



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2021 30 stp.**  
Fakultet for realfag og teknologi

## **Fukttilskudd i små studentboliger**

Moister excess in small student housing

**Cathrine Hafnor**  
Byggeteknikk og arkitektur

# Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved fakultetet for realfag og teknologi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) våren 2021. Oppgaven er et resultat av det avsluttende prosjektarbeidet på masterstudiet i Byggeteknikk og arkitektur og omfatter 30 studiepoeng.

Jeg vil takke SINTEF Community for at jeg fikk ta del i et spennende og lærerikt prosjekt – et prosjekt som omhandler en meget dagsaktuell tematikk i bransjen. Jeg vil rette en stor takk til Sverre B. Holøs fra SINTEF Community som har vært faglig ekspert og biveileder i arbeidet med denne oppgaven. Takk for et godt samarbeid, engasjement og nyttige innspill hele veien. En stor takk skal også rettes til hovedveileder fra NMBU, Tormod Aurlien, for uvurderlig støtte, entusiasme og gode faglige innspill underveis.

Videre vil jeg takke Studentsamskipnaden i Ås for all hjelp til å skaffe måleobjekter, samt informasjon om studentboligene. En spesiell takk skal rettes til alle studentene som frivillig stilte leilighetene sine til disposisjon. Takk for interessen og tålmodigheten dere har vist. Denne oppgaven hadde ikke blitt til uten dere.

Jeg ønsker også å takke familie og venner for all støtte og engasjement under arbeidet med oppgaven. Jeg vil takke min kjære sønn for at du hele veien har gitt meg gode og nødvendige skrivepauser. Jeg vil også rette en spesiell takk til mannen min, Dagfinn Hafnor, for tålmodigheten, støtten og rausheten du har vist i denne perioden.

Ås, 27. mai 2021

---

Cathrine Hafnor

## Sammendrag

I denne studien er det målt innendørs relativ fuktighet og temperatur (1 min. log) over en periode på 2 uker i 8 parleiligheter for studenter på Ås. Fire av boligene tilhører boligområdet Palisaden. Disse studentboligene er bygget i massivtre og har et balansert ventilasjonssystem med varmegjenvinner. De fire andre studentboligene tilhører boligområdet Pentagon og er bygget i betong og har et mekanisk ventilasjonssystem uten varmegjenvinner. Målingene fant sted på soverommet, bad, kjøkken/stue og i ventilasjonskanaler. Ut ifra målte tidsserier er innendørs fukttilskudd, hvilket er differansen mellom innendørs og utendørs absolutt fuktinnhold, beregnet. Innendørs relativ fuktighet, fukttilskudd og den daglige variasjonen av luftfuktighet i forskjellige rom (kjøkken/stue, soverom og bad), og hvordan dette er relatert til bygningstype (størrelse, utforming og ventilasjonssystem) og beboernes atferd er analysert.

Standard NS-EN ISO 13788:2012 beskriver en metode for å bestemme innvendig temperatur og luftfuktighet for oppvarmede boliger. Innendørs fukttilskudd deles inn i fem klasser basert på bygningstype og utetemperatur. Leiligheter med normalt antall beboere og normal ventilasjon tilhører fukttilskuddsklasse 2. I denne studien ligger beregnet fukttilskudd stort sett lavere enn  $2 \text{ g/m}^3$ , som er dimensjonerende nedre grenseverdi for fukttilskuddsklasse 2 i NS-EN ISO 13788:2012. Medianverdien av fukttilskudd varierer mellom  $0,9\text{-}1,4 \text{ g/m}^3$ , avhengig av rom- og bygningstype. Medianverdien av innendørs relativ fuktighet varierer mellom  $21,6\text{-}27,3 \%$ , avhengig av rom- og bygningstype, og ligger innenfor SINTEF Byggforsk sine anbefalte grenseverdier for RF på vinteren ( $20\text{-}40 \%$ ). 10. prosentilene varierer mellom  $16,9\text{-}20,9 \%$  og 90. prosentilene mellom  $29,5\text{-}35,4 \%$ . Resultatene fra denne studien viser dermed at det kan være større utfordringer knyttet til for lav enn for høy innendørs luftfuktighet i små norske leiligheter i fyringssesongen. Bygningstypen har en betydning for innendørs fukttilskudd, med lavere verdier av fukttilskudd i Palisaden for både kjøkken/stue og soverom. Dette kan skyldes at varmegjenvinneren i perioder sørger for en tørrere tilluft i Palisaden enn i Pentagon. Palisaden er også den leilighetstypen med generelt høyest temperatur, minst volum og hyppigst vinduslufting.

## Abstract

In this study, indoor relative humidity and temperature have been measured (1 min. log) over a period of 2 weeks in 8 student housing for couples in Ås, Norway. 4 dwellings are a part of the residential area Palisaden. These buildings are built in CLT (cross laminated timber) and have a balanced ventilation system with heat recovery. The other 4 dwellings are a part of the residential area Pentagon, built in concrete with a mechanical ventilation system without heat recovery. The measurements were made in bedrooms, bathrooms, kitchen/living rooms and in the ventilation ducts. Based on measured time series, indoor moisture excess, which is the difference between indoor and outdoor absolute moisture content, was calculated. Indoor relative humidity, moisture excess and the daily variation of indoor humidity in different rooms (kitchen/living room, bedroom and bathroom), and how this is related to type of building (size, design and ventilation system) and user behaviour were analysed.

According to NS-EN ISO 13788:2012 internal moisture excess in dwellings can be described by humidity classes defined by outdoor temperature, occupancy and ventilation. In this study, the calculated moisture excess is generally lower than  $2 \text{ g/m}^3$ , which is the recommended design values of moisture class 2 in NS-EN ISO 13788:2012 (dwellings with normal occupancy and ventilation). The median value of moisture excess varies between 0,9-1,4  $\text{g/m}^3$ , depending on type of building and room. The median value of the measured relative humidity is within the bounds of SINTEF Byggforsk's recommended limit values for RF in the heating-season (20-40 %). The median value of RH varies between 21,6-27,3 %, depending on type of building and room. The 10th percentiles vary between 16,9-20,9 % and the 90th percentiles vary between 29,5-35,4 %. The result from this study shows that there may be greater challenges associated with too low, rather than too high indoor humidity in small Norwegian dwellings. Type of building influences the moisture excess, with the lowest values in Palisaden for both kitchen/living room and bedroom. This might be because the heat recovery provides a drier supply air to Palisaden. Palisaden also generally has the highest temperature, the smallest volume and the most frequent window ventilation.

# Innholdsfortegnelse

Forord.....	I
Sammendrag .....	II
Abstract.....	III
Figurliste .....	VII
Tabelliste.....	IX
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Formål og problemstilling .....	4
1.3 Avgrensninger .....	5
2 Teori og bygningsfysisk grunnlag .....	6
2.1 Luftfuktighet.....	6
2.1.1 Ideell gass.....	6
2.1.2 Relativ og absolutt luftfuktighet .....	6
2.1.3 Utendørs luftfuktighet.....	9
2.1.4 Innendørs luftfuktighet.....	10
2.1.5 Fuktproduksjon .....	13
2.1.6 Fukttransport .....	15
2.2 Fukt i materialer .....	16
2.2.1 Fuktopptak og fuktlikevekt.....	16
2.2.2 Fuktbufring .....	17
2.3 Ventilasjon .....	18
2.3.1 Tilluft i boenheter .....	19
2.3.2 Avtrekk i boenheter.....	20
2.3.3 Dimensjonering av ventilasjonsanlegg .....	21
2.3.4 Mekanisk avtrekksventilasjon.....	21
2.3.5 Balansert ventilasjon.....	22
3 Metode.....	23
3.1 Presentasjon av valgte måleobjekter .....	23
3.1.1 Palisaden .....	24
3.1.2 Pentagon.....	25
3.2 Måleutstyr.....	26
3.2.1 Fuktighetsmålere.....	26
3.2.2 Luftmengdemåler .....	29

3.3	Feltarbeidets innledende forberedelser.....	30
3.3.1	Tidlige testmålinger .....	30
3.3.2	Kalibrering av målesensorer .....	30
3.3.3	Personvern.....	31
3.4	Oppsett og gjennomføring.....	31
3.4.1	Befaring og testmålinger i leiligheter .....	32
3.4.2	Måling av RF og temperatur .....	33
3.4.3	Plantegninger .....	35
3.4.4	Måling av trefuktighet.....	40
3.4.5	Måling av luftmengder ved ventiler.....	43
3.4.6	Brukerdagbok.....	45
3.5	Beregningsmetoder.....	45
3.5.1	Innendørs fukttilskudd .....	45
3.5.2	Fuktproduksjon fra innendørs fuktkilder .....	46
3.6	Feilkilder .....	46
4	Resultat .....	48
4.1	Målte data.....	48
4.2	Døgnmiddel.....	51
4.3	Døgnvariasjoner .....	53
4.3.1	Gjennomsnittverdier .....	53
4.3.2	Døgn eksempell.....	56
5	Analyse og diskusjon.....	58
5.1	Sammenlikning opp mot NS-EN ISO 13788:2012 og Byggetaljer 421.510 .....	58
5.2	Bygningstypens betydning for innendørs fukttilskudd .....	60
5.3	Andre faktorerens betydning for innendørs fukttilskudd.....	64
5.3.1	Luftstrøm.....	64
5.3.2	Hygroskopisk masse .....	65
5.3.3	Tilstedeværelse .....	67
5.4	Evalueringsmetoder.....	67
5.4.1	Målerplassering.....	67
5.4.2	Måleverdienes reliabilitet.....	70
5.4.3	Brukervariasjoner.....	70
5.5	Sammenlikning med annen forskning.....	71
6	Konklusjon.....	73
7	Videre arbeid .....	74

8	Litteraturliste .....	75
9	Vedlegg.....	78
	Vedlegg A: Testmåling av sensorhøyde .....	78
	Vedlegg B: Samtykkeskjema .....	79
	Vedlegg C: Informasjon om enkeltleiligheter .....	83
	Vedlegg D: Fremdriftsplan og gjennomføring av begge måleperiodene .....	91
	Vedlegg E: Måleroversikt .....	92
	Vedlegg F: Luftmengder før innregulering .....	93
	Vedlegg G: Brukerdagbok .....	94
	Vedlegg H: Måleperiodens uteklime .....	100
	Vedlegg I: Uteklime 2. mars .....	102
	Vedlegg J: Døgnmiddelverdier av fukttilskudd for kjøkken/stue .....	102
	Vedlegg K: Gjennomsnittlig døgnvariasjon av RF .....	104

## Figurliste

Figur 2-1: Vanddampens metningstrykk som funksjon av temperaturen. Figur fra: (Byggforskserien 421.132) .....	8
Figur 2-2: Luftfuktighetsdiagram som viser sammenhengen mellom temperatur, RF, vanddampinnhold og damptrykk. Figur fra: (Byggforskserien 421.132) .....	9
Figur 2-3: Fukttilskudd over året ved forskjellige nivåer for innendørs RF. Figur fra: (Byggforskserien 421.132) .....	12
Figur 2-4: Variasjonen i innvendig fukttilskudd med utendørs lufttemperatur. Figur fra: (Standard Norge, 2012).....	13
Figur 2-5: Konseptuell illustrasjon av nedre Riemannsum med $n = 6$ , brukt til å beregne .....	15
Figur 2-6: Eksempel på sorpsjonskurve for tre, her furu med densitet 500 kg/m. Figur fra: ..	17
Figur 3-1: Oversiktskart over leilighetsblokkene som er en del av feltstudiet i denne masteroppgaven (Kartverket, 2021).....	24
Figur 3-2: Nordfasaden av Palisaden, foto: Cathrine Hafnor .....	24
Figur 3-3: Nordfasaden av Pentagon, foto: Cathrine Hafnor.....	25
Figur 3-4: CP11, måler RF, temperatur og CO <sub>2</sub> . Bildet er hentet fra produsentens hjemmesider (rotronic).....	27
Figur 3-5: EL-USB-2+, måler RF og temperatur. Bildet er hentet fra produsentens nettsider (LASCAR).....	27
Figur 3-6: TinyTag ULTRA 2 – TGU-4500, måler RF og temperatur. Bildet er hentet fra: (Tintag) .....	28
Figur 3-7: Tinytag Plus, vanntett RF- og temperatursensor. Bildet er hentet fra: (RS) ULTRA .....	28
Figur 3-8: OmniSense S-16 sensor og Gateway, måler RF og temperatur i luft og trefuktighet. Bildet er hentet fra: (OmniSense) .....	29
Figur 3-9: Anemometer (SwemaAir 300) tilkoblet måletrakt (SwemaFlow 125) Foto: Cathrine Hafnor .....	29
Figur 3-10: Utplussing av målesensor (EL-USB-2+) i avtrekkskanal (Palisaden) Foto: Cathrine Hafnor .....	33
Figur 3-11: Utplussing av målesensor (EL-USB-2+) i tilluftskanal (Palisaden) Foto: Cathrine Hafnor .....	33
Figur 3-12: Utplussing av målesensor (TinyTag) i avtrekkskanal på bad. Foto: Cathrine Hafnor. ....	34
Figur 3-13: Utplussing av målesensor (TinyTag) i avtrekkskette. Foto: Cathrine Hafnor ...	34
Figur 3-14: Skisse av utplussing av målesensor på bad. Figur a) viser et typisk Palisaden-bad og figur b) viser et typisk Pentagon-bad. I Palisaden er det montert dusjforheng, mens det i Pentagon er dusjvegger i glass.....	35
Figur 3-15: Plantegning over leilighet PA.2. Figuren viser plassering av avtrekk- og tilluftsventiler, samt plassering av målesensorer (Kilde: Redigerte branntegninger (Studentsamskipnaden i Ås)) .....	36



Figur 3-16: Plantegning over leilighet PA.4. Figuren viser plassering av avtrekk- og tilluftsventiler samt plassering av målesensorer (Kilde: Redigerte branntegninger (Studentsamskipnaden i Ås)) .....	37
Figur 3-17: Plantegning over leilighet PA.1 og PA.3. Figuren viser plassering av avtrekk- og tilluftsventiler, samt plassering av målesensorer (Kilde: Redigerte branntegninger (Studentsamskipnaden i Ås)) .....	38
Figur 3-18: Plantegning over leilighet PE.1, PE.2 og PE.3. Figuren viser plassering av avtrekk- og tilluftsventiler, samt plassering av målesensorer (Kilde: Redigerte branntegninger (Studentsamskipnaden i Ås)) .....	39
Figur 3-19: Plantegning over leilighet PE.4. Figuren viser plassering av avtrekk- og tilluftsventiler, samt plassering av målesensorer (Kilde: Redigerte branntegninger (Studentsamskipnaden i Ås)) .....	40
Figur 3-20: Fem av sidene av treklossene ble gjort diffusjonstette ved å dekke overflatene med vannfast tape .....	41
Figur 3-21: Trefuktmåler plassert i leilighet. Foto: Cathrine Hafnor .....	42
Figur 3-22: Plantegning som viser utplassering av trefuktighetsmålere i leilighet (Kilde: Redigerte branntegninger (Studentsamskipnaden i Ås)) .....	42
Figur 3-23: Måling av luftmengder gjennom avtrekksventil ved hjelp av SwemaAir 300 og Swema Flow 125. Foto: Dagfinn Hafnor.....	43
Figur 3-24: Måling av luftmengder gjennom kjøkkenhette ved hjelp av SwemaAir 300 og måletrakt tilpasset kjøkkenhette. Foto: Dagfinn Hafnor.....	43
Figur 4-1: Boksplott av innendørs fukttilskudd for kjøkken/stue. Blå bokser representerer Palisaden-leiligheter og røde bokser Pentagon-leiligheter .....	49
Figur 4-2: Boksplott av innendørs fukttilskudd på soverom. Blå bokser representerer Palisaden-leiligheter og røde bokser Pentagon-leiligheter .....	50
Figur 4-3: Boksplott av innendørs fukttilskudd i bad. Blå bokser representerer Palisaden-leiligheter og røde bokser Pentagon-leiligheter .....	50
Figur 4-4: Innendørs fukttilskudd for ulike utelufttemperaturer i kjøkken/stue. Stiplet rød linje viser trendlinje for målte verdier i Pentagon ( $R^2=0,075$ ) og blå stiplet linje viser trendlinje for målte verdier i Palisaden ( $R^2=0,129$ ) .....	51
Figur 4-5: Innendørs fukttilskudd for ulike utelufttemperaturer på soverom. Stiplet rød linje viser trendlinje .....	52
Figur 4-6: Innendørs fukttilskudd for ulike utelufttemperaturer på bad. Stiplet rød linje viser trendlinje .....	52
Figur 4-7: Graf a) viser gjennomsnittlig døgnvariasjon av fukttilskudd for Palisaden-leilighetene. Graf b) viser gjennomsnittlig døgnvariasjon av fukttilskudd for Pentagon-leilighetene.....	53
Figur 4-8: a) viser gjennomsnittlige døgnvariasjoner for kjøkken/stue, graf b) viser gjennomsnittlige døgnvariasjoner for soverom og graf c) viser gjennomsnittlige døgnvariasjoner for bad .....	55
Figur 4-9: Døgnkseksempel fra en tilfeldig Palisaden-leilighet 2. mars. Graf a) viser døgnvariasjonen av fukttilskudd for de ulike rommene og graf b) viser sammenhengen mellom fukttilskuddet og CO <sub>2</sub> -nivået for kjøkken/stue og soverom.....	56

Figur 4-10: Døgnseksempel fra en tilfeldig Pentagon-leilighet 2. mars. Graf a) viser døgnvariasjonen i fukttilskudd for de ulike rommene og graf b) viser sammenhengen mellom fukttilskuddet og CO <sub>2</sub> -nivået for kjøkken/stue og soverom.....	57
Figur 5-1: Fukttilskudd i forbindelse med tilberedelse av middag, målt i kjøkkenhette i tilfeldig Pentagon-leilighet. Matlagingen startet ca. kl. 16.45 og det antas at fukttilskuddet, grunnet tilberedelse av varmmat, slutter ca. kl. 18:15 .....	60
Figur 5-2: Fukttap fra varmegjenvinner i Palisaden-leiligheter. Grafen presenterer gjennomsnittlig døgnmiddel for alle dager i måleperioden .....	62
Figur 5-3: Uteluftas absolute fuktighet mot absolutt fuktighet målt i tilluftskanal for et tilfeldig døgn.....	62
Figur 5-4: Fuktransport via varmegjenvinner ved a) høy innendørs luftfuktighet og b) høy utendørs luftfuktighet. Figur er hentet fra (Hendriks) .....	63
Figur 5-5: Hypoteseskisse av luftstrøm, figur a) Palisaden-leilighet og figur b) Pentagon-leilighet .....	65
Figur 5-6: Fukttinnhold i ubehandlede treklosser av furu for alle rom i én utvalgt Palisaden-leilighet .....	66
Figur 5-7: Skisse av baderom med antatt luftstrøm i forbindelse med dusjing. Figur a) Skisse av badet i Palisaden, b) Skisse av badet i Pentagon.....	68
Figur 5-8: a) En tilfeldig dusjesekvens i Palisaden, b) en tilfeldig dusjesekvens i Pentagon. Grafene viser forskjellen mellom beregnet fukttilskudd fra målinger i avtrekkskanal på bad og fra måler på badet (ca. 1,1 m over bakken).....	69

## Tabelliste

Tabell 2-1: Typiske fuktkilder i ulike rom i en leilighet (Johansson, et al., 2010).....	11
Tabell 2-2: Beskrivelse av fukttilskuddsklasser i NS-EN ISO 13788:2012 (Standard Norge, 2012) .....	12
Tabell 2-3: Preaksepterte ytelser for avtrekksluftmengder i bolig (DIBK, 2017) .....	20
Tabell 3-1: Oversikt over planlagte måleperioder .....	32
Tabell 3-2: Symbolforklaring tilhørende plantegninger .....	35
Tabell 3-3: Målte luftmengder i Palisaden-leiligheter. Luftmengdemålingene ble gjort med lukkede vinduer og dører .....	44
Tabell 3-4: Luftmengder i Pentagon-leilighetene etter innregulering .....	44
Tabell 4-1: Medianverdi, samt 10. og 90. prosentil av RF, temperatur og fukttilskudd for alle rom. Resultatene er beregnet på grunnlag av målinger gjort over en periode på 4 uker. ....	48

# 1 Innledning

Denne masteroppgaven skrives i samarbeid med et større forskningsprosjekt kalt *Healthy Energy-efficient Urban Home Ventilation*, ledet av SINTEF Community. Prosjektet har som mål å gi kunnskap og anbefalinger om robuste ventilasjonsstrategier for urbane leiligheter. Fremtidens urbane boliger vil domineres av leilighetsbygg. I løpet av de siste årene er det bygget en rekke små leiligheter i Norske byer, først og fremst rettet mot unge voksne (Støa, et al., 2006). Små og åpne leiligheter gjør innemiljøet mer følsomt for endringer i varme, forurensende kilder og fuktighet (SINTEF Community, 2020).

Undersøkelser viser at nordmenn oppholder seg omtrent 90 % av døgnet innendørs (Statistisk Sentralbyrå, 2012). Mye av denne tiden vil brukes i eget hjem, hvilket man også har sett en betydelig økning av i løpet av COVID-19-pandemien. Et inneklime av god kvalitet er viktig for folks helse. For høyt fuktnivå innendørs som følger av for lave ventilasjonshastigheter i godt isolerte boliger, kan skape fuktrelaterte skader på bygningen, bedre vekstvilkårene for muggsopp, husstøvmidd og bakterier og gi økt avgassing fra materialer. For høye ventilasjonshastigheter kan resultere i uønsket tørr luft i de kalde vintermånedene. Dette kan forårsake statisk elektrisitet, tørr hud, tørre og såre slimhinner i øyne, nese og hals og gjentatte luftveisinfeksjoner (Byggforskserien 421.510). Tørr inneluft kan også resultere i skader på bygningen i form av oppsprekking, kuling og delaminering av bygningsmaterialer (Geving & Thue, 2002). SINTEF Byggforsk anbefaler at den relative fuktigheten i boliger holdes mellom 20–40 % om vinteren (Byggforskserien 421.510). For å sikre at fuktproduksjonen i fremtidens boliger håndteres med akseptabel risiko for kondensering og mikrobiell vekst, samtidig som problemer knyttet til lav innendørs fuktighet minimeres, er det viktig med riktig dimensjonerte ventilasjonsanlegg. Det er i denne sammenheng essensielt å ha tilstrekkelig kunnskap om de fuktpåkjenningene en bolig kan bli utsatt for.

## 1.1 Bakgrunn

I kaldt klima vil vanndampkonsentrasjonen i innelufta vanligvis være høyere enn vanndampinnholdet i utelufta. Den største fuktbelastningen for ytterkonstruksjoner i kaldt klima skyldes utadgående luftstrøm grunnet luftlekkasjer eller fuktdiffusjon. Det er derfor nødvendig å vite kritiske verdier for forskjellen mellom vanndampinnholdet i inne- og utelufta (Vinha, et al., 2018). Forskjellen mellom innendørs- og utendørs vanndampinnhold (positiv forskjell = økning) kalles innendørs fukttilskudd. Standard NS-EN ISO 13788:2012

beskriver en metode for å bestemme innvendig temperatur og luftfuktighet for oppvarmede boliger. Innendørs fukttilskudd deles inn i fem klasser basert på bygningstype og utetemperatur. For boliger benyttes vanligvis to fukttilskuddsklasser; klasse 2 og 3. For klasse 2, som gjelder leiligheter med normalt antall beboere og normal ventilasjon, ligger nedre og øvre dimensjonerende grenseverdier for fukttilskudd på henholdsvis 2 og 4 g/m<sup>3</sup>. Klasse 3, som gjelder boliger med ukjent antall beboere, har tilhørende grenseverdier på 4 og 6 g/m<sup>3</sup>. Fukttilskuddet anses å være konstant under 0 °C og reduseres lineært til 0 g/m<sup>3</sup> ved utetemperaturer på 20 °C (Standard Norge, 2012).

Innendørs fukttilskudd har blitt undersøkt i en rekke tidligere studier. I de fleste studier har fuktbalansen i inneluften enten blitt matematisk modellert eller undersøkt via laboratorieeksperimenter. Det er imidlertid viktig å studere variasjoner i innendørs luftfuktighet under reelle forhold, fordi modellering og laboratorieeksperimenter aldri vil gi et fullstendig bilde av virkeligheten. Som eksempel på tidligere feltmålinger fra reelle bygninger i bruk, gjorde Hansen & Møller (2017) målinger i 500 danske eneboliger. Resultatene viste at simuleringer basert på fukttilskuddsklasse 2 i EN ISO 13788:2012 i mange tilfeller over- eller underestimerer innendørs fukttilskudd. Vinha, et al. (2018) målte innendørs luftfuktighet i 171 eneboliger og 49 blokkleiligheter. Rapporten konkluderte med at det var vanskelig å integrere designverdiene fra EN ISO 13788: 2012 for Finske boligbygg. Bagge, et al. (2014) gjorde målinger i 51 leiligheter i en boligblokk i Sverige. Rapporten konkluderte med at de gjennomsnittlige månedsverdiene av innendørs fukttilskudd for vintersesongen korresponderte bedre med fukttilskuddsklasse 1 enn fukttilskuddsklasse 2, som er gjeldende klasse for Svenske leiligheter. Resultater fra målinger i 117 boliger i Trondheim viste at fukttilskuddet var avhengig av utetemperaturen og at antall beboere per oppvarmet areal hadde en effekt på fukttilskuddet i stue, med et signifikant høyere innendørs fukttilskudd i boliger med mange beboere (Geving & Holme, 2012). En nyere forskningsrapport fra Sverige konkluderte med at lav innendørs RF er et aktuelt tema i svenske boliger, hovedsakelig i leiligheter, i fyringssesongen. Resultatene viste at lav innendørs fuktighet var mer omfattende i boliger med høy temperatur, mindre volum, høyere ventilasjonshastighet, hyppigere vinduslufting, lavere antall beboere og for boliger bygget etter 1985 (Psomas, et al., 2021).

Flere av de presenterte studiene er imidlertid begrenset til noen få rom, og er logget med stor tidsoppløsning. Det finnes lite felldata av leiligheter i norsk klima som muliggjør studier av

kortsiktig variasjon av fuktighet i forskjellige rom i boligen. I de fleste små leiligheter eller studentboliger, vil arealet per person være mindre enn i en gjennomsnittlig norsk enebolig. Det er grunn til å tro at slike boliger vil oppleve større kortsiktige fuktvariasjoner. International Agency Annex 24 (Sanders, 1996) anbefaler å bruke 90. prosentilen for klimabelastninger ved hygrotermiske simuleringer av bygningsmasser. Dette betyr at et fukttilskudd høyere enn dette nivået ikke skal forekomme i mer enn 10 % av målte tilfeller. I store deler av Norge vil det i vinterhalvåret opptre svært lave utetemperaturer. Dette medfører at fuktigheten i utelufta, selv ved lave fuktighetsnivåer, vil kunne kondensere. Lavt fuktighetsinnhold i ventilasjonslufta kan potensielt resultere i for lave fuktighetsnivåer i innelufta. Innendørs relativ fuktighet, fukttilskudd og den daglige variasjonen av luftfuktighet i forskjellige rom (kjøkken/stue, soverom og bad), og hvordan dette er relatert til bygningstype (størrelse, utforming og ventilasjonssystem) og beboernes atferd er av interesse.

## 1.2 Formål og problemstilling

Formålet med denne oppgaven er å bidra til å styrke datagrunnlaget for fuktproduksjon i små, norske leiligheter med åpen kjøkkenløsning. Dataene skal danne grunnlaget for videre studier i laboratorium og simuleringer av boligbestand for å utvikle bærekraftige løsninger for fremtidens ventilasjonsanlegg. Innendørs relativ fuktighet og temperatur skal måles over en periode på 2 uker (1. min. log) i 8 parleiligheter for studenter. 4 av boligene er bygget i massivtre og har balansert ventilasjonssystem med varmegjenvinner og 4 er bygget i betong og har mekanisk ventilasjonssystem uten varmegjenvinner. Målingene skal finne sted på soverommet, bad, kjøkken/stue og i ventilasjonskanaler. Tilførsels- og avtrekksluft vil bli registrert i hver leilighet. I to utvalgte leiligheter skal også fuktopptak i ubehandlet trepanel registreres. Ut ifra målte tidsserier skal faktorer som påvirker døgnvariasjonene av innendørs luftfuktighet analyseres og karakteriseres.

### **Problemstilling:**

«Hvilke fuktbelastninger oppstår i en liten toroms parleilighet for studenter, og hva påvirker fuktvariasjonene?»

### **Forskningsspørsmål:**

For å belyse den overordnede problemstillingen er det satt opp følgende forskningsspørsmål:

1. Holdes fuktighetsnivåene i parleilighetene seg innenfor øvre og nedre grenseverdier for fukttilskuddsklasse 2 i NS-EN ISO 13788:2012?
2. Har parleilighetene akseptable fuktighetsnivåer i henhold til Byggforskserien 421.510?
3. Basert på målingene som blir gjort, har bygningstypen en betydning for innendørs fukttilskudd?

## 1.3 Avgrensninger

Masteroppgaven omfatter 30 studiepoeng. På bakgrunn av den tidsmessige begrensningen dette medfører gjøres følgende avgrensninger:

- Oppgaven omfatter kun studentboliger på Palisaden og Pentagon
- Målingene er kun foretatt i 8 utvalgte bygninger over to ukers måleperioder
- Det måles kun luftfuktighet og ikke fuktighet på overflater eller i byggematerialer
- Målingene er kun gjort i en begrenset periode våren 2021

## 2 Teori og bygningsfysisk grunnlag

Dette kapittelet gjennomgår teorigrunnlaget for oppgaven. Relevante hovedtemaer som blir presentert er generell fuktteori, materialegenskaper og boligventilasjon. Stoffet er hovedsakelig hentet fra Fukt i bygninger (Geving & Thue, 2002). Der andre kilder er benyttet vil det oppgis i teksten.

### 2.1 Luftfuktighet

#### 2.1.1 Ideell gass

Den kjemiske komposisjonen av ren, tørr luft ved bakkenivå er nitrogen (79 %), oksygen (21 %) og argon (0,9 %). I tillegg til alle de andre gassene som det kan finnes spor av i atmosfæren, inneholder luften også en viss mengde vanndamp. Luftens fuktinnhold varierer sterkt med klimaet (Dannevig & Pedersen, 2019). Ved normalt trykk kan man betrakte vanndampen i lufta som en ideell gass. Tilstandslikningen for en ideell gass kan beskrives ved hjelp av følgende likning:

$$p \cdot V = m \cdot R_g \cdot T \quad (1)$$

hvor:

- $p$  er gasstrykket (Pa)
- $V$  er gassens volum ( $\text{m}^3$ )
- $m$  er gassens masse (kg)
- $R_g$  er den allmenne (molare) gasskonstanten, lik  $8\,314,41 \text{ J}/(\text{kmolK})$
- $T$  er absolutt temperatur (K)

#### 2.1.2 Relativ og absolutt luftfuktighet

Vanndampinnholdet i lufta kan angis på tre forskjellige måter:

- som vanndampens partialtrykk  $p_v$  ( $\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$ )
- som vanndampkonsentrasjon  $v$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), også kalt vanndampintensitet eller vanndampinnhold
- som vanndampmasse  $x$  per kg tørr luft ( $\text{kg}/\text{kg}$ ), også kalt relativt vanndampinnhold eller fuktgrad



Ut ifra tilstandslikningen for en ideell gass, likning (1), får man ved å sette inn for vannets molekylære vekt lik 18,015 kg/kmol, at vanndampkonsentrasjonen  $v$  (kg/m<sup>3</sup>) kan skrives som en funksjon av partialtrykket  $p_v$  (Pa), gasskonstanten for vanndamp  $R_v$  (461,4 J/kgK) og temperaturen  $T$  (K):

$$v = \frac{p_v}{R_v \cdot T} \quad (2)$$

Vanndampkonsentrasjonen  $v$  er mengden vanndamp i kilogram per kubikkmeter tørr luft og kalles ofte for luftas absolutte fuktinnhold. Luftas absolutte fuktinnhold vil være helt uavhengig av om det er andre gasser til stede. Grensen for hvor stort vanndampinnhold det kan være i lufta for en gitt temperatur kalles *metningsinnholdet*  $v_{sat}$  eller *metningstrykket*  $p_{sat}$  ved benyttelse av partialtrykk. Ved økt temperatur kan lufta inneholde mer vanndamp. Metningstrykket vil altså øke med temperaturen. Gjennom forsøk er det etablert flere formler for å beregne vanndampens metningstrykk som funksjon av temperaturen. Figur 2-1 viser vanndampens metningstrykk for temperaturer mellom -30 °C og 30 °C. Innenfor gitte temperaturområder  $t$  (°C) kan følgende formler for  $p_{sat}$  benyttes med tilstrekkelig nøyaktighet:

-30 °C ≤  $t$  ≤ 0 °C:

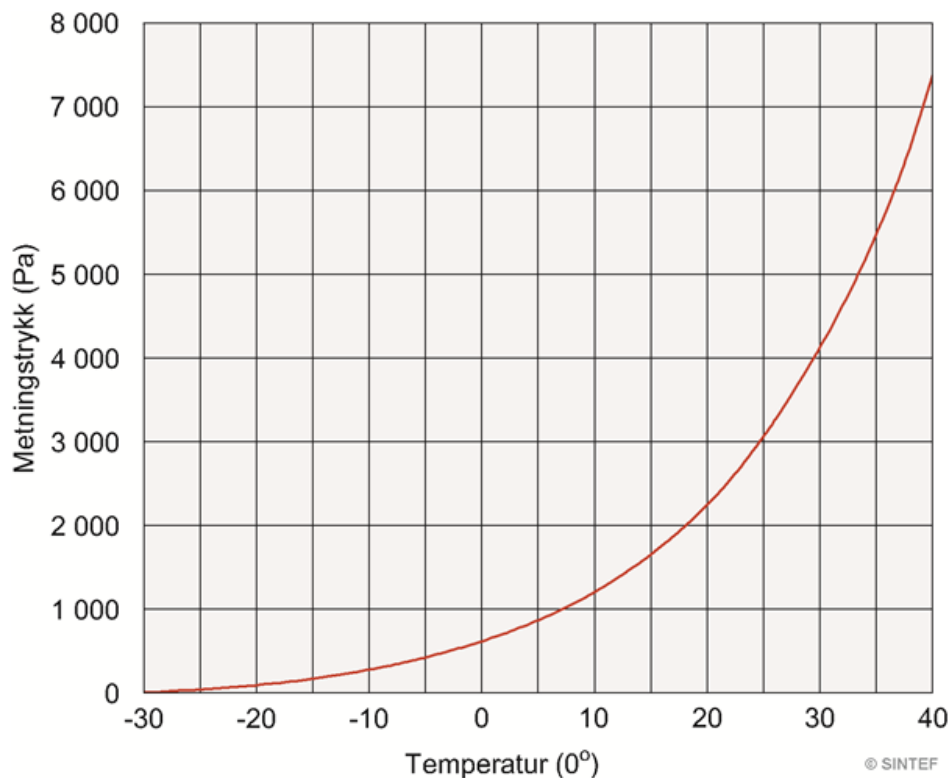
$$p_{sat} = 611 \cdot \exp((82,9 \cdot 10^{-3} \cdot t) - (288,1 \cdot 10^{-6} \cdot t^2) + (4,403 \cdot 10^{-6} \cdot t^3)) \quad (3)$$

0 °C <  $t$  ≤ 40 °C:

$$p_{sat} = 611 \cdot \exp((72,5 \cdot 10^{-3} \cdot t) - (288,1 \cdot 10^{-6} \cdot t^2) + (0,79 \cdot 10^{-6} \cdot t^3)) \quad (4)$$

Ut ifra likning (2) kan vanndampens metningskonsentrasjon  $v_{sat}$  beregnes med følgende uttrykk:

$$v_{sat} = \frac{p_{sat}}{R_v \cdot T} \quad (5)$$



Figur 2-1: Vanndampens metningstrykk som funksjon av temperaturen. Figur fra: (Byggforskserien 421.132)

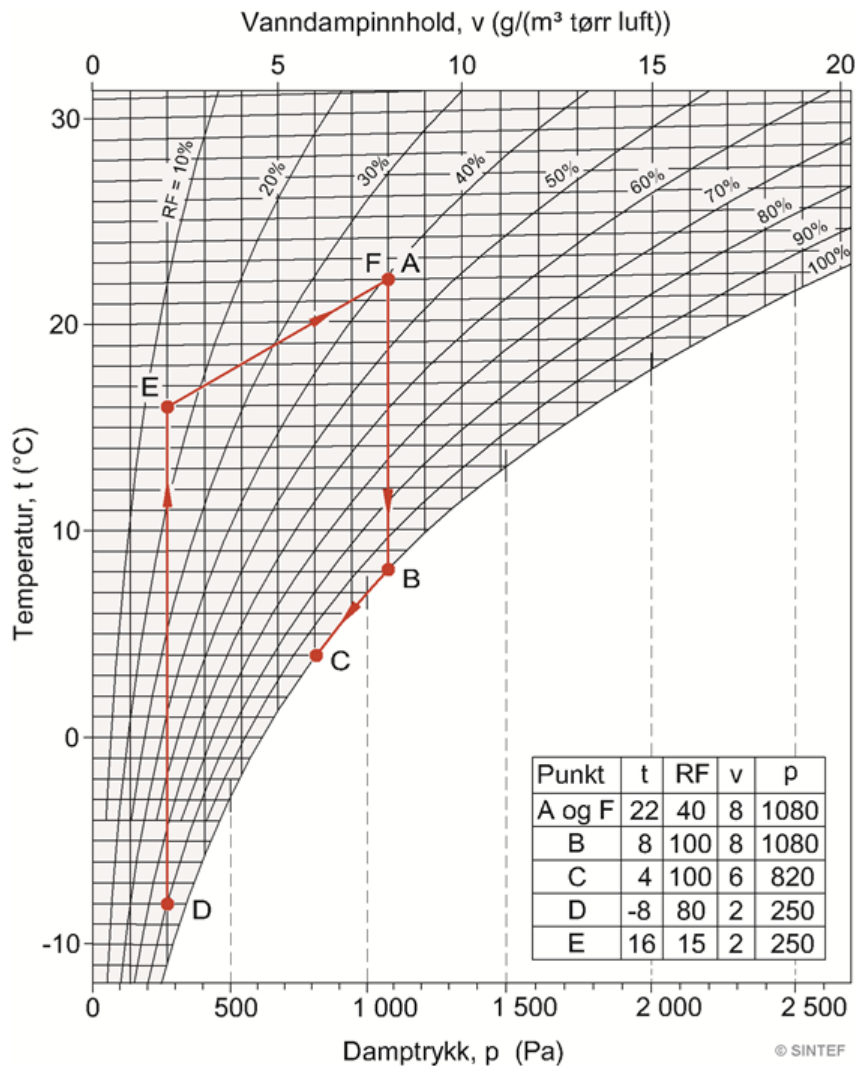
I bygningsfysisk sammenheng benyttes ofte uttrykket relativ fuktighet  $RF$  for luftas fuktinnhold. Relativ fuktighet er forholdet mellom luftas absolute fuktighet  $v$  og metningsinnholdet  $v_{sat}$  eller forholdet mellom luftas vanndamptrykk  $p_v$  og metningstrykket  $p_{sat}$

$$\phi = \frac{v}{v_{sat}} = \frac{p_v}{p_{sat}} \quad (6)$$

Relativ fuktighet er ofte oppgitt i prosent:  $RF = \phi \cdot 100 \%$

Ettersom metningstrykket avtar når temperaturen synker, vil den relative fuktigheten øke ved redusert temperatur. Når  $p_v = p_{sat}$  er  $RF = 100 \%$ , dette kalles luftas *duggpunkt*. Avkjøles lufta ned til dette punktet er lufta fullstendig mettet. Ved ytterligere avkjøling vil noe av vanndampen i lufta kondensere. Dette er tilfellet ved kondens på kalde flater som speil og vinduer i varme, fuktige rom. På vinteren bør  $RF$  i innelufta holdes lav for å hindre kondens og vekst av husstøvmidd og muggsopp.

Man kan benytte et luftfuktighetsdiagram (Mollier-diagram), se Figur 2-2, til å finne maksimalt vanndampinnhold og damptrykk ved gitt temperatur og  $RF$ . Diagrammet kan også brukes til å blant annet beregne duggpunkt og kondensmengde.



Figur 2-2: Luftfuktighetsdiagram som viser sammenhengen mellom temperatur, RF, vanndampinnhold og damptrykk. Figur fra: (Byggforskserien 421.132)

Ut fra diagrammet kan man lese at ved en temperatur på ca. 22 °C og RF lik 40 % (punkt A), vil damptrykket være ca. 1100 Pa. Hvis temperaturen senkes, stiger RF. Ved tilstand B har RF nådd 100 % (metning). Duggpunktstemperaturen kan leses av som ca. 8 °C.

### 2.1.3 Utendørs luftfuktighet

Det må tas hensyn til uteluftas temperatur og fuktinnhold under fuktteknisk prosjektering. Ulik vanndampkonsentrasjon på hver side av en konstruksjon gir en drivkraft for vanndamptransport gjennom konstruksjonen, kalt diffusjon (se kapittel 2.1.6), som kan medføre kondens inne i konstruksjonen. Luftfuktigheten utendørs varierer med årstidene og geografisk beliggenhet. Som følge av temperaturvariasjoner over året har uteluftas RF som regel lavest verdi om sommeren og høyest om vinteren. Den relative fuktigheten vil være høyest om natten, og i perioder med regnvær eller tåke vil RF være bortimot 100 %. Luftas

vanndampkonsentrasjon  $v$  eller vanndampens partialtrykk  $p_v$  har i motsetning de høyeste verdiene ved høye lufttemperaturer.

#### 2.1.4 Innendørs luftfuktighet

Fuktinnholdet i innelufta bestemmes av tilstanden til den lufta man ventilerer med (utelufta), luftskiftet (den mengden ventilasjonsluft som tilføres rommet) og av de fuktkildene man har innendørs. Fukttilskudd defineres også som forskjellen mellom vanndampinnholdet i inneluften  $v_i$  og vanndampinnholdet i uteluften  $v_u$

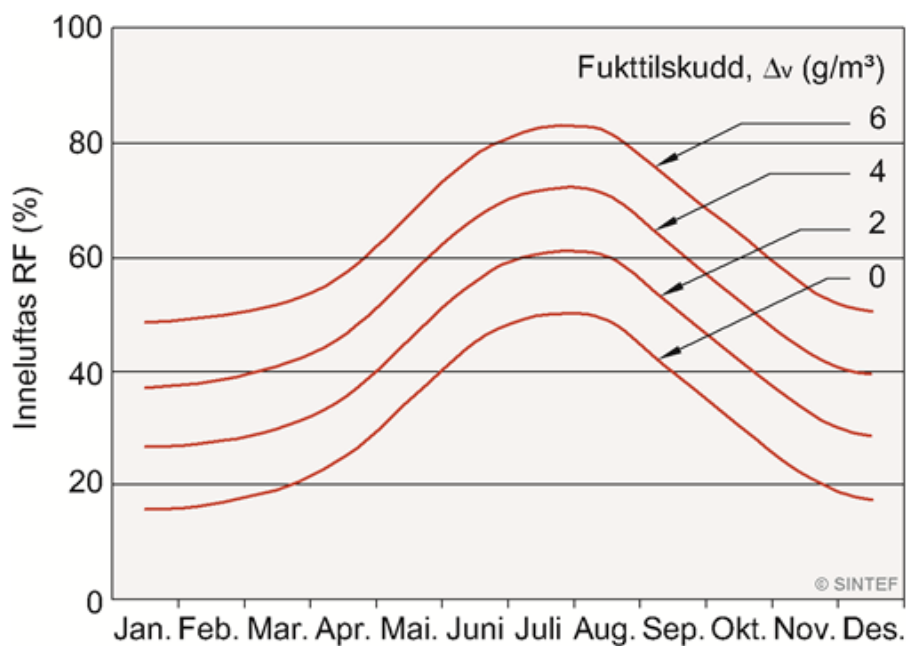
$$\Delta v = v_i - v_u \quad (7)$$

Johansson, et al. (2010) lister opp de vanligste fuktkildene i ulike rom i en leilighet. Som vist i Tabell 2-1 vil de ulike sonene ha noen unike fuktkilder, mens noen fuktkilder opptre i mer enn én sone.

Tabell 2-1: Typiske fuktkilder i ulike rom i en leilighet (Johansson, et al., 2010)

Sone	Fuktkilde
Stue/oppholdsrom	Mennesker Dyr Akvarium Planter Stryking av klær Gulvvasking
Kjøkken	Mennesker Oppvaskmaskin Oppvask for hånd Matlaging Planter Gulvvasking
Bad	Mennesker Dusjing Bading Tørketrommel Lufttørking av klær Gulvvasking
Soverom	Mennesker Dyr Stryking av klær Planter Gulvvasking

Fukttilskuddet vil i praksis variere, både mellom ulike soner i rommet, mellom ulike boliger og gjennom ulike årstider. Fukttilskuddet vil også variere i løpet av dagen og kan i korte perioder, for eksempel ved dusjing i baderom, bli temmelig høyt. Allikevel blir fukttilskuddet gjerne oppgitt som konstant over året, basert på målinger om vinteren. Det vil i de kalde vintermånedene være størst fare for kondens ved nedkjøling av fuktig luft (Byggforskserien 421.132). Figur 2-3 viser resultatet av beregninger for hvordan fukttilskuddet varierer med ulike nivåer av RF i innelufta over året basert på målinger i Trondheim.

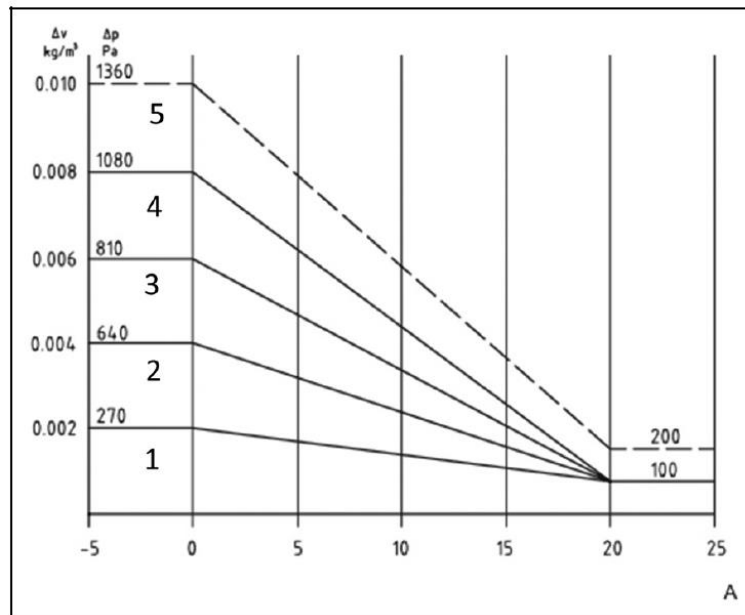


Figur 2-3: Fukttilskudd over året ved forskjellige nivåer for innendørs RF. Figur fra: (Byggforskserien 421.132)

NS-EN ISO 13788:2012 er en beregningsstandard for kontroll av faren for kondens inne i bygningskonstruksjoner. I denne standarden beskrives innvendig fukttilskudd ut ifra fem fuktighetsklasser, som er gjeldende for bygninger i Vest-Europa. Figur 2-4 viser grenseverdiene for fukttilskudd  $\Delta v$  for de ulike fukttilskuddsklassene. Det anbefales at de oppgitte grenseverdiene brukes med mindre det kan dokumenteres at fukttilskuddet vil være mindre alvorlig. Tabell 2-2 gir veiledning til valg av fukttilskuddsklasse (Standard Norge, 2012).

Tabell 2-2: Beskrivelse av fukttilskuddsklasser i NS-EN ISO 13788:2012 (Standard Norge, 2012)

Fukttilskuddsklasse	Bygning
1	Lager
2	Kontor, leiligheter med normalt antall beboere og normal ventilasjon
3	Bolig med ukjent antall beboere
4	Idrettshall, kjøkken, kantine
5	Spesialbygninger, f.eks. vaskeri, bryggeri, svømmehall



Figur 2-4: Variasjonen i innvendig fukttilskudd med utendørs lufttemperatur. Figur fra: (Standard Norge, 2012)

Ifølge NS-EN ISO 13788:2012 antas det å være et konstant innvendig fukttilskudd for utelufttemperaturer under 0 °C og over +20 °C. Mellom 0 °C og +20 °C antas det at fukttilskuddet reduseres lineært. Effekten av utendørs temperatur på innvendig fukttilskudd er dokumentert i blant annet Kalamees, et al. (2006), Korpi, et al. (2008), Geving & Holme (2012) og Vinha, et al. (2018).

### 2.1.5 Fuktproduksjon

Når uteluft trekkes inn i boligen gjennom ventilasjonssystemet, vil den varmes opp og få en volumutvidelse. I henhold til den ideelle gassloven er volumutvidelsen større jo mer lufta varmes opp. Vanndamptrykket  $p_v$  forblir uendret på grunn av volumutvidelsen.

Vanndampkonsentrasjonen reduseres noe ved oppvarming, men for de fleste praktiske formål kan denne volumendringen neglisjeres. Det antas derfor at vanndampkonsentrasjonen forblir uendret ved oppvarming av luft. Med denne forenklingen kan vanndampkonsentrasjonen i innelufta ved en gitt fuktproduksjon  $G$  (kg/h) i et rom under stasjonære forhold uttrykkes følgende:

$$v_i = v_u + \frac{G}{n \cdot V} = v_u + \Delta v \quad (8)$$

hvor:

- $V_i$  er dampkonsentrasjonen inne (kg/m<sup>3</sup>)

- $V_u$  er dampkonsentrasjonen ute ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- $\Delta v$  er fuktilskudd ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- $N$  er antall luftvekslinger ( $\text{h}^{-1}$ )
- $V$  er romvolumet ( $\text{m}^3$ )

Luftvekslingstallet  $n$  angir mengden tilført friskluft,  $L$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) relativt til romvolumet  $V$  ( $\text{m}^3$ ), det vil si  $n = L / V$ . For boliger er det vanlig å kreve at utelufttilførselen skal tilsvare et luftskifte på minst 0,5 luftvekslinger per time ( $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ ).

Likning (8) indikerer at vandampkonsentrasjonen til den lufta som trekkes ut fra en bolig avhenger av tilstanden til den lufta man ventilerer med (utelufta), luftskiftet (den mengden ventilasjonsluft som tilføres rommet), de fuktkildene man har i den aktuelle sonen og romvolumet. Luftfuktighetsnivået i innelufta vil kontinuerlig endres mot en likevekstsfuktighet med omgivelsene. Dersom det starter en tilleggs-fuktproduksjon  $G$  i et rom, vil vandampkonsentrasjonen endre seg eksponentielt mot en ny likevekstsverdi. Avtrekk av fuktig luft og tilførsel av ny luft i rommet vil føre til at vandampkonsentrasjonen i lufta gradvis tynnes ut. Når en tilleggs-fuktproduksjon settes i gang fra en innendørs fuktkilde, vil fuktigheten normalt ikke tilføres med konstant hastighet (ikke-stasjonære forhold). Med utgangspunkt i likning (8) kan fuktproduksjonen fra en innendørs fuktkilde uttrykkes som en tidsavhengig størrelse  $G'$

$$G' = (v_i - v_u) \cdot n \cdot V dt \quad (9)$$

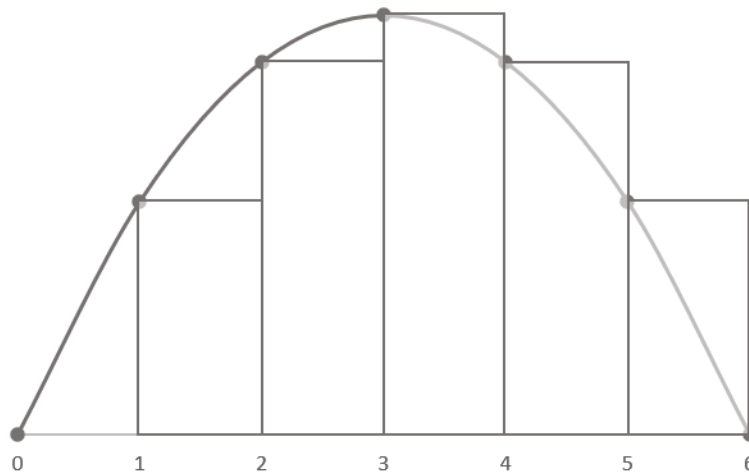
Så lenge produktet på høyre side av likningen er forskjellig fra null, tilsier det at det eksisterer en fuktgenerende kilde i den aktuelle sonen. Med andre ord vil en gitt fuktkilde produsere fuktmengden  $G'$  (g) så lenge det absolutte fuktinnholdet i avtrekkslufta  $v_i$  er høyere enn det absolutte fuktinnholdet i tilførselslufta  $v_u$ . For å beregne total fuktproduksjon  $G'$  fra en innendørs fuktkilde kan man benytte en numerisk fremgangsmåte. Med utgangspunkt i likning (9) kan total fuktighet generert i en gitt sone antas å være tilnærmet lik summen av et endelig antall like avstandsintervaller fra et startpunkt  $a$  (s) der fuktilskuddet starter å øke ( $\Delta v > 0$ ) til et sluttspunkt  $b$  (s) der fuktilskuddet til slutt når null igjen ( $\Delta v = 0$ ). Antall intervaller mellom disse to punktene  $n$ , kan velges fritt ut ifra antall kjente punkter. Antall intervaller bestemmer nøyaktigheten av summeringen, hvor flere intervaller gir økt nøyaktighet. Likning (9) kan deretter summeres som en Riemannsum over intervallet  $[a,b]$  med  $n$  likt fordelte rektangler for å beregne den totale fuktproduksjonen i gram,  $G$  (g).



$$G = n \cdot V \sum_{i=1}^n (v_i - v_u)_{(i-1)} \cdot \Delta t \quad (10)$$

hvor  $\Delta t = (b - a) / n$

Likning (10) uttrykker nedre Riemannsum, der venstre endepunkt av hvert intervall benyttes til å estimere arealet av  $n$  rektangler som til slutt summeres opp (Hughes-Hallet, et al., 2005). Figur 2-5 viser en konseptuell illustrasjon av nedre Riemannsum hvor  $n = 6$  rektangler beregnes ut ifra 6 punkter. Riemannsummen vil avvike mest fra virkelig sum dersom fukttilskuddet i rommet har en rask stigning. Dette kan for eksempel forekomme under en dusj.



Figur 2-5: Konseptuell illustrasjon av nedre Riemannsum med  $n = 6$ , brukt til å beregne fuktproduksjon for en ikke-stasjonær prosess

### 2.1.6 Fukttransport

Fukt kan transporteres både i damp- og i væskeform, og begge transportformene kan opptre samtidig. Ved kapillærsuging transporteres fukt i vannfylte porer i materialene på grunn av forskjeller i porevannsundertrykk. Transport i gassfasen skjer hovedsakelig ved diffusjon og fuktkonveksjon.

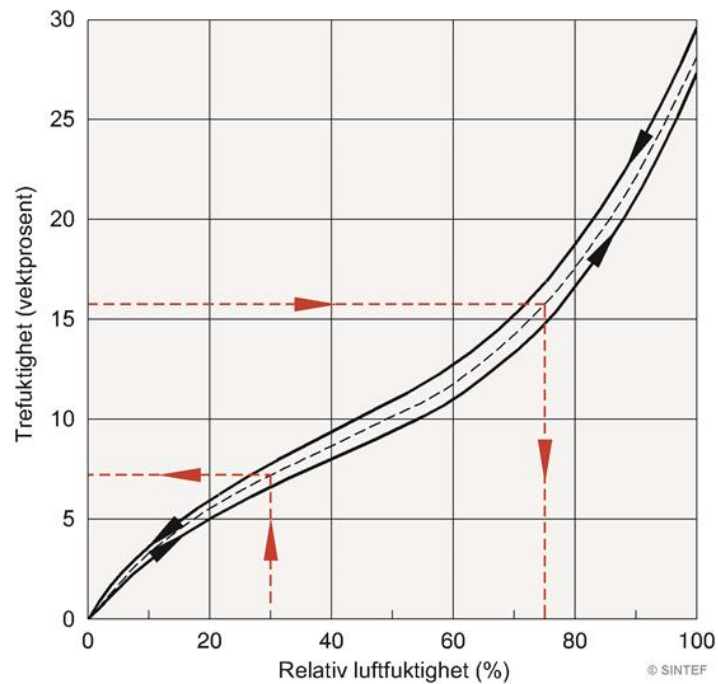
Diffusjon innebærer at vanndamp transporteres i retning av lavere vanndamptrykk. Ved konstant temperatur vil dampstrømmen kun være avhengig av vanndampens diffusjonstall og endring i vanndamptrykk. Diffusjon på grunn av temperaturforskjeller har liten betydning ved normale temperaturgradienter og vil i praksis neglisjeres.

Fuktkonveksjon er transport av vanndamp med luftstrømmer fra høyt lufttrykk til lavt lufttrykk. Selv små luftlekkasjer kan transportere større mengder fuktighet enn diffusjon. Naturlig konveksjon kan forekomme i luftfylte spalter og hulrom i bygningskonstruksjonen og bidra til at fuktighet trenger inn i materialene gjennom transport av luft (Byggforskserien 421.132). Inne i en bygning kan forskjeller i romtemperatur føre til luftstrømmer mellom ulike rom. Påtvungen konveksjon kan forekomme dersom det oppstår en forskjell i luftas totaltrykk over en bygningsdel. Dette kan for eksempel gjelde utvendige bygningsdeler og bygningsdeler mellom rom med stor temperaturforskjell. Luft som strømmer gjennom bygningsdelen, vil da bli gradvis nedkjølt og få stadig høyere relativ fuktighet. Dersom temperaturen i konstruksjonen når luftas duggpunkt vil det utfelles kondensvann. Påtvunget konveksjon kan også skyldes overtrykk eller undertrykk på grunn av ventilasjon og trykkvariasjoner på grunn av vind.

## 2.2 Fukt i materialer

### 2.2.1 Fuktopptak og fuktlikevekt

Materialer som kommer i kontakt med fukt i damp- eller væskeform, vil oppta mer eller mindre fukt. Unntaket er materialer med helt lukket porestruktur, som glass og metaller. Porenes form, størrelse og hvordan de er fordelt i materialet har stor innvirkning på materialenes fuktopptak- og fuktransportegenskaper. Porenes diameter kan variere fra molekylær størrelse til flere millimeter. Materialer som kan binde fukt i poresystemet kalles hygroskopiske materialer. Tre er et hygroskopisk materiale. Fuktinnholdet i et hygroskopisk materiale vil ved konstant temperatur og fuktinnhold gradvis tilpasses den relative fuktigheten i omgivende luft. Da er damptrykket i væskesjiktene i materialet like stort som romluftas damptrykk. I denne tilstanden har materialet nådd sin likevektsfuktighet. Ved å måle likevektsfuktigheten ved forskjellige RF-nivåer har man for mange materialer tegnet opp såkalte sorpsjonskurver som beskriver denne fuktlikevekten. Tre og trebaserte materialer har nokså entydig definerte sorpsjonskurver der man kan lese av RF som tilsvarer det målte absolutte fuktinnholdet, eller omvendt. Når trevirke fuktes opp, vil det innstille seg på et lavere fuktnivå enn når det tørker ut. Dette kalles hysteres, og forskjellen i trefuktigheten vises som to kurveforløp i sorpsjonskurven (se Figur 2-6).



Figur 2-6: Eksempel på sorpsjonskurve for tre, her furu med densitet 500 kg/m. Figur fra: (Byggforskserien 421.132)

Absolutt fuktinnhold ved likevekt er oppgitt som vektprosent, hvilket angir prosentvis fuktmenge per mengde tørrstoff i treet (kg/kg). For et trestykke (furu) som har ligget i et rom med RF lik 30 % over lengre tid vil man kunne lese av at fuktinnholdet ved likevekt er ca. 7 vektprosent. Dersom det måles et fuktinnhold på 16 vektprosent, vil dette tilsvare ca. 76 % RF i omgivende luft. Begge eksemplene er illustrert i Figur 2-6.

I bygninger kan fukt i materialer opptre i det hygroscopiske området (under ca. 98 % RF) hvor materialet er i kontakt med luft og i det kapillære området (over ca. 98 % RF) hvor materialet som regel er i kontakt med fritt vann. Uttøringshastigheten for oppsugd vann i et materiale vil være avhengig av fuktoverskuddets størrelse, omgivelsenes klima og av materialets egenskaper. I virkeligheten vil alltid omgivelsesklimaet endres over tid. Endringene i omgivelsenes fuktighetsinnhold vil forplante seg videre inn i materialene med dempning og faseforskyvning i forhold til fuktsvingningene i overflaten. Raske svingninger (for eksempel døgnsvingninger) vil bare merkes i liten dybde under materialoverflaten.

### 2.2.2 Fuktbufring

Materialer som har evnen til å binde fukt i poresystemet kalles hygroscopiske materialer. Den hygroscopiske massen til et materiale defineres ut ifra den sammensatte virkningen av varmekapasiteten (termisk masse) og fuktkapasitet (hygroscopisk masse). Varmekapasiteten til et materiale angir hvor stor endringen i varmeinnhold er som følger av en

temperaturendring i materialet. Fuktkapasiteten angir materialets endring i likevektsfuktinnhold ved endring av relativ fuktighet. Begge disse egenskapene er avhengige av temperatur og fuktnivå (Asphaug, et al., 2015).

Begrepet fuktbufring omhandler et hygroskopisk materiales evne til å ta opp og avgi fuktighet som funksjon av variasjonen i luftas fuktinnhold med tiden. I situasjoner hvor det er ønskelig å dempe variasjoner i inneluftas relative fuktighet, er fuktbufring et aktuelt tema. Korpi, et al. (2008) gjennomførte feltmålinger i 69 eneboliger bygget i tunge materialer. Temperatur og relativ fuktighet ble målt kontinuerlig i soverom i intervaller på 60 minutter over et år. Rapporten konkluderte med at den hygroskopiske massen til møbler, tekstiler osv., sannsynligvis spilte en viktig rolle for variasjonene i innendørs luftfuktighet. En rekke andre studier, blant annet Time (1998) og Holm, et al. (2005) dokumenterer også denne effekten. Ved konstante forhold i innelufta vil det innstille seg en likevekt mellom lufta og materialene, og hygroskopisk masse er da uten betydning. Dersom fuktinnholdet og/eller temperaturen i innelufta varierer med tiden vil det oppstå en utveksling av energi og/eller fukt mellom lufta og materialene. Dersom luftas lufttemperatur øker, vil det føre til at noe varme strømmer inn i materialenes overflater, og når lufttemperaturen synker vil varme fra overflatene avgis tilbake til rommet (termisk bufring). Endringer i luftas fuktinnhold vil føre til en vannstrøm inn eller ut ifra materialene (fuktbufring). Etersom den aktuelle fuktbufringen er avhengig av En kortvarig fuktvariasjon, som for eksempel fra en dusj, vil medføre vesentlig mindre fuktbufring enn en fuktbelastning med periodetid lik et døgn (Asphaug, et al., 2015).

## 2.3 Ventilasjon

Grunnprinsippet for boligventilasjon er at frisk luft tilføres oppholdssonene og at lufta skal bevege seg fra de minst forurensede rommene til de mest forurensede rommene, hvor lufta fjernes. Ventilasjonsanlegg i boliger skal hovedsakelig tjene to formål. Det skal sikre boligen tilfredsstillende luftkvalitet for brukerne med hensyn til helse og komfort. Det skal også begrense innendørs luftfuktighet slik at kondens og fuktskader (muggsopp og råte) ikke oppstår på innvendige overflater. Ventilasjonsanlegget skal erstatte brukt luft med tilstrekkelig mengde uteluft (Byggforskserien 552.301).

Det stilles en rekke krav til ventilasjon av bygninger og til kvaliteten på innelufta. Fra §13-1 i Byggeteknisk forskrift (TEK17) står følgende generelle krav til ventilasjon (DIBK, 2017):

### *§13-1. Generelle krav til ventilasjon*

*(1) Bygningen skal ha ventilasjon som sikrer tilfredsstillende luftkvalitet ved at*

*a) ventilasjonen er tilpasset rommenes utforming, forutsatte bruk og forurensnings- og fuktbelastning*

*b) luftkvaliteten i bygningen er tilfredsstillende med hensyn til lukt*

*c) inneluften ikke inneholder forurensning i konsentrasjoner som kan gi helseskade eller irritasjon.*

I veiledningen til paragrafens første ledd står det at ventilasjonsmengden må dimensjoneres ut ifra romtype, rommets utforming, aktiviteter og prosesser, samt forurensning- og fuktbelastning fra innredning, utstyr, materialer, prosesser, personer og husdyr (DIBK, 2017).

Direktoratet For Byggkvalitet stiller også krav til ventilasjonsanleggets plassering og utforming. For å forebygge helseskader og fare for tilsmussing i ventilasjonsinstallasjoner skal uteluft som ikke har tilfredsstillende kvalitet renses før den tilføres bygningen. Luft skal ikke føres fra rom med lavere krav til luftkvalitet til rom med høyere krav til luftkvalitet (DIBK, 2017).

TEK17 krever at alle boliger skal ha et ventilasjonssystem som sikrer et minimum frisklufttilførsel i soverom og et gjennomsnittlig minimum frisklufttilførsel i alle rom beregnet for varig opphold. Også rom som ikke er beregnet for varig opphold må ha et visst luftskifte (Byggforskserien 552.301).

#### 2.3.1 Tilluft i boenheter

TEK17 angir et minstekrav til luftmengder i bygninger, men forteller ikke hva som er tilstrekkelige luftmengder i alle sammenhenger. De absolutte minimumskravene oppgitt i TEK17 vil derfor nødvendigvis ikke være tilstrekkelig for å oppfylle funksjonskravene i forskriften. Noen av kravene spesifiseres med preaksepterte luftmengder i veiledningen. Ved å følge de preaksepterte ytelsene, anses funksjonskravet i TEK17 å være oppfylt (Byggforskserien 421.503).

TEK17 angir en gjennomsnittlig frisklufttilførsel i boenheter på minst 1,2 m<sup>3</sup> per time per m<sup>2</sup> gulvareal når boenheter er bebodd. Minst 26 m<sup>3</sup> friskluft per time per planlagt sengeplass skal

tilføres soverommene når rommene er i bruk. Rom som ikke er beregnet for varig opphold skal ha ventilasjon som sikrer 0,7 m<sup>3</sup> friskluft per time per m<sup>2</sup> gulvareal. For boenheter som ikke er bebodd eller hvor det er perioder med langvarig fravær angir veiledningen i TEK17 at friskluftstilførselen kan reduseres (DIBK, 2017). I følge (Byggforskserien 421.503) anbefales det et minimum frisklufttilførsel på 1,44 m<sup>3</sup> per time per m<sup>2</sup> gulvareal når boenheter er bebodd for å sikre god luftkvalitet.

### 2.3.2 Avtrekk i boenheter

Kjøkken, sanitærom og våtrom skal ifølge byggeteknisk forskrift ha avtrekk med tilfredsstillende effektivitet. Damp og matlukt fra koking og steking er de største forurensningskildene på kjøkkenet, mens aktiviteter som dusjing, vasking og tørking av klær produserer store mengder fuktighet i våtrom. I tillegg til et grunnavtrekk burde det alltid være mulighet for forsert avtrekk. Forsering vil si at ventilasjonsmengden kan justeres etter behov. Det skal sørges for forsert avtrekk fra kjøkkenet med avtrekkshette. For at matlukt ikke skal spre seg i boenheter må hetta utformes og plasseres slik at forurenset luft fanges opp på en effektiv måte. En ugunstig plassering og utforming av avtrekkshetta krever større avtrekksluftmengder (DIBK, 2017). Når det ikke er mulig å ha en ventilasjonskanal direkte ut fra kjøkkenet, er en vanlig løsning å benytte kullfilter. Da går lufta fra kjøkkenet gjennom et rensende filter som renses lufta for fettpartikler og lukt, før den tilføres rommet igjen. Denne løsningen fjerner derimot ikke fuktigheten i lufta og bør ifølge Byggforsk unngås (Byggforskserien 361.411). Veiledningen i TEK17 angir preaksepterte ytelser (minimum avtrekksmengder) i ulike rom som vist i Tabell 2-3.

Tabell 2-3: Preaksepterte ytelser for avtrekksluftmengder i bolig (DIBK, 2017)

Rom	Grunnventilasjon	Forsert ventilasjon
Kjøkken	36 m <sup>3</sup> /h	108 m <sup>3</sup> /h
Baderom	54 m <sup>3</sup> /h	108 m <sup>3</sup> /h
Toalett	36 m <sup>3</sup> /h	36 m <sup>3</sup> /h
Vaskerom/tørkerom	36 m <sup>3</sup> /h	72 m <sup>3</sup> /h

Mellom rom med tilluft og rom med avtrekk må det være mulighet for overstrømning. Overstrømning kan skje via åpninger eller egne ventiler i veggene eller himlingen, over eller under dører og i dørblad (Byggforskserien 552.303).

### 2.3.3 Dimensjonering av ventilasjonsanlegg

Byggeteknisk forskrift med veiledning angir tre måter å beregne ventilasjonsbehovet når boenheten er bebodd. Den største luftmengden blir dimensjonerende for ventilasjonsanleggets kapasitet ved normal bruk. Ventilasjonsanlegget kan dimensjoneres ut ifra minimum gjennomsnittlig frisklufttilførsel i boligen, minimum frisklufttilførsel per sengeplass eller ved minimum avtrekksluftmengde fra kjøkken, badrom og toalettrom ved normalt og forsert avtrekk (Byggforskserien 552.301). Kap. 2.3.1 og 2.3.2 angir dimensjonerende verdier i henhold til TEK17.

Et ventilasjonssystem burde ha tre kapasitetsstillinger. Nivå 1 (lav ventilasjon) kan brukes når boligen ikke er bebodd, nivå 2 (normalventilasjon) tilsvarer luftmengder ved normalt bruk og nivå 3 (forsert ventilasjon) brukes ved forsert avtrekk fra badrom eller kjøkken og benyttes ved større forurensningsnivåer i innelufta. Forsert avtrekk kan slås på automatisk ved behov eller styres med hovedbryter. I de fleste boenheter blir minimum avtrekksluftmengde dimensjonerende for ventilasjonsbehovet ved normalt og forsert avtrekk (Byggforskserien 552.301).

Det finnes tre hovedprinsipper for ventilasjon: naturlig ventilasjon, mekanisk avtrekksventilasjon og balansert ventilasjon (beskrives i Kap 2.3.4 og 2.3.5). Energikravene i TEK17 gjør at man i de fleste tilfeller må velge balansert ventilasjon. Naturlig ventilasjon og mekanisk avtrekksventilasjon avviker fra de forutsatte energiltakene i TEK17, men kan benyttes dersom ventilasjonsvarmetapene kompenseres med andre passive tiltak, som større isolasjonstykkelser (Byggforskserien 552.301).

### 2.3.4 Mekanisk avtrekksventilasjon

Mekanisk avtrekksventilasjon ble vanlig i nye boliger på 70-tallet. Dette systemet fungerer omtrent på samme måte som naturlig ventilasjon. Friskluft tilføres gjennom ventiler og utettheter i bygningskonstruksjonen, men i stedet for at avtrekket kun baserer seg på termisk oppdrift og trykkforskjeller, vil en mekanisk avtrekksvifte regulere luftmengden. I boliger er det vanligvis plassert en avtrekksvifte på taket eller i et skap over kjøkkenviften med utblåsing av avtrekksluft via takhatt. Fra avtrekksviften går det kanaler til kjøkkenvifte og våtrom hvor avtrekkslufta trekkes ut gjennom ventiler (FLEXIT, 2021).

### 2.3.5 Balansert ventilasjon

Ved balansert ventilasjon vil vifter sørge for at det er omtrent like store mengder tilførsel og avtrekk av ventilasjonsluft. Frisklufta fordeles rundt i bygningen via kanaler og tilføres soverom og andre oppholdsrom gjennom tilførselsventiler. Avtrekksventiler i kjøkken, badrom, toaletter, vaskerom og eventuelt boder trekker avtrekksluften ut. Ved fuktgenerering på badrom eller bruk av kjøkkenhette øker ventilasjonsbehovet, og ventilasjonen må forseres (Byggforskserien 552.301). I vinterhalvåret forvarmes tillufta med en varmegjenvinner. Byggforskserien anbefaler varmegjenvinnere med minst 80 % årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad. Den mest effektive og brukte formen for varmegjenvinner er roterende varmegjenvinner. Varmen fra avtrekkslufta lagres i rotoren og tilbakeføres til tillufta. Denne typen varmegjenvinner vil også til en viss grad gjenvinne fuktighet (Schild, 2002).



## 3 Metode

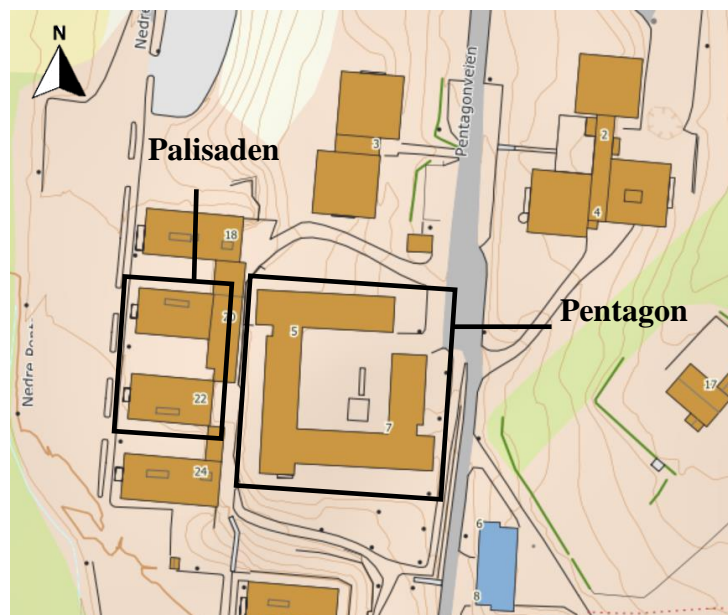
I dette kapitlet vil det bli gjennomgått hvordan det er valgt å gå frem for å besvare oppgavens forskningsspørsmål. Kapitlet er satt opp kronologisk for å gi en oversikt over feltarbeidet fra start til slutt. Først presenteres de valgte måleobjektene, etterfulgt av en beskrivelse av måleutstyret som er benyttet. Deretter gjennomgås innledende forberedelser og måleroppsett. Til slutt vil det bli forklart hvordan innhentet data blir brukt til å beregne fukttilskudd og fuktproduksjon i hver enkelt leilighet.

Det finnes to kategorier for innsamling av data, kvalitative- og kvantitative metoder. Den kvalitative metoden tar sikte på å fange opp en mening eller en opplevelse. Datainnsamlingen skjer ofte i form av deltakende observasjon eller ustrukturerte intervjuer. Innsamling av data ved hjelp av kvantitativ metode kjennetegnes som regel av målbare data der en ønsker å formidle forklaringer og det representative for et datasett. Resultatene uttrykkes i form av tall og statistikk (Dalland, 2012). I denne studien er det hovedsakelig benyttet kvantitative metoder for å besvare oppgavens problemstilling.

### 3.1 Presentasjon av valgte måleobjekter

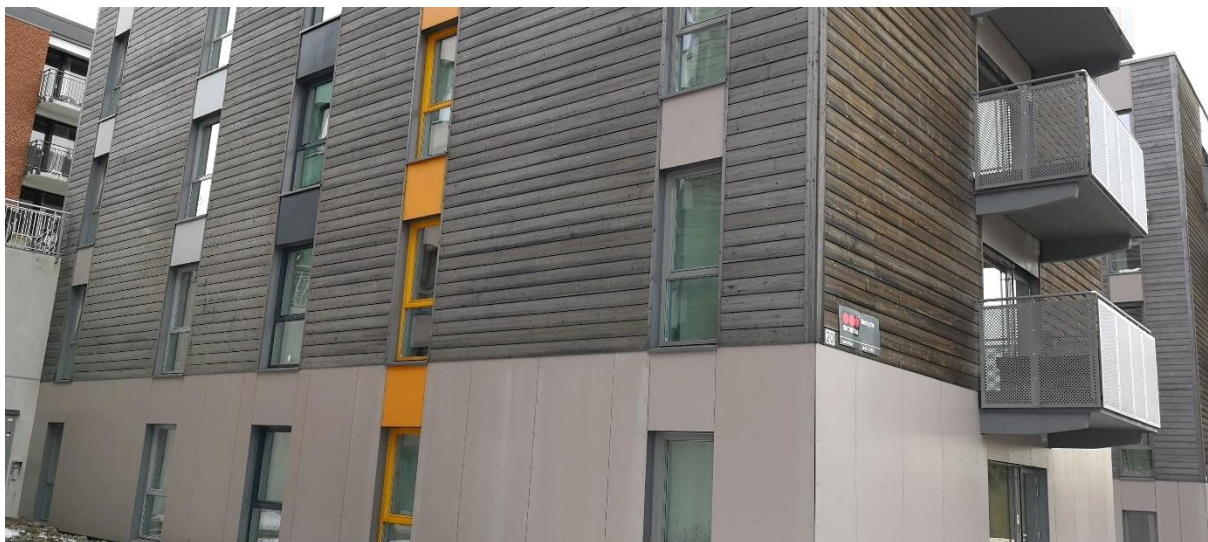
Målingene i dette prosjektet er gjennomført i studentboliger tilknyttet Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet på Ås. Boligene eies og driftes av Studentsamskipnaden i Ås (SiÅs) Bolig. Kriteriene for valg av måleobjekt var at boligene skulle ha en overføringsverdi til SINTEFs prosjekt *Healthy Energy-efficient Urban Home Ventilation*. Det ble derfor valgt å studere parleiligheter med åpen stue-/kjøkkenløsning med en grunnflate mellom 30 m<sup>2</sup> og 40 m<sup>2</sup>. Luftvekslingen i en bolig har innvirkning på innendørs fukttilskudd. For å kunne ha kontroll på ventilasjonsmengdene var et av kriteriene for valg av bolig at de skulle ha en form for mekanisk ventilasjonssystem. Utover dette var det også ønskelig å kunne studere effekten av forskjellige typer mekaniske ventilasjonssystemer på innendørs fukttilskudd. For å skaffe frivillige deltakere ble Studentsamskipnaden i Ås kontaktet for innspill til hvilke studentboliger som tilfredsstillte de ønskede kriteriene for prosjektet. Det ble valgt å fokusere på to typer leiligheter, parleiligheter av de opprinnelige studentblokkene bygget i perioden 1964-1975 (Pentagon) og parleiligheter av studentblokker bygget i år 2014 (Palisaden). Det ble sendt ut forespørsel til alle som bor i disse parleilighetene. Beboere som ønsket å delta i prosjektet tok så videre kontakt med masterstudenten. Det ble valgt å studere fire leiligheter av hver leilighetstype. Figur 3-1 viser et oversiktskart over byggene som er en del av

feltstudiet i denne masteroppgaven. Byggene er delt inn i bygningstypene *Palisaden* og *Pentagon*.



Figur 3-1: Oversiktskart over leilighetsblokkene som er en del av feltstudiet i denne masteroppgaven (Kartverket, 2021)

### 3.1.1 Palisaden



Figur 3-2: Nordfasaden av Palisaden. Foto: Cathrine Hafnor

Palisaden sine parleiligheter ble ferdigstilt i 2014 og er bygget i massivtre og i henhold til passivhusstandarden. Ytterveggene består av 20 cm mineralull festet direkte på massivtreelementene, med utlektet trekledning. Innsiden av ytterveggene er utlektet med 5 cm mineralull og gipsplater. Innervegg som skiller kjøkken/stue og soverom er ukledde

massivtrevegger. Overflatene er behandlet med to strøk lakk med lys pigment. Gulvene er dekket av et vinylbelegg. Badene har fliser på både gulv og vegger. Himlingen i alle rom er kledd med malte gipsplater. Leilighetene består av åpen stue-/kjøkkenløsning, bad og soverom. Det er plassert panelovner med termostater på kjøkken/stue og på soverom som beboerne selv kan justere (Semb, 2021).

Bygget har et balansert ventilasjonssystem med roterende varmegjenvinner som gjenvinner ca. 85 % av varmen. Det er plassert en avtrekksventil på badet som fungerer som leilighetens grunnventilasjon. Avtrekksventilens spjeld kan i praksis justeres, men det er tydelig skiltet «ikke juster». Det finnes én tilluftsventil på soverommet som skal forsyne hele leiligheten med friskluft. Beboerne kan ikke justere dette nivået selv. Kjøkkenvifta er en ventilator med kullfilter, hvilket er en vanlig løsning når det ikke er mulig å ha en ventilasjonskanal direkte ut ifra kjøkkenet. Her går lufta fra kjøkkenet gjennom et rensende filter før den tilføres rommet igjen. Ventilasjonsmengden gjennom kjøkkenventilatoren kan forseres etter behov (tre nivåer) (Semb, 2021). Målte luftmengder finnes i Kapittel 3.4.5.

### 3.1.2 Pentagon



*Figur 3-3: Nordfasaden av Pentagon. Foto: Cathrine Hafnor*

Leilighetene i Pentagon ble ferdigstilt i 1975 og består av bærende betongkonstruksjoner. Ytterveggene har 10 cm isolasjon av mineralull, vindsperre av asfaltapp og teglsteinsforblending. Leilighetene består av åpen stue-/kjøkkenløsning, bad og soverom. Innvendige veggoverflater består av malt tapet og vinylgulv. På badet er det fliser på gulvet og malt tapet på veggene. Alle tak er malte takplater av spon. Leilighetene varmes opp av

radiatorer som justeres av studentene. Leilighetene har mekanisk avtrekksventilasjon. Avtrekkslufta trekkes ut ifra badet og fungerer som leilighetens grunnventilasjon. Det er mulig å justere avtrekksventilens spjeld. Leiligheten har egne vertikale kanaler for kjøkkenventilatoren. Kjøkkenventilatoren skrues på under matlaging, og tilfører ingen grunnventilering utover dette. Kjøkkenhetta har kun én lufthastighet. To og to leiligheter deler samme vertikale avtrekkskanal, hvor det er enten er bad og bad eller bad og kjøkken som er koblet sammen. Avtrekkslufta slippes ut over taket (Semb, 2021). Målte luftmengder finnes i Kapittel 3.4.5.

I senere tid har vinduene blitt utskiftet og kjøkken og bad pusset opp. Det har også blitt etablert jordvarmeanlegg for hele Pentagon. Panelovnene ble i 2009 byttet ut med vannbåren varme (Semb, 2021). I perioden 2016-2018 ble det gjennomført en omfattende kanalrens for alle leiligheter. Arbeidet bestod i rensing av horisontale og vertikale hovedkanaler, påstikk, ventiler og kanalforgreininger. Det ble oppdaget at flere av badene hadde fuktskader på grunn av for lite luftgjennomstrømning. Det ble derfor montert gjennomstrømningsrister på badene (Eriksson & Fredrik, 2018). Under befaring gjennomført av studenten, ble det oppdaget at det ikke eksisterer luftespalte under dørbled til soverommene. Dersom døra er lukket, vil det derfor ikke være overstrømning av luft fra soverommet.

## 3.2 Måleutstyr

### 3.2.1 Fuktighetsmålere

*CP11* er et håndholdt måleinstrument som både måler og registrerer relativ fuktighet, CO<sub>2</sub> og temperatur. Den kan også måle duggpunkt og våttemperatur. Måleren kan lagre 18 000 målinger for CO<sub>2</sub>, fuktighet og temperatur. Målenøyaktigheten for RF er  $\pm 2,05\%$ . Det følger med en lader til måleren som man kan ha i under måling, hvis ikke går måleren på batteri. Sensoren kobles til PC med tilhørende kabel, og dataene lastes inn via programvaren ROTRONIC SW2.1. Dataene lastes ned på PC som både en Excel-fil og som ferdig generert graf (bildefil). I forkant av målingene kan man enkelt oppdatere dato og klokkeslett og bestemme tidsintervallet for logging i programvaren. Bilde av måleren er vist i Figur 3-4.



*Figur 3-4: CP11, måler RF, temperatur og CO<sub>2</sub>. Bildet er hentet fra produsentens hjemmesider (rotronic)*

*EL-USB-2+* er en USB-logger for relativ fuktighet og temperatur. Bilde av måleren er vist i Figur 3-5. Den er støv- og vanntett og kan lagre 16 382 loggninger for temperatur og 16 382 loggninger for RF. Målenøyaktigheten for RF er  $\pm 2,05$  %. Enheten startes og stoppes ved bruk av programvaren Easylog. Her har man også mulighet til å bestemme egne loggeintervaller. Måleinstrumentet er utstyrt med USB-plugg som kobles inn i PC. Loggdataene kan lagres på egen PC som en tabell eller graf i PDF-fil, som et bilde i jpeg-fil eller som en tabell i Excel-fil.



*Figur 3-5: EL-USB-2+, måler RF og temperatur. Bildet er hentet fra produsentens nettsider (LASCAR)*

*Tinytag ULTRA 2 – TGU-4500* har en innebygd sensor som måler temperatur og relativ fuktighet. Den er hovedsakelig for innendørs målinger og kan lagre opptil 32 000 data. Målenøyaktigheten for RF er  $\pm 3$  %. Loggeren krever programvaren Tinytag Explorer og en USB-kabel (CAB-0007-USB). Dataene overføres til egen PC ved USB-kabel. Via programvaren kan tidspunkt for målestart og loggeintervallet bestemmes. Bilde av måleren er vist i Figur 3-6. Det benyttes også én måler av typen *TinyTag ULTRA 2 – TGU-1500*. Sensoren fungerer på samme måte som *Tinytag ULTRA 2 – TGU-4500*, men kan kun lagre 7900 data.

*Tinytag Plus* har en innebygd sensor som måler temperatur og relativ fuktighet, og kan lagre opptil 32 000 data. Målenøyaktigheten for RF er  $\pm 3\%$ . Sensoren er vanntett og fungerer derfor også til målinger utendørs. Dataene overføres til egen PC ved USB kabel (CAB-0007-USB). Via programvaren, *Tinytag Explorer*, kan tidspunkt for målestart og loggeintervallet bestemmes. Bilde av måleren er vist i Figur 3-7.



*Figur 3-6: Tinytag ULTRA 2 – TGU-4500, måler RF og temperatur. Bildet er hentet fra: (Tinytag)*



*Figur 3-7: TinyTag Plus, vanntett RF- og temperatursensor. Bildet er hentet fra: (RS)*

*OmniSense S-160* måler temperatur og relativ fuktighet i luft og trefuktighetsinnhold. Bildet av måleren er vist i Figur 3-8. De målte dataene overføres trådløst til en lokal Gateway, som igjen kan leses av via programvaren *Omnisense*. Sensoren må først ha kommunisert med Gateway for at den skal være synkronisert med riktig dato og klokkeslett. Sensoren er batteridrevet og har en levetid på opptil 15 år. Måleren er utstyrt med to skruer (elektroder) som man skrur inn i trevirket. Trefuktinnholdet bestemmes ut ifra den elektriske motstanden mellom elektrodene i trevirket. Avlest verdi gjenspeiler det fuktigste området som skaper kontakt mellom elektrodene. Programvaren kan generere grafer for RF, temperatur og trefuktighet ut ifra målte data med foretrukket tidsoppløsning (minutt, time, døgn).



Figur 3-8: OmniSense S-16 sensor og Gateway, måler RF og temperatur i luft og trefuktighet. Bildet er hentet fra: (OmniSense)

### 3.2.2 Luftmengdemåler

SwemaAir 300 er et multifunksjonelt instrument (anemometer) for måling av lufthastigheter, luftmengder, luftfuktighet og lufttemperatur. Den er designet for nøyaktig testing og justering av ventilasjonssystem. Måleresultatene vises direkte på instrumentets display. SwemaAir 300 inkluderer en rekke måleprogrammer og kan kobles til ulike typer måletrakter.

SwemaFlow 125 er en måletrakt med kjent tverrsnitt. Lufthastigheten måles over dette tverrsnittet ved hjelp av viklede varmetråder. Temperaturfallet over trådene gir en god indikasjon på gjennomsnittlig luftstrøm. Luftmengdene beregnes av tilkoblet SwemaAir 300. Bilde av anemometer og trakt er vist i Figur 3-.



Figur 3-9: Anemometer (SwemaAir 300) tilkoblet måletrakt (SwemaFlow 125)  
Foto: Cathrine Hafnor

### 3.3 Feltarbeidets innledende forberedelser

#### 3.3.1 Tidlige testmålinger

Innledningsvis ble det foretatt flere testmålinger i studentens egen bolig for å bli kjent med målesensorene og oppdage eventuelle avvik i måleresultatene mellom de ulike sensorene. Alle de ulike sensortypene ble i tur og orden plassert på samme sted i rommet for å logge data over et døgn. Måledataene ble sammenliknet med CP11-loggere. Disse målerne er nyligst kalibrert og ble derfor ansett som de mest pålitelige målerne. Alle CP11-loggere ble også sammenliknet med hverandre for å oppdage eventuelle avvik i måleresultatene. Det ble også gjennomført et forsøk for å sjekke hvor stor påvirkning sensorenes høyde over gulv har på fuktighetsnivået som blir registrert. Tre CP11-sensorer ble plassert 0 m, 1,1 m og 2 m over gulv på badet og logget data over et døgn. Dette forsøket viste at de høyeste fuktighetsnivåene oppstod høyt i rommet og de laveste oppstod langs gulvet. Dette kan forklares ved at varm og fuktig luft stiger, samt at fuktigheten i dusjkabinetter slippes ut i toppen av kabinettet. Det ble valgt å plassere målesensorene midt i rommet (ca. 1.1 m over gulv) i alle rom for å finne gjennomsnittsverdier i rommet. 1,1 m (hodehøyde i sittende stilling) vil dessuten stort sett representere den opplevde lufta til beboerne. Tabeller og grafer fra testmålingen finnes som vedlegg A.

#### 3.3.2 Kalibrering av målesensorer

Kalibrering er en sammenlikning av måleverdien til et måleinstrument opp mot et annet referanseinstrument med større nøyaktighet. Over tid har måleinstrumenter en tendens til å gi målefeil. Grunnene til dette kan være røff behandling, aldring, overbelastning, korrosjon, slitasje eller hukommelsesdefekter (Skatvedt, 2015). Ettersom resultatene indikerte målefeil på flere prosent for noen av loggerne, ble det besluttet å gjennomføre en mer nøyaktig egenkalibrering av alle RF-målere.

Målerkalibreringen skulle i utgangspunktet gjennomføres før måleoppstart ved å benytte NMBUs eget klimaskap. Under dette arbeidet ble det oppdaget en feil ved klimaskapet og kalibreringen kunne ikke gjennomføres før oppstart av feltmålingene. Kalibreringen ble derfor gjennomført etter at begge måleperiodene var avsluttet ved å benytte SINTEFs klimaskap. Byggforsker fra SINTEF eksponerte målerne for kalibreringsklima og lastet ned data som ble oversendt til studenten for analysering. Klimarommet holdt først konstant temperatur på 20 °C og RF lik 15 %, 40 % og 90 % med 4 timers intervall. Deretter ble



målerne eksponert for et klima som holdt 28 °C og RF lik 30 %. Datasettene ble sammenliknet med verdiene til en referansemåler som ble eksponert for det samme klimaet som øvrige sensorer. Datasettene viste at målesensorenes temperaturmålere var svært nøyaktige og trengte derfor ikke å kalibreres. Sensorenes verdier for relativ fuktighet hadde større eller mindre avvik fra referansemåler og ble alle kalibrerte. Ved å plote de fire målte verdiene for relativ fuktighet  $RF_{avlest}$  mot riktige verdier for RF ved ulikt klima  $RF_{cl}$  ble det beregnet en lineær regresjonslinje for hver måler. Regresjonslinjen beskriver hvordan responsvariabelen  $RF_{riktig}$  endret seg når forklaringsvariabelen  $RF_{avlest}$  skifter verdi.  $RF_{riktig}$  beregnes ved hjelp av følgende formel:

$$RF_{riktig} = a \cdot RF_{avlest} + b$$

All feltdata ble korrigert ved hjelp av beregnede forskyvningsfaktorer, stigningstallet  $a$  og skjæringspunktet  $b$ , i forkant av dataanalysen.

### 3.3.3 Personvern

Dette prosjektet omhandler analyse av privatpersoners daglige aktiviteter i hjemmet, og krever dessuten at studenten flere ganger må inn i privatboliger. Samtykkeskjema ble tidlig sendt inn til Norsk senter for forskningsdata (NSD) for godkjenning. Samtykkeskjemaet ble signert av samtlige beboere. Usignert versjon finnes som vedlegg B.

For å sikre at ingen uvedkommende får tilgang til innsamlede personopplysninger, ble alle leilighetsnummer erstattet med en kode. Kodene ble lagret på en egen navneliste adskilt fra alt datamateriale.

## 3.4 Oppsett og gjennomføring

Ut ifra antall tilgjengelige sensorer i prosjektet ble det besluttet å gjøre målinger i to måleperioder. Hver måleperiode varte i 14 dager. Det ble gjort målinger i to Palisaden-leiligheter og to Pentagon-leiligheter i hver måleperiode. Dette muliggjorde datalogging for begge leilighetstypene under forskjellig uteklima. Tabell 3-1 viser en oversikt over de planlagte måleseriene.

Tabell 3-1: Oversikt over planlagte måleperioder

<b>Dato</b>	<b>Boligtype</b>	<b>Leilighet</b>	<b>Målinger</b>
Måleperiode 1			
24.02.21 – 10.03.21	Palisaden	PA.1	RF, temperatur, trefukt
24.02.21 – 10.03.21	Palisaden	PA.2	RF, temperatur
24.02.21 – 10.03.21	Pentagon	PE.1	RF, temperatur
24.02.21 – 10.03.21	Pentagon	PE.2	RF, temperatur
Måleperiode 2			
10.03.21 – 24.03.21	Palisaden	PA.3	RF, temperatur, trefukt
10.03.21 – 24.03.21	Palisaden	PA.4	RF, temperatur
10.03.21 – 24.03.21	Pentagon	PE.3	RF, temperatur
10.03.21 – 24.03.21	Pentagon	PE.4	RF, temperatur

### 3.4.1 Befaring og testmålinger i leiligheter

Det ble lagt inn gode marginer for å sikre at målingene var i gang før kritisk dato for måleoppstart. Denne datoen ble satt for å sikre at begge måleperiodene var gjennomført før studentenes påskeferie. I dagene før måleoppstart ble det gjennomført befaring i leilighetene, utplassering av målesensorer, testmålinger og luftmengdemålinger.

For å tolke målingene er det nødvendig med tilstrekkelig informasjon om de målte leilighetene. Det ble derfor gjennomført befaring i hver enkelt leilighet før oppstart av målingene. Romvolum, plassering av fuktighetsgenererende inventar og mengden hygroskopisk materialer var av særlig interesse. Mengden hygroskopisk materiale ble delt inn i tre nivåer, herunder liten, middels og stor hygroskopisk masse. Utfylte skjemaer etter befaring finnes som vedlegg C. Alle målesensorene ble utplassert to dager før planlagt målestart for å gjennomføre en testmåling. Under denne testmålingen kunne studenten forsikre seg om at alle målerne virket og logget med riktige innstillinger. Beboerne fikk også testet om plasseringen av målerne fungerte med deres bruksmønster, med mulighet for omplassering dersom beboerne skulle ønske det. Det ble også gjennomført luftmengdemålinger i forkant av begge måleperiodene. For å ha kontroll på avtrekksmengdene ble fuktighetsmålere plassert i kanaler før luftmengdemålingene ble gjennomført. Det ble også gjennomført luftmengdemålinger før målerne ble fjernet fra leilighetene i slutten av måleperiodene. Dette ble gjort for å kontrollere om spjeldene hadde samme innstilling som før måleperioden startet. Fremdriften for dagene før oppstart av begge måleperiodene finnes som vedlegg D.

### 3.4.2 Måling av RF og temperatur

Alle sensorene ble programmert til å logge data hvert minutt. Før utplassering ble hver sensor merket med egen kode. Tabell over alle sensorene som ble benyttet og hvilket rom de ble plassert i finnes som vedlegg E. I hver leilighet ble det benyttet to sensorer av typen CP11, som i tillegg til RF og temperatur måler CO<sub>2</sub>. Variasjoner i CO<sub>2</sub>-nivå gir en god indikasjon på personbelastning og aktivitetsnivå. CP11-sensorene ble plassert i stue/kjøkkenen og soverom. Målt CO<sub>2</sub>-nivå skal benyttes til å analysere hvilke fuktbelastninger som kan skyldes beboernes tilstedeværelse. De resterende tre sensorene måler kun RF og temperatur, og ble plassert på bad og i ventilasjonskanal. I Palisaden ble det plassert ut én sensor i leilighetens tilluftskanal og én sensor i leilighetens avtrekkskanal, vist i Figur 3-10 og Figur 3-11.



*Figur 3-10: Ut-plassering av målesensor (EL-USB-2+) i tilluftskanal (Palisaden)  
Foto: Cathrine Hafnor*



*Figur 3-11: Ut-plassering av målesensor (EL-USB-2+) i avtrekkskanal (Palisaden)  
Foto: Cathrine Hafnor*

I Pentagon, hvor leilighetens tilluft tilføres via friskluftsventiler under vinduene, ble det plassert ut én sensor i badets avtrekkskanal og én i kjøkkenhetta. Ut-plasseringen er vist i Figur 3-12 og Figur 3-13.

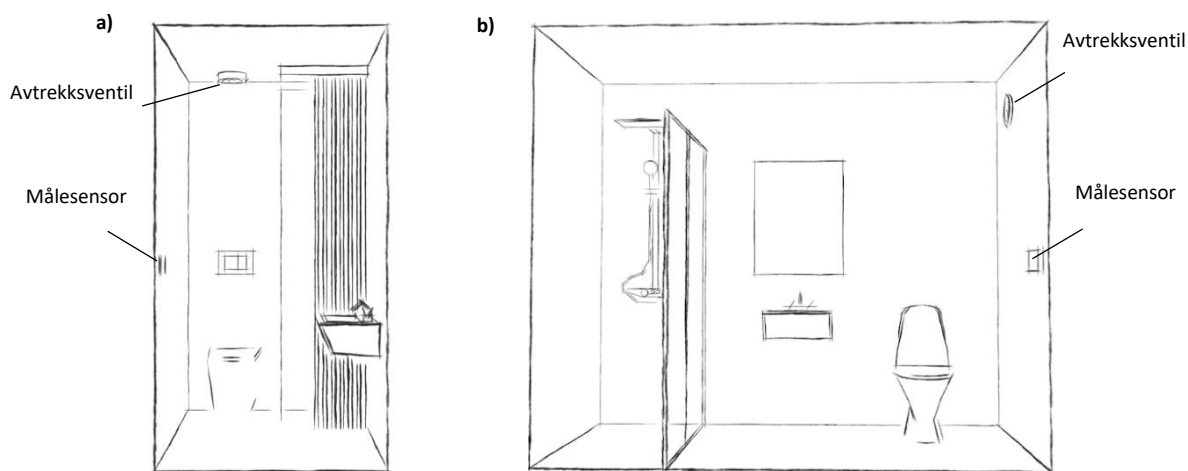


*Figur 3-12: Ut plassering av målesensor (TinyTag) i avtrekkskanal på bad.  
Foto: Cathrine Hafnor*



*Figur 3-13: Ut plassering av målesensor (TinyTag) i avtrekkslette.  
Foto: Cathrine Hafnor*

Alle sensorene ble plassert på omtrent samme sted og med samme høyde (ca. 1,1 m over gulv) i alle leilighetene innenfor samme boligkategori. Målerne ble enten plassert på inventar eller tapet fast til vegg. Figur 3-14 viser eksempel på plassering av målesensor på et Palisaden- og Pentagon-bad. Nøyaktig plassering i rommet varierer noe fra bad til bad (se plantegninger i kapittel 3.4.3). Alle sensorene ble sikret god avstand fra vinduer, oppvarmingskilder, direkte sollys og ytterdører. Ved overgang fra kald utetemperatur til varm innetemperatur, kan det ta noe tid før riktige verdier kan avleses. Det ble derfor sikret at måleren hadde samme temperatur som omgivende luft før målingene startet. På grunn av plassbegrensninger i noen av målesensorenes dataminne, ble det planlagt tømning av sensorer hver fjerde dag i hele måleperioden.





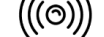


Figur 3-14: Skisse av utplassering av målesensor på bad. Figur a) viser et typisk Palisaden-bad og figur b) viser et typisk Pentagon-bad. I Palisaden er det montert dusjforheng, mens det i Pentagon er dusjvegg i glass

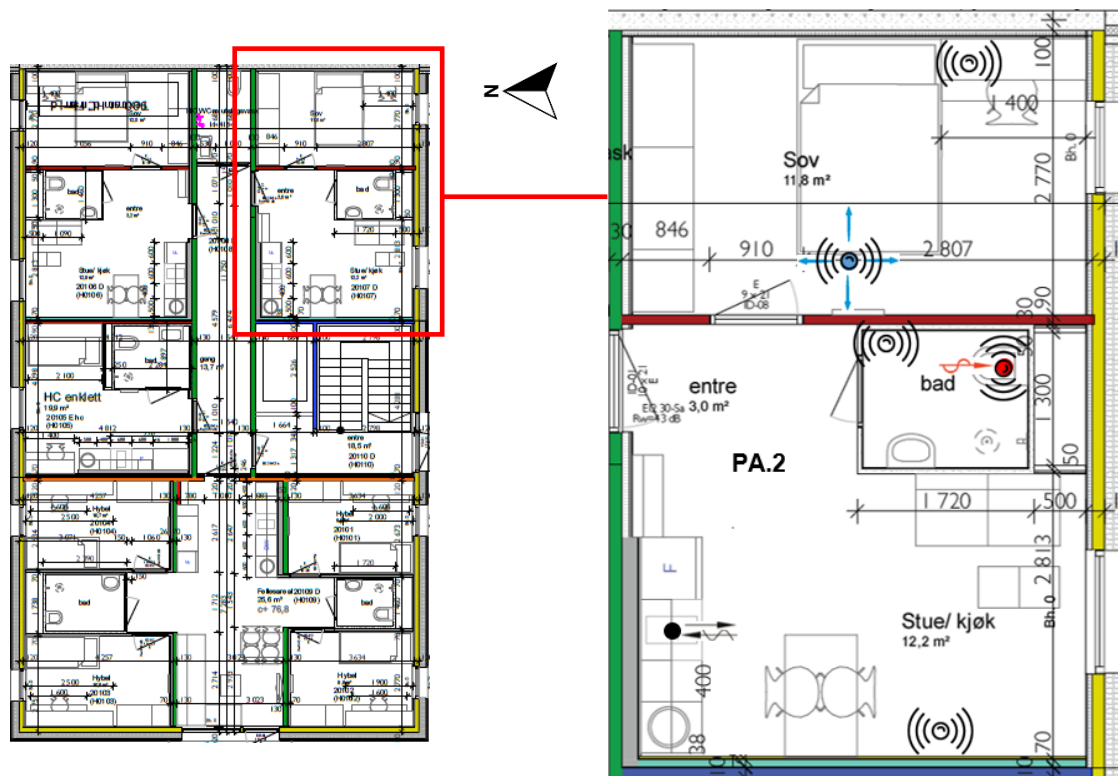
### 3.4.3 Plantegninger

Figur 3-15, Figur 3-16 og Figur 3-17 viser plantegning over leiligheter tilknyttet Palisaden. Plantegninger over leiligheter tilknyttet Pentagon er vist i Figur 3-18 og Figur 3-19. Tabell 3-2 forklarer symboler benyttet i plantegningene.

Tabell 3-2: Symbolforklaring tilhørende plantegninger

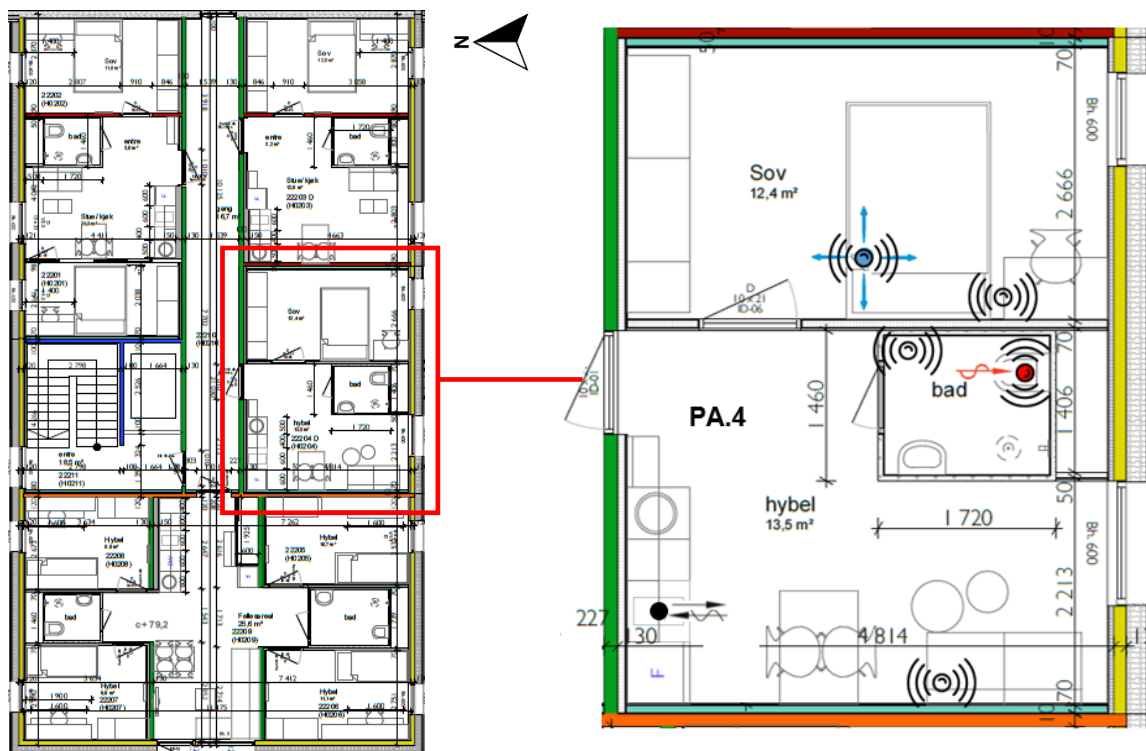
Symbol	Illustrerer
	Avtrekkventil/kjøkkenventilator
	Kjøkkenventilator med kullfilter
	Mekanisk tilluftsventil
	Friskluftsventil
	Målesensor

## Palisaden



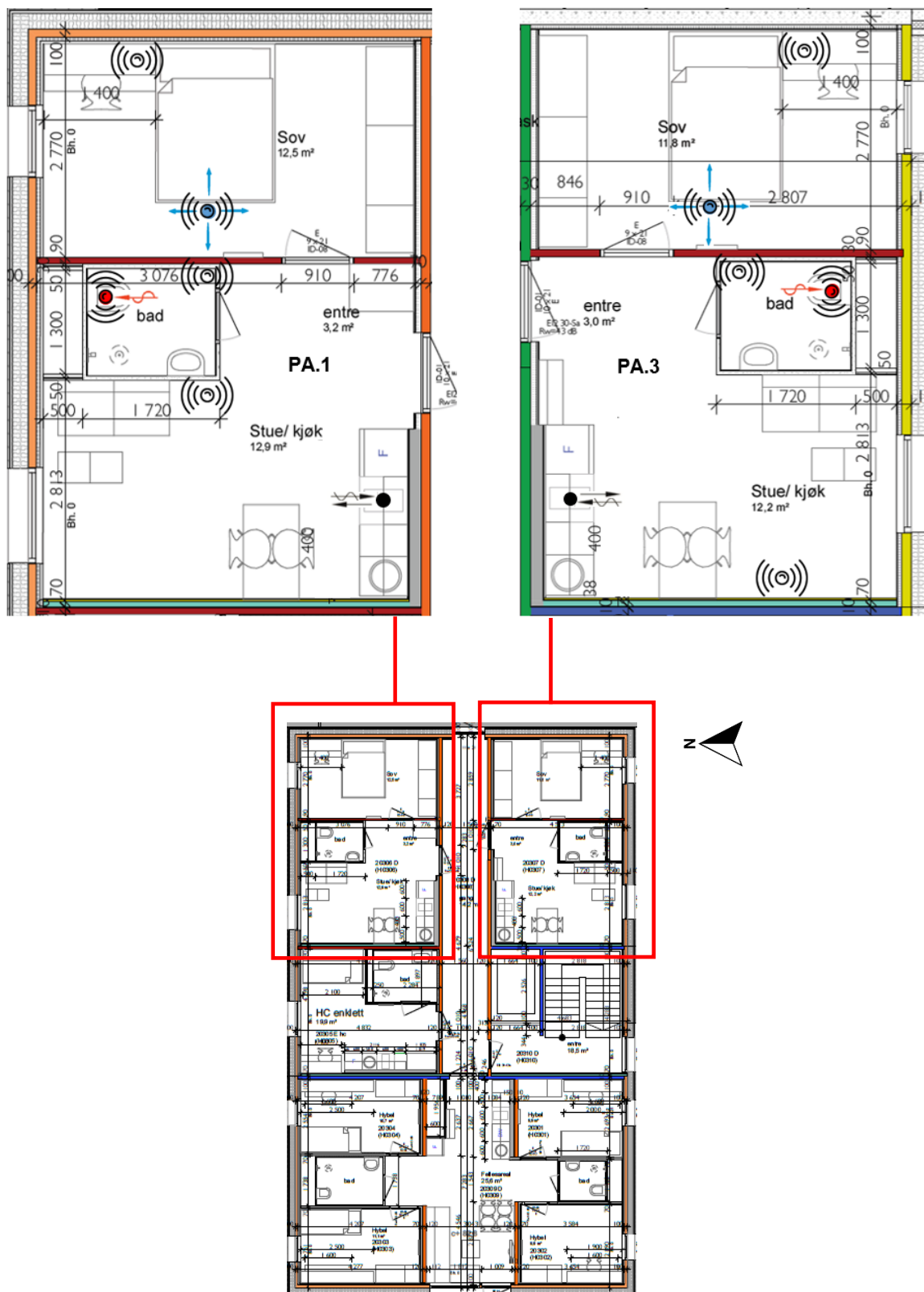
Figur 3-15: Plantegning over leilighet PA.2. Figuren viser plassering av avtrekk- og tilluftsventiler, samt plassering av målesensorer (Kilde: Redigerte branntegninger (Studentsamskipnaden i Ås))

## Palisaden



Figur 3-16: Plantegning over leilighet PA.4. Figuren viser plassering av avtrekk- og tilluftsventiler samt plassering av målesensorer (Kilde: Redigerte branntegninger (Studentsamskipnaden i Ås))

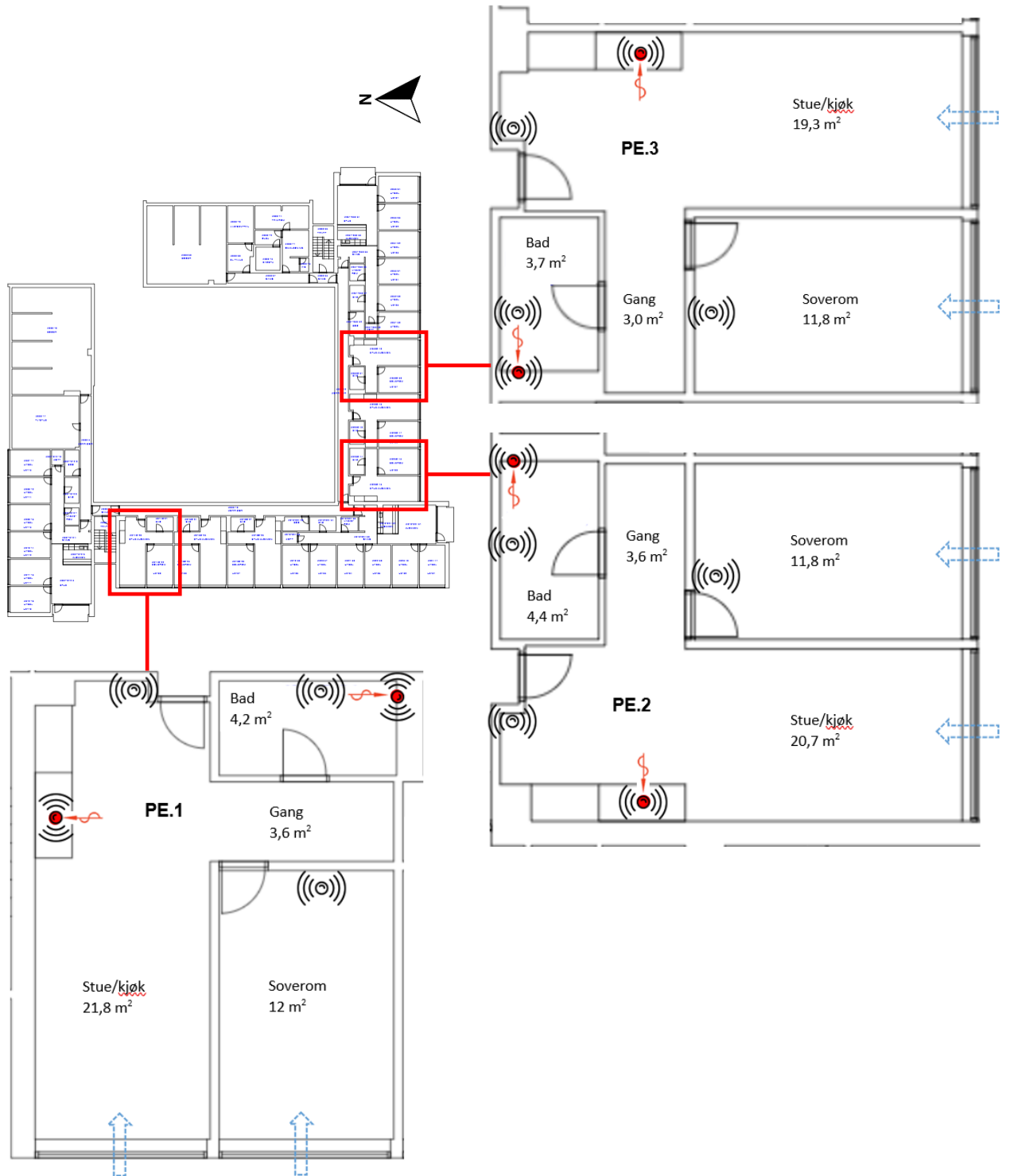
## Palisaden



Figur 3-17: Plantegning over leilighet PA.1 og PA.3. Figuren viser plassering av avtrekk- og tilluftsventiler, samt plassering av målesensorer (Kilde: Redigerte branntegninger (Studentsamskipnaden i Ås))

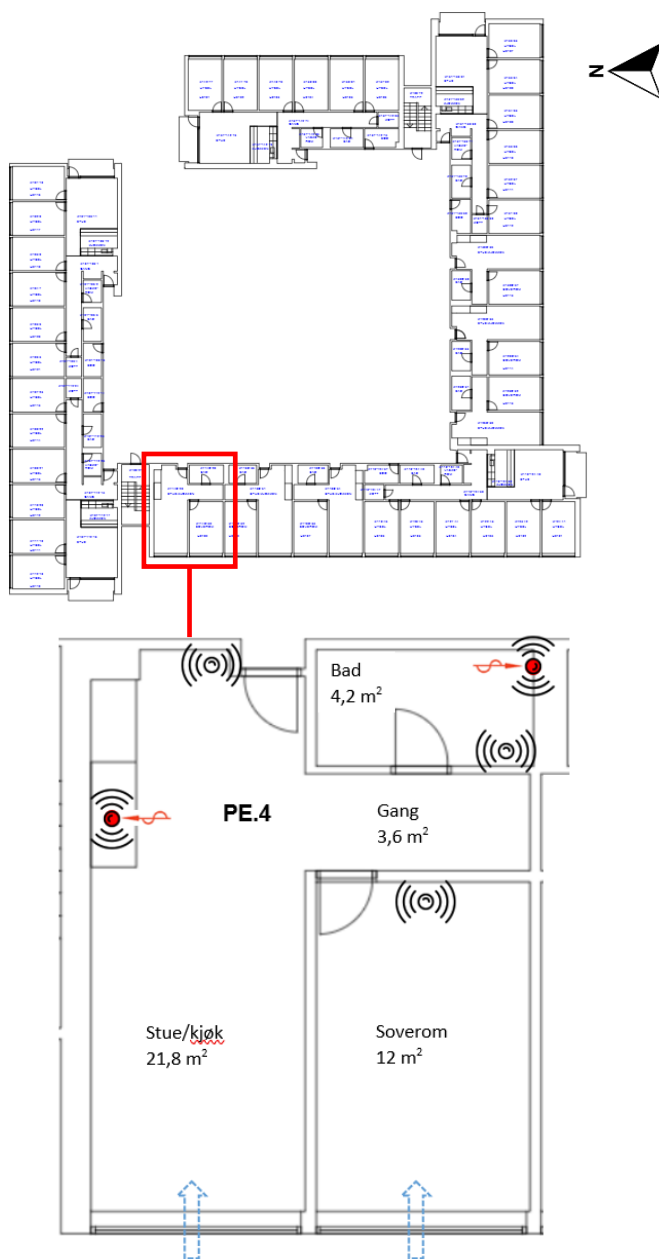


# Pentagon



Figur 3-18: Plantegning over leilighet PE.1, PE.2 og PE.3. Figuren viser plassering av avtrekk- og tilluftsventiler, samt plassering av målesensorer (Kilde: Redigerte branntegninger (Studentsamskipnaden i Ås))

## Pentagon

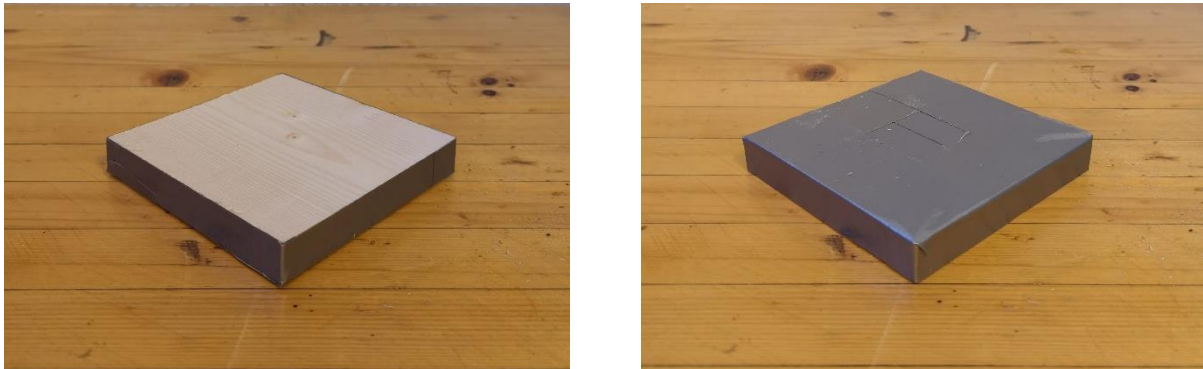


Figur 3-19: Plantegning over leilighet PE.4. Figuren viser plassering av avtrekk- og tilluftsventiler, samt plassering av målesensorer (Kilde: Redigerte branntegninger (Studentsamskipnaden i Ås))

### 3.4.4 Måling av trefuktighet

For å få en indikasjon på hvor mye av de daglige svingningene i innendørs luftfuktighet som potensielt kan dempes av bufrings- og diffusjonsegenskapene til trevirke, ble også variasjonene i trefuktighet registrert. Det skulle ifølge planen måles trefuktighet i to utvalgte Palisaden-leiligheter over en periode på én uke. På grunn av stengte laboratorier ved NMBU grunnet korona-restriksjoner, ble det kun gjennomført trefuktighetsmålinger i én leilighet. En

kvistfri furuplanke med bredde 10 cm og tykkelse 1,5 cm ble kappet i tre prøver med lengder på ca. 10 cm. For å få samme fuktinnhold i alle treklossene ved målestart, ble alle treklossene først lagt i et tørt klimarom med ca. 30 % RF og 21 °C i fem dager. Fem av sidene ble gjort diffusjonstette for å kunne sammenlikne fuktopptaket i treprøvene med fuktopptak i innendørs ubehandlet trepanel. Det ble benyttet en vannfast og sterkt klebende tape av typen STOKVIS tekstiltape, vist i Figur 3-20.

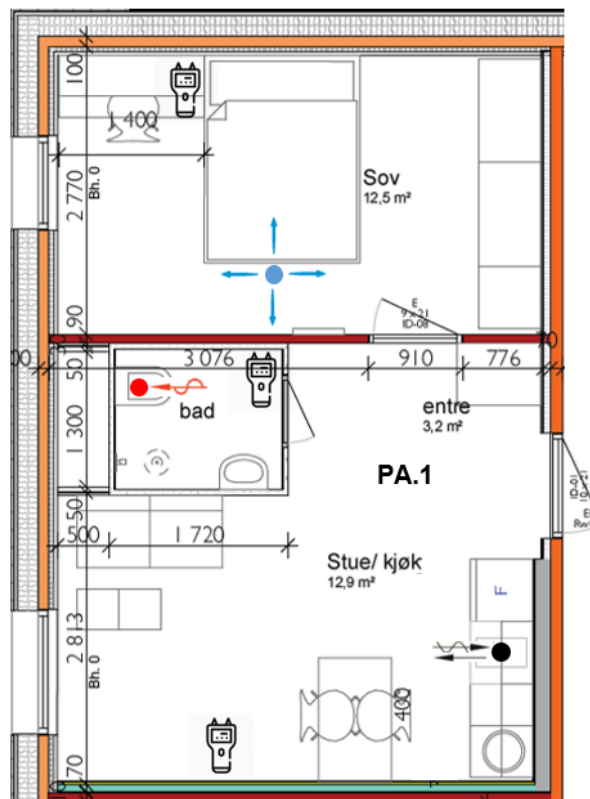


*Figur 3-20: Fem av sidene av treklossene ble gjort diffusjonstette ved å dekke overflatene med vannfast tape  
Foto: Cathrine Hafnor*

Sensorer av typen OmniSense S-160 ble montert i dataklossene langs treets fiberretning. Skruene ble skrudd ca. 1 cm inn i treklossen. Treklossene ble plassert i samme område og høyde som luftfuktighetsmålerne på baderom, kjøkken/stue og soverom. Figur 3-21 viser trekloss med fastmontert trefuktighetsmåler og Figur 3-22 viser plantegning over plassering av alle trefuktighetsmålerne i leiligheten.



Figur 3-21: Trefuktmåler plassert i leilighet.  
Foto: Cathrine Hafnor



Figur 3-22: Plantegning som viser utplassering av trefuktighetsmålere i leilighet (Kilde: Redigerte branntegninger (Studentsamskipnaden i Ås))

### 3.4.5 Måling av luftmengder ved ventiler

Det ble målt luftmengder ved alle ventiler for å få et mer helhetlig bilde av boligenes fuktbelastninger, samt sikre lik ventilasjonshastighet under feltarbeidet. Bakgrunnen for dette var et ønske om å detektere forskjeller mellom bygningstypene, uavhengig av eventuelle forskjeller i luftskifte. For å måle luftmengdene ved avtrekksventilen ble det benyttet den såkalte posemetoden. Ved hjelp av et anemometer (SwemaAir 300), utstyrt med en trakt med kjent tverrsnitt (SwemaFlow 125), ble lufthastigheten målt over dette tverrsnittet. Alle dører og vinduer var lukket under luftmengdemålingene.



*Figur 3-23: Måling av luftmengder gjennom avtrekksventil ved hjelp av SwemaAir 300 og SwemaFlow 125.*

*Foto: Dagfinn Hafnor*



*Figur 3-24: Måling av luftmengder gjennom kjøkkenventilator ved hjelp av SwemaAir 300 og måletrakt tilpasset kjøkkenhetter.*

*Foto: Dagfinn Hafnor*

Tabell 3-3 viser resultatene fra luftmengdemålingen i Palisaden-leilighetene. Det ble målt omtrent like avtrekks- og tilluftsmengder i alle disse leilighetene.

Avtrekksviftens spjeld var justerbar, men på grunn av et advarselsskilt om å justere spjeldet, har disse trolig ikke blitt rørt av studentene.

Tabell 3-3: Målte luftmengder i Palisaden-leiligheter. Luftmengdemålingene ble gjort med lukkede vinduer og dører

Leilighet	Avtrekk bad	Tilluft soverom	Kjøkkenventilator
PA.1	57 m <sup>3</sup> /h	50 m <sup>3</sup> /h	1. 112 m <sup>3</sup> /h 2. 139 m <sup>3</sup> /h 3. 156 m <sup>3</sup> /h
PA.2	59 m <sup>3</sup> /h	51.8 m <sup>3</sup> /h	1. 137 m <sup>3</sup> /h 2. 179 m <sup>3</sup> /h 3. 212 m <sup>3</sup> /h
PA.3	50 m <sup>3</sup> /h	48 m <sup>3</sup> /h	1. 129 m <sup>3</sup> /h 2. 149 m <sup>3</sup> /h 3. 162 m <sup>3</sup> /h
PA.4	59 m <sup>3</sup> /h	53 m <sup>3</sup> /h	1. 77 m <sup>3</sup> /h 2. 90 m <sup>3</sup> /h 3. 102 m <sup>3</sup> /h

Pentagon-leilighetene hadde justerbare spjeld i avtrekksviften, uten advarsel om justering. Første luftmengdemåling viste stor variasjon i avtrekksmengder mellom leilighetene. For å gjøre alle leilighetene så homogene som mulig for å lettere kunne sammenlikne og avdekke variasjoner mellom leilighetene, ble spjeldene justert slik at det ble tilnærmet likt avtrekk i alle leilighetene. I leilighet PE.4 ble det registrert et stort sug fra ventilasjonskanalene. Til tross for at denne leilighetstypen ikke har et grunnavtrekk fra kjøkkenventilatoren, ble det målt luftmengder gjennom ventilatoren selv om den var slått av. Grunnen til ekstra sug fra ventilasjonskanalene er uvisst, men kan skyldes at denne leiligheten deler samme kanaler som boligenes felles vaskerom. Tabell 3-4 viser luftmengdene etter innregulering. Målte luftmengder før innregulering finnes som vedlegg F.

Tabell 3-4: Luftmengder i Pentagon-leilighetene etter innregulering

Leilighet	Avtrekk bad	Kjøkkenventilator
PE.1	58 m <sup>3</sup> /h	85 m <sup>3</sup> /h
PE.2	57 m <sup>3</sup> /h	88 m <sup>3</sup> /h
PE.3	58 m <sup>3</sup> /h	83 m <sup>3</sup> /h
PE.4	65 m <sup>3</sup> /h	85 m <sup>3</sup> /h (37 m <sup>3</sup> /h grunnavtrekk)

### 3.4.6 Brukerdagbok

For å tolke målingene er det nødvendig med tilstrekkelig informasjon om de målte leilighetene og beboernes brukervaner. Beboerne ble bedt om å loggføre aktiviteter som gir betydningsfulle bidrag til innendørs fukttilskudd. For å gjøre det enklest mulig for beboerne å registrere aktiviteter gjennom dagen, ble det hengt opp lister for avkrysning. Tomme versjoner av disse listene finnes som vedlegg G. Aktiviteter som beboerne ble bedt om å loggføre var:

- når dusjen brukes
- når det lages middag og når det lages et annet varmt måltid enn middag
- når det vaskes opp for hånd
- når det vaskes gulv med våt klut eller mopp
- når det vannes potteplanter
- når det tørkes klær på snor/tørkestativ
- når det luftes gjennom vindu i mer enn 2 og mindre enn 30 minutter av gangen
- når det luftes gjennom vindu i mer enn 30 minutter sammenhengende

## 3.5 Beregningsmetoder

### 3.5.1 Innendørs fukttilskudd

Etter at begge måleperiodene var avsluttet og alle måledataene overført fra sensor til PC, ble det med utgangspunkt i teorien beskrevet i kapittel 2.1.2 og 2.1.4, beregnet innendørs fukttilskudd for hver sone i hver enkelt leilighet for hele måleperioden. Ved å bruke likning (5) og (6), kan målte verdier for RF og temperatur i aktuelt rom,  $\phi_r$  og  $T_r$ , og RF og temperatur utelufta,  $\phi_u$  og  $T_u$ , benyttes til å beregne det respektive vandampinnholdet,  $v_r$  og  $v_u$

$$v_r = \phi_r \cdot \frac{\rho_{sat_r}}{461,4 \cdot T_r}$$

$$v_t = \phi_u \cdot \frac{\rho_{sat_u}}{461,4 \cdot T_u}$$

For å beregne metningstrykket  $p_{sat}$  benyttes likning (3) eller (4), henholdsvis under eller over 0 °C. Deretter ble likning (7) fra teorikapittelet benyttet til å beregne fukttilskuddet i hvert

rom. Beregningsmetoden ble programmert i Excel med RF og temperatur i ute- og inneluft som inngangsparametere og innendørs fukttilskudd som utgangsparameter. Statistikkprogrammet JMP Pro ble brukt til å generere grafer som benyttes til å analysere de målte tidsseriene.

### 3.5.2 Fuktoproduksjon fra innendørs fuktkilder

En grundig loggføring av brukeratferd gjorde det mulig å kvantifisere fuktoproduksjonen fra innendørs fuktkilder. På grunn av denne masteroppgavens tidsbegrensning ble det ikke tid til å gjøre mange nok beregninger til at dataene kan fremstilles som en del av en kvantitativ metode. Det ble i stedet beregnet eksempler av fuktoproduksjon for å illustrere og konkretisere noen poeng i diskusjonskapittelet.

Ut ifra teorien i kapittel 2.1.5 kan det benyttes en numerisk beregningsmetode for å estimere total fuktoproduksjon fra en innendørs fuktkilde. Ved å bruke likning (10) fra teorikapittelet kan den totale fuktoproduksjonen  $G$  (g) estimeres med tilstrekkelig nøyaktighet.

$$G = n \cdot V \sum_{i=1}^n (v_i - v_u)_{(i-1)} \cdot \Delta t$$

Luftvekslingstallet  $n$  bestemmes ut ifra målte tilluftsmengder i hver leilighet. Antall måleintervaller bestemmes ut ifra antall målepunkter. I dette forsøket ble det registrert data hvert minutt, hvilket gir  $\Delta t = 60$  s. Startpunktet  $a$  (s) ble bestemt ved å analysere hvor fukttilskuddet  $\Delta v$  begynner å stige over den fuktigheten som allerede eksisterer i rommet. Bidraget fra andre fuktkilder subtraheres for hvert tidsintervall. Sluttpunktet  $b$  (s) bestemmes ved å analysere hvor fukttilskuddet igjen når det opprinnelige fuktnivået. Beregningsmetoden ble programmert i Excel med fukttilskudd, start- og slutt punkt, måleintervallet, romvolumet og luftskiftet som inngangsparametere. De tre sistnevnte inngangsparametere er konstante verdier for hvert rom i en leilighet.

## 3.6 Feilkilder

I et forskningsarbeid vil risikoen for feil av ulikt slag, alltid være til stede. Den typen feil som er mest uheldig for forskning, er *systematiske feil*. Denne typen feil kan inntreffe i hele forskningsprosessen, som for eksempel under rekruttering og behandling av forskningsobjekter, måling, tolkning av resultater, publikasjoner av resultater osv.



Systematiske feil vil kunne påvirke forskningen slik at resultatet blir misvisende. *Tilfeldige feil* vil ikke gå i en bestemt retning og er enklere å oppdage (Svartdal, 2019).

Det er en risiko for at flere typer feil kan inntreffe i dette prosjektet. Det er en risiko for at beboerne endrer atferd som følger av gjennomtenking og bevissthet i prosjektet. Én av sensortypene som benyttes viser kontinuerlig målt CO<sub>2</sub>- og fuktnivå. Dersom beboerne registrerer høye verdier av CO<sub>2</sub> eller fuktighet i rommet, kan dette føre til hyppigere vinduslufting eller bruk av kjøkkenhette enn vanlig. For å få så reelle resultater som mulig, er det viktig at deltakerne opprettholder de handlingsmønstrene de pleier. Det ble derfor oppfordret av studenten til å overse eller dekke over displayet på de sensorene som viser konsentrasjon av CO<sub>2</sub> og RF. Under selve målingene kan større eller mindre instrumentfeil forekomme. Et grundig forarbeid, kalibrering av utstyr og testmålinger er i denne sammenheng essensielt. Under behandling av resultater og analyser kan det oppstå feil i form av forventningseffekter. Slike feil oppstår fordi forsker har forventninger (hypoteser) til utfallet av undersøkelsen. For at slike forventninger ikke skal få påvirke utfallet av undersøkelsen, er det viktig at tvetydige resultater ikke tolkes slik at de «passer» med forventet utfall.

## 4 Resultat

I dette kapittelet presenteres resultatene fra målte tidsserier. På grunnlag av innhentede data fra begge måleperiodene er det beregnet fukttilskudd for alle registrerte målinger (1 min. log).

### 4.1 Målte data

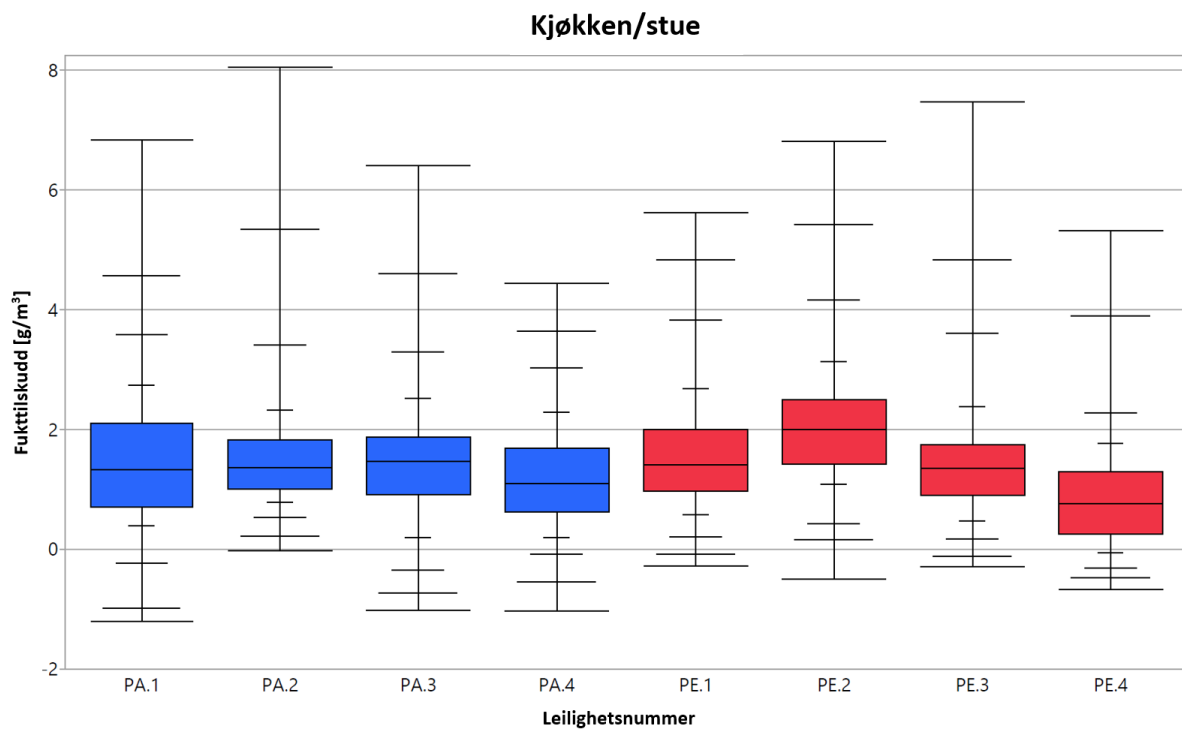
Målte data for innendørs temperatur og relativ fuktighet danner grunnlaget for beregningen av fukttilskudd i hvert rom. Dette delkapittelet presenterer medianverdier av RF og temperatur, samt beregnet fukttilskudd. Måleperiodens klimadata for Ås som døgnmiddelverdier finnes i vedlegg H. Uteluftas temperatur varierte i løpet av måleperioden mellom -7 °C og 12 °C. Tabell 4-1 viser medianverdien av RF, temperatur og fukttilskudd for de ulike rommene. Tabellen presenterer én samlet medianverdi av alle registrerte målinger i hele måleperioden (4 uker). Det skilles mellom resultater fra parleiligheter tilknyttet Palisaden og parleiligheter tilknyttet Pentagon. 10. og 90. prosentiler er beregnet sammen med medianverdiene.

Tabell 4-1: Medianverdi, samt 10. og 90. prosentil av RF, temperatur og fukttilskudd for alle rom. Resultatene er beregnet på grunnlag av målinger gjort over en periode på 4 uker

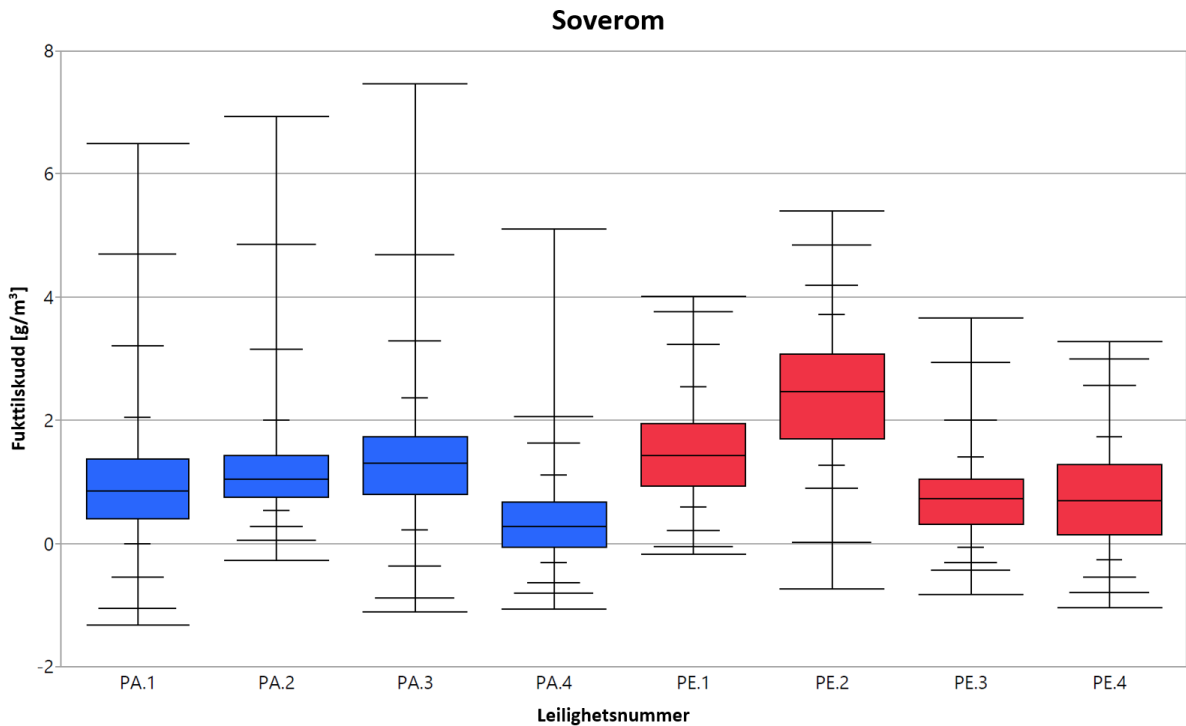
Romtype	Parameter	Palisaden			Pentagon		
		50%	10%	90%	50%	10%	90%
Kjøkken/stue	RF [%]	24,4	19,8	29,9	26,8	20,9	34,7
	$\theta$ [°C]	24,1	23	25,4	22,3	21,3	24,2
	$\Delta v$ [g/m <sup>3</sup> ]	1,3	0,4	2,5	1,4	0,3	2,7
Soverom	RF [%]	24,6	18,5	31,3	27,3	20,5	35,4
	$\theta$ [°C]	22,6	20,4	24,6	21,9	20,6	23,7
	$\Delta v$ [g/m <sup>3</sup> ]	0,9	0,0	2,0	1,2	0,1	2,9
Bad	RF [%]	22	17,1	29,5	21,6	16,9	28,8
	$\theta$ [°C]	25,1	23,6	25,8	24,8	23,7	25,7
	$\Delta v$ [g/m <sup>3</sup> ]	1,1	0,1	2,6	1,0	-0,1	2,3

Figur 4-1, Figur 4-2 og Figur 4-3 viser boksplokk av innendørs fukttilskudd for kjøkken/stue, soverom og bad. Hver boks presenterer én leilighet. De blå boksene illustrerer Palisaden-leiligheter og de røde boksene Pentagon-leiligheter. Den sorte linjen inne i boksen er medianen. Endene av boksen representerer 25. og 75. prosentilene. De første linjene på halen

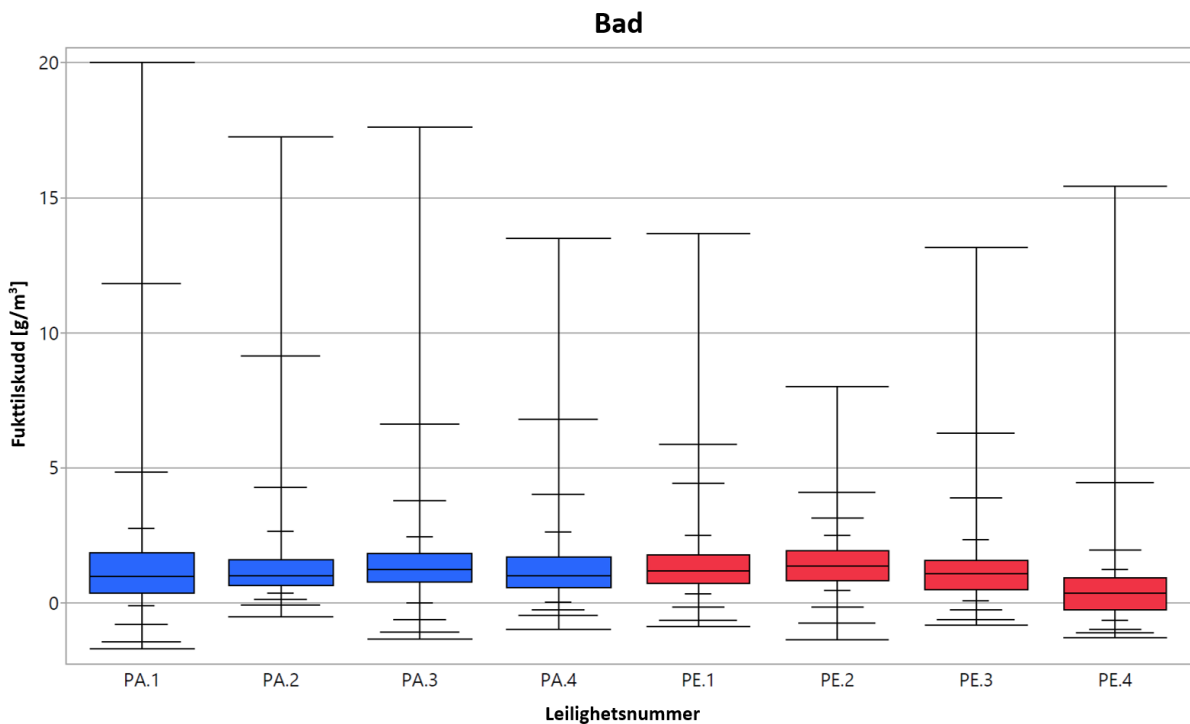
viser 10. og 90. prosentilene. De neste to linjene viser henholdsvis 2,5. og 97,5. prosentilene og 0,5. og 99,5. prosentilene. De ytterste linjene angir minimum- og maksimumsverdi.



Figur 4-1: Boksplott av innendørs fukttilskudd for kjøkken/stue. Blå bokser representerer Palisaden-leiligheter og røde bokser Pentagon-leiligheter



Figur 4-2: Boksplott av innendørs fukttilskudd på soverom. Blå bokser representerer Palisaden-leiligheter og røde bokser Pentagon-leiligheter



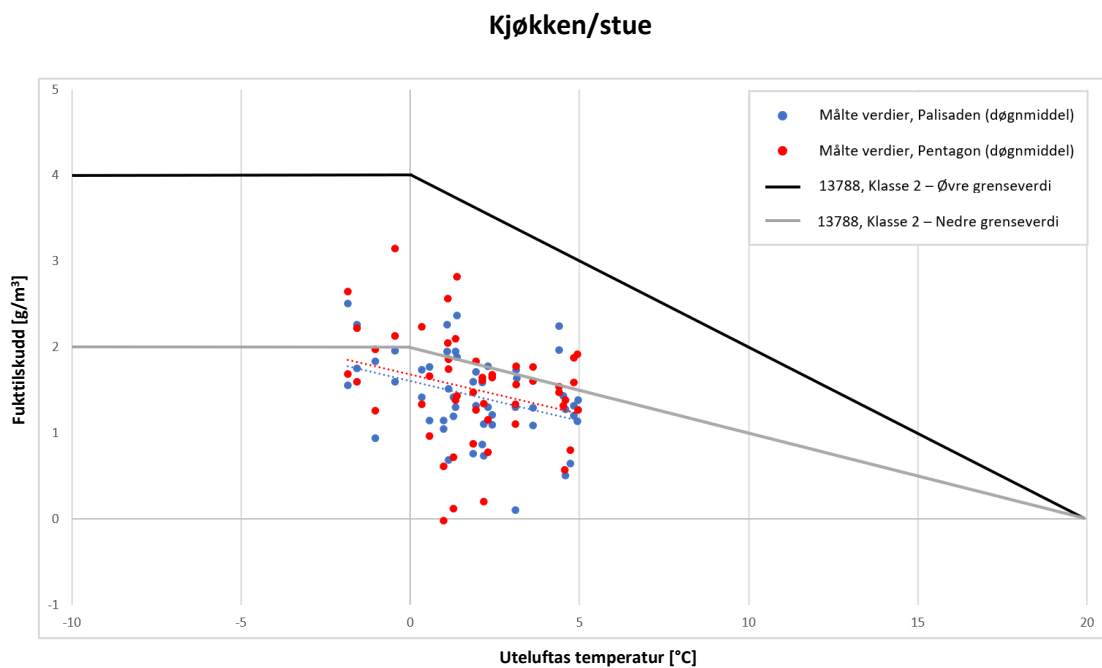
Figur 4-3: Boksplott av innendørs fukttilskudd i bad. Blå bokser representerer Palisaden-leiligheter og røde bokser Pentagon-leiligheter

Som det går frem av figurene er det relativt stor spredning i medianverdiene av fukttilskudd mellom de ulike leilighetene. Medianverdien ligger jevnere for Palisaden-leilighetene, mens det er større variasjon for leilighetene i Pentagon. Medianverdien av fukttilskudd for alle

leiligheter varierer mellom 0,8 og 2 g/m<sup>3</sup> for kjøkken/stue, mellom 0,3 og 2,5 g/m<sup>3</sup> for soverom og mellom 0,4 og 1,6 g/m<sup>3</sup> for bad.

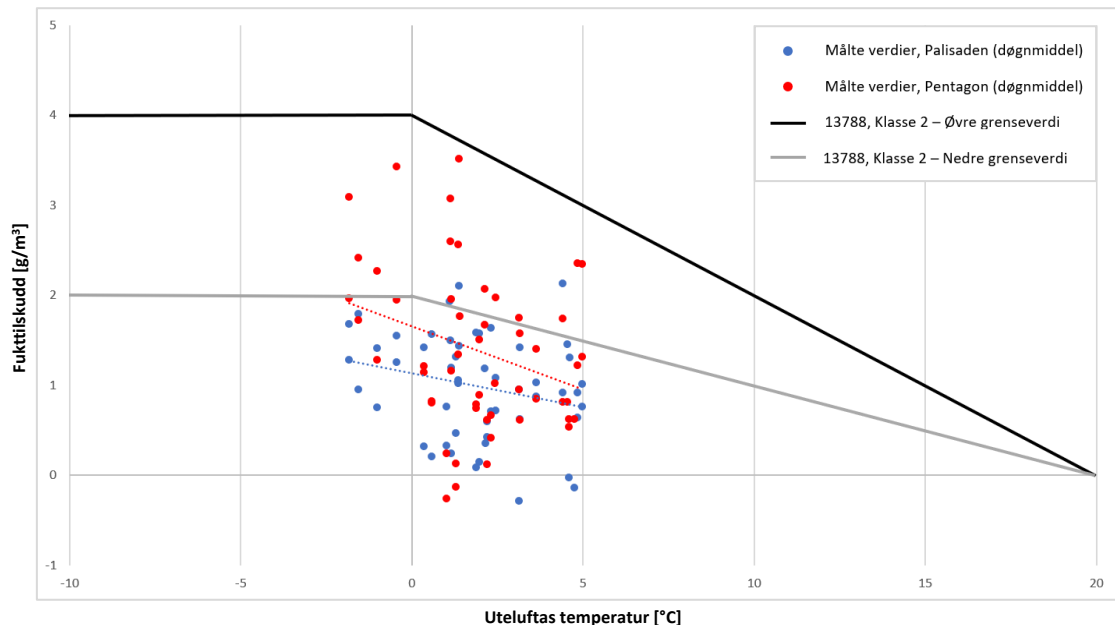
## 4.2 Døgnmiddel

I dette delkapittelet presenteres beregnet døgnmiddel av innendørs fukttilskudd for de ulike rommene. Figur 4-4, Figur 4-5 og Figur 4-6 viser innendørs fukttilskudd for ulike utelufttemperaturer. De blå prikkene representerer døgnmiddel for Palisaden-leilighetene og de røde prikkene representerer døgnmiddel for Pentagon-leilighetene. Den sorte og grå linjen angir henholdsvis øvre og nedre grenseverdi for fukttilskuddsklasse 2 i NS-EN ISO 13788:2012. Utelufttemperaturene representerer tilhørende døgnmiddel av uteluftas temperatur.



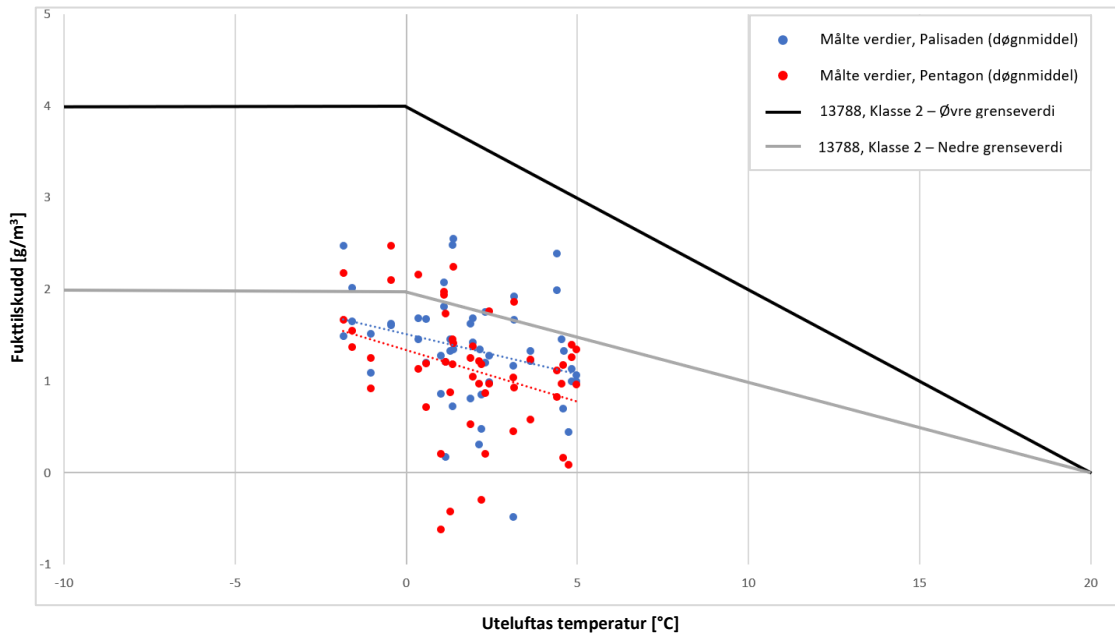
Figur 4-4: Innendørs fukttilskudd for ulike utelufttemperaturer i kjøkken/stue. Stiplet rød linje viser trendlinje for målte verdier i Pentagon ( $R^2=0,075$ ) og blå stiplet linje viser trendlinje for målte verdier i Palisaden ( $R^2=0,129$ )

## Soverom



Figur 4-5: Innendørs fukttilskudd for ulike utelufttemperaturer på soverom. Stiplet rød linje viser trendlinje for målte verdier i Pentagon ( $R^2=0,088$ ) og blå stiplet linje viser trendlinje for målte verdier i Palisaden ( $R^2=0,06$ )

## Bad

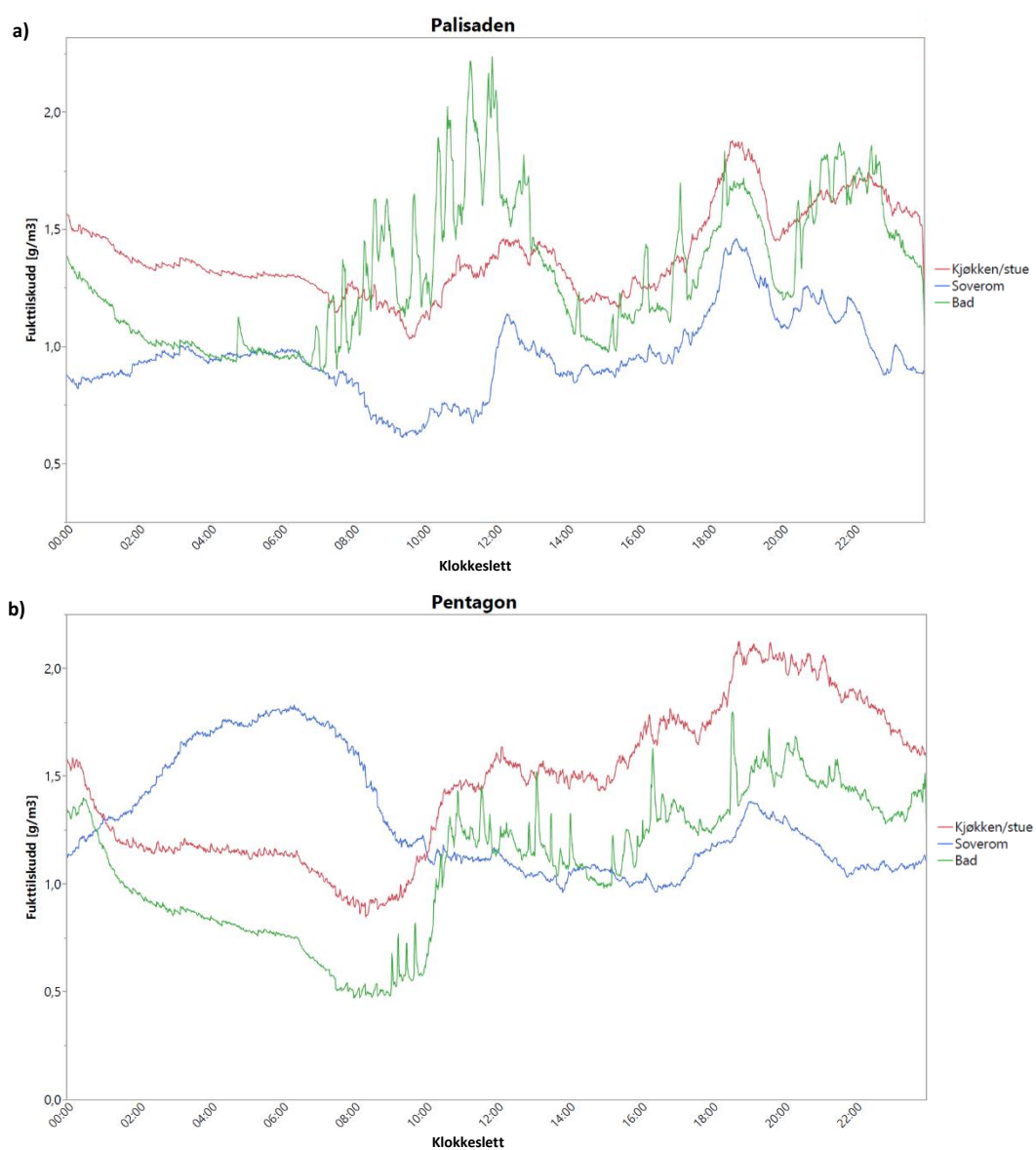


Figur 4-6: Innendørs fukttilskudd for ulike utelufttemperaturer på bad. Stiplet rød linje viser trendlinje for målte verdier i Pentagon ( $R^2=0,102$ ) og blå stiplet linje viser trendlinje for målte verdier i Palisaden ( $R^2=0,08$ )

## 4.3 Døgnvariasjoner

### 4.3.1 Gjennomsnittverdier

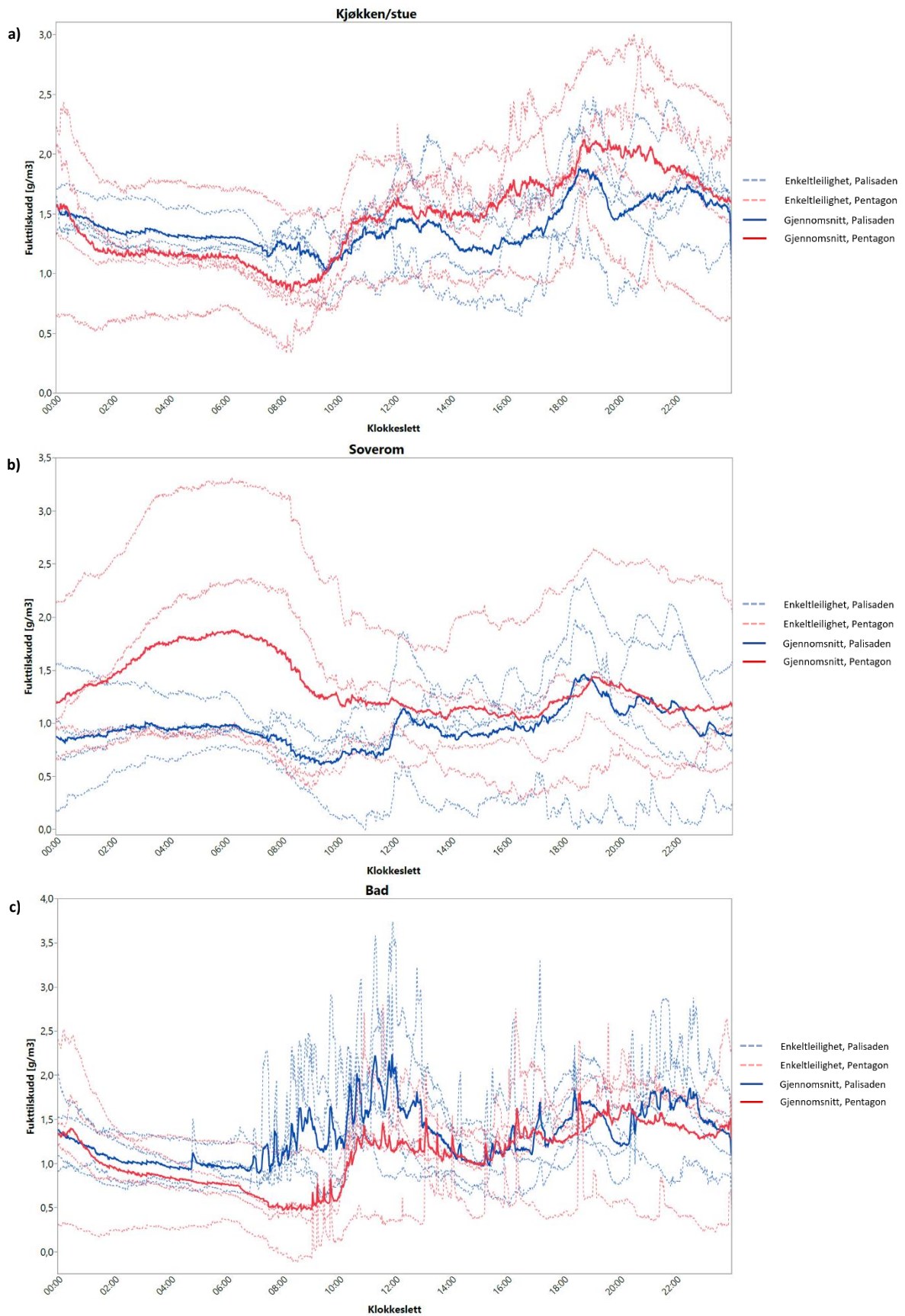
Under presenteres gjennomsnittlig døgnvariasjon av fukttilskudd for alle leiligheter tilhørende samme bygningstype. Det er det beregnet et gjennomsnitt av hvert minutt for alle dager i måleperioden. Figur 4-7 viser hvordan fukttilskuddet varierer over døgnet i ulike rom. Graf a) viser gjennomsnittlig døgnvariasjon av fukttilskudd for Palisaden-leilighetene. Graf b) viser gjennomsnittlig døgnvariasjon av fukttilskudd for Pentagon-leilighetene. Middelerdiene er beregnet på grunnlag av fire leiligheter i en periode på to uker.



Figur 4-7: Graf a) viser gjennomsnittlig døgnvariasjon av fukttilskudd for Palisaden-leilighetene. Graf b) viser gjennomsnittlig døgnvariasjon av fukttilskudd for Pentagon-leilighetene

Figur 4-8 viser hvordan fuktilskuddet varierer gjennom døgnet for hver enkelt leilighet. Blå linje representerer Palisaden-leiligheter og rød linje Pentagon-leiligheter. Stiplede linjer viser gjennomsnittlig døgnvariasjon for enkeltleiligheter. Samlet gjennomsnitt av alle Palisaden-leilighetene (4 leiligheter) og av alle Pentagon-leilighet (4 leiligheter) er vist som heltrukken linje. Figuren er delt inn i én graf for hvert rom. Gjennomsnittlige døgnvariasjoner er beregnet på grunnlag av målinger gjort over en periode på 2 uker for hver leilighet.

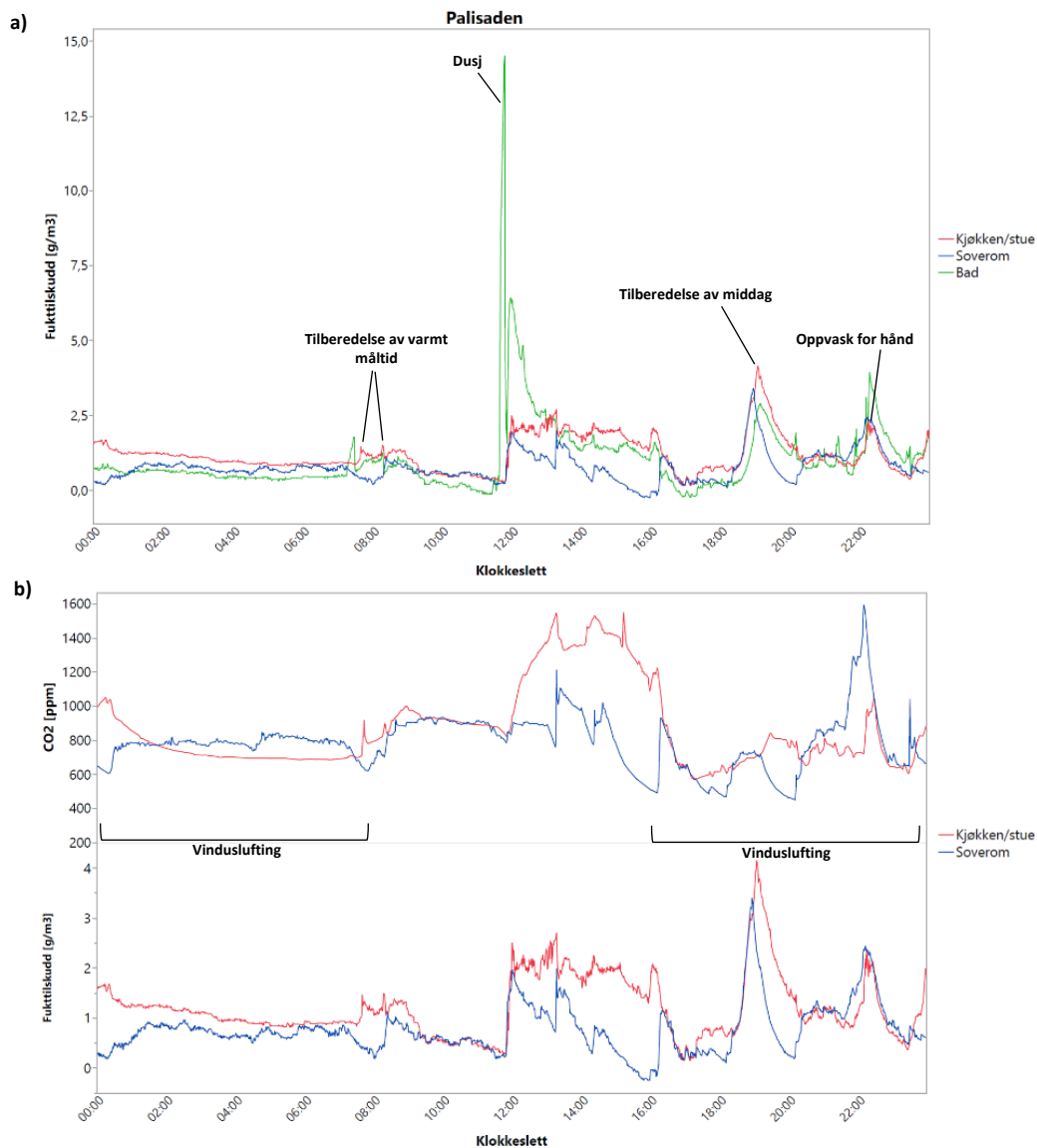




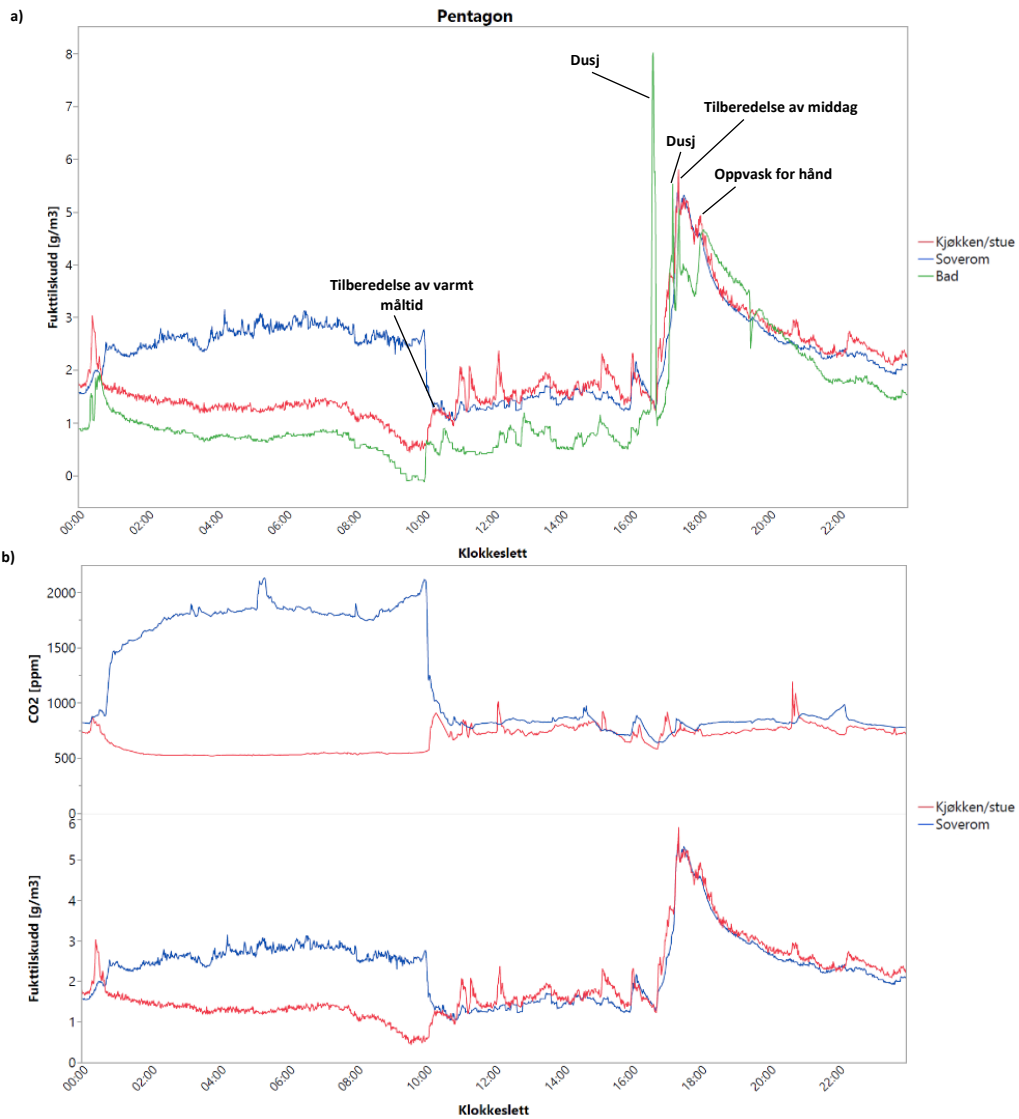
Figur 4-8: a) viser gjennomsnittlige døgnvariasjoner for kjøkken/stue, graf b) viser gjennomsnittlige døgnvariasjoner for soverom og graf c) viser gjennomsnittlige døgnvariasjoner for bad

### 4.3.2 Døgnseksempel

Figur 4-9 og Figur 4-10 viser reelle døgnseksempler fra én tilfeldig Palisaden-leilighet og én tilfeldig Pentagon-leilighet. Begge eksemplene er fra 2. mars. Hver figur er delt inn i to grafer. Graf a) viser døgnvariasjonen i fukttilskudd i de ulike rommene og graf b) viser sammenhengen mellom fukttilskuddet og CO<sub>2</sub>-nivået på kjøkken/stue og soverom. Se vedlegg I for uteluftas temperatur og absolutte fuktighet den 2. mars.



Figur 4-9: Døgnseksempel fra en tilfeldig Palisaden-leilighet 2. mars. Graf a) viser døgnvariasjonen av fukttilskudd for de ulike rommene og graf b) viser sammenhengen mellom fukttilskuddet og CO<sub>2</sub>-nivået for kjøkken/stue og soverom



Figur 4-10: Døgnseksempel fra en tilfeldig Pentagon-leilighet 2. mars. Graf a) viser døgnvariasjonen i fuktilskudd for de ulike rommene og graf b) viser sammenhengen mellom fuktilskuddet og CO<sub>2</sub>-nivået for kjøkken/stue og soverom

## 5 Analyse og diskusjon

I påfølgende kapittel vil resultatene diskuteres opp mot den aktuelle problemstillingen med tilhørende forskningsspørsmål. Første og andre forskningsspørsmål diskuteres i samme delkapittel (kapittel 5.1). I tillegg til bygningstypens betydning for innendørs fukttilskudd (diskutert i kapittel 5.2), vil også tilleggsfunn som er med på å belyse den overordnede problemstillingen diskuteres (se kapittel 5.3). I kapittel 5.4 evalueres og diskuteres feltmålingene og mulige feilkilder. Til slutt sammenliknes resultatene opp mot tidligere studier (se kapittel 5.5).

### 5.1 Sammenlikning opp mot NS-EN ISO 13788:2012 og Byggdetaljer 421.510

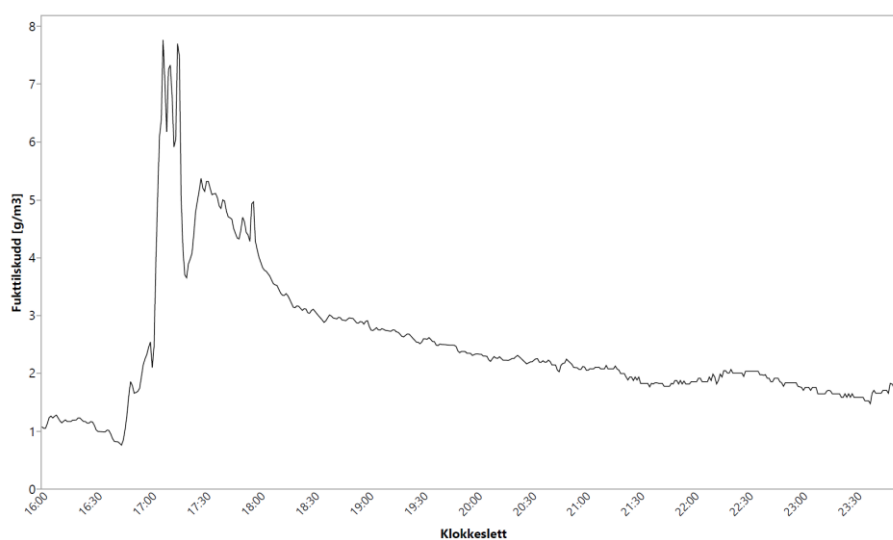
Som det fremgår av resultatene ble det beregnet lavere nivåer av innendørs fukttilskudd i denne studien enn grenseverdiene tilhørende fukttilskuddsklasse 2 i NS-EN ISO 13788:2012. Figur 4-4 viser at 75 % av punktene som representerer et døgnmiddel av innendørs fukttilskudd for kjøkken/stue ligger i området som tilhører fukttilskuddsklasse 1. De resterende 25 % ligger innenfor området som tilhører fukttilskuddsklasse 2. For soverom ligger 82 % av punktene i området som tilhører klasse 1, mens de resterende 18 % tilhører klasse 2, vist i Figur 4-5. For bad tilhører 81 % av punktene klasse 1 og de resterende 18 % klasse 2 (se Figur 4-6). Dermed vil 79 % av alle døgnmiddelverdier i snitt ligge innenfor fukttilskuddsklasse 1 for alle rom. Det fremgår av Tabell 4-1 at medianverdien av fukttilskudd varierer mellom 0,9-1,4 g/m<sup>3</sup>, avhengig av rom- og bygningstype. Selv om det i NS-EN ISO 13788:2012 anbefales å anta konstant fukttilskudd under 0 °C og lineær reduksjon over 0 °C, ble det i denne studien logget data ved for få utetemperaturer lavere enn 0 °C til at disse målingene er representative. Det er derfor opprettet en felles trendlinje for temperaturer over og under 0 °C for hver bygningstype. De fleste trendlinjer for målte døgnmiddel har omtrent samme stigningstall som nedre grenseverdi i NS-EN ISO 13788:2012 for innendørs fukttilskudd over 0 °C. Lave verdier for R<sup>2</sup> (se Figur 4-4, Figur 4-5 og Figur 4-6) indikerer at det er flere årsaker til variasjon enn utelufttemperaturen. Det er også viktig å poengtere at det kan være store temperatursvingninger gjennom et døgn. Eksempelvis, illustrert i vedlegg H, varierer utemperaturen den 2. mars mellom ca. 0-12 °C. Forholdet mellom innendørs fukttilskudd og utetemperatur som døgnmiddel-verdier vil ikke være like representativt for de dagene hvor det oppstår store temperatursvingninger. Uteluftas absolutte fuktighet blir direkte påvirket av variasjoner i uteluftas temperatur, som illustrert i

samme figur. Denne variasjonen er allikevel mindre enn temperaturvariasjonen. Ved store temperaturvariasjoner samsvarer trolig forholdet mellom fukttilskudd og uteluftas absolutte fuktighet bedre enn forholdet mellom fukttilskudd og uteluftas temperatur. Dette gjelder spesielt dersom det betraktes døgnmiddelverdier.

Byggdetaljer 421.510 anbefaler at innendørs relativ fuktighet holdes mellom 20-40 % i fyringssesongen. Som det fremgår av Tabell 4-1 varierer medianverdien av RF mellom 21,6-27,3 %, avhengig av rom- og bygningstype. 10. prosentilene varierer mellom 16,9-20,9 % og 90. prosentilene varierer mellom 29,5-35,4 %. Gjennomsnittlige døgnvariasjoner av RF i alle rom finnes som vedlegg K. Selv om medianverdiene og 90. prosentilene ligger innenfor anbefalte grenser, er det for 10 % av alle målinger registrert en lavere RF enn 20 %. Dette tilsvarer at for omtrent 3 av de 28 målte dagene ligger den relative fuktigheten under anbefalt laveste grense. For ca. 1 % av målte tilfeller er det registrert RF over 40 %. Dette tilsvarer ca. 7 timer i løpet av måleperioden. På grunn av risiko for kondens og muggsoppvekst på dårlig isolerte flater, samt vekst av husstøvmidd, er hovedfokuset i tidligere forskning og i faglitteraturen på å forhindre høye fuktighetsnivåer i innelufta. Resultatene fra denne studien viser at det potensielt er større utfordringer knyttet til for lav innendørs luftfuktighet. Det er imidlertid et interessant funn at de laveste fuktighetsnivåene er registrert på badene. 60 % av de målte verdiene som ligger under 20 % RF er nemlig registrert på badene. Lav RF på bad skyldes delvis at det også er her lufttemperaturen er høyest. Samtidig er beregnet fukttilskudd på badene også svært lave. Ventilasjonssystemer som dimensjoneres ut ifra gjeldende forskrifter, skal i teorien erstatte all luft i hele leiligheten hver andre time. Prinsipielt skal all fuktighet som produseres i de andre rommene trekkes inn på badet før det ventileres ut. Følgelig burde badet ha minst et tilsvarende fuktnivå som de andre rommene, dersom det betraktes gjennomsnittsverdier over døgnet. Figur 4-7 viser et annet virkelighetsbilde. Det fremgår av figuren at det til tider er målt et lavere fukttilskudd på badet enn i de andre rommene, samt et lavere nivå enn man kunne forvente ut ifra tidligere feltmålinger (se kapittel 5.5). Dette skyldes i aller høyeste grad at fuktigheten oppunder taket til tider er mye høyere enn fuktigheten midt i rommet. Siden målesensorene er plassert midt i rommet, vil denne ikke registrere ekstremverdiene for baderom. Målerplassering diskuteres nærmere i kapittel 5.4.

## 5.2 Bygningstypens betydning for innendørs fukttilskudd

Som det kommer frem av resultatene, er det en forskjell i innendørs fukttilskudd mellom de to bygningstypene. Hva som påvirker denne forskjellen kan trolig ikke forklares ut ifra én parameter, men kan skyldes flere faktorer. Det fremgår av Tabell 4-1 at Pentagon har de høyeste medianverdiene av fukttilskudd for kjøkken/stue og soverom. Grunnen til dette kan til dels være at Pentagon-leilighetene er større og vil dermed ha et lavere luftskifte enn Palisaden-leilighetene. Det kan også skyldes at det oftere vindusluftes i Palisaden enn i Pentagon. Dette gjelder så lenge det er høyere absolutt fuktighet i innelufta enn i utelufta. På soverommene luftes det nokså likt mellom de to bygningstypene. I kjøkken/stue luftes det derimot omtrent 6 ganger mer i Palisaden enn i Pentagon. Palisaden har de høyeste medianverdiene av lufttemperatur i alle rom. Beboernes brukerdagbøker forteller at det ofte vindusluftes i forbindelse med tilberedelse av varmt måltid for Palisaden-leilighetene. Palisadens ventilasjonssystem med kullfilter fjerner ikke fuktigheten som produseres under matlagingen. Figur 5-1 illustrerer målt fukttilskudd i kjøkkenhette i en tilfeldig Pentagon-leilighet i forbindelse med tilberedelse av et varmt måltid.



Figur 5-1: Fukttilskudd i forbindelse med tilberedelse av middag, målt i kjøkkenhette i tilfeldig Pentagon-leilighet. Matlagingen startet ca. kl. 16.45 og det antas at fukttilskuddet, grunnet tilberedelse av varmmat, slutter ca. kl. 18:15

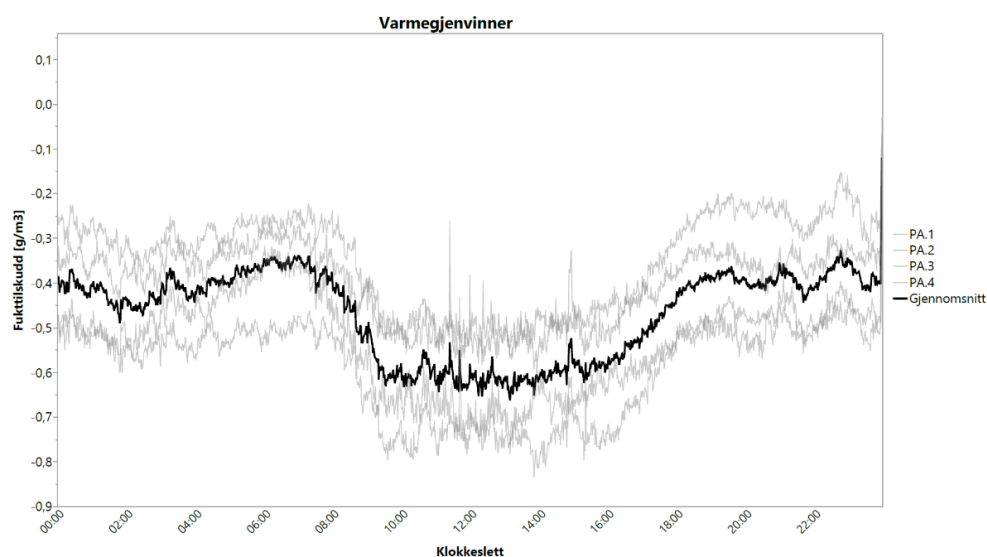
All fuktigheten som registreres av målesensoren i kjøkkenhette vil ventileres direkte ut i Pentagon-leilighetene. Denne fuktigheten vil imidlertid forbli i rommet i Palisaden-leilighetene da kjøkkenventilatorer med kullfilter ikke fjerner fuktighet. For en Palisaden-leilighet vil dette tilsvare en fuktproduksjon på ca. 260 g. En opplevelse av varm og tett luft

grunnet høy temperatur, samt økt fuktighet og matlukt kan begrunne hyppig vinduslufting etter matlaging i Palisaden.

Selv om det stort sett er beregnet en høyere middel- og medianverdi, samt 90. prosentil av fukttilskudd for Pentagon-leilighetene for de fleste rom, viser resultatene at det er større individuelle forskjeller blant Pentagon-leilighetene. Det kommer tydelig frem i Figur 4-8 at det er stor spredning i kurvene som viser gjennomsnittlig døgnvariasjon for enkeltleiligheter tilhørende Pentagon. Forskjellene kan delvis skyldes at hyppigheten av vinduslufting varierer mellom leilighetene. Det fremgår av resultatene at det høyeste fukttilskuddet oppstår på det soverommet som sjeldnest vindusluffer. Figur 4-10 viser et døgnseksempel fra denne Pentagon-leiligheten. Sammenliknet med døgnvariasjonene i en Palisaden-leilighet for samme dag, der det vindusluftes hele natta og store deler av dagen (se Figur 4-9), kan det sees en betydelig forskjell i fukt- og CO<sub>2</sub>-nivå. Innledningsvis i prosjektet ble det oppdaget at det ikke eksisterer spalte under dørblad for samtlige soveromsdører i Pentagon og dermed ingen overstrømning av avtrekksluft fra soverom og ut til bad ved lukket dør. Det er derfor av stor betydning for fukttilskuddet på soverom om beboerne sover med døren igjen. For én av Pentagon-leilighetene er det installert automatisk dørlukker for soveromsdøra. Det vil si at ventilasjonssystemet i denne leiligheten fungerer særs dårlig. Brukerdagboka forteller at vinduet i dette rommet stod oppe til enhver tid i hele måleperioden. Dette forklarer hvorfor det høyeste fukttilskuddet på natta ikke oppstår her, til tross for et dårlig fungerende ventilasjonssystem.

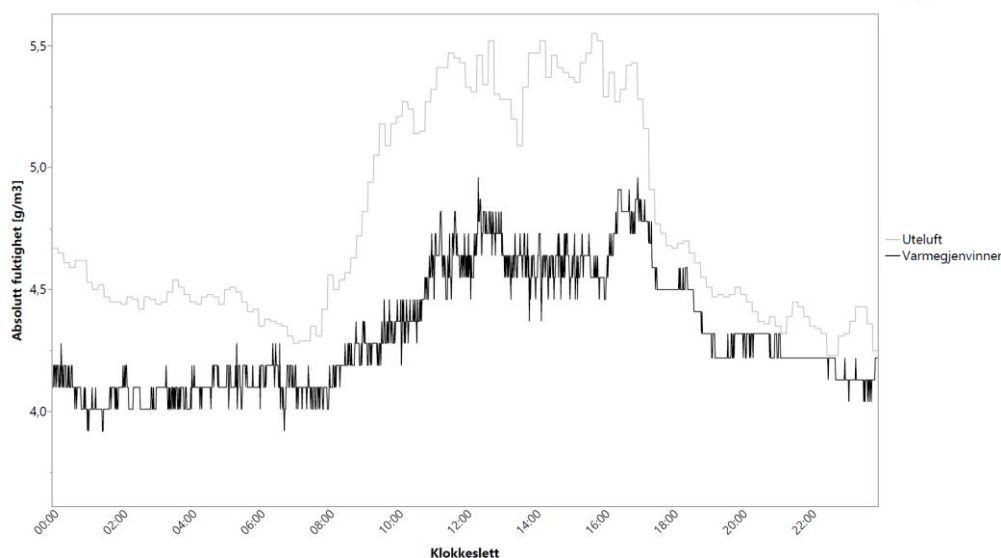
Som det fremgår av Figur 4-8 var det mindre variasjon i de gjennomsnittlige døgnnivåene av fukttilskudd i Palisaden. Det ble også oppdaget mindre individuelle forskjeller i medianverdiene mellom de ulike Palisaden-leilighetene. Dette kan trolig skyldes ventilasjonssystemene. Et balansert ventilasjonssystem med varmegjenvinner vil trolig påvirke mengden fuktighet i innelufta. Varmegjenvinneren vil tilsynelatende forhindre at det oppstår for høye eller for lave fuktighetsnivåer over lengre tid, da varmegjenvinneren også vil gjenvinne noe fuktighet. Figur 5-2 viser gjennomsnittlig fukttilskudd fra varmegjenvinneren gjennom døgnet. Fukttilskuddet er beregnet som differansen mellom absolutt fuktighet målt i tilluftskanal og absolutt fuktighet i utelufta. Grafen viser at det i gjennomsnitt er lavere absolutt fuktighet i lufta som tilføres Palisaden-leilighetene enn uteluftas absolutte fuktighet, selv om forskjellen er relativt lav. Varmegjenvinneren vil dermed periodevis sørge for et

fukttap. Fukttapet i varmegjenvinneren for enkeltleilighetene følger samme kurve, hvilket styrker troverdigheten til dette resultatet.



Figur 5-2: Fukttap fra varmegjenvinner i Palisaden-leiligheter. Grafen presenterer gjennomsnittlig døgnmiddel for alle dager i måleperioden

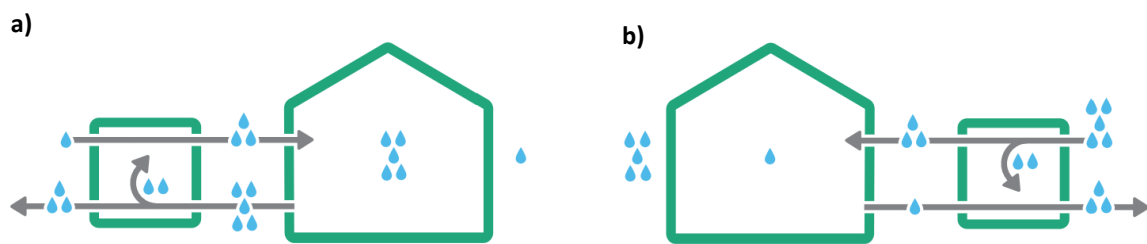
På dagtid øker som regel uteluftas absolute fuktighet på grunn av økt temperatur. Ved høyere lufttemperatur kan lufta inneholde mer fuktighet før det kondenserer. Tilsynelatende holdes den absolute fuktigheten i tillufta nokså konstant gjennom døgnet. Dette forklarer at det negative fukttilskuddet i varmegjenvinneren øker på dagtid, som illustrert i Figur 5-2. Figur 5-3 viser hvordan uteluftas absolute fuktighet varierer i forhold til absolutt fuktighet målt i tilluftskanal for én tilfeldig dag i én tilfeldig leilighet.



Figur 5-3: Uteluftas absolute fuktighet mot absolutt fuktighet målt i tilluftskanal for et tilfeldig døgn



Som det kommer frem av figuren er det større variasjon i uteluftas absolutte fuktighet enn i tilluftskanalen. Mengden fuktighet som gjenvinnes via varmegjenvinneren avhenger trolig av forholdet mellom inneluftas og uteluftas absolutte fuktighet. Dersom det er høy utendørs luftfuktighet, vil varmegjenvinneren gjenvinne fuktighet i forhold til utelufta. Dersom det er høy innendørs luftfuktighet, vil varmegjenvinneren gjenvinne fuktighet i forhold til innelufta, og henholdsvis øke eller redusere fuktigheten som tilføres huset. Konseptet er illustrert i Figur 5-4.



Figur 5-4: Fukttransport via varmegjenvinner ved a) høy innendørs luftfuktighet og b) høy utendørs luftfuktighet. Figur fra: (Hendriks)

I Pentagon leilighetene, hvor uteluft strømmes inn via friskluftventiler, vil frisklufta resultere i fuktigere eller tørre inneluft, avhengig av uteluftas fuktinnhold. For flere dager i måleperioden var uteluftas absolutte fuktighet høy grunnet tåke og nedbør. Uteluftas absolutte fuktighet kunne også varieres relativt mye gjennom døgnet. I Palisaden-leilighetene vil varmegjenvinneren jevne ut fuktvariasjonene. I de timene der uteluftas absolutte fuktighet stiger, vil varmegjenvinneren gjenvinne noe fuktighet fra utelufta, samtidig som en del fuktighet vil føres tilbake til utelufta. Når den absolutte fuktigheten i utelufta synker, vil fuktinnholdet i uteluft og tilluft bli tilnærmet lik. Dette kan forklare hvorfor Palisaden-leilighetene generelt holder et lavere og mer stabilt innendørs fuktighetsnivå enn Pentagon-leilighetene.

Resultatene viser imidlertid at de høyeste fukttoppene oftest oppstår i Palisaden-leilighetene (se Figur 4-2 og Figur 4-3). Dette gjelder hovedsakelig på badet. Det er stor avstand mellom de høyeste prosentilene. Dette indikerer at de aller høyeste verdiene opptrer svært sjeldent. Det forteller også at det kan være store svingninger i innendørs luftfuktighet gjennom døgnet. Grunnen til at det er registrert høyere maksverdier for badene i Palisaden-leilighetene skyldes i stor grad romstørrelsen. Som det fremgår av ligning (10) vil et lavere romvolum, ved lik ventilasjonsmengde og fuktproduksjon, resultere i et høyere fukttilskudd. Høyere fukttopper i Palisaden kan dermed til dels begrunnes med at alle rom i Palisaden har et lavere romvolum enn leilighetene i Pentagon. Siden leilighetene kun har avtrekk på badet som skal sikre et

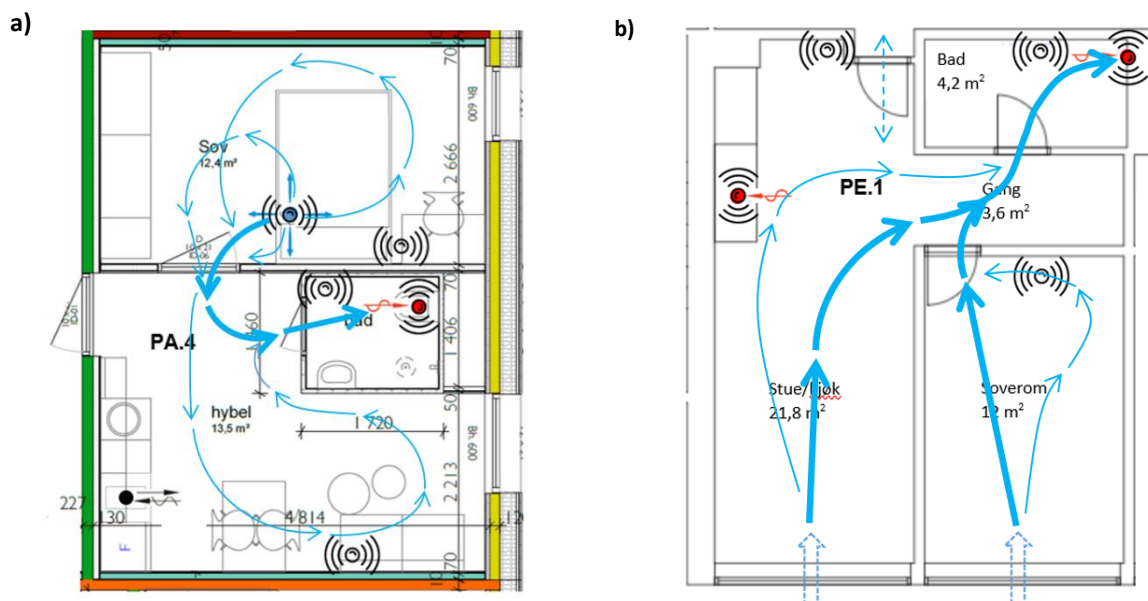
luftskifte på minst  $0,5 \text{ h}^{-1}$  i hele leiligheten, forutsetter dette at luftutskiftningen på badet må være svært høy. Beregnet luftskifte på bad i Palisaden og Pentagon er henholdsvis ca.  $11 \text{ h}^{-1}$  og  $5,5 \text{ h}^{-1}$ . Store deler av fuktigheten som generes på badet vil derfor med høy hastighet strømme direkte ut gjennom ventilasjonskanalen. For å unngå kritisk lave nivåer av RF i innelufta i fyringssesongen, kan det være et behov for å forsere avtrekksmengden på baderom når det ikke er i bruk. Dette kan kun gjøres så lenge et luftskifte på  $0,5 \text{ h}^{-1}$  ikke underskrives i rom som er i bruk.

### 5.3 Andre faktorerers betydning for innendørs fukttilskudd

I dette delkapittelet skal andre faktorer som tilsynelatende har hatt en effekt på målte verdier av innendørs luftfuktighet diskuteres. Luftfuktighet er et intrikat tema, og kan ha svært mange forklaringsvariabler. Det er i denne studien gjort et redelig forsøk på å få en tilstrekkelig oversikt over hva som har påvirket de registrerte fuktnivåene.

#### 5.3.1 Luftstrøm

For begge leilighetstypene er det registrert et lavere fukttilskudd på badene enn forventet, og det er særlig nivåene av fukttilskudd på natta som er mest overraskende. Om natta er det kjøkken/stue som har de høyeste verdiene av fukttilskudd i Palisaden-leilighetene (se Figur 4-7 a)). Det kan skyldes at noen beboere har for vane å være våkne på natta, hvilket kan dra opp gjennomsnittlig nivå av fukttilskudd i dette rommet. Allikevel viser analyser av døgnnivåer for enkeltleiligheter at fukttilskuddet vanligvis ligger høyest på kjøkken/stue på natta for alle Palisaden-leiligheter. På kvelden oppstår det ofte et høyt fukttilskudd på kjøkken/stue og det er ikke før beboerne våkner, normalt mellom 06:00 og 08:00, at fukttilskuddet på badet overstiger nivåene i kjøkken/stue. En forklaring kan være treig utskiftning av luft grunnet dårlig luftsirkulasjon i kjøkken/stue. Det kan skyldes at det ikke eksisterer tilluftsventil i dette rommet. Gjennomsnittlig nivå av fukttilskudd på soverom og bad jevner seg ut i løpet av natta, hvilket understøtter påstanden om at dårlig luftsirkulasjon kan skyldes manglende friskluftventil på kjøkken/stue. Figur 5-5 illustrerer poenget.



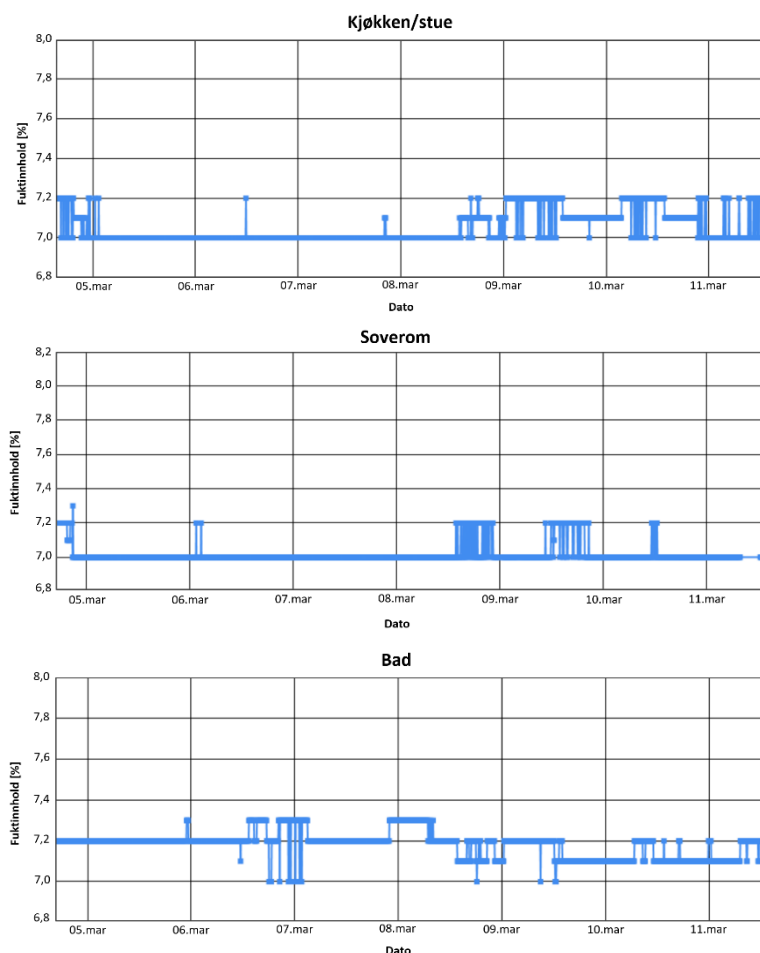
Figur 5-5: Hypoteseskisse av luftstrøm, figur a) Palisaden-leilighet og figur b) Pentagon-leilighet

Dårlig eller ingen gjennomstrømning fra soverom, samt vinduslufting og luftlekkasjer kan ha en betydning for hvorfor Pentagon-leilighetene jevnt over har et lavere fukttilskudd på badet enn i de andre rommene. Dersom døra til badet står oppe på natta kan varm og fuktig luft bevege seg fra rommene og inn til badet langs taket og dermed ikke bli registrert av målesensor som er plassert midt i rommet (diskuteres nærmere i kapittel 5.4).

### 5.3.2 Hygroskopisk masse

Ifølge teorien om fuktmeikk og tidligere forskning vil den hygroskopiske massen til møbler, tekstiler og materialer med åpen porestruktur påvirke variasjonene i innendørs luftfuktighet. Ved bruk av likning (8) til å beregne fukttilskudd, neglisjeres kapasiteten overflatene i rommet har til å ta opp fukt. Tidligere studier (se kapittel 2.2.2) har dokumentert effekten av fuktbufring fra hygroskopiske materialer. I forkant av feltmålingene ble enkeltleiligheters hygroskopiske masse registrert. Mengden hygroskopisk materiale ble delt inn i tre nivåer, herunder liten, middels og stor hygroskopisk masse. For de fleste rom kan det ikke sees en klar sammenheng mellom hygroskopisk masse og størrelsen på fukttoppene som oppstår. Siden de synlige massivtreveggene i Palisaden-leilighetene er behandlet med lakk, vil de ta opp lite fuktighet. Typen byggemateriale har derfor en liten effekt på de målte fuktighetsnivåene. Det er gulvtepper på alle Pentagon-badene, i motsetning til Palisaden-badene der ingen bad har gulvtepper. Det faktum at det er registrert høyere fukttopper på Palisaden-badene kan til en viss grad skyldes lavere hygroskopisk masse. Allikevel har størrelsen på badet trolig større betydning for de høye fukttoppene. Fuktbufring fra inventar,

gulvtepper og håndklær kan allikevel delvis forklare hvorfor det periodevis er registrert lavere fuktighetsnivåer på badet enn i de andre rommene. Som et tilleggforsøk ble fuktopptaket i ubehandlede treklosser registrert i alle rom i én utvalgt Palisaden-leilighet. Dette ble gjort for å undersøke potensialet for å bruke eksponert trevirke i små leiligheter for å dempe fuktsvingninger. Resultatet fra målinger av trefuktinnhold er vist i Figur 5-6.



Figur 5-6: Fuktinnhold i ubehandlede treklosser av furu for alle rom i én utvalgt Palisaden-leilighet

Som det fremgår av grafene, varierer fuktighetsinnholdet i treklossene svært lite gjennom måleperioden. Den største variasjonen i fuktinnhold oppstår på badet (7,0-7,4 %), men siden fuktinnholdet stort sett varierer mellom to nivåer for de fleste rom, er det grunn til å tro at dette like gjerne kan skyldes målerusikkerhet som reell variasjon i fuktinnhold. Ifølge sorpsjonskurven for furu (se kapittel 2.2.2), tilsvarer et fuktinnhold på ca. 7 % en RF lik 30 %. Dette tilsvarer fuktnivået i klimaskapet hvor treklossene lå før oppstart av målingene. Dette indikerer at det tar svært lang tid før treet innstiller seg etter ny likevekstfuktighet. Raske svingninger, som døgnsvingninger, vil dessuten bare merkes i liten dybde under materialoverflaten. Denne fuktvariasjonen har trolig ikke motstandsmåleren registrert. For at

trevirke skal kunne fungere som en fuktbuffer har det ifølge teorien og tidligere forskning størst effekt i rom som periodevis har store fuktbelastninger. Det effektive ventilasjonssystemet på målte bad fjerner trolig fuktigheten før det rekker å trekke inn i treklossene.

### 5.3.3 Tilstedeværelse

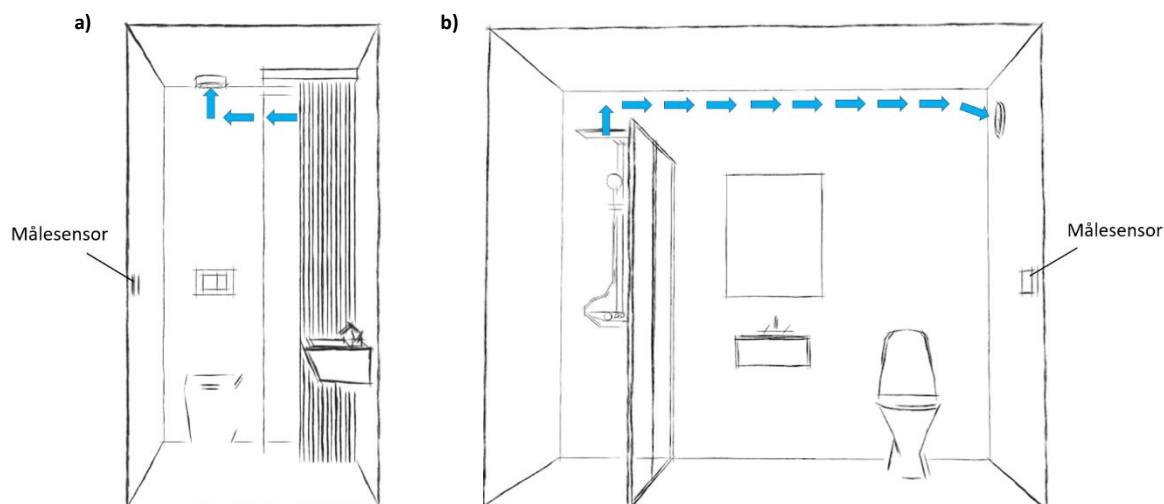
Det fremgår av resultatene at menneskelig respirasjon er en fuktkilde av stor betydning for innendørs fukttilskudd. CO<sub>2</sub>-nivåene ble kontinuerlig logget sammen med relativ fuktighet og temperatur på soverom og kjøkken/stue. Figur 4-9 og Figur 4-10 viser at sammenhengen mellom målt CO<sub>2</sub>-nivå og fukttilskuddet er tilnærmet lineært når det ikke genereres fuktighet fra andre fuktkilder. Figurene viser imidlertid at CO<sub>2</sub>-nivået synker raskere enn fukttilskuddet når beboerne forlater rommet. Dette indikerer at noe fuktighet tas opp i inventar og tekstiler i rommet, da bufring av CO<sub>2</sub> antas å være ubetydelig. Beboernes tilstedeværelse har særlig stor betydning for resultatene når det betraktes et såpass lite utvalg leiligheter over relativt kort tid. Døgnmiddel av fukttilskudd og CO<sub>2</sub>-nivå for hele måleperioden kan sees i vedlegg J.

## 5.4 Evaluering av feltmålingene

Feltemålingene gav resultater som delvis var i tråd med det en kunne forvente ut ifra teori og tidligere forskning. Som det fremgår av resultatene, er det relativt store variasjoner mellom nivåer av fukttilskudd mellom ulike leiligheter innenfor samme bygningstype. Det er også målt lavere luftfuktighet enn forventet ut ifra gjeldende fukttilskuddsklasse. Under diskuteres faktorer som kan ha påvirket målerresultatene.

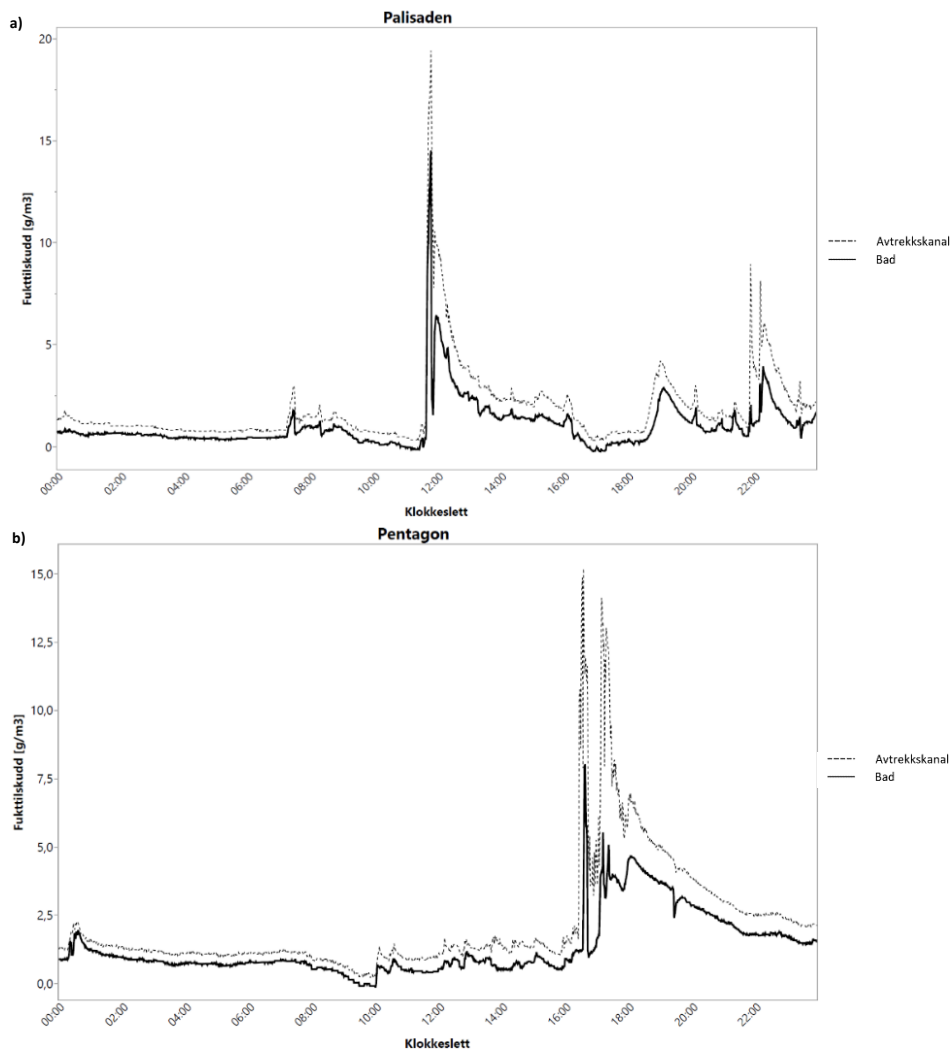
### 5.4.1 Målerplassering

Det ble bestemt at målesensorene skulle plasseres omtrent midt i rommet i alle rom (ca. 1,1 m over gulv). Denne høyden ble valgt på grunnlag av testmålinger som viste at luftfuktigheten midt i rommet ville representere et tilnærmet gjennomsnitt av fuktigheten høyt og lavt i rommet. Luftfuktigheten midt i rommet vil også være den opplevde luftfuktigheten i sittende stilling. Det viser seg at målerens høyde over gulvet har større betydning for resultatene enn antatt. Dette gjelder særlig når det genereres fuktighet på badet. Den varme og fuktige lufta vil raskt stige opp og trekkes ut langs baderomstaket. Baderom med antatt luftstrøm i forbindelse med dusjing er illustrert i Figur 5-7. I Palisaden er det montert dusjforheng, mens det i Pentagon er dusjvegger i glass.



Figur 5-7: Skisse av baderom med antatt luftstrøm i forbindelse med dusjing. Figur a) Skisse av badet i Palisaden, b) Skisse av badet i Pentagon

Figurene viser at det er kort veg fra dusjhode til avtrekksventil. De høyeste fuktighetsnivåene vil derfor aldri bli registrert av målesensorene som befinner seg midt i rommet. Figur 5-8 viser eksempelvis at maksverdien av fukttilskudd i avtrekksventil tilnærmet 20 % høyere enn fukttilskuddet midt i rommet for en tilfeldig dusjesevens i en Palisaden-leilighet. For en tilfeldig dusjesevens i Pentagon er maksverdien av fukttilskuddet i avtrekksventilen 50 % høyere enn midt i rommet. Beregnet fuktproduksjon ut ifra målt fuktighet i baderom for dusjesevensen i Palisaden er 474 g. Ved å bruke dataene målt i avtrekkskanal tilsvarer dette en fuktproduksjon på 752 g. For dusjesevensen i Pentagon, hvor det dusjes to ganger i løpet av 2 timer, gir målt fuktighet på baderom en total fuktproduksjon på 582 g, mens målt fuktighet i avtrekkskanal tilsvarer en fuktproduksjon på 855 g. Dette viser at forholdet mellom beregnet fuktproduksjon ut ifra målt fuktighet i avtrekkskanal og baderom er ca. 1,5 for begge leiligheter.



Figur 5-8: a) En tilfeldig dusjesekvens i Palisaden, b) en tilfeldig dusjesekvens i Pentagon. Grafene viser forskjellen mellom beregnet fukttilskudd fra målinger i avtrekkskanal på bad og fra måler på badet (ca. 1,1 m over bakken)

Det faktum at målesensoren i avtrekkskanalen registrerer høyere fuktnivåer enn måleren midt i rommet, indikerer at leilighetene innehar et velfungerende ventilasjonssystem.

Ventilasjonsystemet trekker ut store mengder fuktighet før det rekker å spres i rommet.

Dette støtter opp under antakelsen om at luftstrøm har mye å si for hvor lufta, og dermed fuktigheten, føres. Målerplassering vil derfor ha svært stor betydning for resultatene i dette prosjektet. Alle målesensorer ble forsøkt plassert på samme sted i alle leiligheter for å ha et så likt grunnlag som mulig. Det ble allikevel noen individuelle forskjeller da beboerne hadde ulik møblering innenfor samme bygningstype eller ulik romutforming mellom bygningstypene. Dette gav noen føringer i forhold til hvor målesensorene måtte plasseres.

Det er dessuten også en kilde til usikkerhet at man ikke hadde flere målesensorer i hvert rom. Siden målerplassering har såpass stor betydning for resultatene, hadde resultatene blitt mer

nøyaktige dersom alle målerne ble festet til et stativ med nøyaktig lik høyde. Et stativ hadde også muliggjort en mer sentral plassering i rommet.

#### 5.4.2 Måleverdienes relabilitet

Uteluftas absolutte fuktighet ble beregnet ut ifra RF og utelufttemperatur oppgitt som 10-minutters-verdier. Siden innluftas absolutte fuktighet ble beregnet som minuttverdier, vil en høyere tidsoppløsning for ute-data potensielt være en liten feilkilde. NMBU sin målestasjon på Søråsjordet, befinner seg ca. 500 meter fra målte boliger. Hadde prosjektet hatt en målesensor beregnet på å måle utendørs som kunne logget minuttverdier rett utenfor leilighetene, hadde potensielle lokale variasjoner blitt avdekket. Målingene er allikevel å regne som pålitelige nok da forholdene i utelufta som regel varierer lite over så kort avstand og tid.

På grunn av defekt klimaskap, ble målesensorene kalibrert i etterkant av feltmålingene. Det ble dermed antatt at målefeilene holdt seg konstante over hele måleperioden. Selve kalibreringsarbeidet kan også ha ført med seg større eller mindre feil da dette er en manuell øvelse. Selv om det ble tilpasset en egen regresjonslinje for hver måler, vil de korrigererte verdiene aldri bli helt nøyaktige. Måleren kan for eksempel ha større avvik for lave enn for høye verdier. Etter å ha prøvd forskjellige tilpassede regresjonslinjer, ble allikevel lineær regresjon ansett som mest nøyaktig.

#### 5.4.3 Brukervariasjoner

En stor usikkerhetskilde i dette prosjektet er at feltmålingene ble gjort med et relativt lite utvalg leiligheter. Selv om fire leiligheter av hver bygningstype gjør det mulig å detektere enkeltleiligheter som viser et større avvik enn andre, fremgår det av resultatene at det er relativt store variasjoner mellom alle leilighetene. Individuelle forskjeller er også mer fremtredende når det logges over en relativt kort periode, som er tilfelle i dette prosjektet. Det som har hatt en stor effekt på målingene er at det kun bodde én person i leilighet PA.4 store deler av måleperioden. Det ble også oppdaget at leilighet PE.4 hadde et høyere avtrekk på badet enn i de andre leilighetene, hvilket skyldes at spjeldet har blitt justert i etterkant av innreguleringen. Samme leilighet hadde også et konstant avtrekk fra kjøkkenhetta som trolig skyldes høyt sug fra ventilasjonskanalene.



## 5.5 Sammenlikning med annen forskning

Det finnes kun et begrenset utvalg forskningsartikler som tar for seg innendørs fuktighet i små leiligheter i nordisk klima. Resultatene fra denne studien skiller seg delvis ut fra det som har blitt målt i eneboliger og større leiligheter. Det fremgår av resultatene at innendørs fukttilskudd reduseres ved økt temperatur med påfølgende økt absolutt luftfuktighet. Dette stemmer med tidligere studier som i Kalamees, et al. (2006) og Geving & Holme (2012). I Hansen & Møller (2017) viser resultatene at fukttilskuddet for boliger tilhørende fukttilskuddsklasse 2, i mange tilfeller under- eller overestimeres. Resultatene fra denne studien viser at fukttilskuddet i stor grad overestimeres i henhold til grenseverdiene for fukttilskuddsklasse 2. Målt innendørs fukttilskudd skiller seg også ut fra tidligere forskning gjennomført i norske boliger for alle rom. Geving & Holme (2012) beregnet gjennomsnittlig fukttilskudd for stue til  $2,2 \text{ g/m}^3$  ( $T_{\text{utendørs}} \leq 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) og  $1,6 \text{ g/m}^3$  ( $5 \text{ }^\circ\text{C} < T_{\text{utendørs}} < 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ). For soverom ble det beregnet til  $1,8 \text{ g/m}^3$  ( $T_{\text{utendørs}} \leq 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) og  $1,2 \text{ g/m}^3$  ( $5 \text{ }^\circ\text{C} < T_{\text{utendørs}} < 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ) og for bad  $3,6 \text{ g/m}^3$  ( $T_{\text{utendørs}} \leq 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) og  $2,8 \text{ g/m}^3$  ( $5 \text{ }^\circ\text{C} < T_{\text{utendørs}} < 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Siden de målte minuttverdiene i denne studien ikke er normalfordelte, er det valgt å oppgi resultatene som medianverdier. Medianverdiene kan allikevel til en viss grad sammenliknes med gjennomsnittsverdiene fra tidligere forskning, da forskjellen i median- og gjennomsnittsverdier for målingene er liten. Resultatene fra denne studien gir medianverdier på  $1,3 \text{ g/m}^3$  (Palisaden) og  $1,4 \text{ g/m}^3$  (Pentagon) for kjøkken/stue,  $0,9 \text{ g/m}^3$  (Palisaden) og  $1,2 \text{ g/m}^3$  (Pentagon) for soverom og  $1,1 \text{ g/m}^3$  (Palisaden) og  $1,0 \text{ g/m}^3$  (Pentagon) for bad. Det er i denne studien beregnet lavere verdier for alle rom for alle utelufttemperaturer. En viktig forklaring er trolig at målesensorene i denne studien er plassert lavere i rommet enn i Geving & Holme (2012) der målerne ble plassert mellom 1,5 og 2 meter over bakken. En tilleggsforklaring kan være at det oftere vindusluftes i små leiligheter på grunn av større temperatursvingninger. I små leiligheter vil det ta kortere tid før hele leiligheten er gjennomluftet, men også kortere tid før hele leiligheten varmes opp igjen. Det er grunn til å tro at luftevanene i studentboliger eller leiligheter der man ikke betaler ekstra for økt strømforbruk, skiller seg ut fra andre boligtyper. For leiligheter med balansert ventilasjon vil varmegjenvinneren bidra til en tørrere inneluft ved høy utendørs luftfuktighet, sammenliknet med leiligheter med friskluftventiler. I en liten leilighet vil trolig effekten fra varmegjenvinneren ha større betydning for innendørs luftfuktighet enn i større leiligheter med flere beboere.

Medianverdiene og 90. prosentilene fra denne studien kan i større grad sammenliknes med resultatene presentert i Vinha, et al. (2018). Rapporten presenterer en ukentlig middelvei av fukttilskudd på soverom i blokkleiligheter på  $1,4 \text{ g/m}^3$  ( $T_{\text{utendørs}} \leq 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) og  $0,3 \text{ g/m}^3$  ( $T_{\text{utendørs}} > 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ). 90. prosentilen varierte mellom 2,4 og  $3,6 \text{ g/m}^3$  for den kalde perioden og mellom 0,5 og  $1,5 \text{ g/m}^3$  for den varme perioden. Resultatene stemmer også godt med resultatene presentert i Bagge, et al. (2014). Beregnede månedlige middelveier på vinteren varierte mellom  $1,5\text{-}2,25 \text{ g/m}^3$ , hvilket korresponderer med anbefalte grenseverdier for fukttilskuddklasse 1. Det kan også trekkes flere likheter mellom funnene i denne studien og resultatene presentert i Psomas, et al. (2021). I denne rapporten konkluderes med at lav innendørs luftfuktighet er en reell utfordring i leiligheter på vinteren. På samme måte som i sistnevnte rapport kan det sees en sammenheng mellom lavere innendørs luftfuktighet og høyere temperatur, mindre volum, høyere ventilasjonshastighet og hyppigere vinduslufting (hovedsakelig for leiligheter uten balansert ventilasjon). Psomas, et al. konkluderer også med at de laveste fuktnivåene oppstår i nyere leiligheter med få beboere.

## 6 Konklusjon

Beregnet fukttilskudd ligger stort sett lavere enn dimensjonerende nedre grenseverdi tilhørende fukttilskuddsklasse 2 i NS-EN ISO 13788:2012. Hele 79 % av alle døgnmiddelverdier ligger innenfor fukttilskuddsklasse 1. Medianverdien av fukttilskudd varierer mellom 0,9-1,4 g/m<sup>3</sup>, avhengig av rom- og bygningstype. 10. prosentilene varierer mellom -0,1-0,4 g/m<sup>3</sup> og 90. prosentilene mellom 2,0-2,7 g/m<sup>3</sup>. De høyeste medianverdiene av fukttilskudd oppstår i kjøkken/stue i begge bygningstypene. Det er beregnet lavere medianverdier av fukttilskudd på bad enn forventet. Dette skyldes trolig en effektiv plassering av avtrekksventil og badets høye luftskifte.

Medianverdien av relativ fuktighet ligger innenfor SINTEF Byggforsk sine anbefalte grenseverdier for RF på vinteren (20-40 %). Medianverdien varierer mellom 21,6-27,3 %, avhengig av rom- og bygningstype. 10. prosentilene varierer mellom 16,9-20,9 % og 90. prosentilene mellom 29,5-35,4 %. Resultatene fra denne studien viser dermed at det kan være større utfordringer knyttet til for lav enn for høy innendørs luftfuktighet i små norske leiligheter i fyringssesongen. De laveste verdier av innendørs RF er målt i den leilighetstypen som har balansert ventilasjon, høyest temperatur, minst volum og hyppigst vinduslufting.

Resultatene viser at bygningstypen har en betydning for innendørs fukttilskudd. Det er beregnet lavere verdier av fukttilskudd i Palisaden for både kjøkken/stue og soverom. Dette kan skyldes at varmegjenvinneren sørger for en tørrere tilluft i Palisaden enn i Pentagon, der tilluften trekkes inn via friskluftventiler. De høyeste fukttoppene oppstår i Palisaden, særlig på soverom og bad. Dette skyldes trolig at Palisaden har et lavere et romvolum enn Pentagon for alle rom. Fukttoppene synker imidlertid raskt pga. høyt luftskifte og/eller hyppig vinduslufting.

## 7 Videre arbeid

Begrensninger i tid og tilgjengelig utstyr har lagt føringer for omfanget av denne studien. Erfaringene oppnådd gjennom arbeidet har satt lys på en rekke faktorer det hadde vært interessant å studere nærmere:

- I fremtidige undersøkelser hadde det vært nyttig å gjøre en grundigere undersøkelse av hvor stor innvirkning plassering av målere har på måleresultatene. Forsøk med ulik plassering i rommet og ved flere høyder er av interesse.
- Det hadde vært nyttig å gjennomføre målinger i flere leiligheter av hver bygningstype for å bekrefte/avkrefte om de målte forskjellene er signifikante. Det hadde også vært interessant å gjøre målinger i leiligheter med balansert ventilasjon som ikke er et massivtrebygg. Da hadde det vært lettere å detektere eventuell påvirkning av ulike type byggematerialer.
- I denne studien er det gjort en svært begrenset undersøkelse av potensialet for fuktbufring i eksponert trevirke. Fremtidige studier kunne med fordel gjort bredere undersøkelser av fuktopptak i ubehandlet trevirke. Det hadde også vært interessant å undersøke hvor stor påvirkning annet hygroskopisk materiale som inventar og tekstiler har å si for fukttoppene som oppstår.
- Faktorer som påvirker beboernes opplevelse av dårlig inneluft, og påfølgende luftevaner, hadde vært interessant å studere nærmere. Hvor mye har for eksempel lufttemperaturen å si for beboernes luftevaner?
- Den absolutte fuktigheten i utelufta var periodevis relativt høy grunnet nedbør og tåke. For å få en enda grundigere dokumentasjon av varmegjenvinnerens «fuktbufrende» effekt, burde det gjennomføres målinger over en lengre periode ved ulike utendørs fuktighetsnivåer.

## 8 Litteraturliste

Asphaug, S. K. et al., 2015. *Kunnskapsstatus – Fuktbufring i materialer og påvirkning på energibehov*, Trondheim: SINTEF Academic Press.

Bagge, H., Johansson, D. & Lindstrie, L., 2014. Measured indoor hygrothermal conditions and occupancy levels in an arctic Swedish multi-family building. *HVAC&R Research*, Issue 20(4), pp. 376-383.

Byggforskserien 361.411, 2019. *Kjøkken i boliger*, Oslo: SINTEF Byggforsk.

Byggforskserien 421.132, 2018. *Fukt i bygninger. Teorigrunnlag*, Oslo: SINTEF Byggforsk.

Byggforskserien 421.503, 2017. *Luftmengder i ventilasjonsanlegg. Krav og anbefalinger*, Oslo: SINTEF Byggforsk.

Byggforskserien 421.510, 2000. *Tilrettelegging for godt innemiljø i boliger*, Oslo: SINTEF Byggforsk.

Byggforskserien 552.301, 2017. *Ventilasjon av boliger. Prinsipper*, Oslo: SINTEF Byggforsk.

Byggforskserien 552.303, 2015. *Balansert ventilasjon i småhus*, Oslo: SINTEF Byggforsk.

Dalland, O., 2012. *Metode og oppgaveskriving*. s.l.:Gyldendal.

Dannevig, P. & Pedersen, B., 2019. *Store Norske Leksikon*. [Internett]  
Available at: <https://snl.no/luft>  
[Funnet 15 Februar 2021].

DIBK, 2017. § 13-1. *Generelle krav til ventilasjon*. [Internett]  
Available at: [https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/i/13-1/?t\\_q=ventilasjon](https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/i/13-1/?t_q=ventilasjon)  
[Funnet 18 Februar 2021].

Eriksson & Fredrik, 2018. *Arbeidsrapport vedr. ventilasjonsrens Pentagonveien 5-7*, s.l.: Byggmester Eriksson & Kanalrens AS.

FLEXIT, 2021. *Mekanisk avtrekksventilasjon*. [Internett]  
Available at: <https://www.flexit.no/ventilasjon/de-tre-ulike-ventilasjonstypene/mekanisk-avtrekksventilasjon/>

Geving, S. & Holme, J., 2012. Mean and diurnal indoor air humidity loads in residential buildings. *Journal of Building Physics*, Issue 35(4), pp. 392-421. doi: 10.1177/1744259111423084

Geving, S. & Thue, J. V., 2002. *Fukt i bygninger*. Håndbok (Norges byggforskningsinstitutt: trykt utg.) red. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.

Hansen, E. J. d. P. & Møller, E. B., 2017. Moisture supply in Danish single-family houses – the influence of building style. *Energy Procedia*, Issue 132, pp. 147-152. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.663>

- Hendriks, S., u.d. *Do we want high humidity recovery in our home*, s.l.: Recair.
- Holm, A., Antretter, F. & Lenz, K., 2005. *Interior climate in German houses*, s.l.: IEA-Annex 41 MOIST-ENG Working Meeting.
- Hughes-Hallet, Gleason & McCallum, 2005. *Calculus*. s.l.:Wiley.
- Johansson, P., Pallin, S. & Shahriari, M., 2010. Risk Assessment Model Applied on Building Physics: Statistical Data Acquisition and Stochastic Modeling of Indoor Moisture Supply in Swedish Multi-family Dwellings. I: *IEA Annex 55 RAP-RETRO*. Copenhagen: s.n.
- Kalamees, T., Vinha, J. & Kurnitski, J., 2006. Indoor Humidity Loads and Moisture Production in Lightweight Timber-frame Detached Houses. *Journal of Building Physics*, Issue 29(3), pp. 219-246. doi: 10.1177/1744259106060439
- Kartverket, 2021. *Norgeskart*. [Internett]  
Available at: <https://norgeskart.no/#?!?project=norgeskart&layers=1002&zoom=16&lat=6621251.99&lon=261765.69&markerLat=6621251.987138846&markerLon=261765.69277362875&panel=searchOptionsPanel&sok=pentagon>
- Korpi, M., Kalamees, T., Vinha, J. & Kurnitski, J., 2008. *The influence of exterior walls on the level and stability of indoor humidity and temperature in detached houses*. Copenhagen, Proceedings of 8th Symposium of Building Physics in the Nordic Countries.
- LASCAR, u.d. *LASCAR elektronics*. [Internett]  
Available at: <https://www.lascarelectronics.com/easylog-el-usb-2>  
[Funnet 5 Februar 2021].
- OmniSense, u.d. *OmniSense*. [Internett]  
Available at: <https://www.omnisense.com/Store/g-7-wireless-air-quality-monitor>  
[Funnet 5 Februar 2021].
- Psomas, T. et al., 2021. Indoor humidity of dwellings and association with building characteristics, behaviors and health in a northern climate. *Building and Environment*, Issue 198, p. 107885. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107885>
- rotronic, u.d. *rotronic measurement solutions*. [Internett]  
Available at: <https://www.rotronic.com/en-us/humidity-measurement-feuchtemessung-temperaturmessung/co2/cp11.html>  
[Funnet 5 Februar 2021].
- RS, u.d. *RS*. [Internett]  
Available at: <https://no.rs-online.com/web/p/data-loggers/5096949/>  
[Funnet 5 Februar 2021].
- Sanders, C., 1996. Task 2: Environmental Conditions. I: *IEA-Annex 24 HAMTIE, Final Report*. s.l.:Leuven: Laboratorium Bouwfysica, KU Leuven.
- Schild, P. G., 2002. *Nasjonal undersøkelse av boligventilasjon med varmegjenvinning*, Oslo: Byggforsk.

Semb, O., 2021. *Telefonsamtale med prosjektleder Ole Semb hos Studentsamskipnaden i Ås (SiÅs)* [Intervju] (10 Februar 2021).

SINTEF Community, 2020. *Healthy Energy-efficient Urban Home Ventilation - Kravspesifikasjon*. s.l.:SINTEF Community.

Skatvedt, R., 2015. *Teknsik Ukeblad*. [Internett]  
Available at: <https://www.tu.no/artikler/kalibrering-av-industrielle-malere/217952>  
[Funnet 5 Februar 2021].

Standard Norge, 2012. Bygningskomponenters og bygningsdelers hygrottermiske egenskaper Innvendig overflatetemperatur for å unngå kritisk overflatefuktighet og kondensasjon i mellomrom Beregningsmetoder (NS-EN ISO 13788: 2012). I: s.l.:Standard Norge.

Statistisk Sentralbyrå, 2012. *Tidsbruk 1971-2010 - Tidene skifter*, Oslo/Kongsvinger: Statistisk Sentralbyrå.

Studentsamskipnaden i Ås, u.d. *Branntegning*. s.l.:s.n.

Støa, E., Høyland, K. & Wågø, S., 2006. *Bokvalitet i små boliger*, Trondheim: SINTEF.

Svartdal, F., 2019. *Store Norske Leksikon*. [Internett]  
Available at: [https://snl.no/feilkilder\\_i\\_forskning](https://snl.no/feilkilder_i_forskning)  
[Funnet 7 Februar 2021].

Time, B., 1998. *Hygroscopic moisture transport in wood*, Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.

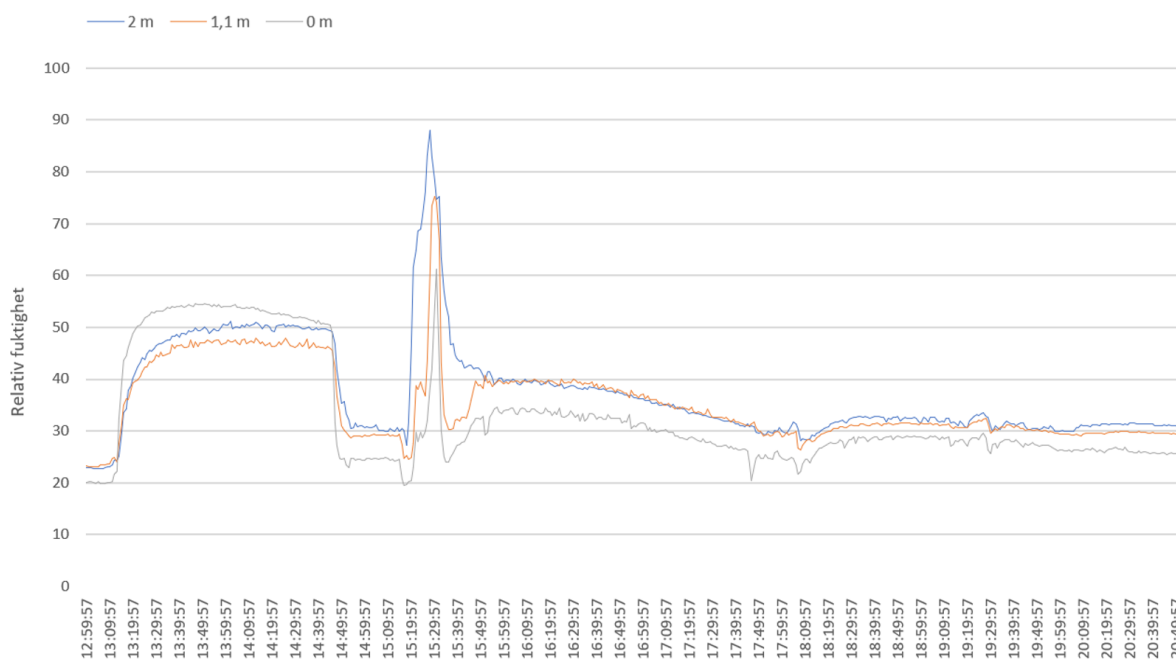
Tinytag, u.d. *Tinytag*. [Internett]  
Available at: <https://www.geminidataloggers.com/data-loggers/tinytag-ultra-2/tgu-4500>  
[Funnet 5 Februar 2021].

Vinha, J. et al., 2018. Internal moisture excess of residential buildings in Finland. *Journal of Building Physics*, Issue 42(3), pp. 239-258. doi: 10.1177/1744259117750369

## 9 Vedlegg

### VEDLEGG A: Testmåling av sensorhøyde

Testmålingene ble gjennomført på studentens eget bad og viser at høydeforskjellens påvirkning på målt RF er størst ved høye nivåer av RF. Første fukttopp oppstår under tørking av klær på snor, hvilket forklarer hvorfor det er høy fuktighet lavt i rommet. Den andre fukttoppen skyldes dusjing. Her viser grafen at det er mindre forskjell mellom målingene fra 1,1 m og 2 m enn fra 0 til 1,1 m.





## VEDLEGG B: Samtykkeskjema

Samtykkeskjema ble sendt ut til alle beboerne. Vedlagt ligger skjemaet som ble sendt ut til beboerne i Palisaden. Tilsvarende (tilpasset) skjema ble også sendt ut til beboerne i Pentagon.

## Vil du delta i forskningsprosjektet ”Fuktilskudd i små studentboliger”?

Dette er et spørsmål til deg om å delta i forskningsprosjektet *Fuktilskudd i små studentboliger*. I dette skrevet gir vi deg informasjon om målene for prosjektet og hva deltakelse vil innebære for deg.

### Formål

Masteroppgaven min skrives i samarbeid med et større forskningsprosjekt kalt *Healthy Energy-efficient Urban Home Ventilation*, ledet av SINTEF Community. Prosjektet har som mål å gi kunnskap og anbefalinger om robuste ventilasjonsstrategier for urbane leiligheter.

Formålet med denne oppgaven er å bidra til å styrke datagrunnlaget for fuktproduksjon i små og leiligheter. Relativ fuktighet, CO<sub>2</sub> og temperatur skal måles over en periode på 2 uker i 8 parleiligheter for studenter. Målingene skal finne sted på soverommet, bad, kjøkken/stue og i ventilasjonskanal. Tilførsels- og avtrekksluft skal også registreres. Ut ifra målte tidsserier skal faktorer som påvirker døgnvariasjonene av luftfuktighet analyseres og karakteriseres. For å kunne identifisere brukerrelaterte faktorer innvirkning på fuktighetsnivået, skal beboerne registrere brukermønsteret sitt for de aktivitetene som bidrar til å øke fuktproduksjonen i boligen (som når man dusjer, lager mat, tørker klær osv.).

SINTEF skal bruke dataene som samles inn i denne masteroppgaven til videre forskning i laboratorium og simuleringer av boligbestand for å utvikle bærekraftige løsninger for fremtidens ventilasjonsanlegg.

### Hvem er ansvarlig for forskningsprosjektet?

Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet er ansvarlig for prosjektet. Oppgaven skrives i samarbeid med SINTEF som er en eksternt oppdragsgiver.

### Hvorfor får du spørsmål om å delta?

Det er valgt å studere parleiligheter tilknyttet Palisaden da størrelsen på disse og antall beboere er av interesse i SINTEF sitt prosjekt *Healthy Energy-efficient Urban Home Ventilation*. Det er også ønskelig å se på fuktbelastningenes effekt av leilighetens byggemateriale og ventilasjonssystem. Det blir sendt ut forespørsel til alle som bor i denne typen leilighet. Fuktilskuddet fra denne boliggruppen skal sammenliknes med parleiligheter tilknyttet Pentagon.

Studentskipnaden i Ås er også involvert i dette prosjektet og er mellomleddet mellom meg og beboerne. SiÅs sender ut forespørsel, og de som godtar forespørselen tar videre kontakt med meg.

### Hva innebærer det for deg å delta?

Hvis du velger å delta i prosjektet, innebærer det at du stiller leiligheten din disponibel for måling av fuktighet, CO<sub>2</sub> og temperatur. Jeg trenger å gå inn i boligen under utplassering og ca. én til to ganger i uken for å tømme måleren for data. Det vil ta omtrent 15 minutter å tømme alle målerne. Resultatene fra målingene lagres elektronisk.

I tillegg til målingen er det svært verdifullt for prosjektet dersom alle beboere registrere brukervanene sine. Jeg vil henge opp lister for avkrysning ved på badet, på kjøkkenet og vaskemaskin/tørketrommel for å gjøre det enklest mulig for brukerne å registrere aktiviteter gjennom dagen.

Ut ifra målingene i alle fire leilighetene i din boligkategori skal det beregnes gjennomsnittsverdier for fuktproduksjon. Det skal ikke være mulig å spore opp dataene som publiseres i oppgaven til den enkelte leilighet.

#### **Det er frivillig å delta**

Det er frivillig å delta i prosjektet. Hvis du velger å delta, kan du når som helst trekke samtykket tilbake uten å oppgi noen grunn. Alle dine personopplysninger vil da bli slettet. Det vil ikke ha noen negative konsekvenser for deg hvis du ikke vil delta eller senere velger å trekke deg.

#### **Ditt personvern – hvordan vi oppbevarer og bruker dine opplysninger**

Vi vil bare bruke opplysningene om deg til formålene vi har fortalt om i dette skrevet. Vi behandler opplysningene konfidensielt og i samsvar med personvernregelverket.

Alle måleresultater vil lagres i en felles Share-point med SINTEF. For å sikre at ingen uvedkommende får tilgang til personopplysninger, vil jeg erstatte leilighetsnummeret ditt med en kode som lagres på en egen navneliste adskilt fra øvrige data.

#### **Hva skjer med opplysningene dine når vi avslutter forskningsprosjektet?**

Opplysningene anonymiseres når prosjektet avsluttes/oppgaven er godkjent, noe som etter planen er 15. mai 2021. Alle personopplysninger vil bli slettet ved prosjektets slutt. Resultatene fra feltmålingene vil bli arkivert for senere forskning i SINTEF. All data som lagres i etterkant av prosjektets slutt er anonyme og vil ikke kunne spores opp til den enkelte leilighet.

#### **Dine rettigheter**

Så lenge du kan identifiseres i datamaterialet, har du rett til:

- innsyn i hvilke personopplysninger som er registrert om deg, og å få utlevert en kopi av opplysningene,
- å få rettet personopplysninger om deg,
- å få slettet personopplysninger om deg, og
- å sende klage til Datatilsynet om behandlingen av dine personopplysninger.

#### **Hva gir oss rett til å behandle personopplysninger om deg?**

Vi behandler opplysninger om deg basert på ditt samtykke.

På oppdrag fra Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet har NSD – Norsk senter for forskningsdata AS vurdert at behandlingen av personopplysninger i dette prosjektet er i samsvar med personvernregelverket.

#### **Hvor kan jeg finne ut mer?**

Hvis du har spørsmål til studien, eller ønsker å benytte deg av dine rettigheter, ta kontakt med:

- Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet ved Tormod Aurlien  
Telefonnummer: 672 31 588  
Epost: [tormod.aurlien@nmbu.no](mailto:tormod.aurlien@nmbu.no)
- Vårt personvernombud: Hanne Pernille Gulbrandsen  
Telefonnummer: 402 81 558  
E-post: [personvernombud@nmbu.no](mailto:personvernombud@nmbu.no)

Hvis du har spørsmål knyttet til NSD sin vurdering av prosjektet, kan du ta kontakt med:

- NSD – Norsk senter for forskningsdata AS på epost ([personverntjenester@nsd.no](mailto:personverntjenester@nsd.no)) eller på telefon: 55 58 21 17.

Med vennlig hilsen

*Tormod Aurlien*  
(Forsker/veileder)

*Cathrine Hafnor*  
(Student)

---

## Samtykkeerklæring

Jeg har mottatt og forstått informasjon om prosjektet *Fuktproduksjon i små leiligheter*, og har fått anledning til å stille spørsmål. Jeg samtykker til:

- å delta i felteksperiment
- registrering av brukervaner (i den detaljeringsgrad som brukeren selv synes er overkommelig)
- at anonymiserte resultatene fra målingene lagres etter prosjektslutt og kan benyttes til videre forskning i prosjektet *Healthy Energy-efficient Urban Home Ventilation* ved SINTEF

Jeg samtykker til at mine opplysninger behandles frem til prosjektet er avsluttet

---

(Signert av prosjektdeltaker, dato)

VEDLEGG C: Informasjonsskjema enkeltleiligheter

Informasjon om enkeltleiligheter			
Boligtype: Palisaden Leilighet: PA.1 Tot. areal: 30,7 m <sup>2</sup> Takhøyde: 2,51 m Vendt mot: Nord			
	Kjøkken/stue	Bad	Soverom
Areal	16,1 m <sup>2</sup>	2,106 m <sup>2</sup>	12,5 m <sup>2</sup>
Volum	40,4 m <sup>3</sup>	5,3 m <sup>3</sup>	31,4 m <sup>3</sup>
Antall planter	1	-	1
Hygroskopisk masse	Lav	Lav	Lav
Vifter	Kjøkkenventilator m. kullfilter	Mek. Avtrekk	Mek. Tilluft
Andre spesifikasjoner	Målt avtrekk: 4. 112 m <sup>3</sup> /h 5. 139 m <sup>3</sup> /h 6. 156 m <sup>3</sup> /h  Målt tilluft: 1. 109 m <sup>3</sup> /h 2. 136 m <sup>3</sup> /h 3. 156 m <sup>3</sup> /h  Kjøkkenet er utstyrt med kombinert mikro og ovn	Målt avtrekk: 57 m <sup>3</sup> /h  Siste målinger: 59 m <sup>3</sup> /h	Målt tilluft: 50 m <sup>3</sup> /h

Informasjon om enkeltleiligheter			
Boligtype: Palisaden Leilighet: PA.2 Tot. areal: 29,1 m <sup>2</sup> Takhøyde: 2,51 m Vendt mot: Sør			
	Kjøkken/stue	Bad	Soverom
Areal	15,2 m <sup>2</sup>	2,106 m <sup>2</sup>	11,8 m <sup>2</sup>
Volum	38,1 m <sup>3</sup>	5,28 m <sup>3</sup>	29,6 m <sup>3</sup>
Antall planter	2	-	-
Hygroskopisk masse	Middels	Lav	Middels (1 stk. gulvteppe)
Vifter	Kjøkkenventilator m. kullfilter	Mek. Avtrekk	Mek. Tilluft
Andre spesifikasjoner	Målt avtrekk: 4. 137 m <sup>3</sup> /h 5. 179 m <sup>3</sup> /h 6. 212 m <sup>3</sup> /h  Målt tilluft: 1. 137 m <sup>3</sup> /h 2. 179 m <sup>3</sup> /h 3. 212 m <sup>3</sup> /h  Kjøkkenet er utstyrt med kombinert mikro og ovn	Målt avtrekk: 59 m <sup>3</sup> /h Siste måling: 56 m <sup>3</sup> /h	Målt tilluft: 51,8 m <sup>3</sup> /h

## Informasjon om enkeltleiligheter

Boligtype: Palisaden Leilighet: PA.3 Tot. areal: 29,1 m <sup>2</sup> Takhøyde: 2,51 m Vendt mot: Sør			
	Kjøkken/stue	Bad	Soverom
Areal	15,2 m <sup>2</sup>	2,106 m <sup>2</sup>	11,8 m <sup>2</sup>
Volum	38,1 m <sup>3</sup>	5,28 m <sup>3</sup>	29,6 m <sup>3</sup>
Antall planter	4	-	-
Hygroskopisk masse	Middels (1 stk. gulvteppe)	Lav	Lav
Vifter	Kjøkkenventilator m. kullfilter	Mek. Avtrekk	Mek. Tilluft
Andre spesifikasjoner	Målt avtrekk: 1. 120 m <sup>3</sup> /h 2. 149 m <sup>3</sup> /h 3. 162 m <sup>3</sup> /h  Kjøkkenet er utstyrt med kombinert mikro og ovn + egen oppvaskmaskin	Målt avtrekk: 50 m <sup>3</sup> /h	Målt tilluft: 48 m <sup>3</sup> /h

Informasjon om enkeltleiligheter			
Boligtype: Palisaden Leilighet: PA.4 Tot. areal: 28 m <sup>2</sup> Takhøyde: 2,51 m Vendt mot: Sør			
	Kjøkken/stue	Bad	Soverom
Areal	13,5 m <sup>2</sup>	2,106 m <sup>2</sup>	12,4 m <sup>2</sup>
Volum	33,9 m <sup>3</sup>	5,28 m <sup>3</sup>	31,1 m <sup>3</sup>
Antall planter	2	-	-
Hygroskopisk masse	Middels (2 små gulvtepper)	Lav	Lav
Vifter	Kjøkkenventilator m. kullfilter	Mek. Avtrekk	Mek. Tilluft
Andre spesifikasjoner	Målt avtrekk: 1. 77 m <sup>3</sup> /h 2. 90 m <sup>3</sup> /h 3. 102 m <sup>3</sup> /h  Kjøkkenet er utstyrt med kombinert mikro og ovn	Målt avtrekk: 59 m <sup>3</sup> /h	Målt tilluft: 53 m <sup>3</sup> /h



## Informasjon om enkeltleiligheter

Boligtype: Pentagon Leilighet: PE.1 Tot. areal: 41,6 m <sup>2</sup> Takhøyde: 2,41 m Vendt mot: Vest			
	Kjøkken/stue/gang	Bad	Soverom
Areal	25,4 m <sup>2</sup>	4,2 m <sup>2</sup>	12 m <sup>2</sup>
Volum	61,2 m <sup>3</sup>	10,1 m <sup>3</sup>	28,9 m <sup>3</sup>
Antall planter	6	-	-
Hygroskopisk masse	Middels (1 stk. gulvteppe)	Middels (1 stk. gulvteppe)	Lav
Vifter	Kjøkkenventilator Tilluftsventil over vindu	Mek. Avtrekk	Tilluftsventil over vindu
Andre spesifikasjoner	Målt avtrekk: 85 m <sup>3</sup> /h  Leiligheten har oppvaskmaskin	Målt avtrekk: 58 m <sup>3</sup> /h Siste måling: 58 m <sup>3</sup> /h	

## Informasjon om enkeltleiligheter

Boligtype: Pentagon Leilighet: PE.2 Tot. areal: 40,5 m <sup>2</sup> Takhøyde: 2,41 m Vendt mot: Sør			
	Kjøkken/stue/gang	Bad	Soverom
Areal	24,3 m <sup>2</sup>	4,4 m <sup>2</sup>	11,8 m <sup>2</sup>
Volum	58,6 m <sup>3</sup>	10,6 m <sup>3</sup>	28,4 m <sup>3</sup>
Antall planter	12	-	5
Hygroskopisk masse	Høy (Tepper dekker ca. 50 % av rommet)	Middels (1. stk. gulvteppe)	Middels (1 stk. gulvteppe)
Vifter	Kjøkkenventilator Tilluftsventil over vindu	Mek. Avtrekk	Tilluftsventil over vindu
Andre spesifikasjoner	Målt avtrekk: 88 m <sup>3</sup> /h Siste måling: 79 m <sup>3</sup> /h  Leiligheten har oppvaskmaskin	Målt avtrekk: 57 m <sup>3</sup> /h Siste måling: 63 m <sup>3</sup> /h	

Informasjon om enkeltleiligheter			
Boligtype: Pentagon Leilighet: PE.3 Tot. areal: 37,8 m <sup>2</sup> Takhøyde: 2,41 m Vendt mot: Sør			
	Kjøkken/stue/gang	Bad	Soverom
Areal	22,3 m <sup>2</sup>	3,7 m <sup>2</sup>	11,8 m <sup>2</sup>
Volum	53,7 m <sup>3</sup>	8,9 m <sup>3</sup>	28,4 m <sup>3</sup>
Antall planter	4	-	-
Hygroskopisk masse	Lav	Middels (1. stk. gulvteppe)	Middels (1 stk. gulvteppe)
Vifter	Kjøkkenventilator Tilluftsventil over vindu	Mek. Avtrekk	Tilluftsventil over vindu
Andre spesifikasjoner	Målt avtrekk: 83 m <sup>3</sup> /h  Leiligheten har oppvaskmaskin	Målt avtrekk: 58 m <sup>3</sup> /h	

Informasjon om enkeltleiligheter			
Boligtype: Pentagon Leilighet: PE.4 Tot. areal: 41,6 m <sup>2</sup> Takhøyde: 2,41 m Vendt mot: Vest			
	Kjøkken/stue/gang	Bad	Soverom
Areal	25,4 m <sup>2</sup>	4,2 m <sup>2</sup>	12 m <sup>2</sup>
Volum	61,2 m <sup>3</sup>	10,1 m <sup>3</sup>	28,9 m <sup>3</sup>
Antall planter	5	-	-
Hygroskopisk masse	Middels (1. stk. gulvteppe)	Middels (1. stk. gulvteppe)	Lav
Vifter	Kjøkkenventilator Tilluftsventil over vindu	Mek. Avtrekk	Tilluftsventil over vindu
Andre spesifikasjoner	Målt avtrekk: - 37 m <sup>3</sup> /h grunnavtrekk - 85 m <sup>3</sup> /h når avtrekket er på  Leiligheten har oppvaskmaskin	Målt avtrekk: - 65 m <sup>3</sup> /h Siste måling:	

VEDLEGG D: Fremdriftsplan for gjennomføring av begge måleperiodene

<b>Dato</b>	<b>Forsøk</b>	<b>Utstyr</b>
<b>Måleperiode 1</b>		
22.02.21	Befaring Utplassering av målesensorer + igangsetting av testmålinger Luftmengdemåling	Informasjonsskjema, tommestokk PC, tape, skjøteledninger, fuktmålere med tilhørende overgangskabler SwemaAir 300, SwemaFlow 125, trakt tilpasset kjøkkenhetter
24.02.21	Kontroll av testmålinger	PC, overgangskabler
25.02.21	Justering av luftmengder  Igangsettelse måleperiode 1	SwemaAir 300, SwemaFlow 125, trakt tilpasset kjøkkenhetter PC, overgangskabler
04.03.21	Utplassering av treklosser med innstalert trefuktmåler	Treklosser med fuktmåler og tilhørende Gateway
11.03.21	Avslutning av måleperiode 1 Luftmengdemåling (kontroll)	PC, overgangskabler SwemaAir 300, SwemaFlow 125, trakt tilpasset kjøkkenhetter
<b>Måleperiode 2</b>		
11.03.21	Befaring Utplassering av målesensorer + igangsetting av måleperiode 2 Luftmengdemåling	Informasjonsskjema, tommestokk PC, tape, skjøteledninger, fuktmålere med tilhørende overgangskabler) SwemaAir 300, SwemaFlow 125, trakt tilpasset kjøkkenhetter
25.03.21	Avslutning av måleperiode 2 Luftmengdemåling (kontroll)	PC, overgangskabler SwemaAir 300 og SwemaFlow 125

Vedlegg E: Måleroversikt

Måleperiode 1			Måleperiode 2		
Måler ID	Leilighet	Plassering	Måler ID	Leilighet	Plassering
MO-5955	PA.1	Stue/kjøkken	MO-5955	PA.3	Stue/kjøkken
MO-6050		Soverom	MO-6050		Soverom
361694		Bad	361694		Bad
USB-RO		Tilluftskanal soverom	USB-RO		Tilluftskanal soverom
USB-BL		Avtrekkskanal bad	USB-BL		Avtrekkskanal bad
MO-6048	PA.2	Stue/kjøkken	MO-6048	PA.4	Stue/kjøkken
MO-5958		Soverom	MO-5958		Soverom
597888		Bad	597888		Bad
USB-GU		Tilluftskanal soverom	USB-GU		Tilluftskanal soverom
USB-GR		Avtrekkskanal bad	USB-GR		Avtrekkskanal bad
MO-6052	PE.1	Stue/kjøkken	MO-6052	PE.3	Stue/kjøkken
NMBU-1		Soverom	NMBU-1		Soverom
607535		Bad	607535		Bad
271417		Avtrekkskanal bad	271417		Avtrekkskanal bad
141788		Avtrekkskanal kjøkken	141788		Avtrekkskanal kjøkken
NMBU-2	PE.2	Stue/kjøkken	NMBU-2	PE.4	Stue/kjøkken
NMBU-3		Soverom	NMBU-3		Soverom
364798		Bad	364798		Bad
599126		Avtrekkskanal bad	599126		Avtrekkskanal bad
361996		Avtrekkskanal kjøkken	361996		Avtrekkskanal kjøkken

Trefukt-målinger					
Måleperiode 1			Måleperiode 2		
Måler ID	Leilighet	Plassering	Måler ID	Leilighet	Plassering
28DC00AD	PA.1	Stue/kjøkken	28DC00AD	PA.3	Stue/kjøkken
28DC03B6		Soverom	28DC03B6		Soverom
28DC0024		Bad	28DC0024		Bad
Reservemålere: NMBU-4, 603275, 271416					
Defekte målere: MO-5954, 367253					

VEDLEGG F: Luftmengder før innregulering

<b>Leilighet</b>	<b>Avtrekk bad</b>	<b>Kjøkkenventilator</b>
PE.1	51 m <sup>3</sup> /h	82 m <sup>3</sup> /h
PE.2	130 m <sup>3</sup> /h	57 m <sup>3</sup> /h
PE.3	50 m <sup>3</sup> /h	48 m <sup>3</sup> /h
PE.4	138 m <sup>3</sup> /h	76 m <sup>3</sup> /h
		(37 m <sup>3</sup> /h grunnavtrekk)

VEDLEGG G: Brukerdagbok

<b>Dusjen er i bruk</b>							
<u>Merk:</u> Dersom dusjen er i bruk to ganger innenfor samme tidsintervall settes det to kryss							
	Mandag	Tirsdag	Onsdag	Torsdag	Fredag	Lørdag	Søndag
06:00-07:00							
07:00-08:00							
08:00-09:00							
09:00-10:00							
10:00-11:00							
11:00-12:00							
12:00-13:00							
13:00-14:00							
14:00-15:00							
15:00-16:00							
16:00-17:00							
17:00-18:00							
18:00-19:00							
19:00-20:00							
20:00-21:00							
21:00-22:00							
22:00-23:00							
23:00-24:00							



**Tilberedelse av varmt måltid**Merk:

Middag: X

Annet varmt måltid: O

	Mandag	Tirsdag	Onsdag	Torsdag	Fredag	Lørdag	Søndag
06:00-07:00							
07:00-08:00							
08:00-09:00							
09:00-10:00							
10:00-11:00							
11:00-12:00							
12:00-13:00							
13:00-14:00							
14:00-15:00							
15:00-16:00							
16:00-17:00							
17:00-18:00							
18:00-19:00							
19:00-20:00							
20:00-21:00							
21:00-22:00							
22:00-23:00							
23:00-24:00							

<b>Vasking av gulv med våt klut/mopp</b>							
	Mandag	Tirsdag	Onsdag	Torsdag	Fredag	Lørdag	Søndag
06:00-07:00							
07:00-08:00							
08:00-09:00							
09:00-10:00							
10:00-11:00							
11:00-12:00							
12:00-13:00							
13:00-14:00							
14:00-15:00							
15:00-16:00							
16:00-17:00							
17:00-18:00							
18:00-19:00							
19:00-20:00							
20:00-21:00							
21:00-22:00							
22:00-23:00							
23:00-24:00							

<b>Oppvask for hånd</b>							
	Mandag	Tirsdag	Onsdag	Torsdag	Fredag	Lørdag	Søndag
06:00-07:00							
07:00-08:00							
08:00-09:00							
09:00-10:00							
10:00-11:00							
11:00-12:00							
12:00-13:00							
13:00-14:00							
14:00-15:00							
15:00-16:00							
16:00-17:00							
17:00-18:00							
18:00-19:00							
19:00-20:00							
20:00-21:00							
21:00-22:00							
22:00-23:00							
23:00-24:00							

<b>Vanning av potteplanter</b>							
	Mandag	Tirsdag	Onsdag	Torsdag	Fredag	Lørdag	Søndag
06:00-07:00							
07:00-08:00							
08:00-09:00							
09:00-10:00							
10:00-11:00							
11:00-12:00							
12:00-13:00							
13:00-14:00							
14:00-15:00							
15:00-16:00							
16:00-17:00							
17:00-18:00							
18:00-19:00							
19:00-20:00							
20:00-21:00							
21:00-22:00							
22:00-23:00							
23:00-24:00							

### Tørking av klær

Merk:

Tørking i tørketrommel: X

Tørking på tørkestativ: O

	Mandag	Tirsdag	Onsdag	Torsdag	Fredag	Lørdag	Søndag
06:00-07:00							
07:00-08:00							
08:00-09:00							
09:00-10:00							
10:00-11:00							
11:00-12:00							
12:00-13:00							
13:00-14:00							
14:00-15:00							
15:00-16:00							
16:00-17:00							
17:00-18:00							
18:00-19:00							
19:00-20:00							
20:00-21:00							
21:00-22:00							
22:00-23:00							
23:00-24:00							

### Vinduslufting

Merk:

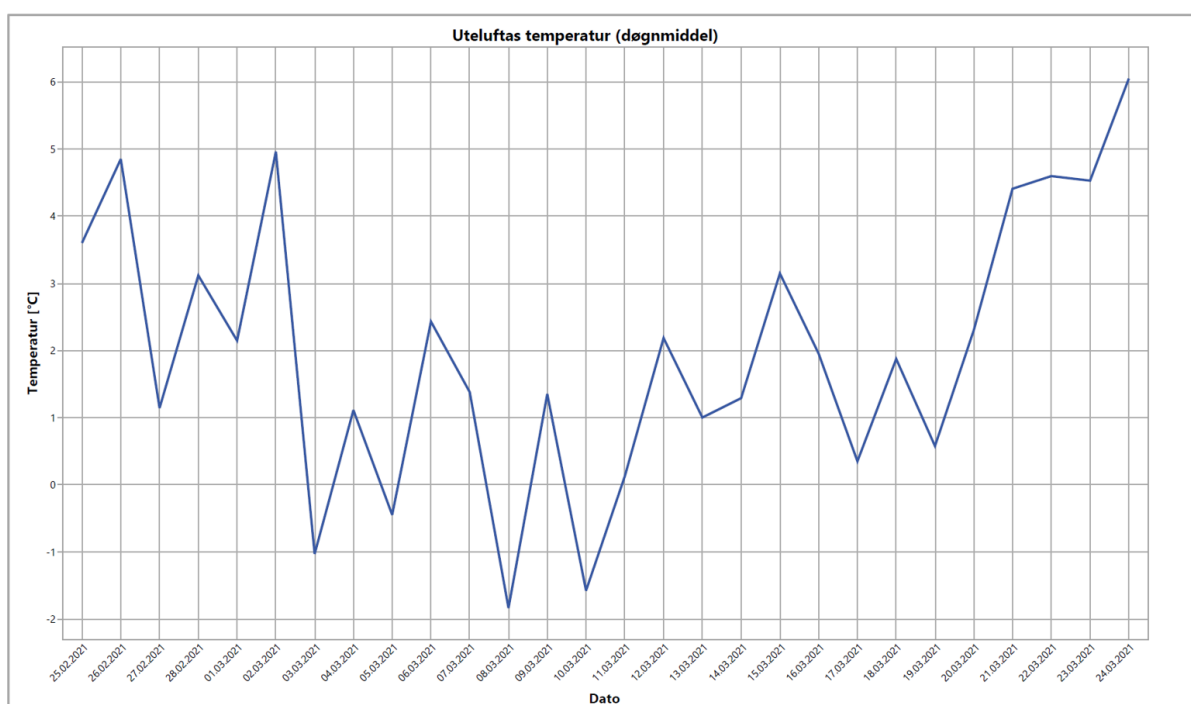
Mer enn 2 minutter og mindre enn 30 minutter: X

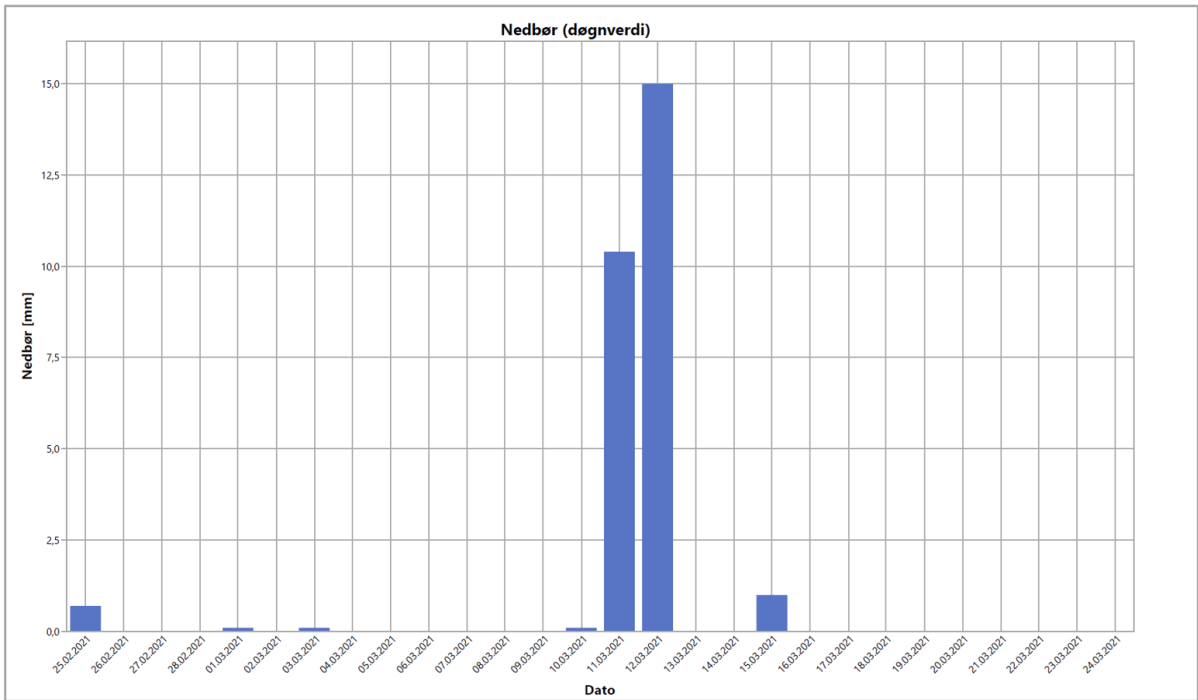
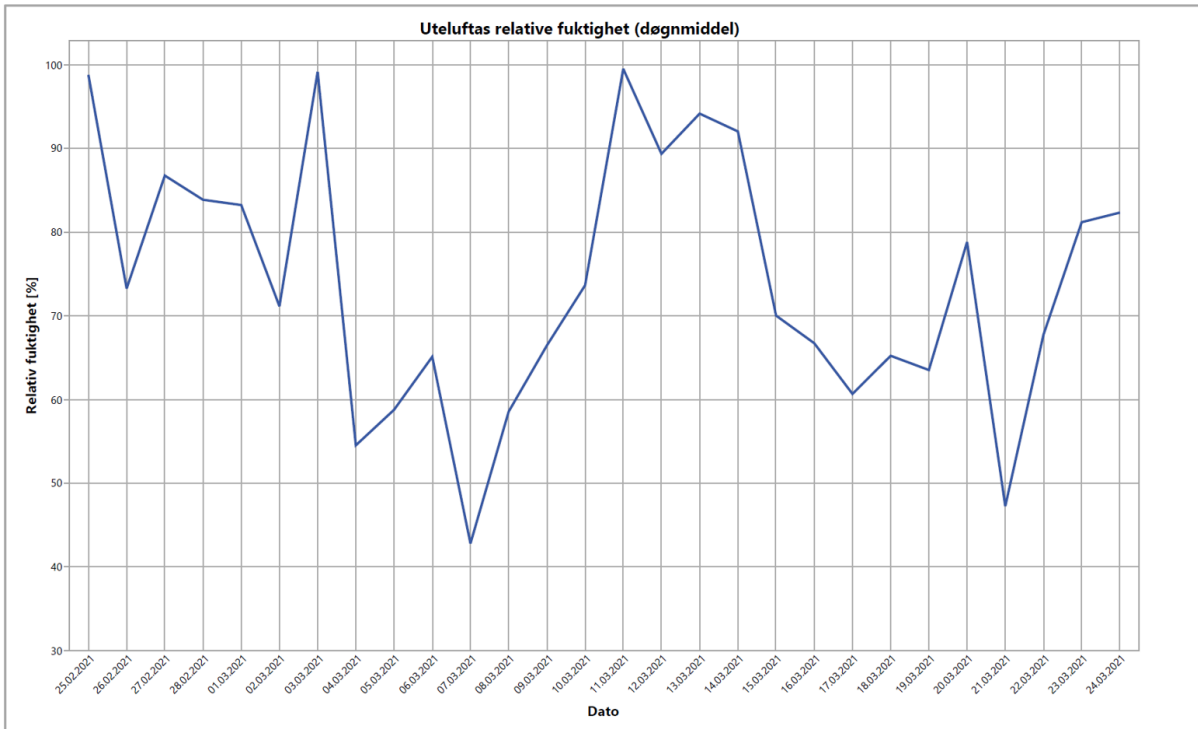
Mer enn 30 minutter sammenhengende: O

	Mandag	Tirsdag	Onsdag	Torsdag	Fredag	Lørdag	Søndag
06:00-07:00							
07:00-08:00							
08:00-09:00							
09:00-10:00							
10:00-11:00							
11:00-12:00							
12:00-13:00							
13:00-14:00							
14:00-15:00							
15:00-16:00							
16:00-17:00							
17:00-18:00							
18:00-19:00							
19:00-20:00							
20:00-21:00							
21:00-22:00							
22:00-23:00							
23:00-24:00							

## VEDLEGG H: Måleperiodens uteklima

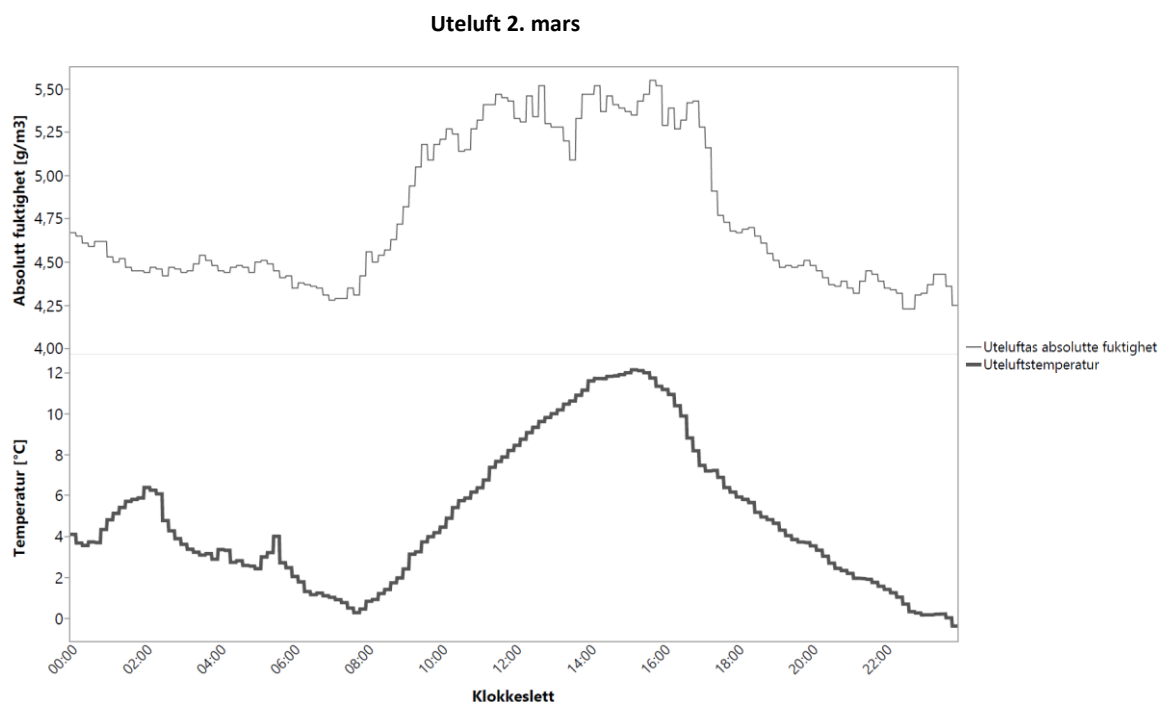
Innendørs luftfuktighet er avhengig av uteklimaet. Værdataene som er benyttet i denne oppgaven er hentet fra NMBU sin egen værstasjon på Søråsjordet, som ligger omtrent 500 meter fra måleobjektene. Det er disse værdataene som er benyttet i beregningen av innendørs fukttilskudd. Værstasjonens loggesystem har foretatt avlesninger av uteluftas temperatur og relative fuktighet hvert tiende sekund. Middelerverdier for hvert 10. minutt ble lagret i en database. Alle data ble kontrollert manuelt før de ble lagret og oversendt til studenten. Følgende figurer viser uteluftas temperatur, RF, samt nedbørsmengde. Data for nedbørsmengde er hentet fra [eklima.met.no](http://eklima.met.no).





## VEDLEGG I: Uteklima 2. mars

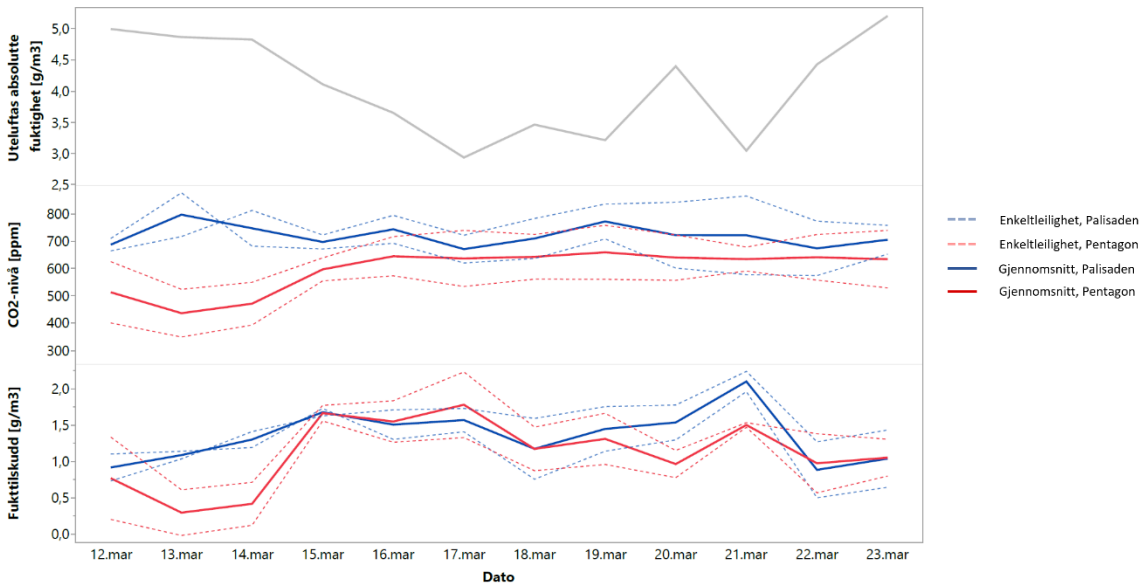
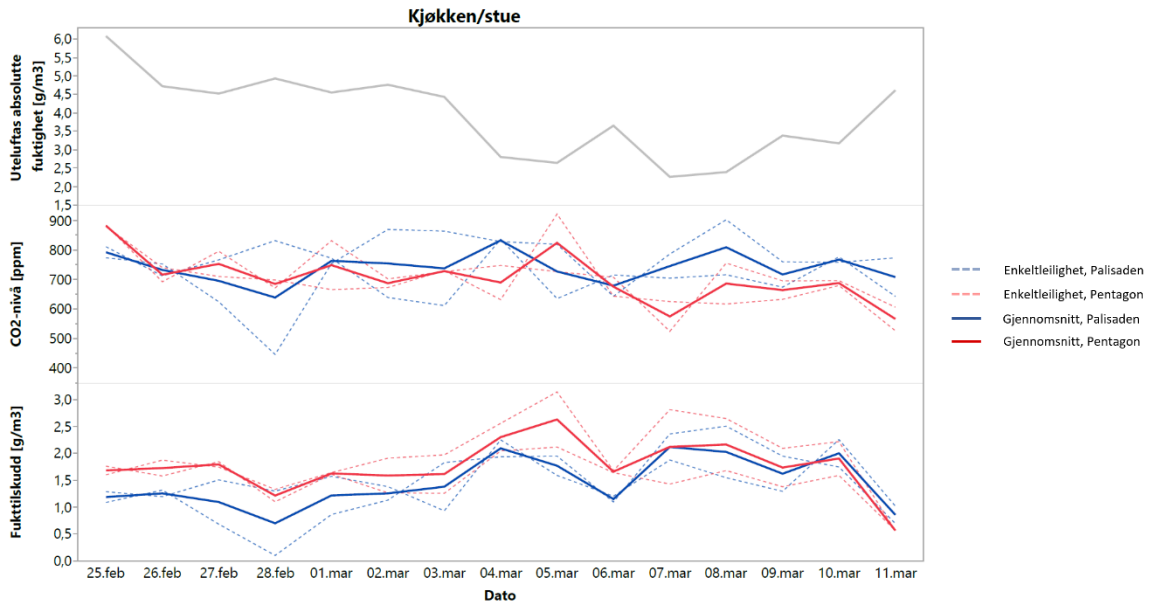
Påfølgende figur viser uteluftas absolutte fuktighet og temperatur for Ås den 2. mars.



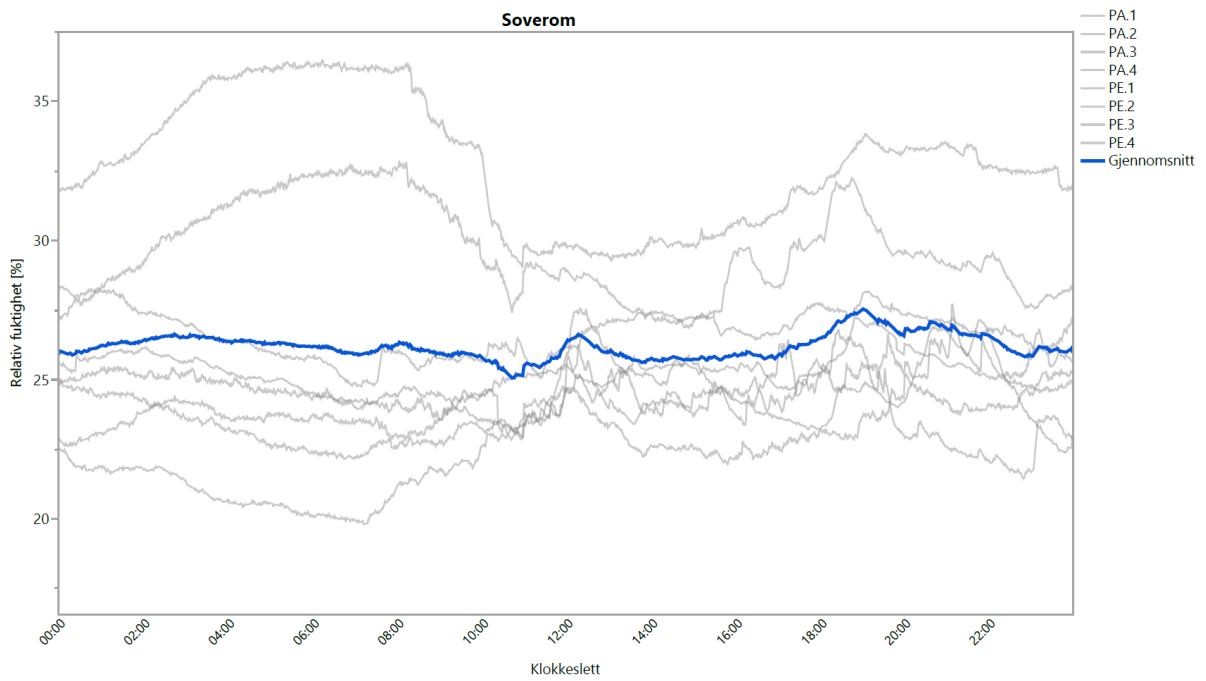
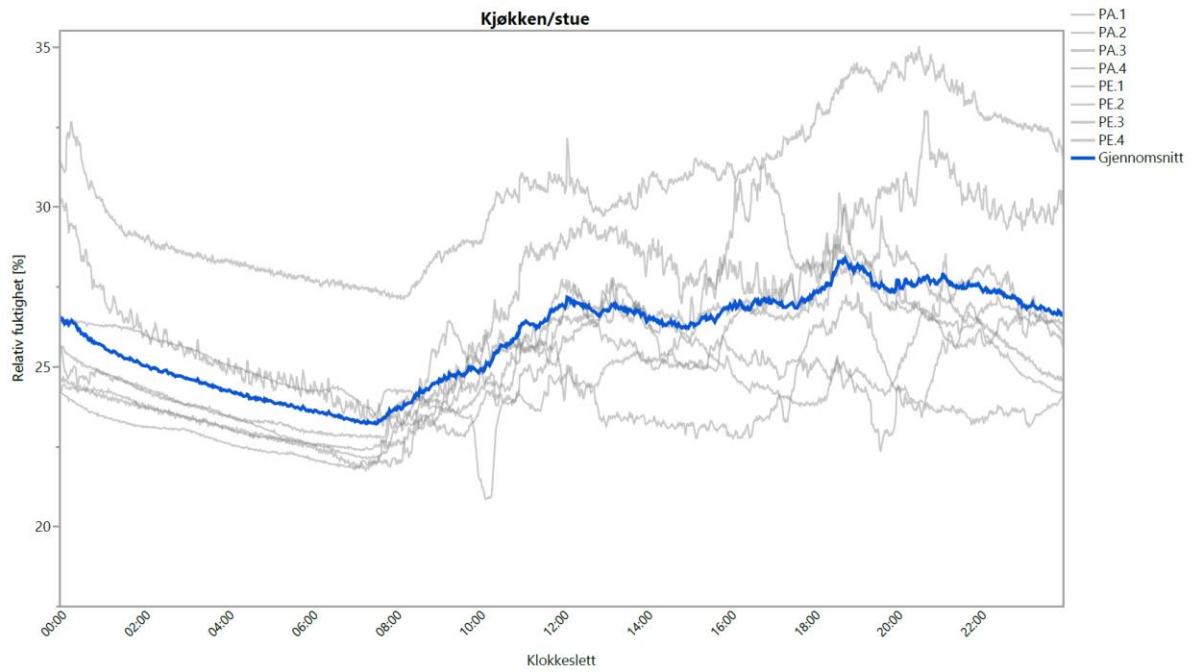
## VEDLEGG J: Døgnmiddelverdier av fukttilskudd for kjøkken/stue

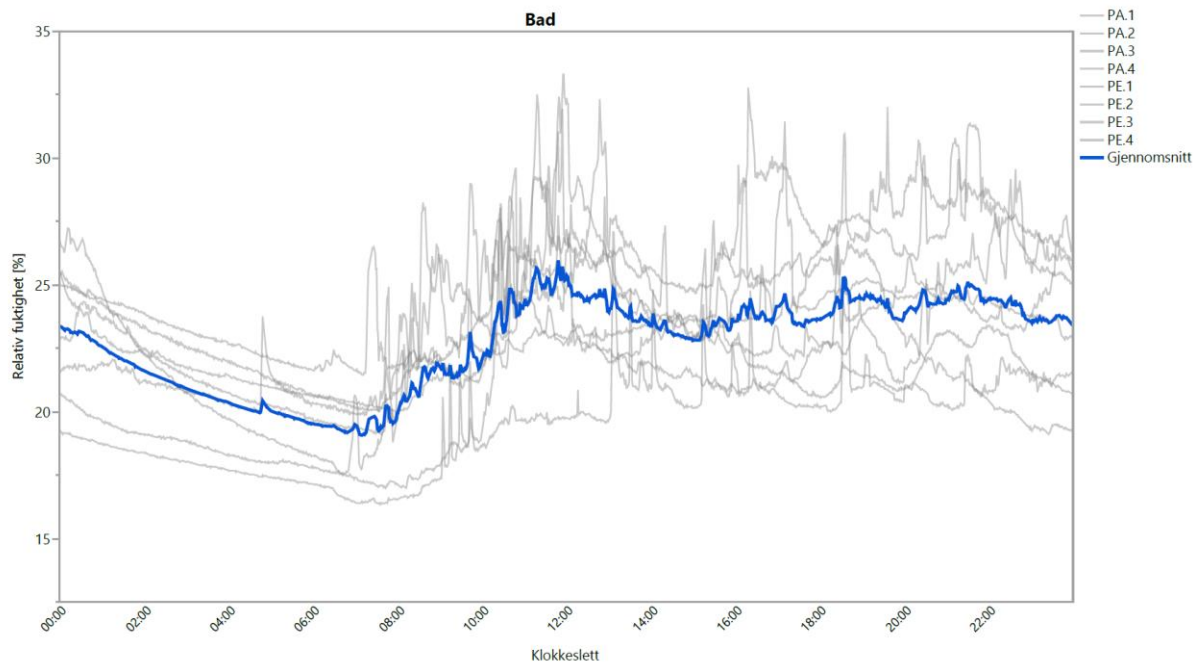
Påfølgende figur viser hele måleperiodens døgnmiddel av fukttilskudd for kjøkken/stue opp mot døgnmiddel av CO<sub>2</sub>-nivå og uteluftas absolutte fuktighet for alle leiligheter. Figuren er det inn i to grafer, én for hver måleperiode. Stiplet linje representerer nivåer for enkeltleiligheter og heltrukken linje viser gjennomsnittsverdier for hvert døgn. Blå linje representerer Palisaden-leiligheter og rød linje Pentagon-leiligheter. Som det fremgår av figuren, synker CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen i den ene Palisaden-leiligheten ned mot uteluftkonsentrasjon den 27-28. februar. Dette indikerer at beboerne ikke har vært hjemme store deler av disse døgnene. Dette forklarer den tydelige knekken i kurven for fukttilskudd disse dagene. Det samme gjelder trolig minst én av Pentagon-leilighetene 12-14 mars. Figuren viser at døgnmidelet av fukttilskudd i stor grad henger sammen med både uteluftas absolutte fuktighet og tilstedeværelse, særlig når det betraktes et såpass lite utvalg leiligheter over relativt kort tid.





## VEDLEGG K: Gjennomsnittlig døgnvariasjon av RF







**Norges miljø- og biovitenskapelige universitet**  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway