



1. Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet ved Institutt for Matematiske og Teknologiske fag ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU) våren 2014. Oppgaven er skrevet i samarbeid med NMBU og Treteknisk. Oppgaven er utformet etter eget interesseområde, Doktorgradstipendiat Dimitrios fra NMBU, ved veileder Tormod Aurlien fra NMBU og Christine Nore fra Treteknisk.

Grunnlaget for oppgaven var at jeg er meget interessert i det bygningsfysiske og da spesielt energibruk i boliger og større bygg. Har fått en del kunnskap gjennom studiene på NMBU, men ønsket å gå enda dypere inn på hva det vil si å bygge tette bygg og hvilke virkninger vinden kan ha å si for luftutskiftninger i boliger. Oppgaven virket konkret og jeg tenkte det kunne være spennende å utføre målinger i forbindelse med oppgaveskrivingen. Dessuten ble jeg veldig nysgjerrig på WEEE-prosjektet som Treteknisk står for og håper å kunne komme med informative data i forhold til prosjektet.

Oppgaven er et resultat at vi ønsker å se om luftutskiftningen i modulene stemmer i forhold til ventilasjonen, om vindens hastighet og retning har noe å si for utskiftningen, undersøke om det er noen utettheter og sammenligne resultatene med måling som ble gjort for 1 år siden. Det vil bli brukt sporgass for å kontrollere luftutskiftningene ved ulike vindretninger og hastigheter og Blower Door til å finne lekkasjetallet til modulene. Det vil også bli laget en enkel figur for å prøve å forklare hvor de største utetthetene kan være i modul A.

Store deler av arbeidet har foregått på NMBU hvor modulene står på et jorde.

Jeg vil rette en stor takk til Dimitrios som har hjulpet med alt fra litteratursøking til utføring av målinger. Uansett hvilket tidspunkt jeg har sendt mail eller kommet innom kontoret, har han alltid vært meget behjelpelig med å hjelpe til. Det har vært utrolig viktig med en person som har brukt sporgass selv til undersøkelse og som hadde alt av litteratur tilgjengelig.

Vil også takke veilederen ved NMBU, Tormod Aurlien for god hjelp og hyggelige samtaler.

Til slutt vil jeg takke min samboer for god hjelp med End Note og rettskriving av oppgaven. Familie og venner har også vært gode støttespillere gjennom masterarbeidet og vil rette en stor takk til foreldrene mine som har støttet skolegangen min gjennom 5 år på NMBU.

2. Sammendrag

Denne oppgaven prøver å gi et svar på hvor stor rolle vinden har for luftutskiftningene i modul A og om ventilasjonsanlegget gir riktig mengde utskiftninger per time. Til å undersøke dette er det brukt CO₂-gass for undersøkelse av luftutskiftninger og trykktesting med Blower Door for undersøkelse av lekkasjetall og lokalisering av utettheter ved å kjenne med hånden. Blower Door ble brukt to ganger (overtrykk og undertrykk), mens CO₂-gass ble brukt flere ganger med forskjellig vindstyrke og retning for å kunne få så godt grunnlag som mulig til besvarelse av problemstillingen. Modulen er bygget i massivt tre og skal i seg selv være meget tett. Forholdene er ellers lagt godt til rette for vindundersøkelser med tanke på modulen er plassert ute på et jorde ved NMBU slik at det ikke ligger noen form for hindringer foran den.

Ellers er det skrevet litt generelt om lufttetthet og ulike ventilasjonssystemer. Dette er gjort for å skape en forståelse for leseren om hva lufttetthet er, hva det vil si å bygge tett og hva ventilasjonssystemer har å si for tette bygg og hvordan dette påvirker dagens bygninger.

Blower Door måling viser at modul A er betydelig tettere nå enn forrige gang lekkasjetallet ble målt. Verdien ble målt til 1,65 h⁻¹ mot 2,80 h⁻¹, noe som kan forklares ved at det har blitt lagt på 2 lag med vindspærre og isolasjon på veggene siden sist.

Luftutskiftninger per time varierer fra 0,062 h⁻¹ til 0,146 h⁻¹ basert på 7 målinger og det er vist at vindhastigheten har en vesentlig rolle i forhold til utskiftningene. Hvor mye retningen har å si for utskiftningene er litt vanskeligere å konkludere med, men en har grunn til å tro at hvis retningen kommer fra sør, sør-øst eller nord-øst, så kan utskiftningene skje litt raskere på grunn av utetthetene ved døra til modulen og hullet til ledninger som er rett ved døra.

Ventilasjonsanlegget ble beregnet til å gi en luftutskiftning per time på 0,544 h⁻¹, mens ved sporgass ble det målt til 0,455 h⁻¹. Årsaken til dette kan rett og slett være usikkerhet i målemetoden med sporgass og blir diskutert i oppgaven.

3. Abstract

This thesis tries to give an answer to how important the wind is for the Air Changes in module A and whether the ventilation system provides the proper amount of changes per hour. To investigate this it has been used two loggers and CO₂ gas for investigation of air changes and Blower Door for investigation of leakage rate and location of leakages by feeling with hand. Blower Door was used once (overpressure and underpressure), while CO₂ gas was used several times with different wind speed and direction in order to get as good measurement as possible to answer the research question. The module is constructed of solid wood and should in itself be very tight. The conditions are otherwise also very good for wind research applied to the module, since it is located in a field at NMBU so that there is no kind of obstruction in front of it.

Otherwise it's written a little general about air tightness and different ventilation systems. This is done to create an understanding for the reader about what airtightness is, what it means to build tight and what ventilation systems have to say for tight buildings and how this affects the current buildings.

Blower Door measurements show that the module A is significantly tighter now than the last time the leakages was measured. The value was measured to be 1,65 this year, and 2,80 last time, which can be explained by the fact that it has been placed on two layers of sheathing and insulation on the walls since last time.

Air changes per hour varies from 0,062 h⁻¹ to 0,146 h⁻¹ based on 7 measurements and it is shown that the wind speed has a significant role in the Air Changes. How much direction has to say for the Air Changes are a little harder to conclude, but there is reason to believe that if the direction coming from the south, south-east or north-east, then the Air Changes can be made a little faster because of leakages at the door of the module and the hole for wires that are right next to the door.

The ventilation system was calculated to provide an air change per hour in 0,544 h⁻¹, while the tracer gas measured 0,455 h⁻¹. The reason for this difference may simply be uncertainty in the measurement method of tracer gas and are discussed in the thesis.

Innhold

1. Forord	1
2. Sammendrag	2
3. Abstract	3
4. Innledning.....	8
4.1. Bakgrunn og Problemstilling.....	8
4.2. Ventilasjon og tetthet i forhold til Tek 10.	10
4.3. Avgrensninger	13
5. Litteratur/teori	14
5.1. Hva har lufttetthet å si og hvordan kan en sikre tette bygg?	14
5.2. Hva har ventilasjonsanlegg å si for tette bygg?	15
6. Materiale og metoder.....	19
6.1. Introduksjon.....	19
6.2. Byggets lokasjon og utfordringer	20
6.3. Målemetoder.....	22
7. Resultater.....	26
7.1. Resultater fra Hoboware og hva en kan lese av grafene.....	26
7.2. Luftutskiftninger per time og hvordan de beregnes.....	28
7.3. Luftutskiftninger i forhold til vinddata.....	30
7.4. Resultat fra Blower Door.....	45
8. Diskusjon.....	47
9. Konklusjon:	51
10. Litteraturliste	52
11. Videre Arbeid	53
12. Vedlegg.	54
Vedlegg 1:	54
Vedlegg 2:	55
Vedlegg 3:.....	63

Tabeller:

Tabell 1: Tabellen viser utregnet luftutskiftning basert på 15 timer for modul A.....	30
Tabell 2: Vindretning omgjort til grader.	32
Tabell 3: Tabellen viser værdata for 18. mars der VH er vindhastighet og VR er vindretning.....	34
Tabell 4: Tabellen viser oversikt over hvordan luftutskiftningene har utviklet seg time for time gjennom de ulike måledagene.	44

Figurer:

Figur 1: Figur fra BKS. 520.401 (Hole & Aurlien 2013).....	15
Figur 2: Fordeler og ulemper med ulike ventilasjonssystemer (Skåret & Blom 1994).....	16
Figur 3: Bilde over viser hvor bygget for matematiske og teknologiske fag (TF-bygget) ligger i forhold til modulene.....	20
Figur 4: Bildet viser hvordan CO ₂ -tanken ser ut. Dette bildet ble tatt da tanken gikk tom og slangedelen måtte byttes over til en ny tank.....	23
Figur 5: Figuren viser hvordan loggeren enkelt kobles til pc med en ledning for oppstart og stopping. Dette bildet ble tatt 19. mars 2014.....	24
Figur 6: Bildet viser hvor øvre logger stod under samtlige forsøk.....	29
Figur 7: Bildet viser nedre logger som stod på gulvet midt i modulen.	29
Figur 8: Naturlig logaritme og vindretning den 17. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag for tabell 1, kapittel 7.2.....	31
Figur 9: Vindhastighet 17. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag.....	32
Figur 10: Validering av ventilasjonsanlegget.....	33
Figur 11: Naturlig logaritme og vindretning den 19. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag for tabell 1, kapittel 7.2.....	35
Figur 12: Vindhastighet den 19. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag.	35
Figur 13: Naturlig logaritme og vindretning den 20. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag for tabell 1, kapittel 7.2.....	36
Figur 14: Vindhastighet 20. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag.	37
Figur 15: Naturlig logaritme og vindretning den 21. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag for tabell 1, kapittel 7.2.....	38
Figur 16: Vindhastighet 21. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag.	38
Figur 17: Naturlig logaritme og vindretning den 22. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag for tabell 1, kapittel 7.2.....	39
Figur 18: Vindhastighet 22. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag.	40
Figur 19: Naturlig logaritme og vindretning den 23. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag for tabell 1, kapittel 7.2.....	41
Figur 20: Vindhastighet 23. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag.	41
Figur 21: Naturlig logaritme og vindretning den 25. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag for tabell 1, kapittel 7.2.....	42
Figur 22: Vindhastighet 25. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag.	43
Figur 23: Figuren viser resultater fra Blower Door måling den 18. mars. Ved dette tilfelle ble det brukt undertrykk som målemetode.	45
Figur 24: Figuren viser tetthetsmåling av modul A for 1 år siden ved 50 Pa undertrykk.	45

Figur 25: Figuren viser forskjellen i verdier ved undertrykks- og overtrykksmåling ved bruk av Blower Door den 18. mars 2014.	46
Figur 26: Bildet viser hvordan vindduken har løsnet mellom vegg og tak på sørsiden av modul A og kan føre til at vind kommer inn til modulen via utettheter. I bakgrunnen kan en se modul B som skjermer på østlig side.	47
Figur 27: Figuren viser et oversiktsbilde av modul A. Pilene representerer vindretning, mens strekene indikerer hvor det er mest sannsynlig at vinden bidrar til raskere luftutskiftninger i modulen.	50

4. Innledning

4.1. Bakgrunn og Problemstilling

Et bygg består av mange komponenter. En kan se på det som et orkester hvor alle instrumentene danner et samspill og gir et sluttprodukt. Hvis trommene ikke spiller i takt med resten, kan det bli et dårlig sluttprodukt. På samme måte er det med et bygg. Hvis bæresystemet er dårlig, hjelper det ikke at det er passivhusstandard i veggene med 35 cm isolasjon. Da kan en si at det er prøvd å dekke over noe som ikke var bra til å begynne med. Alt må henge sammen for å kunne danne et godt sluttprodukt. Både fundamentering, bæresystem, kledning, sammenføyninger, ventilasjon, tak, detaljer m.m. er viktig å ta hensyn til ved oppsetting av et nybygg. Overses det en viktig detalj eller er unøyaktig, kan det få alvorlige konsekvenser senere. Det er for eksempel ganske kjedelig hvis det er ferdigstilt et åtte etasjes nybygg og så bryter det ut vannlekkasje i fjerde. Dette forsinker både innflyttingen og gir store ekstra kostnader. Det er derfor viktig at en er detaljbevisst fra starten slik at det oppnås et godt resultat.

Et bygg har flere funksjoner. Det kan være en bolig hvor familier oppholder seg, det kan være ulike type butikker hvor folk kan få tak i varer eller tjenester, det kan være et lager for en fabrikk eller det kan være noe helt annet. Bruken av bygg varierer mye og er viktig for samfunnet. Folk er forskjellig og opplever inneluft individuelt. Det kan for eksempel være irriterende for noen når et vindu blir åpnet for å lufte på en kald vintersdag på grunn av tett inneluft. Dette kan føre til at noen blir sittende og fryse og i verste fall blir syk. Det er også bedre å gjøre en god jobb helt fra starten av enn å komme tilbake om et par år å måtte forbedre bygningskroppen. Derfor kan det å bygge tett med et godt ventilasjonssystem, som sikrer et godt inneklima, være en viktig grunn ved alle nybygg nettopp på grunn av at mennesker omgir seg med det hele tiden.

Lufttetthet har betydning for flere faktorer: energiøkonomi, fuktsikring, varmekomfort, luftkvalitet, brannsikring, lydisolasjon, tetthet mot radon og spredning av lukt (Blom & Uvsløkk 2012).

Energieffektivitet er kanskje den viktigste grunnen for å bygge tett. Hvis bygningskroppen ikke er tett, er det vanskelig å oppnå mål om lavt energiforbruk i boligen. Hvis det siver inn mye kald luft, må det brukes mer energi til å varme opp boligen og dermed øker det samlede

behovet for å kjøpe energi. Selv om strømprisene i Norge i dag er lave (Lysengen 2014), kan det spares mye på å gjøre boligen sin mer tett. Ved å bygge tett kan en også spare miljøet ved at en slipper å importere mer energi fra andre land til oppvarming av den norske husholdningen.

Andre fordeler med å bygge tett er at det sikres god varmekomfort og god luftkvalitet sammen med et mekanisk balansert ventilasjonssystem. Hvis det også sikrer god tetthet mellom boenhetene kan det kunne hindre brann- og røykspredning. Det vil kunne sikre god lydisolasjon mellom boenhetene og en vil unngå spredning av lukt (Blom & Uvsløkk 2012).

Hvis det er mye utettheter i bygninger, vil det kunne drive inn snø i konstruksjonen som legger seg (Edwardsen 2010). Når det så blir varmere, vil dette kunne renne ned i konstruksjonen og gi fuktskader. En annen ulempe er at fuktighet innenfra vil kunne sive ut gjennom utettheter og danne seg rim lenger ut i konstruksjonen. Dette vil også kunne føre til fuktskader når det blir varmere i lufta. Ved å bygge tett kan en unngå store skader fra fukt. Ifølge Sintef Byggforsk kommer hele 60 % av skadene på bygningsmassen på grunn av fukt. Ved et større fokus på tetthet under oppføring av nybygg, kan det unngås skader som følge av situasjoner ovenfor. Dette vil igjen spare mye tid og ressurser i form av at det kan forhindre reparasjoner ved en senere anledning (Edwardsen 2010).

Modulbygg har blitt mer og mer vanlig hvor det meste prefabrikeres i hall for så å sette det sammen på byggeplass. Dette er en meget tidsbesparende metode, det gir mulighet for mindre feil siden verktøyet ligger lett tilgjengelig, det sparer støy på byggeplass og det er lett å holde kontroll over prosjektet. Modulbygg kjennetegnes ofte ved at det masseproduseres og det skal gå fort å sette opp (Schjelderup & Henriksen 2010). En ulempe ved denne formen for bygg er at det kan ha liten mulighet til å designes som en akkurat selv vil. Det kan ofte bli en klosseform som masseproduseres og settes over hverandre eller ved siden hverandre, selv om det finnes unntak. En annen ulempe er at det er vanskelig å få til tilstrekkelig avstivning hvis det ønskes mange etasjer. Dette gjør at hvis en har liten tomt å bygge på, vil det ikke kunne utnyttes i høyden til å bygge i. Flere byggefirmaer har satt modulbygg over butikker. Et eksempel er Portalen borettslag i Dyrhøkk ved Drøbak hvor en har bygd modullignende bygg over bygget under som består av Expert, Rimi og Europris. Dette er både plassbesparende, arealeffektivt og en får leilighetene litt unna biltrafikken.

De byggene som det har blitt gjort målinger på her på NMBU er modulbygg. Modulene var tidligere bare et bygg med to moduler oppe på hverandre, mens nå er de satt ved siden av

hverandre isteden. Beskrivelse av materialer, hvor modulene ligger og hvilke utfordringer de har kommer i avsnitt 5.2.

Det som blir spennende å se i forhold til dette prosjektet er om lufttettheten påvirker luftutskiftningen i modul A. Hvis det er mye utettheter, kan en se ved hjelp av sporgass undersøkelse at luftutskiftningene vil variere med vindhastighet og retning. Modulene har blitt forbedret ved at det har blitt lagt isolasjon og to vindsperrerlag på veggene. Det blir derfor interessant å bruke Blower Door til å finne lekkasjetallet og sammenlikne med tall fra forrige gang modul A ble undersøkt. Dette leder frem til problemstillingen:

Hvordan været og utettheter påvirker infiltrasjonen i modulbygg og hvorfor dette er viktig å tenke på ved oppføring av nybygg.

4.2. Ventilasjon og tetthet i forhold til Tek 10.

Teknisk forskrift (TEK) er ulike krav til byggverk og produkter til byggverk. Den har som hensikt til gjennomføring og utfylling av bestemmelsene i plan og bygningsloven av 14. juni 1985 og for gjennomføring av Norges forpliktelser etter EØS-avtalen. TEK må tas hensyn til når det skal bygges eller foretas søknadspliktig rehabilitering. TEK revideres hvert 5. år siste gang i 2010. Da hadde det kun gått tre år siden forrige gang TEK ble revidert, men det var nødvendig med skjerpede krav og større fokus på energiutfordringer (*Byggeregler TEK 10* 2014). TEK 10 ble obligatorisk fra 1.7.11 og er den gjeldene forskrift i dag. Passivhus kravene stiller strengere krav enn TEK 10, men det bygges oftere og oftere etter disse kravene både på grunn av fordelene dette gir i form av økonomisk besparelse (tette hus slipper ut mindre varme og det trengs mindre energi til oppvarming) og fordi det kan søkes om økonomisk støtte ved å bygge energivennlige hus hos Enova.

Ventilasjon:

- I TEK 10 § 13-2. (Ventilasjon i boenheten) står det:

“ (1) I boenhet skal rom for varig opphold ha ventilasjon som sikrer frisklufttilførsel på minimum $1,2 \text{ m}^3$ pr. time pr. m^2 gulvareal når rommene eller boenheten er i bruk og minimum $0,7 \text{ m}^3$ pr. time pr. m^2 gulvareal når rommene eller boenheten ikke er i bruk.

(2) Soverom skal tilføres minimum 26 m^3 friskluft pr. time pr. sengeplass når rommet eller boenheten er i bruk. Rom som ikke er beregnet for varig opphold skal ha ventilasjon som sikrer $0,7 \text{ m}^3$ friskluft pr. time pr. m^2 gulvareal. Kjøkken, sanitærom og våtrom skal ha avtrekk med tilfredsstillende effektivitet. “

Dette viser at sikring av god tilluft ikke bare er en anbefaling, men et lovverk som alle utbyggere må følge. Dette sikrer et godt inneklima for brukere av bygget og kan være med på å hindre plager som hodepine eller allergier.

Energiltak:

I § 14-3 fra TEK 10 står det:

“(1) Bygning skal ha følgende energikvaliteter:

a) Transmisjonsvarmetap:

1. Andel vindus- og dørareal $\leq 20 \%$ av oppvarmet BRA
2. U-verdi yttervegg $\leq 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
3. U-verdi tak $\leq 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
4. U-verdi gulv $\leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
5. U-verdi glass/vindu/dør inkludert karm/ramme $\leq 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
6. Normalisert kuldebroverdi, der m^2 angis i oppvarmet BRA:
 - småhus $\leq 0,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
 - øvrige bygninger $\leq 0,06 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

b) Infiltrasjons- og ventilasjonsvarmetap:

1. Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell:
 - småhus $\leq 2,5$ luftvekslinger pr. time
 - øvrige bygninger $\leq 1,5$ luftvekslinger pr. time.

2. Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg:

- boligbygning, samt arealer der varmegjenvinning medfører risiko for spredning av forurensning/smitte $\geq 70\%$

- øvrige bygninger og arealer $\geq 80\%$.

c) *Øvrige tiltak:*

1. Spesifikk vifteeffekt i ventilasjonsanlegg (SFP):

- boligbygning $\leq 2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$

- øvrige bygninger $\leq 2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$

2. Mulighet for natt- og helgesenking av innetemperatur

3. Tiltak som eliminerer bygningens behov for lokal kjøling.

(2) For boligbygning kan energitiltak i bokstav a og b fravikes, forutsatt at bygningens varmetapstall ikke øker.

(3) For øvrige bygninger kan energitiltak i bokstav a fravikes, forutsatt at bygningens varmetapstall ikke øker.’’

U-verdi vil si materialets evne til å slippe gjennom varme. Så med en lav u-verdi, vil et bygg kunne holde godt på varmen som blir tilført bygget. Med dagens krav, sikres det energieffektive- og kostnadsbesparende bygg i form av lite varmeutslipp til omgivelsene.

Paragraf punkt b viser at luftutskiftninger skal ligge under 2,5 luftutvekslinger per time for småhus og under 1,5 for øvrige bygg. Hvis det ses tilbake på Tek 97, var kravet til småhus mindre enn 4,0 luftutvekslinger per time. Samtidig er kravet til Tek 10 minimum 0,5 luftutvekslinger per time for å sikre en viss sirkulasjon av luft i boliger.

Grunnen til at kravet til tetthet har økt kan komme av at for hyppige utskiftninger av luftmengden kan føre til opplevelse av trekk i boligen og det er lite energieffektivt. Resultatet kan bli at temperaturen settes opp for å motvirke det som kjennes som kjølig luft selv om det

allerede er varmt i boenheten. Dette kan igjen føre til at vindu settes opp slik at hyppigheten på luftutvekslingene øker og det blir som en vond sirkel hvor en aldri blir fornøyd med lufta i rommet. Balansegangen her kan altså være vanskelig med tanke på å sikre god luftutveksling i rommet, men samtidig unngå følelsen av trekk. En luftutskiftning på mindre enn 2,5 har foreløpig vist seg å være en god anbefaling.

Ved passivhusstandard er kravet at luftutvekslinger ligger under 0,6 per time. Når boliger eller øvrige bygg begynner å bli så tette, er det meget viktig med et godt balansert ventilasjonssystem slik at det fortsatt sikres god inneluft for brukere og hindre ubehag ved bruk av rommet (Skåret & Blom 1994).

I modulen er det et ventilasjonssystem som skal sikre luftutskiftninger på 0,5 per time. Det blir spennende å undersøke med sporgass om dette virkelig stemmer og prøve å forklare hva som kan være årsaken til eventuelt andre verdier. Mer om selve metodene kommer under kapittel 5.0.

4.3. Avgrensninger

I denne oppgaven er det gjort målinger på lufttetthet og luftutskiftninger i modulbygg A ved bruk av Sporgass og Blower Door. Det er så prøvd å knytte resultatene opp mot om vind og utettheter kan ha noe å si for luftutskiftningene i bygget. Det er også skrevet litt om ulike ventilasjonssystemer for å få et innblikk i hvordan dette henger sammen med lufttetthet.

Det er gjort undersøkelser på vind med hensyn på om retning og styrke har noe å si for hvor raskt utskiftningene skjer i modul A og brukt Blower Door til å sammenlikne lekkasjetall med forrige gang det ble utført lekkasjetest siden modulen har blitt utbedret. Utetthetene er prøvd lokalisert med hånd og det er laget en figur som viser hvor det er mest sannsynlig at det lekker inn og ut luft. Ellers er det og skrevet litt generelt om hva lufttetthet er og hvilken sammenheng det er mellom utettheter og ventilasjonssystemer.

Det er ikke gjort noen form for utbedringer av modulbygg A eller hvor mye besparelse en vil kunne få i form av energireduksjon generelt med rom på størrelse med modulen.

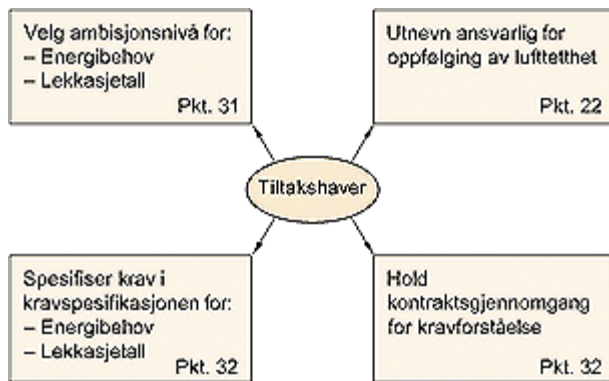
5. Litteratur/teori

5.1. Hva har lufttetthet å si og hvordan kan en sikre tette bygg?

En viktig detalj ved bygg er dette med lufttetthet og luftomsetninger i bygningen. Er en unøyaktig med detaljer eller vindsperre for eksempel, kan det fort sive kald luft inn i bygget. Dette kan oppleves som trekk og gi dårlig inneluft. Det har lenge vært bygd med naturlig ventilasjon i norske boliger (Skåret & Blom 1994). Det vil si at bygget har mekanisk avtrekk, utettheter i konstruksjonen, lufteventiler og lufting ellers med vinduer og dører. Problemet med å bruke naturlig ventilasjon oppstår når det for eksempel regner på en varm sommerdag. Da kan det regne rett inn i boligen og en blir nødt til å holde dører og vinduer igjen, noe som kan føre til tett inneluft. Et annet problem kan være at brukere av bygget ikke kan ha vinduet åpent på vinteren fordi boligen blir for nedkjølt. Det kan bidra til at folk velger å holde ventiler igjen på vinterhalvåret. Hvis det så er kondens i boligene og det blir for lite luftgjennomstrømninger, kan en risikere rim og dugg på vinduene som igjen kan føre til soppvekst. En kan forstå hvorfor noen velger å holde ventilene igjen, med tanke på hvis en sitter i nærheten av en ventil og det oppleves som trekk, men dette kan altså føre til problemer. En kan heller ikke fange opp og gjenvinne varmen som strømmer ut av konstruksjonen, noe som er lite energiøkonomisk (Thunshelle & Hellstrand 2006).

Detaljer er viktig med tanke på lufttetthet. Arkitekter får ofte ansvaret for dette ved nybygg (Solvang & Bjelland 2011), noe som kan være et problem med tanke på at det er lite bygningsfysiske fag ved arkitektutdannelsen. Mange arkitekter opparbeider denne kompetansen etter hvert, noe som kan føre til noe varierende kunnskap blant arkitekter. Det er viktig at arkitekter setter av nok plass til rørføringer og har energieffektivitet i bakhodet hvis dette er målet for et byggeprosjekt. Nå er BIM (BygningsInformasjonsModell) blitt tatt mer og mer i bruk. Her kan en gå inn i data-modellerte bygg og se om detaljene stemmer. Ved programmet Solibri for eksempel, kan en gå rundt i bygget og undersøke at alt stemmer (Solibri 2014). Kommer en over detaljer som mangler, kan det skrives en melding på dette og gå videre. Til slutt kan det lages et dokument som ramser opp alle feil og mangler en har kommet over. Et slikt verktøy kan hindre at mange luftlekkasjer oppstår. En kan også vurdere om det bør gjøres noe eller om det ikke gjør noe at det er litt lufting i akkurat denne bygningsdelen med tanke på fukt eller dårlig ventilasjon.

Det å samle alle medvirkende personer på et byggeprosjekt kan føre til at det blir gjort mindre feil med tanke på bygningsfysiske detaljer (Hole & Aurlien 2013). Hvis en på tidlig stadium går gjennom med utførende hva som kan være de beste løsninger, kan det spare mye etterarbeid. Det er bedre å bruke god tid på planlegging og få et godt resultat enn at det må gjøres arbeid senere som kan føre til store kostnader. Det å ta med utførende tidlig i prosjektet kan også føre til bedre moral blant de ansatte samt at de får en forståelse for hvorfor det er viktig å sikre lufttette bygg.



Figur 1: Figur fra BKS. 520.401 (Hole & Aurlien 2013)

Figuren viser hva tiltakshaver bør gjøre for å sikre god lufttethet ved nybygg. Det å utnevne en ansvarlig for oppfølging av tett bygg kan være en god ide for å sikre at god lufttethet blir sikret hele veien og ikke glemt blant mange gjøremål etter hvert som et bygg tar form. Ansvarlig kan da gjøre jevnlige målinger og passe på at alle krav blir fulgt opp og rapportere hvis det oppstår noen problemer. Det å ha en ansvarlig vil kunne gi økte kostnader for byggeprosjektet og det kan skape litt forsinkelser hvis noe må vente på godkjenning av denne personen. På den andre siden kan dette spare mange uheldige løsninger og en sikrer et tett bygg noe som kan bidra til at en innfrir energikravene som var satt før bygging.

5.2. Hva har ventilasjonsanlegg å si for tette bygg?

Et ventilasjonsanlegg i et bygg har flere funksjoner. Det skal sikre at forurensinger fra for eksempel matlukt blir sugd vekk fra boligen, det skal sikre at brukere av ulike rom unngår for

eksempel hodepine på grunn av tett oppbrukt luft og det skal begrense luftfuktigheten innendørs slik at en unngår fuktskader (Skåret & Blom 1994).

Det er i dag tre former for ventilasjon som blir mest brukt i norske boliger:

- Naturlig Avtrekksventilasjon: De drivende kreftene i avtrekksystemet er termisk oppdrift og vindsug ved munningen av ventilasjonskanalen. Tilførsel av ren luft kommer fra ventiler og utettheter i bygningskonstruksjonen.
- Mekanisk avtrekksventilasjon: Avtrekksluften blir sugd ut av rommet ved hjelp av vifter. Tilførsel av ren luft kommer på samme måte som ved naturlig ventilasjon. Eneste forskjell mellom disse er altså vifter som trekker luften ut.
- Balansert ventilasjon med varmegjenvinning: Her sørger vifter for både ren tilluft og for å suge ut avtrekksluften. Tilluften blir ofte tilført på soverom og stue, mens avtrekksluften blir sugd ut på kjøkken og bad. Ved denne ventilasjonsformen kan en få mer kontroll over luften som kommer inn i bygget.

Egenskap	Ventilasjonssystem		
	Balansert ventilasjon m/varmegjenvinning	Mekanisk avtrekk	Naturlig avtrekk
Stabilitet (luftmengde og luftføring)	+	0	-
Støy	0 ¹⁾	0 ¹⁾	+
Komfort (trekkrisiko)	+	-	0
Behovsstyring av luftmengder	+	0	-
Behov for vedlikehold	-	0	+
Filtrering av tilluft	+	0 ²⁾	-
Ventilasjonsvarmetap	+	- ³⁾	-
Investeringskostnader	0	+	+
Totaløkonomi (årskostnader)	+	-	-

Figur 2: Fordeler og ulemper med ulike ventilasjonssystemer (Skåret & Blom 1994).

Det å bygge tett med mekanisk balansert ventilasjonssystem har vist seg å spare store mengder energibruk i boliger. Uten et godt ventilasjonsanlegg, kan det bli lite tilfredsstillende inneklima i de ulike bygg på grunn av at luftutskiftninger kan bli for dårlig og det er ikke

sikret nok ren tilluft. Så ventilasjonsanlegg er vel så viktig som å bygge tett for å sikre et godt innemiljø for brukere av ulike bygg (Skåret & Blom 1994).

Med god lufttilførsel sikres det også at en får mer kontroll over den friske lufta som strømmer inn i motsetning til hvis det er mye ukontrollerte utettheter i boligen. Ventilasjonssystemer fanger mye av pollenkornene som kommer inn og dermed blir det et mye bedre inn klima også for pollenallergikere.

I BKS-bladet 552.303 fra Sintef Byggforsk (Thunshelle & Hellstrand 2006) er det ramset opp en del fordeler og ulemper knyttet til balansert ventilasjonssystem:

“Fordeler:

Balansert ventilasjon med varmegjenvinning kan gi følgende fordeler sammenliknet med avtrekksventilasjon:

- Vifter sikrer at man til en hver tid får prosjekterte tillufts- og avtrekksluftmengder, uavhengig av uteklimaet og vindforhold.
- En varmegjenvinner gir forvarming av tillufta slik at man unngår trekk og oppnår god temperaturkomfort.
- Varmegjenvinningen reduserer energibehovet til oppvarming av bygningen, i forhold til bygninger med avtrekksventilasjon uten varmegjenvinning.
- Filtrering av tillufta for partikler som pollen og veistøv er gunstig med tanke på luftkvaliteten innendørs.
- Sentralt luftinntak gir bedre skjerming mot støykilder utendørs enn luftinntak via tilluftsventiler i fasaden.
- Balansert ventilasjon bidrar til bedre sikkerhet mot radonproblemer.

Ulemper:

Sammenliknet med avtrekksventilasjon, har balansert ventilasjon følgende ulemper:

- Man trenger tilluftskanaler og -ventiler, og plass til et større ventilasjonsaggregat.
- Der kanalene ikke kan skjules i etasjeskillere eller skap, får man synlige kasser i himlinger og sjakter.
- Filtre må skiftes regelmessig.
- Uheldig dimensjonering og utforming kan gi støy.”

Som en kan se krever et balansert ventilasjonssystem rørføringer og er mer plasskrevende enn for eksempel et mekanisk avtrekksystem. Vedlikehold av anlegget vil være viktig, noe ikke alle brukere er like flinke til. Hvis filteret blir liggende i flere år uten å bli skiftet, vil dette kunne gi et betydelig dårligere inneklima. En annen ulempe er hvis det blir langvarig strømbrudd. Hvis dette skjer på en varm sommerdag, er det ikke sikkert at det er nok med å sette opp vinduer og dører. Det kan da bli ganske uutholdelig å være inne i bygningen med tanke på hvor tett det er. Så det er ikke helt uproblematisk å bygge så tett at det må legges til rette for et slikt system. Men hvis det planlegges godt i forhold til plass og systemet blir vedlikeholdt, er det mange fordeler som er vist ovenfor ved et slikt system.

Ventilasjonssystemet som er i modul A på NMBU er mekanisk avtrekk. I teorien skal det gi en luftutskiftning på $0,5 \text{ h}^{-1}$, men det blir spennende å se om det denne verdien stemmer i praksis.

6. Materiale og metoder

6.1. Introduksjon

Luftutskiftninger i bygninger kommer ofte av krefter fra ventilasjonsanlegget. Men luft som presser seg inn utenfra gjennom utettheter kan også spille en rolle for fornyelse av innelufta (infiltrasjon). Dette kommer av vindtrykk utenfra eller temperaturforskjeller mellom den innvendige og utvendige lufta (Edwardsen 2010). Siden modulene ligger flatt på et jorde og det er små temperaturforskjeller når forsøkene skal gjennomføres, vil sannsynligvis vinden spille den avgjørende faktoren for luftutskiftningene i modulen. Hvor mye lekkasjer som er i modulen kan ha en avgjørende faktor for om vind kan presse seg inn, noe som blir spennende å utforske med Blower Door.

For undersøkelse av luftutskiftninger i en bygning har CO₂ måling blitt mer tatt i bruk. Effektiviteten og den forholdsvis lave prisen på utstyr i forbindelse med målinger er hovedårsaker for dette (Roulet et al. 1991).

For dette forsøket er det blitt gjort målinger både med ventilasjonsanlegget på og av. Det er blitt gjort undersøkelse med sporgass på ulike dager med henholdsvis lite vind og med mye vind for å se hvilken påvirkning dette har på utskiftningene. Modulene ligger meget værutsatt til og forsøkene burde kunne gi gode målinger for undersøkelse av luftutskiftninger i modulen.

6.2. Byggets lokasjon og utfordringer

Forsøkene skal utføres i modul A som ligger sør-øst i forhold til NMBU, ute på et prøvefelt.



Figur 3: Bilde over viser hvor bygget for matematiske og teknologiske fag (TF-bygget) ligger i forhold til modulene.

Ringen markerer hvor modulene ligger, mens pila viser hvor bygningen for matematiske og teknologiske fag ligger.

Før forsøkene kunne startes, måtte det legges nytt gulv og isolasjon i modul B. Det lå en del utstyr i modulen som verktøy, isolasjon og avstivere som var skrudd fast for å stabilisere modulen ved flytting den gangen de ble fraktet ut på jordet. Utstyret og isolasjonen ble flyttet og avstivere ble fjernet slik at en kunne legge nytt gulv her. Riktignok har ikke denne modulen noe å si for denne oppgaven, men mye ble lagret i modul A fra denne modulen slik at det var viktig å gjøre modul B ferdig for å kunne starte med målinger i modul A.

Materialer som trengtes var tilfarere for å bygge rammeverket til gulvet, sponplater som parketten kunne ligge på og selve parketten. Tilfarere og sponplater ble kjøpt på Maxbo i Ås og fraktet med henger som stod i garasjen ute på feltet i nærheten av modulene. Selve parketten var bestilt opp av Treteknisk og ble levert med lastebil. Det ble brukt ca. 4 halve arbeidsdager på å legge gulvet ved hjelp av en med snekkererfaring som nå er student på NMBU. Det var viktig å være nøye med rammeverket og sponplatene slik at en unngikk problemer med legging av parketten.

Etter dette var det klart for modul A. Det ble vurdert lenge om en bare skulle beholde det gamle gulvet og starte med forsøk. Men det ble bestemt at målingene for en annen student ville bli mest riktig hvis det var samme vilkår i begge modulene.

Verktøyet som hadde blitt flyttet fra modul B til A, ble flyttet tilbake til B. Etter hvert som materialer ble fjernet fra modulen (parketten, sponplater og isolasjon) ble de sortert ute på plenen slik at det ble enklere å frakte det senere.

Fjerning av den gamle parketten gikk greit siden det bare var klikket på plass. Platene under var heldigvis bare skrudd fast, så det gikk rimelig greit å fjerne disse. Så ble det lagt på ny isolasjon slik at hele gulvet var dekket. Det var ingen skade på tilfarerne, så de kunne beholdes slik de var. Så ble ett lag med sponplater skrudd fast før parketten ble lagt.

Modul A består for det meste av massivt tre. På sør- og øst-siden er det 15 cm massivt tre, vindsperre, dampspærre og isolasjon. På nord- og vest-siden er 10 cm massivt tre, dampspærre, vindsperre og isolasjon. I gulvet ligger det nå 10 cm isolasjon, ett lag med sponplater, og parkett på toppen. I taket er det massivt tre, isolasjon og tak. Det er et mellomrom mellom taket og isolasjonen på sør-siden, slik at vind kan blåse rett inn og eventuelt presse seg ned i konstruksjonen. I rommet er det en varmeovn med sensor som holder temperaturen rundt 20 til 25 grader. Hvordan varmen har vært i rommet kan avleses på datamaskin i rommet som logger temperaturen gjennom et døgn. Det meste av frisk luft kommer gjennom et hull på 6,1 cm i diameter ved døra. Hullet er lokalisert ca. 20 cm over bakken og 5 cm til siden for inngangsdøra. Funksjonen til hullet er at ledninger skal kunne føres ut eller inn av modulen. Her vil nok mesteparten av lufta strømme inn eller ut (avhengig av undertrykk eller overtrykk) ved måling med Blower Door, men det blir spennende og se om det kan være andre utettheter som forårsaker luftinnstrømninger.

I hjørnet av bygget på innsiden er det et mekanisk ventilasjonssystem som sikrer avtrekk. Dette røret ledes opp og ut via taket på sør-siden. Hvis forbindelser ikke er tette i forhold til dette systemet, kan det lekke inn vind når det blåser fra sør.

6.3. Målemetoder

I denne oppgaven er det brukt to metoder for å undersøke hvor tett modul A er. Den ene er sporgass, hvor det undersøkes luftutskiftning i rommet. Den andre er trykkmetoden ved hjelp av Blower Door, hvor en kontrollerer lekkasjetallet til bygningen.

Sporgass metoden:

Sporgass metoden brukes for å finne ut hvor raskt luftutskiftningen skjer i et rom. I denne oppgaven skal det observeres om luftutskiftningene fra ventilasjonsanlegget stemmer i virkeligheten, hvor mye været påvirker utskiftningene og det skal brukes CO₂-gass for å undersøke dette. Denne metoden er avhengig av vær og vind og det er viktig å følge med på disse faktorene når prøvingen gjennomføres. Det er også viktig at gassen blir godt blandet i modulen. Det skal ikke være større forskjell enn 2 % på konsentrasjonen i rommet (International 2006). Det betyr at konsentrasjonen på den ene siden skal være omtrent den samme på den andre siden av rommet.

Det er tre typer sporgass metoder:

1. Minkende gass konsentrasjon
2. Konstant gass konsentrasjon
3. Konstant gass utslipp

Metoden som er brukt i forbindelse med denne oppgaven er minkende gass konsentrasjon. Her slippes en viss mengde CO₂ gass inn i rommet (opp til 4000 ppm) og så dannes en graf som viser hvor raskt CO₂ konsentrasjonen har falt til utgangspunktet. Hvordan dette brukes til å beregne luftutskiftningene kommer i kapittel 7.2. Fordeler med denne metoden er at den er forholdsvis enkel å utføre samt det er enkelt å analysere resultatene. Ulempen med metoden er at deler av gassen kan sette seg fast i for eksempel møbler, som igjen kan føre til at en del av gassen ikke blir skiftet ut og det blir vanskelig å analysere resultatene (Kronvall 1980). Det kan derfor være lurt å ha minst mulig i rommet når målingene utføres. En annen utfordring er å få rørt ut gassen slik at en oppnår likevekt. En forskjell på 2 % er veldig lite og kan gi noen utfordringer i forhold til forsøkene (International 2006). Men av tidligere forsøk som er blitt

gjort, skal dette gå bra så lenge en bruker en plate til å vifte med for å få en jevn konsentrasjon i rommet. Det er viktig at personer som bruker bygget der det skal utføres målinger i blir informert når det pågår forsøk. Hvis døra til bygget blir mye åpnet, vil det slippe ut en god del av CO₂-konsentrasjonen og påvirke forsøkene.

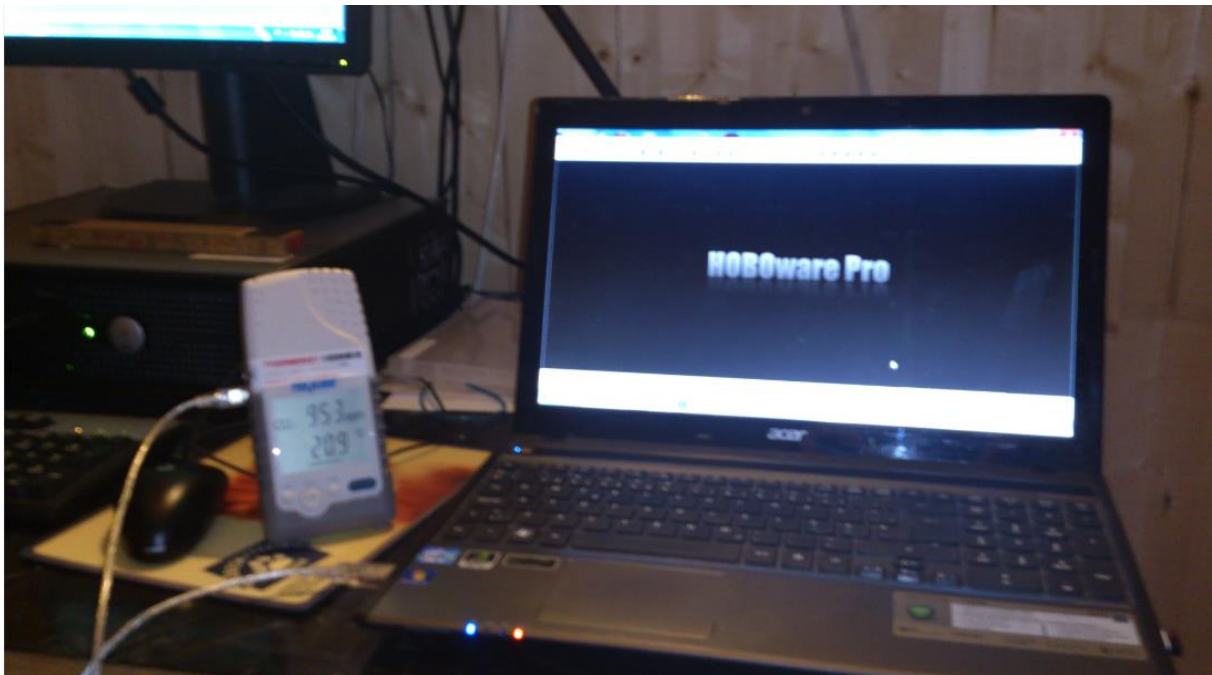


Figur 4: Bildet viser hvordan CO₂-tanken ser ut. Dette bildet ble tatt da tanken gikk tom og slangedelen måtte byttes over til en ny tank.

Selve forsøket utføres ved at en sjekker CO₂-konsentrasjonen som er i omgivelsene før oppstart. Denne verdien trekkes fra mål-konsentrasjonen (4000 ppm) for å få denne konsentrasjonen til slutt. Dette betyr at hvis konsentrasjonen er på 500 ppm fra før, så skal det tilsettes 3500 ppm med CO₂ for å få ønsket mengde. For å være på den sikre siden kan det sprøytes inn 5-6000 ppm med CO₂, slik at begge loggerne når en verdi på over 4000 ppm ved startpunktet. Det har ingenting å si om loggerne viser 6000 ppm ved start. Det betyr bare at det tar litt lengre tid før loggerne får startet å logge resultater siden de kun kan vise CO₂-konsentrasjoner under 4000 ppm. Så settes måleren opp i rommet det ønskes å undersøke i og

sprayer ønsket mengde CO₂. Som nevnt er det viktig at denne konsentrasjonen fordeler seg godt (International 2006). Når likevekt er oppnådd, kan loggeren startes og rommet forlates.

Loggerne startes med programmet Hoboware Pro. Det er et program som enkelt starter loggeren (i dette tilfelle CO₂-loggeren som ble lånt fra NMBU), lager grafer av dataene og overfører loggførte filer til Excel.



Figur 5: Figuren viser hvordan loggeren enkelt kobles til pc med en ledning for oppstart og stopping. Dette bildet ble tatt 19. mars 2014.

Siden modulbyggene er forholdsvis tette, vil det ta litt tid før konsentrasjonen når startverdien. Derfor logges det i 24 timer, men beregningsgrunnlaget vil være 15 timer siden det tar litt tid før konsentrasjonen kommer under 4000 ppm. Ved slutten av målingen vil konsentrasjonen nærme seg start-konsentrasjonen og derfor neglisjeres en del av dette. Når forsøket er ferdig kan dataene gjøres om til naturlig logaritme (se kapittel 7.2) for så å finne ut hvor raskt utskiftningene har skjedd ved hjelp av formelen $A = \frac{\ln C(t_2) - \ln C(t_1)}{t_2 - t_1}$ (International 2006). Her er A stigningstallet for luftutskiftningene, $\ln C(t_2)$ er den naturlige logaritmen til sluttkonsentrasjonen, $\ln C(t_1)$ er den naturlige logaritmen til startkonsentrasjonen, t_2 er sluttiden og t_1 er starttiden. Forsøket gjentas flere ganger med ulike vindretninger for å få god oversikt over hvordan utskiftningene varierer med vinden. Spesielt interessant blir det å se

hvordan påvirkningene blir når det blåser fra øst, med tanke på modul B ligger på øst-siden av modul A. Det er også på denne siden hullet med en diameter på 6.1 cm er.

Blower Door:

En metode for å undersøke et byggs tetthet er å bruke Blower Door. Her skapes et undertrykk eller overtrykk for å registrere blant annet lekkasjetallet til en bygning. Metoden kan brukes til å finne ut luftlekkasjens gangveier, hvor tett bygget er, hvor mye ventilasjon tilfører luftlekkasjene, hvor mye energi taper bygget på grunn av lekkasjene, er bygget for tett og når bør mekanisk ventilasjon benyttes (Sherman 1998). Alle disse spørsmålene er viktig å ha kontroll på hvis det ønskes å bygge energieffektive bygg. Spesielt viktig er det hvis det har blitt satt mål om god brukerkomfort og lave energikostnader. Da vil lokalisering av lekkasjer og utbedring av disse kunne føre til oppnåelse av disse målene ved oppsett av nybygg. I denne oppgaven blir det interessant å se hvor mye lekkasjetallet har forbedret seg i modul A og hvor mye luft som presser seg ut eller blir sugd inn ved de ulike trykk-metodene.

Ved å bruke Blower Door på eksisterende boliger, vil resultatet kunne si hvor mye luft som lekker inn og deretter lokalisere utetthetene ved hjelp av termograferingskamera. Derfor er metoden viktig hvis det ønskes å redusere energikostnadene i eksisterende bygningsmasse.

Selve målingen gjennomføres ved at det blir plassert en plastdør i døråpningen, mens det blir tettet igjen åpninger som ventiler, peisspjeld, ovnsventiler etc. Slangeenden legges helst nær bakken inne i busker som verken er i lo eller le for bygningen. Ytterdører og vinduer skal holdes lukket, mens innerdører står åpne. Vifta kobles til en datamaskin med et analyseprogram, for eksempel TECTITE (Solvang & Bjelland 2011). Når vifta kjøres i gang, vil målt luftmengde tilsvare utetthetene. Jo tettere modulene er, desto mindre luft må viften transportere for å opprettholde trykkforskjellen.

Utetthetene vil bli forsøkt lokalisert ved å kjenne med hånden når Blower Door testing pågår. I forhold til denne oppgaven vil det ikke bli gjort utbedringer hvis utettheter lokaliseres, men det kan hjelpe med å sette opp en visualisert figur for luft som strømmer inn i bygget og luft som strømmer ut.

7. Resultater

7.1. Resultater fra Hoboware og hva en kan lese av grafene.

I dette del-kapitlet er det skrevet litt om hva som skjedde under de forskjellige målinger og hvordan grafene i Hoboware så ut. Alle grafer ligger som vedlegg, så det er mulig å studere disse hvis det ønskes. Det er viktig å notere seg at disse resultatene ikke brukes til å beregne utskiftningene som har utviklet seg. De viser kun hvordan CO₂-konsentrasjonen har forløpet seg gjennom målingene. Resultatene fra Hoboware må først overføres til Excel og så gjøres om til naturlig logaritme før det kan beregnes luftutskiftninger per time (ACH = Air Changes Per Hour). Men det kan være greit å ha noen kommentarer på hva en leser av grafene og danne seg noen tanker om hva som kan ha skjedd ved de ulike målingene.

Den 17. mars gikk den nedre loggeren tom for strøm etter 14 timer, men den er brukt som beregningsgrunnlag for utskiftninger denne dagen. Grafen viser at CO₂ konsentrasjonen har hatt en ganske rask utskiftningskurve. Den er også ganske hakkete under hele forsøket noe som kan forklares ved at det kommer luft inn fra hullet ved døra. Den øvre loggeren viser at konsentrasjonen avtatt raskt i starten for så å slake litt ut.

Den 19. mars viser loggeren som har stått på gulvet at det tok omtrent 22 timer før konsentrasjonen flatet ut. Under dette forsøket skjedde det dessverre en feil ved at ventilasjonssystemet gikk når eksperimentet ble startet. Dette er grunnen til at CO₂-konsentrasjonen avtar raskt i starten, for så avta roligere. Gyldig måling vil være fra klokka 12 på formiddagen da ventilasjonsanlegget har blitt skrudd av og teipet igjen. Loggeren som har stått på sikringsboksen nær taket viser også at det tok rundt 22 timer før CO₂-konsentrasjonen hadde avtatt. Forskjellen på de to er at det er litt mer turbulens, altså hakkete linje, på loggeren som har stått på gulvet i forhold til den andre. Grunnen til dette er mest sannsynlig hullet ved døren som bidrar til økt luftinntaket og som påvirker loggeren på gulvet mer enn den oppe ved taket.

Den 20. mars viser loggeren som har stått på sikringsskapet at det bare tok 12 timer før CO₂-konsentrasjonen nærmet seg en horisontal linje. Denne dagen har det enten blåst mye, eller så har vindretningen vært optimal mot døra og åpningen ved døra. Linja er også mer hakkete enn

dagen før, noe som kan tyde på mer vindturbulens inne i modulen. Det som var litt synd ved denne målingen var at loggeren på gulvet gikk tom for strøm bare noen minutter etter at konsentrasjonen hadde kommet under 4000 ppm. Så målingene fra denne dagen vil kun basere seg på loggeren som har stått oppe på sikringsskapet.

Den 21. mars viser loggeren som har stått på gulvet at det har tatt ca. 17 timer før konsentrasjonen stabiliserte seg. Ved to tidspunkter ser en at konsentrasjonen går litt opp. Dette kommer av at en person gikk inn og ut av modulen for å undersøke noe, men det bør ikke ha noen betydning for målingen denne dagen. Grafen er litt hakkete, noe som indikerer en viss vindturbulens nede på gulvet. Loggeren oppe på sikringsskapet har brukt ca. 16 timer på å stabilisere seg. Her er grafen mindre hakkete, noe som indikerer at det har vært mindre turbulens oppe ved taket enn nede ved gulvet. Dette er med å understøtte påstanden om at åpningen ved døra påvirker loggeren på gulvet mer enn oppe ved taket.

Den 22. mars tok det ca. 13 timer før konsentrasjonen hadde stabilisert seg på loggeren nede ved gulvet. Dette kan tyde på mye vind denne dagen siden utskiftningen har gått relativt raskt. På loggeren som har stått oppe på sikringsskapet har det og tatt rundt 12 timer før konsentrasjonen nesten har flatet ut. Det er litt mindre forstyrrelser på denne linja enn ved loggeren som har stått på gulvet, som igjen er med å støtte om påstanden at det er mer turbulens langs gulvet grunnet åpningen ved døra. På begge grafene kan en se at grafen synker raskt ned. Dette kan tyde på at vinden har vært konstant sterk gjennom hele målingen. Det at den avtar mot slutten, kan bety at når konsentrasjonen blir mindre, trengs det mer luft for å få en like rask nedgang av konsentrasjonen.

Den 23. mars viser loggeren som har stått på gulvet at det har tatt ca. 21 timer før grafen flatet ut. Det kan se ut som CO₂-konsentrasjonen har avtatt raskt de første timene for så å avta roligere. Dette kan komme av sterk vind ved starten av målingen og at den har avtatt utover. Det kan og komme av at vinden har blåst mot åpningen ved døra, altså mot øst, for så at retningen har snudd gjennom forsøket. Igjen er grafen hakkete etter som målingen har pågått og kommer mest sannsynlig av åpningen ved døra. Loggeren oppe på sikringsboksen har samme tendens som den nede på gulvet med at konsentrasjonen avtar raskt i starten, for så å

avta litt raskere. Et lite problem ved denne målingen er at batteriet gikk tomt etter 17 timer med logging, så CO₂-konsentrasjonen har ikke flatet helt ut før den gikk tom for strøm. Men 17 timer skal være nok til å gi en indikasjon på hvordan utskiftningene har vært denne dagen.

Den 25. mars viser loggeren som stod på gulvet at det tok ca. 15 timer før CO₂-konsentrasjonen hadde flatet ut. Vinden kom fra nord-øst og det kan se ut som styrken har avtatt litt utover kvelden siden konsentrasjonen ikke synker like raskt som i starten. Grafen er litt hakkete som mest sannsynlig kommer av åpningen ved døra. Loggeren som stod oppe på sikringsboksen har ikke logget målingene denne dagen. En forklaring på dette kan være at loggeren skulle vært kalibrert etter batteriskifte dagen før. Det å ha målinger fra en logger er ikke det beste, men det gir allikevel en god pekepinn på hva som har skjedd denne dagen.

7.2. Luftutskiftninger per time og hvordan de beregnes.

Tabell 1 nedenfor viser hastigheten på luftutskiftninger per time. For å finne de ulike verdiene måtte først dataene overføres fra Hoboware (program for logging av data) til Excel. Dette gjøres ved å trykke på fanen file, så export table data, deretter export to a single file, for så å velge hvor fila skulle lagres. Når fila så åpnes, vises kolonner med målingsnummer, dato og tid, temperatur, luftfuktighet og Volt. Volt er bare en annen benevnelse for CO₂ konsentrasjonen, så ved å gange Volt-verdien med 1600 blir CO₂-verdiene gjort om til ppm (parts per million). Etter dette opprettes en kolonne med den naturlige logaritmen til CO₂-verdiene og en lineær graf for verdiene basert på tidsperiode på femten timer for å få en indikasjon på hvor raskt utskiftningen har skjedd. Den første verdien som velges er når CO₂-konsentrasjonen begynner å avta fra 4000 ppm til og med måling 15 timer etterpå (15 timer tilsvarer 5400 målinger). De logaritmiske grafene er presentert i kapittel 7.3 for å vise hvordan utskiftningene i modulen varierer med hastigheten på vinden og retning.



Figur 6: Bildet viser hvor øvre logger stod under samtlige forsøk.



Figur 7: Bildet viser nedre logger som stod på gulvet midt i modulen.

For så å finne verdiene for luftutskiftningene tas første verdi minus siste verdi og deles på antall timer, altså 15 timer. Dette gjøres både for loggeren nede på gulvet og oppe ved sikringsskapet. For grundigere gjennomgang av utregning av luftutskiftninger, se kapittel 6.3. Den 18. mars ble ventilasjonssystemet validert. Da ble verdiene delt på 2 timer siden det går mye raskere å skifte ut luft ved hjelp av ventilasjonssystemet enn gjennom utetthetene i modulen. Den 20. mars og 25. mars er det kun en måling siden batteriet gikk tomt på den andre loggeren under disse forsøkene. Den 24. mars ble det ikke utført noe forsøk.

Tabell 1: Tabellen viser utregnet luftutskiftning basert på 15 timer for modul A.

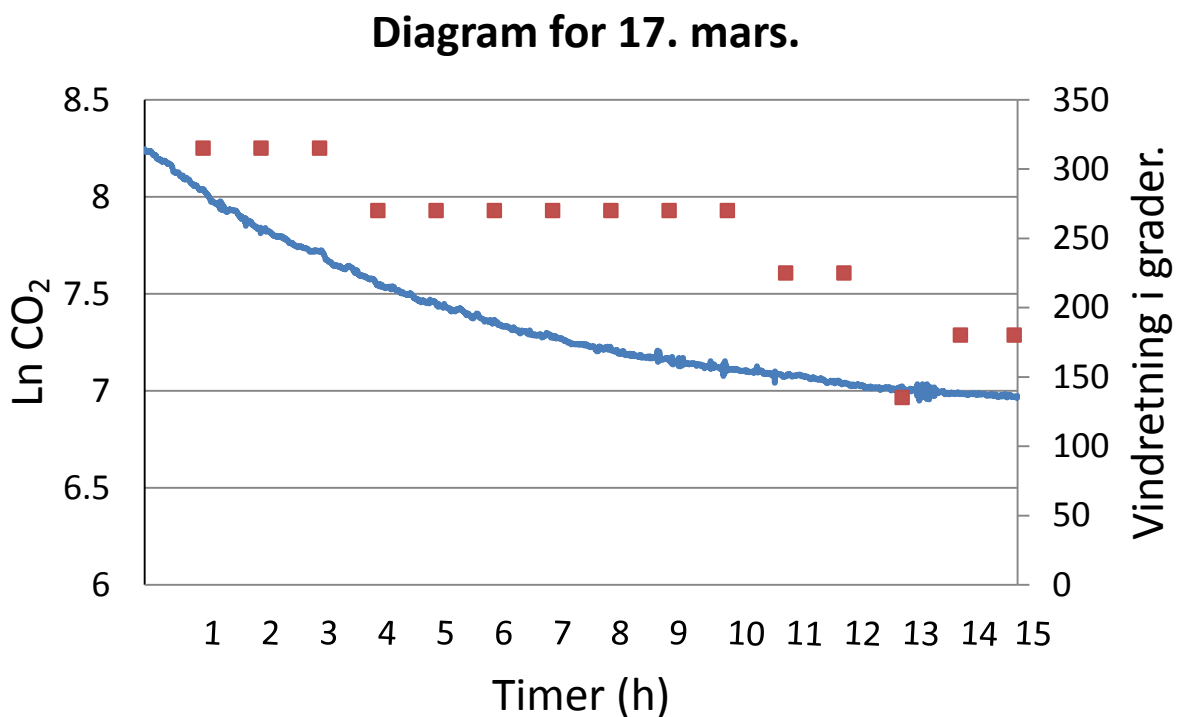
Dato:	Øvre logger: (h⁻¹)	Nedre logger: (h⁻¹)	Gjennomsnitt: (h⁻¹)
17.mar	0,093	0,077	0,085
18.mar	0,455	0,445	0,455
19.mar	0,063	0,060	0,062
20.mar	0,146	-	-
21.mar	0,122	0,117	0,119
22.mar	0,122	0,113	0,118
23.mar	0,089	0,087	0,088
24.mar	-	-	-
25.mar	-	0,122	-

Tabellen over viser utregnet luftskifte per time for modul A. Det ble ikke brukt noen form for måleapparat for å sikre uniform blanding av konsentrasjonen, men tabellen viser at verdiene for den nedre loggeren er litt lavere enn den øvre loggeren. Dette kan bety at CO₂-konsentrasjonen har blitt godt blandet med lufta i modulen før forsøkene startet. Detaljert beskrivelse av verdiene i forhold til vindhastighet og retning kommer i neste del-kapittel.

7.3. Luftutskiftninger i forhold til vinddata.

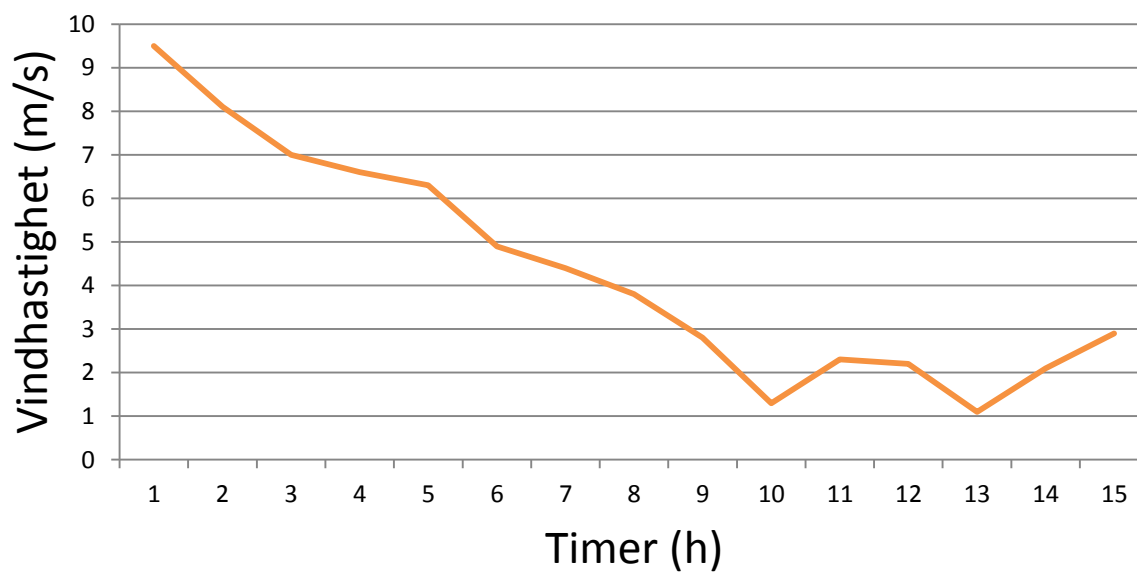
I dette del-kapitlet er resultatene fra sporgass målingene presentert ved hjelp av logaritmiske grafer og værdata. Den blå linjen på diagrammene representerer den naturlige logaritmen til CO₂-konsentrasjonen og det er denne grafen som ligger til grunn for beregning av luftskifte per time i modul A. X-aksen representerer tidsperioden for forsøket som går fra 1 til 15 timer som er brukt for å beregne luftutskiftningene. Venstre Y-akse representerer de logaritmiske verdiene. Høyre Y-akse representerer vindretningen som er registrert under målingene gjort om til grader. Det vil si at nord = 0, nord-øst = 45, øst = 90, sør-øst = 135, sør = 180, sør-vest = 225, vest = 270 og nord-vest = 315 (se tabell 1).

De presenterte værdataene er gitt av Signe Kroken som er avdelingsingeniør på Institutt for Matematiske og Teknologiske fag. Værdataene kommer fra en værstasjon som står ute på samme felt hvor modulene står, så det kan sies at dataene er meget pålitelige. Værdataene som ble gitt var inndelt etter timesverdier og følgelig er også analysene gitt time for time. Værdataene er presentert for å kunne danne noen teorier om mulige hendelser i forhold til luftutvekslingene i modulen.



Figur 8: Naturlig logaritme og vindretning den 17. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag for tabell 1, kapittel 7.2.

Værdata 17. Mars



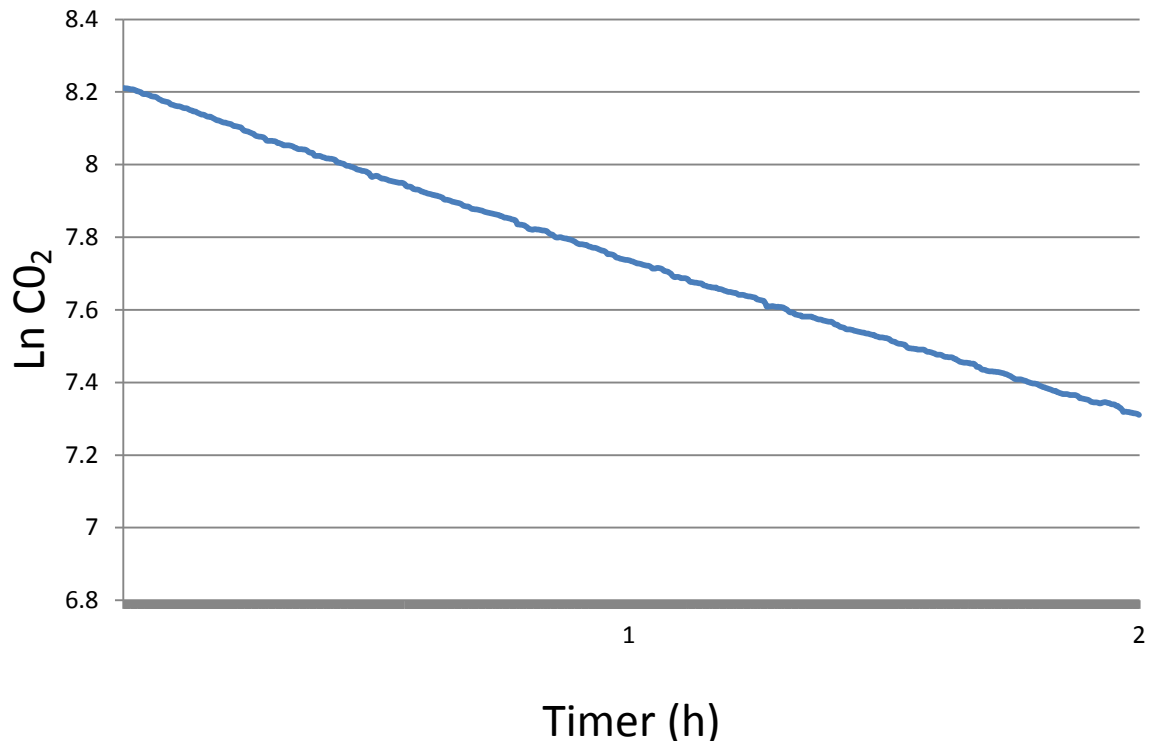
Figur 9: Vindhastighet 17. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag.

Tabell 2: Vindretning omgjort til grader.

Vindretning	Omgjort til grader
Nord	0
Nord-Øst	45
Øst	90
Sør-Øst	135
Sør	180
Sør-Vest	225
Vest	270
Nord-Vest	315

Den 17. mars blåste det frisk i starten av målingen. Den logaritmiske grafen har en eksponentiell tilnærming og avtar utover i forsøket. Vindretningen ser ut til fortsatt å holde seg et par timer til før den snur litt, mens hastigheten på vinden har blitt betydelig svakere. Det har skjedd en ganske rask utskiftning i starten selv om vinden hovedsakelig har kommet inn fra vest hvor testhuset skal være meget tett. En kan ta med at det er på sør-vest siden av bygget ventilasjonsrøret kommer ut og at det kan presse seg luft inn her hvis rørføringene ikke er helt tette. Ellers så er det ikke vindsperre på sørsiden mellom vegg og tak slik at vind kan ha presset seg inn i sprekker på isolasjonen og ned i konstruksjonen som en ikke er helt klar over. Den gjennomsnittlige luftutskiftningen for denne dagen var på $0,085 \text{ h}^{-1}$, noe som er lavt i forhold til de andre måledagene. Dette kan komme av at retningen har hovedsakelig kommet fra vest og at vindstyrken har avtatt utover i målingen.

Diagram 18. Mars



Figur 10: Validering av ventilasjonsanlegget

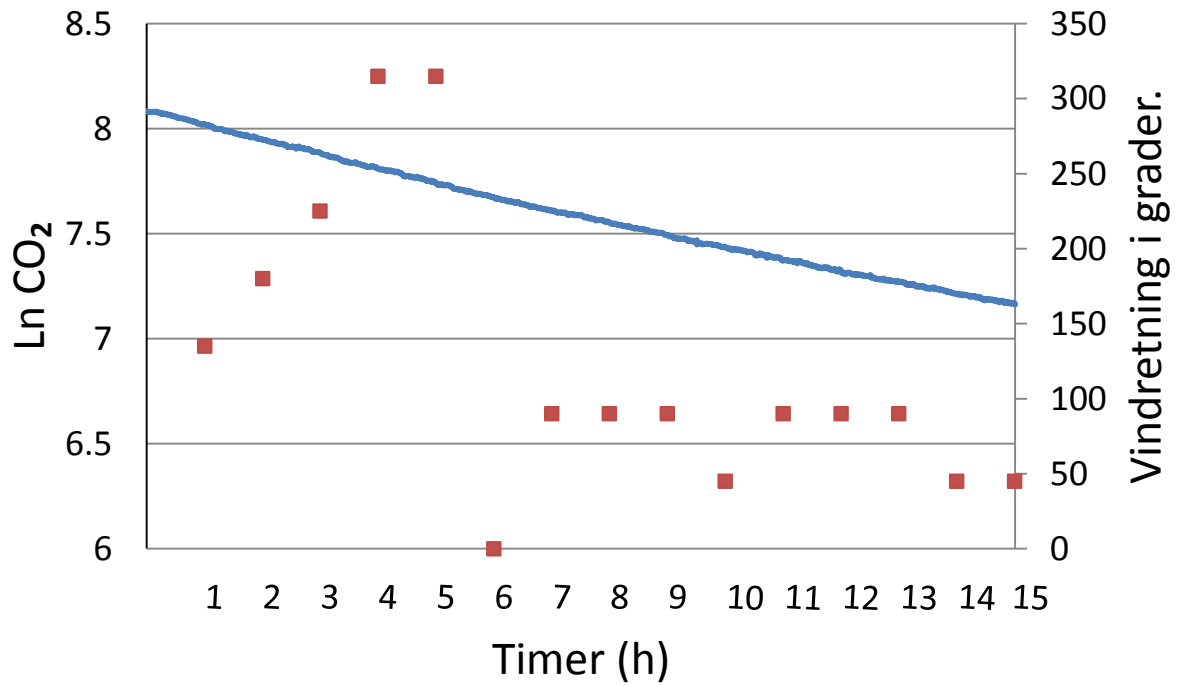
Den 18. mars ble ventilasjonsanlegget undersøkt om det gir riktig mengde utskiftninger i forhold til det det skal gi i teorien (0,5 utskiftninger per time). Målingen foregikk i 2 timer siden det tar kortere tid å skifte ut lufta med ventilasjonsanlegget som drivkraft enn å bruke vinden som drivende kraft. Grafen viser en lineær tilnærming, som er bra siden utskiftningen har vært konstant. Hadde grafen vist en annen tendens, kunne det vært satt spørsmålsteget om bruk av sporgass er en god metode for å sjekke luftutskiftninger i ulike rom. Tabell 3 viser at vinden var forholdsvis rolig gjennom forsøket. Dette var en av grunnene til at validering av ventilasjonsanlegget ble satt til denne dagen. Den gjennomsnittlige luftutskiftningen ble målt til $0,455 \text{ h}^{-1}$. Dette er litt under hva det skal gi i teorien og kommer mest sannsynlig av usikkerhet ved sporgass måling.

For å gi en eksakt verdi for luftutskiftning per time for ventilasjonsanlegget, ble dette beregnet ved hjelp av formelen $y = 4,1603x^{0,4928}$ hvor $y = \text{m}^3/\text{h}$, x er Pa og tallverdiene er konstanter. Formelen ble gitt av veileder for å dobbeltsjekke den teoretiske verdien for ventilasjonsanlegget. Ved datamaskinen i modul A kan det leses av verdier for trykkforskjellen fra ventilasjonsanlegget. Disse ble registrert da ventilasjonsanlegget ble validert og plottet inn i formelen. Dette ga en gjennomsnittlig luftutveksling på $29,944 \text{ m}^3/\text{h}$. For så å gjøre det om til benevning som er brukt i denne oppgaven, ble verdien delt på volumet til modul A som er $55,44 \text{ m}^3$. Dette ga en luftutskiftning på $0,544 \text{ h}^{-1}$ og er litt høyere enn hva som ble målt ved hjelp av sporgass.

Tabell 3: Tabellen viser værdata for 18. mars der VH er vindhastighet og VR er vindretning.

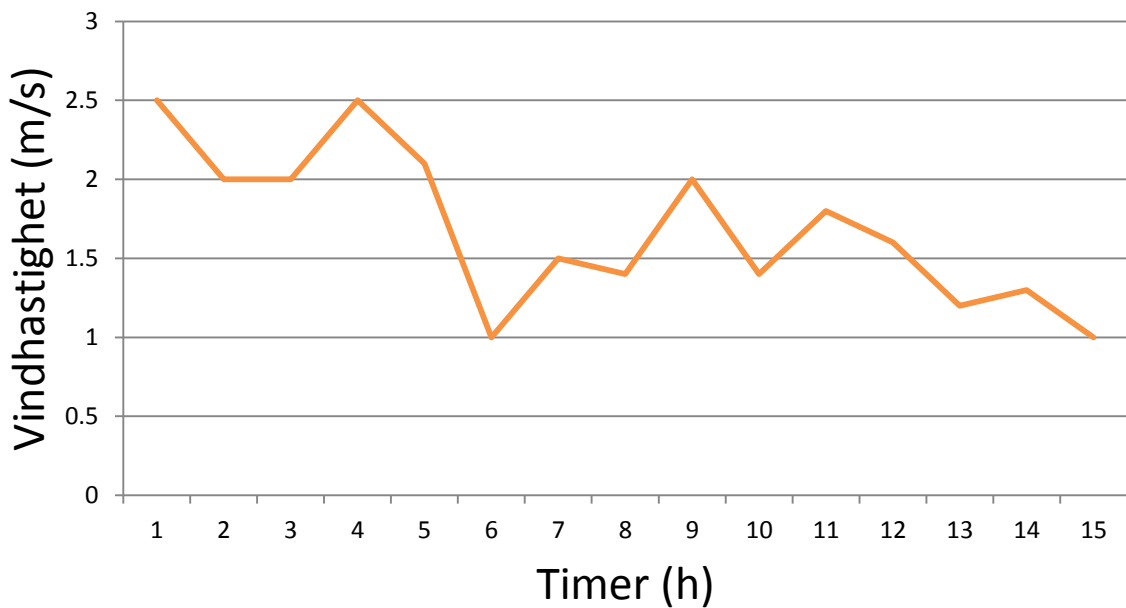
Time	VH	VR
1	2.4	NV
2	3.3	NV

Diagram for 19. mars.



Figur 11: Naturlig logaritme og vindretning den 19. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag for tabell 1, kapittel 7.2.

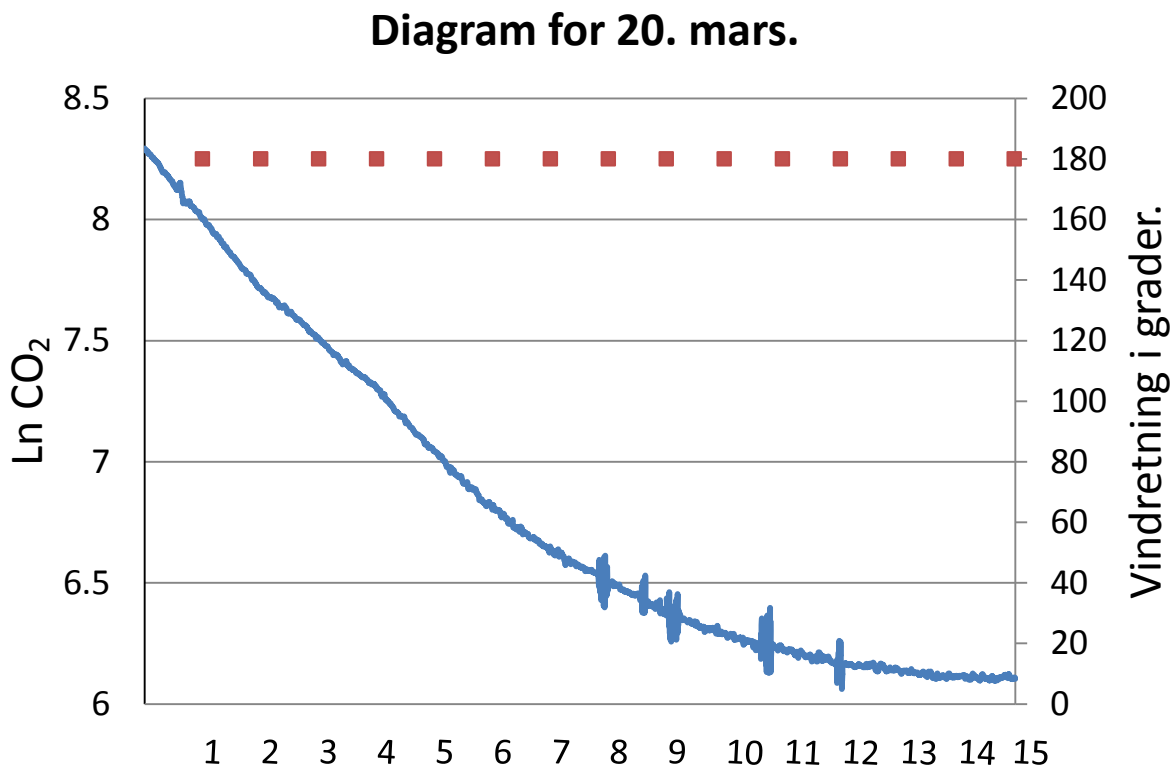
Værdata 19. Mars



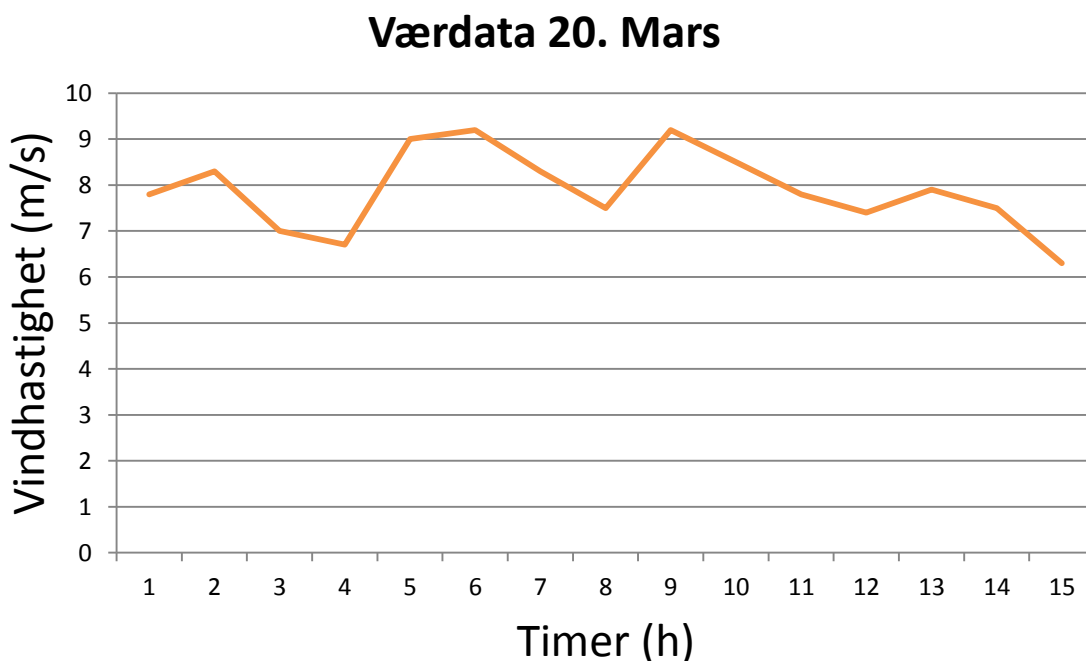
Figur 12: Vindhastighet den 19. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag.

Den 19. mars blåste det forholdsvis rolig gjennom hele forsøket. Vindretning varierte en del de første timene før den snudde mot øst. Det som er litt spesielt ved dette forsøket er at selv om vindretningen har variert en del, så har den logaritmiske grafen holdt seg tilnærmet lineær. En kan legge merke til at hastigheten på vinden var litt sterkere de første 6 timene før det avtok litt. Ved samme tidsperiode har vindretningen snudd mer mot øst (90 grader), altså mot døra og hullet. Dette kan være forklaring på hvorfor utskiftningen har holdt seg tilnærmet konstant selv om vinden avtok litt.

Den gjennomsnittlige luftutskiftningen ble målt til $0,062 \text{ h}^{-1}$. Dette er den laveste verdien av de 7 målingene som ble gjort og skyldes mest sannsynlig den lave vindhastigheten gjennom forsøket.



Figur 13: Naturlig logaritme og vindretning den 20. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag for tabell 1, kapittel 7.2.



Figur 14: Vindhastighet 20. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag.

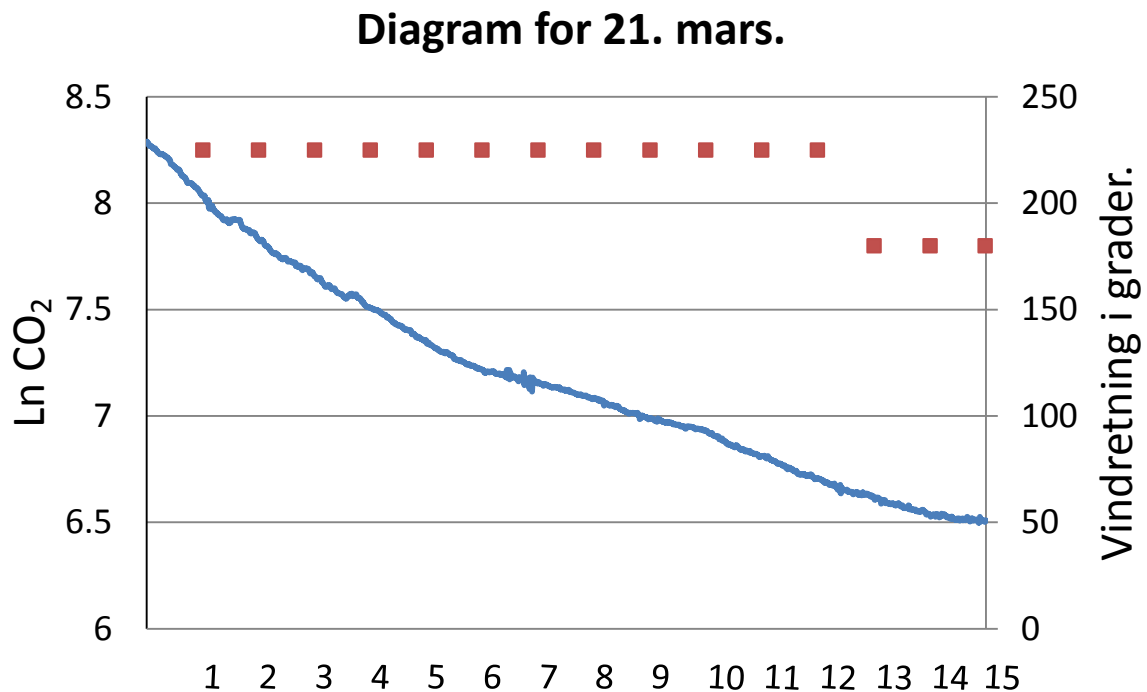
Den 20. mars blåste det relativt friskt gjennom hele forsøket og i følge værdataene kom vinden fra sør (180 grader) under hele måleperioden. Ved denne målingen utviklet luftutskiftningen seg raskest (se tabell 3). Den nedre loggeren gikk dessverre tom for strøm tidlig i forsøket, slik at resultatene baserer seg kun fra en logger.

Den logaritmiske grafen går så å si konstant nedover frem til 10 timer, så flater den mer ut selv om vindstyrken fortsatt er høy. Dette kan komme av at CO₂-konsentrasjonen begynner å bli liten ved slutten av målingen.

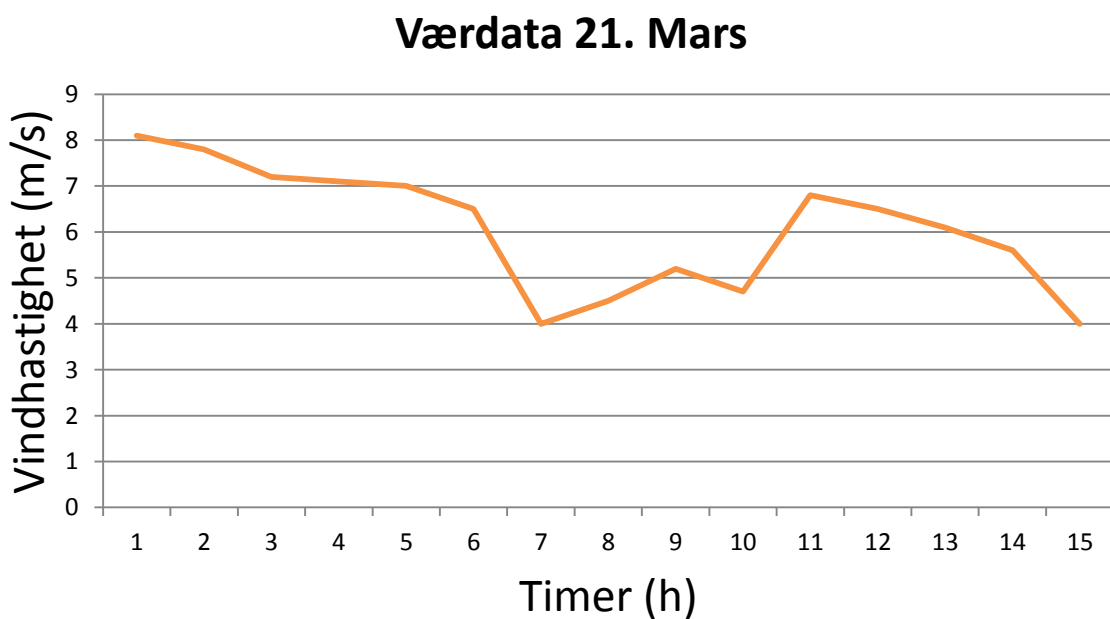
Den gjennomsnittlige utskiftningen ble beregnet til 0,146 h⁻¹ og er den raskeste utskiftningen blant de 7 måledagene. Hovedgrunnen til dette kan være den sterke vindhastigheten gjennom hele forsøket.

Etter 12 timer er den naturlige logaritmen rundt 6,2. Hvis en så bruker formelen CO₂-konsentrasjon = e^{Naturlig logaritme} får man en konsentrasjon på 493 ppm (parts per million). Denne konsentrasjon er vanligvis i modulen når en ikke utfører forsøk, noe som betyr at konsentrasjonen kommer ikke lenger ned enn dette. Dette kan bety at utskiftningen bør beregnes i forhold til 10-12 timer og ikke 15 for å få et mer riktig tall ved denne målingen.

Hvis en bruker 11 timer å beregne etter, vil verdien for luftutskiftningen være $0,181 \text{ h}^{-1}$ istedenfor $0,146 \text{ h}^{-1}$. Utskiftningen har altså gått meget raskt denne dagen.

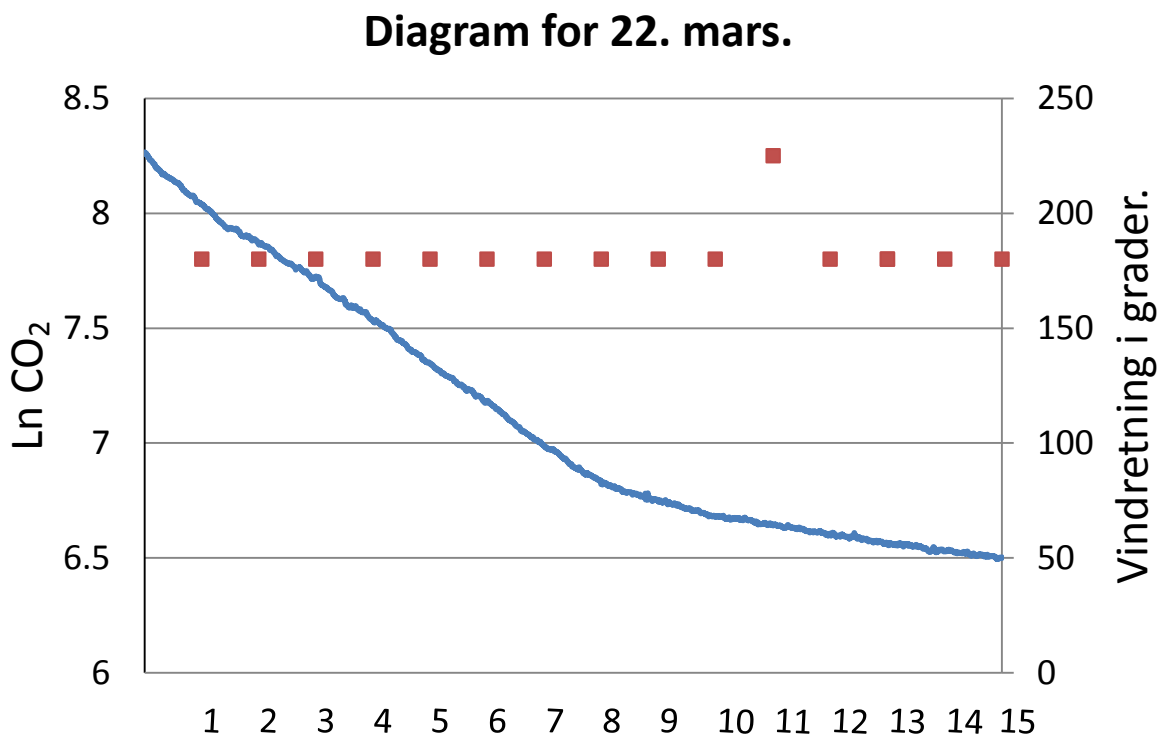


Figur 15: Naturlig logaritme og vindretning den 21. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag for tabell 1, kapittel 7.2.



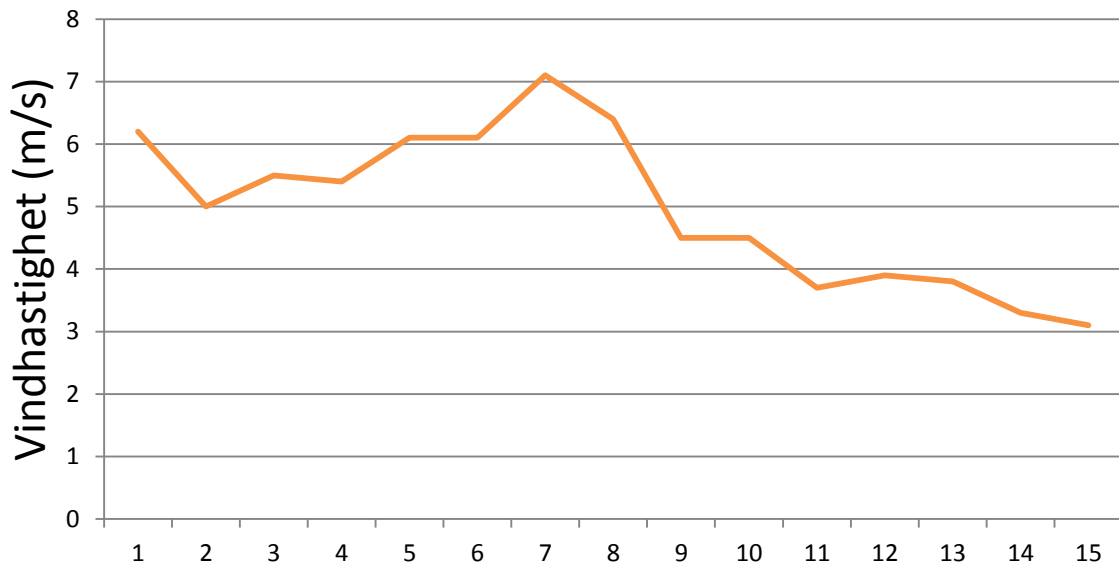
Figur 16: Vindhastighet 21. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag.

Den 21. mars blåste det forholdsvis friskt i starten av forsøket, så roet det seg litt ned før det blåste opp igjen de siste 5 timene. Vinden var hovedsakelig fra sør-vest med vind fra sør mot slutten av målingen. Den logaritmiske grafen faller raskt de første 6 timene, så roer det seg litt før det faller litt raskere igjen mot slutten. Grafen har altså en tendens til å falle ganske likt i forhold til hvordan vindstyrken har oppført seg gjennom målingen. Ved denne målingen ble det beregnet et gjennomsnittlig luftskifte per time på $0,119 \text{ h}^{-1}$ (se tabell 1, kapittel 7.2), noe som er en av de raskeste utskiftningene som har blitt målt selv om vinden ikke har blåst i retning døra og åpningen på øst-siden. Dette kan bygge opp om at det er noen svakheter på sør-vest siden av modulen som en ikke er klar over.



Figur 17: Naturlig logaritme og vindretning den 22. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag for tabell 1, kapittel 7.2.

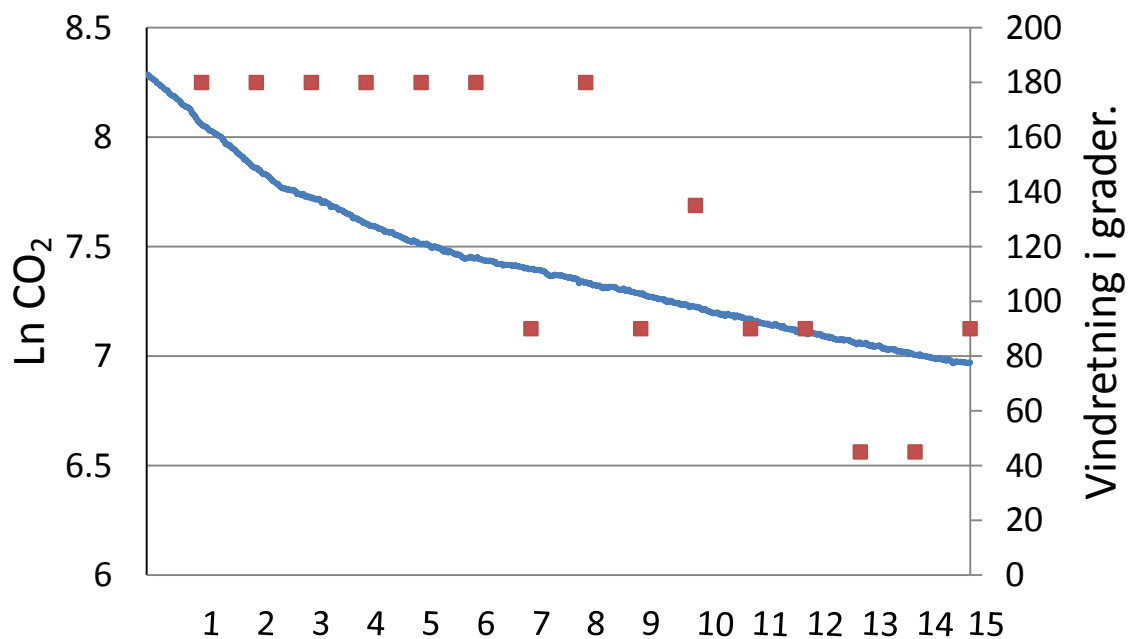
Værdata 22. Mars



Figur 18: Vindhastighet 22. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag.

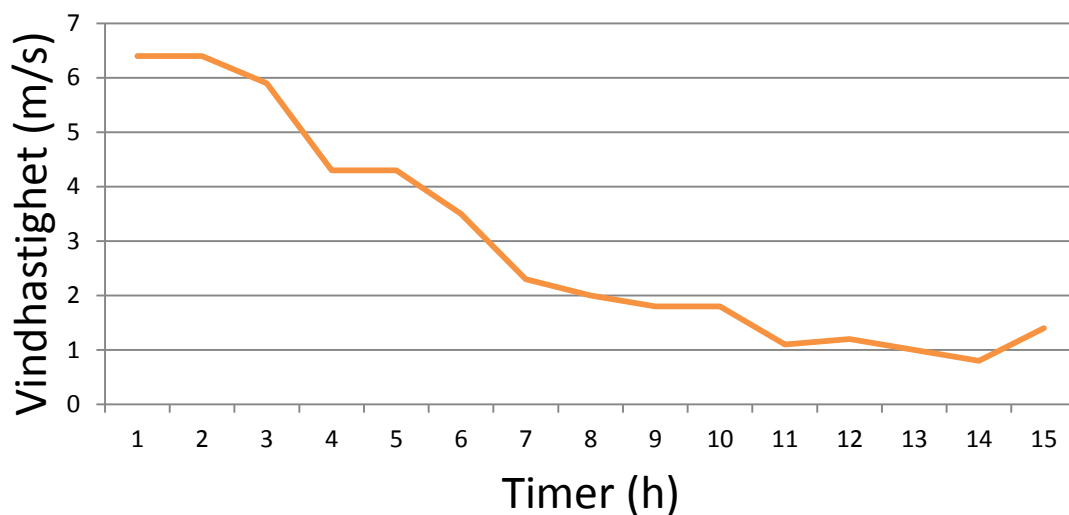
Den 22. mars har det blåst for det meste fra sør (180 grader) og vindstyrken har variert fra friskt i starten av målingen til litt lavere mot slutten. Det er interessant å se hvordan den logaritmiske grafen knekker etter 8 timer med tanke på at det har blåst friskt de første 8 timene, for så å avta litt. Vindretningen har som nevnt vært nesten den samme fra sør. Den gjennomsnittlige utskiftningen ble beregnet til $0,118 \text{ h}^{-1}$ noe som er ganske raskt med tanke på vindens retning. Målingen kan altså være med å underbygge teorien om at selve hastigheten på vinden har en vesentlig rolle ved luftutskiftningene og at retningen ikke dominerer utskiftningene så mye som en først kunne anta, med tanke på døra og åpningen ligger mot øst.

Diagram for 23. mars.



Figur 19: Naturlig logaritme og vindretning den 23. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag for tabell 1, kapittel 7.2.

Værdata 23. Mars

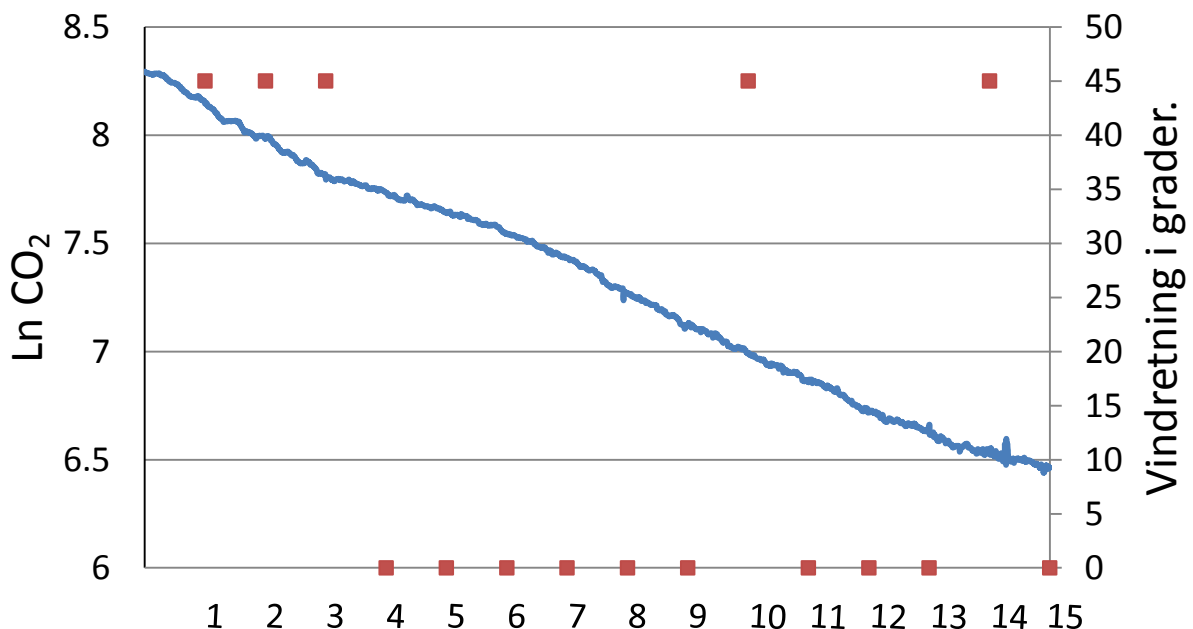


Figur 20: Vindhastighet 23. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag.

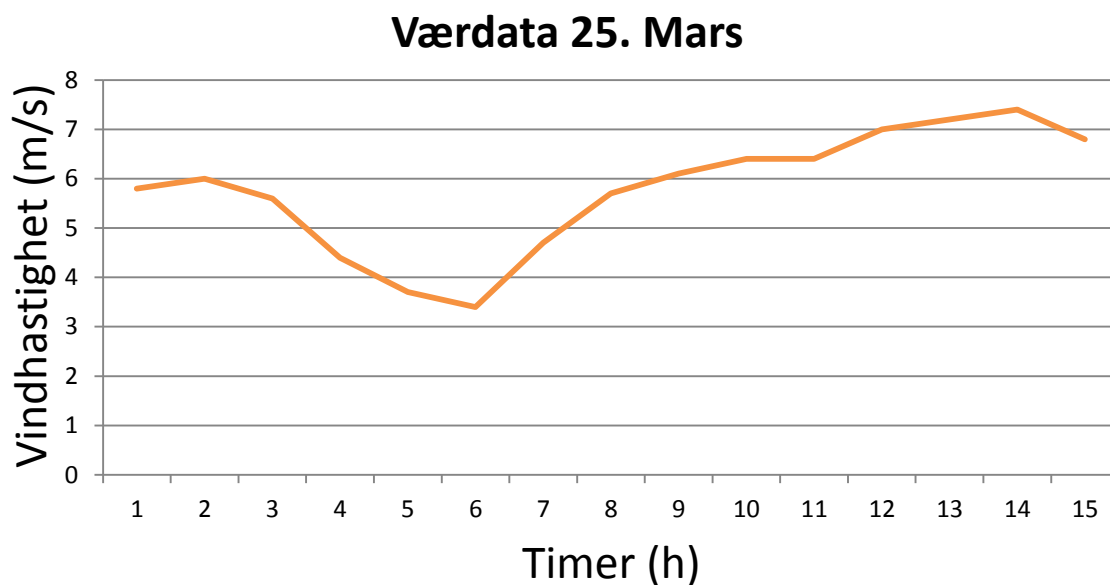
Den 23. mars startet det med frisk vind for så å avta utover i forsøket. Retningen kom fra sør (180 grader) i starten for så å endre retning mot mer øst (90) halvveis. Ved analyse av den logaritmiske grafen kan en se tre knekkinger. Den første fra 0-2 timer, den andre fra 2-4 timer og den tredje fra 5-15 timer. Den faller altså først ganske raskt, så litt saktere og til slutt enda litt saktere. Den gjennomsnittlige utskiftningen ble beregnet til $0,088 \text{ h}^{-1}$ og er en av de roligste utskiftningene blant de 7 måledagene. Grunnen til den rolige utskiftningen kan være at da det blåste friskt var vindretningen fra sør, mens da det blåste fra øst var vindstyrken rolig. Hadde det blåst kraftigere da vinden kom fra øst, ville en kanskje sett en raskere utskiftning.

En kan legge merke til at fra 4. time og utover så er det ikke stor forskjell i utskiftningene denne dagen (se tabell 4, bakerst i kapitlet), selv om hastigheten og retningen forandres. Dette kan bety at selv om vinden avtok utover i forsøket, har utskiftningen skjedd nesten like raskt siden vinden har snudd mot åpningen og døra. Dette blir selvfølgelig spekulasjoner, men vil bli diskutert senere under diskusjonskapitlet.

Diagram for 25. mars.



Figur 21: Naturlig logaritme og vindretning den 25. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag for tabell 1, kapittel 7.2.



Figur 22: Vindhastighet 25. mars i forhold til antall timer som ble brukt til beregningsgrunnlag.

Den 25. mars startet det med forholdsvis sterk vind i starten av forsøket for så å roe seg litt ned før det blåste opp igjen. Vindretningen var i følge værdataene nord-øst de første 3 timene for så å komme mer fra nord (0 grader). Den øvre loggeren gikk dessverre tom for strøm ved dette forsøket, slik at datagrunnlaget er fra loggeren som har stått på gulvet. Fra denne loggeren ble utskiftningen beregnet til $0,122 \text{ h}^{-1}$, noe som er forholdsvis raskt sammenlignet med de andre måledagene.

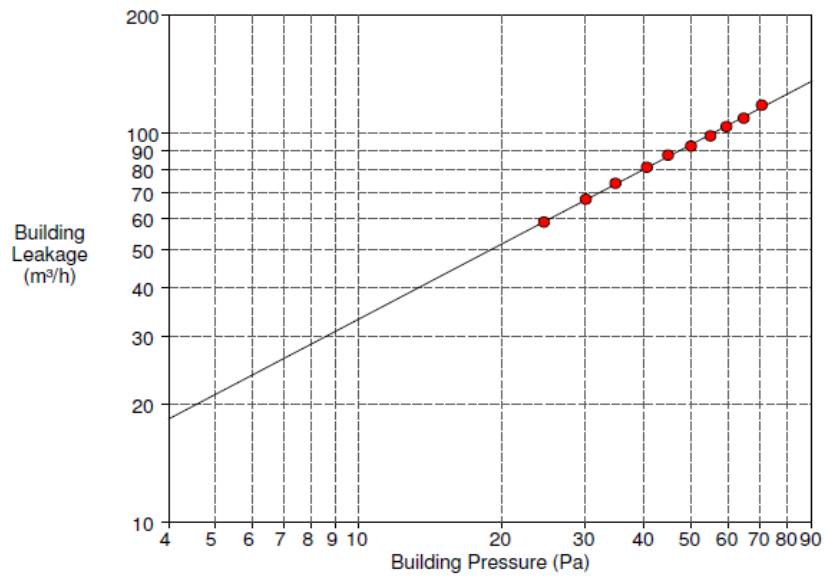
Av den logaritmiske grafen kan en se at utskiftningen har gått forholdsvis raskt i starten av forsøket, så har det roet seg litt, før det har gått litt raskere igjen. Dette er logisk med tanke på at det blåste friskt i starten av målingen og retningen var nord-øst. Det at utskiftningen ikke skjer så raskt fra 3.-6. time, kan både komme av at retningen har snudd og at hastigheten har avtatt. Så skiftes lufta ganske raskt ut, noe en kan se i forhold til at vinden har økt igjen.

Tabell 4: Tabellen viser oversikt over hvordan luftutskiftningene har utviklet seg time for time gjennom de ulike måledagene.

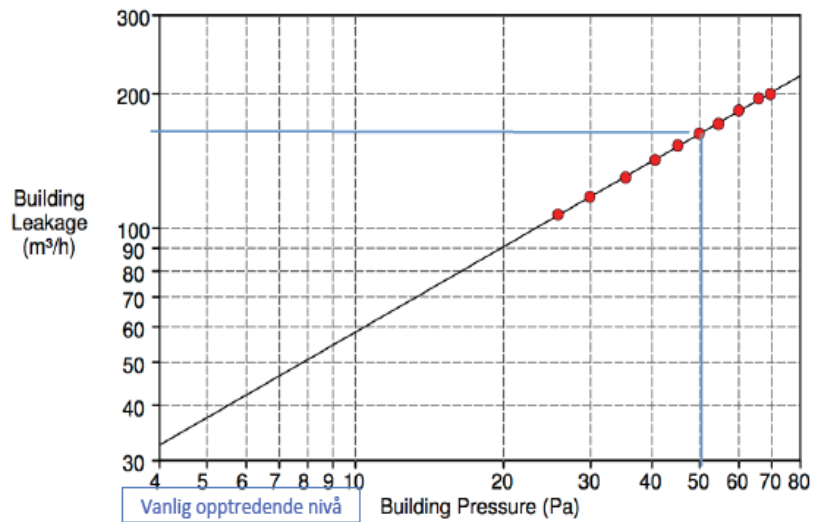
Time/ Dato	17.mar	19.mar	20.mar	21.mar	22.mar	23.mar	25.mar
0-1	0.205	0.062	0.293	0.256	0.228	0.229	0.148
1-2	0.218	0.074	0.284	0.205	0.173	0.197	0.163
2-3	0.103	0.061	0.207	0.174	0.14	0.134	0.189
3-4	0.173	0.077	0.2	0.146	0.192	0.122	0.06
4-5	0.093	0.07	0.266	0.166	0.186	0.094	0.092
5-6	0.089	0.065	0.233	0.125	0.163	0.063	0.098
6-7	0.087	0.063	0.16	0.064	0.196	0.05	0.11
7-8	0.066	0.059	0.161	0.07	0.168	0.06	0.164
8-9	0.048	0.06	0.118	0.092	0.071	0.054	0.147
9-10	0.045	0.057	0.079	0.06	0.069	0.057	0.133
10-11	0.043	0.062	0.064	0.121	0.037	0.057	0.13
11-12	0.035	0.048	0	0.104	0.038	0.056	0.13
12-13	0.016	0.055	0.09	0.087	0.042	0.051	0.096
13-14	0.04	0.058	0.026	0.083	0.034	0.058	0.1
14-15	0.012	0.046	0	0.031	0.026	0.035	0.072

Tabellen over viser hvordan luftutskiftningen har utviklet seg time for time gjennom de ulike dagene. Hensikten med tabellen er å vise konkret hvordan utskiftningene har skjedd numerisk. Tabellen er ment som supplement til grafene over.

7.4. Resultat fra Blower Door.



Figur 23: Figuren viser resultater fra Blower Door måling den 18. mars. Ved dette tilfelle ble det brukt undertrykk som målemetode.



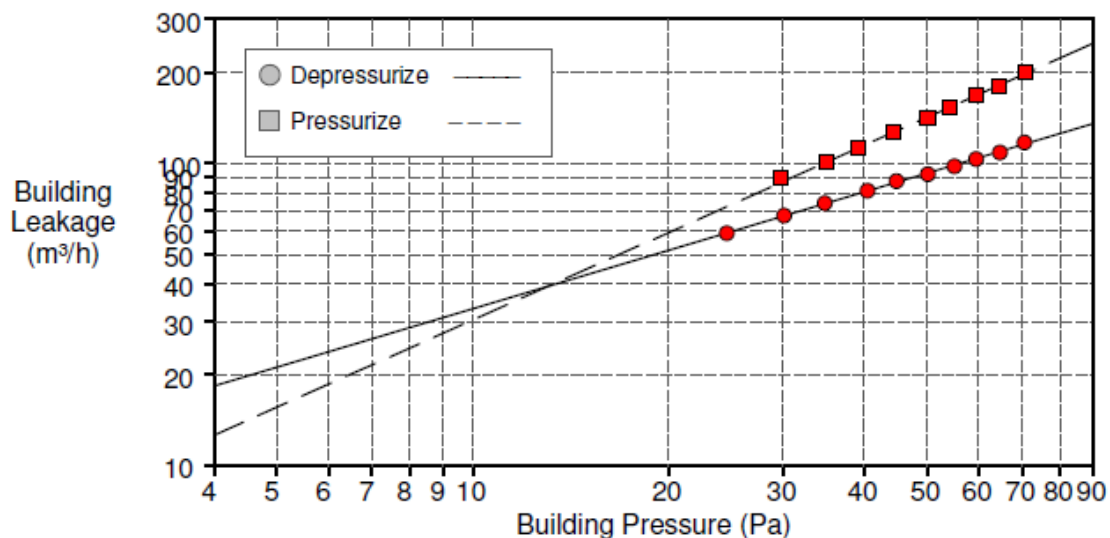
Figur 24: Figuren viser tetthetsmåling av modul A for 1 år siden ved 50 Pa undertrykk.

Da måling ble utført for et år siden, manglet ytterveggene isolasjon, 2 vindstoppere og halve gulvet manglet isolasjon som ble borte ved flytting. Dette var fikset da ny måling ble kjørt den 18. mars i år.

Begge grafene har en tilnærmet lineær linje, noe som betyr at målingen har gått riktig for seg.

Grafene viser at luftstrømmen i bygget ved 50 Pa undertrykk har forbedret seg fra 163 m³/h til 93 m³/h. Dette kommer nok som et resultat av at modulen har fått på plass vindsperrere og fått et tettere bygg.

Resultatene viser videre at for et år siden var lekkasjetallet på 2,80 h⁻¹, mens den 18. mars var tallet 1,65 h⁻¹ (se vedlegg). Forskjellen i temperaturen ved begge forsøkene var tilnærmet lik, så trykkforskjeller mellom ute og inne kan ses bort i fra under målingen.



Figur 25: Figuren viser forskjellen i verdier ved undertrykks- og overtrykksmåling ved bruk av Blower Door den 18. mars 2014.

Det ble også utført en test med overtrykksmåling ved hjelp av Blower Door. Her ble luftstrømmen 143 m³/h og luftutskiftningene ble målt til 2.53 per time. Grunnen til den store forskjellen mellom overtrykk og undertrykk blir diskutert i neste kapittel.

8. Diskusjon

Om forsøket og resultatene knyttet til modul A kan gjenspeile bygninger generelt er litt vanskelig å si. For eksempel ligger modulene veldig bra til siden vinden ikke har noen hindringer mot testhusene. De ligger på et jorde med god avstand til nærmeste skogfelt eller bygningsmasse. Så testing er meget positivt for disse modulene på grunn av deres beliggenhet. Det eneste er om hullet og døra lå for eksempel på nordsiden, slik at vinden ikke hadde hatt modul B som hindring. Dette kunne gjort det enklere å konkludere hvor stor rolle retningen har å si for utskiftningene.

Når det gjelder oppbygning av modul A (se kapittel 6.2), så kan en si den gjenspeiler bygninger godt. Eneste er vindduken som har løsnet mellom taket og veggen på sørsiden, så det blåser rett inn på takisolasjonen. Dette ble dessverre ikke fikset på før målingene startet.



Figur 26: Bildet viser hvordan vindduken har løsnet mellom vegg og tak på sørsiden av modul A og kan føre til at vind kommer inn til modulen via utettheter. I bakgrunnen kan en se modul B som skjermer på østlig side.

Ved trykktesting ble det registrert en betydelig forbedring i lekkasjetallet fra $2,80 \text{ h}^{-1}$ til $1,63 \text{ h}^{-1}$. Dette kommer nok som et resultat av vindsperrene og isolasjonen som har blitt montert siden forrige måling.

Grunnen til at det ble registrert høyere tall ved overtrykk enn ved undertrykk kan være at ved undertrykk blir duken som ligger utenpå trekonstruksjonen sugd innover og tetter eventuelle utettheter i veggen. Den lufta som fører til luftstrøm ved undertrykk kommer antageligvis ikke fra veggene, men fra hullet ved døra, karmen til døra, hjørner og andre muligheter. Ved overtrykk blir det et litt annet tilfelle. Da presser lufttrykket duken ut fra veggene og mer luft får vandre ut av bygget såfremt duken ikke er helt stram.

Ved de forskjellige trykkmålingene var dessverre ikke termograferingskamera tilgjengelig. Så når testing pågikk, ble utettheter lokalisert ved at en følte med hånden om en kunne kjenne luftstrøm fra modulen. De største utetthetene ble lokalisert ved hullet og døra, som en først antok. Videre kunne man kjenne en liten luftstrøm ved ventilasjonsanlegget, men denne var minimal. Det var og to hull på hver side av veggene som mest sannsynlig bidro til den store forskjellen mellom overtrykk og undertrykk (se kommentar over). Bortsett fra dette var det vanskelig å lokalisere noen klare utettheter og det kan virke som modulen er meget tett.

Så til det store spørsmålet, kan en se sammenheng mellom vind og utettheter i modulen. Av resultatene så ser en at det svinger en del med tanke på hvor lang tid konsentrasjonen avtar i modulen. Den 18. mars ble ventilasjonssystemet validert og resultatene (se tabell 1 kapittel 7.2) er ikke langt fra hva det skal gi i teorien ($0,5 \text{ h}^{-1}$), men i forhold til den beregnede verdien ($0,544 \text{ h}^{-1}$), var det litt større forskjell enn hva en ønsker. Grunnen til den store forskjellen kan være måleusikkerhet ved bruk av sporgass og litt påvirkninger fra vinden selv om valideringen ble utført ved lave vindhastigheter.

Av grafene som er presentert i kapittel 7.3 og tabell 4 i samme kapittel er det fornuftig å si at en kan se sammenheng mellom vindhastighet og utskiftning. Den 19. mars for eksempel var det ikke så sterk vind i området og den logaritmiske grafen har vært tilnærmet lineær, mens den 20. mars da det var sterk vind tok det bare 11 timer før CO_2 -konsentrasjonen var luftet ut til start-konsentrasjonen. Det skjedde altså en betydelig raskere utskiftning av lufta denne dagen enn dagen før. 19. Mars er en god indikasjon på at CO_2 -måling er en god metode, med tanke på vinden har vært tilnærmet lik og den logaritmiske grafen var tilnærmet lineær. Det samme skjedde den 18. mars da ventilasjonssystemet ble brukt som drivende kraft. Hadde det vært mer ujevn graf disse dagene, kunne en kanskje stilt spørsmål om målemetoden er god nok for å undersøke luftutskiftningene i modulen.

Men det er ikke bare ved de nevnte dagene en kan se sammenheng mellom vindhastighet og utskiftning. Ved analyse av alle logaritmiske grafer og en ser hvordan vinden har vært den

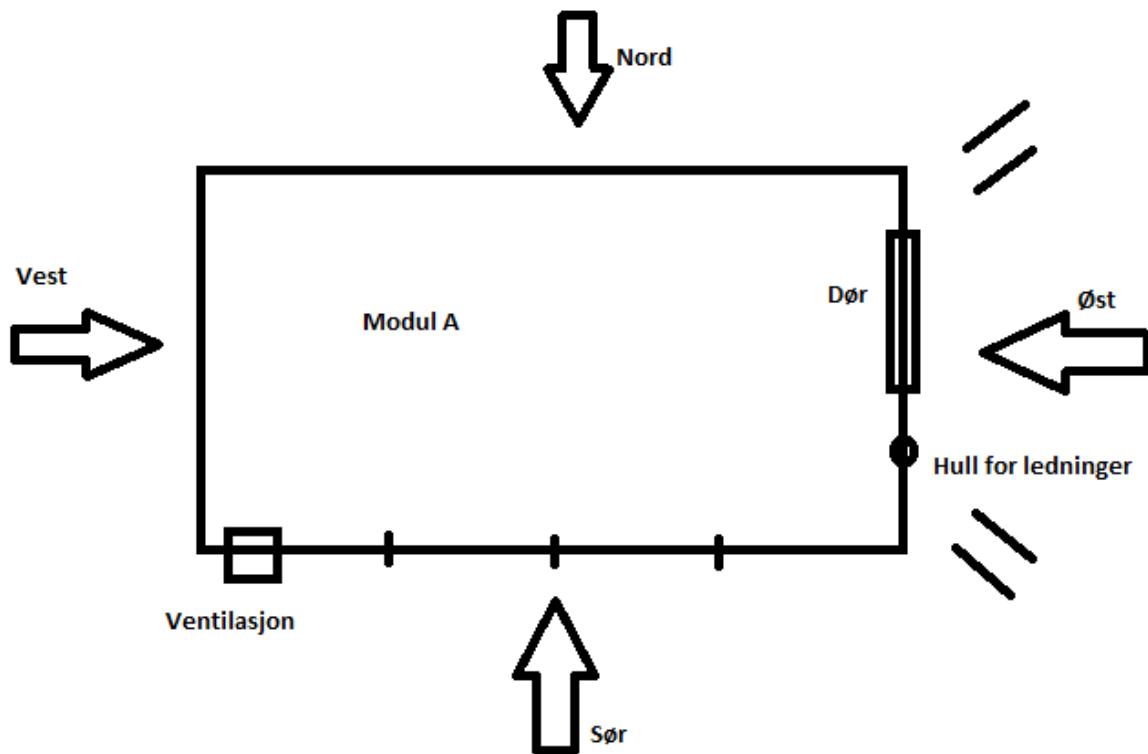
dagen forsøket ble utført, viser det tydelig samsvar i endring av graf når vinden endrer seg. Alle forsøkene støtter altså opp om at luftutskiftningen varierer med vindstyrken på grunn av utetthetene i modulen, spesielt de dagene det har blåst mye.

Om retningen har noe å si for utskiftningene er litt vanskeligere å konkludere med. Den målingen en enklest kan se forskjell bare på grunn av vinden er måling som ble gjort 25. mars. De to første timene blåste det friskt og utskiftningen utviklet seg raskt. Når en så ser fra 2.-5. time, var vinden roligere og fra nord og utskiftningene utviklet seg forholdsvis rolig. Når en så ser fra 6. time, har vinden snudd mot nord-øst og utskiftningene skjer raskere igjen (se tabell 4, kapittel 7.3). Dette er som forventet siden vinden blåser inn mot åpningen og døra. Riktignok blåste det litt opp utover forsøket, så det at utskiftningen skjer litt raskere er ikke så rart. Men i tidsperioden 5.-8. time er det forholdsvis lik vindstyrke som mellom 2.-5. time og dette kan indikere at utskiftningen utvikler seg litt raskere som en antok når vindretningen kommer mer inn mot hullet og døra. En annen måling som kan trekkes frem er 19. mars. Her endret vindhastigheten seg litt utover i forsøket, men utskiftningen var allikevel forholdsvis lik gjennom målingen. Samtidig endret retningen seg 6 timer ut i forsøket fra sør-vest til nord-øst. Så selv om vindstyrken roet seg litt, ble lufta skiftet like raskt ut siden retningen forandret seg.

Om disse forsøkene er nok for å kunne konkludere om selve retningen har noe å si for utskiftningene i modulen, er litt vanskelig. En kan legge merke til at når vinden har blåst fra sør har utskiftningene utviklet seg raskt. Riktignok har det blåst friskt de dagene utskiftningen utviklet seg hurtig da det blåste fra denne retningen. Hvis en sammenligner med 17. mars da det blåste mye nord-vest, har utskiftningen skjedd raskere fra sør og sør-vest. Så det kan være grunn til å anta at hvis retningen er fra vest, nord-vest eller nord, så skjer utskiftningene litt saktere enn om vinden kommer fra sør-vest, sør, sør-øst, øst, nord-øst. Dette kan være med å konkludere at det er mest utettheter på disse sidene av bygget.

Siden forsøkene er væravhengige, er det vanskelig å få akkurat den vindstyrken og retningen som en ønsker. Det optimale hadde vært hvis det blåste fra vest og så skiftet til sør-øst med samme vindstyrke. Da kunne en kanskje sett en klarere sammenheng. Men ut i fra det som ble diskutert over og når en ser på utskiftningene basert på sørlig retning, er det grunn til å tro at det kommer mer vind inn i modulen når retningen er sør, nord-øst eller sør-øst og dermed oppnår en raskere utskiftning. Når vinden kommer inn direkte fra øst, er det grunn til å tro at

utskiftningen ikke skjer like raskt som når vinden kommer skrått inn. Antakelsen er gjort med tanke på at modul B skjerner for modul A på østlig side.



Figur 27: Figuren viser et oversiktsbilde av modul A. Pilene representerer vindretning, mens strekene indikerer hvor det er mest sannsynlig at vinden bidrar til raskere luftutskiftninger i modulen.

9. Konklusjon:

Grunnen til den store forbedringen av luftstrøm ved trykktesting skyldes nok de to lagene med vindsperre og til dels isolasjonen. Det nye lekkasjetallet på 1.65 h^{-1} er godt innenfor kravet til TEK 10, hvor det skal være < 2.5 for småhus (se kapittel 3.2). Dette kan være med å vise at for å oppnå et tett bygg, er det hensiktsmessig å bygge med to tettesjikt for å sikre et godt innemiljø og ha bedre kontroll på luftstrømningene inn i bygget. Det er også viktig å passe på at vindduken tetter hele veien, slik at en unngår vind eller snø som presser seg inn i konstruksjonen. Det hadde for eksempel vært spennende å sett om utskiftingene hadde utviklet seg like raskt da det blåste fra sør hvis vindduken hadde gått helt opp til taket på sørveggen, eller om dette ikke har noe å si.

Når det gjelder sporgass undersøkelser viste modulen seg å være meget tett, siden loggetid var 24 timer for å få avlesbare resultater. 15 Timers loggetid ble valgt til beregning av utskiftingene for å neglisjere starten der det tok litt tid før konsentrasjonen kom under 4000 ppm og slutten siden konsentrasjonen her nærmet seg start verdien. Ut i fra resultatene og diskusjonen kan en si at hastigheten har stor innvirkning på hvor raskt utskiftingen av lufta i modulen foregikk. En ser spesielt den 20. mars at utskiftingen utviklet seg raskt da det var mye vind ute på jorden gjennom hele forsøket.

Hvor stor rolle retningen har for utskiftingene er litt vanskelig å si. Det som er spesielt er at utskiftingen har utviklet seg raskt når det har blåst fra sør, noe som kan forklares ved at vindduken har løsnet på sør-siden. En så også at utskiftingen foregikk raskere da det blåste fra nord-øst, noe som ikke var for overraskende siden døra og åpningen er i denne retningen. Derfor kan det være riktig å si at retningen har betydning sammen med hastigheten for utskiftingen i modulen, men at retningen kunne hatt større betydning hvis hullet og døra lå for eksempel i retning nord. Dette kunne ført til raskere utskifting av lufta siden de nevnte faktorene ikke ville blitt skjermet for modul B.

På bakgrunn av konklusjonene over kan en si at det å bygge tett er viktig med tanke på å oppnå gode energivennlige bygg. Av Blower Door målingene kunne en se stor forbedring i lekkasjetallet etter at vindsperre og isolasjonen ble lagt på. Videre kan en se at vindhastighet og retning har vist seg å være en viktig faktor med tanke på utskifting av lufta. Det er derfor viktig å ta hensyn til dette hvis en ønsker energieffektive bygninger med et godt inneklima.

10.Litteraturliste

Blom, P. & Uvsløkk, S. (2012). Bygg tett. 42 s.

Byggeregler TEK 10. (2014). PAROC. Tilgjengelig fra:

<http://www.paroc.no/knowhow/byggeforskrifter/byggeregler-tek10>.

Edvardsen, K. I. (2010). *Håndbok 53 Trehus*: Sintef Byggforsk.

Hole, I. & Aurlien, T. (2013). 520.401 Lufttetting av bygninger. Framgangsmåte for å oppnå lavt lekkasjetall. Tilgjengelig fra:

<http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=4110>.

International, A. (2006). *Standard Test Method for Determining Air Change in a Single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution*. www.astm.org: ASTM International. 17 s.

Kronvall, J. (1980). *Airtightness - measurements and measurement method*: Swedish Council for Building Research (Stockholm).

Lysengen, K. (2014). *Har ikke hatt lavere strømpriser på syv vintre*. oa.no. Tilgjengelig fra:

<http://www.oa.no/nyheter/article7268034.ece>.

Roulet, C.-A., Compagnon, R. & Jakob, M. (1991). *A Simple Method Using Tracer Gas to Identify the Main Airflow and Contaminant Paths within a Room*. *Indoor Air*, 1:3.

Schjelderup, B.-F. & Henriksen, S. (2010). Små, rimelige og robuste boliger. Husbanken. 69 s.

Sherman, M. H. (1998). The use of blower-door data. Lawrence Berkeley National Laboratory.

Skåret, E. & Blom, P. (1994). 552.301 Ventilasjon av boliger. Prinsipper og behov. Tilgjengelig fra:

<http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=527>.

Solibri. (2014). Solibri.com: Solibri. Tilgjengelig fra: <http://www.solibri.com/>.

Solvang, M. & Bjelland, A. S. H. (2011). *Tett bygg -Lufttetthet i Norske nybygg*: UMB. 132 s.

Thunshelle, K. & Hellstrand, V. (2006). 552.303 Balansert ventilasjon i småhus. Tilgjengelig fra:

<http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=529>.

11. Videre Arbeid

Hvis en får målinger på at bygg ikke er tett, kan en gå rundt med termograferingskamera og lokalisere utettheter. Et termograferingskamera visualiserer temperaturdifferanser og temperaturstråling ved hjelp av et fargespekter. Mørke farger indikerer kalde områder, mens lyse farger indikerer varme. Dette gir en oversikt hvor utetthetene er og hvilke utbedringer som kan gjøres. Til denne oppgaven ble det ikke brukt kamera til lokalisering av utettheter grunnet dette er dyrt utstyr og var dessverre ikke tilgjengelig. Dette kan eventuelt være en mulighet for andre som ønsker å gjøre undersøkelser på modulene.

I midten av januar ble det arrangert kurs i et program som heter WUFI Plus. Dette er et beregningsverktøy for fukt- og varmetransport i bygningskomponenter. Her kan en lage modeller av bygninger som ønskes undersøkt med realistiske bygningsmaterialer. Det er lagt inn klimatiske forhold fra kjente byer, men det er ikke noe problem å laste inn sin egen fil med klimatiske data. I programmet kan en stille inn hvilke forhold som skal gjelde, om det er noen utettheter i bygningsmassen, hva slags ventilasjonsanlegg som skal være på m.m. Det ble dessverre ikke tid til å sette seg inn i programmet og lage en realistisk modell av modul A med mulig luftutskiftning som resultat. Dette er en mulighet for andre som kunne tenke seg å utføre tetthetsmåling av modulen.

Det ble en del spekulasjoner om hvor stor rolle selve vindretningen hadde for infiltrasjonen. Mulighet til videre arbeid kan være å bekrefte dette ved å gjøre flere målinger med forskjellige retninger mot modulen, spesielt nord-øst og sør-øst. Det kunne og vært en mulighet å tette helt igjen på sør-siden, for så å se om dette hadde gitt noen utslag på infiltrasjonen.

12. Vedlegg.

Vedlegg 1:

Hva skjer i WEEE?

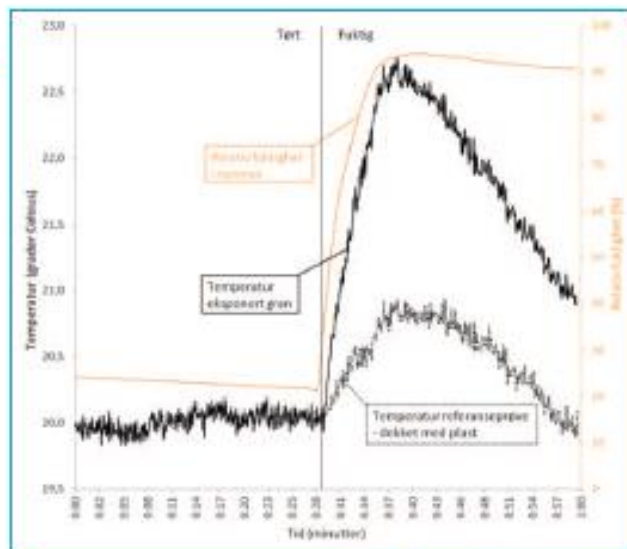
WEEE Wood – Energy, Emission & Experience er et forskningsprosjekt på tre og inneklima. Det er delt opp i tre deler der vi ser nærmere på energisamspillet, emisjoner (avgassing), og opplevelse av tre i inneklima. Prosjektet ledes av Treteknisk og er i samarbeid med Universitet for miljø- og biovitenskap, Norsk institutt for Luftforskning, Høgskolen i Oslo og Akershus, Norges Astma- og Allergiforbund, Skogtiltaksfondet, Fondet for Treteknisk Forskning, Södra Interiör AS, Norsk Luft, Splitkon AS og KLH Scandinavia AB.

Resultater fra lab-forsøk i WEEE

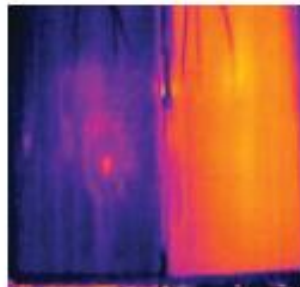
Mange opplever at det føles godt å bo i trøhus. Tre har egenskaper som gjør det forskjellig fra andre materialer i forhold til opplevelse, temperatur og trivsel. Mye av dette er subjektive opplevelser og ikke vitenskapelig høvst, men tre har utvilsomt egenskaper som gjør det spesielt egnet i interiør. Trøvirke kan lagre og avgis fukt, og i WEEE ser vi på hva som skjer i miljøer med eksponert ubehandlet trø. Nylig gjennomførte laboratoriemålinger viser at ved endring i luftas fuktinnhold responderer trøvirkes overflate med varmeavstråling som tilfører eller fjerner varme.

Vi har brukt et klimarom. To trøoverflateprøver er satt inn, en referanse dekket av lavemittende klar plast og en prøve med eksponert overflate, se figur 1. De to prøv-

Figur 1. Trøprøvene, hangt i laket for å unngå forstyrrelser av oppstråling. Ledningene inn til prøvene er fra termoisolasjon som er kontroll av overflate-temperatur målt av termografikamera.



Termografibilde av prøve ved fuktighetsendring. Prøven uten plastbelegg (til høyre) tar opp fukt og avstråler varme. Referansen er blå og viser en kaldere overflate.



Figur 2. Resultater som viser temperatur målt med termografier (strålingsvarme) og ledning med fuktighet. Vi ser at når klima endres fra stabilt til mye fuktigere økes overflate-temperaturen på den eksponerte trøoverflaten med osten 10 grader mer enn referanseprøven.

ene er splittet fra samme trøstykke, og overflaten i splittesjiktet er brukt slik at overflatene er nesten identiske. Endring i overflate-temperatur er målt med termografi, som måler forskjeller i avstråling fra overflaten, se figur 2. Prøvenes vekt er også målt for å se hvor mye fukt som er tatt opp, dette vises i figur 3.

Forsøket viser at den prøven som

ikke er tildøkket tar opp og avgir fukt ved endring i luftfuktigheten. Varme avgis når vanddampen bindes til træoverflaten. Varmen stråles ut til omgivelsene og gir en temperaturøkning i overflatene. Ved stor endring i luftas fuktighet har vi sett en endring på opp til 2°C sammenlignet med den beskyttede referansesprøven, se figur 1.

Vi kan altså se at ved en økning i luftfuktighet, som for eksempel skjer om kvelden når sola går ned og lufta blir råere, vil ubehandlede træoverflater fungere som en stråleovn. Kanskje kan denne effekten brukes til å spare energi i bygninger, for eksempel i passivhus? Dette er utfordringer vi skal undersøke i et testhus i massivtre som er satt opp på UMB i neste trinn av prosjektet WEEE.

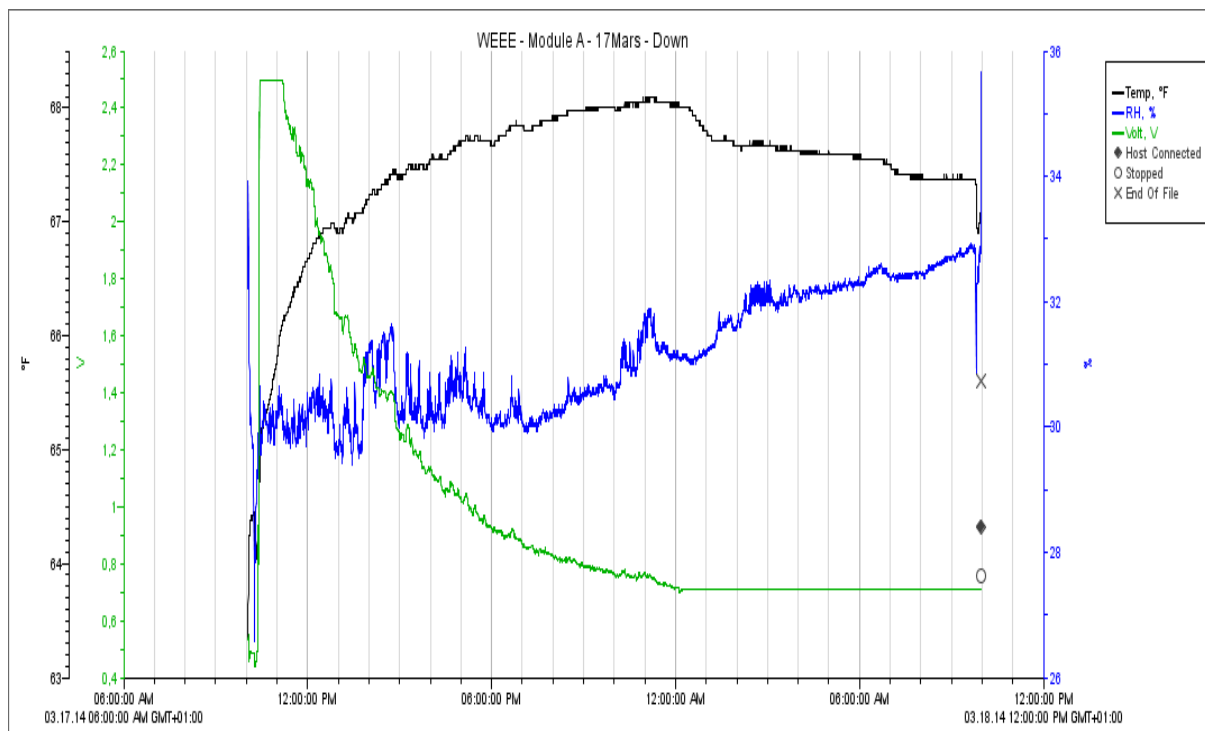
www.treformye.no
Venn eller fiende?



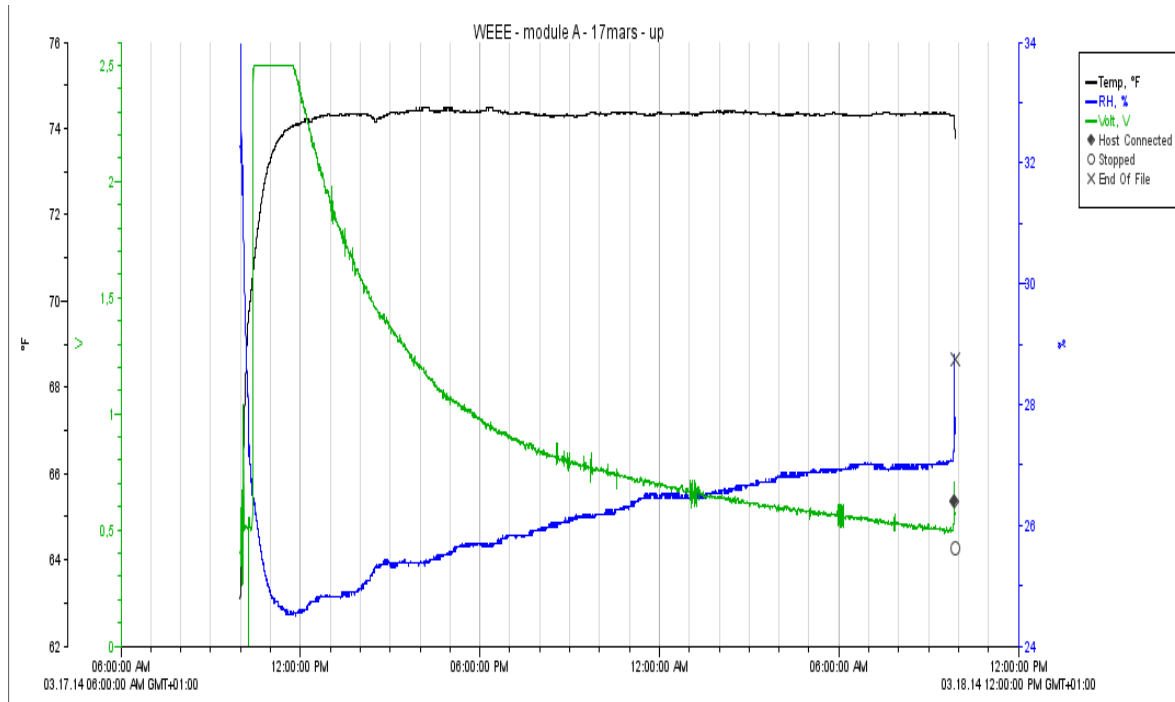
Figur 3. Resultater som viser hvor mye fukt træprøvene tar opp når fuktigheten i rommet endres. Trøprøven tar opp fuktighet hurtig. Kurvens form skyldes målingens nøyaktighet. Vekten øker med omtrent 6 gram, altså 5 vekkeprosent.

Vedlegg 2:

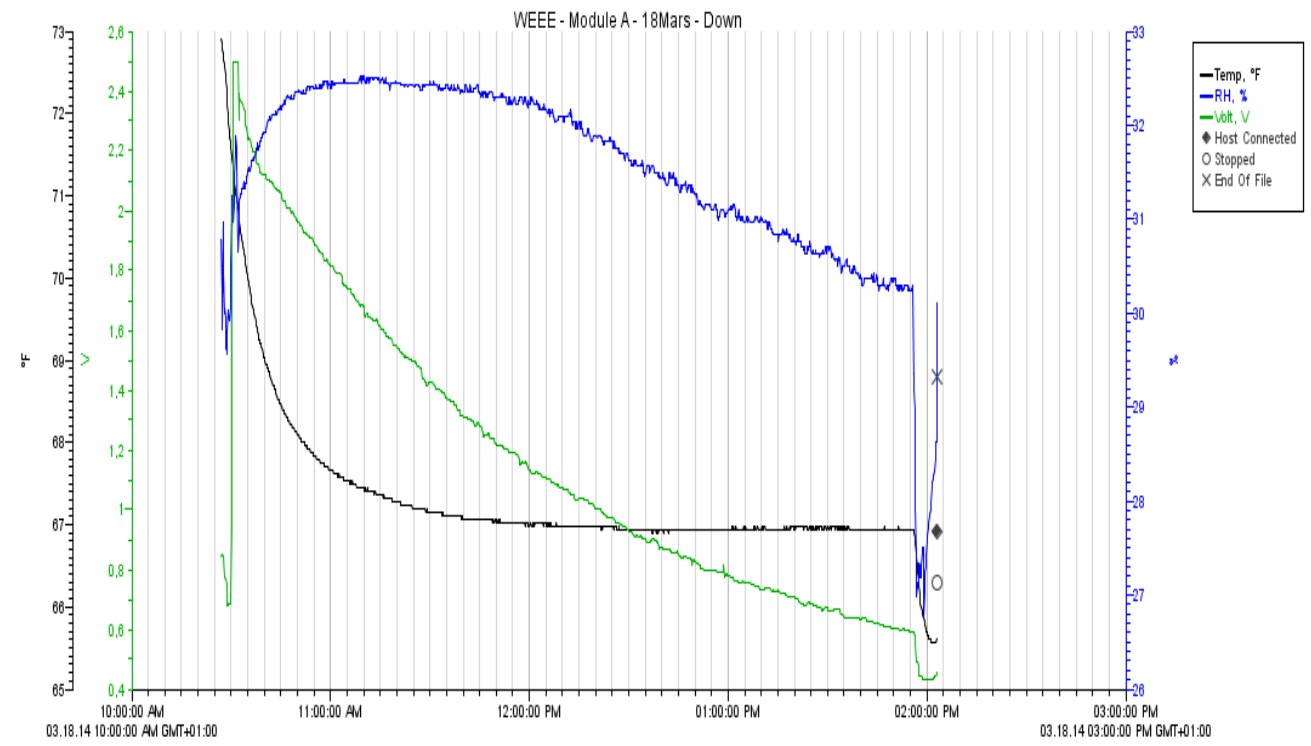
Måling fra Hoboware 17. Mars nedre logger.



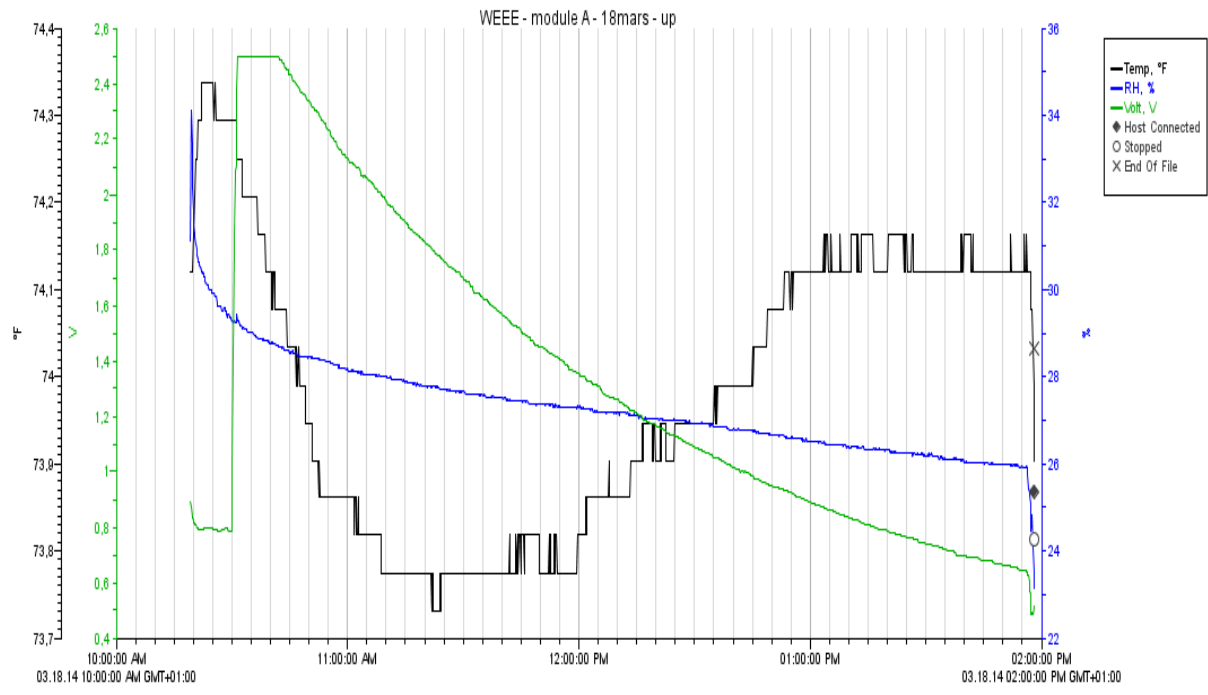
Måling fra Hoboware 17. Mars øvre logger.



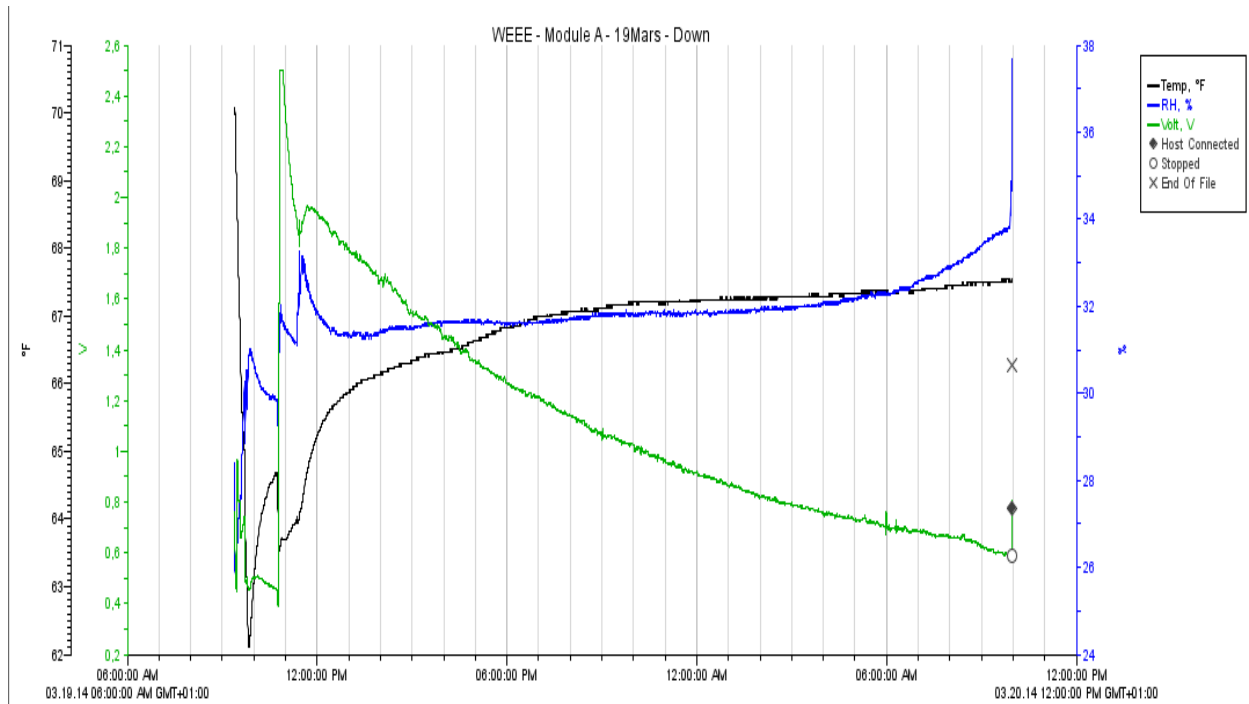
Måling fra Hoboware 18. Mars nedre logger.



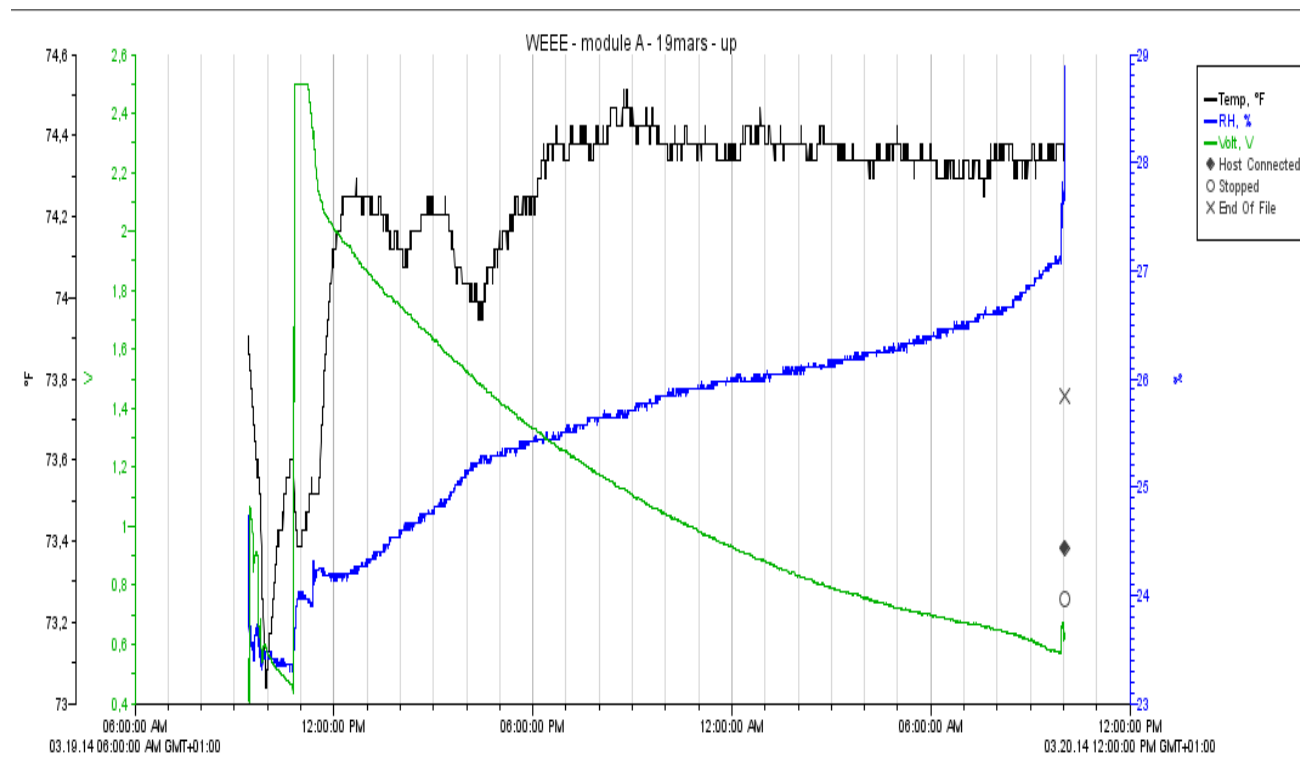
Måling fra Hoboware 18. Mars nedre logger.



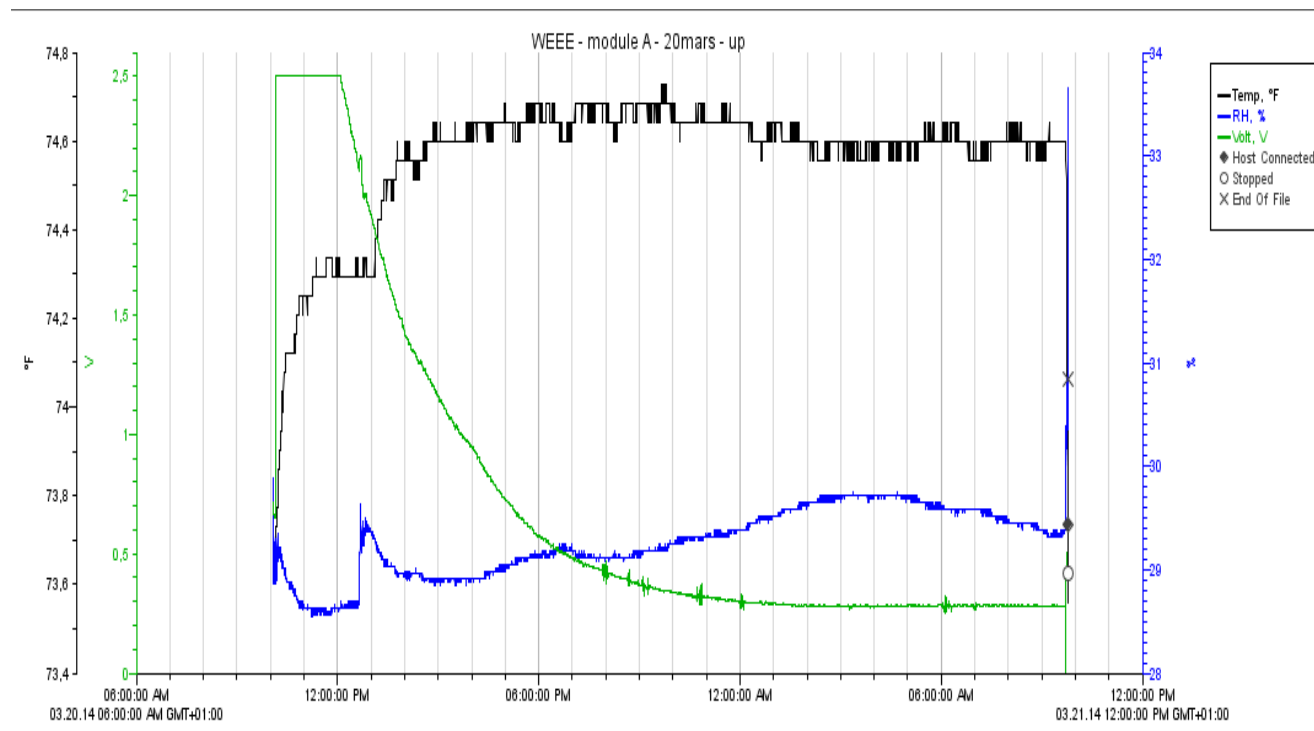
Måling fra Hoboware 19. Mars nedre logger.



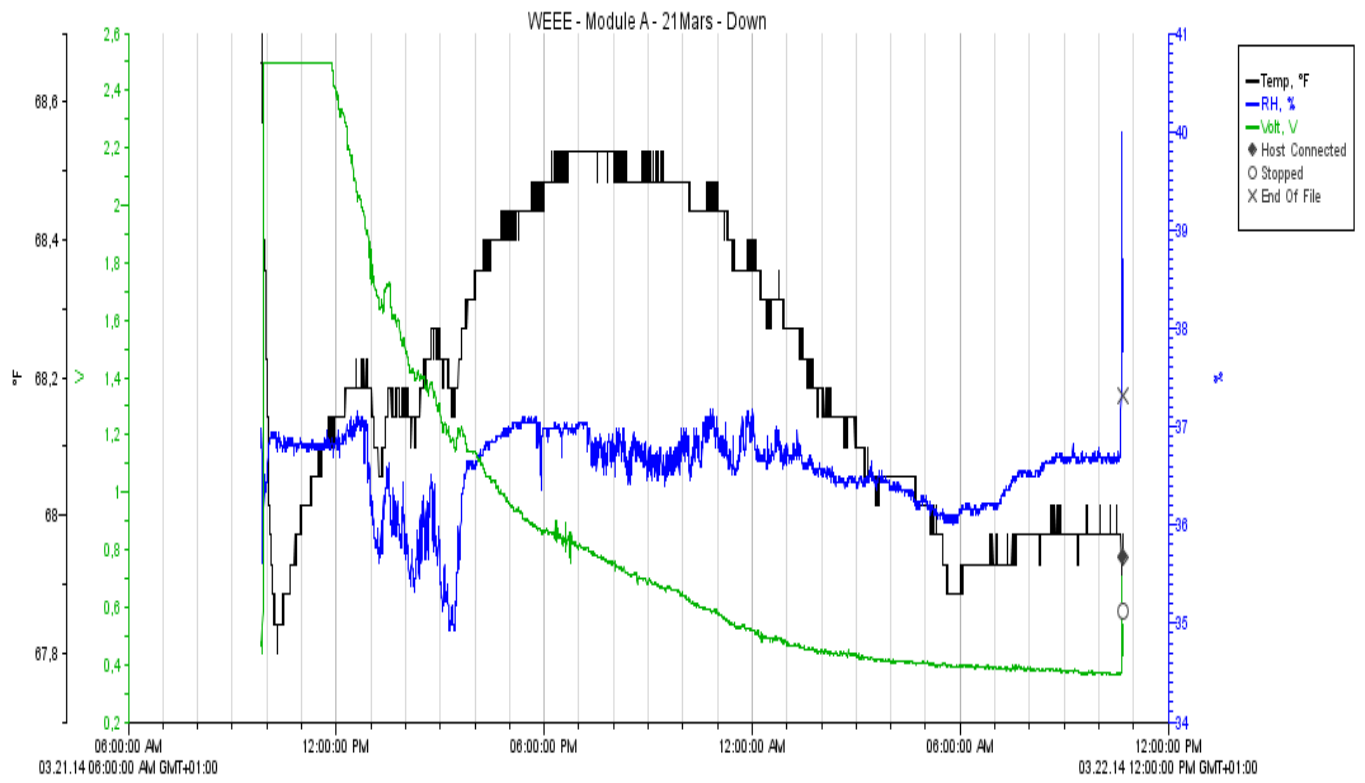
Måling fra Hoboware 19. Mars øvre logger.



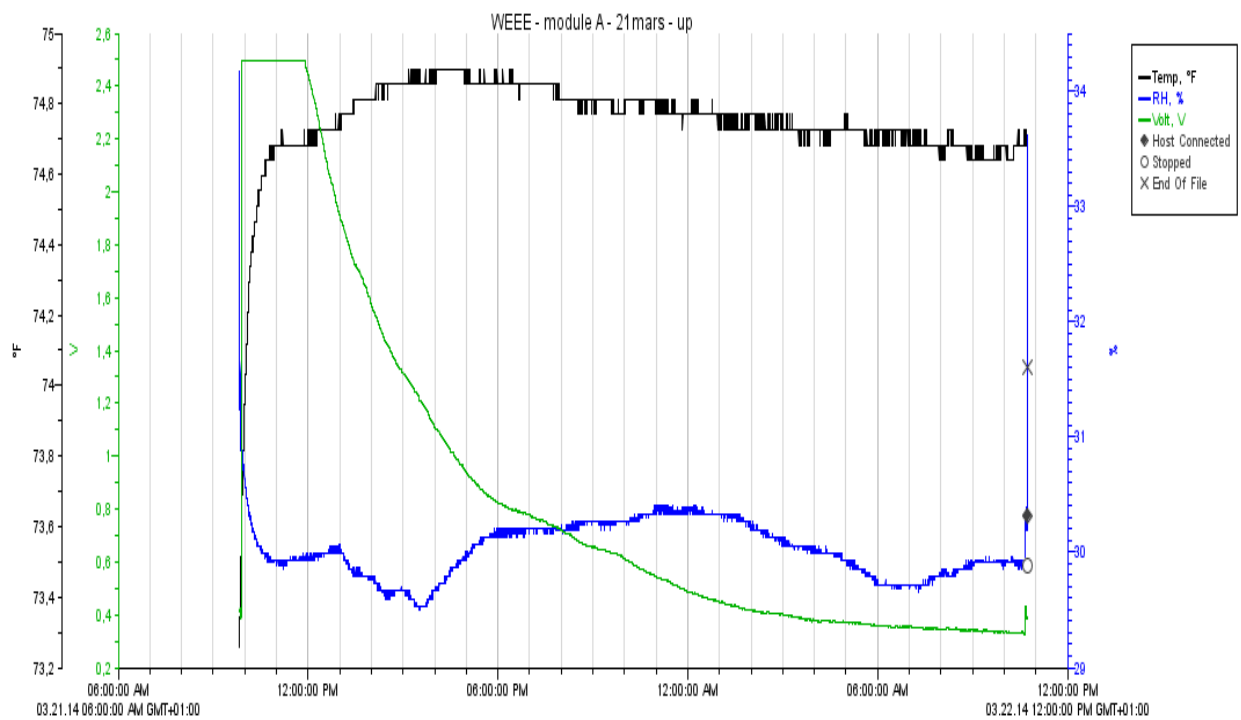
Måling fra Hoboware 20. Mars øvre logger.



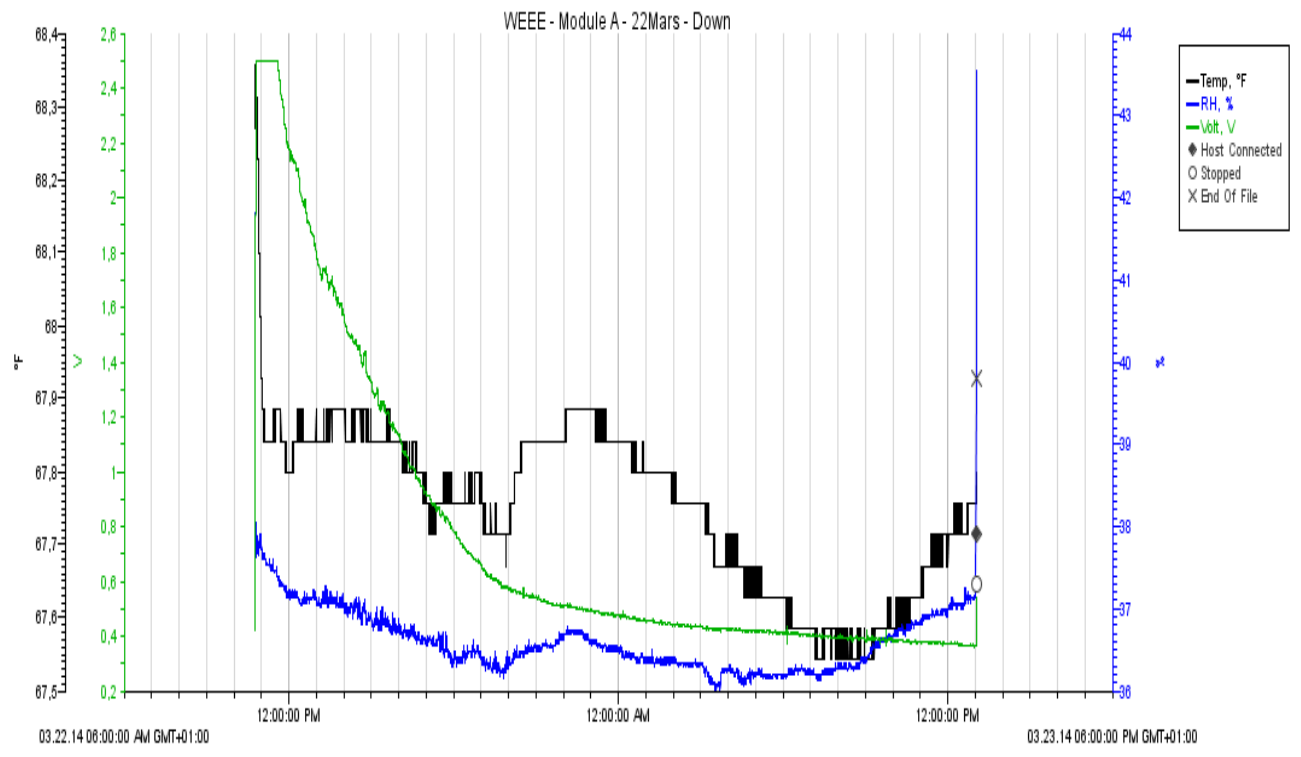
Måling fra Hoboware 21. Mars nedre logger.



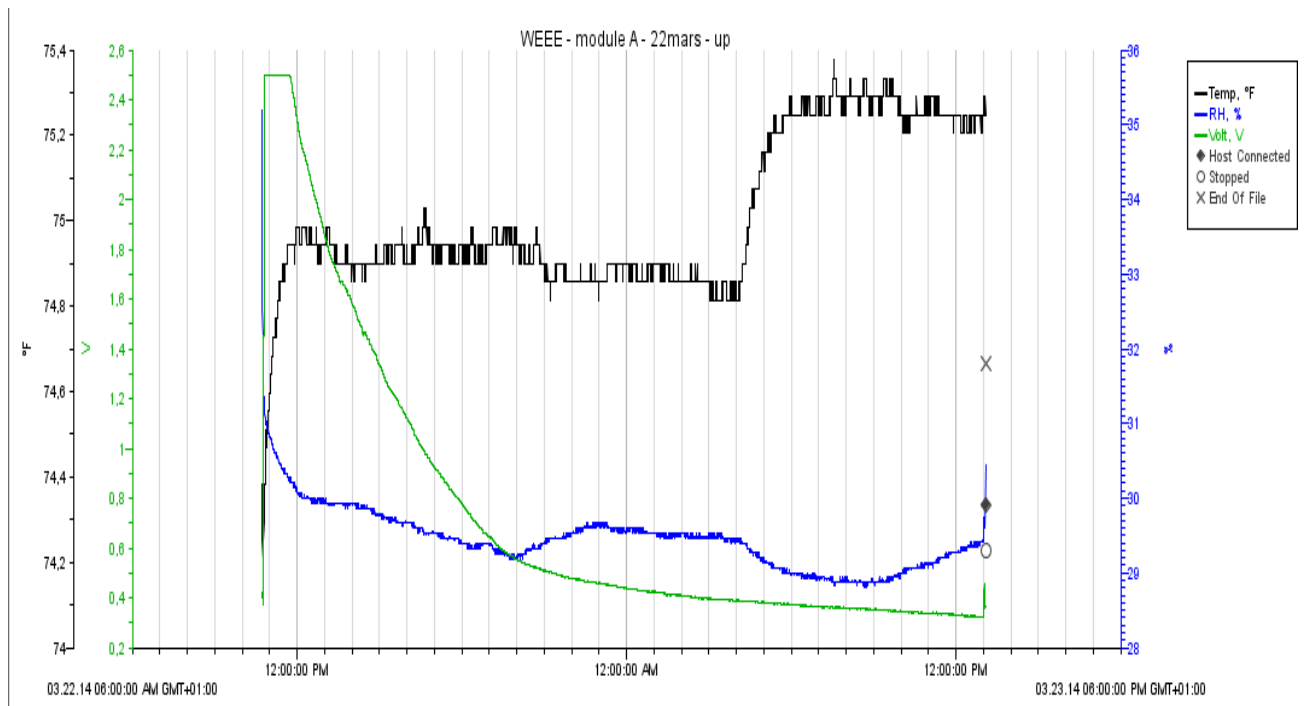
Måling fra Hoboware 21. Mars Øvre logger.



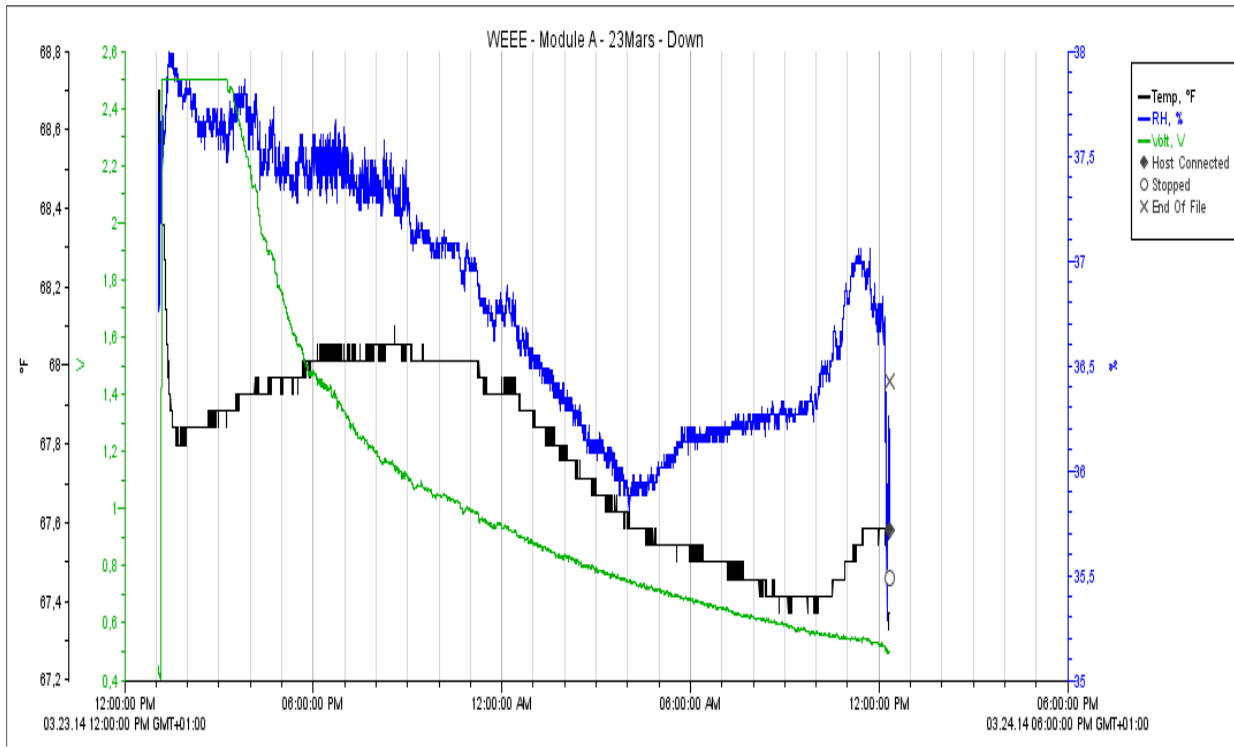
Måling fra Hoboware 22. Mars nedre logger.



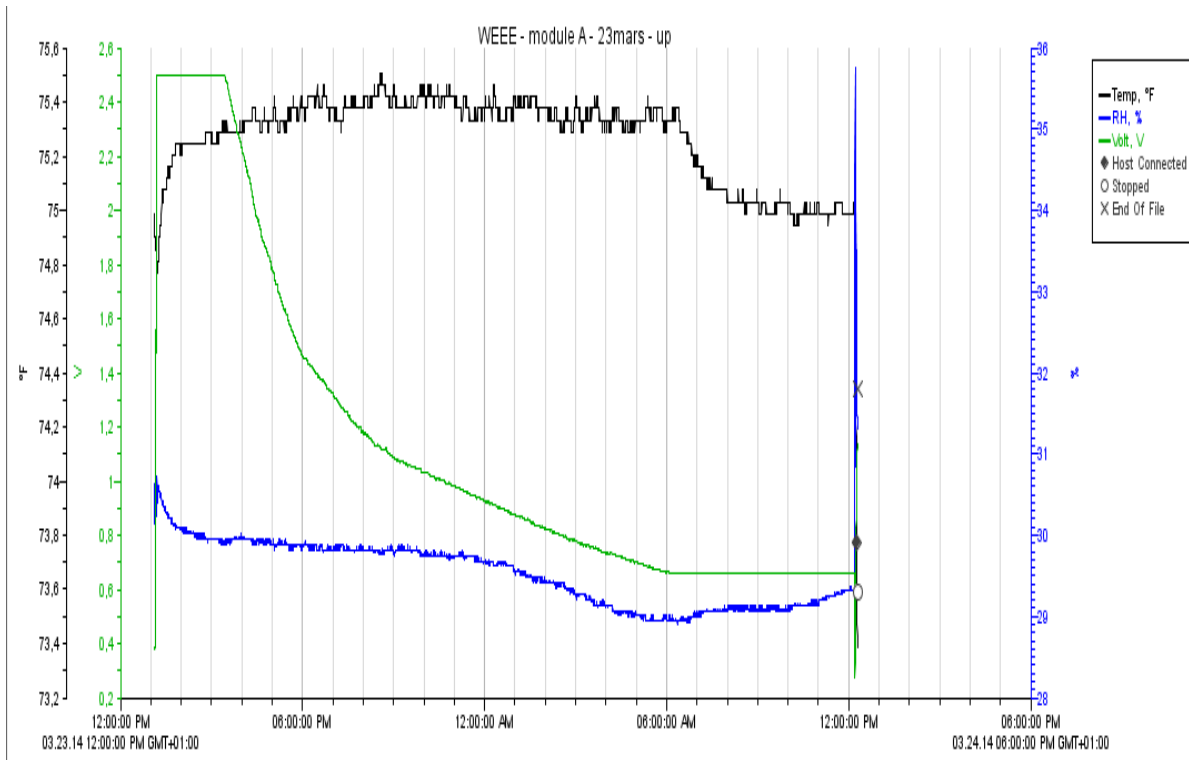
Måling fra Hoboware 22. Mars øvre logger.



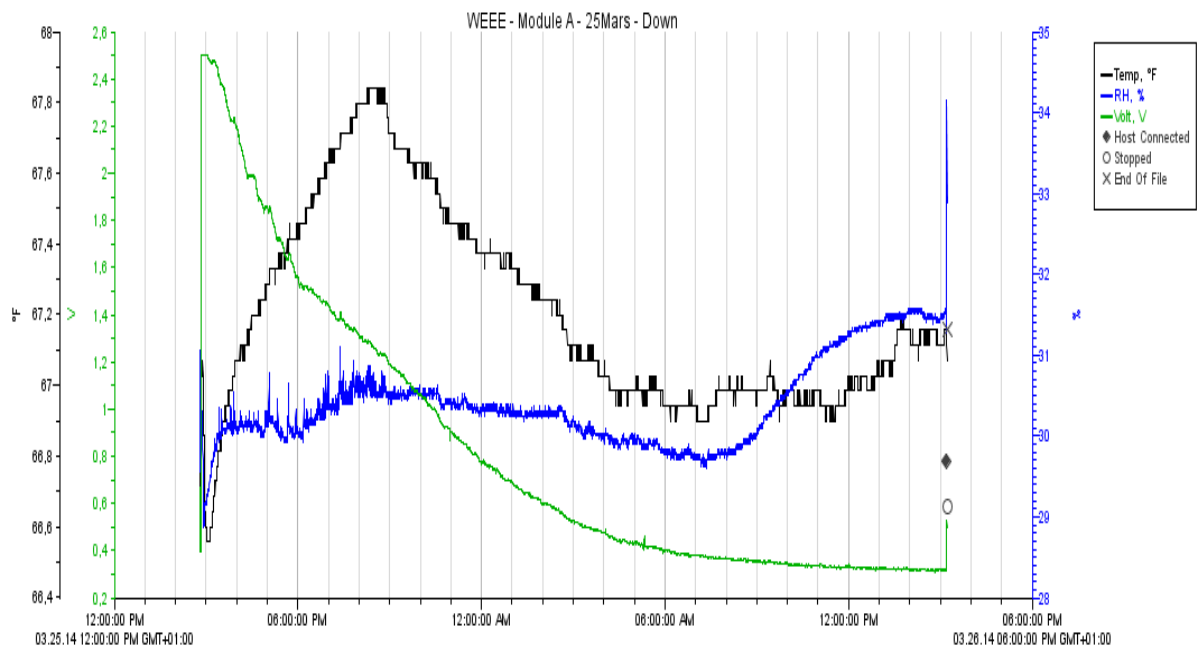
Måling fra Hoboware 23. Mars nedre logger.



Måling fra Hoboware 23. Mars øvre logger.



Måling fra Hoboware 25. Mars nedre logger.



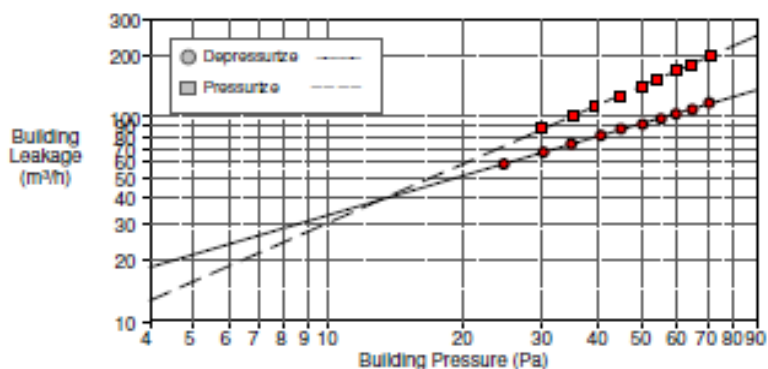
Vedlegg 3:

Resultater fra Blower Door-måling den 18. Mars 2014.

BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 18 March 2014		Technician:	
Test File: blower_depressurization_and_overpressurization			
Customer: WEEE	Building Address: WEEE module A	Serås	
		Ås, Akershus 1432	
Phone:			
Fax:			

	Depressurization	Pressurization	Average
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m ³ /h)	93 (+/- 0.3 %)	142 (+/- 0.3 %)	118
n50: Air Changes per Hour (1/h)	1.65	2.53	2.09
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	3.69	5.65	4.67
q50: m ³ /(h*m ² Surface Area)	0.95	1.46	1.20
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	36.9 (+/- 1.8 %)	34.0 (+/- 2.3 %)	35.5
cm ² /m ² Surface Area	0.38	0.35	0.36
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	19.8 (+/- 2.7 %)	13.6 (+/- 3.5 %)	16.7
cm ² /m ² Surface Area	0.20	0.14	0.17
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (Conv)	7.4 (+/- 4.2 %)	3.4 (+/- 5.3 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	7.6 (+/- 4.2 %)	3.4 (+/- 5.3 %)	
Exponent (n)	0.641 (+/- 0.011)	0.958 (+/- 0.013)	
Correlation Coefficient	0.99891	0.99933	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:	
Type of Test Method:	A		
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		
Inside Temperature:	20 °C	Volume:	56 m ³
Outside Temperature:	7 °C	Surface Area:	98 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	25 m ²
Wind Class:	0 Calm	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Highly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		



BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 18 March 2014 Test File: blower_depressurization_and_overpressurization

Comments

Data Points: Depressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-0.3	n/a				
-71.0	35.2	121	118	1.4	Ring C
-65.1	30.3	112	109	-0.8	Ring C
-59.9	27.5	106	103	-0.4	Ring C
-55.5	24.7	101	98	-1.0	Ring C
-50.5	22.0	95	92	-0.9	Ring C
-45.3	52.1	90	87	0.9	Ring D
-40.9	45.2	84	81	0.3	Ring D
-35.2	37.4	78	74	0.5	Ring D
-30.6	31.1	69	67	0.3	Ring D
-25.0	23.7	61	59	-0.2	Ring D
-0.5	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.3 p01+ = 0.0 p02- = -0.5 p02+ = 0.0

Data Points: Pressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-0.3	n/a				
70.6	89.8	196	201	0.8	Ring C
64.5	73.4	177	181	-0.9	Ring C
59.2	63.2	164	167	-0.4	Ring C
54.1	53.2	150	153	-0.7	Ring C
50.0	45.7	138	142	-1.1	Ring C
44.4	36.6	124	126	-1.1	Ring C
39.0	29.0	110	112	-1.0	Ring C
34.9	23.8	99	101	-0.5	Ring C
29.7	18.6	87	89	1.9	Ring C
0.1	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.3 p01+ = 0.0 p02- = -0.0 p02+ = 0.1

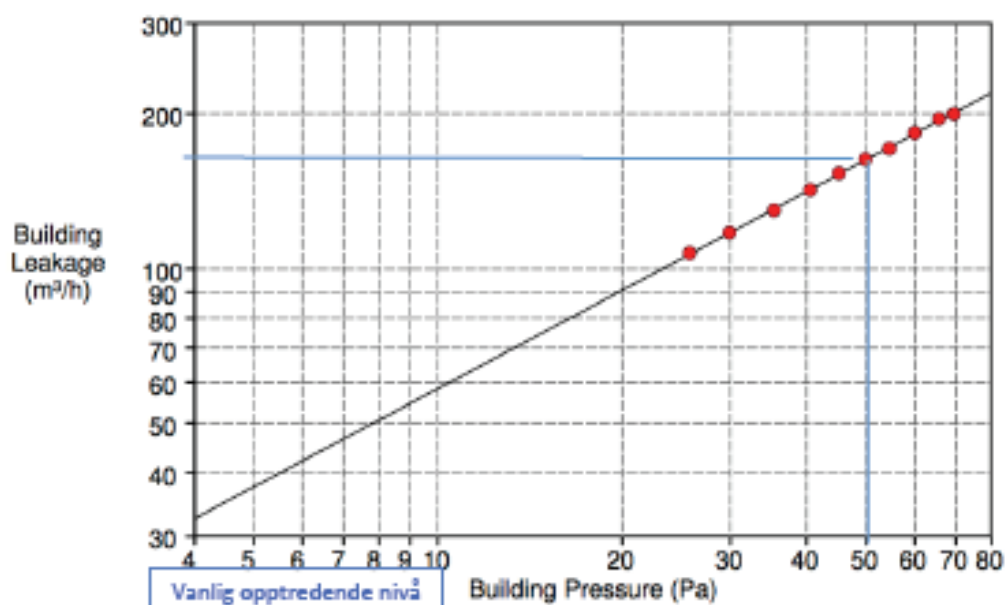
Resultater fra Blower Door måling 20. september 2013.

Fra siste del av målerapport. Dataene fra første undertrykksmåling

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
0.3	n/a				
-69.3	99.1	207	200	-0.6	Ring C
-65.5	94.8	202	195	0.6	Ring C
-59.7	84.4	190	184	0.4	Ring C
-54.3	73.5	177	171	-0.6	Ring C
-49.6	66.7	168	163	0.2	Ring C
-44.8	59.2	158	153	0.4	Ring C
-40.3	51.2	147	142	-0.3	Ring C
-35.1	42.9	134	130	-0.7	Ring C
-29.6	35.3	121	117	0.0	Ring C
-25.5	29.6	111	107	0.4	Ring C
0.2	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -0.1 p01+ = 0.4 p02- = -0.1 p02+ = 0.3

Målerapportens kurve



Date of Test: 20/9/2013
Test File: depressurization_6holes_open
Customer:

Technician:
Rapporters konklusjon

Building Address: WEEE module A (west)
Ås,

Test Results at 50 Pascals:

V50: Airflow (m³/h) **163** (+/- 0.2 %)
n50: Air Changes per Hour (1/h) **2.80** = V'_{50} / V som her gav en høy verdi, fordi...
w50: m³/(h*m² Floor Area) 6.44
q50:

Leakage Areas: 65.2 cm² (+/- 1.0 %) Canadian EqLA @ 10 Pa
35.1 cm² (+/- 1.6 %) LBL ELA @ 4 Pa

Building Leakage Curve: Air Flow Coefficient (Cenv) = 13.3 (+/- 2.4 %)
Air Leakage Coefficient (CL) = **13.5** (+/- 2.4 %)
Exponent (n) = **0.637** (+/- 0.006)
Correlation Coefficient = 0.99964

Test Standard: EN 13829 Test Mode: Depressurization
Type of Test Method: A Regulation complied with:
Equipment: Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door

Inside Temperature:	25 °C	Volume:	58 m³
Outside Temperature:	9 °C	Surface Area:	
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	25 m ²
Wind Class:	0 Calm	Uncertainty of	
Building Wind Exposure:	Highly Exposed Building	Building Dimensions:	%
Type of Heating:		Year of Construction:	
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no