



OsloMet – storbyuniversitetet

Institutt for Bygg- og energiteknikk - Bygg
Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo
Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

GRUPPE NR.
TILGJENGELIGHET
Åpen

Telefon: 67 23 50 00
www.oslomet.no

Masteroppgave

PROSJEKTSOPPGAVENS TITTEL	DATO
Massivtre i kombinasjon med fuktstyrt ventilasjon	13.06.19
	ANTALL SIDER / ANTALL VEDLEGG 61/ 18
FORFATTERE	VEILEDER
Magnus Engehaugen	Dimitrios Kraniotis
SAMMENDRAG I de senere år er det blitt mer fokus på tiltak som kan redusere energiforbruk i bygninger og det er en økt bruk av massivtre i byggeprosjekter. I denne oppgaven er det utført målinger og simuleringer av en bebodd leilighet i et bygg i massivtre på Furuset i Oslo våren 2019. I leiligheten bor en familie på fire personer. Ulsholtveien 31 er bygget i 2017 etter passivhuskriterier i NS 3700. Målet i denne oppgaven var å undersøke hvilket energisparepotensial til de hygroskopiske egenskapene for eksponerte massivtreoverflatene i leiligheten, og samtidig vurdere tilstanden til det termiske innemiljøet i leiligheten. Det er foretatt målinger i perioden 30.04.19 – 02.06.19, og det er logget data for luftfuktighet, lufttemperatur, fukt i tre og temperatur i tre. Resultatene av beregningene av målingene viser til en teoretisk energibesparelse på 300 kWh/ pr. år for badet ved å benytte eksponert overflate av massivtre i stedet for en overflate uten hygroskopiske egenskaper for latent varme. Resultatene av simuleringene i WUFI Plus viser en potensiell besparelse på 82,9 kWh/ pr. år ved å benytte fuktstyrt ventilasjon med befukning/ avfukting i hele leiligheten.	

3 STIKKORD
Fuktstyrt ventilasjon
Massivtre
WUFI Plus

Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet ved Masterstudiet Energi og miljø i bygg ved OsloMet – storbyuniversitetet. Studien tar del av samarbeidsprosjektet EnerTre, hvor Norsk Treteknisk Institutt og Erichsen & Horgen er delaktige.

Jeg har utført masterstudiet som deltidsstudent over 3 år og har samtidig med masterutdanningen jobbet som VVS ingeniør. Etter fullført Bachelorgrad ved Energi- og miljø i bygg ved HiOA i 2009 har jeg jobbet med VVS og VA prosjektering, i tillegg til VVS faglig ansvar for eiendomsforvaltning det siste året.

Det er spennende for meg å arbeide med et tema som dreier seg om bruk av tre og samtidig vurdere om bruken av massivtre og eksponerte treoverflater kan minske ventilasjonsbehovet og dermed spare energi og miljø. Produksjonen av energi for oppvarming og ventilasjon av bygninger har stor betydning for klimagassutslippet, og det er derfor viktig å vurdere alle tiltak som kan ha en energisparende effekt.

Jeg vil takke min veileder og fagpersoner som har gitt meg faglige innspill og god veiledning i arbeidet med min avhandling.

Dimitrios Kraniotis, PhD Førstemanuensis, Institutt for Bygg- og Energiteknikk ved OsloMet - Storbyuniversitetet

Ida Bryn, Avdelingsleder/ Dr.ing, Erichsen & Horgen AS

Javad Darvishi, Rådgiver Bygg og Marked, Norsk Treteknisk Institutt

Peter Englundh, Produktspesialist, Max Sievert AS

Reidar Pettersen, Ingeniør, Lavenergisystemer AS

Jeg vil takke Heidi Koch Drønen i Betanien Oslo som har stilt Ulsholtveien 31 til disposisjon for dette prosjektet og vært behjelpelig med å finne beboer som var villig til å gi tilgang til sin leilighet.

Jeg er også særdeles takknemlig for at beboer i leilighet F101 i Ulsholtveien 31 har gitt meg mulighet til å utføre disse målingene våren 2019.

Det var opprinnelig planlagt å utføre målinger tidligere på året i en annen leilighet i Ulsholtveien 31 men det ble etter ønske fra beboer valgt å ikke benytte den leiligheten videre. Dette førte til at prosjektet og masteroppgaven ble ca. 3 uker forsinket.

Elverum, 13.juni 2019

Magnus Engehaugen

Sammendrag

I de senere år er det blitt mer fokus på tiltak som kan redusere energiforbruk i bygninger og det er en økt bruk av massivtre i byggeprosjekter. Lavere energibehov i nye og eksisterende bygninger er en nødvendighet og en målsetning for flere nasjoner og også for Norge.

Ventilasjon styres vanligvis på konstante luftmengder i boliger og vanligvis på et forholdsvis høyt nivå, som ofte økes ved for eksempel dusjing og matlaging. Luftmengdene er ofte like store når det er folk i boligen som når de er borte, og det er like luftmengder om dagen og om natten. Høy ventilering gir unødvendig energiforbruk. Det er dermed et energisparepotensial ved å regulere og styre ventilasjonen etter fuktnivået i treet og luften.

I tillegg er det en varmende effekt når vanndamp tas opp av treet ved for eksempel dusjing. Overflatetemperaturen på massivtreet øker når damp kondenserer, dette bidraget kan redusere varmebehovet på badet ved at det kreves lavere settpunkt temperatur for oppvarmingsanlegget og samtidig oppnå samme termiske komfort.

Det er tidligere utført studier som i hovedsak undersøker og vurderer de hygroskopiske egenskapene til eksponert tre i testhus eller under kontrollerte former i testlab. I denne oppgaven er det utført målinger og simuleringer av en bebodd leilighet i et bygg i massivtre på Furuset i Oslo våren 2019. I leiligheten bor en familie på fire personer. Ulsholtveien 31 er bygget i 2017 etter passivhuskriterier i NS 3700. Målet i oppgaven var å undersøke hvilken energisparepotensial det var for de eksponerte massivtreoverflatene i leiligheten og samtidig vurdere det termiske innemiljøet i leiligheten.

WUFI Plus er benyttet som simuleringsprogram, og det er bygget opp en modell i SketchUp av leiligheten som er importert inn i programmet. Det er utført simulering lik dagens funksjon av den desentraliserte ventilasjonsløsningen, og også utført en simulering med fuktstyrt ventilasjon med befukting/ avfukting for deretter å sammenligne årssimuleringsresultatene og energisparepotensial.

Det er foretatt målinger i perioden 30.04.19 – 02.06.19, og det er logget data for luftfuktighet, lufttemperatur, fukt i tre og temperatur i tre. Resultatene av målingene er deretter analysert og det er utført beregninger for å vurdere latent varmeeffekt på badet.

Resultatene av beregningene av målingene viser til en teoretisk energibesparelse på 300 kWh/ pr. år for badet ved å benytte eksponert overflate av massivtre i stedet for en overflate uten hygroskopiske egenskaper for latent varme.

Resultatene av simuleringene viser en potensiell besparelse på 82,9 kWh/ pr. år ved å benytte fuktstyrt ventilasjon med befukting/ avfukting for hele leiligheten i stedet for å benytte fuktstyrt ventilasjon med avfukting kun på bad.

Innholdsfortegnelse

1 Introduksjon	5
1.1 Bakgrunn.....	5
1.2 Litteratur.....	6
1.3 Problemstilling og hypotese.....	7
2 Metode.....	8
2.1 Referansebygg.....	8
2.2 Krav for energiforbruk og inneklime.....	10
2.3 Ventilasjon	11
2.3.1 Fuktbelastning.....	17
2.2 Målinger.....	18
2.2.1 Temperatur og luftfuktighet ute	25
2.3 Simulering	26
2.3.1 Modell i SketchUp og simulering i WUFI Plus	26
2.3.2 Data for simulering i WUFI Plus	28
2.4 Analyse	33
3 Resultat	34
3.1 Resultat målinger.....	34
3.2 Resultat simulering i WUFI Plus.....	42
3.2.1 Resultat simulering med fuktstyring kun på bad	43
3.2.2 Resultat simulering med fuktstyring befukting/ avfukting ..	49
3.2.3 Klimadata fra simuleringen i WUFI Plus.....	56
4 Diskusjon	57
4.1 Diskusjon målinger.....	57
4.2 Diskusjon simulering	58
4.3 Diskusjon usikkerhetsvurdering	59
5 Konklusjon	60
5.1 Forslag til videre arbeid	60
Referanseliste.....	62
Vedlegg	64

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Bygningssektoren bidrar til en vesentlig del av den globale oppvarmingen. Materialbruk ved bygging og mulig avfallshåndtering etter nedrivning, samt bruk av bygningsmassens tekniske anlegg gir en betydelig miljøpåvirkning. Tidligere studier har påvist at store deler av den negative miljøpåvirkningen skyldes drift- og vedlikeholdsfasen og at driftsfasen for den norske bygningsmassen står for ca. 40 % av det norske landbaserte energiforbruk [1].

Lavere energibehov i nye og eksisterende bygninger er en nødvendighet og en målsetning for flere nasjoner. Regjeringen arbeider for å oppfylle Parisavtalen sammen med EU. Norges klimapolitikk er forankret i Stortinget gjennom to klimaforlik i 2008 og 2012. Det er utarbeidet virkemidler for å nå disse klimamålene [2] og klimaforliket 2012 angir at energikravene i bygningsforskriften skal skjerpes til nesten nullenerginivå i 2020 [3].

Det er studier som viser at bruk av massivtre i bygningsmasser kan redusere energiforbruk [4,5,6,7,8]. Tre har fuktbufferegenskaper som gjør at treet naturlig tar opp og avgir fukt fra inneluften. Det gjør at inneluften kan få et naturlig jevnere fuktinnhold. Vanligvis styres ventilasjon i leiligheter uavhengig av fuktinnholdet i luften.

Massivtreet kan potensielt redusere energiforbruk på to måter som er beskrevet under.

Ventilasjon styres vanligvis på konstante luftmengder i boliger og vanligvis på et forholdsvis høyt nivå, som ofte økes ved for eksempel dusjing og matlaging. Luftmengdene er ofte like store når det er folk i boligen som når de er borte, og det er like luftmengder om dagen og om natten. Høy ventilering gir unødvendig energiforbruk. Det er et dermed et energisparepotensiale å regulere og styre ventilasjonen etter fuktnivået i treet og luften.

I tillegg er det en potensiell varmende effekt når vanddamp tas opp av treet ved for eksempel dusjing. Overflatetemperaturen på massivtreet øker når damp kondenserer, dette bidraget kan redusere varmebehovet på badet ved at det kreves lavere settpunkt temperatur for oppvarmingsanlegget og samtidig oppnå samme termiske komfort.

1.2 Litteratur

Det er i tidligere forskning i stor grad utført studier med forsøk i egne testrom for å dokumentere massivtreets effekt på inneklima, massivtreets fuktbufferegenskaper og effekten av økt overflatetemperatur på grunn av latent varme er også beregnet og dokumentert. I denne masteroppgaven ønskes det å vurdere effekten av disse egenskapene til massivtreet under reelle norske forhold ved å foreta målinger i en leilighet som er i daglig bruk.

I en studie fra 2017 [4] er det fokusert på fenomenet fuktbuffering og dets innvirkning på bygnings energiforbruk. Det utarbeides matematisk uttrykk for fuktbufferingsverdi og lager en korreksjonsfaktor for å beregne fuktinntaket og frigjøringen av fukt fra hygroskopiske materialer. Effekten på energiforbruket vurderes ved å benytte numeriske simuleringer. Det vises til en potensiell energisparing på opptil 25-30%.

I en annen studie fra 2017 [5] presenteres de teoretiske energibesparelser for lavenergi bygninger med eksponerte treoverflater under forskjellige fuktighetsnivåer innendørs. Simuleringsverktøyet WUFI Pro er benyttet for å estimere mulige forskjellige fuktighetsnivåer i trekonstruksjonene. Den latente varmen som frigjøres og absorberes er matematisk beregnet for en referansebygning. Resultatet viser potensialet for termisk energibesparelse ved egenskapene for hygroskopiske materialer. Begrensningene av fenomenene diskuteres i studien.

Det er også en studie fra 2017 som vurderer latent varmeegenskaper av eksponert massivtre i gran og dette sammenlignes med ikke hygroskopiske materialer. Det sammenlignes også potensialet av direkte energibesparelser mellom hygroskopiske og ikke hygroskopiske materialer [6]

Det er flere studier hvor det effekten av hygroskopiske materialer og effekten av latent varme er vurdert. I en til studie fra 2016 [7] er de tre typiske byggematerialene ubehandlet norsk gran, gipsplater og betongplater sammenlignet. Det er benyttet termografering og utført målinger under ulike fuktighetsnivåer. Resultatene dokumenterer høyere overflatetemperatur og mulig utnyttelse av latent varme for de hygroskopiske materialene.

Det er utført forsøk og studie i 2009 [8] som benytter ventilasjonssystem styrt på relativ luftfuktighet sammen med egenskapene til hygroskopiske materialer. Det benyttes fire ulike simuleringsverktøy for å analysere effekten. De forskjellige resultatene viser til mulig energibesparelse ved å benytte ventilasjon som styres etter relativ fuktighet og at dette gir en jevnere luftfuktighet innendørs.

1.3 Problemstilling og hypotese

Hypotese:

Massivtre i kombinasjon med fuktregulert ventilasjon i boliger er energisparende som et resultat av mindre ventilasjonsbehov og mindre oppvarmingsbehov på bad.

Problemstilling:

Tidligere forskning har dokumentert massivtre sin effekt på relativ luftfuktighet i egne testrom hvor det konkluderes med behov for lavere ventilasjonsluftmengder og bidrag fra høyere overflatetemperatur for potensiell energisparing.

Denne studien tar for seg å utføre målinger under reelle forhold og samtidig utføre simuleringer i WUFI Plus.

Deretter analyseres resultater fra målinger og simuleringer for å vurdere energisparepotensialet og effekten av massivtre i kombinasjon med fuktstyrt ventilasjon.

2 Metode

2.1 Referansebygg

Stiftelsen Betanien Oslo har utviklet sin eiendom Kirkehøy på Furuset for å gi unge mennesker et botilbud. Sammen med FutureBuilt gjennomførte Stiftelsen Betanien en konkurranse for førstehjemsboliger på Furuset, som ble vunnet av Haugen/Zohar Arkitekter.

På den 4,8 mål store tomten er det oppført to rekkehuslignede nybygg med til sammen 27 leiligheter i tre forskjellige størrelser.

Denne masteroppgaven tar for seg leilighet F101 (se vedlegg A plantegning og snittegning) i bygning A (som vist på bildet under). Leiligheten F101 som skal benyttes i studien brukes av en familie på fire personer, mor og tre barn. Det er to av barna som deler soverom nord, et barn bruker soverom sør og moren benytter stue og sovesofa.



Figur 2.1: Bygning A i Ulsholtveien 31

De to nye rekkehusene er lagt på vestsiden av tomten, og alle de 27 leilighetene i nybyggene har innganger fra dette uteområdet. Se situasjonsplan under som viser plassering leilighet F 101 i første etasje bygning A [9].



Figur 2.2: Situasjonsplan som viser plassering av leilighet F101 med rød markering [10]

De nye leilighetsbyggene er oppført i massivtre i vegger, dekker og tak. Alle elementene er prefabrickerte. Massivtreprodusenten bruker 55 % av trestokken i veggelementer, resterende 45 prosent benyttes til trefiberisolasjon i vegger, tak og dekker. Innvendig er massivtreelementer overflatebehandlet med diffusjonsåpen osmo olje. Gulvene har linoleumsbelegg. Nybyggene har passivhusstandard etter NS3700.

Energiforsyning kommer fra varmepumpe, solvarme, gråvannsgjenvinning og solceller [9].



Figur 2.3: Bildet viser uteområdet utenfor leilighetene i massivtre i Ulsholtveien 31 [10].

Prosjektet ble ferdigstilt i 2017 og mottok Trebyggeriprisen og Arkitekturprisen samme året [9].

2.2 Krav for energiforbruk og inneklima

Ulsholtveien 31 er bygget etter passivhuskriteriene i NS 3700. Standarden setter minstekrav til energibehov til oppvarming, beregningskriterier og minstekrav til bygningsdeler og installasjoner, som for eksempel ventilasjon. Standarden angir tre nivåer av energieffektive bygninger:

- Passivhus
- Laveenergibygning klasse 1
- Laveenergibygning klasse 2

Standarden bygger på energibehovsberegninger etter NS 3031 [3].

For å sikre energieffektive løsninger i alle deler av et passivhus så stiller NS 3700 følgende minstekrav til både byggtekniske løsninger og ventilasjonssystemet:

- U-verdi vinduer og dører: $0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Kuldebroverdi: $0,003 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Varmegjenvinning ventilasjon: 80 %
- SFP-faktor ventilasjonsanlegget: $1,5 \text{ kW(m}^3/\text{s)}$
- Lekkasjetallet ved 50 Pa: 0,6 [3]

NS-EN 15251 viser til inneklimaparametere som har en effekt på bygningers energiytelse og inneklima. Standarden beskriver hvordan disse parametere som for eksempel temperatur, luftfuktighet og CO_2 skal bestemmes for dimensjonering av bygningers tekniske systemer og beregning av bygningers energiytelse. NS-EN 15251 anbefaler en luftmengde på 7 l/s pr. person og at CO_2 ikke skal overstige 500 ppm over utenivå [11].

Inneklimaparametere må også dimensjoneres for å følge krav i Byggteknisk forskrift (2017) [12].

2.3 Ventilasjon

Ventilasjonssystemet i leilighetene i Ulsholtveien 31

De nye leilighetsbyggene i Ulsholtveien 31 er utstyrt med desentrale ventilasjonsløsninger fra Lunos levert av Lavenergisystemer AS. Det er benyttet fire Lunos e2 ventilasjonsenheter (se vedlegg B) montert i yttervegg, dvs. to enheter per fasade. Enhetene arbeider i par, hvor en fasade vekselvis har tilluft og den andre fasaden har avtrekk for deretter å veksle luftstrøm hvert minutt. På den måten varmes den keramiske roterende varmegjenvinneren opp og oppnår en årsgjennomsnittlig varmegjenvinningsgrad på 80% i henhold til produsent [13].



Figur 2.4: Bilde viser Lunos e2 [13]

Lunos e2 styres fra bryter Lunos 5-UNI-FT (se vedlegg C) plassert i bod. På denne bryteren kan det manuelt velges mellom 3 ulike luftmengder. Beboer i leiligheten hadde selv stilt denne inn på den høyeste luftmengden, trinn 3 med 38 m³/h pr. enhet.



Figur 2.5: Bilde viser Lunos 5-UNI-FT bryter i bod stilt inn på høyeste luftmengde av beboer

Lunos 5-UNI-FT har også føler for relativ luftfuktighet og kan dermed regulere enhetene Lunos e2 etter fukt.



Figur 2.6: Bilde viser komponenter i Lunos 5-UNI-FT bryter med føler for luftfuktighet [13]

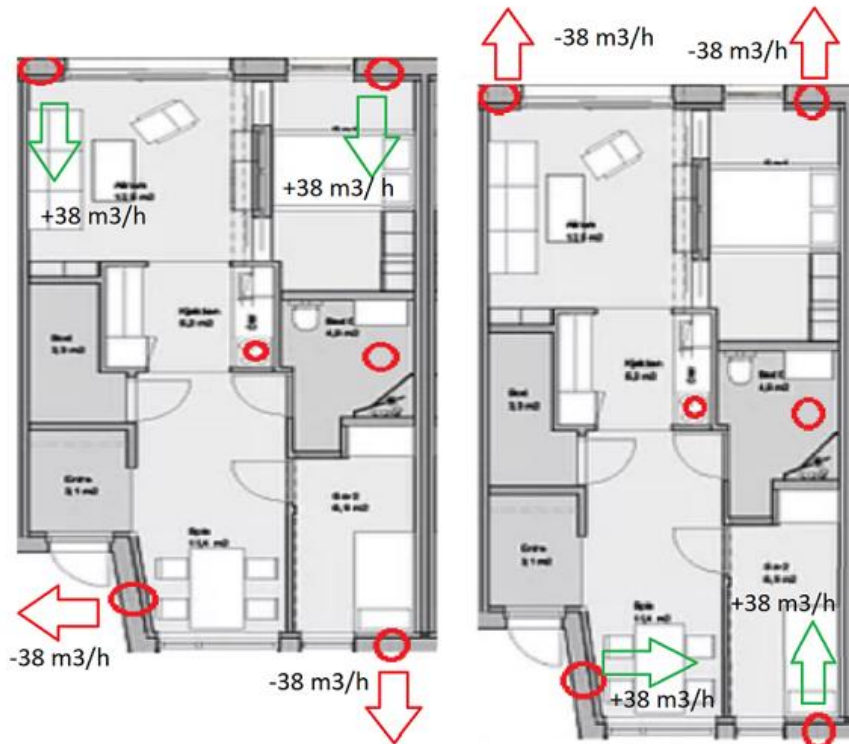
Det er ikke levert produkter fra Lunos til kjøkken. For badrom er det benyttet Lunos Silvento v-ec med bevegelsesdetektor og fuktighetssensor, med behovslufting styrt av nærvær eller relativ luftfuktighet. Denne funksjonen har altså helautomatisk drift. Lunos Silvento v-ec (se vedlegg D) var innstilt på 50 m³/h styrt av fuktighetssensor med RF >50 %, bevegelsesdetektor 45 sekunder forsinket start og i tillegg 15 minutters grunnventilasjon hver annen time (se vedlegg D.1) konfigurasjonsbeskrivelse).

System i bad og oppholdsrom opererer uavhengig av hverandre basert på behov. En trykkmessig ubalanse vil altså derfor forekomme når avtrekksventilator på badrommet er i drift.



Figur 2.7: viser utsnitt av plantegning med plassering av ventilasjonsenheter i leiligheten.

Den desentraliserte ventilasjonen fungerer i par slik at en fasade tilfører tilluft med $2 \times 38 \text{ m}^3/\text{h}$ og den andre fasaden har avtrekk/ avkast med $2 \times 38 \text{ m}^3/\text{h}$ slik at det oppnås balansert ventilasjon i leiligheten. Tilstand ved balansert ventilasjon og tilluft fra nord-fasade er visualisert i figuren til venstre nedenfor.



Figur 2.8: viser luftstrøm for ventilasjon med intervall mellom fasader hvert minutt

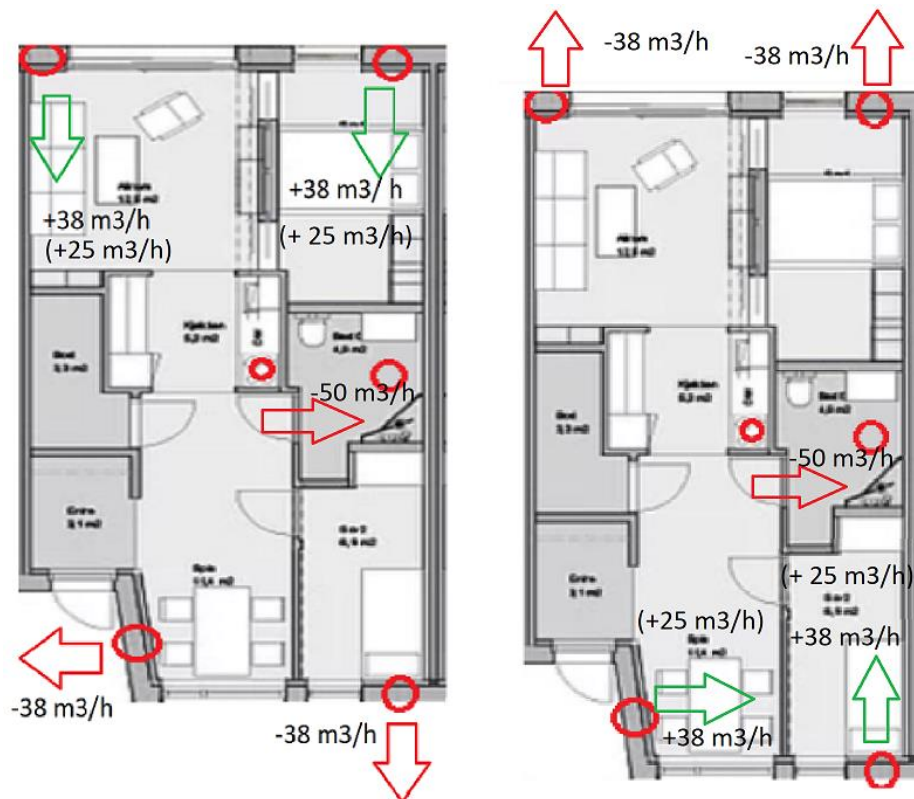
Luftstrømningsretningen endres for hvert minutt slik at situasjonen visualisert ovenfor pågår i et minutt. Tilluft fra sør-fasaden er visualisert i figuren til høyre. Slik veksler Lunos e2 enhetene luftstrømningsretningen konstant med 1 minutt intervall.

Avtrekk på bad med Lunos Silvento v-ec enheten er som tidligere beskrevet ikke tilknyttet systemet med de desentraliserte enhetene Lunos e2. Enheten er stilt inn på 50 m³/h i avtrekk på bad ved bruk/ bevegelse, luftfuktighet over 50 % eller 15 minutter avtrekk hver annen time (se vedlegg D.1). Det er derfor ingen samkjøring mellom den balanserte ventilasjonen i yttervegg og avtrekk på bad. Når det blir 50 m³/h i avtrekk på bad så oppstår det en ubalanse i ventilasjonen slik at det blir undertrykk i leiligheten.

Luftmengden inn i leiligheten blir da tilluftsmengden og i tillegg avtrekksluftmengden i badet:

$$- (38 \text{ m}^3/\text{h} + 38 \text{ m}^3/\text{h}) + 50 \text{ m}^3/\text{h} = 126 \text{ m}^3/\text{h}$$

Situasjonen ved avtrekk på bad er visualisert i figurene under. Luftstrømningen vil fremdeles ha et intervall på 1 minutt mellom fasadene samtidig som det er avtrekk på bad.



Figur 2.9: viser situasjonen ved avtrekk på bad

Beregninger ventilasjon TEK 17/ VTEK1, NS-EN 15251 og NS3031

I henhold til teknisk forskrift og VTEK [12] så skal minstekrav til luftmengder være oppfylt der den største luftmengden for de 3 kravene blir gjeldende:

- Generell ventilasjon. $1,2 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$.
- Tilluft pr. person. Det regnes 1 person pr. (planlagte) sengeplass ($26 \text{ m}^3/\text{h}$ pr. person).
- Avtrekk fra våtrom og kjøkken. Har en bolig flere våtrom, kan dette bli dimensjonerende.

For boliger er det forholdsvis lave luftmengder i kravene og det forutsettes at det blir ventilert ekstra gjennom åpne dører og vinduer. Minstekravene for ventilasjon må oppnås med lukkede vinduer og dører [14].

Det er likevel spesifisert at vindusluftning er å anse som tilleggsventilasjon.

Boligen kan dimensjoneres for lavere luftmengde til $0,7 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ved langvarig fravær og samtidig boligen er uten fuktproduksjon.

Boder og lignende rom som ikke er beregnet for opphold kan beregnes kun for å fjerne emisjoner fra bygningsmaterialer og lignende.

Arealer leilighet:

- Soverom sør 6,9 m², Bad 4,9 m², Soverom nord 8,8 m², Stue (Allrom) 12,5 m², Kjøkken 5,2 m², Spise stue 11,4 m², Bod 3,3 m², Entre 3,1 m².
Totalt 56,1 m²

Stue, Kjøkken Spisestue og Entre er åpen løsning uten vegger og dører mellom disse rommen. Beregning av de 3 metodene i TEK17 og VTEK for å finne høyest luftmengde:

1. Generell ventilasjon $1,2 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$: $56,1 \times 1,2 = 67,32 \text{ m}^3/\text{h}$
2. Tilluft pr. person: $4 \times 26 \text{ m}^3/\text{h} = 104 \text{ m}^3/\text{h}$
3. Avtrekk våtrom og kjøkken: $36 + 54 = 90 \text{ m}^3/\text{h}$ (Forsert $108 \text{ m}^3/\text{h}$)

Her blir metoden med tilluft pr. person dimensjonerende grunnventilasjon med $104 \text{ m}^3/\text{h}$, og valgt løsning må ta hensyn til forsert ventilasjon for forsert luftmengde for $108 \text{ m}^3/\text{h}$ for bad/kjøkken.

NS-EN 15251 Inneklimaparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk. Standarden angir luftmengdebehov i tillegg B.2 Anbefalte dimensjonerende luftmengder i boliger og angir de samme 3 emnene som TEK17/VTEK. Standarden angir også ulike dimensjoneringskriterier for ulike kategorier av bygninger. For Ulsholtveien 31 tas det i denne masteroppgaven utgangspunkt i kategori 2 som gjelder normalt forventningsnivå som brukes for nye og rehabiliterte bygninger.

1. Luftutvekslingsmengde $1,512 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ eller $0,6 \text{ h}^{-1}$: $56,1 \times 1,512 = 84,82 \text{ m}^3/\text{h}$ eller $0,6 \text{ h}^{-1}$ med himlingshøyde $2,69 = 90,54 \text{ m}^3/\text{h}$. $90,54 \text{ m}^3/\text{h}$ blir høyest.
2. Tilluft pr. person: $4 \times 26 \text{ m}^3/\text{h} = 104 \text{ m}^3/\text{h}$. Luftmengde stue/ soverom $28,2 \text{ m}^2 \times 3,6 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2) = 101,52 \text{ m}^3/\text{h}$.
3. Fraluftstrøm: Kjøkken $72 \text{ m}^3/\text{h}$, Bad $54 \text{ m}^3/\text{h}$.

Her blir også metoden med tilluft pr. person dimensjonerende grunnventilasjon med $104 \text{ m}^3/\text{h}$.

I NS-EN 15251 er det også angitt anbefalte kriterier for dimensjonering av befuktning og avfuktning. Dette er beskrevet i standardens tillegg B.3. For bygningskategori 2 er det her beskrevet dimensjonerende relativ fuktighet for avfuktning til 60 %, dimensjonerende relativ fuktighet for befuktning er 25 % [11]. Dette er relevant for vurderingen av mulighetene for å styre ventilasjonen for å utnytte treets hygroskopiske egenskaper i leiligheten i simuleringen i WUFI Plus. Det anbefales også i standarden å begrense den absolutte fuktigheten til $12 \text{ g}/\text{kg}$.

Styring av ventilasjonsanlegg for luftfuktighetskontrollerte rom med fra/ til luft er beskrevet i henhold til NS-EN 15232 2012 til klasse B som tilsvarer avanserte byggautomatiseringsanlegg, bedre enn normal standard [15].

NS3031 angir i Tabell A.13 – Minste tillatte luftmengder i drift for å dokumentere energiytelse ved normerte betingelser ved DCV [16]. I standarden er det angitt bygningskategori Småhus- og boligblokk og boenhet for arealflate under 110 m^2 og minste spesifikke luftmengde ved DCV i driftstiden er her også angitt til $1,2 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$.

Dette innebærer at tilluft pr. person er dimensjonerende grunnventilasjon med $104 \text{ m}^3/\text{h}$, og at $67,32 \text{ m}^3/\text{h}$ skal benyttes for luftmengdebehovet ved beregning av leilighetens/ bygningens energibehov og energiforsyning.

2.3.1 Fuktbelastning

Innendørs luftfuktighet påvirkes av utendørs luftfuktighet, innetemperatur, innendørs fuktilder som personer (30 – 80 g/time), matlaging, vask/tørk, badrom o.l. Total vanndamp produksjon er ca. 10 – 15 kg/døgn pr familie. Annen faktor som påvirker innendørs luftfuktighet er ventilasjons luftmengde [17].

Formel for fuktinnhold:

OSLOMET

Fukt i inneluft

$$v_{\text{inne}} = v_{\text{ute}} + \frac{G}{n \cdot V} = v_{\text{ute}} + \Delta v \quad (\text{g/m}^3)$$

der:

- v_{ute} er vanndampinnholdet i utelufta (g/m^3).
- G er total fuktproduksjon (g/h).
- n er antall luftskifter (per time).
- V er romvolum (m^3).
- $\Delta v = (v_{\text{inne}} - v_{\text{ute}})$ er fukttilskudd (g/m^3).

OSLO METROPOLITAN
STORBYUNIVERSITET

Formel 2.1

Internt varmetilskudd spiller en stor rolle for energibalansen i de fleste bygninger. Betydningen har vært økende etter hvert som bygningene har blitt bedre varmeisolererte og tettere. Med internt varmetilskudd forstår vi varme som avgis fra lys utstyr og personer i bygningene [1]. For leiligheten må noen parametere for internlast simulere i WUFI Plus.

2.2 Målinger

Det er utført målinger i leilighet F101 i første etasje i bygg A rekkehusleiligheter i Ulsholtveien 31. Målingene er utført med måleutstyr fra Celsicom for å måle fukt i tre, temperatur i tre, luftfuktighet og lufttemperatur. Utstyret fra Celsicom ble kjøpt inn av OsloMet i forbindelse med dette prosjektet. Q-TRAK 7565-X fra TSI Incorporated er lånt fra OsloMet og benyttet for måling av CO₂. Målingene er foretatt våren 2019. Utstyret er plassert i henhold til anbefalinger og befaringer sammen med Peter Englundh [18] fra Max Sievert AS og Dimitrios Kraniotis [19] fra OsloMet – Storbyuniversitetet.

Det er plassert ut følere fra Celsicom for å dokumentere luftfuktighet, temperatur, fukt i tre og temperatur i tre. Utstyret er levert av MaxSievert AS.

Måleutstyr er brukt til evaluering av termisk miljø i leiligheten.

Skisse under viser plassering av ventilasjonsenheter med rød sirkel, plassering Celsicom temp/ luftfuktighet med blå sirkel, plassering fukt og temperatur i tre med grønn sirkel og plassering Q-TRAK 7565-X for CO₂ måling med gul sirkel. Gul sirkel viser også plassering for basestasjon fra Celsicom. Alle trådløse givere/ loggere er plassert på 2,2 meters høyde.



Figur 2.10: viser plassering av utstyr i leiligheten

Basestasjon CC202 er plassert oppe på kjøleskap i kjøkken mest mulig i senter av leiligheten og i senter av plasseringer av loggere i hvert rom. Basestasjonen har uttak for USB-modem for mobilt nettverk via 3G som gir tilgang til å overvåke systemet og trådløse loggere via nettsky.



Figur 2.2.2 viser bilde av basestasjon utviklet av Celsicom AB

Bildet under viser plasseringen av basestasjonen på toppen av kjøleskapet. Her er også Q-TRAK 7565-X plassert med CO₂ proben/ måleren synlig på bildet. Metode CO₂ er beskrevet i et senere avsnitt.



Figur 2.11: Bilde viser plassering CO₂ måler over kjøleskap på samme sted som basestasjonen fra Celsicom.

MAEND5900 Masteroppgave Kandidat 820

Kopi av skjermbilde fra deler av nettskyen vises under. Bad TRE fuktkvot var på dette tidspunktet 9,0 %. Den laveste målbare fuktkvoten er 8,3 %. Målingene var til tider under denne verdien, og det er derfor ikke vist målinger for fuktkvot i tre for hele perioden. Disse målingene og hendelsene er beskrevet mer under resultater.

Platser	
Plats	Värde
Bad Duggpunkt 00804737efa80153	11.6 td °C
Bad Luftfuktighet 00804737efa80153	52.2 %
Bad Temp 00804737efa80153	22.3 °C
Bad Temperatur i tre 00a0ae4933ffff	22.32 °C
BAD TRE fuktkvot 0000000004f18ad	9.0 %
BAD TRE Temperatur 0000000004f18ad	22.6 °C
Bad Ånghalt 00804737efa80153	10.30 g/m ³
Sov Nord Duggpunkt 00804aac31180151	11.5 td °C
Sov Nord Luftfuktighet 00804aac31180151	50.9 %
Sov Nord Temp 00804aac31180151	22.7 °C
Sov Nord Tre 0000000004f1eb9	22.9 °C
Sov Nord TRE Fuktkvot 0000000004f1eb9	8.8 %
Sov Nord Ånghalt 00804aac31180151	10.27 g/m ³
Sov Sør Duggpunkt 00804872721b0150	11.5 td °C

Figur 2.12: viser skjermdump av nettsky i Celsiview

For måling av fukt i tre er det benyttet MC501 fuktkvotsgiver med kabel. Denne trådløse givener måler også lufttemperatur i enheten. Krokodilleklemmene er festet på rustfrie skruer 3,5 x 20 mm som er skrudd inn i massivtreet på 1 cm dybde.



Figur 2.13 viser bilde av fuktkvotsgiver inkl. kabel



Figur 2.14: viser bilde av rustfrie treskruer 3,5 x 20 mm



Figur 2.15: viser bilde av MC501 med fuktgiver og skruerinnfesting 1 cm dybde montert i sone 3/ soverom nord. TH500 er montert til høyre for MC501.

For måling av lufttemperatur og luftfuktighet er det benyttet TH500 (se figur 2.15).

For måling av temperatur i tre er det benyttet T501B. Måling av temperatur i tre er utført i massivtrevegg i bad med måling på 1 cm dybde i en uke fra 28.05.19 – 04.06.19.



Figur 2.16: viser bilde av T501B

I dusjhjørne på bad er det benyttet Aquapanel fra Norgips. Dette er en vann- og fuktbestandig plate bygget opp med portlandsement [20]. Loggere er montert i massivtreet som vist på bilde under.



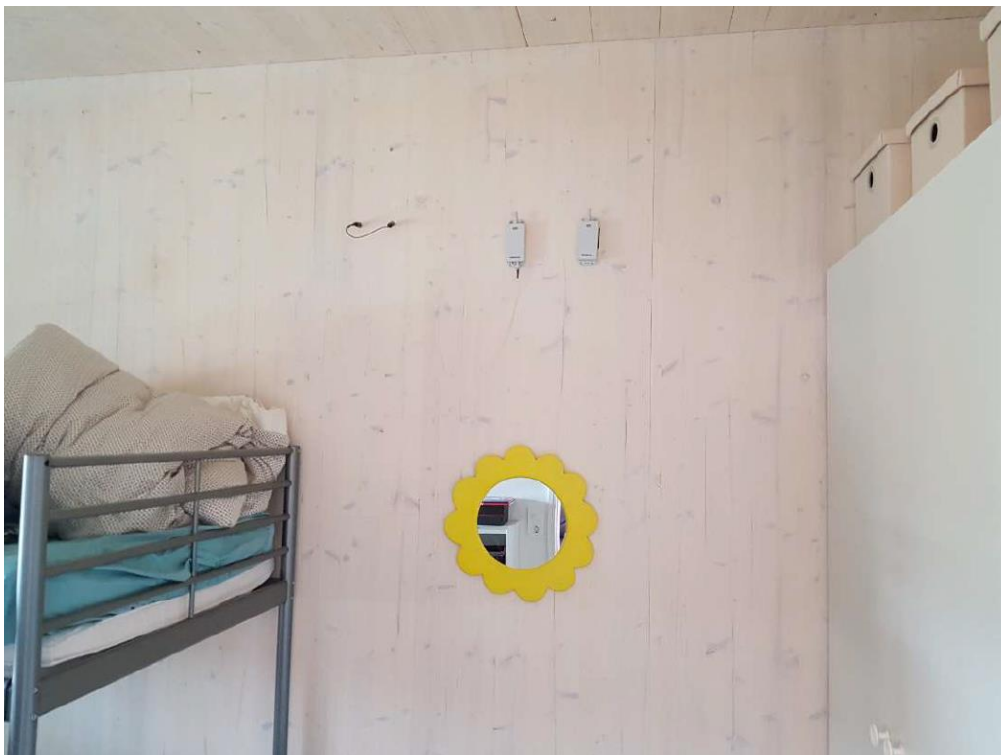
Figur 2.17: viser bilde av TH500, MC501 og T501B montert på massivtre vegg på sone 2/ bad

For soverom sør ble Celsicom loggere plassert på vegg mot leilighet E. Skruer for måling av fukt i tre ble flyttet til samme treåre slik at skruer er plassert over/ under hverandre [19].



Figur 2.18: viser bilde med plassering av TH500 og MC501 i sone 1/ soverom sør

For soverom nord ble Celsicom loggere plassert på vegg mot leilighet E. Skruer for måling av fukt i tre ble flyttet til samme treåre slik at skruer er plassert over/ under hverandre ved befaring 14.05.19 [19].



Figur 2.19: viser bilde med plassering av TH500 og MC501 i sone 3/ soverom nord

I stue ble Celsicom loggere plassert på vegg mot leilighet H. Skruer for måling av fukt i tre ble flyttet til samme treåre slik at skruer er plassert over/ under hverandre [19]. I hjørnet ved siden av gardinstangen vises plasseringen av Lunos e2 i yttervegg mot nord.



Figur 2.20: viser bilde med plassering av TH500 og MC501 i sone 4/ stue-kjøkken

I vedlegg E vises beskrivelse av funksjonene til Celsicom loggere med blant annet målingsområder og måleusikkerhet.

Q-TRAK 7565-X er benyttet for måling av CO₂ i leiligheten.



Figur 2.21: viser bilde av Q-TRAK 7565-X

CO₂ måleren er plassert oppe på kjøleskap på kjøkken i senter av leiligheten. Det er benyttet målinger med 1 minutt intervall.

Leiligheten er gjennomgående med åpen kjøkkenløsning mellom stue med yttervegg mot nord og spisestue mot sør. Derfor vil i hovedsak all luftstrøm og luftmengde som beveger seg mellom fasadene passere kjøkkenet. Det er derfor valgt at plasseringen av CO₂ måleren på kjøleskap i kjøkkenet vil gi en indikasjon på personbelastningen og CO₂ belastningen i leiligheten.

Utstyret er tapet fast og proben er plassert i stativ. Q-TRAK 7565-X har i hele loggeperioden vært tilknyttet strøm med strømadapter tapet fast til stikkontakt for at beboer av leiligheten ikke skulle være uheldig å koble fra strøm. CO₂ loggingen har foregått i tidsperioden 30.04.19 – 28.05.19.

2.2.1 Temperatur og luftfuktighet ute

Det er hentet værdata og observasjoner fra Eklima [22] for værstasjon Hovin i Oslo. Denne værstasjonen ligger ca. 8 km fra Ulsholtveien 31. Målingene for temperatur og relativ luftfuktighet viser data for hver dag kl. 01:00, 07:00, 13:00 og kl. 19:00. Dataene er hentet som html dokument og overført til Excel.

Utdrag fra værdata sees i grafen under.



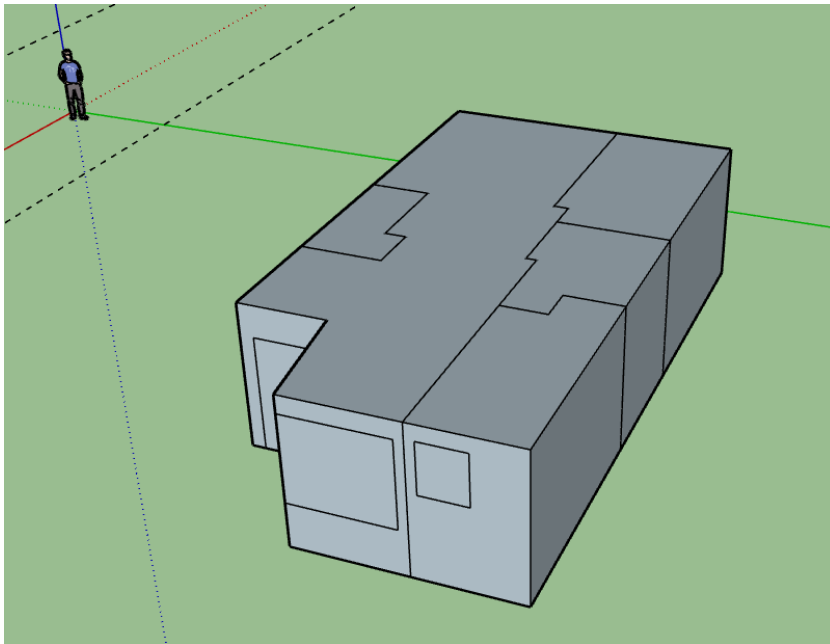
Figur 2.22 Graf utetemperatur Hovin værstasjon 02.05.19 – 31.05.19 [22].

2.3 Simulering

2.3.1 Modell i SketchUp og simulering i WUFI Plus

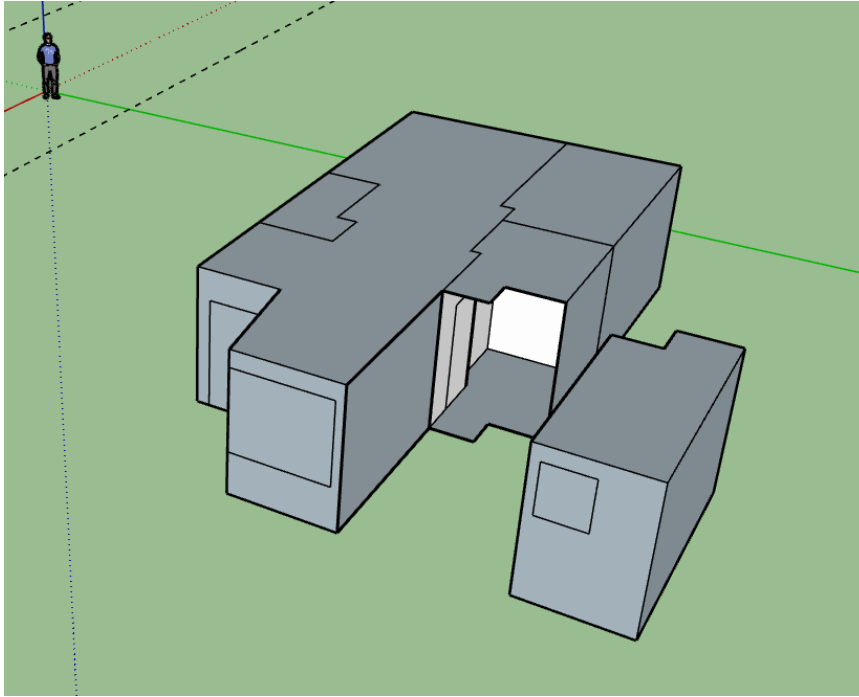
SketchUp Pro er benyttet for å lage en tredimensjonal modell av leiligheten [23]. Det er benyttet dimensjoner og måldata fra pdf tegning (se vedlegg A) for å kunne lage modellen. Modellen er laget ved å benytte en WUFI plugin i SketchUp programmet som gjør at WUFI Plus kan utføre simuleringer av modellen.

Modellen i SketchUp er tegnet med oppdeling av leiligheten i fem soner for senere å kunne utføre simuleringer i WUFI Plus i de fire oppholdssonene.



Figur 2.23: Skjermdump av modellen tegnet i SketchUp.

Bilde under viser hvordan soverom sør er tegnet og illustreres ved å trekke den sone litt vekk fra resten av leiligheten. Mellom hver sone er det tegnet vegger og dører i henhold til leilighetens oppbygning.



Figur 2.24: Skjermdump nr. 2 av modellen i SketchUp

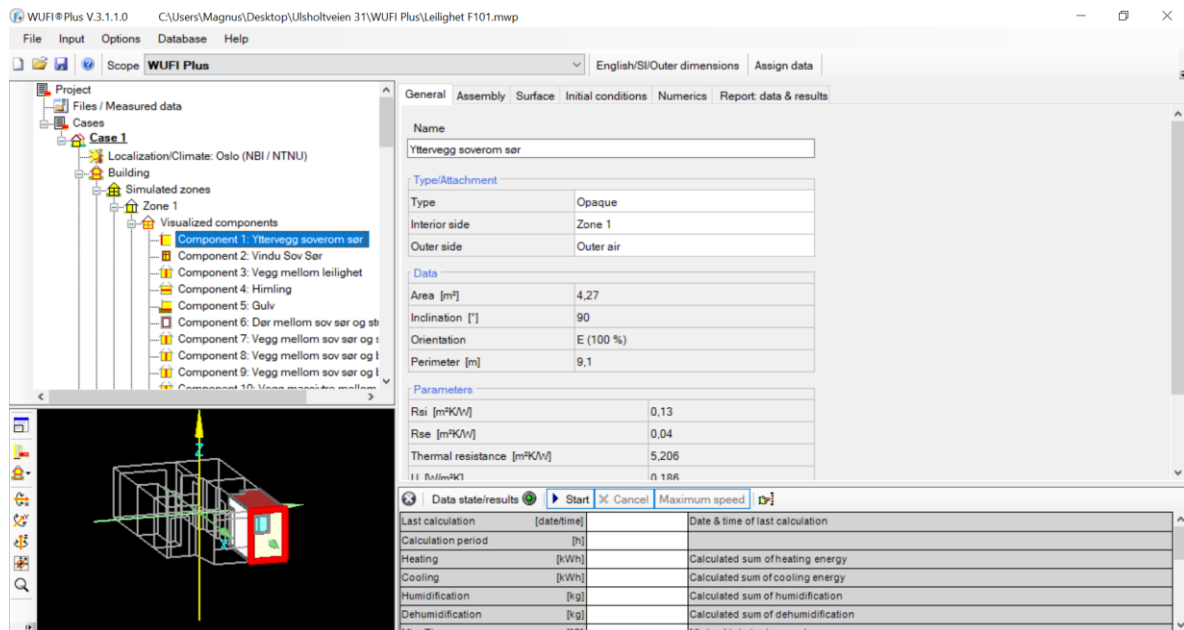
SketchUp modellen er deretter importert inn i simuleringsprogrammet WUFI Plus.

WUFI Plus er benyttet som simuleringsverktøy. Programmet har gode forutsetninger for å kunne undersøke hypotesen som er lagt til grunn for oppgaven.

WUFI Plus er et avansert program som beregner varme- og fukttransport tilkoblet i vilkårlig tidstrinn innenfor en vilkårlig simuleringstid. Simuleringsbygningen modelleres enkelt med hjelp av bygningsveiviseren. WUFI Plus leveres også med klimafilere slik at uteforholdene tas med i simuleringene. Påvirkning på varme- fuktighet og romklima inkluderes i beregningen samtidig som spesifikasjonene for tekniske systemer for oppvarming og ventilasjon kan gjøres manuelt [24].

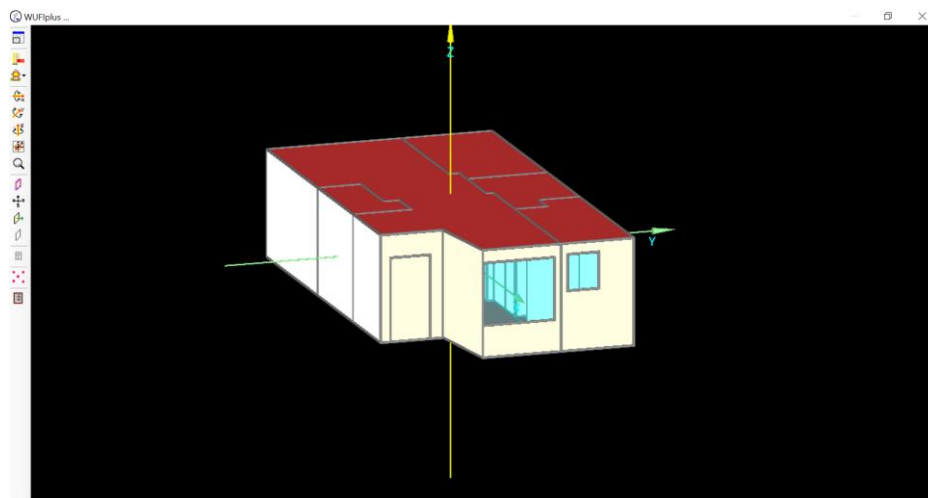
I WUFI Plus angis bygningsmaterialer i programmet for yttervegger, skillevegger, gulv, tak, vinduer og dører. Disse bygningsmaterialene bestemmes for hver sone. Se bilde av modellen og programmet under.

MAEND5900 Masteroppgave Kandidat 820



Figur 2.25: Skjermdump av modellen i WUFI Plus sone 1/ soverom sør

Det angis også blant annet internlaste, ventilasjon og løsninger for oppvarming, klimaforhold osv. Se bilde av modellen i WUFI Plus under.



Figur 2.26: Skjermdump av hele modellen i WUFI Plus

2.3.2 Data for simulering i WUFI Plus

Det er valgt Oslo klima i programmet for simuleringen. Her angis blant annet utetemperatur, relativ luftfuktighet og solpåvirkning.

Leiligheten benyttes av en familie på fire personer og rommene/ sonene i leiligheten har fått internlaste i forhold til denne bruken. Internlaste er det valgt statistiske data tilgjengelig i WUFI Plus.

Det er utført to ulike simuleringer.

En simulering med ventilasjonssystem mest mulig lik eksisterende funksjoner, ventilasjonsenheter styrt på konstante luftmengder og avtrekk på bad styrt på bevegelse, luftfuktighet og 15 min grunnventilasjon hver annen time.

Den andre simuleringer er kapasiteten til ventilasjonssystemet likt men det er valgt befuktning og avfuktningsegenskaper for alle soner. Det er ikke mulighet for befuktning i leilighet F101 for det tekniske systemet men det er vurdert via simulering i WUFI Plus.

Sone 1 i leiligheten er soverom med yttervegg vendt mot sør. Inputdata ses i tabell 2.1 under.

Tabell 2.1: Generell data sone 1/ soverom sør.

Zone 1: General data	
Name	Soverom Sør
Geometry	
Gross volume (User defined)	[m ³]
Net volume (User defined)	[m ³] 19,53
Floor area (From visualized geometry)	[m ²] 7,268
Other parameters	
Initial temperature	[°C] 20
Initial rel. humidity	[%] 55
Initial CO ₂ -concentration	[ppmv] 400
Distribution of solar gains on interior surfaces	Proportional to area
Solar radiation direct to interior air	[-] 0,1

Ventilasjonssystemet i leiligheten er videre beskrevet under Ventilasjon i metode. Naturlig ventilasjon for soverommene er valgt for perioden 15.05.19 – 15.08.19. Under vises tabell 2.2 med design kriterier for sone 1 soverom sør. Det er valgt internlaste for et barn for dette rommet. For simulering med befuktning og avfuktning er det valgt 20% og 60 %.

Tabell 2.2 Designkriterier sone 1/ soverom sør.

Zone 1: Design conditions	
Max. temperature (cooling)	[°C] 26
Min. relative humidity (humidification)	[%] 20
Max. relative humidity (dehumidification)	[%] 50
Max. CO ₂ -concentration	[ppmv] 900
Natural ventilation	[1/h] 0
Mechanical ventilation	[m ³ /h] 38
Infiltration ACH	[1/h] 0.03

Ytterveggen for soverom sør har oppbygning som vist under i tabell 2.3 Denne oppbygningen gjelder også for yttervegg vendt mot nord fra sone 3/ soverom nord og sone 4/ stue.

Tabell 2.3: Yttervegg for sone 1/ soverom sør mot sør

Assembly (Id.1): Lightweight timber framed wall

Homogenous layers
 Thermal resistance: 5,206 m²K/W (without R_{si}, R_{se})
 Heat transfer coefficient (U-value): 0,186 W/m²K
 Thickness: 0,334 m

Nr.	Material/Layer (from outside to inside)	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	λ [W/mK]	Thickness [m]	Color
1	Scandinavian spruce transverse direction II	390	1600	0,13	0,021	Orange
2	Air Layer 40 mm	1,3	1000	0,23	0,036	Cyan
3	Air Layer 40 mm	1,3	1000	0,23	0,027	Cyan
4	Mineral Wool (heat cond.: 0,04 W/mK)	60	850	0,04	0,15	Yellow
5	Stora Enso CLT	410	1300	0,098	0,1	Brown

Det er benyttet pukk i konstruksjonen av gulv i 2. etasje for bedre akustikk ved bruk av massivtre dette vises i vedlegg A snittegning og i vedlegg F som viser alle konstruksjoner som er benyttet i programmet. For oppbyggingen modellen med riktige valg av materialer i gulv, vegger, etasjeskiller, vinduer og dører så er det benyttet «som bygget» tegninger fra arkitekt (se vedlegg A) det er også hentet info om vinduer fra NorDan [25].

Sone 2 i leiligheten er badet. Inputdata ses i tabell 2.4 under.

Tabell 2.4: Generell data sone 2/ bad.

Zone 2: General data

Name	Bad
Geometry	
Gross volume (User defined)	[m ³]
Net volume (User defined)	[m ³] 13,66
Floor area (From visualized geometry)	[m ²] 5,479
Other parameters	
Initial temperature	[°C] 20
Initial rel. humidity	[%] 55
Initial CO ₂ -concentration	[ppmv] 400
Distribution of solar gains on interior surfaces	Proportional to area
Solar radiation direct to interior air	[-] 0,1

Under vises tabell 2.5 med designkriterier for sone 2/ bad. For simulering med befuktning og avfuktning er det valgt 20% og 60 %.

Tabell 2.5: Designkriterier sone 2/ bad.

Zone 2: Design conditions		
Min. temperature (heating)	[°C]	20
Max. temperature (cooling)	[°C]	27
Min. relative humidity (humidification)	[%]	20
Max. relative humidity (dehumidification)	[%]	50
Max. CO2-concentration	[ppmv]	3000
Natural ventilation	[1/h]	0
Infiltration ACH	[1/h]	0,03

Sone 3 i leiligheten er soverom nord. Inputdata ses i tabell under 2.6.

Tabell 2.6: Generell data sone 3/ soverom nord.

Zone 3: General data

Name	Soverom nord	
Geometry		
Gross volume (User defined)	[m³]	
Net volume (User defined)	[m³]	31,36
Floor area (From visualized geometry)	[m²]	9,731
Other parameters		
Initial temperature	[°C]	20
Initial rel. humidity	[%]	55
Initial CO2-concentration	[ppmv]	400
Distribution of solar gains on interior surfaces	Proportional to area	
Solar radiation direct to interior air	[-]	0,1

Under vises tabell 2.7 med design kriterier for sone 3 soverom nord. Det er valgt internlaster for to barn for dette rommet. For simulering med befuktning og avfuktning er det valgt 20% og 60 %.

Tabell 2.7: Designkriterier sone 3/ soverom nord.

Zone 3: Design conditions		
Min. temperature (heating)	[°C]	20
Max. temperature (cooling)	[°C]	27
Min. relative humidity (humidification)	[%]	20
Max. relative humidity (dehumidification)	[%]	50
Max. CO2-concentration	[ppmv]	3000
Natural ventilation	[1/h]	0
Mechanical ventilation	[m³/h]	38
Infiltration ACH	[1/h]	0,03

Sone 4 i leiligheten er stue/ kjøkken. Inputdata ses i tabell 2.8 under.

Tabell 2.8: Generell data sone 4/ stue/kjøkken.

Zone 4: General data	
Name	Stue/ Kjøkken
Geometry	
Gross volume (User defined)	[m ³]
Net volume (User defined)	[m ³] 83,6
Floor area (From visualized geometry)	[m ²] 33,399
Other parameters	
Initial temperature	[°C] 20
Initial rel. humidity	[%] 55
Initial CO ₂ -concentration	[ppmv] 400
Distribution of solar gains on interior surfaces	Proportional to area
Solar radiation direct to interior air	[-] 0,1

Under vises tabell 2.9 med designkriterier for sone 4 soverom stue/kjøkken. Det er valgt internlaster for en familie på fire personer for dette rommet. For simulering med befuktning og avfuktning er det valgt 20% og 60 %.

Tabell 2.9: Designkriterier sone 4/ stue/ kjøkken.

Zone 4: Design conditions	
Min. temperature (heating)	[°C] 20
Max. temperature (cooling)	[°C] 27
Min. relative humidity (humidification)	[%] 20
Max. relative humidity (dehumidification)	[%] 50
Max. CO ₂ -concentration	[ppmv] 3000
Natural ventilation	[1/h] 0
Mechanical ventilation	[m ³ /h] 38
Infiltration ACH	[1/h] 0,03

Sone 5 er bod og er definert som en sone det ikke utføres simuleringer på da denne sonen hverken har mekanisk -eller naturlig ventilasjon. I boden er det stigerør for spillvann, vann og vannbåren varme. Varmerørene bidrar til at temperaturen i boden er konstant forholdsvis veldig høy. Det er derfor valgt en temperatur på 30 grader for boden med en variasjon på +-5 grader for å ta med påvirkningen boden har med skillevegger mot stue/kjøkken og korridor.

Resultatene fra simuleringen blir presentert i resultatkapittelet for masteroppgaven.

2.4 Analyse

Det er i denne masteroppgaven satt søkelys på 2 separate analyser.

En del av analysen er måledata over ca. 1 måned med loggere luftfuktighet, lufttemperatur, fukt i tre og temperatur i tre.

Den andre delen er analyse av to simuleringer i WUFI Plus med simulering over 1 år med søkelys på mest mulig riktige input data i programmet for å dokumentere reel situasjon.

Det er deretter forsøkt å benytte resultat fra måledata og simuleringsdata over mai måned for å vurdere resultatene opp mot hverandre.

I resultatdelen er det presentert måledata og resultatene er vurdert kritisk. Det er store mengder måledata som er vurdert.

Data fra målinger hentes fra Celsiview nettsky og er hentet ut både som grafer og i Excel. Det er veldig store mengder tall og måledata. Data fra Celsicom målinger er vedlagt elektronisk i Excel for hver sone (Vedlegg E1 for sone 1, vedlegg E2 for sone 2, osv.). CO₂ målinger er tatt ut i Excel og er vedlagt elektronisk (Vedlegg E5 for CO₂), tallene er overført til en graf i oppgaveteksten for å lettere kunne vurdere og tolke målingene.

Det er vurdert måledata opp mot krav til inneklime og energiforbruk, samt effekten av treets hygroskopiske egenskaper og latent varme effekt.

For simuleringen er det hensyntatt eksisterende situasjon og funksjon av leiligheten. Input av data i WUFI Plus er vurdert mot simulering med ventilasjon styrt mot relativ luftfuktighet (befuktning/ avfukting). Data er vurdert ut fra resultater i graf og tabell fra WUFI Plus sitt program.

3 Resultat

I resultatdelen vil det for målinger deles opp i resultater for de ulike målingene. Disse vil deretter sammenligning mot hverandre og mot gjeldende krav og normtall.

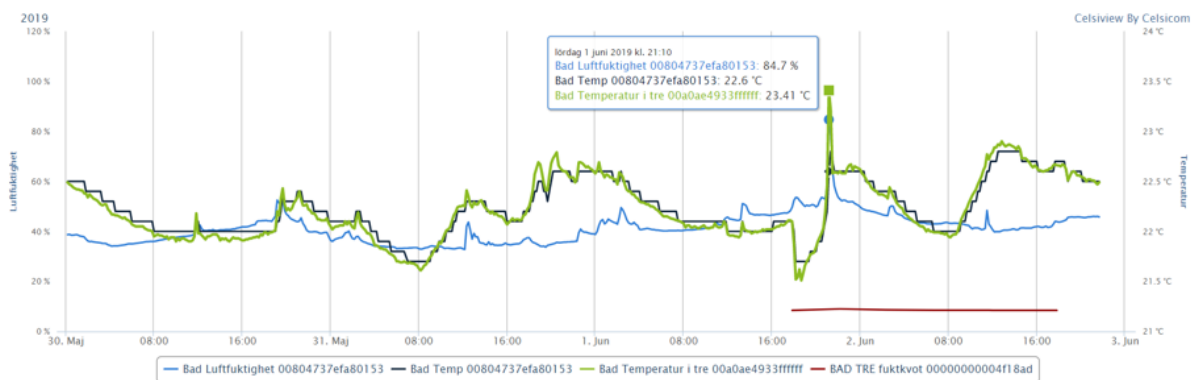
For resultater simulering er det delt opp i to deler. En del resultater for simulering med fuktstyring på bad og en annen del for simulering med fuktstyring av hele leiligheten..

3.1 Resultat målinger

Målinger bad (sone 2 i simulering WUFI Plus)

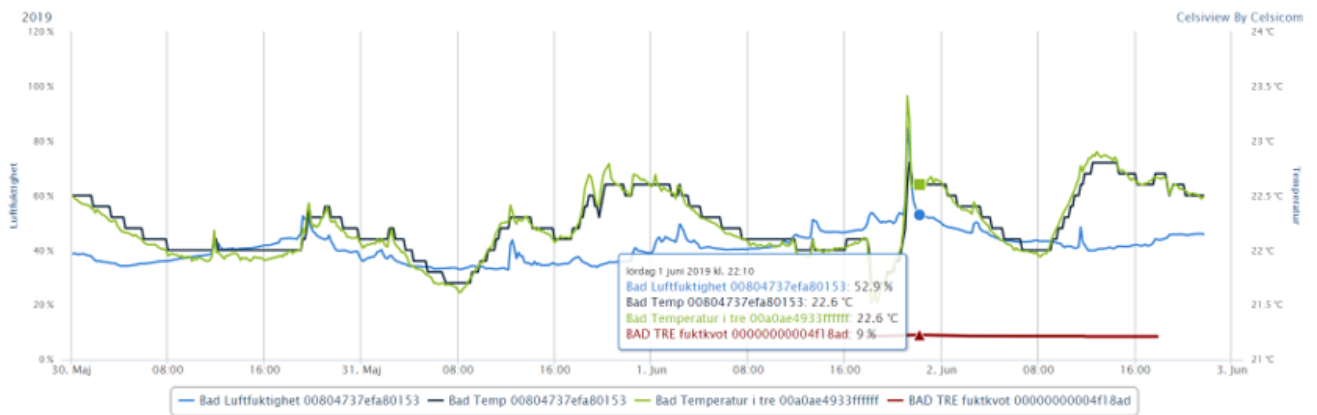
For badet ble det utført målinger av luftfuktighet, lufttemperatur og fukt i tre i perioden 30.04.19 – 01.06.19. Måleintervallet for fukt i tre på 1 cm dybde var hver 4 time på grunn av polariseringseffekten som forekommer ved målingene. Denne innstillingen var fabrikkinnstilt fra Celsicom da de ikke kunne verifisere målingene dersom det ble målinger med kortere intervall enn 4 timer [26]. Problemet med målinger kun hver fjerde time er å kunne dokumentere treet hygroskopiske egenskaper som kan utløpe seg på en mye kortere tid enn 4 timer.

Grafen 3.1 under viser en måling lørdag den 01.06.19 kl. 21:10 hvor luftfuktigheten på badet øker kjapt til høy luftfuktighet på 84,7 %. Lufttemperaturen på badet er samtidig 22,6 grader Celsius og temperaturen 1 cm nede i massivtreet er faktisk 23,41 grader Celsius.



Figur 3.1: Grafen fra Celsiview viser kurven for luftfuktighet, lufttemperatur og temperatur i treet for målinger kl. 21.10 i sone 2/ bad.

I grafen 3.2 under vises målinger samme lørdag kl. 22:10, og det vises at temperaturen i treet har sunket ned til 22,6 grader Celsius samme temperatur som lufttemperaturen, samtidig som luftfuktigheten har sunket til 52,9 %. Fuktqvoten i treet er målt her til 9 %.



Figur 3.2: Grafen fra Celsiview viser kurven for luftfuktighet, lufttemperatur, fukt i tre og temperatur i treet for målinger kl. 22.10 i sone 2/ bad.

Den totale vamen som avgis og absorberes H når fuktighet føres in og ut av treelementer er gitt i den følgende likningen:

$$H = \frac{S \cdot \rho_m \cdot d_m \cdot \Delta EMC \cdot H_v}{t}$$

Formel 3.1

hvor H er den totale varmeabsorpsjon avgitt eller absorbert I løpet av et tidsintervall t, S er overflatearealet av den hygroskopiske strukturen, ρ_m er densiteten av det hygroskopiske materialet, ΔEMC er økningen/senkningen av fuktighet i materialet i volumet av inntregningsdybde dm [5].

Dette gir følgende:

$S = 1,35 \times 2,69 = 3,63 \text{ m}^2$ (arealet av eksponert massivtre på den veggen hvor måleutstyr er plassert)

$\rho_m = 410 \text{ kg/m}^3$ (fra WUFI Plus data for massivtre CLT fra Stora Enso)

$d_m = 1 \text{ cm} = 0,01$ (dybde skruer i massivtre for måling fuktkvot)

$\Delta EMC = 90\% - 84\% = 6\%$ (variasjon i måling fuktkvot)

$H_v = 1300 \text{ J/kgK}$ (fra WUFI Plus data for massivtre CLT fra Stora Enso)

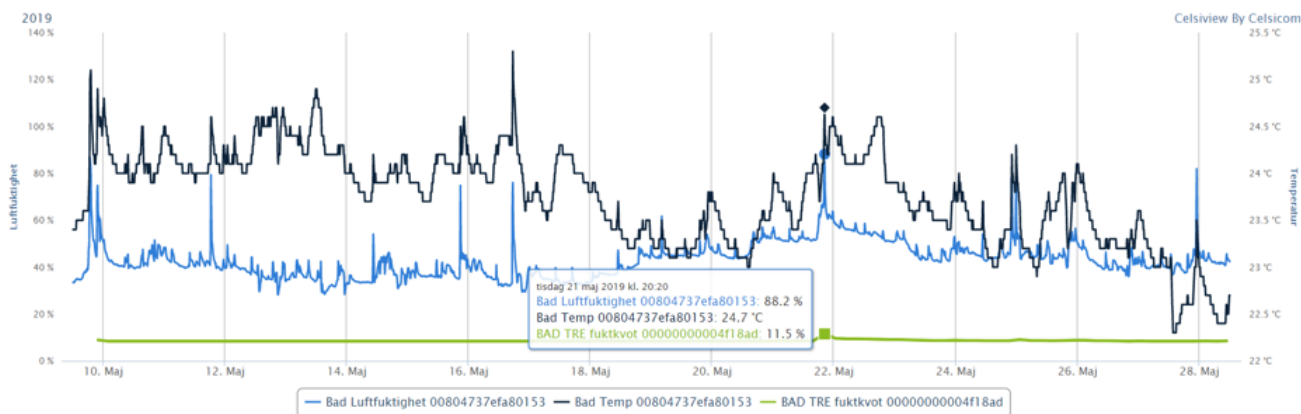
$t = 1 \text{ time} = 3600 \text{ s}$

dermed blir $H = 0,32 \text{ KWh}$

Latent varme frigjort for denne massivtre veggen på badet 01.06.19 kl.21:10 til kl. 22:10 blir dermed 0,32 KWh.

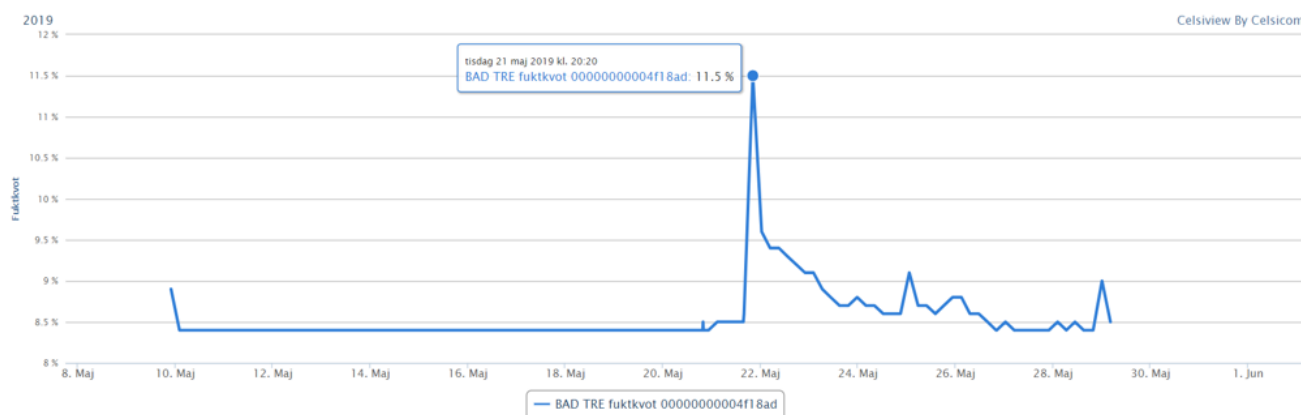
Dersom man antar at det dusjes 3 ganger pr dag så blir det ca. 1 KWh pr. dag. Dette tilsvarer ca. 300 KWh latent varme frigjort i løpet av et år.

I grafen under vises en målinger fra 09.05.19 – 01.06.10 med et målepunkt/ hendelse fra 21. mai 2019 hvor det er samsvar mellom kurven til fukt i tre på bad og kurvene til temperatur og luftfuktighet på bad. I tidspunktet kl. 20:20 er det 88,2 % luftfuktighet, 24,7 grader Celsius lufttemperatur og en fuktkvotepå 11,5 %.



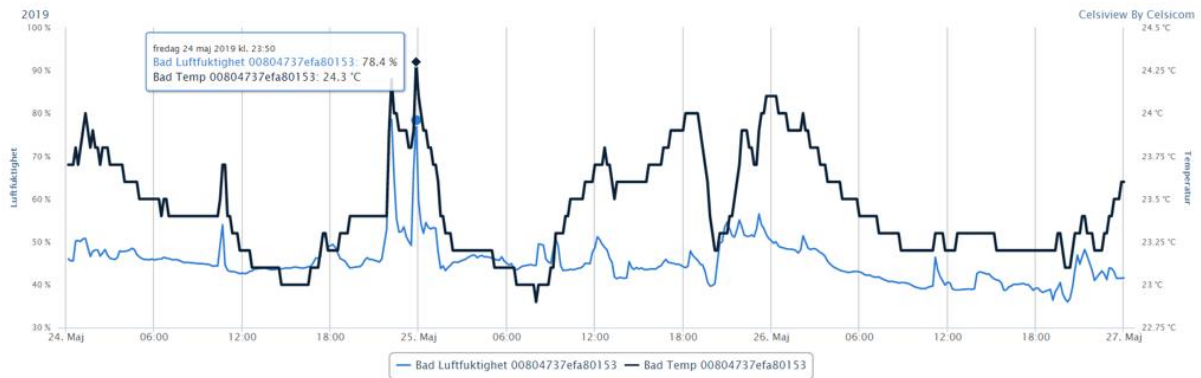
Figur 3.3: Grafen fra Celsiview viser kurven for luftfuktighet, lufttemperatur og fukt i tre i sone 2/ bad.

Under vises en forstørret graf av fukt i tre på bad ved samme periode som grafen under. Grafen viser at fukt i treet responderer ved høyere luftfuktighet og temperatur på bad. Denne økningen i fukt i tre kan også sees for 25 mai med 9,1 % fuktkvotepå i tre kl. 01:20. Denne målingen er tatt en stund etter at det var dusjing og den høyeste målte luftfuktigheten og temperaturen for badet kl. 23:50.



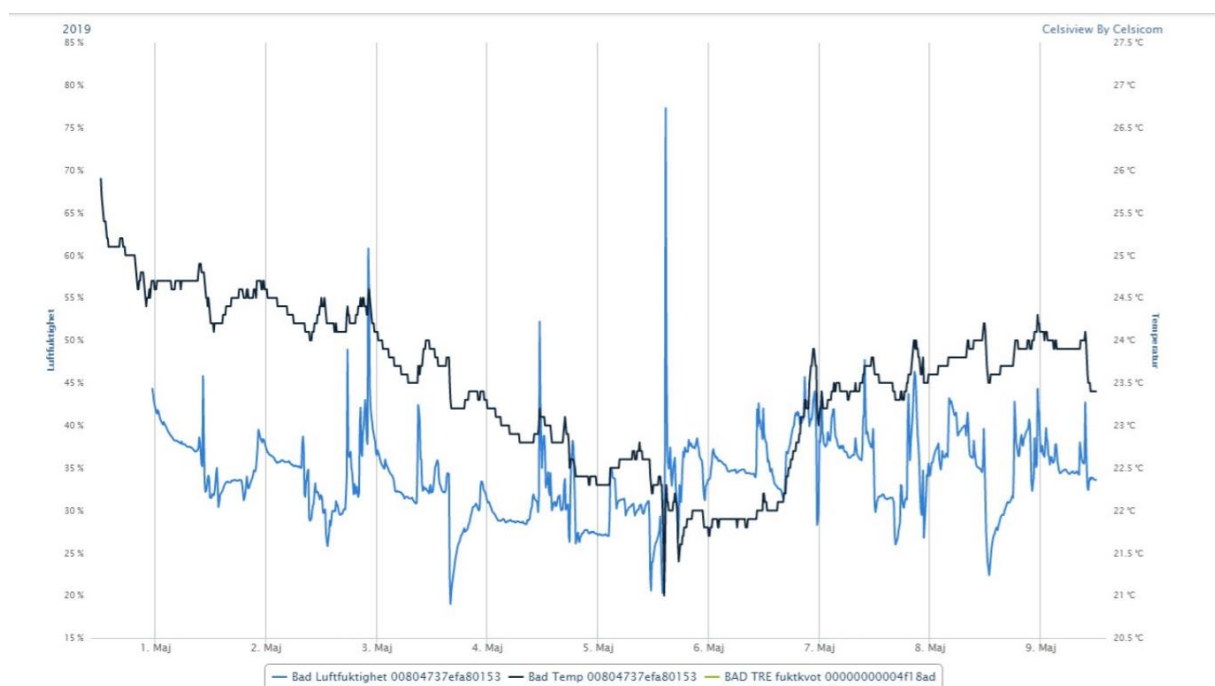
Figur 3.4: Grafen fra Celsiview viser kurven for fukt i tre i sone 2/ bad.

Grafen under viser kurven for luftfuktighet og bad ved samme hendelse som beskrevet over.



Figur 3.5: Grafen fra Celsiview viser situasjon for bad luftfuktighet, temperatur og fuktkvote.

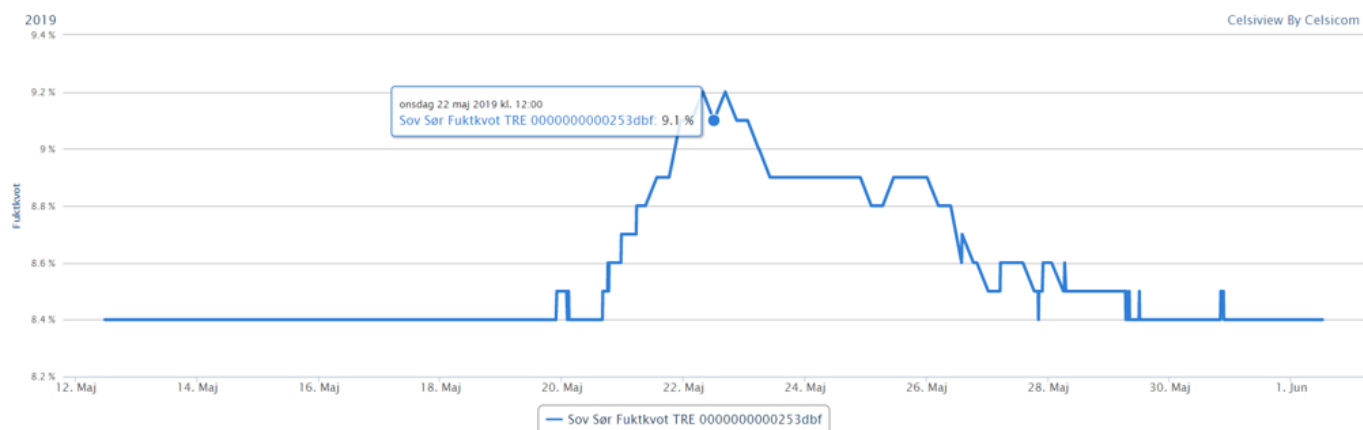
Under vises grafen for resterende periode av målingene for bad.



Figur 3.6: viser målinger for bad i perioden 30.04.19 – 09.05.19.

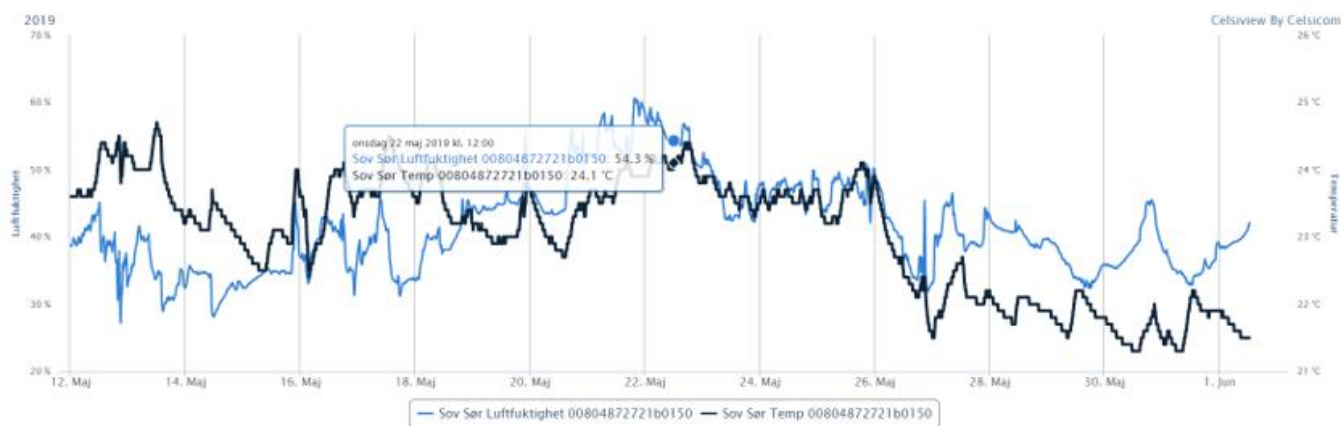
Målinger soverom sør (sone 1 i simulering WUFI Plus).

For soverom sør ble det utført målinger av luftfuktighet, lufttemperatur og fukt i tre i perioden 30.04.19 – 01.06.19. Måleintervallet for fukt i tre på 1 cm dybde var hver 4 time med samme årsak som beskrevet i resultater for bad. Det er for denne sonen målt fuktkvot over 8,2 % fra 12.05.19 – 01.06.19 som vist i graf under.



Figur 3.7: Graf viser fuktkvot for sone 1/ soverom sør

Grafen under viser luftfuktighet og temperatur for soverom i samme periode og med målepunkt den 22.05.19 kl. 12. Fuktkvoten var da 9,1 prosent, luftfuktighet 54,3 % og temperatur 24,1 grader Celsius. Det ses ved å sammenligne grafene over og under og måleresultatene at fuktkvoten følger svingningene i temperatur og luftfuktighet.



Figur 3.8: Graf viser luftfuktighet og temperatur sone 1/ soverom sør.

Målinger soverom nord (sone 3 i simulering WUFI Plus)

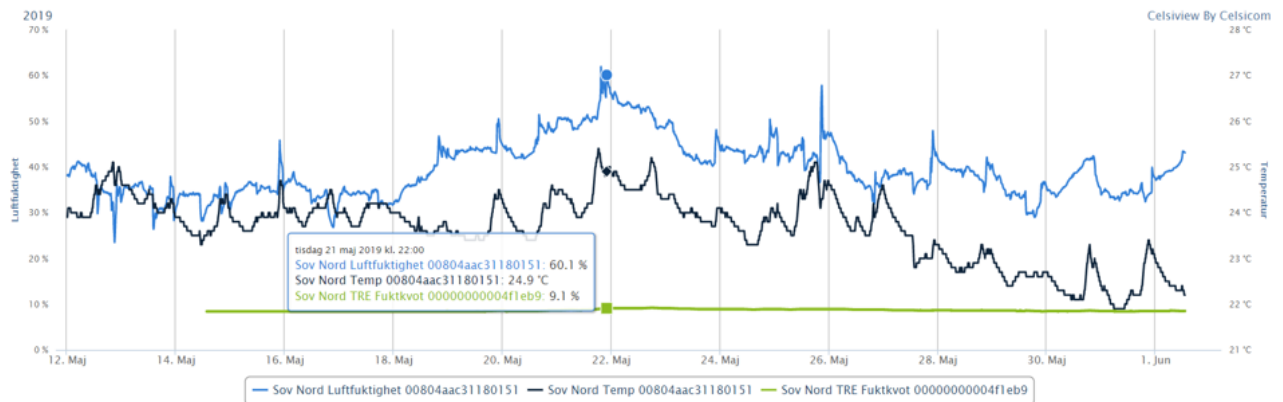
For soverom nord ble det utført målinger av luftfuktighet, lufttemperatur og fukt i tre i perioden 30.04.19 – 01.06.19. Måleintervallet for fukt i tre på 1 cm dybde var hver 4 time med samme årsak som beskrevet i resultater for bad. Det er for denne sonen målt fuktkvot over 8,2 % fra 14.05.19 – 01.06.19 som vist i graf under. Grafen viser også et målepunkt hvor fuktkvoten reagerer med økning luftfuktighet og temperatur 21. mai kl. 1350 er det målt 8,8 % fuktkvot i tre, luftfuktighet 50,7 % og lufttemperatur 24,2 grader Celsius.

MAEND5900 Masteroppgave Kandidat 820



Figur 3.9: Grafen viser målinger sone 3/ soverom nord med uthevet måling 21.05.19 kl. 13:50.

Det vises i grafen under at det er økt til 60,1 % luftfuktighet og 24,9 grader Celsius og at fuktkvoten er økt til 9,1 %.



Figur 3.10: Grafen viser målinger soverom nord med uthevet måling 21.05.19 kl. 22:00.

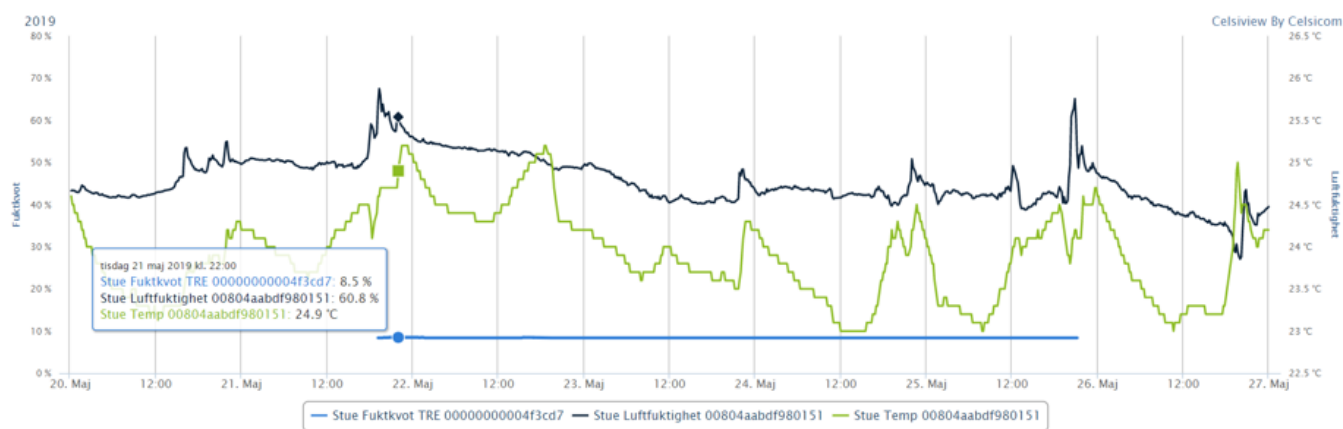
Grafen under viser fuktkvotemålinger for soverom nord for hele perioden og viser svingninger som responderer med endringene i luftfuktighet og temperatur som kan sammenlignes med grafene over.



Figur 3.11: Grafen viser målinger fuktkvot soverom nord.

Målinger stue (sone 4 i simulering WUFI Plus)

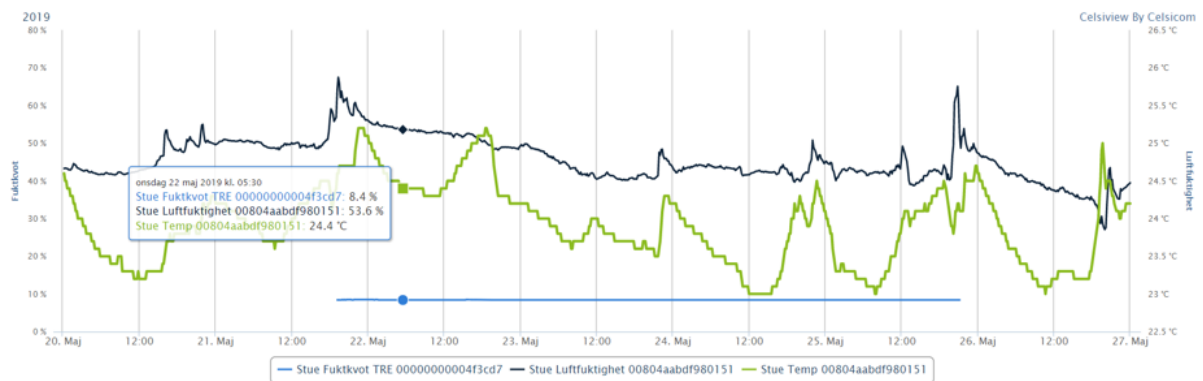
For stue ble det utført målinger av luftfuktighet, lufttemperatur og fukt i tre i perioden 30.04.19 – 01.06.19. Måleintervallet for fukt i tre på 1 cm dybde var hver 4 time med samme årsak som beskrevet i resultater for bad. Det er for denne sonen målt fuktkvot over 8,2 % fra 21.05.19 – 25.05.19 som vist i graf under. Grafen viser også et målepunkt hvor fuktkvoten reagerer med økning luftfuktighet og temperatur 21. mai kl. 2200 er det målt 8,5 % fuktkvot i tre, luftfuktighet 60,8 % og lufttemperatur 24,9 grader Celsius.



Figur 3.12: Grafen viser målinger sone 4/ stue-kjøkken med uthevet måling 21.05.19 kl. 22:00.

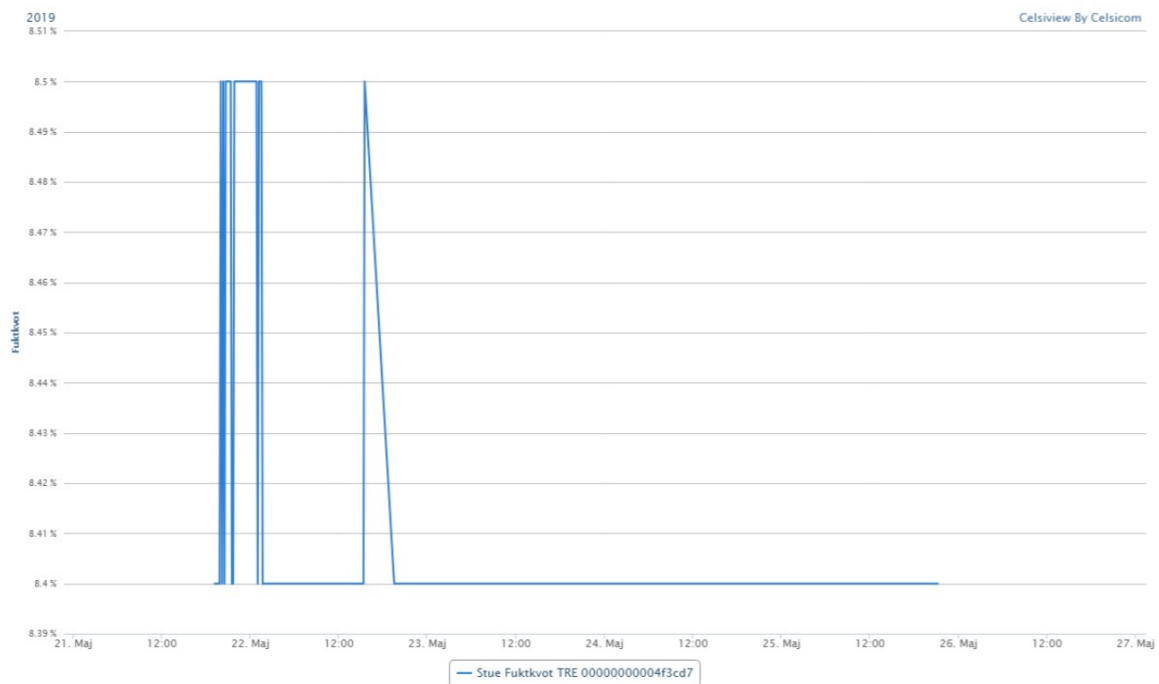
MAEND5900 Masteroppgave Kandidat 820

Det vises i grafen den 22.05.19 kl. 05:30 at det er sunket til 53,6 % luftfuktighet og 24,4 grader Celsius og at fuktkvoten er sunket til 8,4 %.



Figur 3.13: Grafen viser målinger stue med uthevet måling 22.05.19 kl. 05:30.

Grafen under viser fuktkvotemålinger for stue for hele perioden og viser svingninger som responderer med endringene i luftfuktighet og temperatur som kan sammenlignes med grafene over.



Figur 3.14: Grafen viser målinger fuktkvotestue.

For boden (sone 5 i simulering WUFI Plus) er det ikke utført målinger.

Resultatene fra Q-TRAK 7565-X målinger av CO₂ i perioden 30.04.19 – 28.05.19 har totalt 40222 målinger.

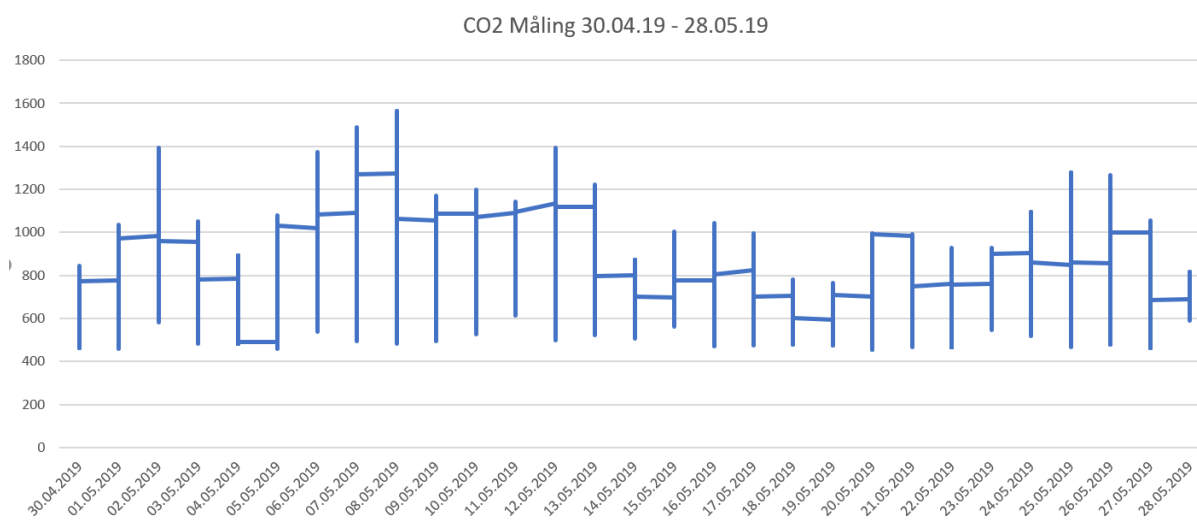
Gjennomsnittlig måling av CO₂ er 781 ppm.

Minimum måling av CO₂ er 454 ppm, den 20.05.19 kl. 12:48.

Maksimum måling av CO₂ er 1564 ppm, den 08.05.19 kl. 02:41.

Resultatene viser generelt høye CO₂ målinger om natten og også i tillegg høye målinger i helgene på dagtid. Om natten er alle 4 beboere i leiligheten.

Disse CO₂ målingene er overført til et diagram i Excel for lettere kunne vise resultatene av målingene. Grafen vises under.



Figur 3.15: grafen viser CO₂ målinger i leilighet F101 i Ulsholtveien 31 i perioden 30.04.19 – 28.05.19.

CO₂ målingene viser lange perioder med målinger over 1000 ppm. I perioden fra 05.05.19 til 13.05.19 viser grafen at målingene i flere perioder er over 1000 ppm. Dette er over anbefalte verdier og årsaken skyldes for lav luftutveksling eller for stor personbelastning. Totalt er det 5822 målinger av 40222 med verdier over 1000 ppm. Dette tilsvarer 97 timer med målinger over 1000 ppm i en periode på en måned eller ca. 14,5 % av den totale måleperioden.

3.2 Resultat simulering i WUFI Plus

I resultatdelen for simulering i WUFI Plus presenteres resultatene for to ulike simuleringer.

En simulering med ventilasjonssystem mest mulig lik eksisterende funksjoner, ventilasjonsenheter styrt på konstante luftmengder og avtrekk på bad styrt på bevegelse, luftfuktighet og 15 min grunnventilasjon hver annen time.

Den andre simuleringer er kapasiteten for luftmengder til ventilasjonssystemet lik eksisterende men det er valgt befuktning og avfuktningsegenskaper for alle soner. Det er ikke mulighet for befuktning i det eksisterende systemet for leilighet F101 men det er vurdert via simulering i WUFI Plus. Simuleringene er vedlagt elektronisk (vedlegg W1 og vedlegg W2) samt resultatfilene/ RES filene av simuleringene (W1.1 og W1.2) med innleveringen av denne oppgaven.

3.2.1 Resultat simulering med fuktstyring kun på bad

For simuleringen ble det totale oppvarmingsbehovet for perioden 01.01.19 – 01.01.20 kalkulert til 1769,7 KWh i WUFI Plus (se vedlegg G). Fordelingen av dette er vist for hver sone i tekst, figurer og tabeller videre i resultatdelen.

Sone 1 Soverom Sør har et oppvarmingsbehov som vist i tabell 3.1 på 261,9 KWh fordelt på 87,9 dager. Det er forholdsvis høy maks innetemperatur med 32,9 grader og dette er over 26 grader som er satt som maks innetemperatur etter gjeldende normer og krav. Gjennomsnittstemperaturen er 23,9 grader. Maks luftfuktighet er 65,1% og gjennomsnitt luftfuktighet er 29,5%.

Tabell 3.1 Tabell viser resultater for sone 1 årssimulering.

Zone 1: Main results

Speed setting		Value	
Heating period [d]		87,9	
Cooling period [d]		0	
Heating demand [kWh]		261,9	
Cooling demand [kWh]		0	
Humidification demand [kg]		0	
Dehumidification demand [kg]		0	
Min/Max/Mean values			
Speed setting		Min	Max
Interior temperature [°C]		19	32,9
Interior relative humidity [%]		12,1	65,1
Heating load [kW]		0	0,5
Cooling load [kW]		0	0
Humidification [kg/h]		0	0
Dehumidification [kg/h]		0	0

Den høye temperaturen er også noe av årsaken til at det blir lav score for kvaliteten i henhold til kravene i NS-EN 15251 som vist i tabell 3.2 under. Luftfuktighet over 60% er også noe av årsaken til den lavere kategorien.

Tabell 3.2: kvalitet i henhold til krav i NS-EN 15251.

Zone 1: Quality of indoor environment in % of time in four categories (prEN 15251:2006)

Percentage	4	13	8	75
Thermal environment	I	II	III	IV
Percentage	92			8
Indoor air quality	I			II

Tabellen under viser energibalansen for sone 1.

Tabell 3.3: Energibalanse soverom sør.

Energy balance [kWh/a]

Speed setting	Total period	Heating period	Cooling period
Vent. interzone	20,8	0,3	0
Solar gains total	139,8	32,2	0
Solar gains convective	14	3,2	0
Opaque areas	166,4	6,8	0
Int. gains rad.	212,4	12,1	0
Int. gains conv.	424,8	24,1	0
Heating	261,9	261,9	0
Windows	83,4	25,1	0
Opaque areas	141,1	76,4	0
Thermal bridges	94	27,5	0
Ventilation interzone	132,9	48,9	0
Ventilation	436,8	118,5	0

Sone 2 Bad har et oppvarmingsbehov som vist i tabell 3.4 på 206 KWh fordelt på 141 dager. Det er resultat med maks innetemperatur med 31 grader og en gjennomsnittlig temperatur på 22,6 grader. Relativ luftfuktighet er på gjennomsnitt 44,3 % og maks på 55% noe som virker forholdsvis lavt sammenlignet med måleresultatene for bad hvor det er flere målinger over 80 % luftfuktighet.

Tabell 3.4: viser resultater for sone 2 årssimulering.

Zone 2: Main results

Speed setting	Value		
Heating period [d]	141		
Cooling period [d]	0		
Heating demand [kWh]	206		
Cooling demand [kWh]	0		
Humidification demand [kg]	0		
Dehumidification demand [kg]	638		
Min/Max/Mean values			
Speed setting	Min	Max	Mean
Interior temperature [°C]	20	31	22,6
Interior relative humidity [%]	32,4	55	44,3
Heating load [kW]	0	0,7	0
Cooling load [kW]	0	0	0
Humidification [kg/h]	0	0	0
Dehumidification [kg/h]	-1,7	0	-0,1

Det er forholdsvis vanlig temperatur for badet i simuleringsresultatene, men sammenlignet med oppholdsrom som soverom så kan den tidvis oppfattes som høy. De høye temperaturene og personbelastningen på luften fra stue/kjøkken er derfor også årsaken til at det blir lav score for kvaliteten i henhold til kravene i NS-EN 15251 som vist i tabell 3.5 under.

Tabell 3.5: kvalitet i henhold til krav i NS-EN 15251.

Zone 2: Quality of indoor environment in % of time in four categories (prEN 15251:2006)

Percentage	10	8	6	76		
Thermal environment	I	II	III	IV		
Percentage	69			12	12	7
Indoor air quality	I			II	III	IV

Tabellen under viser energibalansen for sone 2 bad.

Tabell 3.6: Energibalanse bad.

Energy balance [kWh/a]

Speed setting	Total period	Heating period	Cooling period
Vent. interzone	11,1	1,1	0
Ventilation	0	0	0
Opaque areas	141,3	42,5	0
Int. gains rad.	63,8	26,8	0
Int. gains conv.	125,4	52,7	0
Heating	206	206	0
Opaque areas	50,3	33,1	0
Ventilation interzone	0	0	0
Ventilation	431,4	269,5	0

Sone 3 Soverom nord har et oppvarmingsbehov som vist i tabell 3.7 på 250,9 KWh fordelt på 123 dager. Det er forholdsvis høy maks innetemperatur med 32,7 grader og en gjennomsnittlig temperatur på 23,2 grader. Relativ luftfuktighet er på gjennomsnitt 30,6 % og maks på 63,6 %.

Tabell 3.7: viser resultater for sone 3 årssimulering.

Zone 3: Main results

Speed setting		Value	
Heating period [d]		123	
Cooling period [d]		0	
Heating demand [kWh]		250,9	
Cooling demand [kWh]		0	
Humidification demand [kg]		0	
Dehumidification demand [kg]		0	
Min/Max/Mean values			
Speed setting		Min	Max
Interior temperature [°C]		20	32,7
Interior relative humidity [%]		13,1	63,6
Heating load [kW]		0	0,2
Cooling load [kW]		0	0
Humidification [kg/h]		0	0
Dehumidification [kg/h]		0	0

Den høye temperaturen er også noe av årsaken til at det blir lav score for kvaliteten i henhold til kravene i NS-EN 15251 som vist i tabell 3.8 under. Luftfuktighet over 60% er også noe av årsaken til den lavere kategorien.

Tabell 3.8: kvalitet i henhold til krav i NS-EN 15251.

Zone 3: Quality of indoor environment in % of time in four categories (prEN 15251:2006)

Percentage	6	9	5	79
Thermal environment	I	II	III	IV
Percentage	88			12
Indoor air quality	I			II

Tabellen under viser energibalansen for sone 3 soverom nord.

Tabell 3.9: Energibalanse soverom nord.

Energy balance [kWh/a]

Speed setting	Total period	Heating period	Cooling period
Vent. interzone	118,4	35,6	0
Solar gains total	186	17,1	0
Solar gains convective	18,6	1,7	0
Opaque areas	129	4,8	0
Int. gains rad.	140,2	21,4	0
Int. gains conv.	280,4	42,7	0
Heating	250,9	250,9	0
Windows	112,4	48,8	0
Opaque areas	133,7	74,1	0
Thermal bridges	90,2	38,5	0
Ventilation interzone	3	0,6	0
Ventilation	459,4	173,7	0

Sone 4 Stue/ kjøkken har et oppvarmingsbehov som vist i tabell 3.10 på 1050,8 KWh fordelt på 128,4 dager. Det er forholdsvis høy maks innetemperatur med 34,2 grader. Gjennomsnittlig innetemperatur er 23,6 grader. Relativ luftfuktighet er på gjennomsnitt 30,8 % og maks på 64,4 %.

Tabell 3.10: viser resultater for sone 4 årssimulering.

Zone 4: Main results

Speed setting	Value		
Heating period [d]	128,4		
Cooling period [d]	0		
Heating demand [kWh]	1050,8		
Cooling demand [kWh]	0		
Humidification demand [kg]	0		
Dehumidification demand [kg]	0		
Min/Max/Mean values			
Speed setting	Min	Max	Mean
Interior temperature [°C]	20	34,2	23,6
Interior relative humidity [%]	14,5	64,4	30,8
Heating load [kW]	0	1	0,1
Cooling load [kW]	0	0	0
Humidification [kg/h]	0	0	0
Dehumidification [kg/h]	0	0	0

Den høye temperaturen er også noe av årsaken til at det blir lav score for kvaliteten i henhold til kravene i NS-EN 15251 som vist i tabell 3.11 under. Luftfuktighet over 60% er også noe av årsaken til den lavere kategorien.

Tabell 3.11: kvalitet i henhold til krav i NS-EN 15251.

Zone 4: Quality of indoor environment in % of time in four categories (prEN 15251:2006)

Percentage	4	10	10	76	
Thermal environment	I	II	III	IV	
Percentage	40		22	35	4
Indoor air quality	I		II	III	IV

Tabellen under viser energibalansen for sone 4 stue/ kjøkken.

Tabell 3.12: Energibalanse stue/ kjøkken

Energy balance [kWh/a]

Speed setting	Total period	Heating period	Cooling period
Vent. interzone	61,9	36,7	0
Solar gains total	1254,4	139,6	0
Solar gains convective	125,4	14	0
Opaque areas	1059,1	154,2	0
Int. gains rad.	618,6	156,5	0
Int. gains conv.	1237,2	313	0
Heating	1050,8	1050,8	0
Windows	958,5	433,3	0
Opaque areas	138,1	71,1	0
Thermal bridges	184,5	81,4	0
Ventilation interzone	37,2	0,6	0
Ventilation	2222,7	982,6	0

3.2.2 Resultat simulering med fuktstyring befukting/ avfukting

For simuleringen ble det totale oppvarmingsbehovet for perioden 01.01.19 – 01.01.20 kalkulert til 1737,8 KWh i WUFI Plus (se vedlegg H hele resultatet med fuktstyring). Dette er 31,9 kWh lavere enn resultatet for den første simuleringen med fuktstyring med avfukting kun på bad. Det er utført beregning senere i dette kapitlet for den totale energibesparelsen med fuktstyrt ventilasjon med befukting/ avfukting til 82,9 kWh/ pr. år. Fordelingen av dette er vist for hver sone i tekst, figurer og tabeller videre i resultatdelen.

Sone 1 Soverom Sør har et oppvarmingsbehov som vist i tabell 3.13 på 260,4 KWh fordelt på 88 dager. Det er forholdsvis høy maks innetemperatur med 32,9 grader og gjennomsnitt er 23,9 grader. Sammenlignet med den første simuleringen uten fuktstyring så er det marginale forskjeller. Relativ luftfuktighet holdes på 60% mens maks relativ luftfuktighet er 65,1 for den første simuleringen, og minimum er 20% med fuktstyring og 12,1% uten. Dette viser at befuktning og avfukting gir en mer stabil luftfuktighet enn simuleringen uten fuktstyring.

Tabell 3.13: viser årssimulerings resultater for sone 1 med fuktstyring.

Zone 1: Main results

Speed setting	Value		
Heating period [d]	88		
Cooling period [d]	0		
Heating demand [kWh]	260,4		
Cooling demand [kWh]	0		
Humidification demand [kg]	40,4		
Dehumidification demand [kg]	0,2		
Min/Max/Mean values			
Speed setting	Min	Max	Mean
Interior temperature [°C]	19	32,9	23,9
Interior relative humidity [%]	20	60	29,9
Heating load [kW]	0	0,5	0
Cooling load [kW]	0	0	0
Humidification [kg/h]	0	0,1	0
Dehumidification [kg/h]	-0,2	0	0

Den høye temperaturen er også årsaken til at det blir lav score for kvaliteten i henhold til kravene i NS-EN 15251 som vist i tabell 3.14 under.

Tabell 3.14: kvalitet i henhold til krav i NS-EN 15251.

Zone 1: Quality of indoor environment in % of time in four categories (prEN 15251:2006)

Percentage	4	13	8	75
Thermal environment	I	II	III	IV
Percentage	92			8
Indoor air quality	I			II

Tabellen under viser energibalansen for sone 1.

Tabell 3.15: Energibalanse soverom sør med fuktstyring.

Energy balance [kWh/a]

Speed setting	Total period	Heating period	Cooling period
Vent. interzone	20,4	0,3	0
Solar gains total	139,3	32,1	0
Solar gains convective	13,9	3,2	0
Opaque areas	167,9	7	0
Int. gains rad.	212,4	12,4	0
Int. gains conv.	424,8	24,7	0
Heating	260,4	260,4	0
Windows	83,5	25,2	0
Opaque areas	139,5	75,2	0
Thermal bridges	94,2	27,6	0
Ventilation interzone	132,9	49	0
Ventilation	437,6	118,7	0

Sone 2 Bad har et oppvarmingsbehov som vist i tabell 3.16 på 178,6 KWh fordelt på 129,5 dager. For den første simuleringen med avfukting (eksisterende løsning) ble resultatet et oppvarmingsbehov på 206 KWh for badet. Det blir dermed lavere oppvarmingsbehov med 27,4 KWh spart med simulert løsning med befukting/ avfukting.

Det er resultat med maks innetemperatur med 32,1 grader og en gjennomsnittlig temperatur på 22,8 grader. Relativ luftfuktighet er på gjennomsnitt 51,6 % og maks på 60,3 % noe som virker forholdsvis lavt sammenlignet med måleresultatene for bad hvor det er målt over 84 % luftfuktighet.

Simuleringene viser marginal forskjell for luftfuktigheten på bad.

Tabell 3.16: viser årssimulerings resultater for bad med fuktstyring.

Zone 2: Main results

Speed setting		Value	
Heating period [d]		129,5	
Cooling period [d]		0	
Heating demand [kWh]		178,6	
Cooling demand [kWh]		0	
Humidification demand [kg]		0	
Dehumidification demand [kg]		472,9	
Min/Max/Mean values			
Speed setting		Min	Max
Interior temperature [°C]		20	32,1
Interior relative humidity [%]		37,3	60,3
Heating load [kW]		0	0,5
Cooling load [kW]		0	0
Humidification [kg/h]		0	0
Dehumidification [kg/h]		-1,5	0
			Mean
			22,8
			51,6
			0
			0
			0
			-0,1

Det er forholdsvis vanlig temperatur også for badet i disse simuleringsresultatene. Det er marginale forskjeller fra den første simuleringen. De høye temperaturene og personbelastningen på luften fra stue/kjøkken er årsaken til at det blir lav score for kvaliteten i henhold til kravene i NS-EN 15251 som vist i tabell 3.17 under

Tabell 3.17: kvalitet i henhold til krav i NS-EN 15251.

Zone 2: Quality of indoor environment in % of time in four categories (prEN 15251:2006)

Percentage	10	8	5	77		
Thermal environment	I	II	III	IV		
Percentage	63			15	14	9
Indoor air quality	I			II	III	IV

Tabellen under viser energibalansen for sone 2 bad.

Tabell 3.18: Energibalanse bad med fuktstyring.

Energy balance [kWh/a]

Speed setting	Total period	Heating period	Cooling period
Vent. interzone	9,7	1	0
Ventilation	0	0	0
Opaque areas	138,9	41,7	0
Int. gains rad.	63,8	18,7	0
Int. gains conv.	125,4	36,5	0
Heating	178,6	178,6	0
Opaque areas	62	35,4	0
Ventilation interzone	0,5	0	0
Ventilation	389	222,8	0

Sone 3 Soverom nord har et oppvarmingsbehov som vist i tabell 3.19 på 250,4 KWh fordelt på 123,1 dager. Det er forholdsvis høy maks innetemperatur med 32,7 grader og dette er over 26 grader som er satt som maks innetemperatur etter gjeldende normer og krav. Det er marginale forskjeller sammenlignet med den første simuleringen. Det er noe forskjell på luftfuktighet som viser at befukting/ avfukting fungerer.

Tabell 3.19: viser årssimulerings resultater for soverom nord med fuktstyring.

Zone 3: Main results

Speed setting	Value		
Heating period [d]	123,1		
Cooling period [d]	0		
Heating demand [kWh]	250,4		
Cooling demand [kWh]	0		
Humidification demand [kg]	16,7		
Dehumidification demand [kg]	0,1		
Min/Max/Mean values			
Speed setting	Min	Max	Mean
Interior temperature [°C]	20	32,7	23,2
Interior relative humidity [%]	20	60	31
Heating load [kW]	0	0,3	0
Cooling load [kW]	0	0	0
Humidification [kg/h]	0	0,1	0
Dehumidification [kg/h]	-0,1	0	0

Den høye temperaturen er også årsaken til at det blir lav score for kvaliteten i henhold til kravene i NS-EN 15251 som vist i tabell 3.20 under.

Tabell 3.20: kvalitet i henhold til krav i NS-EN 15251.

Zone 3: Quality of indoor environment in % of time in four categories (prEN 15251:2006)

Percentage	6	10	6	79
Thermal environment	I	II	III	IV
Percentage	88			12
Indoor air quality	I			II

Tabellen under viser energibalansen for sone 3 soverom nord.

Tabell 3.21: Energibalanse soverom nord med fuktstyring.

Energy balance [kWh/a]

Speed setting	Total period	Heating period	Cooling period
Vent. interzone	118,2	35,5	0
Solar gains total	186	17,1	0
Solar gains convective	18,6	1,7	0
Opaque areas	129,5	4,7	0
Int. gains rad.	140,2	21,6	0
Int. gains conv.	280,4	43,2	0
Heating	250,4	250,4	0
Windows	112,6	48,9	0
Opaque areas	132,9	73,3	0
Thermal bridges	90,4	38,6	0
Ventilation interzone	3,1	0,6	0
Ventilation	460,4	174	0

Sone 4 Stue/ kjøkken har et oppvarmingsbehov som vist i tabell 3.22 på 1048,4 kWh fordelt på 128,1 dager. Det er forholdsvis høy maks innetemperatur med 34,3 grader og dette er over 26 grader som er satt som maks innetemperatur etter gjeldende normer og krav.

Gjennomsnittlig innetemperatur er 23,6 grader. Det er også her forskjell på simuleringsresultatene fra den første simuleringen for luftfuktighet som viser at befukning/ avfukning fungerer.

Tabell 3.22: viser årssimulerings resultater for stue/ kjøkken med fuktstyring.

Zone 4: Main results

Speed setting		Value		
Heating period [d]		128,1		
Cooling period [d]		0		
Heating demand [kWh]		1048,4		
Cooling demand [kWh]		0		
Humidification demand [kg]		16,6		
Dehumidification demand [kg]		0,5		
Min/Max/Mean values				
Speed setting		Min	Max	Mean
Interior temperature [°C]		20	34,3	23,6
Interior relative humidity [%]		20	60	31,1
Heating load [kW]		0	1,1	0,1
Cooling load [kW]		0	0	0
Humidification [kg/h]		0	0,1	0
Dehumidification [kg/h]		-0,4	0	0

Den høye temperaturen er også årsaken til at det blir lav score for kvaliteten i henhold til kravene i NS-EN 15251 som vist i tabell 3.23 under.

Tabell 3.23: kvalitet i henhold til krav i NS-EN 15251.

Zone 4: Quality of indoor environment in % of time in four categories (prEN 15251:2006)

Percentage	4	10	10	76	
Thermal environment	I	II	III	IV	
Percentage	40		22	34	4
Indoor air quality	I		II	III	IV

Tabellen under viser energibalansen for sone 4 stue/ kjøkken.

Tabell 3.24: Energibalanse stue/ kjøkken med fuktstyring.

Energy balance [kWh/a]

Speed setting	Total period	Heating period	Cooling period
Vent. interzone	62,7	36,6	0
Solar gains total	1249,7	135,8	0
Solar gains convective	125	13,6	0
Opaque areas	1063,4	152,8	0
Int. gains rad.	618,6	156,3	0
Int. gains conv.	1237,2	312,6	0
Heating	1048,4	1048,4	0
Windows	960,2	432,4	0
Opaque areas	136	69,9	0
Thermal bridges	184,8	81,2	0
Ventilation interzone	35,7	0,6	0
Ventilation	2226,3	980,3	0

Resultatene viser kg/vann:

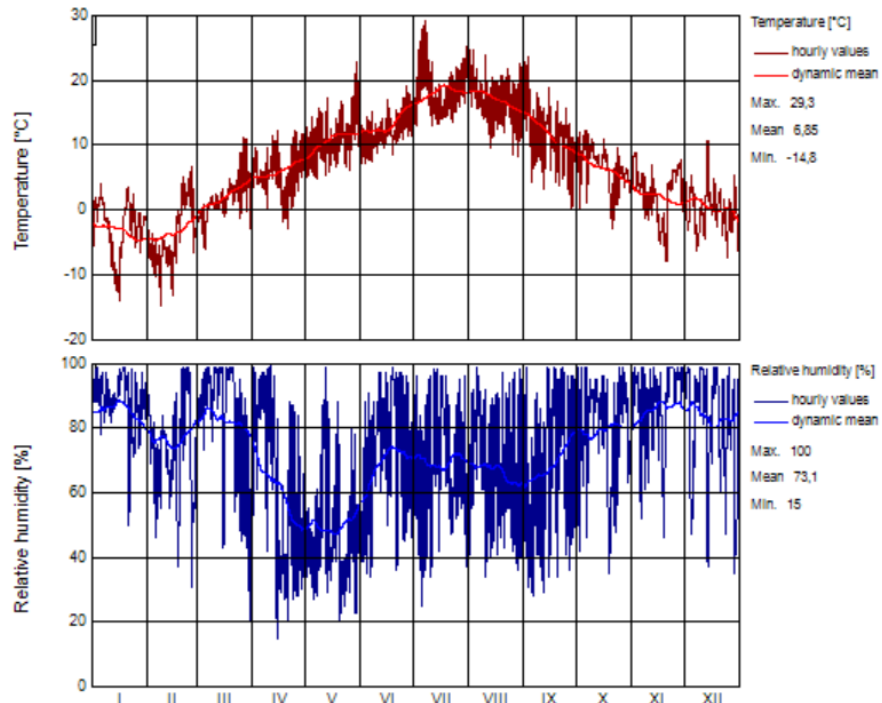
- befukting for sonene $40,4 + 16,7 + 16,6 = 73,7$ kg/vann
- avfukting for sonene $0,2 + 0,1 + 0,5 = 0,8$ kg/vann

Effekten av RF styrt ventilasjon med befukting/ avfukting og latent varme:

- Latent varme: $(74,5 \text{ kg/vann} \times 2501 \text{ kJ/(kg/vann)}) / 3600 = 51 \text{ kWh}$
- Total energibesparelse $31,9 \text{ kWh} + 51 \text{ kWh} = 82,9 \text{ kWh pr. år}$

3.2.3 Klimadata fra simuleringen i WUFI Plus

Under vises figur med graf for simulert utetemperatur og relativ luftfuktighet for Oslo i simuleringsperioden 01.01.19 – 01.01.20.



Figur 3.16: Graf utetemperatur og relativ luftfuktighet fra WUFI Plus for Oslo klima

Det er maks. utetemperatur på 29,3 grader som forklarer noe av simuleringresultatene med høye innetemperature. Leilighetene er uten mekanisk kjøling og innetemperature og innendørs luftfuktighet er derfor sterkt påvirket av simulering- og klimadata.

4 Diskusjon

4.1 Diskusjon målinger

Målinger på bad viser tidvis høy luftfuktighet med målinger over 80 % på det høyeste. Avtrekksventilasjonen på badet er behovsstyrt og aktiveres ved luftfuktighet over 50% eller bevegelse. Med 50 m³/h i luftmengdekapasitet for avtrekksventilasjonen så vises det med målingene at denne luftmengden ikke er høy nok til å holde luftfuktigheten på et lavere nivå.

Det vises i måleresultatene at temperaturen i tre øker ved høyere luftfuktighet så det kan antas at den høye luftfuktigheten på badet er gunstig for effekten med latent varme.

Det er målt både forholdsvis høye innetemperaturer og også høye CO₂ målinger. Den høye innetemperaturen var også noe beboerne var misfornøyde med. Høy innetemperatur skyldes høy personbelastning, lav luftutveksling/ lav ventilasjonskapasitet, solinnstråling pga. mangel på utvendig solskjerming og også temperaturpåvirkning fra høyere temperatur i bod. Det er ikke muligheter for å kjøre Lunos e2 i «sommermodus» dvs. uten roterende varmegjenvinner i mer enn 8 timer før den automatisk går tilbake til drift med roterende varmegjenvinner. Når Lunos e2 har «sommermodus» så går den parvis i 1 time intervaller, med roterende varmegjenvinner går den i 1 minuts intervall. Dersom det enklere kunne benyttes sommermodus så vil dette også bidra til en lavere innetemperatur i leiligheten.

De høye CO₂ målingene er et tegn på enten for stor personbelastning eller for lav luftutveksling/ for lav ventilasjons kapasitet. For en leilighet på 56,1 m² i bruksareal og to små soverom så antas det at leiligheten er dimensjonert med kapasitet for varme og ventilasjon for maks 3 personer. I dag benyttes leiligheten av en familie på 4 personer og det kan skyldes at de interne lastene også bidrar til en høyere innetemperatur og høyere CO₂ belastning. Samtidig vil også fuktproduksjonen øke ved økt personbelastning.

Hvis det tas utgangspunkt i sone 4 som er stue/kjøkken så får denne 76 m³/h med luftstrømningsretning som endres hvert eneste minutt. Det totale romvolumet av stue/kjøkken og entre er 86,6 m³. Systemet er avhengig av at avtrekkssystemet på bad er aktivert og samtidig at det er naturlig ventilasjon for å tilfredsstille krav til ventilasjon.

Det er i dag energiforsyning via energibrønn og oppvarming via radiatorer. Det er ikke fokusert på kjølemuligheter i denne oppgaven men en mulig løsning kan være frikjøling via energibrønnene og dermed oppnå lavere innetemperatur. Dette som et tiltak sammen med utvendig solskjerming.

Målinger av fukt i tre viser den største variasjonen for målt fuktighet for badet med målinger mellom 8,4% og 11,5%, samtidig som det er dokumentert i resultater en variasjon av temperatur i treet på 1 cm dybde ved denne variasjonen av luftfuktighet over en time.

Det er på badet det er observert i denne studien at effekten er størst for de hygroskopiske egenskapene til massivtreet.

4.2 Diskusjon simulering

Simuleringsresultater viser en maks verdi for luftfuktighet på bad til 55 % for den første simuleringen med avfukting og 60,3% med befukting/ avfukting. Dette er lavt sammenlignet med målinger som viser luftfuktighet flere ganger over 80 % på badet. Årsaken til dette kan skyldes at internlastene i virkeligheten er større enn de data som benyttes i WUFI Plus.

For simuleringen med befukting/ avfukting så ble det en besparelse på 27,4 KWh sammenlignet med den første simuleringen med kun avfukting og RF styrt ventilasjon på bad.

Den totale besparelsen blir 82,9 kWh pr. år med fuktstyrt ventilasjon og befukting/ avfukting. Befukting og avfukting har i simuleringen fått et minimum på 20% og maksimum på 60%. I henhold til NS-EN15251 skal bygningskategori 2 ha maksimum 60%. En høyere tillatt luftfuktighet og en høyere variasjon mellom minimum og maksimum antas å ha et økende bidrag til latent varme. Dette må vurderes opp mot treets hygroskopiske egenskaper for å ikke få fuktskader, og heller ikke fuktskader på andre bygningsmaterialer på badet. Samtidig må det også tas hensyn til innemiljø og oppholdstid for personer på bad. Det er ikke vurdert videre hva som ligger til grunn for kravene i NS-EN 15251 i denne masteroppgaven.

Det er simuleringsresultater med forholdsvis høye innetemperature. Beboerne i leiligheten var ikke fornøyd med innetemperaturene på rommene og målinger viser høye innetemperature. Derfor virker det som om simuleringsmodellen viser tilnærmet riktig status på innetemperatur. Det er ikke benyttet utvendig solskjerming for vinduer. Utvendig solskjerming kan bidra som passiv kjøling og føre til lavere innetemperature som igjen vil føre til bedre termisk innemiljø og bedre resultat vurdert opp mot NS-EN15251. Det er ikke utført simulering med utvendig solskjerming i denne masteroppgaven.

Personbelastningen på en såpass liten leilighet på 56,1 BRA er forholdsvis stor med en familie på fire personer. CO₂ målingene viser høye resultater, og simuleringsresultatene viser også svake karakterer for NS-EN 15251. Her er nok leiligheten i utgangspunktet prosjektert og dimensjonert for maks. 3 personer slik beskrevet også under diskusjonen for målinger.

Effekten av latent varme ble beregnet til ca. 300 KWh pr år i Metode-målinger. 300 KWh stemmer bra overens med resultatet fra studien i 2017 [6] som konkluderte med energisparinger på 296 – 320 kWh/ pr år dersom det brukes hygroskopiske overflater som tre i stedet for fliser på bad. I teorien vil latent varme kunne dekke det totale varmebehovet for badet hvis man setter tallene fra simuleringen direkte opp mot hverandre. utfordringen er å ha effekten av latent varme for de tidsperiodene det er behov for varme og ikke ellers.

Resultatene innebærer at det i teorien er en mulighet for å kunne spare strøm til oppvarmingen av badet ved å medregne effekten av latent varme ved prosjekteringen og dimensjoneringen av oppvarming- og ventilasjonsanlegget til leiligheten. Men det vil være veldig komplisert å få dette til å fungere, og det vil kreve avanserte tekniske løsninger samt trolig også avansert byggautomasjon.

4.3 Diskusjon usikkerhetsvurdering

Det er en teoretisk beregning som ligger til grunn på energibesparelse ved å kunne utnytte latent varme. Hvordan ventilasjons og oppvarmingssystemet skal fungere for å ivareta denne effekten er en stor usikkerhetsfaktor.

For soneinndelingene i WUFI Plus så er det en viss usikkerhet hvordan inndelingen av sone 4 stue/ kjøkken vil påvirke testresultatene.

Den desentraliserte ventilasjonsløsningen vil mulig være lettere å simulere dersom leiligheten deles inn i flere soner. På den måten kan hver desentralisert ventilasjonsenhet få sin egen sone. Lufthastighet og kastelengde på ventilasjonsenheten vil også være en faktor som kan dokumenteres på en mer detaljert måte i en annen lignende studie.

5 Konklusjon

Målet i oppgaven var å undersøke hvilken energisparepotensial det var for de eksponerte massivtreoverflatene i leiligheten. Det ble også samtidig vurdert det termiske innemiljøet i leiligheten.

Resultatene av beregningene av målingene viser til en teoretisk energibesparelse på 300 kWh/ pr. år for badet ved å benytte eksponert overflate av massivtre i stedet for en overflate uten hygroskopiske egenskaper for latent varme.

Resultatene av simuleringene viser en potensiell energibesparelse på 82,9 kWh/ pr. år ved å benytte fuktstyring med befukning/ avfukning i stedet for å benytte fuktstyring med avfukning og RF styrt ventilasjon kun på bad.

Det er tydelig at variasjonen av luftfuktighet er større i leiligheten enn hva resultatene fra simuleringen presenterer og i denne oppgaven er ikke konkludert hva dette kan skyldes.

Det er beregnet etter måleresultater at effekten av latent varme fra en eksponert massivtre overflate på bad kan teoretisk dekke badets oppvarmingsbehov for denne leiligheten, dersom det kan antas at det reelle energiforbruket er tilsvarende resultatet fra simuleringen.

Resultatene fra målinger og simuleringer indikerer at hypotesen for oppgaven er korrekt og at det er energisparingspotensiale ved å benytte massivtre i kombinasjon med fuktregulert ventilasjon.

For simuleringsresultatene i WUFI Plus er det dog flere resultater som får negativ karakter i henhold til NSEN 15251 sin tabell for termisk innemiljø.

Det tyder derfor på at lave luftmengder kan bidra til et dårligere innemiljø og blant annet for høye lufttemperaturer. Vinduslufting og naturlig ventilasjon må tilstrebes der det er en tilfredsstillende løsning. Ved høye luftforurensinger eller kalde utetemperaturer bør det være også være dimensjonert med tilfredsstillende løsninger for å sikre godt nok inneklima.

5.1 Forslag til videre arbeid

I videre studier på massivtreet egenskaper og behovsstyrt ventilasjon så kan det utføres målinger i en bebodd leilighet over to perioder. En periode med fuktstyrt ventilasjon og målinger over en periode uten fuktstyrt ventilasjonsanlegg. Det bør også i denne perioden kartlegges personbelastningen detaljert i måleperioden. Det kan også tas med befukning dersom resultatene tilsier at det vil ha en effekt for de hygroskopiske eksponerte treoverflatene.

Det kan vurderes å utføre simuleringer i et annet simuleringsprogram samtidig med simuleringer i WUFI Plus for å sammenligne resultatene for det termiske innemiljøet.

Det bør også vurderes det reelle strømforbruket opp mot simuleringsresultatene..

Til slutt kan det også være interessant å vurdere videre hvordan luftstrømmen i leiligheten beveger seg med den desentraliserte ventilasjonsløsningen og analysere dette.

Referanseliste

1. Novakovic, V., Hanssen, S., O., Thue, J., V., Wangensteen, I. & Gjerstad, F., O. (2014). *ENØK I BYGNINGER: Effektiv energibruk*. 3 utgave (2014) Oslo: Gyldendal Norsk Forlag
2. Klima- og miljødepartementet (2017), *Klimastrategi for 2030 – norsk omstilling i europeisk samarbeid* (Meld st. 41 (2016-2017))
3. Standard Norge, *Kriterier for passivhus og lavenergibygninger- Boligbygninger*, in *NS3700:2013*2013, Standard Norge.
4. Mingjie Zhang, Menghao Qin, Carsten Rode, and Zhi Chen. Moisture buffering phenomenon and its impact on building energy consumption. *Applied Thermal Engineering*, 124:337-345, 2017. ISSN 13594311. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.05.173. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.05.173>.
5. Dimitrios Kraniotis and Kristine Nore. Latent Heat Phenomena in Buildings and Potential Integration into Energy Balance. *Procedia Environmental Sciences*, 38 (1878):364-371, 2017. ISSN 18780296. doi: 10.1016/j.proenv.2017.03.102. URL <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1878029617301068>.
6. Nore, K., Nyrud, A. Q., Kraniotis, D., Skulberg, K.R., Englund, F. & Aurlien T. *Moisture buffering, energy potential, and volatile organic compound emissions of wood exposed to indoor environments*, 2017 <https://doi.org/10.1080/23744731.2017.1288503>
7. Stergiani Charisi, Dimitrios Kraniotis, and Kristine Nore. *Latent Heat Sorption Phenomena in Three Building Materials: Norwegian Spruce (Picea Abies), Gypsum Board and Concrete*. Proceedings of the WCTE 2016 World Conference on Timber Engineering, Vienna / Austria, August 22-25, 2016, (4):1-2, 2016.
8. Monika Woloszyn, Targo Kalamees, Marc Olivier Abadie, Marijke Steeman, and Angela Sasic Kalagasidis. *The effect of combining a relative-humidity-sensitive ventilation system with the moisture-bffering capacity of materials on indoor climate and energy efficiency of buildings*. *Building and Environment*, 44(3):515-524, 2009. ISSN 03601323. doi:10.1016/j.buildenv.2008.04.017.
9. FutureBuilt. (2019, 10. Juni). Forbildeprosjekter Ulsholtveien 31. Hentet fra <https://www.futurebuilt.no/Forbildeprosjekter#!/Forbildeprosjekter/Ulsholtsveien-31>
10. Haugen/Zohar Architects. (2019, 10. Juni). Ulsholtveien 31. Hentet fra <https://www.hza.no/u31>
11. Standard Norge, *Inneklimateparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk*, NS-EN 15251:2007+NA:2014, Standard Norge
12. Direktoratet for byggkvalitet, (2019, 10. juni) *Byggteknisk forskrift* (2017), Hentet fra <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/>
13. Lavenergisystemer, (2019, 10. juni). Lunos e2. Hentet fra <https://www.lavenergisystemer.no/produktoversikt>
14. Sturla, I. (2019) *Ventilasjonsteknikk del 2*. Skarland Press
15. Mysen, M., & Schild, P. G. (2014) *Behovsstyrt ventilasjon, DCV_forutsetninger og utforming*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
16. Standard Norge, *Bygningers energiytelse - Beregning av energibehov og energiforsyning*, SN/TS 3031:2016

17. Kraniotis, D. Forelesning Fuktttransport i bygninger. 2018 Uke 42. OsloMet - Storbyuniversitetet
18. Englundh, P., 29.04.2019: *Befaring i leilighet F101 i Ulsholtveien 31 vedrørende montering av Celsicom utstyr*, M. Engehaugen
19. Kraniotis, D., 14.05.19: *Befaring i F101 for å korrigere måler og skruer plassering for fukt i tre*, M.Engehaugen
20. Norgips Norge AS. (2019, 10. Juni). Hentet fra <https://norgips.no/produkter/sementbaserte-plater/aquapanel-plater>).
21. TSI Incorporated. (2019, 10. Juni) Hentet fra <https://tsi.com/getmedia/62e3cc03-586b-44e2-bdc3-9aecda567438/1980574B-7565-Q-Trak?ext=.pdf>
22. Meteorologisk Institutt. (2019, 10. juni), *værobservasjoner utetemperatur og relativ luftfuktighet*. Hentet fra www.eklima.no
23. SketchUp. (2019, 10. juni). Hentet fra <https://www.sketchup.com/products/sketchup-pro>
24. Fraunhofer IBP – WUFI (2019, 10. juni). Hentet fra https://www.wufi-wiki.com/mediawiki/index.php/Plus:General_Information
25. Tlf. samtale med NorDan kundesenter, 28.05.19: *info vindu Ulsholtveien 31 med ordrenummer 7 siffer fra vinduskarm*, M.Engehaugen
26. Englundh, P., 24.05.2019: *Korrespondanse vedrørende intervall måling fukt i tre for Celsicom utstyr*, M. Engehaugen

Vedlegg

Vedlegg A 20170531 - Ulsholtveien 31- Som Bygget - Nybygg -FDV - ARK tegninger -
Haugen Zohar Arkitekter AS

Vedlegg B 2 FDV Lunos e2 v.03

Vedlegg C 5 Monteringsanvisning 5-UNI-FT v.12 NO

Vedlegg D 3 FDV_Silvento v.03

Vedlegg D.1 7 Konfigurasjonsbeskrivelse Ventilasjonsprodukter Ulsholtvn 31

Vedlegg E Celsicom utstyr målenøyaktighet og måleområde

Vedlegg E1 Målinger sone 1 sov sør

Vedlegg E2 Målinger sone 2 bad

Vedlegg E3 Målinger sone 3 sov nord

Vedlegg E4 Målinger sone 4 stue kjøkken

Vedlegg E5 CO2 7565-XTTest 009

Vedlegg F WUFI Plus Resultat Konstruksjoner

Vedlegg G WUFI Plus Resultat årssimulering

Vedlegg H WUFI Plus Resultat årssimulering fuktstyring hele leiligheten

Vedlegg W1 Leilighet F101

Vedlegg W1.1 Leilighet F101.mwp.res

Vedlegg W2 Leilighet F101_med fuktstyring hele leilighet

Vedlegg W2.1 Leilighet F101_med fuktstyring hele leilighet.mwp.res

Figurliste

Figur 2.1: Bygning A i Ulsholtveien 31

Figur 2.2: Situasjonsplan som viser plassering av leilighet F101 med rød markering [10]

Figur 2.3: Bildet viser uteområdet utenfor leilighetene i massivtre i Ulsholtveien 31 [10]

Figur 2.4: Bilde viser Lunos e2 [13]

Figur 2.5: Bilde viser Lunos 5-UNI-FT bryter i bod stilt inn på høyeste luftmengde av beboer

Figur 2.6: Bilde viser komponenter i Lunos 5-UNI-FT bryter med føler for luftfuktighet [13]

Figur 2.7: viser utsnitt av plantegning med plassering av ventilasjonsenheter i leiligheten.

Figur 2.8: viser luftstrøm for ventilasjon med intervall mellom fasader hvert minutt

Figur 2.9: viser situasjonen ved avtrekk på bad

Figur 2.10: viser plassering av utstyr i leiligheten

Figur 2.11: Bilde viser plassering CO2 måler over kjøleskap på samme sted som basestasjonen fra Celsicom.

Figur 2.2.2 viser bilde av basestasjon utviklet av Celsicom AB

Figur 2.12: viser skjermdump av nettsky i Celsiview

Figur 2.13 viser bilde av fuktkvotsgiver inkl. kabel

Figur 2.14: viser bilde av rustfrie treskruer 3,5 x 20 mm

Figur 2.15: viser bilde av MC501 med fuktgiver og skruerinnfesting 1 cm dybde montert i sone 3/ soverom nord. TH500 er montert til høyre for MC501.

Figur 2.16: viser bilde av T501B

Figur 2.17: viser bilde av TH500, MC501 og T501B montert på massivtre vegg på sone 2/ bad

Figur 2.18: viser bilde med plassering av TH500 og MC501 i sone 1/ soverom sør

Figur 2.19: viser bilde med plassering av TH500 og MC501 i sone 3/ soverom nord

Figur 2.20: viser bilde med plassering av TH500 og MC501 i sone 4/ stue-kjøkken

Figur 2.21: viser bilde av Q-TRAK 7565-X

Figur 2.22 Graf utetemperatur Hovin værstasjon 02.05.19 – 31.05.19 [22].

Figur 2.23: Skjermdump av modellen tegnet i SketchUp.

Figur 2.24: Skjermdump nr. 2 av modellen i SketchUp

Figur 2.25: Skjermdump av modellen i WUFI Plus sone 1/ soverom sør

Figur 2.26: Skjermdump av hele modellen i WUFI Plus

Figur 3.1: Grafen fra Celsiview viser kurven for luftfuktighet, lufttemperatur og temperatur i treet for målinger kl. 21.10 i sone 2/ bad.

Figur 3.2: Grafen fra Celsiview viser kurven for luftfuktighet, lufttemperatur, fukt i tre og temperatur i treet for målinger kl. 22.10 i sone 2/ bad.

Figur 3.3: Grafen fra Celsiview viser kurven for luftfuktighet, lufttemperatur og fukt i tre i sone 2/ bad.

MAEND5900 Masteroppgave Kandidat 820

Figur 3.4: Grafen fra Celsiview viser kurven for fukt i tre i sone 2/ bad.

Figur 3.5: Grafen fra Celsiview viser situasjon for bad luftfuktighet, temperatur og fuktkvote.

Figur 3.6: viser målinger for bad i perioden 30.04.19 – 09.05.19.

Figur 3.7: Graf viser fuktkvote for sone 1/ soverom sør

Figur 3.8: Graf viser luftfuktighet og temperatur sone 1/ soverom sør.

Figur 3.9: Grafen viser målinger sone 3/ soverom nord med uthevet måling 21.05.19 kl. 13:50.

Figur 3.10: Grafen viser målinger soverom nord med uthevet måling 21.05.19 kl. 22:00.

Figur 3.11: Grafen viser målinger fuktkvote soverom nord.

Figur 3.12: Grafen viser målinger sone 4/ stue-kjøkken med uthevet måling 21.05.19 kl. 22:00.

Figur 3.13: Grafen viser målinger stue med uthevet måling 22.05.19 kl. 05:30.

Figur 3.14: Grafen viser målinger fuktkvote stue.

Figur 3.15: grafen viser CO₂ målinger i leilighet F101 i Ulsholtveien 31 i perioden 30.04.19 – 28.05.19.

Figur 3.16: Graf utetemperatur og relativ luftfuktighet fra WUFI Plus for Oslo klima

Tabelliste

Tabell 2.1: Generell data sone 1/ soverom sør.

Tabell 2.2 Designkriterier sone 1/ soverom sør.

Tabell 2.3: Yttervegg for sone 1/ soverom sør mot sør

Tabell 2.4: Generell data sone 2/ bad.

Tabell 2.5: Designkriterier sone 2/ bad.

Tabell 2.6: Generell data sone 3/ soverom nord.

Tabell 2.7: Designkriterier sone 3/ soverom nord.

Tabell 2.8: Generell data sone 4/ stue/kjøkken.

Tabell 2.9: Designkriterier sone 4/ stue/ kjøkken.

Tabell 3.1 Tabell viser resultater for sone 1 årssimulering.

Tabell 3.2: kvalitet i henhold til krav i NS-EN 15251.

Tabell 3.3: Energibalanse soverom sør.

Tabell 3.4: viser resultater for sone 2 årssimulering.

Tabell 3.5: kvalitet i henhold til krav i NS-EN 15251.

Tabell 3.6: Energibalanse bad.

Tabell 3.7: viser resultater for sone 3 årssimulering.

Tabell 3.8: kvalitet i henhold til krav i NS-EN 15251.

Tabell 3.9: Energibalanse soverom nord.

Tabell 3.10: viser resultater for sone 4 årssimulering.