved alle ventilasjonsgrader .....	76
Tabell 26 - Økningen i temperatur på grunn av latent varme for 5l/s og 30l/s.....	78
Tabell 27 - RF alle ventilasjonsgradene for tilfelle 1,6 og 4 .....	79
Tabell 28 - Vanndampinnhold ved punkt 1 .....	80
Tabell 29 - Vanndampinnhold ved punkt 2, maks RF.....	80
Tabell 30 - Sammenligning av vanndampinnhold for målingene og simuleringene.....	83

## VI. Innholdsfortegnelse

I.	Forord .....	1
II.	Sammendrag.....	2
III.	Abstract.....	4
IV.	Figurer.....	6
V.	Tabeller .....	8
1.	Innledning.....	11
1.1.	Bakgrunn .....	11
1.2.	Formål.....	11
1.3.	Problemstilling.....	12
1.4.	Oppgavens oppbygging .....	13
1.5.	Omfang og begrensninger .....	13
2.	Teori.....	14
2.1.	Gran som trevirke.....	14
2.2.	Varme .....	16
2.3.	Fukt.....	18
2.4.	Inneklima .....	25
2.5.	WUFI Plus .....	30
3.	Metode .....	34
3.1.	Forskningsdesign og forskningstilnærming .....	34
3.2.	Datainnsamling.....	35
3.3.	Simulering med WUFI®Pluss.....	41
3.4.	Metodekvalitet og usikkerheter .....	43
4.	Resultat.....	47
4.1.	Målinger .....	47
4.2.	Dusjforsøk.....	56
4.3.	WUFI simuleringer.....	62
5.	Diskusjon.....	70
5.1.	Målinger .....	70
5.2.	Dusjforsøk.....	75
5.3.	WUFI simuleringer.....	77

6.	Konklusjon .....	85
7.	Videre arbeid .....	86
8.	Kilder .....	87

# 1. Innledning

## 1.1. Bakgrunn

Denne masteroppgaven skrives i samarbeid med et større forskningsprosjekt kalt WEEE - Wood, Energy, Emissions and Experience. Prosjektet er ledet av Norsk Treteknisk institutt og NMBU, Norges Miljø og Biovitenskapelige universitet. Prosjektet ser nærmere på trefysikk, interaksjon mellom treoverflate og inneklima og mulige helseeffekter (Tellnes et al. 2012).

I Norge stilles det i dag stadig strengere krav til energibruken i bygg. Energibehovet til oppvarming i bygg har siden 1997 blitt senket 25% fram til dagens TEK10. Dette fører til at kravene for bedre varmeisolering, varmegjenvinning i ventilasjonsanlegg og bedre lufttetthet i bygningsdelene skjerpes (Blom & Uvsløkk 2012). Samtidig bruker vi mer tid innendørs. I dag bruker en voksen person mellom 85-90% av tiden sin innendørs. Kombinasjonen av disse faktorene gjør at viktigheten for diskusjon av temaet inneklima er økende (TreFokus 2007).

I denne oppgaven skal det sees nærmere på temperatur og fuktighet. Dette er viktige faktorer for det inneklimaets termiske miljø. Luftens fuktighet oppgis som relativ fuktighet. Tidligere forskning har vist at relativ fuktighet påvirker termisk komfort, materialets levetid og avgassing, mugg og bakterievekst, energibruk, oppfatnings av inneklima for beboere og beboernes helse (Geving & Thue 2002).

## 1.2. Formål

I dag blir flere bygg oppført i massivtre. Det er flere positive aspekter ved bruk av massivtre, men gir det en positiv effekt for innendørs klima? Formålet med oppgaven er å undersøke om bruken av massivtre som innendørs overflate vil ha en positiv effekt for innendørs klima. Mer nøyaktig skal oppgaven se nærmere på ubehandlede treoverflater innendørs, og hvordan de påvirker fuktbalansen og temperaturen. Tidligere forskning viser blant annet at tre har gode hygroskopiske egenskaper (Geving & Holme 2011; Hameury 2005; Korsnes 2012; Osanyintola & Simonson 2006) Korsnes (2012) viser gjennom hygrotermiske simuleringer at hygroskopiske overflater har kapasitet til å dempe variasjoner i relativ fuktighet. I denne oppgaven er det gjort målinger for å undersøke en slik effekt, samt å påvise effekten i en virkelig situasjon.

### 1.3. Problemstilling

Denne oppgaven forsøker å bevise den positive effekten eksponerte treoverflater innendørs kan ha på inneklimate. Dette gjøres gjennom målinger utført i to like leiligheter hvor det er installert moduler av tre i den ene leiligheten. Den andre leiligheten brukes som referanse. Det er kun de termiske inneklimatefaktorene, fuktbalanse, temperatur og vandampinnhold, som skal vurderes.

Videre brukes et simuleringsprogram til å gjøre en parameterstudie hvor mengden av treoverflate innendørs skal varieres. Slik kan det gjøres en vurdering av hvor mye treoverflate som trengs for at et slikt materiale skal påvirke inneklimate.

Oppgaven vil fokusere på følgende forskningsspørsmål:

1. Basert på målingene som blir gjort, kan man si at inneklimate i leiligheter med eksponert treoverflater er bedre enn leiligheter uten? Vil slike leiligheter også ha et bedre termisk inneklimate enn leiligheter som ikke har eksponert treoverflate?
2. Hvor stor effekt vil ulike andeler av eksponert treoverflater gi med tanke på temperatur, relativ fuktighet, vandampinnhold og latent varme ved forskjellig ventilasjonsgrader? Hvilken andel eksponert treoverflate vil ha størst effekt på inneklimate?

## 1.4. Oppgavens oppbygging

Oppgavens oppbygging følger anbefaling fra Busch (2013) og består av teori, metode, resultat, diskusjon og konklusjon.

Etter en innledning det tema og bakgrunn for oppgaven beskrives følger teori kapitlet som viser relevante teoretiske tilnærminger innenfor temaet. Dette inkluderer teori om egenskapene til tre, fukt, noe varme, samt inneklime og simuleringsprogrammet, WUFI®Pluss, som er brukt i oppgaven. Teorien skal danne en et grunnlag for målingene og for å drøfte overordnende forskningsspørsmål.

Videre redegjøres det for de metodiske valgene som ble gjort før og under datainnsamlingen. Det blir blant annet sett på valg av forskningsdesign, datakilder og kvalitet. I tillegg diskuteres fordeler samt usikkerheter med metodene.

I kapittel 4 presenteres dataen som er samlet inn, samt en fremstilling av resultatene. I diskusjonskapitlet analyseres og drøftes dataen opp mot teori og forskningsspørsmål. Tilslutt gis det en oppsummering av resultatene og en konklusjon av forskningen.

Oppgavens oppbygging er teori, metode, resultater, diskusjon og konklusjon. Tabell 1 gir en oversikt over kapitlene og kapittelbeskrivelse.

I teoridelen presenteres relevante teoretiske grunnlag innenfor temaet. Dette inkluderer teori om egenskapene til tre, fukt, noe varme, samt inneklime og simuleringsprogrammet, WUFI®Pluss, som er brukt i oppgaven. Teorien skal danne en et grunnlag for målingene og for å drøfte overordnende forskningsspørsmål.

Videre gis det en beskrivelse av de metodiske valgene som ble gjort før og under datainnsamlingen. Det blir blant annet sett på valg av forskningsdesign, datakilder og kvalitet. I tillegg diskuteres fordeler samt usikkerheter med metodene.

## 1.5. Omfang og begrensninger

Denne masteroppgaven er skrevet våren 2014 som avslutning ved Norges Miljø og Biovitenskapelige Universitet (NMBU). En slik oppgave er avgrenset i både tid og omfang og det er nødvendig å sette noen begrensninger.

I oppgaven undersøkes eksponerte treoverflaters effekt på innemiljø gjennom å måle de termiske faktorene; temperatur og relativ fuktighet. Ut ifra temperatur og relativ fuktighet vil vanddampinnholdet i luften vurderes. Det sees ikke på lyd, lys eller psykiske påkjenninger av materialbruk. Det er heller ikke tatt hensyn til det helsemessige aspektet ved fukt.

Disse forholdene vil kun vurderes ved bruken av en type material; treoverflater av norsk ubehandlet gran.

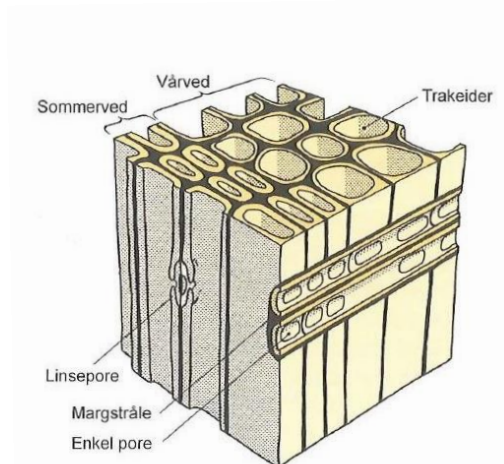
## 2. Teori

Teoriens materiale er i hovedsak hentet fra Byggforsk sine byggeblader, Fukt i bygninger, Trehusboka, Transport Processes in wood. Teorien forklarer en rekke uttrykk knyttet til fuktighet og trematerialer, og skal skape et grunnlag for målinger og WUFI-simuleringer. I tillegg skal den delen bidra til å analysere resultatene.

### 2.1. Gran som trevirke

Tre og trevirke har vært det viktigste konstruksjonsmateriale i Norge opp gjennom tiden. Enkel produksjon, lokal tilgang og stor styrke i forhold til vekt er de viktigste fordelene til trevirke (Edwardsen et al. 2010).

I Norge er det gran, sammen med furu, som hovedsakelig har vært brukt til husbygging (Edwardsen et al. 2010). Granvirke (nåletrær) består av celler eller fibre kalt trakeider. Disse fibre ligger som sugerør i trees lengderetning. På tvers av fibre går margstråler som er belter av transportceller. Mellom cellene er det porer, kalt linseporer, som muliggjør væsketransport.



FIGUR 1 - SKJEMATISK OPPBYGGING AV FIBERSTRUKTUREN I BARTRE OG LANGSTRAKTE CELLER. TEGNING: NORSK TRETEKNISK INSTITUTT (EDVARSDEN ET AL. 2010)

Ny ved dannes i det ytterste laget, kalt kambiet. Den ytterste veden kalles yteved. Denne delen er fylt med vann som transporteres fra rota til krona, hvor byggestoffene dannes. Ettersom tverrsnittet vokser behøver ikke treet at alle cellene suger opp vann. Den innerste veden blir derfor omdannet til kjerneved som er luftfylte celler uten funksjon (Foslie 2012). Årringer er sirkler på tverrsnittet til veden og representerer veden som dannes hvert år. Man skiller mellom to typer; vårved og sommerved. Vårveden er lys og har celler med tynne



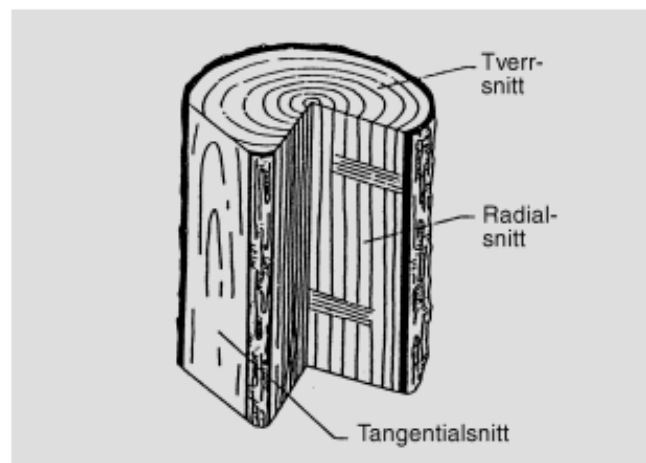
vegger og store cellehulrom. Denne type ved har lav densitet. Sommerveden er i motsetning mørk med tykke cellevegger og små cellehulrom (Store norske leksikon 2012).

### 2.1.1. Densitet

Med densiteten menes massen per volum, altså egenvekten. Forholdet mellom cellevegg og cellehulrom er avgjørende for densiteten. Jo tettere cellehulrom, jo større densitet. Dette er grunnen til at vår- og sommerved har forskjellig densitet. Siden treet tar til seg fuktighet og fuktighet gjør treet tyngre, vil densiteten være avhengig av fuktighetsinnholdet. Dette er grunnen til at densiteten oppgis sammen med fuktinnholdet. Ved helt tørr tilstand er densiteten til gran  $430\text{kg/m}^3$ . Ved 12% fuktighet er den  $460\text{kg/m}^3$ . Høy densitet gir høy fasthet (Geving & Thue 2002; Skogstad 2009).

### 2.1.2. Fasthet

Trevirke er et anisotrop materiale og har forskjellige egenskaper i tre akseretninger; langs fibre, radielt og tangentielt. Figur 2 illustrerer retningene i trevirke. I fiberretningen har trevirke størst strekkfasthet, ca.  $100\text{MPa}$ , mens på tvers er den kun  $1/40$  stor. Trykkfastheten i fiberretningen er  $35\text{MPa}$ , mens på tvers av fiberretningen er den  $1/6$  (Høyskolen i Gjøvik 2009). Høyere fuktinnhold minker fastheten.



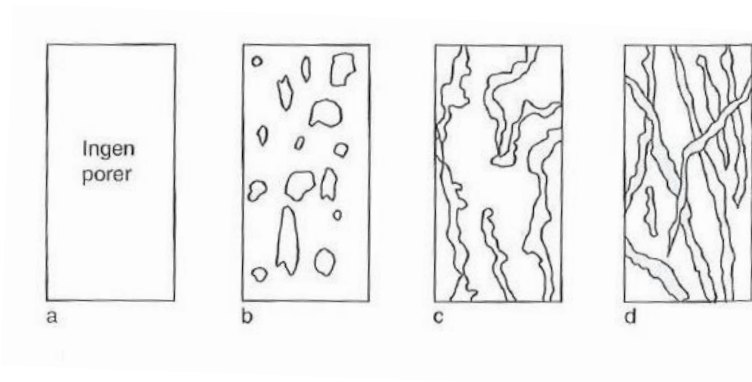
FIGUR 2 – TVERRSNITT I TRESTAMME SOM VISER BETEGNELSENE TVERR, RADIAL OG TANGENTIALSNITT (SAGEN 1999)

### 2.1.3. Poresystemet og porøsitet

Utformingen av poresystemet til materialer er vesentlig for fukktransport og fuktopptak. Store porer gjør at materialet transporterer vannet raskere, mens i små porer vil vannet bindes raskere. Ved rask binding kan man oppnå større fuktinnhold. Poresystemet defineres ut fra materialstrukturen. I Figur 3 vises en oversikt over ulike materialer og deres poresystemer. For tre vist i bilde c er både faststoff og poresystem kontinuerlig.

Materialene i bilde b, c og d har alle en form for porer og kan derfor binde fukt. Denne egenskapen gjør materialene hygroskopiske (Straube 2006). Det er denne egenskapen som

gjør at tre kan absorbere og desorbere fuktigheten fra og til luften rundt seg, slik at den er i likevekt med den relative fuktigheten.



**FIGUR 3 – FORENKLET BILDE AV PORESISTEMER TIL MATERIALER A)INGEN PORER (EKS. METAL B)KONTINUERLIG FASTSTOFF MED LUKKEDE PORER (EKS. SKUMGLASS) C)BÅDE FASTSTOFF OG PORESISTEM ER KONTINUERLIG (F.EKS. BETONG, TRE) D)DISKONTINUERLIG FASTSTOFF (F.EKS. MINERALULL, SAND) (GEVING & THUE 2002)**

Den andelen vann et materiale kan inneholde bestemmes av porøsiteten. Porøsiteten er andel porevolum i forhold til materialets totalt volum. Geving & Thue (2002) uttrykker porøsitet ved:

$$n = 1 - \left( \frac{\rho}{\rho_s} \right)$$

$\rho$  = romdensiteten i materialet

$\rho_{sol}$  = densiteten av materialets faststoff

## 2.2.Varme

### 2.2.1. Latent varme

Faseoverganger, for eksempel når vann går over til damp, krever ekstra energi. Ved denne prosessen vil det skje en endring i varmeinnholdet uten at temperaturen endres. Dette kalles latent varme (J/kg)(Store norske leksikon 2009). Ved smelting og fordampning må denne varmen tilsettes, mens ved størkning og kondensasjon frigis denne varmen (Geving & Thue 2002). Når treoverflater tar til seg fukt innendørs går fukten fra dampform til væskeform, og det dannes en fordampningsvarme. Tidligere studier hevder at utnytting av slik latent varmeutveksling og fuktbufring i eksponerte treoverflater har et stort potensial for energisparing (Osanyintola & Simonson 2006).

Den totale varmen som trengs for å gå fra damp til is, summen av smeltevarme og fordampningsvarme, kalles sublimasjonsvarme og uttrykkes slik:

$$H_s = H_i + H_v$$

$H_i$  = smeltevarme

$H_v$  = fordampningsvarmen

### 2.2.2. Adsorpsjonsvarme

Adsorpsjon er prosessen da vannmolekyler blir bundet til en fast overflate, for eksempel treets cellevegg. Energien som binder partiklene er adsorpsjonsvarmen (Time 1998). Vannmolekyler adsorbent til et materiale har lavere damptrykk enn flytende vann. Dette betyr at det kreves mer energi for at adsorbent vann, i motsetning til flytende vann, skal omformes til damp (Hameury 2005).

Adsorpsjonsvarmen kan beregnes ved den empiriske formelen beskrevet av (Hameury 2005) etter (Skaar 1988):

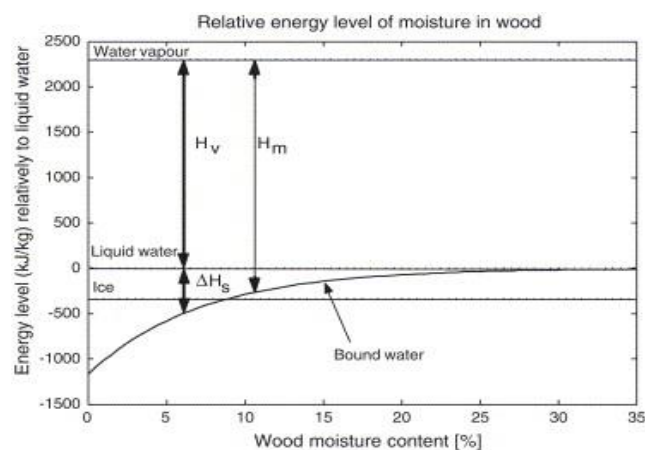
$$\Delta H_s(u) = 1.17 \times 10^6 \exp(-14u)$$

$u$  = vanninnholdet i trevirket

Basert på dette kan vi finne formelen for den totale fordampningsvarmen når fukt blir tatt opp i trevirke (latent varme + adsorpsjonsvarme).

$$H_m = H_v + \Delta H_s$$

Fra Figur 4 kan man se at fuktigere trevirke krever mindre energi for å frigjøre bundet vann.



FIGUR 4 - VISER ENERGINIVÅET VED FORSKJELLIGE FUKTINNHOOLD I TRE. FUKTIGERE TREVIRKE TRENGER MINDRE ENERGI FOR Å FRIGJØRE BUNDET VANN. VED 30% FUKTINNHOOLD ER DEN TOTALE FORDAMPNINGSVARMEN ( $H_m$ ) LIK FORDAMPNINGSVARMEN ( $H_v$ ) (SIAU 1984)

## 2.3.Fukt

### 2.3.1. Luftfuktighet

Luft inneholder alltid fukt i form av vanndamp. Mengden er avhengig av temperaturen i luften. Varm luft kan holde på mer fukt enn kald luft. Fuktmengde, også kalt absolutt fuktinnhold, kan angis som:

- vanndampinnholdet -  $v$  [ $\text{g}/\text{m}^3$ ]
- vanndamptrykk/vanndampens partialtrykk -  $p_v$  [ $\text{Pa}$ ] = [ $\text{N}/\text{m}^2$ ]
- fuktgrad/vanndampmasse per kg tørr luft -  $x$  [ $\text{kg}/\text{kg}$ ]

Øvre grense på luftfuktinnholdet kalles metningstrykket/vanndamptrykk [ $\text{Pa}$ ] eller metningsinnhold/vanndampinnhold [ $\text{g}/\text{m}^3$ ]. Ytterligere fukt som tilføres etter dette punktet gjøres om til kondens. Det vil også oppstå kondens hvis lufttemperaturen synker ved denne tilstanden. Derfor kalles temperaturen hvor metningstrykket oppnås for duggpunktet (Geving & Thue 2002).

### 2.3.2. Relativ fuktighet

Relativ fuktighet er hvor mye fuktighet luften inneholder i forhold til kapasiteten til luften ved en gitt temperatur (Edvardsen et al. 2010; Geving 1995). Ved duggpunktet er den relative fuktigheten 100 %. Relativ fuktighet (RF) kan defineres som forholdet mellom vanndampinnholdet og metningsinnhold (Siau 1984).

$$RF = \frac{v}{v_{sat}} \times 100\%$$

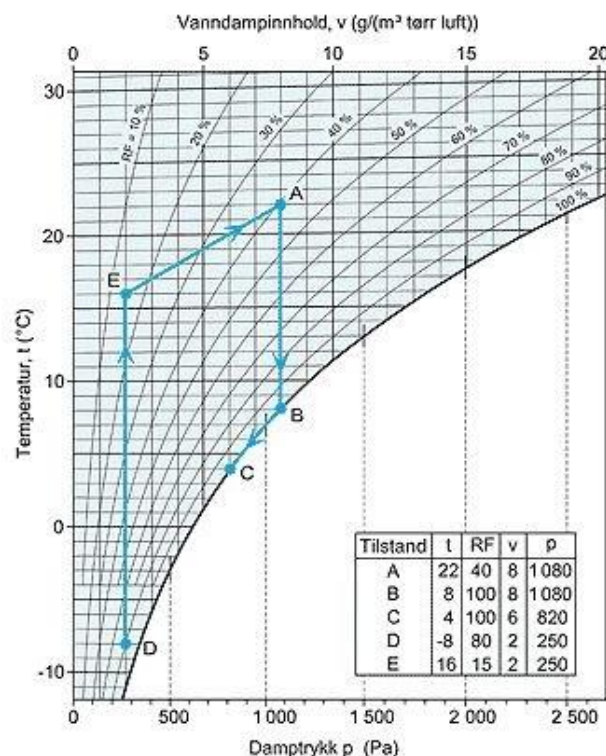
Hvor

$v$  = vanndampinnhold

$v_{sat}$  = metningsinnhold

### 2.3.3. Molliers diagram

Molliers diagram vist i Figur 5 kalles også luftfuktighetsdiagram og viser sammenhengen mellom temperatur, relativ fuktighet, vanddampinnhold og damptrykk. Dersom to av faktorene er kjent kan man finne de andre to. Normalt er det temperatur og relativ fuktighet som oppgis for at man videre finner vanddampinnholdet eller damptrykket i luften. I avsnitt 2.3.1 ble de uttrykkene forklart nærmere. I Figur 5 har tilstand A sin inneluften en temperatur på 22°C og 40 % RF. Dette betyr at vanddampinnholdet er ca. 8,0 g/m<sup>3</sup> og damptrykket er 1100Pa. Hvis temperaturen synker til tilstand B stiger RF. I tilstand B er RF 100%. Synker temperaturen enda mer vil det dannes kondens. I denne er det vanddampinnholdet som blir funnet ved at temperatur og relativ fuktighet er oppgitt.



FIGUR 5 - VISER ET LUFTFUKTIGHETSDIAGRAM SOM VISER SAMMENHENG MELLOM TEMPERATUR, RF, VANDDAMPINNHOOLD OG DAMPTRYKK (GEVING 1995).

### 2.3.4. Fukt i uteluft

Fukt i uteluft er avhengig av været. Gjennom året har man store variasjoner i absolutt fuktighet. RF er det vanligste fuktmålet ved værstasjoner, og avhenger av temperaturen og absolutt fuktighet. Luft med lav temperatur har lavere kapasitet til å holde på fuktighet. Det vil si at selv om RF er høyere om vinteren enn om sommeren, er luften som oftest mye tørrere på vinteren. I tillegg til årstidenes variasjoner må man se på døgnvariasjonene. Temperaturene er som oftest lavere på natta, men fuktigheten fra dagen vil fortsatt være

tilstede og gi høyere RF. Ved regnvær og tåke vil RF ligge opp mot metningspunktet, 90-100 % (Edwardsen et al. 2010).

### 2.3.5. Fukt i inneluft

Det er i hovedsak tilluften sin fukttilstand som bestemmer innholdet av fuktighet i luften innendørs. I tillegg vil størrelsen på luftskiftet og fukttilskudd innendørs være to viktige faktorer (Edwardsen et al. 2010). Dette temaet er forklart nærmere i avsnitt 2.4.2 om fukt i inneklime.

### 2.3.6. Fukttransport

Fukt kan transporteres i vanddamp tilstand eller i væskeform. Enfasetransport er når det kun foregår i væskefasen, mens tofasetransport er transport både i væskefase og dampfase. Drivkraften for all transport er potensialforskjeller. Tabell 1 gir en oversikt over de forskjellige transportmekanismene og drivkreftene (Geving & Thue 2002). Fukt transporteres forskjellig gjennom materialer sammenlignet med transport i luft.

Transportmekanisme		Drivpotensial for transport
Vanddamptransport	Dampdiffusjon	Damptrykk (temperatur, totaltrykk)
	Effusjon	Damptrykk
	Løsningsdiffusjon	Damptrykk
	Konveksjon	Luftas totaltrykk
Væsketransport	Kapillærledning	Kapillære sugekrefter
	Overflatekryping	Relativ fuktighet
	Dreneringsstrømning	Tyngdekraften
	Hydraulisk strømning	Væsketrykk
	Elektrokinese	Elektriske felt
	Osmose	Ionekonsentrasjoner

TABELL 1 - OVERSIKT OVER FUKTTRANSPORTMEKANISMER SOM KAN FOREKOMME I PRAKSIS OG DRIVPOTENSIAL FOR TRANSPORTMEKANISME (GEVING & THUE 2002).

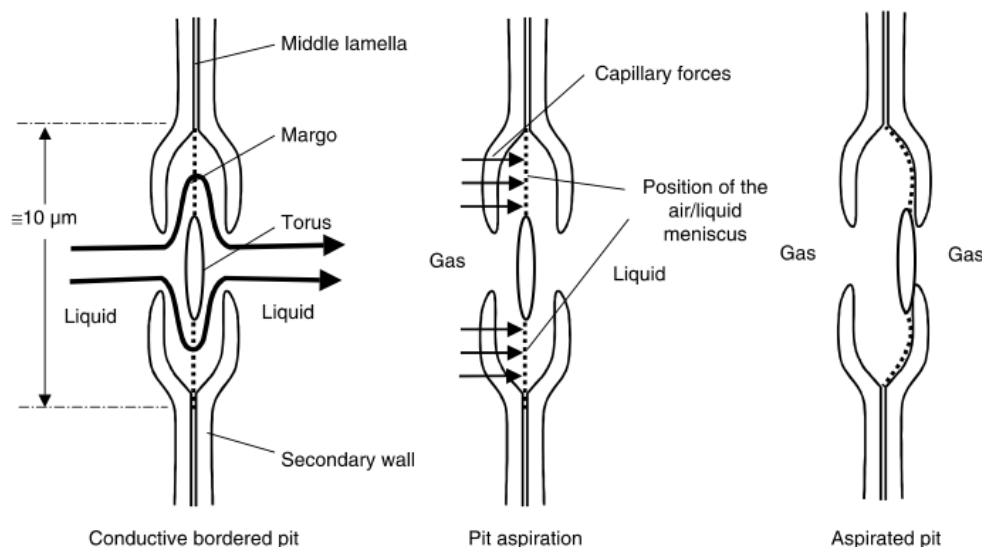
#### ***Fukttransport i tre***

Drivkraften for transport i trematerialer er hovedsakelig forskjell i damptrykk. Dermed drives fukten gjennom materialet fra en side med høyt damptrykk til siden med lavere damptrykk. Fukttransport kan foregå i både vanddamp eller væske, eller begge samtidig (Geving 1995).

Gjennom materialer er de mest aktuelle transportmekanismene er vandampdiffusjon, kapillærledning og til en viss grad konveksjon.

Ved vandampdiffusjon vil molekylene diffundere inn i materialporene. Dette vil foregå til materialet er i likevekt med luften rundt. Ved konveksjon transporteres damp med luftstrømmen for eksempel gjennom sprekker i bygget. Her er det forskjell i lufttrykk som skaper luftstrømninger. Kapillærledning er vanntransport i poresystemet til materialet på grunn av i porevannsundertrykk (Geving & Thue 2002). Dette kan oppstå ved kontakt mellom to flater, og på overflater. Materialer med grov porestruktur har lavere porevannsundertrykk enn materialer med finere porestruktur. Det fine materialet vil derfor suge til seg vann fra det grove materialet. Et eksempel på dette er ved kontakt mellom betong og treverk, hvor treverket vil suge til seg vann fra betongen (MYCOTEAM 2009).

Væske kan også transporteres på tvers av fiberretningen gjennom linseporene. Figur 1 viser hvor linseporene ligger i treverket. Linseporene skal primært forsegle skadede trakeider og trakeider som er blitt omdannet til lagringsenheter for overskuddsstoffer, men også hjelpe til med nødvendig væsketransport. Mekanismen er vist i Figur 6. Linseporen skal virke som en ventil som forflytter seg i forhold til trykkforskjellen mellom to trakeider (Perré & Key 2006).



FIGUR 6 – HVORDAN LINSEPORENE REAGERER PÅ KREFTEN DE BLIR UTSATT FOR (PERRÉ & KEY 2006)

### ***Fukttransport i luft***

I luft vil fuktighet i form av damp bevege seg gjennom vandampdiffusjon. Diffusjon er en bevegelse av molekylene som oppstår ved forskjell i vandamptrykk. Vannmolekyler har høy hastighet og vil derfor, i et forseglet rom, fordele seg raskt utover rommet (Geving & Thue 2002).

Fuktkonveksjon er også en måte å transportere vanndamp i luft. Denne typen transport oppstår ved at luftstrømninger som føres fra høyt lufttrykk til lavt lufttrykk. Denne typen transport er den som distribuerer damp rundt i rommet. Den vil også oppstå gjennom utettheter i konstruksjoner og fra et rom til et annet. Et eksempel er hvis man åpner badedøra etter en dusj slik at varm og fuktig luft fra badet fraktes ut til tørr og kjølig luft i naborommet. Når den varme luften treffer de kaldere overflatene oppstår det kondens (Geving & Thue 2002).

### 2.3.7. Fuktinnhold i tre

Tre er et hygroskopisk materiale. Det vil si at trematerialer alltid vil prøve å likestille seg med fuktigheten i luften rundt for å oppnå likevektsfukten. I denne tilstanden er trevirket i balanse med den omkringende luftens relative fuktighet. Tre tar opp fuktighet i fuktigere luft og avgir fukt i tørrere luft. Trematerialer kan bestå av to former fuktighet, fritt vann i cellenes hulrom og vann bundet til cellulosen i celleveggene (Siau 1984).

Man kan angi fuktinnholdet på flere måter. Noen av disse er vist i tabellen under der vektprosenten ( $u$ ) er det vanligste målet for fuktinnhold. For vektprosenten ser man på vekten av vanninnholdet i forhold til vekten av materialet når det er helt tørt.

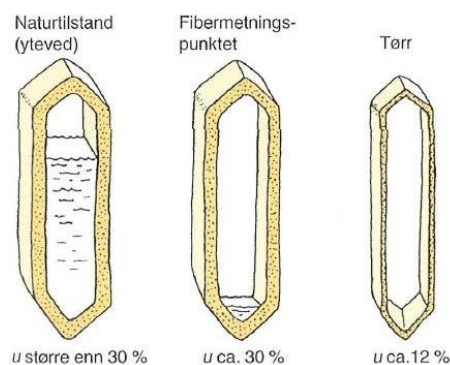
Definisjon	Symbol	Enhet
Fuktmasse/tørrstoffmasse	$u$	kg/kg (vektprosent)
Fuktmasse/Materialvolum	$W$	kg/m <sup>3</sup>
Fuktvolum/Materialvolum	$\Psi$	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Metningsgrad, fuktvolum/porevolum	$S$	Ubenevnt (ev. i prosent)

TABELL 2 - VISER FORSKJELLIGE MÅTER Å ANGI FUKTINNHOOLD I ET MATERIALE (GEVING & THUE 2002)

#### ***Fibermetningspunktet***

Under trevirkets tørkeprosess vil vannet i cellehulrommene tørke ut først. Deretter starter celleveggene å tørke. Tilstanden når celleveggene begynner å tørke kalles fibermetningspunktet. For gran ligger fibermetningspunktet på 30% fuktinnhold, som illustrert i Figur 7.

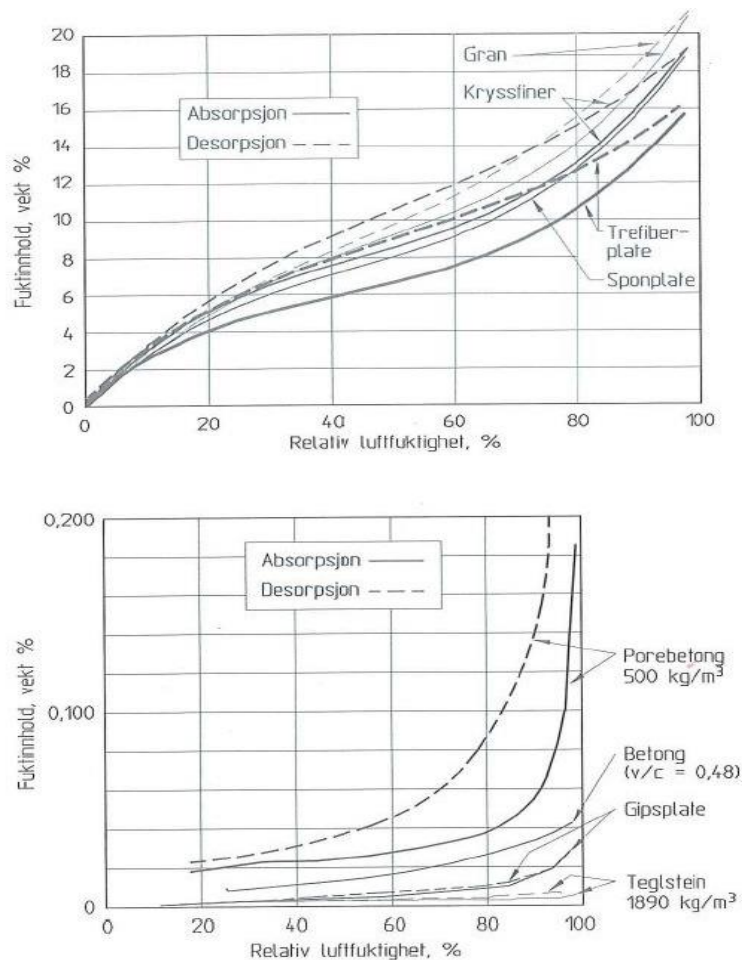




FIGUR 7 – VISER FUKTINNHALDET (u) I PROSENT AV TØRRVEKTEN (EDVARDSEN ET AL. 2010).

### ***Hysteres***

Dersom man legger to trebiter med ulik fuktinnhold i et rom hvor fuktinnholdet ligger midt i mellom de to trebitenes fuktinnhold, vil ikke resultatene sammenfalle. Grunnen er hystereseffekten som tilsier at et materiale som opplever desorpsjon vil legge seg på et høyere fuktinnhold enn et materiale som blir utsatt for adsorpsjon (Geving & Thue 2002; Lundesgaard 1999; Skogstad 2009). Effektens størrelse avhenger av materialets porestruktur. Figur 8 viser denne effekten mellom flere materialer. Forskjellen mellom adsorpsjonskurven og desorpsjonskurven er hystereseffekten.



FIGUR 8 - VISER EKSEMPLER PÅ SORPSJONSKURVER FOR FORSKJELLIGE MATERIALER. FIGUREN VISER OGSÅ HVORDAN HYSTERESEEFFEKTEN VIL VIRKE INN PÅ MATERIALENE (GEVING & THUE 2002)

### Sorpsjonskurver

I tillegg til å vise hystereseeffekten i trevirket, viser kurvene i Figur 8 hvordan materialets fukttinnhold reagerer ved økning og reduksjon i relativ fuktighet. I starten, ved lav RF, får man en rask stigning. Grunnen er at bindingskreftene er store når de første molekyllagrene absorberes. Ved middels RF skjer endringen langsommere. Fuktopptaket er da avhengig av forholdet mellom dampmolekylene på hinna og hinnemolekyler som river seg løs. Videre mot høyere RF spiller de større porenes kapillærkondensasjon en sterkere rolle og kurven begynner å stige (Geving & Thue 2002).

### Fuktkapasitet

Ved endring av RF i den omkringliggende luften endres fukttinnholdet i materialet. Denne endringen kalles fuktkapasiteten og sier noe om hvor mye fuktighet materialet faktisk kan ta opp ved endringen. En slik kapasitet kalles moisture buffer value (MBV). MBV er et mål på hvor mye fukt som er absorbert og desorbert av et materiale som utsattes for svingninger i

innendørs fuktighet (Rode et al. 2005). Enheten for MBV er  $\text{kg}/(\text{m}^2 \% \text{RF})$ . Denne verdien gjør det mulig å bestemme de hygroskopiske egenskapene til bygningsmaterialer og hvor stor innvirkning disse materialene har på relativ fuktighet innendørs. MBV er avhengig av tykkelsen på materialet som er brukt og den konvektive overføringsfaktoren mellom luften og overflaten av materialet.

## 2.4. Inneklima

Norges Astma og Allergiforbund definerer fem inneklimafaktorer som alle er viktig for et godt inneklima.

- Det termiske miljø – gjelder temperaturforhold; lufttemperatur, strålingstemperatur, luftfuktighet og lufthastighet. Her spiller personens aktivitetsnivå og bekledding inn.
- Det atmosfæriske miljø – luften og innholdet i den. For eksempel gasser, damper, luft, levende organismer (pollen, bakterier og muggsopp) og luftpåtrykk.
- Det akustiske miljø – strålingsmiljøet og lysforhold. For eksempel radonstråling.
- Det mekaniske miljø – utstyr i nære omgivelser.

I tillegg er det verdt å nevne

- Estetisk miljø – synsinntrykk som gis av omgivelsene.
- Psykologisk og sosialt miljø – Den psykologiske oppfatningen om omgivelsene gir individer (Norges Astma og Allergiforbund).

I denne oppgaven vil det termiske miljø stå i fokus.

### 2.4.1. Temperatur i inneklima

Temperatur innendørs bør ligge mellom 21 og 23°C. Ved store temperatursvingninger vil også relativ fuktighet forandre seg (Edvardsen et al. 2010). Dette ble vist i Figur 5 på side 21.

### 2.4.2. Fukt i innemiljøet

Uheldige fuktforhold er som oftest avgjørende for problemer i innemiljøet og resultatene kan være ubehagelig for beboerne. Fukt er ikke farlig i seg selv, men fukt i for store mengder over lengre tid kan gi betydelige problemer (Geving & Thue 2002). Er luftfuktigheten for høy, vil det dannes kondens. Dette kan føre til vekst av mugg som er skadelig både for materialer og mennesker (Bornehag et al. 2004; Norges Astma og Allergiforbund). Luftfuktigheten kan

heller ikke bli for lav da det blant annet kan føre til irritasjon i øyne og luftganger (Wolkoff & Kiaergaard 2007).

Fukt er spesielt viktig å tenke på ved utforming av badet. Dinside.no (2012) hevder at vannbruken på bad er tredoblet for nordmenn de tre siste årene. På bad blir det i dag stort sett brukt fliser. Ved bruk av fliser vil vannet kunne trekke inn i fugene og legge seg bak flisene. Om så blir tilfelle vil det kreve mye energi for å tørke det opp.



FIGUR 9 - VANNSKADE I BADEROM (DINSIDE.NO 2012)

### ***Fuktproduksjon***

Fukttilskudd i luften kan komme av fordampning fra mennesker, dyr og planter, vasking og tørking av klær, dusjing, bading og matlaging. I følge IEA (1991) regner man med 2,6kg/h for å dusje. Dette tallet er brukt i simuleringene. Tabell 3 viser en oversikt over fuktkilder og hvor stor fuktproduksjon disse har.

Fuktkilde	Fuktproduksjon kg/dag
Mennesker (ånding og svette)	3,5
Tørking av klær	1,8
Personlig hygiene	1,3
Matlaging	0,9
Oppvask	0,4
Rengjøring av bolig	0,2
Planter	0,2
Diverse	0,2

TABELL 3 - OVERSIKT OVER FUKTKILDER OG HVOR STOR FUKTPRODUKSJON DE HAR (EDVARSEN ET AL. 2010; TENWOLDE & PILON 2007).

### ***Relativ fuktighet innendørs***

Ideelt ligger relativ fuktighet innendørs mellom 20-60%. Det store variasjonsområdet kommer av utendørs temperaturvariasjoner i løpet av året. Om vinteren er forskjellen mellom inne- og uteluften stor og kaldt tilluft vil ha et lavt fuktinnhold. Om sommeren når forskjellene mellom inne og uteluft er mindre, vil den relative fuktigheten være høy både inne og ute. RF innendørs bør derfor ligge på mellom 20-35% (under 40%) i vintermånedene

og mellom 40-60% (under 70%) om sommeren (Edwardsen et al. 2010; Geving 1995; Geving & Thue 2002). Samtidig bør man tenke på at langvarig RF under 30% kan medføre krymp i materialer som videre kan føre til oppsprekking. Er luftfuktighet for lav kan dette føre til ubehag for beboere i form av tørr hud, hals og øyne og økt støvproduksjon.

Daglige variasjoner i RF følger forventede svingninger i forhold til fuktproduksjonen og bruken av huset og de forskjellige rommene. Variasjonene vil i følge Geving og Holme (2011) være små i stue og på soverom, og høye på badrom.

Formelen for inneluftens luftfuktighet er:

$$v_{\text{inne}} = v_{\text{ute}} + \Delta v$$

$$v_{\text{ute}} = \text{fuktinnholdet ute (g/m}^3\text{)}$$

$$\Delta v = \text{fukttilskudd (g/m}^3\text{)}$$

Fukttilskuddet er i tillegg til fuktproduksjon innendørs avhengig av ventilasjonen. Bedre ventilasjon fører til mindre fukttilskudd (Edwardsen et al. 2010).

### ***Kritiske tilstander***

Over tid vil man unngå for høy og for lav RF innendørs. Ved temperatur over 0° og RF over 80% over lengre tid, vil mugg og råtesopp vokse. RF under 20% kan føre til tørr hud og tørr luft. Dersom variasjonen i RF blir for store kan dette være skadelig for bygningen, men ikke helseskadelig i særlig grad. Ved store fuktbevegelser kan det oppstå svelling, oppsprekking og setning. Dette påvirker ikke det termiske miljøet direkte (Blom 1990; Edwardsen et al. 2010).

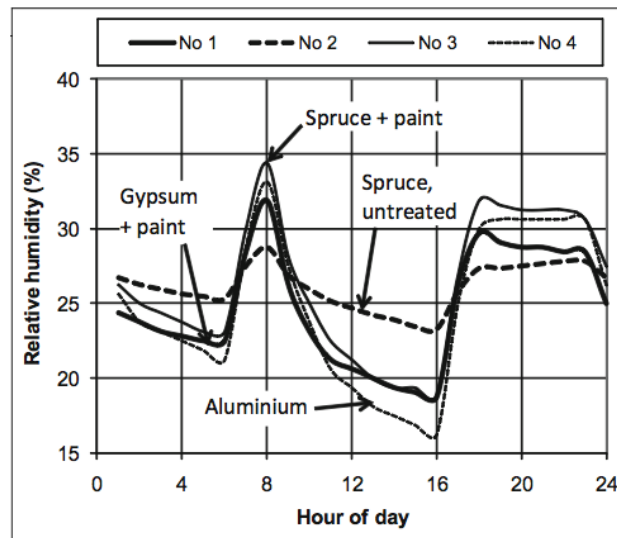
### **2.4.3. Tre i inneklima**

Som nevnt tidligere er tre et hygroskopisk materiale. Dette gjør at treet skaper en reguleffekt. Ved fuktig luft tar treet opp fuktigheten og holder på den til luften begynner å tørke ut. Når luften blir tørrere enn trematerialet avgir det fuktighet og holder dermed luften fuktig. Denne effekten gjelder også for varme, og kan bidra til å skape en behagelig overflatetemperatur og et behagelig inneklima (TreFokus 2007).

Salonvaara et al. (2004) hevder at konstruksjoner laget av tre er mindre utsatt for muggoppstand fordi innendørs fuktighet er lavere når hygroskopiske materialer er brukt.

Figur 10 - viser hvilken effekt forskjellige overflatematerialer har på innendørs relativ fuktighet (Geving & Holme 2011). Her ser man at ubehandlet gran gir en mer stabil variasjon

av RF noe som betyr at materialet har en større fuktbufferingseffekt enn aluminium, malt gipsplater ( $S_d=0,3m$ ) og malt trekledning ( $S_d=1,0m$ )



**Figure 12.** Calculated indoor RH the 7. February. Effect of various surface materials.

FIGUR 10 - VISER HVILKEN EFFEKT FORSKJELLIGE OVERFLATEMATERIALER HAR PÅ INNENDØRS RELATIV FUKTIGHET (GEVING & HOLME 2011).

#### 2.4.4. Ventilasjon

Ventilasjonens hovedfunksjon er å sikre tilfredsstillende luftkvalitet med hensyn til komfort og helse. Den skal også begrense luftfuktigheten inne slik at kondens og fuktskader ikke forekommer på innvendige overflater og i konstruksjoner (Skåret & Blom 1994).

«Boenheten skal ha ventilasjon som sikrer en gjennomsnittlig frisklufttilførsel på minimum  $1,2m^3$  pr. time pr.  $m^2$  gulvareal når rommene eller boenheten er i bruk og minimum  $0,7m^3$  pr. time pr  $m^2$  gulvareal når rommene eller boenheten ikke er i bruk» (Direktoratet for byggekvalitet). På spesialrom som kjøkken, sanitærom og våtrom skal det være avtrekk med tilfredsstillende effekt. Tallene for avtrekk er listet opp i Tabell 4. Avtrekksventilen skal på badetrom plasseres høyt på veggen eller i himlingen. Ventilen skal være regulerbar og må til en hver tid stå på med basisavtrekk. Dermed skapes det undertrykk i rommet (Direktoratet for byggekvalitet).

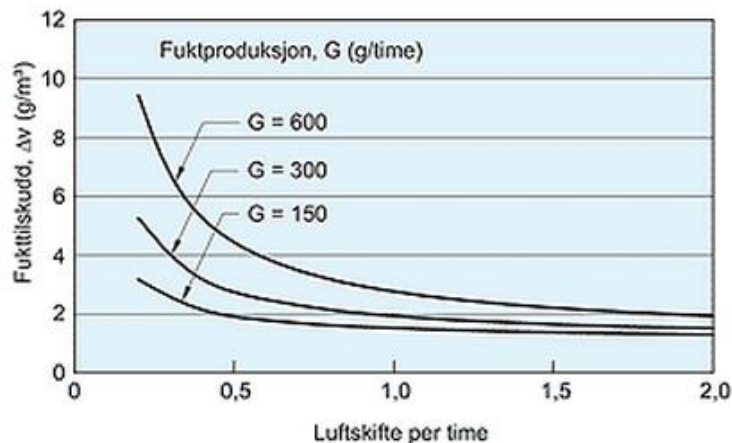
Rom	Avtrekk (l/s) <sup>1)</sup>
Kjøkken	10/30
Bad med WC	15/30
Dusjrom med eller uten WC	15/20
Vaskerom/tørkerom	10/20 <sup>2)</sup>
Separat WC	10

1) / (tall) betyr forsert ventilasjon.

2) Forsert avtrekk fra tørkerom med tørketrommel uten kondensator eller tørkeskap som ikke har direkte avtrekk. Ellers ikke behov for forsert avtrekk.

TABELL 4 - VISER AVTREKKSBEHOV I SPESIALROM I BOLIGER (SKÅRET & BLOM 1994).

For ventilasjon er det viktig å huske at fukttilskudd varierer ved ulike ventilasjon. Figur 11 viser fukttilskudd for tre forskjellige nivåer av fuktproduksjon  $G$  og ulike nivåer av luftskifte. Det er beregnet ved temperatur 22 C og 40 % RF og bygningsvolumet er satt til 360 m<sup>3</sup>. I følge figuren stiger fukttilskuddet kraftig under luftskifte på 0,5 per time.



FIGUR 11 - FUKTTILSKUDD SOM FUNKSJON AV LUFTSKIFTE OG FUKTPRODUKSJON (GEVING 1995).

I boliger skiller man mellom tre typer ventilasjonsanlegg; naturlig ventilasjon, mekanisk avtrekksventilasjon og balansert ventilasjon. Ved naturlig ventilasjon blir frisk luft tilført gjennom ventiler og utettheter i konstruksjonen. Det er rimelig å installere, men har dårlig totaløkonomi. I tillegg er det vanskelig å styre, upålitelig og gir dårlig komfort. Mekanisk avtrekksventilasjon bruker vifter til å fjerne avtrekksluften. Tilluften kommer gjennom ventiler og utettheter. Fordeler er god regulering av avtrekk og lav installasjonskostnad. Dårlig komfort, dårlig totaløkonomi, ventilasjonsvarmetap og støy ved dårlig lyddemping er ulempene. For balansert ventilasjon er det vifter som styrer tilførsel og avtrekk. Kanaler fordeler uteluften og tilføres gjennom ventiler. Rett dimensjonering og installering er viktig, og resultatet er god totaløkonomi, god komfort og mulighet for behovsstyring. Ulempen kan være støy ved dårlig lyddemping. Her har man også mulighet til å installere varmegjenvinner. Systemet med varmegjenvinner er brukt i leilighetene hvor målingene er utført. Det er også et slikt system som brukes oftest og anbefales av SINTEF Byggforsk (Skåret & Blom 1994).

### **Treets effekt på Ventilasjon**

Bufringseffekten som trematerialer skaper gjør at effekten til ventilasjonssystemet kan senkes. Treet tar opp fuktighet og vil hjelpe til med å minke RF slik at ventilasjonssystemet slipper å ta ut mye fukt på kort tid som vil hindre fuktbelastninger i rommet. Når all fuktigheten er tatt ut av rommet vil treet gi fra seg fuktighet for å holde seg på samme fuktnivå som den omkringende luften. Ventilasjonsanlegget må altså ta ut like mye fukt som før, men prosessen skjer over lengre tid. Spart ventilasjonsgrad fører til spart energi.

Hvis man velger å bruke tremateriale innendørs er det viktig og ikke ha for høy effekt på ventilasjonsanlegget. Resultatet er at fuktigheten raskt tas ut av rommet og at treverket ikke vil rekke å ta til seg fuktigheten. Fuktbufringen blir dermed mindre effektiv (Yang et al. 2012).

## **2.5.WUFI Plus**

I oppgaven brukes WUFI til å utføre simulering til en parameterstudie. Hensikten er å prøve å finne ut hvor mye tre som trengs innendørs for å se en forskjell i fuktbalansen og energibruken. Fordelen med å bruke simuleringsprogram er at man raskt og enkelt kan utføre kompliserte undersøkelser med et langt tidsperspektiv. Ulempen er at man aldri vil kunne tilnærme seg virkeligheten.

WUFI (Wärme- Und Feuchtetransport Instationär) er et program utviklet i Tyskland ved Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP) (Karagiozis et al. 2001). Programmet utfører transiente (tidsavhengige) beregninger som finner koblet varme- og fukttransport i bygninger. Programmet er komplekst og kan relativt nøyaktig gjenskape bygget man ønsker å beregne med funksjonen "building wizard."

### **Parametere**

I WUFI simuleringen brukes følgende parametere (Wufi-wiki 2009):

- Tetthet [kg/m<sup>3</sup>]
- Porøsitet [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]
- Varmelagringskapasitet [J/kgK]
- Varmekonduktivitet [W/mK]
- Motstandsfaktor for vanndamp [μ]
- Lufttemperatur [°C]
- Relativ fuktighet i luft [%]

*Tetthet* er forholdet mellom objektets masse og total volum.

$$\rho_{bulk} = m/V_{tot}$$



Man kan også se på faktisk tetthet som er forholdet mellom massen og det faktiske volumet. Altså volumet til selve materialet uten volumet til porene.

$$\rho_{true} = m / (V_{tot} - V_{pores})$$

Termiske simuleringer påvirkes ikke av den spesifikke varmekapasiteten til materialet. Derfor vil ikke tettheten, som kun påvirker varmelagringskapasitet, være avgjørende for termiske simuleringer.

*Porøsitet* er avgjørende for total vannmengde i materialet. Simuleringer er ikke avhengig av den eksakte verdien siden man sjelden regner med vanninnhold over metningspunktet. Om verdien ikke er oppgitt for materialet kan den estimeres fra tetthet ( $\rho_{bulk}$ ) og faktisk tetthet ( $\rho_{true}$ ):

$$porøsitet = 1 - \rho_{bulk} / \rho_{true}$$

*Varmelagringskapasitet* er mengden varme som trengs for å øke temperaturen til materialet med 1°C. Grove verdier er 850J/kgK for mineralske materialer og 1500 J/kgK for organiske materialer. Gran er et organisk materiale og har en varmekapasitet på 1530 J/kgK. Denne verdien spiller lite inn for hygrotermiske simuleringer.

*Varmekonduktivitet* er materialets mål på å lede varme. Tallet gjelder for tørre materialer. Materialer med høyere verdier leder varmen bedre. Tre har verdier på 0,1-0,2. Hygrotermiske simuleringer er ikke lett påvirket av denne verdien

Materialets *motstandsfaktor for vanndamp* er forholdet mellom diffusjonen til vanndamp i luft og diffusjonen i materialer. For svært porøse/gjennomtrengelige materialer er  $\mu$ -verdien nær 1, og for materialer med større motstand vil verdien øke jo tettere materialet er. For tre vil den dermed være lavere enn for fliser. Denne verdien er veldig aktuell for dette forsøket. For trevirke ved tørre forhold er  $\mu=50$  og ved fuktigere forhold er  $\mu=20$  (SINTEF Byggforsk 2013). Kombineres denne verdien med tykkelsen for materialet får man en verdi kalt ekvivalent luftlagstykkelse (*S<sub>d</sub>-verdi*). Verdien oppgis i meter og brukes for å beskrive blant annet dampmotstanden til dampsperrer, vindsperrer og andre overflatebehandlinger (Geving et al. 2010). I oppgavens simuleringer er verdien satt til  $S_d=0$  for trematerialet og  $S_d=2$  for flis.

*Lufttemperatur* er mål på varmen til luften og er her oppgitt som grader celsius [°C]. *Relativ fuktighet* er allerede forklart i avsnitt 2.3.2.

## 2.5.1. Kalkulasjonsmetode

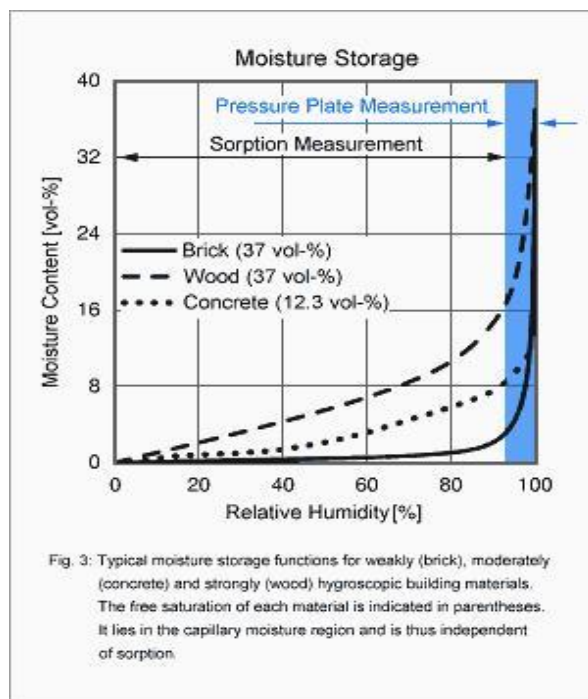
Kalkulasjonene utført i WUFI er avhengig av følgende formler (Karagiozis et al. 2001):

$$\text{Varmetransport: } \frac{\partial H}{\partial v} \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial v}{\partial x} \right) + h_v \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\delta}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right)$$

$$\text{Fukttransport: } \rho_w \frac{\partial u}{\partial \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \rho_w D_w \frac{\partial u}{\partial \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\delta}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right)$$

$D_w$ [m <sup>2</sup> /s]	– Væsketransportkoeffisient
$H$ [J/m <sup>3</sup> ]	– entalpi for fuktig bygningsmateriale
$h_v$ [J/kg]	– fordampnings entalpi for vann
$p$ [Pa]	– vanndamptrykk
$u$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	– vanninnhold
$\delta$ [kg/msPa]	– vanndampsdiffusjonskoeffisient for luft
$v$ [°C]	– Temperatur
$\lambda$ [W/mK]	– Varmekonduktivitet for fuktige materialer
$\mu$ [-]	– dampdiffusjons resistansfaktor for tørre materialer
$\rho_w$ [kg/m <sup>3</sup> ]	– vanddensitet
$\phi$ [-]	– relativ fuktighet

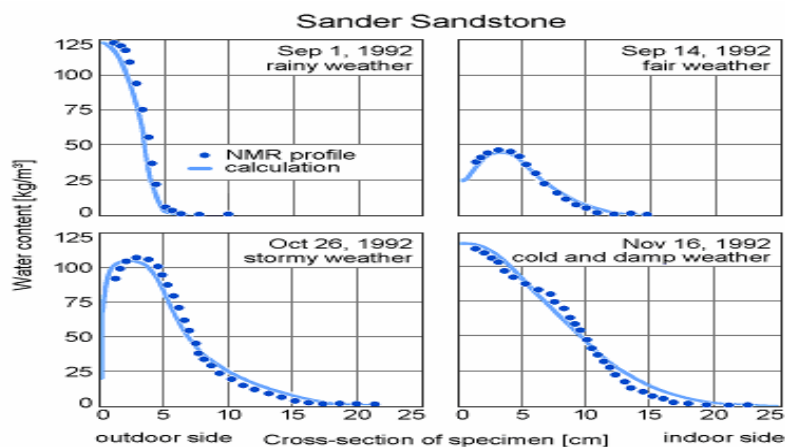
I begge formlene består venstresiden av lagringsvilkår og høyresiden av transportvilkår. Varmelagringen er beskrevet av varmekapasiteten til det tørre materialet og varmekapasiteten til fuktigheten i materialet. Fuktlagringen består av den deriverte til fuktlagringsfunksjonen som er vist i Figur 12. Transport betingelsene på høyre side, i begge formlene, er påvirket av både varme og fukt. I formelen for varme er varmekonduktiviteten og dampdiffusjonen sterkt påvirket av fuktigheten. I formelen for fukt er det væskefluksen som er avhengig av temperaturen. Dette betyr at formlene er avhengige av hverandre (Karagiozis et al. 2001).



FIGUR 12 - FUKTLAGRINGSFUNKSJONENE FOR DE HYGROSKOPISKE MATERIALENE MURSTEIN (BRICK), BETONG (CONCRETE) OG TRE (WOOD). METNINGSPROSENTEN ER VIST I PARENTHESENE (KARAGIOZIS ET AL. 2001)

## 2.5.2. Ytelse og betingelse

Ytelser for programmet er beskrevet nærmere i metode avsnitt 3.4.2. Tidligere er det gjort simuleringer i WUFI som er sammenlignet med eksperimenter utført i en testhall med samme kriterier. Diagrammene i Figur 13 viser disse målingene. Den solide linjen er simuleringene i WUFI og den prikkede linjen er fra eksperimentene. De forskjellige diagrammene er forskjellige typer vær. Her ser man hvor nøyaktige målingene kan være. Dette krever dermed at alle kriterier er like.



FIGUR 13 - SAMMENLIGNING AV MÅLINGER OG SIMULERINGER FOR FORSKJELLIGE TYPE VÆR (WUFI-WIKI.COM 2001)

## 3. Metode

Metode betyr konkrete framgangsmåter for opplegg og gjennomføring av spesifikke vitenskapelige studier (Grønmo 2004). Metode er en sentral del av forskning og forklarer hvordan data er innhentet, analysert og tolket. Metoden forklarer hvordan en oppgave har gått til verks for å fremskaffe nødvendig kunnskap. Valg av metode skal gjøres i forkant av undersøkelsene og forsker bør etterstrebe og velge den metoden som i størst grad bidrar til å besvare hypoteser og forskningsspørsmål på en faglig interessant måte (Dalland 2007). Dette kapitlet beskriver de metodene som er brukt i arbeidet med denne oppgaven. Metodekvalitet og usikkerhet i oppgaven vil også bli diskutert.

### 3.1. Forskningsdesign og forskningstilnærming

Forskningsdesign er en plan som beskriver fremgangsmåten for hvordan forskere skal sikre at de forskningsmessige mål blir oppnådd (Grenness). Det er nødvendig å gjøre et valg av forskningsdesign, forskningstilnærming, forskningsmetode og tidsperspektiv. Det skiller mellom forskningsdesignene eksplorativt, deskriptivt og kausalt. I denne oppgaven er det valgt et eksplorativt design med eksperimenter og kvasieksperimenter. Denne forskningsdesignen har et positivistisk vitenskapsteoretisk utgangspunkt, og formålet er å teste hypoteser og arbeide med teori- og metodeutvikling. I oppgaven gjennomføres det eksperimenter i form av målinger og observasjoner. I tillegg blir det gjort en parameterstudie i simuleringsprogrammet WUFI®Plus. Forskningstilnærmingen er deduktiv, noe som betyr at forskningen går fra teori til empiri. Formålet er å ta utgangspunktet i eksisterende teori og tidligere forskning for å stille nye hypoteser og prøve å avkrefte eller bekrefte disse gjennom ytterligere forskning. Med simuleringsprogrammet WUFI®Plus, utføres det en parameterstudie som skal vurdere hvor mye treandel som må til for å skape den ønskede effekten.

Det skiller mellom to forskningsmetoder; kvantitativ og kvalitativ metode. Kvantitativ metode går ut på å forme resultater som senere kan brukes til å foreta utregninger, altså målbare enheter. Kvalitativ metode på å fange en opplevelse og en mening og gir resultater som ikke kan tallfestes. I denne oppgaven blir stort sett kvantitativ metode brukt. Det fremskaffes sammenlignbare resultater som uttrykkes i tall og deretter analyseres.

Tidsperspektivet er viktig i denne undersøkelsen. Målingene er komplekse og det vil være mange faktorer som spiller inn på resultatene. Det er valgt å gjøre målinger over en måned. I følge Geving og Holme (2011) vil et tidsperspektiv på en uke være nok for denne typen undersøkelser. Tidsperspektivet for datasimuleringen er begrenset til en dag da det her er kun interessant å se på en dusjsekvens.

## 3.2. Datainnsamling

Det finnes flere metoder for å innhente datamateriale for forskning; samla data selv eller benytte eksisterende data innhentet av andre (Dalland 2007). I oppgaven hentes det inn primærdata gjennom eksperimentene. Videre beskrives verktøy for datainnsamling, måleutstyr og simuleringsprogrammet som ble benyttet i oppgaven.

### 3.2.1. Måling av luftfuktighet med motstandsmålere

Gjennom oppgavens eksperiment er det ønskelig å måle luftfuktigheten i inneluften. Målet med forsøkene er å teste om en leilighet med eksponerte treoverflater ville få en mer stabil fuktbalanse og senke maksverdiene til RF. For å gjøre disse målingene blir det brukt sensorer som er skrudd ned i plankebiter av ubehandlet gran. Resultatene fra disse sensorene hentes ut fra en nettside hvor dataene presenteres i grafer. For videre analyser kan dataene lastes ned til Excel. Målingene ble utført i leiligheter i Kajaveien 15 på Ås. Leilighetene er studentboliger drevet av Studentsamskipnaden i Ås.

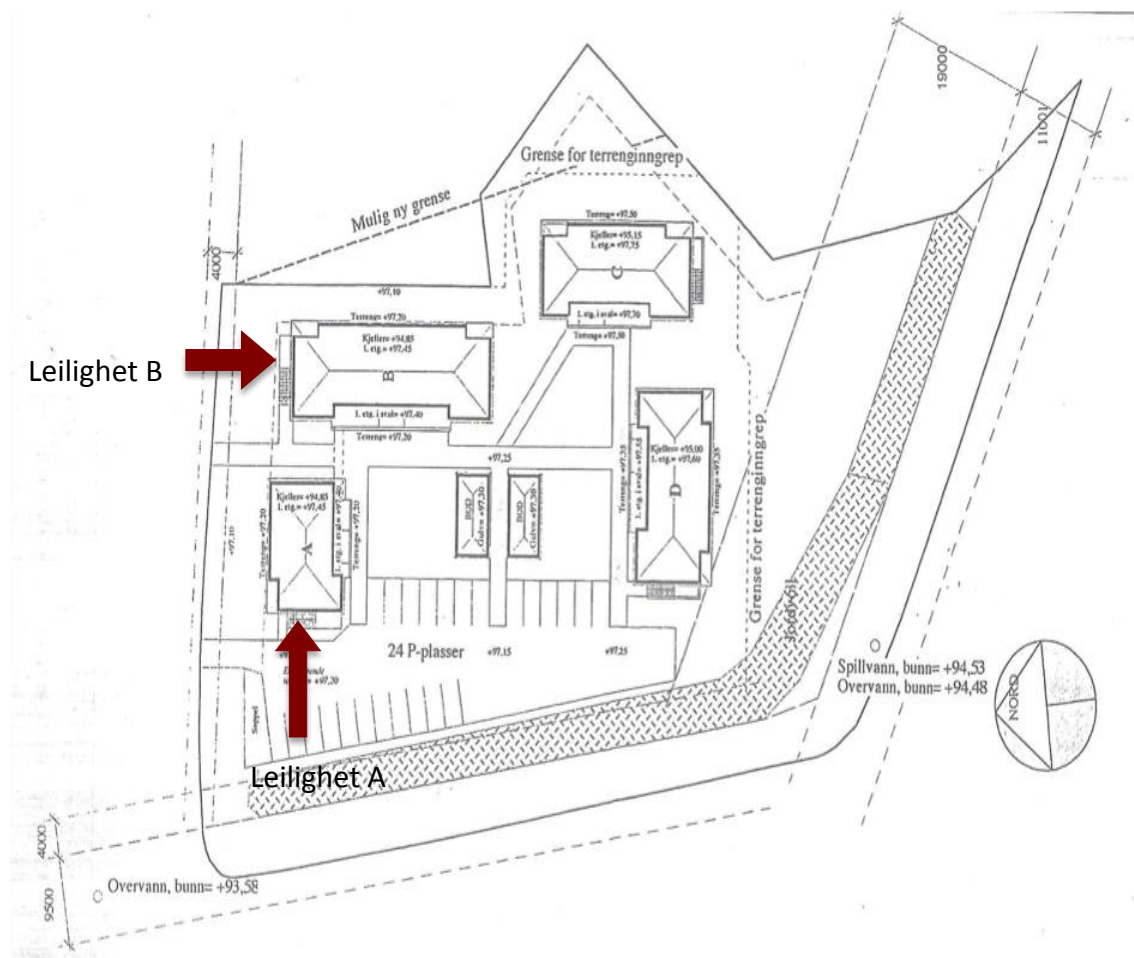
#### *Utvikling av eksperimentene*

I løpet av oppgavens forløp har datainnsamlingen utviklet seg for å bli så optimal som mulig. I utgangspunktet var det tenkt at målingene skulle gjøres i en studentblokk bygget i massivtre. Disse resultatene skulle sammenlignes med målinger fra to andre studentboliger bygget i tegl. Det viste seg at byggene var vanskelig å sammenligne da verken antall beboere og geometri var likt. Resultatet ble at målingene foregikk i to tilnærmet identiske leiligheter med beliggenhet i samme boligkompleks. Fuktbuffering innendørs er kun påvirket av de første millimeterne i massivtreveggene (Nore 2014). For eksperimentet var det derfor nok å sette inn planker i rett materiale for å gjenskape slike overflater. Det ble valgt å bruke ubehandlet gran som materiale. Grunnen til det er at gran i stor grad benyttes til husbygging i Norge (Edvardsen et al. 2010). Det ble valgt ubehandlede treoverflater for at fuktbufferingsegenskapene skulle fungere optimalt. Det ble satt inn moduler av treoverflater i leilighet B, noe som tillot forskeren å samle inn data om inneluften i begge leiligheter for deretter å sammenligne dem.

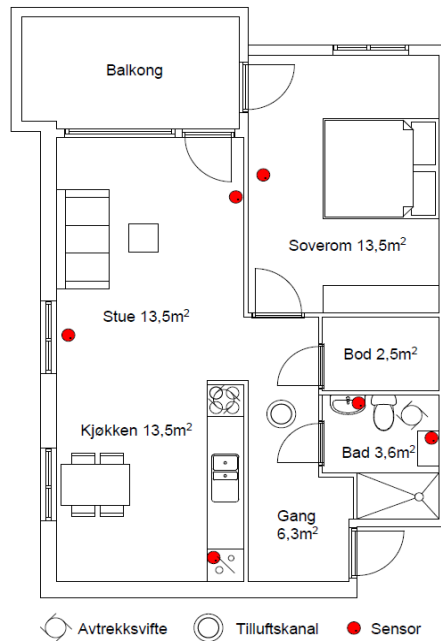
I tillegg til endringer i forhold til hvor målingene ble gjennomført ble det bestemt å gjøre kontrollerte dusjforsøk. Under de opprinnelige målingene ble det ikke ført hvilke avtrekksnivå som ble brukt, hvor lange dusjene var eller hvilken temperatur som ble brukt. Mangel på slik informasjon gjorde at resultatene ble vanskelig å analysere. På bakgrunn av dette ble det gjort nye forsøk hvor disse faktorene var kjent og kontrollert.

## Om Kajaveien 15

Kajaveien studentboliger ble bygget i 1997 (Siås). Boligene består av 12 dubletter bygget i to etasjer med kjeller. Situasjonsplan er lagt fram i Figur 14. Utvendig kledning er teglstein. Veggene består av 20mm lufting, 150mm isolasjon med 50mm inntrukket dampspærre. Innerst er veggene dekket av fiberplater. Gulvet er linoleum, taket i fiberplater og det er lagt lister i behandlet tre. På badet er vegger og gulv flislagt, mens taket er fiberplater. I leilighetene kommer tilluften ut i gangen og avtrekk finnes på badet og på kjøkkenet som vist i Figur 15. Møbelmengde og materialer på møblene er neglisjert da begge faktorene er tilnærmet lik i de to leilighetene.



FIGUR 14 - SITUASJONSPLAN FOR KAJAVEIEN 15



**FIGUR 15 - PLANTEGNING OVER LEILIGHET B. LEILIGHET A HAR SAMME PLANTEGNING. DE RØDE PRIKKENE VISER Plassering til AVTREKKSIVIFTE, TILLUFTSKANAL OG SENSORER**

Leilighetene valgt for måling vises i Figur 14 - Situasjonsplan for Kajaveien 15. Plantegningene for leilighetene er lik og vises i Figur 15. Leilighet B er leiligheten hvor treoverflater plasseres og leilighet A beholdes som referanseleilighet. Det er like mange mennesker som bor i de to leilighetene. Dette betyr at den daglige personbelastningen vil være den samme. Beboerne har omtrent samme fysikk og vil derfor ha tilnærmet lik metabolisme. Leilighetene har samme geometri, konstruksjon og høyde over havet. I tillegg har de ventilasjons- og varmesystem med samme kapasitet. Orienteringen er ikke like. Leilighet A har hovedfasaden mot vest, mens hovedfasaden til leilighet B er nordvendt. Denne variabelen vil kun være avgjørende på dager med sol, og det må da tas i betraktning at temperaturen kan være høyere i leilighet A med hovedfasaden mot vest. For å få inntrykk av variabler som kan påvirke dataresultatene blir beboerne bedt om å logge ulike hendelser. Dette inkluderer dusjing, matlaging, vasking, klestørking, lufting, mye besøk og annen høy aktivitet. Det blir også gjennomført et møte hvor beboerne får generell informasjon og kan besvare på spørsmål fra forskeren. På møte kommer det frem at døren til badet stort sett er lukket i begge leiligheten. Ingen leiligheter luftet på natten. I leilighet A blir det informert om at døren til soverommet stort sett står åpen, mens i leilighet B er den lukket om natten og åpen om dagen. Tall på hvor stor ventilasjonsgraden er i leiligheten, er ukjent. Avtrekksvifta på badet og kjøkkenet står konstant på laveste nivå, men det er mulig å stille den høyere. Det antas at ventilasjonen tilsvarer dagens krav. Laveste effekt på badet vil derfor være 10l/s og 30l/s for forsert ventilasjon (se Tabell 4)

### Utplassering av treoverflater i leilighet B

Målingene fokuserer på treoverflaters effekt på innemiljø. Siden det kun er overflaten til treet som vil ha påvirkninger for fuktbufringen, holdt det å bruke planker på 11mm. Disse ble plassert i leilighet B. For å få plass til alle plankene ble noen planker snekret sammen til moduler og plassert langs veggen (se Figur 16). Alle plankene blir plassert skrått langs veggen slik at alle overflater har kontakt med omkringliggende luft. Dermed kan all overflate (både forside, bakside, topp og bunn) medregnes. Endene på planken blir regnet som areal x10 begrunnet med at disse flatene tar til seg ti ganger så mye fuktighet som de andre sidene (Nore 2014). I Tabell 5 ser man hvor mye areal planker som ble plassert i hvert rom for runde 1 og 2.

Rom	Runde 1			Runde 2	
	Areal av rommets flater	Areal treoverflate	%-andel av total overflate	Areal treoverflate	%-andel av total overflate
Kjøkken/stue	100,4	18,8	18,7	-	-
Soverom	49,1	9,3	18,9	21,9	44,7
Bad	23,8	4,4	18,5	10,5	44,2

TABELL 5 - VISER ROMMENES FLATEAREAL OG MENGDEN TRE VED RUNDE 1 OG 2

Første uka ble andelen treplanker fordelt likt i leilighet B slik at hvert rom hadde ca. 18% treoverflate i forhold til rommets overflate som vist i Tabell 5. Da resultatene uteble og ikke viste store forskjeller mellom de to leilighetene, ble det bestemt at treoverflatene skulle flyttes til rom hvor det blir antatt størst fuktpåkjenning, badet og soverommet. Tabell 6 viser hvor mye treandel som ble brukt i runde to. Fordelene med å velge disse rommene er at de ikke er like avhengig av vær da rommene i større grad er plassert i ly for sol og slagregn, samt at badet er uten yttervegg.





FIGUR 16 - BILDENE VISER MODULER AV TRE UTPLASSET I LEILIGHET B



FIGUR 17 - BILDENE VISER TREPLANKER FORDELT UTOVER BADEROMMET. BILDET TIL HØYRE VISER HVORDAN VIFTEN BLE PLASSERT

### 3.2.2. Måleutstyr

Måleutstyret er utviklet av Omnisense. Selskapet er ledende innenfor "real-time, web based remote monitoring solutions". Dette vil si at data kan observeres mens den logges. Data hentes ned fra et web-basert system. Loggingen skjer via trådløse sensorer (S-900-1) drevet av litiumbatteri med 15 års levetid. Videre sender sensorene dataen til en gateway som lagrer det på web-siden via et lokalt nett. Sensorene har internt minne, noe som betyr at data lagres internt og kan lastes ned senere dersom de mister kontakten med gatewayen. Sensorene er meget nøyaktige og inneholder en kraftig 5 MHz 16 bit RISC microcontroller med et 8kB FLASH minne (Omnisense LLC). Måleren har to skruer som kobles fast til materialet man ønsker å måle. Deretter begynner måleren å logge fuktigheten til materialet. Temperaturen og den relative fuktigheten måles gjennom en sensor som har kontakt med omkringliggende luft. Resultater fra loggingen skal kunne tas ut med intervallene minutt, time eller dag. Plasseringen av sensoren er forklart i Tabell 6 og illustrert i Figur 15. I oppgaven vil det refereres til navn når det snakkes om spesifikke sensorer.

Sensornummer.	Navn	Leilighet	Plassering
19560222	222	B	Over kjøleskap (kjøkken)
19560239	239	B	Bokhylle (kjøkken/stue)
1956003B	03B	B	Ved TV (stue)
19560230	230	B	Soverom
19560245	245	B	Bad

1956028C	28C	B	Bad
195602A0	2A0	A	Over kjøleskap (kjøkken)
195602FE	2FE	A	Bokhylle (kjøkken/stue)
19560311	311	A	Ved TV (stue)
19560315	315	A	Soverom
19560316	316	A	Bad
1956033D	33D	A	Bad

TABELL 6 - OVERSIKT OVER SENSORNAVN OG PLASSERING

### Utdata

Sensorene måler fem ulike data:

- Temperatur [°C]
- RH – Relativ fuktighet [%]
- DP - Dewpoint [°C]
- AH - Ampere-time [g/kg]
- %WME – Wood Moisture Equivalent [%H<sub>2</sub>O]

Temperatur er målet på luftens varme. Resultatene oppgir nøyaktighet på 0,1°C. Relativ fuktighet er målet på fuktighetsinnholdet i luften (se avsnitt 2.3.2 for teori). Sensorene gir her nøyaktighet på 0,5% RF. Som nevnt i teorien er duggpunktet grensen når luftfuktigheten går over til væske. Ampere-time er målet for elektrisk ladning. Altså den mengden ladning som passerer i løpet en time gjennom et tverrsnitt av en ledning i en elektrisk krets hvor strømmengden er 1 ampere. I dette tilfellet måles det hvor godt strøm er ledet mellom de to skruene som er skrudd ned i trebiten. Jo fuktigere treet er, jo bedre leder det strøm

Trefuktekivalent (%WME) er treoverflatefuktens prosentandel når det gjøres målinger i tre. Ved testing av andre materialer vil denne måleenheten vise fuktinnholdet tre ville hatt i likevekt med det materialet som blir målt (NZ Moisture meters 2014). NZ Moisture meters (2014) deler WME inn i soner som forteller om hvor fuktig et materiale er:

- Grønn sone - <18% - Materialer i en trygg tilstand. Fuktrelaterte problemer som muggvekst vil ikke oppstå.
- Gul sone – 18%-20% - Materialer er i en grensesone. Råte kan oppstå i noen tilfeller
- Rød sone – 20%< - Materialer er i fuktig tilstand og råtevekst er uunngåelig over tid med mindre fuktigheten minskes.

### 3.2.3. Dusjforsøk

Ved slutten av målingene ble det konkludert med at resultatene ikke var tilfredsstillende. Det eneste rommet som viste tydelige resultater var badet, men her var det vanskelig å

sammenligne resultater da vesentlige faktorer var ukjent. På grunn av dette ble det gjort noen kontrollerte dusjsforsøk på badet. Badet i leilighet B blir brukt. Samme måleutstyr og treoverflater blir brukt for disse forsøkene. Mengden med tre var den samme som runde 2, 44,2% av total flate. Ellers ble ventilasjonsnivået, vannstyrke, rom- og vanntemperatur, dusjlengde og ventilasjonstid etter dusjing, satt likt. Badet hadde ikke samme lufttilførsel som andre rom og ville derfor ikke bli påvirket av tilluft og variasjoner fra forskjellig klima utendørs. Forsøkene ble gjort på samme bad og man kan derfor neglisjere feilkilder ved bruk av forskjellige rom og forskjellige sensorer. Det ble utført tre forskjellige forsøk hvor alle ventilasjonsgradene ble brukt hver for seg. Disse er beskrevet nærmere i Tabell 7. Forsøk 1 ble gjort på badet uten treoverflater og forsøk 2 ble gjort på badet med treoverflater I forsøk 3 ble det i tillegg til treoverflater innsatt ei vifte på badet. Formålet med denne var å skape bedre omrøring av vanddampen slik at den kom godt i kontakt med treoverflatene før den ble trukket ut av avtrekket

Forsøk nr.	Tilsand til badet	Ventilasjonsgrad
1	Uten treoverflater	1, 2 og 3
2	Med treoverflater	1, 2 og 3
3	Med treoverflater og vifte	1, 2 og 3

TABELL 7 - OVSRIKT OVER FORSØKENE OG HVORDAN DE BLE UTFØRT

### 3.3.Simulering med WUFI®Pluss

Simuleringene i WUFI er basert og bygd videre på Korsnes (2012) sin masteroppgave fra 2012. Korsnes (2012) fant "helt klart at hygroskopiske overflater har kapasitet til å dempe variasjoner i relativ fuktighet (RF) som følger varierende fuktbelastninger, og at latent varmeveksling påvirker temperaturen i rommet". I denne oppgaven har man tatt utgangspunktet i Korsnes funn og går videre med å finne ut hvor stor overflate som gir effekt. Rommet i simuleringen er en kopi av badet fra Kajaveien. Dette i håp om å finne likheter mellom målingene og simuleringene. Det er gjort åtte forskjellige simuleringer innenfor fire forskjellige vifteeffekter. De åtte simuleringene har alle forskjellig andeler treoverflater. Tabell 8 viser en oversikt over treoverflatene. Flatene som ikke består av treoverflater er dekket med belegget flis. Dette er samme overflate som er brukt i målingene i leilighetene i Kajaveien. Det er i alle tilfeller valgt flis på gulvet. Ventilasjonsgradene som er brukt er 5, 10, 15 og 30 l/s. 10 l/s er krav til konstant avtrekk på badet og 30l/s er krav til forsert ventilasjon (se Tabell 4). Ventilasjonsgrad 5 og 15 l/s er valgt for å sjekke andre ventilasjonsgrader.

Alle materialkonstanter som er brukt er hentet fra WUFI sitt eget materialbibliotek. Verdiene for dampmotstandsfaktorer er også hentet fra WUFI hvor det er oppgitt standardverdier for noen materialer. Modellen i simuleringene blir den oppbygget av elementer som representerer vegger og tak. Overflatene blir valgt for hvert element. Dermed vil treandelen

følge arealet av flaten til elementene som er definer som treoverflate. Prosent treandel blir derfor som vist i Tabell 8.

	Treoverflate	Treandel [%]
Tilfelle 2	Ingen treoverflate	0
Tilfelle 3	Treoverflate i tak	16,2
Tilfelle 5	En vegg og tak	30,3
Tilfelle 7	Likt som måling	43,4
Tilfelle 8	Tilnærmet halvparten	54,6
Tilfelle 4	Alle unntatt en vegg	69,7
Tilfelle 6	Tre vegger og tak	85,9
Tilfelle 1	Full treoverflate	100,0

TABELL 8 - VISER ANDELEN TRE BRUKT I HVERT TILFELLE FOR SIMULERING

Selve simuleringene ble utført i løpet av et døgn (fra midnatt til midnatt) begrunnet med at dette var korteste mulige simuleringstid for programmet. I resultatene er det kun framlagt figurer med grafer fra noen timer, hvor dusjsekvensen varer i 15min. Grunnen til dette er at det utelukkende er dusjsekvensene som er interessant å se på da dette er eneste fuktpåkjenning som blir tilført simuleringen. Dette gjør at man får en forenklet simulering uten for mye støy. Tilfører man for mange inndata er det større sannsynlighet for feil. Den største forenklingen var at man utelukkende ser på badet og ikke hele leiligheten. Badet er rommet med størst fuktpåkjenninger og det var derfor antatt at man ville se de største forskjellene her. For å forenkle simuleringene enda mer ble varmetilskudd fra temperaturen i dusjvannet og varme og fukttilskudd fra personer neglisjert. Dette kan føre til at resultatene har lavere temperatur enn normalt, og må tas i betraktning når resultatene diskuteres.

### **Inndata**

Blant inndata er det kun overflatene som varier, ellers er andre inndata satt like. Ingen av badeveggene vender utover, så alle veggene er derfor satt til å grense rom med lik temperatur som badet, 21°C. Tabell 9 viser all inndata brukt i simuleringen som avviker fra standardverdiene allerede satt i programmet.

Værdata	Værdata er satt til Oslo. Dette har derimot ikke noe å si da klima utenfor veggene er satt til å ha samme temperatur som utgangspunktet på badet. Derfor vil ikke klima påvirke resultatene.
Komponenter	Komponentene involvert er tak, gulv og vegger. For at termiske strømninger i veggens skal spille inn er komponentene i alle tilfellene lik.
Materialdata	Komponentenes materialer er valgt ut ifra biblioteket innebygd i WUFI. Det er valgt "Scandinavian spruce transverse direction 2)
Overflater	Det er her forskjellen på komponentene kommer inn. For hver komponent kan man velge overflatebehandlinger for dampmotstand ved å oppgi en $S_d$ -verdi [m].

Interne laster	For å begrense simuleringen her er det kun satt på fuktpåkjenningene som er medført av dusjing. Dermed er varme og fukttilskuddet fra mennesker og varmetilskuddet fra vanndampen neglisjert.
Ventilasjon	Ventilasjonen er satt som naturlig ventilasjon og skiftes mellom 0,25, 0,5 og 1.
Andre parametere	Initial temperatur: 24°C Initial RF: 35% Nøyaktigheten til kalkulasjonen er satt til Temperatur: 0,1K RF: 0,1%
HVAC	Ventilasjonen er bestemt tidligere og trenger derfor ikke bestemmes her.

TABELL 9 - VISER INNDATA TIL SIMULERINGENE SOM AVVIKER FRA STANDARDVERDIER FOR PROGRAMMET

### 3.4. Metodekvalitet og usikkerheter

Det vil alltid være usikkerheter i målinger som blir gjort i faktiske omgivelser. I denne oppgaven er målingene som er gjort komplekse, spesielt med tanke på at det er mange faktorer som spiller inn på relativ fuktighet. Når det kommer til WUFI, vil man aldri kunne sammenligne virkeligheten med simuleringer gjort med et program. Simuleringer vil alltid ha "perfekte" omstendigheter og får ikke uventede påkjenninger med mindre man spesifiserer det.

#### 3.4.1. Målingene med sensorene

##### *Sensorene*

For å få likt utgangspunkt for sensorene ble sensorene skrudd fast i 10cm lange trebiter kuttet fra samme planke. Alle sensorene ble skrudd inn likt og på langs med fiberretningen (se Figur 18). Trebiten er av ubehandlet gran, samme slag som modulene av tre plassert rundt i leiligheten.



FIGUR 18 - SENSOREN SKRUDD INN I TREBITENE

Før målingene startet ble trebitene med sensor plassert i klimaskap for å kalibreres. Dette var først og fremst for å teste at sensorene virket, men også for at alle trebitene skulle ha samme fuktinnhold/likevekt når målingene startet. Ved at fuktinnholdet ved start er den samme for alle trebitene, unngår man at hystereseeffekten vil spille en stor rolle. Klimaskapet ble satt på temperatur 20 grader celsius og relativ fuktighet 65%.

Sensorene ble plassert i klimaskap 22. januar – 13. februar for å komme i likevekt med klimaskapet. Sensorene ble restartet den 29. januar. På samme tidspunkt begynte loggingen av resultater. I brukermanualen til sensoren (Omnisense LLC) blir det oppgitt nøyaktigheten til sensorene. For temperatur er det  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  og for RF er det  $\pm 3,5\%$  RF. Dette er ikke store verdier og vil derfor ikke være avgjørende å ta med når resultatene diskuteres. I tillegg vil den bli mindre avgjørende da det gjøres flere målinger (Nore 2014).

### ***Omstendigheter***

Selv om målingene er gjort ute i felt vil de ikke helt kunne sammenligne seg med et virkelig tilfelle. Treet er plassert ut som planker i rommet og vil derfor ikke kunne sammenlignes med et rom som har innebygde treoverflater. Plankene når ikke opp til taket og står litt skrått for at de skal holde seg på plass. I tillegg vil ikke treoverflaten/tremodulene være likt fordelt i rommet, men være plassert der det er mulig.

Innendørs fuktpåkjenninger vil heller ikke være like. Selv om det er like mange personer som bor i leilighetene må man ta hensyn til at personer har ulike vaner. Blant annet hvor lenge man dusjer, innendørs aktivitet, personlig fukttilskudd og om dørene mellom rom står åpent.

Tidligere er det nevnt at orienteringen av leiligheten ikke er lik. Leilighet A er mer utsatt for sol og på dager med sol vil det antageligvis være en forskjell på temperaturen innendørs på kjøkken og stue. Ellers er forholdene på badet og soverommene like.

For å gjøre målingene så like som mulig bør det etterstrebes å gjøre forholdene i alle forsøk så like som mulig, samt så lik virkeligheten som mulig. Likhetene som var mulig er geometrien, konstruksjonen, ventilasjonen og antall beboere til leiligheten. Det er en usikkerhet rundt ventilasjonsanlegget. Det skal være det samme for begge leilighetene, men det kan tenkes at ulike omstendigheter har gjort at de er blitt ulike over årene. I tillegg har ventilasjonsanlegget tre nivåer. Hvilket nivå som blir brukt er opp til beboerne. Det er også opp til beboerne hvor lenge viften står på før og etter dusjing og matlaging.

### ***Overførbarhet***

Resultatene fra målingene kan til en viss grad generaliseres, altså hvordan resultatet i studiet kan være gyldig i andre sammenhenger. Prinsippet med hygroskopiske overflater vil alltid være det samme, det er kun parameterne rundt som tilsier hvorvidt det vil gjelde alle tilfeller. Tidligere forsøk viser at klima har en del å si. Simonson et al. (2000) kom fram til at i kalde områder er innendørs RF høyest om sommeren og lavest om vinteren. I varmere strøk

vil innendørs RF være lavere om sommeren enn om vinteren. Dermed vil ikke oppgaven være overførbart til alle klimatyper eller tider på året.

Målingene ble gjort i mars. Dette er i følge Winkler et al. (2014) den tiden på året da varme- og kjølingsbehovet er lavest hvilket betyr at fuktbufringen er tydeligere.

I oppgaven brukes det treoverflater i ubehandlet gran. Alle tresorter har like egenskaper, men hvor mye hver varierer. Resultatet i denne oppgaven vil derfor ikke med sikkerhet gjelde andre tresorter.

### 3.4.2. Simuleringer i WUFI®Pluss

Selv om utregningene er utført av en datamaskin kan man ikke garantere at resultatene er feilfrie. Det er flere forhold som kan spille inn, og noen av feilkildene kan være:

- Programfeil
- Feil i inndata
- Utilstrekkelig kunnskap om de nødvendige data
- Begrensninger i den underliggende matematiske modellen
- Numeriske feil

Programfeil skal være eliminert da programmet har blitt testet flere ganger av leverandøren. Siden det dreier seg om komplekse kalkulasjoner kan det likevel oppstå feil i noen situasjoner. Inndata vil alltid være en mulig feilkilde ved at man kan ha brukt feil inndata. Ved store feil klarer programmet å oppdage disse og det vil ikke være mulig å gjennomføre simuleringene. Ellers er alle inputer blitt sjekket flere ganger (Wufi-wiki.com 2001).

Begrensningene fra den matematiske modellen er blant annet at det er neglisjert for luftstrømninger i materialene, oppsuging av grunnvann i gulvet og effekten for opptak av saltvann. Hystereseeffekten og overgangsmotstanden mellom to materialer (for eksempel rendering og murstein) er heller ikke tatt i betraktning i den vanlige fuktlagringsfunksjonen. Disse begrensningene vil ikke ha betydning for simuleringen i denne oppgaven (Wufi-wiki.com 2001).

Usikkerheter i forhold til oppgavens simuleringer vil hovedsakelig ligge i inndata. Som en del av masteroppgaven ble det satt opp kurs i WUFI®Pluss med en kursholder fra IBP. Kurset gav en god innføring i programmet og vil bidra til å eliminere feil relatert til utilstrekkelig kunnskap om programmet. Programfeil er det vanskelig å gjøre noe med, men det oppsto ingen feilmeldinger under simuleringen.

I simuleringene er standard materialdata fra biblioteket valgt og de fleste andre data er enten hentet fra andre artikler eller beholdt lik standardinnstillingene. All inndata er

beskrevet i metode i avsnitt 3.3. For å gjøre beregningene mer nøyaktige er det under "Andre parametere" valgt laveste nøyaktighet på kalkulasjonen (0,1) for både temperatur og RF. Verdier til rutenettet er blitt valgt ut ifra logiske resultater som vil forekomme.

Ved analysing av data er riktig bruk av rutenett i grafene viktig. I disse simuleringene må man tenke på at rutenettet ikke bli for grovt og at tidsintervallene blir hyppig nok til at man får med seg all relevant data (Wufi-wiki.com 2001).

### **3.4.3. Begrensninger for sammenligning av målinger og simuleringer**

Det er ikke gjort målinger av egenskapene til trematerialet brukt i leiligheten så det ble i simuleringene valgt den tresort mest lik, nemlig skandinavisk gran. Dette vil ikke gi de største forskjellene, men det er heller ikke helt likt og må derfor nevnes. I tillegg er treet i WUFI satt inn som komponenter, mens i forsøkene er det satt inn planker som gir en ekstra overflate. Dette må tas i betraktning når resultatene diskuteres.

Fordi vanndamp stiger vil man på et baderom oppleve at fuktigheten og temperaturen ikke er fullstendig jevn. WUFI tar ikke dette i betraktning og går ut ifra at vanndampen og temperaturen er jevn. Avtrekket skjer også jevnt i WUFI. I virkeligheten vil luften nærmest avtrekket tas ut først. Avtrekket skal ligge i taket eller høyt på veggen så den varme, fuktige luften trekkes ut først. Dette er grunnen til at det ble satt inn en vifte i baderommet under noen av dusjforsøkene. Viften vil hjelpe med å fordele vanndampen.

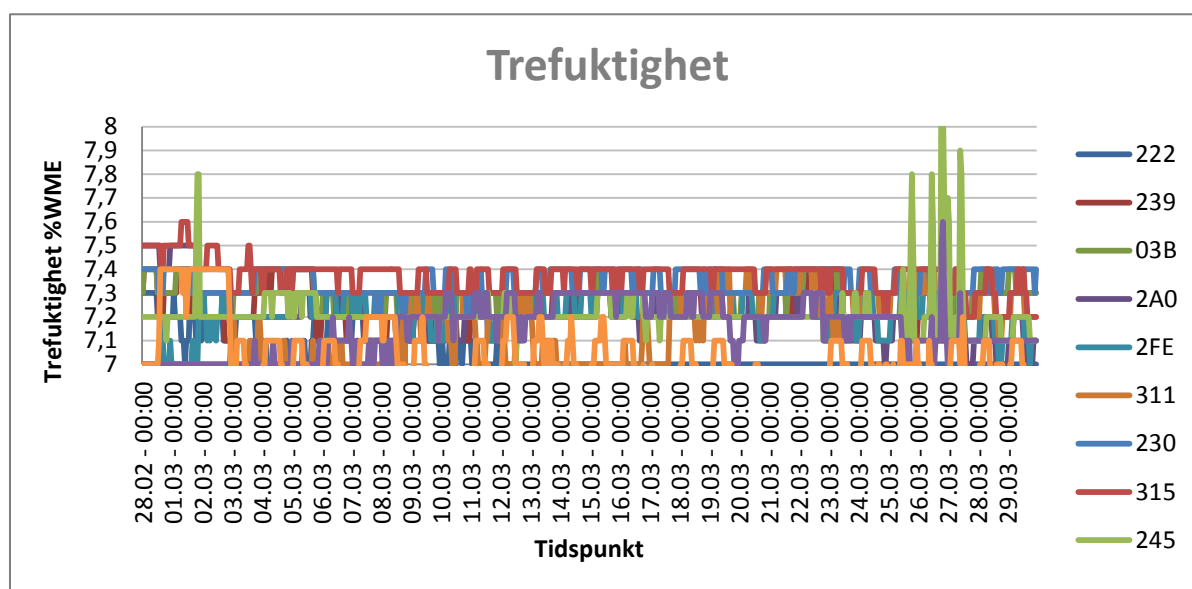


## 4. Resultat

I dette kapittelet framlegges resultatene. Først presenteres resultatene fra målingene med sensorene som ble gjort i hele leilighetene, deretter resultatene fra dusjforsøket. Tilslutt presenteres simuleringene som er gjennomført i WUFI.

### 4.1.Målinger

I resultatene fra målingene fokuseres det kun på temperatur og RF. Dette eliminerer unødvendig data og fokusere på de mest aktuelle parameterne. I utgangspunktet skulle oppgaven også se på trefuktighet, men resultater fra målingene ikke viser store variasjon i denne faktoren. Figur 19 viser at trefuktigheten holder seg relativt jevn på 7,0-8,0%.



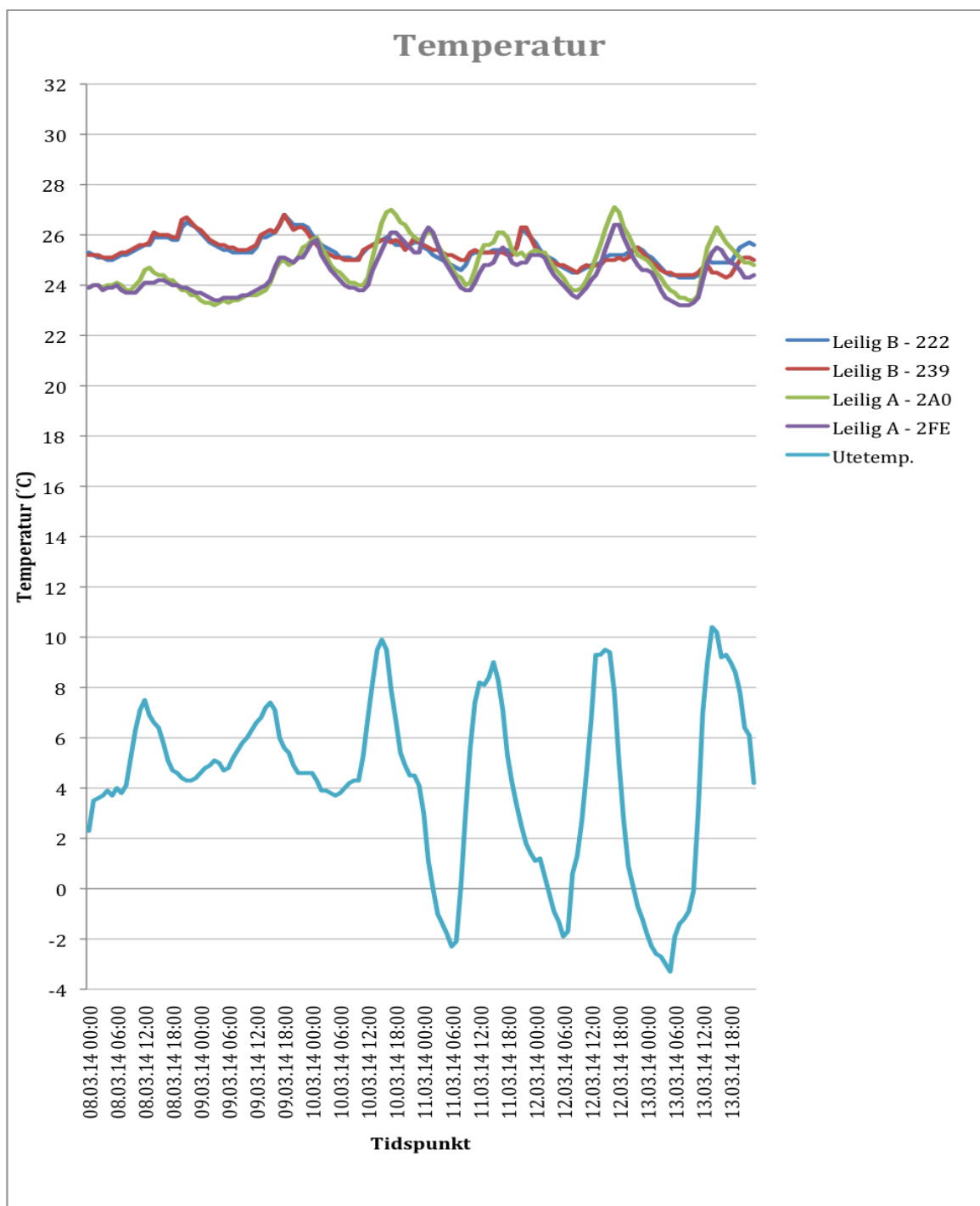
FIGUR 19 – VISER TREFUKTIGHETEN, %WME

#### 4.1.1. Kjøkken og stue

Kjøkken og stue er plassert i samme rom i testleilighetene, og er det eneste rommet med tilluft. Det er plassert 3 sensorer i rommet. Figur 15 viser plassering av sensorene. Den ene sensoren plassert i stuen avvek fra de andre to. Siden rommet sees på som ett, velges det å se bort ifra denne sensoren i Figur 20 og Figur 21, da den er antatt å ha blitt utsatt for feilkilder. Målingene på kjøkkenet og stuen ble kun utført i tidsperioden 01.mars-13.mars. Etter 13.mars ble treoverflatene flyttet for å øke treoverflatene på soverom og bad. Formålet med dette var å forsterke resultatene på soverom og bad. Figur 20 og Figur 21 er resultater for siste uke med måling for kjøkken og stue. Deretter sees det på aktivitetsloggen og hvilke utslag noen av aktivitetene gir.

## Temperatur

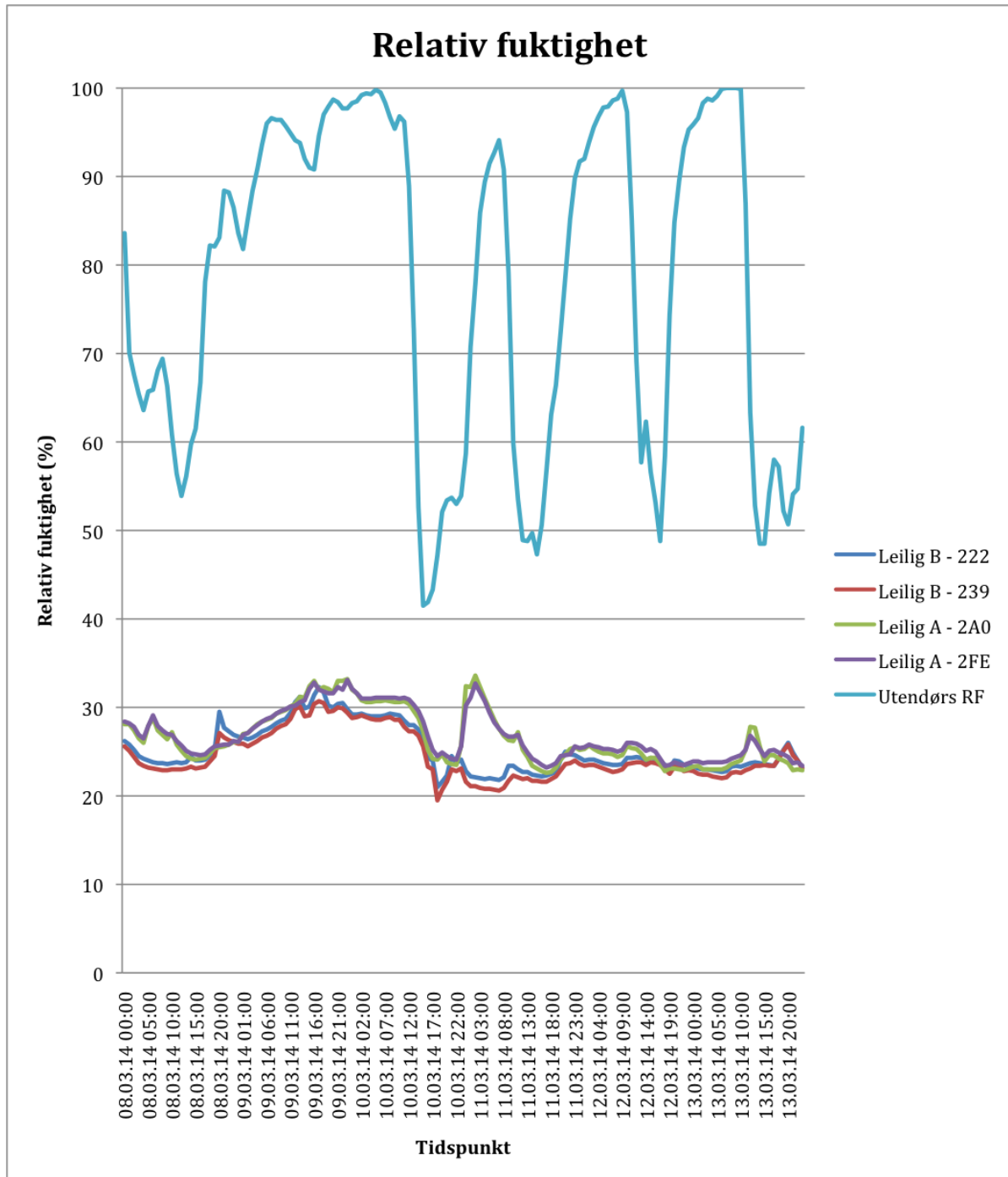
I Figur 20 sammenlignes grafene for lufttemperatur i begge leilighetene og luften ute. Her kan man se hvordan utetemperaturen påvirker temperaturen inne. Ved økning i temperatur ute øker som regel temperaturen inne også.



FIGUR 20 - VISER MÅLT TEMPERATUR INNENDØRS OG TEMPERATUR UTE FOR SAMME UTVALGTE PERIODE

## Relativ fuktighet

Figur 21 viser RF for kjøkkenet/stue i leilighet A og B og utendørs RF. Her kan man se hvordan innendørs RF varierer og i hvordan den påvirkes av utendørs RF. RF utendørs har store variasjoner og varierer fra 40% til 100%. Variasjonene er ikke like stor innendørs, men preges av utendørs RF. Innendørs RF er i tillegg påvirket av innendørs fuktktilskudd og temperatur. Resultatene for leilighet A og B sammenfaller godt og har få avvik fra hverandre.



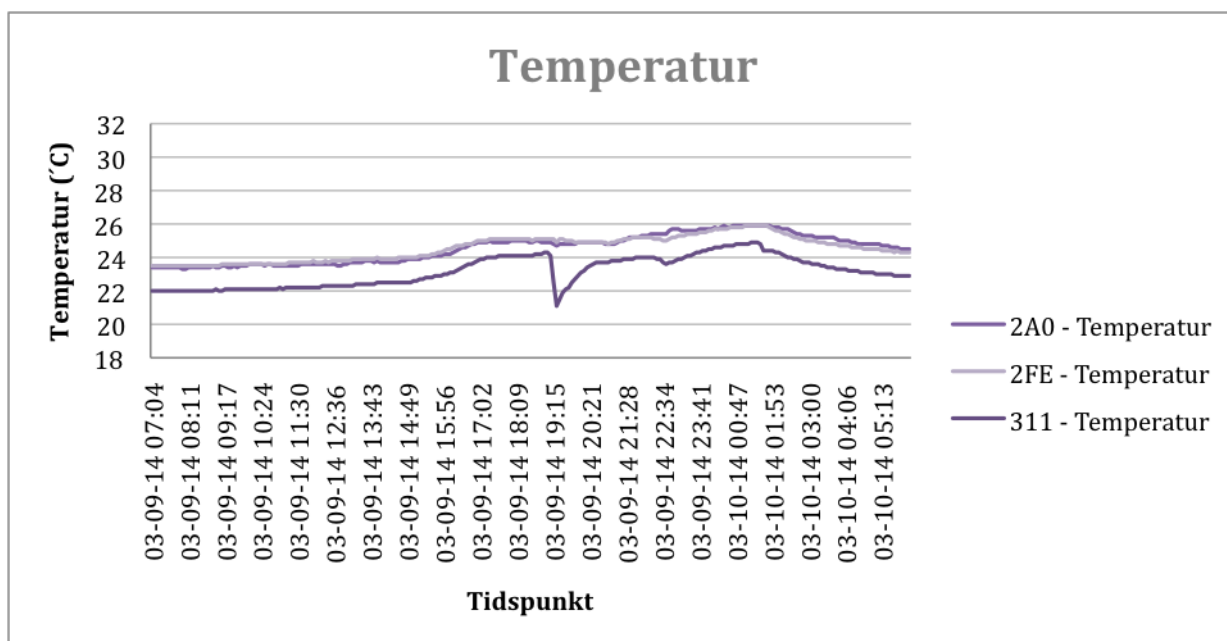
FIGUR 21 - VISER MÅLT RF INNENDØRS OG RF UTE FOR SAMME UTVALGTE PERIODE

### **Leilighet A - Uten treoverflater**

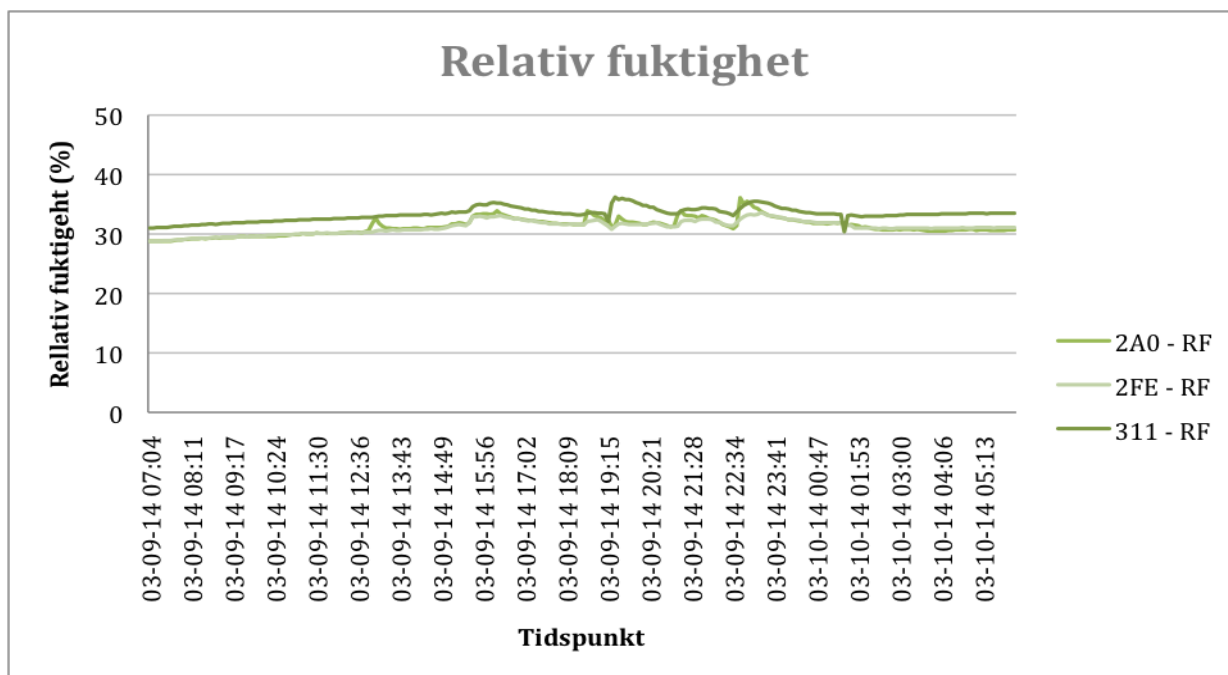
I aktivitetsloggen presentert i Tabell 10 er det registrert aktiviteter i utvalgt periode. Figur 22 viser temperaturen og Figur 23 viser RF i samme periode. I figurene kan man se en økning i temperatur og RF når matlaging er logget kl.14.40-15.10. Videre er det igjen en stigning i temperatur og RF ved neste loggede matlaging, kl.19.25-20.05. Selv om det er økning i RF for aktivitetene er de ikke overveldende. Annen aktivitet i grafen kan man tenke seg kommer fra fuktproduksjon av mennesker og påvirkningen fra luften utendørs.

Dato	Fra kl.	Til kl.	Aktivitet
9.03	14.40	15.10	Matlaging
9.03	19.00	19.10	Lufting
9.03	19.25	20.05	Matlaging

TABELL 10 - ET UTSNITT AV TABELL OVER AKTIVITETER I LEILIGHET A FRA VEDLEGG A.



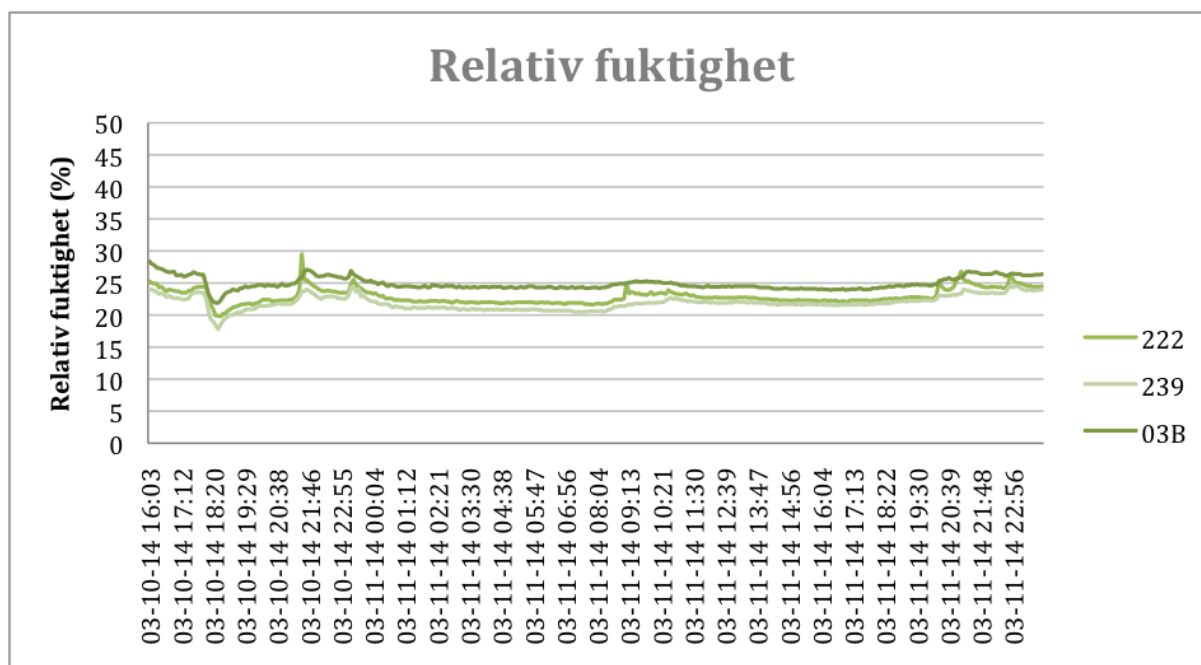
FIGUR 22- VISER SVINGNINGER I TEMPERATUR VED AKTIVITETER I TABELL 10



FIGUR 23 - VISER SVINGNINGER I RF VED AKTIVITETER I TABELL 10

### Leilighet B - Med treoverflater

Figur 24 og Figur 25 viser en sekvens hvor aktiviteten matlaging er logget i Tabell 11. Figur 24 viser temperatur og Figur 25 viser RF for utvalgt periode. Her ser man at aktivitetene



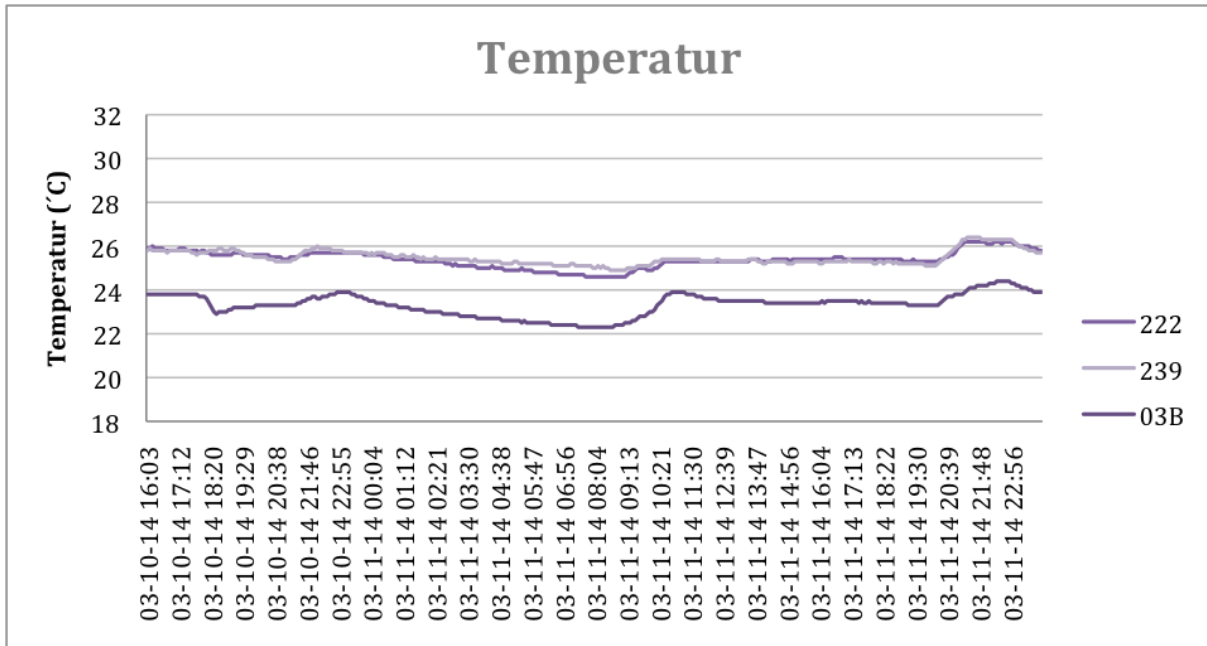
FIGUR 25 - VISER SVINGNINGER I RF VED AKTIVITETER I TABELL 11 I LEILIGHET B

logget gir økning i RF. Stigningen for RF og temperaturen er rask. Selv om man ser en stigning

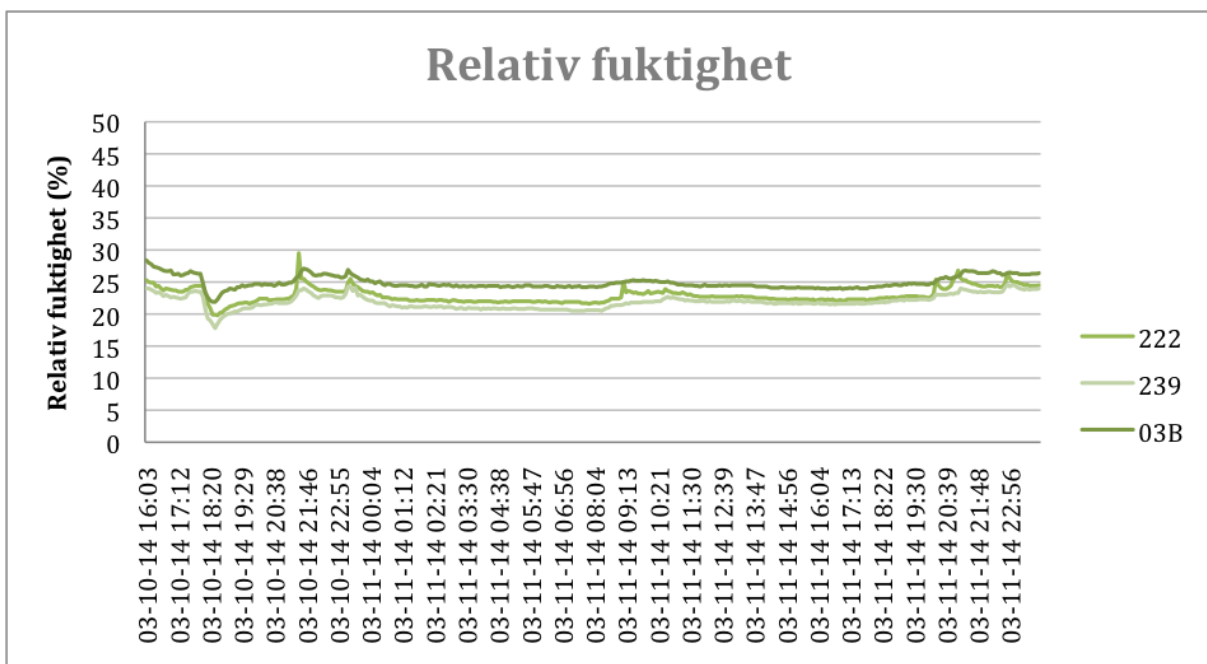
i både temperatur og RF er den ikke overveldende. Annen aktivitet i grafen kan man tenke seg kommer fra fuktproduksjon av mennesker og påvirkningen fra luften utendørs.

Dato	Fra kl.	Til kl.	Aktivitet
10.03	20.15	20.35	Matlaging
11.03	20.00	20.30	Matlaging

TABELL 11 - UTSNITT AV AKTIVITETSTABELL FOR LEILIGHET B I VEDLEGG A



FIGUR 24 - VISER SVINGNINGER I TEMPERATUR VED AKTIVITETER I TABELL 11 I LEILIGHET B

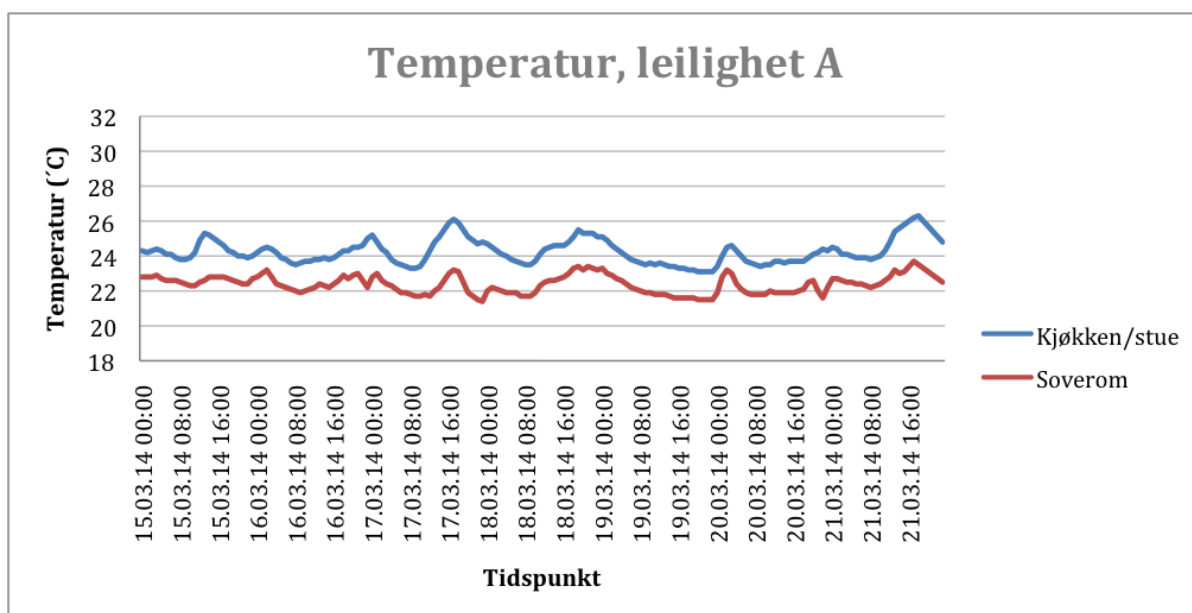


FIGUR 25 - VISER SVINGNINGER I RF VED AKTIVITETER I TABELL 11 I LEILIGHET B

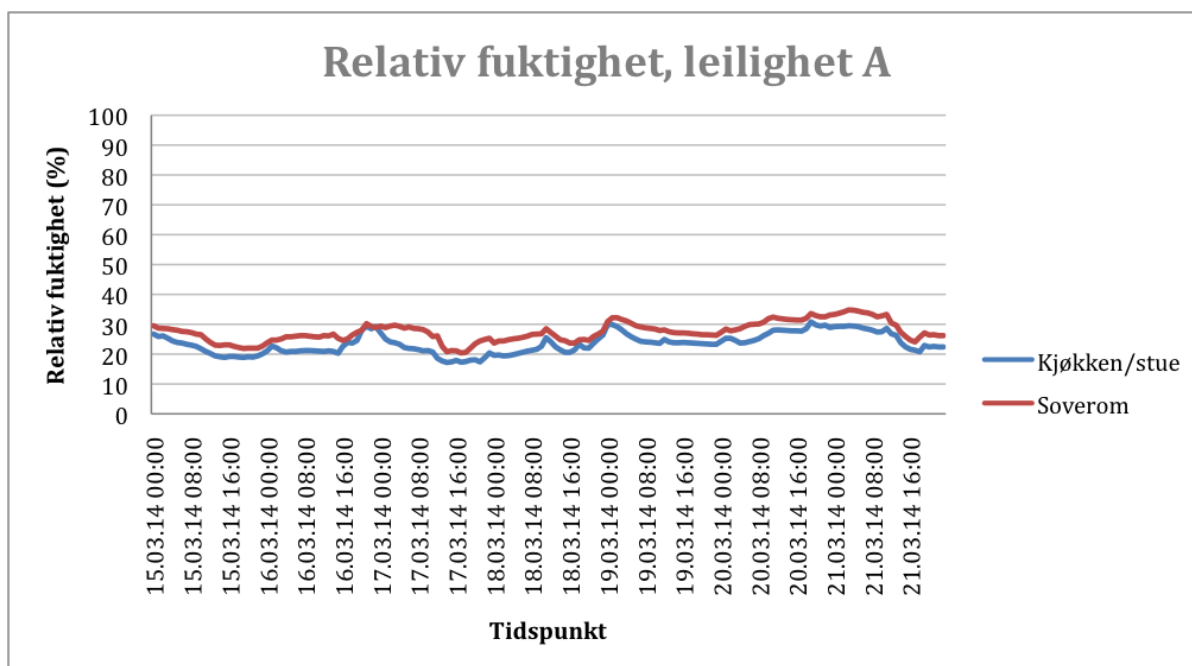
### 4.1.2. Soverom

På soverommet er det satt ut en sensor i hver leilighet. Her er det antatt normal døgnrytme og det er derfor ikke ført logg. Resten av grafene for soverommene ligger i vedlegg A. Grafene fra leilighetene ser ut til å være tilnærmet like. De er ikke like på alle punkter men variasjonen i temperatur og RF er svært lik.

I leilighet A varierer temperaturene på soverommet mellom 19,5°C og 26°C og RF mellom 17% og 41%. I leilighet B varierer temperaturen mellom 21°C og 24,5°C og RF mellom 18% og 38%. Variasjonene i hver leilighet virker tilfeldig og opererer ikke med noe tydelig mønster. Men temperaturen har en tendens til å starte fall fra midnatt og RF har en tendens til å stige fra midnatt.



FIGUR 26 - SAMMENLIGNING AV SVINGNINGER I TEMPERATUR FOR KJØKKEN/STUE OG SOVEROM FOR TILFELDIG UTVALGT PERIODE I LEILIGHET A



FIGUR 27 -- SAMMENLIGNING AV SVINGNINGER I RF FOR KJØKKEN/STUE OG SOVEROM FOR TILFELDIG UTVALGT PERIODE I LEILIGHET A

Figur 26 og Figur 27 viser grafer fra leilighet A og B hvor temperaturen og RF er sammenlignet med kjøkken/stue. Ved å sammenligne disse kan man se hvordan kjøkken/stue muligens har påvirket soverommet. Dette vil gi en effekt da døren mellom rommene for det meste står åpen. Dette gjelder både for temperatur og RF i leilighetene.

I leilighet B er temperaturene tilnærmet parallelle, mens RF varierer litt. Et par netter øker RF på soverommet uten at den gjør det på kjøkken/stuen. I leilighet B ble det informert om at døren til soverommet stort sett var igjen på natten. Det antas her at de nettene RF økte var de nettene døren var igjen.

Den 13.mars ble det byttet på mengden med tre for leilighet B. Da økte andelen tre på soverommet fra 18,9% til 44,7%. Fra resultatene sees det ingen vesentlig forskjell mellom før og etter. Se Tabell 8 i metodekapittel for oversikt av andelen tre fra runde 1 og 2.

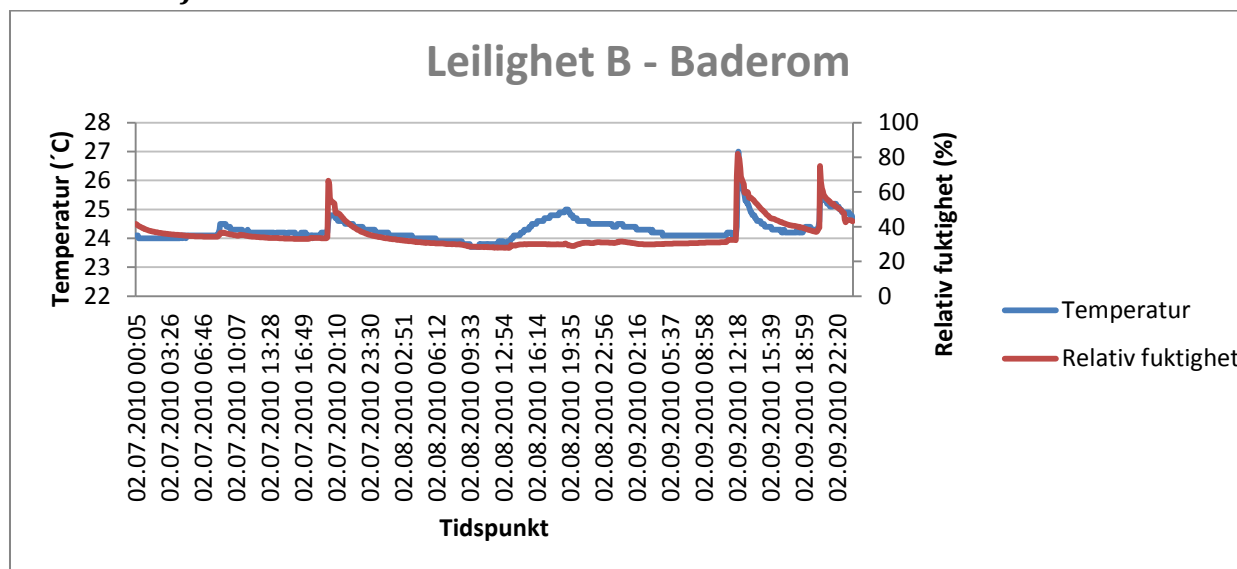
### 4.1.3. Baderom

På badet ble det plassert to sensorer. Den ene ble plassert høyt mens den andre ble plassert cirka en meter over gulvet. Dette gjør at man får registrert både fuktighet og temperatur som oppleves i rommet (midt i rommet), og hvor det sannsynligvis vil opptre høyest verdier



(under taket) ettersom vanddamp og varmluft vil stige. Figur 28 og Figur 29 viser tydelig når det er aktivitet på badet, og alle aktivitetene fra Tabell 12 og Tabell 13 som er registrert, gir utslag. Sensorene viser ikke alltid like resultater, og sensoren som ble plassert høyest var den som viste best variasjon og reaksjon på aktiviteter. Basert på dette ble det valgt å se nærmere på resultatene denne sensoren viser.

### Med treoverflater

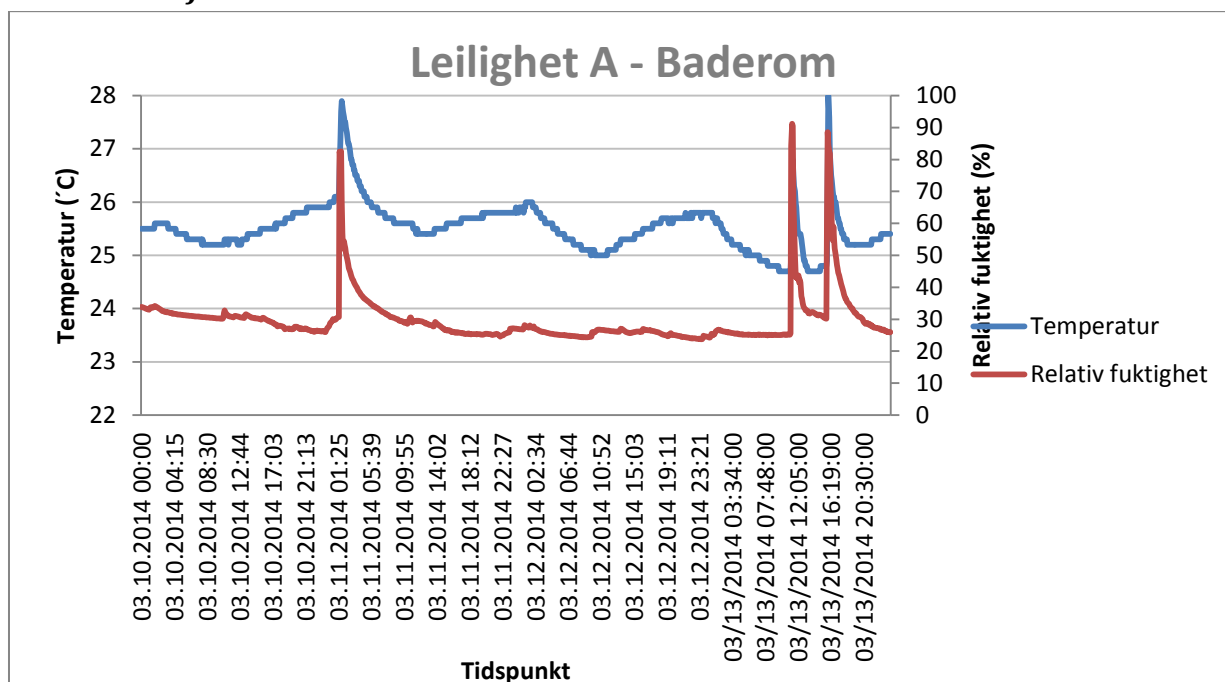


FIGUR 28 - UTSLAG FRA AKTIVITETER VED UTVALGT PERIODE FOR BADEROM I LEILIGHET B

Dato	Fra kl.	Til kl.	Aktivitet
7.03	18.15	18.25	Dusj
9.03	11.15	11.30	Dusj
9.03	19.15	19.30	Dusj

TABELL 12 - AKTIVITET I UTVALGT PERIODE. UTSNITT FRA AKTIVITETSTABELL FOR LEILIGHET B I VEDLEGG A

## Uten treoverflate



FIGUR 29 - UTSLAG FRA AKTIVITETER PÅ BADEROM FOR VALGT PERIODE I LEILIGHET A

Dato	Fra kl.	Til kl.	Aktivitet
10.03	00.30	00.50	Dusj
13.03	10.05	10.25	Dusj
13.03	14.45	15.00	Dusj

TABELL 13 - AKTIVITET I UTVALGT PERIODE. UTSNITT FRA AKTIVITETSTABELL FOR LEILIGHET A I VEDLEGG A

Fra utslagene på badet det virke som om leiligheten uten tre får høyere RF ved fuktpåkjenning. Ved å se på alle målingene som er gjort, og er dokumenter i vedlegg A, ser man at det ikke er noen tydelige forskjeller mellom testleilighetene, og det er finnes variasjoner for maksimal RF innad i hver leilighet.

På badet i leilighet B ble det den 13.03 også økt andelen med treoverflate. Det ble økt fra 18,5% til 44,2%. Sammenligner man før og etter er det tendenser til at fuktpåkjenningene gir noe lavere RF etter økningen av treoverflaten.

### 4.2.Dusjforsøk

Badet viste tydelige resultater ved aktivitet, men det var vanskelig å sammenligne resultater da tidsløp og andre vesentlige faktorer var ukjente. Av den grunn ble det utført ekstra forsøk på badet. Forsøkene ble utført som kontrollerte dusjesekvenser under kontrollerte forhold. Tre forskjellige omstendigheter ble testet og alle tre ble testet med tre forskjellige effekter

på avtrekksviften (se Tabell 14). Forsøk 1 var badet uten treoverflater, forsøk 2 var med treoverflater og forsøk 3 var med treoverflater og ei vifte som skulle fordele dampen bedre. Alle forsøkene ble gjort på badet i testleilighet B.

Resultatene blir presentert med to figurer for hver ventilasjonsgrad, en for temperatur og en for relativ fuktighet. Figurene inneholder resultatene fra forsøk 1 til 3 som er utført med samme ventilasjonsgrad. Et slikt oppsett gir et godt grunnlag for å sammenligne resultatene fra de ulike forsøkene. Vannrett akse viser rett dato til kun ett av forsøkene. Grunnen til dette er at det ikke gikk å få ut minuttdata for målingene. Data som ble tatt ut var i stedet tilfeldige minutter hvor maks mellomrom var 7 minutter. Dette gjorde sammenligning av data vanskeligere, men ettersom alle forsøkene har eksakt samme varighet blir tidsforløpet sammenlignbare.

Forsøk nr.	Tilstanden til badet	Ventilasjonsgrad
1	Bad uten treoverflater	1, 2 og 3
2	Bad med treoverflater	1, 2 og 3
3	Bad med treoverflater og vifte	1, 2 og 3

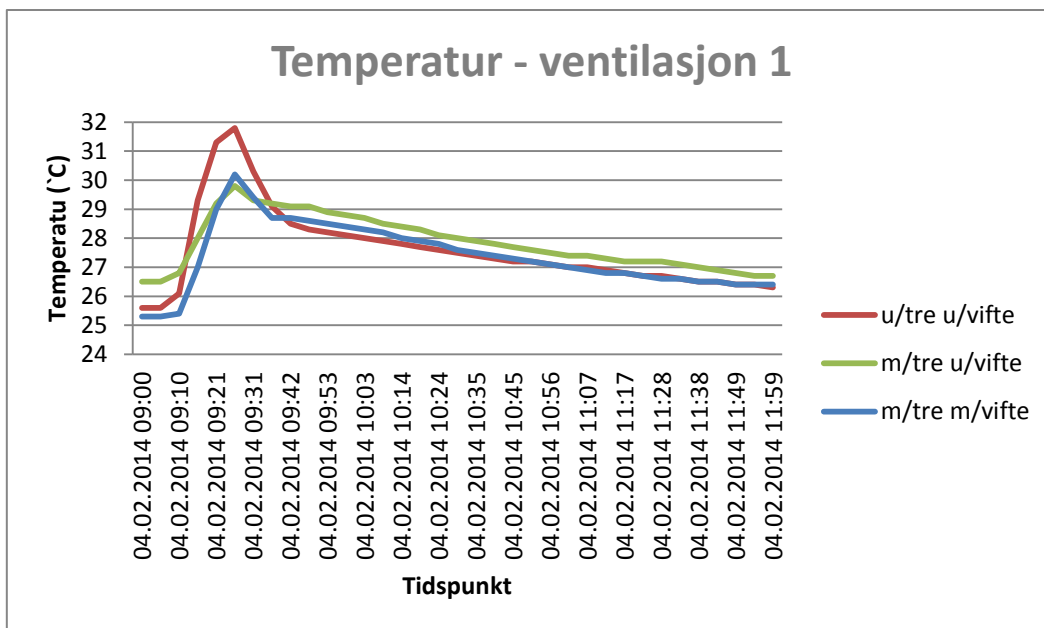
TABELL 14 - FORSØKSNUMMER OG HVILKE FORHOLD OG VENTILASJONSGRAD DET BLE BRUKT FOR HVERT FORSØK

I disse forsøkene trenger man ikke å ta stilling til nøyaktigheten til sensorene, da samme sensor er brukt til forsøkene og det er forskjellene mellom målingene som er interessante.

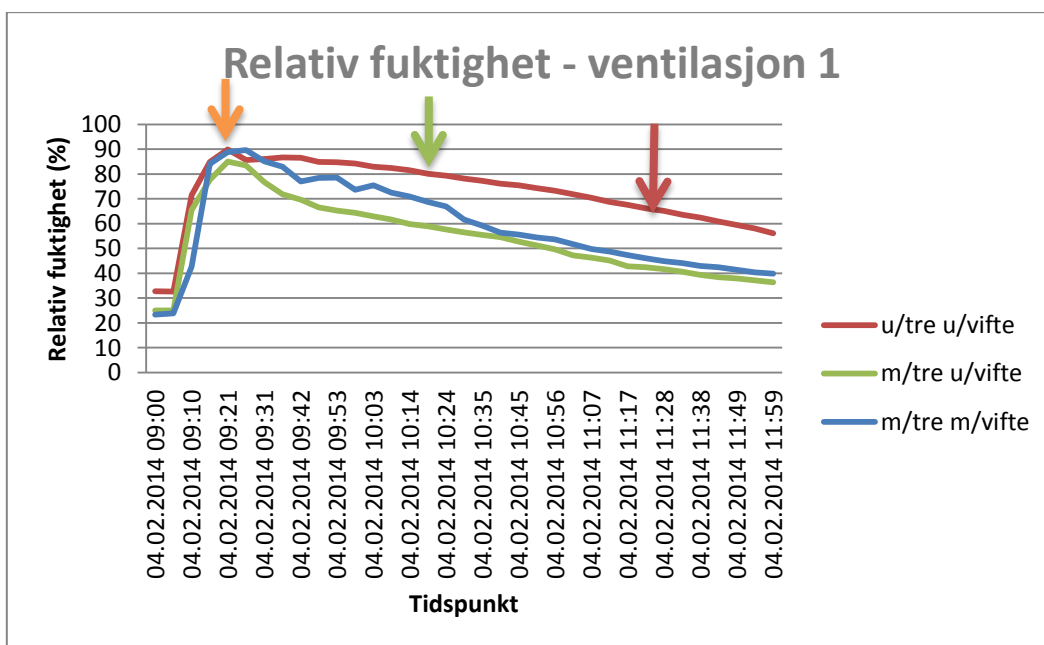
#### 4.2.1. Ventilasjonsgrad 1

Ventilasjonsgrad 1 er den laveste effekten på badet og den som står på konstant for å holde et undertrykk i rommet. Figur 30 viser grafen for temperatur og

utvalgte punkter hvor det er tatt ut temperatur og RF fra grafene. Disse tallene er brukt til å finne vandampinnholdet i luften ved hjelp av Molliers diagram, Figur 5. Punkt 1 er der RF når høyeste verdi, punkt 2 er 1 time etter maksimal RF og punkt 3 er 2 timer senere. For ventilasjonsgrad 1 er det kun ca. verdier fordi de faller utenfor diagrammet og det derfor er antatt verdier ved å forlenge diagrammet.



FIGUR 30 - VISER RESULTATET FOR TEMPERATUR FRA ALLE DUSJFORSØKENE MED VENTILASJON 1



FIGUR 31 - VISER RESULTATET FOR RF FRA ALLE DUSJFORSØKENE MED VENTILASJON 1. PILENE ILLUSTRERER PUNKTENE I FIGUR 10

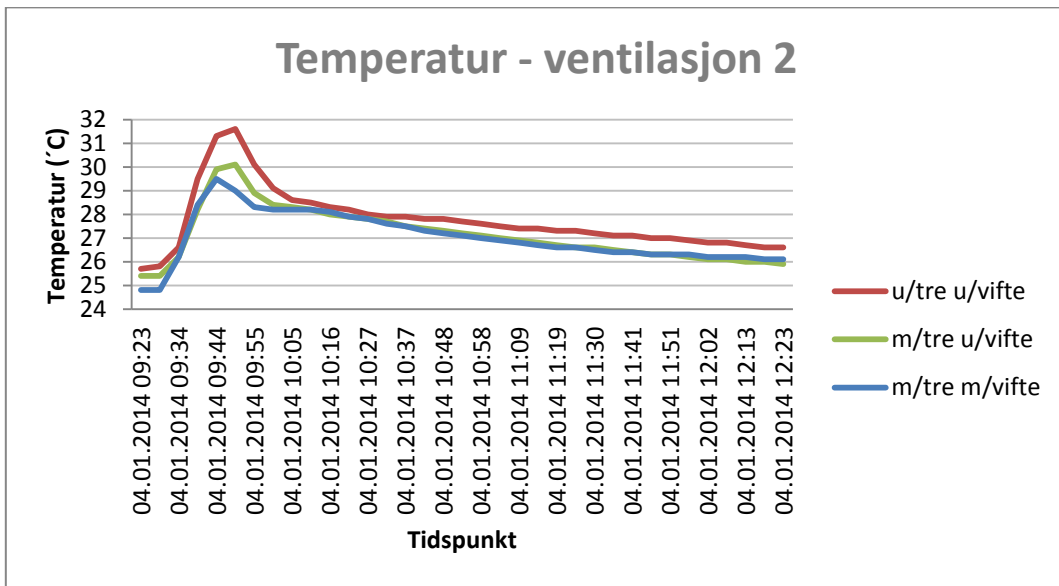
Nr.	Punkt 1			Punkt 2			Punkt 3		
	Temp	RF	Vanndamp	Temp	RF	Vanndamp	Temp	RF	Vanndamp
1	31,3	89,9	Ca. 35	27,9	82,4	20,5	26,9	68,8	18,2
2	29,2	85,0	Ca. 25	28,3	58,9	14,0	27,2	42,4	11,0
3	30,2	89,6	Ca. 30	27,8	66,9	18,2	26,6	44,9	11,4

TABELL 15 - OVERSIKT OVER RF, TEMPERATUR OG VANNDAMPINNHOOLD VED PUNKT 1, 2 OG 3 FOR VENTILASJONSGRAD 1. PUNKTENE ER ILLUSTRERT I FIGUR 33.

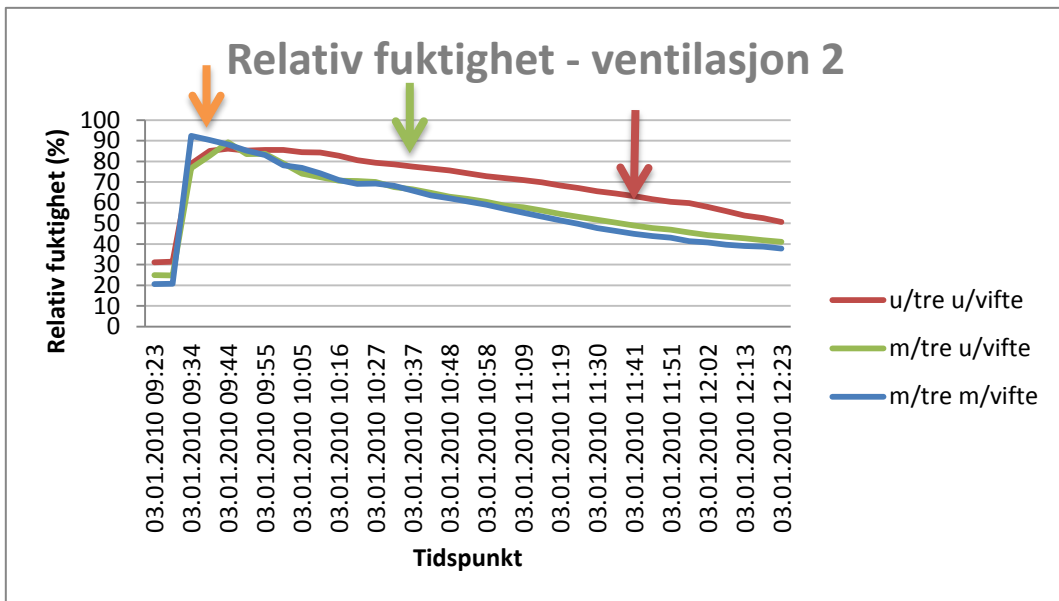
## 4.2.2. Ventilasjonsgrad 2

Ventilasjonsgrad 2 er det midterste nivå på avtrekksvifta. Figur 32 viser grafen for temperatur og

Figur 33 viser grafen for RF for forsøkene. Tabell 16 er en oppsummeringstabell med tre utvalgte punkter hvor det er tatt ut temperatur og RF fra grafene. Disse tallene er brukt til å finne vandampinnholdet i luften ved hjelp av Molliers diagram, Figur 5. Punkt 1 er der RF når høyeste verdi, punkt 2 er 1 time etter maksimal RF og punkt 3 er 2 timer senere.



FIGUR 32 - VISER RESULTATET FOR TEMPERATUR FRA ALLE DUSJFORSØKENE MED VENTILASJONSGRAD 2



FIGUR 33 - VISER RESULTATET FOR RF FRA ALLE DUSJFORSØKENE VED VENTILASJONSGRAD 2. PILENE ILLUSTRERER PUNKTENE I

TABELL 16

Nr.	Punkt 1			Punkt 2			Punkt 3		
	Temp	RF	Vanndamp	Temp	RF	Vanndamp	Temp	RF	Vanndamp
1	31,3	86,1	Ca. 30	27,8	76,6	21,0	27,0	61,6	16,6
2	29,9	89,3	Ca. 28	27,4	64,7	18,0	26,3	47,8	11,8
3	26,2	92,4	Ca. 25	27,6	68,2	18,8	26,4	46,3	11,5

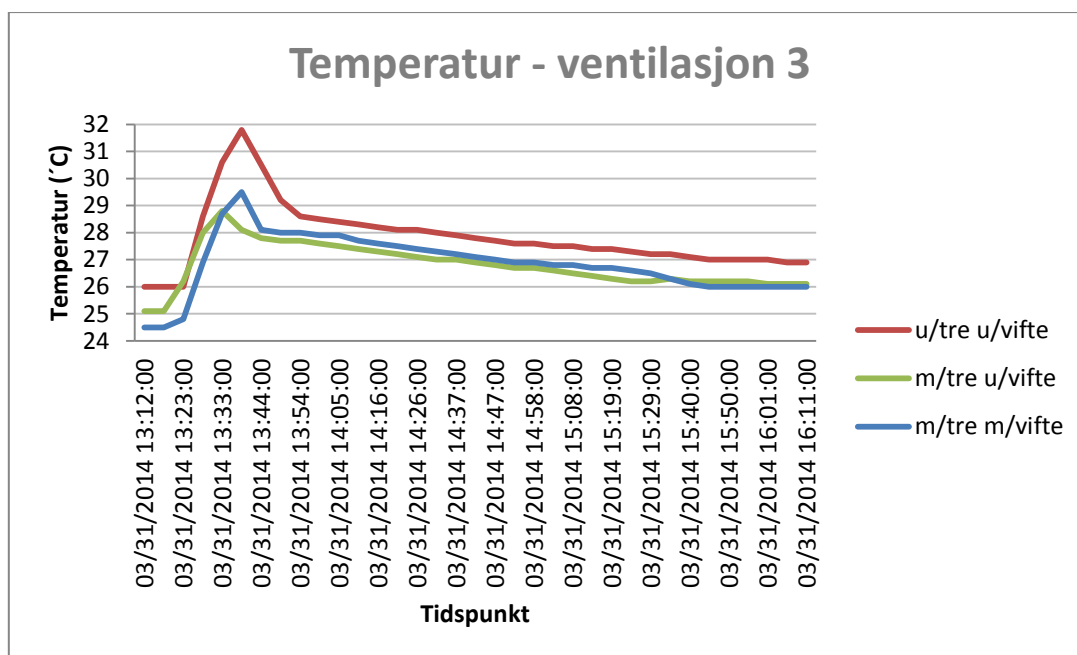
TABELL 16 - OVERSIKT OVER RF, TEMPERATUR OG VANNDAMPINNHOOLD VED PUNKT 1, 2 OG 3 FOR VENTILASJONSGRAD 2.

PUNKTENE ER ILLUSTRERT I FIGUR 35

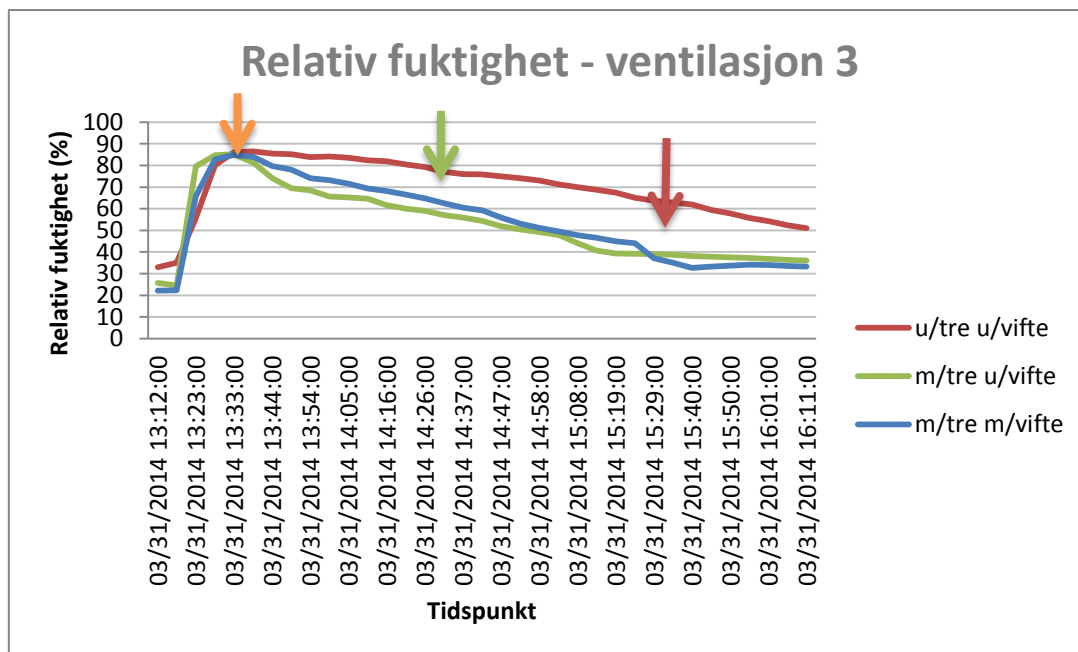
### 4.2.3. Ventilasjonsgrad 3

Ventilasjonsgrad 3 er det høyeste nivået til avtrekksviften. Figur 34 viser grafen for temperatur og Figur 37 viser grafen for RF for dusjforsøkene

Tabell 17 er en oppsummeringstabell med tre utvalgte punkter hvor det er tatt ut temperatur og RF fra grafene. Disse tallene er brukt til å finne vanndampinnholdet i luften ved hjelp av Molliers diagram, Figur 5. Punkt 1 er der RF når høyeste verdi, punkt 2 er 1 time etter maksimal RF og punkt 3 er 2 timer senere.



FIGUR 34 - VISER RESULTATET FOR TEMPERATUR FRA ALLE DUSJFORSØKENE MED VENTILASJON 3



FIGUR 35 - VISER RESULTATET FOR RF FRA ALLE DUSJFORSØKENE MED VENTILASJON 3. PILENE ILLUSTRERER PUNKTENE I TABELL 18

Nr.	Punkt 1			Punkt 2			Punkt 3		
	Temp	RF	Vanndamp	Temp	RF	Vanndamp	Temp	RF	Vanndamp
1	31,8	86,5	Ca. 32	27,9	76,0	22,0	27,1	62,0	16,5
2	28,8	85,2	Ca.26	27,0	57,1	14,8	26,3	38,8	9,8
3	28,7	84,8	Ca.25	27,3	62,5	16,8	26,3	35,1	9,0

TABELL 17 – OVERSIKT OVER RF, TEMPERATUR OG VANNDAMPINNHold VED PUNKT 1, 2 OG 3 FOR VENTILASJONSGRAD 3. PUNKTENE ER ILLUSTRERT I FIGUR 37

### 4.3.WUFI simuleringer

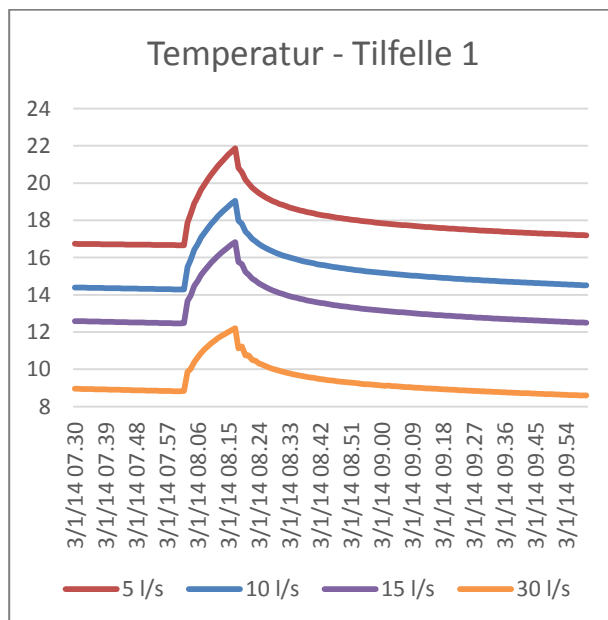
Alle resultatene fra simuleringen er vedlagt i Vedlegg B. I dette kapittelet presenteres det et utvalg av grafene som viser de resultater som diskuteres videre i oppgaven. Simuleringene er utført for fire ventilasjonsgrader med åtte tilfeller av ulik treandel. Tabell 18 viser hvor stor treandel som ble brukt i hvert tilfelle.

	Treoverflate	Treandel [%]
Tilfelle 2	Ingen treoverflate	0
Tilfelle 3	Tak	16,2
Tilfelle 5	En vegg og tak	30,3
Tilfelle 7	Likt som måling	43,4
Tilfelle 8	Tilnærmet halvparten	54,6
Tilfelle 4	Alle unntatt en vegg	69,7
Tilfelle 6	Tre vegger og tak	85,9
Tilfelle 1	Full treoverflate	100,0

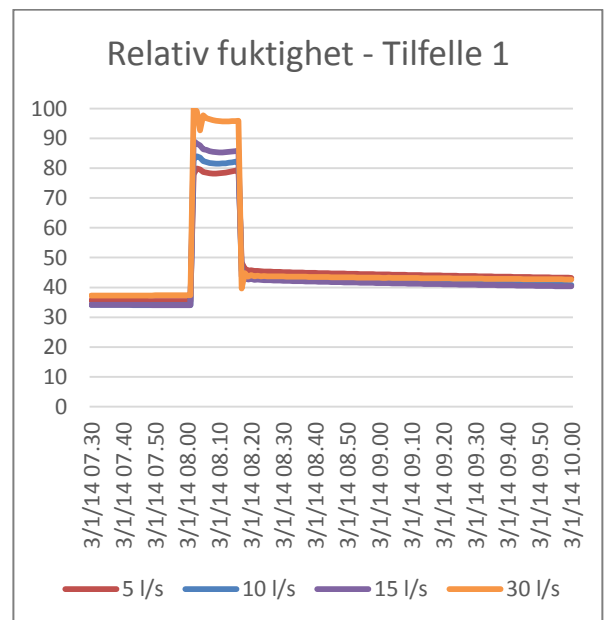
TABELL 18 - OVSERIKT OVER TILFELLENE UTFØRT I SIMULERINGENE OG HVOR STOR TREANDEL HVER HADDE

#### 4.3.1. Sammenligning av ventilasjonsgrader

I Figur 36 og Figur 37, er resultatene for tilfelle 1 med alle ventilasjonsgradene satt opp i samme graf. Det er store forskjeller mellom avtrekkseffektene. Det verdt å merke seg at RF er høyest for ventilasjonsgrad 30 l/s og lavest for 5 l/s.



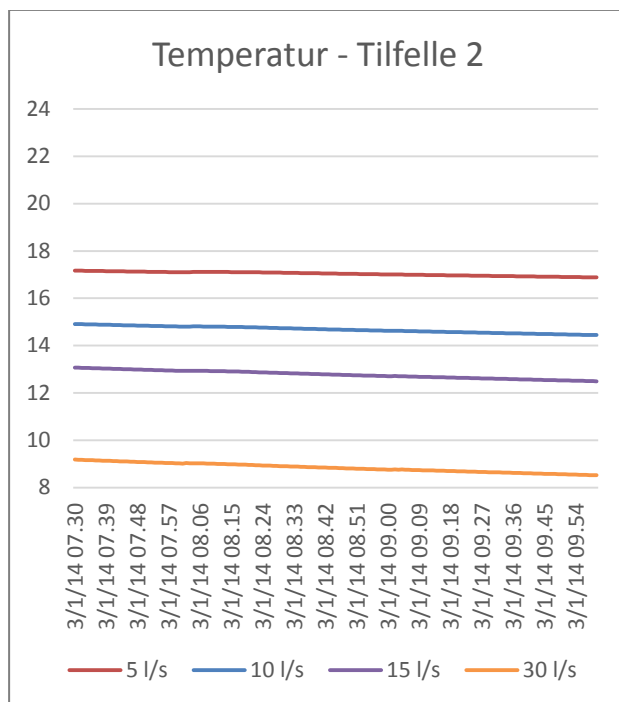
FIGUR 36 - TEMPERATURØKNING FOR ALLE VENTILASJONSTALLENE VED DUSJSIMULERING FOR TILFELLE 1. HENTET FRA VEDLEGG A



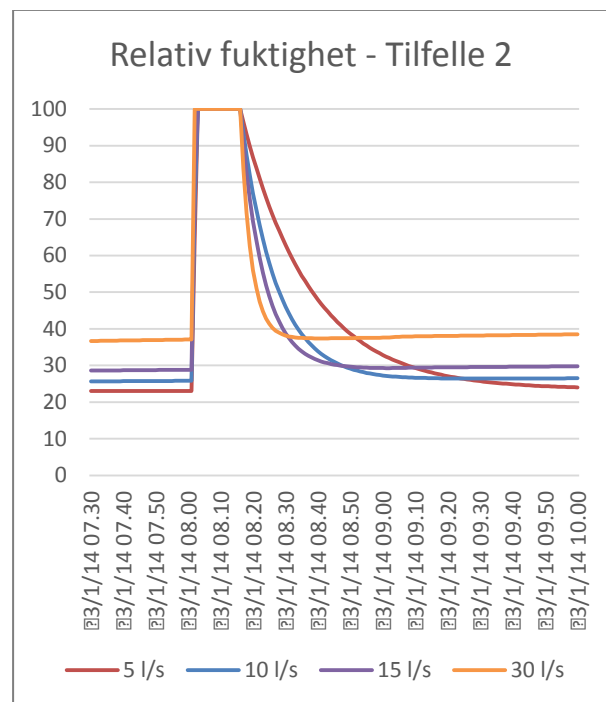
FIGUR 37 - RF FOR ALLE VENTILASJONSTALLENE VED DUSJSIMULERING FOR TILFELLE 1. HENTET FRA VEDLEGG A



Figur 38 og Figur 39, viser tilfelle 2 med alle ventilasjonsgradene satt opp i samme graf. Uten treoverflater er det ingen temperaturøkning forårsaket av latent varme. Det er også her store forskjeller mellom avtrekkseffektene. Temperaturen varierer mellom 9°C til 17°C. Alle ventilasjonsgradene når 100% RF. De varierer først på vei ned. Her er ventilasjonsgrad 5 l/s slakere enn de andre. Det kan se ut som 5 l/s ender på en lavere RF enn de andre, men dette kommer av at den også startet lavere. Alle ventilasjonsgradene ender på sitt startpunkt tilslutt.



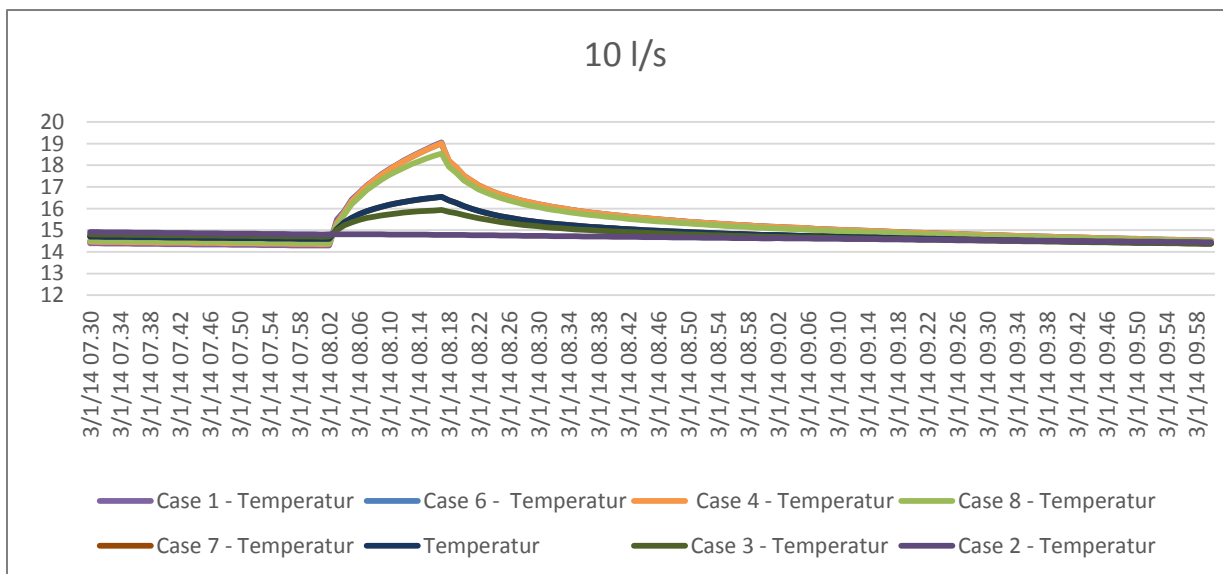
FIGUR 38 - VISER TEMPERATUREN FOR ALLE VENTILASJONSTALLENE VED DUSJSIMULERING FOR TILFELLE 2 - UTEN TREOVERFLATER. HENTET FRA VEDLEGG A



FIGUR 39 - VISER RF FOR ALLE VENTILASJONSTALLENE VED DUSJSIMULERING FOR TILFELLE 2 - UTEN TREOVERFLATE. HENTET FRA VEDLEGG A

#### 4.3.2. Sammenligning av temperatur og relativ fuktighet

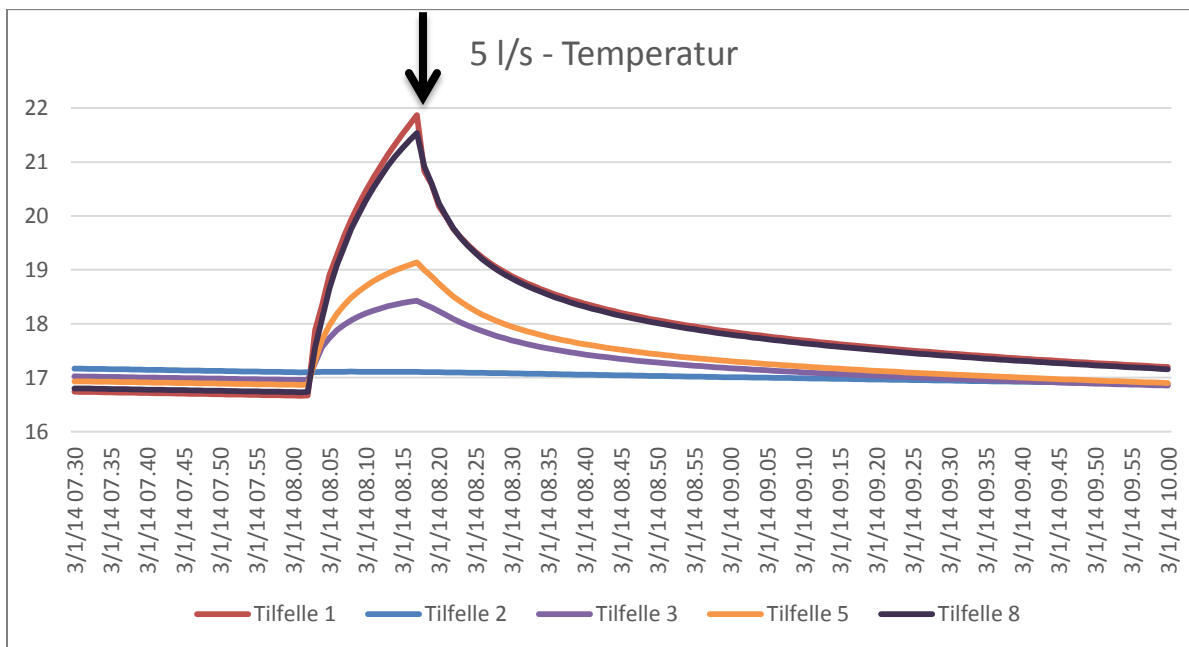
Analyse av resultatene viser at tilfelle 6 og 4 er tilnærmet likt 8 og tilfelle 7 er tilnærmet likt 5, se Figur 40. Forsker ser derfor videre på tilfelle 1, 8, 5 og 2 som gir forskjellige resultater, og er interessante for videre utdyping. Alle grafene viser tidsperspektivet på horisontal akse og temperatur eller RF på vertikal akse. Dusjsekvensen varer fra 08.00-08.15. Tidsforløpet i grafene går fra 07.30-10.00.



FIGUR 40 - ALLE TILFELLENE SAMLET FOR VENTILASJONSGRAD 10L/s

### 5 l/s - Temperatur

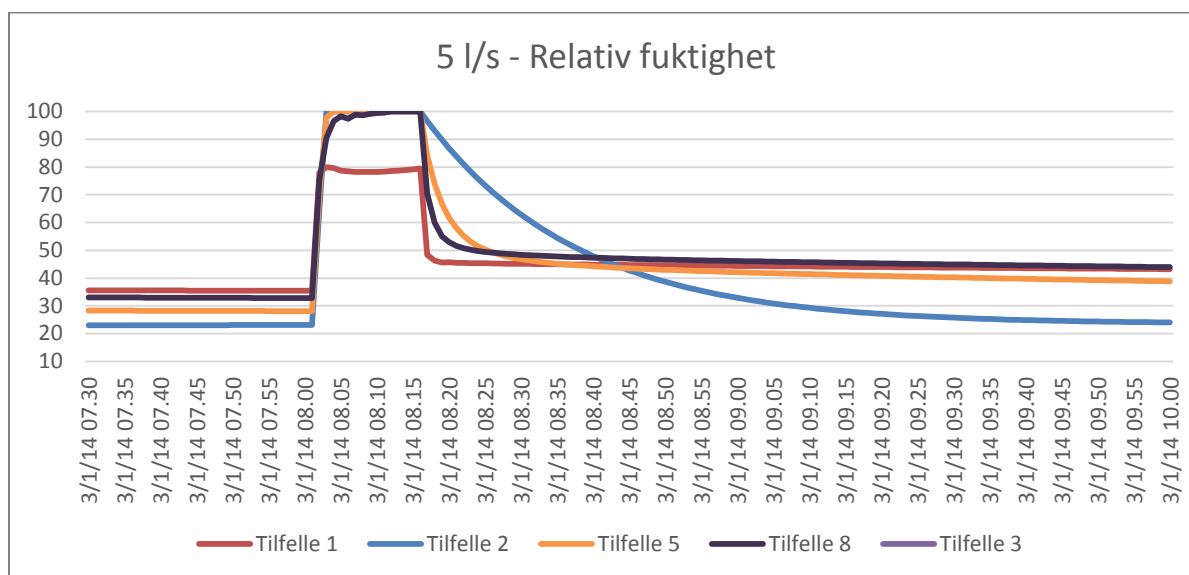
I Figur 41 og Figur 42 ser man resultatene for ventilasjonsgrad 5 l/s. Resultatene viser en økning i temperatur for tilfelle 1 med 100% treoverflate, 5,1°C (21,8-16,7). Uten treoverflate, som i tilfelle 2, er det ingen temperaturendring.



FIGUR 41 - VISER TEMPERATUREN FOR SIMULERINGSTILFELLE 1,2,3,5 OG 8 FOR VENTILASJONS 5L/s. PILEN DEMONSTRERER PUNKT 1 ER SOM BLIR BRUKT I TABELL 19, 20, 21 OG 22

## 5 l/s – Relativ fuktighet

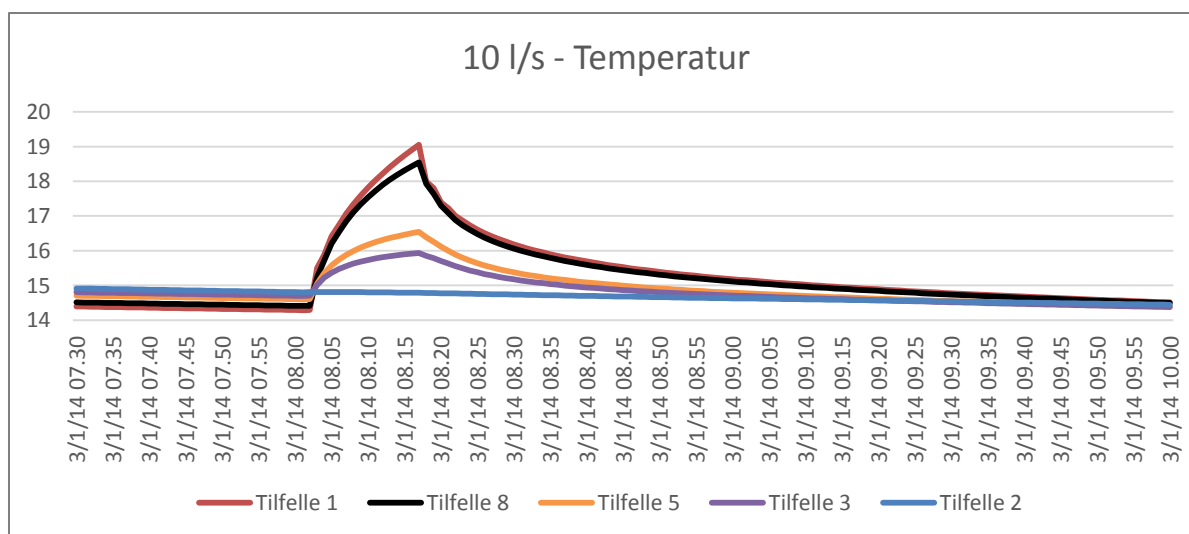
For relativ fuktighet øker alle tilfellene i starten av dusjforsøket. Alle tilfellene i grafen øker til 100% RF, bortsett fra tilfelle 1 som når 79,9%. Tilfelle 1 har 100% treoverflate. For tilfelle 8 som har 54,6% treoverflate ser man at RF ikke når 100% med en gang, men heller lengre ut i dusjsekvensen. RF holdes jevnt på toppen til dusjsekvensen slutter 08.15. Dermed faller alle tilfellene. Tilfelle 2, uten treoverflate, får en slak nedgang til den når RF der den startet. De andre tilfellene faller raskt og legger seg høyere enn startpunktet.



FIGUR 42 - RELATIV FUKTIGHET FOR SIMULERINGSTILFELLENE 1,2,5,8 OG 3 FOR VENTILASJONSGRAD 5L/S

## 10 l/s - Temperatur

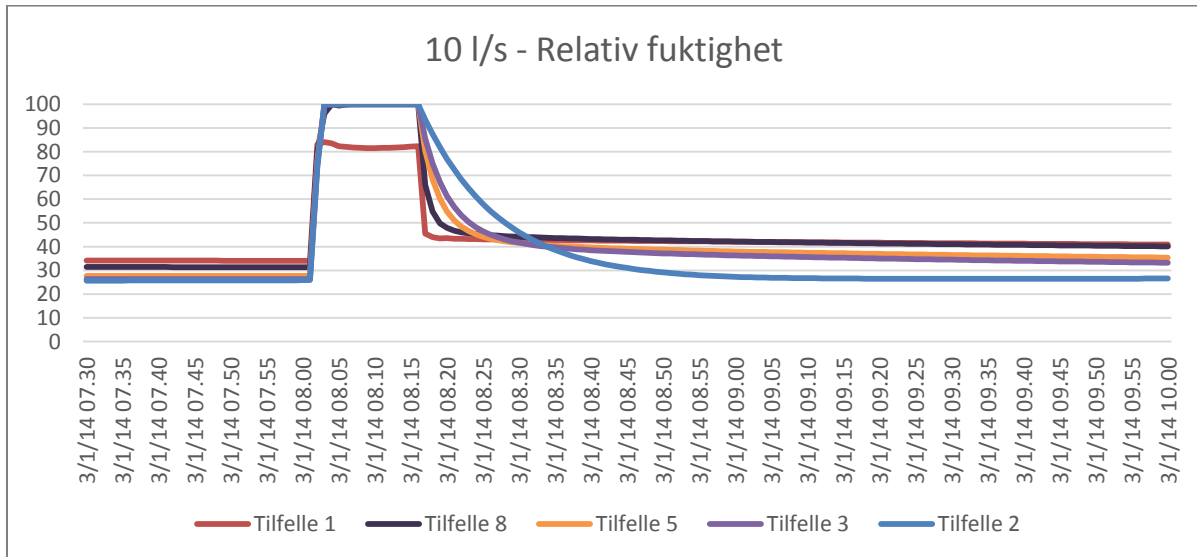
Figur 43 viser resultatene for temperatur ved ventilasjonstall 10 l/s. Det er en økning i temperatur for tilfelle 1 med 100% treoverflate på 4,7°C (19,0-14,3). Uten treoverflate, tilfelle 2, viser ingen temperaturøkning.



FIGUR 43 - TEMPERATUR FOR SIMULERINGSTILFELLENE 1,2,3,5 OG 8 FOR VENTILASJONSGRAD 10L/S

### 10 l/s - Relativ fuktighet

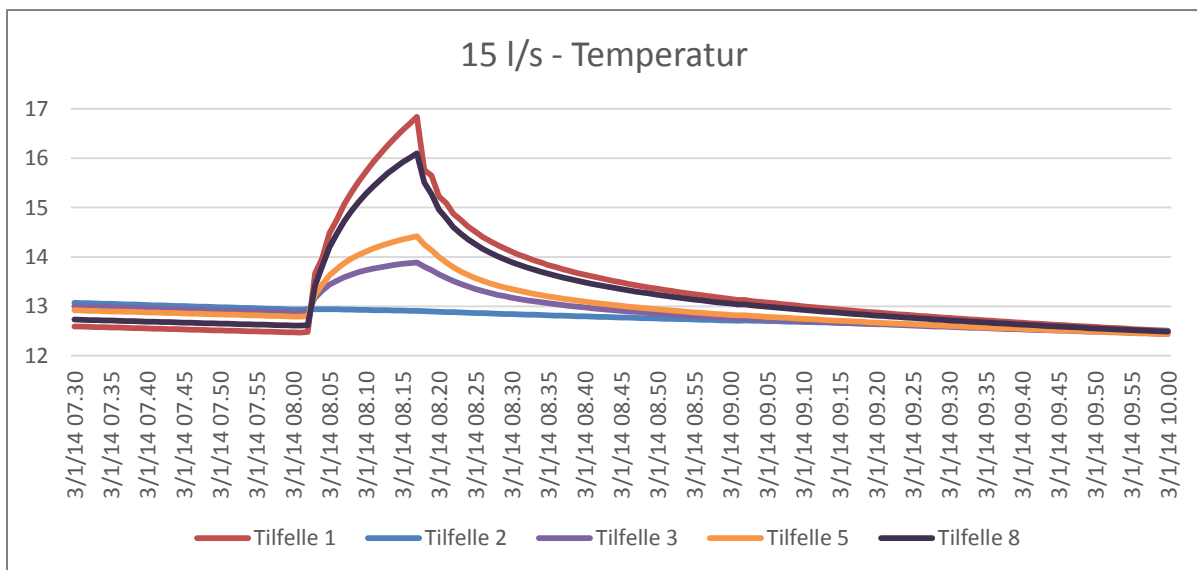
Resultatene for RF er vist i Figur 44. For RF øker alle tilfellene i starten av dusjforsøket. Alle tilfellene i figuren øker til 100% RF, bortsett fra tilfelle 1 som øker til 84%. RF holdes jevn på toppen til dusjsekvensen slutter 08.15. Etter sekvensen faller alle tilfellene. Tilfelle 2 får en slak nedgang til den når RF der den startet. Alle andre tilfellene faller raskt og legger seg høyere enn startpunktet.



FIGUR 44 - VISER RF FOR SIMULERINGSTILFELLE 1,2,3,5 OG 8 FOR VENTILASJONSGRAD 10L/s

### 15 l/s - Temperatur

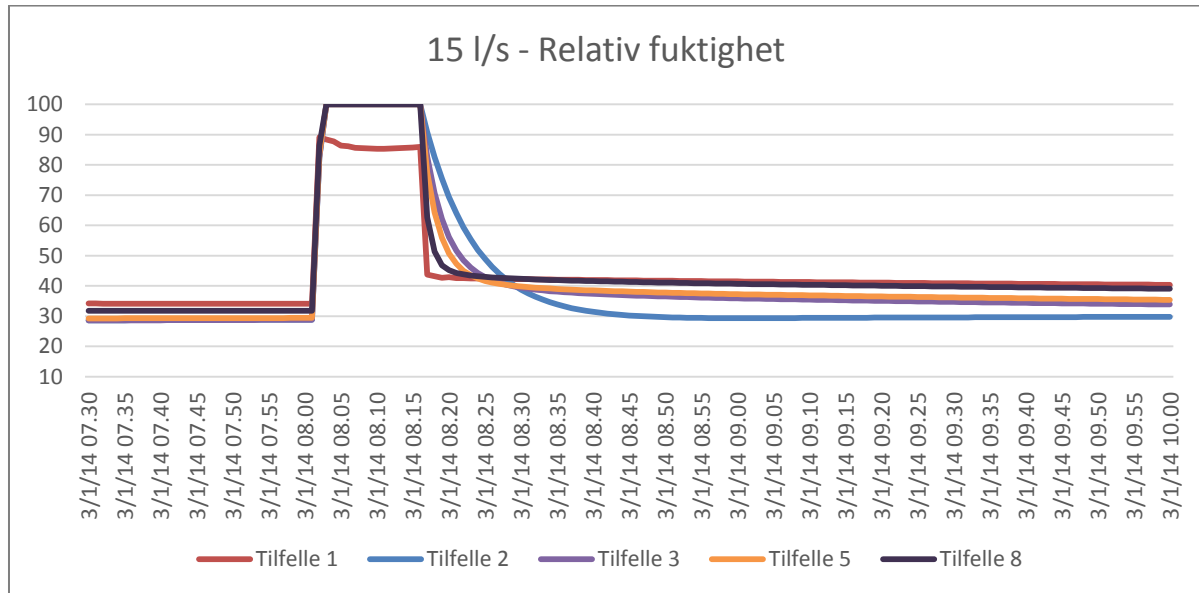
Figur 45 viser resultatene for temperatur ved ventilasjonstall 15 l/s. Det er en økning i temperatur for tilfelle 1 med 100% treoverflate på 4,3°C (16,8-12,5). Uten treoverflate, tilfelle 2, viser ingen temperaturøkning.



FIGUR 45 - VISER TEMPERATUR FOR SIMULERINGSTILFELLE 1,2,3,5 OG 8 FOR VENTILASJONSGRAD 15L/s

### 15 l/s - Relativ fuktighet

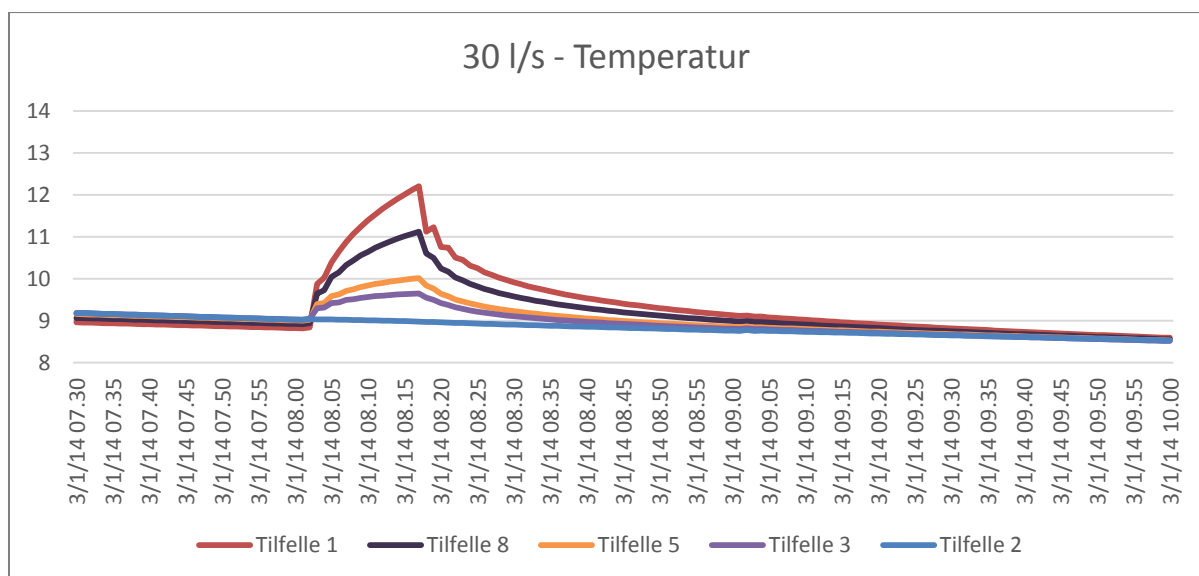
Resultatene for RF er vist i Figur 46. For RF øker alle tilfellene i starten av dusjforsøket. Alle tilfellene i figuren øker til 100% RF, bortsett fra tilfelle 1 som øker til 89,1%. RF holdes jevnt på toppen til dusjsekvensen slutter 08.15. Etter sekvensen faller alle tilfellene. Tilfelle 2 får en slak nedgang til den når RF der den startet. De andre tilfellene faller raskt og legger seg høyere enn startpunktet.



FIGUR 46 - VISER RF FOR SIMULERINGSTILFELLE 1,2,3,5 OG 8 FOR VENTILASJONSGRAD 15L/s

### 30 l/s - Temperatur

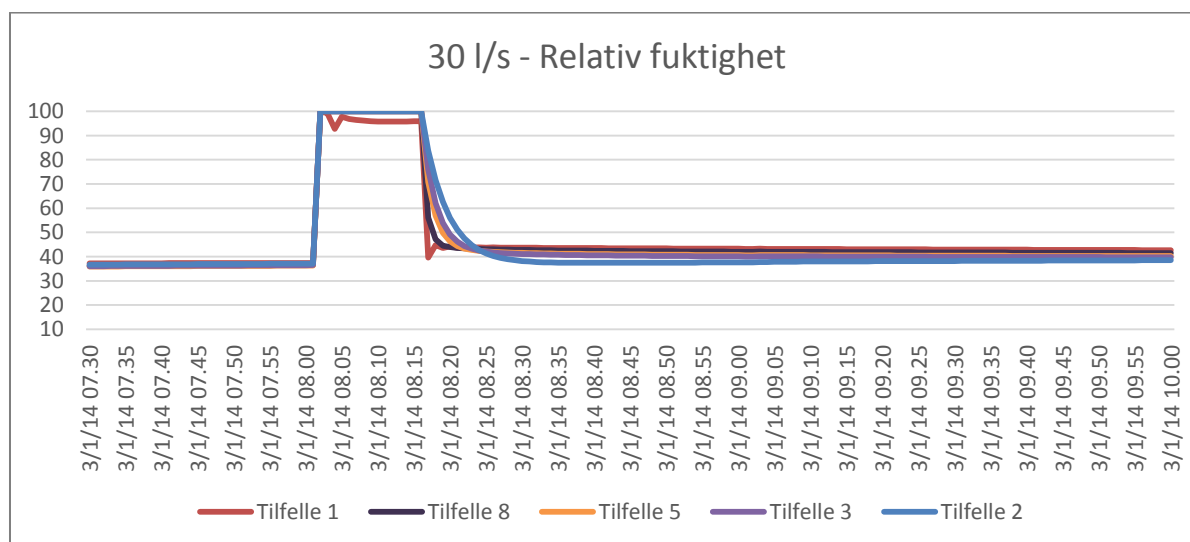
Figur 47 viser resultatene for temperatur ved ventilasjonstall 30 l/s. Det er en økning i temperatur for tilfelle 1 med 100% treoverflate på 3,4°C (12,2-8,8). Uten treoverflate, tilfelle 2, viser ingen temperaturøkning.



FIGUR 47 - VISER TEMPERATUR FOR SIMULERINGSTILFELLE 1,2,3,5 OG 8 FOR VENTILASJONSGRAD 30L/s

### 30 l/s – Relativ fuktighet

Resultatene for RF er vist i Figur 48. For relativ fuktighet øker alle tilfellene i starten av dusjforsøket. For 30 l/s når alle tilfellene 100% RF. Like etter at tilfelle 1 har nådd toppen får grafen en skarp nedgang etterfulgt av en skarp vekst. Deretter faller grafen slakt fram til dusjforsøket avsluttes 08.15 og alle faller og stabiliserer seg på en RF litt over utgangspunktet. Tilfelle 2 er det eneste som faller tilbake til utgangspunktets RF.



FIGUR 48 - VISER RF FOR SIMULERINGSTILFELLE 1,2,3,5 OG 8 FOR VENTILASJONSGRAD 30L/S.

### 4.3.3. Vanndampinnhold ved maks temperatur og maks RF

Da RF er avhengig av temperatur er det også viktig å se på hvor mye vanndamp luften faktisk inneholder for hvert tilfelle. Under er det tabeller hvor maks temperatur med RF, og maks RF med temperatur er oppgitt. Ut fra disse tallene er det med Molliers diagram (Figur 5 på side 19) funnet fram til vanndampinnholdet i luften. For verdier som faller utenfor figurens rammer er det antatt verdier ved å trekke linjer videre fra diagrammet.

5 l/s	Temp ved punkt 1 [°]	RF ved punkt 1 [%]	Vanndampinnhold [g/m <sup>3</sup> tørr luft]	Punkt 2, Maks RF [%]	Temp ved maks RF [°]	Vanndampinnhold [g/m <sup>3</sup> tørr luft]
Tilfelle 2	17,1	96,5	14,1	100	17,1	14,5
Tilfelle 3	18,4	88,9	13,9	100	18,4	15,7
Tilfelle 5	19,1	84,2	13,8	100	19,1	16,5
Tilfelle 7	19,1	84,2	13,8	100	19,1	16,5
Tilfelle 8	21,5	70,3	13,5	100	21,4	19,2
Tilfelle 4	21,8	62,3	12,1	93,1	21,7	18,3
Tilfelle 6	21,8	62,3	12,1	93,1	21,7	18,3
Tilfelle 1	21,9	48,3	9,5	79,9	17,9	12,2

TABELL 19 - VISER VANNDAMPINNHALDET FOR MAKS RF MED TEMPERATUR OG FOR ET UTVALGT PUNKT 1 VIST I FIGUR 41 FOR VENTILASJONSGRAD 5L/S

	Temp ved punkt 1 [°]	RF ved punkt 1 [%]	Vanndampinn hold [g/m <sup>3</sup> tørr luft]	Punkt 2, Maks RF [%]	Temp ved maks RF [°]	Vanndampinn hold [g/m <sup>3</sup> tørr luft]
10 l/s						
Tilfelle 2	14,8	93,5	11,5	100	14,8	12,3
Tilfelle 3	15,9	85,5	11,5	100	15,9	13,4
Tilfelle 5	16,5	80,4	11,2	100	16,5	13,8
Tilfelle 7	16,5	80,5	11,2	100	16,5	13,8
Tilfelle 8	18,5	65,9	12,0	100	18,5	15,8
Tilfelle 4	19,0	59,3	9,9	96,0	18,9	15,4
Tilfelle 6	19,0	59,3	9,9	96,0	18,9	15,4
Tilfelle 1	19,1	45,5	7,5	84,0	15,5	11,2

TABELL 20 - VISER VANNDAMPINNHOLEDEN FOR MAKS RF MED TEMPERATUR OG FOR ET UTVALGT PUNKT 1 VIST I FIGUR 43 FOR VENTILASJONSGRAD 10L/s

	Temp ved punkt 1 [°]	RF ved punkt 1 [%]	Vanndampinn hold [g/m <sup>3</sup> tørr luft]	Punkt 2, Maks RF [%]	Temp ved maks RF [°]	Vanndampinn hold [g/m <sup>3</sup> tørr luft]
15 l/s						
Tilfelle 2	12,9	90,8	10,1	100	12,9	11,0
Tilfelle 3	13,9	82,7	9,7	100	13,9	11,8
Tilfelle 5	14,4	77,5	9,4	100	14,4	12,5
Tilfelle 7	14,4	77,5	9,4	100	14,4	12,5
Tilfelle 8	16,1	62,7	8,5	100	16,0	13,5
Tilfelle 4	16,7	57,1	8,1	99,5	16,6	14,6
Tilfelle 6	16,7	57,1	8,1	99,5	16,6	14,6
Tilfelle 1	16,8	43,7	7,2	89,1	12,5	9,6

TABELL 21 - VISER VANNDAMPINNHOLEDEN FOR MAKS RF MED TEMPERATUR OG FOR ET UTVALGT PUNKT 1 VIST I FIGUR 41 FOR VENTILASJONSGRAD 15L/s

	Temp ved punkt 1 [°]	RF ved punkt 1 [%]	Vanndampinn hold [g/m <sup>3</sup> tørr luft]	Punkt 2, Maks RF [%]	Temp ved maks RF [°]	Vanndampinn hold [g/m <sup>3</sup> tørr luft]
30 l/s						
Tilfelle 2	8,97	83,8	7,1	100	9,0	8,4
Tilfelle 3	9,65	75,9	6,9	100	9,64	8,7
Tilfelle 5	10,0	70,8	6,6	100	9,99	9,1
Tilfelle 7	10,0	70,8	6,6	100	9,99	9,1
Tilfelle 8	11,1	56,1	5,5	100	11,07	9,7
Tilfelle 4	11,6	50,5	5,1	100	11,5	10
Tilfelle 6	11,6	50,5	5,1	100	11,5	10
Tilfelle 1	12,2	39,6	4,2	100	8,8	8,2

TABELL 22 - VISER VANNDAMPINNHOLEDEN FOR MAKS RF MED TEMPERATUR OG FOR ET UTVALGT PUNKT 1 VIST I FIGUR 41 FOR VENTILASJONSGRAD 30L/s

## 5. Diskusjon

I følgende kapittel diskuteres forskningsspørsmålene som ble stilt i avsnitt 1.3.

1. Basert på målingene som blir gjort, kan man si at inneklima i leiligheter med eksponert treoverflater er bedre enn leiligheter uten? Vil slike leiligheter også ha et bedre termisk inneklima enn leiligheter som ikke har eksponert treoverflate?
2. Hvor stor effekt vil ulike andeler av eksponert treoverflater gi med tanke på temperatur, relativ fuktighet, vanndampinnhold og latent varme ved forskjellig ventilasjonsgrader? Hvilken andel eksponert treoverflate vil ha størst effekt på inneklima?

Først diskuteres målingene, resultatene for hvert rom og metoden som er brukt. Videre diskuteres resultatene fra simuleringene og metoden som er brukt. For hvert underkapittel vil det komme en oppsummering hvor diskusjonen settes direkte opp mot forskningsspørsmålet. Diskusjonen tar utgangspunkt i teorien fra kapittel 2 og resultatene for målingene og simuleringene fra kapittel 0.

### 5.1.Målinger

Målet med målingene var å se om man i faktiske forhold klarte å se effekter av treoverflater i inneklima.

#### 5.1.1. Kjøkken og stue

Aktivitetene i kjøkken og stue gir ikke store fukttilskudd, og man ser ut ifra Figur 20 og Figur 21 at endringer i utendørsklima skaper de største svingningene innendørs. I tillegg ser man fra Figur 22-Figur 25 at aktiviteter som matlaging har en liten påvirkning, uten at det gir store utslag. At utendørs klima påvirker inneklima stemmer med teorien, som hevder at det er tilluften sin tilstand som i størst grad bestemmer innholdet av vanndamp i inneluften.

Det er ikke store forskjeller mellom leilighetenes resultat, men leilighet B har en anelse mer stabil temperatur enn leilighet A. Det var forventet å se en mye større forskjell i svingninger og toppunkter til temperatur og relativ fuktighet, enn hva resultatene viser. Blant annet var det antatt at aktiviteter i leilighet A skulle gi høyere fuktighet enn aktiviteter i leilighet B. Det kan være mange grunner til at resultatene ikke ble som forventet. Rommet er stort og det vil derfor være vanskelig å oppnå lik temperatur og damptrykk i hele rommet. I tillegg vil fuktproduksjon fra matlaging raskt forsvinne ut gjennom avtrekksvifta, og påvirker derfor ikke hele rommet. En annen grunn til resultatene, kan være at det ble brukt for lite treverk i rommet, og at treverket skulle vært plassert i taket siden varme og damp stiger.



Variasjonene i kjøkkenet og stua ligger for begge leiligheten mellom 20-40% RF. Teorien definerer anbefalte verdier for innendørs RF ved kaldere vær til 20-35% (under 40%). Variasjonene er ikke drastiske og det vil for det meste av tiden ikke være ubehagelig å oppholde seg i noen av disse rommene.

Målingene for kjøkken/stue beviser ikke at treoverflater gir en positiv effekt på inneklime. Det er ikke stort nok utslag mellom målingene i testleilighet A og B, til å gi et entydig svar på forskningsspørsmål 1. Noen av årsakene til at målingene ikke gir det forventede svaret, er at fuktpåkjenningene ikke var store nok eller at andelen treoverflate var for lav.

### 5.1.2. Soverom

På soverommet ble det gjort målinger med en sensor. Soverommet er også et stort rom hvor det er vanskelig å oppnå lik temperatur og dampinnhold i hele rommet. Da det her bare ble brukt en sensor antas det at målingene fra den ene sensoren gjelder hele rommet.

Siden det ikke er tilluft i rommet vil ikke forholdene utendørs påvirke romtemperaturen og fuktigheten på samme måte som i kjøkkenet og stuen. Andre faktorer som da kan påvirke luften er lekkasjer mellom overganger i konstruksjonen, kaldras fra vindu, oppvarming fra solskinn og lufttilførsel fra andre rom. Det ble registrert at døren inn til soverommet ofte sto åpent om dagen og lukket om natten. Dermed vil tilluften indirekte ha påvirket luften i soverommet i tidsrommet når døra sto åpen. Fra Figur 26 og Figur 27 kan man se at soverommets variasjoner er lik svingningene på kjøkkenet/stuen for leilighet A. For leilighet B, Figur 28 og Figur 29, varierer det litt mer. Dette kommer av at døren til soverommet i leilighet A sto åpen for det meste av tiden, mens den oftere var lukket for leilighet B.

Resultatene viser at temperaturen på soverommet synker etter midnatt. Dette er logisk i forhold til at utendørs temperatur synker om natta. Når temperaturen synker stiger RF som kan forklares ved at kaldere luft kan holde på mindre fuktighet og luften blir derfor mer mett (høyere RF). Dette ser man tydelig for RF på soverommet i leilighet B. Det er ikke her store forskjeller mellom resultatene i leilighet A og B. For begge leilighetene er svingningene små og RF er hverken for høy eller for lav, og vil ikke føre til ubehag for beboerne.

Det ble ikke registrert noen vesentlige forskjeller mellom runde 1 og runde 2. Ved runde 1 ble det brukt 18,9% treoverflate og ved runde 2 ble det brukt 44,7% treoverflate. Her burde det evt. vært gjort en runde til hvor man fikk enda mer tre inn i rommet.

Målingene for soverommet kan ikke bevise at treoverflater gir en positiv effekt på inneklime. Det er ikke stort nok utslag mellom målingene i testleilighet A og B, til å gi et entydig svar på forskningsspørsmål 1. Noen av årsakene til at målingene ikke gir det forventede svaret, er at fuktpåkjenningene ikke var store nok eller at andelen treoverflate var for lav.

### 5.1.3. Baderom

Baderommet er et mindre rom, men heller ikke her vil temperaturen og luftfuktigheten være lik overalt. Dette kan man fra figurene i vedlegg A for målingene til badet hvor de to sensorene ikke alltid gir like resultater. Badet hadde veldig høye fuktpåkjenninger i form av dusjing, og det er tydelig økning i både temperatur og luftfuktighet ved denne aktiviteten. Badet vil ikke være påvirket av tilluften på samme måte som kjøkken/stue da det ikke er noen direkte tilluftskanal til badet. Tilluften vil heller ikke påvirke rommet indirekte da det ble informert fra beboere at døren stort sett ble holdt lukket.

Resultatene fra målingene på badet virker tilfeldige, og leiligheten A og B bytter på å ha høyest RF ved fuktpåkjønning. Det er flere faktorer på badet som kan ha påvirket toppunktet til fuktpåkjønningene. Faktorer som vannets temperatur, hvor lenge det ble dusjet og hvilken ventilasjonsgrad som ble brukt. Dette gjør det vanskelig å gi gode og klare resultater etter målingene. Heller ikke etter at det ble tilført mer treoverflate viser resultatene noen tydelig forskjell.

Målingene for baderommet kan ikke påvise noen positiv effekt på inn klima. Resultatene er vanskelig å analysere og det er ikke tydelig nok utslag mellom målingene i testleilighet A og B, til å gi et entydig svar på forskningsspørsmål 1. Det som gjør resultatene utydelige er at man ikke vet eksakt hvor lang dusjen var, hvilken ventilasjonsgrad som ble brukt eller hvor varmt vannet var. Forsøkene var altså ikke godt nok kontrollert eller logget.

### 5.1.4. Metodediskusjon

#### *Leiligheten*

For forsøk bør man optimalt sette det som skal testes som eneste varierende parameter. I dette tilfellet var det innvendige overflater som skulle testes. Dette er ikke alltid like lett å holde andre parametere like ved forsøk, men det bør tilstrebes så godt som mulig. For dette forsøket var det flere like parametere somgeografi, konstruksjon og geometri. Det eneste avviket var orienteringen på leilighetene. Her kan enkelte dager leilighet A vært påvirket av solskinn da den leiligheten var orientert med hovedfasaden mot vest.

Avvik som kan være aktuelle er innredningen. Materialer som tøy og ull er også hygroskopisk og vil ta opp fuktighet på lik linje med treverk, og kanskje til og med bedre da de materialene har en mer åpen porestruktur. Ideelt burde rommene være likt møblert, eller strippet for innhold. Målingene kunne også vært gjort i samme leilighet for å oppnå dette.

Ettersom utvendige forhold er svært viktige, kan det derfor være riktig å gjøre målingene samtidig i forskjellige leiligheter. På denne måten er utvendige forhold like, men det vil være variasjoner i innredning og bruk.

### ***Treoverflatene***

For runde 1 ble alle rom målt med 18% treoverflate. Dette viste seg å være utilstrekkelig. Mengden treoverflater ble i runde 2 økt på soverommet og badet til ca. 44%. Økt mengde treoverflate gav fortsatt ikke betydelige resultater for hverken soverommet eller badet. For badet kan det også ha noe å si at forholdene ikke var kontrollerte. For ved dusjforsøkene, under kontrollerte forhold ser man forskjeller på resultatene, og 44,6% var derfor tilstrekkelig med treoverflate brukt på badet for å oppnå effekt.

Det at tilsatte treoverflater ikke var integrert i leiligheten har en betydning for resultatene. Plankene nådde ikke helt opp til taket og siden varme stiger vil fuktig luft legge seg utenfor områdene med eksponerte treoverflater. Dette vil nok ha stor betydning for resultatene. Med denne metoden får man heller ikke sjekket hvordan trevirke i taket faktisk fungerer i praksis. Det at begge sidene på planken måtte regnes med gjør at arealet av tre ble mer sentrert hvor plankene sto og ikke spredt utover leiligheten.

### ***Tidsperspektivet***

Tidsperspektivet ble satt i forhold til varigheten av oppgaven, og ble derfor kortere enn ønskelig. Målinger over lengre tid kunne gitt et større resultatgrunnlag for å trekke slutninger. Skulle man gjort lengre målinger vil det være nødvendig å gjøre målinger over ett år for å få andre resultater enn man får i løpet av en måned. Igjen, ble det nevnt i et tidligere forsøk at en uke skulle holde for slike målinger (Geving & Holme 2011). Tidspunktet på året var gunstig da måneden mars ble testperioden. Mars er en måned hvor det verken er for kaldt, eller at sola steiker gjennom vinduet. Selv om det har blitt konkludert med at forholdene ute hadde betydning for resultatene ville uteforholdene vært mer betydelige på andre tidspunkter i året.

### ***Sensorene***

Hensikten med sensorene var å måle temperatur og relativ fuktighet i inneklime, samt se på trebitenes overflatefukt for å kunne determinere hvor mye fukt treet tok til seg. Trefuktigheten viste ingen resultater og ble derfor neglisjert i denne oppgaven. På slutten av måleperioden ble det testet ut modifiseringer for sensorene av Kristine Nore. Disse går ut på å plassere en skive hvor skruen blir festet til trebiten. Dermed får sensorene bedre kontakt med overflaten. Dette gjorde at det i noen testmålinger ble sett variasjoner i målt trefuktighet, %WME. Dette ble dessverre gjort for sent i måleprosessen og det ble derfor ikke tid til å teste ut disse modifiseringene.

Tidlig i prosessen ble det gjennomført en kalibrering for sensorene. Her ble det sjekket sensorene virket og at de gav resultater som var innenfor usikkerhetsfaktorene oppgitt. Det gjorde de.

### ***Føring av aktiviteter***

For å kunne finne fram til fuktpåkjenninger og for å vite hva de ble utløst av ble det ført aktivitetslogg av beboerne i testleilighetene. Det ble ført mye aktivitet og det meste virker gir logiske utslag på målingene.

Fordi denne delen av metoden er basert på menneskelige handlinger, kan man aldri være sikker på at det er fullstendig. Det må tas i betraktning at noen aktiviteter muligens er glemt eller at tidspunktet ikke er presist. Dette er derimot ikke den viktigste faktoren i metoden, da det kun ble ført aktivitetslogg for å kunne finne fram til sammenlignbare fuktpåkjenninger. Det eneste som ble for upresist var tidslogging på dusjing. Dette er en av grunnene til at det senere ble utført dusjforsk.

#### **5.1.5. Oppsummering av målinger**

Målingene for kjøkken/stue og soverom kan ikke bevise at treoverflater gir en positiv effekt på inn klima. Det er ikke stort nok utslag mellom målingene i leilighet A og B, til å gi et entydig svar på forskningsspørsmål 1. Noen av årsakene til at målingene ikke gir det forventede svaret, er at fuktpåkjenninger ikke var store nok for rommene eller at andelen treoverflate var for lav.

For badet kan heller ikke resultatene påvise en tydelig positiv effekt på inn klima. Her var fuktpåkjenninger store nok, men resultatene var vanskelig å analysere da forholdene ikke var registrert godt nok.

Man kan derimot heller ikke utelukke den positive effekten da man har en del å hente på metoden. Metoden fungerte til en viss grad bra, men den kan kritiseres for mengde og utførelsen av oppsettet til treoverflatene. Både for kjøkken/stue og soverom burde det vært testet ut med større treoverflate da disse rommene ikke hadde store nok fuktpåkjenninger. For badet burde det for målingene vært logget bedre hvor lang tid, temperatur og ventilasjonsgrad.

## 5.2.Dusjforsøk

For å gjøre bedre registrerte og sammenlignbare målinger ble det gjennomført kontrollerte tester. Badet, et rom med daglige høye fuktpåkjenninger, ble valgt til gjennomføring av ekstra forsøk i håp om å se forskjeller ved og uten bruk av treoverflater. Veggene er mot inneklime og vil ikke være påvirket av temperaturen og RF fra uteluften i like stor grad som i resten av leiligheten. Det ble utført ni forskjellige forsøk. Dette inkluderte forsøk med tre forskjellige ventilasjonsgrader for tre forskjellige tilstander på badet. Tilstandene er forklart i Tabell 23. I forsøkene ble det kontrollert hvor lenge dusjsekvensen varte og hvilken ventilasjonsgrad som ble brukt. Vanntemperaturen og kraften på strålen ble satt lik i alle forsøkene.

Forsøk nr.	Tilstand til badet
1	Uten treoverflater
2	Med treoverflater
3	Med treoverflater og vifte

TABELL 23 - FORKLARING AV FORSØKENES TILSTAND FOR BADET

### **Temperatur**

Resultatene for temperatursvingninger i dusjforsøkene viser at temperaturens toppunkter varierer mellom verdiene 29,5-31,8°C. Dette er nok litt høye verdier for rom generelt, men det kommer av at temperaturen på badet var høy i utgangspunktet. Stigningen er lik for alle testene, hvor temperaturen stiger raskt rett etter at forsøket har startet. Det er en vesentlig forskjell mellom forsøkene da forsøk 1 får et toppunkt som er 2,0°C over de andre toppunktene. På disse forsøkene ser man ikke tydelig påvirkning av latent varme da det er forsøket uten tre som har høyest temperatur. Etter forsøket er ferdig og temperaturen synker, når de på et tidspunkt hverandre igjen og har samme slake nedgang videre. For ventilasjonsgrad 3 vil forsøk 1 ha litt høyere temperatur, men fortsatt synke parallelt. Fra temperaturen alene kan man ikke se noen positiv effekt på inneklime.

### **Relativ fuktighet**

For fuktigheten i luften er det ikke stor forskjell på resultatenes toppverdier. De ligger alle rundt 85-89%. Når grafene faller etter å ha nådd toppunktet, ligger badet uten tre alltid høyere enn de andre grafene og har en slakere nedgang. Fra dette kan man se at for forsøk 1, uten tre, vil fuktigheten lengre holde seg over 80,0% enn de andre. I Tabell 15, Tabell 16 og Tabell 17 kan man se at for forsøk 1 holder RF et mye høyere fuktighetsnivå en time etter at dusjforsøket er ferdig. Grensen for muggsoppvekst går rundt 80,0% og dette blir dermed den kritiske grensen man ønsker å holde seg under. Disse forsøkene kan derfor påvise at trevirket gir en positiv effekt ved å ta opp fuktighet slik at rommet raskere kommer seg ned på et godtatt fuktighetsnivå (under 80,0 %).

### ***Vanndampinnhold***

Kombinerer man temperatur og RF og ser på faktisk vanndampinnholdet i luften ser man tydelig at forsøk 1 har høyest vanndampinnhold ved alle tidspunkt etter at dusjsekvensen har startet. Dette ser man tydelig i Tabell 15, Tabell 16 og Tabell 17. Forsøk 3 varierer på å ha minst og middels vanndampinnhold.

For et normalt tilfelle med 22°C og 40% RF inneholder luften 8g/m<sup>3</sup> vanndamp. Fra Tabell 24 er vanndampinnholdet ved maks RF for alle ventilasjonsgrader oppgitt. For høyest ventilasjonsgrad (3) vil forsøk 1 inneholde 4 ganger mer vanndampinnhold enn normalt, mens forsøk 2 har 6g/m<sup>3</sup> mindre vanndamp enn forsøk 1. Man kan dermed se at vanndampverdiene ved maks RF for forsøk 1 er høy og forskjellen mellom forsøkene er stor.

Det er også verdt å merke seg at ved punkt 3, to timer etter dusjsekvensen, for alle ventilasjonsgrader, har forsøk 1 et vanndampinnhold dobbelt så høyt som normalt innhold, mens forsøk 2 og 3 nærmer seg normalt vanndampinnhold. Fra dette kan man påvise at treoverflater vil ha en positiv effekt på inneklimate for rom med høye fuktpåkjenninger.

	Vanndampinnhold ventilasjonsgrad 1 [g/m <sup>3</sup> ]	Vanndampinnhold ventilasjonsgrad 2 [g/m <sup>3</sup> ]	Vanndampinnhold ventilasjonsgrad 3 [g/m <sup>3</sup> ]
Forsøk 1 - Uten tre	35	30	32
Forsøk 2 - Med tre	25	28	26
Forsøk 3 - Med tre, med vifte	30	25	25

TABELL 24 - VANNDAMPINNHold FOR HØYESTE RF VED ALLE VENTILASJONSGRADER

### ***Ventilasjonsgrad***

For ventilasjonsgradene er det ingen forskjell på temperaturen. Alle effektene har tilnærmet likt toppunkt. For vanndampinnholdet ser man derimot en forskjell. Her er vanndampinnholdet for ventilasjonsgrad 3 lavere enn de andre. Her antas det at temperaturen holdes høy ved påvirkninger av både dusjtemperaturen og varme i gulvet, mens vanndampen som kun har kilde fra dusjen forsvinner fortere ut i avtrekksviften. Dette er veldig gunstig da høyere temperatur holder på mer fuktighet og den høye temperaturen vil dermed holde RF lav.

#### **5.2.1. Metode**

I dusjforsøket ble de fleste forhold kontrollert og satt like. Kraften på vannet, temperaturen på vannet og tidsløpet ble satt lik. I tillegg ble forsøkene utført på samme bad. En feilkilde i forsøket kan være hvordan treoverflatene ble plassert ut da det ikke var mulig å plassere de i taket.

I forsøk 3 ble det satt på vifte. Dette ble gjort for å forbedre omrøringen av dampen i rommet slik at den kom i bedre kontakt med treoverflatene. I alle tilfeller var dette forsøket tilnærmet lik forsøket med tre og uten vifte, så vifta gjorde ikke store utslag.

I forhold til sensorene ble det brukt samme sensorer og man trenger derfor ikke tenke på usikkerhet på grunn av avvik mellom sensorer da det i disse forsøkene er endringene mellom forsøkene som er viktig.

### **5.2.2. Kontrollerte forhold vs. Forhold i «feltet»**

Uansett hvilke forsøk man utfører vil det alltid være usikkerheter når forholdene ikke er kontrollerte. Dette ble erfart fra målingene og spesielt de som ble gjort på badet. Uten å kontrollere forholdene kan resultatene virke tilfeldig da man aldri vet hvilke faktorer som spiller inn i de forskjellige forsøkene. Dette gjelder spesielt når det ikke er store forskjeller for resultatene som man ser i dette tilfellet. Ved resultatframlegging og diskusjon ser man at de mer kontrollerte dusjtestene ga resultater som det i ettertid ble lettere å analysere.

### **5.2.3. Oppsummering av dusjforsøk**

Målingene for dusjforsøkene kan bevise at treoverflater vil ha en positiv effekt på inn klima i rom med høye fuktpåkjenninger. Dette kommer tydelig fram ved å se på vanndampinnholdet for de forskjellige forsøkene. For hele dusjsekvensen har rommet uten treoverflater høyere vanndampinnhold. Selv etter to timer har forsøket uten treoverflater dobbelt så høyt vanndampinnhold som forsøkene med treoverflate. Det er verdt å merke seg at det er vanskelig å se at treoverflatene har noen effekt ved kun å se på temperatur.

## **5.3. WUFI simuleringer**

Målet med simuleringen er å se på hvor mye treoverflate det kreves for å oppnå en effekt fra eksponerte treoverflater. Badet ble valgt å simulere da det her er størst fuktpåkjenning, minst feilkilder og lettest å kontrollere forholdene.

### **5.3.1. Resultat av simuleringen**

#### ***Temperatur***

I simuleringen er som sagt all tilførsel av varme neglisjert. Dette gjør at man lettere ser hvor stor effekt man får av latent varme. I Figur 41, Figur 43, Figur 45 og Figur 47 for temperatur,

ser man en økning i temperatur for alle tilfellene bortsett fra 2. Tilfelle 2 hadde ingen treoverflater, ut fra dette resultatet kan vi anta at all temperaturøkning kommer av latent varme fra treoverflatene. I Tabell 25 er økningen på grunn av latent varme oppsummert for høyeste og laveste ventilasjonsgrad. Fra tilfelle 7 til 8 (43,4 til 54,6% treoverflate) dobler økningen i temperaturen. Det er her man ser det største spranget av effekt, mellom 43,4% til 54,6% treoverflate. Videre økning av andelen treoverflater vil gi mer effekt, men ikke i like stor grad. Man kan derfor anta at den mest gunstige andelen treoverflater vil ligge mellom 50-60%. For de reelle målingene som ble gjennomført til denne oppgaven var «44,2%» den høyeste andelen tre som ble testet på badet. I følge disse simuleringene ville trolig resultatene vært tydeligere om man hadde økt andelen tre ytterligere.

Tilfelle	Treandel [%]	Økning i temperatur for 5l/s [°]	Økning i temperatur for 30l/s [°]
2	0	0	0
3	16,2	1,5	0,6
5	30,3	2,3	1,0
7	43,4	2,3	1,0
8	54,6	4,8	2,2
4	69,7	5,1	2,7
6	85,9	5,1	2,7
1	100,0	5,2	3,4

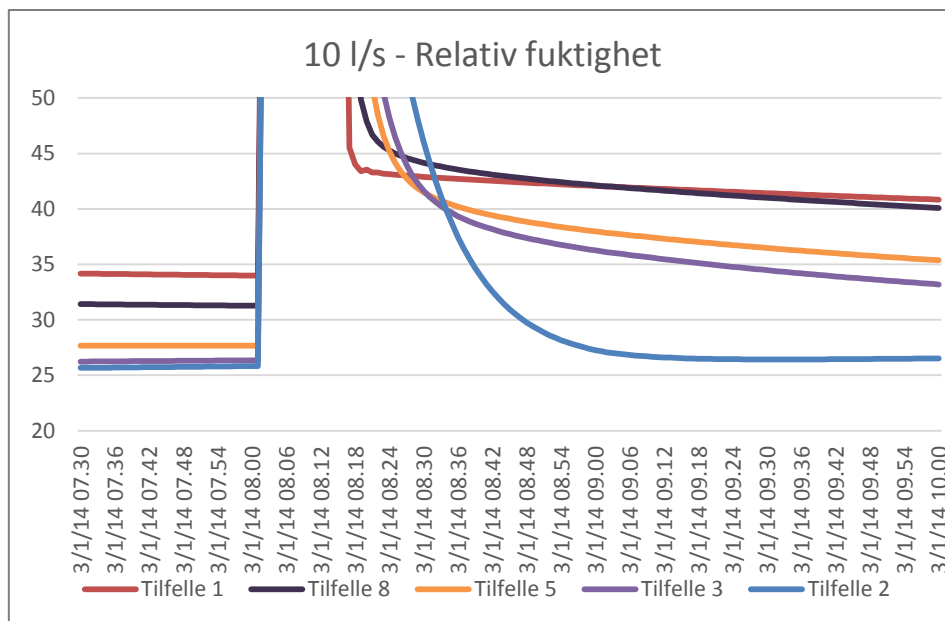
TABELL 25 - ØKNINGEN I TEMPERATUR PÅ GRUNN AV LATENT VARME FOR 5L/S OG 30L/S

### **Relativ fuktighet**

Ved kun å se på maks RF er det vanskelig å identifisere noen vesentlig forskjell for tilfellene. Dette er fordi alle tilfeller utenom tilfelle 1, 4 og 6, når 100% RF.

For nedgangen i grafene derimot, ser man tydelig forskjell på tilfellene. Dette er vist i Figur 49 som er samme graf fra Figur 44 bare zoomet inn. For tilfellet 2 (uten tre) får man en jevn og treig nedgang til startpunktet som skyldes avtrekksvifta. For de andre tilfellene får man derimot et mye raskere fall. Etter at de har falt legger de seg på en RF verdi litt høyere enn startpunktet og får en slak nedgang her ifra. Denne verdien er for alle ventilasjonsgradene under 50% RF som er et godkjent fuktnivå. Grunnen til dette er at trevirket har tatt til seg en del fuktighet. Altså jo mer treoverflate jo høyere RF stopper fallet på. Når fallet stopper er treet i likevekt med luften rundt. Når avtrekksvifta fortsetter å ta ut fuktighet vil treet slippe ut fuktighet for å hele tide holde likevekt med luften. Her ser man altså effekten av de hygroskopiske egenskapene til tre. Treoverflater fører dermed til at RF raskere synker til et godkjent fuktnivå. Dette gjør at man ikke nødvendigvis behøver like høy ventilasjonsgrad som er satt for bad. Lavere ventilasjonsgrad gjør at man sparer rørdiameter, størrelse på vifte og ikke minst energi.





FIGUR 49 - FIGUR 46 FOR RF VED SIMULERINGENE VED 10L/s

Ved RF er det tilfelle 1 som skiller seg ut. Tilfelle 1 oppnår for alle tilfellene utenom 30l/s en mye lavere RF en de andre tilfellene. For nedgangen ser man i Figur 49 at både tilfelle 1 og 8 faller ca. samme verdi. Altså er det tilfellene fra 8 og opp som best viser de hygroskopiske egenskapene til treoverflatene. Forskjellen mellom ventilasjonsgradene kan virke usannsynlig da det er høyere RF for høyere ventilasjonsgrad. Dette gjelder kun for de tilfellene som ikke oppnår 100% RF. Dette er vist i Tabell 26. Her skulle man tro at høyere ventilasjonsgrad trekker ut fuktighet raskere og at RF derfor skulle vært lavere for høyere ventilasjonsgrad. Grunnen til dette er at ved høy ventilasjonsgrad blir varmen dratt ut raskere og temperaturen er derfor lavere. Lavere temperatur kan holde på mindre fuktighet og luften blir fortere mettet (får høyere RF). For å forstå hele sammenhengen er man derfor nødt til å se på vandampinnholdet i tillegg.

Tilfelle	Treandel	5 l/s [%]	10 l/s [%]	15 l/s [%]	30 l/s [%]
4	69,7	93,1	96,0	99,5	100
6	85,9	93,1	96,0	99,5	100
1	100,0	79,9	84,0	89,1	100

TABELL 26 - RF ALLE VENTILASJONSGRADENE FOR TILFELLE 1,6 OG 4

### Vandampinnhold

For å forstå hvor mye fuktighet som egentlig finnes i luften er det verdt å kombinere RF med temperatur for å finne vandampinnholdet. Tabell 19, Tabell 20, Tabell 21 og Tabell 22 viser temperatur, RF og vandampinnholdet for simuleringene ved to utvalgte punkt. Vandampinnholdet er funnet ved Molliers diagram, ut i fra RF og temperatur.

Punkt 1 (oppsummert i Tabell 27) er hvor de fleste når maks temperatur, mens punkt 2 (oppsummert i Tabell 28) er alle tilfellenes maksimale RF. For punkt 1, som er oppsummert i Tabell 27, kan man tydelig se at lavere treandel gir høyere vandampinnhold i luften. Av

tabellen kan man se at tilfelle 1 ved maks RF har lavest vanndampinnhold for alle ventilasjonsgradene. Det vil si at det er minst vann i luften for 100% treandel, og vi kan fra dette se at treoverflatene har tatt til seg fuktighet.

For punkt 2, hvor de fleste når 100%, ser man ikke like tydelig mønster. Dette er oppsummert i Tabell 28. Det er fortsatt tilfelle 1 som har lavest vanndampinnhold. For tilfellene som når 100% er det derimot motsatt. Tilfellene med lavere treandel gir også lavere vanndampinnhold. Årsaken til dette er at ved 100% RF oppnådd, blir dampen som luften ikke klarer å holde på omdannet til kondens. Dette betyr at for tilfellene som når 100% vil de med lavest vanndampinnhold være de som har skilt ut mest kondens. Altså har tilfelle 2, uten treoverflate lavest vanndampinnhold, men det er fordi det har skilt ut mest kondens. Det er ikke mulig å finne mengde med kondens, men dette stemmer overens med teorien og Molliers diagram.

Tilfelle	Treandel [%]	5 l/s [g/m <sup>3</sup> ]	10 l/s [g/m <sup>3</sup> ]	15 l/s [g/m <sup>3</sup> ]	30 l/s [g/m <sup>3</sup> ]
2	0	14,1	11,5	10,1	7,1
3	16,2	13,9	11,5	9,7	6,9
5	30,3	13,8	11,2	9,4	6,6
7	43,4	13,8	11,2	9,4	6,6
8	54,6	13,5	12,0	8,5	5,5
4	69,7	12,1	9,9	8,1	5,1
6	85,9	12,1	9,9	8,1	5,1
1	100,0	9,5	7,5	7,2	4,2

TABELL 27 - VANNDAMPINNHold VED PUNKT 1

Tilfelle	Treandel [%]	5 l/s [g/m <sup>3</sup> ]	10 l/s [g/m <sup>3</sup> ]	15 l/s [g/m <sup>3</sup> ]	30 l/s [g/m <sup>3</sup> ]
2	0	14,5	12,3	11,0	8,4
3	16,2	15,7	13,4	11,8	8,7
5	30,3	16,5	13,8	12,5	9,1
7	43,4	16,5	13,8	12,5	9,1
8	54,6	19,2	15,8	13,5	9,7
4	69,7	18,3	15,4	14,6	10,0
6	85,9	18,3	15,4	14,6	10,0
1	100,0	12,2	11,2	9,6	8,2

TABELL 28 - VANNDAMPINNHold VED PUNKT 2, MAKS RF

Selv om det er en tydelig forskjell mellom tilfellene er ikke forskjellen på mengden vanndampinnholdet veldig mye større for de tilfellene med lavest treandel. Det største skillet ser man mellom tilfelle 1 og 6 (85,9% og 100% treandel) fordi tilfelle alltid hadde lavest vanndampinnhold, selv om det oppnådde 100% RF.

### ***Påvirkning av ventilasjonsgrad***

Det ble gjennomført simuleringer for ventilasjonsgradene 5, 10, 15 og 30 l/s. Dette gav tydelige forskjeller i resultatene for temperatur, som man kan se i Figur 36, Figur 37, Figur 38 og Figur 39. Høyere avtrekkstall fører til lavere temperatur. Alle simuleringene startet på samme temperatur, 24 °C, kl.00.00. Fra dette tidspunkt har avtrekksvifta stått på valgt effekt, og man har dermed fått en lavere temperatur enn normalt ved dusjsekvensene. Disse temperaturene er, som nevnt i metoden, ikke reelle da det ikke er noen tilførsel av varme i simuleringene. Forskjellene mellom ventilasjonsgradene er derimot reelle. Ved høy ventilasjonsgrad øker temperaturen for latent varme mindre enn for lav effekt. I Tabell 25 kan man se hvor stor forskjell det er ved ventilasjonsgrad 5 l/s og 30 l/s for økningen i temperatur fra latent varme. Denne forskjellen kommer av at avtrekksvifta med høyere grad trekker ut mer varme. For 100% treoverflate (tilfelle 1) og ventilasjonsgrad 30 l/s får man en økning på 3,4 °C, mens for 5 l/s gir tilfelle 1 5,2 °C økning. Her er det en forskjell på 1,8 °C, som er en økning på omtrent 50% (fra 3,4 °C til 5,2 °C).

For RF er det liten forskjell da de fleste tilfellene når 100% for alle ventilasjonsgradene. Man må dermed se på vanddampinnholdet. Tilfelle 1, med 100% treoverflate, vil ved 5l/s ha et vanddampinnhold 9,5 g/m<sup>3</sup>. Dette er innenfor da et normalt tilfelle (22 °C og 40 % RF) inneholder 8,0 g/m<sup>3</sup>. I dette tilfellet gjør treoverflatene at det ikke er nødvendig med så høy ventilasjonsgrad som 30 l/s. Dette er enda en positiv effekt fra treoverflater da lavere ventilasjonsgrad er energibesparende.

### **5.3.2. Metode**

I simuleringsprogrammet tas det ikke hensyn til at damp stiger, og at det derfor i praksis ikke vil være lik temperatur og dampinnhold i hele rommet. Med dette grunnlaget kan det tenkes at det ikke har noe hensikt på hvor i rommet man plasserer treoverflatene. Det man kan konkludere fra simuleringene er hvor store mengder som skal til for å gi tilstrekkelig effekt. Og man vil kun være i stand til å si noe om mengde treoverflate, ikke hvor den bør plasseres.

WUFI er et godt program å bruke til oppgavens simuleringer, og det gir en tilnærming av hvordan virkeligheten vil oppføre seg. For de utførte simuleringene er det vanskelig å sammenligne resultater for relativ fuktighet når temperaturene er lavere enn normalt. Det ville derfor vært gunstig og i tillegg gjøre simuleringer hvor varmen ikke ble neglisjert slik at forholdene i simuleringene og målingene ble mer sammenlignbar.

### 5.3.3. Oppsummering

For simuleringene var målet å finne ut av hvor stor effekt ulike andeler av eksponerte treoverflater vil gi med tanke temperatur relativ fuktighet, vanndamp innhold og latent varme ved forskjellige ventilasjonsgrader. For økning i latent varme gikk skillet mellom 43,4 og 54,6% treandel (tilfelle 7 og 8) For relativ fuktighet var det tilfelle 1 som skilte seg best ut ved at det holdt en mye lavere RF enn de andre. Ved nedgangen av RF så man i tillegg til tilfelle 1 at tilfelle 8 holdt samme linje. Her ser man dermed også skille fra tilfelle 8 med 54,6%. Det er verdt å merke seg at RF synker raskere tilbake til «trygge» verdier (under 80% RF) for tilfeller med treoverflater. Ved å se på vanndampinnholdet var det tilfelle 1 som skilte seg best ut ved alltid å ha lavest vanndampinnhold. Vil man ha størst effekt av treoverflatene bør man optimalt tilstrebe 100% treoverflate. Man vil også se gode effekter ved å bruke treoverflater helt ned til andeler på ca. 50-60%.

### 5.3.4. Sammenligning av dusjforsøk og WUFI simulering

Hensikten med simuleringene var ikke at de skulle sammenlignes med målingene, og de er derfor ikke designet for å gi sammenlignbare resultater. Man kan riktig nok bruke noen av resultatene fra dusjforsøkene og simuleringen til å kvalitetssikre metoden. Man kan se fra dusjtestene at temperaturen og varmetilførsel i simuleringene er viktigere enn antatt. Fra simuleringene kan man få et bilde av hvor mye treoverflate man egentlig burde brukt i forsøkene.

Ved sammenligning er det viktig å ta hensyn til et par faktorer. Treoverflaten i simuleringene var naturlig nok en del av veggen i motsetning til forsøkene der de var plassert langs veggene. Materialene som ble brukt i simuleringene ble satt ut fra standardverdier for gran, det kan her ha vært avvik da materialkonstantene for treoverflatene i målingene ikke ble testet og versifisert opp mot standardverdiene.

Ventilasjonsgradene er heller ikke helt like da det ikke ble funnet ut hvilke effekter som opptrer i ventilasjonssystemet i Kajaveien. En kontroll er gjennomført i tabell 30. Her antar man at ventilasjonsgrad 1 for badet tilsvarer 10 l/s og ventilasjonsgrad 3 tilsvarer 30 l/s, og man kan da sammenligne vanndampinnholdet til simuleringene og forsøkene.

Fra Tabell 29 ser man at målingene gir mye høyere vanndampinnhold enn simuleringene. Dette kan det være flere grunner til. Verdien for fukttilskudd fra bad kan ha vært feil da den ble hentet fra en annen kilde og ikke testet selv. I tillegg kan det være at ventilasjonssystemet i Kajaveien ikke er like effektive som simuleringene ble satt til.

	Måling	Simulering
10 l/s /ventilasjon 1	25g/m <sup>3</sup> (85,0%, 29,2°C)	13,8g/m <sup>3</sup> (100%, 16,5°C)
30 l/s /ventilasjon 3	26g/m <sup>3</sup> (85,2%, 28,8°C)	9,1g/m <sup>3</sup> (100%, 9,99°C)

TABELL 29 - SAMMENLIGNING AV VANNDAMPINNHold FOR MÅLINGENE OG SIMULERINGENE

En annen ting det er viktig å nevne er at varmen ble neglisjert i simuleringene. Fra forsøkene vil man ha varme fra både gulvet og fra vannets temperatur. Dette gjorde at temperaturen for forsøkene var mye høyere enn simuleringene. Fordi varmen var neglisjert kan man ikke si noe om det var feil av simuleringsprogrammet at varmen forsvant for raskt ut av avtrekksvifta, men dette er en mulighet.

### 5.3.5. Praktiske forhold

Praktisk sett og i forhold til teori vil man tro at mengden med tre i taket er mer effektiv enn de på veggene. Dette fordi varm damp og luft stiger og vil derfor være i mest kontakt med taket. Dette er også grunnen til at avtrekksvifter blir plassert høyt på veggen eller i taket.

Ved observasjoner fra dusjtestene og målingene ble det lagt merke til at ved målinger hvor vanlig dusjing foregikk oppsto det ikke dugg på speil. For dusjforsøkene ble derimot dusjforhenget stående åpent og speilet dugget. Grunnen til dette er at dusjdamen ble fordelt bedre i hele rommet.



FIGUR 50 - SKISSE AV BADET I PRAKSIS OG HVORDAN DAMP STORT SETT KUN VIL VÆRE I KONTAKT MED TAKET

På de fleste bad brukes det dusjforheng eller dusjkabinett, som vil hindre at vanndampen fordeles i hele rommet og heller stiger opp. Når dampen først har steget vil den holde seg oppe, og raskt bli dratt ut av avtrekksvifta. Se Figur 50 for nærmere forklaring. Med dette vil det være logisk å tro at trevirke i taket og øverst på veggene er mest effektivt i realiteten.

Det man kan se ut ifra simuleringene er at overflaten i taket ikke ble stor nok. En løsning til dette kan være å lage en form for dobbel himling i tre som kan fungere som en regulator av temperatur og fuktinnhold. Den nederste himlingene må da ha god lufting slik at dampen slipper lett igjennom til neste himling. I badet fra simuleringen som hadde en overflate på 16,2% ville man dermed får en treoverflate lik 48,6% av total overflate. (fordi den nederste himlingen vil ha dobbel overflate, over og under). En annen løsning kan være et baffeloppsett hvor vertikale elementer av tre plasseres i himlingen for å øke arealet til treoverflaten. Dette vil også øke andelen eksponert overflate betydelig da man får effekt fra begge sidene av elementene i tillegg til det opprinnelige arealet av taket.

## 6. Konklusjon

I arbeidet med oppgaven har forsker ønsket å besvare to forskningsspørsmål. Det første omfatter målingene gjort med sensorene og det andre omfatter simuleringene i WUFI.

### **1. Basert på målingene som blir gjort, kan man si at inneklima i leiligheter med eksponert treoverflater er bedre enn leiligheter uten? Vil slike leiligheter også ha et bedre termisk inneklima enn leiligheter som ikke har eksponert treoverflate?**

Ingen av målingene fra kjøkken/stue, soverom og bad kan bevise at treoverflater gir en positiv effekt på inneklima. Begge leilighetene ligger mellom anbefalte verdier og det vil ikke være ubehagelig å oppholde seg i noen av disse rommene. Dette gjelder for de omstendighetene, som for eksempel klima, som er brukt i disse målingene. Derfor kan man heller ikke avkrefte den positive effekten ved disse målingene. Det ble i tillegg mest sannsynlig brukt for liten andel treoverflate ved målingene. Det at treoverflatene ikke var integrert i konstruksjonen og ble satt opp som planker langs veggen kan ha vært med på å svekke målingene.

Det var lettere å analysere resultater fra en mer kontrollert prosess. Gjennom dusjforsøkene kan resultatene bevise at treoverflater har en positiv effekt på inneklima i rom med høye fuktpåkjenninger. Ved største ventilasjonsgrad varierte vandampinnholdet ved maks RF fra  $32\text{g/m}^3$  for bad uten tre til  $26\text{g/m}^3$  for bad med tre. Bad uten treoverflater vil ha et høyere vandampinnhold i en lengre tidsperiode sammenlignet med bad med treoverflater. Dette er positivt da lavere fuktinnhold i luften fører til lavere risiko for muggsoppvekst.

### **2. Hvor stor effekt vil ulike andeler av eksponert treoverflater gi med tanke på temperatur, relativ fuktighet, vandampinnhold og latent varme ved forskjellig ventilasjonsgrader? Hvilken andel eksponert treoverflate vil ha størst effekt på inneklima?**

Selv om simuleringen er forenklet viser resultatene at treoverflater gir forskjeller i vandampinnholdet. Totalt sett vil man ha optimal effekt av treoverflater dersom andelen tre er 100%. Man vil også se gode effekter ved å bruke treoverflater helt ned til andeler på ca. 50-60%. Effektene sees både for latent varme, temperatur, relativ fuktighet, vandampinnhold og ved forskjellig ventilasjonsgrad.

For økning i latent varme gikk skillet mellom 43,4 og 54,6% treandel. For relativ fuktighet var det tilfelle med 100% treoverflate som skilte seg best ut ved at det holdt en lavere RF enn de andre tilfellene med mindre andel treoverflate. For RF ser man et skille der tilfeller med 54,6% treandel og oppover faller raskere tilbake til tryggere verdier under 80% RF. I forhold

til vanndampinnholdet var det tilfelle med 100 % treandel som skilte seg best ut ved alltid å ha lavest vanndampinnhold.

Hvis man ønsker en best mulig effekt ved bruk av eksponerte treoverflater er det viktig å unngå kraftig ventilasjonsgrad da dette gjør at avtrekket tar ut dampen før den får vært i kontakt med treoverflatene. Ved høy vifteeffekt vil også temperaturen synke og dermed holde på mindre vanndamp. De termiske effektene av eksponerte treoverflater krever at ventilasjon som blir dimensjonert i forhold til bruken av treoverflater. Ved bruk av treoverflater bør ikke ventilasjonsgraden være for høy.

Høy ventilasjonsgrad er i følge resultatene fra simuleringene heller ikke nødvendig ved 100% treoverflate. Dette er fordi fuktbufringen til treoverflatene gjør at RF synker raskere. Slik holdes vanndampinnholdet i luften nede og ventilasjonssystemet kan heller bruke lengre tid på å ta ut fuktigheten uten at vanndampinnholdet blir for høyt. Dermed vil det være et potensial for å spare energi ved bruk av treoverflater.

For de tilfellene som er undersøkt i oppgaven kan det konkluderes med at treoverflater har liten hensikt så lenge det eksponerte arealet er begrenset eller så lenge fuktproduksjonen i rommet er lav.

## 7. Videre arbeid

Basert på resultatene og diskusjonen er det flere momenter som vil være spennende å utarbeide videre. Ved målinger som kan sammenlignes med denne oppgaven er det først og fremst nødvendig å forbedre aspektene som ble diskutert som negativt ved metoden. Eksempler på forsøk hvor man forbedret metoden er å gjøre målinger i to like leiligheter hvor den en har treoverflater som en del av den faste konstruksjonen. I tillegg bør det brukes større treoverflate enn det som er brukt i disse målingene. Det vil også være spennende å teste ut doble himlinger eller baffel-himlinger som er beskrevet i diskusjon avsnitt 5.3.5 på side 83.

Ved forsøk som skal bruke samme type sensorer vil forsker anbefale å gjøre nødvendige modifiseringer slik at sensorene klarer å måle overflatefukten. Dette vil tillate at man i tillegg til inneklimatektorene vil måle hvor mye fuktighet treoverflatene faktisk tar opp. I tillegg til målinger i dagligdagse forhold bør det gjøres "kontrollerte" målinger hvor man for eksempel bruker en luftfukter for å kontrollere fuktpåkjennningene.

Det vil også være interessant å gjøre lignende målinger i bygninger av massivtre. Dette vil kunne bidra med å bevise treets hygroskopiske påvirkning for inneklimatektorene i faktiske massivtrebygg. Slike studier kan brukes for å argumentere for eller mot bruken av massivtre.



## 8. Kilder

- Blom, P. (1990). 421.501 Temperaturforhold og lufthastighet. Betingelser for termisk komfort. *SINTEF Byggforsk*.
- Blom, P. & Uvsløkk, S. (2012). *Bygg tett*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Bornehag, C., Sundell, J., Bonini, S., Custovic, A., Malmberg, P., Skerfving, S., Sigsgaard, T. & Verhoeff, A. (2004). Dampness in buildings as a risk factor for health effects, EUROEXPO: a multidisciplinary review of the literature (1998-2000) on dampness and mite exposure in buildings and health effects. *Indoor Air*.
- Dalland, O. (2007). *Metode og oppgaveskriving for studenter*. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS.
- Dinside.no. (2012). *Ikke la deg lure av nytt bad*. Tilgjengelig fra: <http://www.dinside.no/894496/ikke-la-deg-lure-av-nytt-bad> (lest 20.april).
- Direktoratet for byggekvalitet. §13-2. *Ventilasjon i boenhet*. Byggeteknisk forskrift med veiledning (TEK10). Tilgjengelig fra: <http://dibk.no/no/BYGGEREGLER/Gjeldende-byggeregler/Veiledning-om-tekniske-krav-til-byggverk/?dpx=/dpx/content/tekniskekrav/13/2/> (lest 1.mai).
- Edvardsen, K. I., Ramstad, T. Ø., Haug, T. & Saltnes, J. (2010). *Trehus*. Oslo: Instituttet. 333 s. s.
- Foslie, M. (2012). *Tre: Egenskaper*. Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/tre%2Fegenskaper> (lest 4. mars).
- Geving, S. (1995). 421.132 Fukt i bygninger. Teorigrunnlag. *SINTEF Byggforsk*.
- Geving, S. & Thue, J. V. (2002). *Fukt i bygninger*.
- Geving, S., Holme, J. & Uvsløkk, S. (2010). Alternative dampsperrer med uttøringsmulighet mot innelufta. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Geving, S. & Holme, J. (2011). Mean and diurnal indoor air humidity loads in residential buildings. *Journal of Building Physics*.
- Grønmo, S. (2004). *Samfunnsvitenskapelige metoder*: Fagbokforlaget.
- Hameury, S. (2005). Moisture buffering capacity of heavy timber structures directly exposed to an indoor climate: a numerical study. *Building and Environment*, 40 (10): 1400-1412.
- Høyskolen i Gjøvik. (2009). *Fasthet for konstruksjonsvirke*. Høyskolen i Gjøvik. Tilgjengelig fra: <https://www.ansatt.hig.no/livt/Nettforelesninger/Fasthet/Fasthet%20for%20konstruksjonsvirke%20S.pdf> (lest 5.mars).
- IEA. (1991). Sourcebook. *Report of Annex 14*. Leuven, Belgium: International Energy Agency.
- Karagiozis, A., Künzle, H. & Holm, A. (2001). WUFI-ORNL/IBP - a North American hygrothermal model. *Performance of Exterior Envelopes of Whole Buildings VIII*.
- Korsnes, S. (2012). Fukt- og varmeutveksling i innvendige overflater.
- Lundesgaard, J. (1999). 571.523 Trelast av gran og furu. Egenskaper og dimensjoner. *SINTEF Byggforsk*.
- MYCOTEAM. (2009). *Fukttransport*. Tilgjengelig fra: [http://www.mycoteam.no/emner/skadetyper/fukt/eksisterende\\_bygg/fukttransport](http://www.mycoteam.no/emner/skadetyper/fukt/eksisterende_bygg/fukttransport) (lest 12.mars).
- Nore, K. (2014). *Veiledning*.
- Norges Astma og Allergiforbund. *Innemiljø: Definisjoner*: Norges Astma og Allergiforbund,. Tilgjengelig fra: <http://inneklima.com/index.asp?document=5&context=&print=yes> (lest 3. april).
- NZ Moisture meters. (2014). *NZ Moisture meters - Frequently asked questions*: NZ moisture meters. Tilgjengelig fra: <http://www.moisturemeters.co.nz/faqs-building.asp>.
- Omnisense LLC. *OmniSense s-900-1 Wireless sensor Product Brief*. Oxnard, CA: Omnisense LLC. Tilgjengelig fra: [https://www.omnisense.com/oms\\_cds/media/007-002-003%20OmniSense%20FMS%20S-900-1%20Product%20Brief.pdf](https://www.omnisense.com/oms_cds/media/007-002-003%20OmniSense%20FMS%20S-900-1%20Product%20Brief.pdf) (lest 15.april).

- Osanyintola, O. F. & Simonson, C. J. (2006). Moisture buffering capacity of hygroscopic building materials: Experimental facilities and energy impact. *Energy and Buildings*, 38 (10): 1270-1282.
- Perré, P. & Key, R. B. (2006). Drying of wood: Principles and practices. I: Mujarndar, A. S. (red.) *Handbook of Industrial Drying*. National University of Singapore: Taylor & Francis Group.
- Rode, C., Peuhkuri, R., Hansen, K. K., Time, B., Svennberg, K., Arfvidsson, J. & Ojanen, T. (2005). Moisture Buffer Value of Materials in Buildings.
- Sagen, A. (1999). *Tre som byggemateriale*. Trekonstruksjoner med spikerplater, 15. Norge: Norske Takstolprodusenters Forening.
- Salonvaara, M., Ojanen, T. & Simonson, C. J. (2004). Indoor Air Quality in a Wooden House.
- Siau, J. F. (1984). *Transport processes in wood*. Berlin: Springer-Verlag. 245 s. s.
- Simonson, C. J., Salonvaara, M. & Ojanen, T. (2000). Improving indoor climate and comfort with wooden structures.
- SINTEF Byggforsk. (2013). Teknisk godkjenning av Martinson KL-trä. *SINTEF Certification*. Siås. *Bakgrunn - historikk*: Studentsamskipnaden i Ås. Tilgjengelig fra: [http://www.sias.no/bakgrunn\\_historikk.html](http://www.sias.no/bakgrunn_historikk.html) (lest 4.februar).
- Skaar, C. (1988). *Wood-water relations*. Berlin: Springer-Verlag.
- Skogstad, P. (2009). Kapittel 2 - Trevirkets egenskaper: Fuktighet - Densitet - Fasthetsegenskaper - Andre egenskaper. I: *Treteknisk Håndbok*: Norsk Treteknisk institutt.
- Skåret, E. & Blom, P. (1994). 552.301 Ventilasjon av boliger. Prinsipper og behov. *SINTEF Byggforsk*. Store norske leksikon. (2009). *Latent varme*: Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: [http://snl.no/latent\\_varme](http://snl.no/latent_varme).
- Store norske leksikon. (2012). *Årringer*: Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/%C3%A5rringer>. (lest 4. mars).
- Straube, J. (2006). *Moisture and materials*. Building Science Digests.
- Tellnes, L., Nyrud, A. Q. & Nore, K. (2012). WEEE - Wood, Energy, Emissions, Experience. *Treteknisk Informasjon*.
- TenWolde, A. & Pilon, C. L. (2007, Dec. 2-7). *The Effect of indoor humidity on water vapor released in homes*. Proceedings of Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings X international Conference, Clearwater, FL.
- Time, B. (1998). *Hygroscopic Moisture Transport in Wood*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.
- TreFokus. (2007). *Tre og miljø*. Håndbok - generalt. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/fullstory.aspx?m=1028&amid=6503> (lest 24.april).
- Winkler, M., Nore, K. & Antretter, F. (2014). Impact of the moisture buffering effect of wooden materials on energy and comfort conditions.
- Wolkoff, P. & Kiaergaard, S. K. (2007). The dichotomy of relative humidity on indoor air quality. *Environmental International*, 45: 2132-2140.
- Wufi-wiki.com. (2001). *Discussion: WUFI-Pro Performance and Limitations*. Tilgjengelig fra: [http://www.wufi-wiki.com/mediawiki/index.php5/Discussion:WUFI-Pro\\_PerformanceandLimitations](http://www.wufi-wiki.com/mediawiki/index.php5/Discussion:WUFI-Pro_PerformanceandLimitations).
- Yang, X., Fazio, P., Ge, H. & Rao, J. (2012). Evaluation of moisture buffering capacity of interior surface materials and furniture in a full-scale experimental investigation. *Building and Environment*, 47 (0): 188-196.

## Vedlegg A

### A.1. Sensorene

Sensornr.	Navn	Leilighet	Plassering
19560222	222	B	Over kjøleskap (kjøkken)
19560239	239	B	Bokhylle (kjøkken/stue)
1956003B	03B	B	Ved TV (stue)
19560230	230	B	Soverom
19560245	245	B	Bad
1956028C	28C	B	Bad
195602A0	2A0	A	Over kjøleskap (kjøkken)
195602FE	2FE	A	Bokhylle (kjøkken/stue)
19560311	311	A	Ved TV (stue)
19560315	315	A	Soverom
19560316	316	A	Bad
1956033D	33D	A	Bad

Tabell A 1 - Oversikt over sensorene, leilighet og plassering.

### A.2. Skjema for leilighet A og B

	Leilighet A	Leilighet B
Med/uten treoverflater	Uten treoverflater	Med treoverflater
Beboere	Kristine Lassemo (24) Harald Halsne (29)	Mathilde Skjelbred (23) Simen Lunder (26)
Lufter dere om natta	Nei	Nei
Står døren til badet som regel lukket?	Ja	Ja

### A.3. Aktivitetslogg

#### A.3.1. Leilighet A

Dato	Fra kl.	Til kl.	Aktivitet
3.03	23.59	00.30	Dusj x2
4.03	11.37	12.54	Lufting soverom
4.03	12.17	12.32	Matlaging (koke pasta)
4.03	15.05	15.27	Støvsuge soverom
6.03	07.27	07.43	Dusj
6.03	11.00	11.15	Dusj
6.03	15.15	15.35	Matlaging
6.03	22.17	22.32	Matlaging

7.03	10.43	10.52	Dusj
9.03	13.35	14.10	Dusj x2
9.03	14.40	15.10	Matlaging
9.03	18.10	18.20	Lufting stue
9.03	19.25	20.05	Matlaging
10.03-11.03	20.00	20.05	Tørke klær
10.03	00.30	00.50	Dusj
11.03	20.50	21.30	Matlaging
13.03	10.05	10.25	Dusj
13.03	14.45	15.00	Dusj
13.03	23.45	00.00	Matlaging
14.03	12.10	12.13	Lufting
16.03	12.10	12.27	Dusj
17.03	23.00	23.15	Dusj
19.03	11.55	12.10	Dusj
21.03	09.25	09.45	Dusj
23.03	19.05	19.25	Dusj
24.03	13.35	14.08	Lufting
26.03	11.00	11.15	Dusj
26.03	11.30	11.45	Dusj
28.03	11.30	11.45	Dusj
28.03	15.20	16.15	Lufting
30.03	11.55	12.20	Lufting
31.03	10.40	11.05	Dusj

Tabell A 2 – Aktivitetslogg i leilighet A for måleperioden

### A.3.2. Leilighet B

Dato	Fra kl.	Til kl.	Aktivitet
25.02	20.45	21.15	Dusj
26.02	14.10	14.20	Dusj
28.02	19.00	22.00	Besøk
28.02	18.50	19.05	Dusj
28.02	19.00	19.30	Matlaging
1.03-2.03	18.00	13.00	Klestørking
1.03	16.40	16.55	Matlaging
2.03	18.00	18.35	Dusjing
2.03	18.15	18.40	Matlaging
3.03	20.00	20.30	Dusj og matlaging
5.03	23.15	23.25	Dusjing
6.03	16.30	17.20	Matlaging
6.03	21.00	21.10	Dusjing
7.03	18.15	18.25	Dusj
9.03	11.15	11.30	Dusj
9.03	19.15	19.30	Dusj
10.03	20.15	20.35	Matlaging
10.03	20.30	20.45	Dusj

11.03	20.00	20.30	Matlaging
13.03	16.50	17.00	Dusj ventilasjon 1
14.03	09.20	09.30	Dusj ventilasjon 1
14.03-16.03	14.30-	19.00	Bortreist
17.03	20.00	20.15	Dusj ventilasjon 2
18.03	7.10	7.20	Dusj ventilasjon 1
21.03	18.30	18.40	Dusj
23.03	19.05	19.25	Dusj x2 ventilasjon
24.03	11.30	11.45	Dusj test ventilasjon 3
24.03	22.30	22.45	Dusj ventilasjon 3
26.03	11.00	11.17	Dusj
26.03	18.10	18.25	Dusj
27.03	10.55	11.10	Dusj
27.03	23.30	23.45	Dusj
28.03	07.00	07.15	Dusj
28.03-30.03	14.00	19.00	Bortreist
31.03	13.30	13.45	Dusj

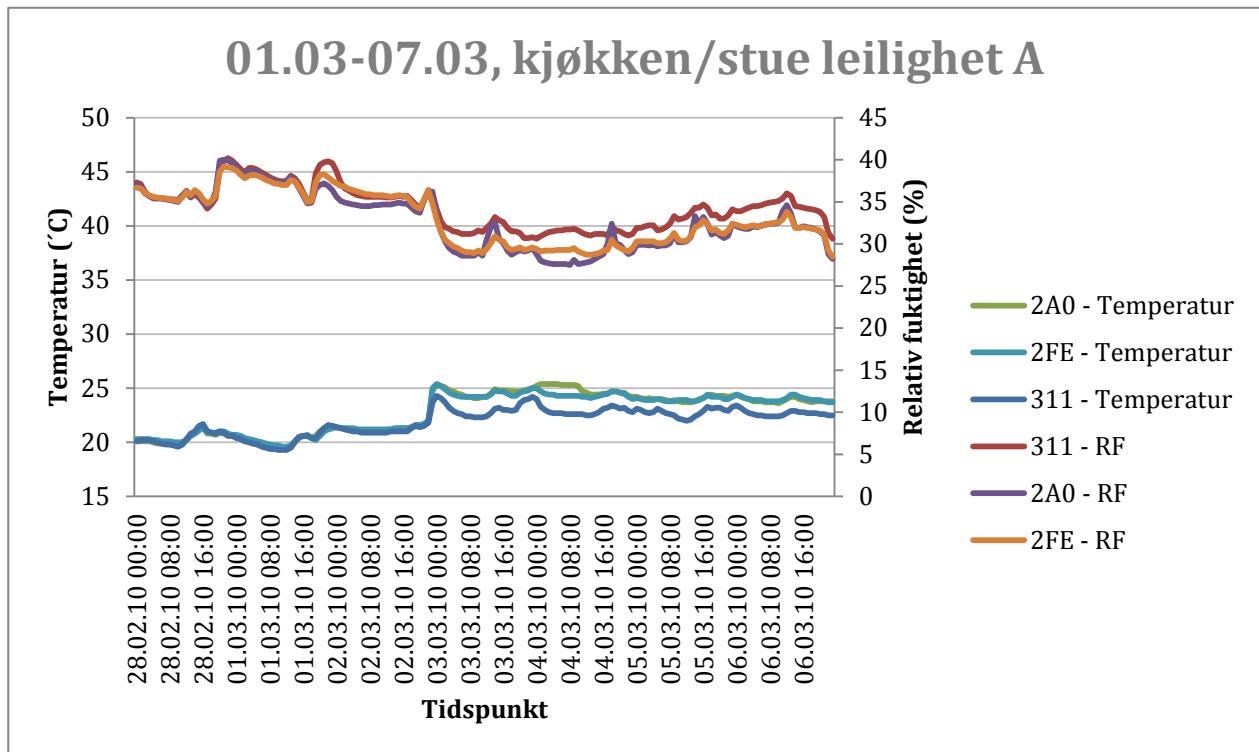
Tabell A 3 – Aktivitetslogg for leilighet B i måleperioden

## A.4. Målinger

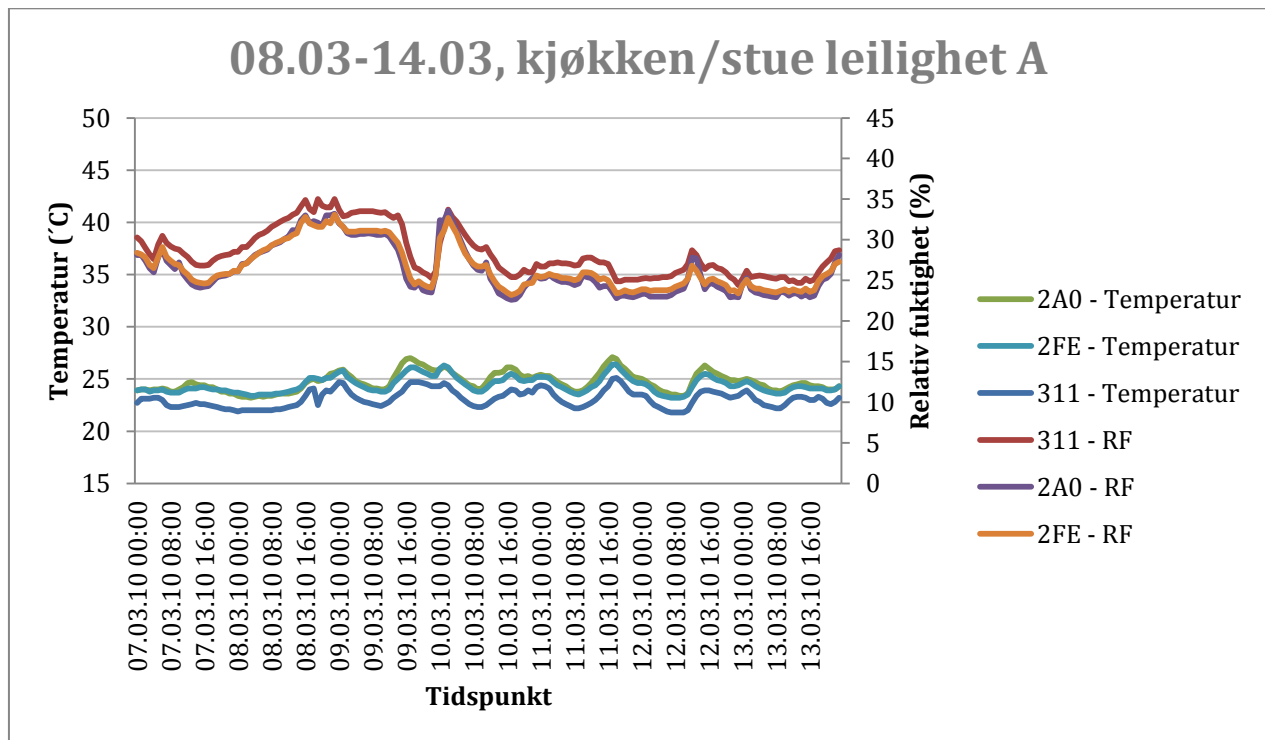
### A.4.1. Leilighet A

#### A.4.1.1. Kjøkken/stue

Figur x, x, x og x viser ukentlig temperaturer fra sensorene på kjøkkenet/stuen. Venstre akse er for temperatur og høyre akse er for relativ fuktighet.



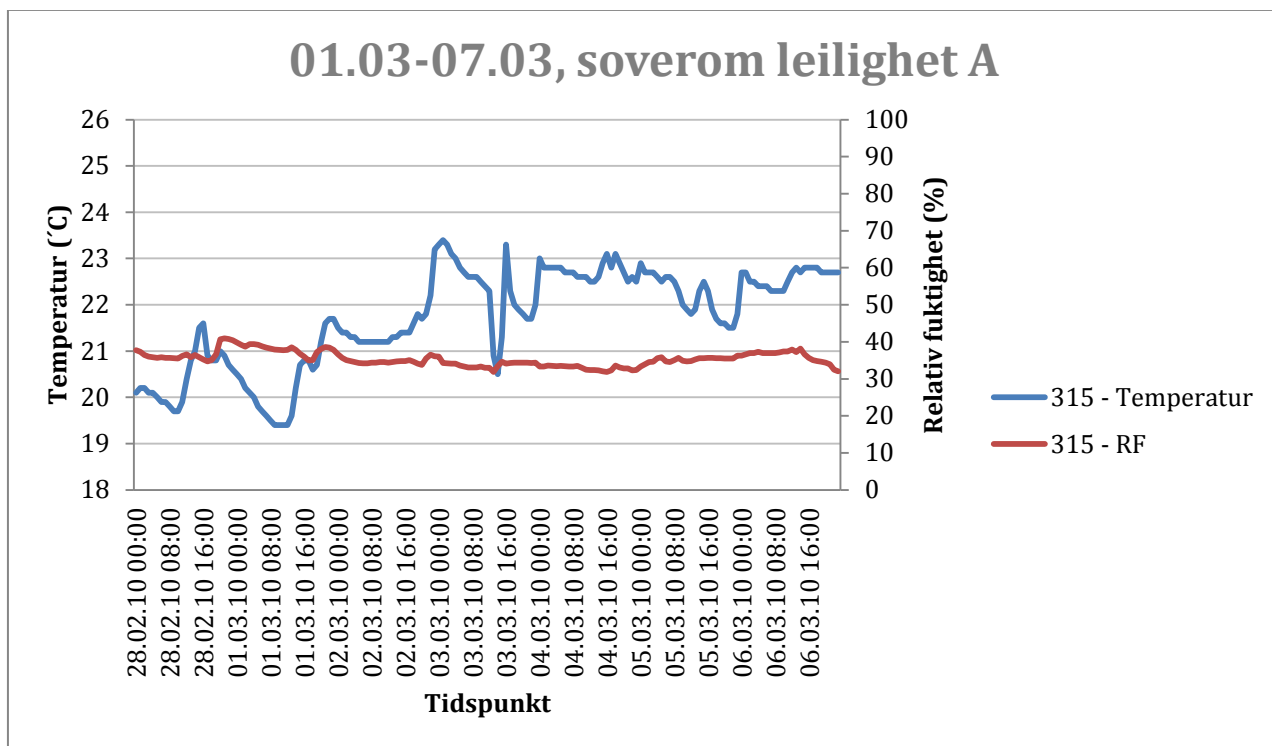
Figur A. 1 - Periode 01.03-07.03 – Kjøkken/stue leilighet A



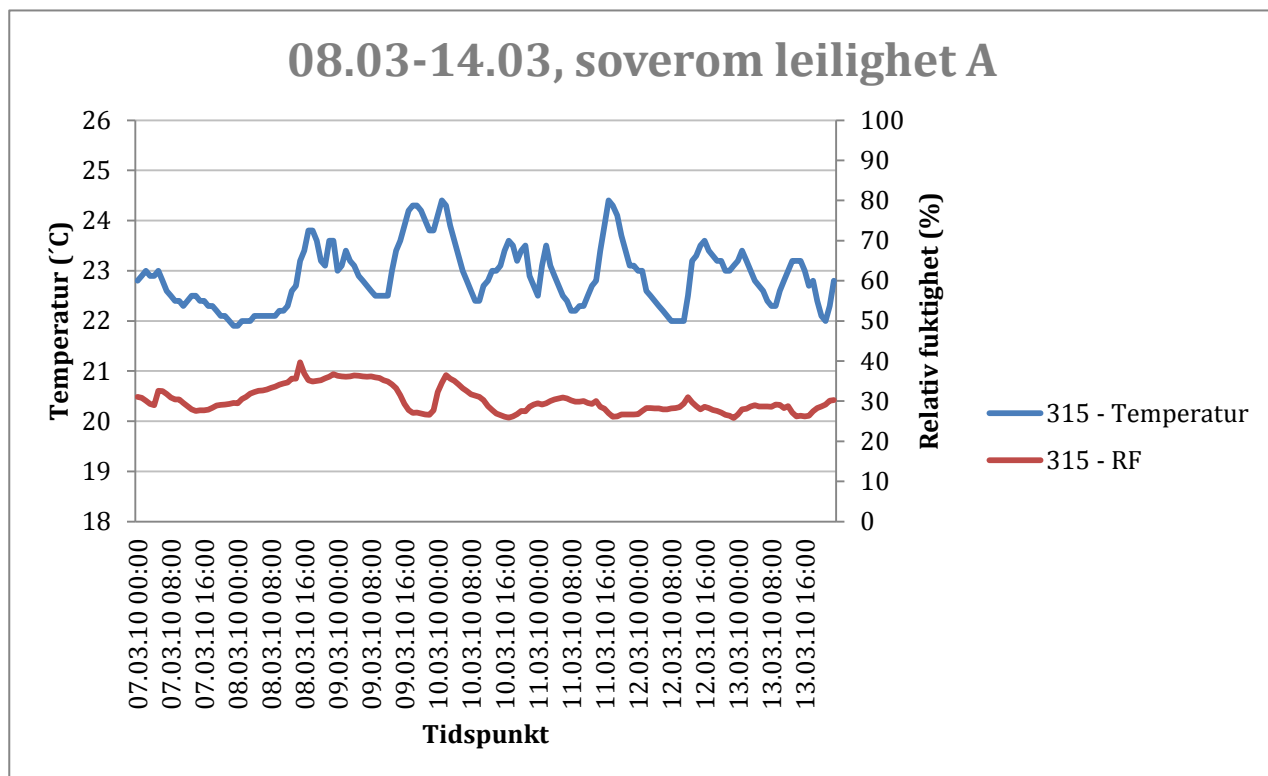
Figur A. 2 - Periode 07.03-14.03 - Kjøkken/stue leilighet A

#### A.4.1.2. Soverom

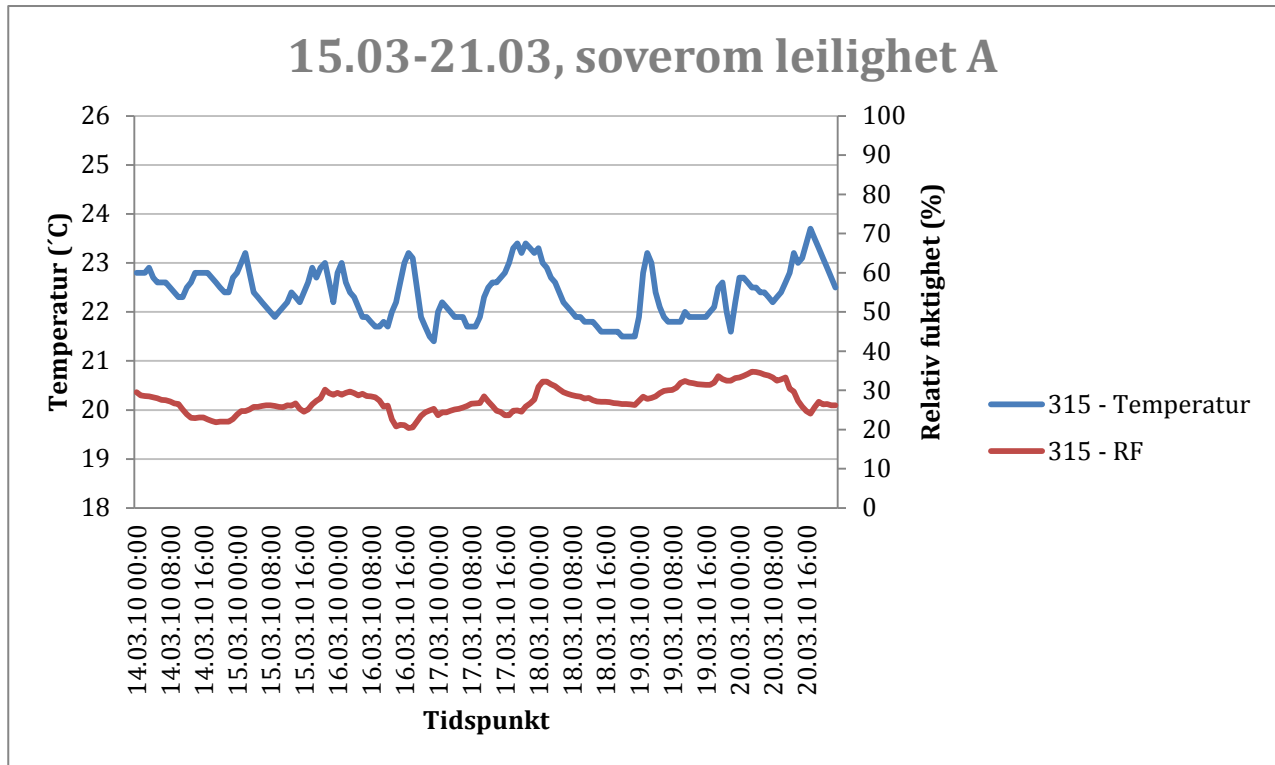
Figurene x, x, x og x viser ukentlig temperatur og RF fra sensoren på soverommet. Benevnningen til venstre er i °C for temperatur og % for RF.



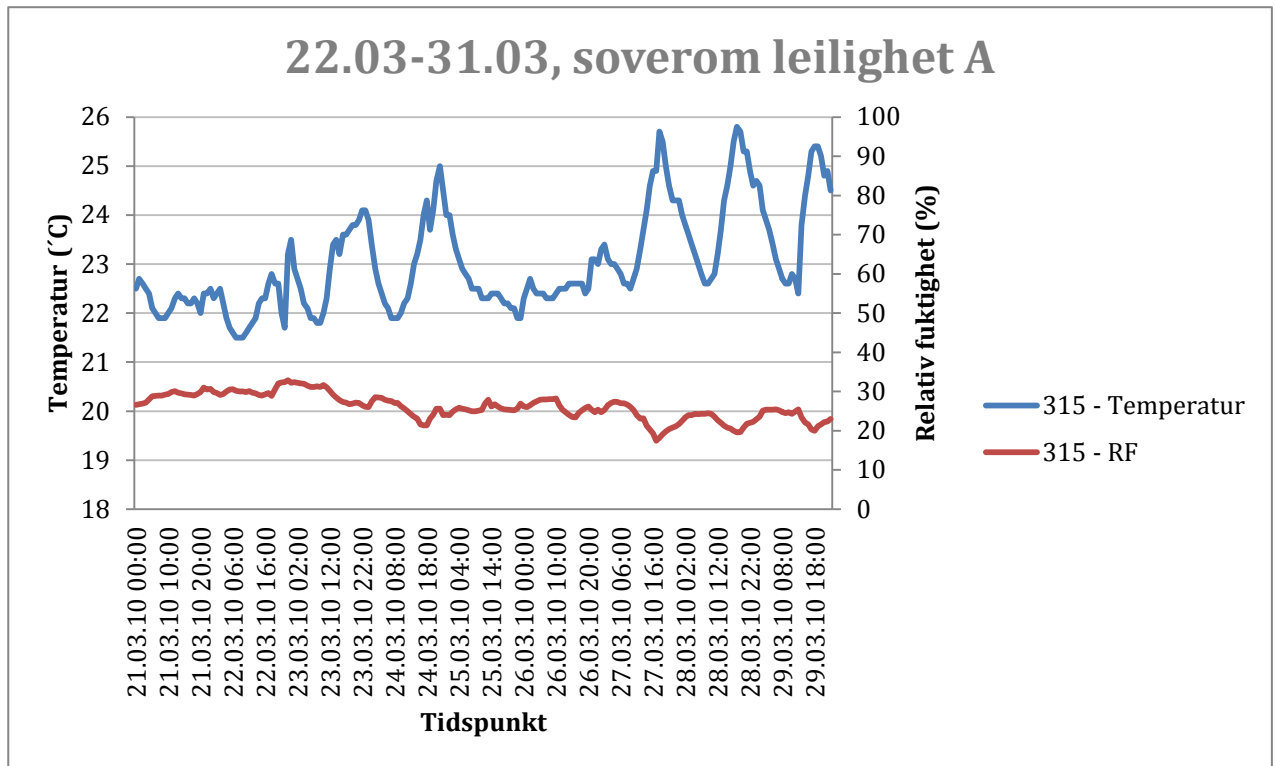
Figur A. 3 - Periode 01.03-07.03 - Soverom leilighet A



Figur A. 4 - Periode 08.03-14.03 - Soverom leilighet A



Figur A. 5 - Periode 14.03-21.03 - Soverom leilighet A

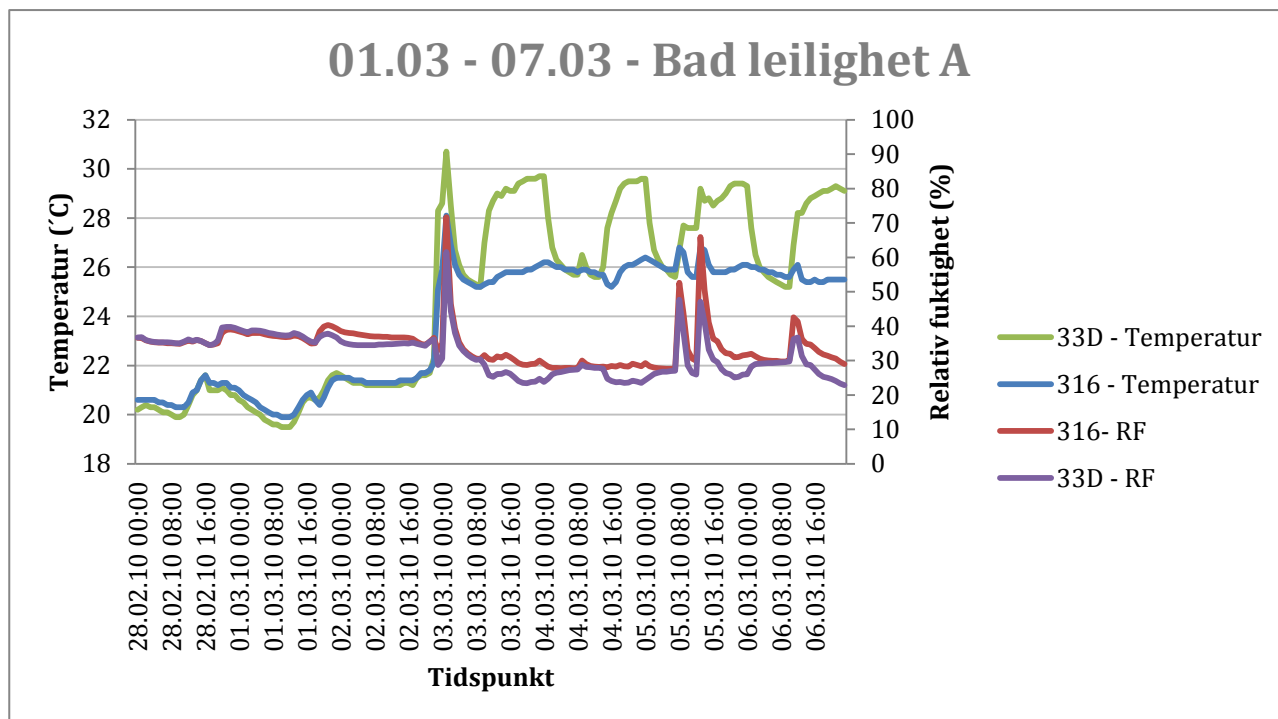


Figur A. 6 - Periode 21.03 - 30.03 - Soverom leilighet A

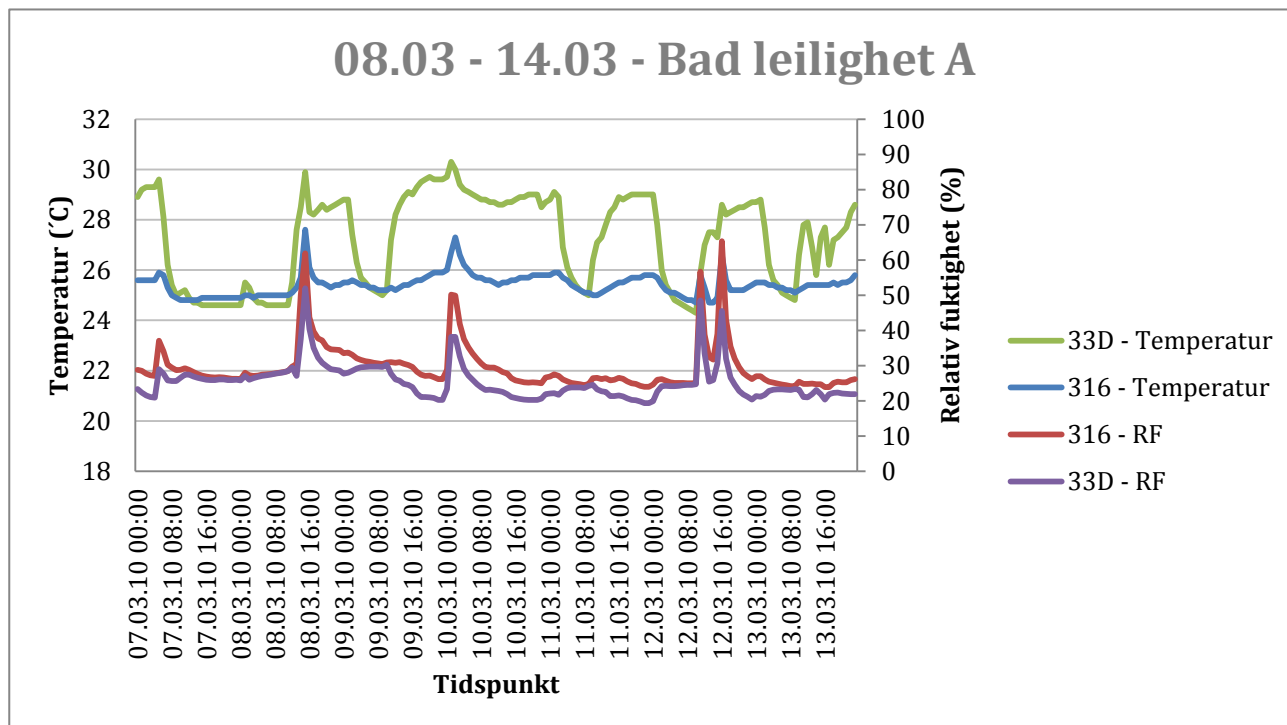
**A.4.1.3. Baderom**



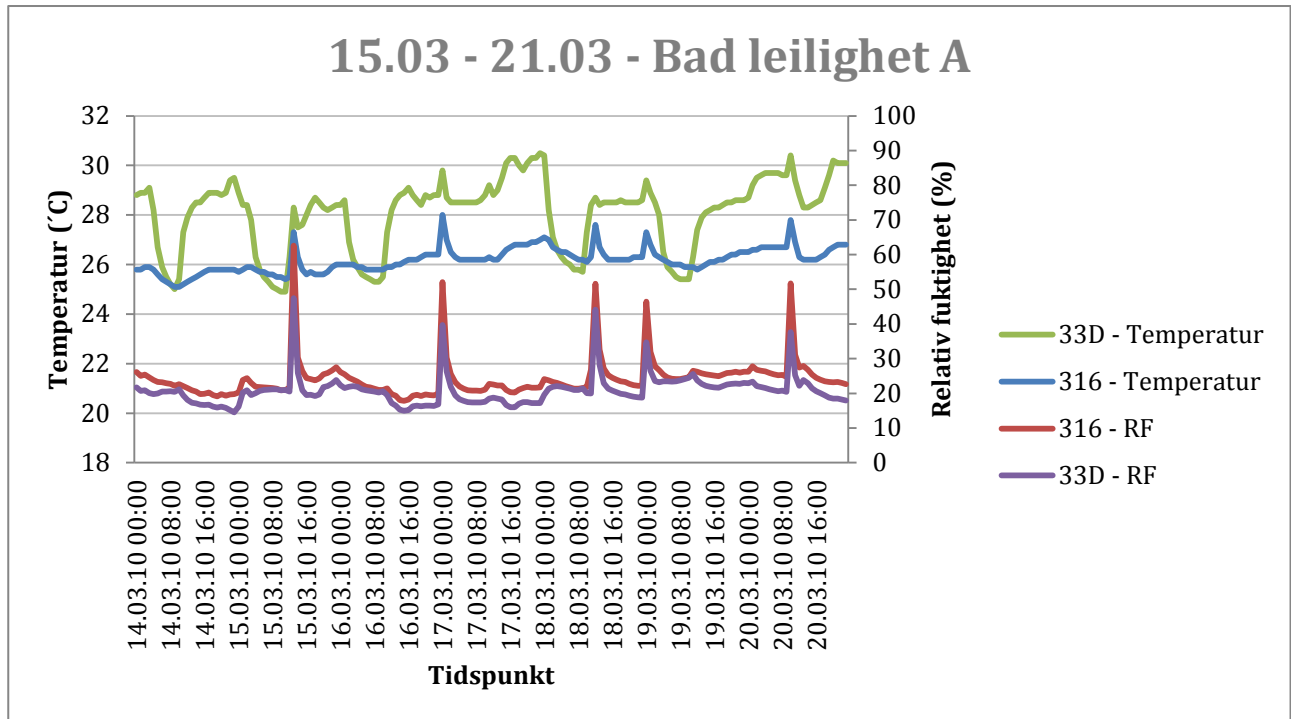
Figurene x, x, x og x viser ukentlig temperatur og RF fra sensoren på soverommet. Benevnningen til venstre er i °C for temperatur og % for RF.



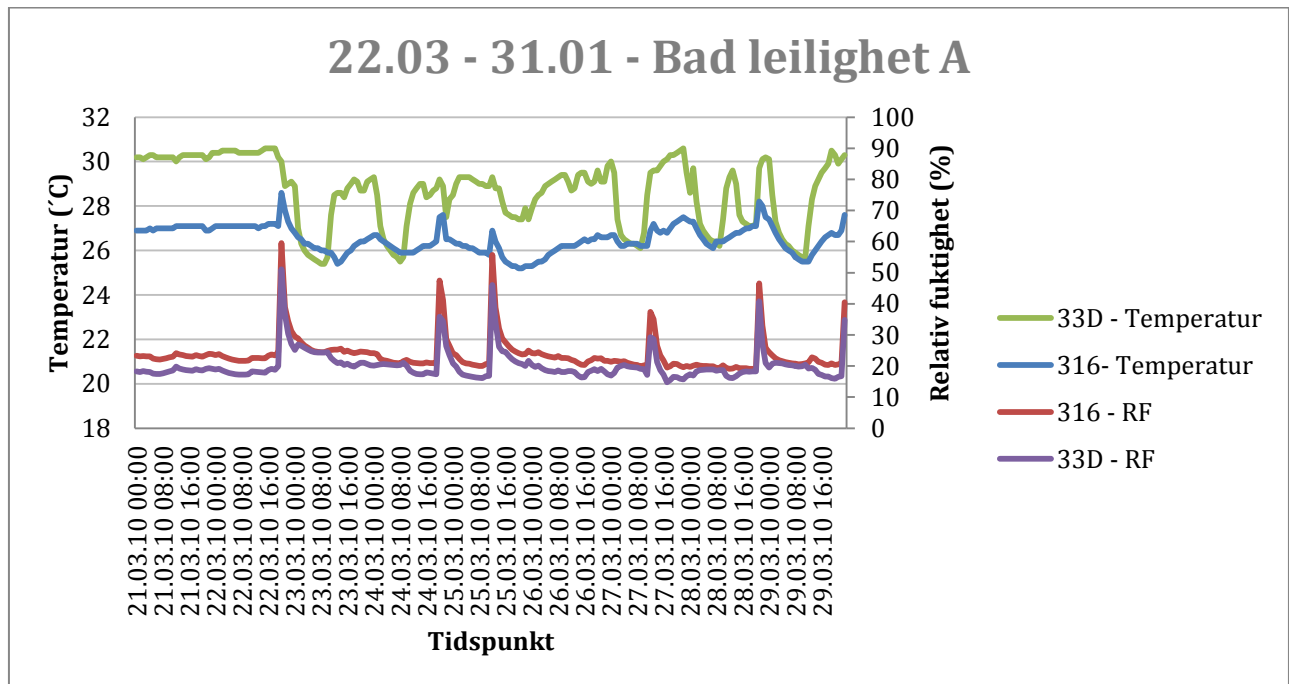
Figur A. 7 - Periode 01.03-07.03 - Baderom leilighet A



Figur A. 8 - Periode 07.03-14.03 - Baderom leilighet A



Figur A. 9 - Periode 14.03-21.03 - Baderom leilighet A



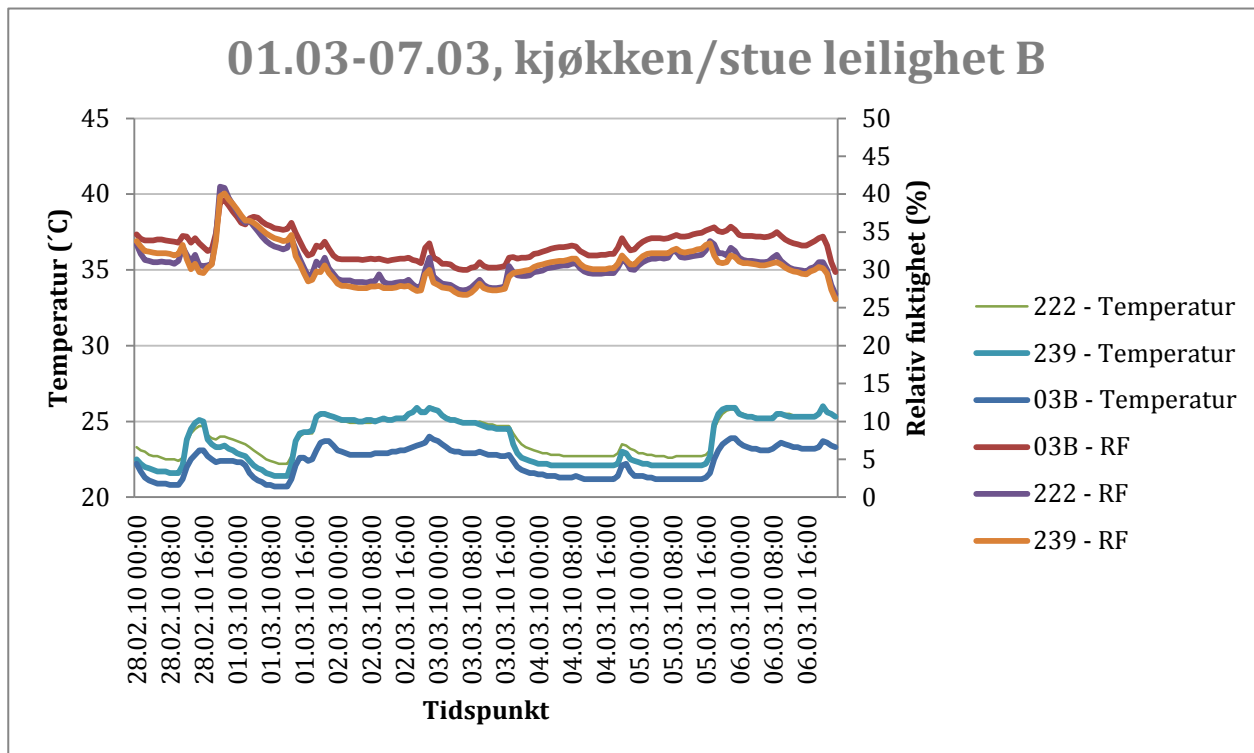
Figur A. 10 - Periode 22.03-30.03 - Baderom leilighet A

## A.4.2. Leilighet B

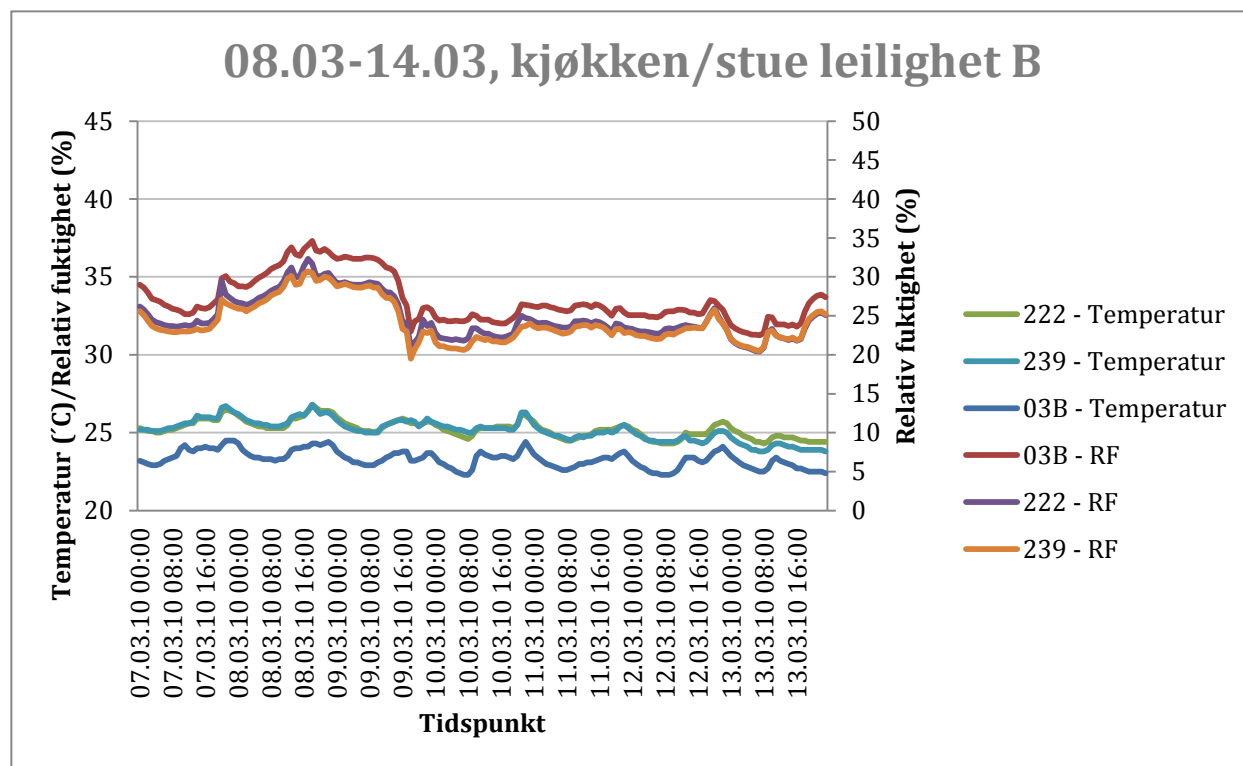
### A.4.2.1. Kjøkken/stue

Figurene **x, x, x og x** under viser ukentlig temperaturer og relativ fuktighet fra sensorene på

kjøkkenet/stuen. Benevningen til venstre er i °C for temperatur og % for RF.



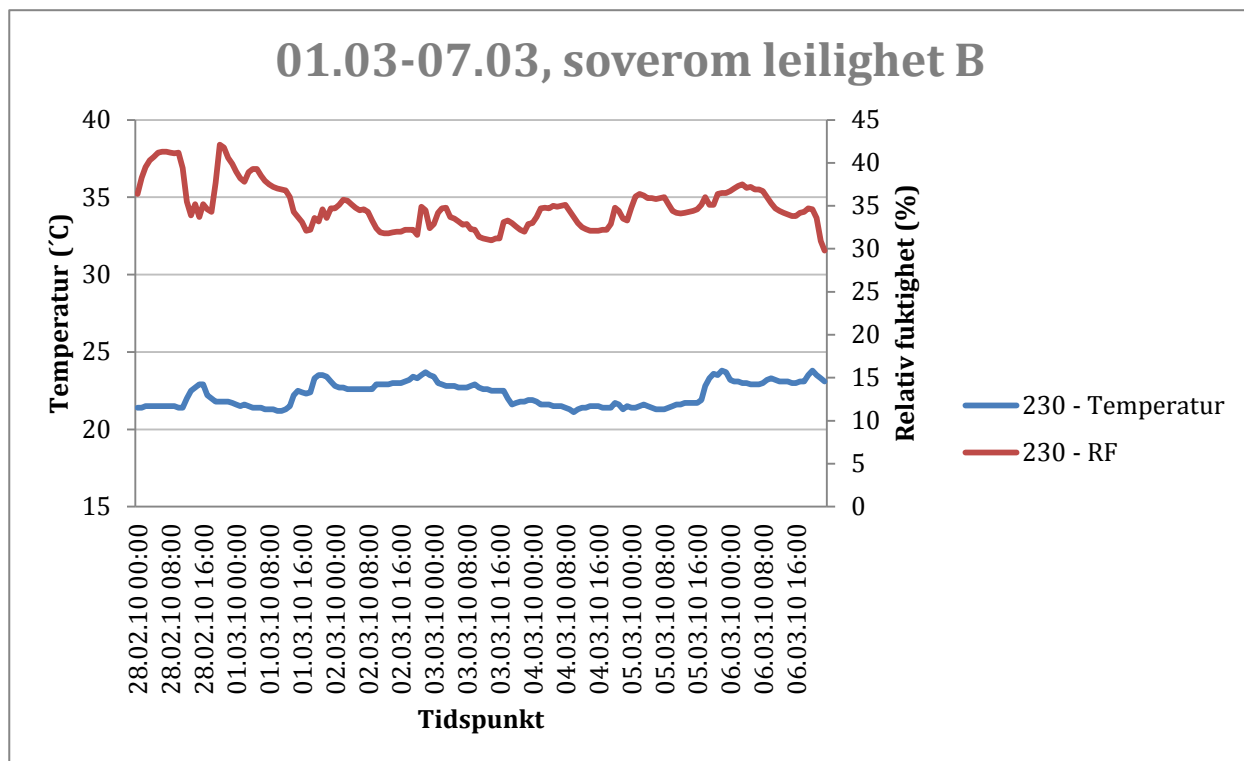
Figur A. 11 - Leilighet B, Kjøkken/stue - Periode 01.03-07.03



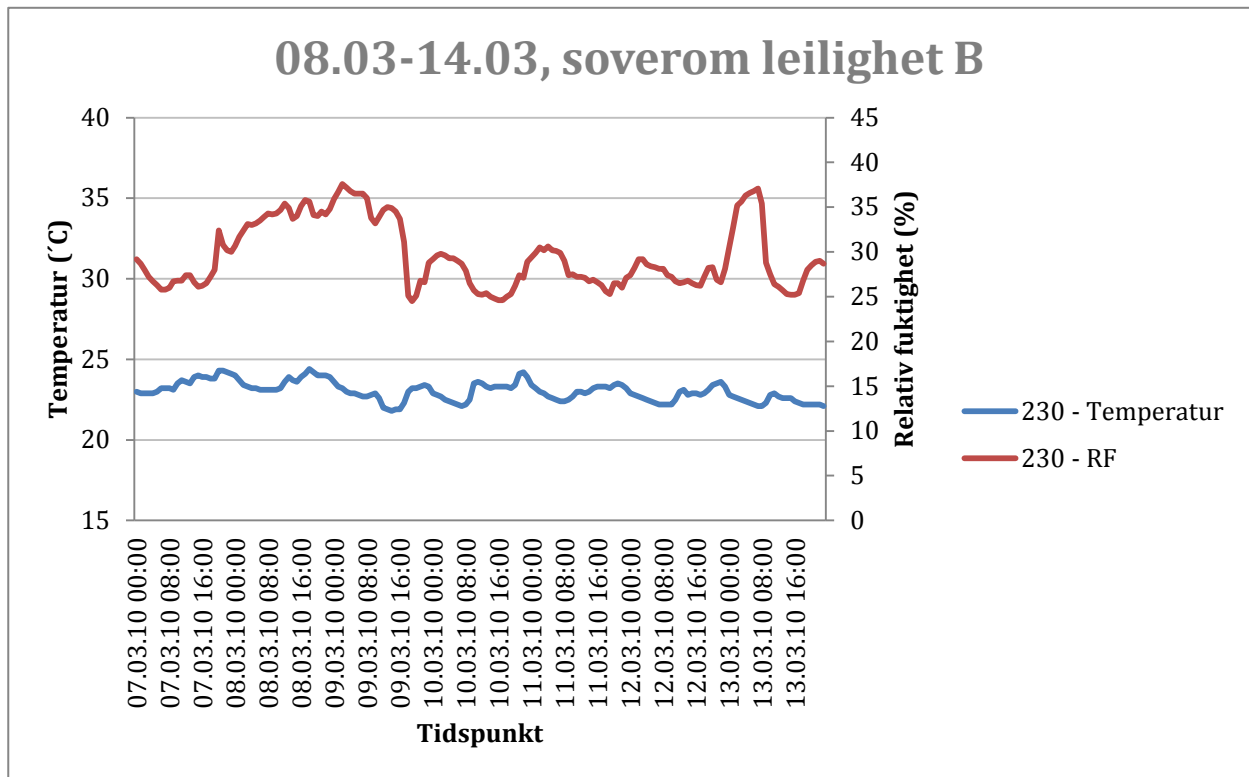
Figur A. 12 - Leilighet B, kjøkken/stue - Periode 08.03-14.03

#### A.4.2.2. Soverom

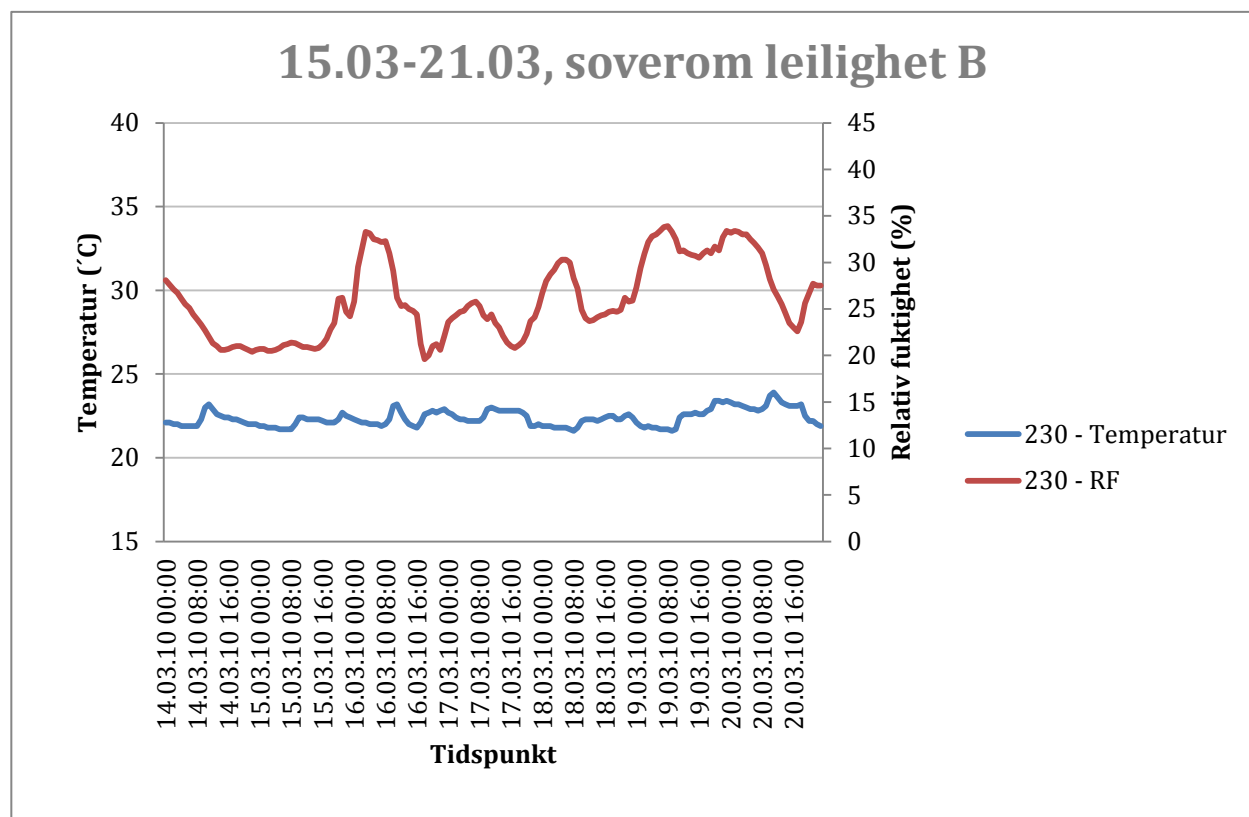
Figurene **x**, **x**, **x** og **x** viser ukentlig temperaturer og relativ fuktighet fra sensorene på kjøkkenet/stuen. Benevningen til venstre er i °C for temperatur og % for RF.



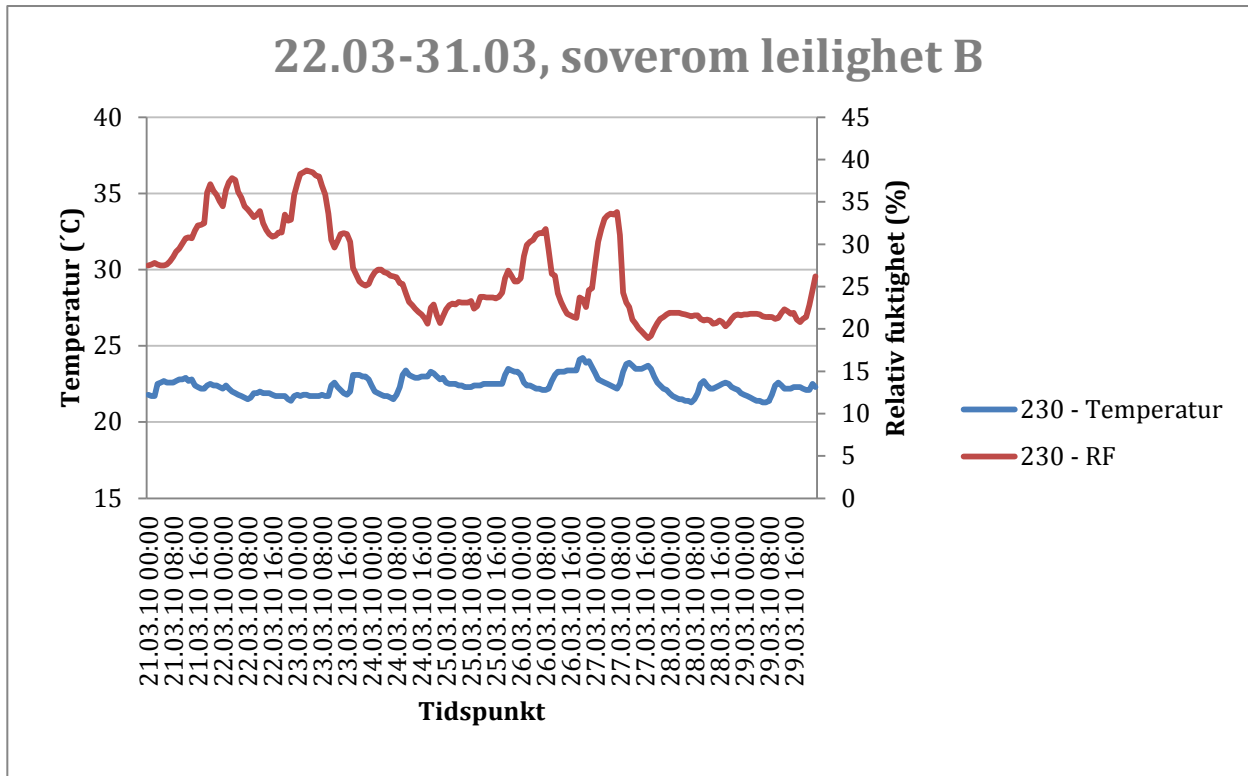
Figur A. 13 - Leilighet B, Soverom - Periode 28.02-07.03



Figur A. 14 - Leilighet B, Soverom - Periode 08.03-14.03



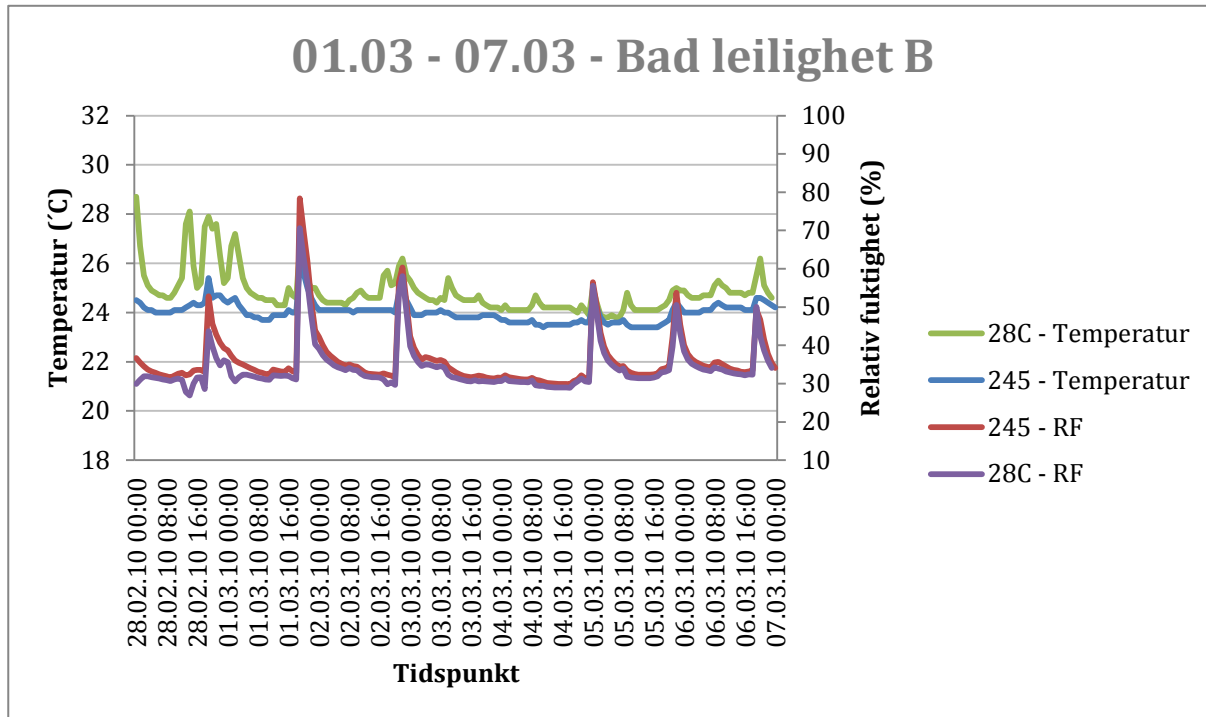
Figur A. 15 - Leilighet B, Soverom - Periode 14.03-21.03



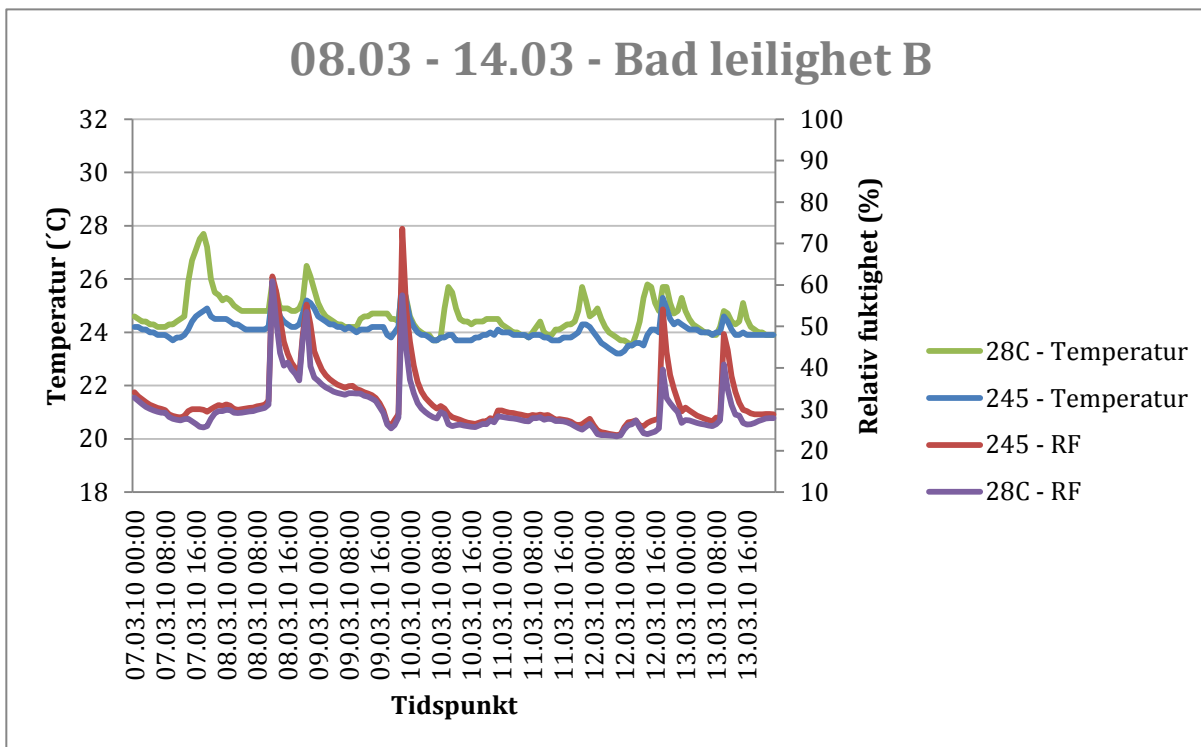
Figur A. 16 - Leilighet B, soverom - Periode 21.03-30.03

#### A.4.2.3. Baderom

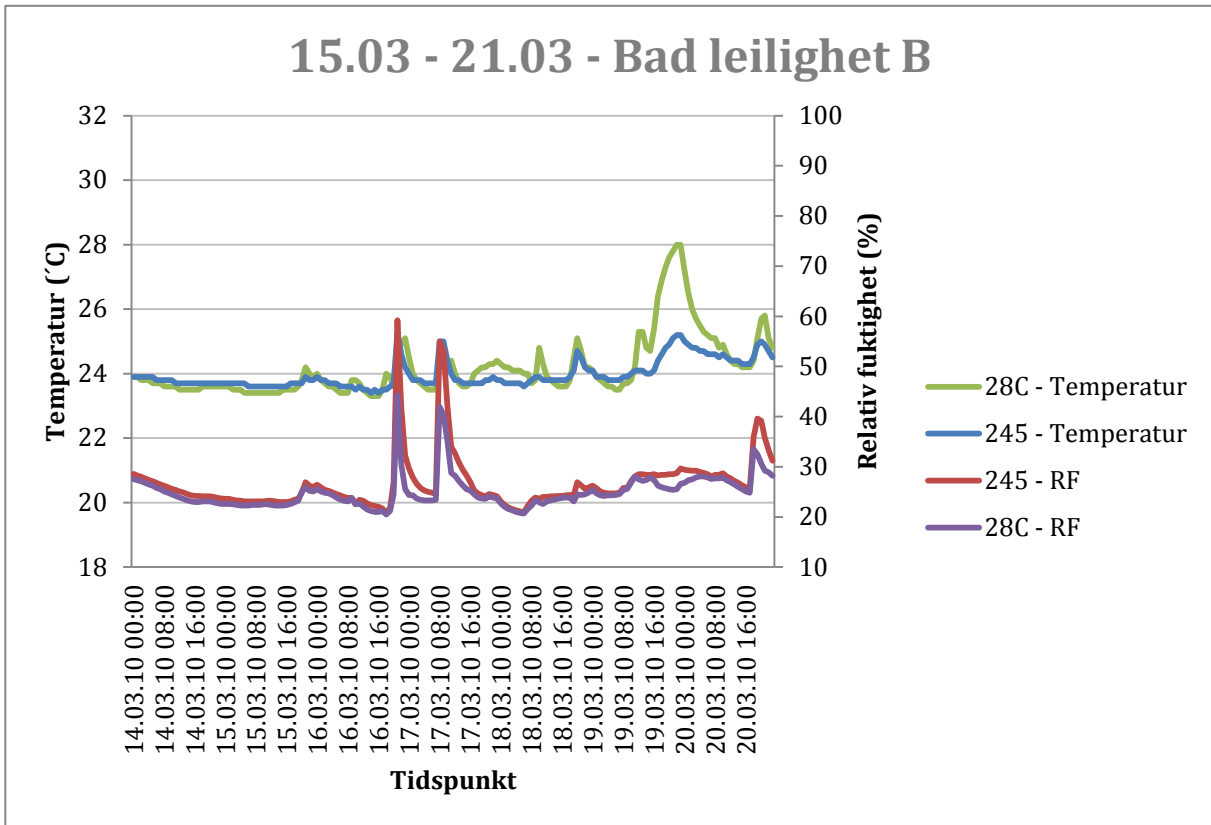
Figurene x, x, x og x viser ukentlig RF fra sensoren på soverommet. Benevningen til venstre er temperatur i °C og til høyre er RF i %. Forklaring av kurvene er til høyre. Sensor 2 – 245, sensor 1 – 28C



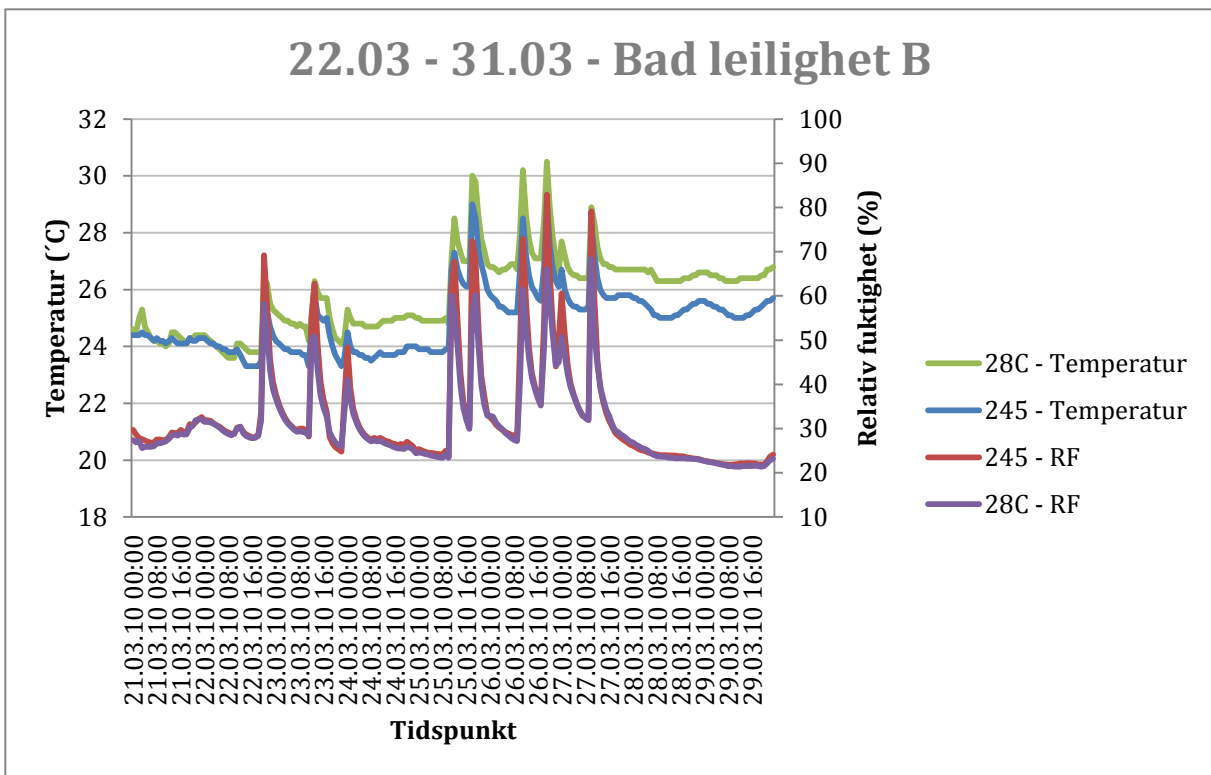
Figur A. 17 - Leilighet B, Baderom - Periode 28.02-07.03



Figur A. 18 - Leilighet B, Baderom - periode 07.03-14.03



Figur A. 19 - Leilighet B, Baderom - Periode 14.03-21.03



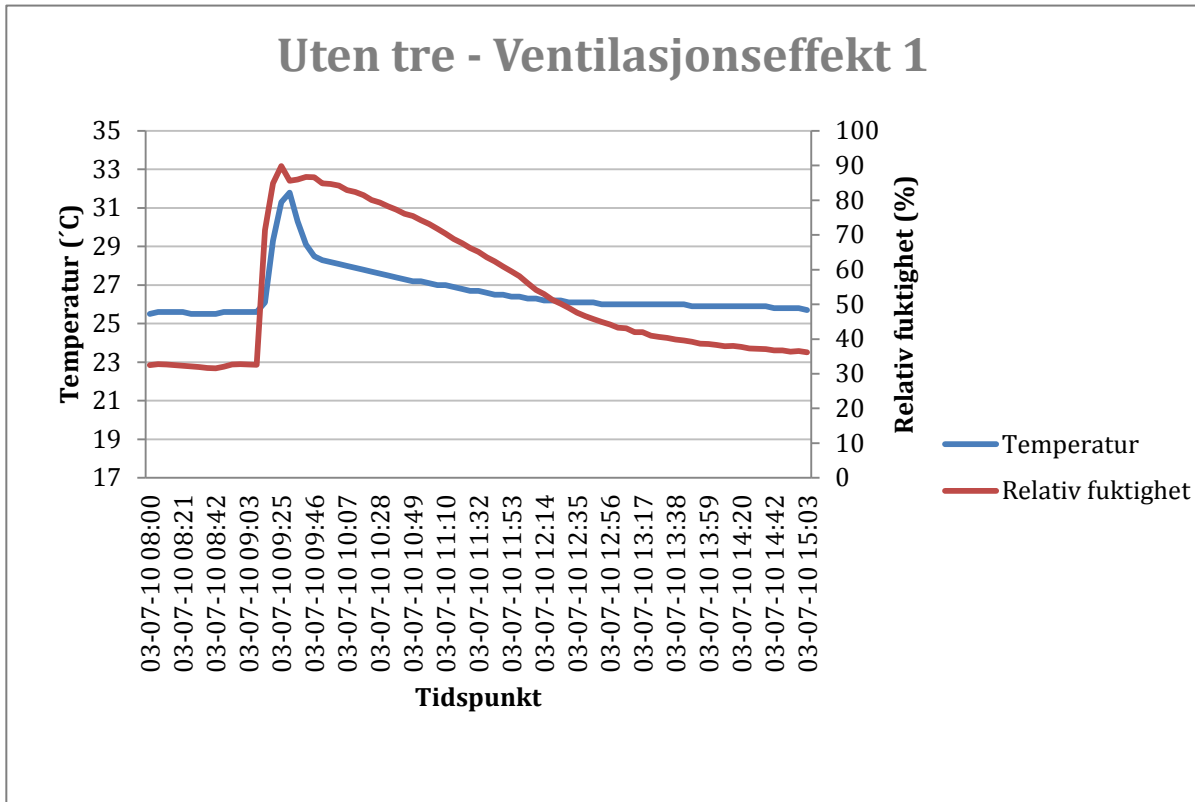
Figur A. 20 - Leilighet B, Baderom - Periode 21.03-30.03



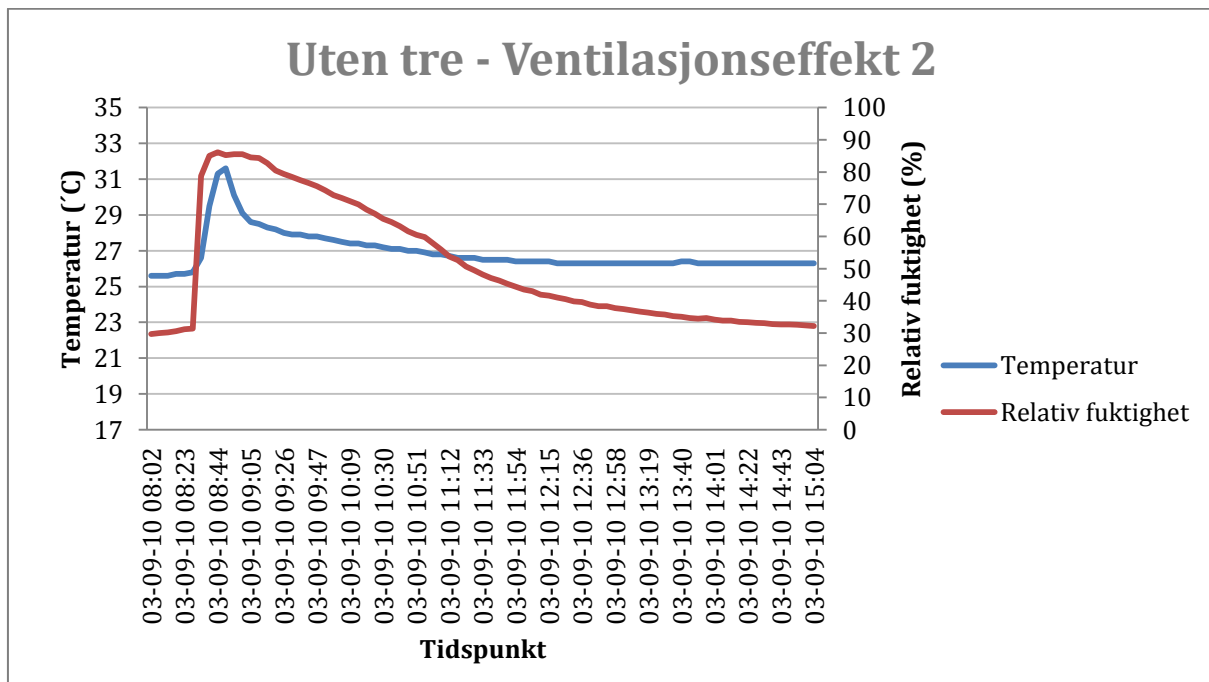
## A.5. Dusjtestdata

Figurene i dette avsnittet viser grafer fra dusjtestene utført i denne oppgaven.

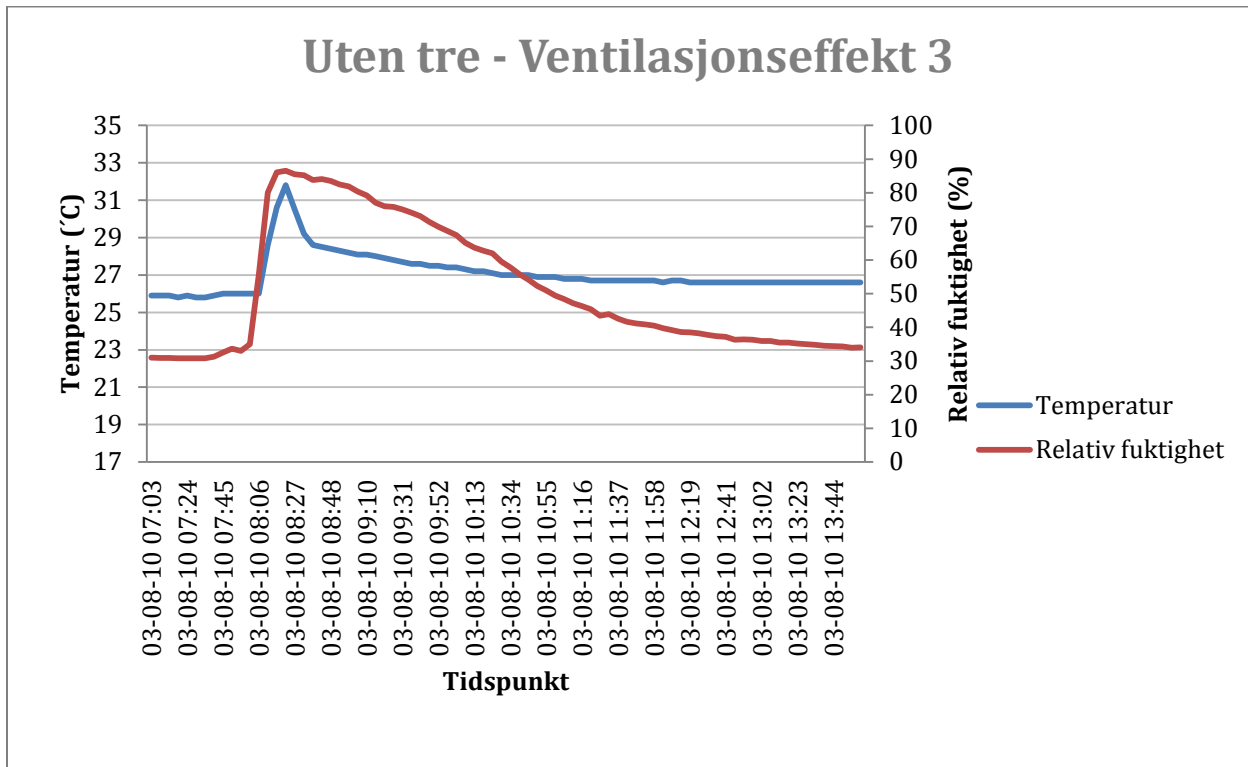
### A.5.1. Uten treoverflater - uten vifte



Figur A. 21 – Dusjforsøk i bad uten tre - Ventilasjonseffekt 1

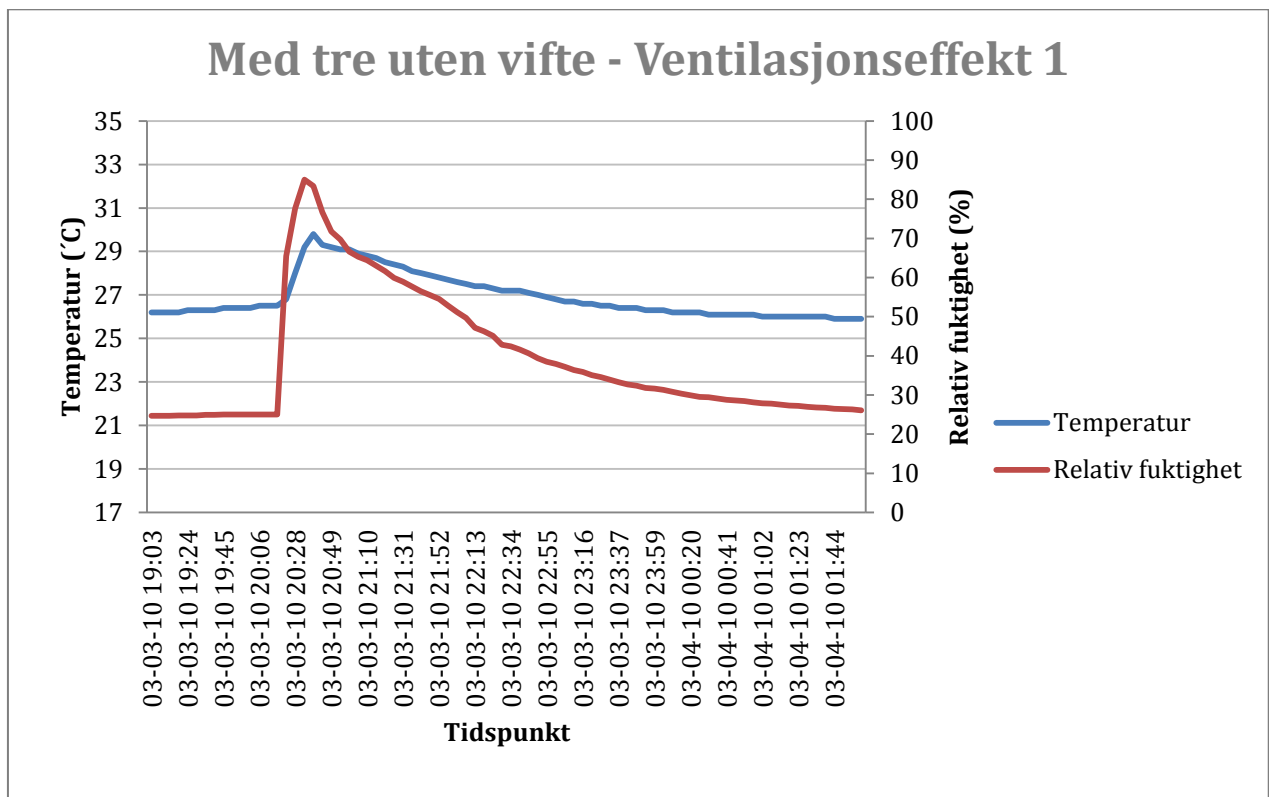


Figur A. 22 - Dusjforsøk i bad uten tre - ventilasjonseffekt 2

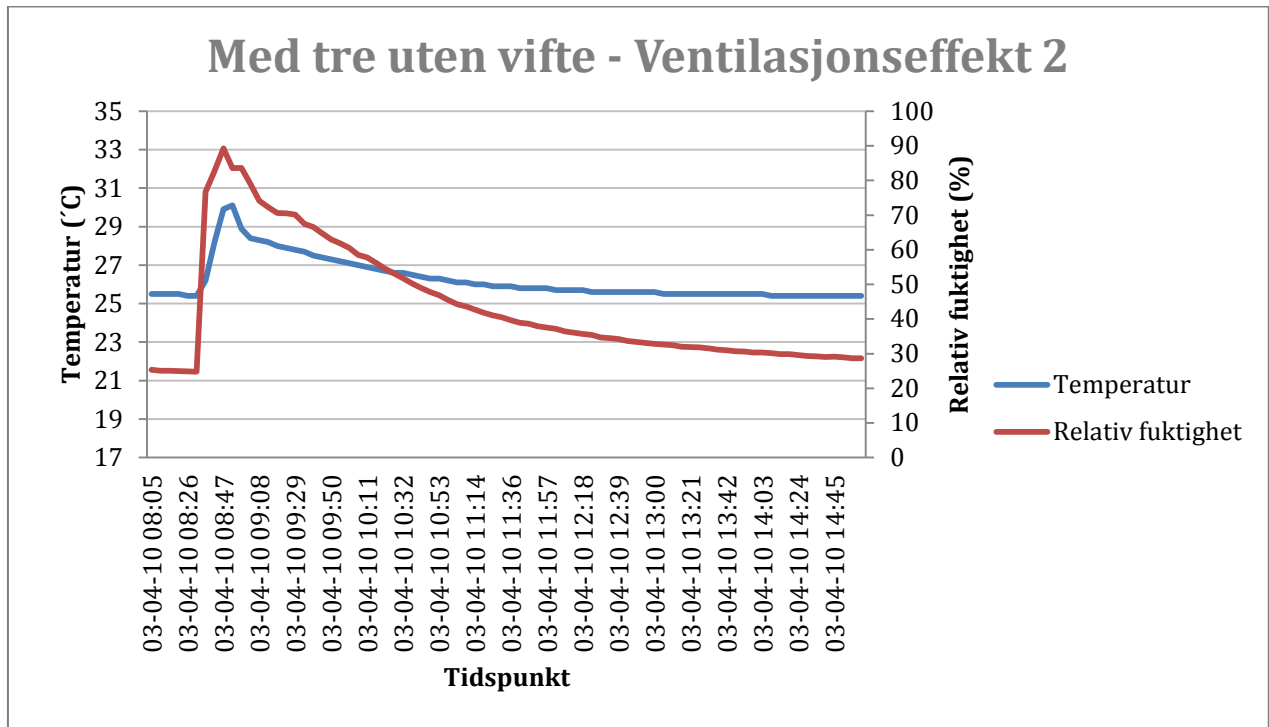


Figur A. 23 - Dusjforsøk i bad uten treoverflate - ventilasjonseffekt 3

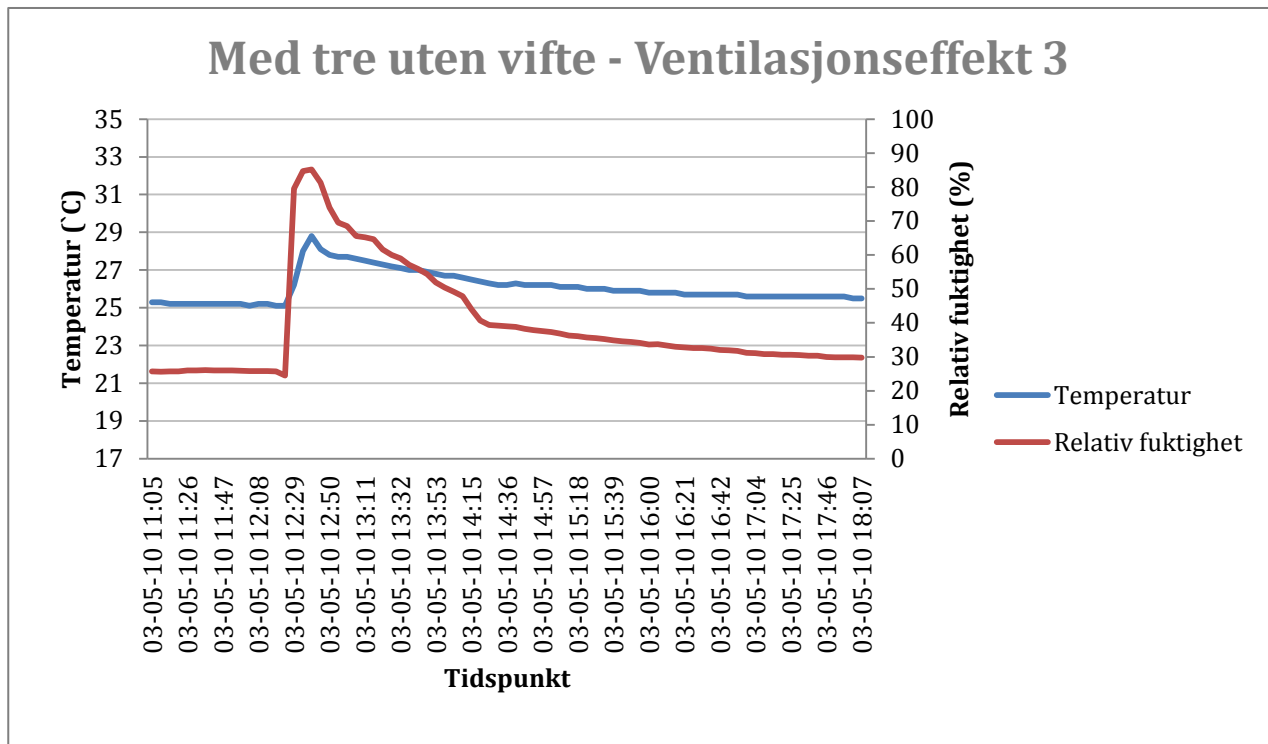
#### A.5.2. Med treoverflater uten vifte



Figur A. 24 - Dusjforsøk i bad med treoverflater, uten vifte - ventilasjonseffekt 1

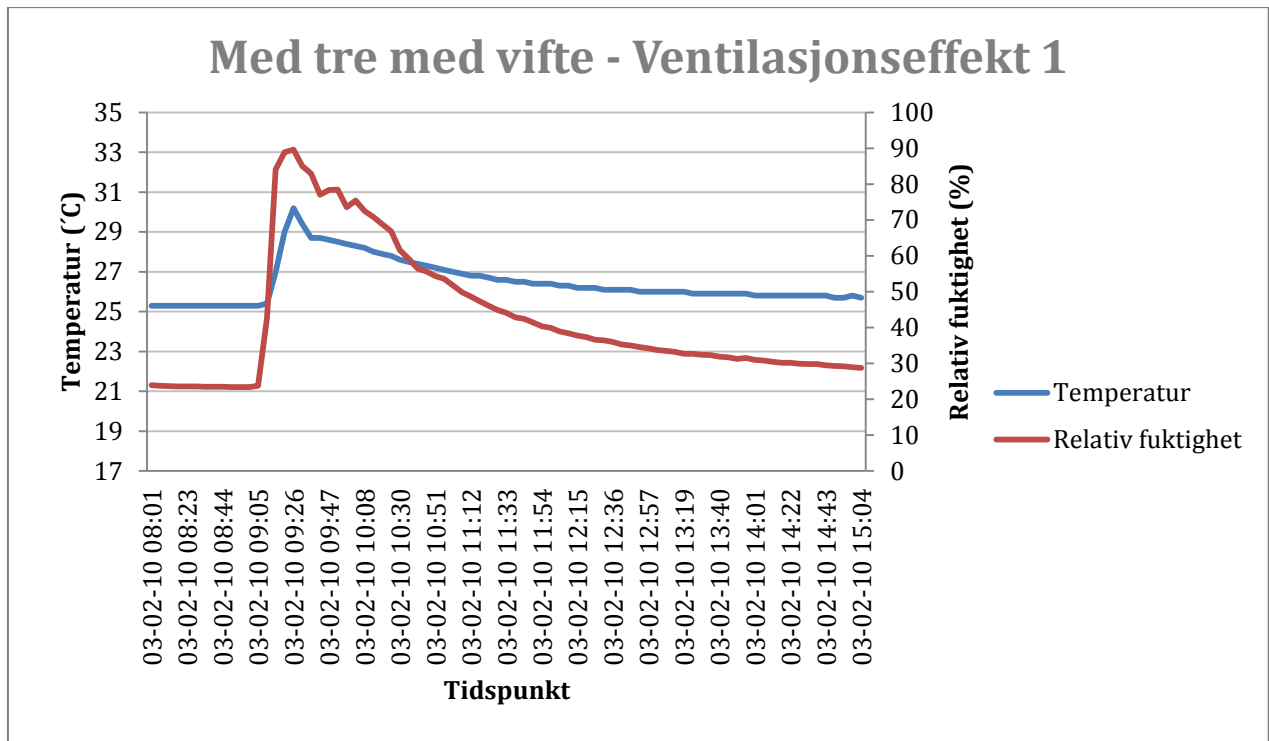


Figur A. 25 - Dusjforsøk i bad med tre, uten vifte - ventilasjonseffekt 2

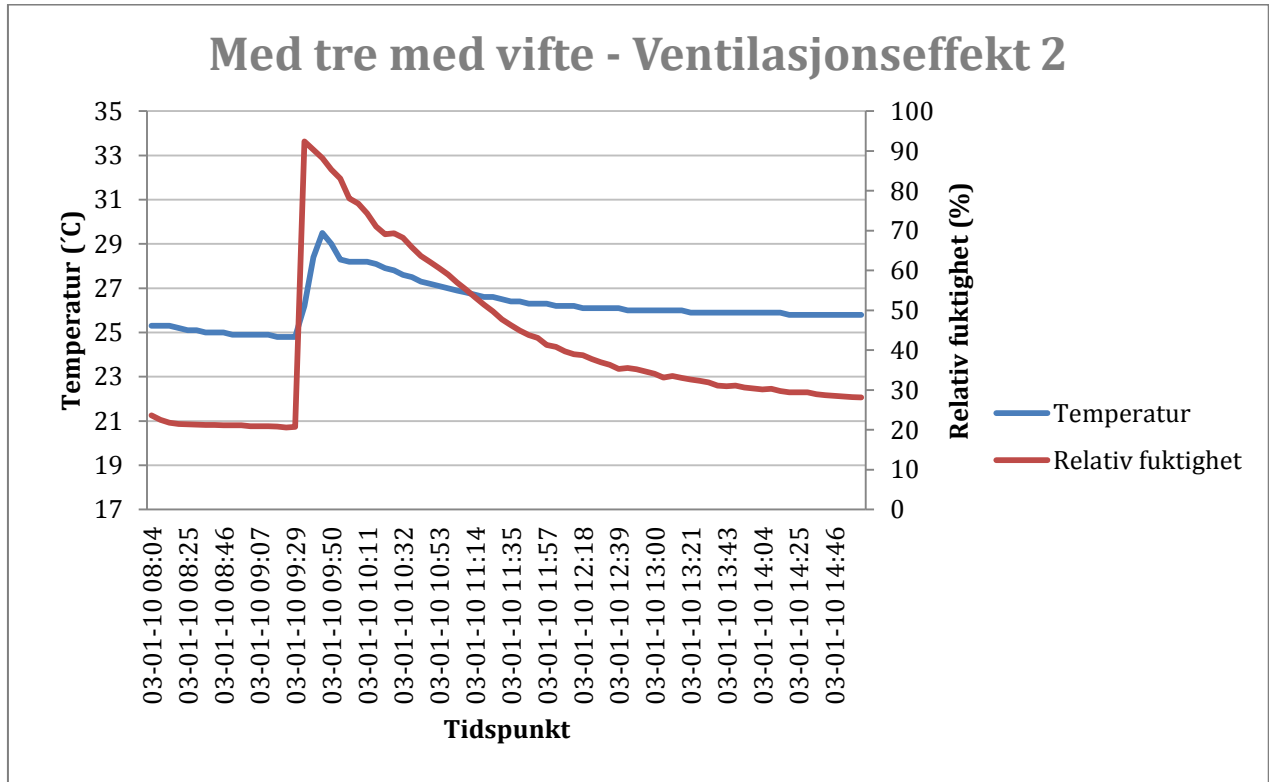


Figur A. 26 - Dusjforsøk i bad med tre, uten vifte - ventilasjonseffekt 3

### A.5.3. Med treoverflate med vifte

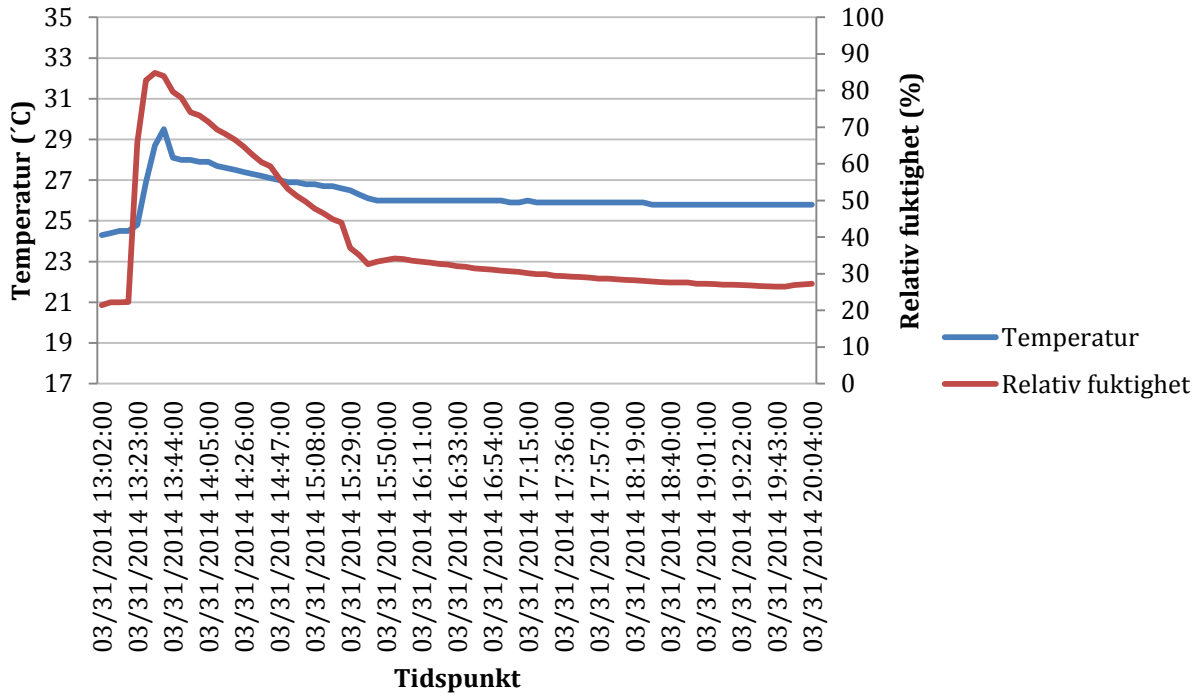


Figur A. 27 - Dusjforsøk i bad med tre og vifte - ventilasjonseffekt 1



Figur A. 28 - Dusjforsøk i bad med tre og vifte - ventilasjonseffekt 2

### Med tre med vifte - Ventilasjonseffekt 3



Figur A. 29 - Dusjforsøk i bad med tre og vifte - ventilasjonseffekt 3

## A.6. Værdata

Tabell x viser værdata fra Ås i perioden 01.03-31-03.2014, kl.00, 06, 12 og 18. Data er hentet fra værstasjoner utplasser på Søråsjordet.

Dato og Kl.xx.00	LTmax [°C]	LT [°C]	LTmin [°C]	RF [%]	LP [hPa]	NB [mm]
010314 00	2,8	2,7	2,7	99,4	995,1	1,4
010314 06	2,4	2,4	2,4	99,9	994,0	0,1
010314 12	2,0	1,8	1,5	97,7	994,8	0,5
010314 18	0,5	0,4	0,4	100,0	994,4	0,6
020314 00	0,4	0,4	0,3	100,0	994,1	0,1
020314 06	1,8	1,7	1,7	100,0	992,4	0,0
020314 12	2,0	2,0	1,9	98,8	990,2	0,4
020314 18	0,6	0,6	0,6	99,9	987,7	0,2
030314 00	1,2	1,1	1,0	100,0	987,6	0,0
030314 06	1,9	1,8	1,7	100,0	988,6	0,1
030314 12	3,9	3,6	3,4	99,6	991,3	0,0
030314 18	2,9	2,7	2,6	94,7	992,5	0,0
040314 00	1,9	1,8	1,8	96,8	994,5	0,0
040314 06	1,9	1,8	1,7	95,7	994,8	0,0
040314 12	3,2	3,1	3,1	97,0	997,1	0,0
040314 18	3,0	3,0	3,0	99,1	998,7	0,1
050314 00	2,8	2,8	2,7	98,3	1000,3	0,0
050314 06	2,9	2,9	2,9	99,2	1002,6	0,6
050314 12	2,5	2,5	2,4	99,6	1006,4	0,0
050314 18	2,8	2,8	2,7	100,0	1008,4	0,0
060314 00	3,4	3,4	3,3	100,0	1008,3	0,1
060314 06	3,6	3,6	3,5	99,8	1007,9	1,6
060314 12	5,0	4,9	4,8	100,0	1007,3	0,0
060314 18	4,8	4,8	4,8	100,0	1006,1	0,0
070314 00	5,0	5,0	4,9	100,0	1003,8	0,5
070314 06	5,2	5,2	5,1	100,0	1000,8	0,1
070314 12	5,5	5,4	5,4	100,0	996,9	2,4
070314 18	5,6	5,6	5,6	99,6	991,3	0,0
080314 00	2,3	2,3	2,2	83,6	997,5	0,0
080314 06	4,2	4,0	3,7	65,9	1006,6	0,0
080314 12	7,6	7,5	7,4	53,9	1012,4	0,0
080314 18	4,9	4,7	4,5	82,2	1011,6	0,0
090314 00	4,7	4,6	4,4	83,6	1007,9	0,0

090314 06	5,1	4,8	4,7	96,0	1005,1	0,0
090314 12	6,7	6,6	6,6	94,1	1004,8	0,0
090314 18	5,7	5,6	5,5	97,0	1004,5	0,0
100314 00	4,7	4,6	4,5	98,3	1005,3	0,0
100314 06	3,8	3,8	3,7	99,5	1006,5	0,6
100314 12	7,3	6,8	6,3	89,0	1008,8	0,0
100314 18	7,0	6,7	6,4	47,2	1013,1	0,0
110314 00	3,7	3,0	2,3	58,7	1019,1	0,0
110314 06	-2,1	-2,3	-2,5	92,7	1021,9	0,0
110314 12	8,4	8,2	8,1	48,9	1023,5	0,0
110314 18	5,9	5,3	4,8	63,1	1021,5	0,0
120314 00	1,2	1,1	1,0	91,7	1020,6	0,0
120314 06	-1,6	-1,9	-2,1	97,9	1018,7	0,1
120314 12	7,9	6,7	5,6	69,0	1016,4	0,0
120314 18	6,4	5,0	3,9	58,4	1013,6	0,0
130314 00	-1,6	-1,8	-2,0	95,9	1012,5	0,0
130314 06	-1,6	-1,9	-2,8	99,9	1008,8	0,1
130314 12	8,0	7,0	5,8	63,3	1006,6	0,0
130314 18	9,5	9,0	8,1	57,2	1004,8	0,0
140314 00	3,4	2,3	1,8	69,6	1007,0	0,0
140314 06	2,1	1,4	0,9	71,5	1005,8	0,0
140314 12	6,6	6,4	6,2	53,6	999,8	0,0
140314 18	4,7	4,4	4,2	97,3	982,0	0,0
150314 00	3,5	3,2	3,0	82,3	969,5	0,0
150314 06	4,2	3,9	3,6	54,6	983,9	0,0
150314 12	7,4	7,3	7,3	36,4	988,2	0,0
150314 18	6,2	5,8	5,4	43,9	985,0	0,0
160314 00	2,5	2,4	2,3	50,8	983,1	0,0
160314 06	-0,4	-0,6	-0,9	78,2	981,2	0,0
160314 12	5,2	5,0	4,8	48,6	984,9	0,0
160314 18	2,5	2,3	2,0	91,0	981,9	0,1
170314 00	-0,8	-1,2	-1,5	96,8	976,8	0,0
170314 06	4,6	4,5	4,5	51,3	979,3	0,0
170314 12	6,7	6,6	6,4	28,7	985,3	0,0
170314 18	5,6	4,8	4,2	42,1	988,9	0,0
180314 00	1,3	0,5	-0,1	60,7	989,9	0,0
180314 06	1,0	0,6	0,2	86,8	986,3	0,0
180314 12	6,6	6,5	6,4	53,3	986,9	0,0
180314 18	4,0	2,9	1,7	68,7	987,3	0,0
190314 00	-0,2	-0,7	-1,3	66,3	990,1	0,0
190314 06	-0,1	-0,5	-1,1	71,2	988,2	0,1
190314 12	0,5	0,2	0,0	98,4	983,4	0,0
190314 18	0,7	0,7	0,7	97,8	985,4	0,0
200314 00	0,3	0,1	0,0	95,4	988,0	0,0
200314 06	1,7	0,8	0,2	99,8	986,3	0,0
200314 12	6,9	6,6	6,3	95,9	983,8	0,0
200314 18	5,8	5,7	5,7	96,0	980,1	0,0

210314 00	6,1	6,1	6,0	98,3	973,4	0,1
210314 06	4,0	3,9	3,8	93,2	975,3	0,0
210314 12	9,6	9,5	9,3	46,3	979,2	0,0
210314 18	7,5	6,1	5,4	55,3	982,0	0,0
220314 00	3,3	3,1	3,0	83,7	984,0	0,0
220314 06	2,8	2,6	2,4	95,5	985,1	0,0
220314 12	4,9	4,9	4,8	94,6	984,6	0,0
220314 18	4,7	4,1	3,4	93,3	981,2	2,2
230314 00	2,0	1,7	1,6	98,1	981,4	0,0
230314 06	1,3	1,0	0,7	99,2	981,8	0,0
230314 12	6,5	5,8	5,2	87,0	983,8	0,0
230314 18	5,5	5,0	4,5	88,7	986,8	0,0
240314 00	1,0	0,7	0,3	99,8	990,5	0,0
240314 06	0,3	0,2	0,0	100,0	995,3	0,0
240314 12	6,3	5,9	5,7	69,5	999,1	0,0
240314 18	7,0	6,5	5,8	54,9	1001,1	0,0
250314 00	-1,2	-1,5	-1,7	79,1	1004,4	0,0
250314 06	-0,1	-1,1	-2,3	79,7	1006,4	0,0
250314 12	7,1	6,9	6,7	48,6	1007,5	0,0
250314 18	7,5	6,7	5,9	38,7	1008,8	0,0
260314 00	4,1	4,0	3,9	45,2	1011,8	0,0
260314 06	3,2	3,2	3,2	50,3	1013,5	0,0
260314 12	1,9	1,8	1,7	87,1	1017,1	0,0
260314 18	3,3	3,2	3,2	80,3	1016,8	0,0
270314 00	3,1	3,0	3,0	79,4	1018,2	0,0
270314 06	2,1	1,8	1,5	90,6	1016,9	0,0
270314 12	5,9	5,7	5,4	52,1	1016,5	0,0
270314 18	6,3	5,7	5,2	50,9	1015,0	0,0
280314 00	4,9	4,4	4,2	67,2	1017,2	0,0
280314 06	2,8	2,4	2,1	62,2	1019,0	0,0
280314 12	11,6	11,1	10,6	23,6	1019,9	0,0
280314 18	12,8	11,2	9,2	31,8	1018,7	0,0
290314 00	0,3	0,1	0,0	80,3	1019,3	0,0
290314 06	-1,1	-1,9	-2,2	89,5	1018,4	0,0
290314 12	13,6	13,1	12,5	31,9	1016,0	0,0
290314 18	11,7	10,7	9,4	40,6	1012,6	0,0
300314 00	0,7	0,5	0,3	80,7	1011,4	0,0
300314 06	-1,3	-2,2	-2,6	90,6	1009,5	0,0
300314 12	12,4	11,7	11,0	41,0	1007,9	0,0
300314 18	10,1	8,8	8,1	42,0	1004,6	0,0
310314 00	1,5	1,2	0,8	83,4	1004,3	0,0
310314 06	3,7	3,5	3,3	63,4	1005,7	0,0
310314 12	8,2	8,0	7,9	46,7	1005,4	0,0
310314 18	8,8	8,0	6,6	44,3	1003,5	0,0

Tabell A. 1 – Værdedata fra Ås, perioden 01.03-31.03.2014, kl.06.00, 12.00, 18.00 og 00.00



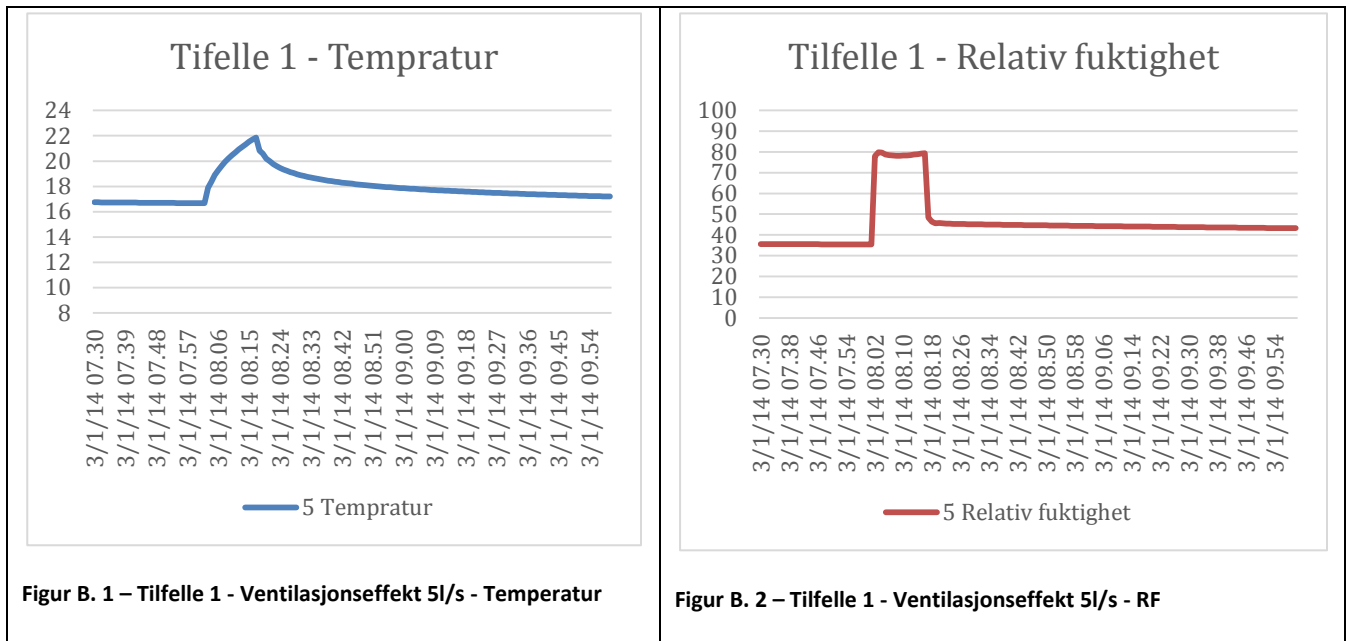
## Vedlegg B

### B.1. WUFI simuleringer

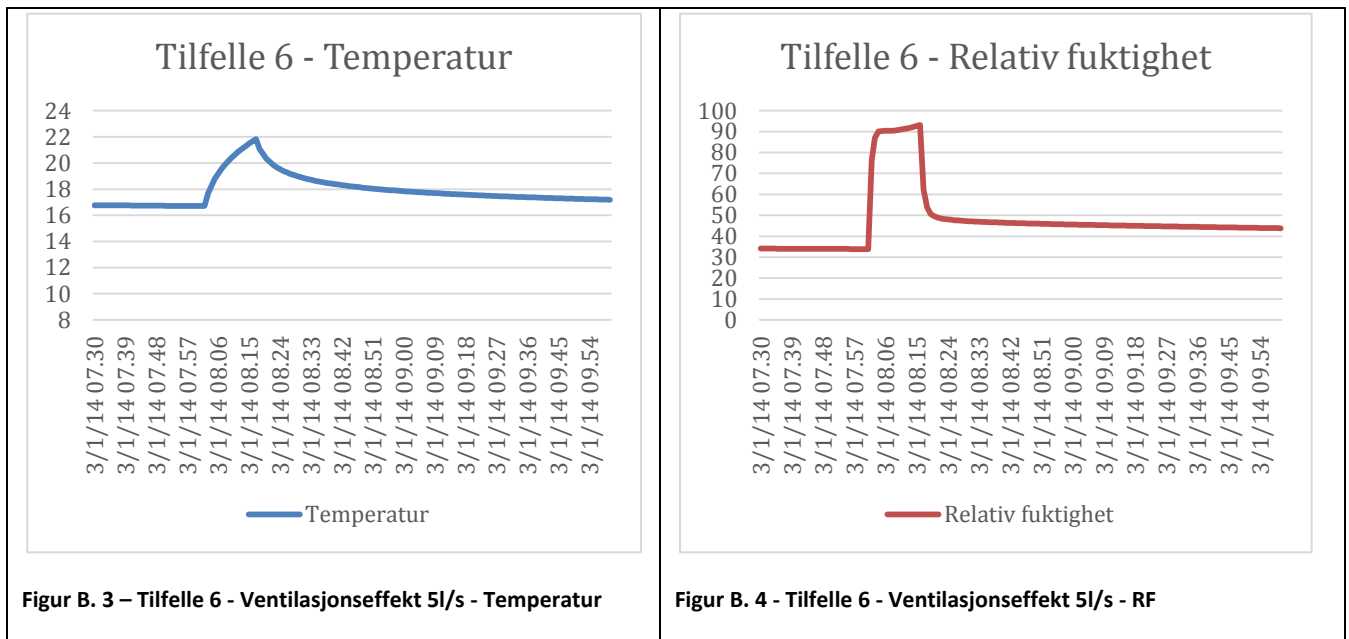
Under legges resultatene fra simuleringene. Det er satt opp en graf for temperatur og en for relativ fuktighet for hver Tilfelle innenfor hver ventilasjonstall.

#### B.1.1. Ventilasjonseffekt 5 l/s

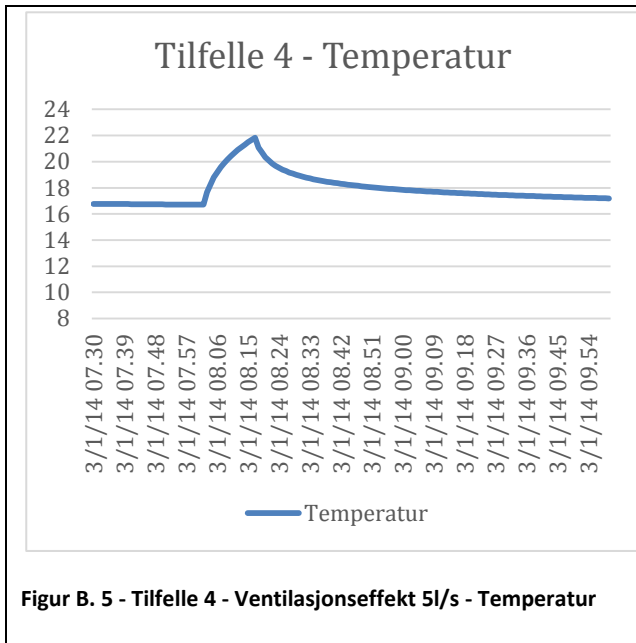
##### Tilfelle 1 – 100%



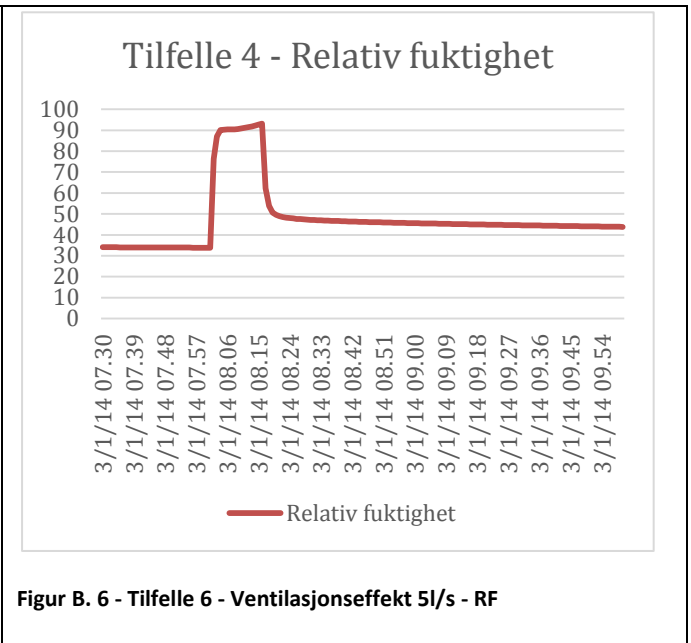
##### Tilfelle 6 - 85,9%



**Tilfelle 4 – 69,7%**

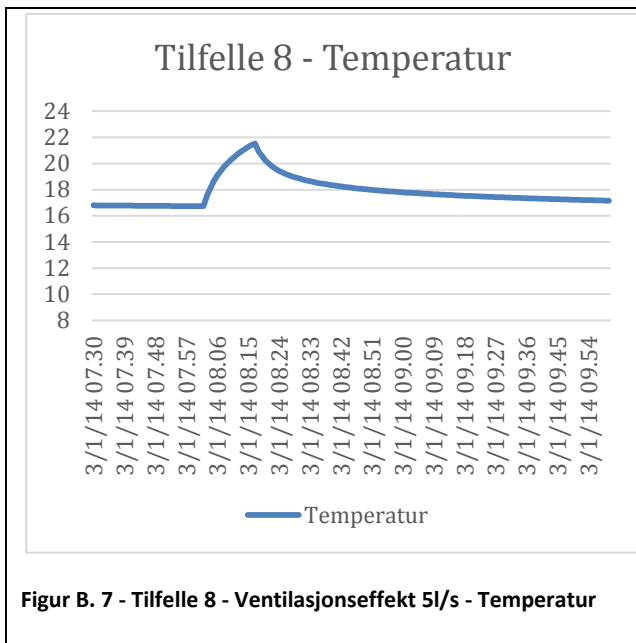


**Figur B. 5 - Tilfelle 4 - Ventilasjonseffekt 5l/s - Temperatur**

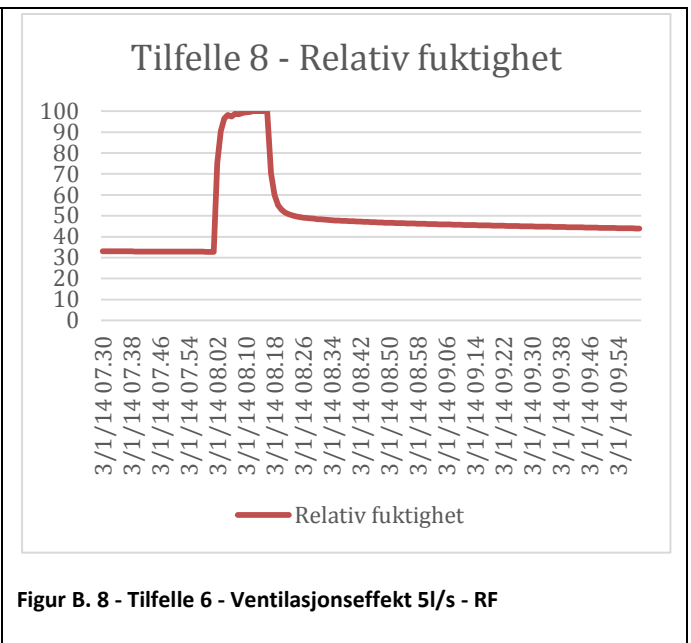


**Figur B. 6 - Tilfelle 6 - Ventilasjonseffekt 5l/s - RF**

**Tilfelle 8 – 54,6%**

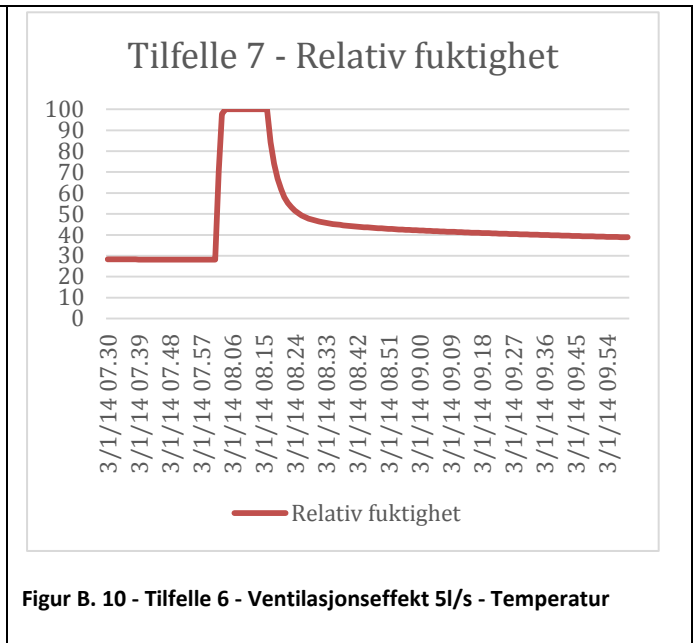
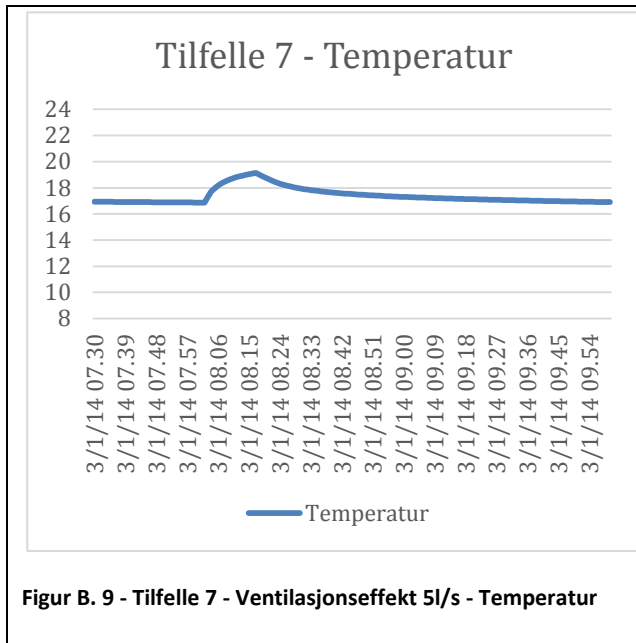


**Figur B. 7 - Tilfelle 8 - Ventilasjonseffekt 5l/s - Temperatur**

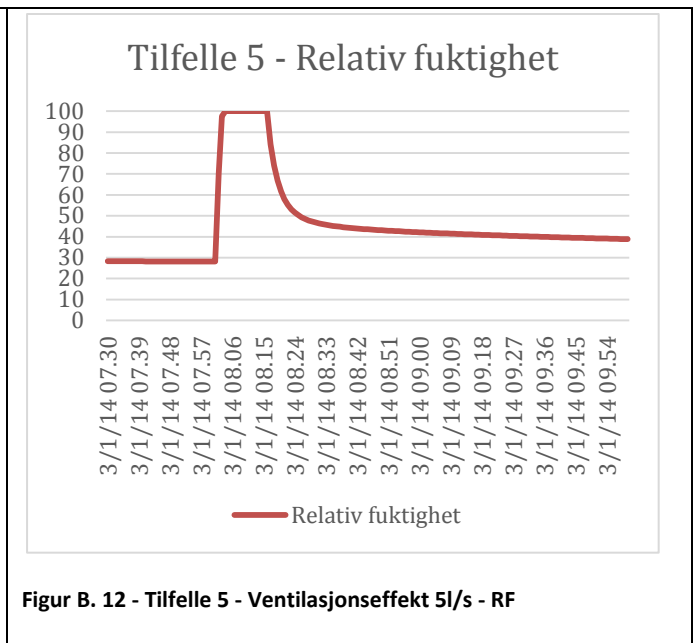
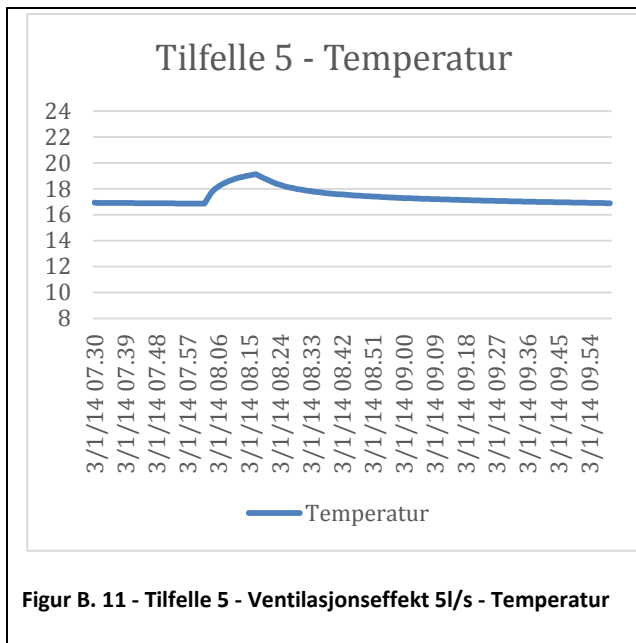


**Figur B. 8 - Tilfelle 6 - Ventilasjonseffekt 5l/s - RF**

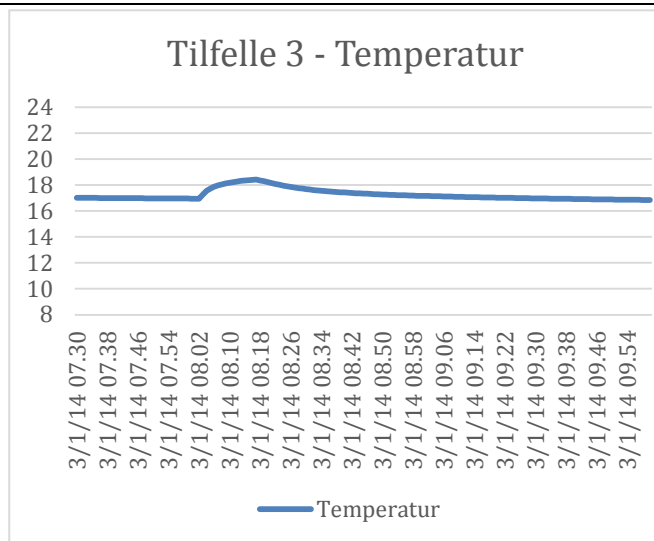
### Tilfelle 7 – 43,3%



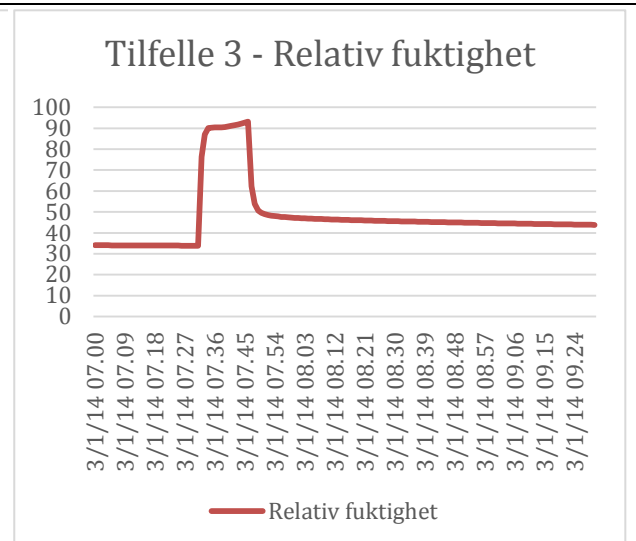
### Tilfelle 5 – 30,3%



### Tilfelle 3 – 16,2%

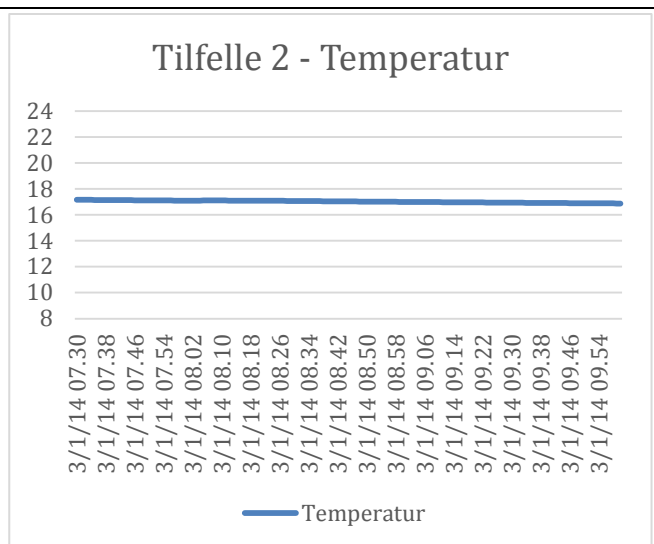


Figur B. 13 - Tilfelle 3 - Ventilasjonseffekt 5l/s - Temperatur

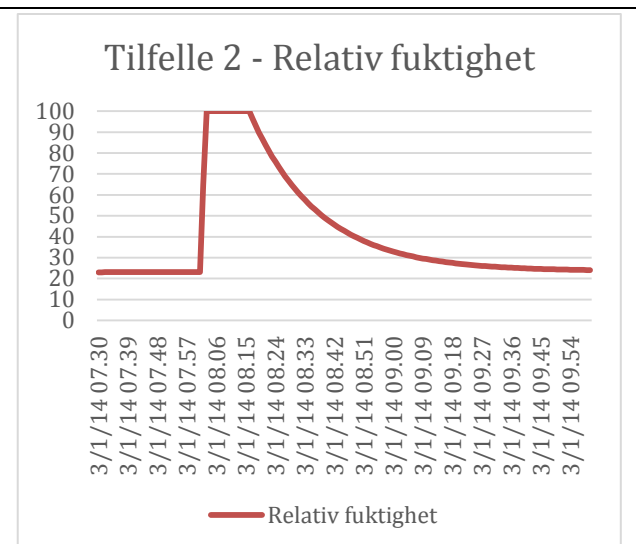


Figur B. 14 - Tilfelle 3 - Ventilasjonseffekt 5l/s - RF

### Tilfelle 2 – 0%



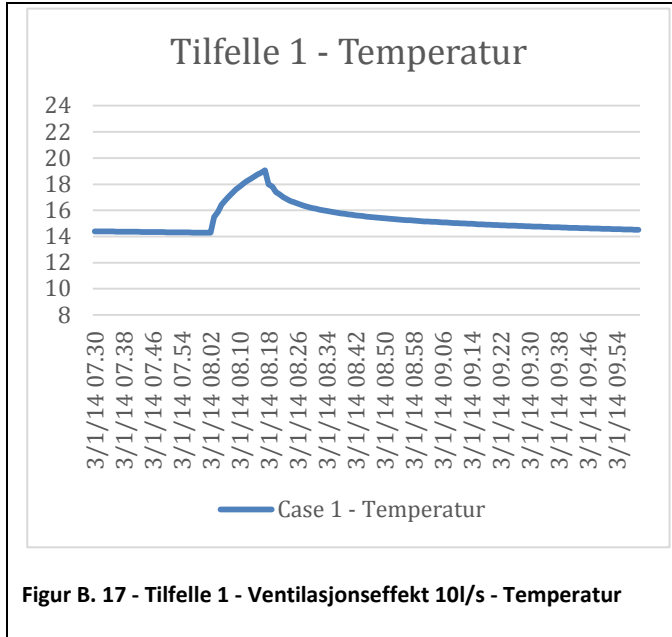
Figur B. 15 - Tilfelle 2 - Ventilasjonseffekt 5l/s - Temperatur



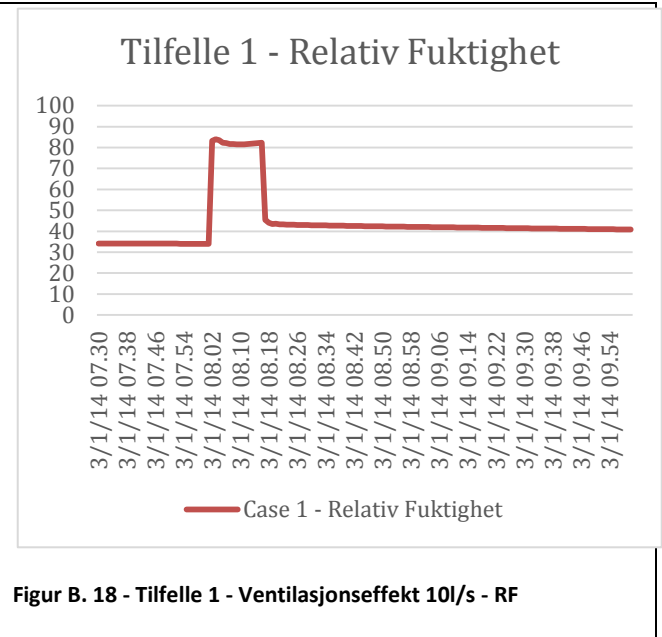
Figur B. 16 - Tilfelle 2 - Ventilasjonseffekt 5l/s - RF

## B.1.2. Ventilasjonseffekt 10 l/s

### Tilfelle 1 – 100%

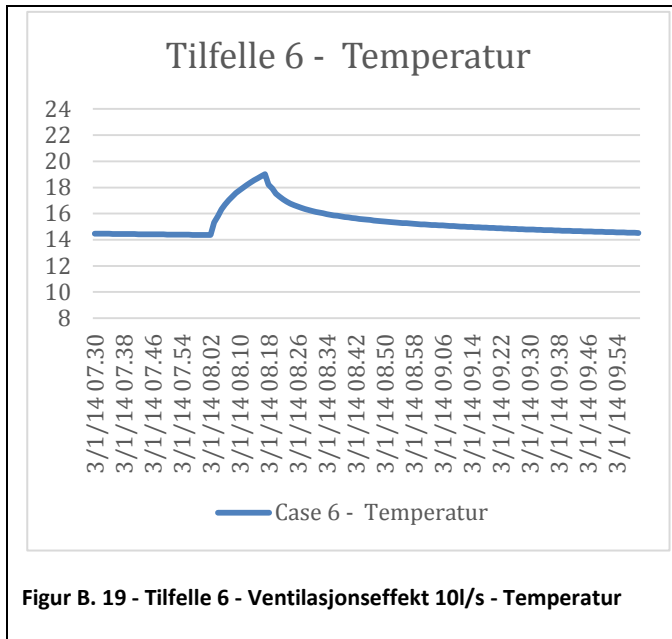


Figur B. 17 - Tilfelle 1 - Ventilasjonseffekt 10l/s - Temperatur

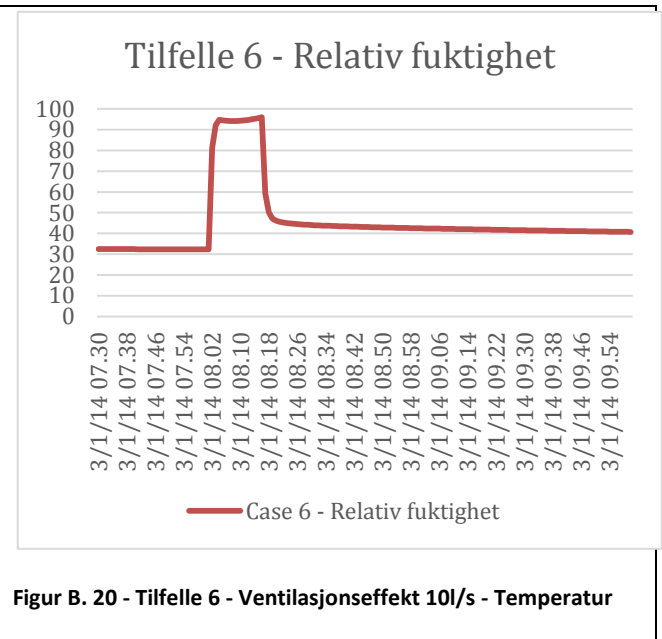


Figur B. 18 - Tilfelle 1 - Ventilasjonseffekt 10l/s - RF

### Tilfelle 6 – 85,9%

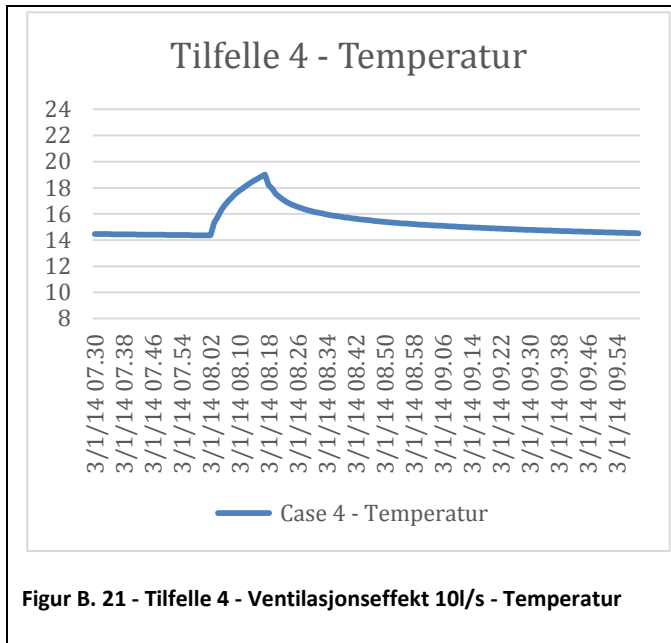


Figur B. 19 - Tilfelle 6 - Ventilasjonseffekt 10l/s - Temperatur

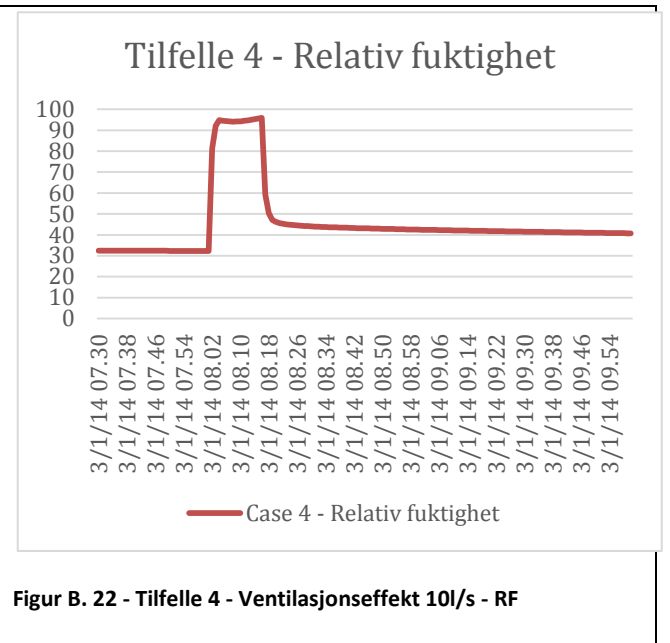


Figur B. 20 - Tilfelle 6 - Ventilasjonseffekt 10l/s - Temperatur

**Tilfelle 4 – 69,7%**

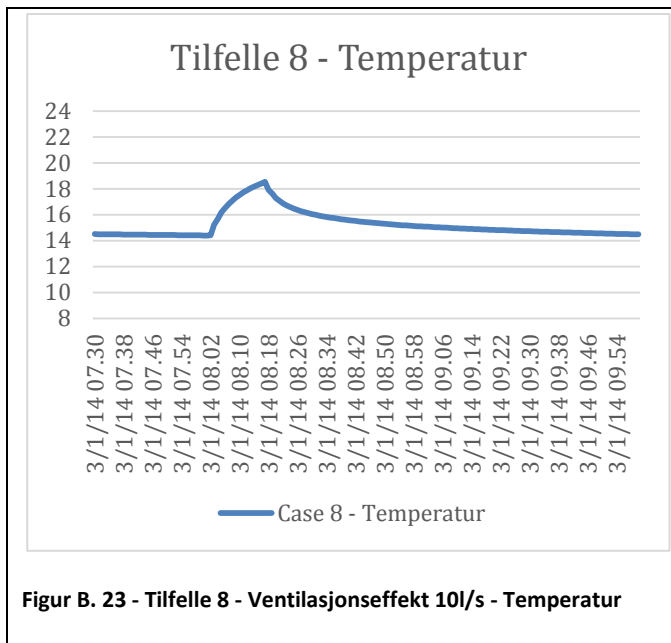


**Figur B. 21 - Tilfelle 4 - Ventilasjonseffekt 10l/s - Temperatur**

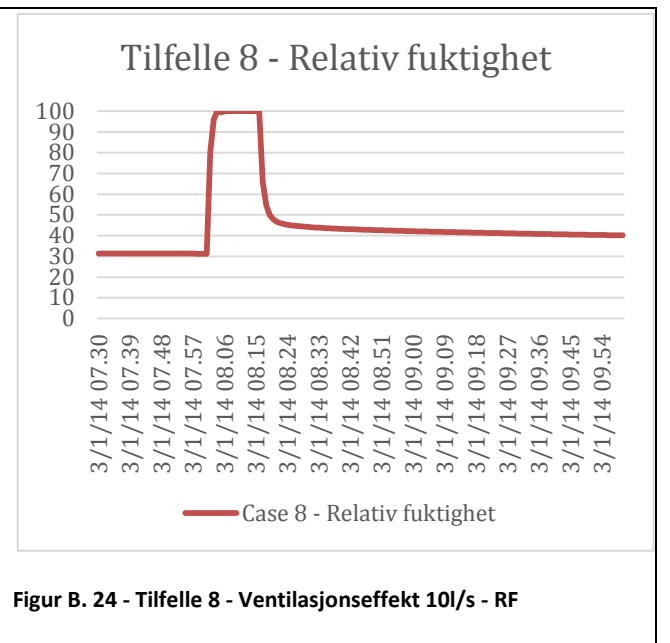


**Figur B. 22 - Tilfelle 4 - Ventilasjonseffekt 10l/s - RF**

**Tilfelle 8 – 54,6%**

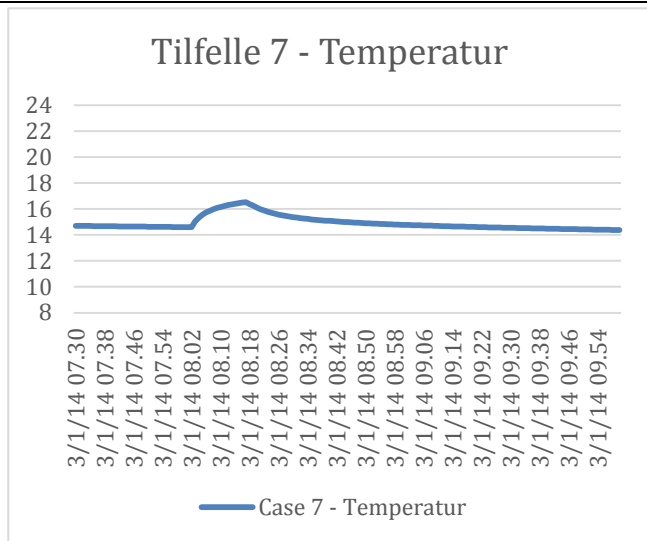


**Figur B. 23 - Tilfelle 8 - Ventilasjonseffekt 10l/s - Temperatur**

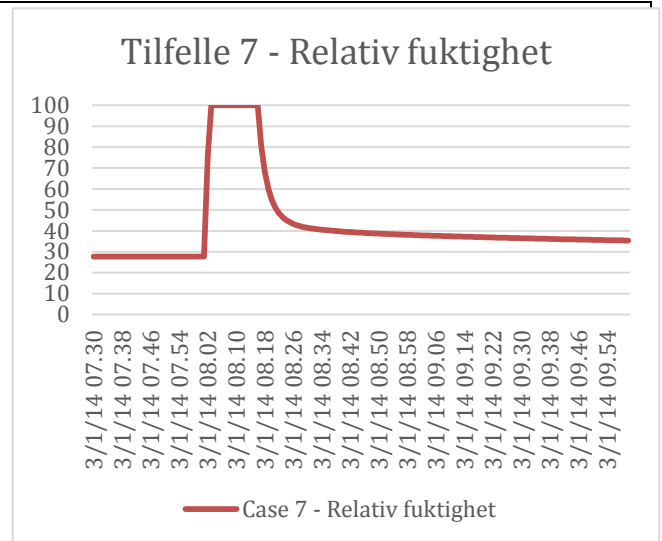


**Figur B. 24 - Tilfelle 8 - Ventilasjonseffekt 10l/s - RF**

**Tilfelle 7 – 43,4%**

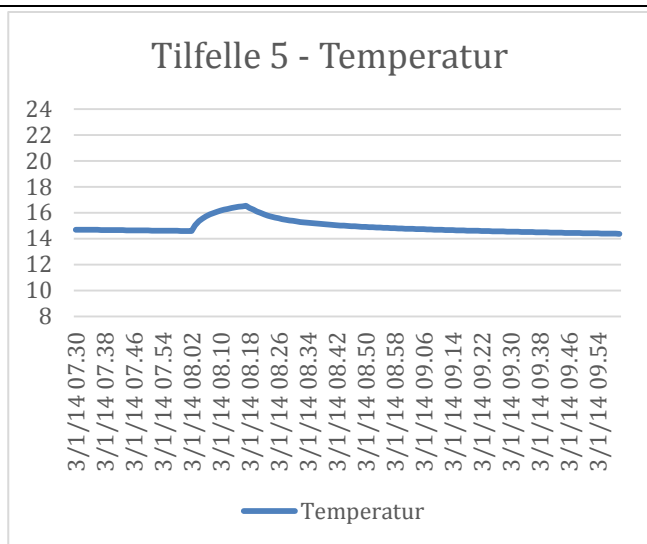


**Figur B. 25 - Tilfelle 7 - Ventilasjonseffekt 10l/s - Temperatur**

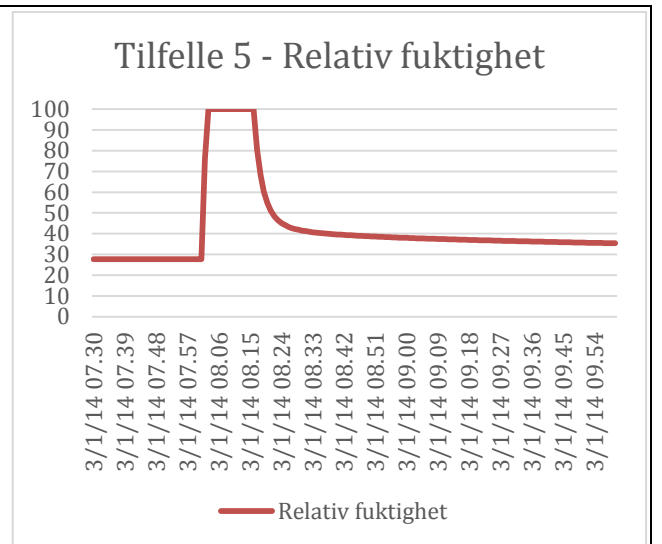


**Figur B. 26 - Tilfelle 7 - Ventilasjonseffekt 10l/s - RF**

**Tilfelle 5 – 30,3%**

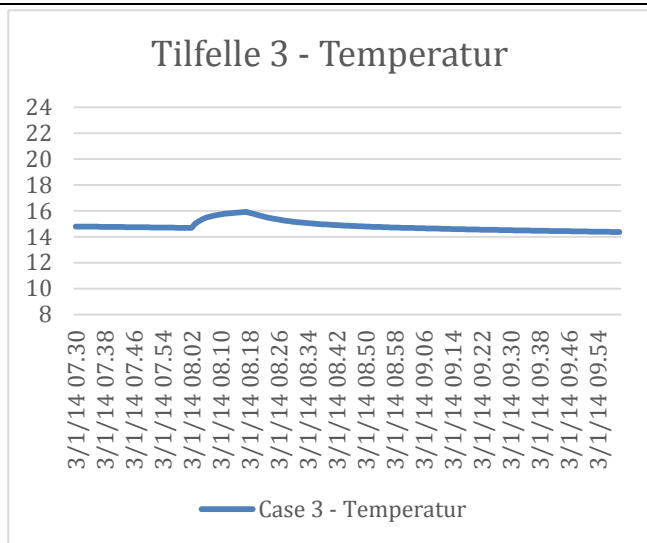


**Figur B. 27 - Tilfelle 5 - Ventilasjonseffekt 10l/s - Temperatur**

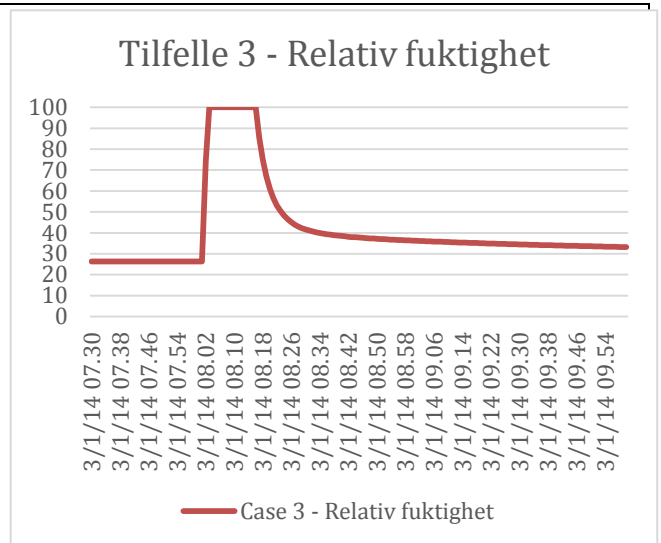


**Figur B. 28 - Tilfelle 5 - Ventilasjonseffekt 10l/s - RF**

**Tilfelle 3 – 16,2%**

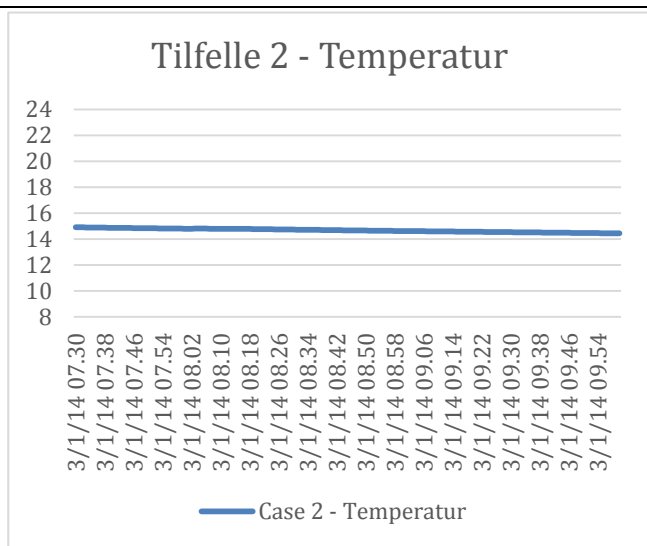


**Figur B. 29 - Tilfelle 3 - Ventilasjonseffekt 10l/s - Temperatur**

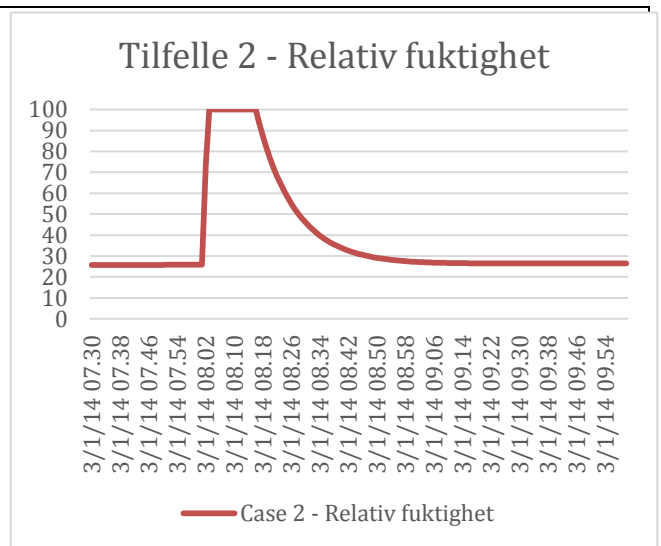


**Figur B. 30 - Tilfelle 3 - Ventilasjonseffekt 10l/s - RF**

**Tilfelle 2 – 0%**



**Figur B. 31 - Tilfelle 2 - Ventilasjonseffekt 10l/s - Temperatur**

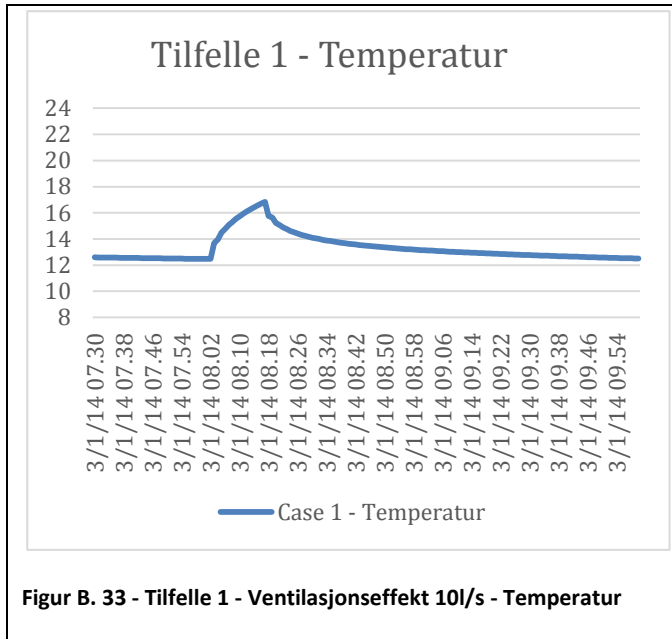


**Figur B. 32 - Tilfelle 2 - Ventilasjonseffekt 10l/s - RF**

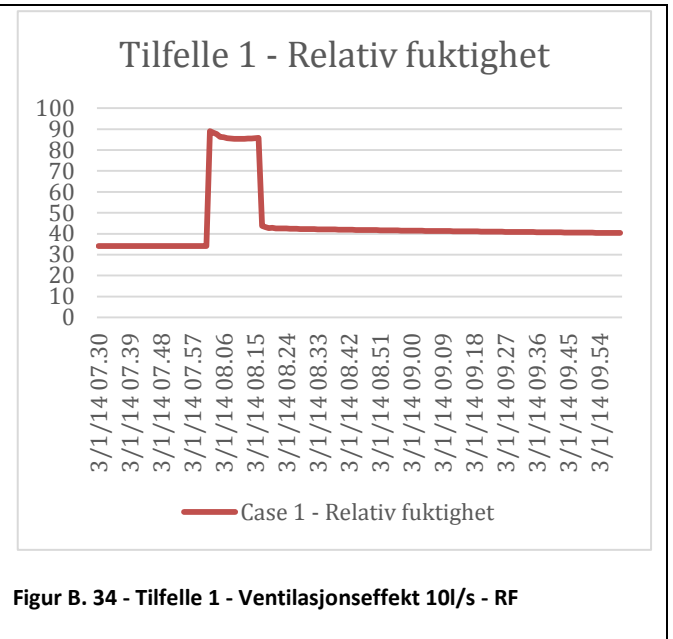


### B.1.3. Ventilasjon 15 l/s

#### Tilfelle 1 – 100%

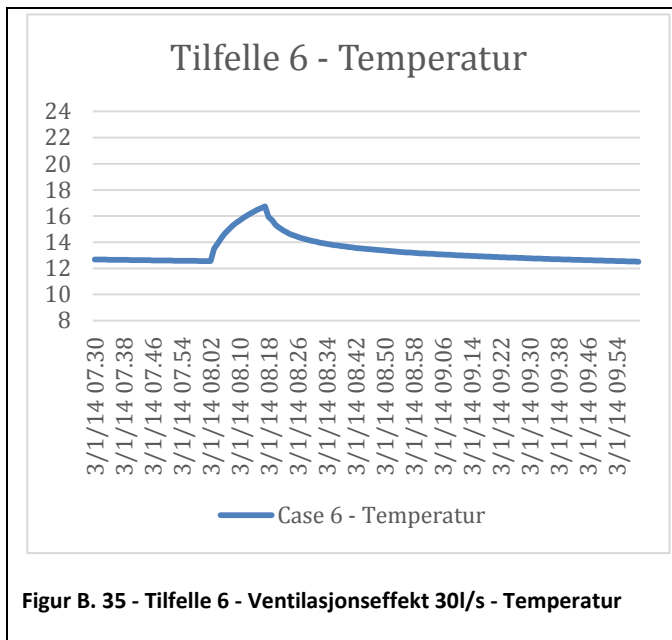


Figur B. 33 - Tilfelle 1 - Ventilasjonseffekt 10l/s - Temperatur

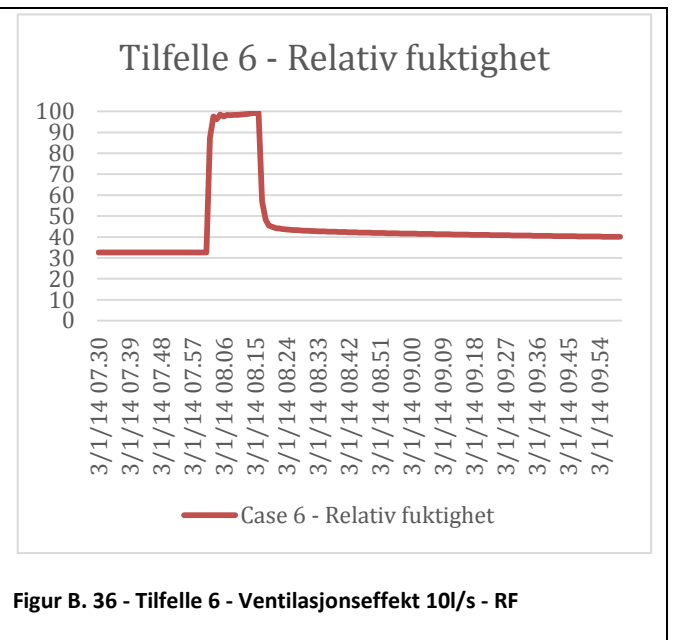


Figur B. 34 - Tilfelle 1 - Ventilasjonseffekt 10l/s - RF

#### Tilfelle 6 – 85,9%

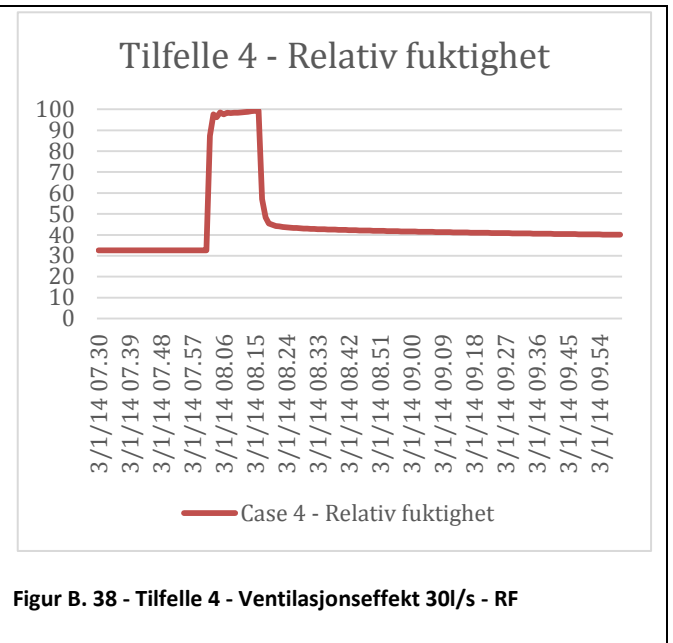
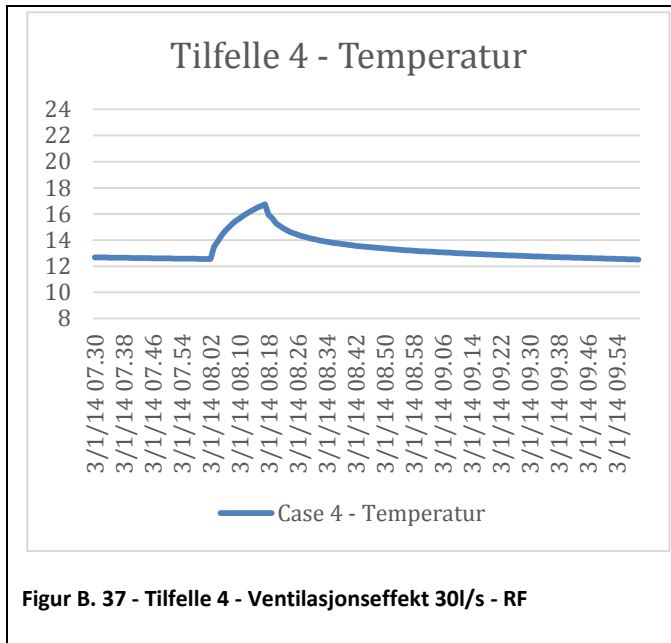


Figur B. 35 - Tilfelle 6 - Ventilasjonseffekt 30l/s - Temperatur

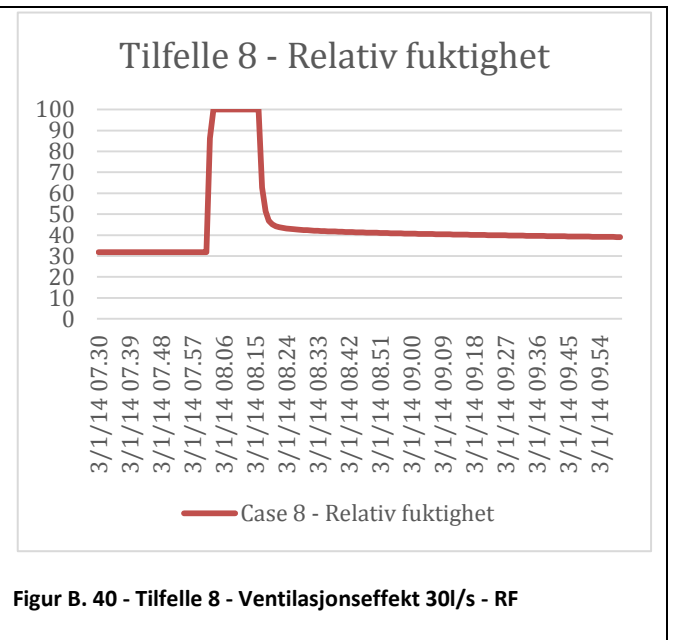
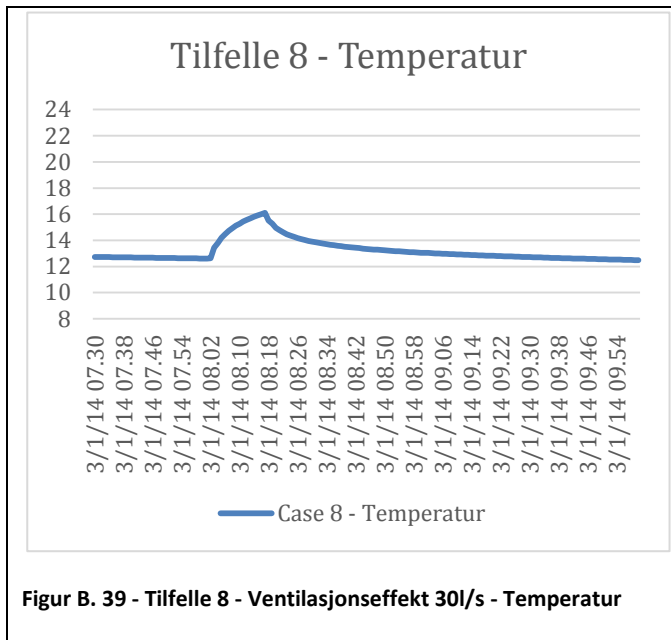


Figur B. 36 - Tilfelle 6 - Ventilasjonseffekt 10l/s - RF

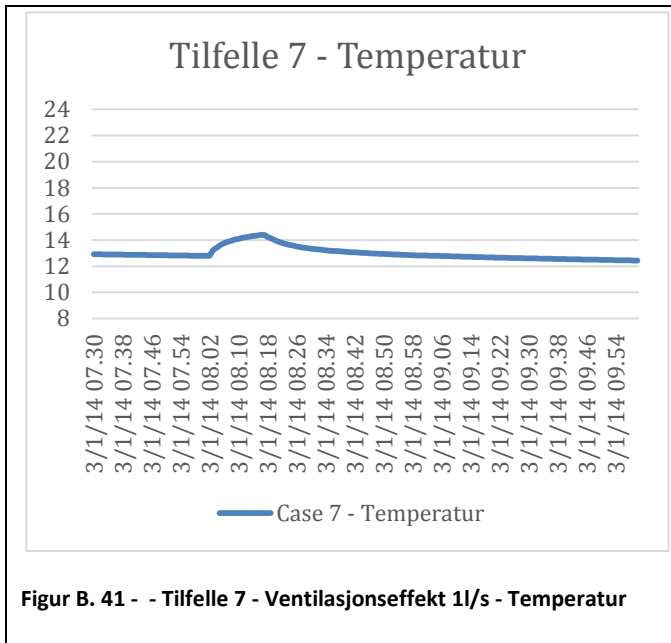
### Tilfelle 4 – 69,7%



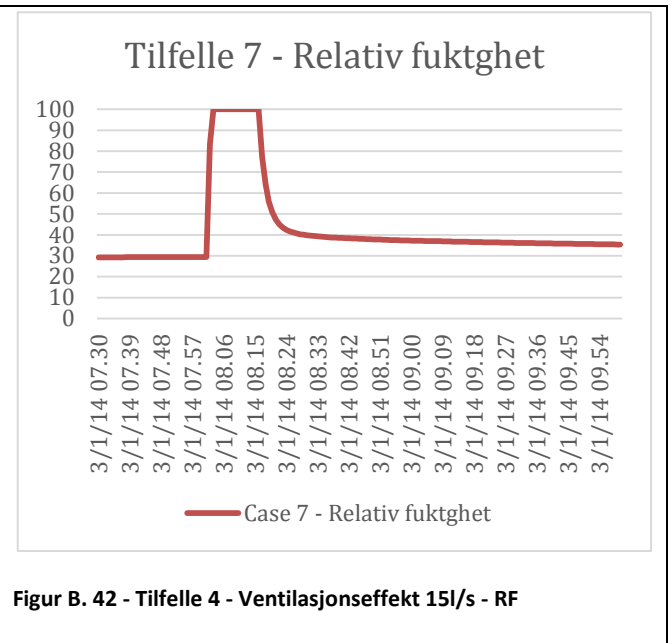
### Tilfelle 8 – 54,6%



**Tilfelle 7 – 43,4%**

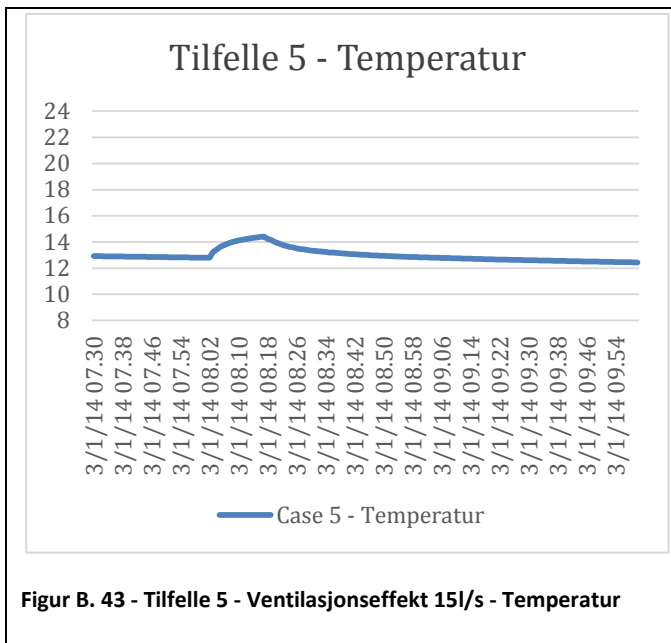


**Figur B. 41 - - Tilfelle 7 - Ventilasjonseffekt 1l/s - Temperatur**

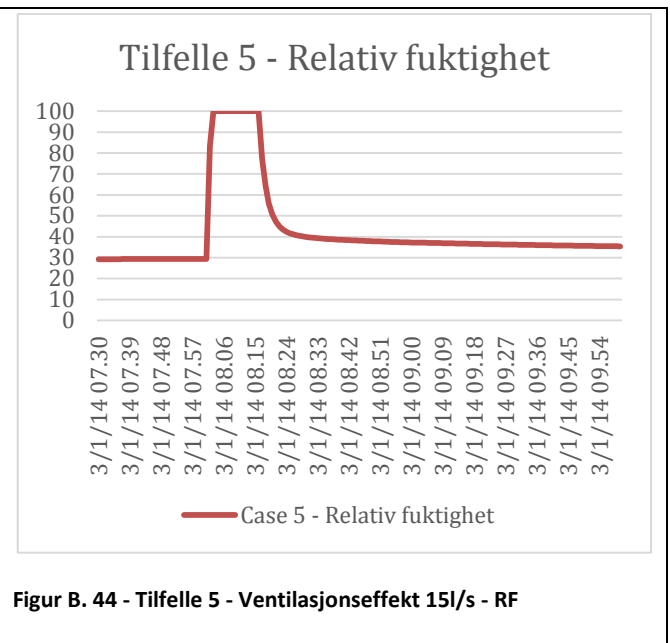


**Figur B. 42 - Tilfelle 4 - Ventilasjonseffekt 15l/s - RF**

**Tilfelle 5 – 30,3%**

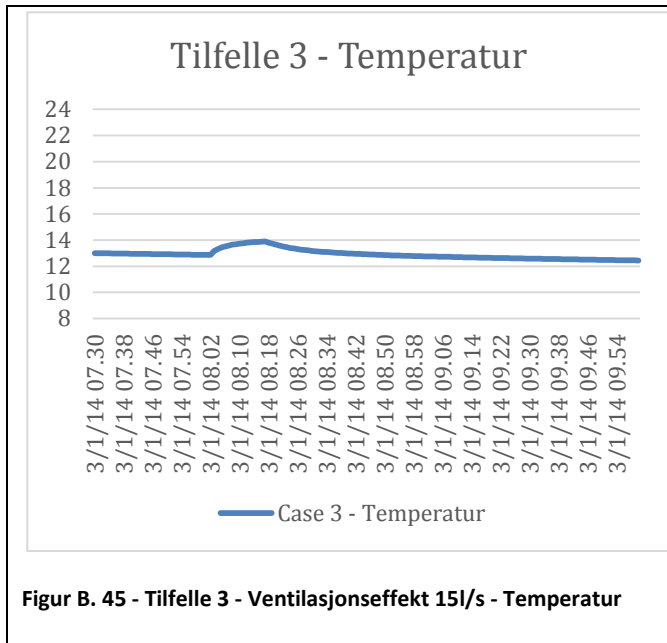


**Figur B. 43 - Tilfelle 5 - Ventilasjonseffekt 15l/s - Temperatur**

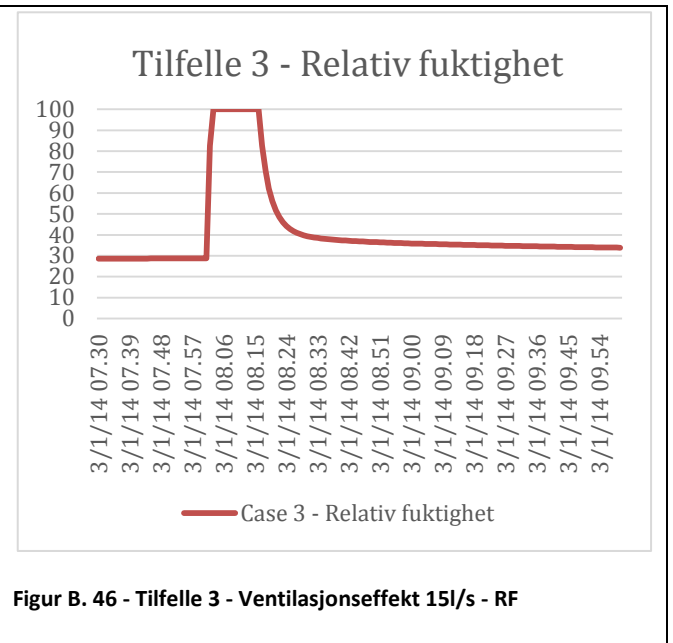


**Figur B. 44 - Tilfelle 5 - Ventilasjonseffekt 15l/s - RF**

### Tilfelle 3 – 16,2%

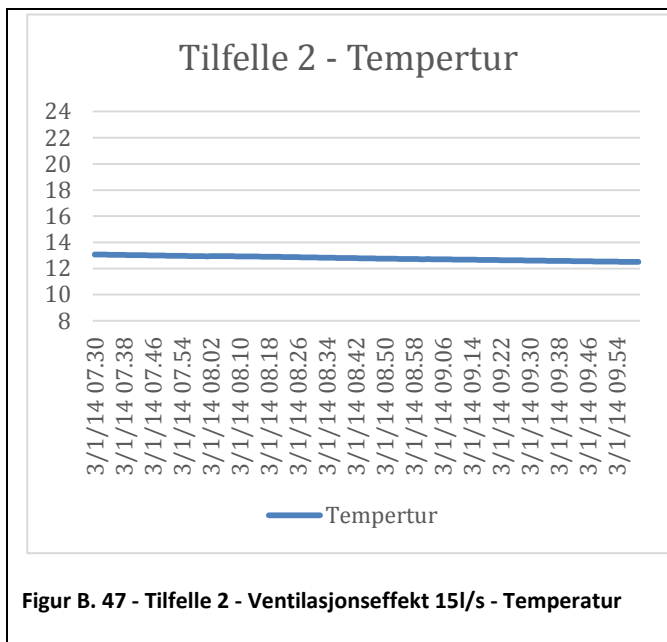


Figur B. 45 - Tilfelle 3 - Ventilasjonseffekt 15l/s - Temperatur

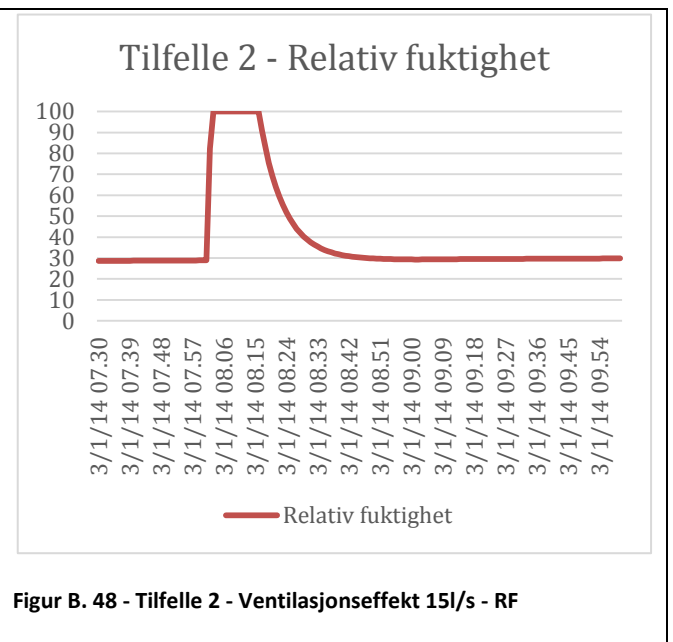


Figur B. 46 - Tilfelle 3 - Ventilasjonseffekt 15l/s - RF

### Tilfelle 2 – 0%



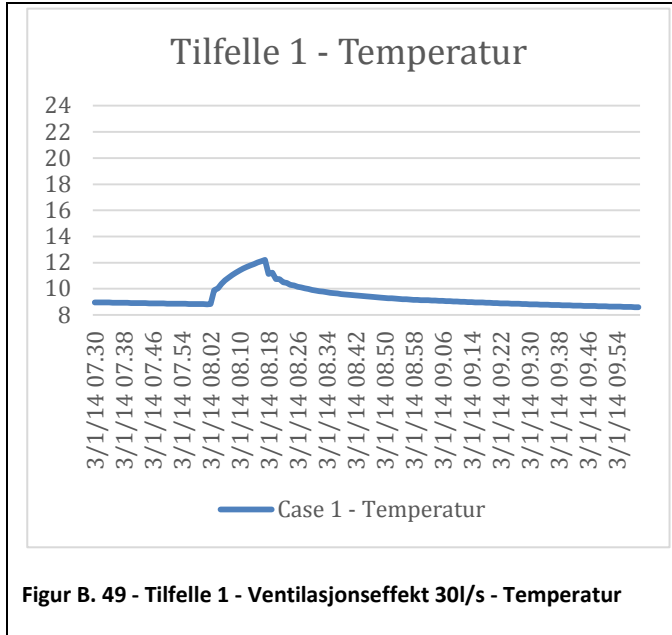
Figur B. 47 - Tilfelle 2 - Ventilasjonseffekt 15l/s - Temperatur



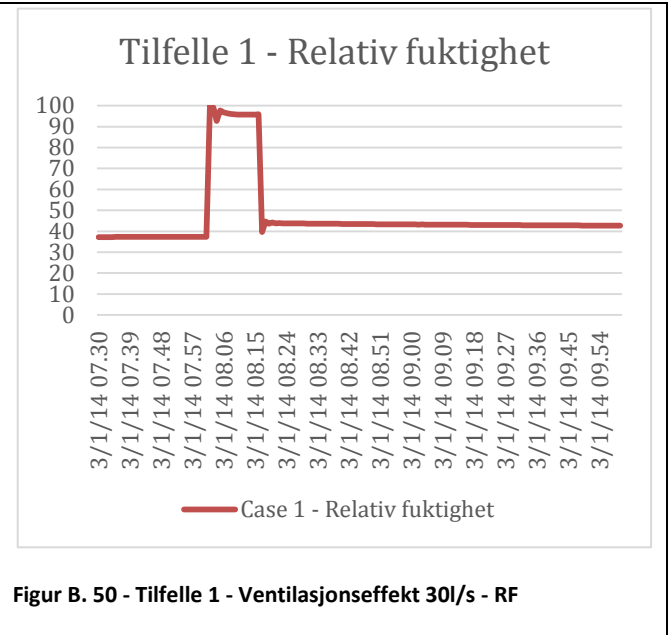
Figur B. 48 - Tilfelle 2 - Ventilasjonseffekt 15l/s - RF

## B.1.4. Ventilasjon 30 l/s

### Tilfelle 1 – 100%

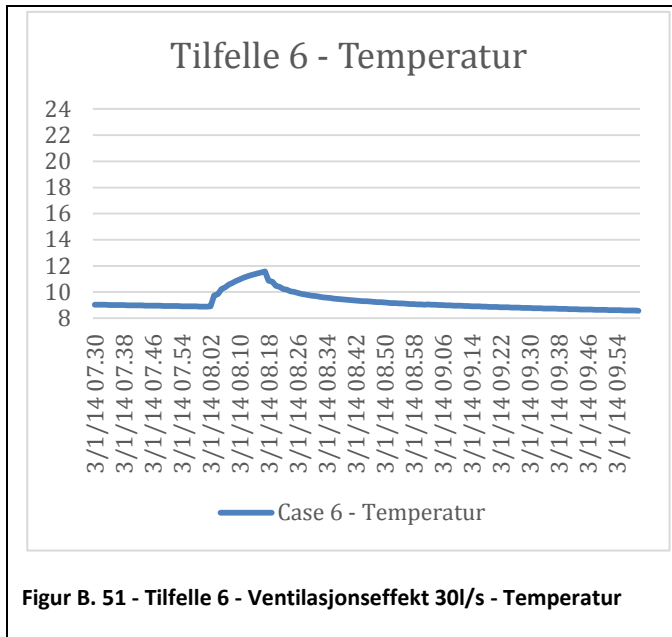


Figur B. 49 - Tilfelle 1 - Ventilasjonseffekt 30l/s - Temperatur

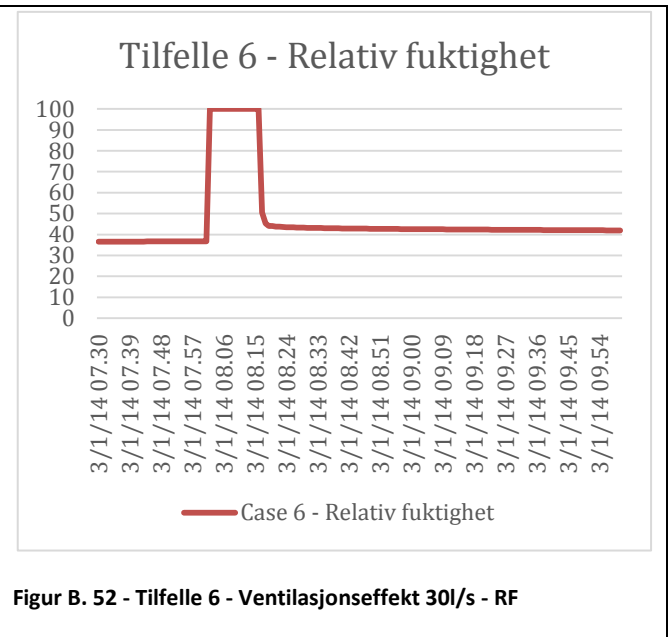


Figur B. 50 - Tilfelle 1 - Ventilasjonseffekt 30l/s - RF

### Tilfelle 6 – 85,9%

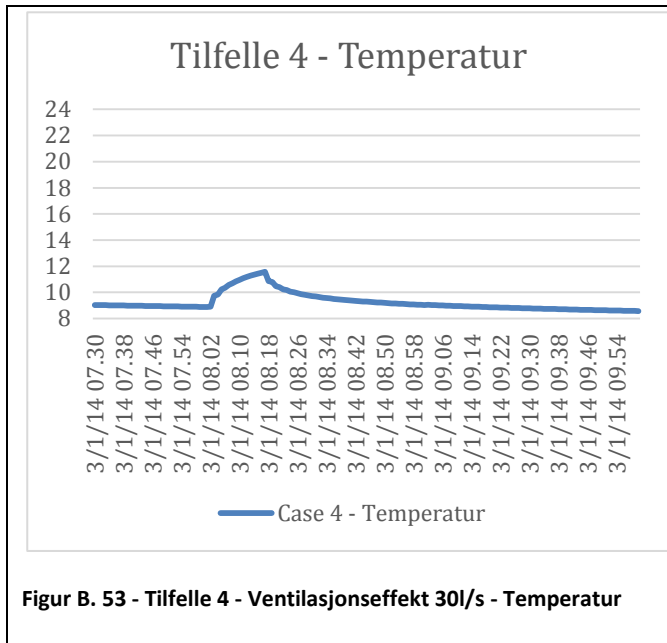


Figur B. 51 - Tilfelle 6 - Ventilasjonseffekt 30l/s - Temperatur

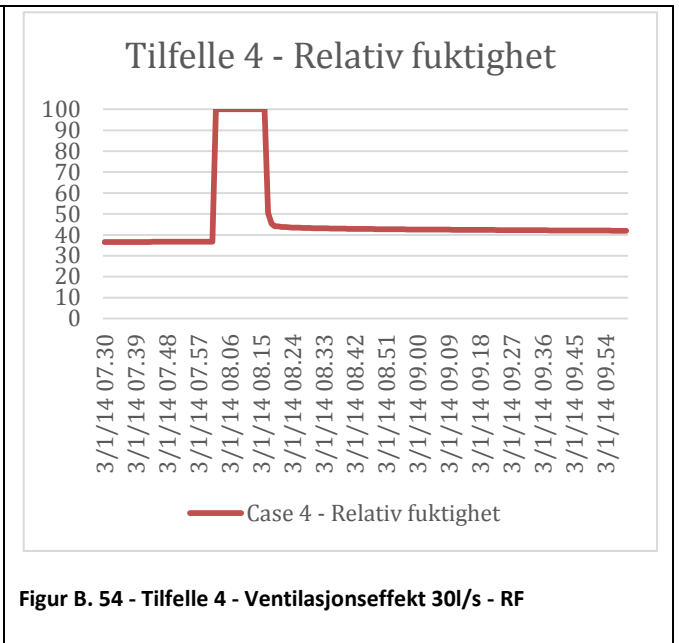


Figur B. 52 - Tilfelle 6 - Ventilasjonseffekt 30l/s - RF

**Tilfelle 4 – 69,7%**

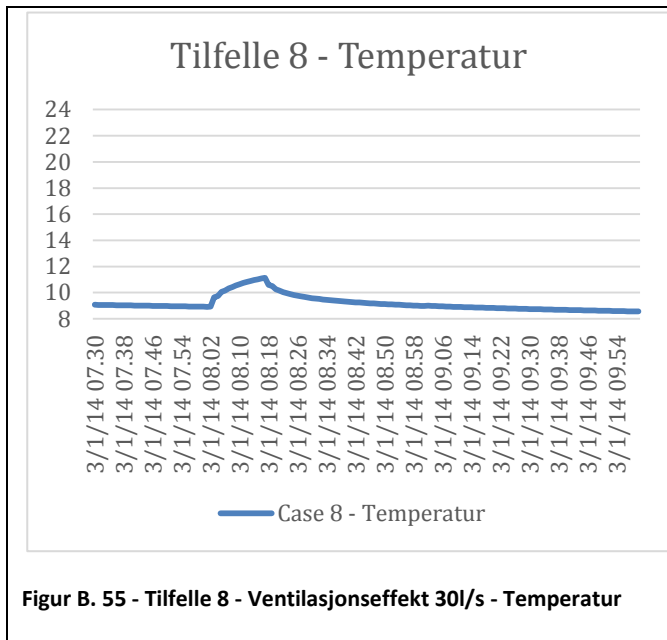


**Figur B. 53 - Tilfelle 4 - Ventilasjonseffekt 30l/s - Temperatur**

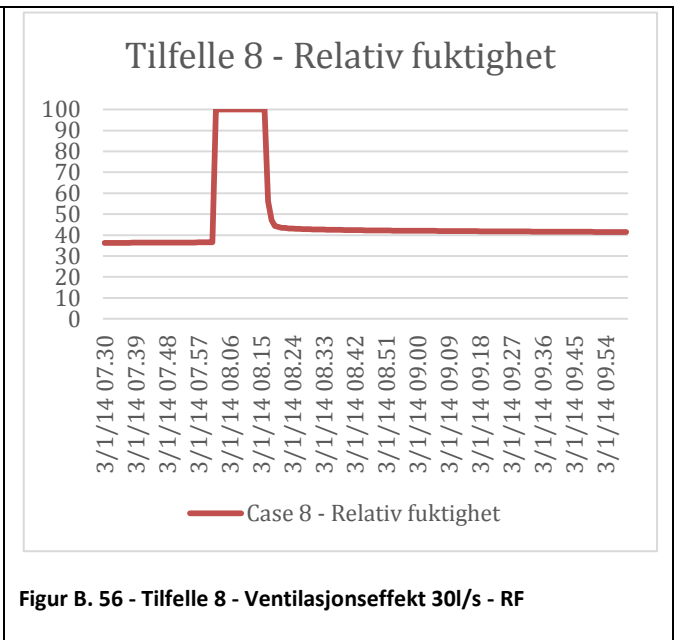


**Figur B. 54 - Tilfelle 4 - Ventilasjonseffekt 30l/s - RF**

**Tilfelle 8 – 54,6%**

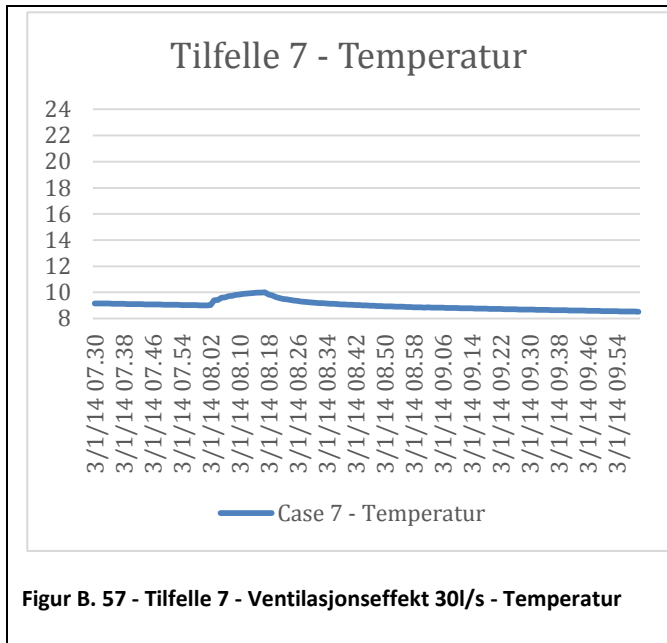


**Figur B. 55 - Tilfelle 8 - Ventilasjonseffekt 30l/s - Temperatur**

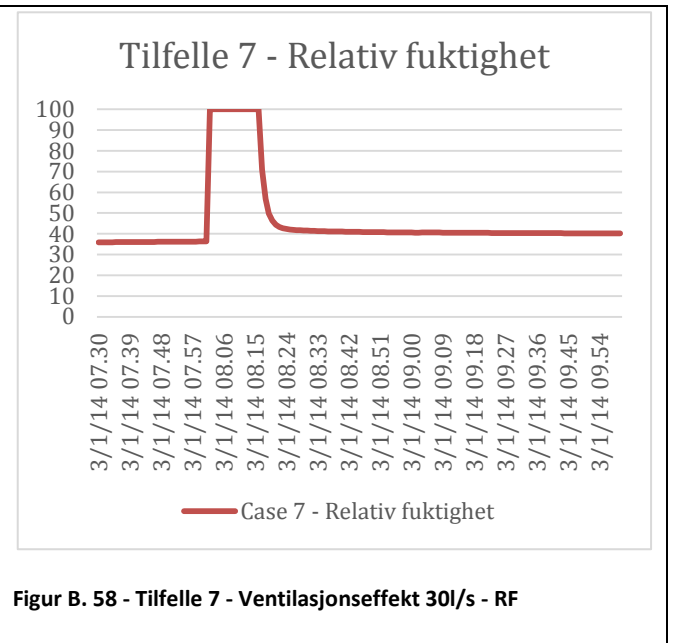


**Figur B. 56 - Tilfelle 8 - Ventilasjonseffekt 30l/s - RF**

### Tilfelle 7 – 43,4%

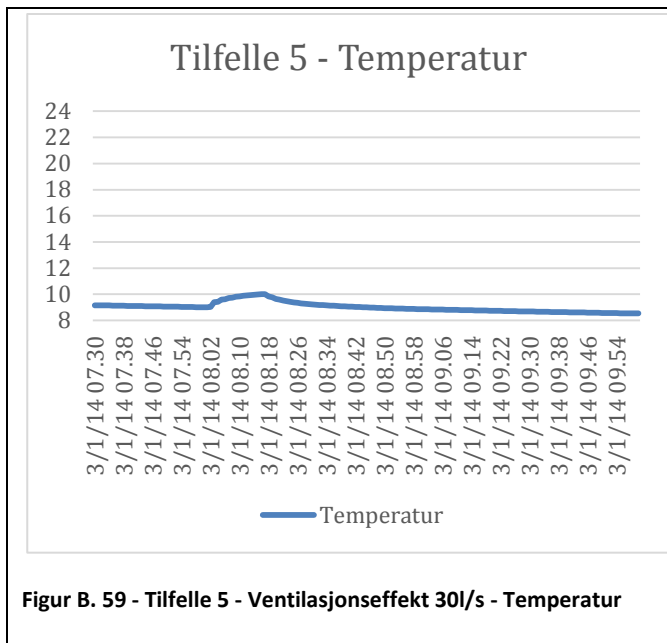


Figur B. 57 - Tilfelle 7 - Ventilasjonseffekt 30l/s - Temperatur

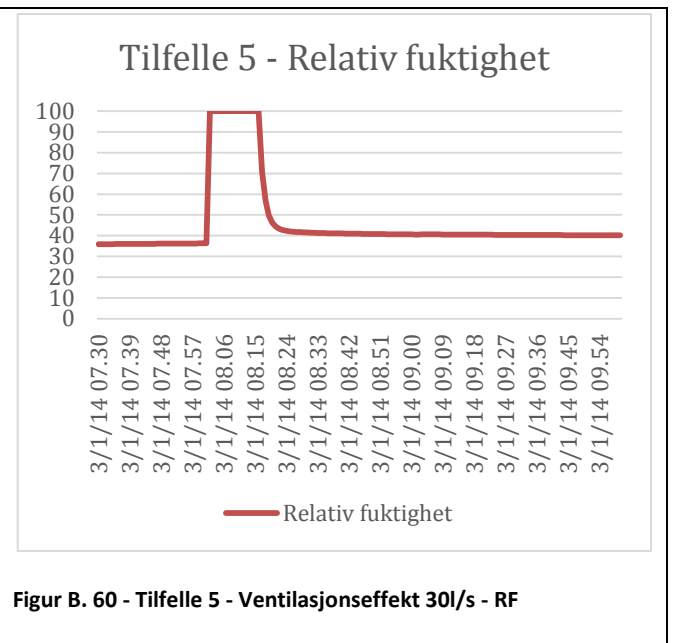


Figur B. 58 - Tilfelle 7 - Ventilasjonseffekt 30l/s - RF

### Tilfelle 5 – 30,3%

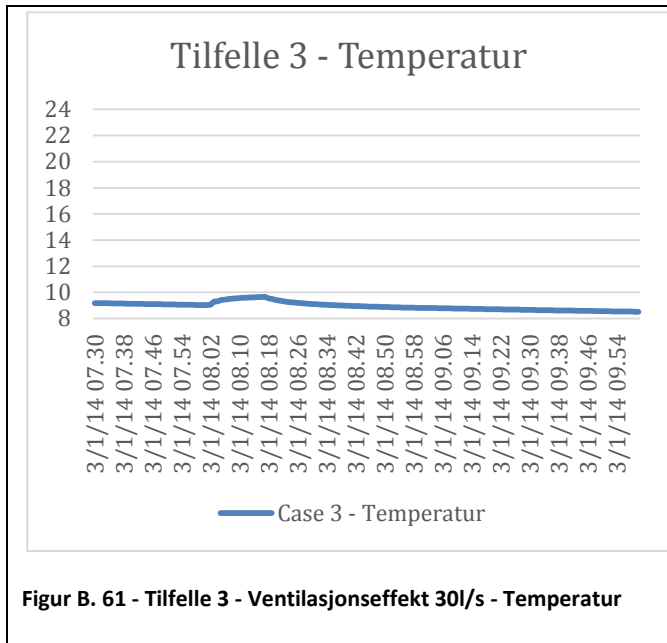


Figur B. 59 - Tilfelle 5 - Ventilasjonseffekt 30l/s - Temperatur

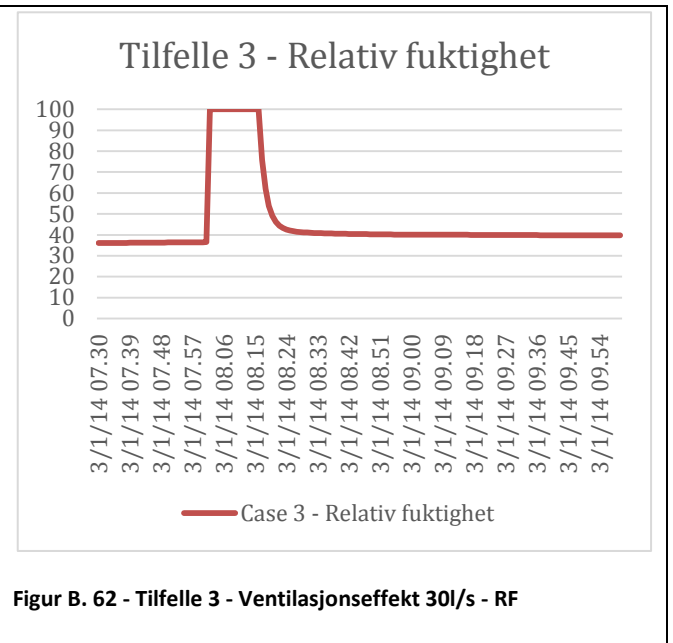


Figur B. 60 - Tilfelle 5 - Ventilasjonseffekt 30l/s - RF

### Tilfelle 3 – 16,2%

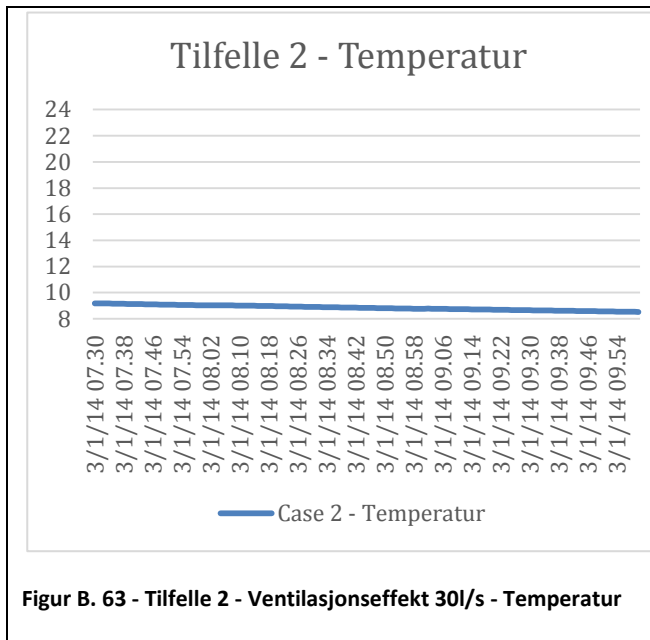


Figur B. 61 - Tilfelle 3 - Ventilasjonseffekt 30l/s - Temperatur

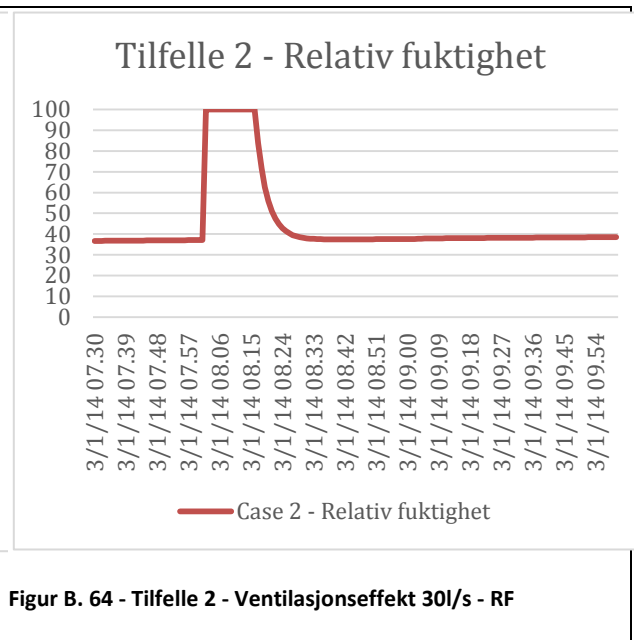


Figur B. 62 - Tilfelle 3 - Ventilasjonseffekt 30l/s - RF

### Tilfelle 2 – 0%



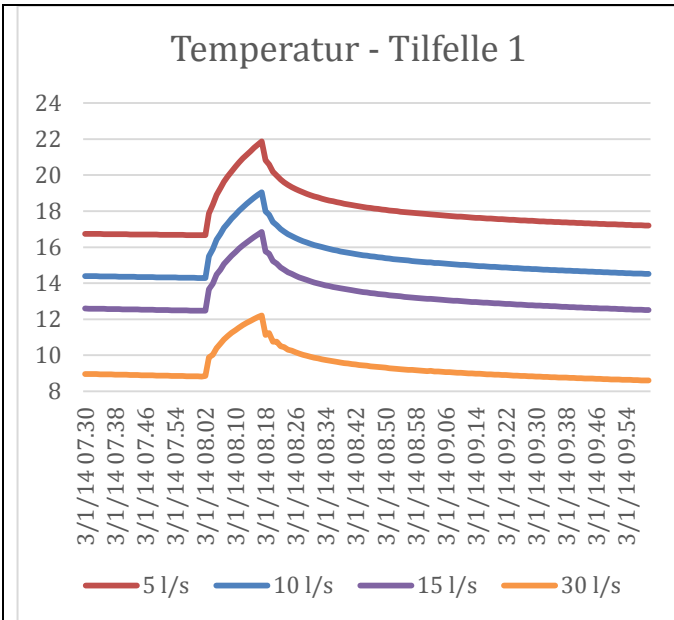
Figur B. 63 - Tilfelle 2 - Ventilasjonseffekt 30l/s - Temperatur



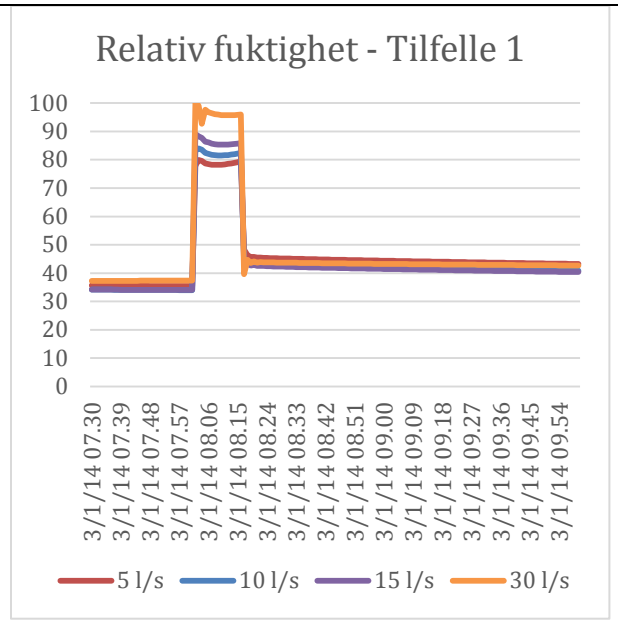
Figur B. 64 - Tilfelle 2 - Ventilasjonseffekt 30l/s - RF



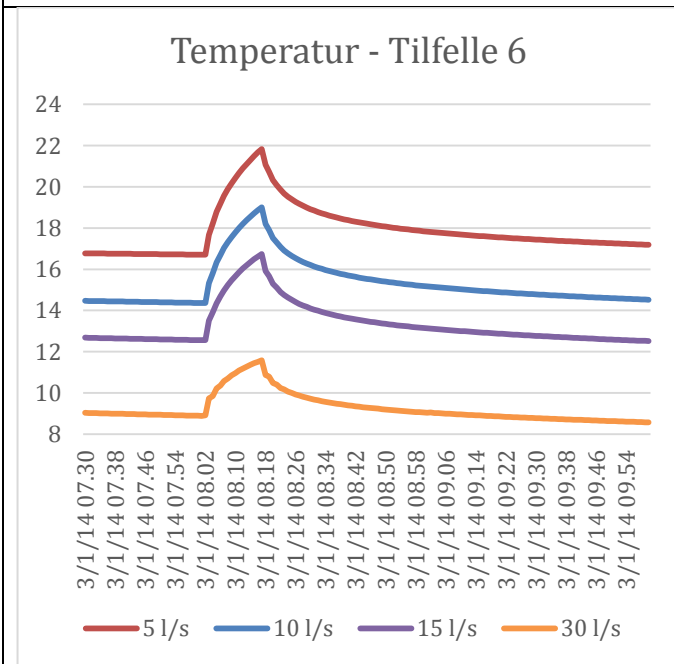
### B.1.5. Ventilasjonseffektene samlet for hver Tilfelle



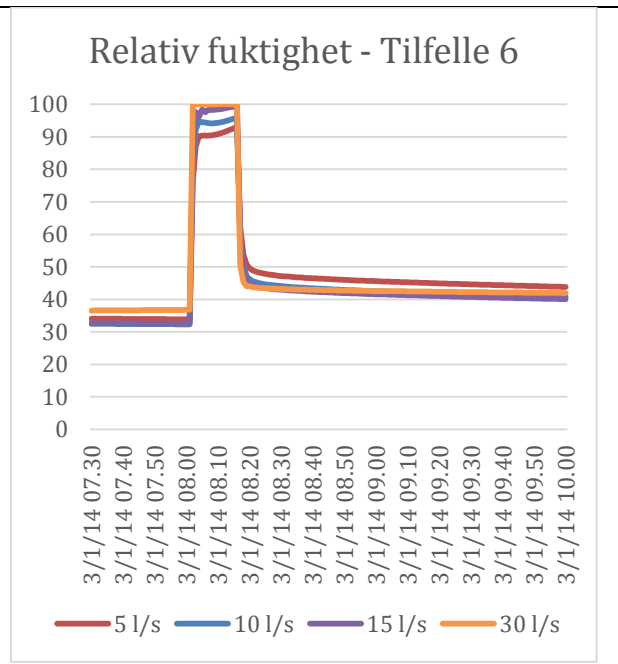
Figur B. 65 - Tilfelle 1 - Temperatur



Figur B. 66 - Tilfelle 1 . RF

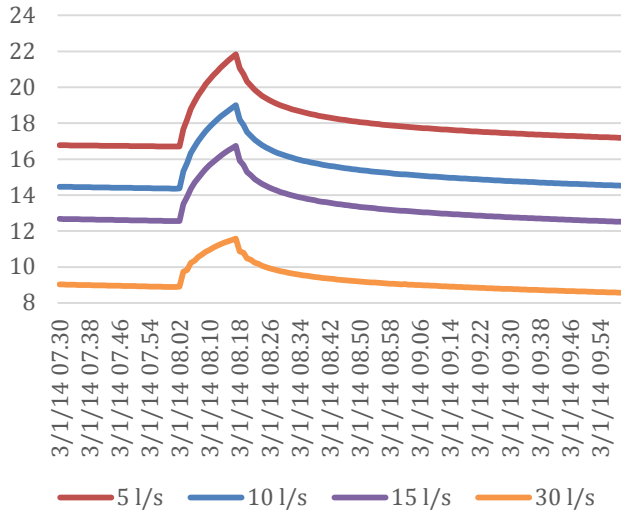


Figur B. 67 - Tilfelle 6 - Temperatur



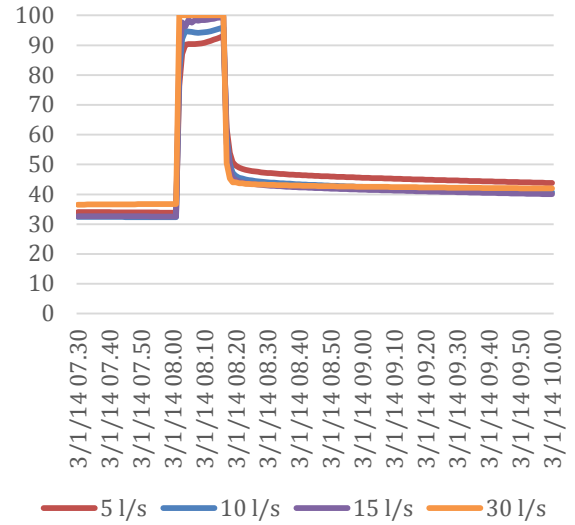
Figur B. 68 - Tilfelle 6 - RF

### Temperatur - Tilfelle 4



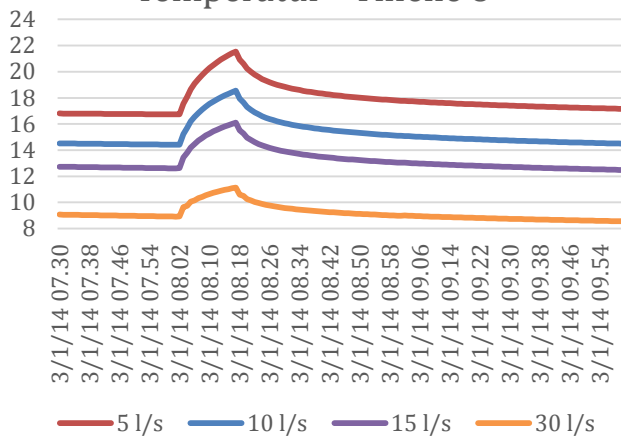
Figur B. 69 - Tilfelle 4 - Temperatur

### Relativ fuktighet - Tilfelle 4



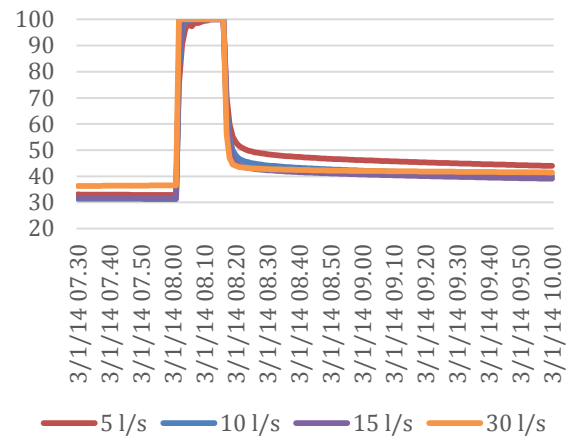
Figur B. 70 - Tilfelle 4 - RF

### Temperatur - Tilfelle 8



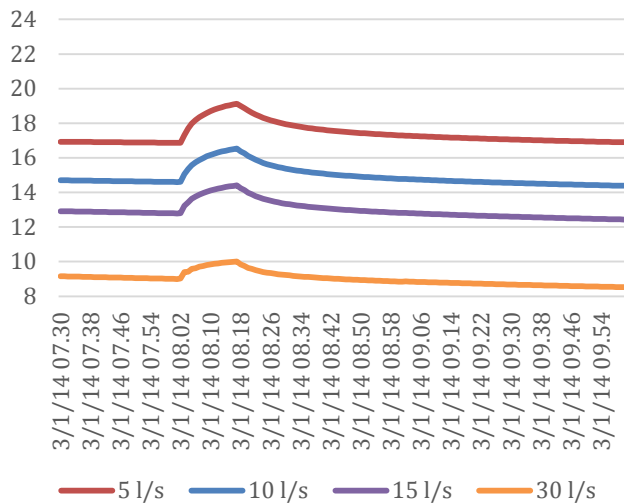
Figur B. 71 - Tilfelle 8 - Temperatur

### Relativ fuktighet - Tilfelle 8



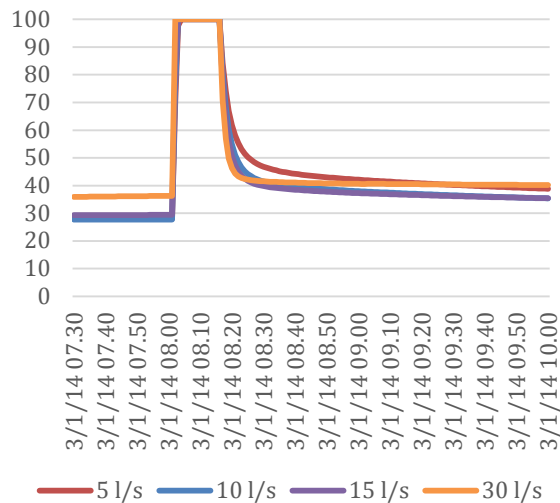
Figur B. 72 - Tilfelle 8 - Temperatur

### Temperatur - Tilfelle 7



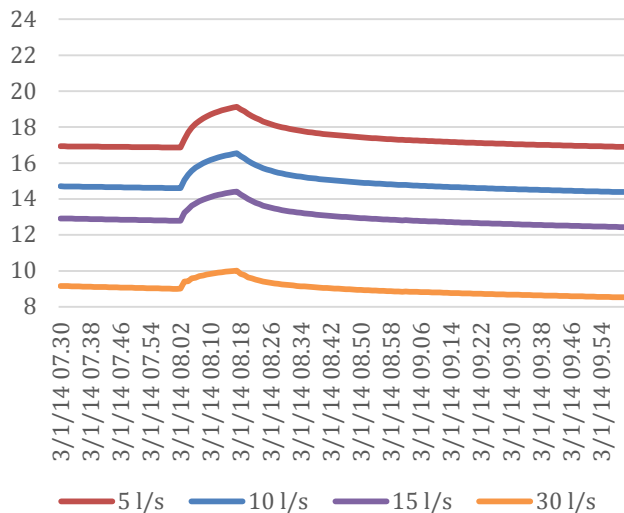
Figur B. 73 - Tilfelle 7 - Temperatur

### Relativ fuktighet - Tilfelle 7



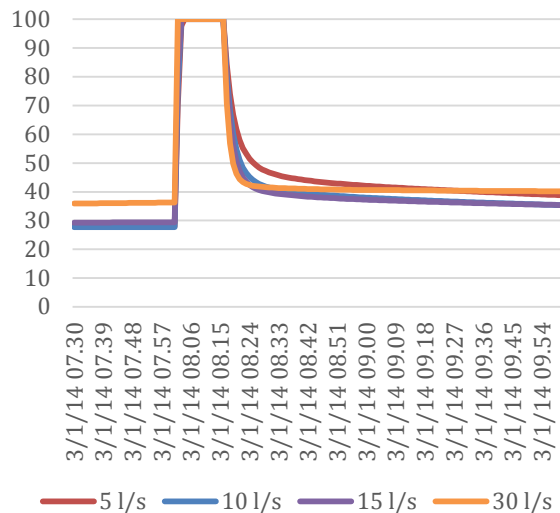
Figur B. 74 - Tilfelle 7 - Temperatur

### Temperatur - Tilfelle 5



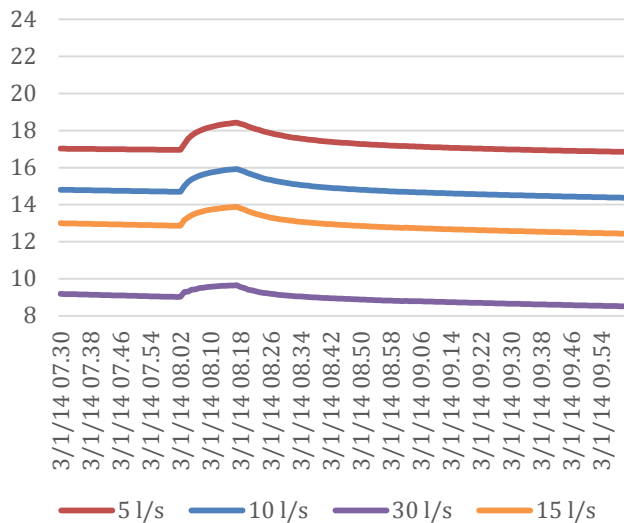
Figur B. 75 - Tilfelle 5 - Temperatur

### Relativ fuktighet - Tilfelle 5



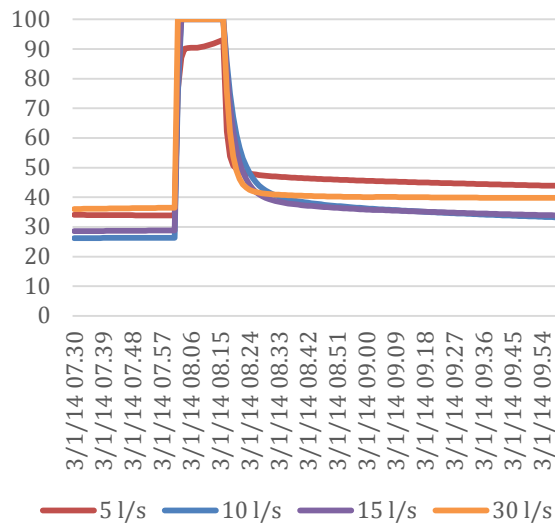
Figur B. 76 - Tilfelle 5 - RF

### Temperatur - Tilfelle 3

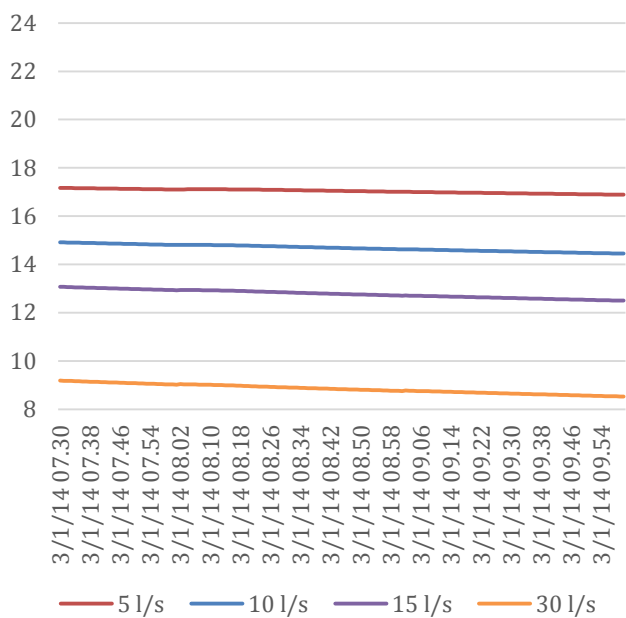


Figur B. 77 - Tilfelle 3 - Temperatur

### Relativ fuktighet - Tilfelle 3

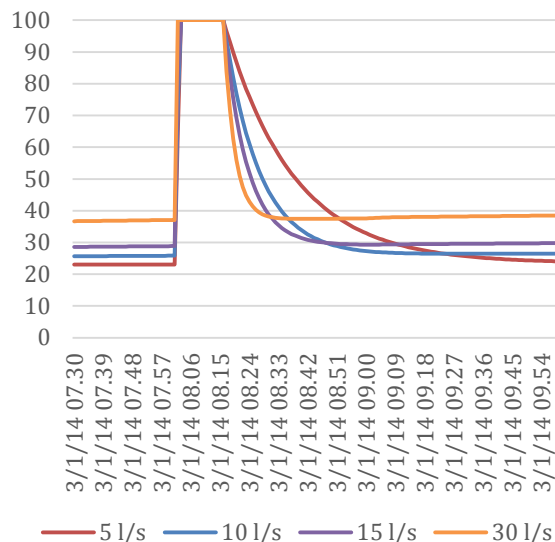


Figur B. 78 - Tilfelle 3 - RF



Figur B. 79 - Tilfelle 2 - Temperatur

### Relativ fuktighet - Tilfelle 2



Figur B. 80 - Tilfelle 2 - RF





Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
67 23 00 00  
[www.nmbu.no](http://www.nmbu.no)