

# Evaluering av ni passivhusboliger på Rossåsen ved Sandnes

EBLE -EVALUERING AV BOLIGER MED LAVT ENERGI BEHOV. DELRAPPORT 1



SINTEF Notat

Judith Thomsen, Anna Svensson og Lars Gullbrekken

## **Evaluering av ni passivhusboliger på Rossåsen ved Sandnes**

EBLE – Evaluering av boliger med lavt energibehov. Delrapport 1

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Notat 13

Judith Thomsen, Anna Svensson og Lars Gullbrekken

**Evaluering av ni passivhusboliger på Rossåsen ved Sandnes**

EBLE – Evaluering av boliger med lavt energibehov. Delrapport 1

Emneord: energieffektivitet, boliger, passivhus, etterprøving

Prosjektnummer: 102003134

ISSN 1894-2466

ISBN 978-82-536-1424-3 (pdf)

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2014

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser.

Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bære tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov

eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til

åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning,

og kan straffes med bøter eller fengsel.

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Byggforsk

Forskningsveien 3 B

Postboks 124 Blindern

0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 96 55 08

[www.sintef.no/byggforsk](http://www.sintef.no/byggforsk)

[www.sintefbok.no](http://www.sintefbok.no)

# Innhold

<b>1</b>	<b>Sammendrag</b> .....	<b>5</b>
	Utvalg og fokus.....	5
	Generell tilfredshet .....	5
	Lufttemperatur og luftkvalitet .....	5
	Energimålingene .....	5
	Byggetekniske løsninger.....	6
<b>2</b>	<b>Om EBLE</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Casestudie som metode</b> .....	<b>8</b>
	Bakgrunn .....	8
	Generelt om valg av case .....	8
	Valg av case i EBLE.....	8
	Generalisering .....	9
	Generalisering av resultater fra EBLE.....	10
<b>4</b>	<b>Fjogstad-Hus-passivhusene på Rossåsen, Figgjo</b> .....	<b>11</b>
	4.1 Beliggenhet og plassering .....	11
	4.2 Prosjektbeskrivelse .....	11
	4.3 Utbygger .....	12
	4.4 Prosjektopplysninger .....	12
	4.5 Nøkkeltall .....	15
	4.6 Byggetekniske detaljer.....	17
<b>5</b>	<b>Byggeprosess</b> .....	<b>19</b>
	5.1 Sentrale spørsmål .....	19
	5.2 Metode .....	20
	5.3 Produksjonsprosessen .....	20
	5.4 Analyse, byggeprosess.....	25
<b>6</b>	<b>Fuktmålinger i konstruksjonen</b> .....	<b>27</b>
	6.1 Overordnet mål.....	27
	6.2 Metode, fuktmålinger .....	27
	6.3 Resultater, fukt .....	29
<b>7</b>	<b>Beboerundersøkelsen</b> .....	<b>33</b>
	7.1 Hovedmål.....	33
	7.2 Metode .....	33
	7.3 Oppsummering av funn fra intervjuene .....	34
	7.3.1 Opplevd inn klima .....	34
	7.3.2 Informasjon om huset og tekniske løsninger .....	34

7.3.3	Bruk av tekniske løsninger .....	35
7.3.4	Forventninger til passivhus .....	35
7.3.5	Interesse for miljøspørsmål .....	35
<b>8</b>	<b>Termisk inneklime .....</b>	<b>36</b>
8.1	Hensikt .....	36
8.2	Krav til termisk inneklime .....	36
8.3	Metode for målinger av temperatur og relativ fuktighet .....	38
8.4	Resultater, termisk inneklime .....	40
8.4.1	Innetemperatur .....	40
8.4.2	Beboernes opplevelse av innetemperatur sammenlignet med måleresultater .....	47
8.4.3	Relativ fukt .....	52
8.4.4	Beboernes opplevelse av luftkvalitet og relativ fukt sammenlignet med måleresultater .....	54
8.5	Hvordan kan forskjeller i opplevelsen av innetemperatur forklares? .....	56
<b>9</b>	<b>Energibruk .....</b>	<b>58</b>
9.1	Hensikt .....	58
9.2	Metode, energibruk .....	58
9.3	Energiberegning .....	58
9.4	Resultater, energiberegning og energimålinger .....	59
<b>10</b>	<b>Innetemperatur, energibruk og brukerperspektiv .....</b>	<b>64</b>
<b>11</b>	<b>Oppsummering .....</b>	<b>67</b>
11.1	Oversikt .....	67
11.2	Hva er spesifikt for passivhus og hva er generelle resultater? .....	67
11.3	Hva kan gjøres bedre i framtidige evalueringer? .....	68
<b>12</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>69</b>
<b>13</b>	<b>Vedlegg .....</b>	<b>72</b>
13.1	Inndata, energiberegning .....	72
13.2	Intervjuguide, byggeprosess .....	73
13.3	Hypoteser .....	75

# 1 Sammendrag

## *Utvalg og fokus*

Rapporten presenterer resultater fra evaluering av 9 eneboliger med passivhus-standard. Byggene er utført av Fjogstad-Hus på Rossåsen, Figgjø. Prosjektet er det første av 8 boligprosjekter som evalueres i forskningsprosjektet EBLE - Evaluering av Boliger med Lavt Energibehov. Rapportens formål er å dokumentere forskningsarbeidet som er utført i dette prosjektet.

I de 9 husene ble det målt total energibruk, innetemperatur og luftfuktighet. I to av husene ble det målt trefukt i konstruksjonen. Det ble også gjennomført intervjuer med beboerne i fem av de ni boligene, hvor beboerne fikk fortelle om sine opplevelser med å bo i husene. I tillegg ble utbyggeren intervjuet om erfaringer med bygging av passivhus.

## *Generell tilfredshet*

Intervjuene viste at beboerne stort sett var fornøyde med å bo i husene. Aspekter som bidro spesielt til høy tilfredshet var planløsning, detaljer, og beliggenhet. At husene er passivhus ble ikke trukket frem som hovedgrunn for å kjøpe husene, men ble beskrevet som en bonus mht. miljø og strømregning. De fleste beboerne hadde høye forventninger til passivhus-konseptet.

## *Lufttemperatur og luftkvalitet*

Målingene viser at husene holdt en gjennomsnittlig høy innetemperatur om vinteren. Innetemperaturen opplevdes som komfortabel året rundt av noen, mens andre syntes det var periodevis kaldt om vinteren. Tre av husholdningene fikk utbedret feil ved oppvarmingssystemet i ettertid, og to av dem som var misfornøyde med innetemperaturen den første vinteren, var mer fornøyde etter utbedringene. I det siste tilfellet var beboerne fortsatt negative til innetemperaturen etter utbedringen. Det ble ikke funnet noen god forklaring på beboernes negative opplevelse av innetemperaturen, da målingene viste høy lufttemperatur også i dette huset. En forklaring kan være at målingene ikke fanger opp at opplevelsen av termisk komfort kan være forskjellig avhengig av hvor man er i rommet. Det ble kun målt lufttemperatur for et punkt i boligen; i avtrekkskanalen på kjøkkenet som er plassert høyt opp på veggen. Dette gir ikke et fullstendig bilde av den opplevde temperaturen i rommet, som også er avhengig av luftbevegelser og overflatetemperatur. Dessuten vil opplevelsen av termisk komfort alltid være individuell og avhengig av personlige preferanser.

Overoppheting var et mindre problem fra beboernes perspektiv, selv om det ble målt et varierende antall timer per år med temperatur over 26 °C. Innetemperaturen om sommeren opplevdes som for varm av kun én beboer. Ingen av beboerne hadde installert utvendig solavskjerming, men de bruker bekledning og åpning av vinduene for å regulere termisk komfort om sommeren.

De fleste beboerne var fornøyd med lufttilførsel og luftkvaliteten. Noen opplever luften som tørr i perioder om vinteren. I flere hus ble det målt verdier under 20 % relativ fukt, noe som bekrefter opplevelsen av tørr luft. Tørr luft og lav relativ fuktighet om vinteren er et generelt problem i boliger, dog kan ventilasjonsanlegg og krav til høyt luftskifte i nye hus være en forsterkende faktor.

## *Energimålingene*

Målingene viser et stort sprik i energibruk for de ni boligene. Til tross for at husene er utført av samme boligprodusent, er ganske like mht. orientering og utforming, er det en faktor 2 mellom den laveste og den høyeste energibruken.

Målingene viser at det er sammenheng mellom innetemperatur og energibruk og at brukerne har en avgjørende rolle mht. energibruken for boligen. Da det kun ble utført totalmålinger, kan vi ikke med sikkerhet si hva som går til oppvarming og hva som går til annet.

Hvis man sammenligner energimålingene med energiberegningen, ser man at beregnet energibruk stort sett er lavere enn målt energibruk. Dette kan delvis forklares med at det i realiteten er høyere innetemperatur i de fleste boligene enn det som er antatt i beregningen. Imidlertid er det vanskelig å sammenligne målt og beregnet energibruk uten en formålsdelt energimåling. Gjennom separat måling av energibruk til oppvarming, varmtvann, belysning, etc., ville vi fått et tydeligere bilde av hva som er relatert til internlast og hva som er relatert til bygningens varmetap. Virkningsgrad og effektfaktor for varmforsyningen (varmepumpe) og varmegjenvinning er også noe som kan påvirke forskjellen på beregnet energi og målt energibruk, men er ikke blitt målt for disse husene

### **Byggetekniske løsninger**

Utbyggeren utviklet og testet noen nye løsninger under byggeprosessen. Disse løsningene er ikke nødvendigvis spesifikke for passivhus. Bærestruktur av I-profiler, som ble brukt i veggene, var nye for utbyggeren, men dette er ikke en ukjent konstruksjonsmåte. Utbyggeren valgte I-profiler som et grep for å få plass til tilstrekkelig med isolasjon på en enkel måte. I grunnmuren ble det valgt 20 cm isolasjon i kjernen i stedet for standardløsningen med 5 cm, og det ble brukt trykkfast isolasjon under alle fundamentene for å unngå kuldebroer. I løpet av prosjektiden ble det også utviklet en ny og breiere svillemembran i samarbeid med leverandøren.

Til tross for noen tilpasninger ble husene i følge byggelederen bygget på minst mulig eksperimentell måte: *"Passivhus er ikke noe særlig annet enn andre hus"*. Forskjellen er ekstra fokus på isolering, fokus på en fuktsikker byggeprosess og fokus på tetthet. Å finne fram til de gode ventilasjons- og varmetekniske løsningene ble oppgitt som de største utfordringene. Det manglet oversikt og dokumentasjon av eksisterende løsninger og kvalitetssikring av disse. Krav om balansert ventilasjon og fornybar energiforsyning stilles også i dagens standard (TEK'10). Når utbyggerne synes det vanskelig å finne informasjon om gode løsninger her, tyder det på et stort behov for bedre dokumentasjon og kvalitetssikring av løsninger på markedet.

## 2 Om EBLE

EBLE (Evaluering av Boliger med Lavt Energibehov) er et norsk forskningsprosjekt som har som mål å øke kunnskapen om boliger på passivhus- og nesten nullenerginivå gjennom en omfattende evaluering av pilotprosjekter. I evalueringen studeres samspillet mellom det bygde miljø, tekniske løsninger og brukernes praksis, gjennom en tverrfaglig tilnærming. Med utgangspunkt i evalueringen ønsker man å finne fram til løsninger som fungerer godt med hensyn til norsk klima og byggetradisjon, og som kan anbefales til byggenæringen for å sikre høy kvalitet på framtidens boliger. Prosjektet startet opp i 2012 og skal avsluttes i 2016.

EBLE studerer følgende områder i 6 forskjellige prosjekter med lavt energibehov og i 2 referansebygg på TEK'10 nivå:

- Energibruk
  - Total og formålsdelt energibruk
- Inneklima og bygningsfysiske målinger
  - Målinger av fukt i konstruksjon
  - Termisk komfort sommer og vinter
  - Måling av relativ fuktighet og CO<sub>2</sub> innhold i inneluften
- Brukererfaringer og brukeropplevelser
  - Tilfredshet med passivhus og inneklimaforhold
  - Bruk av installasjonstekniske- og energiforsyningsløsninger.
- Evaluering av byggeprosess og kostnadseffektivitet

Denne rapporten beskriver en evaluering av et passivhusprosjekt på Rossåsen i Figgjo, prosjektert og bygget av Fjogstad-Hus. Dette er det første av prosjektene som er evaluert i EBLE-prosjektet. De andre prosjektene evalueres fortløpende og flere delrapporter vil bli publisert fram til slutten av forskningsprosjektet i 2016.

EBLE er eid av Lavenergiprogrammet og finansiert av Norges Forskningsråd, Enova, og Direktoratet for byggkvalitet (DiBK). Partnerne i EBLE er SKANSKA, Fjogstad-Hus, Jadarhus, Block Watne, OBOS, Veidekke, Mesterhus, Heimdal Bolig og Boligprodusentenes Forening. SINTEF Byggforsk er prosjektleder og gjennomfører det faglige arbeidet. SINTEF Byggforsk takker alle partnerne for deres interesse, støtte og deltakelse i prosjektet!



### 3 Casestudie som metode

#### ***Bakgrunn***

Forskningsmetodikken i EBLE er basert på casestudier, hvor det er benyttet en kombinasjon av både kvantitative og kvalitative forskningsmetoder. De enkelte metodene som ble brukt er nærmere beskrevet under hvert delkapittel.

Casestudier som forskningsmetode ble valgt fordi den er en sentral og relevant tilnærming i forskning om arkitektur og bygg. I en casestudie studerer man én enkel eller flere case fra forskjellige vinklinger i sin naturlige setting (Yin, 2003; Stake, 1998; Johansson, 2002). Casestudie er en såkalt eksplikativ metodikk som ønsker å *forklare en kompleks virkelighet* i motsetning til et reduktivt angrepssett som fokuserer på noen få variabler (f.eks. et eksperiment eller en enkel spørreundersøkelse). Casestudie er en dybdestudie og casen(e) sees i sammenheng med sin forankring i virkeligheten og sine unike karakteristika (Johansson, 2002). Disse beskrives og kan ikke utelates i tolkning av resultater og funn. Ingen case er like og man studerer hver case for seg selv som et enestående case ("*bounded system*") (Stake, 1998). Ved å ha virkelighetsforankringen i bakhodet kan resultatene og funn fra forskjellige case sammenlignes.

Essensen som er viktig å tydeliggjøre for vår studie er at casestudie-metodikken er en såkalt meta-metode som består av en kombinasjon av ulike forskningsmetoder, både kvalitative og kvantitative, og gjennom det, har potensialet til å belyse casene fra forskjellige perspektiver (Johansson, 2006, kursmaterieell). Bruk av ulike metoder til å innsamle data er også grunnlaget for triangulering – en av essensene i alle casestudier. Triangulering betyr at en case belyses fra ulike perspektiver og det brukes for å sikre/bekreftede dataenes validitet. I EBLE benyttes både metode-, forsker- og datatriangulering.

#### ***Generelt om valg av case***

Analyseenheten i casestudier er én eller flere case. Utfører man en multippel casestudie kan man sammenligne resultatene og funn fra de forskjellige casene.

Case kan velges på forskjellige grunnlag og både Yin (2003) og Patton (1990) anbefaler formålsrettet sampling ("stikkprøver") av informasjonsrike case for dybdestudier.

En utfordring med valg av case er at casestudie metodikken ofte brukes når en ønsker å studere nye fenomen som det enda ikke finnes så mange eksempler av. Derfor kan tilgang til case være begrenset og det legger føringer for type utvalg. For eksempel, hvis det ikke finnes veldig mange case er det ikke sikkert man klarer å definere hva som er "typiske case". Stake (1998) argumenter for at det da kan være mer interessant å se på en enkelt case eller flere veldig forskjellige case med maksimal variasjon (Stake, 1998; Flyvbjerg, 2004). Siden metodebeskrivelsene legger vekt på at alle casene i sine omgivelser er unike, og det ligger mye lærdom i unikheten, anses det ikke som en stor ulempe hvis man har veldig forskjellige case som gir ulike typer informasjon. Og selv om man ønsker å velge tilsynelatende representative eller typiske case, vil de alltid være forskjellige på mange vis (Stake, 1998).

#### ***Valg av case i EBLE***

Casene som er valgt i EBLE-prosjektet oppfyller kriterier som gjør det mulig å sammenligne de forskjellige casene. En begrensende faktor for utvalget var at antall boliger på passivhusnivå i Norge fortsatt er begrenset. Det har ikke vært mulighet for å finne de absolutt best egnete prosjekter blant mange, men vi har måttet velge de prosjektene som har vært under utbygging i prosjektperioden og som vi har fått tilgang til – både fra utbyggeren sin side og fra beboerne. Kriteriene som har fått høyest prioritet ved utvalget er:

- Klima: Klimaet i Norge har store geografiske forskjeller. Vi ønsket å ha case i forskjellige klimatiske områder samtidig som vi ønsket å ha flere case innenfor samme område. Resultater fra case som ligger i samme område vil enklere kunne sammenlignes. De utvalgte casene dekker 3 forskjellige geografiske områder i Norge.
- Størrelse: Rekkehus og eneboliger har sammenlignbart bruksareal (BRA). For blokkleiligheter er det større spenn i leilighetsstørrelsen. Det er likevel mulig å foreta innbyrdes sammenligninger, for eksempel kan man sammenligne måleresultater for energibruk per kvadratmeter oppvarmet BRA.
- Type bygg: Vi ønsket å få med oss ulike typer bygg. De fleste prosjektene som ble utvalgt er eneboliger og rekkehus, men vi har også med blokkleiligheter. Antall leiligheter i blokk utgjør ca. en tredjedel av boenhetene som evalueres. Utvalget ble gjort ut i fra et ønske om å få frem forskjellene mellom ulike type bygg samtidig som at det var nok enheter fra hver type bygg for å få et tilstrekkelig sammenligningsgrunnlag.
- Stabilt bomønster: Vi ønsket prosjekter hvor det var høy sannsynlighet for at beboerne ville bli boende over en lengere periode, dvs. ikke midlertidige boliger som studentboliger, sykehjem e.l.
- Et annet kriterium var at utbyggerne hadde aktuelle byggeprosjekter, var interessert i prosjektet og kunne støtte arbeidet vårt over hele prosjektperioden.

I tillegg til de 6 prosjektene med lavt energibehov ble det også valgt ut 2 referanseprosjekter med en bygningsstandard tilsvarende TEK'10-nivå. Disse to prosjektene er lokalisert i samme geografiske område som to av passivhusprosjektene. Størrelse og type bygg er også sammenlignbare med passivhusprosjektene.

### **Generalisering**

Generalisering av funn fra casestudier er et tema som Bent Flyvbjerg (2004) beskriver inngående. Han beskriver to måter av generalisering fra casestudier. Den typiske måten å generalisere på er å utføre flere casestudier for så å sammenligne funn og dermed kunne si noe om typiske funn. Flyvbjerg (2004) argumenterer også for at man kan generalisere fra én case, for eksempel fra det han kaller for et "critical case", dvs. hvis noe er riktig/feil for denne case, kan man anta at det generelt er riktig/feil. Han refererer til Poppers falsifiseringsteori som er den strengeste testen av vitenskapelige hypoteser. Flyvbjerg illustrerer dette med hjelp av følgende eksempel:

*"If just one observation does not fit with the proposition, it is not considered valid generally and must therefore be either revised or rejected. Popper himself used the now famous example of `All swans are white` and proposed that just one observation of a single black swan would falsify this proposition..." (Flyvbjerg, 2004:424).*

Dette eksempelet er av generell betydning om svanens farger, og lærdommen er at det er feil at alle svaner er hvite. Flyvbjerg mener også at det typiske ønsket om formell generalisering er overvurdert med hensyn til vitenskapelig framgang, hvorav styrken og informasjonsrikdom av eksemplet er undervurdert.

En annen tilnærming til generalisering av funn fra casestudier finner man i "Grounded theory", som etterstreber systematisk tilnærming i casestudier (Johansson, 2002). Grounded theory fokuserer på å bygge opp en teori rundt en case (eller flere) (Charmaz, 2004). Når man *generaliserer til teori* har man ikke generalisert til alle tilfeller i verden, noe som er vanskelig å gjøre med utgangspunkt i få case. Teorier tilføyes, endres eller forbedres gjennom videre forskning.

Kvale (1996) skriver om generalisering i forhold til kvalitative forskningsintervjuer som brukes i casestudier og beskriver noe som han kaller for analytisk generalisering:

*"Analytical generalization involves a **reasoned judgment about the extent to which the findings from one study can be used as a guide to what might occur in another situation. It is based on an analysis of the similarities and differences of the two situations**" (Kvale, 1996:233).*

Kvale fokuserer på kvalitative forskningsfunn, mens Alvesson & Sköldberg (2000) argumenter for en reflektiv bruk av metoder og mener at både kvalitative og kvantitative data kan bli brukt både til verifisering av hypoteser og til generalisering.

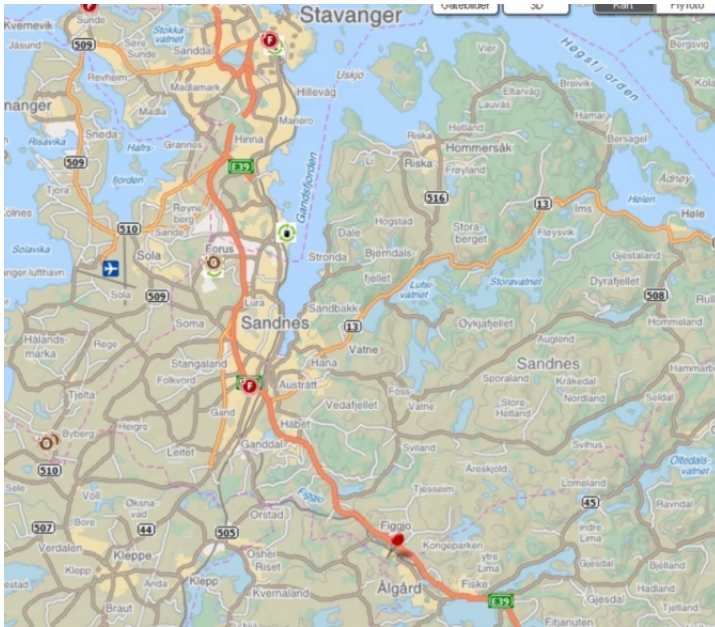
Det viktige poenget ved å vise til disse ulike tilnærmingene er at det er rom for både kvalitative og kvantitative metoder i casestudier, og at belysning av case gjennom ulike perspektiver er nødvendig for å oppfylle kravene til validitet av resultatene/funn.

### ***Generalisering av resultater fra EBLE***

I EBLE-prosjektet vil vi i hovedsak holde oss til Kvale (1996) og Alvesson & Sköldberg sin tilnærming til generalisering. I vår casestudie bruker vi flere case for å kunne sammenligne funn og for å kunne si noe om typiske funn fra disse casene. Når man følger tankegangen om analytisk generalisering som Kvale beskriver den, vil man kunne si at resultatene og funn fra casene i EBLE kan være gjeldene også i andre case. Ved slutten av EBLE prosjektet vil vi ha et bredt nok grunnlag for å kunne generalisere funn ved å sammenligne resultater fra de enkelte prosjektene. Vi vil også sette våre funn i sammenheng med tidligere utført forskning fra andre nasjonale og internasjonale studier.

## 4 Fjogstad-Hus-passivhusene på Rossåsen, Figgjo

### 4.1 Beliggenhet og plassering



Figur 1: Kart over Sandnes/Stavanger området. Markøren viser husenes beliggenhet på Rossåsen, Figgjo ([www.finn.no](http://www.finn.no)).



Figur 2 og 3: Plassering og orientering av husene på tomten (google maps) og bilde av passivhusene i juli 2013 (SINTEF).

### 4.2 Prosjektbeskrivelse

Våren 2010 inviterte Sandnes Tomteselskap til konkurranse om utbygging av passivhus på Rossåsen i Figgjo. Det ble skilt ut 15 tomter, hvorav Fjogstad-Hus fikk tildelt 9. Fjogstad-Hus sine boliger på Rossåsen deler tomt med to andre prosjekter som også evalueres i EBLE. Av de tre prosjektene, var Fjogstad-Husene de første som ble ferdigstilt, og de var innflyttingsklare vinter 2011-våren 2012. Alle de tre prosjektene som bygges på Rossåsen er eneboliger som oppfyller krav til passivhusstandard. Klimaforhold, byggestandard og størrelse av prosjektene er sammenlignbare og gir dermed et godt utgangspunkt for en multipl casestudie. Rapport fra de andre to prosjektene kommer i 2014-2015

Klimaet i Sandnes er i norsk sammenheng rimelig gunstig, med milde vintre og somrer. Årsmiddeltemperatur i Sandnes er 8,4 °C, sammenlignet med Oslo som har 6,3°C og Karasjøk som har -2,5°C (SINTEF Byggforsk, 2012). Boligene er plassert ved siden av hverandre i to rader i samme gate og er oppført som tre lignende bygningstyper. Boligfeltet ligger i en åsside der alle boligene er plassert slik at langsiden, med mesteparten av vinduene, er rettet mot nord-nordøst, mot utsikten (figur 2).

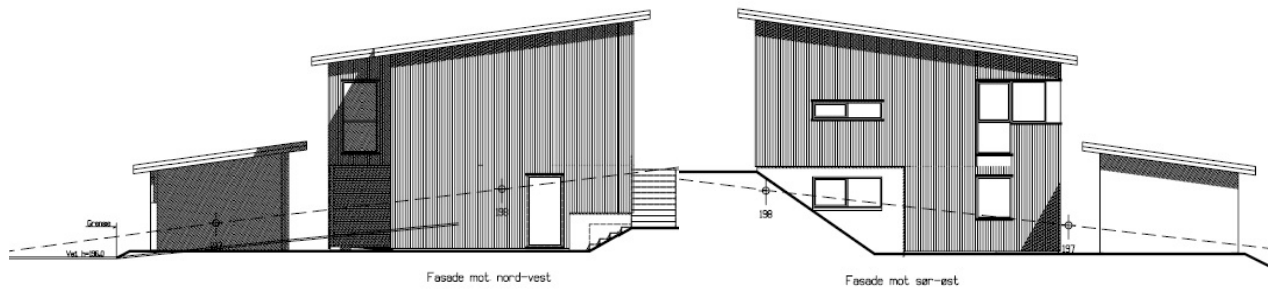
### 4.3 Utbygger

Fjogstad-Hus er et selskap med lang tradisjon, helt fra etableringen i 1903 har selskapet vært eid av etterkommerne etter Lars og Per Fjogstad. Fjogstad-Hus as ble i 1999 overtatt av fire ansatte; blant dem barnebarnet av Per Fjogstad. I januar 2002 ble Fjogstad-Hus Jæren AS etablert med kontor på Bryne. Etter fem års drift ble selskapet besluttet lagt inn under Fjogstad-Hus Sandnes og virksomheten på Jæren driftes og styres nå fra hovedkontoret. I 2004 ble Fjogstad-Hus Ryfylke AS etablert ([www.fjogstad-hus.no](http://www.fjogstad-hus.no)).

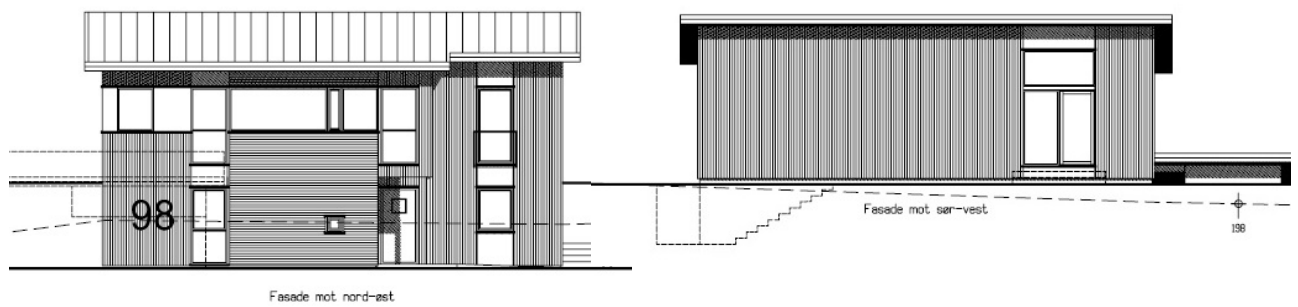
I de siste årene har bedriften Fjogstad-Hus hatt et sterkt fokus på å være i forkant av utviklingen i forbindelse med energieffektivisering, og flere framtidsrettede prosjekter har blitt bygget på Sola, i Sandnes og i Hommersåk. Fjogstad-Hus var tidlig ute med bygging av lavenergiboliger og boliger med passivhus-standard. I 2012 ble passivhusene på Rossåsen i Figgjo kåret til "Årets boligprosjekt" av Boligprodusentenes Forening. Fjogstad-Hus gjennomfører feltutbygginger eller tilbyr tjenester til privatkunder. Husene plassbygges og kan tilpasses kundens ønsker og tomtens muligheter. Aktuelle prosjekter kan finnes på nettsiden [www.fjogstad-hus.no](http://www.fjogstad-hus.no).

### 4.4 Prosjektopplysninger

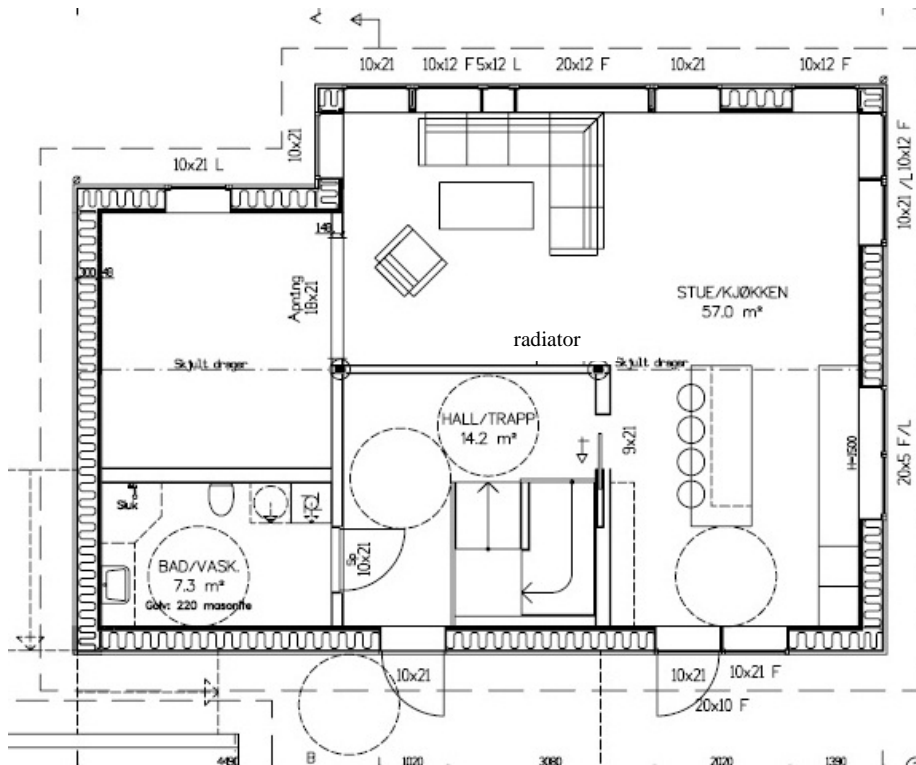
<i>Adresse:</i>	Høgarinda, Figgjo
<i>Lokalisering:</i>	Sandnes
<i>Antall boenheter:</i>	9
<i>Type bolig (blokk, rekkehus, enebolig):</i>	Eneboliger
<i>Byggestart:</i>	Mai 2011
<i>Ferdigstillelse:</i>	Sommer 2012
<i>Ambisjonsnivå energi:</i>	Passivhusnivå
<i>Byggherre:</i>	Fjogstad-Hus Eiendom AS (og Sandnes Tomteselskap KF)
<i>Entreprenør:</i>	Fjogstad-Hus Entreprenør AS
<i>Arkitekt:</i>	Fjogstad-Hus arkitekter
<i>Leverandører:</i>	Sig-Halvorsen, Systemair (Lie Ventilasjon), NorDan, Isola, Hunton, Glava



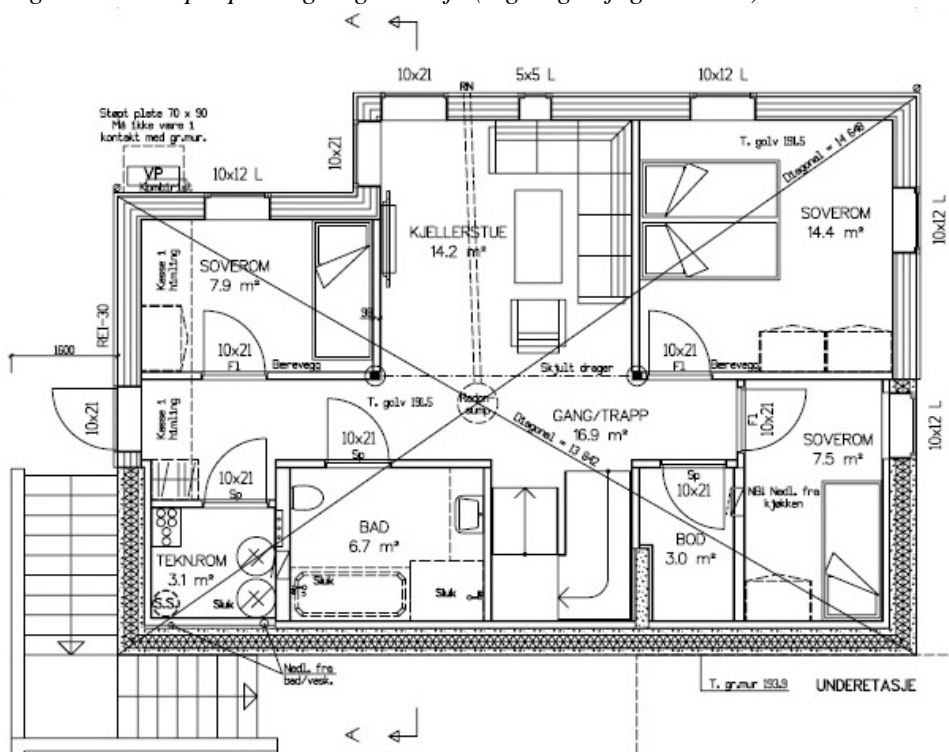
Figur 4: Nord-vest og sør-øst-fasaden til et av passivhusene på Rossåsen, Figgjo (tegning: Fjogstad-Hus)



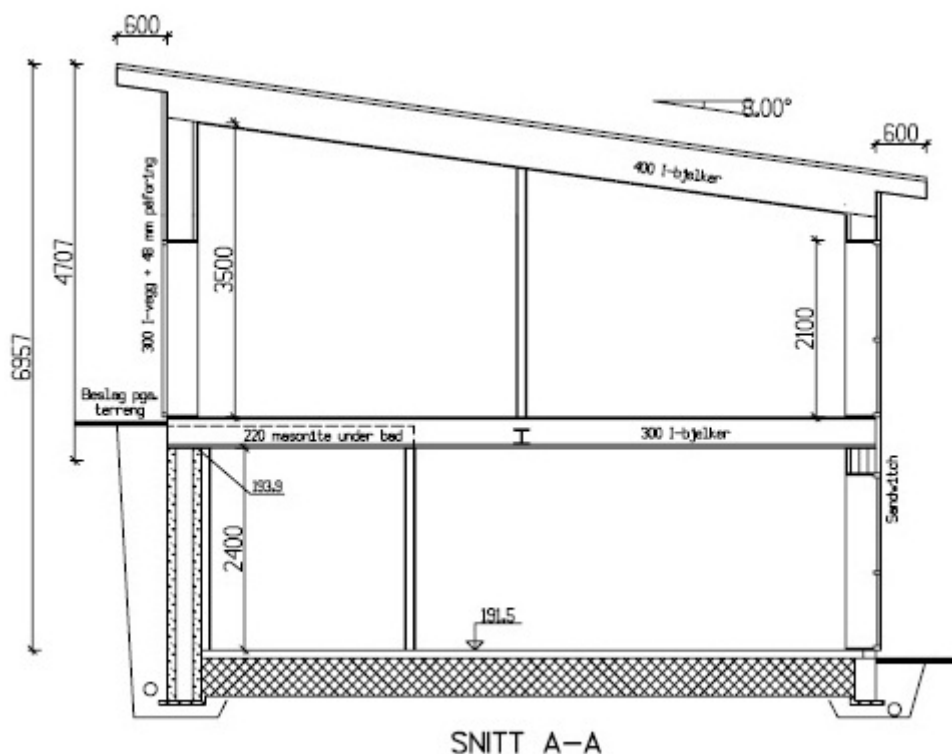
Figur 5: Nord-øst og sør-vest-fasaden til et av passivhusene på Rossåsen, Figgjo (tegning: Fjogstad-Hus)



Figur 6: Eksempel plantegning 1.etasje (tegning: Fjogstad-Hus)



Figur 7: Eksempel plantegning sokkeletasje (tegning: Fjogstad-Hus)



Figur 8: Eksempel snitt (tegning: Fjogstad-Hus)

#### 4.5 Nøkkeltall

<b>Totalt antall m<sup>2</sup> oppvarmet BRA:</b>	1573 m <sup>2</sup>
<b>Antall m<sup>2</sup> BRA/boenhet:</b>	161, 174 og 238 m <sup>2</sup>

#### Energibehov (iht. NS3031)

<b>Netto oppvarmingsbehov (beregnet):</b>	17,3 kWh/(m <sup>2</sup> år)
<b>Netto energibehov (beregnet):</b>	81 kWh/(m <sup>2</sup> år)
<b>Levert energi (beregnet):</b>	59 kWh/(m <sup>2</sup> år)
<b>Varmetapstall (beregnet):</b>	0,49 W/m <sup>2</sup>

**Boligene tilfredsstillt krav om universell utforming etter NS 11001-2.**

#### Bygningstekniske kvaliteter

<b>Andel dør/vindusareal:</b>	20 % av oppvarmet BRA
<b>U-verdi vindu/dør/glass:</b>	0,73 W/(m <sup>2</sup> K)
<b>Normalisert kuldebroverdi:</b>	0,03 W/(m <sup>2</sup> K)
<b>Lekkasjetall ([50 Pa] trykkforskjell):</b>	0,3 oms/time
<b>Temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner:</b>	82 %
<b>SFP-faktor (Specific Fan Power):</b>	1,5 kW/(m <sup>3</sup> /s)

**Lufttetthet:** En forenklet variant av tetthetsmåling ble utført på 7 hus før lukking av veggene. Dette for å forsikre seg om å få et godt sluttresultat. Resultatene viste et lekkasjetall ved undertrykk mellom 0,2-0,4 h<sup>-1</sup> (Loddervik, 2012). Ved ferdigstilling er tetthetsmåling med Blowerdoor test blitt utført av ekstern konsulent på to av de ni husene, med et godt resultat på henholdsvis 0,27 og 0,38 luftvekslinger per time ved 50 Pa (Ananiassen, 2011).



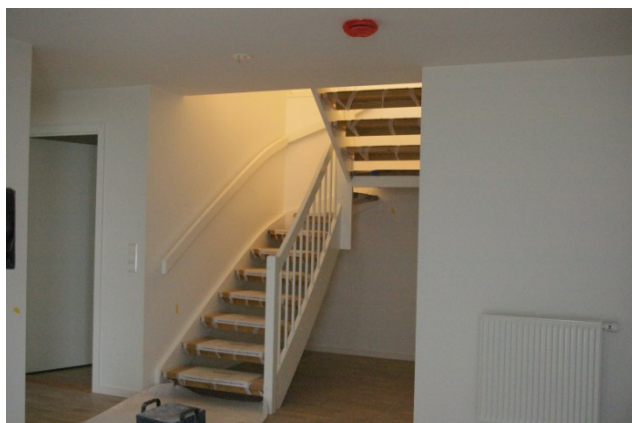
*Kuldebroer:* For å redusere kuldebroene er en balkongløsning erstattet med en uteplass koblet til 2. etasje i sørvest, slik at normalisert kuldebroverdi på 0,03 W/m<sup>2</sup>K antas oppfylt. Utbyggeren har ikke dokumentasjon på beregning av normalisert kuldebroverdi.

Konstruksjon	Oppbygging	U-verdi	Sd-verdi vindsperre	Sd-verdi dampsperre
		W/(m <sup>2</sup> K)	m	m
Yttervegg av I-profil	300 mm I-profil av tre + 48 mm påforing	0,12	0,22	70
Yttervegg sokkel	Dobbeltvegg, 48x98 mm bærende yttervange, 36x98 mm ikke bærende påforingsvegg, 100 mm kontinuerlig isolasjon imellom, 48 mm innvendig påforing	0,13	0,22	70
Grunnmur	200 mm kjerneisolasjon, plasstøpt 100 mm betong innvendig og 100 mm betong utvendig	0,14		
Gulv på grunn	450 mm isolasjon	0,08		
Tak	400 mm isolasjon, I-profiler av tre, 8 graders helning	0,10	0,23	70

**Tabell 1: Oppbygging og spesifikasjoner yttervegger, tak og gulv på grunn**

#### **Type varmesystem / energiforsyning**

I hver bolig er det installert en 6 kW luft-til-vann varmepumpe av typen *kWsmart* for oppvarming av tappevann og vannbåren varmeavgivelse i bad og radiator (1 radiator per etasje). Radiatorene er plassert i stua på veggen i 1. etasje (fig. 6, plantegning 1. etasje) og i underetasjen ved siden av trappa mot baderomvegg som vist i figur 9.



**Figur 9: Plassering av radiator i underetasjen (SINTEF).**

For ventilasjonen er en Villavent VR 400/700 blitt installert. Det er balansert ventilasjon med roterende varmeveksler med 82 % virkningsgrad (leverandørinformasjon) og pollenfilter samt bypassløsning for komfyravtrekk. Det er automatisk skifte mellom vinterdrift med varmegjenvinning og sommerdrift uten.

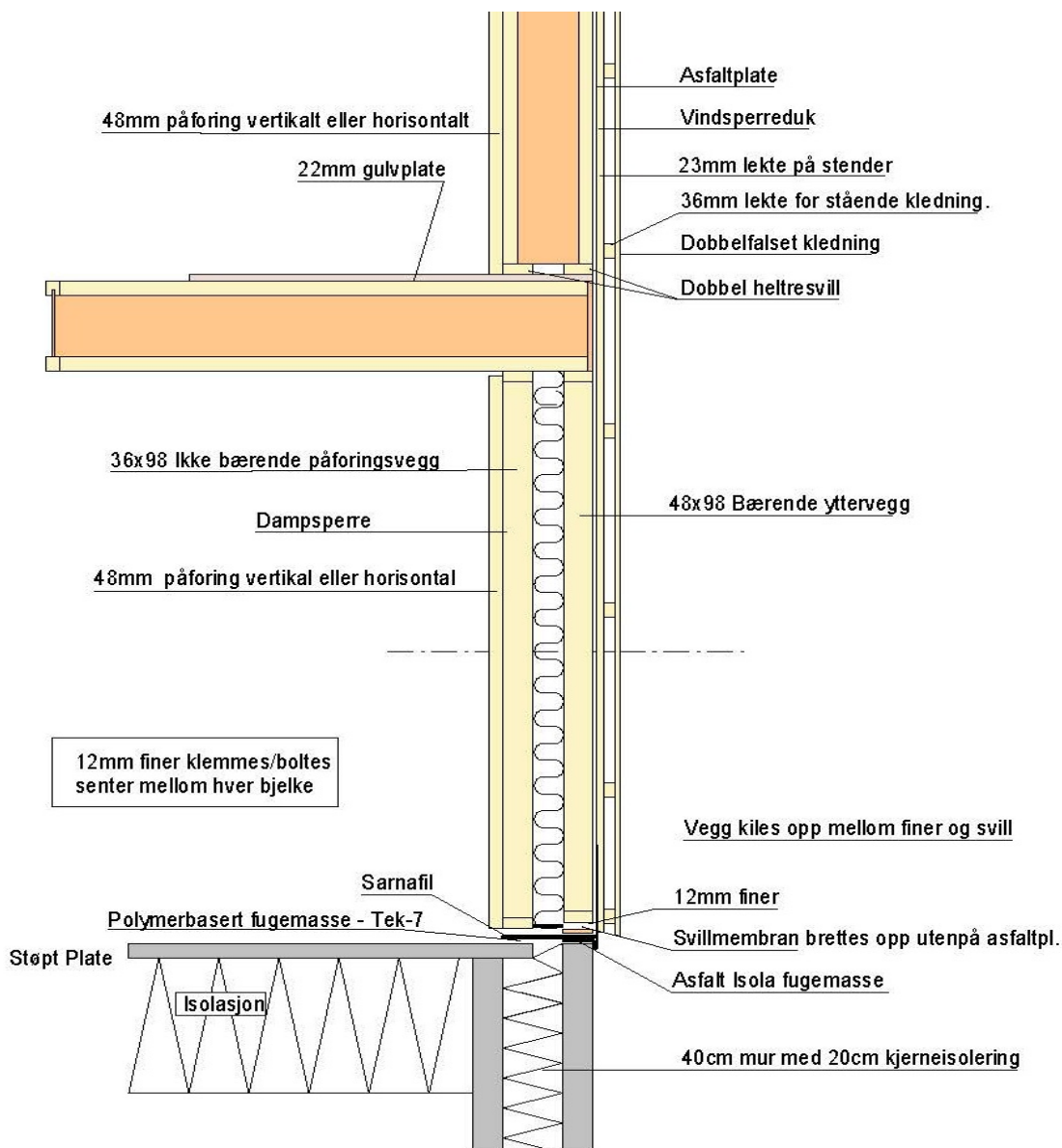
Ventilasjonen kan reguleres ved behov gjennom styring av luftmengde mellom minimum 36 l/s, normal 60 l/s eller maximum 96 l/s. Også temperaturen kan reguleres i trinn på 2,5 °C mellom 12-22 °C i vintersdrift og trinn på 1 °C ved sommerdrift.

### ***Styringsmuligheter***

Temperaturen på radiatoren kan reguleres manuelt med 4 trinn. I tillegg er det også 4 trinns manuell regulering på gulvvarme på badet. Lufttilførsel fra ventilasjonsanlegg kan reguleres manuelt med 3 trinn.

## **4.6 Byggetekniske detaljer**

Figur 10-12 viser detaljtegningen som ble lagt til grunn for produksjon av husene. Figur 10 viser vertikalsnitt av overgang grunnmur/yttervegg sokkel samt overgang sokkeletasje/1.etasje.

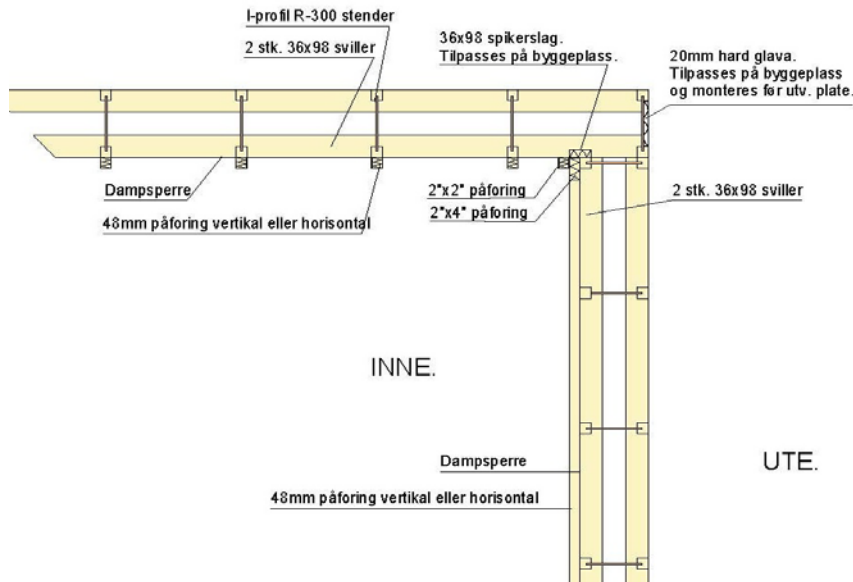


Figur 10: Snittdetalj. Plate på mark, overgang grunnmur, sokkelvegg, I-profilvegg (Fjogstad-Hus)

Som figur 10 viser, er ytterveggene i 1. etasje bygget med bindingsverk av 300 mm I-profiler. Dampsperrer er montert på varm side av I-profilveggen og veggen er deretter påforet på innvendig

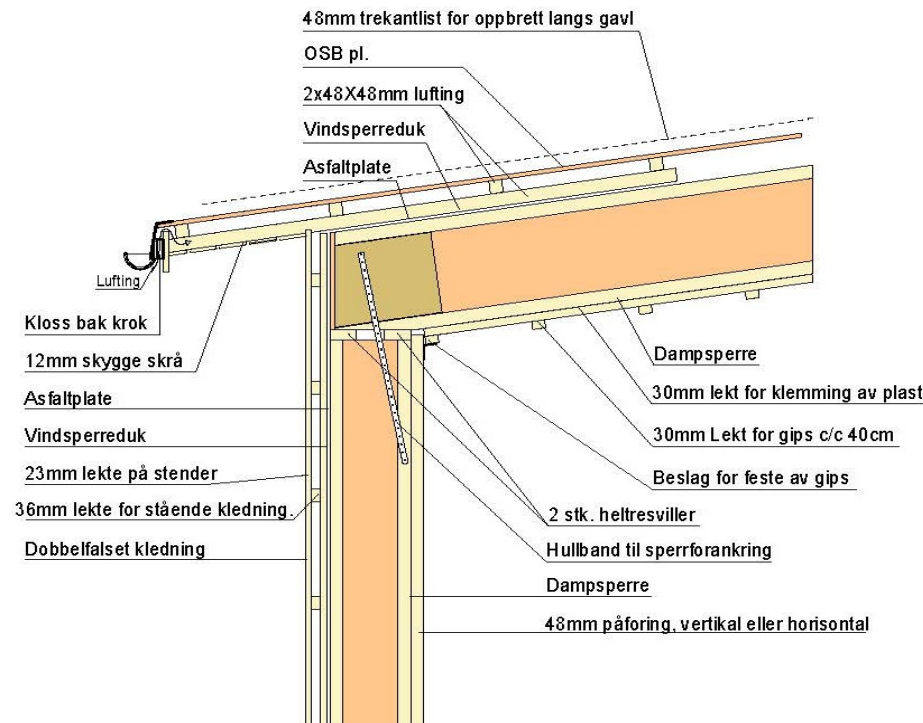
side med 48 mm x 48 mm trelekter. Ytterveggen i sokkeletasjen er bygget som en dobbelvegg med to bindingsverksrammer med 98 mm tykkelse samt 100 mm mellomliggende isolasjon. Dampsperrer er montert på varm side av innvendig bindingsverksramme. Vegg er deretter påforet med 48mm x 48 mm trelekter. Dampsperre på yttervegg i underetasje er avsluttet opp mot bjelkelaget og brettet inn ca. 30 cm i himling. t. Det er ikke laget noe detaljert tegning på dette.

Figur 11 viser horisontalsnitt av hjørnedetalj for ytterveggen av I-profiler i 1. etasje



Figur 11: Utvendig hjørneløsning med I-profiler og innvendig påføring (Fjogstad-Hus).

Figur 12 viser overgang yttervegg / tak.

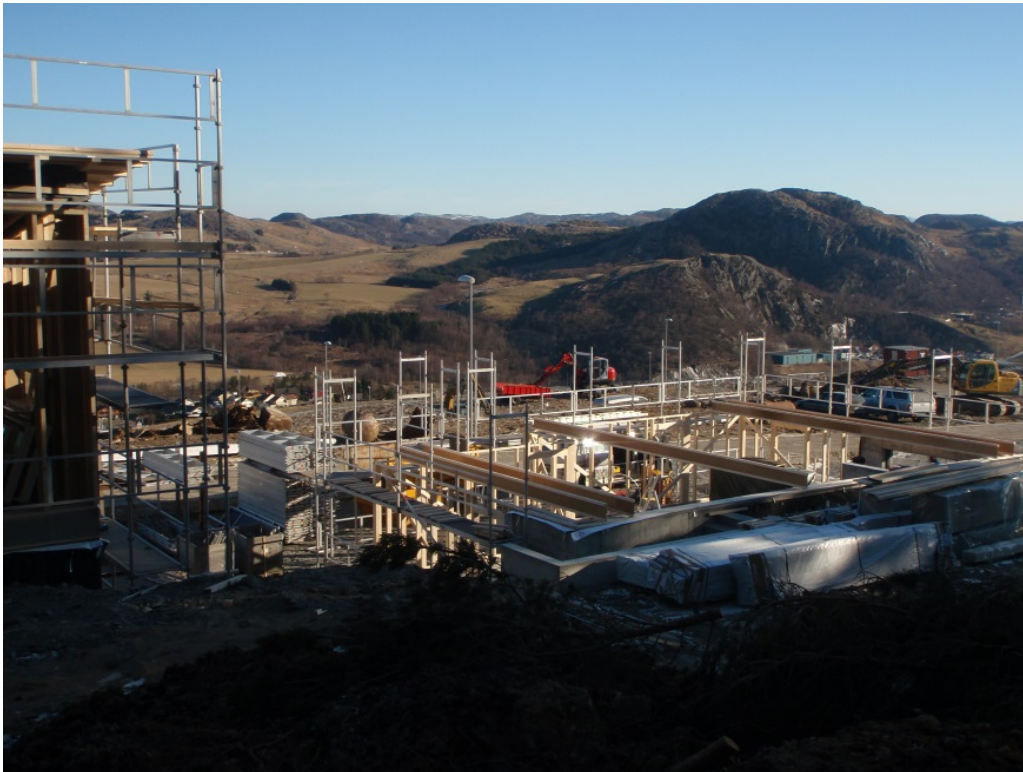


Figur 12: Overgang tak-vegg (Fjogstad-Hus)

## 5 Byggeprosess

### 5.1 Sentrale spørsmål

Byggeprosessen er avhengig av produksjonssystem og prosedyre som den enkelte utbygger pleier å bruke. Derfor går vi ut i fra at tilpasning til ny teknisk standard delvis er en individuell prosess i hvert firma, hvor prosess, byggesystemet og detaljløsninger må tilpasses for å oppfylle kravene i teknisk forskrift. Vi ønsker å belyse endringer og utfordringer i organisering og gjennomføring av byggeprosessen ifm. innføring av passivhusnivå som teknisk forskrift i Norge.



Figur 13: Under bygging med utsikt fra tomten på Rossåsen (Fjogstad-Hus)

En doktorgrad fra Nederland (Mlecnik, 2013) påpeker nødvendigheten av å se på barrierer og drivere ved etablering av passivhus og nesten nullenergihus som europeisk standard i 2020. Mlecnik (2013) beskriver byggebransjen som tradisjonell konservativ og dominert av små og mellomstore bedrifter. Innovasjon i byggebransjen er derfor vanskelig å spre til alle ledd. Det skjer heller ikke automatisk at kunnskapen går videre fra enkelte bedrifter og demonstrasjonsprosjekter. Mlecnik (2013) mener at det er behov for en bedre forståelse av hvordan markedets utvikling fra innovasjon til tidlig adaptasjon kan støttes. I denne sammenheng sier han også at det er viktig å få en bedre innsikt i de erfaringer som er gjort av firmaer for å *"understand better the experiences of enterprises that have adopted innovations in highly energy-efficient construction, as well as the opportunities and barriers they encountered"* (Mlecnick, 2013:120).

Utbyggerne som er med i EBLE kan betegnes som pionerer på feltet. Prosjektet har som mål å få fram deres erfaringer med byggeprosess og utfordringene som de står ovenfor ved planlegging og bygging av passivhus i Norge.

Forskningsspørsmålene i forbindelse med byggeprosess er:

- Hvordan oppleves forskjellen ved det å bygge passivhus sammenlignet med hus bygget etter de gjeldene byggeforskriftene (TEK'10)?
- Hvordan har utbygger tilpasset sitt produksjonssystem for prosjektering og bygging av passivhus?
- Hvordan skaffer utbyggerne seg kunnskap om det å bygge passivhus?
- Hvordan er sikrer utbyggerne en fuktsikker byggeprosess?

## 5.2 Metode

For å undersøke erfaringer med byggeprosess har vi valgt en kvalitativ tilnærming gjennom dybdeintervjuer. Vi har intervjuet byggeleder, teknisk sjef, formann og arkitekter som har jobbet med Fjogstad-Hus sitt prosjekt på Rossåsen. Etter intervjuet dro vi på befarings til Rossåsen og kunne besøke to av husene før de ble innflyttet.

Intervjuet med nøkkelpersonene ble gjennomført som gruppeintervju. Gruppeintervjuer er spesielt egnet i en eksplorativ studie som denne og når man ønsker en samtale blant intervjudeltakerne (Kvale 1996; May 1993). Intervjuet fulgte en guide med åpne spørsmål for å gi intervjupartnerne muligheten til å fortelle om opplevelsen av byggeprosessen og formidle sine erfaringer (se vedlegg). Siden vi er ute etter å få en forklaring av byggeprosessen og utfordringer/endringer ifm passivhusstandard, var det viktig å gi nok rom i samtalen for at nøkkelpersonene kunne fortelle fritt. På denne måten kan det dukke opp temaer som ikke forskerne har kunnskap om fra før. Intervjupartnerne hadde forskjellig yrkesbakgrunn og dermed også forskjellige oppgaver og erfaringer fra byggeprosessen. De kunne supplere hverandres erfaringer og belyse byggeprosessen fra forskjellige perspektiver.

Analysen av intervjumaterialet fokuserer på stikkord i tråd med forskningsspørsmålene:

- Likheter og forskjeller i fortellingen om byggeprosess av passivhus sammenlignet med "andre" hus som utbyggeren har bygget før
- Endringer og tilpasning av produksjonsmetoden
- Kunnskapskilder ifm passivhus og opplæring i bedriften
- Bygging med værbeskyttelse

## 5.3 Produksjonsprosessen

Utbyggeren Fjogstad-Hus beskriver forskjellen mellom sine passivhusprosjekter (på intervjutidspunkt 2 prosjekter) og "vanlige" hus bygget etter TEK'10. Husene deres er plassbygget. Forskjellen i byggemåten i passivhusprosjektet var primært veggoppbygging, samt utforming og plassering av ventilasjonsanlegg.

Fjogstad-Hus beskriver at de for første gang valgte I-profiler som bærestruktur i veggene (figur 14). Hittil har de kun brukt I-bjelker i tak og etasjeskiller. Fjogstad-Hus har benyttet seg av I-profiler i veggen for å få plass til tilstrekkelig med isolasjon. For å få til hele den påkrevde isolasjonstykkelsen ble ytterveggene i tillegg utført med 48 mm på innsiden av dampsperre (figur 11).





*Figur 14: I-profiler i reisverket (Fjogstad-Hus)*

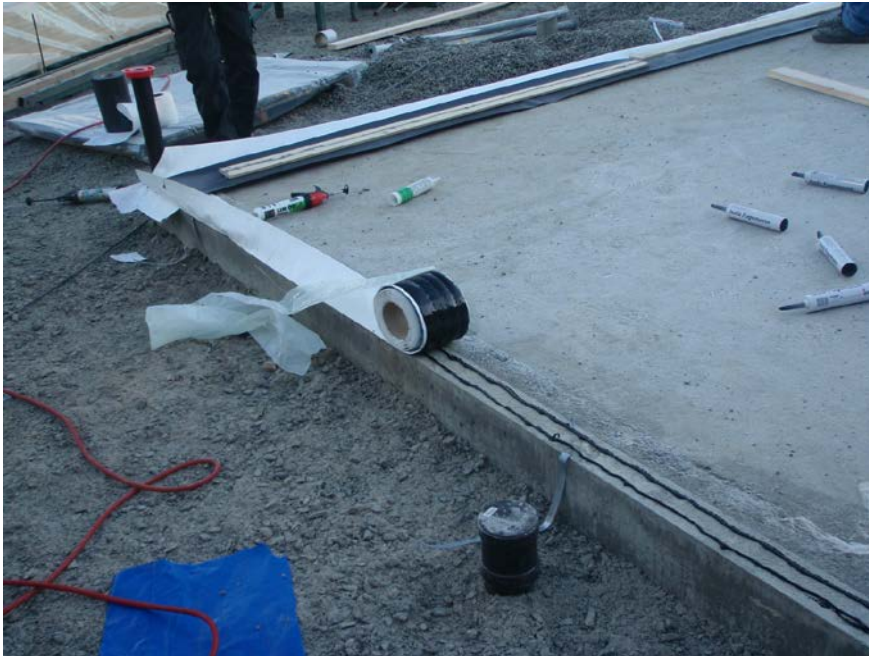
Bildet av grunnmuren illustrerer godt grunnmurens tykkelse. I grunnmuren var det planlagt 20 cm isolasjon i senter av muren som ble støpt på stedet med 10 cm betong innvendig og 10 cm betong mot utsiden. Det ble foretatt endringer i oppbygging av grunnmuren i forhold til planlagt detalj. Byggelederen opplyste om at detaljtegningen av grunnmuren som vist i detaljtegningen ikke stemmer 100 % med utførelsen, siden grunnmuren ikke ble bygget som et kjerneisolert element, men som en ringmur med utvendig isolasjon. Denne endringen av grunnmurens oppbygging ble foretatt fordi de ikke hadde behov for bæring i den innerste betongskiven. Tykkelsen forble den samme. Det ble ikke tegnet en ny detaljtegning som viser endringen.

Byggelederen forteller at de hadde sine faste leverandører av betong som gjorde jobben slik de er vant med, uten større endringer. Det som var nytt i passivhuset var at det ble brukt 20 cm isolasjon i kjernen i stedet for 5 cm som de vanligvis bruker, og at de brukte trykkfast isolasjon under alle fundamentene. Målet var å minimere kuldebroer fra grunn og opp på den indre betongskiven ved å isolere godt under grunnmur og fundament.



*Figur 15: Grunnmur med 20 cm isolasjon (Fjogstad-Hus)*

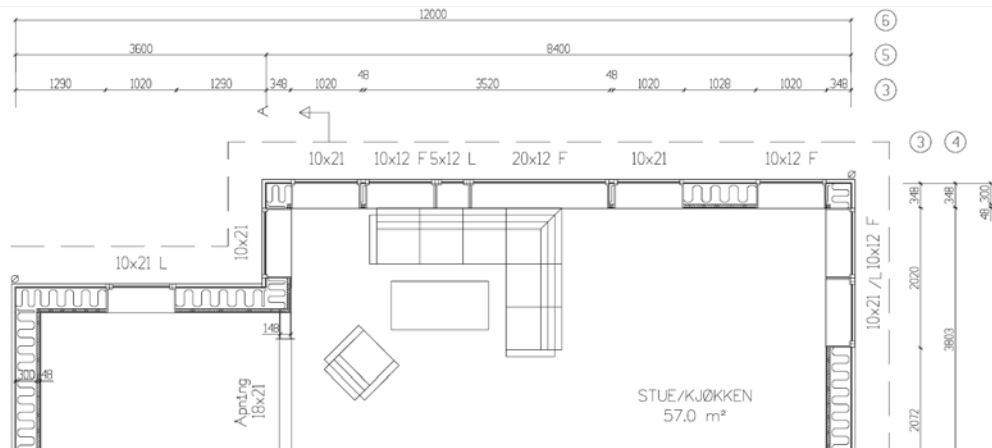
En annen utfordring som de måtte håndtere på byggeplassen var legging av svillemembran mellom sokkel og reisverket (figur 16). I intervjuet forteller teknisk sjef at de måtte utvikle en bredere svillemembran. Toppen på murkronen er på disse boligene 40 cm tykk. For å sikre at det ikke skulle oppstå utilsiktet luftlekkasje igjennom isolasjonskjerne i grunnmur, var de opptatt av å "hermetisere" toppen. I siste delen av prosjektet laget Isola en bred svillemembran til dem, før den tid, så løste de det selv ved å bruke Sarnafil (membran) i kombinasjon med standard 150 mm bred svillemembran.



Figur 16: Svillemembran plasseres på betongsokkel ([Fjogstad-Hus](#))

Teknisk sjef beskriver også at de måtte legge isolasjon i flere operasjoner i yttervegger, først to ganger 15 cm isolasjon, deretter utforing med 5 cm. Det førte til noen flere operasjoner enn i andre hus, og det tok lengre tid enn forventet. Isolasjonen måtte også tilpasses rundt I-profilene/I-bjerkene, vinduene og hjørnene hvor det ikke passet med 60 cm isolasjonsmodul. Der la de inn "hard Rockwool" på 20 mm/18 mm.

For de første husene brukte utbyggeren lengre tid på byggeprosessen enn på påfølgende hus, og de hadde en klar bedring i tidsforbruket etter hvert. Utbyggeren mener også at tidsbruken kan gå ned i framtiden når man får nye produkter som oppfyller standardens strenge krav. Den valgte veggoppbygningen med I-profiler, ble i ettertiden kritisk vurdert som for omfattende og tidkrevende. På et nytt pågående passivhusprosjekt har de istedenfor valgt bindingsverk med Iso3-stendere ([www.moelven.com](http://www.moelven.com)) for å redusere isolasjonsmengden og jobben med å legge isolasjon. De benytter heller ikke inntrukket dampspærre som på Rossåsen, da dette også ble vurdert som for tidkrevende.



Figur 17: Utsnitt plantegning hovedetasje som viser plassering av vinduene langt ut i fasaden (tegning: Fjogstad-Hus).

Vinduene ble plassert langt ut i fasaden. Dette beskrives som et grep som er tilpasset klimaet og grunnet regnet som kommer horisontalt inn på fasaden. Hvis vinduene hadde ligget lengre inn, så kunne regnvannet lettere samlet seg utvendig i karmen. Ytterkant av vinduene ligger ganske jevnt med vindspærren. Arkitektene for prosjektet forteller at fasaderelieffet betyr en del for det arkitektoniske uttrykk og de skulle gjerne ha eksperimentert mer med fasadens dybde, men de forholdt seg stort sett til de tekniske kravene og da ble vinduene plassert langt ut i fasaden (figur 17). Dette er et eksempel på hvordan tekniske krav kan legge føringer for design.



Figur 18: Fasaden med vinduene på plass (Fjogstad-Hus)

Arkitektene forteller videre at den største forskjellen mellom passivhus og vanlige bygg for de som tegner huset, er at vegger, gulv og tak blir tykkere. Dette gir noen designutfordringer med tanke på å skape gode, lyse og pene løsninger. Veggtykkelsen gjorde at det var delvis utfordrende å kombinere passivhusstandard og tilgjengelighetskrav. En vegg på 35 cm tar en del av innvendig areal, samtidig som man skal beholde nok innvendig plass for å kunne bruke rullestol (boligene oppfyller krav til universell utforming). I tillegg var det et utfordrende terreng, så arkitektene jobbet mye med atkomst og utvendig utforming. Den østvendte orienteringen av boligfeltet var ikke helt optimal med tanke på



å utnytte dagslys og passiv solvarme. For å unngå kuldebroer har de ikke valgt å bygge balkonger. I stedet etablerte de en plattform på inngangssiden mot sørvest.

Byggelederen forteller at de til tross for noen nye byggetekniske løsninger stort sett bygger videre på det de kan og er gode på, uten radikale endringer av byggeprosessen. Det har ikke oppstått noe uforutsett ifm graving eller støping og framdriften har holdt seg til planen. Han mener at det er et resultat av at de har bygget husene på minst mulig eksperimentell måte. De ser egentlig ikke på passivhus som noe særlig annet enn andre hus. Forskjellen er at de har ekstra fokus på isolering, tetting og energitekniske løsninger. Han forteller videre at de har vært mest kreative på varmeløsninger og ønsket å finne fram til velprøvde tekniske produkter som fungerer i Norge og det lokale klimaet.

Fjogstad-hus forteller at oppvarmingssystemet ble valgt fordi dette var et enkelt og robust system med kjent teknologi. Utbyggeren sier at hadde de valgt på nytt, ville de lagt inn større effekt på oppvarmingssystemet. Dette er basert på tilbakemeldinger de fikk fra beboerne. De tilføyer at større effekt også ville ført til en kostnadsøkning.

Fjogstad-Hus sine medarbeidere gjennomgikk en læringsprosess under byggingen av deres første passivhusområde. Byggelederen forteller at de hadde en klar bedring i tidsbruk etter hvert. De første husene tok lengre tid enn de som ble bygget senere. I forbindelse med intern opplæring forteller byggelederen at de bør bli flinkere til å dokumentere løsningene, spesielt når de utvikles underveis, for eksempel gjennom å ta flere bilder. De har brukt bloggen sin ([www.bygge-passivhus.no](http://www.bygge-passivhus.no)) til å legge ut fremdrift og løsninger, men de har ikke fulgt det opp så nøyaktig som de skulle ønske.

De jobber ofte med de samme håndverkerne fra prosjekt til prosjekt og gjennom det har de hele tiden greid å få alle i prosjektene til å arbeide mot samme mål, noe som sikret kvaliteten både i hvert enkelt fag og i sluttproduktet. I dette prosjektet samlet de alle håndverkerne også fra underentreprenørene for å skape felleskap i hele arbeidsstyrken, ikke bare blant lederne i firmaene.

Fjogstad-Hus har hittil ikke bygget passivhus med værbeskyttelse. De sier at det ikke ser ut til at de vil ta igjen de høye kostnadene med å bygge under telt i kortere produksjonstid eller tørrere hus. Dessuten er tomten på Rossåsen utsatt for mye vind, og telt ble vurdert som en lite egnet løsning. Formannen sier at de har større fokus på uttørking, tetting og vindtetting ved bygging av passivhus enn i tidligere byggeprosesser. I dette prosjektet satt de av to uker ekstra tid til uttørking i forhold til normal fremdriftsplan, totalt seks uker. Det ble lagt inn margin i planene for å være 100 % trygg på at fuktnivået skulle komme under anbefalte verdier. De målte fuktnivået før de begynte isoleringsjobben og la på utvendig vindspærre. De forteller at de målte 15% fuktighet, og dermed lå målt fuktnivå langt under det som er satt som grenseverdi (20 %) og de følte seg trygge på at de kunne få en fuktsikker byggeprosess også uten værbeskyttelse. Under byggeperioden ble det målt normale nedbørsmengder (tab.2, kap. 6.3).

Kostnader for bygging av passivhusene ble opplyst til å være litt høyere enn for tilsvarende TEK'10 hus som Fjogstad-Hus har bygget tidligere. Selve byggeprosessen er en del av kostnadsbildet, og Fjogstad-Hus estimerer at tømmerarbeidene i passivhus tok ca. 90 timer mer enn for TEK'10 hus, og grunnmurarbeidene ca. 25 timer. De opplyser at timebruken kan gå ned når prosessene er innarbeidet, men timebruk for merarbeid som for eksempel å legge flere lag med isolasjon vil alltid være høyere. Kostnadseffektive, nye typer materialer/teknologi kan få ned timebruken i fremtiden.

Fjogstad-Hus sier seg fornøyd med framdriften av byggeprosessen. Alle boligene ble overlevert til kjøperne i god tid i forhold til kontraktsdatoer. Byggeriet gikk fortere enn den romslige fremdriftsplanen de hadde satt opp. På nye passivhusprosjekt de bygger nå, er det ikke lagt inn like stor slakke i fremdriftsplanen.

## 5.4 Analyse, byggeprosess

Intervjuene med nøkkelpersoner i Fjogstad-Hus tyder på at overgangen fra bygging etter gjeldende regelverk (TEK'10) til passivhus har vært mindre utfordrende for utbyggeren enn en kunne forvente. Fjogstad-Hus var tidlig ute med å bygge passivhus og har vært villig til å prøve seg fram. Gjennom denne prosessen har de testet løsninger som de ikke har brukt før, men de har ikke gjort vesentlige endringer i byggesystemet.

Løsninger som Fjogstad-Hus brukte i dette prosjektet for å oppfylle krav til passivhus er:

- Økt tykkelse på isolasjon i vegger, grunnmur og tak sammenlignet med prosjekter bygget etter dagens krav TEK'10.
- Løsninger for å unngå kuldebroer som trykkfast isolasjon mot grunn og vindusinnsetting i fasaden, samt å ikke bygge balkong. Strengt krav til kuldebroer i passivhus krever at utbyggerne er spesielt bevisst rundt temaet. Det er ikke nødvendigvis nye løsninger som man bare finner i passivhus, men antall løsninger som må beskrives for å unngå kuldebroer, er større enn i TEK'10 hus. Dessverre ble det ikke dokumentert om de valgte løsningene holder mål iht krav.
- I-profiler som bærekonstruksjon i veggene for å få plass til isolasjon. I-profiler som bærestruktur i veggen er ingen løsning som ble utviklet spesielt for passivhus, men utbyggeren forventet fordeler med tanke på et tykt isolasjonslag. I Byggforskserien i 2003 står det beskrevet at I-profiler kan brukes på nesten samme måte som vanlig konstruksjonstrevirke. Fordelen er at I-profiler normalt er rettete og er mer dimensjonsstabile enn stendere av konstruksjonstrevirke. Stendere av I-profiler fins i store profilhøyder, noe som muliggjør store isolasjonstykkelser. Isolering og tetting rundt åpninger er derimot noe mer omfattende (SINTEF, 2003). I dette prosjektet kan det beskrives som en løsning som ble ansett som praktisk for tykke passivhusvegger. Veggoppbygningen ble i ettertiden allikevel kritisk vurdert av utbyggeren som for omfattende og tidskrevende.
- Ekstra fokus på tetting under byggeprosessen. Høye krav til tetthet og etterprøving av oppnådd tetthet er spesielt for passivhus, og viser seg å kreve spesiell bevissthet og påpasselighet. Dette kan samtidig være positivt for hele byggeprosessen for å unngå også andre byggefeil.
- Økt fokus på fuktsikker byggeprosess.
- Utvikling av nytt produkt i samarbeid med leverandøren (bredere svillemembran). Svillemembran i denne bredden var i følge utbyggeren ikke tilgjengelig for veggtykkelsen. Tilpassing av produktet av leverandøren til behovet som oppsto på den tykke grunnmuren skjedde underveis i byggeprosessen.

Resultatene viser at det var få løsninger som ble utviklet spesielt for passivhus. Krav i gjeldende byggestandard (TEK'10) i Norge er ikke veldig langt unna passivhusstandarden, og overgangen mht. byggetekniske løsninger er ikke så stor, forutsatt at kravene er tydelige og forstått av aktørene. En viktig forutsetning for å lykkes med innføring av passivhusstandard som forskriftskrav i Norge, er kunnskap om byggetekniske løsninger som fungerer i passivhus og konsekvenser av byggefeil.

Intervjuene med utbyggeren viser at det er usikkerhet blant mange aktører i byggebransjen om hva passivhuskravet innebærer mht. byggetekniske løsninger. Det er ikke noe automatikk i at kunnskapen som noen foretak har ervervet sprer seg til andre bedrifter. Opplæring foregår mye internt gjennom "learning-by-doing", og ulempen er at løsningene ofte ikke blir dokumentert nøyaktig. I dette tilfellet, har Fjogstad-Hus tatt ansvar for å dokumentere løsningene gjennom bilder som de har delt på bloggen sin, noe som ikke skjer i aller prosjekter. Hvis løsningene ikke blir dokumentert, får andre ikke nytte av erfaringene. Tilpassing av løsninger underveis kan også ha økonomiske konsekvenser for utbyggeren siden tidsbruken er vanskelig å kalkulere på forhånd. Intervjuet viste at Fjogstad-Hus har brukt tid og midler på utdanning av egne folk. Fjogstad-Hus viste også til at samarbeid med de samme underentreprenører/-leverandører fra prosjekt til prosjekt var positivt for lettere å benytte seg av tidligere erfaringer og opparbeidet kompetanse.

Interessant er også at det ikke var de rent konstruksjonstekniske løsningene som utbyggeren syntes var mest utfordrende, men at det var valg av oppvarmingssystemet. Fjogstad-Hus fant at det ikke var enkelt å finne fram til de gode produktene som fungerer i det lokale klimaet, og de brukte mye tid på dette. Det var mangel på oversikt, dokumentasjon og veiledning for valg av produkter. Som vi også vil se i kapittelet om brukererfaringer, er det de tekniske systemene og styringsmuligheten som også brukerne ser forbedringspotensialer ved. Hvordan og på hvilket grunnlag utbyggerne skal velge leverandør og type oppvarmings- og ventilasjonssystem, er et tema for videre diskusjon. Det er et tydelig behov for bedre dokumentasjon og etterprøving av tekniske systemer i norske boliger.

For å sikre en fuktsikker byggeprosess, er bygging under telt en av de sikreste metodene. I dette prosjektet fant Fjogstad-Hus det mindre egnet å sette opp telt for å sikre en fuktsikker byggeprosess. Grunnen var først og fremst kostnader, men også sikring mot vind spilte en rolle i valget. Utbygger har vært påpasselig mht. å ivareta en fuktsikker byggeprosess gjennom å sette av lengre tid til uttørring og målinger av fuktnivå i konstruksjon før de lukket veggen. Videreutvikling av produksjonsmåter og prinsipper som forebygger fuktpåvirkning i byggetiden, er ansett som avgjørende for en rasjonell og kostnadseffektiv produksjon av passivhus. Målingen av fukt i konstruksjon som beskrives i kapittel 6, kan bekrefte at fuktinnholdet i veggene er på et lavt og tilfredsstillende nivå.

Generelle funn fra intervjuene om byggeprosess som også vil ha betydning i byggeprosessen av andre passivhusprosjekter er:

- Ønske om å kunne skaffe seg kunnskap om passivhus på en oversiktlig og enkel måte
- Behov for samarbeidspartnere som har kunnskap om passivhus
- Valg av egnede byggetekniske løsninger, for eksempel konstruksjonssystem for å få plass til isolasjon i vegg, gulv og tak
- Bevissthet på tetting under byggeprosessen gjennom alle ledd
- Fokus på fuktsikker byggeprosess
- Behov for kunnskap og dokumentasjon av gode og robuste valg av tekniske systemer til oppvarming og ventilasjon

Valg av tekniske systemer er et spørsmål som i dag *alle* utbyggere blir konfrontert med, siden TEK'10 også i de fleste tilfeller innebærer bruk av balansert ventilasjon. Dette tydeliggjør at usikkerhet rundt valget av tekniske installasjoner ikke er begrenset til passivhus. Tatt i betraktning at dette er en aktuell problemstilling i alle nye byggeprosjekter understrekes viktigheten av å få bedre dokumentasjon av tekniske løsninger, deres funksjonalitet og brukbarhet.

## 6 Fuktmålinger i konstruksjonen

### 6.1 Overordnet mål

Det overordnede målet for fuktmålingene er å undersøke utvikling av trefuktnivå i passivhuskonstruksjoner.

Undersøkelsen viderefører laboratorie-målinger og beregninger som blant annet Geving og Holme (2010) har gjennomført for å kartlegge risiko for fuktskader og muggsoppvekst i passivhus yttervegger og tak. Konklusjonen fra laboratorieundersøkelser for de fleste høysolerte konstruksjonene er at risikoen for fuktskader og muggvekst øker noe, men at dette i de fleste tilfeller lett kan motvirkes ved riktige material- og konstruksjonsvalg samt riktig utførelse (Geving og Holme, 2010).

### 6.2 Metode, fuktmålinger

To av Fjogstadhusene er instrumentert med målesystemet Hygrotrack for å kunne fjernavlese trefuktigheten i konstruksjonene. Målesystemet ble installert etter at bygget var vindtettet, men før montering av dampsperre.

Målesystemet består av en mottaker (basestasjon) og små loggere, se figur 19. Mottakeren kan ta imot signal fra 600 loggere. Avstand fra loggere kan være maksimalt 46 m, avhengig av forstyrrelser i signal.



Figur 19: Hygrotrack mottaker og loggere.

Loggerne monteres med to skruer inn i trevirket. Disse skruene fungerer også som elektroder til trefuktighetsmålerene som logger vektprosent fukt. Lufttemperatur og luftfuktighet logges også gjennom to hull i bakkant av loggeren.

Mottakeren blir levert sammen med et modem. Denne enheten må ha tilgang på strøm. Systemet kommuniserer med server via mobilnettet. Alle data blir lagret på denne serveren og systemet logger timesverdier.

Måleområdet for trefuktighetsmålingen er oppgitt til 8-40 % med en målesikkerhet på  $\pm 1$  % (GE 2006).

Loggerene i systemet er kalibrert i henhold til data fra TRADA for furu. Konstruksjonen i Fjogstadhusene er gran og verdiene er korrigert slik at de gjelder for gran i henhold til følgende formel, gitt fra produsenten av systemet:

$$\%MC_{gran} = -0,504256 + (1,1386808 \times \%MC_{furu}) + (0,0111586 \times (\%MC_{furu} - 16,5)^2) - (0,0010783 \times (\%MC_{furu} - 16,5)^3)$$

Loggerne korrigerer selv for temperatur. Loggerne ble installert i begynnelsen av mars 2011.

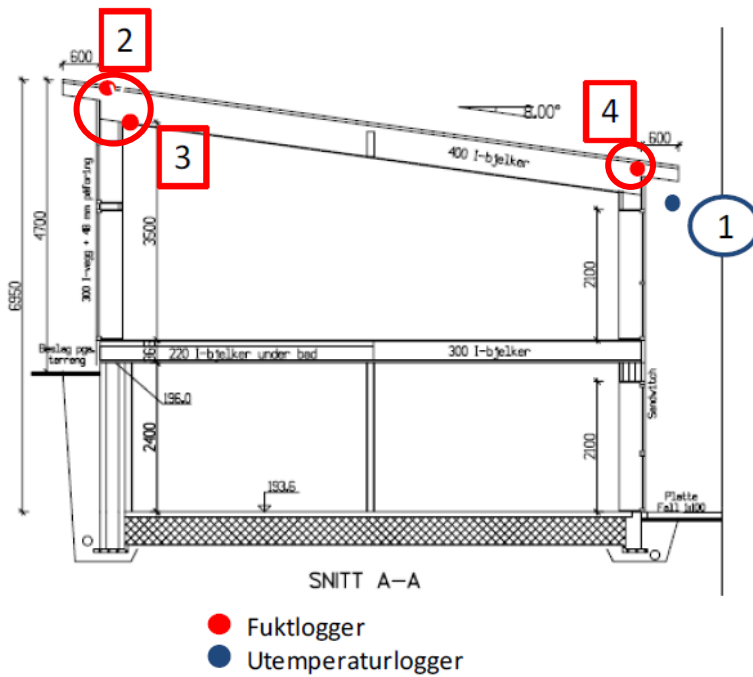
For å undersøke trefuktnivå i konstruksjonen ved lukketidspunktet og hvordan det endrer seg over tid, ble det valgt å instrumentere to ulike bindingsverksvegger i husene, i tillegg til takkonstruksjonen. Plasseringen av fuktloggerne i sokkel og første etasje er vist i figur 20. Plassering av fuktloggerne i takkonstruksjonen og plassering av utetemperaturlogger er vist i figur 21.

Sokkel

1. etg.



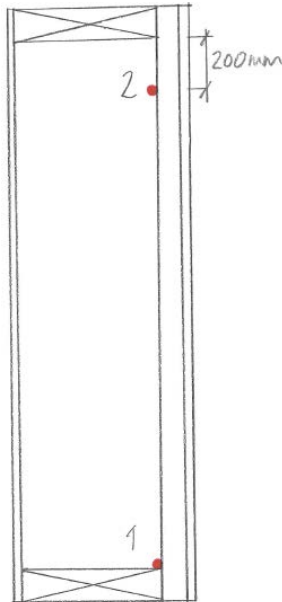
Figur 20: Røde sirkler angir plassering av trefuktloggere i veggene.



Figur 21: Røde sirkler angir plassering av trefuktloggere i takkonstruksjonen.

I taket er trefuktloggere plassert både på kald og på varm side av konstruksjonen, 10 mm fra undertaket, samt 10 mm fra dampspærren, på kald side.

Trefuktloggerne i veggen er plassert 10 mm fra vindsperren i bunnsvill og stender. Trefuktloggeren i stenderen er plassert i avstand 200 mm under underkant toppsvill, se figur 22. Trefuktloggeren i bunnsvill er plassert midt mellom stenderne, se figur 23.



Figur 22: Instrumentering yttervegg, røde prikker viser plassering av trefuktighetsloggere.

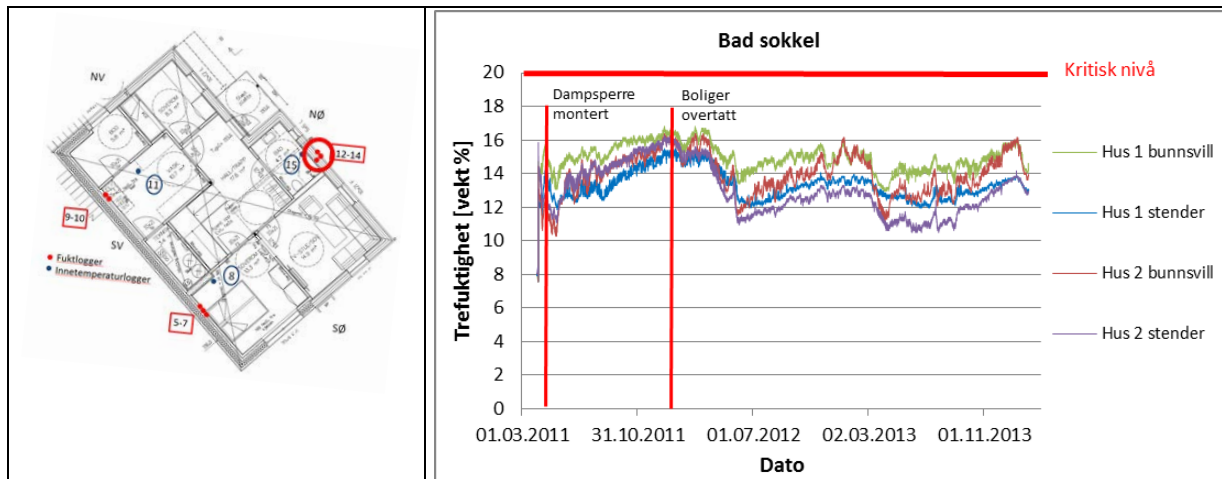


Figur 23: Instrumentering tak, røde sirkler viser plassering av trefuktighetsloggere.

Måleresultatene er vurdert med bakgrunn i generell teori om muggvekst på treverk. Fuktighet og temperatur er de to viktigste faktorene som innvirker på muggvekstrisikoen. De vanligste muggsoppartene som opptrer innendørs krever over 80-85 % relativ fuktighet på materialoverflaten eller i porer for å kunne vokse. Det tilsvarer et vanninnhold på ca. 20 vektprosent i treverk ved 20 °C (Nilsson, 2009). Veksthastigheten øker med stigende fuktnivå, og graden av optimal temperatur. Optimal temperatur for de fleste artene er 25-30 °C (Geving og Holme, 2010). I vår analyse har vi brukt 20 vektprosent trefuktighet som en kritisk grense for muggvekst.

### 6.3 Resultater, fukt

Figur 24 viser trefuktigheten i vekt-% for stender og bunnsvill plassert i sokkeletasjen på hus 1 og 2 gjennom 2 år. Veggen er bygd opp som en dobbeltvegg med innvendig og utvendig bindingsverksrammer med 98 mm tykkelse samt 100 mm mellomliggende isolasjon. Veggen som er instrumentert er orientert mot nordøst, se rød ring på figur 24.



Figur 24: Plassering av fuktloggere og resultater trefuktighet i bunnsvill og stender i yttervegg i bad i sokkel for hus 1 og 2 fra mars 2011 til februar 2014.

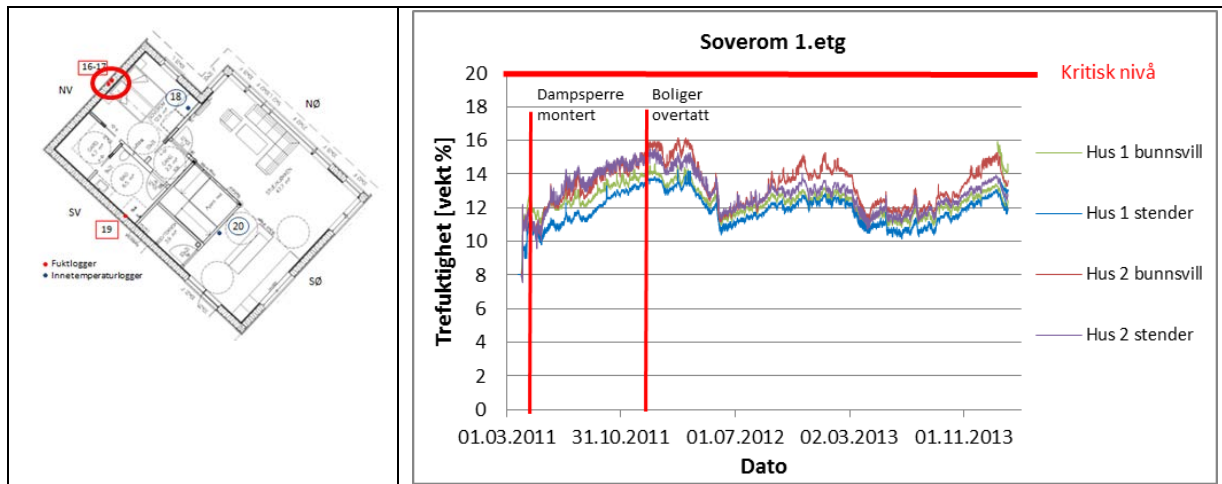
Slik figur 24 viser er trefukten forholdsvis lav ved montering av dampspærre. Fuktinnholdet i stenderne er gjennomgående lavere enn fuktinnholdet i svillene gjennom hele måleperioden. Fuktinnholdet i stenderne varierer mellom 11 og 16 %, men fuktinnholdet i svillene varierer mellom 12 og 16,5 %. Dette tyder på at det er ukritiske forhold med tanke på muggvekstpotensial. Resultatene viser lavere fuktinnhold om sommeren, før fuktinnholdet igjen stiger mot vinteren og synker på våren igjen. Det er to mekanismer som forårsaker dette:

- 1) Potensialet for diffusjon gjennom vindspærren øker om sommeren på grunn av høyere damptrykkgradient over vindspærren, og at dermed mer fukt diffunderer gjennom vindspærren på sommeren.
- 2) Høyere damptrykk i uteluften om sommeren i forhold til vinteren medfører at fukt i området like innenfor varm side av vindspærren diffunderer lenger innover i veggen i denne årstiden.

Nivået for trefukten ett år etter lukking tilsvarer omtrent fuktinnholdet ved lukking av konstruksjonen.

Figur 24 viser en liten uttørkingseffekt (minket fuktinnhold på 1-2 %) fra tidspunktet for overtakelse av boliger til år en og år to etter at huset ble overtatt. Dette tyder på at konstruksjonen var godt tørket ned før lukking og at det har vært lite byggfukt i veggen ved lukking.

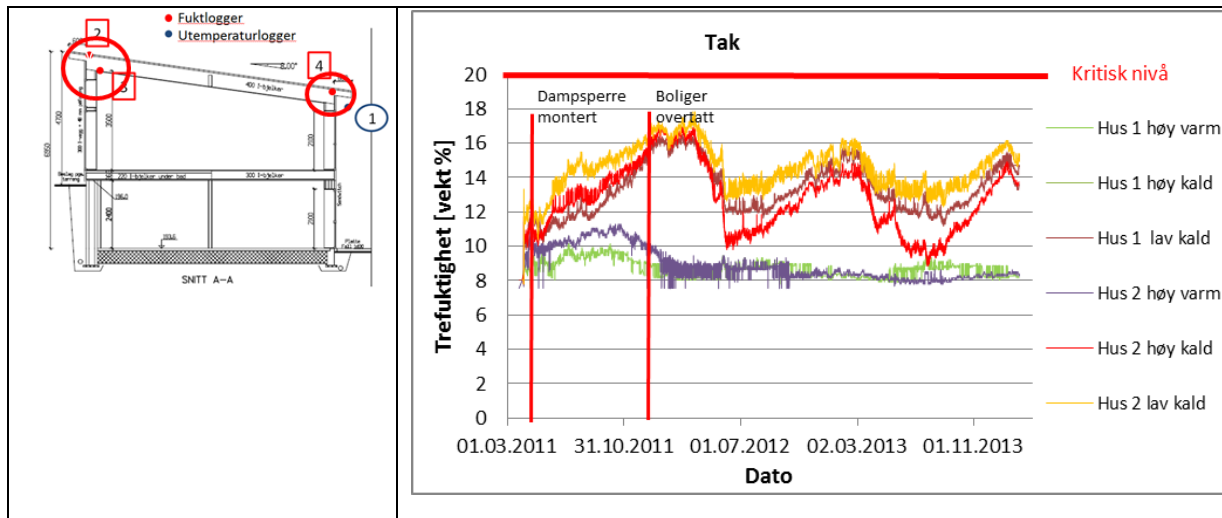
Figur 25 viser trefuktigheten i vekt-% for stender og bunnsvill plassert i 1. etasje på hus 1 og 2 gjennom to år. Veggen er bygd opp av 300 mm I-profiler med 48 mm innvendig påføring. Veggen som er instrumentert er orientert mot nordvest.



Figur 25: Plassering av fuktlogger og resultater trefuktighet i vegg av I-profiler i bunnsvill og stendere i hus 1 og 2 fra mars 2011 til februar 2014.

Som figur 25 viser, er trefuktigheten lav ved montering av trefuktloggerene og ved montering av dampspærre. Fuktinnholdet i stenderne og svillene er forholdsvis like. Resultatene viser omtrent samme trefuktinnhold ved montering og etter ett år. Trefuktigheten følger samme mønster for år to som for år en. De målte verdiene tyder på liten risiko for muggvekst.

Figur 26 viser resultater fra trefuktloggerene plassert i pulttakene på passivhusene. Taket består av 400 mm I profil-bjelker. Fuktloggerne på kald og varm side er plassert henholdsvis 10 mm fra undertaket samt 10 mm fra dampspærren. De to loggerne på kald side av konstruksjonen er plassert i toppen og bunnen av pulttaket. Loggeren på varm side av konstruksjonen er plassert i toppen.



Figur 26: Plassering av fuktlogger i taket og resultater trefuktighet i tak i hus 1 og 2 fra mars 2011 til februar 2014.

Resultatene viser at trefukten var forholdsvis lav ved montering av dampspærre. Trefuktloggerne på varm side (mot dampspærren) viser stabil lav trefuktighet i løpet av året. Ved undertaket øker trefukten utover vinteren på grunn av diffusjon av fukt mot kald side av konstruksjonen. På kald side av konstruksjonen varierer trefuktigheten mellom 10 og 17 vekt-%. Dette er verdier som ikke er kritiske med tanke på muggvekstpotensiale.



Konklusjonen er at målinger av trefukt i to ulike ytterveggskonstruksjoner samt tak i to passivhus beliggende på Rossåsen viser ukritiske verdier med tanke på muggvekstpotensial.

Værdata fra perioden under oppføring av råbyggene er vist i tabell 2. Værdata er fra målestasjonen Klepp som ligger ca. 10 km vest for Rossåsen.

	Hus 1 (17.01.11- 18.02.11)	Hus 2 (14.02.11- 18.03.11)	Normal januar (1961- 1990)	Normal februar (1961- 1990)	Normal mars (1961- 1990)
Nedbør Klepp (mm)	104,5	82,5	105	75	80

Tabell 2: Nedbørsmengder målt på Klepp under byggeperioden av hus 1 og 2.

Slik tabell 2 viser, har det falt en del regn i perioden fra oppstart byggearbeider til byggene var tettet. Nedbøren for hus 1 og hus 2 er beregnet ved å addere observerte nedbørsmengder i byggeperiode. Værdataene viser at mesteparten av nedbøren har falt som regn (plussgrader i perioder med nedbør). Lokale klimavariasjoner kan imidlertid føre til at mer av nedbøren har kommet som snø på byggeplassen. Beregnede nedbørsmengder for hus 1 og hus 2 har samme størrelsesorden som normalen for januar, februar og mars.

Våre måledata starter 1.april 2011. Det er omtrent seks uker etter at hus 1 var blitt ferdig vindtettet og to uker etter at hus 2 har blitt ferdig vindtettet. Det betyr at treverket var en del nedtørket før målingene startet.

Disse resultatene er interessant å se i sammenheng med utbyggerens framgangsmåte for å sikre en fuktsikker byggeprosess. Under byggingen ble det satt av to ekstra uker til uttørking av byggfukt før etablering av dampsperran (se også kap. 5.4). Resultatene fra målingene bekrefter at de i dette prosjektet lyktes med sin måte å sikre en fuktsikker byggeprosess.

## 7 Beboerundersøkelsen

### 7.1 Hovedmål

I dette kapitlet oppsummerer vi funn fra intervjuene med beboerne. Funn i forhold til opplevelse av innetemperatur og luftkvalitet drøftes nærmere i sammenheng med temperaturmålinger i kapittel 8 og 9.

#### Hovedmålene med beboerundersøkelsen er:

- Å kartlegge beboernes erfaringer med bruk av passivhus.
- Å vurdere hvordan samspillet mellom brukernes praksis, boligen og teknologien kan forbedres.
- Å tilføye informasjon til tidligere undersøkelser i forhold til opplevelse av termisk komfort, bruk av tekniske installasjoner og luftkvalitet.

### 7.2 Metode

I EBLE gjennomfører vi både intervjuer og målinger som skal belyse termisk komfort, luftkvalitet og energibruk fra et "subjektivt" brukerperspektiv og et "objektivt" perspektiv, dvs. målte verdier.

May (1993) beskriver intervjuer som en av de viktigste metodene i samfunnsvitenskapelig forskning. Formålet med intervjuer er å forske på personlige erfaringer og oppfatninger og er nyttige når man ikke forventer et entydig svar på et spørsmål. I EBLE stiller vi konkrete spørsmål og i tillegg får intervjupartnerne rom til å ta opp temaer som de er opptatt av. Intervjusituasjonen er fleksibel og fungerer som en samtale.

I Fjogstad-Husene ble fem av de totalt ni husholdningene intervjuet i mai 2013, fire av dem i eget hjem og én på telefon. Beboerne hadde på det tidspunktet bodd ca. ett år i husene. Én husholdning hadde nettopp flyttet inn og ble derfor ikke intervjuet. Tre husholdninger deltok ikke i undersøkelsen.

Beboerne har godkjent sitatene vi bruker i rapporten.

Forskningsspørsmålene i forbindelsen med brukerundersøkelsen er:

- Hvordan oppleves innklimaforhold (termisk komfort og luftkvalitet) i boligen?
- Hvordan bruker beboerne boligen og teknologien?
- Hvilken rolle spiller kunnskap og informasjon for bruk av huset?

#### *Analyse av intervjudata*

Analysen av intervjumaterialet ble gjennomført ved hjelp av inndeling av utsagn etter temaene innetemperatur, luftkvalitet, informasjon, tekniske løsninger, forventninger til passivhus, og interesse for miljøspørsmål. Denne inndelingen brukes også i følgende avsnitt. Funn fra intervjuene i forhold til innetemperatur og luftkvalitet vil bli beskrevet i detalj i sammenheng med innklimamålingene og energimålingene, kap. 8.4.2 og 10. For å kunne tolke og diskutere funnene kreves det også et innblikk i funn fra tidligere forskning.

## 7.3 Oppsummering av funn fra intervjuene

### 7.3.1 *Opplevd inneklima*

Opplevd termisk komfort er en viktig del av velvære og tilfredshet med boligen. Den norske standarden NS-EN 15251:2007 (Norsk Standard 2007) beskriver i innledningen at inneklima har innflytelse på helse, produktivitet og komfort for bygningens bruker. I den amerikanske ASHRAE standarden 55-2004 finner vi et avsnitt som har spesiell fokus på den individuelle opplevelsen av termisk komfort: "*tilstanden i sinnet som opplever tilfredshet med det termiske miljøet*". Denne beskrivelsen tydeliggjør hvor individuell opplevelsen av termisk komfort kan være.

Studier av beboeres tilfredshet med nye boliger på passivhusnivå viser til en stor grad at folk er fornøyd med boligen sin. Allikevel har det i flere prosjekter vært en del klager som går på termisk komfort (Thomsen *et al.* 2013; Hauge *et al.* 2011).

Når det gjelder opplevelsen av innetemperatur har vi funnet store forskjeller mellom beboerne i Fjogstad-husene. De fleste beboerne synes at det for det meste er behagelig innetemperatur, både om vinteren og om sommeren. To beboere mener at huset ikke klarer å holde på varmen om vinteren når det er minusgrader ute. En av disse opplever også kaldras fra de høye vinduene i stua og trekk langs gulvet. En beboer har installert ekstra varmekilde i tillegg til det som var planlagt fra utbyggeren. Om sommeren har alle opplevd noen varme dager, men kun én av de 5 som ble intervjuet syntes at overoppheting var et problem. Fire av beboerne sier at de lufte ut når det blir for varmt. Ingen har installert utvendig solavskjerming, noe som ville ha bidratt til temperaturregulering om sommeren.

Flere av beboerne uttrykte ønske om å ha ulik temperatur i ulike rom. I et av husene hadde beboerne tettet igjen ventilene til soverommet, og de luftet døgnet rundt for å ha et kaldt soverom.

I kapittel 8.2.2 ser vi nærmere på sammenhengen mellom innetemperaturmålinger og beboernes opplevelse av termisk komfort.

Beboerne i Fjogstad-Husene er stort sett fornøyd med opplevd luftkvalitet i passivhusene. Beboerne var spesielt fornøyd med luftkvaliteten om sommeren. Noen opplevde luften delvis som tørr om vinteren, noe som samsvarer med funn fra andre studier (Thomsen & Berge, 2012). Frisklufttilførselen gjennom ventilasjonsanlegget opplevdes som veldig bra, og de fleste beboerne har følgelig mindre behov for vindusventilering enn i tidligere boliger.

I kapittel 8.2.4 ser vi nærmere på sammenhengen mellom målte verdier av relativ fukt og beboernes opplevelse av luftfuktighet.

### 7.3.2 *Informasjon om huset og tekniske løsninger*

Informasjon og kunnskap om hvordan hus og teknologien fungerer er i tidligere studier utpekt som viktige faktorer for brukernes tilfredshet og komfortopplevelse. Brukere er tydelig mindre fornøyd med huset sitt når de ikke forstår en teknisk installasjon eller ikke kan kontrollere den (Leaman & Bordass, 2007; Nicol & Roaf, 2005; Brager & deDear, 1998).

I Fjogstad-Hus prosjektet var beboerne fornøyd med informasjonsformidlingen. Flere fikk personlig opplæring og alle fikk et informasjonsblad. Noen beboere foreslår å fokusere mer på personlig formidlet informasjon i framtidige prosjekter. En beboer tilføyer også at de ønsket seg mer informasjon om passivhus generelt, slik at de hadde forstått det grunnleggende med passivhuskonseptet. De foreslår å lage en informasjons-CD i framtidige prosjekter som er organisert etter temaer, så kan brukerne velge ut temaene de vil vite mer om. De tror at denne typen informasjon er lettere tilgjengelig enn et informasjonsblad. De mener det kan være en fordel å bruke enkel formidling når man vil nå alle beboere i husholdningen.

Minst en person i hver husstand i dette prosjektet hadde satt seg inn i bruk av teknologien i huset. At beboerne i Fjogstad-Husene forstår bruken av systemene, er allikevel ikke ensbetydende med at de er fornøyde med de tekniske løsningene.

### **7.3.3 Bruk av tekniske løsninger**

Subjektive faktorer som forventninger til f.eks. ventilasjonsanlegget, samt det å ha kontroll over omgivelsene, kan ha stor innvirkning på opplevelse av komfort. Brukerne er ofte mer misfornøyde når de ikke kan velge forskjellige nivåer på oppvarming, lufttilførsel eller styring av solavskjermingen (Brager & deDear, 1998; Nicol & Roaf, 2005).

Funnene våre samsvarer i stor grad med funn fra ovennevnte studier. Trinnvis regulering av radiatoren i Fjogstad-Husene anses som for lite nyansert og "gammeldags". Flere beboere ønsket å ha en termostat hvor de lettere kunne regulere temperaturen. De uttrykte også ønske om å kunne regulere temperaturen for hvert enkelt rom, og spesielt på soverommet. Siden temperaturen ikke kunne reguleres slik de ønsket, fant beboerne på egne løsninger for å tilpasse komforten etter sine behov. For eksempel hadde beboerne i ett hus tettet igjen ventilen til soverommet og latt vinduet være åpent døgnet rundt.

Studier av termisk komfort i andre passivhusprosjekter beskriver også at brukerne finner på løsninger når de oppfatter innetemperaturen som ubehagelig. Løsningene står ikke nødvendigvis i tråd med husets konsept og ønsket om energibesparelse, men har primært som mål å gjenopprette personlig komfort (Nicol & Roaf, 2005).

To beboere i Fjogstad-Hus prosjektet mente at varmeløsningen utbyggeren hadde valgt ikke fungerte optimalt, da de opplevde at det var kaldt om vinteren og de ikke hadde nok muligheter for justering. De uttrykte også ønske om gulvvarme for å motvirke kaldt gulv, spesielt i 1. etasjen.

I tre hus har leverandøren av varmeløsningen rettet opp feil eller byttet ut deler i ettertiden. I et hus byttet de ut deler i viftekonvektoren, i et annet hus ble det satt inn ny radiator med termostat, og i et tredje hus økte de effekten for varmepumpen ved å skifte ut deler. Etter disse justeringene ble beboerne mer fornøyde med oppvarmingssystemet, noe som bekreftes i en oppfølgingsmail i januar 2014.

Støy fra tekniske installasjoner er nevnt av to beboere som sjenerende. I Hus 1 valgte de for eksempel å holde lufthastigheten på et lavt nivå for at de syntes at ventilasjonsanlegget bråkte for mye ved høyere lufthastighet. De syntes også at viftekonvektoren lagde for mye lyd når den gikk på et høyt nivå.

### **7.3.4 Forventninger til passivhus**

Alle beboerne hadde høye forventninger til passivhus, spesielt fordi husene var nye. Energistandarden var ikke hovedgrunnen for huskjøpet. Kriteriene for huskjøp som Fjogstad-Hus beboerne nevner var: *bra design, utforming og detaljer, høy komfort, samt lave strømmregninger og beliggenhet*. Andre studier viser også at energistandarden ikke er et hovedargument for huskjøpet (Hauge *et al.*, 2011).

### **7.3.5 Interesse for miljøspørsmål**

I andre studier har noen brukere blitt mer opptatt av miljøspørsmål relatert til energieffektive løsninger etter at de har tatt i bruk et miljøvennlig hus. I disse studiene var brukerne som regel involvert i byggeprosessen, noe som gav dem innblikk i temaet og som kan være en grunn hvorfor de ble mer interessert i miljøhensyn (Thomsen *et al* 2013). I Fjogstad-Hus prosjektet har husets energieffektivitet tilsynelatende ikke noen stor innvirkning på beboernes interesse for miljøspørsmål. Energisparing var en bonus de fikk med på kjøpet. Ingen av de som ble intervjuet ser på seg selv som spesielt opptatt av miljøet.

## 8 Termisk inneklima

### 8.1 Hensikt

Lufttemperatur er en vanlig parameter som nyttes for å beskrive de termiske omgivelsene. Forutsatt ingen strålingskilder i rommet kan tørrkuletemperaturen legges til grunn. Med store strålingskilder til stede er det mer hensiktsmessig å nytte den operative temperaturen som mål. Den operative temperaturen er definert som middelverdien av lufttemperaturen og middelstrålingstemperaturen, veid med respektive varmeovergangstall for konveksjon og stråling (NTNU SINTEF 2007). Operativ temperatur kan måles med et globetermometer, men måleutstyret er forholdsvis kostbart.

I Fjogstad-Husene har vi kun målt tørrkuletemperatur som en del av det termiske miljø, og relativ fukt (RF), som også påvirker opplevelsen av termisk komfort. Vi har ikke foretatt målinger av lufthastighet, CO<sub>2</sub> eller temperaturstråling.

Hensikten med målingene i Fjogstadhusene var å:

- Kartlegge hvordan inneklima-parametrene temperatur og fuktinnhold varierer gjennom året.
- Vurdere målt lufttemperatur og relativ fuktighet opp mot opplevd inneklima som er rapportert av beboerne.

### 8.2 Krav til termisk inneklima

TEK'10 stiller følgende krav til termisk inneklima: *"Termisk inneklima i rom for varig opphold skal tilrettelegges ut fra hensyn til helse og tilfredsstillende komfort ved forutsatt bruk."*

Utdrag fra veiledningen til TEK'10 utdyper dette med følgende anbefalinger: § 13-4, se Tabell 3.

<i>Aktivitetsgruppe</i>	<i>Lett arbeid</i>	<i>Middels arbeid</i>	<i>Tungt arbeid</i>
<i>Temperatur °C</i>	<i>19-26</i>	<i>16-26</i>	<i>10-26</i>

Tabell 3: Anbefalte verdier for operativ temperatur (samlet virkning av lufttemperatur og termisk stråling).

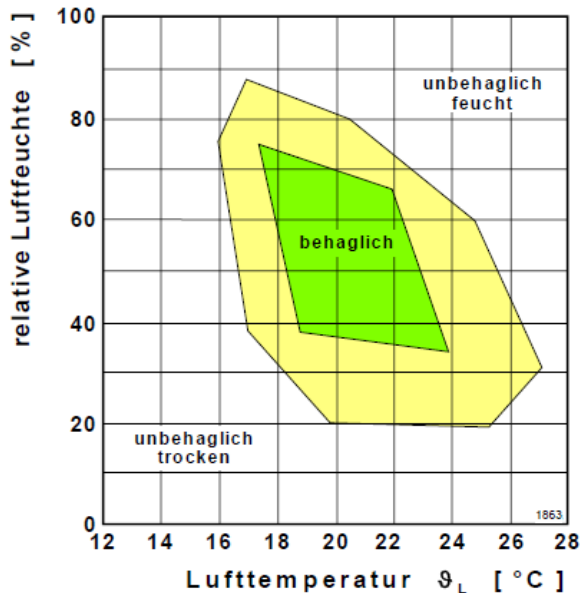
Ut i fra beskrivelsen av lett, middels og tungt arbeid er det tydelig at veiledningen er laget spesielt med tanke på yrkesbygg. Med tanke på boliger er det anbefalingen for lett arbeid som vanligvis legges til grunn for komfortabel innetemperatur. Videre står det i veiledningen at den laveste grensen alltid burde kunne overholdes. Definisjonen er litt mer flytende når det gjelder den høyeste temperaturen:

*"På dager med høy utetemperatur er det vanskelig å unngå at temperaturen innendørs blir høyere enn de anbefalte verdier. Overskridelse av den høyeste grensen bør derfor kunne aksepteres i varme sommerperioder med utelufttemperatur over den som overskrides med 50 timer i et normalår (se meteorologiske statistiske data for maksimaltemperaturer)."*

Anbefalingen er mer fleksibel for boliger:

*"For boligbygning uten installert kjøling bør noe høyere innetemperatur kunne aksepteres i korte perioder. Dette begrunnes med at boligbygninger har et bruksmønster som gir brukeren større personlig påvirkning og mulighet til å tilpasse seg høy innetemperatur, f.eks. ved lettere bekledning og gjennomlufting i oppholdssonen." (DiBK, 2013).*

Opplevelse av innelima er også avhengig av nivået på relativ fukt i inneluften. SINTEF Byggforsk anvisning 421.510 anbefaler at den relative fuktigheten innendørs om vinteren bør ligge i området 20–40%. En oppsummering av forskjellige internasjonale studier som omhandler luftkvalitet i passivhus definerer 30% relativ fuktighet som en nedre grense (Thomsen & Berge, 2012). Hinnen (2008) viser et komfortdiagram som setter opplevd komfort i sammenheng med temperatur og relativ fukt. Diagrammet illustrerer at overgangen mellom opplevd komfort og ubehag er glidende, og at 20 % er den nederste grensen, se figur 27.



Figur 27: Termisk komfort som en funksjon av temperatur og relativ fukt (Hinnen 2008).

Luftfuktigheten innendørs henger også tett sammen med luftfuktigheten utendørs. Luftfuktigheten er lavere om vinteren. I tillegg reduserer høyt luftskifte i boligen også luftfuktigheten.

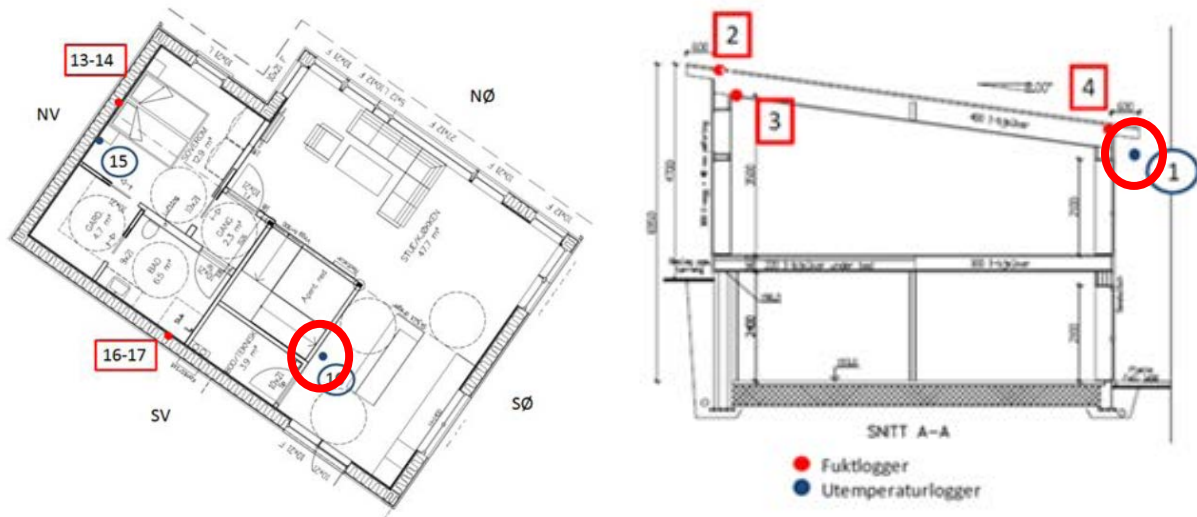
### 8.3 Metode for målinger av temperatur og relativ fuktighet

#### *Utstyr og instrumentering*

Alle de 9 husene er instrumentert for å måle temperatur og relativ fuktighet (RF) i inneluften i stue/kjøkken beliggende i 2. etasje i husene. Det er valgt et system levert av Hygrotrack som består av en mottaker og små loggere, tilsvarende loggerne brukt for trefuktighetsloggingen.

Usikkerheten i målingene er oppgitt av produsenten til  $\pm 2,5\%$  i måleområdet fra 10-90 % RF og  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ved  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  (GE, 2006).

Loggerne er plassert i avtrekkskanal i stue/kjøkken som vist med rød sirkel på figur 28. Avtrekkskanalen er plassert på veggen ved tak. Utetemperaturlogger er plassert under raft på ett av husene som vist med rød sirkel på Figur 29. Loggeren er plassert på vegg orientert mot nordøst.



Figur 28: Rød sirkel angir plassering av logger i avtrekkskanal i stue/kjøkken. Figur 29: Rød sirkel angir plassering av logger for utetemperatur.

Vi har kun data for lufttemperatur i avtrekkskanal i stue/kjøkken på boligene. Avtrekksventilen er plassert høyt oppe på vegg inne på kjøkkendel av stue. Måleverdiene kan dermed antas å representere den varmeste delen av stue/kjøkken og kan kun brukes til å gi en indikasjon for termisk komfort målt i luftlag under taket. Det kan forventes lavere temperatur 1.2 m over gulvet (se også kap. 8.4). For å kunne vurdere den termiske komforten ut fra lufttemperaturen må en gjøre antagelser hva angår lufthastighet og overflatetemperatur ettersom vi ikke har data for operativ temperatur.

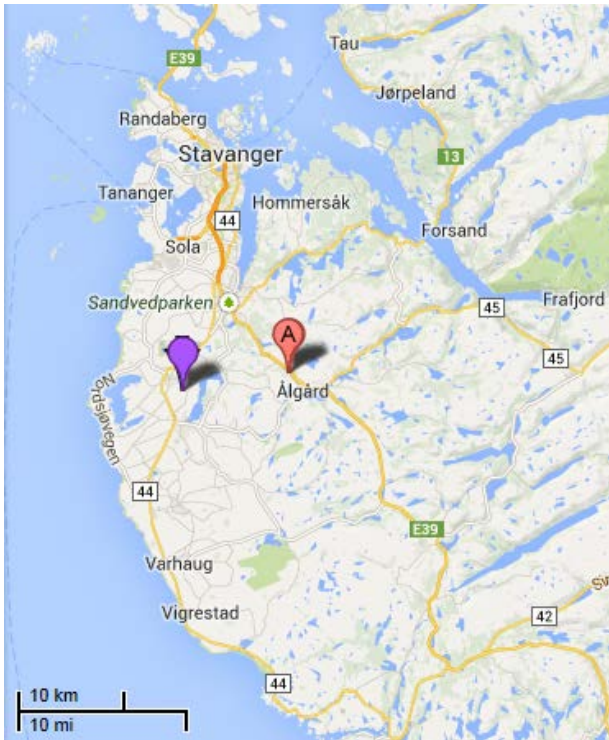
Vi har valgt å studere en måleperiode på ett år fra 01.06.2012. Alle hus unntatt hus 4 var bebodd fra sommeren 2012.

For å undersøke temperaturforskjellen mellom avtrekks- og oppholdssone ble det installert små temperaturloggere i underkant stuebord i 60 cm høyde over gulvet i to av enhetene. Loggerne var utplassert i 8 måneder fra september 2013 til april 2014.

#### *Målinger av utetemperatur*

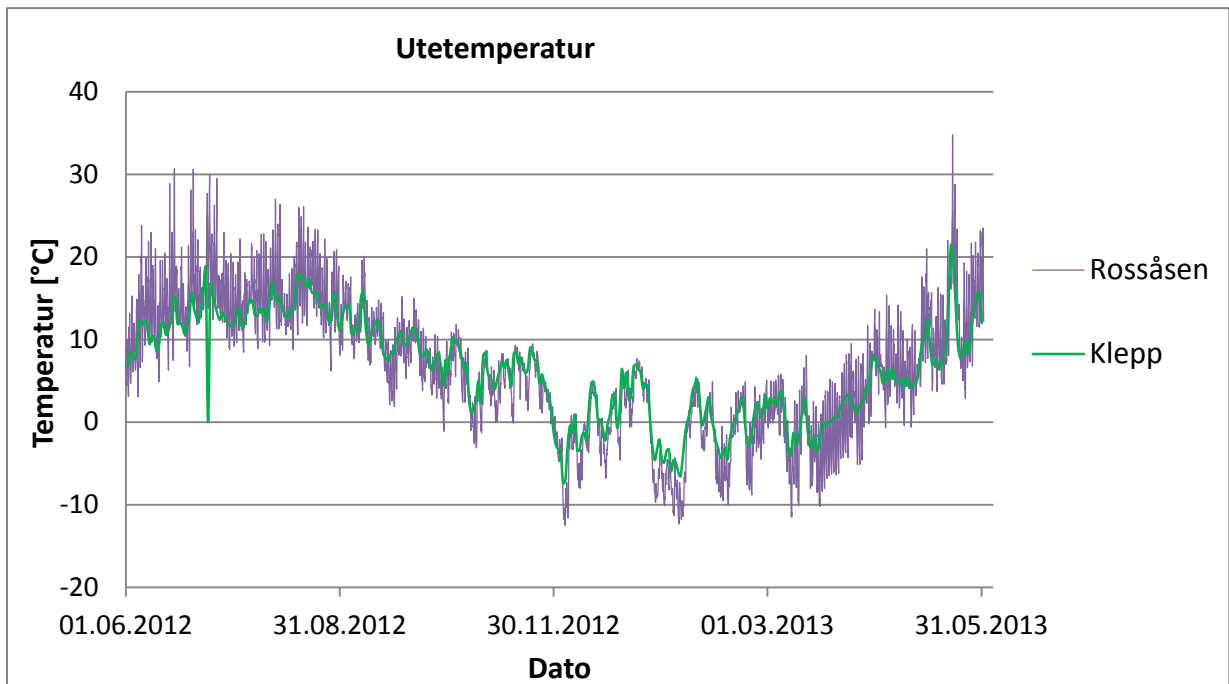
For å kunne se innetemperatur i forhold til utetemperatur ble det også målt utetemperatur for Rossåsen. Måledataene våre sammenlignes med de meteorologiske måledata fra målestasjonen på Klepp.

Figur 30 viser plassering av den meteorologiske målestasjonen Særheim beliggende på Klepp (lilla nål) i forhold til boligfeltet beliggende på Rossåsen (rød nål).



Figur 30: Klepp (Særheim) målestasjon er plassert ca 10 km vest for Rossåsen.

Figur 31 viser timesverdier for utetemperatur på Rossåsen i måleperioden fra 01.06.2012 til 01.06.2013 samt middeltemperatur over døgnet for Klepp målestasjon for samme måleperiode.



Figur 31: Timesverdier for utetemperatur på Rossåsen i måleperioden, samt middeltemperatur over døgnet for Klepp målestasjon fra 01.06.2012 til 01.06.2013.



Dataene for Klepp målestasjon er middeltemperatur over døgnet. Dataene fra Rossåsen er timesverdier og dermed mer detaljerte. Noe av årsaken til de ulike måleverdiene i høst- og vårperioden kan skyldes dette. I vinterhalvåret (fra september til mars) er det liten forskjell i dataene. I perioden fra juni 2012 til september 2012 er temperaturene på Rossåsen jevnt over høyere enn målestasjonen på Klepp. Det er også store variasjoner over døgnet for dataene fra Rossåsen. Dette kan tyde på at måleren er utsatt for oppvarming fra sola. Loggeren er plassert under raft på fasade orientert mot nordøst. Fasaden har en mørk farge som vil absorbere solvarme, noe som kan påvirke loggeren.

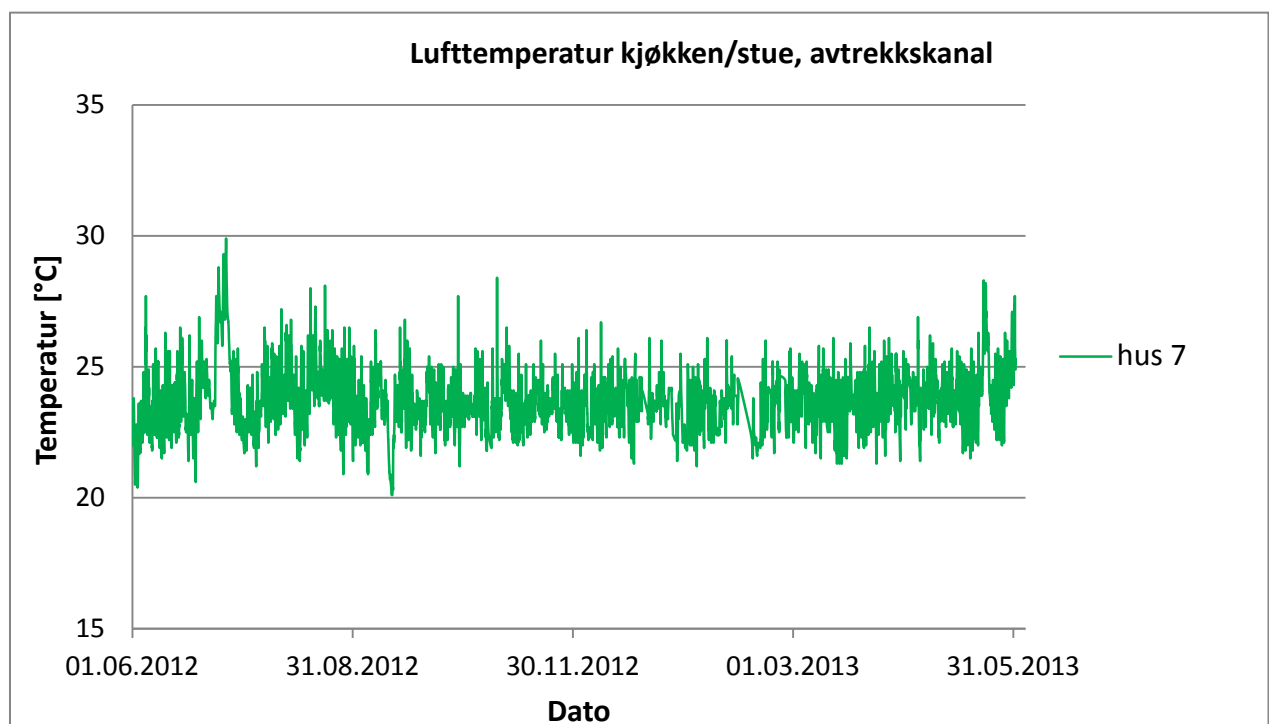
Dipp i kurve for Klepp målestasjon den 06.07.2013 skyldes manglende måledata for middeltemperatur for denne dato. Beregnet gjennomsnittlig temperatur over året for Rossåsen er 6,4 °C. Årsmiddeltemperaturen for normalperioden 1971 – 2000 for Sola og Klepp er henholdsvis 7,8 °C og 7,7 °C (SINTEF, 2012).

## 8.4 Resultater, termisk inneklima

### 8.4.1 Innetemperatur

Lufttemperaturen over hele året for ett av husene vises i figur 32. Målingene i hus 7 er et typisk eksempel for innetemperaturen i de ulike husene over året. Temperaturvariasjoner i de ulike husene over noen korte utvalgte perioder vises senere i kapitlet. Forskjeller mellom husene vises bedre i korte perioder, derfor er det bare vist ett eksempel for hele året.

Figur 32 viser timesverdier for innetemperatur i hus 7 i kjøkken/stue i måleperioden fra 01.06.12 til 01.06.2013.



Figur 32: Innetemperatur i avtrekkskanal stue/kjøkken for hus 7 for måleperioden 01.06.2012-01.06.2013.

Målingene viser temperaturen i avtrekkskanal i hus 7 over en måleperiode på ett år. Målingene viser en forholdsvis stabil innetemperatur over året. Høyeste innetemperatur (29,9 °C) er registrert 08.07.2012 kl 18:00. Dette var en periode med høy utetemperatur. Laveste temperatur (20,2) er

registrert den 16.09.2012 kl 02:00. For Hus 7 har en målt gjennomsnittlig temperatur over året på 23,7 °C.

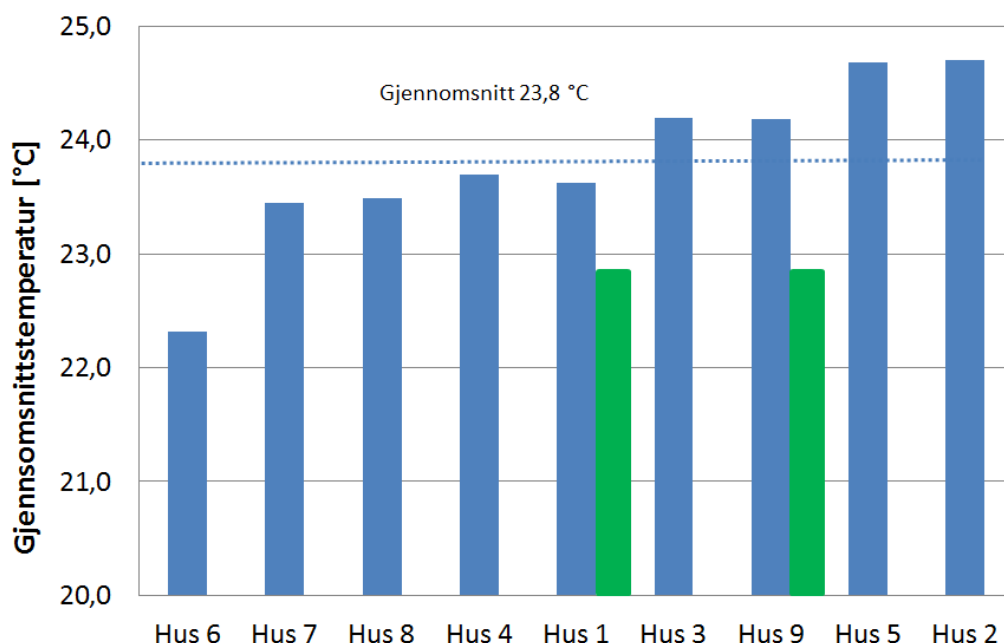
Tabell 4 viser gjennomsnittlig innetemperatur for hver måned i perioden fra juni 2012 til mai 2013 i de 9 husene i avtrekk på stue/kjøkken.

		Hus 1	Hus 2	Hus 3	Hus 4	Hus 5	Hus 6	Hus 7	Hus 8	Hus 9
2012	juni	23,3	24,7	24,2	23,8	24,0	22,0	23,4	24,9	24,3
	juli	23,5	24,8	25,0	23,7	24,4	22,8	24,3	25,6	23,9
	august	23,7	25,0	24,4	24,1	23,7	22,7	24,2	25,1	23,3
	september	20,5	23,5	23,3	19,9	23,8	21,3	23,2	23,5	21,9
	oktober	22,4	23,2	24,1	17,4	23,6	22,1	23,5	23,3	23,1
	november	22,3	23,6	24,0	16,0	24,6	22,2	23,4	23,3	22,4
	desember	22,6	23,8	22,3	18,9	25,1	21,2	23,4	23,2	21,5
2013	januar	22,7	23,7	23,1	20,3	24,4	20,9	23,4	23,2	22,2
	februar	23,0	24,2	23,3	21,4	25,0	21,8	23,6	23,4	23,4
	mars	23,6	23,8	22,1	20,6	24,6	21,5	23,4	23,9	24,1
	april	24,4	23,7	22,8	20,8	24,8	21,5	23,9	23,7	24,9
	mai	24,9	24,5	23,6	23,4	25,3	22,3	24,1	24,7	26,7
	<b>årgjennomsnitt</b>	<b>23,1</b>	<b>24,0</b>	<b>23,5</b>	<b>20,9</b>	<b>24,4</b>	<b>21,9</b>	<b>23,7</b>	<b>24,0</b>	<b>23,5</b>
	gj.sn. april - sep.	23,4	24,4	23,9	22,6	24,3	22,1	23,9	24,6	24,2
	gj.sn. okt.-mars	22,8	23,7	23,2	19,1	24,6	21,6	23,5	23,4	22,8

Tabell 4: Gjennomsnittlig innetemperatur for hver måned i perioden fra juni 2012 til mai 2013 i de 9 husene.

Gjennomsnittlig innetemperatur over året for de 9 husene er 23,2 °C. Gjennomsnittstemperaturen om vinteren okt.-mars ligger litt lavere i de fleste husene enn gjennomsnittstemperaturen om sommeren. Hus 4 har den laveste gjennomsnittlige temperaturen over året. En årsak til dette er at huset har vært ubebodd fra juni 2012 – mai 2013. Hus 5 har den høyeste gjennomsnittlige innetemperaturen på 24,4 °C.

Blå søyler i figur 33 viser gjennomsnittlig temperatur i perioden fra september 2013 til april 2014 målt i avtrekket på kjøkkenet i de ulike husene. Grønne søyler viser gjennomsnittlig temperatur i samme periode målt i 60 cm høyde over gulvet under stuebord.



Figur 33. Gjennomsnittlig temperatur målt i avtrekkskanal (blå søyler) og under stuebord (grønne søyler) i perioden september 2013 til april 2014.

Blå søyler i Figur 33 viser gjennomsnittstemperaturen målt i avtrekket i en 8 måneders periode fra september 2013 til april 2014. Grønne søyler viser gjennomsnittstemperaturen for to av husene i samme periode under stuebord i 60 cm høyde over gulvet. Som forventet er temperaturen noe lavere nede ved gulv sammenlignet med oppe vedtak. Forskjellen i gjennomsnittstemperatur er henholdsvis 0,8 og 1,4 °C for hus 1 og hus 9.

Tabell 5 viser antall timer med temperatur over 26 grader i sommersesongen, det vil si i tidsrommet 01.06.2012 – 30.09.2012 samt 01.04.2013 - 31.05.2013 for de 9 husene. Antall registrerte timer angir størrelsen på datasettet for de ulike husene.

	Hus 1	Hus 2	Hus 3	Hus 4	Hus 5	Hus 6	Hus 7	Hus 8	Hus 9
Timer over 26 grader	255	446	282	130	536	115	280	801	266
Antall registrerte timer	4368	8489	7363	3021	7657	7517	7225	8148	3444

Tabell 5: Antall timer med innetemperatur over 26 grader i sommersesongen 01.06.12-30.09.12 samt 01.04.13-31.05.13.

I samtlige av de 9 husene overstiger temperaturen 26 °C et betydelig antall timer i året. Hus 2, 5 og 8 skiller seg ut med flest antall timer over 26 grader. Hus 9 har ca. 25 % mindre registrerte timer enn de øvrige husene. Som tidligere nevnt definerer TEK'10 unntak for temperatur over 26 °C i bolighus uten installert kjøling, hvor noe høyere innetemperatur kan aksepteres i korte perioder. Det begrunnes med at i boliger har beboerne personlige påvirkningsmuligheter. De kan tilpasse påkledning eller lufte ut. Dersom det er gjennomført passive tiltak som for eksempel utvendig solavskjerming, åpningsbare vinduer eller redusert vindusareal i solbelastete fasader, antar man også at krav til termisk inneklima kan oppfylles (DiBK, 2013).

Tabell 6 viser antall timer med temperatur under 19 grader i vintersesongen, det vil si i tidsrommet 1.10.12 – 31.03.13 for de 9 husene.

	Hus 1	Hus 2	Hus 3	Hus 4	Hus 5	Hus 6	Hus 7	Hus 8	Hus 9
Timer under 19 grader	0	0	94	0	38	95	0	0	4
Antall registrerte timer	8709	8489	7363	3021	7657	7517	7225	8148	3444

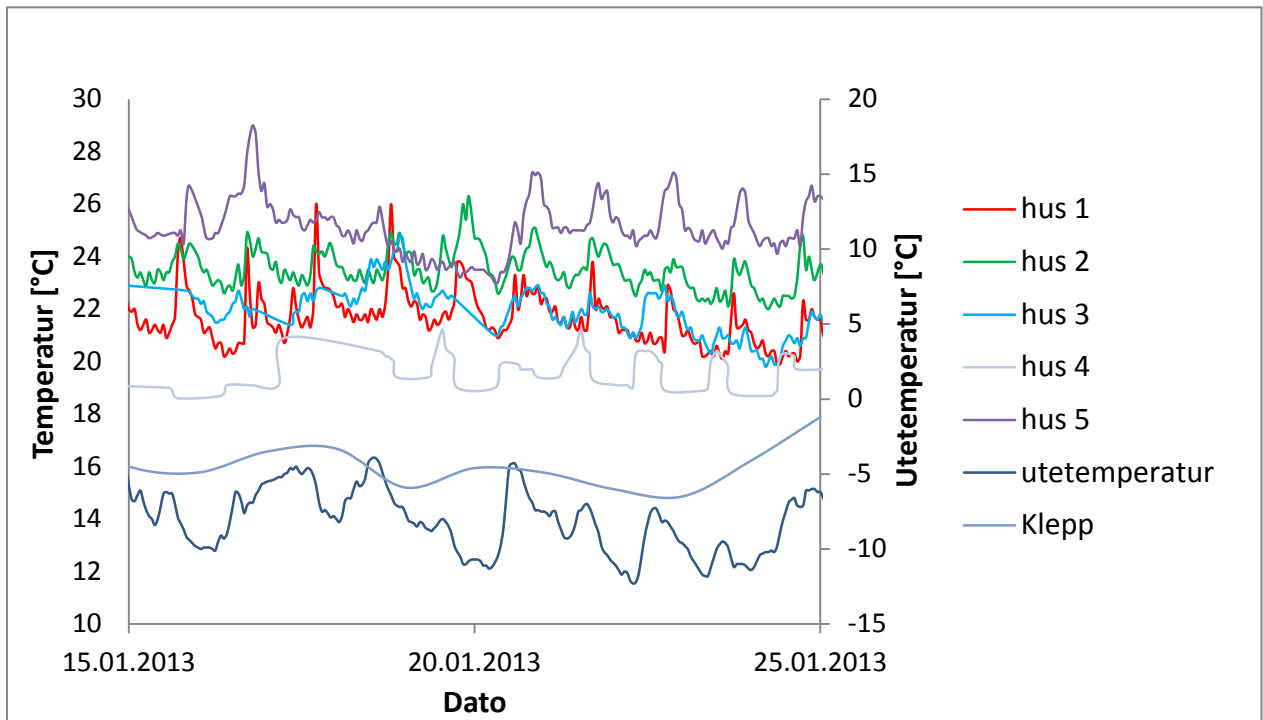
Tabell 6: Antall timer med temperatur under 19 grader i tidsrommet 01.10.12-31.03.13.

I hus 3, 5, 6 og hus 9 er temperaturen i perioder under 19 °C. Noen av disse timene kan være perioder der beboeren ikke er hjemme og har justert ned oppvarmingen.

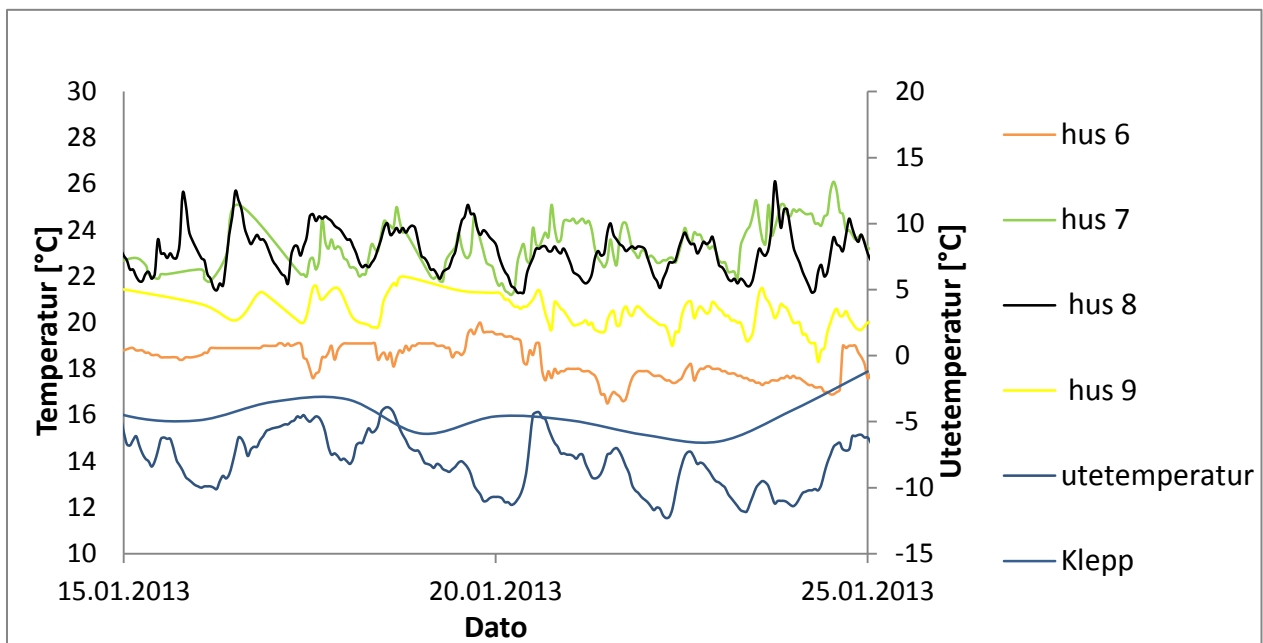
Ut i fra gjennomsnittstemperaturen per måned kan vi ikke se om det er store variasjoner over døgnet eller om innetemperaturen varierer med utetemperaturen. Gjennomsnittsmålinger kan heller ikke forklare hvorfor noen beboere er mer fornøyde enn andre. Gjennomsnittsmålingene gir et bilde som tilsier at husene på årsbasis holder en høy og relativ jevn temperatur.

I det følgende avsnitt skal vi se på innetemperaturen i noen utvalgte perioder om vinteren og om sommeren. Målet er å se på variasjon av innetemperaturen over døgnet og sammenheng mellom ute- og innetemperaturen. Figurene viser også forskjellen mellom de enkelte husene og kan brukes for å se på målte verdier sammenlignet med beboernes opplevelse.

Figur 34 og figur 35 viser timesverdier for innetemperatur i stue/kjøkken i hus 1-5 og hus 6-9, samt utetemperatur i en kuldeperiode fra tirsdag 15.01.2013 til fredag 25.01.2013. Utetemperaturen for Klepp er døgnmidlet.



Figur 34: Timesverdier for innetemperatur i avtrekkskanalen i stue/kjøkken i hus 1-5 samt utetemperatur i en kuldeperiode fra 15.01.2013 – 25.01.2013.

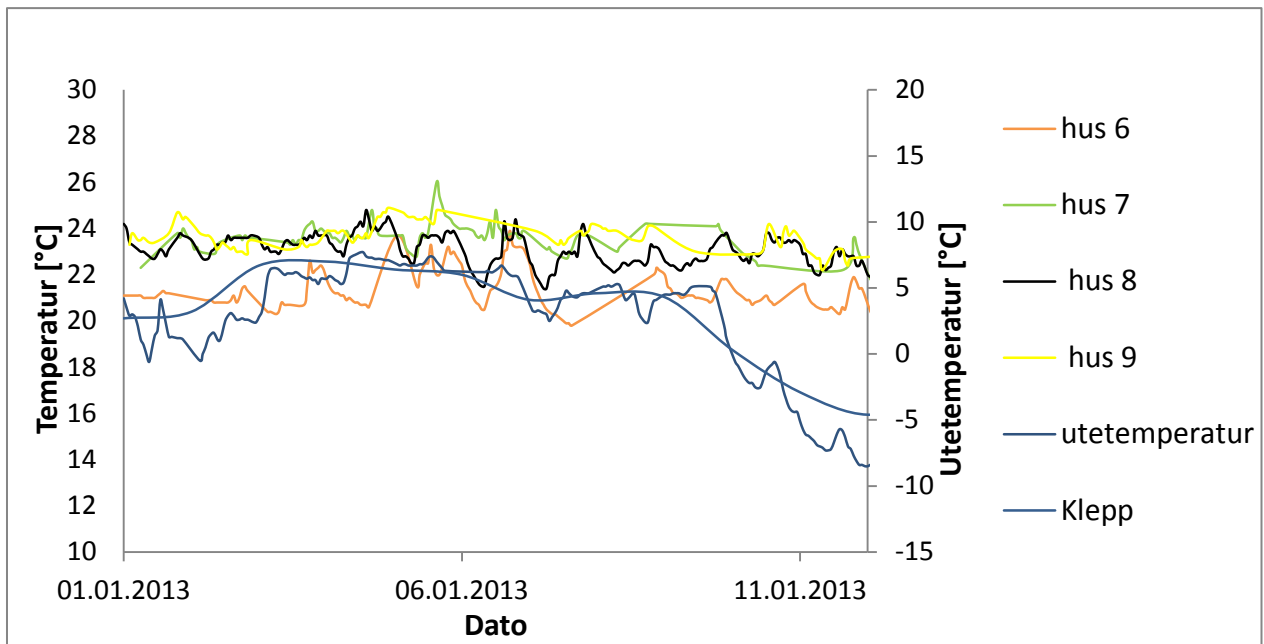


Figur 35: Timesverdier for innetemperatur i stue/kjøkken i hus 6-9 samt utetemperatur i en kuldeperiode fra 15.01.2013 – 25.01.2013.

Figur 34 og 35 viser liten sammenheng mellom utetemperatur og innetemperatur. Alle hus unntatt hus 4 og 6 har en innetemperatur mellom 20 og 29 °C i perioden. Hus 4, som har vært ubebodd i perioden, har en innetemperatur mellom 19 og 21 °C. Temperaturen i dette huset er typisk lavest på natta og høyest på formiddagen. Dette kan delvis ha sammenheng med soloppvarming. For de fleste

husene varierer innetemperaturen i perioden mellom 20 og 24 °C. Diagrammene viser en forskjell i innetemperatur over døgnet på 2-4 grader. Det er lavere temperatur på natten og på dagtid i ukedagene når de fleste beboerne er på jobb. De høyeste temperaturene opptrer på ettermiddag og kveldstid når beboerne ofte er hjemme. Lav temperatur samt lite variasjon i temperaturen over døgnet for hus 6 kan tyde på at beboerne var bortreist i perioden. Også hus 9 har en gjennomgående litt lavere temperatur i denne perioden enn de andre husene.

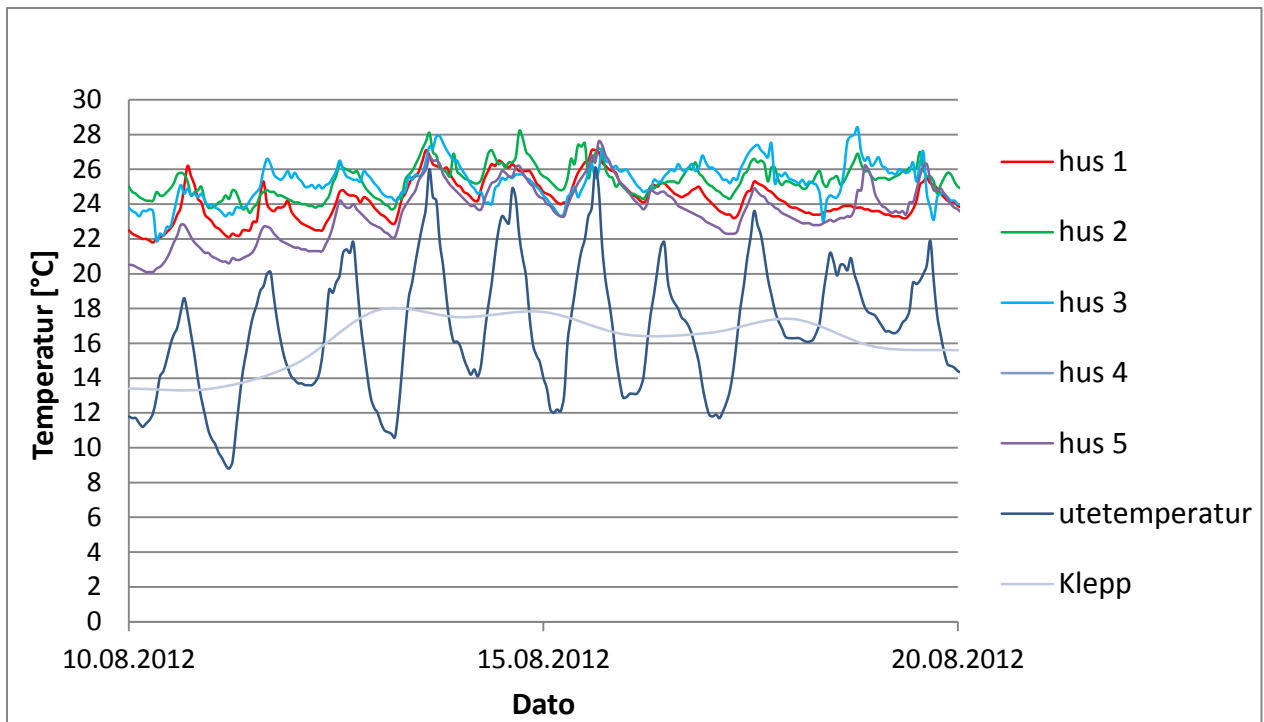
For å undersøke om trenden spesielt med tanke på hus 9 og 6, er generell for en vintersituasjon, ble en annen vinterperiode undersøkt, se figur 36.



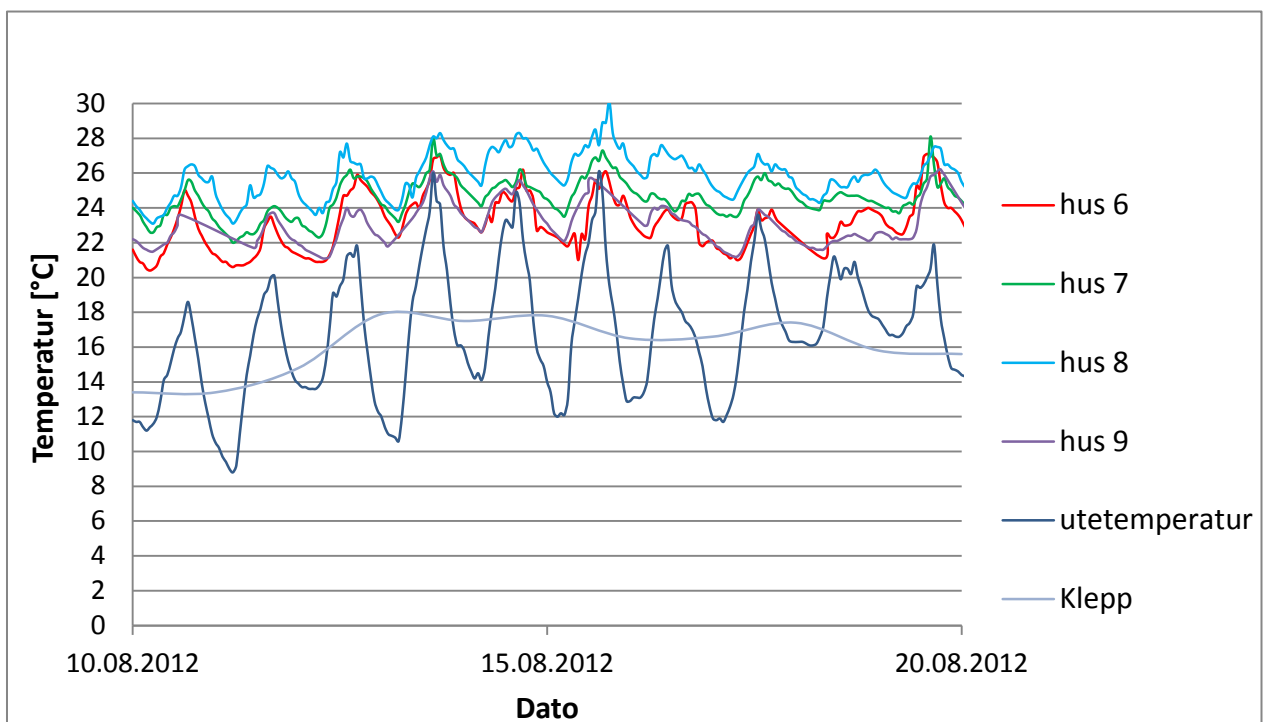
Figur 36: Timesverdier for innetemperatur i stue/kjøkken i hus 6-9 samt utetemperatur i perioden fra 01.01.2013-12.01.2013.

Utetemperaturen varierte i denne perioden fra +7 til -9 °C. Figur 36 viser lav inntemperatur for hus 6 også i denne perioden. Dette gjenspeiler også den laveste gjennomsnittstemperaturen over året som ble målt i hus 6 (bortsett fra ubebodd hus 4). Temperaturen i de øvrige husene ligger i området 22- 23 °C. Hus 9 samsvarer godt med de andre husene i denne perioden. Hus 9 har også lignende gjennomsnittstemperatur som de andre husene, noe som kan tyde på at vinterperioden 15.-25.01.13 var et unntak.

Figur 37 og 38 viser timesverdier for temperatur i avtrekkskanal for stue/kjøkken i hus 1-5 og 6-9, samt målt utetemperatur på tomten i en varm periode fra 10.august 2012 til 20. august 2012.



Figur 37: Timesverdier for innnetemperatur i avtrekkskanalen for stue/kjøkken i hus 1-5, samt utetemperatur i en periode med høy utetemperatur fra 10.08.2012-20.08.2012.



Figur 38: Timesverdier for innnetemperatur i avtrekkskanalen i stue/kjøkken i hus 6-9, samt utetemperatur i en periode med høy utetemperatur fra 10.08.2012-20.08.2012.

Som figur 38 viser, er temperaturen i avtrekksluften mellom 24 og 28 °C for den varmeste perioden (fra 14.august til 16.august). Dette er ca. 4 grader varmere enn i vinterperioden.

Innetemperaturen er ikke spesielt mye høyere i måleperioden selv på de dagene vi målte "utetemperatur" over 25 °C. Døgnmiddeltemperaturen målt på Klepp var i samme periode om lag 18 °C. Hus 8 har flest målte timer over 26 °C, noe som også gjenspeiles i måleperioden i august 2012.



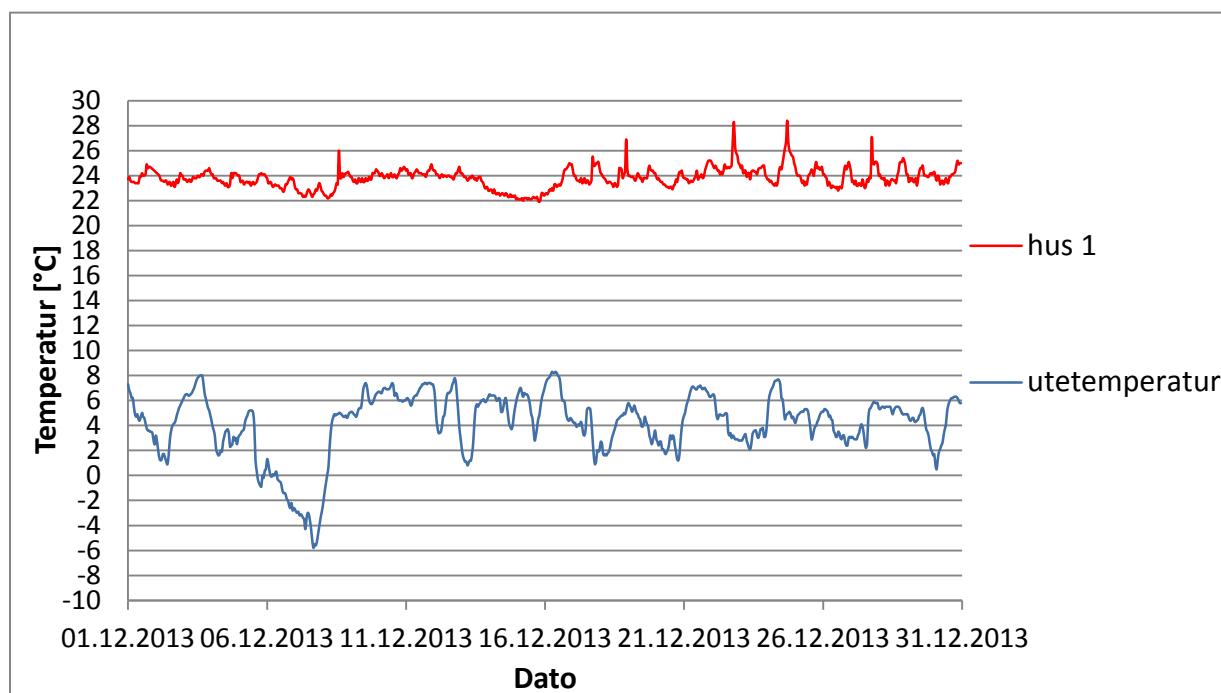
Innetemperaturen i husene i sommerperioden varierer også mindre enn innetemperaturen i vinterperioden.

#### 8.4.2 Beboernes opplevelse av innetemperatur sammenlignet med måleresultater

Beboerne i **hus 1** opplever at det er kaldt om vinteren og sier at de ikke klarer å varme opp huset når det er minus 10 grader ute. Beboeren forteller også at temperaturen ikke er jevn fordelt i huset og på overflatene. Har man vært bortreist er det kaldt i huset, spesielt i 1. etasjen, og det tar tid å varme det opp. Variasjonen i gjennomsnittstemperaturen for dette huset på 4,5 °C er høy (tab.3). Målinger av innetemperaturen i en kuldeperiode viser at innetemperaturen i hus 1 varierer mellom 20 og 26 °C (fig. 34), og variasjonen over døgnet er ganske stor med opp til 5 grader og lavest temperatur om morgenen. Toppene i kurvene viser innetemperaturen om kvelden. En av beboerne i hus 1 jobber delvis hjemme, og lav temperatur om morgenen kombinert med stillesittende kontorjobb kan forklare at det oppleves som kaldt i boligen før den varmes opp. På den andre siden kunne man også anta at en person som delvis jobber hjemme bidro til høyere internlast og dermed høyere temperatur. Sammenlignet med andre hus, f.eks. hus 2 og 3, har hus 1 lavere innetemperatur i nesten hele denne perioden.

Beboerne i hus 1 har klaget til leverandøren av varmeløsningen etter første vinteren, og leverandøren har byttet ut radiator i første etasje med viftekonvektor. Viftekonvektoren ble satt i 1. etasje og ikke i stuen siden den oppfattes å lage for mye lyd. I en oppfølgingsmail i januar 2014 skriver beboeren at det har hjulpet betydelig på varmen i huset. De var mer fornøyde med innetemperaturen denne vinteren (2013/2014) enn den forrige vinteren. Dette bekreftes av målingene.

Figur 39 viser innetemperaturen i avtrekkanal på kjøkken for hus 1 i desember 2013 og utetemperatur i samme periode.



Figur 39: Innetemperaturen for hus 1 i desember 2013 og utetemperatur.

Den målte innetemperaturen varierer i perioden mellom 22 og 28 °C. Den varmeste perioden er på ettermiddagen 24. desember. Gjennomsnittlig innetemperatur i perioden var 23,8 °C som er 1,2 °C varmere enn tilsvarende periode året før. Utetemperaturen varierer i perioden mellom – 6 og + 8 °C.

Beboerne i **hus 2** opplever at det er jevnt varmt i huset over året og er fornøyde. De sier at de har ca. 20 °C om morgenen og at innetemperaturen stiger utover dagen og ligger på rundt 24 °C på kvelden. Blir det for varmt når sola står på, så opplever de ikke dette som et problem, og sier det holder med å lufte ut. De har ikke hatt behov for en ekstra varmekilde i huset og har heller ikke endret mye på innstillinger siden de flyttet inn. De syns oppvarmingssystemet fungerer utmerket. Opplevelsen deres gjenspeiles i gjennomsnittsmålingene (tab.3) og i målingene gjennom kuldeperioden hvor innetemperaturen i hus 2 holder seg på et høyt nivå (fig. 34). Den målte innetemperaturen er litt høyere enn det de selv antar. Målingene i vinterperioden viser variasjon mellom 22 og 25 °C, og i enkelte tilfeller opp til 26 °C. Variasjonen over døgnet er ikke like stor som i hus 1, noe som kan henge sammen med at beboerne i hus 2 justerer sjelden på varmepumpen og lar den stå på samme nivå.

Vi har ikke snakket med beboerne i **hus 3**. Temperaturutviklingen samsvarer i deler av vinterperioden godt med hus 1 og i sommerperioden med hus 2.

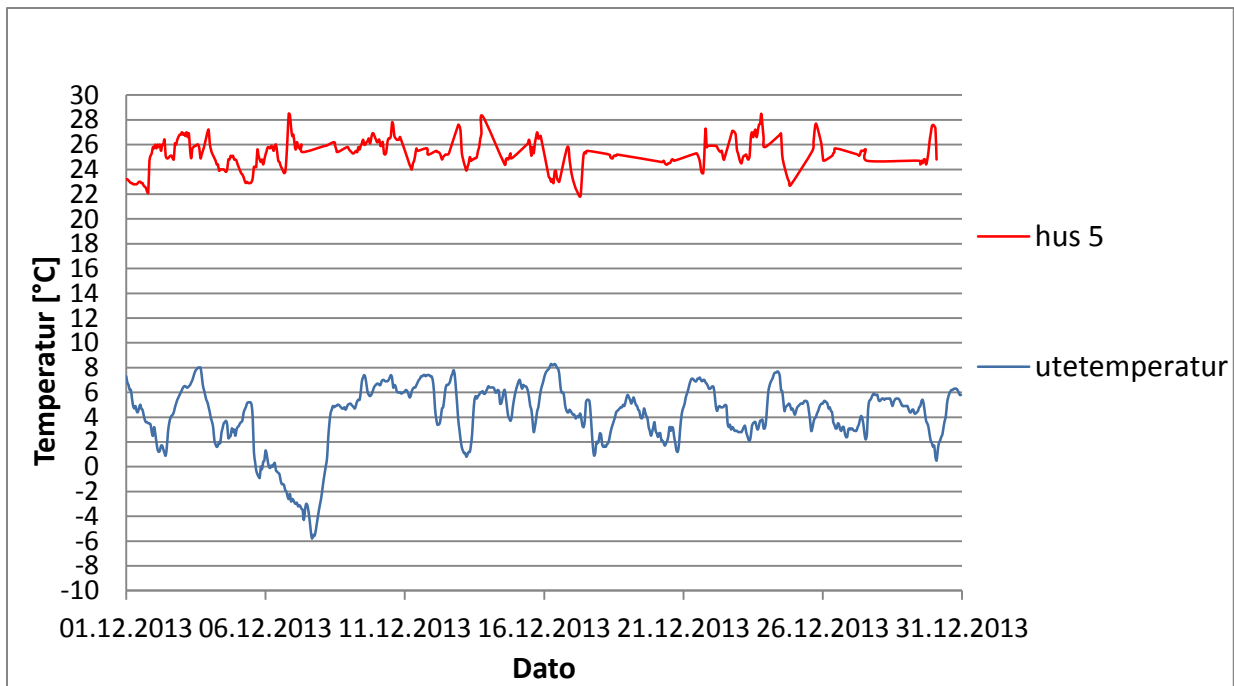
Eieren av **hus 4** informerte oss om at han ikke bodde der i måleperioden.

Beboerne i **hus 5** syntes at det var behagelig innetemperatur om sommeren og om vinteren var den stort sett akseptabel. De opplevde stua som delvis kald om vinteren. For å varme opp stua har de installert en ekstra panelovn på 1000 Watt. De har også fått skiftet deler av varmepumpen og dermed økt kapasiteten. Hvordan dette slår ut på energibruken skal vi se på i kap. 9. Hus 5 har 3 etasjer og er med 238 m<sup>2</sup> det største huset. Den leverte varmepumpen var allikevel den samme som i de andre boligene. Dette kan være en forklaring hvorfor den ikke opplevdes som tilstrekkelig.

Beboerne forteller også at de har vinduet åpent på soverommet døgnet rundt hele året og at de har tettet igjen lufttilførselen fra ventilasjonsanlegget til soverommet. De syntes det er lite tilfredsstillende at man ikke kan regulere temperaturen på soverommet uavhengig av resten av huset. Kald temperatur på soverommet kan ha noe å si på hvor mye energi som skal til for oppvarmingen om morgenen for å øke temperaturen i andre deler av huset.

Hus 5 har med 24,4 °C den høyeste gjennomsnittstemperaturen i avtrekkskanalen i stua, sett over året. Variasjon av månedlig gjennomsnittstemperatur på 1,7 °C, er lav (tab.3). Målingene fra kuldeperioden viser en innetemperatur mellom 23 - 27 °C, og det er lite som tyder på at det er kaldt i stua i kuldeperioden (fig. 33). Vi antar at målingene viser effekten av den selvinstallerte panelovnen og den justerte varmepumpen. Beboerne forteller i en oppfølgingsmail i 2014 at varmen i stua har blitt betraktelig bedre. Huset er allikevel blant de 4 hus som har noen timer under 19 grader (38 timer). Timene kan være målt når beboerne ikke var hjemme eller før de installerte ekstra varmekilde. Innetemperaturen under sommerperioden holder seg på et sammenlignbart nivå med de andre husene (fig. 37 og 38).

Figur 40 viser innetemperaturen i avtrekkanal på kjøkken for hus 5 i desember 2013 og utetemperatur i samme periode.



Figur 40: Innetemperaturen for hus 5 i desember 2013 og utetemperatur.

Innetemperaturen varierer i perioden mellom 22 og 28 °C. Den gjennomsnittlige innetemperaturen for måneden er 25,2 som er 0,1 °C varmere enn tilsvarende periode i 2012.

Vi har ikke snakket med beboerne i **hus 6 og 7**. Målingene fra hus 7 i vinterperioden er sammenlignbare med hus 8 og viser en innetemperatur mellom 22 – 26 °C. Hus 6 har lav innetemperatur i vinterperioden med temperaturer under 19 °C. I en annen vinterperiode har hus 6 fortsatt lave innetemperaturer, men temperaturen holder seg på et akseptabelt nivå rundt 20 °C. Hus 6 har lavest gjennomsnittstemperatur over året. Dette gjenspeiles også i de periodevise målingene. I sommerperioden er målingene mer sammenlignbare med de andre husene, spesielt hus 9. Målingene i hus 6 kan tyde på at beboerne bevisst holder en lav innetemperatur. Dessverre vet vi ikke noe konkret om deres preferanser.

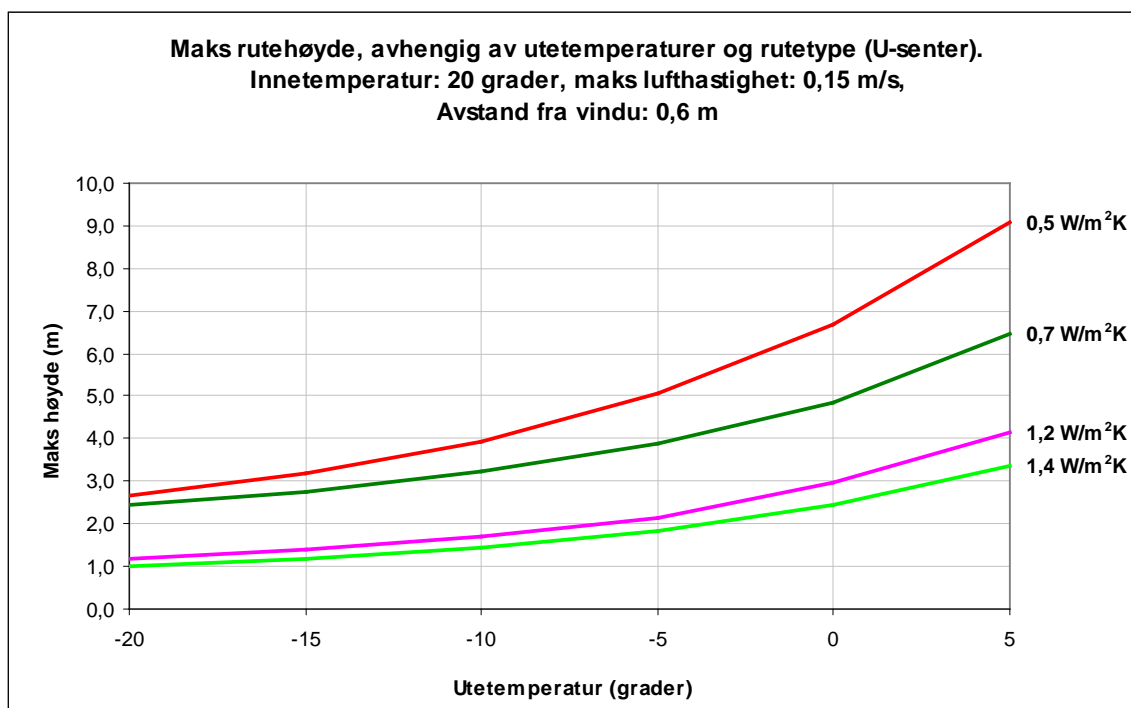
Beboerne i **hus 8** klaget over at det var kaldt om vinteren. De sier at det er kaldt på gulvet og at det er kaldras fra de høye vinduene på stua og dermed trekk langs gulvet. De oppfatter det slik at huset fungerer bra mellom +5 til +15 grader. De er kritiske til oppvarmingssystemet og mener at radiatoren som står mot veggen i stua ikke klarer å kompensere for kald luft som raser ned fra vinduene. Luftbevegelsen fra kald luft som synker ned og varm luft fra radiatoren som stiger opp, mener beboerne kan være grunnen for konveksjon og trekkopplevelse.



Figur 41: Vindu på kjøkkenet i et av husene (SINTEF).

I forbindelse med utsagn fra beboerne i hus 8 har vi sett på muligheten for kaldras ifm høye vinduer. Kaldras oppstår fordi luft avkjøles mot kalde flater og skaper en nedadrettet konveksjonsstrøm langs flaten

Figur 42 viser maksimal rutehøyde for å unngå lufthastighet høyere enn 0,15 m/s i 0,6 m avstand fra vinduet. For et passivhusvindu med senter U-verdi på 0,8 W/(m<sup>2</sup>K), vil man i følge figuren kunne ha en vindushøyde opptil 2,5 m før man får ubehag fra kaldras, selv ved meget lave utetemperaturer.



Figur 42. Illustrasjon av rutehøyde for å unngå ubehag fra kaldras, avhengig av utetemperatur og U-verdi senter på rute (figur laget av M. Thyholt, SINTEF, basert på Heiselberg, 1994).

Gjennomsnittlig temperaturvariasjon over året i hus 8 er lav, og ligger på 2,4 °C (varierer mellom 23,2 - 25,6 °C). Kaldest målt gjennomsnittstemperatur per måned ligger på 23,2 °C i desember og

januar. Figur 35 og 36 viser målt innetemperatur for hus 8 i januar 2013. Målt innetemperatur varierer her mellom 21,5 og 26 °C. Som tidligere påpekt, kan høy variasjon over døgnet bidra til at innetemperaturen tidvis oppleves som kald. Målingene gjengir allikevel ikke hvorfor beboerne i dette huset opplever innetemperaturen om vinteren som veldig ukomfortabel. Innetemperaturmålingene viser ikke avvik, som f.eks. i hus 6, sammenlignet med de andre husene. Beboeren klager også over for varm innetemperatur om sommeren. Hus 8 har de fleste målte timer over 26 °C (759 timer, tab.4). Beboerne i hus 8 har i likhet med de andre husene ikke installert utvendig solavskjerming som kunne bidra til regulere sommertemperaturen bedre. En forklaring for flere timer med høye innetemperaturer om sommeren kan også være at beboerne i hus 8 lufter ut mindre enn de andre.

Når det gjelder innetemperaturer om vinteren, er det stort sprik mellom det beboeren i hus 8 rapporterer og det vi kan etterprøve gjennom målingene. Mer detaljerte målinger av operativ temperatur og målinger i forskjellig rom ville gitt et mer helhetlig bilde av den termiske komforten i husene. Tetthetsmåling av hus 8 ble utført før lukking av veggene og viste et lavt lekkasjetall på 0,2 h<sup>-1</sup> (Loddervik, 2012), så vi har ingen indikasjoner på at det er luftlekkasjer i huset. Allikevel er det mulig at det oppstår en trekkopplevelse gjennom det beboeren beskriver, nemlig høye vinduer og varmekilde midt på rommet. I dette prosjektet har vi ikke mulighet til å se mer nøyaktig på årsakene som fører til at denne beboeren er misfornøyd med den termiske komforten. Vi ser at det er stor forskjell mellom måleresultatene og beboerens opplevelse, men kan ikke forklare ubehaget gjennom temperaturmålingene. En forklaring kan være forskjeller i individuell opplevelse av termisk komfort (se også kap. 8.5).

I motsetningen til hus 8 synes beboerne i **hus 9** at det er behagelig innetemperatur og delvis veldig varmt i huset, både om sommeren og vinteren. De mener også at huset varmes opp fort når de kommer hjem. Noen dager om sommeren har det blitt varmt, men de syntes ikke det var spesielt ubehagelig, de åpnet vinduene for å luften ut. De har fått installert en ny radiator i stua etter det var noe feil med den forrige. Den nye radiatoren har termostat og ikke 4 trinn som den opprinnelige. De synes at termostaten fungerer bedre mht. å regulere temperaturen. For å kunne regulere temperaturen mer effektivt også om sommeren, har de vurdert å installere utvendig solavskjerming. De synes også at man burde kunne regulere temperaturen på de enkelte rommene. Hadde det vært mulig, ville de har valgt å ha det litt kjøligere på soverommet enn i resten av huset.

Målt gjennomsnittstemperatur per måned i hus 9 varierer mellom 21,5 °C i desember og 26,7 °C i mai. Temperaturen i mai er den høyeste målte gjennomsnittstemperaturen per måned i alle husene, mens temperaturen i desember er blant den laveste. Timemålingene i kuldeperioden fra 15.01.-25.01.2013 (fig.33 og 34) viser en lavere innetemperatur i hus 9 og hus 6 enn i de andre husene. Temperaturen i hus 9 ligger i hovedsak mellom 19 og 22 °C (18 og 23 °C ved et tilfelle). To uker tidligere i januar er innetemperaturen i hus 9 sammenlignbart med de andre husene, dvs. varierer mellom 23 og 25 °C. Måleresultatene kunne tyde på at disse beboerne muligens ikke skulle være så fornøyd med innetemperaturen i noen perioder både om sommeren og om vinteren. Intervjuene viste at dette ikke var tilfelle da paret i hus 9 framsto som veldig fornøyd.

### **Oppsummering**

Generelt holder husene en relativ høy innetemperatur både om vinteren og om sommeren. Timemålingene av innetemperatur om vinteren i to forskjellige perioder viste noe lavere maksimale temperaturer sammenlignet med en periode sommeren. Måledataene viste lite sammenheng mellom innetemperatur og endringer i utetemperatur i kuldeperiodene. For de fleste husene varierer innetemperaturen mellom 20 og 26 °C også i perioder med utetemperatur lavere enn -10 °C. Dette tyder på at oppvarmingssystemet i boligene er tilstrekkelig dimensjonert til å holde en innetemperatur innenfor forskriftskrav. Det er imidlertid verdt å merke seg at vi kun har temperaturmålinger for stue/kjøkken. Andre rom i huset kan ha annen innetemperatur.

I samtlige av de 9 husene overstiger temperaturen 26 °C et betydelig antall timer i løpet av sommerhalvåret. Hus 2, 5 og 8 skiller seg ut med flest antall timer over 26 °C. Hus 3,5 og 6 har

registrerte timer med lavere innetemperatur enn 19 °C. Antall registrerte timer under 19 °C er betydelig lavere enn antall timer over 26 °C. Dette burde bety at vinterkomforten holdes på et gjennomgående høyt nivå, mens sommerkomforten er variabel. Allikevel er overoppheting kun rapportert som et problem av én beboer, dvs. i hus 8. Den målte innetemperaturen i dette huset er blant den varmeste i Fjogstadhusene om sommeren og har også flest antall målte timer over 26 grader (tab.4), så vi kan si at målingene gjenspeiler opplevelsen.

Ingen av beboerne på Rossåsen har hittil installert utvendig solavskjerming som kunne bidratt til å stenge ut sola og dermed redusere timer over 26 °C. Eksempler fra andre passivhusprosjekter viser at beboerne har stor innflytelse på sommertemperaturen gjennom bevisst lufting og bruk av utvendig solavskjerming (Peper *et al.*, 2001; Klinski *et al.* 2012). Flere av beboerne i Fjogstadhusene forteller at de krysslufte om sommeren når det blir varmt. Ulike resultater mht. målte antall timer med temperatur over 26 grader kan gjenspeile at beboerne har ulik praksis for reduisering av innetemperatur om sommeren. At det var få klager på overoppheting, tyder på at komfortgrensen om sommeren er fleksibel. Det virker også som om beboerne opplevde at de har nok innflytelse på sommertemperaturen, kanskje mer enn de har på vintertemperaturen.

Vinterkomforten var det mer ulike meninger om. Opprinnelig var det 3 beboere som ikke var helt fornøyd med vintertemperaturen i husene. Etter at to av disse beboerne fikk byttet noen deler av varmesystemet ble de mer fornøyd. Den tredje beboeren var fortsatt misfornøyd med vinterkomforten. Måledataene viser at innetemperaturen om vinteren i all hovedsak ligger innenfor det som betegnes som komfortabelt. Delvis er innetemperaturen også veldig høy og ligger over det som man antar som komfortabel innetemperatur. Ut i fra målingene er det vanskelig å forklare ubehag som noen beboere rapporterer.

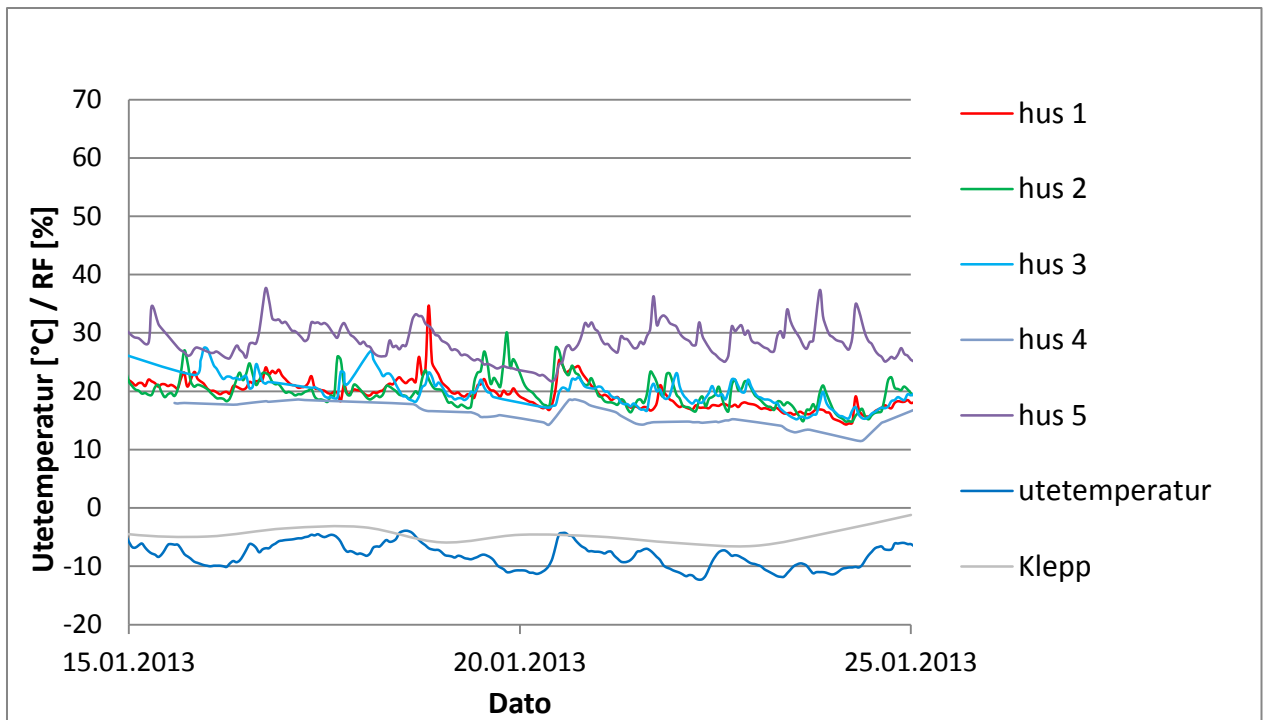
En forklaring for ubehag som vi ikke kan oppdage gjennom målingene våre, er temperaturvariasjon i rommet. Hvis det er stor variasjon mellom temperaturen under taket og på gulvet kan det oppleves som kaldt, selv om målingene viser en akseptabel temperatur i avtrekkskanalen. Vi har heller ikke målt den operative temperaturen som gir et bedre helhetlig bilde av temperaturopplevelsen enn kun lufttemperaturen.

I kapittel 8.5 ser vi på flere forklaringsmuligheter av ulike opplevelse av innetemperatur.

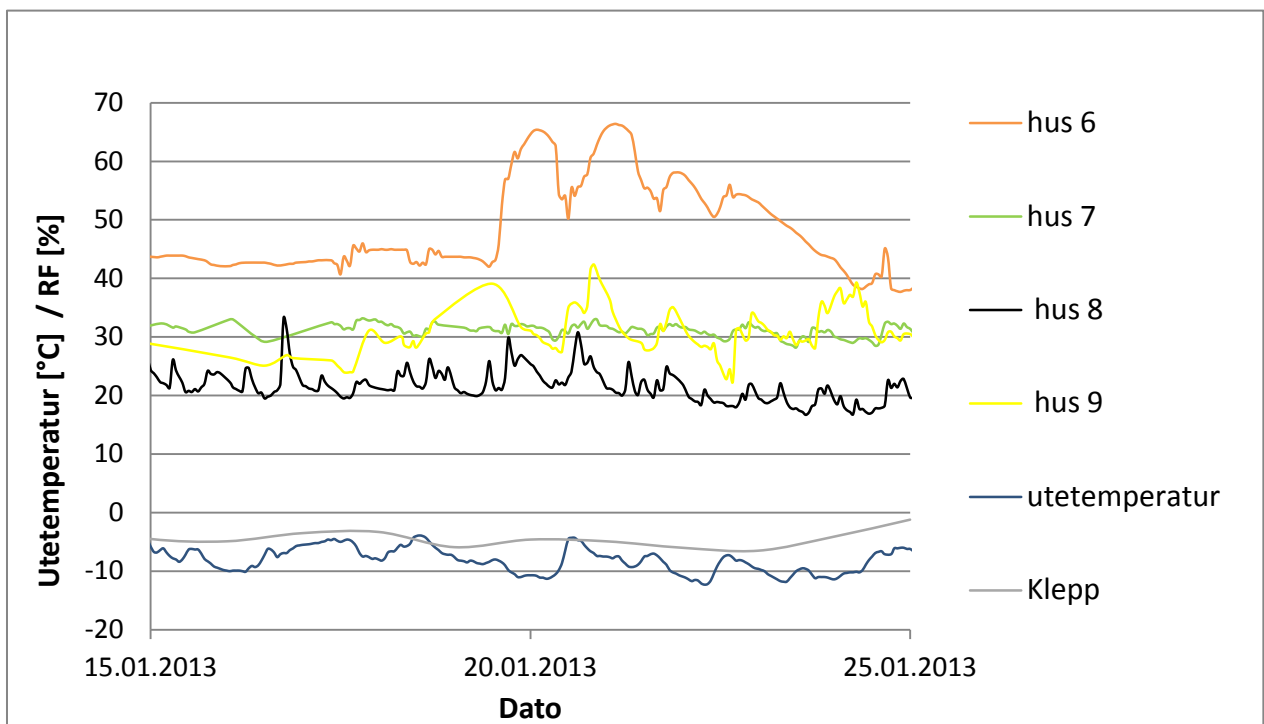
### **8.4.3 Relativ fukt**

I dette kapitlet beskrives resultatet av målinger av relativ fuktighet (RF) i løpet av en kuldeperiode i januar 2013.

Figur 43 og 44 viser timesverdier for relativ fuktighet i avtrekkskanal for stue/kjøkken i hus 1-5 og 6-9, samt målt utetemperatur fra 15.-25.01.2013.



Figur 43: Timesverdier for relativ fuktighet i avtrekkskanalen i stue/kjøkken i hus 1-5, samt utetemperatur i en periode med lav utetemperatur fra 15.01.2013-25.01.2013.



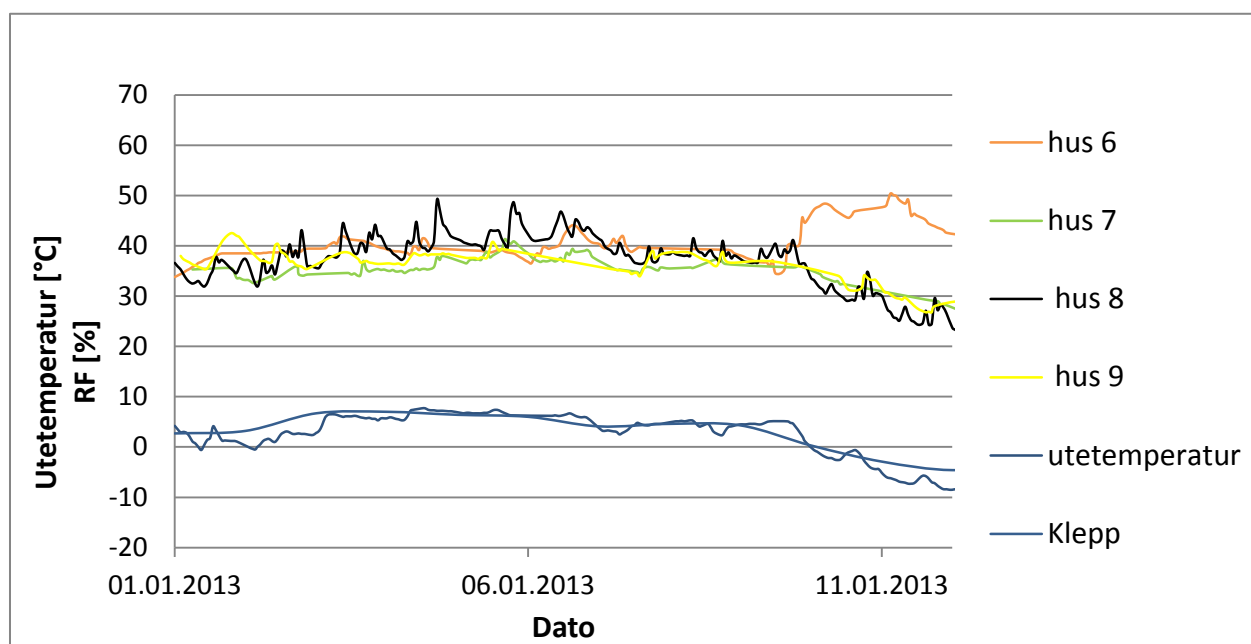
Figur 44: Timesverdier for relativ fuktighet i avtrekkskanalen i stue/kjøkken i hus 6-9 samt utetemperatur i en periode med lav utetemperatur fra 15.01.2013-25.01.2013.

Hus 1, 2, 3 og 8 har alle måleverdier for RF i området rundt 20 % i perioden 22.-24.01.2013. Hus 5, 7 og 9 ligger på et litt høyere nivå, rundt +/- 30 %. Utetemperaturen var i perioden om lag -10 °C.



Hus 6 skiller seg ut med høye verdier for RF i måleperioden. Det var også lav inne-temperatur i hus 6 i denne perioden (fig.44). Pga. lav inne-temperatur kan vi anta at beboerne ikke var hjemme under måleperioden. Noe av forklaringen til høyere RF i hus 6 kan dermed være lav inne-temperatur kombinert med redusert luftskifte som følge av fravær. For å se om RF nivå i hus 6 er annerledes i andre perioder har vi også sett på RF i perioden 01.01.2013-12.01.2013. Som tidligere vist var inne-temperaturen høyere i denne perioden (fig.37).

Figur 44 viser timesverdier for relativ fuktighet i avtrekkskanal for stue/kjøkken i hus 6-9, samt målt utetemperatur fra 01.-12.01.2013.



Figur 45: Timesverdier for relativ fuktighet i avtrekkskanalen i stue/kjøkken i hus 6,7,8,9 samt utetemperatur fra 01.01.2013-12.01.2013.

Figur 45 viser at RF ligger mellom 30-50 % for de ulike husene i perioden fra 01.01.2013 til 10.01.2013. Utetemperaturen ligger i samme periode mellom 0-10 °C. I perioden mellom 10.01.2013 og 12.01.2013 synker utetemperaturen. Dette fører til at RF i inneluften på stue/kjøkken synker i samtlige hus unntatt hus 6, der RF har en stigende tendens i samme periode.

Opplevd luftkvalitet i forhold til målt relativ fukt (RF) skal vi se på i det følgende avsnittet.

#### 8.4.4 Beboernes opplevelse av luftkvalitet og relativ fukt sammenlignet med måleresultater

Beboerne i **hus 1** er ganske fornøyd med luftkvaliteten. De sier at de har ingen ønsker om å åpne vindu på soverommet men lar ventilasjonsanlegget tar jobben. Det eneste de bemerket er at luftkvaliteten om vinteren var litt tørr, på ca. 20 % RF som de har målt med en enkel værstasjon. De har justert luftvekslingen til mellomnivået, og mener at dette er tilstrekkelig når de er bare 2 i huset. Målingene viser at RF i hus 1 ligger på et veldig lavt nivå i måleperioden, delvis under 20 %, noe som kan bekrefte opplevelsen av tørr luft.

Beboerne i **hus 5** synes luftkvaliteten er bra til meget bra om sommeren og akseptabel om vinteren. De synes at luften delvis oppleves som tørr om vinteren. Lufttilførselen synes de er meget bra. De er fornøyd med luftmengden og bruker justeringsmuligheten for luftveksling (1-3). Målingene av RF i hus 5 ligger på rundt 25-35 %.

**For hus 6 og 7** har vi ingen informasjon fra beboerne. Hus 7 har jevn RF på 30 %. Hus 6 har derimot veldig høy RF på mellom 40 – 65 %. I dette tilfellet hadde vært spesielt interessant å vite mer om

brukervaner og beboernes opplevelse, siden huset skiller seg tydelig ut i forhold til både innetemperaturmålinger og målinger av RF. Høy RF i hus 6 kan f.eks. tyde på at luftveksling er satt på et minimumsnivå, eventuelt slått helt av. Hvis det i tillegg lages mat på kjøkkenet, dusjes mye eller tørkes klær i stua og luftes lite, kan dette være årsaker til høy RF.

Beboerne i **hus 8** synes luften kan være tørr. Ellers opplever de problemer med trekk. Det er ikke tydelig om denne opplevelsen kan være relatert til ventilasjonsanlegget eller til kaldras, som tidligere beskrevet. Det er ingen andre beboere som rapporterer at de opplever trekk. Målingene i hus 8 viser lav RF på 20 %.

Beboerne i **hus 9** og **hus 2** er veldig fornøyde med luftkvaliteten i huset året rundt. I hus 2 synes beboerne at ventilasjonsanlegget fungerer meget bra og de justerer ikke på lufttilførselen. Beboerne i hus 2 forteller også at de har mye mindre behov for vindusventilering i det nye passivhuset enn de hadde i det gamle huset sitt fra 50-tallet. Beboerne i Hus 2 justerer ikke på luftvekslingen. Målingene viser at hus 2 er blant de husene med lavest RF på 20 og delvis under 20 %. I hus 2 nevnte ikke beboerne at de plages av tørr luft.

Hus 9 bruker for det meste ventilasjonsanlegget og de lufter kun litt om sommeren. I leiligheten de bodde i før hadde de alltid åpent vindu på soverommet, nå føler de mindre behov for det siden ventilasjonen fungerer såpass bra. Når de har mange på besøk, justerer de lufttilførselen opp et hakk, fra trinn 2 som de vanligvis bruker, til trinn 3. Beboerne i hus 9 nevner at det var mange kjente som var skeptisk til luftkvaliteten i et tett hus når de kjøpte passivhuset. Denne skepsisen ønsker de å avkrefte. De klager heller ikke på tørr luft. Målt RF ligger mellom 25 – 40 %, som ligger i område anbefalt område for RF om vinteren.

### **Oppsummering**

Oppsummerende kan vi si at beboerne er spesielt fornøyde med lufttilførselen og generell luftkvalitet. Det som ikke oppleves som tilfredsstillende av de fleste, er relativ fuktighet om vinteren.

For en kuldeperiode med utetemperatur på ca. -10 °C ble det for 4 av husene målt lav relativ fuktighet i området 20 %. I 3 av husene er RF-verdiene mer akseptable, i området 25 - 40 %. Hus 6 skiller seg ut med veldig høye verdier.

Målingene bekrefter noen av beboernes opplevelse av tørr luft om vinteren. Verdier under 20 % relativ fuktighet oppleves i følge SINTEFs anvisning 421.510 og Hinnens (2008) diagram (fig.27) som for tørr luft. Luften er generelt tørrere om vinteren, og har man høyt luftskifte i huset som ytterlig reduserer fuktigheten i luften, vil relativ fuktighet innendørs RF være lav. Ebel *et al.* (2003) som har målt inneklimateforhold i lavenergi- og passivhus har funnet den samme utfordringen. De foreslår å redusere luftskiftet om vinteren, noe som kan øke den relative luftfuktigheten og dermed også komfortopplevelsen.

Tørr luft i boliger om vinteren har allerede vært et tema før bygging av lavenergi- og passivhus. I SINTEF sin anvisning for tilrettelegging av godt inneklimate i boliger står det at "*Klager over tørr luft i norske boliger er svært vanlig. (...). Om vinteren er den relative fuktigheten innendørs lav. Har man god ventilasjon og det bor få personer i et stort hus, kan det i kalde perioder bli under 20 % RF*" (SINTEF, 2000). Problemet er altså generelt, men spesielt i nyere hus med ventilasjonsanlegg kan problemet med tørr luft forsterkes. Dette gjelder også for hus bygget etter dagens standard som har mekanisk ventilasjonsanlegg og høyt luftskifte. Målingen som vi foretar i referansehusene med TEK'10-standard vil gi oss grunnlag for å sammenligne RF i TEK'10-hus med passivhus. Som mulige tiltak for å oppnå høyere RF nivå om vinteren anbefaler SINTEFs anvisning å justere ventilasjonen ned. Som et alternativ anbefales det å installere balansert ventilasjon med en varmegjenvinner som også gjenvinner fuktighet.

## 8.5 Hvordan kan forskjeller i opplevelsen av innetemperatur forklares?

I Fjogstadiusene var det påfallende at noen beboere var veldig fornøyde med innetemperaturen mens andre opplevde den som kald om vinteren. Selv om det var små variasjoner, var målt innetemperatur i alle husene relativt høy om vinteren. Ved å sammenligne målinger og utsagn fra beboerne er det mye som tilsier at opplevelsen av temperatur er individuell. Et eksempel er at noen beboere opplever huset som behagelig og varmt mens andre beboere klager over at de fryser, selv om målingene viser like høy eller til og med høyere innetemperatur.

Hvordan kan det forklares at noe beboerne er fornøyde, mens beboeren klager over kald innetemperatur?

Forskning om opplevelse av termisk komfort gir flere innspill til forklaring av ulike opplevelser. Nicol & Roaf (2005) beskriver opplevelse av termisk komfort som et dynamisk samspill mellom bygninger og deres beboere. Beboernes evaluering av termisk komfort er avhengig av kontekst for eksempel type hus, forventninger, aktivitet, dagsform, og påkledning. Grunnet forskjeller i konteksten kan opplevelsen variere selv om den målte temperaturen ikke gjør det. Nicol & Roaf (2005) beskriver noen generaliserbare reaksjoner som folk har på endringer i termisk komfort:

- Opplevelse av komfortabel innetemperatur ligger nært gjennomsnittstemperaturen folk har opplevd over tid.
- Opplevd termisk komfort er en tilvenningssak. Temperaturen kan variere +/- 2 grader før det oppleves som ukomfortabelt eller unormalt.
- I tilfeller der beboerne har kontroll over temperaturen, så aksepteres det at variasjonen er høyere enn i bygninger der beboerne ikke har kontroll selv.
- Viktig for opplevd komfort innendørs er også utendørsklimaet, som ikke er det samme fra time til time. Både den psykologiske effekten av å se på været utendørs og den målbare innflytelsen av utetemperaturen på innetemperaturen spiller en rolle.
- Det er begrenset hvor fort innetemperaturen kan tilpasses og raske tilpasninger skjer f.eks. gjennom å ta på / av klær.
- Matematisk beregnet komforttemperatur kan ikke fullstendig reflektere hvordan realiteten oppleves av individet døgnet rundt. Dette kan forklare hvorfor simuleringer av optimal temperatur og målinger ikke fullstendig beskriver individuell opplevelse og noen ganger ikke samsvarer.

Rohregger *et al.* (2004) har blant annet studert opplevd termisk komfort i passivhus. De viser i studien hvor vanskelig det er å definere "optimal" innetemperatur. Optimal temperatur bestemmes hovedsakelig av aktivitet / metabolisme og beklledning. I tillegg påvirkes den av vaner, tidsånd, og kultur. Rohregger *et al.* (2004) referer til Fanger (1972) som har sett på sammenhengen mellom temperaturvariasjon og tilfredshet. Han ser på personers opplevelse av +3 grader over og -3 grader under definert optimal temperatur. Når det er +3 eller -3 grader avvik fra denne, er det sannsynlig at 99,2 prosent av testpersonene misfornøyd med opplevd romtemperatur (fig.45).

Bezeichnung	PMV - Index	PPD - Index
zu warm (hot)	+3	99,1
warm (warm)	+2	76,8
etwas warm (slightly warm)	+1	26,1
neutral (neutral)	0	5,0
etwas kühl (slightly cool)	-1	26,1
cool (cool)	-2	76,8
kalt (cold)	-3	99,1

Figur 46: Skala for å se sammenheng mellom temperaturavvik fra normalen (nøytral) og prosentandel misnøye. PPT (predicted percentage of dissatisfied) angir den statistiske andelen misfornøyd av en populasjon når temperaturen er over eller under optimal temperatur (Rohregger *et al.*, 2004, side 18).

Figur 46 viser at det alltid vil være noen misfornøyde personer selv om temperaturen ligger på det som er definert som optimal temperatur (5 % misnøye). Nyere undersøkelser konkluderer at andelen misnøye ved definert "optimal" temperatur er enda høyere enn 5 % og helt opp til 15 % (Rohregger *et al.* 2004).

Målingene fra vårt prosjekt viser at innetemperaturen om vinteren ligger rundt 23 grader. Man må allikevel ta høyde for at noen beboere ikke synes at temperaturen er optimal til en hver tid. De fleste intervjupartnerne etterspør også bedre justeringsmuligheter fra rom til rom, noe som antakelig kunne øke tilfredsheten.

Beboerne som vi intervjuet hadde gjennomgående høye forventninger til det nye huset, og dette innebærer at det forventes at alt skal nesten være "perfekt". Forventninger til innetemperatur i gamle hus hadde sannsynlig ikke vært like høye. Det kunne vært interessant å se på beboertilfredshet med innetemperatur i "gamle" hus for å sette opplevelsene i passivhus i perspektiv til bo-komfort i eldre bebyggelse. En annen antakelse, som vi ikke har data på, er at mange folk i dag ønsker å ha en høy innetemperatur også om vinteren. Forventninger til termisk komfort endrer seg i tråd med at vi kan tilby økt komfort i nye typer hus.

*Det gjenstår også å påpeke at de fleste beboerne framsto som generelt fornøyde med huset, selv om vi i rapporten trekker fram det som ikke opplevedes som optimalt.*

## 9 Energibruk

### 9.1 Hensikt

I Norge er det gjennomført flere prosjekter som har vist at det er mulig å oppføre boligbygg med meget lavt energibruk (Klinski *et al.*, 2012). Det overordnede målet med energimålinger er å verifisere bygningenes energibruk samt sammenligne det med resultater fra teoretiske energiberegninger. I Fjogstad-Hus sine 9 hus på Rossåsen er derfor den totale energibruken blitt målt siden innflytting våren 2012.

### 9.2 Metode, energibruk

EBLE-prosjektet startet når Fjogstad-Hus sine boliger allerede var innflyttingsklare. Det var da allerede besluttet, gjennom rådgiving fra Boligprodusentene, at total energi med timeintervall skulle måles på hovedfordeleren i alle husene og bli tilgjengelig via nettleverandør. Det ble ikke installert andre målere i boligen i etterkant.

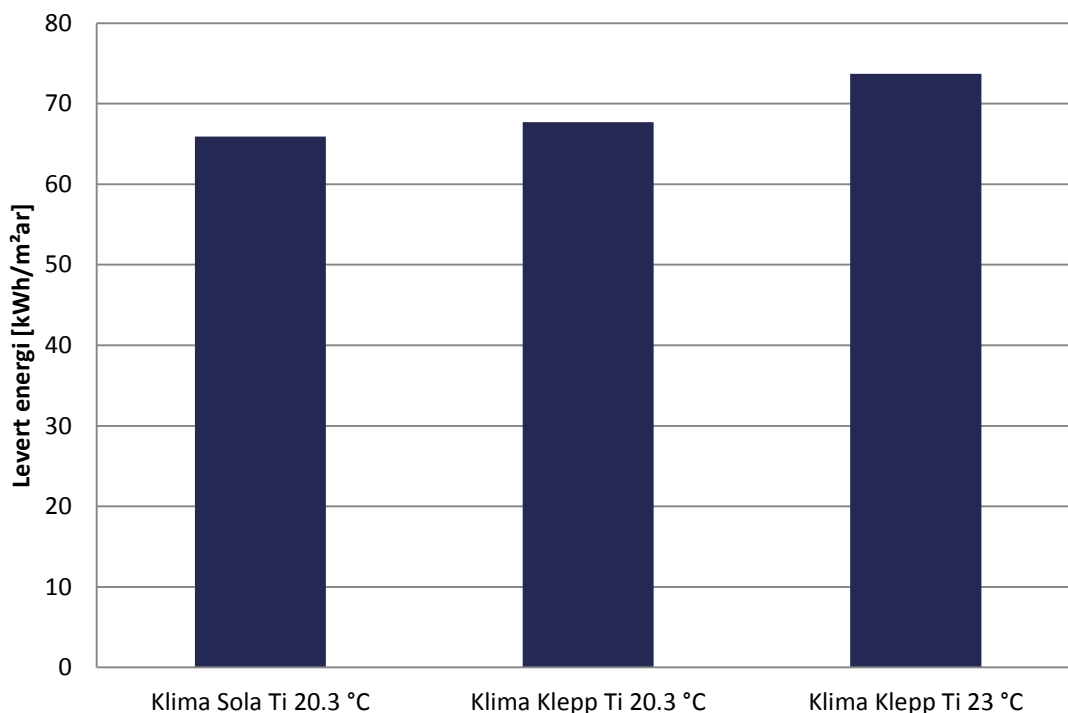
### 9.3 Energiberegning

Åtte av de ni husene har to etasjer med et oppvarmet bruksareal på 174 m<sup>2</sup> (Hus 1-4) respektive 161 m<sup>2</sup> (Hus 6-9). Den niende boligen (Hus 5) har en ekstra underetasje, med et oppvarmet bruksareal på totalt 238 m<sup>2</sup>.

Energiberegning er blitt utført av SINTEF Byggforsk med SIMIEN v. 5.015 (Programbyggerne, 2013), da energiberegning fra prosjekteringen ikke var tilgjengelig. Beregningen ble gjennomført med standardiserte verdier iht. Norsk Standard NS 3700 (Norsk Standard, 2011), samt tilgjengelig "as-built" dokumentasjon på komponenter og systemer fra utbygger. Inndata til energiberegningen finnes i vedlegg og en mer detaljert beskrivelse av de ulike løsningene finnes i kapittel 4.4 og 4.5. Energiberegningen er blitt utført med standardisert klimadata for Sola. Beregninger med Klimadata fra Klepp værstasjon for den aktuelle måleperioden (vind, RF, lufttemperatur, globalstråling) ble også brukt for sammenligning med målte verdier.

Standardiserte verdier for innetemperatur på 21 °C dagtid og 19 °C nattetid er blitt benyttet i beregningen. Driftstider og setpunkt-temperaturer for oppvarmingssystemer samt driftstid, effekt og varmetilskudd fra internlast er iht. Norsk standard (Norsk standard 2011). Den beregnede leverte energien for bygningen øker med 1,5 kWh/m<sup>2</sup>ar ved bruk av klimadata for den aktuelle måleperioden i forhold til forhåndsdefinert klimadata. En energiberegning ved en økning av innetemperaturen fra gjennomsnitt 20,3 til 23 °C er også blitt utført. Dette resulterer i en økning av den leverte energien med 4,5-6 kWh/(m<sup>2</sup>år), den største økningen er for de større husene. En økning av innetemperaturen på mindre enn 3 °C kan dermed øke den leverte energien med opptil 9 %.

Figur 47 viser beregnet levert energi for hus 6-9 med standardisert klimadata, klimadata fra måleperioden og med en simulert økt innetemperatur.



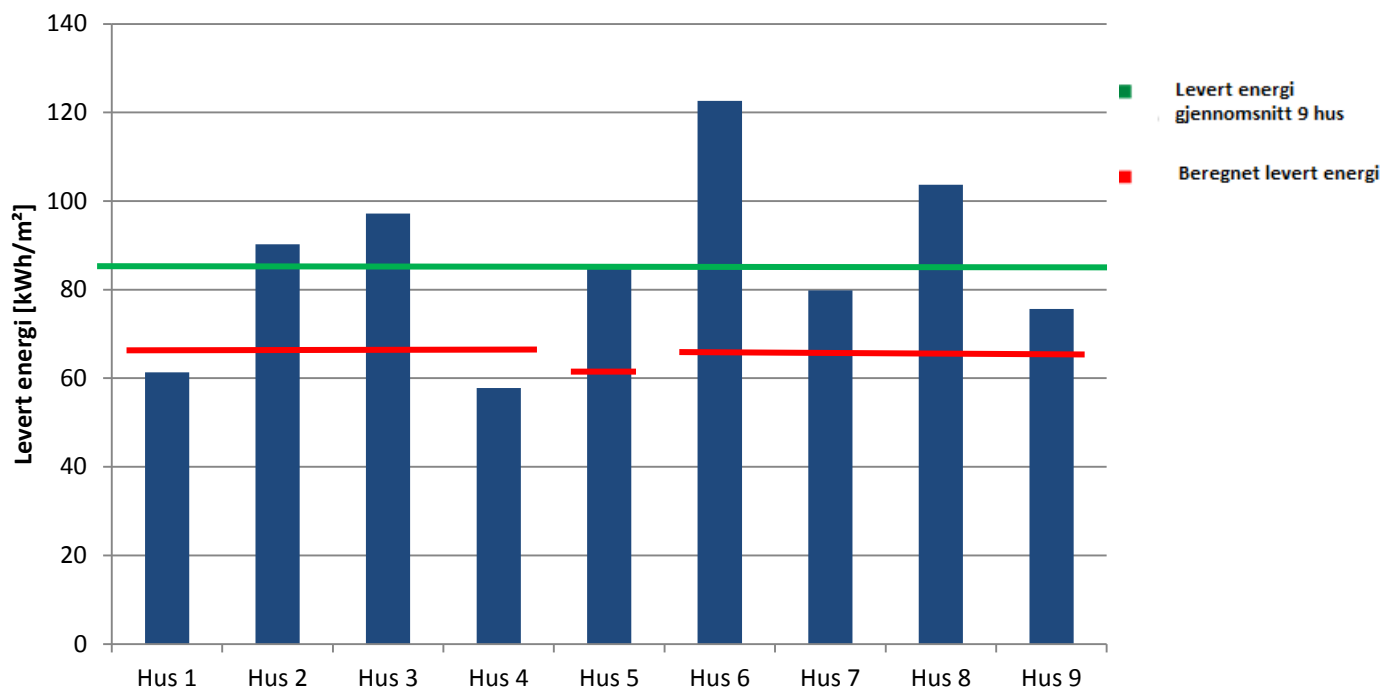
Figur 47: Beregnet levert energi for hus 6-9 (161 m<sup>2</sup>) med standardisert klimadata (Sola), klimadata fra måleperioden (Klepp) og med en simulert økt innetemperatur (Ti).

#### 9.4 Resultater, energiberegning og energimålinger

Målinger av levert energi er analysert for 9 hus. Hus 4 var ubebodd under oppvarmingsperioden og store deler av det resterende året, slik at målingene derfra er lite representative. På årsbasis viser den totale leverte energien et stort sprik mellom de ni boligene, med levert energi mellom 61-123 kWh/m<sup>2</sup> (fig.48). Det er følgelig en forskjell på faktor 2 mellom den laveste og den høyeste energibruken. Gjennomsnittet av den leverte energien for boligene ligger på 86 kWh/m<sup>2</sup>, som nesten er 40 % høyere enn den opprinnelige energiberegningen med standardiserte verdier.

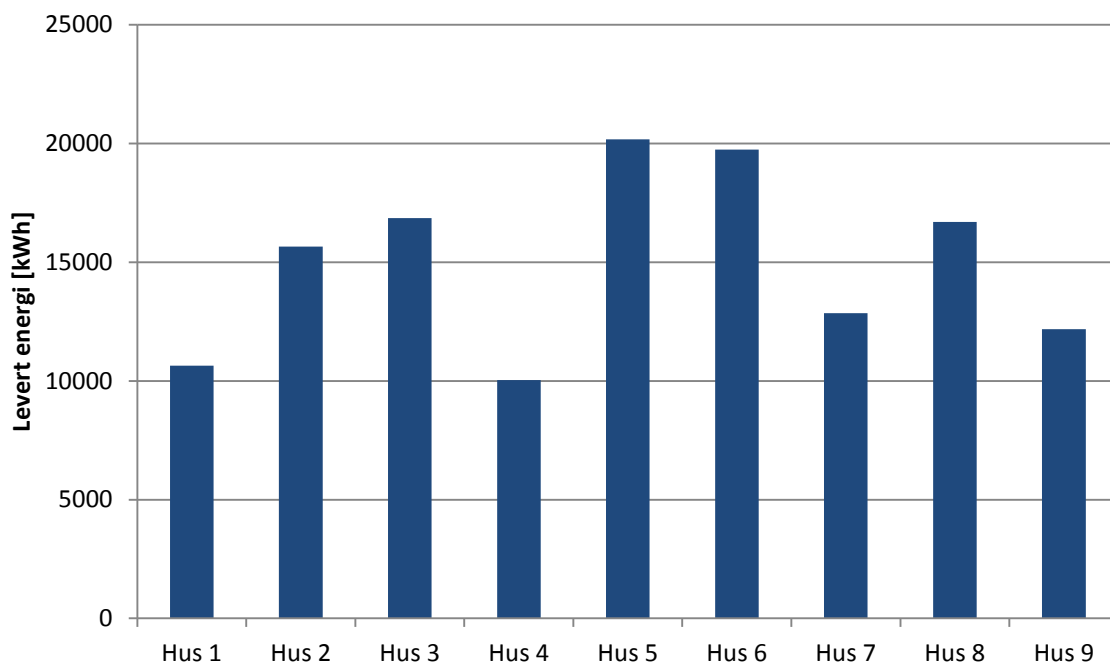
Hus 5 har den største totale leverte energien på over 20.000 kWh, men grunnet dens store bruksareal (238 m<sup>2</sup>) ligger den på gjennomsnittet for de 9 boligene mht. levert energi per kvadratmeter. Det er to hus (hus 1 og 4) som ligger under beregnet levert energi. Hus 4 har vært ubebodd i store deler av måleperioden.

Figur 48 viser målt levert energi per m<sup>2</sup> fra juni 2012-mai 2013 i de 9 husene og beregnet levert energi for samme periode.



Figur 48: Målt levert energi per m<sup>2</sup> for et år fra juni 2012-mai 2013 i de 9 husene (blå søyler) og beregnet levert energi for samme periode (rød strek).

Figur 49 viser målt total levert energi i de 9 husene fra juni 2012-mai 2013.



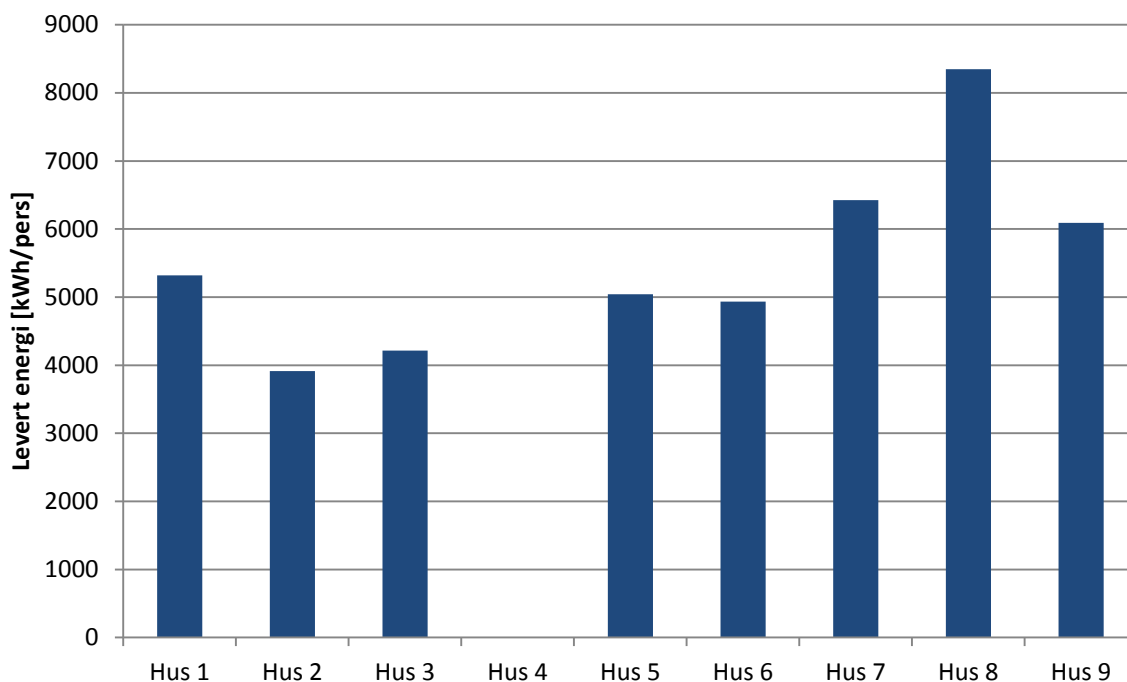
Figur 49: Målt total levert energi for et år i de 9 husene, fra juni 2012-mai 2013.

Energibruk per person er noe som ikke brukes veldig ofte, men kan i energieffektiviseringssammenheng være relevant. Det bor enten to eller fire personer i husene (midlertidig 5 personer i hus 2), og energibruken per person er følgelig større i de husene med kun to personer. Hus 5 og 6, som bruker mest energi totalt (fig.49), men i forhold til kWh per person bruker ikke disse husene så mye som hus med færre beboere, for eksempel hus 8 (fig.50). Hus 5 har en elbil



som de lader mye hjemme, som også kan trekke opp den totale energibruken. Hus 1 med to beboere, er det som bruker minst energi totalt, men ligger derimot i det øvre fragmentet på kWh/person.

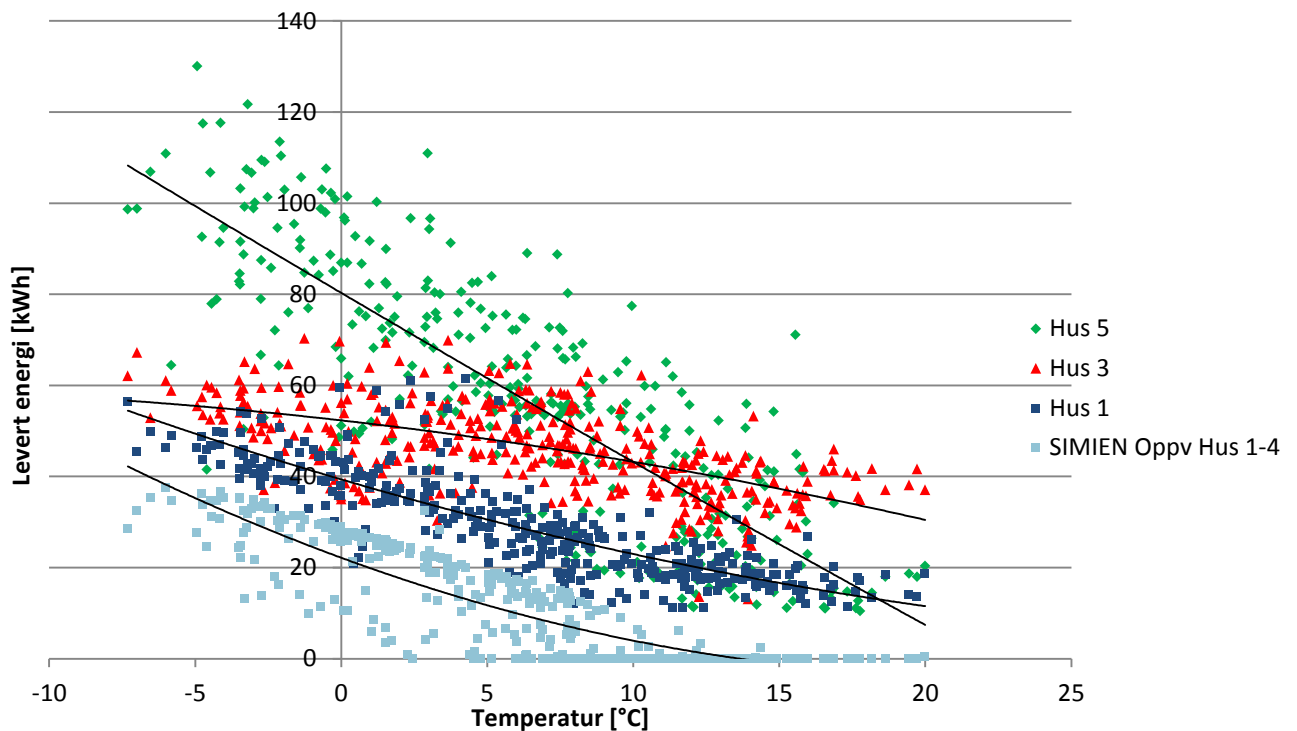
Figur 50 viser total energibruk per person fra juni 2012-mai 2013.



Figur 50: Total energibruk per person for et år i 8 av 9 hus, fra juni 2012-mai 2013. Hus 4 var ubebodd.

Ved måling av kun total energibruk er det vanskelig å skille mellom hva som går til romoppvarming, varmtvann og hva som går til belysning og teknisk utstyr. Men ved å se på sammenhengen mellom energibruken og utetemperaturen, har man mulighet til å finne ut ved hvilken utetemperatur energibruken begynner å øke, samt også se hvor mye den øker.

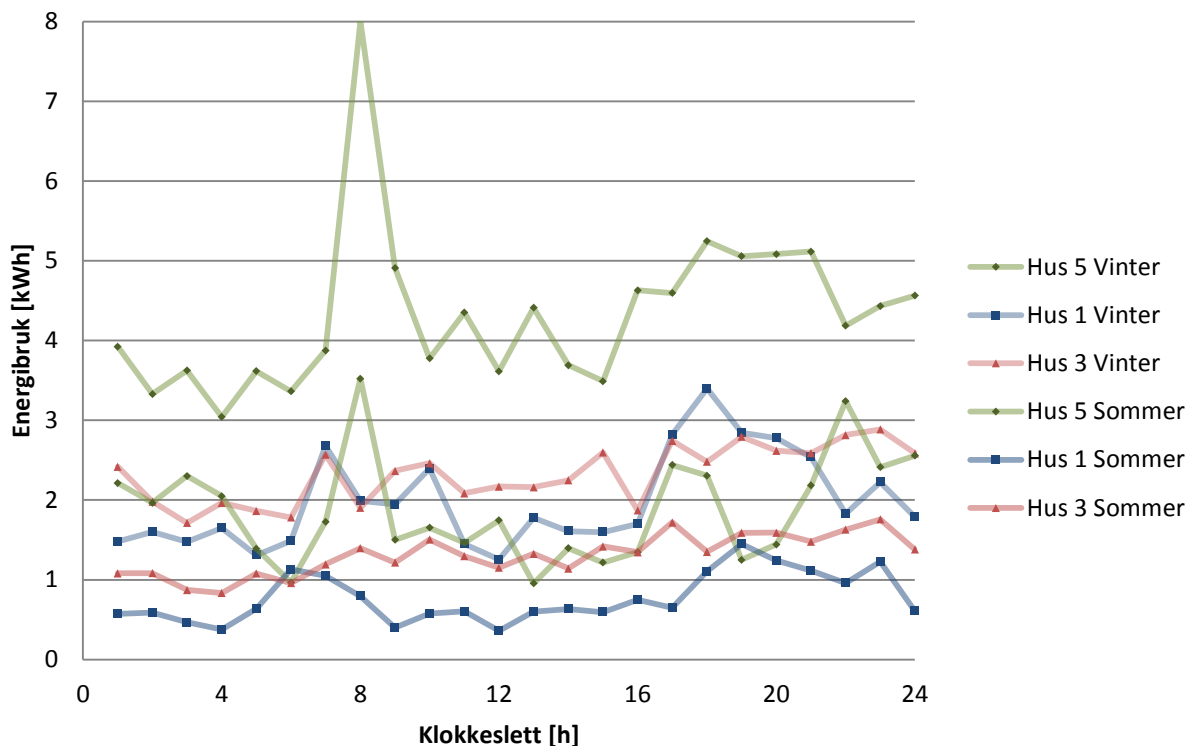
Figur 50 viser målt levert energi for hus 1, 3 og 5 og beregnet oppvarmingsbehov for Hus 1-4.



Figur 50: Målt levert energi ET-diagram for hus 1, 3 og 5 og beregnet oppvarmingsbehov for Hus 1-4.

Knekkpunktet, hvor energibehovet til oppvarming (oppvarming og ventilasjonsvarme) begynner å øke, ligger ifølge energiberegningen på ca. 10 °C. Målingene for de ni boligene viser ikke noe tydelig knekkpunkt. Vi ser en relativ mindre økning av levert energi ved lavere utetemperaturer enn for simulert verdi i energiberegningen. Hus 3 har en relativ horisontal kurve, som kan tyde på at oppvarmingen utgjør en forholdsvis liten del sammenlignet med andre energiposter som lys, utstyr og varmtvann. Hus 5 skiller seg ut, da kurven viser en sterk lineær økning av energibruken med lavere utetemperatur og en brattere kurve sammenlignet med de andre husene. Dette huset er det største huset og har også den høyeste innetemperaturen (fig. 53). Energibruken er i gjennomsnitt mye høyere i hus 5 enn de andre boligene, men ekstra mye om morgenen (fig. 52), noe som kan tyde på stort energibruk til varmtvann og/eller teknisk utstyr

Figur 52 viser timesverdier for målt levert energi om sommeren og vinteren for tre hus. Energibruken er gjennomsnittstall per time for 10 hverdager om sommeren og vinteren. Det store hus 5, med høyest totalt levert energi er bebodd av fire personer. Hus 1, med lavt energibruk har to beboere og hus 3 har fire beboere.



Figur 52: Målt levert energi per time, under en sommer- og en vinterdag (gjennomsnitt av 10 hverdager) for hus 5 (blå), hus 3 (grønt) og hus 1 (rød).

I hus 1 er energibruken om sommeren relativt jevn, med noen topper om morgenen samt om kvelden. Om vinteren viser figuren et par topper i løpet av dagen samt på morgenen, men ellers relativt jevn energibruk. Hus 3 har en høyere levert energi enn hus 1 om sommeren og totalt også om vinteren, men et mer jevnt bruk over døgnet. I hus 5 er det derimot mer variasjon i energibruk gjennom døgnet. Energibruken om sommeren i hus 5 er til visse tider på døgnet høyere enn om vinteren i hus 1 og 3, som er en indikasjon på at energibruken til romoppvarming kun utgjør en liten del av den totale energibruken. Det er sannsynlig at fire beboere i hus 5 bruker mer energi til varmtvann og teknisk utstyr om morgenen enn to beboere i hus 1 og hus 3. I hus 5 vises det en større økning av energibruk om morgenen. Om vinteren er økningen større enn om sommeren, noe som kan skyldes en kombinasjon av bruk av varmtvann og styringen av oppvarmingen og varmepumpen..

Resultatene viser et stort sprik av levert energi mellom de ni boligene. Til tross for at husene er utført av samme boligprodusent og er ganske like mht. orientering og utforming, er det en faktor 2 mellom den laveste og den høyeste energibruken. Dette tilsvarer en forskjell på 6000 kWh til 7500 kWh for samme hustype.

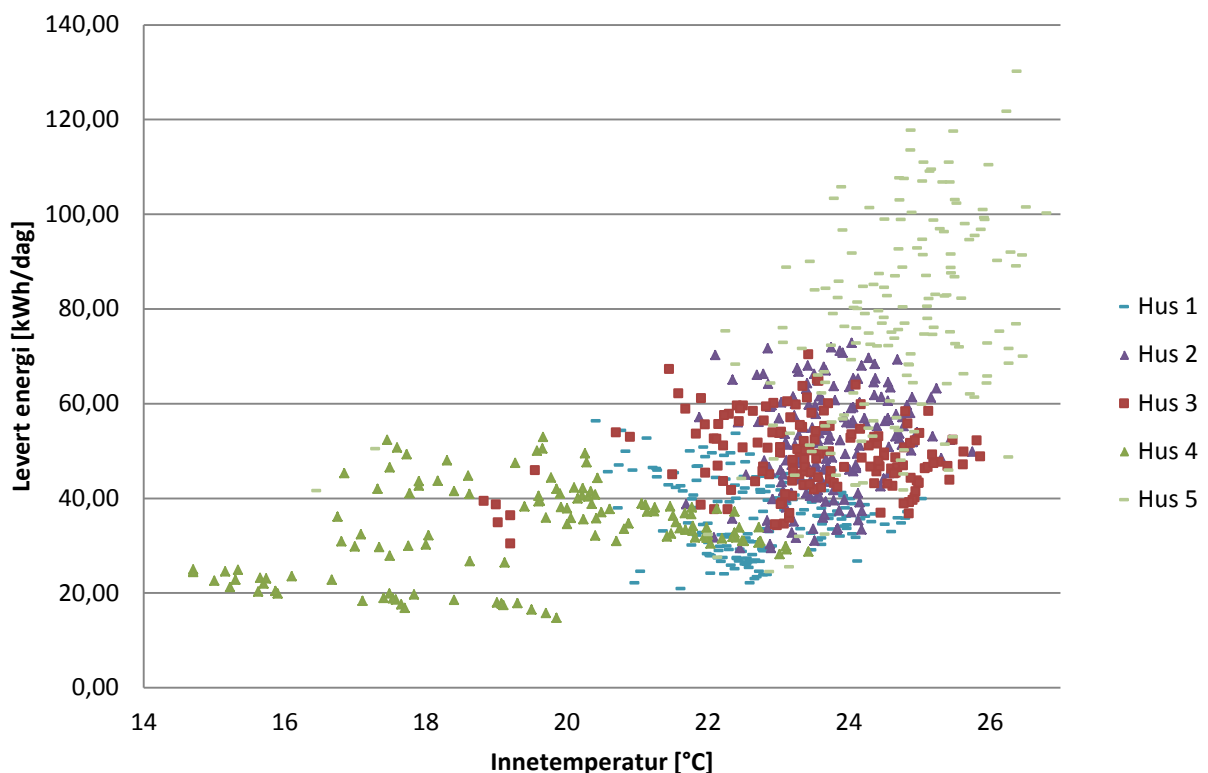
Hvis man sammenligner energimålingene med energiberegningen, ser man at beregnet energibruk stort sett er lavere enn målt energibruk. Dette kan delvis forklares med at det i realiteten er høyere innetemperatur i de fleste boligene enn det som er antatt i beregningen. Imidlertid er det vanskelig å sammenligne målt og beregnet energibruk uten en formålsdelt energimåling. Gjennom separat måling av energibruk til oppvarming, varmtvann, belysning, etc., ville vi fått et tydeligere bilde av hva som er internlaste og hva som er relatert til bygningens varmetap. Varmepumpens effekt og virkningsgraden til varmepumpen er også viktige faktorer som kan påvirke forskjellen på beregnet energi og målt energibruk. Dette er noe som bør ideelt sett burde vært målt separat, men som det ikke var rom for i dette caset.

## 10 Innetemperatur, energibruk og brukerperspektiv

Målinger også i andre studier viser ofte en stor variasjon i energibruk fra bolig til bolig (Thomsen *et al.* 2011; Thomsen & Berge, 2012). Brukervaner og holdninger kan ha mye å si for variasjon i energibruk fra bolig til bolig og disse faktorene er det vanskelig å ta høyde for i beregninger.

Romtemperaturen er en essensiell faktor for energibruken i et bygg. De fleste husene har i løpet av oppvarmings sesongen hatt en middeltemperatur på 23 °C, men det varierer også mellom boenhetene. De standardiserte verdiene i en energiberegning gir i gjennomsnitt 20,3 °C over et døgn. Som vist i forrige kapittel ville en temperaturkorrigering fra 20,3 opp til 23 °C på energiberegningen tilsvare en økning av levert energibruk på ca. 4,5-6 kWh/m<sup>2</sup> år (fig.47). Den målte innetemperaturen i flere av husene på Rossåsen er høy. Et ønske om høyere innetemperatur blant beboerne enn antatt i standardiserte beregninger er en grunn for sprik mellom beregnet levert energi og målt levert energi.

Figur 53 viser hvordan den gjennomsnittlige innetemperaturen i løpet av oppvarmings sesongen fra oktober 2012 til mars 2013 korrelerer med energibruken per dag for hus 1, 2, 3, 4 og 5.



Figur 53: Gjennomsnittlig innetemperatur i løpet av oppvarmings sesongen fra okt.2012 - mars 2013 i forhold til energibruken for hus 1,2,3,4 og 5. Hus 4 var ubebodd i måleperioden.

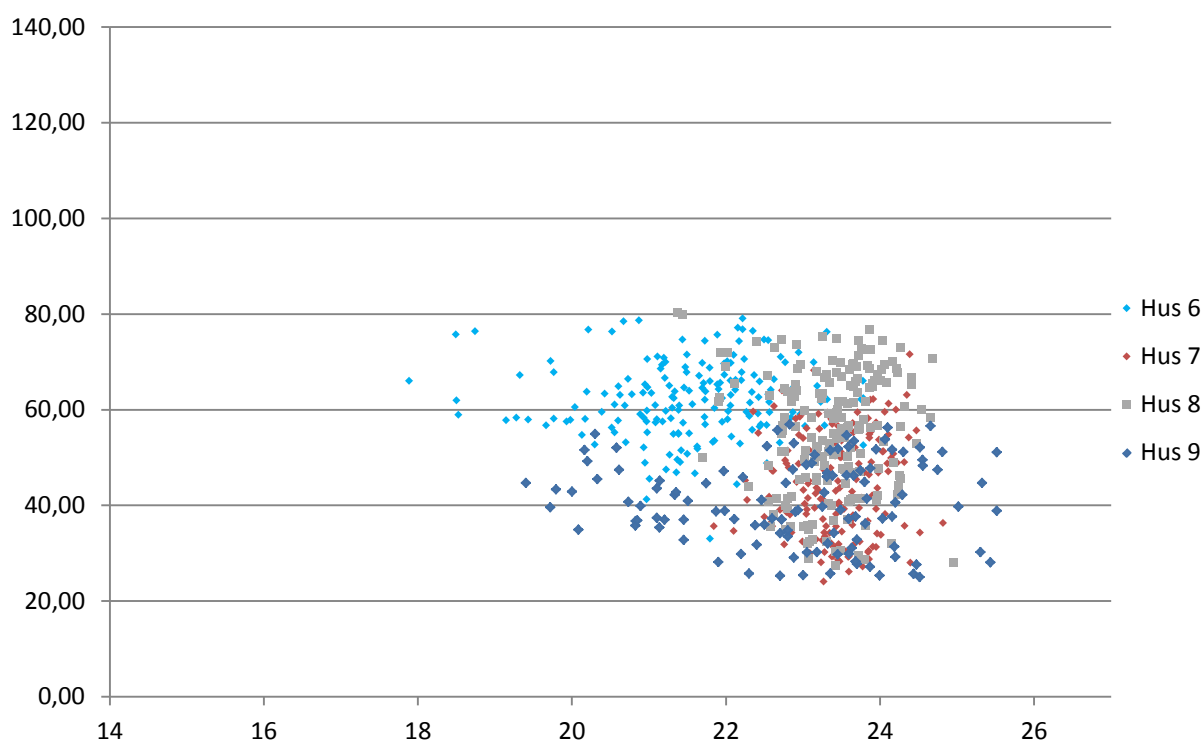
Hus 1 har relativt lav innetemperatur i oppvarmings sesongen sammenlignet med de andre husene. Også årlig energibruk er lav. Hus 1 er det eneste av de bebodde husene som ligger under verdien for beregnet levert energi. Beboerne i hus 1 var ikke så fornøyd med innetemperaturen etter den første vinteren og de hadde ikke mulighet til å varme opp huset til ønsket nivå. I 2013 ble det installert en viftekonvektor, og innetemperaturen i desember 2013 var høyere enn i 2012 (fig.37 og 39). Dermed kan vi anta at også energibruken har økt, men pr. dags dato har vi ikke tall på dette.

Hus 2 og hus 3 har høyere innetemperatur enn hus 1 og også høyere energibruk. Tatt i betraktning at det bodde 5 personer i hus 2 under deler av måleperioden er allikevel energibruk per person i hus 2 ikke så høy (fig.49). Relativ jevn innetemperatur i hus 2 kan være et resultat av at beboerne ikke justerer på oppvarmingssystemet.

Hus 5 har høyeste innetemperatur og høyest energibruk noe som vises tydelig i diagrammet. Energibruken varierer også veldig fra dag til dag. Beboerne har en ekstra oppvarmingskilde og huset er større enn de andre husene. Det er også beboerne i hus 5 som har åpent vindu på soverommet døgnet rundt, noe som vil kreve ekstra energi for å holde varmen i resten av huset siden vegg mellom soverommet og resten av huset ikke er isolert. Alle disse faktorene vil gjenspeiles i energibruken. Hus 5 har dessuten opplyst om at de har el-bil som de lader mye hjemme. Deler man energibruk på antall personer i huset, havner hus 5 allikevel midt på treet (fig.49).

Selv om hus 4 var ubebodd er det interessant å se at huset allikevel bruker en del energi. Hus 4 har 56 dager med innetemperaturer under 19 °C, og 245 dager med innetemperaturer over 19 °C. I løpet av oppvarmingssesong var det 48 timer med innetemperaturer under 19 °C og 82 timer med innetemperaturer over 19 °C. Dette kan tyde på at oppvarmingssystemet sto på et visst nivå selv om eierne ikke bodde i huset.

Figur 54 viser gjennomsnittlig innetemperatur i løpet av oppvarmingssesongen i forhold til energibruken for hus 6,7,8 og 9.



Figur 54: Gjennomsnittlig innetemperatur i løpet av oppvarmingssesongen i forhold til energibruken for hus 6,7,8 og 9.

Hus 6 har lav innetemperatur men nest høyest energibruk per år, etter hus 5. Energibruken virker å være høy i forhold til den målte innetemperaturen og vi kan anta at det brukes energi til mye annet enn oppvarming i dette huset. Høy energibruk kan skyldes f.eks. mye bruk av varmtvann, bruk av annet elektrisk utstyr eller at noen beboere er mye hjemme på dagtid.

Hus 7 har relativt høy innetemperatur, men ikke så høy energibruk som for eksempel hus 8, som har sammenlignbar innetemperatur.

Hus 8 har høy inne-temperatur og relativt høy energibruk per år. Delt på antall personer, er energibruk i hus 8 langt over det de andre beboerne bruker per år (fig.50). Dette er huset hvor beboerne er misfornøyde med inne-temperaturen om vinteren. Høy energibruk i dette huset er antakelig et resultat av at de har skaffet seg forskjellige ekstra oppvarmingsmuligheter som de har testet. Mot kaldras har de lagt inn varmelister i vinduskarmen og de har også brukt oljeradiator som ekstra oppvarming.

Hus 9 har høy spredning i inne-temperatur og middels høy energibruk. Ser man på gjennomsnittstemperaturen, har hus 9 lavere gjennomsnittstemperatur i oppvarmings-sesongen enn for eksempel hus 8 (hus av samme størrelse) (tab.3). Hus 8 har også tydelig høyere energibruk per år enn hus 9. I begge husene bor det 2 personer. Forskjellen i energibruken skyldes sannsynligvis forskjell i bruk av annet elektrisk utstyr og/eller varmtvann.

Målingene viser at det er en sammenheng mellom inne-temperatur og energibruk. Det er allikevel andre faktorer som har innflytelse på energibruk som vi ikke kan si noe sikkert om, siden vi har kun måling av totalmålinger av energibruk. Når man sammenligner temperaturmålinger, energibruk og det som vi vet om noen beboeres vaner, blir det tydelig at brukernes praksis har en avgjørende rolle i energibruken.

Energi bruk per m<sup>2</sup> er ikke overraskende høyest i de husene som er bebodd av flere enn 2 personer, men ser man på energibruk per person kommer disse ofte bedre ut enn husholdningene som er bebodd av kun 2 personer. Husene må oppvarmes uansett til en akseptabel inne-temperatur, uavhengig om det er 2 eller 5 beboere i huset. Hus med flere personer bruker mer energi til elektrisk utstyr og varmtvann, men i sum bruker husholdninger med flere personer mindre energi per person, enn husholdninger med færre personer.

## 11 Oppsummering

### 11.1 Oversikt

#### *Tilfredshet*

- Generell tilfredshet var høy.
- Energiaspektet er ikke hovedgrunnen for å kjøpe huset, men det er aspekter som beliggenhet og utforming.

#### *Termisk inneklima*

- Enkelte beboere var misfornøyde med lufttemperaturen om vinteren. Etter utbedringer av oppvarmingsanlegget ble de aller fleste også fornøyde med vinterkomforten.
- Innetemperaturmålingene viser en høy gjennomsnittstemperatur på ca. 23 grader året rundt.
- Målingene tyder på at ønsket innetemperatur er høyere enn den som antas i simuleringer.
- Overoppheting om sommeren opplevdes som mindre problem for de fleste beboerne.
- Beboerne var fornøyde med lufttilførselen fra ventilasjonsanlegget.
- Luften opplevdes i perioder for tørr om vinteren.
- Målingene viser lav RF om vinteren.
- Gjennomgående ønske om å kunne justere temperaturen på forskjellig rom.

#### *Energimålinger*

- Energimålingene viser stor forskjell i energibruk i boligene, både regnet i kWh/m<sup>2</sup> og kWh/person
- Energiberegninger er stort sett lavere enn målt energibruk.
- Det er sammenheng mellom energibruk og innetemperatur.
- Beboerne har en avgjørende rolle for energibruken.

#### *Byggeprosess*

- Utbyggeren utviklet noen få nye løsninger under byggeprosessen.
- Det ble satt av mer tid i framdriftsplan sammenlignet med tidligere utførte prosjekter.
- Utbyggeren påpeker at prosessen ikke var noe særlig annerledes enn i andre byggeprosjekter.

### 11.2 Hva er spesifikt for passivhus og hva er generelle resultater?

Det som kan tolkes som spesifikke resultater for passivhus i dette prosjektet er at:

- Noen operasjoner på byggeplass tok lengre tid, for eksempel pga økt materialmengde. Tidsbruken gikk allikevel ned etter de første husene sto ferdig. Tidsbruken gikk ned for påfølgende hus etter de første stod ferdig.
- Det ble lagt inn større margin i framdriftsplan for å ha tilstrekkelig tid under byggeprosessen. Som et resultat av en læringsprosess har ikke utbygger lagt inn like stor margin i nye passivhusprosjekter.
- Noen få nye løsninger ble utviklet på byggeplass i samarbeid med leverandøren.
- Økt fokus på tetting og kvalitetssikring. Det antas at økt kvalitetssikring generelt minsker fare for andre byggefeil.
- Økt fokus på fuktsikker byggeprosess.
- Behov for kunnskap om tekniske løsninger som fungerer i passivhus.

Disse resultatene er stort sett relatert til byggeprosessen. De kan være gjeldene i andre passivhus prosjekter, men vil være avhengig av type byggeprosjekt, utbyggerens erfaring og kunnskap, valgte

byggetekniske detaljer og byggesystem. Når bygging av passivhus først er innarbeidet hos en utbygger vil for eksempel ekstra tid som brukes i et først prosjekt gå ned.

Vi ønsker også å påpeke at hvert byggeprosjekt, om passivhus eller TEK 10 hus, vil fortsatt ha sine spesielle utfordringer som må løses i prosessen. Sett fra dette perspektivet kan det være vanskelig å skille om en løsning "skyldes" passivhuskrav eller om det er et resultat av de valgt løsninger i et spesifikt byggeprosjekt.

Resultater som kan tolkes som mer generelle og som også vil være relevant for hus bygget etter dagens standard (TEK 10):

- Noen av beboere opplevde luften som for tørr i perioder på vinteren. Lav RF om vinteren har allerede tidligere vært et problem for komfortopplevelsen i norske boliger. Fenomenet kan forsterkes i hus med ventilasjonsanlegg. Lav RF i inneluft om vinteren er noe som er positivt rent bygningsfysisk. Høy RF i inneluft på vinteren øker generelt faren for byggskader og kan føre til blant annet problemer med kondens på kalde overflater, f.eks. vinduer. Svært lav RF i inneluft (< 20 % RF), kan føre til redusert komfort.
- Mindre behov for vindusventilering blant beboerne i passivhus, og antakelig også i andre hus med mekanisk ventilasjon
- Beboernes ønske om å kunne justere temperatur / ventilasjon på ulike rom.
- Energibruk er avhengig av beboervaner.
- Høy byggestandard i dag gir mulighet for å ha høy innetemperatur i alle rom. Dette har innflytelse på adferd og forventninger til komfort.
- Tilfredshet med innetemperatur vil alltid variere, dvs ikke alle vil til enhver tid være fornøyde.
- Folk velger boligen pga andre faktorer enn energistandard.

### 11.3 Hva kan gjøres bedre i framtidige evalueringer?

"Lessons learned" fra det første evalueringsprosjektet i EBLE er:

- Det anbefales å måle formålsdelt energibruk. Resultatene av målt total levert energi gir ikke detaljert nok informasjon om hva som går til oppvarming og hva som går til annen bruk. Annen bruk av energi er brukerrelatert og individuell.
- Plassering av termometer i avtrekkskanalen var ikke optimal med tanke på å få en god indikasjon på opplevd temperatur i oppholdssonen. I tillegg til romtemperatur anbefales måling av operativ temperatur som momentan måling som tar hensyn til overflatetemperatur og lufthastighet som gir et bedre bilde av temperaturopplevelse i rom.
- Temperatur bør også måles i flere rom i huset.
- Plassering av utetemperaturmåler slik at den ikke blir truffet av solstråling.



## 12 Referanser

- Alvesson, M. & Sköldbberg, K. (2000), *Reflexive Methodology, New Vistas for Qualitative Research*, Los Angeles: Sage Publications
- Ananiassen H. (2011), Rapport Tetthetsmåling Rossåsen tomt 97, Stavanger
- Brager, G.S & deDear, R. (1998) Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, *ASHRAE Transactions*, Vol. 104, No.1, pp. 145-167
- Charmaz (2004), Grounded Theory, pp 81-110, in Smith, J.A. (ed.), *Qualitative Psychology: A Practical Guide to Research Methods*, London: Sage Publications
- DIBK (2013), Veiledning til TEK 10, lastet ned fra nettet 15.11.2013 fra:  
<http://byggeregler.dibk.no/dxp/content/tekniskekrav/13/4/>
- Dillman, D.A. (2000) *Mail and Internet Surveys, the Tailored Design Method*, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York
- Ebel, W., Großklos, M., Knissel, J., Loga, T. & Müller, K. (2003) *Wohnen in Passiv- und Niedrigenergiehäusern; Eine vergleichende Analyse der Nutzerfaktoren am Beispiel der "Gartenhofsiedlung Lummerlund" in Wiesbaden-Dotzheim*. Endbericht, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt
- Fanger, P.O. (1972), *Thermal comfort*, New York: MacGraw-Hill Book Co.
- Flyvbjerg, B. (2004) 'Five misunderstandings about case-study research', in Seale *et al.* (eds.), *Qualitative Research Practice*, Sage Publications, London
- GE (2006) Datablad for måleloggerne:  
[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:u6C3GqucfFoJ:www.ge-mcs.com/download/moisture-humidity/920\\_317b.pdf+&cd=6&hl=no&ct=clnk&gl=no](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:u6C3GqucfFoJ:www.ge-mcs.com/download/moisture-humidity/920_317b.pdf+&cd=6&hl=no&ct=clnk&gl=no)  
Lastet ned 25.11.2013.
- Geving S., Holme, J. (2010) *Høyisolerte konstruksjoner og fukt*, SINTEF Prosjektrapport 53
- Groves, R.M. *et al.* (2004) *Survey Methodology*, John Wiley & Sons Inc., New Jersey
- Hauge, Å. L.; Thomsen, J. & Berker, T. (2011), User Evaluations of Energy Efficient Buildings – Literature Review and Further Research, *Advances in Building Energy Research*, Vol. 5
- Heiselberg, P. (1994). Draught Risk From Cold Vertical Surfaces. *Building and Environment*, Vol. 29, No. 3, 1994, p. 297-301
- Hinnen, U. (2008) *Raumluftfeuchte aus medizinischer Sicht*, Zentrum für Arbeitsmedizin, Ergonomie und Hygiene AEH
- Klinski, M.; Thomsen, J.; Hauge, Å. L.; Jerkø, S.; Dokka, T.H., (2012), *Systematisering av erfaringer med passivhus*, SINTEF prosjektrapport 90
- Kvale, S. (1996) *InterViews. An Introduction to Qualitative Research Interviewing*,

Sage Publications, London

Leaman A. & Bordass B., (2007), "Are users more tolerant of "green" buildings?", *Building Research and Information*, Vol. 35, No. 6, pp. 662–673

Loddervik, I. (2012), Sluttrapport passivhus Rossåsen, Fjogstadhus

Janson, U. (2010), Passive Houses in Sweden, Dr.grad, Lunds Universitet

Johansson, R. (2002), Ett explikativt angreppssätt – Fallstudiemetodikens utveckling, logiska grund og betydelse i arkitekturforskning, *Nordisk Arkitekturforskning*, Nr. 2

Johansson, R. (2006), Case study methodology, kursmaterieell, KTH Infrastruktur

May, T. (1993), *Social Research. Issues, Methods, and Process*, 3<sup>rd</sup> Ed., Open University Press, Buckingham

Mlecnik, E. (2013), *Inovation development for highly energy-efficient housing. Opportunities and challenges related to the adoption of passive houses*, Dissertation, TU-Delft

Nicol, F. & Roaf, S. (2005). Post-occupancy evaluation and field studies of thermal comfort. *Building Research and Information* 33, s.338–346

Nilsson (2009) *Kunskapslege och råd kring fuktsaker prosjektering och tillempeuing av fuktkrav I BBR før trekonstruksjoner* Lund Teknsika Høgskola, Sverige

Norsk Standard (2010), Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - boligbygninger

Norsk Standard (2011), Beregning av bygningers energiytelse- Metode og data. NS 3031:2007 + A1:2011

Norsk Standard (2011)

Norsk Standard (2007), Inneklimateparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk. NS-EN 15251:2007.

NTNU SINTEF (2007) ENØK I BYGNINGER Effektiv energibruk 3. Utgave ISBN 978-82-05-37496-6

Patton, M. Q. (1990), *Qualitative Evaluation and Research Methods (2<sup>nd</sup> ed.)*, Newbury Park, California: Sage Publications

Peper, S., Feist, W. & Kah, O. (2001). *Messtechnische Untersuchung und Auswertung Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg*. CEPHEUS-Projektinformation. Hannover, Stadtwerke Hannover: 135

Rohregger, G. *et al.* (2004), Behagliche Nachhaltigkeit. Untersuchungen zum Behaglichkeits- und Gesundheitswert von Passivhäusern, *Berichte aus Energie- und Umweltforschung*, 17/2004.

Programbyggene (2013), SIMIEN, Energi simuleringsprogram

SINTEF Byggforsk (1996), 527.231 Glassgårder i store bygg. Temperatur og energifohold

SINTEF Byggforsk (2000), 421.510 Tilrettelegging for godt innemiljø i boliger  
SINTEF Byggforsk (2003), 523.261 Bindingsverk av I-profiler

SINTEF Byggforsk (2012), 451.021, Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring

Stake, R. E. (1998) Casestudies, in: Denzin, N.K. & Lincoln, Y. *Strategies of Qualitative Inquiry*, Sage Publications, Thousand Oaks

Thomsen, J.; Berker, T.; Hauge, Å. L.; Denizou, K.; Wågø, S. I.; Jerkø, S. (2013), The Interaction between Building and Users in Passive and Zero-Energy Housing and Offices: The Role of Interfaces, Knowledge and User Commitment, *Smart and Sustainable Built Environment*, Vol 2, No,1

Thomsen, J.; Berge, M., (2012), Inneklima i energieffektive boliger – en litteraturstudie, SINTEF prosjektrapport 92

Thomsen, J.; Hauge, Å. L.; Denizou, K.; Jerkø, S.; Wågø, S.; Berker, T. (2011), *User evaluations of energy efficient buildings – The interplay of buildings and users in seven European casestudies*, The Centre on Zero Emission Buildings (ZEB), ZEB report 1

Yin, R.K. (2003), *Case Study Research (3<sup>rd</sup> ed.)*, Thousand Oaks: Sage Publications

YR (2013) Værdata for Sola målestasjon lastet ned fra:

[http://www.yr.no/sted/Norge/Rogaland/Sola/Stavanger\\_lufthavn,\\_Sola/almanakk.html?dato=2012-06-01](http://www.yr.no/sted/Norge/Rogaland/Sola/Stavanger_lufthavn,_Sola/almanakk.html?dato=2012-06-01)

#### **Nettsider:**

ASHRAE standard 55-2004 – Thermal environment, tilgjengelig august 2013 på:  
[www.ashrae.org/File%20Library/docLib/Public/20100902\\_ad55\\_2004\\_h.pdf](http://www.ashrae.org/File%20Library/docLib/Public/20100902_ad55_2004_h.pdf)

[www.bygge-passivhus.no](http://www.bygge-passivhus.no), tilgjengelig august 2013

[www.fjogstad-hus.no](http://www.fjogstad-hus.no), tilgjengelig september 2013

www.moelven.com, Iso3 stender, tilgjengelig mars 2014,

<http://www.moelven.com/ImageBank/Brosjyre%20nettutgave%203.opplag.pdf>

## 13 Vedlegg

### 13.1 Inndata, energiberegning

	Hus 1-4	Hus 5	Hus 6-9	
	Fjogstadhus 90	Fjogstadhus 94	Fjogstadhus 98	
A/V-forhold	1,07	0,83	1,03	
Dokumentasjon av sentrale inndata (1)				
Beskrivelse	Verdi	Verdi	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m <sup>2</sup> ]:	201	317	227	Tegninger
Areal tak [m <sup>2</sup> ]:	122	83	122	Tegninger
Areal gulv [m <sup>2</sup> ]:	80	76	85	Tegninger
Areal vinduer og ytterdører [m <sup>2</sup> ]:	31	33	33	Tegninger
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m <sup>2</sup> ]:	161	237	174	Tegninger
Oppvarmet luftvolum [m <sup>3</sup> ]:	407	614	452	Tegninger
U-verdi yttervegger [W/m <sup>2</sup> K]	0,12	0,12	0,12	Tegninger & info Fjogstadhus
U-verdi tak [W/m <sup>2</sup> K]	0,11	0,11	0,11	Tegninger & info Fjogstadhus
U-verdi gulv [W/m <sup>2</sup> K]	0,09	0,08	0,08	Tegninger & info Fjogstadhus
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m <sup>2</sup> K]	0,73	0,73	0,73	Tegninger & info Fjogstadhus
Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]:	0,05	0,05	0,05	NS3031
Normalisert varmekapasitet [Wh/m <sup>2</sup> K]	34	24	33	Inlagt innerflater i SIMIEN
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0,32	0,32	0,32	Tetthetsmålinger Rambøll-rapport gjennomsnitt
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	82	82	82	Fra leverandør Systemair
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m <sup>3</sup> /s]:	2,00	2,00	2,00	Fra leverandør Systemair (<2,5)
Luftmengde i driftstiden [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	1,3	1,3	1,3	Beregnet, leverandør Systemair
Luftmengde utenfor driftstiden [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	1,3	1,3	1,3	Beregnet, leverandør Systemair
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,3	20,3	20,3	NS 3031
Driftstid oppvarming (timer)	16,0	16,0	16,0	NS 3031
Driftstid kjøling (timer)	0,0	0,0	0,0	NS 3031
Driftstid ventilasjon (timer)	24,0	24,0	24,0	NS 3031
Driftstid belysning (timer)	16,0	16,0	16,0	NS 3031
Driftstid utstyr (timer)	16,0	16,0	16,0	NS 3031
Oppholdstid personer (timer)	24,0	24,0	24,0	NS 3031
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	1,95	1,95	1,95	NS 3031
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	1,95	1,95	1,95	NS 3031
Effektbehov utstyr i driftstiden	3,00	3,00	3,00	NS 3031

[W/m <sup>2</sup> ]				
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	1,80	1,80	1,80	NS 3031
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m <sup>2</sup> ]	3,40	3,40	3,40	NS 3031
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	0,00	0,00	0,00	NS 3031

## 13.2 Intervjuguide, byggeprosess

**Intro om EBLE og målet med intervjuet.**

**Informasjon om nøkkeltall i prosjektet:**

**Totalt antall m<sup>2</sup> oppvarmet BRA:**

**Gjennomsnittlig antall m<sup>2</sup> BRA/boenhet:**

**Byggekostnader:**

**Energibehov (iht. NS3031)**

**Netto oppvarmingsbehov (kalkulert):**

**Netto energibehov (kalkulert):**

**Leverert energibehov:**

**Varmetapstall (kalkulert):**

**Byggetekniske kvaliteter**

Andel dør/vindusareal:

U-verdi Vegg:

U-verdi Tak:

U-verdi gulv:

U-verdi vindu/dør/glass:

Normalisert kuldebroverdi:

Lekkasjetall (50 På trykkforskjell):

Varmegjenvinningsgrad:

SFP-faktor:

Kostnad:

Byggherre:

Arkitekt:

Landskapsarkitekt:

Rådgivende ingeniør VVS:

Rådgivende ingeniør energi:

Hovedentreprenør:

Leverandører av teknisk utstyr:

**Type varmesystem / energiforsyning**

---

### 1. Personlig bakgrunn og foretaket

-Kort om foretak, hovedaktiviteter, størrelse?

-Hva er din stilling?

-Hvilken rolle har du hatt i prosjektet?

## 2. Om prosjektet

- Kan dere kort beskrive prosjektet med egne ord? Hva er spesielt viktig for dere i de forskjellige stillingene å framheve?
- Kan dere beskrive byggemåten og konstruksjonssystemet som ble valgt?
- Var det spesielle forventninger knyttet til prosjektet? (Fra deg, foretaket, det offentlige?)

## 3. Ambisjonsnivå

- Hvilke ambisjoner ifm energieffektivitet var lagt til grunn i prosjektet?
- Ble resultatet på ambisjonsnivået eller ble det endret underveis?
- Hvilke faktorer i prosessen har påvirket ambisjonsnivået og valg av løsninger?
- Har dere/foretaket hatt erfaringer med passivhusnivå før dette prosjektet?
- Hvor skaffet dere nødvendig kunnskap om passivhus? Lett tilgjengelig?

## 4. Byggeprosess

### a) Organisering

- Hvordan ble byggeprosessen organisert? (Gjennomføringsmodell? Hvem styrte hva? Organisering av samarbeid mellom aktørene?)
- Hvordan ble samarbeidspartnere valgt ut?
- Hvordan fungerte samarbeid mellom aktørene? (byggherre, arkitekter, håndverkere, det offentlige, etc.)
- Hvordan var kommunikasjon og informasjonsutveksling mellom aktørene organisert?
- Fungerte byggeprosessen og byggemåte slik det var planlagt? Endringer, avvik?
- Opplever dere at byggeprosessen var annerledes enn i prosjekter uten like høye krav til energieffektivitet (for eksempel TEK 10 hus) Hvis ja, hvor og hvordan?
- Var energieffektivitet et spesifikt kontrollområde i byggeprosessen? Hvis ja, hvordan ble det gjennomført?
- Hvor ligger utfordringene i byggeprosessen av energieffektive bygninger? (Tekniske løsninger? Organisering? Samarbeid mellom aktørene? Kostnader? Kunnskap?)

### b) Byggemåte

- Ble det utviklet spesielle løsninger for prosjektet eller brukte dere mange pre-aksepterte / konvensjonelle løsninger?
- Var det behov for nytenkning ifm eksisterende løsninger? Hvis ja, i hvilke tilfeller?
- Har dere dokumentasjon av byggetekniske løsninger? Bilder, tegninger?
- Hvem som var ansvarlig for detaljprosjektering?
- Er prosjektet plassbygget eller prefab.?
- Ble det bygget under telt?
- Hvis konvensjonell plassbygging, hvordan har dere håndtert fukt / nedfukting under byggeperioden?
- Var det avvik, problemer, byggskader i prosjektet under byggeperioden? I så fall, hva og hvorfor?
- Brukte dere ukjente tekniske løsninger? Hvordan ble disse valgt?

## 5. Kostnader

- Ble økonomien i prosjektet som forventet? Hvorfor / hvorfor ikke?
- Hvordan er kostnadene sammenlignet med boliger som dere har bygget tidligere (referanseprosjekt)?
- Hva var de største kostnadsdrivere i prosjektet?
- På hvilken måte styrte økonomien valg av byggemåten og byggetekniske løsninger?

## 6. Læring og framtidige prosjekter

-Er det noe som dere ville gjort annerledes basert på erfaringer fra prosjektet ved gjennomføring av nye prosjekter senere?

-På hvilke områder trenger dere mer kunnskap ifm passivhusbyggingen? Og bransjen generelt?

- Hvordan utvikler dere kompetanse ifm energieffektivitet og passivhusstandard?

-Hvordan oppfatter dere kompetansenivå ifm passivhusbygging blant de forskjellige aktørene (ark, ing, håndverkere, ...)?

- Har dere tanker om hvordan kompetanseutvikling burde organiseres?

## 7. Eventuelt

- Har dere noe dere ønsker å tilføye?

### 13.3 Hypoteser

Hypotesene som ligger til grunn for spørreundersøkelsen og for intervju spørsmålene:

*A) Termisk komfort vinter og sommer:*

Hyp 1. Innetemperaturen kan oppleves som for varmt om sommeren.

Hyp 1a. Innetemperaturen kan oppleves som for kaldt om vinteren.

Hyp 2. Ved dårlig komfort (for varmt/for kaldt) finner beboerne på løsninger som ikke alltid står i tråd med husets planlagt bruk.

*B) Inneklima (opplevd luftkvalitet med balansert ventilasjon):*

Hyp 4. Beboerne synes at de kan tilpasse lufttilførselen etter deres ønsker.

Hyp 5. Beboerne har mindre behov for å ventilere gjennom vinduene enn i andre typer hus/deres tidlige bolig.

*C) Bruk av hus/teknologi:*

Hyp 5. Beboerne er fornøyde med informasjon de har fått om husets bruk og teknologi (ventilasjon, oppvarming, lys, solavskjerming).

Hyp 7. Beboerne mener at de bruker husets teknologi slik det var tiltenkt.

Hyp 8. Beboerne synes styringspanelene (user interface) er designet forståelig og brukervennlige (ventilasjon, oppvarming, lys, solavskjerming).

Hyp 9. Beboerne synes at de trenger mer informasjon om bruk av passivhuset enn de trenger for bruk av sin tidligere bolig.

Hyp 10. Brukerne er fornøyde med kontrollmulighetene over de tekniske installasjonene (ventilasjon, oppvarming, lys, solavskjerming).

*D) Brukernes praksis: (kunnskapens rolle for daglig praksis)*

Hyp 11. Beboerne har høye forventninger til komfort og brukbarhet av det nye passivhus.

Hyp 12. Beboerne er tålmodige hvis ikke alt fungerer som planlagt siden bygget er fortsatt i tilpasningsfasen.

Hyp 13. Tidvis opplevd nedsatt termisk komfort eller dårlig luftkvalitet har ikke noe innvirkning på generell tilfredshet med boligen.

Hyp 14. Beboerne opplever at det å bo i passivhus har positiv innflytelse på deres interesse i miljøspørsmål generelt.

Hyp 15. Beboerne prøver bevisst å holde energibruken ned.

# Evaluering av ni passivhusboliger på Rossåsen ved Sandnes

## EBLE – EVALUERING AV BOLIGER MED LAVT ENERGIBEHOV. DELRAPPORT 1

Rapporten presenterer resultater fra evaluering av ni eneboliger med passivhusstandard på Rossåsen ved Sandnes. I undersøkelsen ble det målt total energibruk, innetemperatur, luftfuktighet og trefukt i konstruksjonen. Det ble også gjennomført intervjuer med beboerne og utbygger om erfaringer med bygging og bruk av passivhus.

Husene i undersøkelsen var bygd av Fjogstadhus.

