

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Fakultet for miljøvitenskap og teknologi
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Masteroppgave 2016
30 stp

Luftskifte i en moderne, naturlig ventilert bolig

Air exchange rate in a modern, naturally ventilated
building

Tonje Merethe Tredal

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Instituttet for matematiske realfag og teknologi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgaven utgjør 30 studiepoeng og er et avsluttende arbeid på en mastergrad innen Byggeteknikk og arkitektur. Oppgaven ble gjennomført i perioden januar til mai 2016

Våren 2015 holdt Simen Torp et foredrag om økolandsbyen i Hurdalen på NMBU, og jeg fikk en umiddelbar iver etter å finne ut mer om boligene de bygget her. Det dukket opp flere og flere spørsmål, spesielt knyttet til inn klima og energi, som jeg ønsket å finne svar på. Er det mulig at man kan tilfredsstille dagens krav ved å benytte naturlig ventilasjon? Etter kontakt med Filago/Aktivhus viste det seg at de var interessert i finne svar på en del av spørsmålene jeg stilte meg, og jeg ble dermed gitt muligheten til å skrive en masteroppgave der måleobjektet var ett av deres bygg.

Jeg har de senere årene fått en økt interesse for bygningsfysikk, og ønsket å gå dypere inn i dette fagområdet. Gjennom arbeidet med oppgaven har jeg tilegnet meg ytterligere kunnskap om aspekter i bygningsfysikken, så vel som at jeg har fått mulighet til å forsøke å finne svar på spørsmålene jeg stilte meg selv. Denne oppgaven har bidratt til refleksjoner og engasjement både hva gjelder de eksisterende kravene og standarder til bygg, samt bakgrunnen for disse, og hvordan et bygg som helhet fungerer.

Jeg ønsker spesielt å takke min hovedveileder, professor ved NMBU og sivilingeniør, Tormod Aurlien for gode samtaler, veiledning og motivasjon. En stor takk må også rettes til biveileder Rolf Jacobsen som har besvart diverse spørsmål om stort og smått. Takk til Kolbjørn Mohn Jenssen og Mycoteam for lån av måleutstyr, og takk til Dimitrios Kraniotis for innspill til, og drøfting av målemetoder og data. Jeg vil også rette en takk til Arne Førland-Larsen for god faglig samtale og tips til gjennomføring av forsøk. Tusen takk til Jørgen Beitdokken og Malin Jonasson med barn i hus B6 som lot meg gjøre målinger i hjemmet deres. Takk til Morten Sørbø for korrekturlesing. Til slutt vil jeg takke mine medstudenter på lesesalen for det gode samholdet vi har hatt.

Luftskifte i en moderne, naturlig ventilert bolig

Ås, 12. mai 2016

Tonje Merethe Tredal

Sammendrag

I byggeteknisk forskrift stilles det i dag krav til inneklimatefaktorer og energibruk i bygninger. Energikravene reguleres stadig til å bli enda strengere. De ulike kravene har forskjellig bakgrunn, men må likevel vurderes sammen for å si noe om bygget som helhet. I dette studiet er det forsøkt å si noe om hvordan tilstanden knyttet til de overnevnte faktorer er om det benyttes et naturlig ventilasjonssystem i en moderne bolig.

For å kunne undersøke dette ble det benyttet en rekke forskjellige målemetoder, deriblant sporgassmålinger for å forsøke å finne reelt luftskifte. Denne metode viste seg imidlertid å ha mange usikkerheter knyttet til seg, hvilket gjorde det vanskelig å trekke en konklusjon rundt reelt luftskifte og utvalgte inneklimatefaktorer da det kun var et begrenset antall dager det ble gitt tilgang til å gjøre målinger i boligen. Andre benyttede metoder, som lekkasjetallmåling og termografering, har en større sikkerhet knyttet til seg, og anses derfor å ha gitt resultater nær faktiske verdier.

Forsøkene ble utført i en naturlig ventilert bolig i Hurdal økolandsby i Akershus kommune, et *aktivhus*. Boligen oppnådde et lekkasjetall, n_{50} , på 1,75. Luftskiftemålinger viste at totalt luftskifte for boligen ikke nådde hverken $1,2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ -kravet til frisklufttilførsel, eller kravet om et luftskifte på 0,5 oms/h, noen av måledagene i uke 9, 2016. Målingene indikerer likevel at inneklimatefaktorene temperatur, RF og CO_2 -konsentrasjon ved normal bruk av bygget holdes innenfor akseptable nivåer denne uken. Disse faktorene er også registrert over en lengre periode ved hjelp av omnisense-målere, fra januar til mai 2016, og ser ut til å ligge på akseptable nivåer i denne perioden. Men siden luftskiftet kun er målt i uke 9, vet man ikke om nivåene på inneklimatefaktorene i denne perioden er oppnådd i sammenheng med et luftskifte som tilfredsstillende kravene eller ikke. Dette gjør at man ikke kan trekke en generell slutning om at kravet til luftskifte er høyere enn nødvendig når inneklimatefaktorene ser ut til å ligge på et fint nivå ved et lavere luftskifte, men det er absolutt noe som burde studeres videre.

Boligen har et anslått energiforbruk på 9 612 kWh gjennom et år, som er en lav verdi for en enebolig med 4 beboere. Kleberstensovenen plassert i oppholdsrom skal nok ha mye av æren for dette, da den antas å senke oppvarmingsbehovet betraktelig. Med å ha solcellepaneler installert på taket produseres det energi på tomten som leveres til nettet i perioder der det er et mindre energibehov i boligen. Anslaget gir grunnlag for å uttale at det er mulig å prosjektere boliger med naturlig ventilasjon uten at energibehov blir for høyt i forhold til dagens energirammer.

Abstract

Norwegian building regulations presents requirements regarding indoor climate and energy consumption in buildings. The energy requirements is constantly adjusted to be even stricter. Every chapter in the regulation has its own background, but should still be considered together to evaluate the building in its total. In this study, it is attempted to evaluate the factors mentioned above when a natural ventilation system is installed in a modern housing.

To investigate this, a number of different measurement methods was used, including the tracer gas method, to attempt finding the air exchange rate. This method, however, proved to have many uncertainties associated with it, which made it difficult to draw a conclusion about the actual air exchange rate and other factors regarding indoor air quality, as the number of measurement days was limited. Other methods used, such as thermography and measurement of airtightness, is considered to have a greater certainty associated with it, and is therefore likely to have given results close to the actual values.

The experiments were performed in a naturally ventilated housing in Hurdal ecovillage in Oslo municipality, an *active house* ("*aktivhus*"). The leakage number for the building, n_{50} , was measured to 1.75. Measurement of air exchange rate, by using the tracer gas method, showed that total air exchange for did not reached either 1.2 m³/m²h requirement of fresh air, or the requirement of an air change of 0.5 oms/h, any of the measurement days in week 9, 2016. The measurements indicate that temperature, RF and CO₂-concentration is kept within acceptable levels in the building during the measurement week, when in normal use. These factors were also registered by omniscense-sensors during a longer period, from January to May 2016. During this period they appeared to stay at an acceptable level. However; since the air exchange rate is only measured for one week in March, we do not know if the achieved levels of indoor air quality factors in this period is obtained in context with an air exchange rate that meets the requirements or not. Therefore, one cannot draw a general conclusion that the required air exchange rate stated in the building regulations is too high when factors connected to the indoor climate seem to stay at an acceptable level with a lower air exchange rate, but it is certainly something that should be studied further.

The resident has an estimated energy consumption of 9612 kWh per year, which is a low value for a detached house with 4 occupants. The stove placed in the main room is probably one of the main reasons for this, as it is believed to lower the amount of energy for heating-purposes significantly. Solar panels are installed at the roof, and produces energy that is supplied to the

mains during periods where there is a reduction in energy consumption in the resident. The estimation indicates that it is possible to design homes with natural ventilation without the energy consumption exceeding the regulations.

INNHALDSFORTEGNELSE

Forord	I
Sammendrag	III
Abstract	IV
Figurliste.....	XI
Tabelliste	XIII
1 INNLEDNING	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling.....	1
1.3 Avgrensninger	2
1.4 Oppgavens oppbygning	2
1.5 Begrepsavklaring	3
1.6 Symbol og indekser	5
2 TEORI.....	6
2.1 Inneklima	6
2.1.1 Termisk komfort.....	6
2.1.2 Relativ fuktighet.....	8
2.1.3 Stråling og emissivitet.....	10
2.1.4 Lufthastighet: Trekk og turbulens	11
2.1.5 CO ₂	11
2.2 Lufttetthet	12
2.2.1 Vindpåvirkning på bygg	13
2.2.2 Lekkasjetall, n ₅₀	14
2.2.3 Infiltrasjon og eksfiltrasjon	15
2.3 Ventilering	16
2.3.1 Frisklufttilførsel til boligen (luftskifte)	17
2.3.2 Forurensning og filtrering av tilluft.....	18

2.3.3	Balansert ventilasjon	19
2.3.4	Mekanisk ventilasjon.....	19
2.3.5	Hybrid ventilasjon	20
2.3.6	Naturlig ventilasjon	20
2.4	Naturlig ventilasjon, virkemåte og formelverk.....	22
2.5	Energi.....	24
2.5.1	Erfaringtall og energirammer	25
2.5.2	Nye ideer om naturlige bygg	26
2.5.3	Naturlig ventilasjon mot dagens mest brukte ventilasjonsløsninger	28
2.5.4	Automatikk i boligen.....	31
2.6	Måleteknikker og beregninger	33
2.6.1	Differansetrykkmetoden.....	33
2.6.2	Sporgassmetoden.....	35
2.6.3	Dimensjonerende effektivt oppvarmingsbehov, tilluft.....	36
3	METODEBESKRIVELSE.....	38
3.1	Introduksjon av boligen i Hurdal Økolandsby	38
3.2	Måleutstyr og programmer	40
3.2.1	Minneapolis BlowerDoor	40
3.2.2	Multimeter	40
3.2.3	CP11, CO ₂ -måler.....	41
3.2.4	FLIR T620bx Infrared Camera (termograferingskamera)	41
3.2.5	OmniSense	42
3.3	Programmer	43
3.3.1	TECTITE.....	43
3.3.2	Rotronic SW2.1	43
3.4	Testforsøk	44
3.5	Oppsett og gjennomføring	45

3.6	Differansetrykkmetoden	47
3.7	Sporgassmålinger.....	49
3.7.1	Luftskifte og infiltrasjon.....	52
3.7.2	Luftsirkulasjon i ventilasjonssystem	54
3.8	Innhentede data.....	56
3.9	Systematisering av data	56
3.9.1	Bearbeidelse av data.....	56
3.9.2	Fremstilling av resultater.....	56
4	RESULTAT	57
4.1	Forsøksresultater.....	57
4.1.1	Værforhold	57
4.1.2	Lekkasjetall, 29.02.16	57
4.1.3	Termografering: dag 1.....	58
4.1.4	Luftskifte: dag 2, 3 og 5	59
4.1.5	Luftstrøm i bygget: dag 4	61
4.1.6	Infiltrasjon: dag 5	63
4.2	Innhentede data.....	64
4.2.1	Omnisense: CO ₂ , %RF og temperatur ved normal bruk	64
4.2.2	Værdata	65
4.2.3	Energiforbruk	65
4.3	Energiberegninger:	67
4.3.1	Energibruk som følge tilluftskrav	67
4.3.2	Dimensjonerende effektivt oppvarmingsbehov:	68
5	ANALYSE OG DISKUSJON.....	70
5.1	Analyse og diskusjon.....	70
5.1.1	Lekkasjetall	70
5.1.2	Luftskifte	71

5.1.3	Luftstrøm i bygget.....	73
5.1.4	Temperatur og %RF ved normal bruk.....	74
5.1.5	CO ₂ -konsentrasjon i inneluften ved normal bruk.....	75
5.1.6	Ventilasjonsstyring og komfort.....	76
5.1.7	Energibruk.....	78
5.1.8	Overførbarhet av resultater fra B6 til andre bygg	80
5.2	Forbedringspotensialer/Feilkilder.....	80
5.2.1	Feilkilder lekkasjetallsmåling	81
5.2.2	Feilkilder sporgassmålinger	81
5.2.3	Klimadataenes gyldighet	83
6	KONKLUSJON	84
7	VIDERE ARBEID	85
8	KILDER	87
9	VEDLEGG	91
	Vedlegg 1: Plantegninger og snitt	i
	Vedlegg 2: Situasjonsplan.....	iv
	Vedlegg 3: Lekkasjetallsmåling, tettede ventiler	v
	Vedlegg 4: Lekkasjetallsmåling, åpne ventiler	vii
	Vedlegg 5: C _{ventil}	ix
	Vedlegg 6: Termogrammer	x
	Vedlegg 7: Luftskifte	xii
	Vedlegg 8: Luftstrøm i bygg, 03.03.16	xv
	Vedlegg 9 – Infiltrasjon.....	xvii
	Vedlegg 10: CO ₂ , %RF og temperatur ved normal bruk	xviii
	Vedlegg 11: Kart Gardermen og Hurdal Økogrend	xxiii
	Vedlegg 12 – Værdata.....	xxv
	Vedlegg 13 - Energi	xxvii

Vedlegg 14: Resultater testforsøk	xxviii
Vedlegg 15: Erfaringer rundt sporgassmetoden	xxx
Vedlegg 16: Teori fuktbufring og hygroskopiske materialer	xxxiii

Figurliste

Figur 2-1: Sammenheng mellom temperatur, bekledning og aktivitet for å kunne si noe om operativ temperatur. (Blom 1999) Eksempel for vinterstid markert.	7
Figur 2-2: Luftfuktighetsdiagram med kurve for vandampinnhold og damptrykk ved fuktmetning i luft ved ulike temperaturer, metningskurven. (Geving 2005)	9
Figur 2-3: Utvikling av CO ₂ -konsentrasjon i rom ved forskjellige ventilasjonsrater per person. (Mysen 2005).....	12
Figur 2-4: Eksempel på luftlekkasjer (Holøs & Aurlien 2014a)	13
Figur 2-5: Vindpåvirkning på bygg som skaper trykk og sug. (Quirouette & Arch 2004).....	14
Figur 2-6: Eksempel på målte støvmengder ute og inne. (Hestad 2005)	18
Figur 2-7: Eksempel på hybrid ventilasjon. (Førland-Larsen 2014).....	20
Figur 2-8: Ensidig ventilasjon. Illustrasjon fra en vinterdag.(Window Master 2016)	21
Figur 2-9: Cross ventilation (Window Master 2016)	21
Figur 2-10: Stack ventilation.(Window Master 2016)	21
Figur 2-11: Lufttrykkfordeling over høyden i et bygg som følge av skorsteinseffekten. Her det ikke tatt hensyn til lufttrykk som virker på himling og gulv. (Geving 2005)	23
Figur 2-12: Eksempel på beregnet luftmengde i avtrekkskanal. Beregnet med en kanalhøyde på 6m, og en faktor på strømingstap lik 8 ved 25 l/s.(Blom 1994)	24
Figur 2-13: Naturlig klimatisering, hentet fra seminaret "Less is more?", (Stene & Dokka 2016).....	27
Figur 2-14: Foto av bygget "2226", hentet fra Bellona sine nettsider. (Vedeld 2014)	27
Figur 2-15: Årlig energibehov for funksjoner i bygninger, graf av Hans Martin Mathisen . (Lavenergiprogrammet 2016).....	29
Figur 2-16: Sammenheng mellom energibruk, kompleksitet av tekniske systemer og LCC-kostnader.(Førland-Larsen et al. 2016)	29
Figur 2-17: Beregnet energibruk for de 4 alternativene. (Førland-Larsen et al. 2016).....	30
Figur 2-18: Illustrasjon av Zensehome-systemet. (Zensehome 2016)	32
Figur 3-1: Flexit Aero veggventil for frisklufttilførsel.(Aktivhus)	39
Figur 3-2: Blowerdoor-system installert i testbolig. Til venstre er DG700-apparatet med koblinger til vifte og PC. Til høyre er viftesystem installert i ytterdør. Foto: Tonje M. Tredal	40
Figur 3-3: TSI VelociCalc Plus multimeter, bilde fra TSI sine nettsider. (TSI 2005)	41
Figur 3-4: CP11-måler, bilde hentet fra Rotronic sine nettsider. (rotronic).....	41

Figur 3-5: Termograferingskamera T620bx.(FLIR Systems 2012)	42
Figur 3-6: Skjerm bilde av registreringsprogrammet Rotronic SW21.....	43
Figur 3-7: Montering av BloowerDoor-stativ i ytterdør. Foto: Malin Jonasson	47
Figur 3-8: Tetting av tilluftsventil. Foto: Tonje M. Tredal	48
Figur 3-9: Tetting av avtrekk på bad. Foto: Tonje M. Tredal	48
Figur 3-10: Tetting av kjøkkenhette. Foto: Tonje M. Tredal	48
Figur 3-11: Tetting kleberstensovn. Foto: Tonje M. Tredal	48
Figur 3-12: Plassering av forsøksutstyr for luftskifte- og infiltrasjonsmåling, første etasje....	52
Figur 3-13: Plassering av forsøksutstyr for luftskifte- og infiltrasjonsmåling, andre etasje. ...	53
Figur 3-14: Ventil for å porsjonere ut gass fra sodastream-beholder. Foto: Kolbjørn M. Jenssen.....	53
Figur 3-15: Plassering av forsøksutstyr for å detektere luftsirkulasjon i boligen, første etasje.	54
Figur 3-16: Plassering av forsøksutstyr for å detektere luftsirkulasjon i boligen, andre etasje.	55
Figur 4-1: a) Termogram av hjørne i tv-stue, nordvendt fasade, b) Vanlig foto av samme objekt. Foto: Tonje M. Tredal	58
Figur 4-2: a) Termogram av sammenføyning mellom gulv og vegg på sydvendt fasade i stue. b) Vanlig foto av samme objekt. Foto: Tonje M. Tredal	59
Figur 4-3: Luftskifte for de enkelte måledagene.	59
Figur 4-4: Luftskifte for hvert rom. På den vannrette aksene tilsvarer 1 første dagen luftskifte ble målt (01.03), 2 tilsvarer andre dagen (02.03), og 3 tilsvarer tredje dagen (04.03).....	60
Figur 4-5: Vindhastighet plottet mot vindretning de aktuelle måledagene.	60
Figur 4-6: Avtaking av gass og fordeling til de enkelte rommene.	61
Figur 4-7: Vindhastighet plottet mot vindretning 03.03, samt 04.03 da målingen forgikk til morgenen denne dagen.	62
Figur 4-8: Vindrose for Gardermoen i mars. På yttersirkelen er 0° nord, 90° er øst, 180° er syd og 270° er vest. Strekene som strekker seg/ brer seg fra senter viser retning vinden kommer fra og i hvilket hastighetsintervall vinden ligger.	65
Figur 4-9: Faktisk energiforbruk og forbruk korrigert mot temperatur det siste året.....	66
Figur 4-10: Fordeling av forbruk og produksjon av energi for hver måned gjennom bebodd periode (ett år).	67

Tabelliste

Tabell 1-1: Oppsummert innhold.	2
Tabell 1-2: Begrepsavklaringer. Tabellen fortsetter neste side.	3
Tabell 1-3: Symbolforklaring tilknyttet beregningsmetoder.	5
Tabell 2-1: Anbefalte verdier for operativ temperatur. (DIBK 2012a).....	8
Tabell 2-2: Minstrekrav til lekkasjetall i bygninger. (Hole & Aurlien 2013)	15
Tabell 2-3: Energiforbruk i boliger etter undersøkelser av statistisk sentralbyrå. (SSB 2014) 25	
Tabell 2-4: Energibehov og levert energi til aktivhus og passivhus. (Eldjarn 2014).....	31
Tabell 2-5: Minimum varighet av sporgassforsøk.	36
Tabell 3-1: Målemetode, sted og spesifikasjoner for testforsøk.	44
Tabell 3-2: Oversikt over forsøksdatoer, utstyr og spesifikasjoner for gjennomføring.	46
Tabell 3-3: Forsøksoppsett og hensikt for lekkasjetallsforsøk.	49
Tabell 3-4: Vindhastighet forsøksdatoer	50
Tabell 3-5: Gjennomsnittskonsentrasjon ved kalibrering mot uteluft.....	50
Tabell 3-6: Oppnådd startkonsentrasjon i målesone.	50
Tabell 4-1: Vind- og værforhold for Gardermoen, 29.02-04.03	57
Tabell 4-2: Resultat lekkasjetallmålinger der oppvarmet bygningsvolum er benyttet.	57
Tabell 4-3: Trykk i bygningen og temperatur under termografering.	58
Tabell 4-4: Gjennomsnittsverdier for C _N og luftskifte de aktuelle måledagene	59
Tabell 4-5: Klimaforhold/værdata for sporgassmålinger. 03.03 er angitt i blått da det denne dagen ble gjort en annen type måling enn de resterende 3 dagene.	61
Tabell 4-6: Tidspunkt for konsentrasjonspeak for loggere med forsinkelse i forhold til oppholdsrommet.....	62
Tabell 4-7: Luftskifte for oppholdsrom, 03.03.16.....	62
Tabell 4-8: %RF og temperatur målt med CP11	63
Tabell 4-9: %RF og temperatur fra omnisense.	63
Tabell 4-10: C _N og Infiltrasjon, målt 04.03.2016.....	63
Tabell 4-11: Maksimal og minimal CO ₂ -konsentrasjon.....	64
Tabell 4-12: %RF fra omnisense-målere.	64
Tabell 4-13: Temperatur fra omnisense-målere.....	64
Tabell 4-14: Benyttede data til energi-regnestykke	67

1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

I dagens byggenæring er det et sterkt fokus på å bygge tett og å redusere energiforbruk. Dette er svært viktig med tanke på klimautfordringene vi står ovenfor i dag, men det blir ikke utelukkende sett på som noe positivt. Sick Building Syndrome (SBS) blir et mer og mer kjent begrep, og er antatt å ha en sammenheng med svært tette bygg kombinert med mekanisk ventilering som kanskje ikke alltid fungerer som på papiret. I nyere tid har det derfor blitt sett på alternative løsninger til bygningssystemer som bland annet skal gi et bedre inneklima. Det er i denne sammenhengen naturlig ventilasjon med en mer moderne vri har dukket opp i nyere bygninger. Det har oppstått et begrep i bransjen som fremmer bruken av mer naturlige systemer for skape et godt inneklima, så vel som å spare energi – *passiv klimatisering* (se kapittel 2.5). Dette setter fokus på bærekraft og miljø i byggeprosessen og fremmer løsninger som er enklere for brukere av byggene å forstå, og som skal skape et bedre inneklima.

I og med at disse mer "naturlige" bygningene er et relativt nytt fenomen i Norge foreligger det ikke mye data om hvordan inneklima og energibruk i denne bygningstypen vil være i realiteten. Mange er skeptiske til om man klarer å nå kravene i byggeforskriftene om man går såpass langt bort fra dagens anbefalte løsninger. Det er dermed et behov for å dokumentere de overnevnte faktorene for å kunne vurdere om dette er løsninger man bør implementere mer i byggenæringen.

1.2 Problemstilling

Bakgrunnen for dette studiet har, som følge av overnevnte årsaker, vært å forsøke å dokumentere inneklima og energibruk i en bolig som er bygget etter tanken om at et best mulig inneklima ikke nødvendigvis oppnås med avanserte mekaniske løsninger. Dette studiet søker dermed å finne svar på følgende problemstilling:

Hvordan er innklimafaktorer og energibruk i et bygg med naturlig ventilasjon, vurdert mot krav og veiledninger i byggeteknisk forskrift?

For å besvare denne problemstillingen settes følgende underproblemstilling opp:

I hvilken grad kan sporgassmålinger med CO₂ benyttes for å måle reelt luftskifte og andre innklimafaktorer over et begrenset antall måledager?

Underproblemstillingen er direkte knyttet til en av metodene som er benyttet for å besvare hovedproblemstillingen.

1.3 Avgrensninger

I denne oppgaven er det ikke tatt hensyn til alle faktorer som inngår i begrepet *inn klima*, da det var begrenset tid til rådighet, så vel som begrenset tilgang på måleutstyr. Dermed er det valgt ut faktorer som det er mulig å måle, og deretter forsøke å gjøre generelle antakelser ut fra. Disse faktorene er i hovedsak luftskifte, temperatur, luftfuktighet og CO₂-innhold i inneluften. I tillegg er lekkasjetall og infiltrasjonsrate så vidt studert.

Opprinnelig skulle det bli gjort målinger på to bygg i økolandsbyen for å kunne sammenlikne resultatene, og lettere kunne lage en generalisering ut fra dataene. Av diverse grunner ble det ikke mulig å måle i mer enn ett bygg, hvilket gjør det vanskeligere å si noe om gyldigheten av dataene i et generelt perspektiv.

Problemstillingen tar også for seg energibruken for bygningen det ble målt på. Her var det opprinnelig planlagt å gjøre simuleringer i tillegg til å innhente måledata, men tiden strakk dessverre ikke til. Problemstillingen er dermed forsøkt besvart ved hjelp av innhentede data og enkle generelle beregninger.

1.4 Oppgavens oppbygning

Tabell 1-1: Oppsummert innhold.

Kapittel	Oppsummert innhold
2	Relevant teori og beregningsteknikker presenteres.
3	Beskrivelse av benyttet måleutstyr og benyttede metoder, samt fremgangsmåte. Utførelsen av forsøkene beskrives i detalj.
4	Resultater fra forsøk og beregninger presenteres. I tillegg er verdifull erfaring opparbeidet rundt sporgassmetoden beskrevet.
5	Resultatene fremstilt i kapittel 4 analyseres og diskuteres.
6	Konklusjon.
7	Forslag til videre arbeid.
8	Kilder; benyttet litteratur.

1.5 Begrepsavklaring

Tabell 1-2: Begrepsavklaringer. Tabellen fortsetter neste side.

Begrep	Definisjon/beskrivelse
Aktivhus	Det finnes ingen entydig definisjon av begrepet, men i dette studiet er et aktivhus et energi- og klimanøytralt bygg som samtidig ivaretar et godt inneklima og miljøhensyn. Energi, inneklima og miljø inngår som tre likeverdige kvaliteter. Byggene er laget av naturlige materialer og ventilasjonssystemet er smart-naturlig.
Fuktkapasitet	Angir endring i likevektsfuktinnhold ved endring av relativ fuktighet. (Asphaug et al. 2015)
Infiltrasjon	Utsiktede luftlekkasjer gjennom en konstruksjon uten å trykksette bygget/luftstrømmer gjennom utsiktede åpninger i bygningskroppen. (Standard Norge 2012) Benevningen er h^{-1} (eventuelt oms/h) eller m^3/h (eventuelt l/h)
Interne luftlekkasjer	Luftstrømmen fra en sone til en annen innad i et bygg. (Standard Norge 2012)
Lavenergibyg	Bygg med strengere krav til tetthet og energieffektivitet enn TEK10, men ikke så strenge som for passivhus.
Lekkasjetall, n_{50}	Mål hvor mye utsiktet luft som lekker gjennom en konstruksjon gjennom ved trykkforskjell på 50 Pascal mellom ute og inne.
Livsløpsanalyse	Total miljøpåvirkning av et produkt, et bygg eller en prosess.
Lokalt termisk ubehag	Ubehag i de enkelte kroppsdelene, som f.eks. trekk på eksponerte hudoverflater, for kalde/varme føtter, for stor differanse mellom lufttemperatur ved ankel- og hodenivå og/eller sterk strålingsutveksling mellom kroppen og overflater i omgivelsene med forskjellig temperatur. (Blom 1999)
Luftskifte	Et mål på hvor ofte all luft i en sone skiftes ut, evt hvor mange ganger luften skiftes ut i løpet av en time. (Standard Norge 2012) Benevningen er h^{-1} (eller oms/h) eller m^3/h
Nullenergihus	Se definisjon av nullhus under; nullenergihus omfatter kun at energiproduksjon tilsvarer totalt behov per år.

Nullhus	Solcellepanel, solfanger og/eller varmepumpe inkludert, og energiproduksjon tilsvarer totalt har behov per år. Et nullhus skal også være karbonnøytralt når det gjelder utslipp fra materialer, riving og byggeprosess.
Operativ temperatur	Konstruert temperaturmål som kombinerer effekten av lufttemperaturen og strålingsutvekslingen med omgivende flater. Begrepet brukes som et samlet mål på termisk inneklime i forhold til varmekomfort i kroppen som helhet. (Blom 1999)
Passivhus	Bygg med strenge krav til tetthet og energieffektivitet. Krav er fastsatt i Norsk Standard både for boligbygninger (NS 3700) og yrkesbygninger (NS 3701).
Pluss-hus	Mer energi skapes gjennom levetiden enn det som ble brukt til produksjon av byggevarer, oppføring, drift og riving av bygget. Produksjon av energi fra solfangere, varmepumper, vindmøller og solcellepanel er høyere enn huset trenger til oppvarming, varmtvann, elektrisk utstyr og belysning totalt over året.
PMV-indeks	Ventet gjennomsnittlig vurdering av termisk inneklime, basert på en sjutrinns skala fra kaldt til hett. (Blom 1999)
PPD-indeks	Ventet antall misnøyde; prosentvis andel av en gruppe personer som vil være misfornøyd med et gitt termisk inneklime med gitt bekleddning og aktivitet. (Blom 1999)
Termisk inneklime	Fysiske faktorer i inneklimeet som har innflytelse på vår termiske komfort, som lufttemperatur, temperatur på omgivende flater/strålingstemperatur, lufthastighet og luftfuktighet. (Blom 1999)
Termisk komfort	Også kalt varmekomfort. Subjektiv følelse eller sinnstilstand der en er tilfreds med de termiske omgivelsene. (Blom 1999)
Varmekapasitet	Angir hvor stor endring i varmeinnhold som følger av en temperaturendring i materialet. (Asphaug et al. 2015)

1.6 Symbol og indekser

Tabell 1-3: Symbolforklaring tilknyttet beregningsmetoder.

Symbol	Enhet	Forklaring
[Sporgassmåling]		
$C(t)$	ppm	Konsentrasjon av CO ₂ ved gitt tidspunkt
$C(0)$	ppm	Konsentrasjon ved starttidspunkt for måling
C_0	ppm	Utekonsentrasjon av CO ₂
C_n	-	Normalisert CO ₂ -konsentrasjon
[Differansetrykkmålinger]		
C_{env}	$m^3/(h \cdot Pa^n)$	Luftstrømskoeffisient
C_L	$m^3/(h \cdot Pa^n)$	Luftlekkasjekoeffisient
q_{50}	m^3/h	Luftlekkasje ved 50 Pa
V	m^3	Internt volum
Δp	Pa	Indusert trykkdifferanse
Δp_0	Pa	Trykkforskjell ved null-strømning
$\Delta p_{0,1}$	Pa	Null-strøm trykkdifferanse før test (utstyr for luftbevegelse avskrudd)
$\Delta p_{0,2}$	Pa	Null-strøm trykkdifferanse etter test (utstyr for luftbevegelse avskrudd)
Δp_m	Pa	Målt trykkdifferanse
[Andre beregninger]		
Φ_i	kW	Dimensjonerende effektbehov til oppvarming
$\Delta\theta_{dim}$	°C	Dimensjonerende temperaturdifferanse
θ_{DI}	°C	Dimensjonerende varmeste utetemperatur
θ_{DU}	°C	Dimensjonerende kaldeste utetemperatur

2 TEORI

Dette kapittelet inneholder et litteraturstudie. Det tar for seg temaer som ble ansett som nødvendige for å bygge opp en forståelse for å besvare problemstillingen, og legge et grunnlag for å diskutere resultatene studiet kommer frem til.

2.1 Inneklima

Inneklima er et samlebegrep på fysiske faktorer i et bygg som er målbare ved forsøk. Mennesker befinner seg innendørs store deler av livet, og inneklimaet blir dermed svært viktig. Et dårlig inneklima vil kunne gi helsemessige plager av varierende grad. Kjell Aas skriver i sin bok "Godt inneklima" om flere av plagene man vil kunne oppleve. Han deler også inneklima inn i 5 hovedgrupper;

- Temperatur (det termiske inneklimaet), som innebærer lufttemperatur, strålingstemperatur, luftfuktighet og lufthastighet, sammen med de to personfaktorene aktivitetsnivå og påkledning.
- Inneluft (det atmosfæriske inneklimaet), som går på luftkvalitet og mangfoldet av forurensninger i inneluften.
- Lyd (det akustiske inneklimaet), det vil si alt som er av betydning for akustikken i rommet.
- Stråling (det aktiniske inneklima), som omhandler belysning, elektromagnetisk miljø og radioaktiv stråling (radon).
- Innredning, tilrettelegging og utstyr inne (det mekaniske eller ergonomiske inneklimaet), som går på fremkommeligheten i bygget.

I dette studiet er det i hovedsak sett på faktorer som inngår i de to første punktene, temperatur og inneluft, mens de andre gruppene tas med i mindre grad når bygget i Hurdalen vurderes.

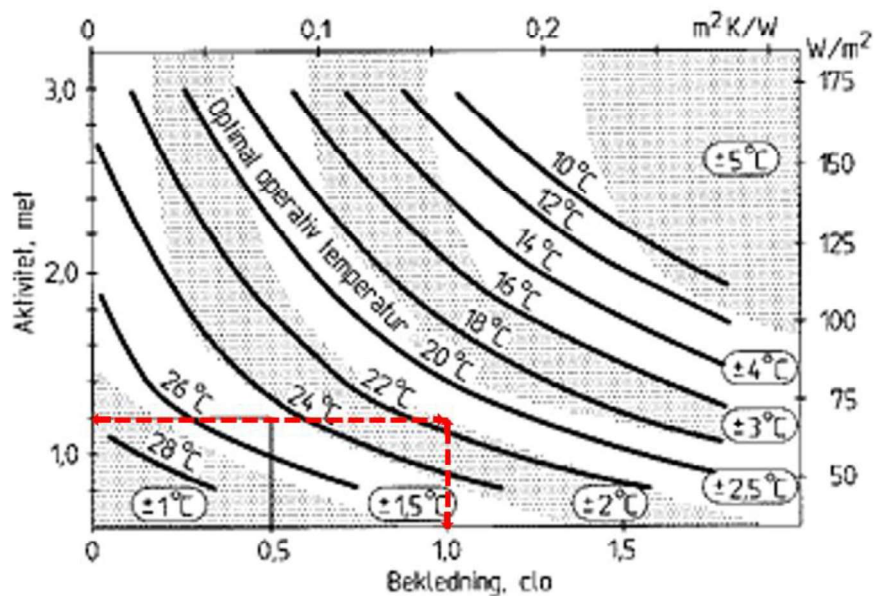
2.1.1 Termisk komfort

Termisk komfort, ofte også kalt varmekomfort, er en subjektiv følelse eller sinnstilstand der vi er tilfreds med de termiske omgivelsene (Blom 1999). Når man opplever termisk komfort er man fornøyd med omgivelsene i den tilstanden de er. Termisk komfort er avhengig av aktivitetsnivå, bekledning og det termiske inneklimaet.

Mennesker produserer varme avhengig av aktivitetsnivå. Denne varmeproduksjonen vil virke inn på hvordan temperaturen i et rom oppleves, og regnes ofte i måleenheten "met", der 1 met er 58 W/m².

Påkledning vil også virke inn på opplevelsen av komfort da klær isolerer og dermed er med på å regulere kroppens varmetap. Varmeledningsmotstanden oppgis i m²K/W eller i clo, som er en relativ enhet.

Tabeller over typiske verdier på varmeproduksjon på grunn av aktivitet og isolasjonsevnen til forskjellig bekledding finner man i byggforskblad 421.501. For vinterstid er normal innendørs bekledding antatt å ha en isolasjonsevne på 1 clo. Aktivitetsnivå i boliger antas å være "stillesittende", hvilket gir en antatt varmeproduksjon på 1,2 met (eller 70 W/m²). Hva slags bekledding man har, og hvor mye aktivitet man er i vil være avgjørende for å bestemme hva optimal temperatur beregnes etter bekledding og aktivitetsnivå. (Blom 1999) I Figur 2-1 er eksempel på operativ temperatur på vinterstid markert i rødt.



Figur 2-1: Sammenheng mellom temperatur, bekledding og aktivitet for å kunne si noe om operativ temperatur. (Blom 1999)
Eksempel for vinterstid markert.

De svarte linjene i Figur 2-1 er tilstander hvor PMV er null for gitt operativ temperatur. Skraverte og hvite felter markerer temperaturintervaller rundt optimal operativ temperatur hvor PMV ligger i intervallet ±0,5. Dette tilsvarer mindre enn 10 % misfornøyde. (Blom 1999)

Selv om det er flere faktorer som spiller inn på hva som oppleves som en behagelig temperaturen, gis det i veiledning til teknisk forskrift anbefalte temperaturintervaller:

Tabell 2-1: Anbefalte verdier for operativ temperatur. (DIBK 2012a)

Aktivitetsgruppe	Lett arbeid	Middels arbeid	Tungt arbeid
Temperatur °C	19-26	16-26	10-26

Til tross for at de anbefalte temperaturintervallene går helt opp til 26 grader er det anbefalt at temperaturen holdes under 22°C når det er et oppvarmingsbehov. Både for høy og for lav temperatur kan forårsake både komfort- og helseproblemer. Med høye temperaturer vil luften ofte oppleves som tørr. Om det i tillegg er høy luftfuktighet vil husstøvmidd og mikroorganismer kunne vokse i boligen, så vel som at det vil kunne gi økt emisjon fra overflatematerialer. (Direktoratet for byggkvalitet 2016)

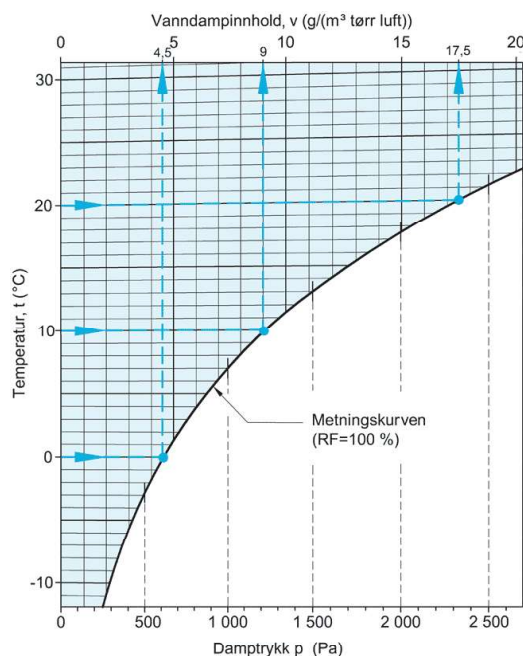
Opplevelsen vi får av et rom er altså sterkt avhengig av både temperaturen og fuktigheten i luften. I tillegg vil lufthastigheter i bygget, som følge av for eksempel trekk fra vinduer (se kapittel 2.1.4), kunne føre til komfortproblemer.

2.1.2 Relativ fuktighet

Fuktinnhold i luften virker inn på bygningsmaterialenes egenskaper og levetid, samt at det har en innvirkning på komfort. Gjennom studier er det vist at med tanke på opplevd luftkvalitet oppfattes tørr og/eller kjølig luft som friskere enn luft som er varmere og/eller fuktigere. (Fang et al. 2004) Det er ikke bare for opplevd kvalitet av inneluften at kontroll med luftfuktigheten i boligen er viktig; vanninnholdet i luften kan også skape kondens og fuktskader (som råte og muggsopp) på innvendige overflater og i bygningskonstruksjonene. Kravene til luftskifte i bygg er opprinnelig satt for å hindre problemer knyttet til fuktproblematikk i bygninger. (Mysen 2015b)

Opptak og avgivelse av fuktighet fra materialer til og fra luften kan virke inn på inneklimate og gi fuktbetingede bevegelser i mange byggematerialer, se Vedlegg 16 om fuktbufring og hygroskopiske materialer. Luft inneholder alltid fuktighet i form av usynlig vanndamp. Hvor mye vanndamp det er snakk om er svært avhengig av temperaturen. Ved en gitt temperatur er det en øvre grense for hvor mye vanndamp luften kan inneholde; *metningsinnholdet* (g/m^3 luft) eller *metningstrykket* (Pa). Hvis temperaturen øker, øker metningstrykket – altså kan luften inneholde mer vann. Ofte oppgis fuktinnholdet som relativ fuktighet (RF), og er vanninnholdet i prosent av det maksimale ved den aktuelle temperaturen. Bygningsmaterialers opptak og avgivelse av vanndamp bestemmes av den relative fuktigheten, og ikke av absolutt fuktighet. Fuktig luft som avkjøles får høyere RF. Når luften avkjøles til den temperaturen hvor

metningstrykket er lik vanndamptrykket i lufta når, vil RF nå 100% - dette kalles *duggpunktstemperatur*, eller bare *duggpunktet*. (Edwardsen & Ramsland 2010) Figur 2-2 under viser et luftfuktighetsdiagram der metningspunkt og generelt vanndampinnhold som følge av trykk og temperatur kan bestemmes.



Figur 2-2: Luftfuktighetsdiagram med kurve for vanndampinnhold og damptrykk ved fuktmetning i luft ved ulike temperaturer, metningskurven. (Geving 2005)

Utendørs luftfuktighet

RF i uteluften blir registrert av værstasjoner. Det er lite svingninger i gjennomsnittlig relativ fuktighet gjennom året, mens den absolute luftfuktigheten (fuktinnholdet) kan variere langt mer. Den relative fuktigheten er normalt lavest om våren og høyest sent om høsten og vinteren. Man finner de største variasjonene i kystklima. RF varierer også over døgnet, med en høyere verdi om natten enn om dagen. I regnvær og tåke vil det være bortimot metning, det vil si 90-100% RF. (Edwardsen & Ramsland 2010)

Innendørs luftfuktighet

Den relative fuktigheten i boliger anbefales å bli holdt i området 20–70 % om sommeren, og i området 20-40 % om vinteren. (Asphaug et al. 2015) Mengden vanndamp i innelufta bestemmes av tilstanden på den luften man ventilerer med (utelufta), luftskiftet og fukttilskuddene man har innendørs. Disse tilskuddene kan komme fra fordampning fra mennesker, dyr og planter, vasking og tørkning av klær, bading/dusjing og matlaging. Om vinteren er den relative luftfuktigheten langt lavere inne enn ute hvis det ikke tilføres ekstra

vanndamp. Dette kan forklares av at kald uteluft som kommer inn gjennom ventilasjonsanlegget varmes opp og på denne måten får en økt evne til å ta opp fukt. Kald luft som strømmer inn i bygg virker dermed uttørkende på materialer. (Edwardsen & Ramsland 2010)

Vanndampinnholdet i inneluften kan beregnes på følgende måte:

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

der:

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

Ved fukttilskudd, Δv , over ca. 5 g/m^3 i en bolig er faren ekstra stor for kondens og fuktskader. (Geving 2005) Hvis fuktproduksjonen øker, øker også fukttilskuddet, men hvis ventilasjonen (luftskiftet) øker, vil fukttilskuddet minke.

2.1.3 Stråling og emissivitet

Alle materialer med en overflatetemperatur som er over det absolutte nullpunkt, $-273 \text{ }^\circ\text{C}$ (0°K), sender ut varmestråling. (Birkelind) Ved normale temperaturer ligger varmestrålingen i det infrarøde området, som er et lavere frekvensområde enn øyet kan se. Alle overflatene i et bygg avgir stråling som vil kunne påvirke opplevelsen av temperatur og behag for brukeren av bygget. Stråling forårsakes ikke bare av emisjon på grunn av temperatur, stråling kan også reflekteres fra og slippe (transmitteres) gjennom materialer. Der stråling på grunn av materialtemperatur er dominerende, vil man ha en høy emissivitet, det vil si høyere enn 0,85. (Holøs & Aurlien 2014b) Stråling i bygninger kan registreres ved bruk av termograferingskameraer.

Fra Store norske leksikon (Guttormsen 2009) finner man at *en perfekt absorbent har emissivitetsverdi $\varepsilon = 1$ og vil se ut som et svart legeme*. For å kunne si noe om avgitt varmestråling fra materialer kan man bruke et termograferingskamera for å få ut termogrammer. Dette er nærmere beskrevet i kapittel 3.2.4

2.1.4 Lufthastighet: Trekk og turbulens

Lufthastigheter i et bygg er en viktig faktor for komfort. I moderne boliger måles det sjeldent lufthastigheter over 0,2 m/s i oppholdssonen i moderne bygninger. Turbulensintensiteten varierer normalt mellom 30 og 60 % i lokaler med mekanisk omrøringsventilasjon. Ved bruk av naturlig ventilasjon vil både turbulensintensiteten og lufthastighetene være lavere. Dette gjelder for øvrig også for rom med fortrenningsventilasjon. (Blom 1999) Høye lufthastigheter og turbulens vil kunne gi ubehag for brukerne av bygget, og det er dermed viktig å unngå dette så langt det er mulig.

Turbulens oppstår som regel i de nærliggende områdene rundt hull/åpninger i bygningskroppen. Når en fasade blir utsatt for vindpåkjenninger vil luften strømme inn/presses inn gjennom åpningene. Ved små åpninger vil påkjenningen bli større og man får mer turbulens ved utløp enn om åpningen er stor og luften kan strømme rett gjennom. Dette skyldes at når åpningen blir mindre må luften presses fortere gjennom åpningen da transporten er kontant over tiden. Hvis luftstrømmen gjennom åpningen hele tiden er konstant, er strømmen stasjonær, eller *laminær*. Hvis luftmengden gjennom lengden på en åpning er konstant over tid, men farten i et punkt likevel ikke er konstant, har vi en *turbulent* strømning. Turbulens oppstår når strømningsfarten er stor eller når strømmen passerer legemer eller skarpe kanter. (Grimenes et al. 2010)

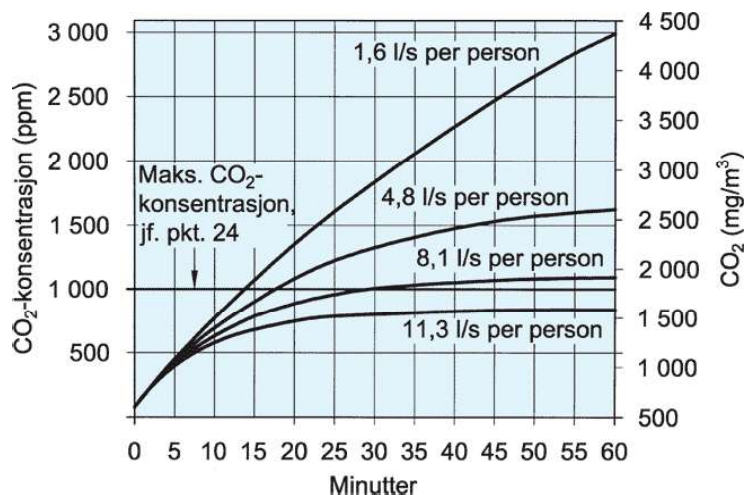
2.1.5 CO₂

Karbondioksid, CO₂, er en gass som dannes både av naturlige og menneskeskapt prosesser. I naturen kan CO₂ forekomme både i bundet og fri form. I gjennomsnitt inneholder luften 0,04 volumprosent karbondioksid. Innholdet i flytende og fast vann (hydrosfæren) er ca. 50 ganger så høyt som dette. Karbondioksid dannes i forbrenningsprosesser, også i kroppen. Ved utånding vil lufta inneholde ca. 4% CO₂. (Haraldsen & Pedersen 2016) Vanlig bakgrunnsnivå av CO₂, altså konsentrasjonen som finnes i uteluften, ligger på ca. 400-450 ppm (parts per million). (DIBK 2012b)

Mennesker produserer om lag 15-20 liter karbondioksid (CO₂) per time ved utånding. Mengden av CO₂ i inneluften blir ofte benyttet ofte til å si noe om luftens kvalitet, da det kan si noe om hvor hurtig forurensinger transporteres ut av boligen. Konsentrasjon forårsaket av utånding blir ofte brukt som en indikator på intensiteten av andre bio-effluenter fra beboere som er vanskeligere å måle, som for eksempel kroppslukter. Konsentrasjonen av CO₂ i inneluften er avhengig av antall personer som er tilstede, rommets størrelse og av ventilasjonsgraden (luftskiftet). I veiledning til teknisk forskrift blir det anbefalt at ved maksimal personbelastning

bør ikke CO₂-innholdet i luften ligge mer enn 500 ppm over uteluftens konsentrasjon. (DIBK 2012b) Det er satt en normativ konsentrasjonsgrense på 1000 ppm når CO₂ brukes som indikator på intensiteten av kroppslukter i skoler, men denne verdien anbefales å justere etter aldersgruppe og aktivitetsnivå. (Mysen 2005)

TEK10 krever at det tas hensyn til dimensjonerende forurensningsbelastning fra personer. Minstekravene til luftmengder gjelder for en stillesittende person, eller en person i lett arbeid (forutsatt voksne mennesker), og om aktiviteten øker må også luftmengdene økes. I mange ventilasjonssystemer styres luftmengdene etter CO₂-konsentrasjon i inneluften. Det er mulig å beregne nødvendig luftmengde i en bolig ved forskjellige aktiviteter etter formel [654] i byggdetaljer 421.503, hvor det tas hensyn til CO₂-produksjon ved ulike aktivitetsnivåer. (Mysen 2015a) Figur 2-3 viser eksempler på hvordan ventilasjonsrate og CO₂-konsentrasjon henger sammen.

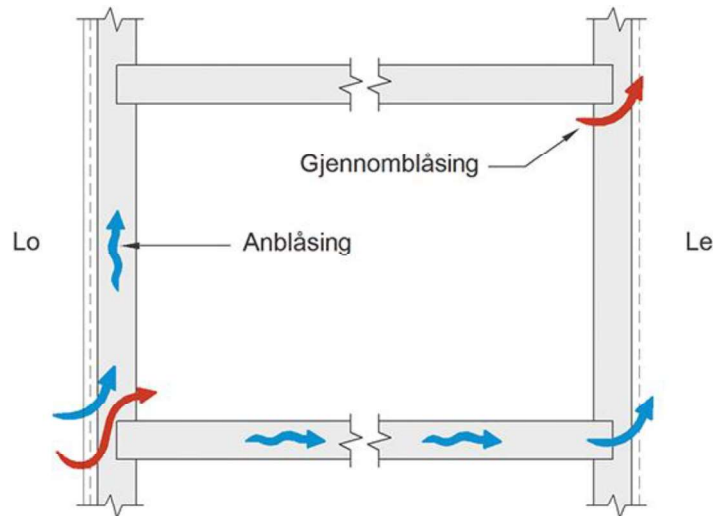


Figur 2-3: Utvikling av CO₂-konsentrasjon i rom ved forskjellige ventilasjonsrater per person. (Mysen 2005)

2.2 Lufttetthet

Dagens krav til energieffektivitet forutsetter svært lufttette bygninger. Lufttetting av en bygning skal gjøres ved å ha minst et sammenhengende sperresjikt der materialer, sammenføyninger og gjennomføringer sikrer god lufttetthet. Hvor lufttett en bygning er vil ha innvirkning på energibehov til oppvarming og kjøling, fuktskader, opplevelsen av komfort i bygget, brann, radon, lukt, forurensninger og smittespredning. (Holøs & Aurlien 2014a) For å si noe om hvor tett en bygning er blir ofte lekkasjetall og lekkasjeluftmengder målt, se kapittel 2.2.2.

Det skilles mellom to typer luftlekkasjer; gjennomblåsning og anblåsing.

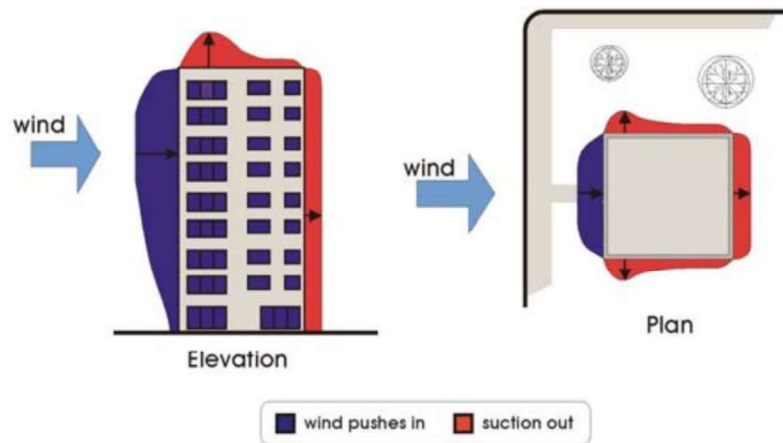


Figur 2-4: Eksempel på luftlekkasjer (Holøs & Aurlien 2014a)

Ved *anblåsing* strømmer luften gjennom bygningens ytre tettesjikt, altså vindsperren, og inn i isolasjonen et sted i konstruksjonen, for så å strømme ut gjennom åpninger i vindsperren igjen et annet sted. Når luft beveger seg i isolasjonen vil isolasjonsevnen reduseres og man får økt varmetap. Denne typen luftlekkasje oppstår som følge av varierende vindtrykk langs dampsperran. Når luften strømmer hele veien inn og ut gjennom klimaskjermen er det snakk om *gjennomblåsning*. Dette kalles infiltrasjon og eksfiltrasjon. Det er når man har temperatur- og trykkforskjeller mellom utside og innside av et bygg at denne typen luftlekkasje oppstår. (Holøs & Aurlien 2014a)

2.2.1 Vindpåvirkning på bygg

Størrelsen på luftlekkasjene påvirkes av trykkforskjellene over bygningskroppen. Ved et innvendig undertrykk vil luft trekkes inn gjennom bygningskroppen, mens med et innvendig overtrykk vil luften presses ut i konstruksjonen. Når vinden treffer en bygning vil hastigheten raskt gå over til økt trykk på bygningsfasaden. Selv om vindhastigheten minker på den vindusatte siden av bygningen, vil den sannsynligvis øke på sidene og over bygget. Her vil trykket minske, og danne et sug på bygningsfasaden. (Quirouette & Arch 2004)



Figur 2-5: Vindpåvirkning på bygg som skaper trykk og sug. (Quirouette & Arch 2004)

Dette kan føre til innvendig trykk i bygningen øker eller minker, alt etter hvor mange åpninger det er i bygningskroppen. Generelt vil man få et lite undertrykk i bygget hvis åpningene er jevnt fordelt (det vil si et trykk som ligger under barometrisk trykk, eller utendørs lufttrykk). (Quirouette & Arch 2004)

Det er imidlertid også relevant å se på trykkforskjellene over en klimaskjerm som følge av vind i sammenheng med trykkforskjellen som oppstår på grunn av temperaturforskjeller. Dette er nærmere beskrevet i kapittel 2.3.6 og kapittel 2.4 om naturlig ventilasjon.

2.2.2 Lekkasjetall, n_{50}

Lekkasjetall brukes som et mål på bygningers tetthet. Det er en normalisert verdi som gjør det mulig å sammenligne forskjellige bygninger. Lekkasjetallet, n_{50} , beregnes ved å dividere lekkasjeluftmengden med bygningsvolumet (Holøs & Aurlien 2014a):

$$n_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{V} \quad [\text{oms/h}]$$

Der \dot{V}_{50} er lekkasjeluftmengde [m^3/h] ved 50 Pa, og V er innvendig volum. NS3031 og ISO9972:2015(E) definerer dette volumet forskjellig; NS3031 definerer volumet som *oppvarmet volum* mens ISO-standarden definerer det som bygningens totale innvendige volum (se kapittel 2.6.1).

TEK10 angir i §14.3 et minimumskrav til hvor stor denne verdien kan være, se Tabell 2-2. Bygg som kategoriseres som *lavenergibyg* eller *passivhus* har et strengere krav til lekkasjetall enn "normale" bygninger. Årsaken til dette er at større lekkasjer vil gi et større oppvarmingsbehov,

da tilluften ikke varmes opp av varmegjenvinneren i anlegget før den kommer inn i boligen, som igjen vil føre til et høyere energiforbruk.

Tabell 2-2: Minstrekrav til lekkasjetall i bygninger. (Hole & Aurlien 2013)

Energiambisjon	Lekkasjetall ved 50 Pa trykkdifferanse (h^{-1})
TEK10, energiltak:	
småhus	2,5
øvrige bygninger	1,5
TEK10, minstekrav ved omfordeling av varmetap og ved energiramme (alle bygningstyper)	3,0
NS 3700 for boligbygninger, minstekrav:	
– Passivhus	0,6
– Lavenergibygning klasse 1	1,0
– Lavenergibygning klasse 2	3,0
NS 3701 for yrkesbygninger, minstekrav:	
– Passivhus	0,6
– Lavenergibygning	1,5

I nye TEK10 blir imidlertid kravene til tetthet enda strengere. Da er maksimalt tillatt lekkasjetall satt til $n_{50} = 1,5$ i stedet for 2,5 for alle boliger.

2.2.3 Infiltrasjon og eksfiltrasjon

Infiltrasjon defineres i dette studiet som ukontrollert tilførsel av uteluft gjennom utiltenkte/uforutsette åpninger i bygningskroppen *uten at bygget er trykksatt, og med alle tiltenkte åpninger tettet*. Infiltrasjon drives gjennom trykkforskjeller over klimaskjermen som forårsakes av vær (vind og temperatur) og driften av bygningssystemer som vifter og ventilerte forbrenningssystemer. For lave bygninger er det spesielt pekt på at varierende vind ser ut til å styre infiltrasjonsraten, og da i hovedsak turbulens som skaper vindkast. Varierende vind resulterer i et ujevnt strømningsfenomen som påvirker den momentane luftstrømmen gjennom sprekker og åpninger, og fører til et avvik fra gjennomsnittet. (Kraniotis et al. 2014) Eksfiltrasjon er luftstrømmer fra innsiden til utsiden av et bygg gjennom uforutsette åpninger (som for infiltrasjon)

I store bygninger vil ikke infiltrasjon/eksfiltrasjon utgjøre en stor del av byggets lekkasjer, mens det har mer å si for mindre bygninger – som boligbygg. I små bygninger kan dette være en av de dominerende faktorene for luftlekkasjer og energibruk i bygninger. (Deru & Burns 2003) Luft som strømmer gjennom utilsiktede åpninger i klimaskjermen vil gjøre at isolasjonsevnen i konstruksjonen reduseres, så vel som at man kan oppleve trekk og at ufiltrert uteluft kommer inn i bygget. Det vil også gi et tilskudd til luftskiftet, så vel som at det kan skape fuktproblemer

ved at fuktig luft trekkes inn i ytterkonstruksjonen fra innsiden og kondenserer. (Edvardsen & Ramsland 2010)

Det finnes flere måter å beregne infiltrasjonsluftmengden på, så vel som at den er mulig å måle ved f.eks. sporgassforsøk (se 2.6.2). Tre vanlige måter å anslå infiltrasjonsraten på uten å gjøre målinger er:

- a) Lekkasjetall dividert på 15: $n_{50}/15$ (Dokka & Andresen 2006)
- b) Å beregne mengden etter formel i NS3031, kapittel 6.1.1.1.5 (men denne er basert på mekaniske ventilasjonsanlegg og er dermed ikke aktuell i denne oppgaven).
- c) Ved å bruke figur 4.2.13 s. 82 i Håndbok 53 Trehus (Edvardsen & Ramsland 2010).

2.3 Ventilering

Ventilasjon kommer av ordet ventil og refererer til luftfornyelse i oppholdsrom. Med ventilasjon kan man ha kontroll på temperatur, fuktighet og forurensning i inneluften, alt etter hvor omfattende anlegget er. (Rørstad & Havellen 2009)

Man skiller gjerne mellom "komfortventilasjon" og "industriventilasjon". Komfortventilasjon har til hensikt å gi best mulig romklima, mens et industriventilasjonsanlegg er tilpasset industrielle prosesser. (Rørstad & Havellen 2009) Byggeforskriftene inneholder krav til materialbelastning (bygningmaterialer, inventar og installasjoner), minimum frisklufttilførsel til lokaler ut fra personbelastning, samt forurensning fra prosesser og aktiviteter i lokalet.

Om et ventilasjonsanlegg er utformet riktig trekkes luften ut fra rommene med mest luftforurensinger (som luktstoffer, gasser, røyk, fettdamper og vanndamp), og friskluft tilføres rom med størst krav til ren og luktfri luft (rom for varig opphold, f.eks. soverom, stue og kontor). For å oppnå dette må avtrekksventiler plasseres på kjøkken, toalett, baderom og andre våtrom. Den friske luften som tilføres bygget må drives videre til rommene med avtrekk. Hvordan dette foregår er avhengig av hvilket ventilasjonssystem man velger. Ved å føre luften fra "rene" til "forurensede" rom blir den nyttiggjort i flere rom på veien mot avtrekkspunktene. (Mysen 2015b)

Det stilles flere krav til utforming og drift av ventilasjonsanlegg som må etterfølges i byggeprosjekter. Fra §13 i forskrift om tekniske krav til byggverk finnes blant annet generelle krav til ventilasjon:

§ 13-1. Generelle krav til ventilasjon

(1) Bygning skal ha ventilasjon tilpasset rommenes forurensnings- og fuktbelastning slik at tilfredsstillende luftkvalitet sikres. Luftkvalitet i bygning skal være tilfredsstillende med hensyn til lukt og forurensning. Inneluft skal ikke inneholde forurensning i skadelige konsentrasjoner med hensyn til helsefare og irritasjon. Det skal tas hensyn til romtype, innredning, utstyr og forurensningsbelastning fra materialer, prosesser, personer og husdyr.

2.3.1 Frisklufttilførsel til boligen (luftskifte)

TEK10 krever at boenheter skal ha ventilasjon som sikrer en gjennomsnittlig minimum frisklufttilførsel i hele boligen og setter også minimumskrav til frisklufttilførsel til soverom når de er i bruk. Om boligen ikke er i bruk, det vil si at den er ubebodd, blir krav til frisklufttilførsel mindre. Det kreves også at sanitærrom, våtrom og kjøkken skal ha avtrekk med tilfredsstillende effektivitet. (Mysen 2015b)

Kravene i TEK10 sier at man må sikre en gjennomsnittlig frisklufttilførsel på minst 1,2 m³ per time per m² gulvareal når boenheten er bebodd. Fra veiledningen til §13-2 i TEK10 finner man at kravet gjelder som et gjennomsnitt over døgnet. (Direktoratet for byggkvalitet 2016) For en bolig på 150 m² tilsvarer dette da en frisklufttilførsel på 180 m³/h. Bakgrunnen for kravet er å unngå problemer forbundet med fukt i boligen, som nevnt i kapittel 2.1.2.

Soverom skal tilføres minst 26 m³ friskluft per time per person når rommet er i bruk. (Mysen 2015a) Dette kravet er ikke satt på bakgrunn av fuktproblemer, slik som overstående krav. Dette kravet henger sammen komfort og forurensninger, og er den beregnende luftmengden som trengs for tynne ut CO₂-nivået forårsaket av utånding til en konsentrasjon under 1000 ppm. (Direktoratet for byggkvalitet 2016) Det kan anses som ok om konsentrasjonen overskrider 1000 ppm i kortere perioder, men om den øker til over 2000 ppm i mer enn korte perioder av en dag, anses ventilasjonen for å være utilstrekkelig. (Larsen et al. 2006)

Et annet mål på hvor stor ventilasjonsraten bør være er luftskifte målt i luftvekslinger/luftomsetninger per time (oms/h eller h⁻¹). Dette kravet ligger i Norge på et minimumsnivå lik 0,5 oms/h.

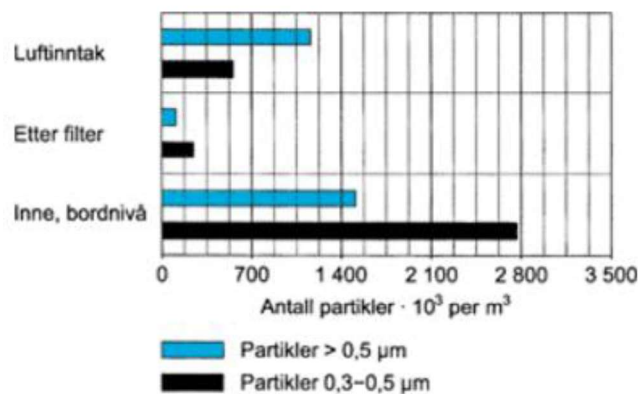
Kravene til luftskifte varierer etter hvilket land man bygger i. (Dokka et al. 2009) Danmark har satt krav til at totalt luftskifte i boligen må være minimum 1,08 m³/m²h (0,3 l/s per m²

oppvarmet BRA). I Sverige er kravet tilnærmet likt det norske kravet på 1,2 m³/h (0,35 l/s per m² oppvarmet BRA). (Mondrup et al. 2012)

2.3.2 Forurensning og filtrering av tilluft

Ved prosjektering av en bygning er det viktig å ta hensyn til lokasjon, bruk av bygningen og brukernes behov i hvert enkelt tilfelle. I boliger vil ofte forurensningen fra mennesker og materialer avgjøre ventilasjonsbehovet. Kvaliteten på inneluften vil også være avhengig av kvaliteten på uteluften. (DIBK 2012b) Uteluften inneholder en rekke partikler som dels stammer fra naturlige prosesser som vinderosjon, og dels er fra menneskeskapte prosesser, som forbrenningsprodukter fra trafikk og støv fra veislitasje og industrielle prosesser. Ved analyser av uteluften vil man vanligvis finne sot og røyk, kvarts, leire, spor av forvitrede dyr og planter, organisk materiale og metallfragmenter. I tillegg inneholder luften som regel også bakterier, sopp sporer og pollen. (Hestad 2005)

Innholdet av partikler i lufta varierer fra sted til sted. Forurensningen er f.eks. høyere i byer enn i mer landlige områder. Men selv i byene er ofte konsentrasjonen av forurensninger lavere ute enn inne i boligen. (Hestad 2005) Likevel er det viktig å filtrere uteluften, spesielt med av hensyn til personer med helseplager. Mer enn 40% av Norges befolkning opplever allergiske reaksjoner i løpet av livet. Tallet på folk med overfølsomhet er ikke kjent. Vanlige allergener i uteluften er muggsopper, enkelte metaller og pollen fra gress og trær. (NAAF 2016a) Overfølsomhet kan også forårsakes av ting man puster inn. Astma er også en helseplage som blir mer og mer vanlig, og som kan forverres i pollensesongen. (NAAF 2016b) Det anbefales dermed å ikke benytte seg av lufting via vinduer på dagtid i pollensesongen, da utslippene er størst da. (NAAF 2013) Figur 2-6 viser eksempler på støvmengder ute og inne.



Figur 2-6: Eksempel på målte støvmengder ute og inne. (Hestad 2005)

Pollen, sammen med andre allergener, brukes ofte som et av hovedargumentene mot bruk av naturlig ventilasjon. Godt innklima som følge av mekanisk ventilering forutsetter at luftfiltrene ikke skaper forurensninger ved å være tilsmusset eller liknende. Men i mange tilfeller har tilstrekkelig renhold av filtre vist seg å være vanskelig, da utformingen av kanalsystemer og komponenter gjør det vanskelig å komme til. (Dokka et al. 2001) I dette tilfellet vil partikler som har samlet seg på filteret kunne redusere kvaliteten på inneluften.

Under følger en introduksjon av de mest brukte ventilasjonssystemene i dag, etterfulgt av en grundigere utredning om virkemåten i et naturlig ventilasjonsanlegg da dette er utgangspunktet for problemstillingen.

2.3.3 Balansert ventilasjon

I et balansert ventilasjonsanlegg kontrolleres både mengden tilluft og avtrekksluft ved hjelp av elektriske vifter, og luftmengden i de enkelte rom kan bestemmes. Et slikt anlegg består av et viftesystem med tur- og returkanaler som leverer frisk rensert luft og trekker ut brukt luft. Systemet inneholder en varmegjenvinner som overfører varme fra brukt luft til frisk luft før den tilføres boligen gjennom ventilasjonskanaler og ventiler. Varmegjenvinneren må ha en temperaturvirkningsgrad på minst 70 % (økes til 80% fra 01.01.2016). (DIBK 2015)

Ved bruk av baderom eller kjøkkenhette øker ventilasjonsbehovet, og ventilasjonen må forseres (økes til det nye behovet). (Mysen 2015b)

I leilighetsbygg kan hver boenhet (leilighet) ha hvert sitt individuelle anlegg, som i prinsippet utføres som anlegg i småhus. Det finnes også leilighetsbygg med løsninger der man har et sentralt anlegg som dekker flere boenheter. (Mysen 2015b)

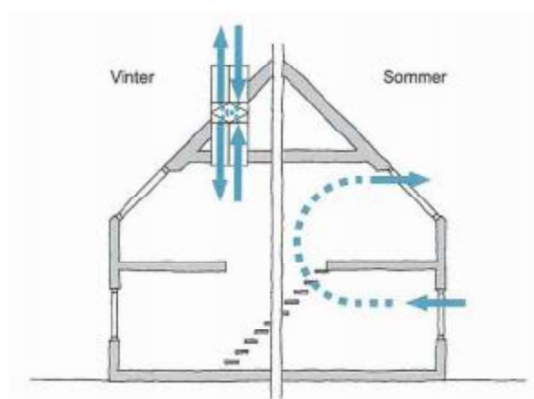
Det er mulig å installere balanserte ventilasjonsanlegg som behovsstyres. Det vil si at systemet regulerer luftmengdene etter behov, utover bruk av forsering av avtrekk eller regulering av totalluftmengden med en hovedbryter. Ved behovsstyrt ventilasjon er det aktive ventiler som regulerer luftmengden etter tilstedeværelse eller sensormålte verdier. (Mysen 2015b)

2.3.4 Mekanisk ventilasjon

Mekaniske ventilasjonsanlegg fungerer omtrent likt som et naturlig ventilasjonssystem. Frisk luft tilføres bygget gjennom vinduer, ventiler og utettheter, men i stedet for å ha avtrekk som kun baserer seg på termisk oppdrift og trykkforskjeller installeres det mekanisk(e) avtrekksvifte(r) som regulerer luftmengden. Disse forsterker skorsteineffekten, og øker dermed risikoen for trekk ved ventilåpningen og utettheter da hastigheter og trykkforskjeller blir større.

2.3.5 Hybrid ventilasjon

Annex 35 definerer hybrid ventilasjon som "et system som bruker både naturlige og mekaniske krefter for å minimere energibruken, men som likevel opprettholder akseptabel luftkvalitet og termisk komfort." (The International Energy Agency (IEA) 2006) Det er altså en kombinasjon av et naturlig system og et mekanisk system, der man har vifter som tar over når naturlige drivkrefter ikke er tilstrekkelig. Dette bedrer kontrollen med luftmengdene og gjør det enklere å tilfredsstille kravene til termisk komfort og luftkvalitet enn ved kun å benytte naturlige drivkrefter. (Dokka et al. 2001) Figur 2-7 viser et eksempel på en hybrid ventilasjonsløsning.






Figur 2-7: Eksempel på hybrid ventilasjon. (Førland-Larsen 2014)

2.3.6 Naturlig ventilasjon

I et naturlig ventilasjonssystem blir luft trukket inn i (og ut av) boligen gjennom ventiler, vinduer og utettheter i bygningskroppen, og avtrekkskanaler på bad og kjøkken. Denne ventilasjonsformen var mest vanlig før 1970-tallet, men har i dag begynt å komme tilbake igjen. Mysen (2015b) forklarer virkemåten bak et naturlig ventilasjonssystem som følger: *ved naturlig ventilasjon er termisk oppdrift og vindsug ved ventilasjonskanalene over tak i hovedsak de drivende kreftene som skaper luftbevegelser*. Men det vises også til at vindtrykk ved friskluftinntakene kan bidra. For å hindre trekk og turbulens rundt ventiler må de utformes på en måte som sprer luften i rommet på en behagelig måte (se avsnitt 2.1.4 om lufthastigheter og turbulens). Mange hus med naturlig ventilasjon har en avtrekksvifte på kjøkkenet (kjøkkenventilator). Dette vil forsterke skorsteinseffekten (se forklaring i kapittel 2.4), og øke risiko for trekk ved ventilåpninger og utettheter. Det samme gjelder røyknedslag fra ovner og peiser. Naturlig ventilasjon gir deg ikke mulighet til å kontrollere luftskiftet i boligen, og utskiftningen varierer med klimaforholdene.

Erfaringer knyttet til bruken av naturlig ventilasjon har gjort at dagens naturlige ventilasjonssystemer planlegges på en mer moderne måte enn slik det ble gjort tidligere, og man implementerer mer teknologi og styringssystemer for å sikre et godt inn klima. Dette er det sett nærmere på i kapittel 2.5.4. Firmaet Window Master definerer tre hovedtyper av naturlig ventilasjon: (Window Master 2016)

Ensidig ventilasjon	Kryssventilasjon	Oppdriftsbasert ventilasjon
 <p data-bbox="204 862 587 974"><i>Figur 2-8: Ensidig ventilasjon. Illustrasjon fra en vinterdag. (Window Master 2016)</i></p> <p data-bbox="204 1012 587 1541">Vinduer kun på én side av sonen. Vinduer eller spalter åpnes for kortere perioder, og man får inn kald luft som strømmer inn og presser den varme, brukte luften skiftes ut. Ved høy vindhastighet og lav utendørstemperatur vil tiden som trengs før luftskifte er tilstrekkelig minke.</p>	 <p data-bbox="627 862 994 929"><i>Figur 2-9: Cross ventilation (Window Master 2016)</i></p> <p data-bbox="627 1012 1026 1713">Vinduer/luftespalter på begge sider av sonen. Ved å ha åpninger i hver ende av sonen vil man skape en luftstrøm gjennom den ved at man har overtrykk på siden der vinden treffer bygget (lo side), og undertrykk på le side. Dermed beveger luften seg fra lo til le side. For å sikre tilstrekkelig luftskifte bør lufteåpninger på lo side være mindre åpne enn på le side.</p>	 <p data-bbox="1050 891 1433 958"><i>Figur 2-10: Stack ventilation. (Window Master 2016)</i></p> <p data-bbox="1050 1012 1468 1818">Baserer seg på temperaturforskjeller (skorsteinseffekten, se avsnitt 2.4). Varm luft er lettere enn kald luft, og stiger opp i bygget (taket). Varme luften stiger, og skaper undertrykk (et lite vakuum) lengre nede i bygget, og frisk luft trekkes inn. Prosessen avhenger av høyden mellom luftinntak og utslipp (f.eks. pipeutløp, takvindu eller avtrekkskanal). Også her bør vinduer/ventiler på le side være mer åpne enn på lo side.</p>

2.4 Naturlig ventilasjon, virkemåte og formelverk

Generelt kan man si naturlig avtrekk baserer seg på at varm luft er lettere enn kald luft og stiger til værs gjennom kanaler over tak. Denne såkalte "skorsteinseffekten" skaper et undertrykk i bygget. Luftutskiftingen avhenger av hvor stor forskjellen er mellom temperaturen ute og inne, av vinden og hvor høy ventilasjonskanalen er. For å minske risikoen for trekk bør man ha en mindre åpning på avtrekksventilen når det er kaldt ute. (ENØK 2016)

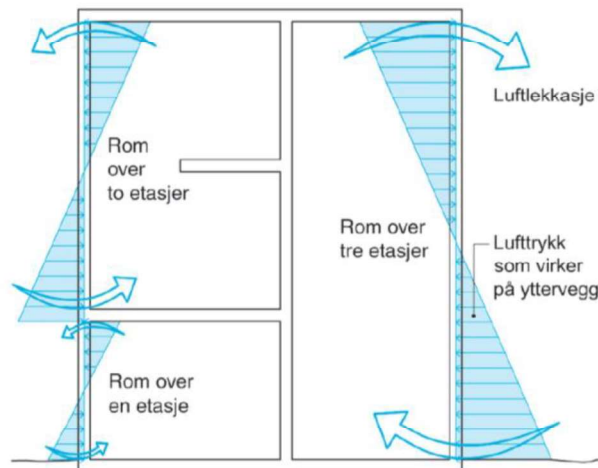
Blom (1994) går i en av sine byggforsk-produksjoner nærmere inn på virkemåte og relevant formelverk for bruk av naturlig ventilasjon i bygg. Store deler av den følgende teksten er basert på denne produksjonen:

Naturlig ventilasjon er en ventilasjonsmetode som varierer sterkt med værforholdene. En naturlig ventilert bolig kan ha overdreven ventilasjon en kald vinterdag, mens nesten ingen ventilasjon en vindstille sommerdag. Et slikt system må dimensjoneres med tilstrekkelig store ytterveggventiler og med overstrømningsventiler mellom rommene i boligen.

Drivkreftene i systemet er trykkforskjeller over bygningskroppen. Man vil ha et termisk oppdriftstrykk som skyldes at varm luft er lettere enn kald luft. Drivtrykket som følge av temperaturforskjeller, Δp_t , kan finnes tilstrekkelig ved formelen:

$$\Delta p_t = 0,045 * H * \Delta t \quad [\text{Pa}]$$

Der H er høyden av luftsøylen i ventilasjonskanalen, og Δt er temperaturforskjellen i Kelvin mellom inneluft og uteluft. Jo lavere en friskluftventil er plassert i forhold til avtrekkskanalens munning, jo bedre vil drivtrykket over ventilen bli. (Blom 1994) En generell tommelfingerregel er at maksimalt overtrykk på grunn av temperaturforskjell mellom ute og inne er ca. 1 Pa per meter høyde i middels kalde strøk. Man regner høyden fra rommets nøytralsone og opp. Jo kaldere det er ute, jo større er skorsteinseffekten. (Geving 2005) Figur 2-11 viser et eksempel på lufttrykkfordeling over høyden i et bygg.



Figur 2-11: Lufttrykkfordeling over høyden i et bygg som følge av skorsteins effekten. Her det ikke tatt hensyn til lufttrykk som virker på himling og gulv. (Geving 2005)

Vind vil også ha stor innvirkning på ventilasjonen i et naturlig ventilert bygg. Vind vil skape et sug ved avtrekkskanalens munning over tak, og vil på denne måten skape et drivtrykk for ventilasjonen. Både kanalens plassering på taket og den aerodynamiske utformingen av selve avkastet vil ha innvirkning på sugets størrelse. Vind er det dominerende drivtrykket ved vindhastigheter over 4 m/s. Drivtrykket Δp_v i ventilasjonskanalen forårsaket av vind kan beregnes etter følgende formel (Blom 1994):

$$\Delta p_v = 0,6 * c_p * v^2 * \beta * \ln(z_{min}/z_0) \quad [\text{Pa}]$$

Der

c_p = formfaktor, avhengig av plassering og utforming av takhatt. Aktuelle verdier er 0,3-0,6, der formfaktor 0,6 tilsvarer en godt utformet værhone.

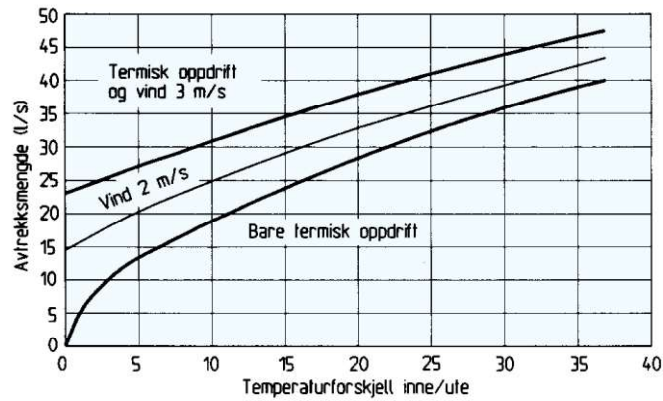
v = referansevindhastighet (målt i referanse høyde i åpent terreng) [m/s]

β = terrengparameter (0,22 for småhusbebyggelse og mindre tettsteder)

z_{min} = minimumshøyde (8m for småhusbebyggelse og mindre tettsteder)

z_0 = ruhetsparameter (0,3 for småhusbebyggelse og mindre tettsteder)

Figur 2-12 viser sammenhengen mellom termisk oppdrift og vindpåkjenning med tanke på luftskiftet/avtrekksluftmengden.



Figur 2-12: Eksempel på beregnet luftmengde i avtrekkskanal. Beregnet med en kanalhøyde på 6m, og en faktor på strømningstap lik 8 ved 25 l/s. (Blom 1994)

2.5 Energi

Et viktig tema i dagens byggenæring er energibruk. Både i et livsløpsperspektiv (LCA) og for hver av de forskjellige fasene i et bygningsprosjekt for seg. Det finnes flere forskjellige måter å merke bygg på som sier noe om energiytelse og miljøvennlighet. Byggeteknisk forskrift stiller strenge krav til bygningers energiytelse, og i nye TEK 10 er kravene knyttet til energibruk og tetthet i bygninger skjerpet ytterligere.

Man deler gjerne bygninger inn i kategorier etter energieffektivitet. Vi har tre hovedtyper bygg slik det er definer i Norge i dag: Passivhus, lavenergibygninger og "normale" bygninger. I tillegg har man begynt å benytte begrepet null-hus og pluss-hus, og den siste tiden har også begrepet *Aktivhus* fått innpass i Norge. Se kapittel 0 for en kort beskrivelse av de ulike typene.

2.5.1 Erfaringstall og energigrammer

I en undersøkelse gjort av statistisk sentralbyrå finner man følgende tall for gjennomsnittlig energiforbruk i norske boliger:

Tabell 2-3: Energiforbruk i boliger etter undersøkelser av statistisk sentralbyrå. (SSB 2014)

Energibruk per husholdning, totalt og per m2 boligareal. 2 siste år. kWh			
	Totalt energiforbruk (kWh)	Totalt energiforbruk (kWh)	Prosentvis endring
	2009	2012	
Alle energibærere	20 415	20 230	-0,9
Elektrisitet	15 977	16 044	0,4
Olje og parafin	845	698	-17,4
Ved, kull og koks	3 407	3 204	-6,0
	Spesifikt energiforbruk (kWh per m2 boligareal)	Spesifikt energiforbruk (kWh per m2 boligareal)	Prosentvis endring
Alle energibærere	181	185	2,2
Elektrisitet	146	149	2,1
Olje og parafin	7	6	-14,3
Ved, kull og koks	27	27	0,0

Statistikkbanken kildetabell 10572

© Statistisk sentralbyrå

Sannsynligvis har disse tallene endret seg siden 2012, da kravene til energibruk i bygg og energieffektive løsninger blir stadig strengere. Det er likevel valgt å benytte verdiene i Tabell 2-3 til sammenlikning i dette studiet. I et studie gjort av IFE finner man antakelser på energiforbruk i nyere boliger. I dette studiet er det antatt at nye boliger (bygget etter 2010) har et el-spesifikt forbruk på 4100 kWh/husholdning og et oppvarmingsbehov på 10 100 kWh/husholdning i året. (Rosenberg & Espegren 2014) Disse tallene baserer seg på kravene til dagens byggverk, og tar dermed ikke for seg naturlig ventilerte bygg.

Lavenergiprogrammet skriver på sine nettsider at bygninger står for 40% av energibruken i Norge. Med dagens klimautfordringer er det dermed viktig å sette fokus på å bygge mer energieffektivt. (Lavenergiprogrammet 2015) I trehus utgjør forbruket av energi til drift og oppvarming ca. 85%, mens fremstilling av materialer, bygging og rivning utgjør ca. 15% av total energiforbruk over en 50 års bruksperiode. For å redusere energibruken er det dermed vesentlig å benytte løsninger og materialer som gir lavt varmetap – også sett i et livsløpsperspektiv. (Edwardsen & Ramsland 2010)

TEK10 setter krav til flere faktorer som er knyttet opp mot energibruk i bygg. Fra kapittel 14 om energi i PBL finner man at totalt netto energibehov (kWh/m² oppvarmet BRA pr. år) for

småhus og fritidsboliger over 150 m² oppvarmet BRA ikke skal overskride verdien man får ved å ta 120 + 1600/m² oppvarmet BRA. (DIBK 2015) I nye TEK10 er kravet endret til 100 + 1600/m² oppvarmet BRA. Andersen (2014) formulerer et annet veiledende kravene som sier at beregnet årlig netto energibehov må være mindre enn 130 kWh/m² oppvarmet bruksareal for "normale" bygninger (ikke lavenergibygg eller passivhus). For energibruk til oppvarming er det i TEK10 satt et totalt netto varmebehov på 15 000 kWh/år. At boligen tilfredsstiller dette kravet kan beregnes etter NS3031.

En måte å kunne si noe om et byggs energibruk knyttet til oppvarming ut fra lokasjon på er å benytte energigraddagstall, også kalt *fyringsgraddager*. Det antas at når døgnmiddeltemperaturen stiger over 17°C er det ikke noe behov for oppvarming. Graddagtallet er dermed antall dager døgnmiddeltemperaturen ligger under 17 grader. Energigraddagstallet bergenes dermed ved å ta 17 grader og trekker fra døgnmiddeltemperaturen for det aktuelle stedet, og summere dette over året de dagene døgnmiddeltemperaturen er under 17 grader. Ved å benytte varianter av dette regnestykket kan man deretter gjøre en enkle beregning på hvor mye energi som går med til oppvarming. (Edwardsen & Ramsland 2010)

2.5.2 Nye ideer om naturlige bygg

Dagens boliger blir mer og mer energieffektive, og det benyttes mye teknologi for å styre diverse faktorer i boligen. Man har sett at dagens byggenorm på mange måter fungerer svært bra, spesielt i et energiperspektiv. Men mange mener at fokuset på energibesparing og tetthet går på bekostning av inneklimate. Det har dermed oppstått ideer om å gå tilbake til mer naturlige løsninger for å spare energi samt å holde et lavt energiforbruk.

I denne sammenhengen har begrepet *naturlig klimatisering* kommet opp (Stene & Dokka 2016). Begrepet innebærer en tanke om å gjøre ting enklest mulig for brukeren samtidig som man sikrer et godt inneklimate og innemiljø. Tanken er å lage bygg som blant annet utnytter solvarme, dagslys, naturlige drivkrefter for ventilasjon og "naturlig" energi for å minimere kjøpt energi - se Figur 2-13.



Figur 2-13: Naturlig klimatisering, hentet fra seminaret "Less is more?", (Stene & Dokka 2016)

Tankegangen er fortsatt lite utprøvd i Norge, mens enkelte andre land ligger litt foran når det kommer til smart-naturlige løsninger. I Danmark er naturlig ventilasjon en del benyttet i moderne boliger, og også andre steder i Europa har man åpnet øynene for mer naturlige løsninger. Et av de mest oppsiktsvekkende moderne prosjektene der naturlig ventilasjon er benyttet er bygget 2226 i Lustenau i Østerrike.

Bygget 2226 har fått slagordet "Atmoshere versus machine", da ideen var å fjerne mekaniske løsninger for å øke brukervennligheten og fremme et naturlig godt innemiljø. Bygget har ikke noe oppvarmings- eller kjølesystem, og heller ikke noe ventilasjonsanlegg. Navnet kommer av temperaturintervallet på inneluften, som ligger mellom 22°C og 26°C. (Schoof 2014)

Ventilasjonen foregår ved vindusslisser som styres på automatikk, og temperatur reguleres naturlig gjennom de tykke murveggene som er belagt med kalk. Oppbyggingen av veggene gir lave temperaturer på varme sommerdager, og holder på varmen på kalde vinterdager. (Vedeld 2014)

Hovedkilden til varme er brukerne selv, som regnes å emittere om lag 80 watt termisk energi, og bruksutstyr i bygningen (som PCer, printere og liknende). Gjennom byggets første år viste deg seg å være innenfor akseptable nivåer både på temperatur, CO₂-konsentrasjon og hadde et totalt målt energiforbruk på rundt 40 kWh/m² år.



Figur 2-14: Foto av bygget "2226", hentet fra Bellona sine nettsider. (Vedeld 2014)

Dette uten at bygget hadde en egen energiproduksjon. (Førland-Larsen et al. 2016) Dette viser at det mulig å få akseptabelt inneklima, så vel som å ha et lavt energibruk ved forenkling av dagens tekniske anlegg.

Det er planlagt et bygg på Gullhaug torg i Nydalen, Oslo, som bygger på mange av de samme prinsippene. Arkitektene selv har definert prosjektet som et "triple zero"-prosjekt, som vil si at det er planlagt å bruke mindre enn 0 kWh kjøpt energi til både ventilasjon, oppvarming og kjøling. (Hegli 2016)

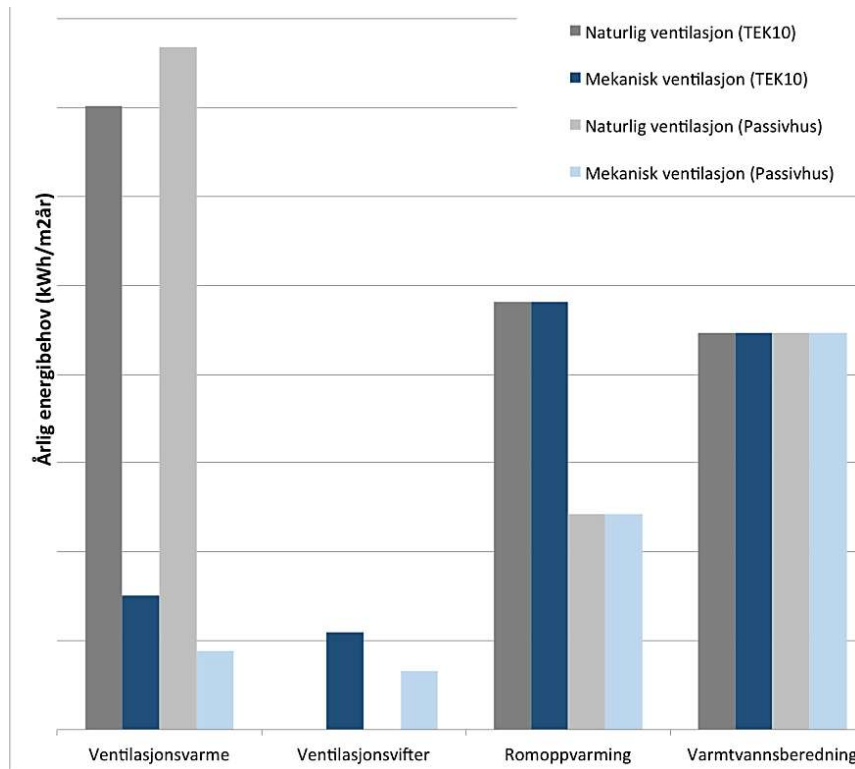
2.5.3 Naturlig ventilasjon mot dagens mest brukte ventilasjonsløsninger

Med klimautfordringer vi står ovenfor er det en selvfølge at energibruken knyttet til forskjellige valg i byggeprosessen studeres. Dette gjelder naturligvis i stor grad også valg av ventilasjonssystem. I moderne boliger er naturlig ventilasjon en lite brukt ventilasjonsmetode, da mye energi går tapt gjennom å "fyre for kråka" (ikke benytte energien i den oppvarmede inneluften). Men grunnet samtidens fokus på nye og mer bærekraftige løsninger er denne ventilasjonsmetoden tatt opp igjen som et tema, ofte som en kombinasjonsløsning av naturlige og mekaniske løsninger; hybridventilasjon.

Når det gjelder naturlig ventilasjon har Tor Helge Dokka i Skanska Teknikk uttalt at det er umulig for naturlig ventilerte bygg å oppfylle kravene i gjeldende forskrift, og legger til at *"Naturlig ventilasjon er utenkelig hvis du skal bruke standard luftmengder. Den eneste muligheten er lavere luftmengder når det er kaldt. Dette forsker vi på nå [...]"*. I Danmark er det allerede gjort en del studier på dette området. (Lavenergiprogrammet 2016)

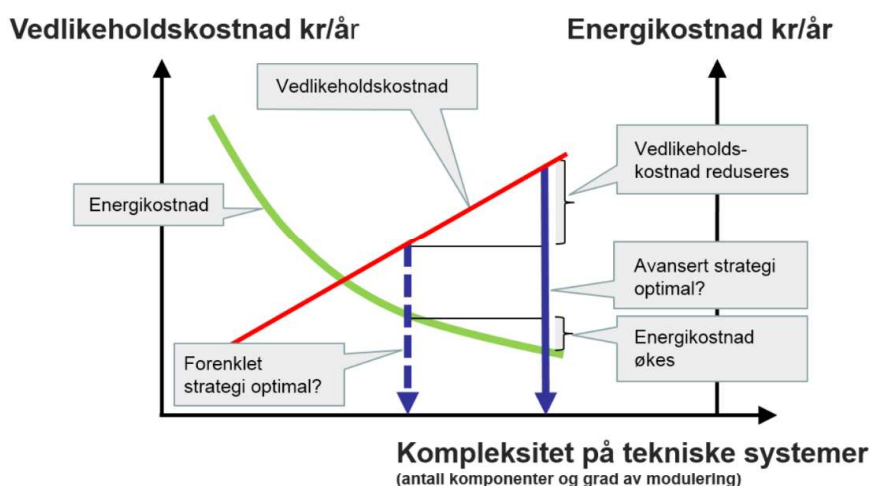
Selv om luftmengdene kan bli tilstrekkelige ved naturlige drivkrefter, er ikke disse kreftene nok til å drive en varmegjenvinner. Man vil dermed ikke kunne utnytte varmen i inneluften, slik man gjør i mekaniske anlegg, som er et av punktene hvor bygninger med naturlig ventilasjon taper mest energi. *"Energien vi har lov til å bruke på vifter, er svært beskjeden i forhold til energien som trengs for å varme opp lufta"*, forklarer Hans Martin Mathisen, professor ved Institutt for energi- og prosessteknikk ved NTNU (Lavenergiprogrammet 2016). Figur 2-15 under viser et forenklet eksempel på årlig energiforbruk i en bolig på 150 m² (360 m³) med et luftskifte på 0,5 luftutskiftninger per time, og en innetemperatur på 20°C.

Luftskifte i en moderne, naturlig ventilert bolig



Figur 2-15: Årlig energibehov for funksjoner i bygninger, graf av Hans Martin Mathisen . (Lavenergiprogrammet 2016)

En faktor som ikke tas hensyn til i dette regnestykket er energi brukt på produksjon og vedlikehold av systemene. Hvis dette skal tas med i beregningene bør man se på energibruk gjennom en livsløpsanalyse (LCC-analyse). I tipshefte nr. 6, *Forenkling av tekniske systemer*, utarbeidet av Grønn Byggallianse er det laget en illustrasjon på sammenhengen mellom energibruk, kompleksitet av tekniske systemer og LCC-kostnader (se Figur 2-16)

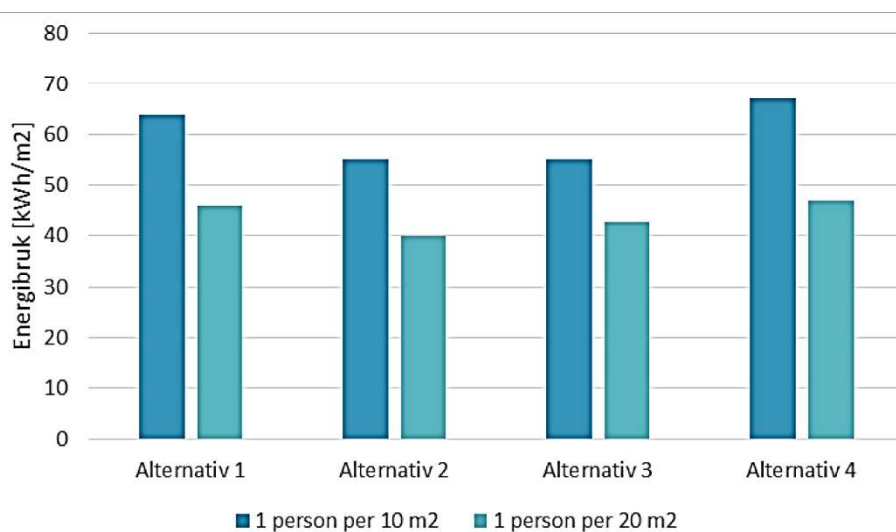


Figur 2-16: Sammenheng mellom energibruk, kompleksitet av tekniske systemer og LCC-kostnader. (Førland-Larsen et al. 2016)

I samme hefte er det gjort en sammenlikning av energibruken ved forskjellige ventilasjonsløsninger, i likhet med Mathisen sitt regnestykke. I beregningseksemplet sammenliknes fire alternative tekniske løsninger:

- Alternativ 1: maksimal forenkling, tilsvarende 2226.
- Alternativ 2: hybrid-/naturlig ventilasjon med noe balansert mekanisk ventilasjon (ca. 2 m³/m² h)
- Alternativ 3: hybrid-/naturlig ventilasjon med noe mer balansert mekanisk ventilasjon enn alternativ 2 (ca. 4 m³/m² h)
- Alternativ 4: Tradisjonell balansert mekanisk VAV-ventilasjon med 10 m³/m² h og dynamiske tilluftsventiler.

Det er forutsatt en driftstid fra kl. 07.00-17.00 med 100% samtidighet. Antall personer er satt til 1 person per 10 m² eller 20 m², 100 W fra personer (og dels elektronisk bruksutstyr), og belysning på 5 W/h. Simuleringene er gjort for bygningsmodeller med en bygningskropp som tilsvarer passivhus-standarden.



Figur 2-17: Beregnet energibruk for de 4 alternativene. (Førland-Larsen et al. 2016)

Vi ser at forskjellen i energiforbruk for de ulike løsningene ikke er veldig stor ut fra dette regnestykket.

I et tidligere masterstudie gjennomført av Eldjarn (2014) er det gjort en livsløpsanalyse av både aktivhus-type *Shelter 2* i Hurdalen og et tenkt passivhus. Disse er deretter sammenliknet, og konklusjonen er at aktivhuset har et 3% lavere bidrag til klimaendring enn passivhuset over levetiden. Det kommer også frem at energibruken til romoppvarming reduseres betraktelig av

varmegjenvinneren i et balansert ventilasjonssystem, og at aktivhuset dermed ikke er like energieffektivt som passivhuset, til tross for at det har en lavere klimabelastning. (Eldjarn 2014) Verdiene for energibruk som ble resultatet av Eldjarn sine SIMIEN-simuleringer er satt opp i Tabell 2-4.

Tabell 2-4: Energibehov og levert energi til aktivhus og passivhus. (Eldjarn 2014)

	Energibehov [kWh]	Spesifikt energibehov [kWh/m ²]	Totalt levert energi [kWh]	Spesifikt levert energi [kWh/m ²]
Aktivhus	13 214	109,0	10 750	81,4
Passivhus	10 806	81,9	5331	40,4

Begge byggene er antatt å ha solcelle-paneler på taket som produserer strøm til bygget, og fra simuleringene kommer det da frem at solcellene dekker 31% av aktivhusets energibehov (4250 kWh), og 43% av passivhusets energibehov (4630 kWh). Størrelsen på solcelleanlegget er like stort på begge byggene, og de vil dermed ha like stor produksjon. (Eldjarn 2014) Simuleringene er basert på antakelser og valgte løsninger, og ikke på målinger. Det er dermed ikke sikkert at disse verdiene vil stemme med faktiske målte verdier for energi.

2.5.4 Automatikk i boligen

For å oppnå akseptable nivåer i forhold til inn klima og energi i naturlig ventilerte bygg er det helt avgjørende å ha avgjort dette som ventilasjonsløsning fra starten for å få et velfungerende system. Man er nødt til å styre ventileringen og energibruken ved hjelp av automatikk for å sikre et best mulig inn klima og et lavest mulig energiforbruk. (Lavenergiprogrammet 2016)

Det er utviklet flere forskjellige systemer for automatikk i boliger, ikke bare for hus med naturlig ventilasjon. Ved å bruke automatikk til å styre, regulere og overvåke elektriske installasjoner kan man oppnå bedre komfort, lavere energibruk og høyere grad av sikkerhet i hverdagen. (Carlo Gavazzi AS 2016) Bygg med en slik automatikk blir ofte kalt *smarthus*. Det finnes en rekke slike systemer på markedet, som ofte inkluderer mer elektronikk enn utelukkende det som går på energiforbruk og ventilasjon (som f.eks. alarmsystemer).

Her er det valgt å gi en kort forklaring av systemet brukt i aktivhusene i Hurdalen; det danske systemet *Zensehome*. Zensehome er et "smart-system" som registrerer strømforbruk og som gir brukeren mulighet til å håndtere de elektriske installasjonene via sin smarttelefon. Systemet

består av intelligente stikkontakter, brytere og lampeuttak som kommuniserer i det eksisterende 230V ledningsnett. Videre kobles systemet sammen med en PC-boks som registrerer inndata fra kontakter og uttak, og videreformidler dette til brukerens PC eller smarttelefon. (Zensehome 2016) Figur 2-18 illustrerer de enkelte komponentene i systemet.



Figur 2-18: Illustrasjon av Zensehome-systemet. (Zensehome 2016)

Automatikken rundt selve ventileringen er ofte basert på registrering av enten fukt eller konsentrasjon av CO₂ i inneluften. Når konsentrasjonene blir over et visst nivå åpnes som regel en avtrekkskanal ved hjelp av automatikk, og lukkes igjen når man er tilbake på akseptable nivåer. Det kan også være installert automatikk i sammenheng med vinduer som gjør at det er disse åpnes eller lukkes ut fra nivåer av CO₂ eller fuktighet. Noen systemer baserer seg på en kombinasjon av temperatur sammen med en av de overnevnte faktorene. NV Comfort er et slikt system – det styres etter CO₂-konsentrasjon og temperatur i inneluften. (Window Master)

2.6 Måleteknikker og beregninger

Under er teori og beregningsteknikker for metodene benyttet til å besvare problemstillingen beskrevet. I tillegg er det tatt med formelverk tilknyttet en enkel energiberegning gjort.

2.6.1 Differansetrykkmetoden

Metoden for å finne en bygnings lekkasjetall er beskrevet i den internasjonale standarden ISO9972, så vel som at det i denne oppgaven også er benyttet den litt eldre standarden NS-EN 13829:2000+NA:2010. (ISO 2015) Tabell 1-3 gir en forklaring på symboler som inngår i formelverket for differansetrykkmetoden.

Differansetrykkmetoden skal karakterisere lufttettheten til en bygningskropp eller deler av denne. Gjeldende standard for måling og beregninger fra differansetrykkmetoden er ISO 9972:2015, og følgende beskrivelse av bruksområder og beregninger finnes i denne.

Differansetrykkmetoden kan brukes til flere formål, for eksempel til:

- Å måle lufttetthet til en bygningskropp eller deler av denne for etterprøving av en designet lufttetthetsspesifisering.
- For å sammenligne relativ lufttetthet for flere like bygninger eller deler av bygninger, og
- Å bestemme luftlekkasjereduksjon som et resultat av enkelte ettermonteringer/utbedringstiltak gjort trinnvis på en eksisterende bygningskropp eller deler av denne.

Klargjøring av bygningen for forsøk (f.eks. hvilke åpninger som må tettes) avhenger av valgt testmetode.

Bygget trykkes ved hjelp av en vifte installert i inngangen til sonen man ønsker å måle i. Volumstrømmen som blåses gjennom viften for å opprettholde forhåndsinnstilt trykkforskjell kalles lekkasjeluftmengden. Det gjennomføres gjerne en måling med undertrykk og en måling med overtrykk. Lekkasjetallet (og lekkasjeluftmengden) finnes ved å ta gjennomsnittet av overtrykks- og undetrykksmålingene.

Ved beregninger av lekkasjetall/lekkasjeluftmengde starter man ved å trekke fra gjennomsnittlig null-luftstrøms trykkdifferansen (offset) fra hver av de målte trykkdifferansene, Δp_m , for å finne induserte trykkdifferanser, Δp . Induserte trykkdifferanser finnes ved å bruke følgende formel:

$$\Delta p = \Delta p_m - \frac{\Delta p_{0,1} + \Delta p_{0,2}}{2}$$

Deretter kan man beregne lekkasjeluftmende fra formelen under:

$$\dot{V}_{env} = C_{env}(\Delta p)^n$$

Der

\dot{V}_{env} er luftmengden gjennom klimaskjermen [m^3/h]

C_{env} er luftmengdekoefficienten [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa}^n)$]

Δp er den fremkalte trykkdifferansen [Pa]

n er luftmengdeeksponenten

Luftmengdeeksponenten, n , ligger vanligvis rundt 0,7, og kan si noe om hva slags utettheter som dominerer i bygningen.

For å finne lekkasjeluftskoeffisienten C_L korrigeres luftmengdekoefficienten, C_{env} , til standard betingelser; $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ og $1,013 \cdot 10^5$ Pa. Lekkasjeluftmengden, V_L , kan da beregnes:

$$\dot{V}_L = C_L(\Delta p)^n$$

Luftlekkasjemengden ved referansetrykkdifferansen, Δp_r , kan da beregnes fra formelen:

$$\dot{V}_{\Delta p_r} = C_L(\Delta p_r)^n$$

For å kunne gjennomføre målinger og i etterkant kunne gjøre beregninger er det nødvendig å vite internt volum av målesonen. Etter ISO9972:2015(E) skal det benyttes totalt innvendig volum i hele eller deler av bygget i beregningene. Volum av interne vegger og gulv skal ikke trekkes fra. Hulrom inne i bygningskroppen skal heller ikke trekkes fra. Det samme gjelder for øvrig også volum av møblement.

Fra Nasjonalt tillegg i den gamle standarden for differansetrykkmetoden, NS-EN 13829:2000+N:2010, er internt volum, V , beregnet som volumet av tilluft inne i den målte bygningen eller i deler av bygningen. Internt volum beregnes som luftvolum over oppvarmet del av BRA (se NS3940 for beregning av BRA). Her er innvendig luftvolum det samme som oppvarmet luftvolum i NS3031 [3.1.22, NS3031:2007]. (Standard Norge 2010)

Det er dermed viktig å være klar på hvilken standard som er benyttet på det aktuelle måletidspunktet, og se på kravene ut fra dette. I dette studiet er det valgt å benytte oppvarmet luftvolum, definert etter NS3031, da dette samsvarer best med tallene benyttet for andre målemetoder.

Når man har fått et resultat av målingene kjenner man C_L og n . Disse verdiene kan man benytte i formelen $\dot{V}_L = C_L(\Delta p)^n$ for å beregne luftmengdene som strømmer gjennom konstruksjonen ved andre vindpåkjenninger enn tilstandene under målingen, da faktoren Δp er en faktor som er avhengig av vind, og ikke en konstant for systemet.

2.6.2 Sporgassmetoden

For å forstå og å kunne redegjøre for fremgangsmåte ved gjennomføring av sporgassmetoden er standardene E741-00 (ASTM 2009) og standarden NS-EN ISO 12569:2012 (Standard Norge 2012) benyttet.

I NS-EN ISO 12569:2012 beskrives tre målemetoder for bruk av sporgass:

- 1) Konsentrasjonsavtakingsmetoden: Spesifikk lufthastighet, eller luftskifte, finnes fra den avtakende kurven for observert konsentrasjon etter endt injeksjon av sporgass.
- 2) Kontinuerlig dosering-metoden: Metode for å finne ventilasjonsluftmengden. Konsentrasjon finnes som resultat av kontinuerlig generasjon eller injeksjon av sporgassen.
- 3) Konstant konsentrasjon-metoden: Ventilasjonsluftmengden vil bli gitt ved injeksjon av sporgass ved en rate som gjør at man har en konstant konsentrasjon i rommet.

Hvilken målemetode og dataprosesseringsmetode man bør velge avhenger av bygningskonstruksjonen, ventilasjonssystemet og hvilke måleinstrumenter man har tilgjengelig. I dette studiet benyttes (1), avtakningsmetoden (decay). Metoden med avtakende konsentrasjon har et kortere tidsforløp enn resterende to metoder, da forsøket kun går over noen timer, mens metode (2) og (3) kan gå over flere uker.

Ved å fremstille resultatene av målinger i form av normaliserte CO_2 -konsentrasjoner innenfor et tidsintervall kan luftskiftet i sonen estimeres. Man måler egentlig hvor fort luften forsvinner ut av boligen, altså avtrekksluftmengden, men man antar at mengden luft som forsvinner ut tilsvarer luftmengden som kommer inn.

Formelverk for beregning av luftskifte og/eller infiltrasjon ved å benytte avtakningsmetoden finner man i E741:

$$V_{tracer} = C_{target} * V_{zone}$$

$$\bar{A} = [\ln C(t_2) - \ln C(t_1)] / (t_2 - t_1)$$

$$\ln C(t) = -At + \ln C(0)$$

I dette studiet er beregningene satt opp som følger: (Kraniotis et al. 2014)

$$C_N = \ln\left(\frac{C(t)-C_0}{C(0)-C_0}\right)$$

Der

C_n = normalisert CO₂-konsentrasjon

$C(t)$ = CO₂-konsentrasjon ved ønsket tidspunkt

C_0 = Uteluftens CO₂-konsentrasjon

$C(0)$ = CO₂-konsentrasjon ved start

C_N benyttes så i formelen fra E741 over:

$$\ln C_N = -At + \ln C_N(0)$$

Fra tabell 2 i E741 kan man finne minimum varighet for testen (gjengitt i Tabell 2-5 under):

Tabell 2-5: Minimum varighet av sporgassforsøk.

Luftskifte (1/h)	Minimum varighet av test (h)
0,25	4
0,5	2
1	1
2	0,5
4	0,25

2.6.3 Dimensjonerende effektivt oppvarmingsbehov, tilluft

Dimensjonerende effektbehov til oppvarming er et grovestimat av hvor mye effekt det kreves for å varme opp luften i en bolig når kaldeste dimensjonerende temperatur ute forekommer. Ved å anta at ventileringen holder kravet til luftskifte i boligen, vil man kunne beregne effektbehovet til oppvarming fra følgende formel:

$$\varphi_i = 0,33 \text{Wh/m}^3\text{K} * 0,5 \text{oms/h} * V * \Delta\theta_{dim}$$

Der:

- 0,33 Wh/m³K er luftens varmekapasitet
- 0,5 oms/h er kravet til luftskifte i boligen.
- V = oppvarmet bygningsvolum
- $\Delta\theta_{dim}$ = dimensjonerende temperaturforskjell mellom ute- og innetemperatur.
= $\theta_{DI} - \theta_{DU}$

Luftskifte i en moderne, naturlig ventilert bolig

Dimensjonerende temperaturer finnes fra tabeller på nett. Da har man at:

$\theta_{DI} = 20^{\circ}\text{C}$ for alle rom i boligen utenom baderom (Variant VVS Norge AS)

$\theta_{DU} = 26,3^{\circ}\text{C}$ for Hurdalen (Kvande & Lisø 2012)

3 METODEBESKRIVELSE

I dette kapittelet vil det bli gjennomgått hvordan det er valgt å gå frem for å besvare oppgavens problemstilling. Det aktuelle utstyret som ble benyttet er beskrevet her, etterfulgt av en beskrivelse av fremgangsmåten for innsamling av data.

Fremgangsmåte for innsamling av data kan deles inn i to kategorier: kvalitative metoder og kvantitative metoder. Innsamling av data ved hjelp av kvantitativ metode kjennetegnes som regel av målbare data, mens data samlet inn ved hjelp av kvalitative metoder ofte skjer i form av meninger og opplevelser, som for eksempel intervjuer. (Dalland 2000)

I dette studiet er det i hovedsak benyttet kvantitative metoder for å kunne svare på oppgavens problemstilling.

Det ble tilbragt en uke i Hurdalen økologiske landsby for å gjennomføre forsøk i ett av byggene. I tillegg til målingene som ble gjort i forbindelse med oppgaven er bygget forsøkene ble gjennomført i en del av et større forskningsprosjekt, og det er dermed installert målere som kartlegger relativ fuktighet, temperatur og CO₂-konsentrasjon flere steder i bygget. Ved tilgang til disse dataene kunne forsøksresultatene sammenlignes med målerne som er installert i bygget for å sikre kunne si om resultatene er gyldige ved å se om de forskjellige målerne stemmer overens når bygget er normal bruk. Resultater fra de allerede installerte måleren vil også senere i oppgaven bli brukt som en del av diskusjonen rundt inneklimate i bygget.

I tillegg til målinger og forsøk er det hentet klimadata fra databaser på nett, så vel som at tall knyttet til energiforbruk er hentet fra beboernes bruker på Hafslund sine hjemmesider. Det er også gjort enkle beregninger rundt energi. Disse beregningene er basert på erfaringstall og verdier i standarder og på nett som ikke selv er målt.

3.1 Introduksjon av boligen i Hurdal Økolandsby

Bygningen det er gjort målinger i ligger i Hurdalen kommune i Akershus fylke. Den er av typen *Shelter 2*, som vil si at det er en bygning som går over 2 etasjer med et bruksareal på 131,9 m² og et oppvarmet luftvolum på 370 m³. (Jacobsen 2013)

Hvert Shelter 2-bygg har 7 tilluftsventiler, 3 i oppholdsrom i første etasje og resterende 4 i andre etasje, opprinnelig på hvert av soverommene. Familien i hus B6 hadde derimot valgt å bygge om ett av soverommene i andre etasje til en bod med hems over et bad slik en av de fire ventilene i andre etasje havnet på hems. I tillegg var det satt inn en ekstra avtrekksventil på badet her



Figur 3-1: Flexit Aero veggventil for frisklufttilførsel. (Aktivhus)

oppe. Foruten denne er det en annen avtrekksventil i bygget, som er plassert på bad i første etasje. Tilluftsventiler har en diameter på 125mm, mens indre ventiler har en diameter på 200mm. Avtrekkskanalen har også diameter på 200mm.

Fra brukerhåndboken til Aktivhusene finner man at ventilasjonen styres med både automatikk og manuelt. Automatikken skal sikre nødvendig grunnventilasjon, og skjer som følge av den relative fuktigheten i bygget. Sensorer for å måle relativ fuktighet er plassert i oppholdssonen og sender signaler til et spjeld i avtrekkskanalen på badet om å åpne eller lukke. Når denne sensoren måler over ca 45% relativ fuktighet vil spjeldet åpnes. Det er en tilsvarende sensor på badet som sender signaler om å åpne spjeldet når relativ fuktighet er på ca 60%.

Som nevnt i kapittel 2.3 skal et velfungerende ventilasjonsanlegg trekke friskluften fra rommene den tilføres og til rom med avtrekk. I naturlig ventilerte bygg skal luften tas gjennom bygget via interne ventiler, og for bygningstypen Shelter 2 vil det si at luften tas fra stue/kjøkken via gang til teknisk rom, og videre derfra til badeværelset (Førland-Larsen 2016). Det er antatt at soverom og bad i andre etasje sikrer store nok mengder frisklufttilførsel gjennom egne ventiler på hvert soverom, og inngår dermed ikke i friskluftens løp gjennom bygget. Tilluftsventiler leveres med et innsatt filter for filtrering av uteluften.

For å redusere energibehov til oppvarming er det gjort en rekke tiltak: En kleberstensovn av typen Kube 3 er plassert i oppholdsrommet. Den er levert av Granitt AS, og har en nominell effekt på 8 kW. (SINTEF Byggforsk 2011) Fra brukerveiledningen til byggene har man at ovnen skal dekke omtrent 50% av oppvarmingsbehovet. (Aktivhus) Solceller dekker sørvendt takflate, og det er installert integrerte persienner i soleksponerte vinduer med styringssystem. Oppbyggingen av ytterveggen har en U-verdi på 0,1 W/m²K, hvilket er innenfor passivhusgrensa på 0,15 W/m²K. (Dokka et al. 2009) Boligen er prosjektert som et null-energi bygg.

3.2 Måleutstyr og programmer

3.2.1 Minneapolis BlowerDoor



Figur 3-2: Blowerdoor-system installert i testbolig. Til venstre er DG700-apparatet med koblinger til vifte og PC. Til høyre er viftesystem installert i ytterdør. Foto: Tonje M. Tredal

Minneapolis BlowerDoor er et viftesystem brukt til tetthetsmålinger av bygninger. Ved å installere viftesystemet i en dør vil man kunne trykksette sonen man skal måle, og se på lekkasjene til/fra sonen ved et gitt overtrykk/undertrykk. I denne oppgaven er BlowerDoor Standard benyttet, som har en kapasitet på 19-7200 m³/h. Sammen med viften følger en regulerbar ramme med tett duk som kan tilpasses de fleste døråpninger. Til utstyret følger også ringer i forskjellig størrelse som festes på viften for å regulere luftmengden som strømmer gjennom den. Viftehastigheten kan reguleres manuelt eller automatisk ved å koble til DG-700 (se Figur 3-2). Ved å koble til DG-700-apparatet kan luftstrømmen gjennom vifta og trykkforskjellen mellom området som måles og omliggende område presist bestemmes. Ved automatiske trykkmålinger kan DG-700-apparatet kobles til en PC med programvaren Tectite. Dette programmet er beskrevet nærmere i kapittel 2.8.1.

3.2.2 Multimeter

Et multimeter er et måleapparat som kan måle flere forskjellige verdier, som lufttemperatur, lufthastighet og trykk. I denne oppgaven er det benyttet et TSI VelociCalc Plus, som både måler og logger parameterne nevnt over ved hjelp av en enkelt sonde med flere sensorer. Apparatet kan også beregne strømning og kan skille mellom faktisk og standard hastighetsmålinger.

Model 8358, som er brukt i denne oppgaven, måler hastighet enten ved hjelp av en termisk sensor eller et Pitot-rør. I tillegg måler apparatet differansetrykk uttak på siden. (TSI 2005)



Figur 3-3: TSI VelociCalc Plus multimeter, bilde fra TSI sine nettsider. (TSI 2005)

3.2.3 CP11, CO₂-måler

CP11 er et håndholdt måleinstrument som både måler og logger CO₂, relativ fuktighet og temperatur. Bilde av måleren er vist i Figur 3-3. På displayet vises også dato og tidspunkt registreres ved logging av data. Instrumentet sender ut lysglimt som reflekteres av CO₂ i luften, og derfra kalkulerer mengden gass ut fra tiden det tar før lyset er reflektert. Til instrumentet følger en lader man kan ha i under måling, hvis ikke drives instrumentet på batterier. Lagrede data kan overføres til PC ved hjelp av programmet Rotronic SW2.1 som kan lastes ned fra Rotronic sine nettsider.



Figur 3-4: CP11-måler, bilde hentet fra Rotronic sine nettsider. (rotronic)

3.2.4 FLIR T620bx Infrared Camera (termograferingskamera)

Termografering er en metode for å detektere temperaturforskjeller i overflaten på bygningskonstruksjoner. Et termograferingskamera er laget for å fange opp varmestrålingen fra materialer. Kameraene fanger opp forskjellige intensiteter i varmestrålingen og gjør forskjellen om til et synlig bilde, et termogram. (Holøs & Aurlien 2014b) I dette studiet er kameraet T620bx benyttet, som er et kamera utviklet av FLIR. Se Figur 3-5 under.



Figur 3-5: Termograferingskamera T620bx.(FLIR Systems 2012)

FLIR T620bx er et termograferingskamera med en justerbar linse, og en svært høy IR-oppløsning (307,200 piksler (640 × 480)). Kameraet har flere forskjellige funksjoner, og tar ikke kun infrarøde bilder. Kameraet kan fange opp temperaturer fra -40°C to 650°C. (FLIR Systems 2012)

3.2.5 OmniSense

Omnisense leverer en rekke måleverktøy og sensorer. I testbyggene i Hurdalen er det installert tre typer instrumenter: en type sensor som måler relativ fuktighet og temperatur, *S-1 Wireless T, %RH, WME Sensor*, en type som måler CO₂-konsentrasjon, *S-19 Wireless CO₂ Sensor*, og en værstasjon på taket, *S-14 Wireless Weather Monitor*. Man kan følge med på loggingen de forskjellige instrumentene gjør via omnisense sine nettsider, der man oppretter en bruker og legger inn instrumentene sine. Værstasjonen ble ikke benyttet i dette studiet, og det er dermed bare virkemåte for de to andre instrument-typene som er kort beskrevet under, etter produktinformasjon på OmniSense sine nettsider.

- *S-1 Wireless T, %RH, WME Sensor* er i hovedsak et instrument for å måle fuktighet i tre. Sensoren inneholder en trådløs sender og mottaker, temperatursensor, fuktighetssensor og en fuktbestandig innfestningsnål. Sensoren er drevet på litiumbatterier med en typisk levetid på minst 15 år. Man kan montere sensorene i veggen på en permanent basis for å måle bygningskroppens ytelse over tid, eller den kan installeres midlertidig for å måle oppfukning/uttørking av treet.
- *S-19 Wireless CO₂ Sensor* er designet til å kontinuerlig logge CO₂-nivået i bygninger ved reel tid. Den kan logge konsentrasjoner fra 0-2000 ppm, og har en oppløsning på ned til 1 ppm.

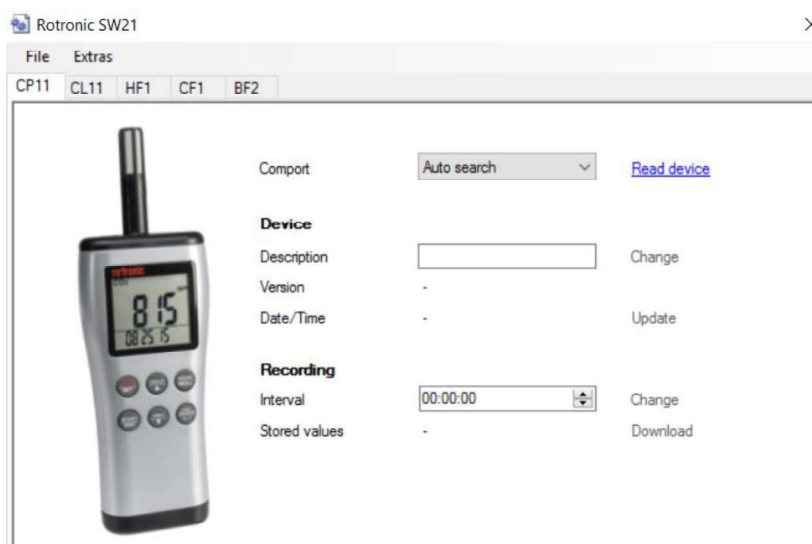
3.3 Programmer

3.3.1 TECTITE

Tectite er et program som måler og registrer luftstrømmer ved forhåndsdefinerte trykkforskjeller. For å gi presise måleresultater krever programmet innvendig og utvendig temperatur og vindforhold. Programmet må også starte forsøkene med å måle *baseline*, som gjøres ved å måle trykkforskjell mellom ute og inne mens viften er dekket til. I følge ISO 9972:2015(E) skal minimum fem målepunkter rundt 50 Pascal registreres. Programmet har forhåndsinnstilt 10 slike punkter fra 25-70 Pa. Brukeren velger om testen skal gjennomføres med overtrykk eller undertrykk ut fra hvilken vei viften plasseres i døråpningen, og må registrere dette i programmet. Ved endt måling beregner programvaren blant annet lekkasjetall, n_{50} , og luftlekkasje q_{50} , dersom bruker har definert volum og overflateareal til målesonen.

3.3.2 Rotronic SW2.1

SW2.1 er et svært enkelt og selvforklarende program. Programmet kan hente ned data fra flere av Rotronic sine måleinstrumenter og lagrer disse i et dokument (tekst- eller excel-format). Figur 3-6 under viser startvinduet i programmet og hvilke parametere som ta hensyn til når dataene hentes inn fra en logger.



Figur 3-6: Skjermbilde av registreringsprogrammet Rotronic SW21.

Programmet registrerer navnet på loggeren så vel som dato og klokkeslettet dens. Dato og klokkeslett i instrumentet kan oppdateres via programmet, og i tillegg kan man endre intervallet mellom hver logging.

3.4 Testforsøk

For å sikre forståelse og å redusere mulige feilkilder ble det i sammenheng med oppgaven gjennomført 4 testforsøk på Ås før gjennomføring av forsøkene i Hurdalen. I Weee-modul A på Søråsjordet, Ås, ble det målt både luftskifte og lekkasjetall. Det ble gjennomført en luftskiftemåling i en studenthybel i Gamleveien, og en måling på CO₂, luftfuktighet og temperatur ved normal bruk i et undervisningsrom i TF-bygget på NMBU. Tabell 3-1 viser forsøkene som ble gjennomført, og hvor. Resultatene finnes i Vedlegg 16, men disse er ikke diskutert og vurdert mot oppgavens problemstilling.

Tabell 3-1: Målemetode, sted og spesifikasjoner for testforsøk.

Forsøk	Dato	Sted (Ås)	Mål	Spesifikasjoner
Tetthetsmåling/lekkasjetall	12.02.16	Søråsjordet, Weee-modul	25m ² , 58m ³	Ventilasjonsanlegg skrudd av, åpninger i bygningskroppen og avtrekk tett
Sporgassmåling	25.02.16	Søråsjordet, Weee-modul	25m ² , 58m ³	Hull teipet, ventilasjon på.
Sporgassmåling	18.02.16	Hybel i murbygg.	25m ² , 60m ³	Hybelen er naturlig ventilert, uten noen "smart-løsninger"
Måling av RF, temp. og CO ₂ , normal bruk	15.02.16	Klasserom NMBU	-	Ventilasjonsystem på maks

Gjennomføring av tetthetsmålinger og luftskifte foregikk på samme måte som i Hurdalen, se 3.4 og 3.5, men med forskjellige plassering av loggere. I målingen som ble gjort i undervisningsrommet ble det kun sett på den naturlige utviklingen av CO₂, temperatur og fuktinnhold. Det ble altså ikke tilført en sporgass.

3.5 Oppsett og gjennomføring

Det ble i hovedsak benyttet 4 forskjellige kvantitative målemetoder:

- Differansetrykkmålinger
- Termografering
- Sporgassmålinger
- Lufthastighetsmålinger

De nevnte målemetodene registrerer også andre faktorer enn det de i utgangspunktet er benyttet til, se beskrivelse av måleutstyr.

Tabell 3-2 på neste side viser en oversikt over hvilke målemetoder som ble benyttet de respektive datoene, hvilket utstyr som ble benyttet, og hvilke forberedelser som måtte gjøres.

Luftskifte i en moderne, naturlig ventilert bolig

Tabell 3-2: Oversikt over forsøksdatoer, utstyr og spesifikasjoner for gjennomføring.

År:	Forsøk	Måles	Utstyr	Ventiler	Annet
2016					
Dag 1: 29.02	Differansetrykk-forsøk	Lekkasjet-all	Blower Door Termograferingskamera Vindhastighetsmåler Teip og plastfolie	Tettet: 1 forsøk Åpne: 1 forsøk	Kjøkken-hette og peis også tettet
Dag 2: 01.03	Sporgassforsøk, avtagningsmetode	Luftskifte	5 stk CP11 loggere 5 stk ladere til CP11 Gasstank Skjøteledninger Teip	Åpne, normal bruk	Åpne dører i bygget
Dag 3: 02.03	Sporgassforsøk, avtagningsmetode	Luftskifte	5 stk CP11 CO ₂ -loggere 5 stk ladere til CP11 2 SodaStream gassbeholdere, 425 g CO ₂ 1 stk gassdistribusjonspatent fra Mycoteam	Åpne, normal bruk	Åpne dører i bygget
Dag 4: 04.03	Sporgassforsøk, avtagningsmetode	Luftstrøm i ventilasjonssystem	5 stk CP11 CO ₂ -loggere 5 stk ladere til CP11 2,5 SodaStream gassbeholdere, 425 g CO ₂ 1 stk gassdistribusjonspatent fra Mycoteam	Åpne, normal bruk	Lukkede dører, gass kun tilført i stue/kjøkken
Dag 5: 05.03	Sporgassforsøk, avtagningsmetode	Infiltrasjon + luftskifte	5 stk CP11 CO ₂ -loggere 5 stk ladere til CP11 2,5 SodaStream gassbeholdere, 425 g CO ₂ 1 stk gassdistribusjonspatent fra Mycoteam	Tettet, så åpne	Peis tettet under infiltrasjonsmåling. Åpne dører i bygget

3.6 Differansetrykkmetoden

For å finne bygningens lekkasjetall ble differansetrykkmetoden som beskrevet i kapittel 2.6.1 benyttet. Forsøket ble kun gjennomført én dag da det er en sikrere metode enn resterende forsøk, og det ble dermed konkludert med at dette var tilstrekkelig med den tiden som var til rådighet.

Følgende utstyr er nødvendig for å utføre forsøket:

- 1 stk. Blower-Door-sett
- Teip og plastduk
- 1 stk. TSI Vindhastighetsmåler (anemometer)
- 1 stk. FLIR termograferingskamera

Nødvendig data:

- Forsøksdato: 29.02.2016
- Oppvarmet gulvareal: 132 m²
- Innvendig luftvolum: 370 m³ (oppvarmet luftvolum, etter NS3031)
- Vindpåkjenning: 2,8 m/s, svak vind, ved start. Tok seg opp utover dagen.
- Utendørs temperatur: -6°C
- Innendørs temperatur: 22°C
- Terrengekategorisering: Delvis eksponert bygning
- Oversikt over alle ventiler: Se plantegninger i Vedlegg 1.



Figur 3-7: Montering av BlowerDoor-stativ i ytterdør. Foto: Malin Jonasson

Før forsøksstart ble det gjort en befaring i bygget sammen med beboer Malin Jonasson for å få en oversikt over alle ventiler og andre åpninger som burde tettes under forsøket. Alle vinduer ble lukket, og alle innvendige dører ble åpnet. Etter befaringen ble de 7 tilluftsventilene, og avtrekkene på hvert av badene tettet med tilklippet plastduk og teip, se Figur 3-9 og Figur 3-10. Kjøkkenavtrekk og kleberstensovnen i stue/kjøkken ble også tettet med plastduk og teip, se Figur 3-10 og 3-10. Når alt var gjort klart ble temperatur inne og ute registrert før Blower-Door-stativet ble installert i ytterdør. Viften ble koblet til DG-700-apparatet, som igjen var koblet til en PC hvor programmet TECTITE var installert. Alle ledninger og uttak ble koblet etter brukermanualen som følger med Blower-Door-settet.



Figur 3-8: Tetting av tilluftsventil.
Foto: Tonje M. Tredal



Figur 3-9: Tetting av avtrekk på bad.
Foto: Tonje M. Tredal



Figur 3-10: Tetting av kjøkkenhette. Foto:
Tonje M. Tredal



Figur 3-11: Tetting kleberstensovn. Foto: Tonje M. Tredal

Etter tilkobling ble bygget trykksatt via funksjonen *cruise* i programmet, hvor programmet har en gitt trykkdifferanse viften skal stille seg inn på. Ved å benytte denne funksjonen kan man sjekke om tettingen av åpninger er tilstrekkelig, og eventuelt om det er åpninger eller lekkasjer man har glemt som burde vært tettet, før forsøket starter. For å detektere lekkasjer er det mulig å bruke hånden foran åpningene, og eller bruke kroppen for en følelse av trekk. For en mer nøyaktig indikasjon på lekkasjene kan man bruke en vindhastighetsmåler. Det ble gjort i dette forsøket; TSI VelociCalc Plus ble benyttet. Det ble også benyttet et termograferingskamera for

å detektere kaldere områder, for dermed å kunne si noe om luftstrømmer gjennom bygningskroppen og de tette åpningsene. Dette ble også tatt i bruk under selve forsøket.

Da det ble konkludert med at bygget var tilstrekkelig tettet ble forsøkene startet. Det ble gjort 2 ulike forsøk; en måling for hele bygget med alle tiltenkte åpninger i bygningskroppen tettet, og en der alle ventiler ble åpnet slik at kun kjøkkenventilator og ovn var tettet. I Tabell 3-3 vises en oversikt over spesifikasjoner for utføring av forsøk, og en kort forklaring av hva hensikten med forsøket var.

Tabell 3-3: Forsøksoppsett og hensikt for lekkasjetallsforsøk.

Forsøk	Tettinger	Hvorfor
Lekkasjetall, hele bygget	Alle ventiler, peis og kjøkkenhette	For å måle byggets lekkasjetall.
Lekkasjetall, åpne ventiler	Alle ventiler, peis og kjøkkenhette	For å kunne finne C-verdi for ventil ved å se målte verdier for dette forsøket i sammenheng med målt lekkasjetall.

I og med at målingen med åpne ventiler var ment til å finne C-verdien for de enkelte ventilene var det feil å åpne avtrekkene. Dette kommenteres også i kapittel om feilkilder.

3.7 Sporgassmålinger

Dette avsnittet beskriver fremgangsmåten for målinger utført med utgangspunkt i metoden beskrevet i kapittel 2.6.2. Forsøkets hensikt er å detektere ending i CO₂-konsentrasjon over et gitt tidsintervall. Forsøket gjentas over flere dager for bedre å kunne gi en rettmessig konklusjon og minske eventuelle feilkilder. Fra testforsøk ble det tatt en avgjørelse på at å kun logge konsentrasjonen av CO₂ hvert femte minutt var litt lite, og loggerne ble dermed stilt inn til å logge konsentrasjonen en gang i minuttet.

Følgende utstyr er nødvendig for å utføre forsøket:

- 5 stk. Rotronic CP11 CO₂-målere
- BlowerDoor-viften og Dg-700-apparat
- 2 stk. vifter (til omrøring)
- 1 stk. Røykmaskin
- 1 stk. TSI Vindhastighetsmåler (anemometer)
- En tank + 7 SodaStream beholdere med CO₂-gass.
- Teip og plastduk

Nødvendig data:

- Forsøksdato(er): 01.03.2016 – 04.03.2016
- Lokasjon: Økonlandsbyen, Hurdal
- Vindhastighet: Se Tabell 3-4
- Utetemperatur: Se kapittel 4.2.2

Luftskifte i en moderne, naturlig ventilert bolig

- Lengde på forsøk: Hvor lenge forsøket varte variert fra dag til dag, se kapittel 4.1.
- Utvendig CO₂-konsentrasjon ved start: Se Tabell 3-5.
- Valgt startkonsentrasjon for forsøk de aktuelle dagene: Se Tabell 3-6.

Tabell 3-4: Vindhastighet forsøksdatoer

Dato	Vindhastighet (ute)
01.03	7 m/s
02.03	4 m/s
03.03	4 m/s
04.03	0,09 m/s

Tabell 3-5: Gjennomsnittskonsentrasjon ved kalibrering mot uteluft

Dato	Gjennomsnittsverdi på loggere
01.03.16	412 ppm
02.03.16	406 ppm
03.03.16	406 ppm
04.03.16	411 ppm

Tabell 3-6: Oppnådd startkonsentrasjon i målesone.

Dato	Gjennomsnittlig oppnådd startkonsentrasjon CO ₂ i sone ved tilførsel [ppm]
01.03	5051
02.03	1406
03.03	3130 (i stue/kjøkken)
04.03	2487 (2011 for luftskifte)

Før hvert forsøk igangsettes, tas målerne med ut og kalibreres mot uteluftens konsentrasjon av CO₂. Verdiene for hver dag er gitt i Tabell 3-5 over. Etter kalibrering ble loggingen startet og målerne plassert ut i bygget. Hvor loggerne ble plassert og hvordan videre forsøk ble gjennomført var avhengig av hva det var ønskelig å finne de respektive dagene. Mens kalibreringen pågikk ble omrøringsviftene plassert rundt i bygget.

For hver nye målingsdag ble batteriene i loggerne skiftet selv om loggerne stod med lader i under hele forsøket. Dette ble gjort for å minske eventuelle feilkilder på grunn av dårlig batteri om ledningen av mot formodning skulle falle ut eller bli revet ut. Klokkeslettet i hver logger ble sjekket før hver nye måling for å se at ikke noen loggere gikk saktere enn andre. Etter sjekken ble klokkeslettet i hver logger stilt via pc selv om de så ut til å gå slik de skulle for ytterlige å minske feilkilder relatert til tid.

Etter at målerne var plassert rundt i bygget, og viftene skrudd på ble CO₂ tilført bygget til konsentrasjonen var såpass høy at man vil få tydelige resultater ved målinger, og til man så at loggerne viste omtrent like verdier. Når loggerne viser omtrent like verdier vet man at gassen er tilnærmet uniformt fordelt i bygget. Om dette i tillegg til ønsket konsentrasjon er oppnådd kan den som gjennomfører forsøket skru av viftene og forlate bygget slik at målingen får pågå uforstyrret.

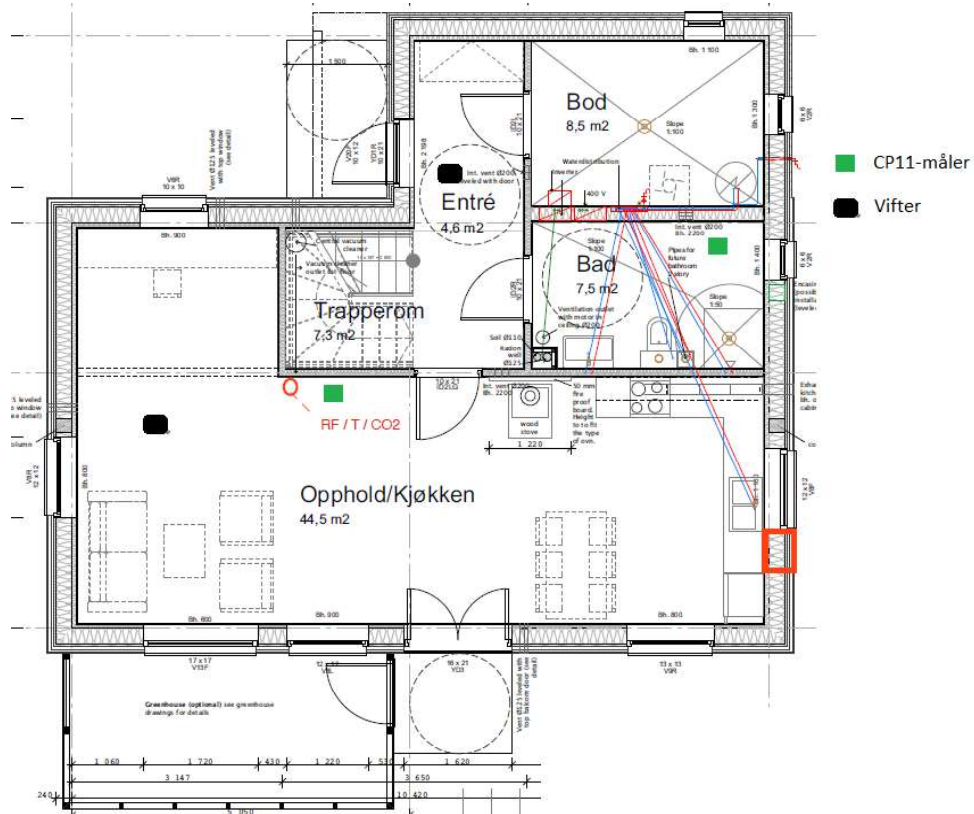
Når gassen var tilført til ønsket konsentrasjon ble bygget forlatt, og målingene fikk pågå uforstyrret. For hver av dagene, utenom siste dagen (04.03), der sporgassmetoden ble benyttet, ble loggerne liggende igjen til neste morgen for å fortsette å måle etter at familien kom hjem og konsentrasjonen av CO₂ var nede på et normalt nivå. Dette ble gjort for også å se på svingningene i relativ fuktighet, temperatur og CO₂ i bygget gjennom døgnet ved normal bruk.

For å illustrere oppsett av måleutstyr er det i figurene i de følgende avsnittene brukt grønn firkant for å markere plassering av CP11-loggere, og sort firkant for å markere plassering av omrøringsvifter.

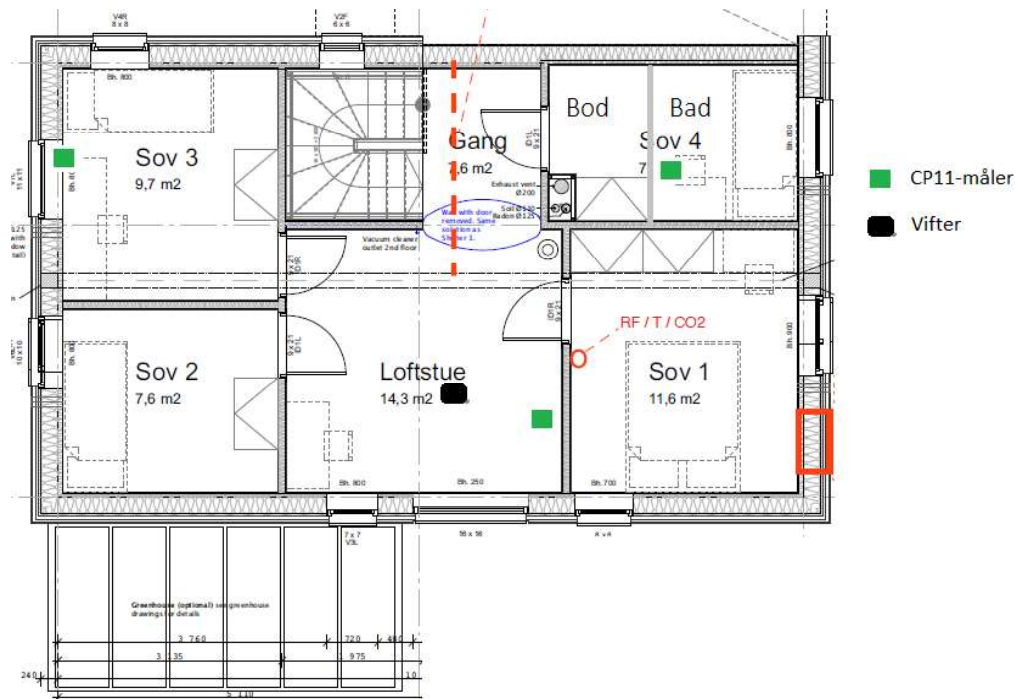
Det ble også planlagt å kontinuerlig logge lufthastighet i avtrekkskanal og se på variasjonen opp mot luftskiftet, men grunnet problemer med lagringsplass på apparatet og problemer med tilkoblingen til PC gikk disse dataene til spille, og kunne ikke tas med i vurderingen.

3.7.1 Luftskifte og infiltrasjon

For å måle luftskifte og infiltrasjon ble loggerne plassert som på Figur 3-12 og Figur 3-13 under.



Figur 3-12: Plassering av forsøksutstyr for luftskifte- og infiltrasjonsmåling, første etasje.



Figur 3-13: Plassering av forsøksutstyr for luftskifte- og infiltrasjonsmåling, andre etasje.

Hovedforskjellen på de to forsøkene var at ved luftskiftemålinger var ventiler åpne og kleberstensovn en ikke forseget, mens under infiltrasjonsforsøk ble både ventiler og ovn forseget. For begge forsøkene ble sporgassen tilført jevnt i hele bygget.



Figur 3-14: Ventil for å porsjonere ut gass fra sodastream-beholder. Foto: Kolbjørn M. Jenssen

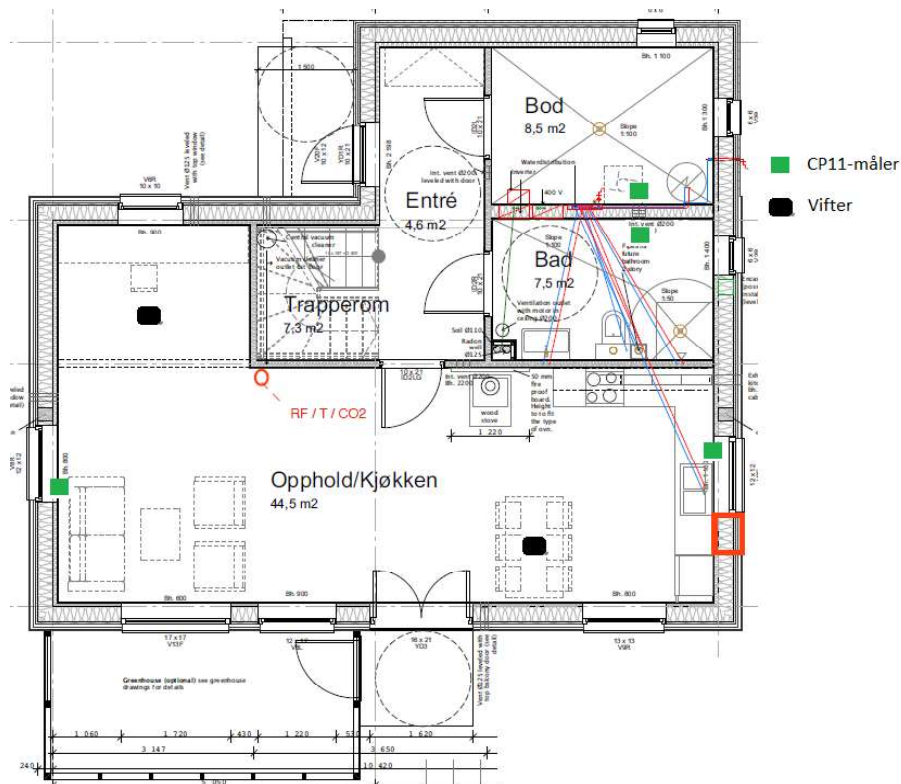
I dette studiet er det stor forskjell på tilført konsentrasjon av CO₂ for dag 1 og resterende dager der luftskifte ble målt. Dette skyldtes at det kun var første dagen det ble brukt en stor gasstank utlånt av NMBU, mens det resterende dager ble benyttet SodaStream-gassbeholdere som kun rommer 425 g CO₂, og dermed ikke kan få konsentrasjonen like høyt opp. Gassen ble tilført bygget ved hjelp av en slags kork med en ventil som Mycoteam har laget til dette formålet (se Figur 3-14).

På dag 5 (04.03) ble det først gjort klart til en infiltrasjonsmåling ved å tette alle ventiler og kleberstensovn en med plastfolie og teip. Deretter ble gassen tilført og fikk virke i 3,5 timer før bygget på nytt ble entret og all plast fjernet for å fortsette målingen som en "alminnelig" luftskiftemåling som hadde sluttkonsentrasjonen av CO₂ fra infiltrasjonsmålingen som startkonsentrasjon. Det ble ikke

tilført mer gass ved start av dette forsøket. Årsaken til at forsøket ble gjennomført slik, og ikke som en ren infiltrasjonsmåling, var at tiden til rådighet for gjennomføring av forsøk var såpass knapp.

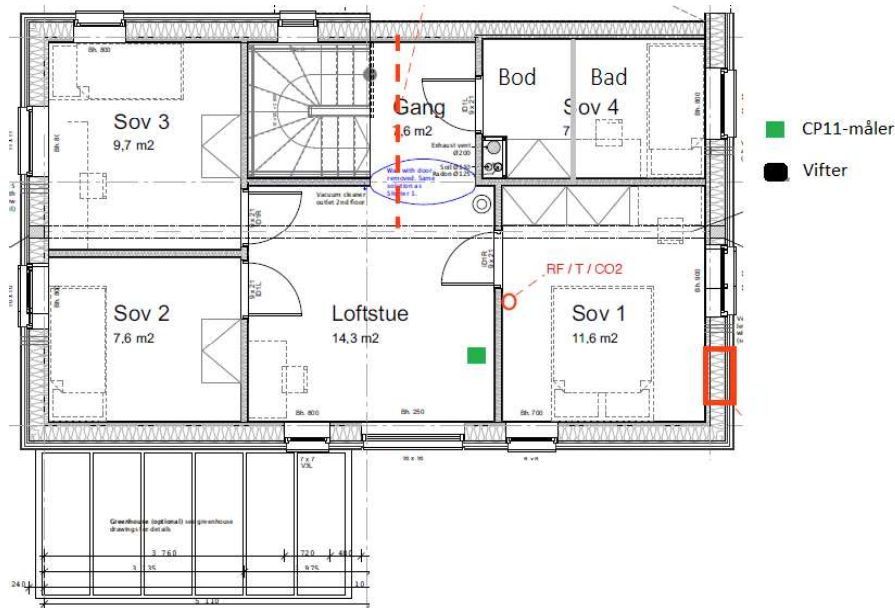
3.7.2 Luftsirkulasjon i ventilasjonssystem

For å kunne studere om luften sirkulerer som tiltenkt i det naturlige ventilasjonssystemet ble det gjort en måling som minner om måling av interne luftlekkasjer. Da ble loggere og vifter plassert som i Figur 3-15 og Figur 3-16 under.



Figur 3-15: Plassering av forsøksutstyr for å detektere luftsirkulasjon i boligen, første etasje.

Luftskifte i en moderne, naturlig ventilert bolig



Figur 3-16: Plassering av forsøksutstyr for å detektere luftsirkulasjon i boligen, andre etasje.

Det ble valgt å plassere målerne på denne måten for å fange opp hvordan gassen tas med luftstrømmene gjennom bygget. Ventilasjonssystemet er tiltenkt slik at frisk luft hovedsakelig tilføres i oppholdssonen (stue/kjøkken), og deretter skal gå via en indre ventil inn til ganger. Derfra skal luften tas gjennom teknisk rom før den går inn på bad og ut gjennom avtrekksventilen plassert over toalettet. I prinsippet skal ikke så mye av luften sige opp i overetasjen, da denne delen av bygget for det meste består av soverom som har egen tilluftsventil. Dermed ble det plassert to loggere i oppholdsrommet for å se at CO₂-konsentrasjonen var jevn ved tilføring. For å se om luften strømmet helt inn til teknisk rom ble det plassert en logger i dette rommet like under ventilen som går mellom teknisk rom og bad. Det ble også plassert en måler på badet under samme ventil (se Figur 3-15). Den siste loggeren ble plassert i loftstuen som en "kontrollmåling" for å se hvor mye av gassen som steg opp i andre etasje.

I tillegg til å sette ut måleutstyret som beskrevet, ble også 2 brannalarmer dekket med plastfolie og teip, da det skulle tilføres røyk i bygget. Da utstyret var plassert ble det først gjort et forsøk på å tilføre røyk fra en røykmaskin ved ventilen mellom oppholdsrom og gang for å se om luften bevegede seg som antatt. Denne gikk dessverre for fort tom til at det ble et synlig resultat. Deretter ble gassen tilført kun i oppholdssonen i første etasje (stue/kjøkken). Alle byggets dører og vinduer var lukkede. Ventilene var stilt inn slik brukerne vanligvis har dem på vinterstid.

Ved å gjennomføre forsøket med åpne ventiler i stedet for lukkede ventiler er det ikke de interne luftlekkasjene man finner, men forsøket vil likevel kunne gi en indikasjon på disse.

3.8 Innhentede data

I tillegg til å gjøre egne målinger ble det hentet data fra Omnisense-målere og eKlima, som er en side laget av Meteorologisk institutt. (Meteorologisk institutt) Disse ble betraktet sammen med måledata og ble benyttet til å prøve å si noe om enkelte av de målte faktorene over en lengre periode enn måleuken. Plassering av CO₂-måler i stue og på soverom er indikert i plantegninger i Vedlegg 1. Omnisense-sensorene som måler %RF og temperatur er plassert på soverommet til de to voksne, soverom 1 på plantegning i vedlegg, på bad i første etasje og i oppholdsrommet (stue/kjøkken)

3.9 Systematisering av data

3.9.1 Bearbeidelse av data

Første dagen det ble gjennomført sporgassmålinger, 01.03.16, viste klokken på logger nr. 24, plassert på barnerom oppe, feil klokkeslett. Dette til tross for at undertegnede mente å ha kontrollert klokkeslettet på alle loggerne. Det ble likevel valgt å korrigere denne klokkefeilen og å ta med data fra denne loggeren i beregningene, da det ble sjekket at verdiene målt stemte overens med de andre loggerne, så vel som at undertegnede vet å ikke ha startet én logger 22 minutter før resterende fire loggere.

En lekkasjetallsmåling forsøkt utført på kun deler av bygget ble utelatt fra rapporten da det fort viste seg at tette-utstyret benyttet ikke var tilstrekkelig, og målingen gav urimelige verdier.

3.9.2 Fremstilling av resultater

Etter dataene var samlet inn ble aktuelle beregninger gjort, og det ble laget grafer, tabeller og diagrammer med relevante funn. Målinger ble koblet opp mot hverandre for lettere å kunne sammenlikne resultater, og se tendenser.

For sporgassmålinger ble det beregnet gjennomsnittskonsentrasjon av verdiene fra hver logger for hver dag, og luftskifte og infiltrasjon for boligen ble beregnet ut fra dette. Det ble også gjort en fremstilling av luftskiftet for hvert rom for seg for hver av dagene.

4 RESULTAT

I følgende kapittel presenteres de innsamlede dataene. Kapitlet er delt inn etter hvilke resultater som er oppnådd ved forsøk, og hvilke som er hentet fra andre kilder. Videre er delkapitlene delt opp etter hva det er forsøkt å finne ved den enkelte målingen, med informasjon om hvilke dager det aktuelle forsøket er gjennomført.

4.1 Forsøksresultater

4.1.1 Værforhold

For å først få et innblikk i værforholdene på måledagene er Tabell 4-1 lagt inn her. Klimadata oppgis likevel også andre steder i resultatkapitlet knyttet sammen med de aktuelle resultatene, så vel som at ekstra klima-data er å finne i vedlegg.

Tabell 4-1: Vind- og værforhold for Gardermoen, 29.02-04.03

Dato	Vindhastighet [m/s]	Vindretning [°] (0° tilsvarer nord)	Nedbørmengde [mm]	Utetemp. [°C]	%RF ute
29.02	2,8 m/s	173	0	-5,1	88
01.03	4,4 m/s	167	0	-1,8	80
02.03	4 m/s	75	2,2	-2,1	89
03.03	4 m/s	198	11,3	-0,7	92
04.03	2,5 m/s	24	3,8	-0,2	94

4.1.2 Lekkasjetall, 29.02.16

Lekkasjetall ved tette åpninger og byggets oppvarmede volum benyttet (370m³) :

Tabell 4-2: Resultat lekkasjetallmålinger der oppvarmet bygningsvolum er benyttet.

	Undertrykk	Overtrykk	Gjennomsnitt
V ₅₀	586 (+/- 0,3 %)	711 (+/- 0,4%)	649
n ₅₀	1,58	1,92	1,75

C-verdi for ventil

For å finne luftstrømmen gjennom ventilene ble det, i tillegg til målingen med lukkede

ventiler, gjennomført en måling der alle ventiler var åpne. På denne måten kan man finne C_{ventil} .

C_{ventil} ble beregnet til å være 13,6 (per ventil, innregnet avtrekk), se Vedlegg 5: C_{ventil} . Men i og med at det ble gjort en feil ved også å la avtrekk være åpne, er ikke denne verdien så relevant å bruke videre.

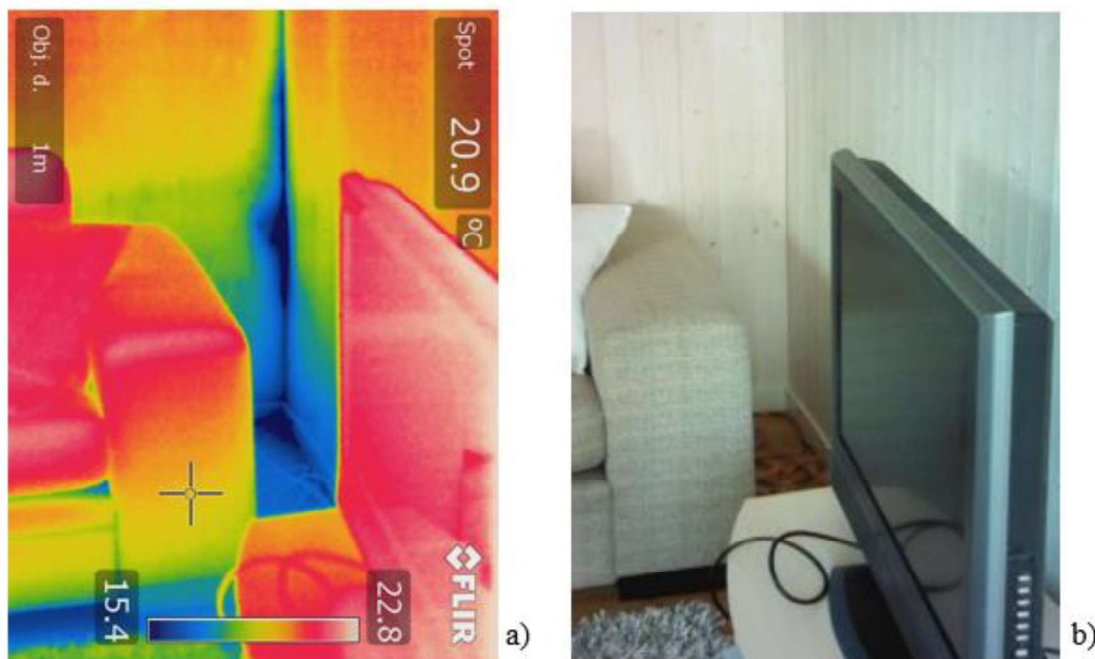
Utetemperaturen 29.02 ble målt til å være -6°C , og ikke $-5,1^{\circ}\text{C}$ som for Gardermoen.

4.1.3 Termografering: dag 1

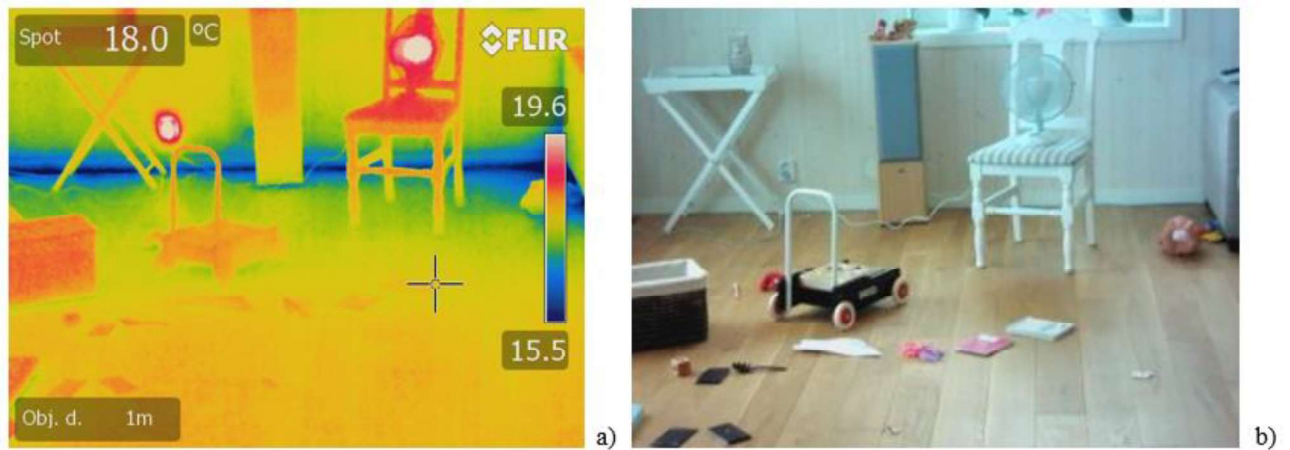
Her er det tatt ut 2 termogrammer for å illustrere luftlekkasjer og temperaturer i nærheten av dem. Begge er fra oppholdsrommet (stue/kjøkken), se Figur 4-1 og Figur 4-2. For flere termogrammer, se Vedlegg 6: Termogrammer. Nyttige data for å analysere termogrammene er vist i Tabell 4-3.

Tabell 4-3: Trykk i bygningen og temperatur under termografering.

Trykkforhold	Utetemperatur
4,8 Pa undertrykk	-6°C (målt)



Figur 4-1: a) Termogram av hjørne i tv-stue, nordvendt fasade, b) Vanlig foto av samme objekt. Foto: Tonje M. Tredal



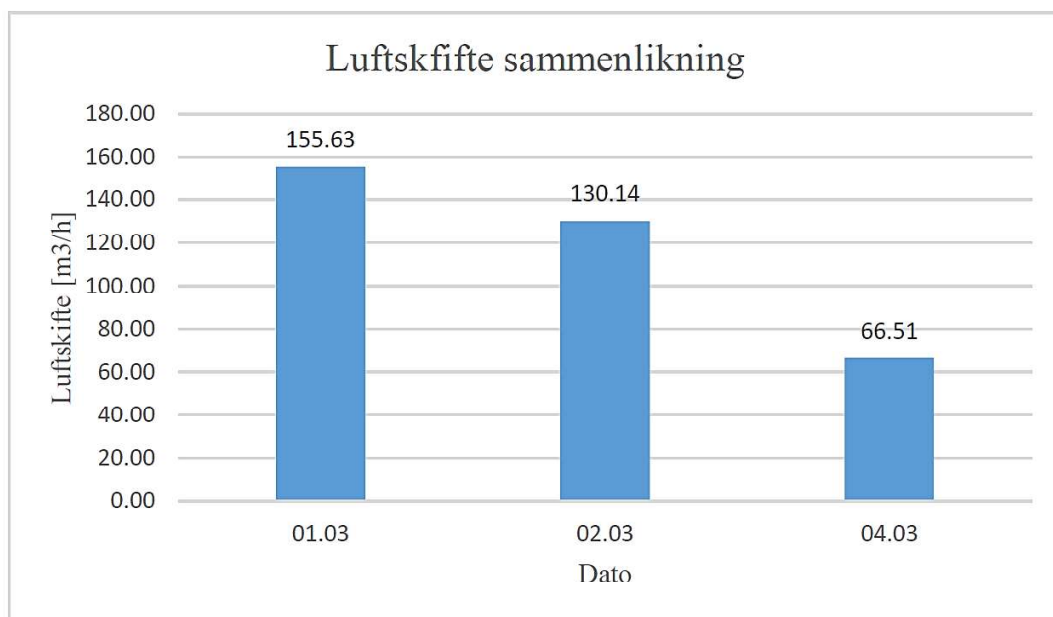
Figur 4-2: a) Termogram av sammenføring mellom gulv og vegg på sydvendt fasade i stue. b) Vanlig foto av samme objekt. Foto: Tonje M. Tredal

4.1.4 Luftskifte: dag 2, 3 og 5

Tabell 4-4: Gjennomsnittsverdier for Cn og luftskifte de aktuelle måledagene

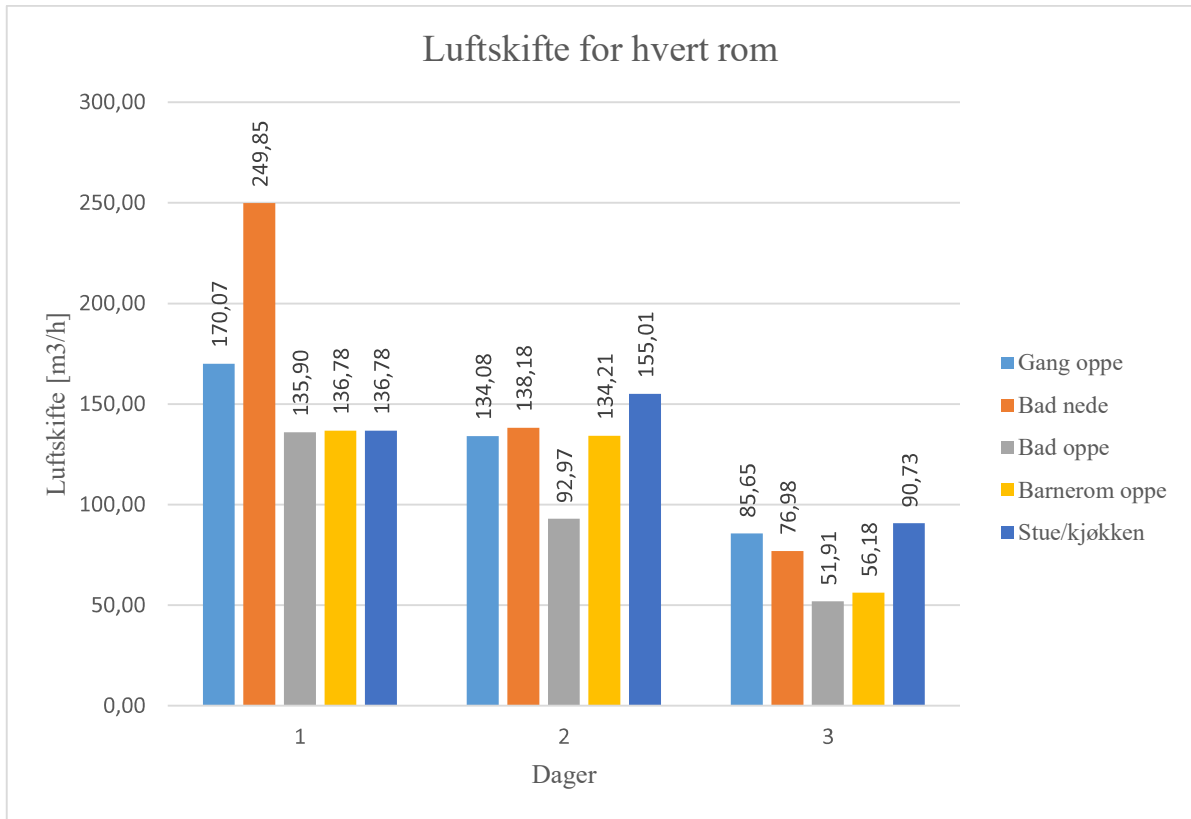
Luftskifte [oms/h]			Luftskifte [m ³ /h]		
01.03, dag 1	02.03, dag 2	04.03, dag 3	01.03, dag 1	02.03, dag 2	04.03, dag 3
0,42	0,35	0,18	155,63	130,14	66,51

Figur 4-3 illustrerer de målte verdiene for lettere å kunne gjøre en sammenlikning.



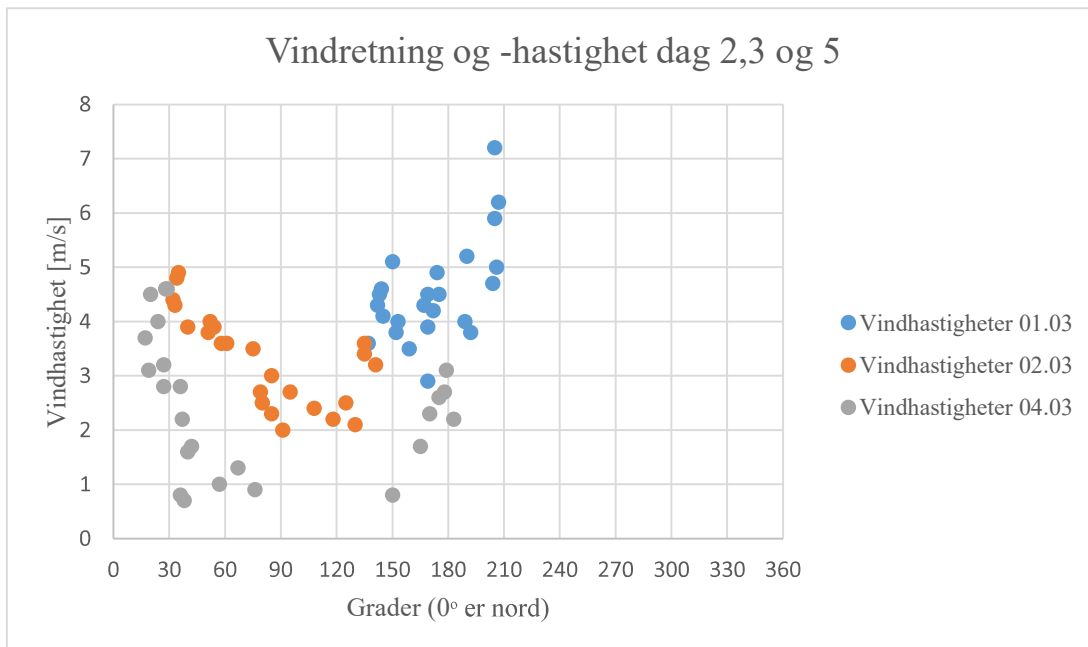
Figur 4-3: Luftskifte for de enkelte måledagene.

Figur 4-4 viser hvordan luftskiftet er i de enkelte rommene for hver av måledagene:



Figur 4-4: Luftskifte for hvert rom. På den vannrette aksen tilsvarer 1 første dagen luftskifte ble målt (01.03), 2 tilsvarer andre dagen (02.03), og 3 tilsvarer tredje dagen (04.03)

Figur 4-5 viser vindhastigheter de aktuelle måledagene.

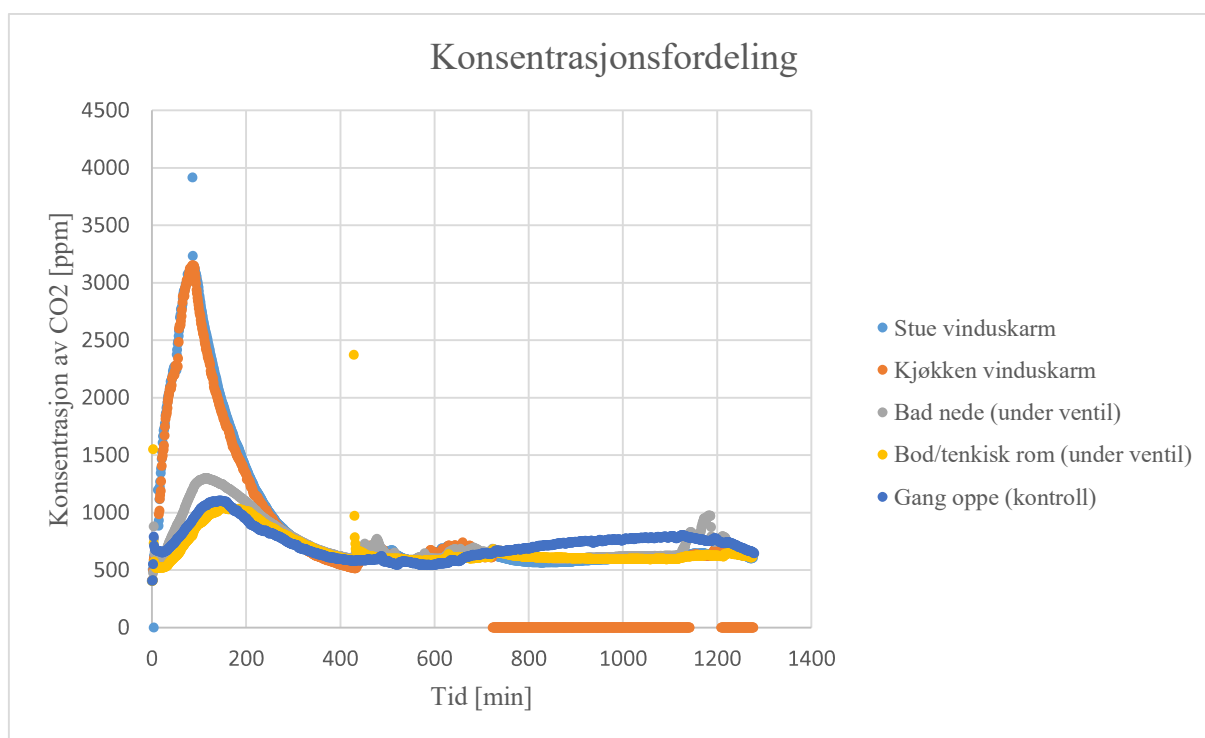


Figur 4-5: Vindhastighet plottet mot vindretning de aktuelle måledagene.

Tabell 4-5: Klimaforhold/værd data for sporgassmålinger. 03.03 er angitt i blått da det denne dagen ble gjort en annen type måling enn de resterende 3 dagene.

Dato	Vindhastighet (ute, start Gardermoen)	Vindhastighet (ute, start målt)	Utetemp. Gardermoen	%RF ute	Innvendig trykk ved forsøksstart
01.03	4,4 m/s	7 m/s	-1,8	80	-
02.03	4 m/s	-	-2,1	89	-
03.03	4 m/s	-	-0,7	92	1 Pa overtrykk
04.03	2,5 m/s	0,09 m/s	-0,2	94	4 Pa undertrykk

4.1.5 Luftstrøm i bygget: dag 4



Figur 4-6: Avtaking av gass og fordeling til de enkelte rommene.

Gassen er tilført kun i stue/kjøkken. Fra grafen kan det se ut som at gassen deretter strømmer inn i gangen, og så går mye rett inn på badet i stedet for å følge veien gjennom teknisk rom/bod (som er det tiltenkte, ifølge Arne Førland-Larsen). Konsentrasjonen blir lavest i boden. En del av gassen forsvinner også opp i andre etasje. Ved å se på når konsentrasjonen når sin maksimalverdi for hver logger i forhold til når konsentrasjonen i oppholdsrom nådde sin maksimalverdi vil det kunne gi en videre indikasjon på luftstrømmene og hvor lang tid luften bruker fra et rom til et annet. Dette er ført opp i Tabell 4-6:

Luftskifte i en moderne, naturlig ventilert bolig

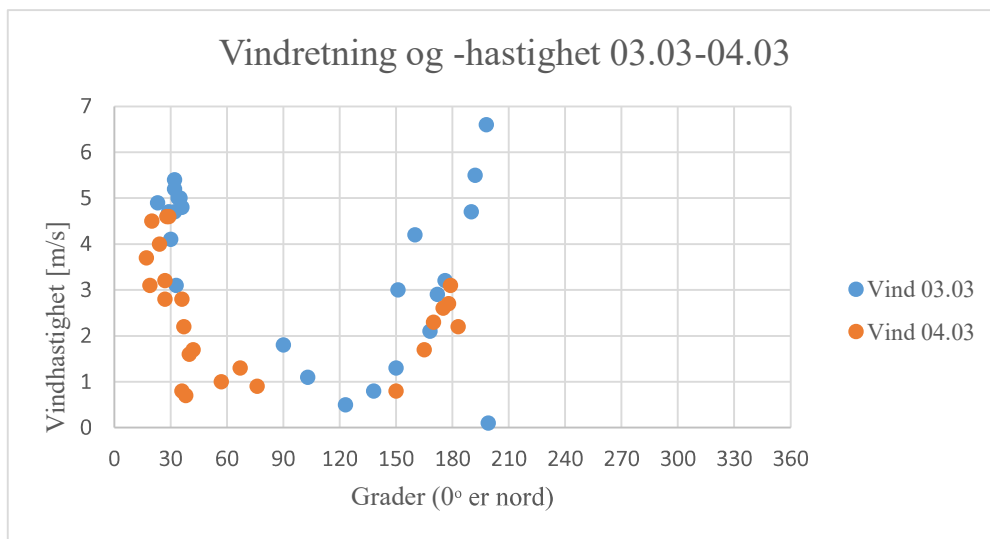
Tabell 4-6: Tidspunkt for konsentrasjonspeak for loggere med forsinkelse i forhold til oppholdsrommet.

Logger	Tidspunkt for konsentrasjons-peak	"Forsinkelse" peak [min]
Stue vinduskram	11.52	0
Kjøkken vinduskarm	11.52	0
Bod/teknisk rom	12.51	59
Bad	12.17	25
Gang oppe	12.46	54

Luftskiftet er beregnet for oppholdsrommet denne dagen når døren videre til resten av bygget er lukket, se Tabell 4-7.

Tabell 4-7: Luftskifte for oppholdsrom, 03.03.16

	Luftskifte [oms/h]	Luftskifte [m ³ /h]
Gjennomsnitt:	0.59	217.39



Figur 4-7: Vindhastighet plottet mot vindretning 03.03, samt 04.03 da målingen forgikk til morgenen denne dagen.

Ved å se på temperaturer og RF i oppholdsrommet er det mulig å si noe mer om inneklimate i dette rommet.

Tabell 4-8: %RF og temperatur målt med CP11

	Kjøkken vinduskarm		Stue vinduskarm	
	%RF	Temp [°C]	%RF	Temp [°C]
Maks	40.5	20.00	37.3	19.56
Min	28.9	16.67	30.6	16.67

Aktuelle maksimum- og minimumsverdier fra omnisense er som følger:

Tabell 4-9: %RF og temperatur fra omnisense.

	%RF	Temp [°C]
Max	33.6	21.1
Min	29.8	18.7

Disse verdiene ligger altså litt over de målte verdiene i vinduskarmene.

4.1.6 Infiltrasjon: dag 5

Siste dagen, 04.03.16, ble det målt infiltrasjon i bygget. Tabell 4-10 viser beregnet resultat.

Tabell 4-10: C_N og Infiltrasjon, målt 04.03.2016

	Infiltrasjonsrate [oms/h]	Infiltrasjon [m^3/h]
Gjennomsnitt	0,083	30,61

Det vil si at mengden luft som strømmer inn gjennom utilsiktede åpninger og sprekker er ca. $31 m^3/h$. Dette tallet er ikke et veldig sikkert tall da målingen bør pågå i mye mer enn 3 timer og det bør gjøres flere målinger under forskjellige værforhold. Dette vil likevel kunne gi en indikasjon på hvor stor luftmengden forårsaket av infiltrering gjennom klimaskjermen er, og sammen med værdata vil dette i diskusjonsdelen forsøkes å trekke en mer generell konklusjon ut fra.

Fra kapittel 2.2.3 har vi også at infiltrasjon kan forenklet beregnes ved å dele lekkasjetall på 15. Ved å gjøre det får man følgende resultat:

$$n_{inf} = \frac{n_{50}}{15} = \frac{1,75}{15} = \underline{0,117h^{-1}}$$

Som man kan se er denne verdien høyere enn målt verdi i dette tilfellet.

4.2 Innhentede data

4.2.1 Omnisense: CO₂, %RF og temperatur ved normal bruk

I hus B6 er det installert to forskjellige typer omnisense-sensorer som over lengre tid har målt RF, temperatur og CO₂ i inneluften. Følgende tabeller viser maksimums- og minimumsverdier for de nevnte faktorene, samt differansen, gjennom tiden de har vært aktive. I Vedlegg 10 finnes grafer over verdiene som danner grunnlag for tabellene under.

Tabell 4-11: Maksimal og minimal CO₂-konsentrasjon.

	CO ₂ [ppm]: soverom	CO ₂ [ppm]: opphold
Min	281	513
Max	1459	609
Differanse	1178	96

Fra grafen i Vedlegg 10 vises det at sensoren i oppholdsrom har vært ute av drift mesteparten av tiden den har vært installert, hvilket vil gjøre det vanskelig å trekke generelle konklusjoner ut fra dataene.

Tabell 4-12: %RF fra omnisense-målere.

	%RF: Bad	%RF: Sov, dør	%RF: Sov, ventil	%RF: Sov, vindu	%RF: Stue
Min	26,3	34,9	38,9	35,1	29,5
Max	42,1	47,6	53,3	49,0	40,8
Differanse	15,8	12,7	14,4	13,9	11,3

Tabell 4-13: Temperatur fra omnisense-målere.

	T [°C]: Bad	T [°C]: Sov, dør	T [°C]: Sov, ventil	T [°C]: Sov, vindu	T [°C]: Stue
Min	21,2	16,8	13,0	16,3	17,10
Max	24,3	21,2	19,8	20,8	22,4
Differanse	3,1	4,4	6,8	4,5	5,3

4.2.2 Værdata

Alle værdata/klimadata er henta fra eKlima.no. (Meteorologisk institutt)

Vindrose, frekvensfordeling av vind

Vindretning deles i sektorer på 30°

Frekvensfordeling av vindhastighet i prosent %

Vindhastighet (m/s)

- >20.2
- 15.3-20.2
- 10.3-15.2
- 5.3-10.2
- 0.3-5.2

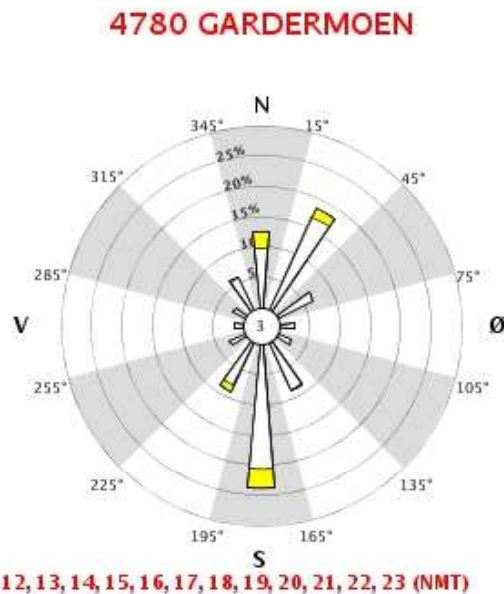
Stille (%)



År: 2016 - 2016

mar

Tidspunkt: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 (NMT)



Figur 4-8: Vindrose for Gardermoen i mars. På yttersirkelen er 0° nord, 90° er øst, 180° er syd og 270° er vest. Strekene som strekker seg/brer seg fra senter viser retning vinden kommer fra og i hvilket hastighetsintervall vinden ligger.

Fra figuren ser vi at vindandelen som kommer fra syd (180°) utgjør ca. 0,24 eller 24%. Av disse er det ca. 20% som ligger innenfor hastighetsintervallet 0,3-5,2 m/s, mens ca. 4% er vind med en hastighet mellom 5,3 m/s og 10,2 m/s. Vindhastigheter plottet mot retning er vist i Figur 4-5 og Figur 4-7.

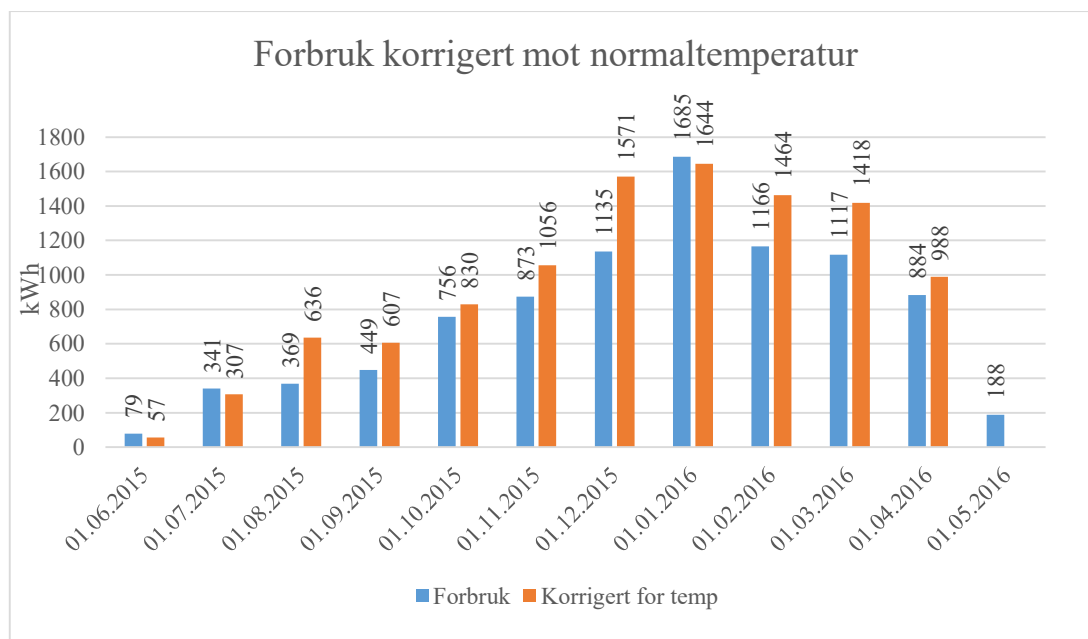
Værdataene benyttet i studiet ble hentet fra Gardermoen da værstasjonen installert i Hurdalen fortsatt ikke hadde begynt å fungere i uke 9, da forsøkene ble gjennomført.

4.2.3 Energiforbruk

Alle data hentet fra brukerkontoen på Hafslund er *netto utveksling*. Det vil si at i et måletidspunkt der det forbrukes mer enn det produseres vil målepunktet registrere verdien som forbruk. Om det derimot produseres mer enn det forbrukes kommer verdien ut som produksjon. Å skille søylene i forbruk og produksjon er dermed litt feil, men det sier noe om i hvor store deler av måleperioden det er et større forbruk enn produksjon.

Altså; når det i noen tidspunkter produseres mer enn det forbrukes kommer det opp som produksjon, når det i andre timer brukes mer enn det produseres kommer det opp som forbruk.

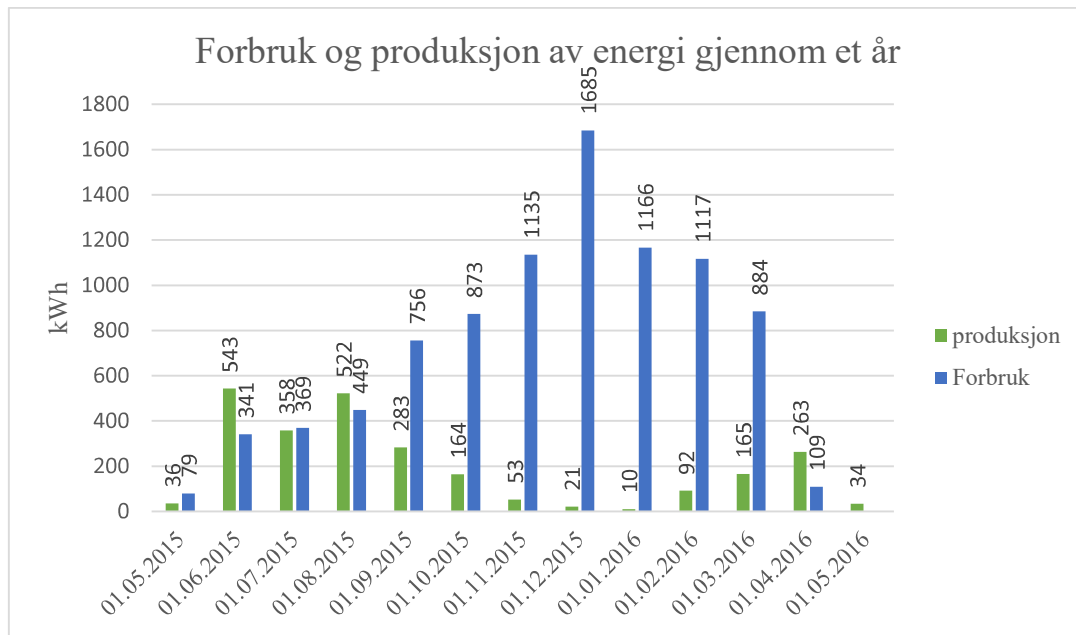
Ved å se på forbruk og produksjon av energi for bygget er det mulig å si noe mer om hvor energieffektive løsningene i bygget er, og å si noe om utslaget av å ikke benytte en varmegjenvinner. Under følger resultater for energiforbruk hentet fra beboerne i hus B6 sin brukerprofil hos Hafslund:



Figur 4-9: Faktisk energiforbruk og forbruk korrigert mot temperatur det siste året.

Antatt årlig energiforbruk er beregnet til å være 9 612 kWh fra måledata fra Hafslund, ut fra tiden bygget er bebodd. Ved å summere verdiene fra Figur 4-9 over kommer faktisk forbruk og korrigert forbruk på hhv. 9042 kWh og 10766kWh. Da er korrigert forbruk satt til å være likt som faktisk forbruk for mai, siden det enda ikke foreligger data fra hele denne måneden.

I og med at aktivhusene er designet med solcellepaneler på taket leverer også byggene strøm til nettet i perioder med mye sol og lavt behov for benyttet energi. Det vil være relevant å ta dette også med i betraktningen av byggenes forbruk. Under følger oversikter over forbruk og produksjon av energi over forskjellige tidsperioder.



Figur 4-10: Fordeling av forbruk og produksjon av energi for hver måned gjennom bebodd periode (ett år).

Produsert energi på tomten er, etter Figur 4-10, 2544 kWh, mens forbruk ligger på 9042 kWh, som i Figur 4-9.

4.3 Energiberegninger:

For å kunne si noe om energien som går med til oppvarming av tilluften er det gjort noen ekle beregninger:

4.3.1 Energibruk som følge tilluftskrav

For å kunne gjøre en sammenlikning av energiforbruk knyttet til ventilasjon er det her gjort et enkelt regnestykke for å se på effekten av å benytte en varmegjenvinner. Denne beregningen har tatt utgangspunkt i graddagstall, med noen justeringer. Som man kan se i kapittel 2.3.3 krav til temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinnere på 70% da bygget ble oppført. Dette, sammen med dataene i Tabell 4-14, er lagt til grunnlag for beregningen.

Tabell 4-14: Benyttede data til energi-regnestykke

Benyttede data i regnestykket:	
Oppvarmet BRA (tilsvarende hus B6)	132 m ²
Minimumskrav frisklufttilførsel, TEK10	1,2 m ³ /m ² h
Spesifikk varmekapasitet luft (energi krevd for å øke lufttemperaturen med 1°C)	0,33 Wh/m ³ K

Årsmiddeltemperatur Hurdalen	3,7 °C (Meteorologisk intitutt 2015)
Fyringstemperatur (se kap. 2.5)	17 °C
Pris kjøpt energi (inkludert nettleie og avg.)	Ca 1 kr/kWh

Nødvendig luftmengde i boligen etter TEK10:

$$\dot{V} = BRA \times 1,2 \frac{m^3}{m^2h} = 132 m^2 \times 1,2 \frac{m^3}{m^2h} = 158,4 \frac{m^3}{h}$$

Deretter kan man se på hvor mye energi som kreves for å løfte temperaturen fra utetemperatur til innetemperatur:

$$158,4 \frac{m^3}{h} * 0,33 \frac{Wh}{m^3K} * (17^{\circ}C - 3,7^{\circ}C) * 24h * \frac{365}{1000} = 6090 \frac{kWh}{\text{år}}$$

Ved å benytte en varmegjenvinner vil man spare følgende mengde energi:

$$6090 \frac{kWh}{\text{år}} * 70\% = 4263 \frac{kWh}{\text{år}}$$

Ved deretter å anta at prisen for kjøpt energi er 1 kr/kWh som i Tabell 4-14, vil redusert kostnad som følge av å benytte en varmegjenvinner være 4263 kr/år

Videre vil man få et bidrag fra varmegjenvinneren per m² på:

$$\frac{4263 \frac{kWh}{\text{år}}}{132 m^2} = 32 \frac{kWh}{m^2 \text{år}}$$

Hvis man så sammenligner denne verdien med kravet til totalt netto energibehov i TEK10 finner man at dette utgjør 24% av dagens netto energibehov:

$$\frac{32 \frac{kWh}{m^2 \text{år}}}{120 + \frac{1600}{132}} * 100\% = \frac{32 \frac{kWh}{m^2 \text{år}}}{132,1 \frac{kWh}{m^2 \text{år}}} * 100\% = 24\%$$

Kravet til frisklufttilførsel til soverom er 26 m³/h per person, se 2.3.1. Om denne luften strømmer fra soverommet og over til andre rom må denne oppvarmes. Hvis man ser på dette kravet mot 1,2m³/m²h-kravet vil det måtte bo 6 personer i bygget for at tilsvarende luftmengde blir kravet.

4.3.2 Dimensjonerende effektivt oppvarmingsbehov:

Fra kapittel 2.6.3 har man følgende formel for beregning av oppvarmingsbehov som følge av ventilasjonsluftmengder.

$$\varphi_i = 0,33 \frac{Wh}{m^3K} * c_n * V * \Delta\theta_{dim}$$

Luftskifte i en moderne, naturlig ventilert bolig

Det antas i denne beregningen at boligen i Hurdal oppnår et luftskifte på 0,5 oms/h, og bygningsvolum er satt til 370 m³. Da blir dimensjonerende oppvarmingsbehov:

$$\varphi_i = 0,33Wh/m^3K * 0,5h^{-1} * 370m^3 * (20 - (-26,3))K$$

$$\varphi_i = \underline{2826,6 W = 2,8 kW}$$

5 ANALYSE OG DISKUSJON

Det er i dette studiet valgt å slå sammen analyse og diskusjon av dataene. Årsaken til dette er at det antas lettere for leseren å henge med på diskusjonen om den kommer i direkte sammenheng med analysen.

5.1 Analyse og diskusjon

5.1.1 Lekkasjetall

Fra luftlekkasjemålingene med Blower-Door-systemet ser man at aktivhuset oppnår et lekkasjetall som er godt innenfor kravet til en gjennomsnittsbolig ($n_{50} \leq 2,5$). Lekkasjetall når oppvarmet bygningsvolum er benyttet er $n_{50} = 1,75$. (Ved å bruke totalt innvendig volum, slik den nye målestandarden sier, blir tallet $n_{50} = 1,52$.) Om man kun ser på undertrykkmålingene er tallene hhv. 1,58 og 1,38. Bygget er ikke prosjektert som et passivhus eller en lavenergibolig, og et lekkasjetall på 1,75 er dermed greit. Om bygget derimot hadde blitt prosjektert i dag og måtte fulgt de nye kravene i TEK10, måtte det blitt gjort tiltak for å bedre lufttettheten.

Fra termograferingsbildene tatt i løpet av lekkasjetallmålingene ser man at det er luftlekkasjer flere steder i bygningen. I flere overføringer har man en relativt lav temperatur, se f.eks. Figur 4-1. Dette kan føre til redusert opplevd komfort som følge av strålingsassymetri i rommet. Oppnådd lekkasjetall indikerer også at det er en del lekkasjer i bygningskroppen.

Kravet til lekkasjetall er i hovedsak satt for å redusere energiforbruk. Dermed kan man spørre seg hvor vesentlig lekkasjetallet er når ventilasjonssystemet i boligen er uten en varmegjenvinner. Naturlig ventilerte bygg har ingen varmegjenvinner, og all tilluft strømmer direkte inn i bygget gjennom ventiler. Luften som strømmer inn gjennom lekkasjer i bygningskroppen vil sannsynligvis ikke holde en like lav temperatur som den luften som strømmer inn gjennom ventilene, og dermed heller ikke gi et økt energibehov til oppvarming i forhold til om den hadde kommet inn gjennom ventilene. Men lekkasjer gjennom konstruksjonen kan gi redusert isoleringsevne og på denne måten skape et større energiforbruk, se kapittel 2.2.

Verdien for C_{ventil} forteller oss noe om hvor mye luft som strømmer gjennom ventilene på en time, "ventilenes kapasitet", kan man kalle det. Denne verdien avhenger av størrelsen på ventilene. Ved å finne denne verdien er det mulig å anslå ventilasjonsraten ved forskjellige trykkforskjeller over konstruksjonen, som er forårsaket av klimapåkjenningene på bygget. Man

ville antatt at n -verdien i likningen for luftstrøm gjennom ventilen ligger omtrent akkurat rundt 0,5 når man har store sirkulære hull i bygningskroppen som luften kan strømme gjennom, men den viser seg å ligge en del under dette – se Vedlegg 5: Cventil. Resultatene fra denne målingen og beregningen er ikke diskutert ytterligere da det ble gjort en feil under forsøket. Resultatet er likevel lagt som vedlegg som et eksempel på tankegangen.

I sammenheng med termogrammer og lekkasjetall, vil også infiltrasjonsraten målt kunne si noe om lekkasjene gjennom klimaskjermen. Infiltrasjonsluftmengdene bør ikke være for store, og som vist i kapittel 4.1.6 blir verdien 0,117 oms/h om man benytter "tommelfingerregelen" som sier at $n_{inf} = n_{50}/15$. Dette er en svært unøyaktig verdi, og som man ser av målingen er verdiene svært forskjellige. Den målte verdien 0,03 er langt mindre enn 0,117 oms/h, se Tabell 4-10, men dette var på en nærmest vindstille dag. Infiltrasjonsraten er, på samme måte som luftskiftet, sterkt avhengig av vind og temperaturer, og vil derfor variere sterkt med klimaforholdene. Siden det var relativt vindstille dagen det ble målt infiltrasjon kan man anta at verdien vil være høyere ved lavere temperaturer og større vindpåkjenninger, og lavere på varmere dager med mindre vind. Når det er sagt vil retningen på vinden også spille inn på hvor store lekkasjene blir. Hvis man gjør nøye målinger av infiltrasjonsraten over lengre tid kan funnene benyttes til å beregne hvor mye energi som går med til oppvarming av utilsiktede luftlekkasjer i bygningen. Målingen gjort i dette studier er ikke tilstrekkelig til å si noe om dette. Det må også nevnes at denne målingen foregikk så lenge som en infiltrasjonsmåling bør, og den målte verdien er dermed sannsynligvis ikke helt korrekt.

5.1.2 Luftskifte

Fra teorikapittel 2.3 har man at kravet til frisklufttilførsel er minimum 1,2 m³ per time per m² gulvareal når boenheten er bebodd. For boligen i Hurdalen tilsvarer dette en frisklufttilførsel på 158,4 m³/h. Første dagen det er gjort sporgassmålinger er samlet luftskifte for boligen 155,63 m³/h, hvilket er svært nære kravet. Men målingene viser at det er rimelig store variasjoner i luftskiftet fra dag til dag, hvilket også er noe av argumentasjonen mot å bruke naturlig ventilasjon – dårlig kontroll med luftmengdene. Første dag av sporgassmålingene var det en del vind. De påfølgende dagene var vindpåkjenningen mer moderat, mens det siste dagen falt store snømengder og var tilsynelatende vindstille. Ved lave vindpåkjenninger er det rimelig å anta at termisk oppdrift er hoveddrivkraften for luftskiftet.

Fra Figur 4-4 ser man at største tilskudd til luftskifte første dagen er på badet i første etasje. Dette kan være et tegn på at det er en del vind denne dagen som skaper et sug ved avtrekket.

Værdataene viser også dette. De påfølgende dagene er luftskifteraten enda lavere, hhv. 130,1 m³/h og 66,5 m³/h. For målingene gjort disse dagene, 02.03 og 04.03, ser man at det største luftskiftet skjer i oppholdsrommet. Dette kan tyde på at det termisk oppdrift som er hoveddrivkraften i systemet disse dagene – da kommer kald luft inn og synker slik at varm luft presses opp og kan forsvinne ut igjen gjennom samme åpning (jf. kapittel 2.4) Spesielt er verdien for luftskiftet siste måledag lavt. Men er det nødvendigvis slik at mindre luftmengder betyr dårligere inneklimate? Dette spørsmålet stiller også Tor Helge Dokka i en artikkel publisert av lavenergiprogrammet. (Lavenergiprogrammet 2016) I kapittel 5.1.4 er det sett nærmere på CO₂-konsentrasjonen, RF og lufttemperaturen i boligen de dagene dette er målt ved normal bruk. Dette vil kunne gi en indikator på hvordan inneklimate i boligen er når luftskiftet er lavt.

Måling av luftskiftet siste måledag (etter infiltrasjonsmåling) ga det lavest luftskiftet. Som man kan se av værdataene (fra Gardermoen) var det lite vind og temperaturen lå rundt 0 grader. Måling gjort med vindhastighetsmåler viste en vindhastighet på 0,09m/s ca 2 meter fra ytterveggen siste dagen, og et undertrykk i bygget på ca. 3 Pa. Luftskiftet lå på om lag 0,18 oms/h eller 66,5 m³/h, hvilket ikke en gang er halvparten av anbefalte verdier. En mulig forklaring på at luftskiftet var såpass mye lavere denne dagen kan være, i tillegg til liten vindpåkjenning, at det ikke ble fyret i kleberstensovnen. Familien var ikke hjemme, og temperaturen trengte dermed ikke å være like høy. Dermed vil også drivkreftene fra termisk oppdrift i bygget lavere enn andre måledagene. Fra måledataene har man derimot at temperaturen denne dagen ikke varierer stort fra de andre måledagene. Dermed er det mulig at dette ikke er en veldig stor del av forklaringen på at luftskiftet denne dagen er såpass mye lavere enn tidligere dager, selv om det vil spille inn. En annen mulig faktor som kan være med å på å forklare det lave luftskiftet er at avtrekkskanalen styres etter %RF i inneluften, og det er dermed en viss fare for at denne ble holdt lukket i større perioder enn tidligere måledager, da det ikke var personer i bygget som tilførte fuktighet.

På vinterstid holdes ventiler bare litt åpne, så det ikke oppstår et merkbart trekk, eller kommer mye kulde inn. Lite åpning på ventilene kan være uheldig for luftskiftet, men det er også mulig at stor åpning på ventilene ville kunne gitt et for høyt luftskifte på dager der naturlige drivkrefter er store.

Ved å vurdere de målte verdiene opp mot kravet til luftskifte formulert som luftomsetninger per time, ser man at de målte verdiene generelt ligger under kravet på 0,5 luftomsetninger per time. Første måledag er nærmest å ha et høyt nok luftskifte etter kravnivået med en verdi på 0,42 oms/h som samlet verdi for boligen, se Tabell 4-4.

5.1.3 Luftstrøm i bygget

Når det kommer til utformingen av ventilasjonssystemet er luften tiltenkt å bevege seg fra oppholdsrom via gang inn til teknisk bod, og derfra inn på badet og ut avtrekkskanalen. Man ser fra sporgassmålingen gjort at luften ikke ser ut til å følge denne strømningsveien. Det målingen derimot indikerer er at luften går vi den indre ventilen fra stue og inn i gangen, for derfra å gå rett inn på badet via sprekker rundt døren. Dermed er ikke luftstrømmen i bygget helt slik den er tiltenkt, og det er dermed rimelig å anta at luftskiftet heller ikke er helt som tiltenkt i de forskjellige rommene. Dette vil igjen kunne spille inn på det totale luftskiftet, avhengig av hvor man legger sensorene. Imidlertid bør det nevnes at teknisk bod sjeldent har et veldig stort ventileringsbehov, spesielt ikke så stort som behovet på bad. Det er dermed kanskje ikke et problem om luften strømmer rett inn hit og ut avtrekket når den trekkes ut av oppholdsrommet.

Når man ser på luftskiftet beregnet for kun oppholdsrom 4. måledag (03.03), vil man se at dette ligger over minimumskravet, med en verdi på 0,59 oms/h, og med en luftstrøm på 217,39 m³/h. Kravene om 0,5 oms/h og 1,2 m³/m²h er gjennomsnittsverdier som skal regnes for hele bygningen samlet, og det er dermed ikke tilstrekkelig å si at om luftskiftet er mer en høyt nok i oppholdsrommet, er det høyt nok for boligen generelt. Det er likevel slik at oppholdsrommet er et svært viktig rom å sikre tilstrekkelig luftskifte i, da det er her beboerne oppholder seg mest, samt at det lages mat her, som er en ekstra kilde til forurensning. Fra Figur 4-4 ser man at det er oppholdsrommet som har størst luftutskiftning 02.03 og 04.03 også, mens verdien for oppholdsrommet ligger på nivå med verdiene for bad og barnerom i andre etasje 01.02.

Imidlertid er det viktig å se luftskiftet i sammenheng med faktorer som påvirker den termiske komforten, som temperatur og RF. Ved å studere målingene fra denne dagen ligger RF mellom ca. 30-40%, hvilket er fine verdier på vinterstid, se kapittel 2.1.2. Temperaturen er derimot temmelig lav med en minimumstemperatur på 16,7°C og en maksimal temperatur på 20°C i oppholdssonen dette døgnet. Det bør her kommenteres at loggerne var plassert i vinduskarm, hvor temperaturen ofte kan ligge litt under temperaturen i resten av rommet. Fra omnisense-dataene (Tabell 4-9) ser vi at temperaturene ligger litt over undertegnedes målte verdier. Her en laveste temperatur 18,7°C og høyeste temperatur 21,1°C, hvilket er mer akseptable verdier.

Fra grafene kan man se at logger 22 som lå i vinduskarm på kjøkkenet stoppet å logge utover dagen, hvilket gjør at det ikke er verdier fra denne delen av oppholdsrommet store deler av tiden rommet er i bruk.

5.1.4 Temperatur og %RF ved normal bruk

Fra målinger og innhentede data fra omnisense-målere ser man at både RF og temperatur stort sett holdes innenfor akseptable verdier. Det som likevel stikker seg ut i målingene er at temperaturen på barnerom generelt ser ut til å være relativt lav. Her må det også kommenteres at loggeren var plassert i en vinduskarm, men et vindu som ble holdt lukket. Temperaturen er likevel lav og bør kommenteres. Vanligvis regner man at det er ønskelig med lavere temperaturer på soverommene enn i resten av boligen, men saken er en litt annen når det er et barnerom. Barn er ofte mer ømfintlige for lavere temperaturer, samt at de tilbringer mye mer tid på soverommet enn et voksent menneske.

Barnerommet har, som nevnt i innledningen til dette avsnittet, den laveste temperaturen av rommene i boligen der det er gjort målinger. Rommet har også generelt den høyeste relative fuktigheten. RF svinger mellom 35% og 50% på de aktuelle måledagene. Det er ikke tilgjengelige verdier fra dette rommet over en lengre periode, og det er dermed vanskelig å si noe generelt om at dette er trenden. I resterende målepunkter i måleuken finner man at RF ligger mellom ca. 25% og 35% når boligen er i bruk, mens for siste måledag (04.03), da det ikke var personer i boligen, ligger RF mellom 30% og 40%. Dette kan komme av at det ikke var personer i boligen, og at det dermed ikke var et fukttilskudd høyt nok til at avtrekket ble åpnet. Verdiene holdt seg på et nivå litt over verdier for normal bruk, men altså muligens ikke så høyt at det var nok til å sette i gang ventilering. Man ser også at svingningene denne dagen er svært beskjedne i forhold til de tidligere måledagene – både for RF og temperatur. Om man ser på dataene fra omnisense-målerne, som har verdier fra starten av februar og til nå, finner man at RF ligger mellom ca. 25% og 55% RF. 55% RF inne på vinterstid er ganske høyt, men vil sannsynligvis ikke medføre nevneverdige problemer over en kortere periode.

Hvis man ser bort fra barnerommet ser de målte verdiene ut til å indikere at temperaturen grovt sett ligger mellom 18 og 22 grader. Om man ser på dataene fra omnisense-målerne, som har verdier fra starten av februar og til nå, ser man at laveste temperatur er nede mot 11 grader, men dette er for sensoren montert like ved ventilen på soverom, og man kan dermed ikke ut fra dette si at temperaturen i bygget er for lav. Temperaturen for oppholdsrom ser generelt ut til å svinge mellom 18 og 24 grader, med noen unntak der temperaturen i små intervaller nærmer seg å være helt nede i nærmere 16 grader på det kaldeste, og helt oppe mot 26 grader på det varmeste. Da dette ikke er i lange perioder, og ikke ser ut til å være en trend, kan man kanskje velge å se bort fra akkurat disse verdiene. Om man velger å se bort fra ytterpunktene er likevel temperaturen litt lavere enn anbefalt, da den i lengre perioder ligger ned mot 18 grader.

Fra overstående verdier og diskusjon ser det ut til at RF stort sett ligger innenfor akseptable nivåer. Temperaturen ser ut til å være litt lav (på vinterstid), og den har til tider verdier som er langt utenfor de anbefalte grensene – både over og under. Det er ikke gjort målinger på sommerstid, og man kan dermed ikke si noe generelt om forholdene da. Men verdiene oppnådd fra datainnsamlingen kan tyde på at til tross for at luftskiftet er lavere enn kravet, er likevel fuktigheten i inneluften innenfor et nivå som lite sannsynlig vil føre til fuktproblemer. Dette kan kanskje tyde på at kravene til luftmengder er vel høyt, hvis det oppnår sin hensikt med lavere verdier?

5.1.5 CO₂-konsentrasjon i inneluften ved normal bruk

Selv om luftskiftets hovedpoeng er unngå fuktproblemer i boligen, er utskiftningen av inneluften også viktig for å frakte ut forurensninger i inneluften. Som nevnt i kapittel 2.1.5 er CO₂ en relativt lett målbar gass som kan være en indikator på mengden forurensninger i inneluften. Fra målingene gjort i dette studiet ser man at konsentrasjon av CO₂ ikke blir bemerkelsesverdig høy ved normal bruk de første to dagene det ble gjort sporgassmålinger, noe som i sammenheng med RF og temp kan tyde på at luftskiftet er akseptabelt. Siste dag det ble gjort luftskiftmålinger ble ikke verdier logget etter endt sporgassforsøk. Det bør dog påpekes at 3 dager med målinger av CO₂-nivåer ved normal bruk i bygget ikke kan si noe om de generelle tilstandene. På en vindstille sommerdag vil heller ikke termisk oppdrift kunne bidra til luftskiftet, og luften kan bli relativt stillestående. I et slikt tilfelle er det tenkelig at konsentrasjonen av forurensninger kan øker over maksimumskravene.

CO₂-nivåer på soverommet blir tidvis veldig høye, om man går ut fra omnisense-dataene. I og med at det både er en egen tilluftsventil i tillegg til et vindu på hvert soverom skulle man tro at man ville ha et høyt nok luftskifte til å frakte ut forurensningene, men dette avhenger også av vindpåkjenningen på fasaden. Fra værdataene ser man at vestvendt fasade ikke er spesielt vindutsatt, hvilket er fasaden som soverommet der omnisense-målerne er installert ligger mot. Dette vil kunne ha innvirkning på mengden forurensning – med en mindre vindpåkjenning vil ikke like mye frisk luft strømme inn gjennom ventilene, og det kan dermed ta lengre tid å frakte ut oppvarmet luft med forurensninger.

Dessverre var CO₂-måleren i oppholdsrommet ute av drift frem til etter forsøkene ble gjennomført, og det foreligger derfor lite data herfra. Disse er kanskje vel så interessante med tanke på at det er der beboerne oppholder seg mest, og dermed der det bør være et best mulig inneklima. Måleren ble først aktiv i starten av april, og fra perioden etter dette ser man at CO₂-

nivået uten unntak ligger under 1000 ppm. Data fra måleuken etter endte forsøk gir også en indikasjon på hvordan CO₂-konsentrasjonen i dette rommet er. Man ser at ved normal bruk er konsentrasjonen litt høyere 02.03 (andre sporgass-dag) enn 01.03. Luftskiftet er litt høyere 01.03 enn 02.03, hvilket kan være med på å forklare variasjonen i CO₂-konsentrasjonene de respektive dagene. Konsentrasjonen ved normal bruk ble, som nevnt, ikke målt siste dagen, 04.03.2016, da luftskiftet var lavest, og det er dermed vanskelig å si noe om konsentrasjonen av CO₂ i inneluften når luftskiftet er så lavt som 0,18. En antakelse er at dette er et for lavt luftskifte til å holde konsentrasjonen av CO₂ nede, i og med at man ser en økning av konsentrasjonen fra et luftskifte på 0,42 oms/h til 0,35oms/h. Verdien er likevel under 1000 ppm for alle loggere de målte dagene, foruten en peak 02.03 i stue/kjøkken der den bikker 1000 ppm kl. 21.17, og holder seg rett over 1000 ppm frem til kl. 21.54.

5.1.6 Ventilasjonsstyring og komfort

Fra kapittel 3.1 finner man at avtrekket i boligen styres etter RF i inneluften. Ventileringen av boligen er altså avhengig av fuktproduksjonen fra beboerne i bygget, hvilket tilsier at ventilasjonsmengden vil variere ut fra bruken. Dermed er det antakeligvis slik at spjeldet ikke åpnes når beboerne er bortreist, og at det vil ventileres mer når det er flere personer til stede. Ved vasking av boligen, eller tørking av klær og liknende, vil fuktigheten øke og dermed også kunne åpne avtrekksspjeldet. Hvis fuktigheten i inneluften stiger til et nivå som åpner spjeldet uten at noen av tilluftsventilene eller vinduer er åpne, vil man kunne få et undertrykk i bygget som kan være med på å suge luft inn gjennom lekkasjer i klimaskjermen.

Det viste seg imidlertid at selv når ventiler er stilt inn til å være lukket er det en liten sprekk i dem, jf. Vedlegg 15, så det vil alltid strømme litt luft inn gjennom dem om det er et undertrykk i bygget. Trekk fra ventiler og luft som legger seg som et kaldt teppe ser likevel ut til å være unngått. Ved å utforme tilluftsventilen slik at kald inneluft føres opp mot tak ved inntak er sannsynligvis trekkproblemer redusert, da luften varmes opp av den allerede varme inneluften i det den daler. Termogrammet vist i Figur 4-2 i kapittel 4.1.3 viser at temperaturen på gulvet ikke ser ut til å holde en lavere temperatur enn resterende overflater. I dette termogrammet ser det ut til at temperaturen på gulvet er høyere enn temperatur for vegg.

Til tross for at avtrekket styres på automatikk må beboerne selv styre mengden tilluft. Ved å benytte seg av lufting via ventiler så langt dette er tilstrekkelig vil man sikre filtrering av tilluften, og dermed unngå mye av problemene knyttet forurensninger utenfra. I varme perioder er det for øvrig ofte behov for å lufte mer enn det ventilene har kapasitet til, og det må da

benyttes vinduer. At automatikken er designet til å dekke grunnventilasjonen forutsetter dermed at beboerne selv må sørge for å benytte ventiler og vinduer på en aktiv måte for å sikre en god luftkvalitet innendørs.

I samtaler med veileder, Tormod Aurlien, er det blitt diskutert over hvilken periode *gjennomsnittlig* frisklufttilførsel på $1,2\text{m}^3$ per time per m^2 gulvareal skal beregnes. Fra kapittel 2.3.1 finner man at dette gjennomsnittet skal regnes over døgnet når boenheten er i bruk. Det som har kommet opp i disse diskusjonene er om det kunne vært en mulighet å sette kravet til å bli beregnet gjennom et år, i stedet for et døgn. Dette på bakgrunn av at behovet for, og komforten knyttet til, friskluftmengder er forskjellige gjennom året. Selv om drivkreftene i det naturlige ventilasjonssystemet er større om vinteren enn om sommeren, er det gjerne om sommeren det er størst ventileringsbehov. Hvis man skal holde på kravet om $1,2\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ frisklufttilførsel per time gjennom døgnet kan det skape trekkproblemer og ikke minst føre til et stort energiforbruk til oppvarming om vinteren i naturlig ventilerte bygg. Spørsmålet som dermed dukker opp er om man skulle kunnet kompensert for et lavere luftskifte om vinteren med å ventilere mer om sommeren? Ved å beregne gjennomsnittlig frisklufttilførsel gjennom et år, i stedet for gjennom døgnet, kunne man kanskje oppnådd en gjennomsnittlig verdi på $1,2\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ likevel, men unngå problemer med et stort oppvarmingsbehov og trekk om vinteren. Om sommeren vil stort sett ikke store luftmengder føre med seg problemer av denne typen, men med et større ventilasjonsbehov vil sannsynligvis ikke ventilering via ventiler være tilstrekkelig (ventilenes kapasitet, C_{ventil} , kan finnes i Vedlegg 5: C_{ventil}), og man må supplere med vinduer. Da får man med en gang et større problem knyttet til pollen og forurensninger utenfra, enn man har i perioder der det ventileres mindre. Det er likevel ikke slik at dette i seg selv burde avgjøre at man ikke skulle regne gjennomsnittet på denne måten, da beboere i naturlig ventilerte bygg må antas å uansett ty til vindusventilering i varme perioder. Dermed ville endringen sannsynligvis kun gjort at det ville vært enklere å planlegge og å bygge naturlig ventilerte bygg som holder seg innenfor forskriftskravene. Men i og med at det ikke har vært mulig å konkludere noe om reelt luftskifte gjennom året i dette studiet er det vanskelig å si om sommer-verdien for luftskifte er store nok til å kompensere for de lave verdiene om vinteren, og dermed vanskelig å si om tanken vil ha tiltenkt effekt i praksis.

Når det kommer til kravet om $26\text{m}^3/\text{h}$ per person gjelder dette i hovedsak når rommet er i bruk. Man vil dog ikke kunne gå ut fra at beboerne lukker ventilene på dagtid, og i en energisammenheng bør man dermed vurdere kravet både over natten, men også gjennom døgnet. Fra verdiene målt ser det ut til å kravet til frisklufttilførsel for barnerommet oppnås de

aktuelle måledagene. For de voksne beboernes soverom er det ikke målt luftskifte, og man vet dermed ikke om frisklufttilførselen er tilstrekkelig. Men det kommer frem av omnisensmåleren her at konsentrasjonene av CO₂ er for høye her i flere perioder. Tabell 4-11 viser at høyeste målte verdi på soverommet er 1459 ppm, og det er derfor grunnlag for å anta at luftskiftet ikke alltid er tilstrekkelig. Den målte konsentrasjonen på barnerom ser ut til å holde seg under 1000ppm. Det er vanskelig å si noe ut fra målinger og data som kan verifisere at 26m³/h per person er tilstrekkelige luftmengder til å tynne ut forurensningene.

5.1.7 Energibruk

Det som i et energiperspektiv vekker mest oppsikt og fører til diskusjoner rundt naturlig ventilasjon er at oppvarmet inneluft blir sluppet rett ut gjennom avtrekk uten at energien i den varme luften utnyttes, slik den gjøres i mekaniske anlegg med varmegjenvinner. Begrepet "fyre for kråka" blir ofte benyttet. Det er klart at dette er et aspekt som bør vurderes når man velger naturlig ventilasjon, siden det i dag finnes løsninger som kan utnytte denne energien. En naturlig ventilert bygning vil derfor nødvendigvis få et større energibehov til oppvarming enn mekanisk ventilerte boliger med varmegjenvinner. Hvis man likevel velger en slik løsning er det viktig å kompensere med tiltak som reduserer behovet for kjøpt energi. Her ser det ut til at løsningene valgt i aktivhuset har fungert bra, da årlig energiforbruk må sies å være temmelig lavt.

Totalt forbruk på tomten er 9 612 kWh estimert over et år. Som beskrevet i resultatkapitlet er dette tallet netto utveksling i målepunktet, altså differansen mellom forbruk og produksjon. Dette forbruket er ikke spesielt høyt med tanke på at det bor en familie på fire der. Ved å se på energiforbruk i sammenheng med normaltemperatur (for Gardermoen) fra de enkelte månedene ser man at de kalde månedene stort sett er varmere det siste året enn det som er vanlig, se Vedlegg 12. Figur 4-9 viser faktisk forbruk og anslått forbruk korrigert mot temperatur. Ved å summere søylene i diagrammet i Figur 4-9 finner man at forbruket er 9042 kWh, mens forbruk korrigert mot temperatur ligger på 10766kWh. Ved å sammenligner tallene fra Tabell 2-4 i kapittel 2.5.3, som er simuleringsverdier gjort på antakelser, havner faktisk forbruk av energi under simulert. Den simulerte verdien for forbruk gjennom året var på 13 214 kWh, mens faktisk beregnet verdi ligger på 9 612 kWh, ut fra brukerkontoen på Hafslund. Verdiene beregnet fra Figur 4-10 viser at forbruk korrigert for temperatur også havnet under simulert verdi. Verdien ligger også under den estimert verdien for passivhus etter simuleringene gjort av Eldjarn, som ligger på 10 806 kWh. Tabell 2-3 angir et årlig

energiforbruk på 20 230 kWh for boliger i 2012, hvilket er over det dobbelte av verdien for aktivhuset.

I energiberegningen gjort i kapittel 4.3.1 er det sett på oppvarmingsbehov som følge av tilluftskravet på $1,2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$. I beregningene ble det antatt at frisklufttilførsel var tilstrekkelig for å kunne gjøre et anslag på energibehovet som følge av kravet. Her kommer det frem at et grovt anslag på energien som kreves for å varme opp tilluften er 6090 kWh. Her er det benyttet 17° som grensen for fyringsbehov. Dette er et erfaringstall, men bør i dag muligens settes til en lavere verdi enn 17 grader ut fra de skjerpede kravene til tetthet med mer. I det samme kapittelet er det også sett på effekten av å benytte en varmegjenvinner i systemet. Ved å benytte en varmegjenvinner med en effekt på 70% ville man teoretisk kunne spart 4263 kWh/år. Imidlertid ser man at luftskiftet ikke når kravet de aktuelle måledagene, og det bør dermed påpekes at noe av årsaken til at forbruket av energi er lavere enn antatt/simulert kan være at tilførte luftmengder som må oppvarmes i bygget ikke er så store som man antar. Fra beregning av dimensjonerende effektbehov i Hurdal får man en verdi på 2,8 kW. Denne verdien er avhengig av dimensjonerende utetemperatur der hvor boligen er bygget, og varierer dermed ut fra lokasjon. Verdien er beregnet som en indikasjon på hvor mye effekt som kan gå med til oppvarming på en svært kald vinterdag, og er interessant i forhold til naturlig ventilasjon, da hele dette behovet må dekkes med "ny" energi i et slikt system (uten varmegjenvinner).

Som det kommer frem i kapittel 3.1 er det gjort en rekke energibesparende tiltak i boligen. Mye av årsaken til det lave forbruket i aktivhuset er nok dermed kleberstensovnen i oppholdsrommet. Som det står i brukerveiledningen forutsettes det at ovnen brukes til oppvarming for å sikre et lavt energibruk og et godt inn klima. Beboerne i hus B6 er flinke til å fyre i klebersteinsovnen i stedet for å kun benytte seg av elektrisk energi til oppvarming. Ved å fyre i denne om morgenen, holder temperaturen seg på et behagelig nivå gjennom hele dagen (erfart selv fra måleuke). Fra brukerveiledningen til byggene finner man at ovnen er antatt å dekke ca. 50% av varmebehovet, og dermed føre til et behov for kjøpt energi på under $20 \text{ kWh}/\text{m}^2$ per år. Det kunne vært interessant å sammenlikne verdiene for dette bygget med et bygg der ovnen ikke brukes like aktivt for å se på hvor mye mer elektrisk energi som da hadde blitt benyttet. I tillegg til klebersteinsovnen produseres det strøm på tomten gjennom solcellepaneler på tak. Dette er med på å redusere netto forbruk. Selv om målt verdi er god, når ikke aktivhuset sin målsetting om å være et nullenergihus.

Dagens energikrav kommer av en strengere internasjonal regulering av akseptable utslipp, som nevnt i kapittel 2.5. Det er derfor verdt å spørre seg om man, til tross for gode oppnådde verdier

slik bygget er nå, kunne produsert samme typen bygg med et anlegg som benytter seg av mekaniske løsninger, og dermed åpnet for muligheten til å drive en varmegjenvinner? Ville bygget da brukt mindre energi? Som det er nevnt i delkapittel 2.5.3 er det delte meninger i bransjen om hva som er beste løsning, i tillegg til at studiene gjort på området har forskjellige forutsetninger og inkluderer forskjellige ting. Det er dermed vanskelig å gi et entydig svar på hva som vil være den beste løsningen i fremtiden, med mer ekstremvær og en endring i temperaturer og nedbør.

5.1.8 Overførbarhet av resultater fra B6 til andre bygg

Etter samtale med beboere i bygg B6 kom det frem at de har en bedre opplevelse av boligen sin enn mange av de andre beboerne i økolandsbyen. Det vil alltid være små forskjeller fra et bygg til et annet, men det syntes å være større forskjeller enn man kanskje ville antatt ut fra at byggene teoretisk skal være helt like. Det som spesielt ble pekt på var trekk og opplevelse av inneluften. Dette er selvfølgelig subjektive faktorer, som vil si at om inneklimatefaktorer skulle vise seg å være tilnærmet like, kan likevel opplevelsen av forholdene være svært forskjellig. Fra kapittel 2.1.1 har man at med en innetemperatur på 22 grader om vinteren gir en ventet andel misfornøyde på om lag 10%. Siden temperaturen ofte ligger under dette, ut fra måledataene, vil man sannsynligvis ha en større andelen misfornøyde i denne boligen enn i eksempelet.

Det som med stor sikkerhet kan sies er at målinger i flere bygg ikke ville gitt identiske resultater med tanke på temperaturer, luftskifte og lekkasjer over bygningskroppen. Hvor store variasjonene er, er mer usikkert. Det ideelle hadde vært å foreta målingene på flere bygg for å kunne si noe om variasjonene. Som nevnt i metodekapittelet lot ikke dette seg gjøre. Resultatene funnet i dette studiet kan dermed vanskelig si noe særlig om hvordan forholdene er i naturlig ventilerte boliger generelt, men snarere være en indikator på forholdene i akkurat dette bygget, og antyde om løsningene kan være et eksempel til etterfølge om man velger naturlig ventilasjon i boligen.

5.2 Forbedringspotensialer/Feilkilder

Et generelt, og svært vesentlig, forbedringspotensial i denne masteroppgaven er at det ble gjort svært få målinger i et kort tidsrom, slik at man ikke får døgn-, klima- eller årstidsvariasjoner med i målingene. Om man hadde fått til flere målinger under forskjellige forhold ville resultatenes sikkerhet økt betraktelig. Det kan sies med stor sikkerhet at 5 dager ikke er tilstrekkelig til å kartlegge reelt luftskifte i en bolig, samt å si noe generelt om enkelte inneklimatefaktorer.

I tillegg ble det kun gjort målinger på et bygg, og til tross for at byggene teoretisk sett skal være like, kan det være store variasjoner i praksis (som beboer nevnte).

Det er også på sin plass med litt selvkritikk på mulige feil under målingene, som følge av at undertegnede ikke kan si å ha så mye praktisk erfaring med metodene benyttet på forhånd. Dette kan ha ført til at det ved gjennomføring av målinger ble glemt å sjekke/fikse/registrering som en mer erfaren bygningsfysiker ville tatt som en selvfølge. Likevel synes det å ha kommet ut mye interessante data som åpner for diskusjoner, og som ikke minst har gitt en bred og verdifull erfaring knyttet til teori og metoder.

5.2.1 Feilkilder lekkasjetallmåling

Ved luftskiftemålinger skal alle åpninger tettes. I nybygg der det enda ikke er tilkoblet vann må man også passe på å også tette kummer og sluk. Ved målingene gjennomført i dette studiet var boligen i bruk, og man skulle derfor ikke behøve å tenke på å tette kummer og sluk. Det ble likevel kommentert av byggeleder i Hurdalen, Kjell Arne Vole, at det var en kum i teknisk rom som sannsynligvis ikke hadde blitt tettet under målingene da den var lett å overse, og det bør vel dermed stille spørsmål ved om det til daglig ikke er vann i denne.

Videre må undertegnede innrømme å ikke på forhånd ha vært klar over sentralstøvsugeruttaket i bygget, og oppdaget først dette ved siste måling. Da dette ble oppdaget var det ikke vanskelig å kjenne at det strømmet luft inn gjennom uttaket, dog ikke i veldig store mengder. Det vil likevel tilsi at åpningen burde vært tettet, og at lekkasjetallet funnet dermed er litt for høyt.

En siste notert feilkilde under denne målingen er at alle åpninger ble dekket med plastduk og teip. Dette er som regel tilstrekkelig, men når det kommer til kleberstensovnen i oppholdsrommet er det muligens ikke det da ovnen har både egen tilluft og eget avtrekk. Her burde man nok dekket hele ovnen i mer isolerende materialer.

I forhold til måling med åpne ventiler var hensikten å finne C-verdien for de enkelte ventilene, men i og med at tetting også ble fjernet fra avtrekk er det kapasiteten for ventiler og avtrekk samlet som ble funnet. Dette må sies å være en liten logisk brist av undertegnede i forsøksøyeblikket.

5.2.2 Feilkilder sporgassmålinger

Ettersom det var ønskelig å måle luftskifte i bygningen ble sporgassmetoden vurdert som best egnede metode. Da kunne måleutstyret også benyttes til å måle CO₂-konsentrasjoner ved

normal bruk av bygget. Likevel er det viktig å stille seg kritisk til valg av metode, da denne kan bidra til flere potensielle feilkilder.

Å bruke CO₂ som sporgass er ikke en veldig utprøvd metode. Det er mer vanlig å bruke andre gasser når man skal måle luftskifte ved hjelp av en sporgass. Man vil alltid ha en viss bakgrunnskonsentrasjon av CO₂ i et bygg i bruk som følge av personbelastning.

Når man benytter sporgassmetoden i målinger er det vesentlig å sikre god omrøring for å få en mest mulig uniform fordeling av gassen. Når gassen ikke blir uniformt fordelt er det fare for at den kan legge seg utenfor målernes rekkevidde uten å bli registrert. Dette gjelder også med god omrøring, men er mindre sannsynlig. I tillegg vil plasseringen av loggerne ha noe å si. I dette studiet ble målerne plassert i vinduskarmer og på hyller som tilsvarte ca. middelhøyde i rommet, men høyden ble ikke fysisk målt. Dermed vil det være en variasjon i målernes høyde over dekket. Gass som synker mot bakken vil, med en plassering av loggerne midt i rommet, muligens ikke bli registrert (CO₂ har en høyere tetthet en luft).

Uniformitet sikres ved bruk av omrøringsvifter plassert hensiktsmessig i målesonen. Dermed er en feilkilde er at viftene brukt til omrøring ikke ble skrudd av under målingen 01.03.16, og dermed kan ha blåst CO₂ bort fra områdene like rundt viften slik målingene ikke er helt korrekte. Ingen av loggerne var plassert rett foran en vifte, men måleren i loftstuen lå like bak en vifte.

En annen viktig faktor for å oppnå uniformitet er at det ikke skjer en utskiftning av luften i rommet mens gassen tilføres. Dermed er det vesentlig å nevne som en feilkilde at ventilene i bygget ikke ble lukket/forseglet ved forsøksstart, ved unntak av dagen der det ble målt infiltrasjon. Derfor vil det ha skjedd en viss utskiftning av luften i rommet også mens gassen ble tilført, og det er ikke oppnådd full uniformitet. Men i og med at det ble bukt vifter til omrøring er det gått ut fra at gassen likevel har blitt tilnærmet uniform da den har fått virke litt, slik at resultatene fortsatt kan brukes.

I tillegg må det pekes på at man for å kunne si noe om reelt luftskifte bør ha klimadata fra nærliggende områder, eller selv registrere vindhastigheter og -retninger, temperaturer og nedbørsmengder med mer. Om man hadde foretatt langt flere målinger med nøyaktige klimadata ville man kunne laget en slags luftskifte-modell som korrigerer for disse påvirkningene. Det er ikke forsøkt gjort i dette studiet da det tidlig kom frem at klimadata ikke kunne sies å være helt gyldige, og antallet måledager var for lavt til å kunne si noe generelt om tendensene.

Til tross for usikkerheten er resultatene vurdert til å kunne gi en god indikasjon på faktiske tilstander i bygget, og det velges å se seg fornøyd med oppnådde resultater ut fra måleperioden tilgjengelig.

5.2.3 Klimadataenes gyldighet

Grunnet at den installerte værstasjonen i Hurdalen ikke hadde begynt å virke enda da forsøkene ble gjennomført, ble det benyttet værdata fra Gardermoen Lufthavn. Dette er den nærmeste detaljerte værstasjonen. Likevel er ikke dataene mulige å overføre direkte da terreng og lokalklima kan variere, så vel som at byggenes plassering i terrenget vil spille en rolle.

Klimapåkjenningene på stedet (som vind og nedbør) er en vesentlig faktor for oppnådde resultater. Det er dermed viktig å se på forskjeller i terrenget for økolandsbyen i Hurdal og værstasjonen på Gardermoen, og ha et kritisk syn til klimadataenes gyldighet. Gardermoen ligger i et mer flatt terreng enn det økolandsbyen gjør, men forskjellen i høyde over havet er ikke så stor; Hurdalsjøen (like nedenfor økolandsbyen) ligger 175 meter over havet, og Gardermoen 208 meter over havet. Det antas likevel at byggene i Hurdal ligger mer skjermet til enn værstasjonen på Gardermoen (da flyplasser oftest ligger på store, flate områder). Se Vedlegg 11.

Orienteringen av selve tomteområdet er ikke så forskjellig, men det vesentlige i forhold til målingene er å se på orienteringen av selve bygget for å kunne si noe om vindens påvirkning.

Man ser at for mars er det mest vind fra syd. Det er også der man har mest av en høyre hastighet enn 5 m/s. Som nevnt i kapittel 2.4 regnes vind som den drivende kraften i et naturlig ventilasjonssystem når hastigheten er over 4 m/s. Nest største utslag har man i en nord-østlig retning (mellom 15° og 45° når nord er 0°). Bygget har ingen tilluftsventiler på nordvendt fasade, og kun én tilluftsventil på sydvendt fasade. I tillegg ligger bygget i en helning, som gjør at nord-fasaden, men også nord-øst-fasaden, skjerms delvis fra vindpåkjenninger.

Til tross for at dataene fra mars viste en tendens til å ha høyest vindpåkjenning fra sør, ser det ut til at tendensen gjennom året er at det er størst vindpåkjenninger fra nord-/nord-østlig retning. (Se Vedlegg 12)

Om man regner at værdata fra Gardermoen er overførbare til Hurdalen, er ikke de målte resultatene så aller verst. Til tross for ganske kraftig vind en av dagene blir ikke luftskiftet for høyt, og temperaturer og luftfuktighet holdes på akseptable nivåer. Med lavere vindhastighet blir luftskiftet veldig lavt, men RF, temperatur og CO₂-nivåer ser fortsatt ut til å være ok.

6 KONKLUSJON

Som det kommer frem i diskusjonen er det vanskelig å trekke noen konklusjoner rundt reelt luftskifte og målte inneklimafaktorer ut fra målingene. Å kun gjøre målinger en uke for å prøve å antyde noe generelt er dermed ikke tilstrekkelig. Man trenger et langt større antall måledager. I tillegg er ikke klimadataene overførbare til målingene. Hadde man hatt nøyaktige klimadata hadde man vært et steg nærmere å kunne si noe generelt om de studerte faktorene i bygget.

Det resultatene kan se ut til å indikere for de aktuelle måledagene er at verdiene for temperatur, RF og CO₂ ved normal bruk for målebygget er ganske gode, og ligger innenfor krav og anbefalinger i TEK10, til tross for at luftskiftet ikke tilsvarer kravet. Dette kan være med å underbygge uttalt mening i bransjen om at man kanskje bør tillate et lavere luftskifte i naturlig ventilerte bygg. Dette kan kun antas på bakgrunn av et lite antall målinger om vinteren, og det er ikke sikkert at forholdene på sommerstid kan sammenliknes. Flere målinger over lengre tid på flere bygg er altså nødvendig for å kunne komme med en mer kokret og sikker uttalelse rundt temaet.

Energibruk er basert på faktiske forbruksdata, hentet fra Hafslund. Her foreligger det data fra lengre perioder enn for inneklimafaktorer, og dataene antas dermed å ha en større gyldighet når det kommer til å trekke generelle slutninger. Gjennom energiproduksjon på tomten, og et lavt forbruk generelt, kommer bygget veldig godt ut i et energiperspektiv. På bakgrunn av at behovet for kjøpt energi ikke ser ut til å ligge over nivået for andre bygninger, snarere tvert imot, bør det vurderes om man kan tillate at energi går tapt som følge av at det ikke er installert en varmegjenvinner når det kompenseres med andre energisparende tiltak.

7 VIDERE ARBEID

Gjennom dette studiet er det gjort en rekke målinger og beregninger rundt inneklimafaktorer og energi i et naturlig ventilert bygg. Funnene har likevel ikke vært tilstrekkelig til å kunne si noe om disse faktorene for naturlig ventilerte bygg generelt. Erfaringene oppnådd gjennom arbeidet har satt lys på en rekke spørsmål og faktorer det hadde vært interessant å studere nærmere:

- For å få et bedre inntrykk av beboernes opplevelse av bygget kunne det vært svært interessant å gjennomføre intervjuer med beboerne i hvert av byggene i økolandsbyen for å se på variasjonene i opplevd komfort. Da både med tanke på termisk komfort og andre faktorer – spesielt støy. Mekaniske anlegg er kjent for å kunne skape forstyrrende støy, men hvor mye mer plagsomt oppleves dette enn støy utenfra? Med å ha "hull" i bygningskroppen vil man ikke kunne stenge ute lyder fra mennesker og maskiner, med mer, så lenge det er et ventileringsbehov. I samtale med beboerne i hus B6 ble dette påpekt som tidvis sjenerende. Det kunne dermed vært interessant å gjennomføre en sammenlikning av opplevd komfort for beboere i mekanisk ventilerte bygg versus beboere i naturlig ventilerte bygg.
- For å kunne si noe mer om komfort i bygget ut fra kvantitative data kunne man målt flere inneklimafaktorer, som varmestråling og trekk, med mer.
- I dette studiet var det ønskelig å se på effekten av hygroskopiske materialer, men tiden strakk ikke til. Det kunne dermed vært interessant å gjennomføre målinger der hovedformålet var å se på effekten av dette – både knyttet til inneklimafaktorer og energi. I samtaler med fagfolk i forbindelse med dette studiet har det også så vidt blitt diskutert om "bufring" av CO₂ kan forekomme når gassen er i kontakt med hygrotermiske masser. Dette kunne altså også vært forsøkt testet om man gikk videre med studier av hygrotermiske masser i bygg. I Vedlegg 16 er det lagt inn teori knytte til temaet.
- Energiberegningene gjort i dette studiet er veldig "overfladiske", og er kun ment som en indikasjon på faktiske tilfeller. Det kunne vært interessant å gjennomføre nye simuleringer rundt energibruk ved å bruke faktiske målte data fra Hafslund etter bygget har vært i bruk en stund, og sammenliknet dette med tidligere simuleringer gjort av både Aktivhus og Marie Eldjarn.
- Smart-løsningen som er valgt på avtrekk i aktivhuset ser ut til å holde målte inneklimatektorer innenfor greie nivåer, hvis man ser på tiden det foreligger data fra. Likevel er luftskiftet svært lavt noen dager. Det kunne dermed vært interessant å sammenlikne ulike styringssystemer i naturlig ventilerte bygg for å finne ut hva som ser ut til å sammenlagt

skape et best inneklime og ha et lavest mulig energiforbruk. Om et slikt studie skulle vise at det ikke finnes et system som oppnår gode verdier totalt sett, kunne det vært spennende å arbeide med å utvikle nye systemer som kan gjøre det lettere å holde forskriftskravene ved bruk av naturlig ventilasjon i boligbygg.

8 KILDER

- Aktivhus, E. *FDV-HURDAL*, 2.3. 41 s.
- Andersen, I. (2014, 24.04). *Lavenergi, passivhus og nullenergihus*. Byggesaksdagene, Storefjell, s. 23: SINTEF.
- Asphaug, S. K., Time, B., Thue, J. V., Geving, S., Gustavsen, A., Mathisen, H. M. & Uvsløkk, S. (2015). Kunnskapsstatus–Fuktbufring i materialer og påvirkning på energibehov.
- ASTM. (2009). *Standard Test Method for Determining Air Change in a Single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution*. E741-00. 17 s.
- Birkelind, C. *Varmestråling - varmetransport*. Nils Bohr Institutet: Københavns Universitet. Tilgjengelig fra: <http://fysikleksikon.nbi.ku.dk/v/varmestraaling/> (lest 29.04.2016).
- Blom, P. (1994). Naturlig og mekanisk avtrekksventilasjon i småhus. *Byggforskserien* (552.302): 6.
- Blom, P. (1999). Temperaturforhold og lufthastighet. Betingelser for termisk komfort. *Byggforskserien* (421.501): 8.
- Carlo Gavazzi AS. (2016). *Hva er et Smart Hus?* Tilgjengelig fra: <http://www.smartbuilding.no/hva-er-et-smarhus.html> (lest 24.04.2016).
- Dalland, O. (2000). *Metode og oppgaveskriving for studenter*. Oslo: Gyldendal akademisk. 277 s. s.
- Deru, M. & Burns, P. (2003). Infiltration and natural ventilation model for whole building energy simulation of residential buildings. *TRANSACTIONS-AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS*, 109 (2): 801-814.
- DIBK. (2012a). *Veiledning om tekniske krav til byggverk - § 13-4. Termisk inneklima*. byggkvalitet, D. f.: DIBK.
- DIBK. (2012b). *Veiledning om tekniske krav til byggverk, § 13-1. Generelle krav til ventilasjon*. byggkvalitet, D. f.: DIBK.
- DIBK. (2015). *Veiledning om tekniske krav til byggverk, Kapittel 14 - Energi*. byggkvalitet, D. f.: DIBK. 14 s.
- Direktoratet for byggkvalitet. (2016). *Veiledning om tekniske krav til byggverk, Kapittel 13. Miljø og helse*. I: DIBK (red.). Byggeregler: DIBK. Tilgjengelig fra: <http://dibk.no/no/BYGGEREGLER/Gjeldende-byggeregler/Veiledning-om-tekniske-krav-til-byggverk/?dpx=/dpx/content/tekniskekrav/13/4/>.
- Dokka, T. H., Vik, T. A., ØkoBygg, N. H. & Thyholt, M. (2001). Hybrid ventilasjon. *Muligheter og barrierer-Eksempel-Kontrollstrategier-Prosjekteringsverktøy*.
- Dokka, T. H. & Andresen, I. (2006). *Passive Houses in cold Norwegian climate*. Proceedings of the 10th International Passive House Conference: Citeseer.
- Dokka, T. H., KLINSKI, M. & MYSEN, M. H. O. M. (2009). Kriterier for passivhus-og lavenergi bygg–Yrkesbygg. *Sintef Prosjektrapport* (42).
- Edvardsen, K. I. & Ramsland, T. (2010). *Håndbok 53 Trehus*, b. 9: SINTEF Byggforsk. 327 s.
- Eldjarn, M. (2014). *Livsløpsvurdering av aktivhus og passivhus: Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU), Institutt for bygg, anlegg og transport*. 77 s.

- ENØK. (2016). *Avtrekkventilasjon*. I: as), A. A. E. o. I. (red.). Energiguide. Tilgjengelig fra: http://www.enok.no/enokguiden/10_3.html (lest 25.01.2016).
- Fang, L., Wyon, D., Clausen, G. & Fanger, P. O. (2004). Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance. *Indoor Air*, 14 (s7): 74-81.
- FLIR Systems. (2012). FLIR T620bx & T640bx. I: *FLIR*. Tilgjengelig fra: http://www.extech.com/cameras/resources/datasheets/FLIRT620bx_T640bxdata.pdf (lest 26.04.2016).
- Førland-Larsen, A. (2014, 12.02.2014). *Ulike prinsipper for ventilasjon, reel luftmengde, TEK og energibruk*. Frisk luft – Nødvendighet eller livskvalitet, Oslo, s. 49.
- Førland-Larsen, A. (2016). *Samtale om forsøksgjennomføring og ventilasjon* (25.02).
- Førland-Larsen, A., Halderaker, I. D. & Bramslev, K. T. (2016). Forenkling av tekniske systemer I: Byggallianse, G. (red.). *Tipshefte fra Grønn Byggallianse*. <http://byggalliansen.no/nyside/publikasjoner-2/>. 12 s.
- Geving, S. (2005). Fukt i bygninger. Teorigrunnlag. *Byggforskserien* (421.132): 8.
- Grimenes, A. A., Sletbak, B., Fet, A. M. & Jerstad, P. (2010). *Rom stoff tid : forkurs : grunnbok*. 3. utg. utg. Oslo: Cappelen Damm.
- Guttormsen, M. (2009). *Emissivitet*. <https://snl.no/emissivitet>: Store norske leksikon (lest 12.04).
- Haraldsen, H. & Pedersen, B. (2016). *Karbondioksid*. Store norske leksikon. <https://snl.no/karbondioksid>: Store norske leksikon (lest 18.04.2016).
- Hegli, T. (2016, 30.03). "0 naurligvis" - Nullenergi med naturlig ventilasjon. Less is more?, Oslo, Norway, s. 37. <http://www.futurebuilt.no/Less-is-more>: Snøhetta.
- Hestad, T. (2005). Filtrering av luft i ventilasjonsanlegg. *Byggforskserien* (552.331): 8.
- Hole, I. & Aurlien, T. (2013). Lufttetting av bygninger. Framgangsmåte for å oppnå lavt lekkasjetall. *Byggforskserien* (520.401): 10.
- Holøs, S. & Aurlien, T. (2014a). Luftlekkasjemåling av bygninger Hensikt og vurdering. *Byggforskserien* (474.624): 8.
- Holøs, S. & Aurlien, T. (2014b). Termografering av bygninger. *Byggforskserien* (474.642): 8.
- ISO. (2015). *Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method*. International Standard, ISO 9972:2015(E), 6. 31 s.
- Jacobsen, R. (2013). SIMIEN Resultater årssimulering. 29 s.
- Kartverket. (2016). *Norgeskart* (lest 11.04.2016).
- Kraniotis, D., Aurlien, T. & Thiis, T. K. (2014). Investigating Instantaneous Wind-Driven Infiltration Rates using the CO2 Concentration Decay Method. *International Journal of Ventilation*, 13 (2): 111-123.
- Kvande, T. & Lisø, K. R. (2012). Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring. *Byggforskserien* (451.021): 14.
- Larsen, T. S., Jensen, R. L., Kalyanova, O. & Heiselberg, P. (2006). Indeklimaundersøgelse hos Københavns Energi.
- Lavenergiprogrammet. (2015). *Lærerveiledning – introduksjon til energieffektivisering*. <http://lavenergiprogrammet.no/artikkel/laererveiledning/> (lest 13.04).
- Lavenergiprogrammet. (2016). *Naturlig ventilasjon – mulig å få til?* (lest 21.03).

- Meteorologisk institutt. *eKlima, Statistikk*. eklima.met.no/ (lest 09.04.2016).
- Meteorologisk institutt. (2016). Været som var: Oslo lufthavn, Gardermoen, Ullensaker (Akershus). Tilgjengelig fra: http://www.yr.no/sted/Norge/Akershus/Ullensaker/Oslo_lufthavn,_Gardermoen/statistikk.html.
- Meteorologisk institutt. (2015). *Norske årsmiddeltemperaturer: I alfabetisk rekkefølge*. VP_2015_Årsmiddel_Alfabetisk (red.): Forbrukerrådet.
- Mondrup, T. F., Vanhoutteghem, L., Grøn, M. & Wadsö, L. (2012). Energivejledninger: Mapning af danske og svenske vejledninger målrettet energiprojektering.
- Mysen, M. (2005). Inneklima og ventilasjon i skoler. *Byggforskserien* (552.311): 8.
- Mysen, M. (2015a). Luftmengder i ventilasjonsanlegg. Krav og anbefalinger. *Byggforskserien* (421.503).
- Mysen, M. (2015b). Ventilasjon av boliger, Prinsipper. *Byggforskserien* (552.301): 7.
- NAAF. (2013). *Pollenallergi*. NAAFs informasjonsbrosjyre: Norges astma- og allergiforbund. 24 s.
- NAAF. (2016a). *Allergi og overfølsomhet*. NAAFs hjemmeside: Norges astma- og allergiforbund. Tilgjengelig fra: <http://www.naaf.no/no/allergi/> (lest 20.04.2016).
- NAAF. (2016b). *Astma*. NAAFs hjemmeside: Norges astma- og allergiforbund. Tilgjengelig fra: <http://www.naaf.no/no/astma/> (lest 20.04.2016).
- Quirouette, R. & Arch, B. (2004). *Air pressure and the building envelope*: Citeseer.
- Rosenberg, E. & Espegren, K. A. (2014). CenSES-energiframskrivinger mot 2050. I: Lind, A. (red.): IFE, Institutt for Energiteknikk. 100 s.
- rotronic. *CP11*. Tilgjengelig fra: <http://www.rotronic.com/en/humidity-measurement-feuchtemessung-temperaturmessung/co2/handheld-instruments/cp11.html> (lest 15.02.2016).
- Rørstad, H. & Havellen, V. (2009). *Ventilasjon*. Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/ventilasjon> (lest 23. mars).
- Schoof, J. (2014). *House Without Heating: Office Building in Austria*. DETAIL. Tilgjengelig fra: <http://www.detail-online.com/article/house-without-heating-office-building-in-austria-16667/> (lest 20.04.2016).
- SINTEF Byggforsk. (2011). *Teknisk Godkjenning*. Kube, SINTEF Teknisk Godkjenning, 20232. SINTEF NBL as, Trondheim: SINTEF Byggforsk. 2 s.
- SSB. (2014). *Energibruk i husholdningene, 2012*: Statistisk sentralbyrå. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/husenergi/hvert-3-aar/2014-07-14> (lest 21.04.2016).
- Standard Norge. (2010). *Bygningers termiske egenskaper - Bestemmelse av bygningers luftlekkasje - Differansetrykkmetoden - (ISO 9972:1996, modifisert)*, NS-EN 13829:2000+NA:2010: Standard Norge. 26 s.
- Standard Norge. (2012). *Bygningers og byggematerialers termiske egenskaper - Bestemmelse av spesifikk luftmengde i bygninger - Sporgassmetode*, ISO 12569:2012, 8. 59 s.
- Stene, R. & Dokka, T. H. (2016, 30.03). *Passiv klimatisering av bygg - Åpen innovasjon i praksis*, s. 10.
- The International Energy Agency (IEA). (2006). Annex 35 Control Strategies for Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office and Education Buildings (HYBVENT). I:

- Jagpal, R. (red.). *Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme*. http://www.iea-ebc.org/fileadmin/user_upload/docs/EBC_Annex_35_tsr.pdf. 38 s.
- TSI, I. (2005). *Ventilation Testing*. 2 s.
- Variant VVS Norge AS. *Varmeteknikk*. 1.0 utg. byggebolig.no. Tilgjengelig fra: <http://www.byggebolig.no/imageoriginals/8215a2bc48464754ae96d2c463616a93.pdf> (lest 07.05.2016).
- Vedeld, M. (2014). *Miljøbygg – fra high-tech til low-tech?* Ballonas hjemmeside. Tilgjengelig fra: <http://bellona.no/nyheter/bygg/2014-06-miljobygg-fra-high-tech-til-low-tech> (lest 20.04.2014).
- Window Master. *NV Comfort®*. Natural Ventilation: Window Master. Tilgjengelig fra: <http://www.windowmaster.com/solutions/natural-ventilation/natural-ventilation-systems/nv-comfort%C2%AE> (lest 29.04.2016).
- Window Master. (2016). *Natural ventilation principles*: Window Master. Tilgjengelig fra: <http://www.windowmaster.com/solutions/natural-ventilation/natural-ventilation-principles> (lest 18.04.2016).
- Zensehome. (2016). *Zensehome-løsningen*. Intelligent el i det intelligente hus. Tilgjengelig fra: <http://www.zensehome.dk/da/privat/zensehome-loesningen.aspx> (lest 24.04.2016).

9 VEDLEGG

Innholdsfortegnelse:

Vedlegg 1: Plantegninger og snitt	i
Vedlegg 2: Situasjonsplan	iv
Vedlegg 3: Lekkasjetallsmåling, tette ventilerte	v
Vedlegg 4: Lekkasjetallsmåling, åpne ventilerte	vii
Vedlegg 5: C_{ventil}	ix
Vedlegg 6: Termogrammer	x
Vedlegg 7: Luftskifte	xii
Vedlegg 8: Luftstrøm i bygg	xv
Vedlegg 9 – Infiltrasjon	xvii
Vedlegg 10: CO ₂ , %RF og temperatur ved normal bruk	xviii
Vedlegg 11: Kart Gardermen og Hurdal Økogrend	xxiii
Vedlegg 12 – Værdata	xxv
Vedlegg 13 - Energi	xxvii
Vedlegg 14: Resultater testforsøk	xxviii
Vedlegg 15: Erfaringer rundt sporgassmetoden	xxx
Vedlegg 16: Teori fuktbufring og hygroskopiske materialer	xxxiii

Figurliste:

Figur 9-1: a) Termogram av sammenføyning mellom sør- og vest-veggen. b) Vanlig foto av samme objekt. Foto: Tonje M. Tredal	x
Figur 9-2: a) Termogram av ventil på nord-vendt fasade. b) Vanlig foto av samme objekt. Foto: Tonje M. Tredal	x
Figur 9-3: a) Termogram av vindu på barnerom, nord-vendt fasade. b) Vanlig foto av samme objekt. Foto: Tonje M. Tredal	xi
Figur 9-4: a) Termogram av sammenføyning mellom vegg og gulv, syd-vendt fasade. b) Vanlig foto av samme objekt. Foto: Tonje M. Tredal	xi

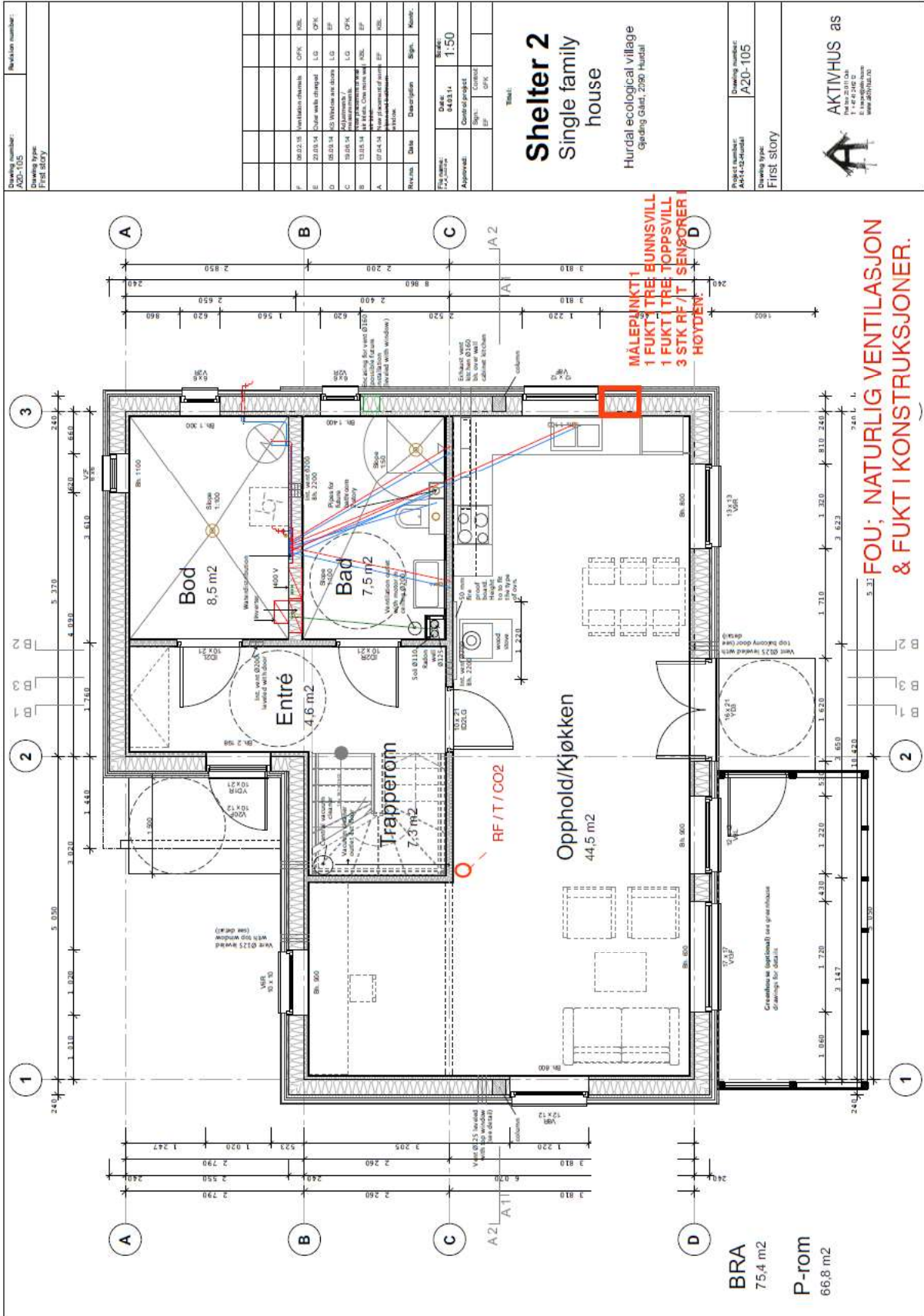
Figur 9-5: Konsentrasjonsavtakning 01.03.16	xii
Figur 9-6: Konsentrasjonsavtakning 02.03	xii
Figur 9-7: Konsentrasjonsavtakning 04.03	xiii
Figur 9-8: Cn for de enkelte dagene fremstilt i en graf for å lettere kunne sammenliknes.....	xiii
Figur 9-9: Konsentrasjonsavtakning oppholdsrom, 03.03	xv
Figur 9-10: Cn for oppholdsrom, 03.03	xv
Figur 9-11: RF og temperatur målt med CP11 i oppholdsrom, 03.03	xvi
Figur 9-12: RF og temperatur fra omnisense-målere, 03.03	xvi
Figur 9-13: Konsentrasjonsavtakning under infiltrasjonsmåling, 04.03	xvii
Figur 9-14: Cn for infiltrasjonsmåling, 04.03	xvii
Figur 9-15: CO ₂ -nivå i oppholdsrom og soverom 1 gjennom måleperioden. Data fra omnisense-sensorer.	xviii
Figur 9-16: %RF i inneluften gjennom hele måleperioden. Data fra omnisense-sensorer..	xviii
Figur 9-17: %RF i inneluften i uke 9. Data fra omnisense-sensorer.....	xix
Figur 9-18: Temperatur i inneluften gjennom hele måleperioden. Data fra omnisense-sensorer	xix
Figur 9-19: Temperatur uke 9. Data fra omnisense-sensorer.....	xx
Figur 9-20: CO ₂ -konsentrasjon i oppholdsrom 01.03 og 02.03. For start av hver av dagene vises innsprøyting av gass, dette er ikke normalnivåer. Data fra CP11.	xx
Figur 9-21: %RF og temperatur der målere er plassert etter luftskiftemåling, 01.03. Data fra CP11.....	xxi
Figur 9-22: %RF og temperatur der målere er plassert etter luftskiftemåling, 02.03. Data fra CP11.....	xxi
Figur 9-23: %RF og temperatur der målere er plassert etter måling av luftstrøm i bygget, 03.03. Data fra CP11.....	xxii
Figur 9-24: %RF og temperatur der målere er plassert etter luftskiftemåling, 04.03. Data fra CP11.....	xxii
Figur 9-25: Terreng Gardermoen, område markert med rød sirkel. (Kartverket 2016).....	xxiii
Figur 9-26: Rasterkart Gardermoen, område markert med rød sirkel. (Kartverket 2016) ..	xxiii
Figur 9-27: Terreng Hurdalen, område markert med rød sirkel. (Kartverket 2016)	xxiv
Figur 9-28: Rasterkart Hurdalen, område markert med rød sirkel. (Kartverket 2016)	xxiv
Figur 9-29: Vindrose for et år, Gardermoen.	xxv
Figur 9-30: Værstatistikk for Gardermoen.(Meteorologisk institutt 2016).....	xxv
Figur 9-31: Vindhastighet Gardermoen, uke 9.....	xxvi

Figur 9-32: Lufttemperatur Gardermoen, uke 9.....	xxvi
Figur 9-33: Forbruk og produksjon totalt fra 1. januar ut året. For 2015 finnes kun verdier fra siste halvår, da boligen ikke ble innflyttet før dette. For 2016 er dette en foreløpig verdi...	xxvii
Figur 9-34: %RF og temperatur i klasserom, 15.02.16.....	xxviii
Figur 9-35: CO ₂ -nivå i klasserom, 15.02.16	xxix
Figur 9-36: Spjeld, tilluftsventil, når det er tilnærmet lukket. Foto: Tonje M. Tredal.....	xxxii

Tabelliste:

Tabell 9-1: Luftskifte for de aktuelle måledagene fremstilt som oms/h og m ³ /h. Alle desimaler er beholdt i mellomregninger, mens endelig luftskifte er fremstilt som en mindre nøyaktig gjennomsnittsverdi.	xiv
Tabell 9-2: Luftskifte for oppholdsrom 03.03 fremstilt som oms/h og m ³ /h. Alle desimaler er beholdt i mellomregninger, mens endelig luftskifte er fremstilt som en mindre nøyaktig gjennomsnittsverdi.	xv
Tabell 9-3: Infiltrasjon 04.03 fremstilt som oms/h og m ³ /h. Alle desimaler er beholdt i mellomregninger, mens endelig luftskifte er fremstilt som en mindre nøyaktig gjennomsnittsverdi.	xvii
Tabell 9-4: Temperaturer for Gardermoen, gjennomsnittsverdier og normalverdier.	xxvi
Tabell 9-5: Forsøksoppsett og resultater testforsøk.	xxviii

Vedlegg 1: Plantegninger og snitt



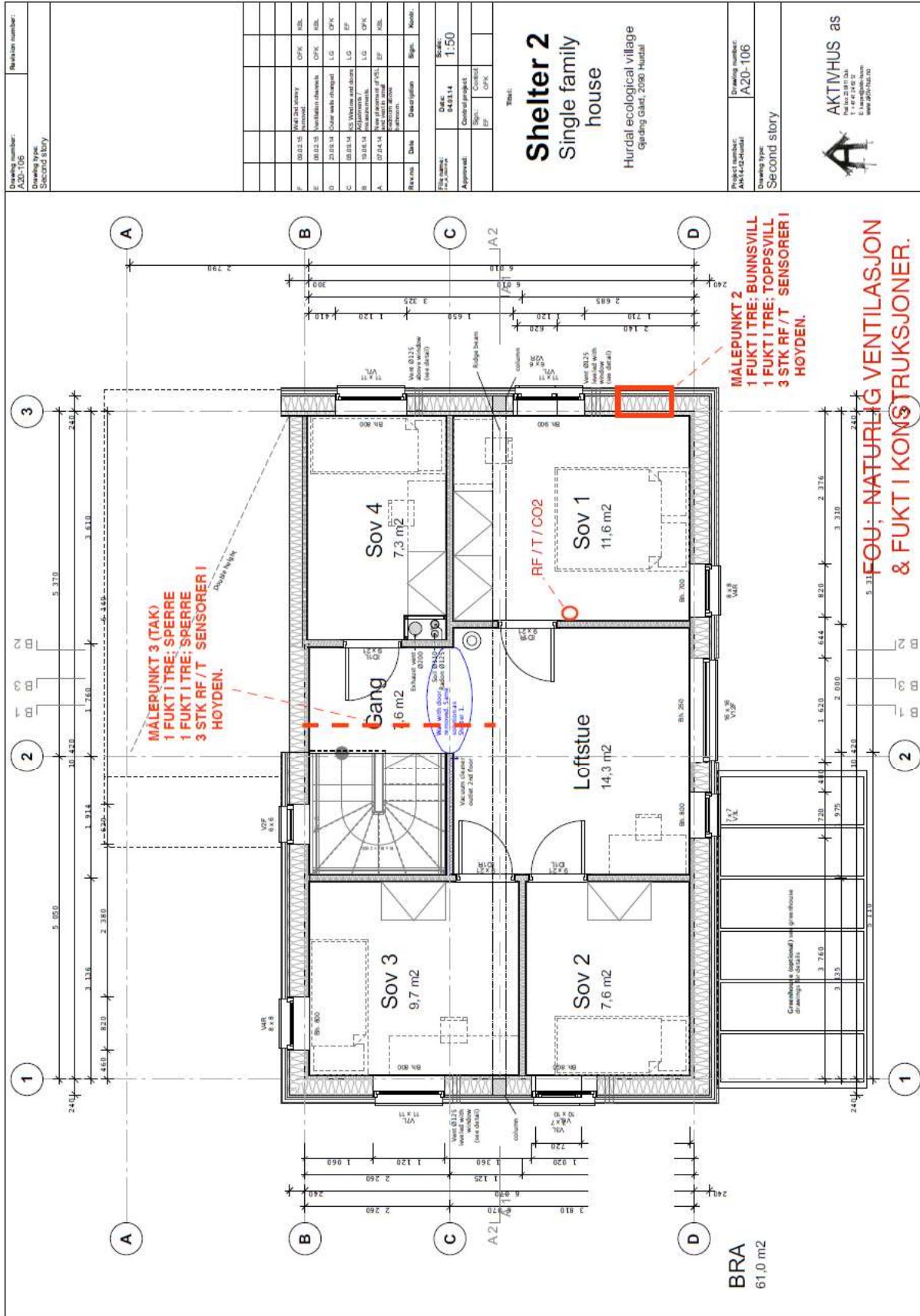
Drawing number: A20-105	Revision number:
Project name: First story	
Project number: A20-105	Drawing number: A20-105
Drawing type: First story	
Project name: Shelter 2	Client: Single family house
Date: 04.03.14	Scale: 1:50
Author: [Name]	Checked: [Name]
Approved: [Signature]	Contract: [Name]
Revised: [Table]	Sign: [Name]
Date: [Date]	Sheet: [Number]

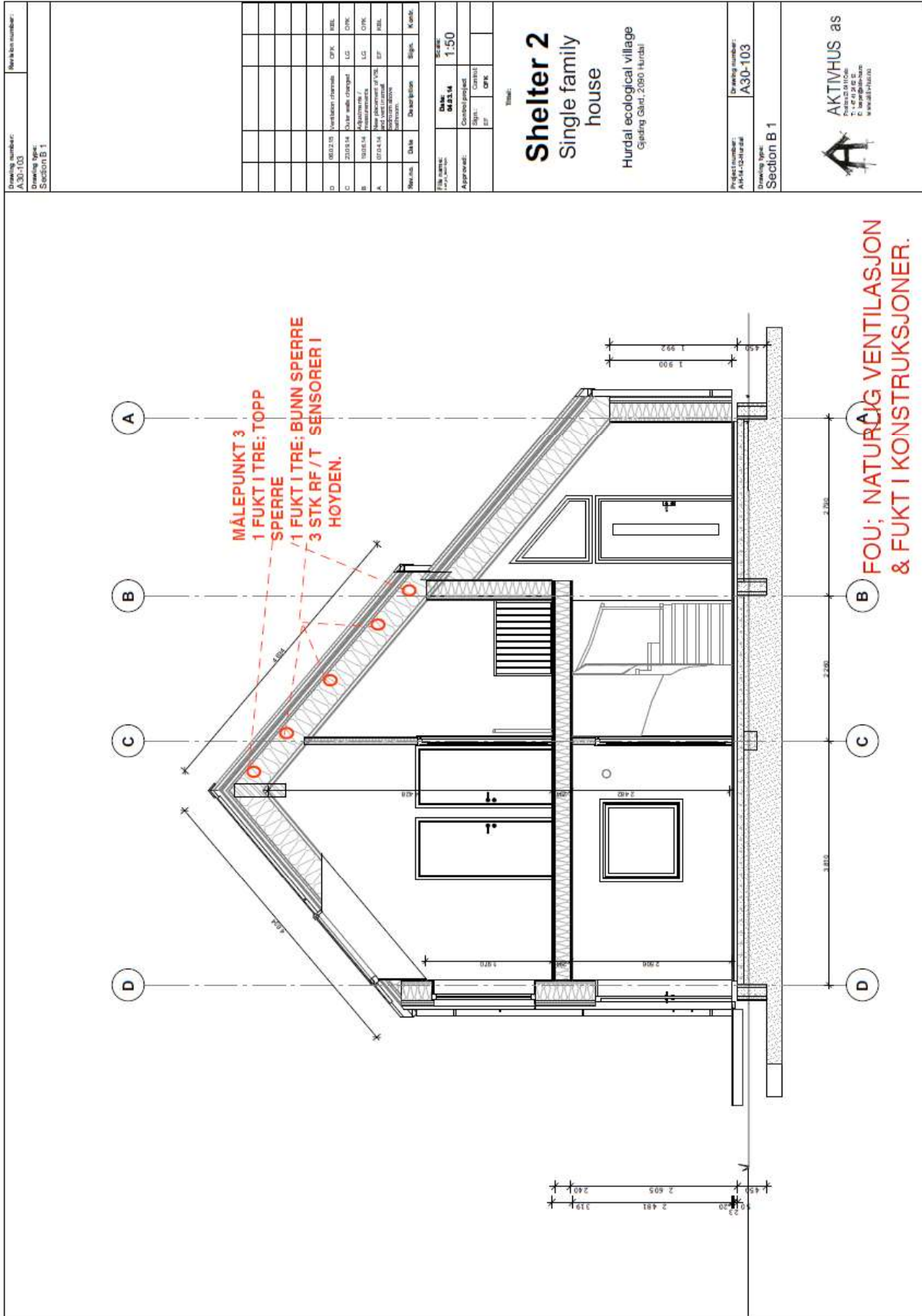


AKTIVHUS as
P.O. Box 2011 04
T-140 206 C
www.aktivhus.no

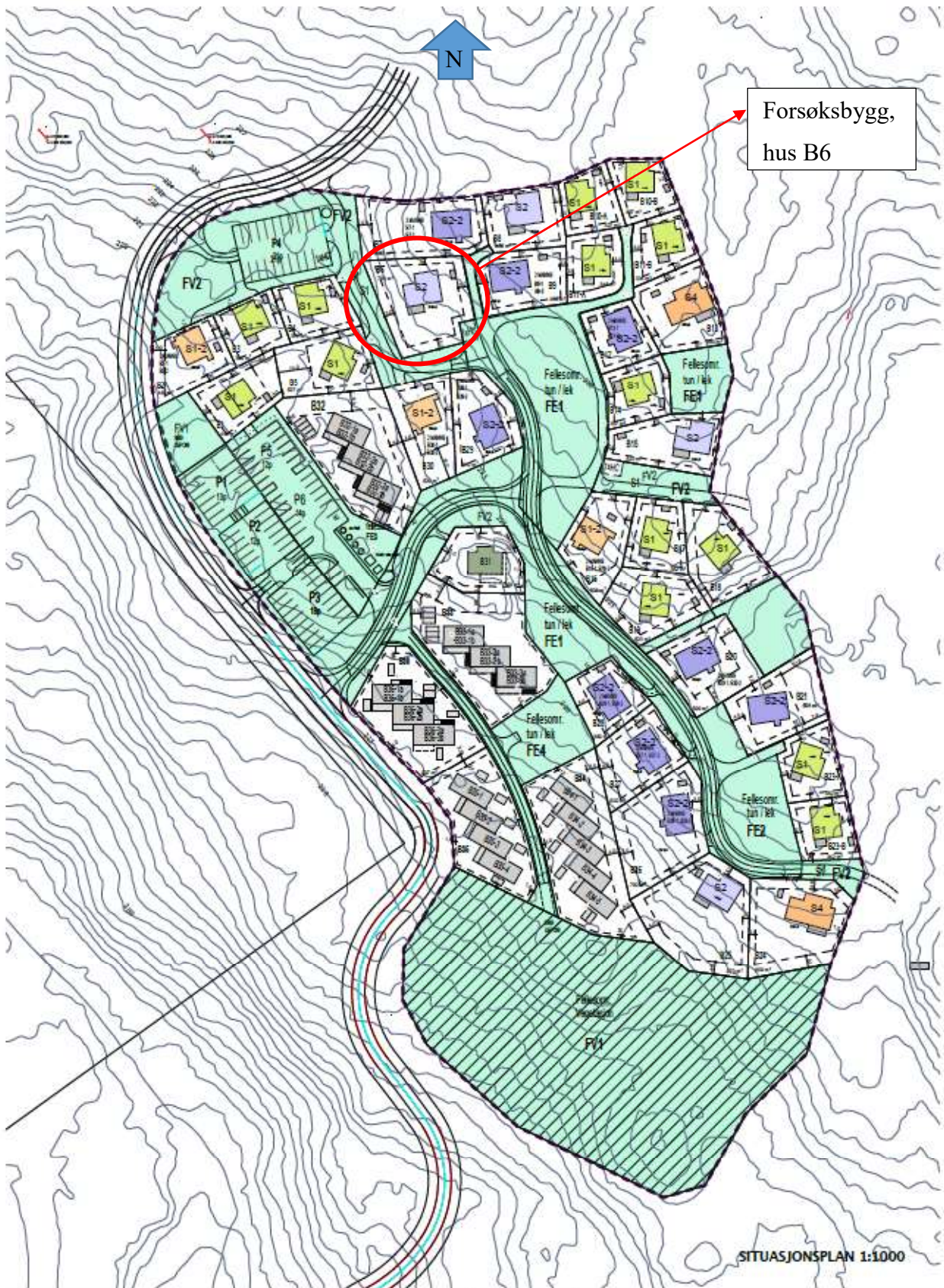
Hurdal ecological village
Gjøding Gård, 2000 Hurdal

Shelter 2
Single family house





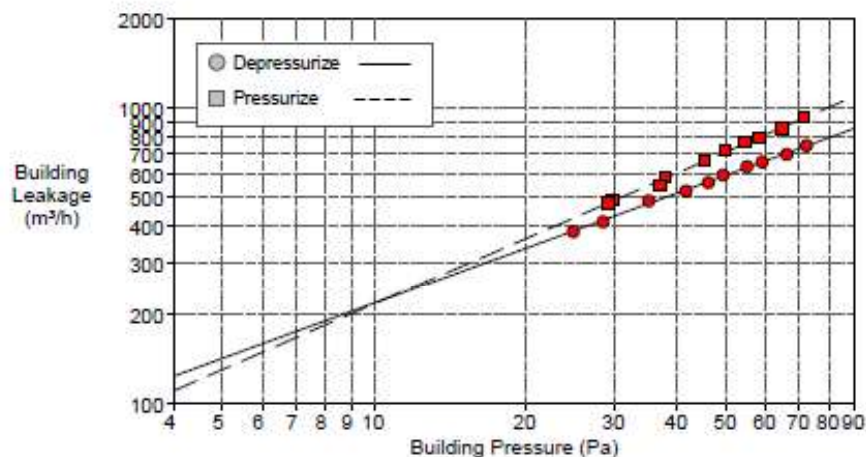
Vedlegg 2: Situasjonsplan



Vedlegg 3: Lekkasjetallsmåling, tettede ventiler

BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 29.02.16	Technician: Tonje		
Test File: tettede åpninger etter forsøk x2			
Customer:	Building Address: Aktivhus Økolandsbyen Hurdalen		
<hr/>			
	<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (m ³ /h)	586 (+/- 0.3 %)	711 (+/- 0.4 %)	649
n50: Air Changes per Hour (1/h)	1.58	1.92	1.75
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)	4.44	5.39	4.91
q50:			
Leakage Areas:			
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)	240.1 (+/- 1.7 %)	241.2 (+/- 2.7 %)	240.6
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)	130.9 (+/- 2.7 %)	118.1 (+/- 4.2 %)	124.5
Building Leakage Curve:			
Air Flow Coefficient (C _{env})	49.5 (+/- 4.1 %)	39.4 (+/- 6.5 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)	51.3 (+/- 4.1 %)	39.3 (+/- 6.5 %)	
Exponent (n)	0.623 (+/- 0.010)	0.740 (+/- 0.016)	
Correlation Coefficient	0.99887	0.99805	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:	
Type of Test Method:	A		
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door		
<hr/>			
Inside Temperature:	22 °C	Volume:	370 m ³
Outside Temperature:	-8 °C	Surface Area:	
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	132 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of Building Dimensions:	%
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Year of Construction:	
Type of Heating:	Electrical		
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		



BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 29.02.16 Test File: tettede åpninger etter forsøk x2

Comments

Alle ventiler og åpninger tettet. + kjøkkenvifte (og Vedovn tettet?)
Innvendige dører åpne

Innvendig trykk: før: 8 Pa undertrykk, og etter test:

Vindhastighet ute: 1,3 m/s

Undersøk vindforhold (ta gardemoen hvis du ikke får for akkurat plassering)

EDIT: volum er satt til oppvarmet volum, ergo 370

Data Points: Depressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-4.8	n/a				
-77.5	97.5	795	748	1.3	Ring B
-71.2	84.9	742	698	0.1	Ring B
-64.2	75.4	699	658	1.2	Ring B
-60.2	70.0	674	634	1.9	Ring B
-54.5	61.2	630	593	2.0	Ring B
-51.3	54.5	595	560	0.4	Ring B
-46.8	47.8	558	525	0.3	Ring B
-40.2	40.8	515	485	3.1	Ring B
-33.7	29.5	439	413	-0.1	Ring B
-30.0	25.2	406	382	0.6	Ring B
-5.5	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -4.8 p01+ = 0.0 p02- = -5.5 p02+ = 0.0

Data Points: Pressurization:

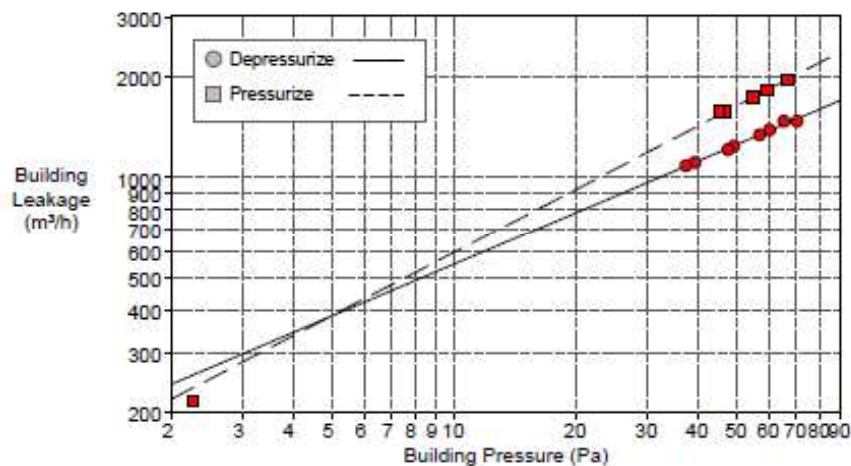
Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-4.5	n/a				
67.3	120.5	883	929	-0.0	Ring B
60.3	100.8	808	851	-1.3	Ring B
54.0	87.0	751	791	-1.0	Ring B
50.2	82.2	730	769	1.2	Ring B
45.6	71.7	682	718	0.8	Ring B
41.1	61.2	631	664	-0.2	Ring B
33.6	47.2	554	583	0.2	Ring B
32.8	41.8	521	549	-4.1	Ring B
25.5	33.2	465	490	0.4	Ring B
24.9	31.6	454	478	-0.4	Ring B
-4.0	n/a				

Test 1 Baseline (Pa): p01- = -4.5 p01+ = 0.0 p02- = -4.0 p02+ = 0.0

Vedlegg 4: Lekkasjetallsmåling, åpne ventiler

BUILDING LEAKAGE TEST

Date of Test: 29.02.16		Technician: Tonje		
Test File: åpne ventiler				
Customer:		Building Address: Aktivhus økolandsbyen		
<hr/>				
		<u>Depressurization</u>	<u>Pressurization</u>	<u>Average</u>
Test Results at 50 Pascals:				
V50: Airflow (m ³ /h)		1254 (+/- 0.5 %)	1634 (+/- 0.5 %)	1444
n50: Air Changes per Hour (1/h)		2.81	3.66	3.24
w50: m ³ /(h*m ² Floor Area)		9.50	12.38	10.94
q50:				
Leakage Areas:				
Canadian EqLA @ 10 Pa (cm ²)		614.3 (+/- 4.0 %)	666.4 (+/- 3.6 %)	640.4
LBL ELA @ 4 Pa (cm ²)		370.8 (+/- 6.1 %)	362.5 (+/- 5.5 %)	366.6
Building Leakage Curve:				
Air Flow Coefficient (Cenv)		161.0 (+/- 9.3 %)	141.9 (+/- 8.3 %)	
Air Leakage Coefficient (CL)		169.5 (+/- 9.3 %)	141.5 (+/- 8.3 %)	
Exponent (n)		0.512 (+/- 0.023)	0.625 (+/- 0.021)	
Correlation Coefficient		0.99388	0.99781	
Test Standard:	EN 13829	Regulation complied with:		
Type of Test Method:	A			
Equipment:	Model 4 (230V) Minneapolis Blower Door			
<hr/>				
Inside Temperature:	22 °C	Volume:	446 m ³	
Outside Temperature:	-8 °C	Surface Area:		
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	132 m ²	
Wind Class:	1 Light Air	Uncertainty of		
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Building Dimensions:	%	
Type of Heating:	EI	Year of Construction:		
Type of Air Conditioning:				
Type of Ventilation:	None			



BUILDING LEAKAGE TEST Page 2

Date of Test: 29.02.16 Test File: Åne ventiler

Comments

Med ventiler åpne, ellers likt som for hele bygg med teipede ventiler

Test kjørt 16.15

Data Points: Depressurization:

Nominal Building Pressure (Pa)	Fan Pressure (Pa)	Nominal Flow (m ³ /h)	Temperature Adjusted Flow (m ³ /h)	% Error	Fan Configuration
-6.9	n/a				
-76.9	33.0	1544	1468	-1.7	Ring A
-71.8	33.1	1545	1468	2.2	Ring A
-66.7	29.3	1456	1384	0.4	Ring A
-63.4	27.4	1408	1338	-0.1	Ring A
-55.6	264.3	1304	1240	-0.2	Ring B
-54.0	251.3	1272	1209	-1.0	Ring B
-45.8	211.2	1167	1109	-0.0	Ring B
-43.9	202.1	1141	1085	0.4	Ring B
-6.1	n/a				
Test 1 Baseline (Pa): p01- = -6.9 p01+ = 0.0 p02- = -6.1 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
-6.9	n/a				
-4.1	0.6	205	216	-19.3	Ring A
60.2	47.4	1846	1842	-1.0	Ring A
53.1	41.4	1727	1817	-0.8	Ring A
48.5	37.4	1642	1728	-0.8	Ring A
40.3	30.6	1487	1564	-0.8	Ring A
38.8	30.6	1486	1563	1.1	Ring A
-5.9	n/a				
Test 1 Baseline (Pa): p01- = -6.9 p01+ = 0.0 p02- = -5.9 p02+ = 0.0					

Kommentar: Volumet i denne filen er feil, men andre verdier stemmer. Det er vanligvis mulig å gå inn i forsøksfilen og endre data, men inndata i forsøksfilen hadde forsvunnet da den ble tatt opp på nytt.

Vedlegg 5: C_{ventil}

C_{ventil}: C_{tettet} vs C_{lukket}

Tettede ventiler			Åpne ventiler		
avlest	Δp	V' v/undertrykk	avlest	Δp	V' v/undertrykk
77.5	72.35	795	76.9	70.4	1544
71.2	66.05	742	71.8	65.3	1545
64.2	59.05	699	66.7	60.2	1456
60.2	55.05	674	63.4	56.9	1408
54.5	49.35	630	55.6	49.1	1304
51.3	46.15	595	54	47.5	1272
46.8	41.65	558	45.8	39.3	1167
40.2	35.05	515	43.9	37.4	1141
33.7	28.55	439			
30	24.85	406			

$Q = 51,8 * (\Delta p)^{0,623}$
 $Q = 169,5 * (\Delta p)^{0,512}$

$Q = C * \Delta p^n$

Trykkforskjell, Δp	10	20	30	40
V(total)	551.0229691	785.7729247	967.0652658	1120.532399
V(hus)	217.4351537	334.8663027	431.0982912	515.7190029
ΔV	333.5878154	450.9066221	535.9669745	604.8133958

10Pa = 333,59 = C * 10Paⁿ

20Pa = 450,91 = C * 20Paⁿ

$C = 333,59 / (10^n)$

$450,91 = (333,59 / (10^n)) * 20^n$

Tar log på begge sider: n =

Da blir C_{ventiler}:

$450,91 / 333,59 = 2^n$

0.434762104

122.5880326

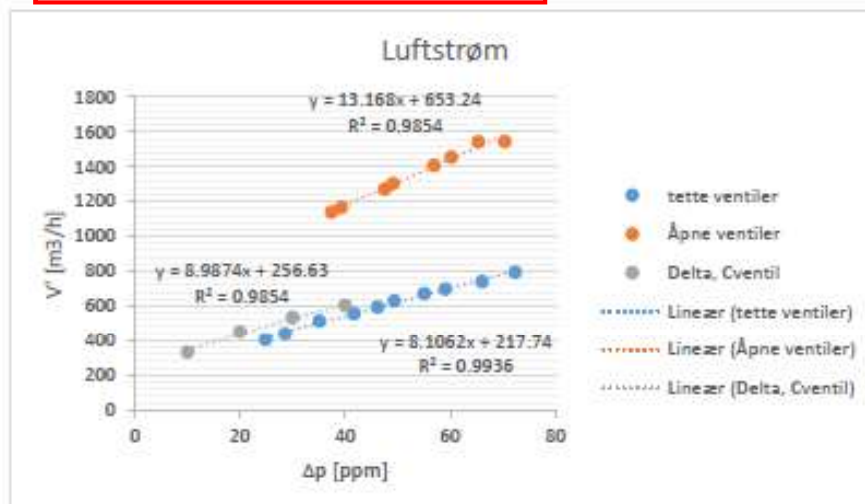
Putter likning for C inn i likning for 20 Pa

7 tilluftsventiler

$C_{ventil} = C_{\Delta} / 7$

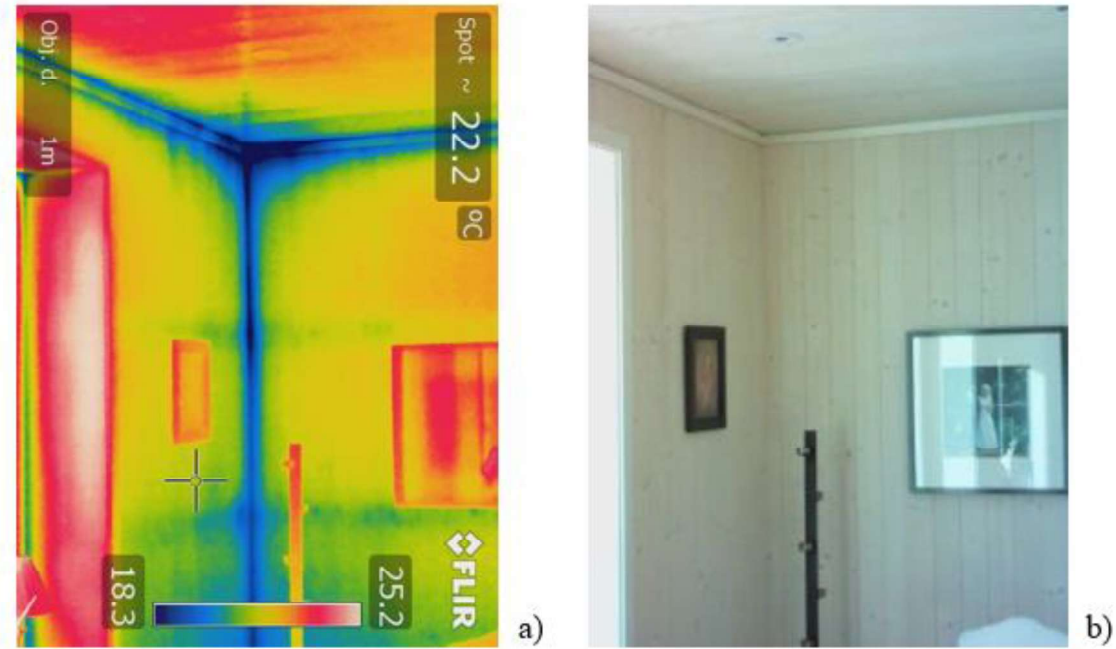
MEN avtrekk også åpent

Luftstrøm ventil: $Q = 122,6 * \Delta p^{0,43}$
 C_{ventil} = 13.62

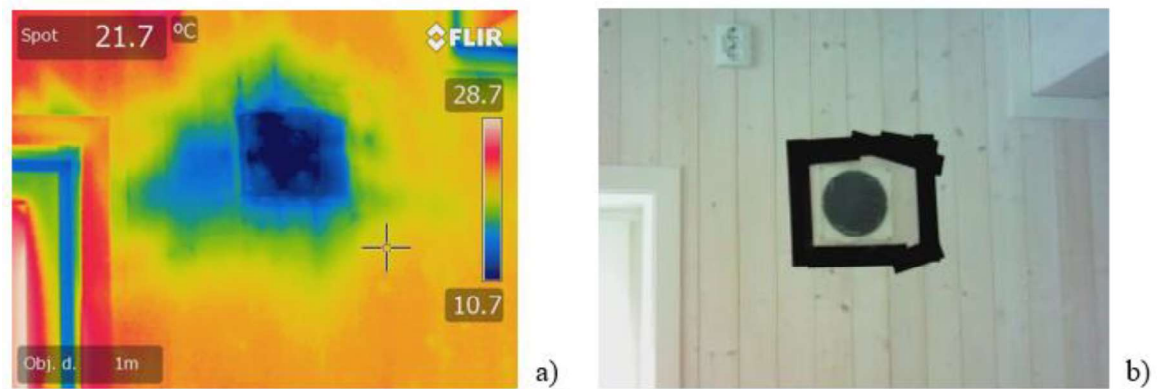


Vedlegg 6: Termogrammer

Alle termogrammer er fra samme dag, 29.02.2016, og alle er dermed tatt med samme værforhold. Se Tabell 4-3: Trykk i bygningen og temperatur under termografering.

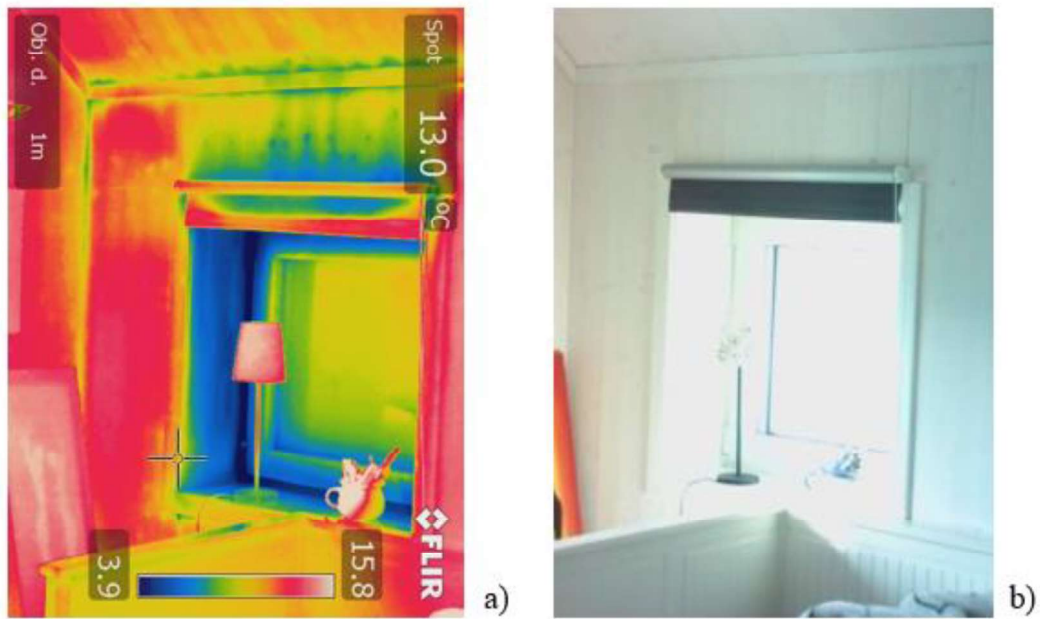


Figur 9-1: a) Termogram av sammenføyning mellom sør- og vest-veggen. b) Vanlig foto av samme objekt. Foto: Tonje M. Tredal

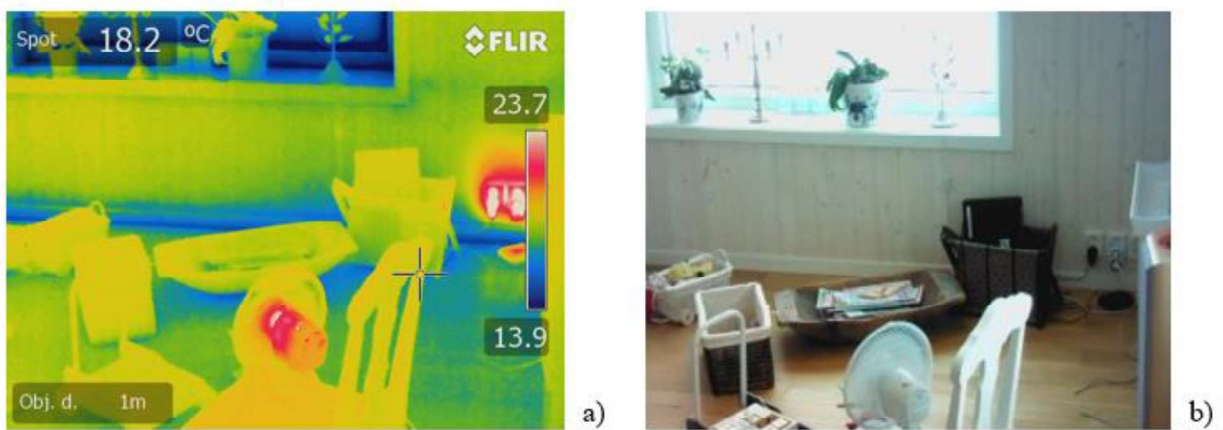


Figur 9-2: a) Termogram av ventil på nord-vendt fasade. b) Vanlig foto av samme objekt. Foto: Tonje M. Tredal

Luftskifte i en moderne, naturlig ventilert bolig



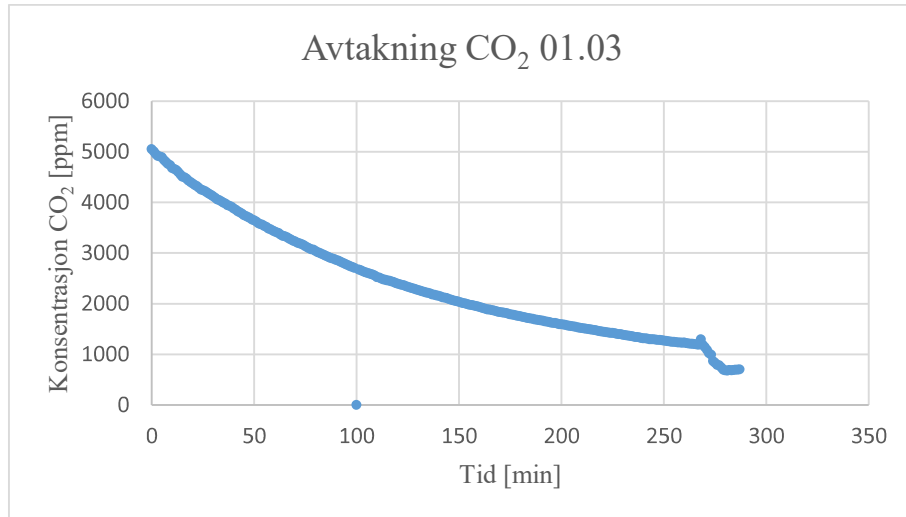
Figur 9-3: a) Termogram av vindu på barnerom, nord-vendt fasade. b) Vanlig foto av samme objekt. Foto: Tonje M. Tredal



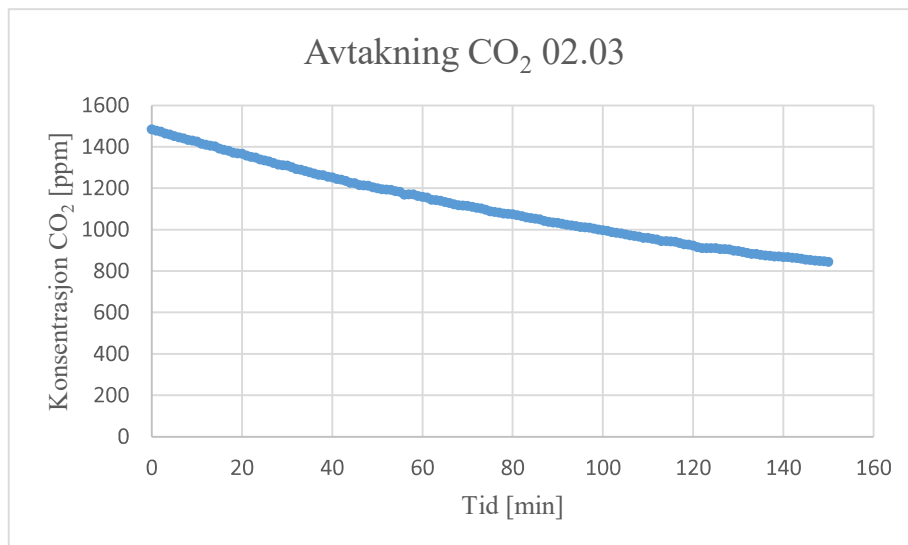
Figur 9-4: a) Termogram av sammenføyning mellom vegg og gulv, syd-vendt fasade. b) Vanlig foto av samme objekt. Foto: Tonje M. Tredal

Vedlegg 7: Luftskifte

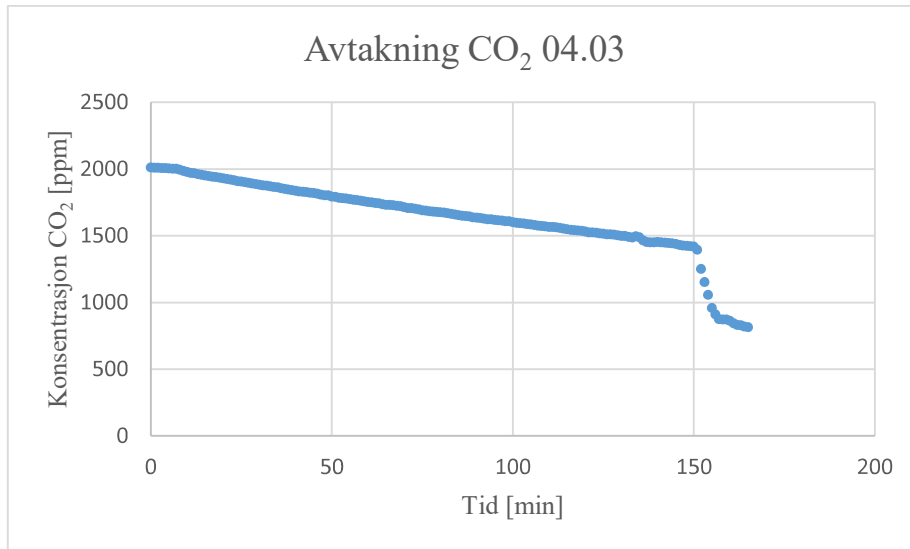
Under er avtakningskurvene for hver av dagene det ble målt luftskifte for hele boligen vist. Disse er tatt med for at eventuelle lesere skal kunne gjøre estimater av luftskiftet på egenhånd om dette skulle være ønskelig. Kurven for C_n er også funnet ved lineær regresjon og lagt inn, samt en tabell med utregnede verdier.



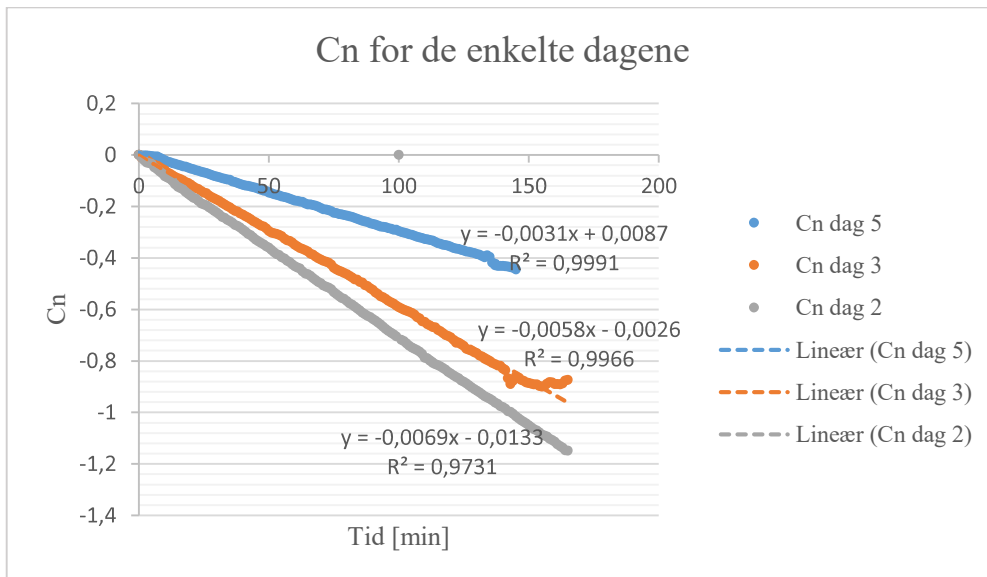
Figur 9-5: Konsentrasjonsavtakning 01.03.16



Figur 9-6: Konsentrasjonsavtakning 02.03



Figur 9-7: Konsentrasjonsavtakning 04.03



Figur 9-8: Cn for de enkelte dagene fremstilt i en graf for å lettere kunne sammenliknes.

Luftskifte i en moderne, naturlig ventilert bolig

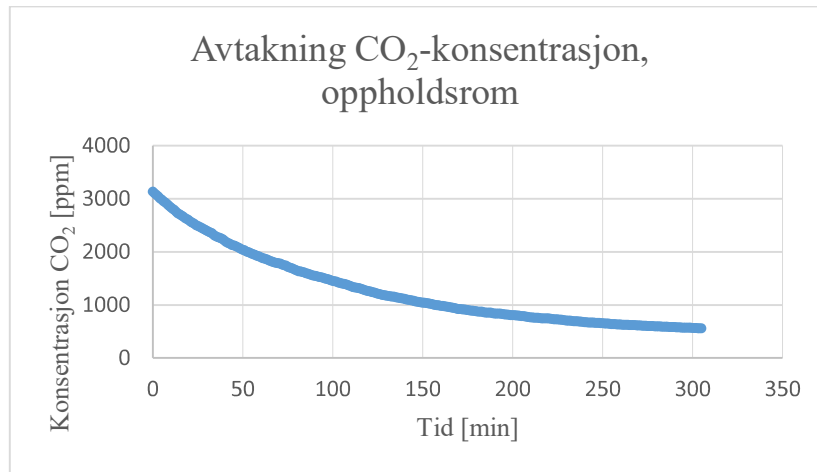
Tabell 9-1: Luftskifte for de aktuelle måledagene fremstilt som oms/h og m³/h. Alle desimaler er beholdt i mellomregninger, mens endelig luftskifte er fremstilt som en mindre nøyaktig gjennomsnittsverdi.

Timesintervall	Luftskifte [oms/h]			Luftskifte [m ³ /h]		
	01.03.16	02.03.16	04.03.16	01.03.16	02.03.16	04.03.16
0 - 1	0,43202733	0,34842337	0,17688635	159,85	128,92	65,45
1 - 1,5	0,42473702	0,34972436	0,17891317	157,15	129,40	66,20
1,5 - 2	0,42438958	0,35443507	0,17806969	157,02	131,14	65,89
2 - 2,5	0,41994117	0,35430461	0,18521121	155,38	131,09	68,53
2,5 - 3	0,41429151	-	-	153,23	-	-
3 - 4	0,40846932	-	-	151,13	-	-
Gjennomsnitt	0,42	0,35	0,18	155,63	130,14	66,51

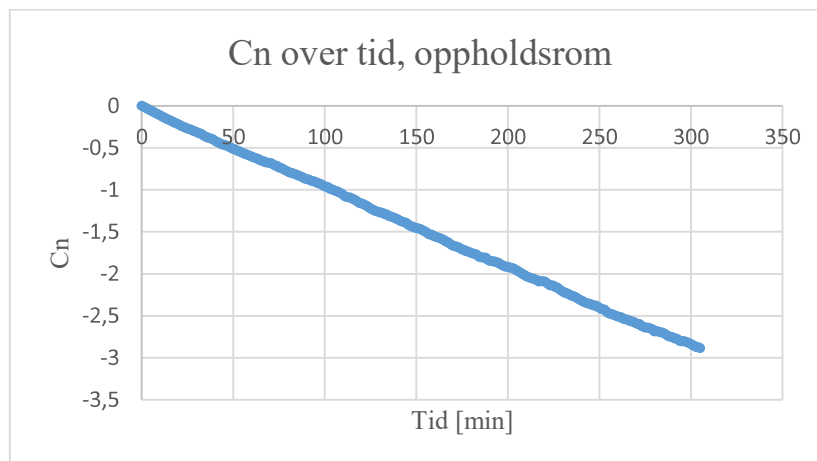
Vedlegg 8: Luftstrøm i bygg, 03.03.16

I dette vedlegget finnes verdier beregnet på tilsvarende måte som for luftskiftet i hele bygget.

I tillegg finnes grafer over temperatur og RF i oppholdsrom for denne dagen.



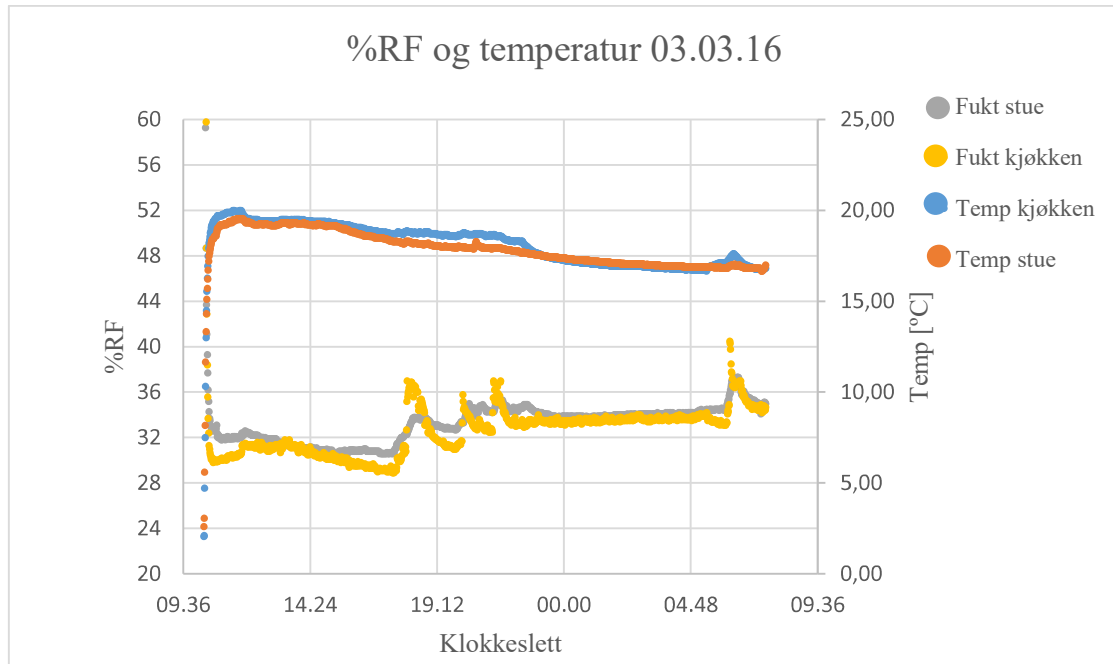
Figur 9-9: Konsentrasjonsavtakning oppholdsrom, 03.03



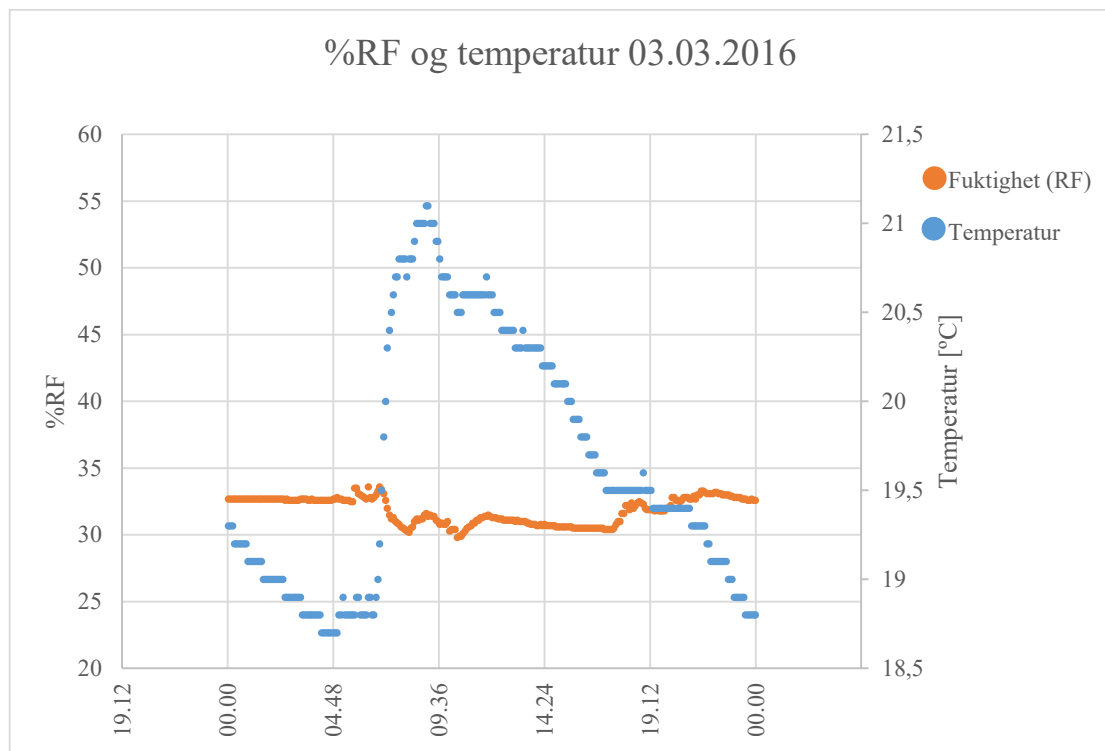
Figur 9-10: Cn for oppholdsrom, 03.03

Tabell 9-2: Luftskifte for oppholdsrom 03.03, fremstilt som oms/h og m³/h. Alle desimaler er beholdt i mellomregninger, mens endelig luftskifte er fremstilt som en mindre nøyaktig gjennomsnittsverdi.

Timeintervall	Luftskifte [oms/h]	Luftskifte [m ³ /h]
0 - 1	0.60433249	223.60302
1 - 2	0.58142858	215.128576
2 - 3	0.58464586	216.318966
3 - 4	0.57971742	214.495446
Gjennomsnitt:	0.59	217.39



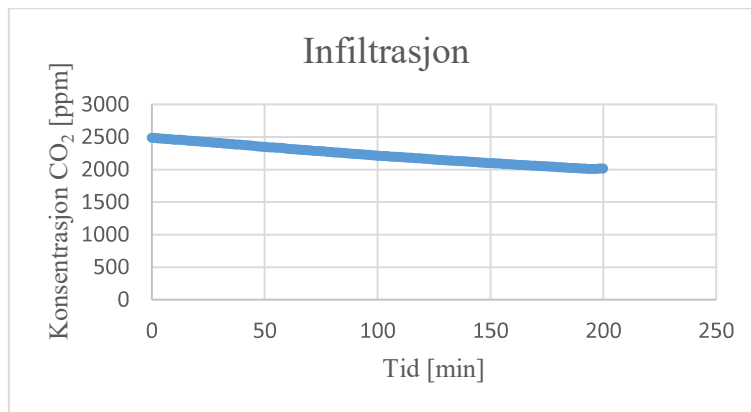
Figur 9-11: RF og temperatur målt med CP11 i oppholdsrom, 03.03



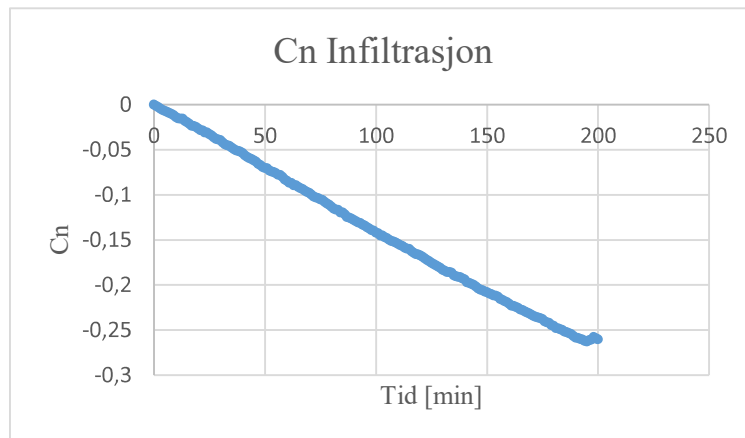
Figur 9-12: RF og temperatur fra omniscense-målere, 03.03

Vedlegg 9 – Infiltrasjon

I dette vedlegget finnes verdier beregnet på tilsvarende måte som for luftskiftet i hele bygget.



Figur 9-13: Konsentrasjonsavtakning under infiltrasjonsmåling, 04.03



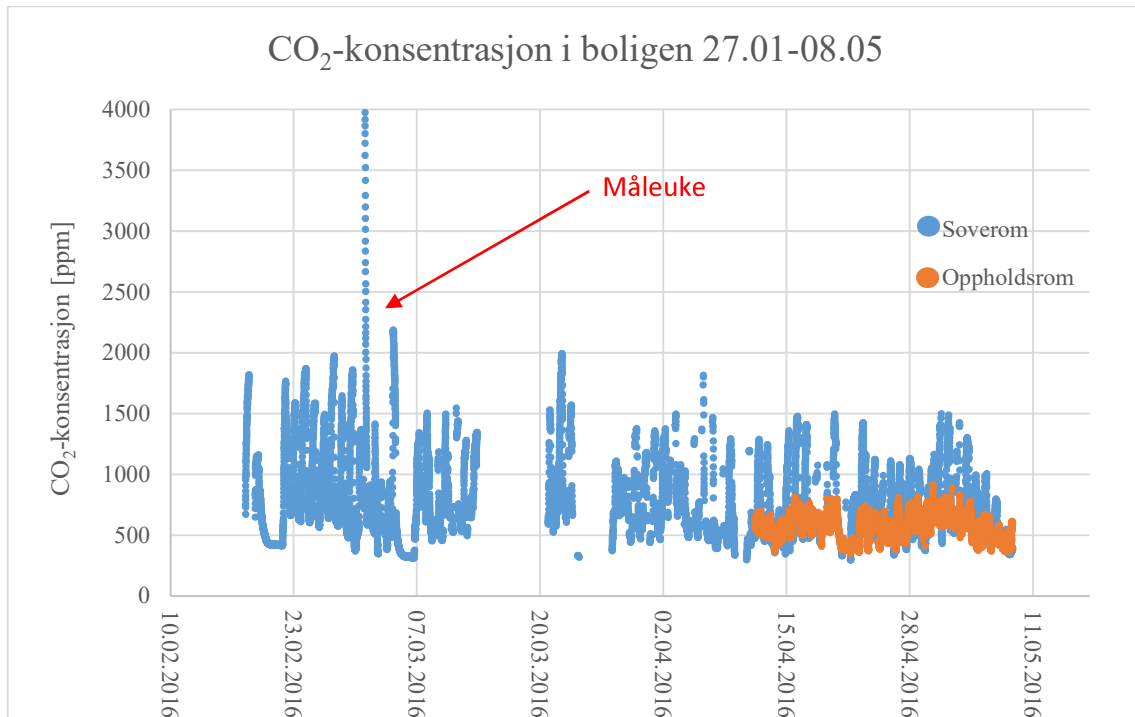
Figur 9-14: Cn for infiltrasjonsmåling, 04.03

Tabell 9-3: Infiltrasjon 04.03, fremstilt som oms/h og m³/h. Alle desimaler er beholdt i mellomregninger, mens endelig luftskifte er fremstilt som en mindre nøyaktig gjennomsnittsverdi.

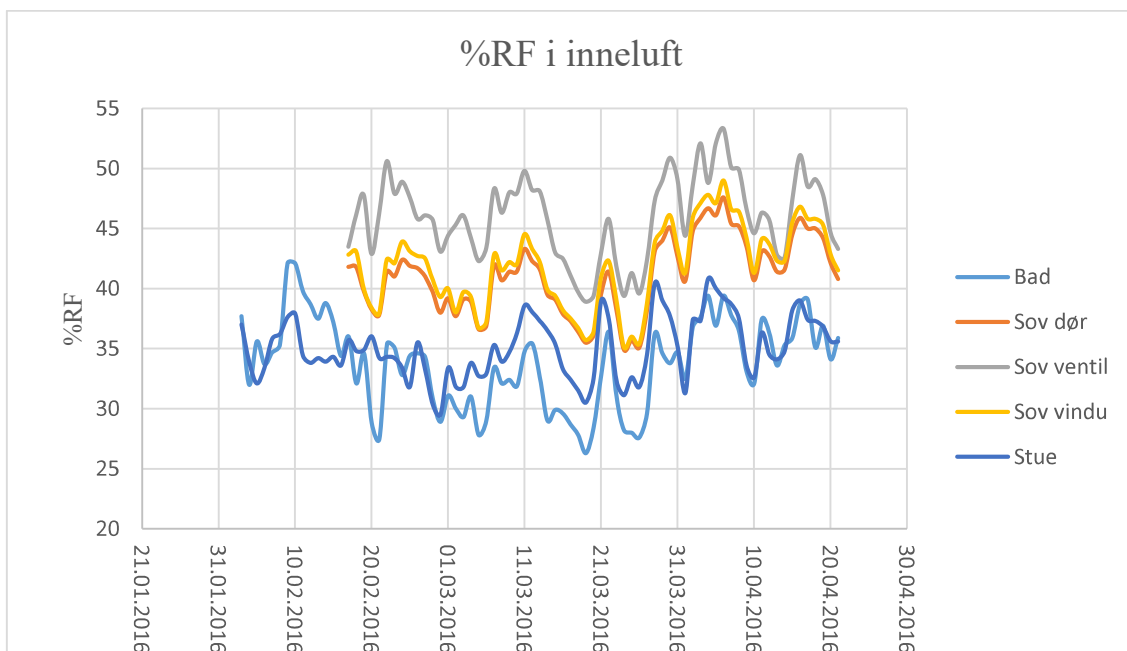
Timesintervall	Infiltrasjonsrate [oms/h]	Infiltrasjon [m ³ /h]
0 - 1	0,08444977	31,2464158
1 - 1,5	0,08520766	31,5268335
1,5 - 2	0,08360146	30,9325387
2 - 2,5	0,08323652	30,7975127
2,5 - 3	0,08180558	30,2680633
3 - 3,33	0,07808883	28,8928683
Gjennomsnitt	0,083	30,61

Vedlegg 10: CO₂, %RF og temperatur ved normal bruk

Dataene innhentet fra omnisense-målerne er presentert først, etterfulgt av verdier fra uke 9 for CP11.

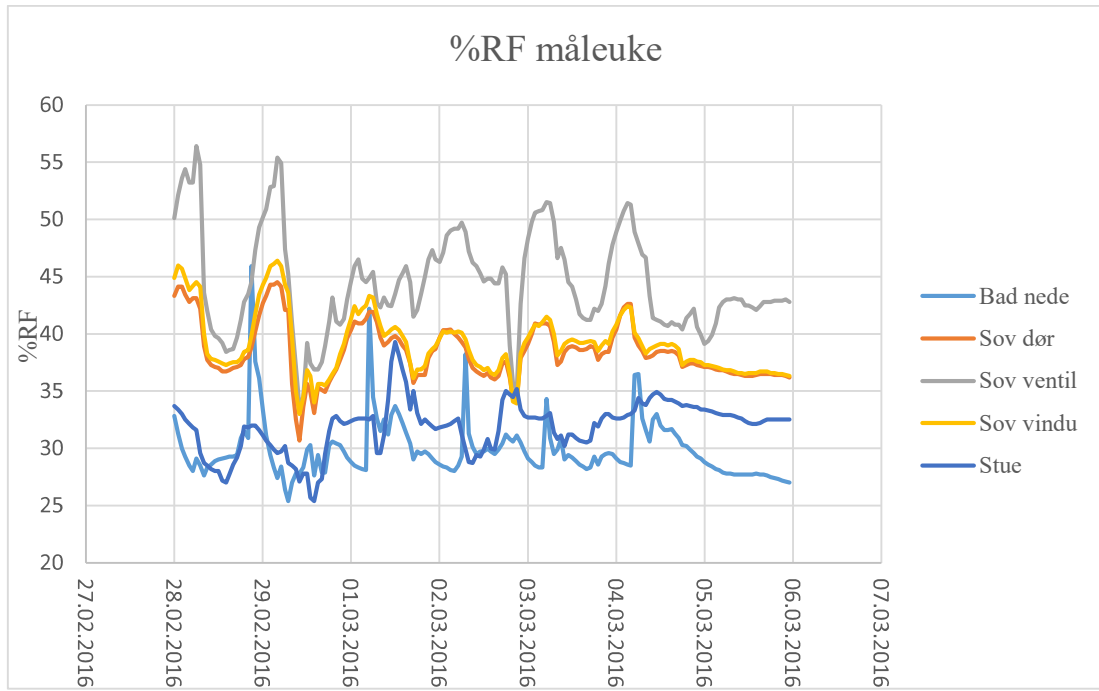


Figur 9-15: CO₂-nivå i oppholdsrom og soverom 1 gjennom måleperioden. Data fra omnisense-sensorer.

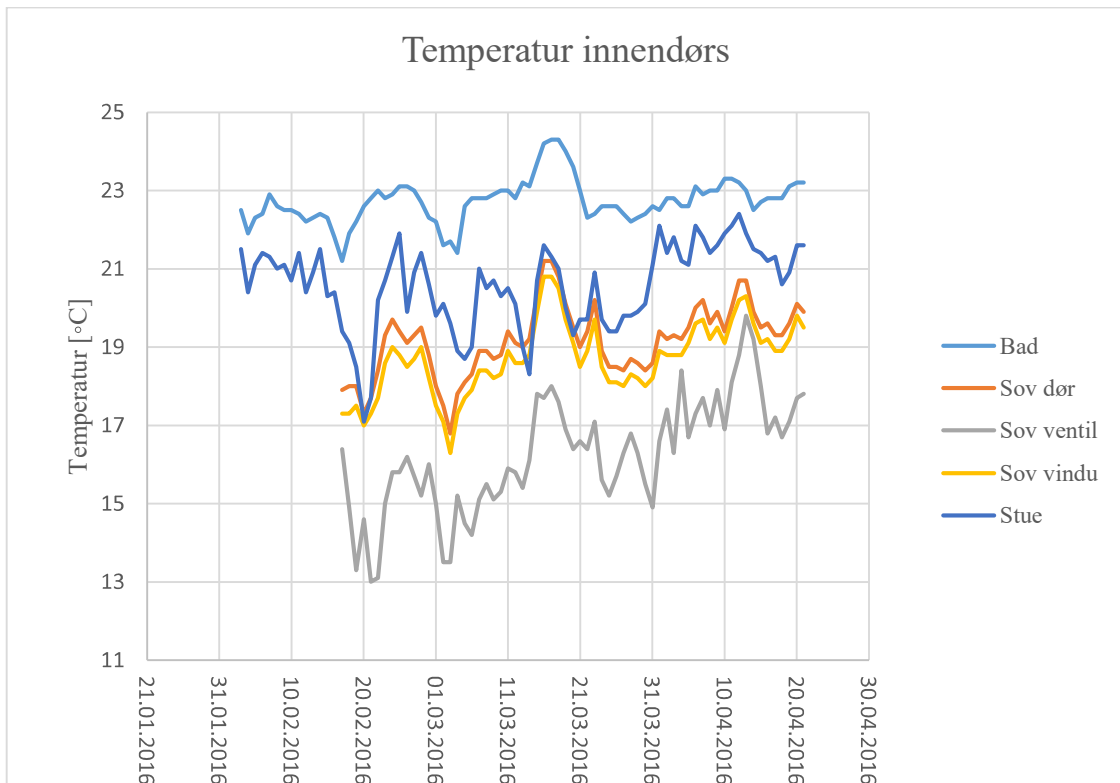


Figur 9-16: %RF i inneluften gjennom hele måleperioden. Data fra omnisense-sensorer.

Luftskifte i en moderne, naturlig ventilert bolig

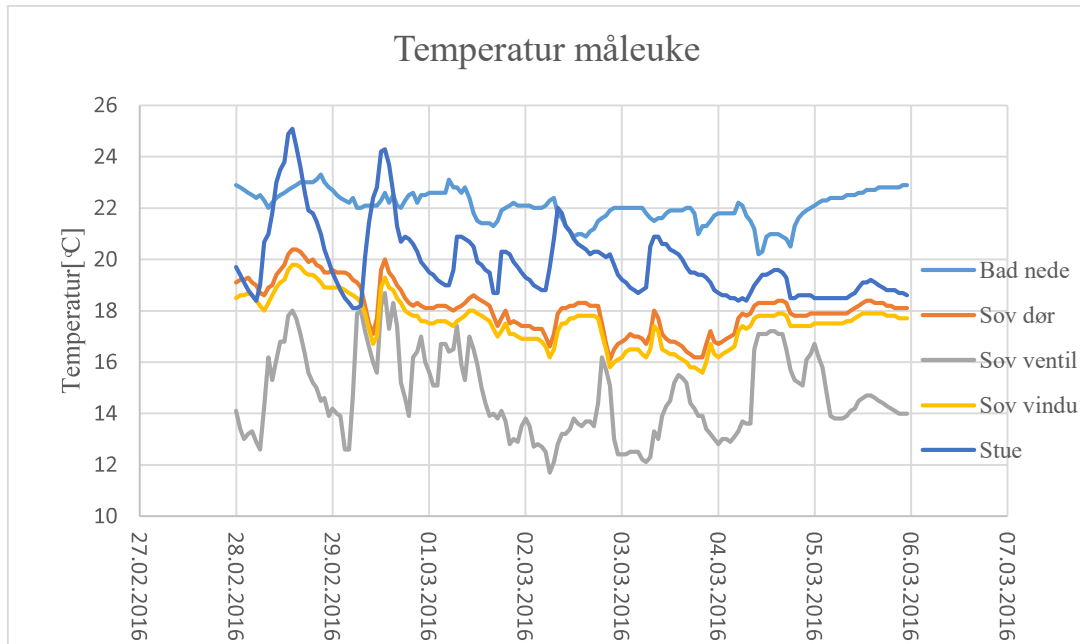


Figur 9-17: %RF i inneluften i uke 9. Data fra omnisense-sensorer.



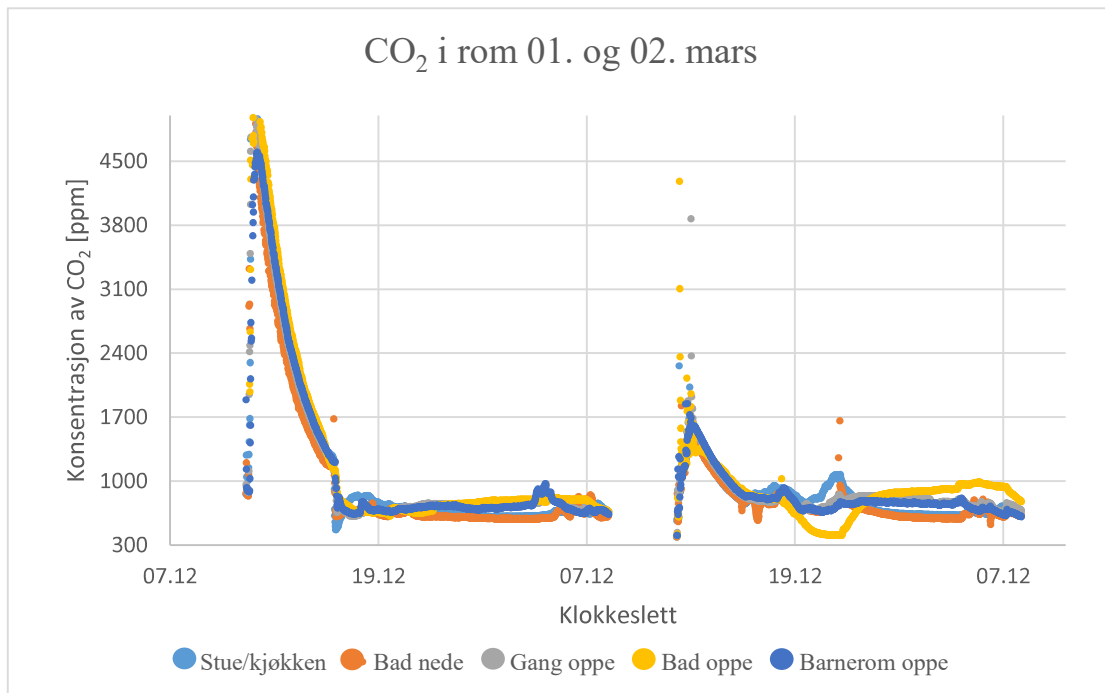
Figur 9-18: Temperatur i inneluften gjennom hele måleperioden. Data fra omnisense-sensorer

Luftskifte i en moderne, naturlig ventilert bolig



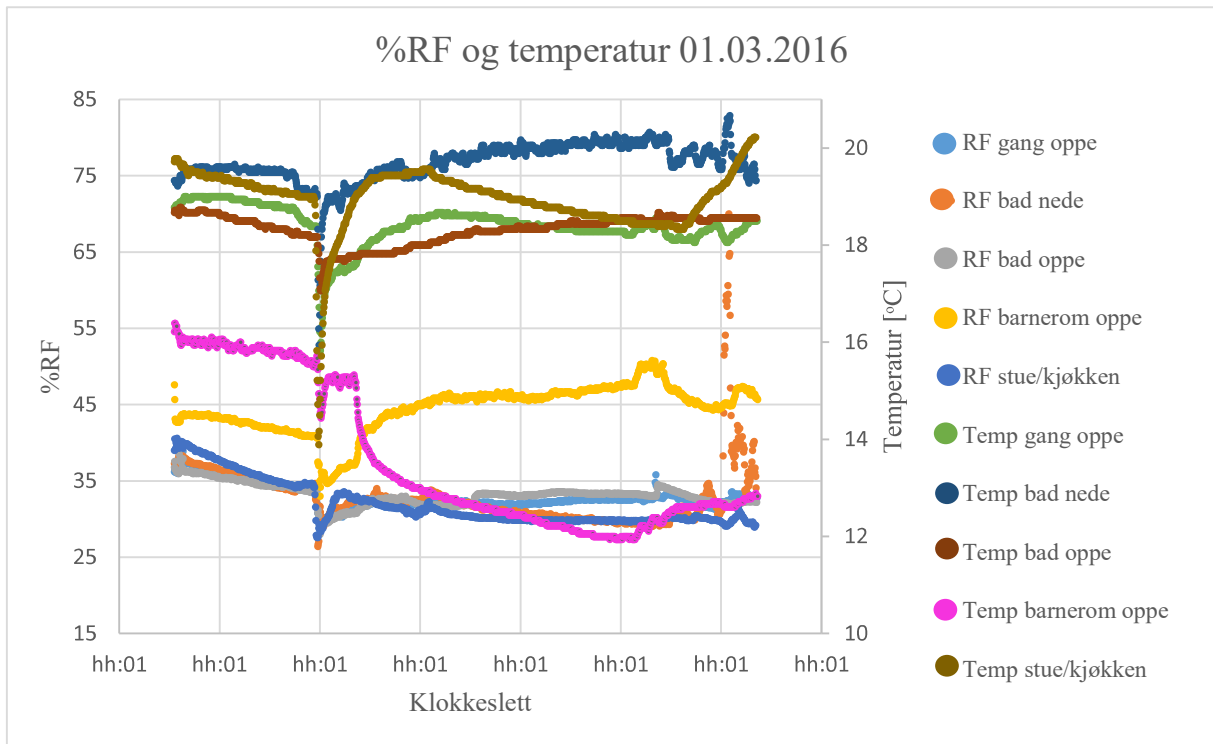
Figur 9-19: Temperatur uke 9. Data fra omnisense-sensorer.

Data fra CP11-loggere:

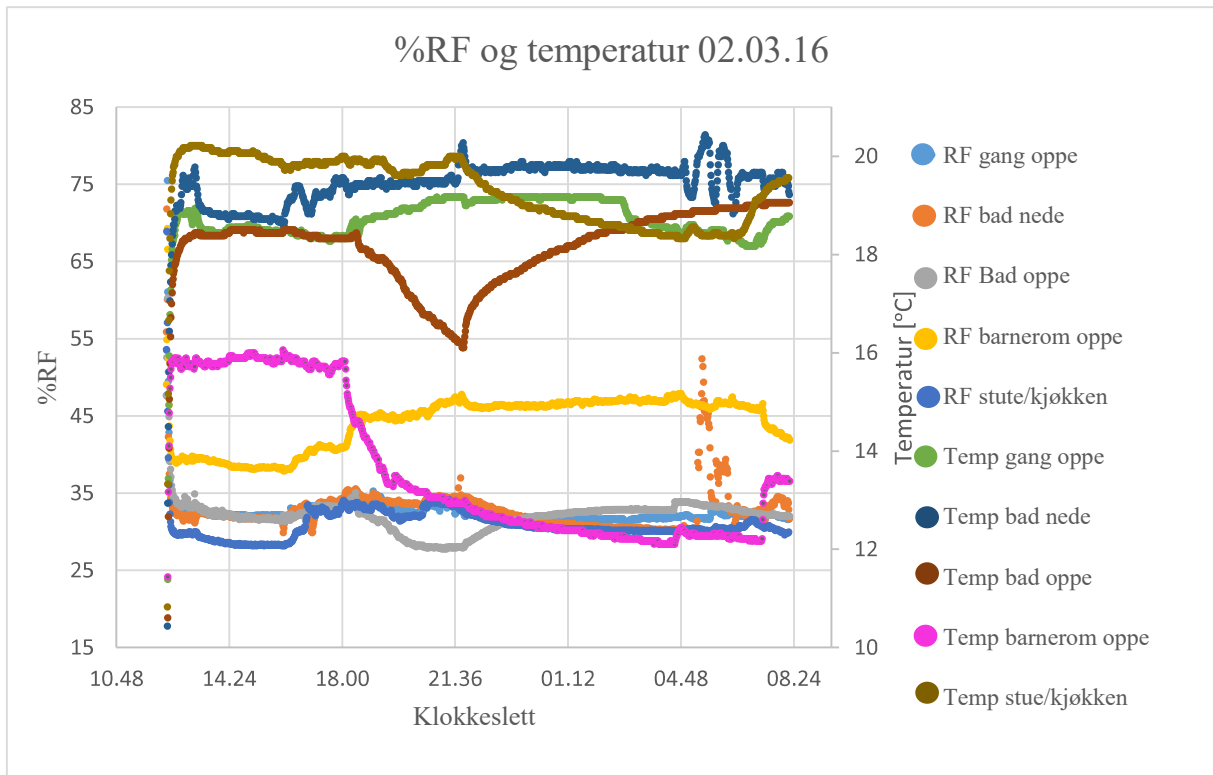


Figur 9-20: CO₂-konsentrasjon i oppholdsrom 01.03 og 02.03. For start av hver av dagene vises innsprøyting av gass, dette er ikke normalnivåer. Data fra CP11.

Luftskifte i en moderne, naturlig ventilert bolig

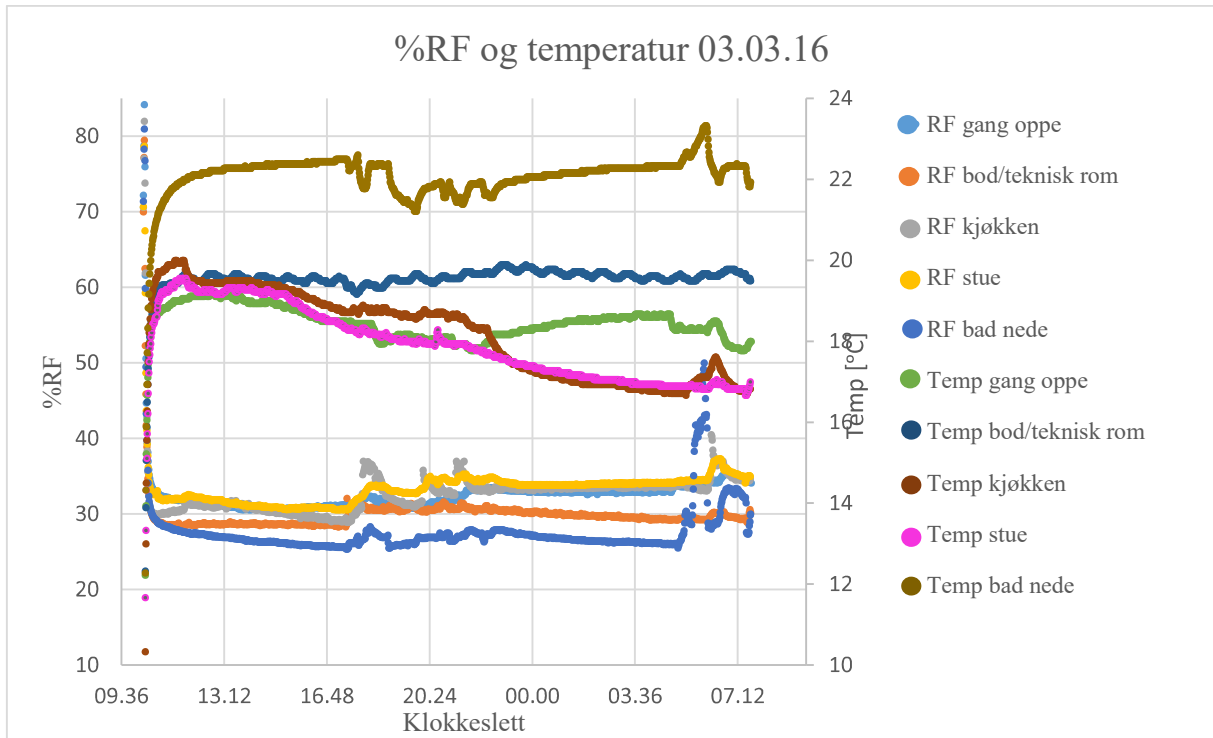


Figur 9-21: %RF og temperatur der målere er plassert etter luftskiftemåling, 01.03. Data fra CP11.

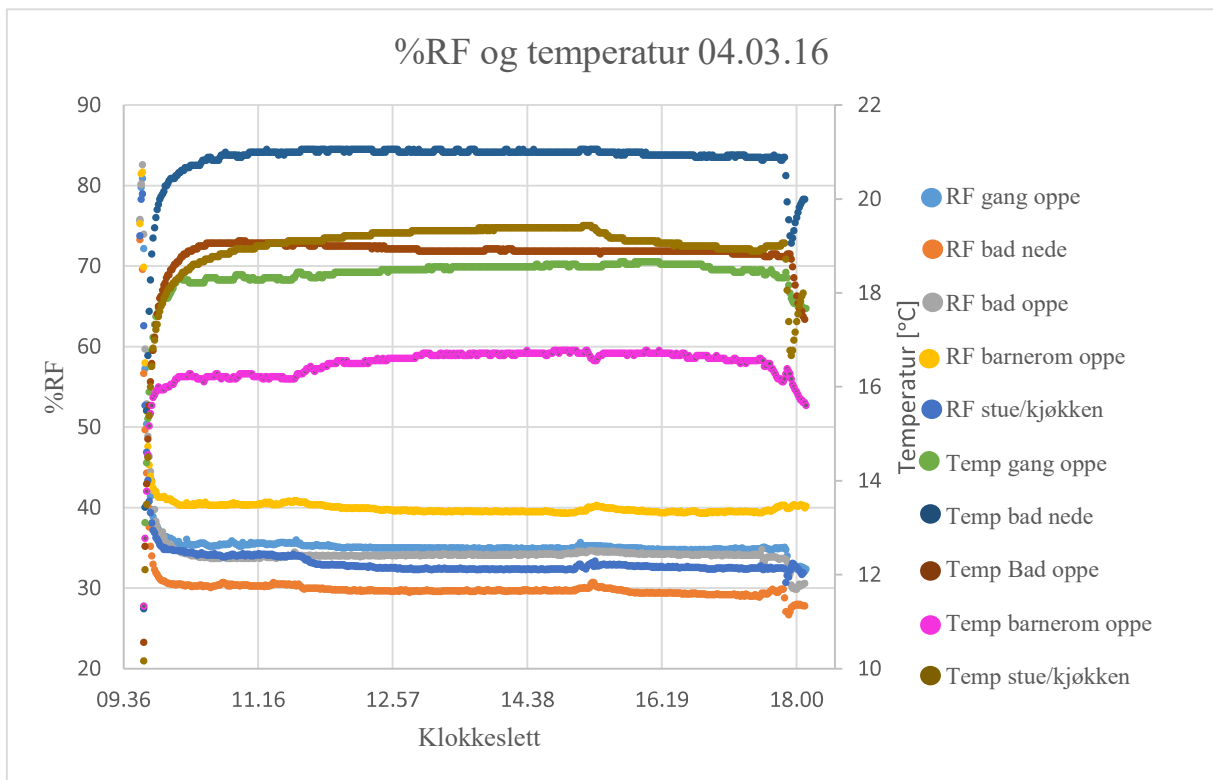


Figur 9-22: %RF og temperatur der målere er plassert etter luftskiftemåling, 02.03. Data fra CP11.

Luftskifte i en moderne, naturlig ventilert bolig

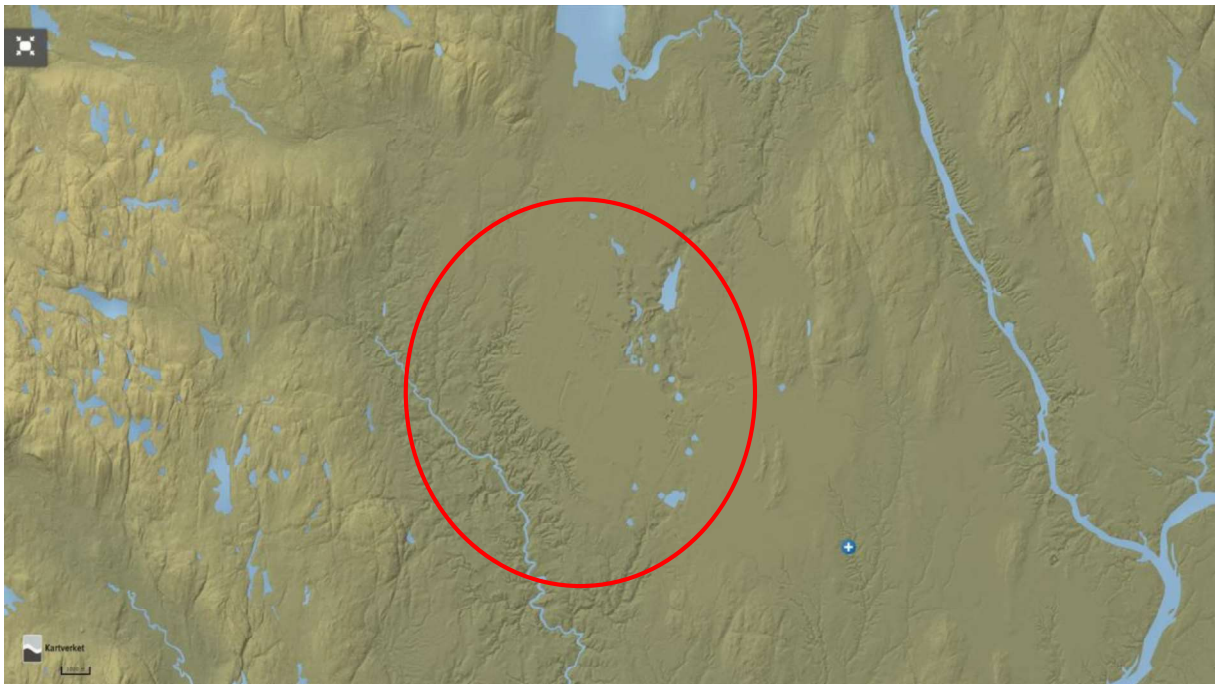


Figur 9-23: %RF og temperatur der målere er plassert etter måling av luftstrøm i bygget, 03.03. Data fra CP11.

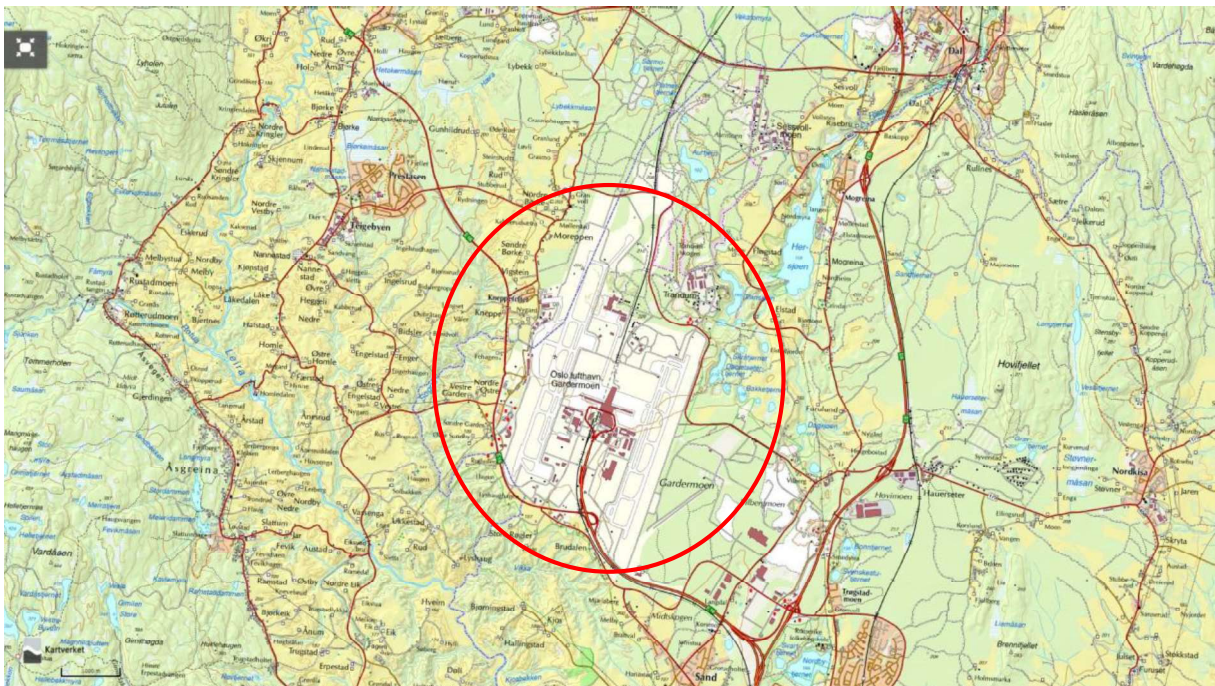


Figur 9-24: %RF og temperatur der målere er plassert etter luftskiftemåling, 04.03. Data fra CP11.

Vedlegg 11: Kart Gardermoen og Hurdal Økogrend



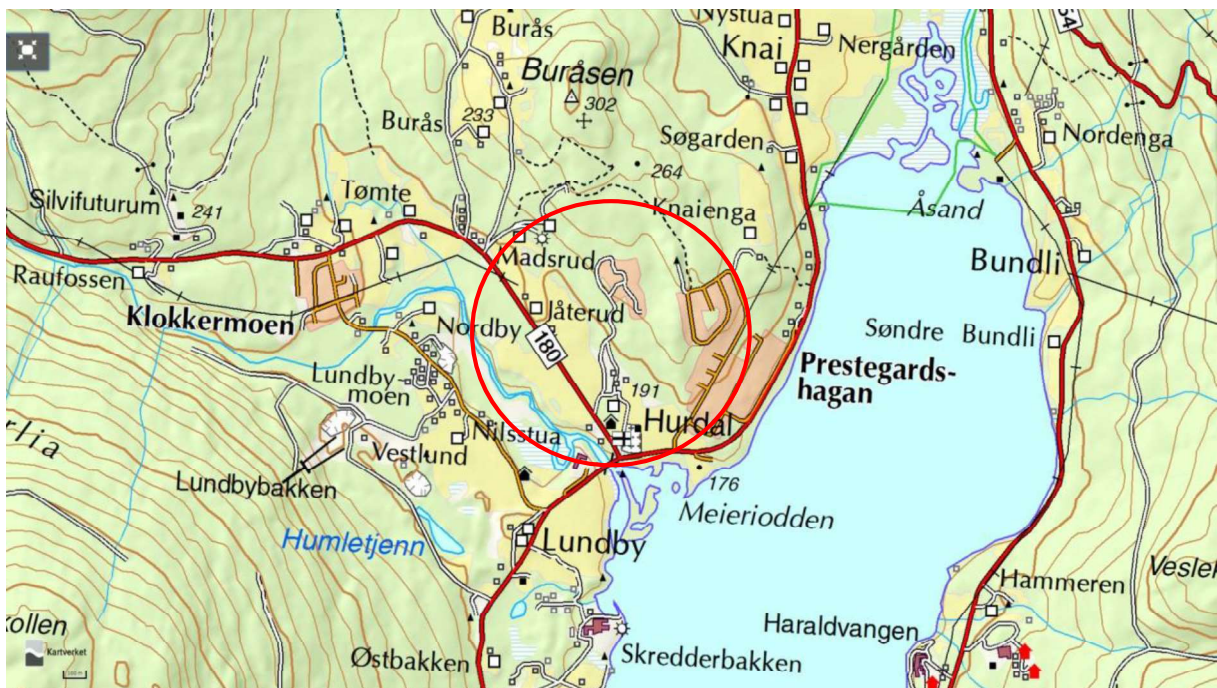
Figur 9-25: Terreng Gardermoen, område markert med rød sirkel. (Kartverket 2016)



Figur 9-26: Rasterkart Gardermoen, område markert med rød sirkel. (Kartverket 2016)



Figur 9-27: Terreng Hurdalen, område markert med rød sirkel. (Kartverket 2016)



Figur 9-28: Rasterkart Hurdalen, område markert med rød sirkel. (Kartverket 2016)

Vedlegg 12 – Værdataba

Vindrose, frekvensfordeling av vind

Vindretning deles i sektorer på 30°

Frekvensfordeling av vindhastighet i prosent %

Vindhastighet (m/s)

- >20.2
- 15.3-20.2
- 10.3-15.2
- 5.3-10.2
- 0.3-5.2

Stille (%)

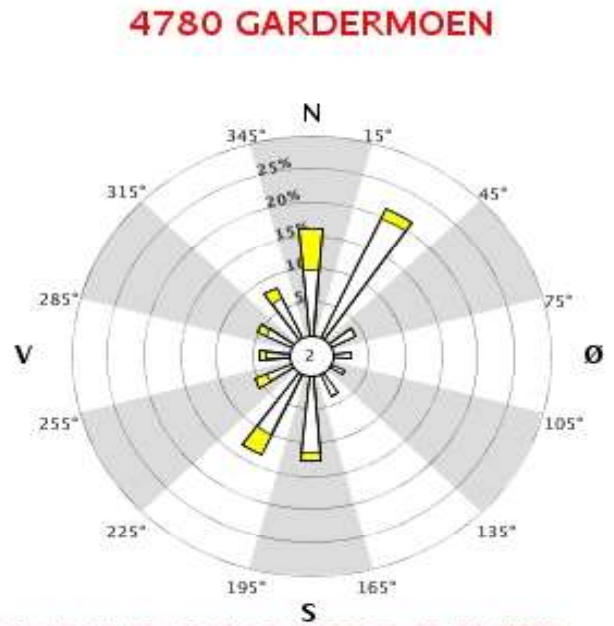
2



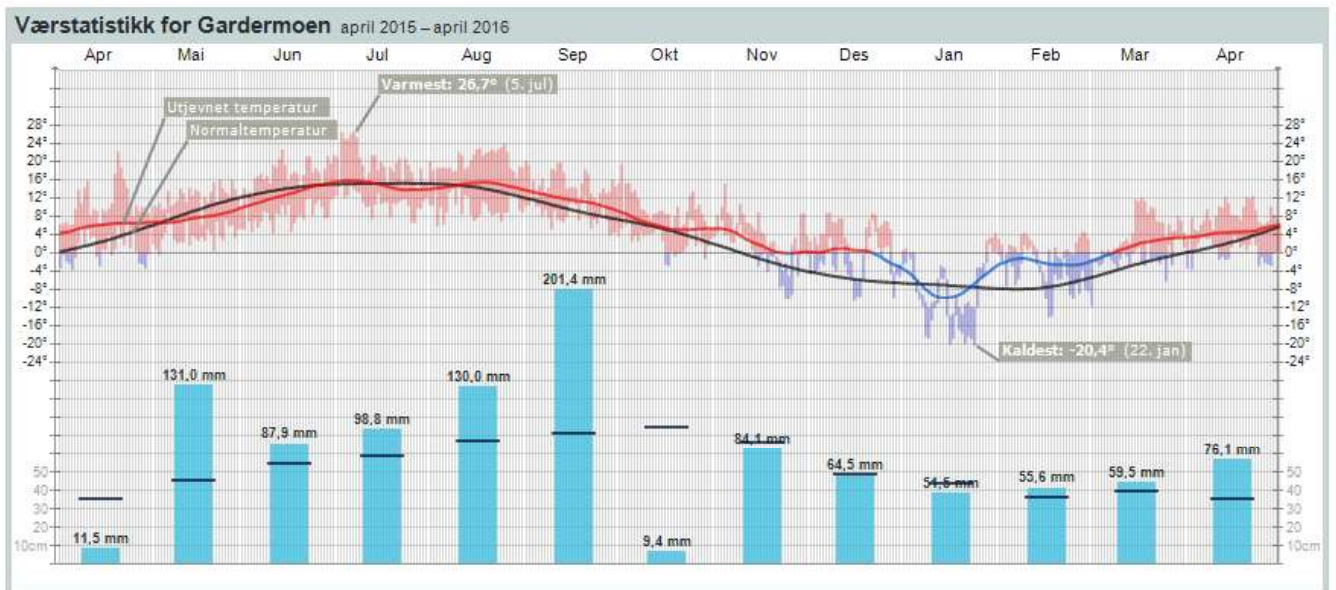
År: 2015 - 2016

apr

Tidspunkt: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 (NMT)



Figur 9-29: Vindrose for et år, Gardermoen.

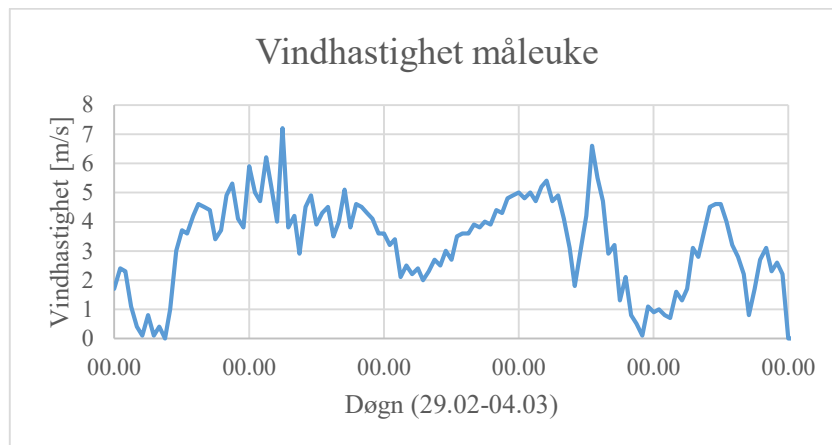


Figur 9-30: Værdataba for Gardermoen. (Meteorologisk institutt 2016)

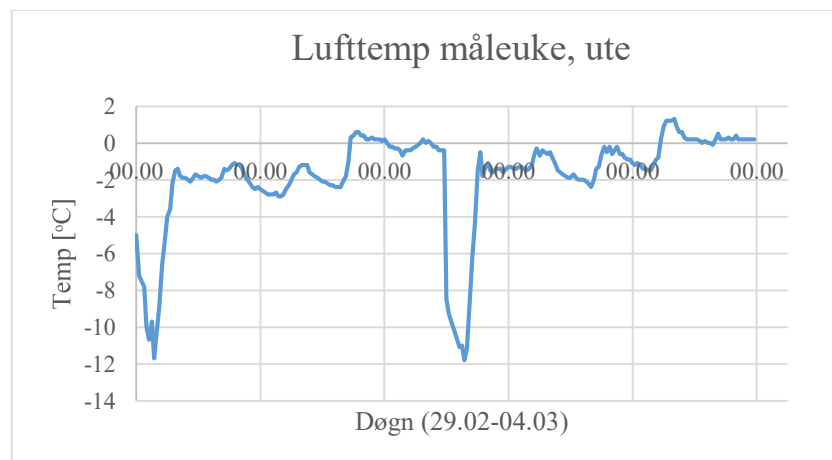
Luftskifte i en moderne, naturlig ventilert bolig

Tabell 9-4: Temperaturer for Gardermoen, gjennomsnittsverdier og normalverdier.

Måneder	Temperatur			
	Gjennomsnitt	Normal	Varmest	Kaldest
apr.16	4,3°	2,8°	12,5° 21. apr	-3,6° 1. apr
mar.16	1,8°	-2,3°	12,2° 16. mar	-6,3° 24. mar
feb.16	-2,2°	-7,1°	4,7° 26. feb	-14,2° 15. feb
jan.16	-7,8°	-7,2°	4,5° 29. jan	-20,4° 22. jan
des.15	0,6°	-5,7°	8,9° 6. des	-10,5° 14. des
nov.15	1,7°	-1,5°	15,2° 2. nov	-10,2° 23. nov
okt.15	5,8°	4,7°	15,4° 2. okt	-2,9° 15. okt
sep.15	11,3°	9,3°	19,9° 10. sep	3,5° 29. sep
aug.15	15,2°	13,9°	24,0° 23. aug	5,9° 1. aug
jul.15	15,0°	15,2°	26,7° 5. jul	6,5° 25. jul
jun.15	13,0°	14,1°	22,6° 12. jun	4,2° 9. jun
mai.15	7,7°	9,4°	16,0° 23. mai	-0,4° 3. mai
apr.15	5,7°	2,8°	22,1° 20. apr	-3,7° 5. apr

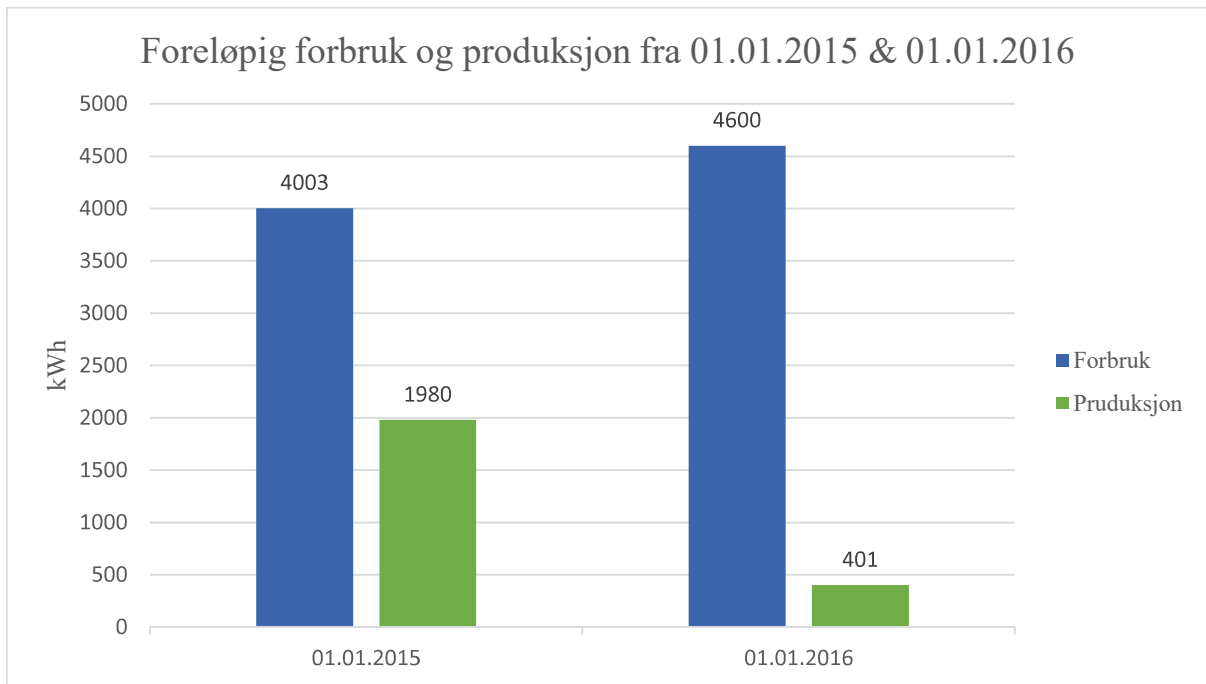


Figur 9-31: Vindhastighet Gardermoen, uke 9.



Figur 9-32: Lufttemperatur Gardermoen, uke 9.

Vedlegg 13 - Energi

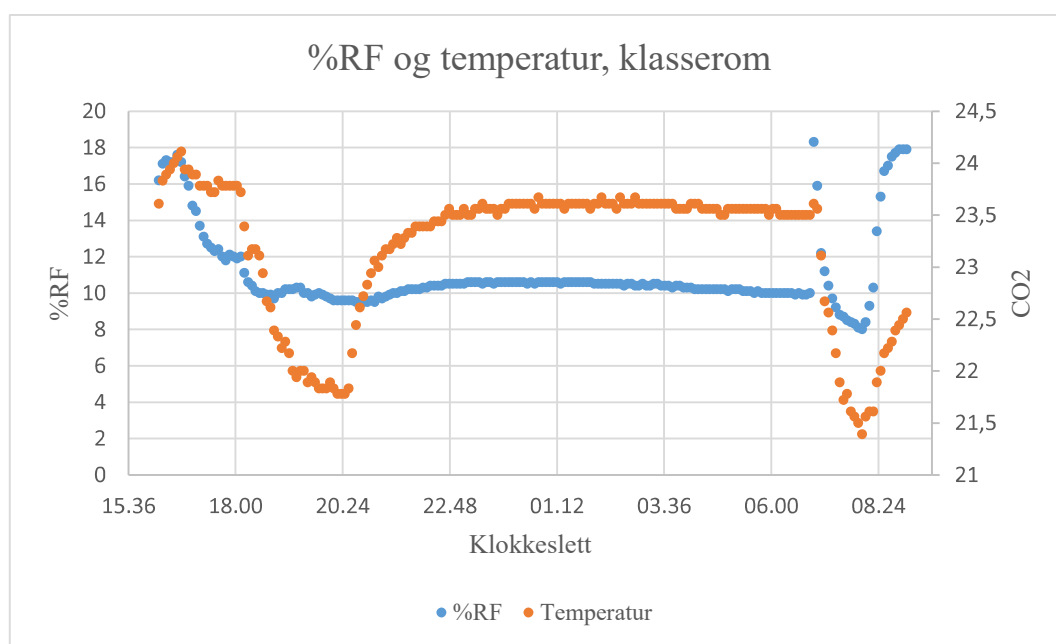


Figur 9-33: Forbruk og produksjon totalt fra 1. januar ut året. For 2015 finnes kun verdier fra siste halvår, da boligen ikke ble innflyttet før dette. For 2016 er dette en foreløpig verdi.

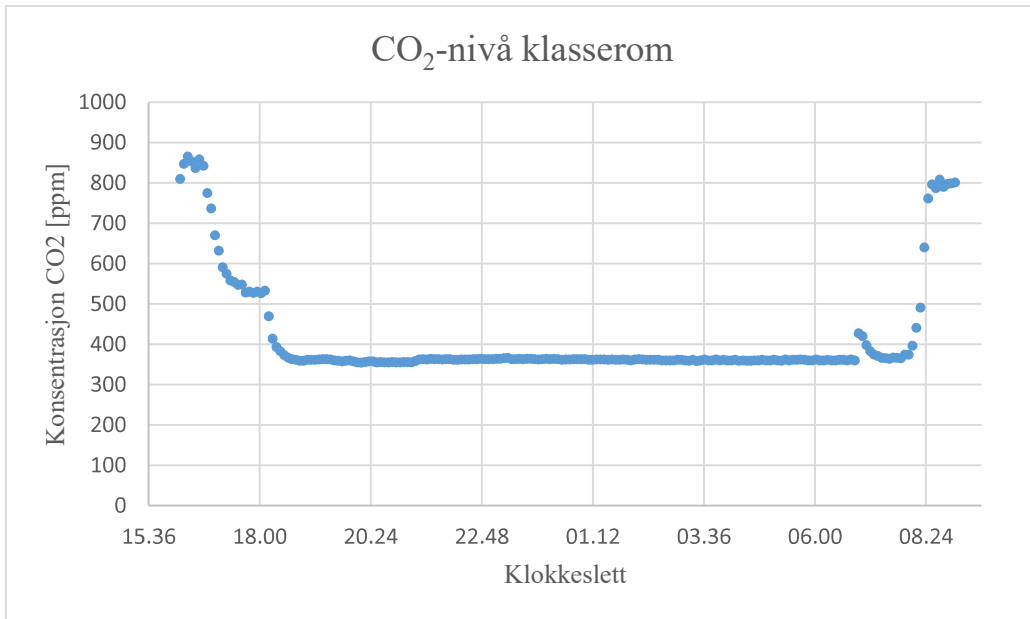
Vedlegg 14: Resultater testforsøk

Tabell 9-5: Forsøksoppsett og resultater testforsøk.

Forsøk	Sted (Ås)	Mål	Spesifikasjoner	Resultat	Kommentar
Tetthetsmåling/ lekkasjetall	Søråsjordet, Weee-modul	25m ² , 58m ³	Ventilasjonsanleg g skrudd av, åpninger i bygningkroppen og avtrekk tett	n ₅₀ = 1,95	
Sporgassmåling	Søråsjordet, Weee-modul	25m ² , 58m ³	Hull teipet, ventilasjon på.	Luftskifte: 74,8m ³ /h (1,3 oms/h)	Nøyaktig utekonsentrasj- on ikke målt
Sporgassmåling	Hybel i murbygg.	27m ² , 65m ³	Hybelen er naturlig ventilert, uten noen "smart- løsninger"	Luftskifte: 162,2 m ³ /h (2,5 oms/h)	Nøyaktig utekonsentrasj- on ikke målt
Måling av RF, temp. og CO ₂ , normal bruk	Klasserom NMBU	-	Ventilasjonsyste m på maks	Se grafer,	



Figur 9-34: %RF og temperatur i klasserom, 15.02.16



Figur 9-35: CO₂-nivå i klasserom, 15.02.16

Vedlegg 15: Erfaringer rundt sporgassmetoden

Gjennom å utføre forsøk der sporgassmålinger var en viktig del, har det blitt opparbeidet en del praktiske erfaringer som er verdifulle å ta med videre:

Loggerne brukt til å registrere CO₂-konsentrasjonen i inneluften registrerer også temperatur og RF, som er vesentlige faktorer for å si noe om inneklime. Dette gjør det mulig å si noe om kvaliteten på innelufta er tilstrekkelig med det målte luftskiftet.

Metoden fungerer bra både for å måle luftskifte, men også infiltrasjon i en bygning, for den aktuelle måledagen. Det metoden har vanskeligere for å gi svar på er reelt luftskifte om man kun gjør målinger et begrenset antall dager. En av de viktigste faktorene for å oppnå resultater som med stor sikkerhet kan si noe om generelle tilstander på luftskifte gjennom å benytte sporgassmetoden, er altså å ha et stort antall måledager. Man bør ha data fra forskjellige årstider med forskjellige vindforhold og temperaturer. Det er altså også vesentlig å kunne oppdrive gode værdata, helst fra tomten, men om ikke dette er mulig bør det foreligge værdata fra et svært nærliggende område. Jo lengre bort værdataene er fra den aktuelle tomten, jo mindre overførbare er de.

Om man har planer om å måle både luftskifte og infiltrasjon kan det på forhånd være lurt å sjekke vindforhold og tenke gjennom hvordan det kan ha innvirkning på målingene – og ut fra dette vurdere om man skal måle infiltrasjon eller luftskifte(/luftstrøm). Det er kanskje mest interessant å se på luftskifte med lave vindhastigheter for å se om man oppnår tilstrekkelige verdier, mens infiltrasjonsraten er mest interessant på dager med mer ekstreme vindforhold.

I forhold til det praktiske rundt selve gjennomføringen av forsøkene er det også en del ting som kan være greie å vite:

- Gassmengde:
Sjekk alltid i forkant av målingene at tiltrekkelige mengder gass foreligger, da det kan ta verdifull forsøksstid å skaffe ny, samt at med for lave konsentrasjoner kan det bli vanskelig å gi en riktig tolkning av dataene. Fra forsøkene gjennomført ser det ut til at nødvendig mengde gass for å fylle en bolig til et jevnt nivå (som gir gode måleverdier), forutsatt lukkede ventiler, er ca 1000 gram CO₂.
- Loggeintervall:
Til tross for at forhåndsinnstilling av loggingsintervall på de lånte CP11-apparatene

var hvert femte minutt, ble det i dette studiet valgt å sette ned tiden til ett minutt, da det syntes å gi mer nøyaktige resultater.

- Kjennskap til målesonen:

Det er lurt å gjøre seg godt kjent med den aktuelle målesonen før forsøkene gjennomføres for å sikre at man kjenner til alle tilluftsåpninger og avtrekk. Både tilluft og avtrekk bør tettes, ikke bare lukkes, for å oppnå uniformitet av gassen ved forsøksstart. Når uniformitet er oppnådd og man ser av loggerne at konsentrasjonen har nådd ønsket nivå, tas tettingene av før man beveger seg ut av bygget. I det studerte bygget i Hurdalen var tilluftsventilene utformet på en slik måte at selv når man justerte dem til å være helt lukket var det en liten sprekk i spjeldet, se Figur 9-36. Det er ikke sikkert at alle systemer er utformet slik, men det er bedre å være på den sikre siden. Ergo; ha alltid med plastfolie og teip!



Figur 9-36: Spjeld, tilluftsventil, når det er tilnærmet lukket. Foto: Tonje M. Tredal

- Omrøring og uniformitet:

Vifter benyttet til omrøring bør ikke stå på en kraftig styrke, da de kan blåse bort gass fra nærliggende områder. Det er vanskeligere å oppnå en jevn konsentrasjon av CO₂ i større boliger; det ble gjort testforsøk i modulbygg på Ås, samt at det ble gjort en måling i undertegnedes hybel på 25 m². Det sier muligens litt seg selv at måleforhold og injisering av gass i mindre lokaler er enklere enn for et større hus.

- Starttidspunkt:

For å sikre at målingene starte på tilnærmet samme tid bør loggerne startes rett etter kalibrering FØR de plasseres ut i bygget – logg heller litt for lenge enn litt for kort.

Mye av erfaringene kom mens forsøkene ble gjennomført (da testmålinger var i bygninger av en litt annen dimensjon, og med veileder til stede), og det anbefales dermed å sette av

den(/de) første forsøksdagen(e) til å utføre testforsøk i målebygget som ikke nødvendigvis tas med i det endelige resultatet.

Om man hadde hatt hadde hatt akkurate værdata fra stedet kunne man ha plottet det målte luftskiftet opp mot vinddata på de aktuelle dagene for å se på hvordan vindtrykk på de enkelte fasader påvirker luftskiftet. Det ble ikke valgt å fremstille et slikt resultat i dette studiet da værdataene raskt ble vurdert til ikke å stemme overens med de observerte og målte forholdene i Hurdal.

Vedlegg 16: Teori fuktbufring og hygroskopiske materialer

Begrepet fuktbufring innebærer absorpsjon og desorpsjon av fukt i materialer når disse kommer i kontakt med inneluften. Dette kan utnyttes som en passiv måte å dempe/utjevne svingninger i inneluftas RF som følge av fuktbelastningen i rommet. Det er blitt diskutert effekten dette fenomenet kan ha på energibesparing. Da har det vært snakk om utnytting av sorpsjonsvarme. I en publikasjon av ZEB er fenomenet forklart slik: "sorpsjonsvarme i forbindelse med fuktbufring kan forenklet forklares som den energi som opptas av en hygroskopisk overflate når vanndamp absorberes på overflaten." (Asphaug et al. 2015)

Med *hygrotermisk masse* menes den kombinerte virkningen av varmekapasitet (termisk masse) og fuktkapasitet (hygroskopisk masse). Generelt er begge disse egenskapene avhengige av temperaturnivå og fuktinnhold. Ved likevekt mellom luft og materialer, og konstante temperaturforhold, vil hygrotermisk masse være uten betydning. Om det er en variasjon i temperatur og/eller fuktinnhold over tid, vil energi og/eller fukt utveksles mellom materialer og romluft. Økt lufttemperatur vil gjøre at varme strømmer inn i overflatene, og når lufttemperaturen synker igjen vil det avgis varme tilbake til rommet (termisk bufring). Samme prinsippet gjelder for fukt; vanndamp vil strømme inn og ut av materialet ved endringer i luftens fuktinnhold (fuktbufring). (Asphaug et al. 2015)

Effekten av fuktbufring er avhengig av tidsforløpet/tidsperioden for variasjonen fuktpåkjenninger, hvilket vil si at en kortvarig puls i fuktbelastningen (som en dusj) vil medføre en lagt mindre fuktbufring enn om belastningen varer f.eks. et døgn. I praksis antar man at fuktutvekslingen er proporsjonal med kvadratroten av tidsperioden. (Asphaug et al. 2015)

I tillegg til å utjevne temperatur- og fuktssvingninger vil hygrotermisk masse også forsinke svingningene. Dette i sammenheng med utjevning vil dermed bidra til å redusere problemer med overoppheting og kjølingsbehov, så vel som å skape et mer stabilt inneklima. (Aktivhus)



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

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