Judith Thomsen • Lars Gullbrekken • Steinar Grynning • Jonas Holme

SINTEF FAG 43

# Evaluering av boliger med lavt energibehov (EBLE)

SAMLERAPPORT

SINTEF

SINTEF Fag

Judith Thomsen, Lars Gullbrekken, Steinar Grynning og Jonas Holme

# Evaluering av boliger med lavt energibehov (EBLE) – samlerapport

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Fag 43

Judith Thomsen, Lars Gullbrekken, Steinar Grynning og Jonas Holme

**Evaluering av boliger med lavt energibehov (EBLE) – samlerapport**

Emneord: passivhus, evaluering, målinger, inneklima, energibruk, brukeropplevelse, byggeprosess, kostnader, trefukt

Prosjektnummer: 102000176

ISSN 1894–1583
ISBN 978-82-536-1543-1 (pdf)
ISBN 978-82-536-1560-8 (trykk)

Omslag: Tegningene av bygningene er gjengitt med tillatelse fra boligbyggerne.

Illustrasjoner for øvrig: Alle tegninger og bilder er fra partnere eller fra SINTEF Byggforsk der ikke annet er beskrevet.

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2017
Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare 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.: 73 59 30 00

www.sintef.no/byggforsk
www.sintefbok.no

# Evaluering av boliger med lavt energibehov (EBLE) – Samlerapport

## Forord

I dagens samfunn er det et sterkt fokus på reduksjon av klimagassutslippene. Norge har forpliktet seg til en utslippsreduksjon på minst 40 % i 2030 sammenliknet med nivået i 1990 (Meld. St. 13 (2014–2015). Flere internasjonale studier viser at energieffektivisering av bygninger er et av de enkleste og mest kostnadseffektive klimatiltakene. Energieffektive bygninger trenger mindre energi til oppvarming, og gir dermed et redusert behov for kraftproduksjon. Kravene til bygningers energibruk er gjennom de senere årene blitt skjerpet. I den sammenheng har det blitt stilt spørsmål i offentligheten og i byggebransjen rundt høyisolerte bygg og konseptet passivhus. Spørsmålene har blant annet dreid seg om inneklima og byggtekniske utfordringer.

Prosjektet *Evaluering av boliger med lavt energibehov* (EBLE) har hatt som overordnet mål å øke kunnskapen om boliger på passivhus- og nesten nullenerginivå gjennom en omfattende evaluering av pilotprosjekter. Sentrale forskningsspørsmål i prosjektet har vært knyttet til energibruk, inneklima og bygningsfysikk, brukererfaringer og brukeropplevelser og erfaringer knyttet til byggeprosess.

Datasettet og dokumentasjon fra forskningsprosjektet kan bestilles gjennom Norsk senter for forskningsdata, NSD.

Prosjektet har hatt følgende partnere: Skanska Norge, OBOS, Jadarhus Gruppen AS, Fjogstad-Hus Eiendom AS, Veidekke Entreprenør AS, Block Watne AS, Mestergruppen AS (avd. Mesterhus), Heimdal Bolig, Boligprodusentenes Forening, Lavenergiprogrammet (Prosjekteier) og SINTEF Byggforsk (Forskningspartner).

Prosjektet har fått forskningsmidler fra RENERGI-programmet i Norges forskningsråd. Samarbeidspartnerne i innovasjonsprosjekter bidrar med egeninnsats. I tillegg har forskningsprosjektet fått økonomisk støtte fra Lavenergiprogrammet, Direktoratet for byggkvalitet (DiBK), Husbanken og Enova.

Vi takker alle som har bidratt i prosjektet. En ekstra stor takk går til beboerne som deltok i under--søkelsen.

Prosjektgruppen har bestått av Tor Helge Dokka (prosjektleder fra 2012–2013), Judith Thomsen (prosjektleder 2013–14 og 2015–16) og Inger Andresen (prosjektleder 2014–2015). Arbeidspakkeledere var Lars Gullbrekken (AP1, 2013–2016), Jonas Holme (AP1, 2012), Anna Svensson (AP2, 2012–2015), Steinar Grynning (AP2, 2016), Solveig Irgens (AP4 2012–2016), Guro Hauge var prosjektleder for EBLE i Lavenergiprogrammet fra 2012–2016. Kvalitetssikrere har vært Mads Mysen, Stig Geving (NTNU), Thomas Berker (NTNU) og Inger Andresen (NTNU).

Trondheim, 18.9.2017

Jonas Holme
Forskningssjef
SINTEF Byggforsk

Judith Thomsen
Prosjektleder
SINTEF Byggforsk

# Sammendrag

## Omfang

Rapporten presenterer resultater fra evaluering av sju passivhusprosjekter og to TEK10[1]-prosjekter. Antall boliger i studien er 64 passivhus[2] og 10 TEK10-boliger. I vår casestudie bruker vi flere caser for å kunne sammenlikne funn. Resultatene og funn fra casene kan være gjeldende også i andre prosjekter og vil kunne gi implikasjoner for praksis ved framtidig bygging av energieffektive boliger. Antallet caser i EBLE er begrenset og dataene gir derfor ikke grunnlag for statistisk generalisering. Dette er likevel den mest omfattende studien som er gjennomført i Norge på denne tematikken.

I EBLE-boligene ble det målt energibruk, innetemperatur og luftfuktighet. I sju av boligene ble det i tillegg gjennomført målinger av trefukt i konstruksjonene. I noen enheter ble det også målt $CO_2$-konsentrasjon på soverommet. Det ble gjennomført 38 beboerintervjuer. I tillegg ble nøkkelpersoner i byggeprosessen intervjuet om erfaringer med bygging av passivhus.

## Sammendrag, funn

Beboerne har høye forventninger til inneklima og komfort i nye boliger, både i passivhus og i TEK10-boliger. Forventningene innfris til en stor grad i de evaluerte prosjektene. Aspekter som pris, planløsning og beliggenhet var hovedargumenter for kjøp. At boligene er passivhus, ble ikke trukket fram som hovedgrunn for å kjøpe passivhus, men ble beskrevet som en bonus i forbindelse med strømregning.

Funn fra interjuene viser at de fleste beboerne generelt er fornøyd, og de er veldig fornøyd med opplevd innetemperatur både sommer og vinter. Målingene viser også at boligene i de ulike prosjektene oppfyller et ønske om å ha høy innetemperatur. Noen unntak skyldes byggtekniske og oppvarmingstekniske utfordringer med enkelte boliger. Her opplevde beboerne for kalde temperaturer før utfordringene ble utbedret og løst.

Målingene viser videre at det er større forskjeller i temperatur mellom boliger innad i prosjektene enn mellom ulike prosjekter. Det har ikke blitt funnet noen systematisk forskjell i innetemperatur mellom TEK10-hus og passivhus.

Alle de intervjuede beboerne, unntatt én, ønsket innetemperaturer mellom 22–24 °C i oppholdsrom. Disse temperaturene er høyere enn det som legges til grunn for energi-beregninger etter gjeldende standarder. Det er også et gjennomgående ønske om lavere temperaturer på soverommet, 15–19 °C. Justering av temperatur mellom ulike rom i boligen kan oppleves som en utfordring. Vinduslufting benyttes for å senke temperaturen, spesielt på soverommet og om sommeren.

Overoppheting oppleves som et mindre problem hvis det skjer i korte perioder om sommeren. Over lengre perioder kan det oppleves som plagsomt, spesielt når det er varmt på soverommet. Målingene og intervjuer viser at utvendig solavskjerming samt å legge til rette for gjennomlufting av boligene reduserer faren for overtemperaturer sommerstid.

De fleste beboerne var fornøyd med lufttilførselen og luftkvaliteten. Noen opplever lufta som tørr i perioder om vinteren. I flere hus ble det målt lav relativ luftfuktighet om vinteren, noe som bekrefter beboernes opplevelse. Lav relativ luftfuktighet og tørr luft om vinteren er et generelt problem i boliger. Krav til høyt luftskifte i boliger kan være en forsterkende faktor kombinert med lavt fukttilskudd.

---

[1] Boliger bygd i henhold til gjeldende byggteknisk forskrift på søknadstidspunktet (TEK10). TEK10-boligene er prosjektert og bygd før de nye energikravene i byggteknisk forskrift (TEK10) trådte i kraft 1. januar 2016.

[2] Boliger bygd i henhold til gjeldende byggteknisk forskrift, men som også tilfredsstiller kravene i NS 3700 *Kriterier for passivhus og lavenergibygninger – Boligbygninger*.

Beboerne hadde behov for god og lett tilgjengelig informasjon om styring, regulering og vedlikehold av de tekniske installasjonene, spesielt hvor det er nyskapende og ukjente løsninger. Informasjonsformidling og oppfølging ble ikke like godt i varetatt i alle prosjektene.

Det er målt betydelig lavere energibruk i passivhus enn i boliger oppført etter TEK10-standard. Gjennomsnittlig bruker passivhusboligene ca. 30 % mindre energi enn TEK10-boligene. Beregnet behov for levert energi er i gjennomsnitt 23 % lavere enn målt, levert energi for passivhusene og 4 % lavere for TEK10-husene. Energibruken er tydelig avhengig av beboernes atferd og vaner.

Målt energibruk til varmtvann er i enkelte boliger betydelig høyere enn beregnede verdier (etter NS 3031), men enkelte boliger har målinger med lavere forbruk. I prosjektet hvor det er brukt solceller (PV), leverer PV-anlegget noe mer strøm i virkeligheten enn beregnet. Oppvarmingsbehovet underestimeres i energiberegningene og er en viktig forklaringsfaktor for avvik mellom målt energibruk og beregnet behov.

Beboernes holdninger til energibruk er ambivalent. De fleste synes det er positivt å spare strøm. Men en generell tendens i intervjuene er at man ikke ønsker å ofre komfortopplevelsen for å spare mer.

Utbyggerne rapporterer om gjennomgående økt tidsbruk og kostnader ved bygging av passivhus. Kostnadsnivået knyttes til større usikkerhet rundt løsninger, dyrere vinduer, tykkere vegger med mer materialer og økt monteringstid. Tidsbruk og kostnader går noe ned ved innarbeidede prosesser. Kostnadsrapporten som ble utarbeidet i EBLE-prosjektet (Skeie *et al.*, 2016), viser beregninger av kostnader for ulike tekniske standarder og konkluderer med at ytterveggen betyr mest for kostnadene.

Konstruksjonstype ble i hovedsak valgt ut fra et ønske om å minimere isolasjonstykkelsen, og det er benyttet ulike løsninger i prosjektene. Valg av oppvarmingssystem anså de fleste utbyggerne som en utfordring. Man opplevde mangel på godt dokumenterte løsninger.

Krav om kvalitetssikring har økt med strengere energikrav. Det gjelder detaljutførelse, trykktesting, fuktkontroll, og teiping. Utbyggerne vurderer at det har bidratt til å øke kvaliteten i utførelsen av byggene generelt.

Målingene av trefuktighet i passivhusprosjektene bekrefter at passivhuskonstruksjoner kan bygges etter kjente prinsipper dokumentert i blant annet *Trehus* (Edvardsen og Ramstad, 2014) og ulike anvisninger i Byggforskserien.

## Summary

The report deals with results from seven Passive house projects and two projects with ordinary houses built according to the Norwegian building code (TEK10). In total, there are 64 new Passive houses (built according to the Norwegian passive house standard NS 3700) and 10 new houses built according to TEK10. The results can only be linked to the selected buildings in this case. The selection cannot be used as a statistical representation of the entire Norwegian building stock. However, this is the most comprehensive study that has been carried out in Norway related to this subject.

Energy use and indoor climate is measured in the different buildings. In seven of the buildings, wood moisture content of the wall and roof constructions are measured as well. In total 38 interviews of the inhabitants were conducted.

The residents of both Passive houses and TEK10-houses have high expectations related to the indoor climate and comfort in new, modern houses. These expectations are largely fulfilled. Aspects such as price, design and location were the main purchase arguments. The fact that the home is a passive house was not cited as a main reason for buying a Passive house, but was described as a bonus.

Findings from the interviews show that most of the residents are pleased with the experienced inside temperature during the summer- and winter period. The measurements also show that houses in the various projects fulfil the desired indoor temperatures, with some exceptions due to technical challenges with the heating systems. In these cases, measures to increase the temperatures was deployed.

It was not found any systematic difference in the indoor temperature between TEK10-houses and passive houses. The measurements show that there are greater differences in indoor temperatures between houses within one project than differences between different projects.

The desired living room temperature for all the interviewed residents, except for one, was between 22 to 24 °C. These are higher temperatures than used as a basis for energy calculations according to current standards. There is also a general desire to lower the temperature in the bedrooms. The desired temperature for the bedroom is 15 to 19 °C. It is a challenge to differentiate the temperature between different rooms in the home. Window airing is used to lower the temperature, especially in the bedroom and during the summer season.

Overheating is perceived as less of a problem if it occurs in short periods during the summer. However, it can be perceived as troublesome, especially when it is hot in the bedroom. The measurements and interviews show that the use of exterior window shading and to facilitate aeration of the dwelling reduces the risk of too high temperatures in summer.

Most of the residents were satisfied with the air supply and air quality. However, during winter season some find that the air is too dry. The low relative humidity of the indoor air during winter season was confirmed by the measurements. Low relative humidity and perceived dry air during winter season is a general problem indoors. This is caused by high air change rates in combination with low humidity contribution from interior activities.

Residents need easy accessible information about control, regulation and maintenance of the technical installations, especially where it is innovative and unknown solutions. Dissemination of information and follow-up was not well taken care of in all the projects.

It was measured significantly lower energy consumption in Passive houses than in ordinary houses built according to the TEK10 standard. In average, the energy consumption of the Passive houses was 30% less than for the TEK10 houses. Estimated requirements for delivered energy is in average 23% lower than the measured delivered energy for Passive houses and 4% lower for TEK10 houses. Energy use is clearly dependent on the residents' behaviour and habits.

In some of the houses, the measured energy consumption for hot water consumption is significantly higher than the calculated values according to NS 3031. In other homes, the measured energy use for hot water consumption is lower than the calculated values. The PV system used in one of the projects generate more energy than calculated. Heating demand is underestimated in energy calculations and is an important factor in the discrepancy between the measured energy use and estimated needs.

The residents' attitudes to energy use is ambivalent. Most think it is positive to save energy but a general tendency in the interviews is that it is not desired to reduce comfort. Saving energy one place makes the residents more inclined to use more energy another place and the savings will be less than expected.

The entrepreneurs' reports consistently increased time and cost in the construction of Passive houses. The increased costs are related to expensive windows, thicker walls with more materials and increased construction period. A cost report that was prepared in the EBLE project (Skeie, *et al.*, 2016) concludes that the biggest cost increase is caused by the exterior wall construction

The type of exterior construction was mainly chosen based on a desire to minimize the insulation thickness. Choice of heating system was by most developers considered as a challenge. The developers consider that increase focus on energy saving and airtightness measures has helped increase the quality of the buildings in general.

The measurements of wood moisture content confirm that "passive" constructions can be built according to known principles documented in the book *Trehus* (Edvardsen and Ramstad, 2014).

# Innhold

**FORORD** ..... **3**

**SAMMENDRAG** ..... **4**

OMFANG ..... 4
SAMMENDRAG, FUNN ..... 4

**SUMMARY** ..... **6**

**DEL 1 – METODE OG GJENNOMFØRING** ..... **11**

**INNLEDNING** ..... **11**

SAMFUNNETS MÅL ..... 11
MÅLET MED EBLE ..... 11
MÅLET MED RAPPORTEN ..... 12
*To hoveddeler* ..... *12*
*Avgrensning* ..... *12*
ENERGISTANDARDER ..... 12
*Tre grupper* ..... *12*
*TEK10* ..... *12*
*Hva er passivhus?* ..... *12*

**LITTERATURBAKGRUNN** ..... **14**

ENERGIBRUK, INNEKLIMA OG BEBOERSTUDIER I BOLIGER MED LAVT ENERGIBEHOV ..... 14
INNEKLIMASTUDIER I BOLIGER MED LAVT ENERGIBEHOV ..... 15
*Luftkvalitet* ..... *15*
*Opplevelse av termisk komfort* ..... *16*
FUKT I HØYISOLERTE KONSTRUKSJONER ..... 17

**CASESTUDIEMETODIKK** ..... **18**

KOMBINASJON AV KVANTITATIV OG KVALITATIV METODE ..... 18
VALG AV CASE ..... 19
*Tilgang* ..... *19*
*Valg av caser i EBLE* ..... *20*
GENERALISERING ..... 21
*Tilnærminger* ..... *21*
*Generalisering av resultater fra EBLE* ..... *21*
FORSKNINGSOMRÅDER I EBLE ..... 22
BESKRIVELSE AV EBLE-CASENE ..... 22
*Antall og geografisk beliggenhet* ..... *22*
*Betegnelser og prosjektbeskrivelse* ..... *23*
*Passivhusprosjektene PH 1–7* ..... *24*
*TEK10-prosjektene TEK 1 og TEK 2* ..... *36*

**MÅLEMETODIKK** ..... **39**

ENERGIMÅLINGER ..... 39
*Utstyr til energimålinger* ..... *39*
*Metode for energimålinger* ..... *39*
BEREGNINGSMETODIKK ..... 39
*Metode* ..... *39*
*Datagrunnlag* ..... *39*
*Klima og temperaturkorreksjoner* ..... *40*
INTERVJU ..... 41
INNEKLIMAMÅLINGER ..... 41
*Utstyr til inneklimamålinger* ..... *41*
*Metode for inneklimamålinger* ..... *41*
TREFUKTMÅLINGER ..... 42
*Utstyr til trefuktmålinger* ..... *42*
*Metode for fuktmålinger* ..... *42*

**DEL 2 – RESULTATER OG DISKUSJONER** ..... **44**

**BEBOERSTUDIE** ..... **44**

VURDERING AV BEBOERSTUDIEN ..... 44
RESULTATER FRA BEBOERSTUDIEN ..... 45
*Forventninger til inneklima* ..... *45*
*Opplevelse av inneklima* ..... *46*
*Energibruk og miljøspørsmål* ..... *47*
*Informasjonsbehov ved bruk av ventilasjons- og oppvarmingssystem* ..... *48*
*Opplevelse og forventninger til passivhus versus TEK10-boliger* ..... *50*

**ENERGI** ..... **51**

VURDERING AV ENERGIBRUK ..... 52
OVERORDNEDE FUNN ..... 52
SAMMENLIKNING AV PASSIVHUS OG TEK10-BOLIGER ..... 58
SAMMENLIKNING AV MÅLTE OG BEREGNEDE VERDIER ..... 58
OPPVARMINGSBEHOV ..... 60
*Forskjeller mellom beregnet og målt energibruk* ..... *60*
*Temperaturkorreksjoner – inne- og uteklima* ..... *60*
*Systemløsning for varmedistribusjon* ..... *63*
*Solforhold* ..... *64*
VENTILASJON ..... 64
*Ventilasjonsanleggets effektivitet* ..... *64*
*Vinduslufting* ..... *64*
TAPPEVANN ..... 65
ANNET 66
*Utstyr og belysning* ..... *66*
*Elbil* ..... *66*
LOKALE ENERGIFORSYNINGSKILDER ..... 67
*Varmepumpe* ..... *67*
*Solfangersystem* ..... *68*
*Solcellesystem* ..... *69*

**INNEKLIMA** ..... **71**

VURDERINGSKRITERIER ..... 71
TEMPERATUR I STUA ..... 72
INNETEMPERATUR I OPPVARMINGSSESONGEN ..... 73
INNETEMPERATUR I SOMMERHALVÅRET ..... 74
*Gjennomsnitt* ..... *74*
*Overtemperatur* ..... *75*
*Geografisk plassering* ..... *76*
*Orientering* ..... *77*
*Solavskjerming* ..... *77*
INNETEMPERATUR I PASSIVHUS OG TEK10-BOLIGER ..... 78
RELATIV FUKTIGHET I INNELUFTA ..... 79
TEMPERATUR PÅ SOVEROM ..... 81
*$CO_2$* ..... *83*
INNEKLIMA OG BEBOERTILFREDSHET ..... 83
*Termisk komfort* ..... *83*
*Luftkvalitet* ..... *92*
*Bruk, valgmuligheter og informasjon* ..... *95*

**BYGGETEKNIKK- OG PROSESS** ..... **97**

*Tetthet* ..... *97*
*Kuldebrokrav* ..... *98*
*Byggfukt* ..... *98*
*Økt tidsbruk og kostnader* ..... *98*
*Konstruksjonsløsninger* ..... *98*
*Kvalitet* ..... *99*
*Oppvarmingssystemer* ..... *99*

*Kunnskap om passivhus* ... *99*

**TREFUKT** ... **100**

INTERVJUER OM FUKTHÅNDTERING ... 100
*Generelt* ... *100*
*Vurderingskriterier for trefuktmålinger* ... *101*
RESULTATER FRA TREFUKTMÅLINGENE ... 103
*Generelle funn* ... *103*
*Klima* ... *103*
*Tidspunkt for lukking av konstruksjonen* ... *104*
*Orientering av vegger og tak* ... *105*
*Sperretak / kaldt, uluftet loft* ... *105*
*Trefuktighet ved isolering og montering av dampsperre* ... *106*
*Bunnsvill versus toppsvill og stender* ... *106*
*Passivhus versus TEK10-hus* ... *108*

**KOSTNADER (UTDRAG FRA TIDLIGERE RAPPORT FRA EBLE)** ... **109**

**DISKUSJON** ... **111**

**KONKLUSJONER** ... **115**

**ERFARINGER** ... **116**

GJENNOMFØRING AV EVALUERINGSPROSJEKTET ... 116
LÆRDOM – FRAMTIDIGE MÅLEPROSJEKTER ... 116

**REFERANSER** ... **117**

**VEDLEGG 1: PRESENTASJON AV CASENE I TEGNINGER OG BILDER** ... **123**

**VEDLEGG 2: BYGGETEKNIKK OG -PROSESS: OPPSUMMERING AV INTERVJUER** ... **139**

**VEDLEGG 3: RESULTATER FRA TREFUKTMÅLINGER – ALLE FIGURER** ... **142**

# DEL 1 – metode og gjennomføring

## Innledning

### Samfunnets mål

Det er i dag et sterkt fokus på reduksjon av klimagassutslipp. Norge vil påta seg en betinget forpliktelse om minst 40 prosent utslippsreduksjon i 2030 sammenliknet med 1990 (Meld. St. 13 (2014–2015). Flere internasjonale studier viser at energieffektivisering av bygninger er en av de enkleste og mest kostnadseffektive klimatiltakene (Dobbs *et al.*, 2011). Energieffektivisering av bygninger bidrar til å redusere behovet for kraftproduksjon og dermed også til å minske klimagassutslippene. I nasjonale og internasjonale føringer har det blitt lagt opp til en implementering av nesten nullenerginivå i 2020 (Meld. St. 21 (2011–2012). Energikravene i byggteknisk forskrift (TEK10) ble skjerpet fra 01.01.2016 med ett års overgangstid. Fra 2017 får dermed alle nye- og omfattende rehabiliterte bygg skjerpede krav til energieffektivitet.

Endringer i energikrav har konsekvenser, antakelig både ulemper og fordeler, for utførende og bruker. EBLE vil bidra til å belyse dette.

### Målet med EBLE

EBLE-prosjektet har hatt som overordnet mål å øke kunnskapen om boliger på passivhus- og nesten nullenerginivå gjennom en omfattende evaluering av pilotprosjekter. Ved søknadstidspunktet i 2011 var det ennå ikke foretatt og dokumentert noen systematiske evalueringer av nye, energieffektive boliger i Norge som ser bruk, teknologi og byggtekniske forhold i sammenheng. Gjennom evaluering av bygg på passivhusnivå får vi økt kunnskap om løsninger og avdekker innovasjonsbehov og -potensial. Denne kunnskapen er spesielt viktig å få fram siden energikravene i byggteknisk forskrift (TEK10) per januar 2017 er skjerpet og bygg framover vil oppføres på tilnærmet passivhusnivå.

Medieoppslag vitner om at det fortsatt er usikkerhet i offentligheten og i byggebransjen rundt høyisolerte bygg og konseptet passivhus. Et eksempel er en artikkel i *Morgenbladet* (29.04 til 05.05.2016).

Forskningsområder som ble studert i EBLE, er samspillet mellom det bygde miljø, tekniske løsninger og brukernes praksis. I hver case har vi studert følgende:

- Energibruk
  - Total energibruk i alle enheter, og formålsdelt energibruk i noe utvalgte enheter
- Inneklima og fukt i konstruksjoner
  - Målinger av fukt i konstruksjonen i utvalgte enheter
  - Termisk komfort sommer og vinter i alle enheter
  - Måling av relativ fuktighet i alle enheter, og $CO_2$-innhold i innelufta i utvalgte enheter
- Brukererfaringer og brukeropplevelser
  - Tilfredshet med å bo i passivhus og inneklimaforhold i alle enheter der beboere ønsket å delta
  - Tilfredshet med bruk av tekniske løsninger for ventilasjon og energiforsyning i alle enheter der beboere ønsket å delta
- Erfaringer med byggeprosess for alle prosjekter

EBLE ønsket å etterprøve valgte løsninger. Målet var å få fram fakta innenfor rammen vi har hatt i prosjektet og med de utfordringene og begrensningene vi støtte på i løpet av prosjektperioden. Det dreide seg blant annet om en tidsplan som ble utfordret på grunn av forsinkelser i byggeprosesser, utfordringer med innhenting av måledata, og tilgjengelighet av relevante prosjekter ved oppstart av prosjektet i 2012.

## Målet med rapporten

***To hoveddeler***

Denne rapporten oppsummeres hovedfunn på tvers av de ulike casene. I tillegg foreligger det publiserte og interne notater som omhandler hver individuell case.

Del 1 redegjør for metode, metodevalg og gjennomføring av prosjektet. Utfordringer knyttet til metodevalget og gjennomføringen ble en viktig del av hele prosjektet. Innsikt i prosessen i prosjektet er viktig for å kunne få en helhetlig forståelse av EBLE.

Del 2 beskriver resultatene på tvers av casene og funn diskuteres i relasjon til annen forskning. Til slutt gis det konklusjoner og anbefalinger, og vi beskriver læring for framtidige prosjekter.

***Avgrensning***

Rapporten redegjør for tendenser og fellestrekk vi ser på tvers av prosjektene. Disse tendensene er basert på ni ulike boligområder med 64 passivhusboliger og ti boliger på TEK10-nivå. Prosjektene og boligene kan bare til en viss grad sammenliknes på grunn av ulike karakteristika i hvert prosjekt. Antall enheter på passivhusnivå og spesielt på TEK10-nivå er begrenset, slik at resultatene ikke er statistisk generaliserbare.

## Energistandarder

***Tre grupper***

I EBLE inngår det boliger som tilfredsstiller en av følgende grupper:

- Boliger bygd etter gjeldende teknisk standard i byggteknisk forskrift (TEK10, fram til 01.01.2016)
- Boliger bygd i henhold til NS 3700, men som ikke tilfredsstiller alle krav i standarden
- Boliger som tilfredsstiller alle kravene til passivhus i henhold til NS 3700

Det har vist seg vanskelig å tilfredsstille kravene til normalisert kuldebroverdi i NS 3700 (Norsk Standard, 2013). Av de sju passivhusprosjektene er det kun to (PH 6 og 7) som kan dokumentere at kravene til normalisert kuldebroverdi er tilfredsstilt. Det er derfor kun to av prosjektene som tilfredsstiller alle kravene til passivhus i henhold til NS 3700 (Norsk Standard, 2013). Vi har allikevel valgt å omtale alle sju som passivhus senere i rapporten.

***TEK10***

Byggteknisk forskrift (TEK10) trekker opp grensen for det minimum av egenskaper et byggverk må ha for å kunne oppføres lovlig i Norge. Forskriften skal sikre at tiltak planlegges, prosjekteres og utføres ut fra hensyn til god visuell kvalitet, universell utforming og slik at tiltaket oppfyller tekniske krav til sikkerhet, miljø, helse og energi.

Bygninger som klassifiseres som passivhus, må, i tillegg til å tilfredsstille kravene i byggteknisk forskrift, tilfredsstille andre og strengere krav til energieffektivitet.

***Hva er passivhus?***

Passivhus anerkjennes som bygninger med meget høy kvalitet, godt inneklima og ekstremt lavt energibehov. Grunnen til at det heter *passivhus*, er at man benytter passive tiltak for å redusere energibehovet. Varmetapet i passivhus er så lavt at oppvarmingsanlegget (gulvvarme, radiator, panelovn, vedovn etc.) kan reduseres betraktelig. Konseptet og tilhørende kriterier ble opprinnelig lansert av Passivhusinstituttet i Tyskland (Passivhaus Institut), som også står bak en sertifiseringsordning for byggeprodukter og bygninger. Grunnlaget for det opprinnelige tyske konseptet er at bygningskroppen skal være så godt isolert at oppvarmingsbehovet kan dekkes via ventilasjonsluft med en maksimal effekttilførsel på 10W/m$^2$ og et maksimalt oppvarmingsbehov på 15 kWh/(m$^2$ år).

Kriteriene for passivhus vil variere med klimaet. I noen land er det derfor utviklet egne passivhusstandarder og -kriterier. En bolig som oppfyller kravene til passivhus i ett land, oppfyller derfor ikke nødvendigvis Passivhusinstituttets kriterier eller kravene til passivhus i andre land.

I Norge eksisterer det en egen passivhusstandard for boligbygninger, NS 3700 *Kriterier for passivhus og lavenergibygninger – Boligbygninger* (Norsk Standard, 2013). Standarden er i stor grad basert på den opprinnelige definisjonen av passivhus fra Passivhusinstituttet i Tyskland, men tar hensyn til klima, konstruksjonsløsninger og byggeskikk for norske forhold. Kravene i standardene gjelder for hele bygninger, men kriteriene kan også benyttes til å prosjektere deler av bygninger. Standarden inneholder definisjoner av passivhus og lavenergibygninger med krav til energibehov, beregningskriterier, kriterier som kan brukes for sertifisering og krav til dokumentasjon. Den angir både overordnede kriterier og minstekrav til bygningsdeler, komponenter og lekkasjetall. Alle beregninger skal gjøres i henhold til metodikken beskrevet i NS 3031 (Norsk Standard, 2014).

Det tas utgangspunkt i hovedkravet om maksimalt energibehov til oppvarming på 15 kWh/($m^2$ år). For boliger i kalde strøk (årsmiddeltemperatur < 6,3 °C) samt for små boligbygg ($A_{BRA}$ < 250 $m^2$) tillates imidlertid et noe høyere energibehov til oppvarming.

## Litteraturbakgrunn

I det følgende avsnittet gir vi en oversikt over studier som har vært relevante for EBLE og studier som tar for seg liknende forskningsområder.

### Energibruk, inneklima og beboerstudier i boliger med lavt energibehov

Energibruken i en bygning er avhengig av ulike faktorer. På den ene siden har man de konstante faktorene som bygningenes og de tekniske installasjonenes fysiske utforming. På den andre siden har man de variable faktorene som er knyttet til beboernes bruk av bygningen og faktiske klimaforhold.

Forskning på energibruk i bygninger med lavt energibehov har dokumentert til dels store avvik mellom forventet og faktisk energibruk (Gram-Hanssen og Hansen, 2016; Gram-Hanssen, 2010; Dokka *et al.*, 2011; Goodhew, 2016). Goodhew (2016) oppsummerer at denne forskjellen ("performance gap") delvis skyldes ulike måter å forutse forventet energibruk på. I tillegg har beboerne en signifikant betydning for bygningens energibruk. Pilkington, Roach og Perkins (2011) fant at energibehovet til oppvarming per person i seks like passivhus med solceller varierte med faktor 14 avhengig av beboeratferd.

I en dansk studie fra 2016, er en av hovedkonklusjonene fra en undersøkelse av mer enn 130 000 boliger at:

> *der er en tydelig tendens til, at beboere i huse med lav energieffektivitet har et væsentligt lavere forbrug end beregningerne forudsætter, og at beboere i huse med høj energieffektivitet har et væsentligt højere energiforbrug end beregningerne forudsætter* (Gram-Hanssen og Hansen, 2016:15).

Det at beboeratferd ikke er mer energibesparende fordi man bor i et energieffektivt hus, faktisk er det ofte tvert om, kan forklares gjennom "re-bound-effekten". Re-bound-effekten beskriver hvorfor energibesparelser i mange tilfeller ikke er like store som forventet/beregnet. Galvin (2016) forklarer re-bound-effektens ulike dimensjoner: *direkte re-bound-effekt* er knyttet til at brukerne som får sjansen til å ha det varmere siden boligen gir muligheten til det, utnytter den muligheten. Den andre dimensjonen er den *økonomisk*e, det vil si at man sparer strømutgifter ved å energieffektivisere, og dette medfører at man tar seg råd til å bruke mer penger på andre ting. *Indirekte re-bound-effekt* beskriver eksempelvis konsekvensen av å bytte ut teknologier med mer energieffektive løsninger, men så blir det i tillegg valgt flere nye (Galvin, 2016).

Den danske rapporten (Gram-Hanssen og Hansen, 2016) påpeker at de teoretiske beregningene er et redskap som beskriver energibruken i boligen uavhengig av den konkrete brukeren og bruken. Beregningene antar en idealisert situasjon, og variasjonen blant beboerne er såpass stor at det kan ikke forventes full overensstemmelse.

I en rapport skrevet av Xrgia for Energi Norge (Xrgia, 2011) trekkes både brukerne og byggtekniske/tekniske årsaker fram for å forklare avvik mellom målt og beregnet forbruk: feil i bygningskroppen og tekniske anlegg, høyere innetemperatur enn beregnet, design av bygget og bruk av bygget.

I SINTEF Byggforsk rapport 76 (Dokka *et al.*, 2011) ble det funnet god overensstemmelse mellom målt og beregnet energibruk i mange av de nordiske boligene som ble studert. Men i flere tilfeller ble det funnet at det målte forbruket var større enn det beregnede, og at det kan knyttes til brukeratferd. Larsen, Jensen og Daniels (2012) estimerte at beboernes innvirkning på oppvarmingsbehov utgjorde om lag 5 % av variasjonen, mens bygningens karakteristika (størrelse og byggeår/standard) utgjorde 40–50 % av variasjonen i energibruk til oppvarming i de studerte boligene i Danmark. Helt identiske boliger kunne i tillegg ha høy variasjon avhengig av bruk (Larsen, Jensen og Daniels, 2012).

Galvin (2016) påpeker at bolig og beboere bør ses i sammenheng, som et sosio-teknisk system (socio-technical system). Den sosio-tekniske tilnærmingen tar hensyn til ulike aspekter som påvirker en bygnings energibruk: lavere pris for oppvarming, bedre termisk komfort fordi det er mulig, boliger som er varme i utgangspunktet – uansett hva beboerne gjør, usikkerhet rundt og feilbruk av tekniske systemer, dårlig planlegging, tekniske og byggtekniske feil (Galvin, 2016).

En studie som har fokusert på liknende forskningsområder som EBLE, er CEPHEUS (Cost Efficient Passive Houses as EUropean Standards), se Schnieders og Hermelink (2006). CEPHEUS utførte i perioden 2000–2003 målinger av energibruk, inneklima og beboer-opplevelse for mer enn 100 boenheter på passivhusnivå i Tyskland. I CEPHEUS ble det funnet stor overensstemmelse mellom beregnet og målt energibruk til oppvarming i de fleste prosjektene, men i noen enheter lå også her målt forbruk betydelig over beregnet behov. Basert på de generelle tendensene og brukernes høye tilfredshet funnet i CEPHEUS konkluderer forfatterne med at passivhus er en fungerende og bærekraftig bygningsstandard: "measurements and occupants' satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building" (Hermelink og Schnieders, 2006). Andre studier i Norden som har evaluert energi- og inneklima samt brukeropplevelse, er for eksempel Jansson (2010) og Larsen, Jensen og Daniels (2012).

## Inneklimastudier i boliger med lavt energibehov

***Innetemperatur***

Ulike problemstillinger knyttet til termisk komfort har blitt studert i passiv- og lavenergihus. Internasjonale studier har blant annet vist at overtemperaturer kan være et problem i passivhus (Larsen, Jensen og Daniels, 2012). Resultater fra Larsen, Jensen og Daniels' studie av ti danske komforthus viste stor forskjell i termisk miljø mellom de ulike husene. Felles for åtte av husene var at en satt grense på 100 timer over 26 °C og 25 timer over 27 °C, ikke var overholdt. For å ha innflytelse på inneklima ble det vurdert som viktig å kunne kryslufte boligen, samt begrense soloppvarming med utvendig solavskjerming (Larsen, Jensen og Daniels, 2012).

Staepels *et al*. (2013) har gjennomført en studie av 70 boliger i Belgia. Bygningene var innenfor kategoriene "ordinære bygg", "lavenergibygg" og "energipositive bygg". Det ble konkludert med at de fleste boligene hadde en komfortabel innetemperatur. Videre ble det funnet en sammenheng mellom godt isolerte bygg og høyere, mer komfortabel og stabil innetemperatur.

En svensk studie av Langer *et al*. (2015) sammenliknet 20 nye passivhus med 21 nye ordinære hus oppført etter dagens tekniske standard. Inneklimamålingene indikerte litt bedre inneklima i passivhus enn i konvensjonelle hus på grunn av høyere luftskifte. Det ble målt en gjennomsnittlig årlig innetemperatur på 22,1 °C i passivhusene og 22,0 °C i de konvensjonelle byggene.

Berge og Mathisen (2015) gjennomførte en litteraturstudie for å undersøke tilfredshet med oppvarming av passivhus med ventilasjonsluft. Tolv prosjekter med til sammen 1 200 boliger i Østerrike, Sverige og Norge ble valgt ut. Resultatene viste at beboerne kan være fornøyd med denne oppvarmingsstrategien forutsatt ekstra oppvarmingssystem for baderom og en mulighet til å regulere soveromstemperaturen separat, for eksempel gjennom vinduslufting.

***Luftkvalitet***

Inneklima ble blant annet vurdert i Larsen, Jensen og Daniels (2012) ved å måle $CO_2$-nivå. Enhetene ble ventilert med et luftskifte på ca. 0,5 $h^{-1}$. Noen enheter ble ventilert med et lavere luftskifte, noe som resulterte i dårligere resultater for inneklimaet i boligen enn for boligene som ble ventilert med et høyere luftskifte. For soverom i vanlige hus ble det i gjennomsnitt

funnet overskridelse av grenseverdien på 1 000 ppm i 10 % av tiden. Passivhusene overskred grenseverdien i 6 % av tiden.

Bekø *et al.* (2010) studerte inneklima i 500 danske hjem. Omtrent halvparten av de undersøkte boligene hadde et luftskifte lavere enn forskriftskravet på 0,5 $h^{-1}$. Bare 32 % av soverommene hadde en gjennomsnittlig $CO_2$-konsentrasjon under 1 000 ppm i løpet av de målte nettene. 23 % av soverommene hadde en minimumsperiode på 20 minutter hvor den gjennomsnittlige $CO_2$-konsentrasjonen var over 2 000 ppm.

Kotol *et al.* (2014) undersøkte inneklima på soverom i 79 boliger på Grønland. Det ble funnet at boliger bygd etter 1990 hadde bedre luftkvalitet enn eldre boliger. Bare 27 % av boligene tilfredsstilte forskriftskravene til luftskifte på 0,5 $h^{-1}$. 66 % av soverommene hadde en gjennomsnittlig $CO_2$-konsentrasjon høyere enn 1 000 ppm i løpet av natta.

Øie *et al.* (1998) undersøkte luftskiftet i 344 boliger i Oslo. 64 % av boligene tilfredsstilte forskriftskravene til luftskrifte på 0,5 $h^{-1}$. Ingen av boligene hadde balansert ventilasjons-anlegg.

***Opplevelse av termisk komfort***

Opplevelsen av temperatur er individuell. Forskning om opplevelse av termisk komfort gir flere innspill til forklaring. Nicol og Roaf (2005) beskriver opplevelse av termisk komfort som et dynamisk samspill mellom bygning og beboere. Beboernes evaluering av termisk komfort er avhengig av kontekst, for eksempel type hus, forventninger, aktivitet, dagsform, ute-temperatur og påkledning. Grunnet forskjeller i konteksten kan opplevelsen variere, selv om den målte temperaturen ikke gjør det.

Nicol og Roaf (2005) beskriver at opplevelsen av komfortabel innetemperatur ligger nært gjennomsnittstemperaturen folk har opplevd over tid. Den kan altså knyttes til kultur og til boliger man har bodd i. Utover det er opplevd termisk komfort også en tilvenningssak. Temperaturen kan variere +/- 2 grader før det oppleves som ukomfortabelt eller unormalt av et stort antall respondenter.

Boliger bygd etter nyere teknisk standard kan tilby høye innetemperaturer, noe som vil ha innflytelse på forventninger og vaner. Ønsket om å ha høye temperaturer i alle oppholdsrom og å kunne gå med lett bekledning året rundt, gjenspeiler dette. Gram-Hanssen (2010) peker på kulturelle endringer i husholdningers oppvarmingspraksis. Sparepotensial blir til en viss grad brukt opp gjennom å ha høyere innetemperatur i flere rom, utvidet oppvarmingssesong og bruk av for eksempel luft-til-luft varmepumpe til kjøling. Slik praksis vil bidra til at energisparingspotensial bare blir delvis realisert. Gram-Hanssen og Hansen (2016) henviser til re-bound-effekten og konkluderer med at husstandens forhold til termisk komfort og oppvarming i nye boliger har gått i en retning der "jo mere energieffektivt huset bliver, jo mindre energibesparende bliver beboernes adfærd" (Gram-Hanssen og Hansen, 2016:15).

Kragh (2016) analyserte oppvarmingsbehov i 175 lavenergihus i Danmark. Studien viser at oppvarmingsbehovet minsker i samsvar med økende krav til energieffektivisering i tekniske standarder, dog ikke så mye som forventet ut fra det teoretisk beregnede energibehovet til oppvarming.

Flere studier har dokumentet at brukerne er tydelig mindre fornøyd med huset sitt når de ikke forstår funksjonen av en teknisk installasjon eller ikke kan kontrollere den. Å ha kontroll over ens omgivelser har betydning for trivsel og opplevelse av termisk komfort (Leaman og Bordass, 2007; Nicol og Roaf, 2005). Mangel på informasjon og forståelse av hvordan en bruker energieffektive bygg, bidrar til mindre trivsel og at de forventede besparingene ikke oppnås (Goodhew, 2016).

## Fukt i høyisolerte konstruksjoner

Passivhus medfører bruk av større isolasjonstykkelser enn i hus oppført etter dagens energistandard (TEK10). Økt isolasjonstykkelse i ytterkonstruksjonene kan medføre en viss økning i fuktnivået i konstruksjonene. Årsaken er i hovedsak følgende mekanismer (Geving og Holme, 2010):

- Ytre del av konstruksjonen blir kaldere, og relativ fuktighet (RF) i dette området øker dermed noe.
- Uttørkingstiden for byggfukt eller fukt etter mindre lekkasjer øker når isolasjonstykkelsen og mengden av treverk øker.
- Økt isolasjonstykkelse gir økt intern luftsirkulasjon i isolasjonssjiktet og større grad av intern fuktomfordeling i en vegg eller et tak.

En studie av effekten av lavere temperatur og økt relativ fuktighet ble gjennomført av Uvsløkk og Gustavsen (2006). Det ble konkludert med at en økning av isolasjonstykkelsen fra 150 til 250 mm vil gi noe økt risiko for muggvekst bak vindsperra. Risikoen ble vurdert som størst rett etter byggeperioden på grunn av byggfukt som skal tørke ut. Etter uttørkingsperioden ble det konkludert med at økt risiko for muggvekst som følge av kaldere ytre deler av veggen var av liten betydning. Studien var basert på beregninger av vanndampdiffusjon i bindingsverkskonstruksjoner og ble senere utvidet med beregninger som inkluderte luftlekkasjer gjennom veggen fra inneluft (Uvsløkk, 2008). Beregningene viste at den positive effekten av bedre lufttetthet og godt ventilert inneluft var større enn den negative effekten av økt isolasjonstykkelse.

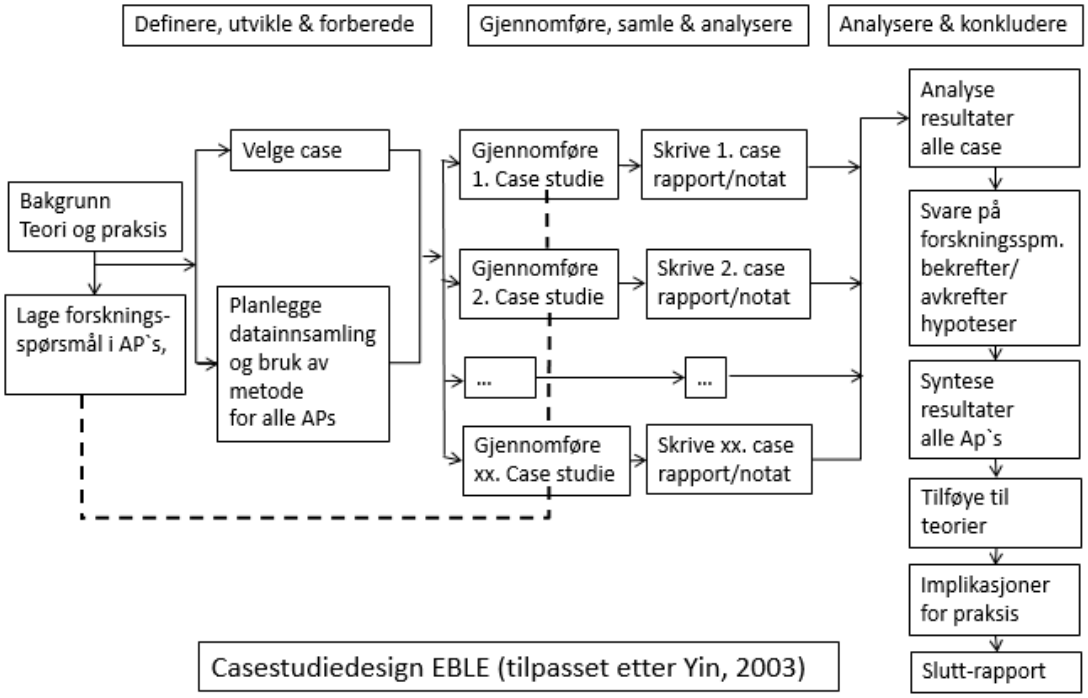
Beregninger og laboratorieforsøk gjennomført av Geving og Holme (2010) viste at risikoen for fuktskader og muggvekst øker noe med økende isolasjonstykkelse og mengde treverk. I de fleste tilfeller kan imidlertid effekten begrenses med riktige material- og konstruksjonsvalg. Både beregninger og målinger viste at det tar lengre tid å tørke ut høye nivåer av byggfukt når isolasjonstykkelsen øker. I denne studien, hvor det var høye startfuktnivåer (ca. 40 vektprosent) i veggkonstruksjonen, ble det funnet opp til en fordobling av uttørkingstiden ned til fuktnivåer hvor det ikke er risiko for muggvekst.

Både beregninger og laboratorieforsøk avdekker noe økt risiko for muggvekst bak vindsperra ved økende isolasjonstykkelse. Geving og Uvsløkk (2000) viste resultater fra en feltstudie gjennomført på Voll i Trondheim der uttørkingsevnen for bindingsverksvegger ble studert. Studien inkluderte vegger med isolasjonstykkelse på 150 mm, som var typisk på den tiden. Så langt Geving og Uvsløkk kjenner til, er det imidlertid foreløpig ikke gjennomført feltforsøk i Norge for å undersøke hvordan høyisolerte konstruksjoner fungerer i praksis. EBLE tar sikte på å gjøre nettopp det.

## Casestudiemetodikk

### Kombinasjon av kvantitativ og kvalitativ metode

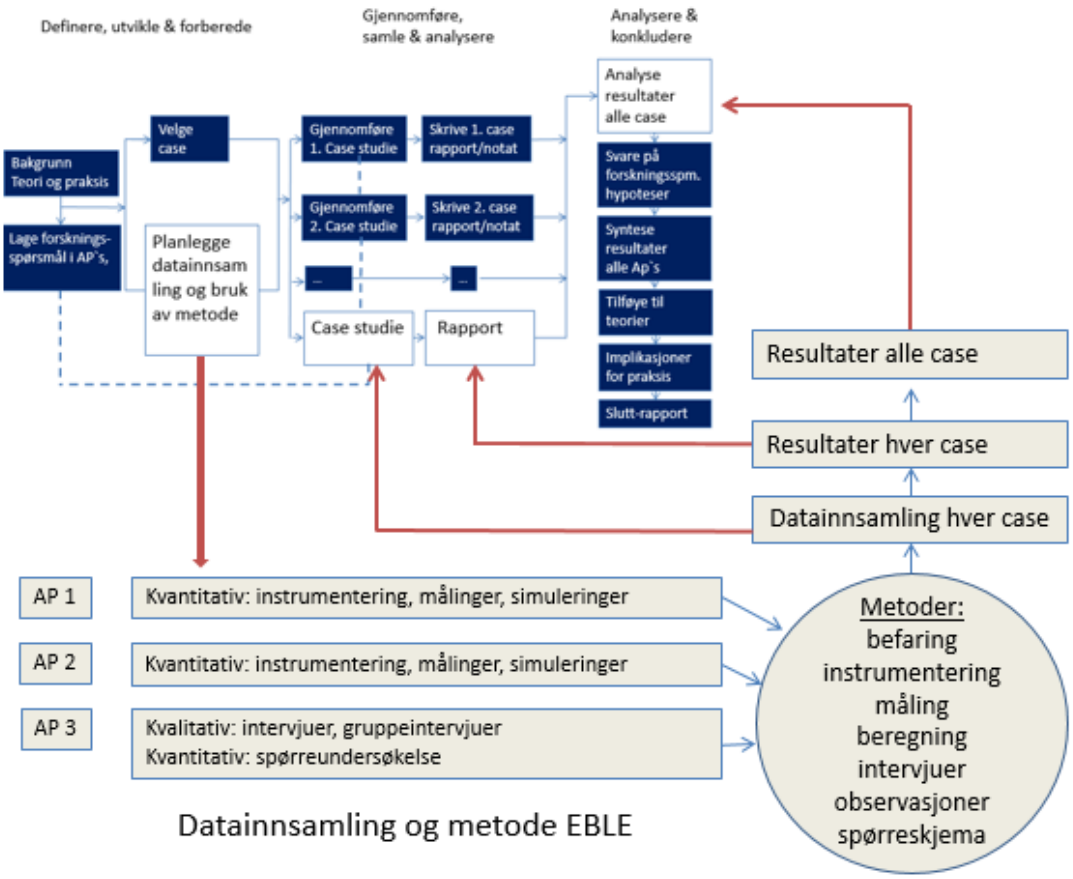
EBLE bruker casestudiemetodikk (fallstudie) som benytter en kombinasjon av kvantitative og kvalitative forskningsmetoder. Casestudiemetodikken ble valgt fordi den er en egnet tilnærming for forskning om sammenheng mellom bygningsutforming og bruken av bygg. I en casestudie studerer man én enkel eller flere caser fra forskjellige vinklinger i deres naturlige setting (Yin, 2003; Stake, 1998; Johansson, 2002). Figur 1 illustrerer casestudiemetodikk tilpasset til EBLE.




*Figur 1. Figuren illustrerer framgangsmåten i EBLE, basert på casestudiemetode etter Yin (2003). Forkortelsen AP står for arbeidspakke i EBLE.*

Casestudie er en eksplikativ metodikk som ønsker *å forklare en kompleks virkelighet*, i motsetning til et reduktivt angrepssett som konsentrerer seg om noen få variabler (for eksempel et eksperiment eller en enkel spørreundersøkelse). Casestudie er en dybdestudie, og casen(e) ses i sammenheng med sin forankring i virkeligheten og sine unike karakteristika (Johansson, 2002). Ingen caser er like. Man studerer hver case for seg, som en selvstendig case (Stake, 1998). Ved å ha virkelighetsforankringen i bakhodet kan resultater og funn fra forskjellige caser til en viss grad sammenliknes (descriptive comparison).

Casestudiemetodikk kalles også for en meta-metode. Den består av en kombinasjon av ulike forskningsmetoder, gjerne både kvalitative og kvantitative metoder (Johansson, 2006). Figur 2 viser de ulike metodene valgt i EBLE.




*Figur 2. Metoder brukt for datainnsamling i EBLE. Den innskutte figuren til venstre vises i detalj i figur 1. AP står for arbeidspakker, AP1: Inneklima- og bygningsfysiske målinger, AP2: Simulering og måling av energibruk, AP3: Evaluering av byggeprosess, kostnader og brukeropplevelse.*

Bruk av ulike metoder til å samle inn data som vist i figur 2 er også grunnlaget for triangulering – en av essensene for å validere funn i alle casestudier. Triangulering betyr at en case belyses fra ulike perspektiver, og det brukes for å sikre/bekrefte dataenes validitet. Ulike tilnærminger er triangulering av data (eksempelvis intervjuer av ulike personer om samme tema), forskertriangulering (flere forskere studerer samme case), teoritriangulering (samme data analyseres med ulike teoretiske utgangspunkter), og metodetriangulering (bruk av forskjellige metoder for å samle inn data om samme fenomen) (Johansson, 2002). Gjennom samarbeid mellom de ulike arbeidspakkene i EBLE benyttes metode-, forsker- og datatriangulering. For eksempel belyses resultatene fra målingene av innetemperatur gjennom beboernes utsagn.

## Valg av case

### *Tilgang*

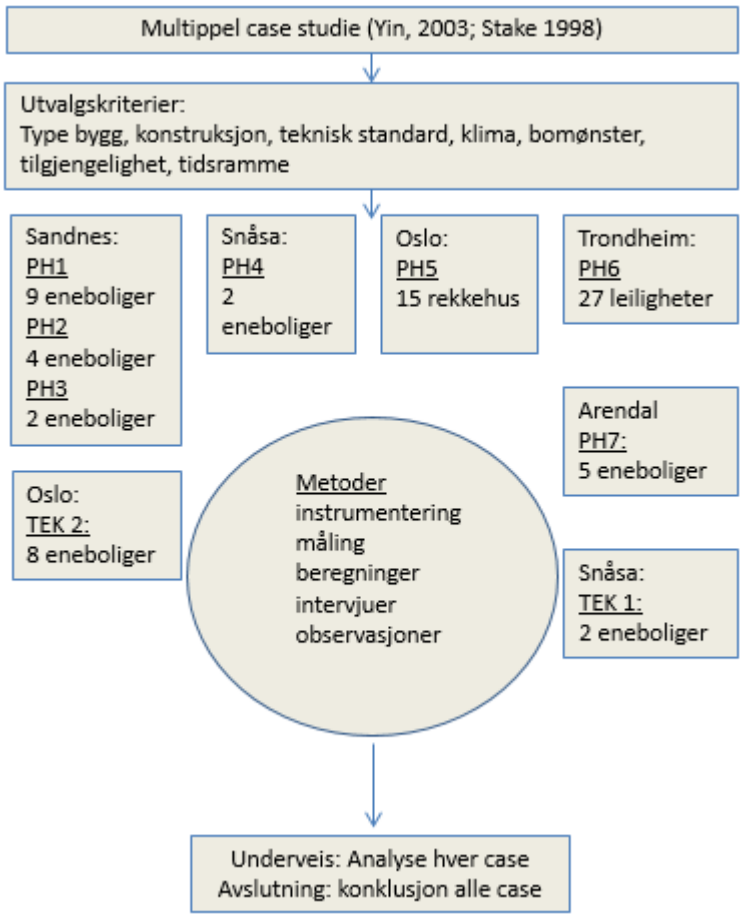
Case kan velges på forskjellige grunnlag. Både Yin (2003) og Patton (1990) beskriver formålsrettet sampling *(stikkprøver)* av informasjonsrike caser for dybdestudier.

En utfordring er at casestudiemetodikken ofte brukes når en ønsker å studere nye fenomener som det ennå ikke fins mange eksempler på. Derfor kan tilgang til caser være begrenset, og det legger føringer for type utvalg. Hvis det for eksempel ikke fins veldig mange caser, er det ikke sikkert man klare å definere hva som er "typiske caser". Og selv om man ønsker å velge tilsynelatende representative eller typiske caser, vil de alltid være forskjellige på mange vis (Stake, 1998). Slike ulikheter bør komme fram i beskrivelsen hvis man ønsker å sammenlikne resultater og funn.

***Valg av caser i EBLE***

Casene som er valgt i EBLE, oppfyller noen kriterier som gjør det mulig å sammenlikne dem til en viss grad, også med hensyn til deres egenart (Stake, 1998). En styrende faktor for utvalg av caser i EBLE var at antall passivhusboliger i Norge i 2012 fortsatt var begrenset. Det måtte finnes prosjekter som var under bygging under EBLE-prosjekttiden (2012–2016) og som vi kunne få tilgang til – både fra utbyggerne og fra beboerne.

Figur 3 viser EBLE-casene med antall enheter, bygningstype, byggeteknisk standard: Passivhus (PH) eller TEK10, og de overordnede utvalgskriteriene. Utvalgskriteriene er også beskrevet i teksten.




*Figur 3. Utvalg av caser i EBLE. Type, antall og utvalgskriterier*

De utvalgskriteriene som har fått høyest prioritet, gitt de naturlige begrensningene *byggetid* og *tilgang*, er:

- Klima: Klimaet i Norge har store geografiske forskjeller. Vi ville ha caser i ulike klimatiske områder, samtidig som vi ønsket å ha flere caser innenfor samme område. Resultater fra caser som ligger i samme område, vil enklere kunne sammenliknes. De utvalgte casene dekker tre forskjellige geografiske områder i Norge og representerer hvert sitt område i Köppens klimaskala (Rydock *et al.*, 2005).

- Type bygg: Vi ønsket å få med oss ulike typer boligbygg. De fleste prosjektene som ble valgt ut, er eneboliger og rekkehus, men vi har også med blokkleiligheter. Antall leiligheter i blokk utgjør ca. en tredjedel av boenheter som evalueres. Utvalget ble gjort ut fra et ønske om å få fram forskjellene mellom ulike type bygg, samtidig som

det måtte være nok enheter fra hver type bygg til å få et tilstrekkelig sammenlikningsgrunnlag.

- Stabilt bomønster: Vi ønsket prosjekter hvor det var høy sannsynlighet for at beboerne ville bli boende over en lengre periode, det vil si ikke midlertidige boliger som studentboliger og eldreboliger. Ved tilnærmet stabilt bomønster har vi mulighet til å gå tilbake for å sjekke om beboernes opplevelser har endret seg.

- Et avgjørende kriterium var at utbyggerne hadde aktuelle byggeprosjekter, var interessert i å delta i EBLE og kunne støtte arbeidet vårt i hele prosjektperioden.

I tillegg til de sju passivhuscasene ble det valgt ut to referanseprosjekter med en bygningsstandard tilsvarende den på det tidspunktet gjeldende byggetekniske standarden TEK10. Disse to prosjektene er lokalisert i samme geografiske område som to av passivhusprosjektene. Størrelse og type bygg er også sammenliknbare med passivhusprosjektene. I starten av EBLE-prosjektet ble det tatt et valg om å fokusere på passivhus. Derfor er antall passivhuscaser større enn antall TEK10-referansebygg (64 passivhusboliger og 10 boliger på TEK10-nivå).

## Generalisering

### *Tilnærminger*

Generalisering av funn fra casestudier er et tema som Bent Flyvbjerg (2004) behandler inngående. Han beskriver to måter å generalisere på fra casestudier. Den typiske tilnærmingen er å utføre multiple casestudier for så å sammenlikne funn og kunne si noe om typiske funn. Flyvbjerg argumenterer også for at man i noen tilfeller kan generalisere fra én case, for eksempel fra det han kaller for en "critical case". Det betyr at hvis noe er riktig/feil for denne casen, så kan man anta at det generelt er riktig/feil.

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) og følger "systematic inductive guidelines for gathering, systematizing, analyzing, and conceptualizing data to construct theory" (Charmaz, 2004:82). Når man *generaliserer til teori*, har man ikke generalisert for alle tilfeller i verden (noe som er vanskelig å gjøre med utgangspunkt i få caser). Teorier vil ligge til grunn for videreutvikling av et fagområde. Teorier er ikke ferdige fasiter, men tilføyes, endres eller forbedres gjennom videre forskning.

Kvale (1996) beskriver det han kaller 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).

Alvesson og Sköldberg (2000) argumenter for en refleksiv bruk av kvalitative og kvantitative metoder, og som kan bli brukt til både verifisering av hypoteser og generalisering til teori. Det viktige poenget er at det er rom for så vel kvalitative som kvantitative metoder i casestudier, og at belysning av caser gjennom ulike perspektiver er nødvendig for å oppfylle kravene til validitet av resultater/funn.

### *Generalisering av resultater fra EBLE*

I vår casestudie bruker vi flere caser for å kunne sammenlikne funn. Ved å følge tankegangen om analytisk generalisering som Kvale beskriver, kan man si at resultatene og funnene fra casene i EBLE *kan være* gjeldende også i andre prosjekter. Slik kan *tendenser diskuteres*, og funn kan gi implikasjoner for praksis ved framtidig bygging av energieffektive boliger. Antallet caser i EBLE er lavt, og dataene gir ikke grunnlag for statistisk generalisering.

Gjennom EBLE-prosjektet har vi samlet resultater fra mange enkeltprosjekter. Vi kan si noe om hvilke funn som går igjen i de ulike prosjektene, og hva som er unike funn for hvert enkelt prosjekt. Funn som går igjen, kan være generelle for boliger med lavt energibehov. Funn som er unike, kan være spesifikt knyttet til valgene og omstendighetene (forankring i virkeligheten) i akkurat *det* prosjektet. Vi kan også si noe om det er forskjell eller likheter i funn som stammer fra passivhusene og TEK10-husene.

## Forskningsområder i EBLE

I forskningssøknaden ble det beskrevet følgende sentrale forskningsområder som skulle studeres i EBLE:

- Reell, formålsdelt energibruk sammenliknet med detaljerte simuleringer av energibehov
- Fukttekniske og andre bygningsfysiske målinger
- Undersøkelse av termisk komfort sommer og vinter, og eventuelt andre inneklimaforhold
- Brukererfaringer og brukeropplevelser
- Evaluering av byggeprosess, inkludert læringseffekt i involverte foretak, for eksempel ved å undersøke byggeteknisk kompetanse før og etter gjennomføring av prosjektet
- Evaluering og beskrivelse av byggetekniske løsninger, installasjonstekniske løsninger og energiforsyningsløsninger
- Evaluering av byggeløsningene med hensyn til kostnadseffektivitet

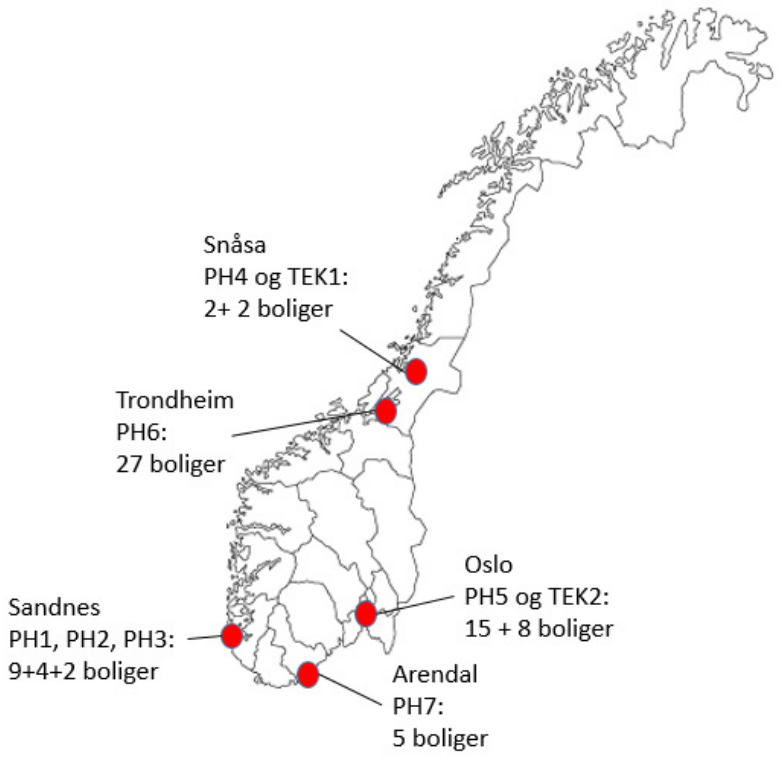
For hvert forskningsområde som presenteres i denne rapporten, stilles det forskningsspørsmål. Disse spørsmålene presenteres og drøftes i del 2 "Resultater".

Kapitlet "Konklusjoner" inneholder en oppsummering av resultater for hvert forskningsområde. For kostnadsdelen er det publisert en egen rapport (Skeie *et al.*, 2016).

## Beskrivelse av EBLE-casene

### *Antall og geografisk beliggenhet*

I EBLE har vi studert sju ulike boligprosjekter på passivhusnivå eller bedre med 64 boenheter og to prosjekter på TEK10-nivå med ti boenheter, se figur 4. Boligene ligger i følgende områder: Sandnes, Oslo, Arendal, Trondheim og Snåsa. Den påfølgende tabellen gir en kort oversikt over lokalisering av prosjektene og nøkkelinformasjon. Tegninger og flere bilder fins i vedlegg 1.




*Figur 4. Lokalisering av passivhus- og TEK10-prosjektene og antall EBLE-boliger (64 PH og 10 TEK10).*

***Betegnelser og prosjektbeskrivelse***

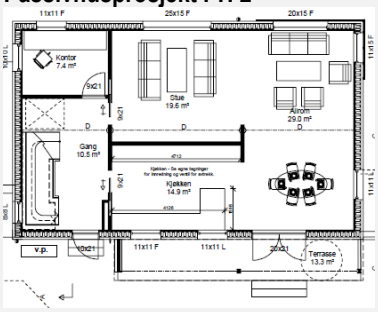
Prosjektene omtales som passivhusprosjekt PH 1–7 og TEK10-prosjekt 1–2. Verdiene gitt i tabellene 1–9 er prosjekterte verdier dersom ikke annet er oppgitt.

## *Passivhusprosjektene PH 1–7*

*Tabell 1. Presentasjon av passivhusprosjekt PH 1*

| **Passivhusprosjekt PH 1**<br> <br>Plan av hovedetasje | |
|---|---|
| | |
| Lokalisering | Sandnes |
| Klimastasjon | Klepp |
| Årsmiddeltemperatur | 7,6 °C |
| Ferdigstillelse | Sommer 2011 |
| Teknisk standard | Passivhus etter NS 3700 |
| Type bolig | Enebolig, 2–3 etasjer |
| Areal per bolig | BRA 161, 169 og 237 m$^2$ |
| Totalt antall boliger / EBLE-boliger | **9 / 9**<br>Energimålinger (antall enheter): 9<br>Inneklimamåling (antall enheter): 9<br>Intervju, beboere (antall enheter): 5 |
| Hva er målt? | Energi:<br>Total energi med timeintervall. Det ble ikke installert andre målere i boligen i etterkant.<br>Inneklima:<br>Temperatur og relativ fuktighet (RF) på stue<br>Trefuktighet:<br>Vegger instrumentert på to av husene i prosjektet |
| Måleperiode: | 1.4.2012–31.3.2013 |
| Konstruksjon yttervegg | 300 mm I-profil av tre + 48 mm påfôring<br>U-verdi 0,12 W(m$^2$K) |
| Konstruksjon yttervegg sokkel | Dobbeltvegg, 48 mm x 98 mm bærende yttervange, 36 mm x 98 mm ikke-bærende påfôringsvegg, 100 mm kontinuerlig isolasjon imellom, 48 mm innvendig påfôring<br>U-verdi 0,13 W(m$^2$K) |
| Grunnmur | 200 mm kjerneisolasjon, plasstøpt 100 mm betong innvendig og 100 mm betong utvendig.<br>U-verdi 0,14 W(m$^2$K) |
| Gulv på grunnen | 450 mm isolasjon, 100 mm betong<br>U-verdi 0,08 W(m$^2$K) |
| Tak | 400 mm isolasjon, I-profiler av tre, 8 graders helning<br>U-verdi 0,10 W(m$^2$K) |
| Vinduer | 0,73 W/(m$^2$K) |
| Normalisert kuldebroverdi | 0,03 W/m$^2$K (Ingen dokumentasjon av beregning fra utbygger) |
| Krav til høyeste beregnede netto energibehov til oppvarming gitt i NS 3700 | 15,7–19,8 kWh/m$^2$år |
| **Bolig 1–9**<br>Varmesystem/ energiforsyning/ventilasjon | Luft-vann varmepumpe (systemvirkningsgrad = 2,05) til én radiator per etasje og varmtvann, vannbåret gulvvarme på bad<br>Balansert ventilasjon med roterende varmegjenvinnere 82 % virknings-grad |
| Energiforsyning og dekningsgrader (%) brukt i energiberegninger | Elektrisitet / Varmepumpe / Fornybar<br>Tappevann: 100<br>Oppvarming: 30 / 70 |
| Lekkasjetall (gjennomsnitt) | 0,32 h$^{-1}$ målt v/50 Pa trykkforskjell |
| SFP-faktor (Specific Fan Power) | 1,5 kW/m$^3$/s |

*Tabell 2. Presentasjon av passivhusprosjekt PH 2*

<table>
<tr><td>Passivhusprosjekt PH 2<br> 

Plan av hovedetasje</td><td> </td></tr>
<tr><td>Lokalisering</td><td>Sandnes</td></tr>
<tr><td>Klimastasjon</td><td>Klepp</td></tr>
<tr><td>Årsmiddeltemperatur</td><td>7,6 °C</td></tr>
<tr><td>Ferdigstillelse</td><td>Sommer 2013</td></tr>
<tr><td>Teknisk standard</td><td>Passivhus etter NS 3700</td></tr>
<tr><td>Type bolig</td><td>Eneboliger, 3 etasjer</td></tr>
<tr><td>Areal per bolig</td><td>BRA total 248 m² hvorav leilighet 57,6 m²</td></tr>
<tr><td>Totalt antall enheter / EBLE-enheter</td><td>4 / 4
<table>
<tr><td>Energimålinger (antall enheter)</td><td>Inneklimamåling (antall enheter)</td><td>Intervju, beboere (antall enheter)</td></tr>
<tr><td>4</td><td>4</td><td>4</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Hva er målt?</td><td>For hus 10, som er definert som et forbildehus, er det gjort målinger av strømforbruket til:<br>• Varmepumpe*<br>• Ventilasjon**<br>• Varmtvann (tilleggsvarmekolbe i varmtvannsbereder for å dekke topplast over varmepumpe)<br>• Gulvvarme (tilleggsvarmekolbe i varmtvannsbereder for å dekke topplast over varmepumpe)***<br>• Hybelleilighet<br>For hus 11 er det gjort målinger av strømforbruk til:<br>• Varmepumpe<br>• Ventilasjon<br>• Hybelleilighet<br>Inneklima:<br>I hus 10, som er definert som forbildehus, er det målt temperatur og relativ fuktighet i følgende rom:<br>• Stue<br>• Vindfang<br>• 3 stk. soverom ($CO_2$ på ett)<br>• Bad<br>I hus 11, 12, 13 er det målt temperatur og relativ fuktighet i innelufta i følgende rom:<br>• Stue<br>• Vindfang<br>• 1 stk. soverom<br>• Bad<br>Trefukt:<br>Hus 10: Måling av trefuktighet i vegger og takkonstruksjonen.</td></tr>
<tr><td>Måleperiode</td><td>1.9.2014–31.8.2015</td></tr>
<tr><td>Konstruksjon yttervegg</td><td>200 mm Iso 3-profil + 48 mm, påføring, dobbel vindsperre (GU + rull-produkt)<br>U-verdi 0,15 W(m²K)</td></tr>
<tr><td>Grunnmur</td><td>100 mm EPS utvendig og innvendig, plasstøpt 150 mm betong<br>U-verdi 0,14 W(m²K)</td></tr>
<tr><td>Gulv på grunn:</td><td>300 mm EPS isolasjon, 100 mm betong<br>U-verdi 0,10 W(m²K)</td></tr>
</table>

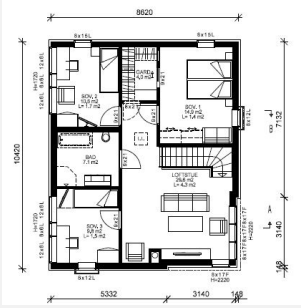
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Tak | 400 mm isolasjon, I-profil taksperrer, 27 graders helning, dobbelt undertak (trefiberplate + rullprodukt)<br>U-verdi 0,10 W($m^2$K) | | | |
| Vinduer | U-verdi:0,80 W/$m^2$K | | | |
| Krav til høyeste beregnede netto energi-behov til oppvarming gitt i NS 3700 | 15,1 kWh/$m^2$år | | | |
| **Bolig 10–13**<br>Varmesystem/ energiforsyning/ventilasjon | Vann-vann varmepumpe (bolig 11) (systemvirkningsgrad = 2,69),<br>Luft-vann varmepumpe (bolig 10,12,13), (systemvirkningsgrad = 2,69)<br>Vannbåret gulvvarme i sokkel, 1. etasje, bad i 2. etasje<br>Balansert ventilasjon med roterende varmegjenvinnere,<br>87 % virkningsgrad | | | |
| Energiforsyning og dekningsgrader (%) brukt i energiberegninger (prosjekterte verdier) | | Elektrisitet | Varmepumpe | Fornybar |
| | Tappevann | 5 | 95 | |
| | Oppvarming | 5 | 95 | |
| Normalisert kuldebroverdi | 0,03 W/($m^2$K). Ingen dokumentasjon av beregning fra utbygger | | | |
| Lekkasjetall (gjennomsnitt) | 0,3 $h^{-1}$ målt v/50 Pa trykkforskjell | | | |
| SFP-faktor (Specific Fan Power) | 1,0 kW/($m^3$/s) | | | |

* Varmepumpene er plassert i garasjen, og det vil dermed medføre et reelt systemtap i systemet ved at overskuddsvarme (som kunne vært brukt til oppvarming) går tapt. Dette tapet er ikke tatt hensyn til i systemets beregnede systemvirkningsgrad.

** For ventilasjonen er det det samlede forbruket levert til ventilasjonsaggregatet som er målt.

*** Varmetap til grunnen vil være en tapsfaktor i det målte forbruket. Dette systemtapet er det ikke korrigert for i beregningene, noe som medfører at det beregnede behovet vil være noe lavere enn det man kan anta å finne ved måling.

*Tabell 3. Presentasjon av passivhusprosjekt PH 3*

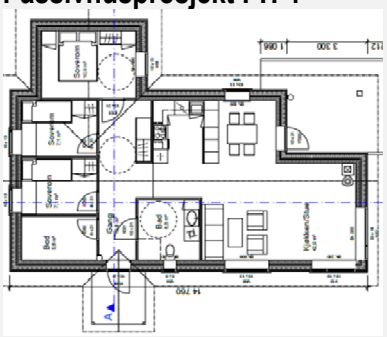
<table>
<tr><td>Passivhusprosjekt PH 3<br>  <br>Plan av hovedetasje</td><td> </td></tr>
<tr><td>Lokalisering</td><td>Sandnes</td></tr>
<tr><td>Klimastasjon</td><td>Klepp</td></tr>
<tr><td>Årsmiddeltemperatur</td><td>7,6 °C</td></tr>
<tr><td>Ferdigstillelse</td><td>Vinter 2012</td></tr>
<tr><td>Teknisk standard</td><td>Passivhus etter NS 3700</td></tr>
<tr><td>Type bolig</td><td>Eneboliger, 2 etasjer</td></tr>
<tr><td>Areal per bolig</td><td>158 m$^2$</td></tr>
<tr><td>Totalt antall enheter / EBLE-enheter</td><td>5 / 2
<table>
<tr><td>Energimålinger (antall enheter)</td><td>Inneklimamåling (antall enheter)</td><td>Intervju, beboere (antall enheter)</td></tr>
<tr><td>2</td><td>2</td><td>2</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Hva er målt?</td><td>I utgangspunktet ble to boliger instrumentert for måling av total energi og energibruk til oppvarming. Dessverre takket beboerne i ett av husene nei til å delta i prosjektet, slik at det kun var ett hus igjen for analyse (Hus 15). Ett av de andre fem husene ble da trukket inn for å utføre inneklimamålinger i (Hus 14). Da dette ikke var instrumentert med energimålere, er kun total energi målt i dette huset.<br>Hus 15 har formålsdelt måling og måler total energi, samt separat måling for oppvarmingssystemet og enkelte andre kurser, se tabell under. En energimåler er plassert på utgående rør fra varmepumpa som varmer opp varmtvannet. Måleren måler kaldtvann inn og varmtvann ut fra varmepumpa. I utgangspunktet skulle det være en varmt-vannsbereder med elkolbe i boligen, men dette ble sløyfet.<br>• Total<br>• Varmekabler<br>• Ventilasjon<br>• Varmepumpe (Powersupply 1)<br>• Varmepumpe (Powersupply 2)<br>• Varmtvann (Vannmåler)<br>Inneklima:<br>I forbildehuset er det målt temperatur og relativ fuktighet i følgende rom:<br>• 4 soverom ($CO_2$ på ett)<br>• Bad<br>• Stue<br>• Loftstue<br>I det ordinære huset er det målt temperatur og relativ fuktighet i følgende rom:<br>• 2 stk. soverom<br>• Bad<br>• Stue<br>• Loftstue<br>Trefukt:<br>Hus 15: Måling av trefuktighet i vegger og takkonstruksjonen</td></tr>
<tr><td>Måleperiode</td><td>1.6.2013–31.5.2014</td></tr>
<tr><td>Konstruksjon yttervegg</td><td>200 mm Iso 3-profil + 48 mm påfôring, dobbel vindsperre (GU+ rull-produkt)<br>U-verdi 0,16 W(m$^2$K)</td></tr>
</table>

| | |
|---|---|
| Grunnmur | 100 mm utvendig EPS, plasstøpt 150 mm betong |
| Gulv på grunnen | 300 mm EPS isolasjon<br>U-verdi 0,10 W($m^2$K) |
| Tak | 500 mm isolasjon, heltre-W-takstoler, 27 graders helning, kaldt, uluftet tak, dobbelt undertak (trefiberplate + rullprodukt)<br>U-verdi 0,08 W($m^2$K) |
| Vinduer | U-verdi: 0,80 W/($m^2$K) |
| Krav til høyeste beregnede netto energibehov til oppvarming gitt i NS 3700 | 20,0 kWh/$m^2$år |
| **Bolig 14–15**<br>Varmesystem/ energiforsyning/ventilasjon | Luft-vann varmepumpe (systemvirkningsgrad = 2,05) til tappevann<br>Vedovn, elvarmekabler bad og gang<br>Balansert ventilasjon med roterende varmegjenvinner, 88 % virknings-grad |
| Energiforsyning og dekningsgrader (%) brukt i energiberegninger (prosjekterte verdier) | |

| | Elektrisitet | Varmepumpe | Vedfyring |
|---|---|---|---|
| Tappevann | 13 | 87 | |
| Oppvarming | 80 | | 20 |

| | |
|---|---|
| Normalisert kuldebroverdi | 0,05 W/($m^2$K). Ingen dokumentasjon av beregning fra utbygger. Boligene er bygd med skorstein. |
| Lekkasjetall (gjennomsnitt) | 0,43 $h^{-1}$ v/50 Pa trykkforskjell (målt i vindtett fase) |
| SFP-faktor (Specific Fan Power) | 1,5 kW/($m^3$/s) |

*Tabell 4. Presentasjon av passivhusprosjekt PH 4*

<table>
<tr><td>Passivhusprosjekt PH 4<br>  <br>Plan av hovedetasje</td><td> </td></tr>
<tr><td>Lokalisering</td><td>Snåsa</td></tr>
<tr><td>Klimastasjon</td><td>Kjevlia</td></tr>
<tr><td>Årsmiddeltemperatur</td><td>5,4 °C</td></tr>
<tr><td>Ferdigstillelse</td><td>Mai 2013</td></tr>
<tr><td>Teknisk standard</td><td>Passivhus etter NS 3700</td></tr>
<tr><td>Type bolig</td><td>Kjedet enebolig</td></tr>
<tr><td>Areal per bolig</td><td>99,5 m$^2$</td></tr>
<tr><td>Totalt antall enheter / EBLE-enheter</td><td>2 / 2
<table>
<tr><td>Energimålinger (antall enheter)</td><td>Inneklimamåling (antall enheter)</td><td>Intervju, beboere (antall enheter)</td></tr>
<tr><td>2</td><td>2</td><td>1</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Hva er målt?</td><td>Energibruken i passivhusene ble målt på timebasis, med separate målere for varmepumpe og radiatorkrets. Gulvvarme på badet ble bare målt for det ene passivhuset. Det ene passivhuset ble også instrumentert med separate kursmålere for noe av elutstyret, som listet under. Instrumenteringen ble utført i midten av oktober 2013.<br><br>I hus16 ble følgende kurser målt:<br>• Varmepumpe Power Supply 1<br>• Varmepumpe Power Supply 2 elkolbe<br>• Bod / teknisk rom (ventilasjon)<br>• VVB elkolbe<br>• Radiator<br>• Varmepumpe<br>• Bad (varmekabler + taklys og vegglys)<br>• Total Energi<br><br>I hus 17 ble følgende målt:<br>• Varmepumpe Power Supply 1<br>• Varmepumpe Power Supply 2 elkolbe<br>• Bod / teknisk rom (ventilasjon)<br>• VVB elkolbe<br>• Radiator<br>• Varmepumpe<br>• Total Energi<br>Inneklima:<br>I de to husene er det målt temperatur og relativ fuktighet i følgende rom:<br>• Stue<br>• Bad<br>• 2 stk. soverom (ett med $CO_2$)<br>Trefuktighet:<br>Hus 16: Måling av trefuktighet i vegger og takkonstruksjonen</td></tr>
<tr><td>Måleperiode</td><td>1.11.2013–31.10.2014</td></tr>
<tr><td>Konstruksjon yttervegg</td><td>Dobbelvegg: 400 mm isolasjon (148 + 150 + 98)<br>U-verdi: 0,10 W/(m$^2$K)</td></tr>
<tr><td>Grunnmur</td><td>Vartdal Ringmur med 600 mm høyde, utvendig horisontal isolasjon 70 mm</td></tr>
<tr><td>Gulv på grunnen:</td><td>400 mm EPS isolasjon, 100 mm betong</td></tr>
</table>

| | |
|---|---|
| | U-verdi: 0,08 W/(m$^2$K) |
| Tak | Tak mot kaldt loft: 500 mm isolasjon i tak<br>U-verdi: 0,08 W/(m$^2$K) |
| Vinduer | Vinduer Nor-Dan Ntech, gjennomsnittlig<br>U-verdi 0,66 W/(m$^2$K) |
| Krav til høyeste beregnede netto energi-behov til oppvarming gitt i NS 3700 | 25,8 kWh/m$^2$år |
| **Bolig 16–17**<br>Varmesystem /energiforsyning/ventilasjon | Luft-til-vann varmepumpe (systemvirkningsgrad = 2,80) Panasonic SDF03E3E5 3 kW til varmtvann og tre radiatorer fordelt i boligen. Elektriske varmekabler på bad. Vedovn.<br>Balansert ventilasjon, Flexit UNI3 REEC, Prosjektert årsvirkningsgrad varmegjenvinner 90 % |
| Energiforsyning og dekningsgrader (%) brukt i energiberegninger (prosjekterte verdier) | |

| | Elektrisitet | Varmepumpe | Fornybar |
|---|---|---|---|
| Tappevann | 40 | 60 | |
| Oppvarming | 15 | 85 | |

| | |
|---|---|
| Normalisert kuldebroverdi | 0,07 W/(m$^2$K). Ingen dokumentasjon av beregning fra utbygger |
| Lekkasjetall (gjennomsnitt) | 0,6 h$^{-1}$ v/50 Pa trykkforskjell (prosjektert verdi) |
| SFP-faktor (Specific Fan Power) | 1,0 kW/(m$^3$/s) |

*Tabell 5. Presentasjon av passivhusprosjekt PH 5*

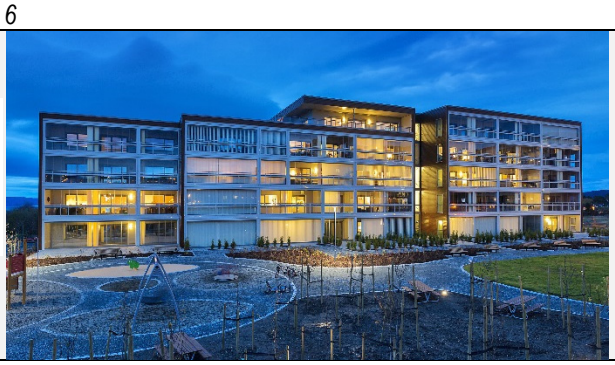
| **Passivhusprosjekt PH 5** | |
|---|---|
| Plan av hovedetasje | |
| Lokalisering | Oslo |
| Klimastasjon | Stenbråtveien |
| Årsmiddeltemperatur | 6,9 °C |
| Ferdigstillelse | Oktober 2014 |
| Teknisk standard | Passivhus/Lavenergiklasse 1 etter NS 3700 |
| Type bolig | Rekkehus, 2 og 3 etasjer |
| Areal per bolig | 106, 107 og 132 m$^2$ |
| Totalt antall enheter / EBLE-enheter | 34/15<br>Energimålinger (antall enheter): 11<br>Inneklimamåling (antall enheter): 15<br>Intervju, beboere (antall enheter): 5 |
| Hva er målt? | Det er 15 av 34 boliger som er instrumentert, fordelt på 2 forbildehus og 13 ordinære hus. Måling av energi for oppvarming og varmtvann utføres på alle boligene, mens for forbildehusene er det også målt utstyr i boligen. Energimålinger blir utført på romoppvarming og tappevann.<br><br>Energimålerne til vann plasseres i teknisk rom og fjernavleses. Varmtvannet til tappevann måles på turkretsen fra VVB, med én temperaturføler der og én på kaldt vann inn i boligen. Forbildehusene har også en energimåler på solfangeranlegget med temperaturføler på tur og returkretsen.<br><br>SINTEF Byggforsk har innhentet måleresultater for total energibruk for 11 av boligene. Målingene er basert på data oversendt fra netteier, Hafslund Nett 01.06.2016. Det er videre målt forbruk til tappevann for samtlige hus (18–32) og gulvvarmekretsene i hus 23 og 26–32. For to av husene (25 og 30) er det målt levert energi fra solfangeranlegget. Målingene ble gjort i tidsrommet 1. mai 2015 til 31. april 2016.<br><br>Inneklima:<br>I forbildehusene er det målt temperatur og relativ fuktighet i innelufta i følgende rom:<br>• 3 soverom ($CO_2$-måler)<br>• Stue<br>I de ordinære husene er det målt temperatur og relativ fuktighet i innelufta i følgende rom:<br>• 2/3 soverom<br>• Stue<br>Trefuktighet:<br>Måling av trefuktighet i vegger og takkonstruksjoner for ett av husene |
| Måleperiode | 1.5.2015–30.4.2016 |
| Konstruksjon yttervegg | Laminerte stendere 48 mm x 300 mm + 48 mm påfôring<br>U-verdi: 0,13 W/(m$^2$K) |

| | |
|---|---|
| Grunnmur | 300 mm Isoblokk, pusset på begge sider.<br>48 mm utlekting med 50 mm isol.<br>U-verdi: 0,16 W/(m²K) |
| Gulv på grunnen | 300 mm EPS, 100 mm betong<br>U-verdi: 0,10 W/(m²K) |
| Tak | Sperretak 400 mm heltre sperrer<br>U-verdi: 0,10 W/(m²K) |
| Vinduer | U-verdi: 0,80 W/(m²K) |
| Krav til høyeste beregnede netto energibehov til oppvarming gitt i NS 3700 | 15 kWh/m²år |
| **Bolig 18–33**<br>Varmesystem/ energiforsyning/ventilasjon | Vannbåret gulvvarme<br>Solfangere + el til topplast<br>Balansert ventilasjon, varmegjenvinner med 85 % virkningsgrad |
| Energiforsyning og dekningsgrader (%) brukt i energiberegninger (prosjekterte verdier) | |

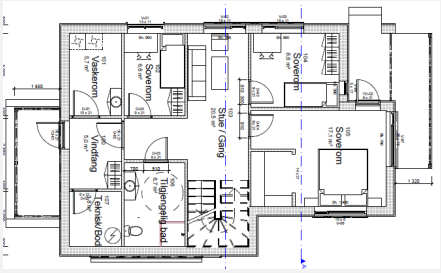
| | Elektrisitet | Varmepumpe | Fornybar |
|---|---|---|---|
| Tappevann | 39 | | 61 |
| Oppvarming | 39 | | 61 |

| | |
|---|---|
| Normalisert kuldebroverdi | 0,03 W/(m²K) |
| Lekkasjetall (gjennomsnitt) | 0,45 $h^{-1}$ v/50 Pa trykkforskjell (prosjektert verdi) |
| SFP-faktor (Specific Fan Power) | 1,5 kW/(m³/s) |

*Tabell 6. Presentasjon av passivhusprosjekt PH 6*

| **Passivhusprosjekt PH 6**<br> <br>Eksempel på planløsning, 4. etasje |  |
|---|---|
| Lokalisering | Trondheim |
| Klimastasjon | Voll |
| Årsmiddeltemperatur | 5,8 °C |
| Ferdigstillelse | Oktober 2014 |
| Teknisk standard | Passivhus etter NS 3700 |
| Type bolig | Boligblokk |
| Areal per bolig | 45–120 m$^2$ |
| Totalt antall enheter / EBLE-enheter | 40/27<br>Energimålinger (antall enheter): 0<br>Inneklimamåling (antall enheter): 27<br>Intervju, beboere (antall enheter): 12 |
| Hva er målt? | Inneklima:<br>Temperatur og relativ fuktighet i innelufta er målt i følgende rom:<br>• Stue<br>• Soverom<br>• Balkong |
| Måleperiode | 1.1.2015–31.12.2015 |
| Konstruksjon yttervegg | Slisset stålstendervegg, 400 mm isolasjon |
| Tak | Kompakt tak, 300 mm EPS<br>U-verdi: 0,13 W/(m$^2$K) |
| Vinduer | 0,80 W/(m$^2$K) |
| Varmesystem/ energiforsyning/ventilasjon | 1 stk. radiator plassert i gang i tilknytning til stue<br>Fjernvarme, elkabler på badet + balansert ventilasjonsanlegg, virkningsgrad varmegjenvinner 87 % |
| Normalisert kuldebroverdi | 0,03 W/(m$^2$K) |
| Lekkasjetall (gjennomsnitt) | 0,60 h$^{-1}$ v/50 Pa trykkforskjell (prosjektert verdi) |
| SFP-faktor (Specific Fan Power) | 1,5 kW/(m$^3$/s) |
| Krav til høyeste beregnede netto energibehov til oppvarming gitt i NS 3700 | 16,1 kWh/m$^2$år |

*Tabell 7. Presentasjon av passivhusprosjekt PH 7*

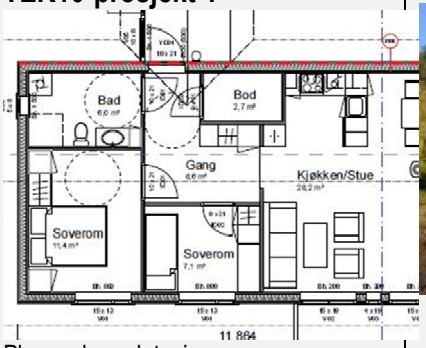
| **Passivhusprosjekt PH 7**<br>  <br>Plan av hovedetasje | |
|---|---|
| Lokalisering | Arendal |
| Klimastasjon | Torungen |
| Årsmiddeltemperatur | 8,0 °C |
| Ferdigstillelse | April 2015 |
| Teknisk standard | Passivhus etter NS 3700, Nullenergibolig |
| Type bolig | Enebolig |
| Areal per bolig | 154 m$^2$ |
| Totalt antall enheter / EBLE-enheter | 5/5<br>Energimålinger (antall enheter): 5<br>Inneklimamåling (antall enheter): 5<br>Intervju, beboere (antall enheter): 3 |
| Hva er målt? | Energi:<br>• Levert strøm fra PV<br>• Varmtvannsforbruk<br>• Energibehov til oppvarming<br>• Elspesifikt forbruk (lys, utstyr, vifter og pumper)<br>• Strøm til varmepumpe<br>• Ventilasjon<br>Inneklima:<br>I forbildehus er temperatur og relativ fuktighet i innelufta målt i følgende rom:<br>• 4 soverom (2 stk. soverom med $CO_2$)<br>• Stue<br>• Kjellerstue<br>I ordinære hus er temperatur og relativ fuktighet i innelufta målt i følgende rom:<br>• 4 soverom<br>• Stue<br>Trefuktighet:<br>Forbildehus instrumentert med trefuktloggere i vegg og tak-konstruksjonen |
| Måleperiode | 1.7.2015–30.6.2016 |
| Konstruksjon yttervegg | Konstruksjonstype 1: Dobbeltvegg, 98mm isolert bindingsverk + 100mm isolasjon + 98mm isolert bindingsverk<br>U-verdi: 0,15 W/m$^2$K<br>Konstruksjonstype 2:<br>Enkel stendervegg 200 + 50mm påfôring med air-guard reflekterende dampsperre |
| Grunnmur | 100 mm EPS, 200 mm betong, 98 mm isolert påfôring<br>U-verdi: 0,17 W(/m$^2$K) |
| Gulv på grunnen | 300 mm EPS, 100 mm betong<br>U-verdi: 0,10 W/(m$^2$K) |
| Tak | Kaldt, uluftet loft, 400 mm mineralull<br>U-verdi: 0,10 W/(m$^2$K) |
| Vinduer | 0,80 W/(m$^2$K) (med utvendige screens som solskjerm) |
| Krav til høyeste beregnede netto energibehov til oppvarming gitt i NS 3700 | 20,1 kWh/m$^2$år |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Bolig**<br>Varmesystem/ energiforsyning/ventilasjon | Vannbåret gulvvarme i sokkel, viftekonvektor i 1. et.<br>Væske/væske varmepumpe (systemvirkningsgrad = 2,2)<br>Solceller til elektrisitetsproduksjon<br>Ventilasjon m/roterende varmegjenvinner med 86 % virkningsgrad | | | |
| Energiforsyning og dekningsgrader (%) brukt i energiberegninger (prosjekterte verdier. Målte verdier for strøm levert fra PV) | | Elektrisitet | Varmepumpe | PV |
| | Tappevann | 10 | 90 | 76* |
| | Oppvarming | 10 | 90 | 76* |
| Solceller | 7,4 kWp installert effekt per bolig | | | |
| Normalisert kuldebroverdi | 0,03 W/(m$^2$K) | | | |
| Lekkasjetall (gjennomsnitt) | 0,48 h$^{-1}$ v/50 Pa trykkforskjell | | | |
| SFP-faktor (Specific Fan Power) | 1,5 kW/(m$^3$/s) (prosjektert verdi) | | | |

* Levert strøm fra PV dekker i gjennomsnitt 76 % av det totale forbruket i boligene. El og VP dekker det resterende med henholdsvis 10 og 90 %. Dekningsandeler fra PV er nærmere forklart og diskutert i avsnitt om *Fornybar energi* i Energikapitlet.

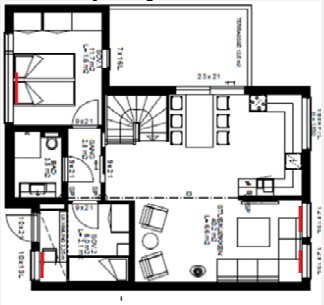
## *TEK10-prosjektene TEK 1 og TEK 2*

*Tabell 8. Presentasjon av TEK 1*

| **TEK10-prosjekt 1** | |
|---|---|
|   Plan av hovedetasje | |
| Lokalisering | Snåsa |
| Klimastasjon | Kjevlia |
| Årsmiddeltemperatur | 5,4 °C |
| Ferdigstillelse | Mai 2013 |
| Teknisk standard | TEK10 |
| Type bolig | Kjedet enebolig |
| Areal per bolig | 68,4 m$^2$ |
| Totalt antall enheter / EBLE-enheter | 2/2 |
| | I TEK10-husene ble det målt total strømbruk for begge husene, samt strøm til varmepumpa som er felles for begge husene. |
| Totalt antall enheter / EBLE-enheter | 2/2<br>Energimålinger (antall enheter): 2<br>Inneklimamåling (antall enheter): 2<br>Intervju, beboere (antall enheter): 1 |
| Hva er målt? | Energibruken i boligene ble målt på timebasis, med separate målere for varmepumpe og radiatorkrets. Begge boligene er påkoblet samme varmepumpe for oppvarming og tappevann. Instrumenteringen ble utført i midten av oktober 2013.<br><br>I TEK 1 bolig 1, ble følgende kurser målt<br>• Varmepumpe Power Supply 1<br>• Varmepumpe Power Supply 2 elkolbe<br>• Total Energi<br>I TEK 1 bolig 2 ble følgende målt:<br>• Total Energi<br>Inneklima:<br>I de to husene er det målt temperatur og relativ fuktighet i følgende rom:<br>• Stue<br>• Bad<br>1 stk. soverom ($CO_2$-måling kun i bolig 2)<br>Trefuktighet:<br>Tre vegger i ett av husene og én vegg i det andre huset samt takkonstruksjonen i ett av husene er instrumentert med trefuktloggere. |
| Måleperiode | 1.11.2013–31.10.2014 |
| Konstruksjon yttervegg | Heltre bindingsverk 48 mm x 198 mm + 48 mm påfôring<br>U-verdi: 0,17 W/(m$^2$K) |
| Grunnmur | Vartdal ringmurselement |
| Gulv på grunnen | 250 mm EPS isolasjon, 100 mm betong<br>U-verdi: 0,13 W/(m$^2$K) |
| Tak | Kaldt, uluftet tak, 350 mm isolasjon<br>U-verdi: 0,11 W/(m$^2$K) |
| Vinduer | U-verdi: 1,2 W/(m$^2$K) |
| **Bolig**<br>Varmesystem/ energiforsyning/ventilasjon | Luft-til-vann varmepumpe Panasonic 8 kW til varmtvann og gulvvarme, felles for begge husene (SCOP = 1,84). Elektriske varmekabler på bad. Vedovn<br>Balansert ventilasjon, varmegjenvinner med 82 % virkningsgrad |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Energiforsyning og dekningsgrader (%) brukt i energiberegninger (prosjekterte verdier) | | Elektrisitet | Varmepumpe | Fornybar |
| | Tappevann | 20 | 80 | |
| | Oppvarming | 25 | 75 | |
| Normalisert kuldebroverdi | 0,05 W/(m$^2$K) (Verdien er ikke dokumentert.) | | | |
| Lekkasjetall (gjennomsnitt) | 1,3 h$^{-1}$ målt v/50 Pa trykkforskjell | | | |
| SFP-faktor (Specific Fan Power) | 2,5 kW/(m$^3$/s) | | | |

*Tabell 9. Presentasjon av TEK 2*

| **TEK10-prosjekt 2**<br>  <br>Plan av hovedetasje | |
|---|---|
| Lokalisering | Oslo |
| Klimastasjon | Stenbråtveien |
| Årsmiddeltemperatur | 6,9 °C |
| Ferdigstillelse | Januar 2015 |
| Teknisk standard | TEK10 |
| Type bolig | Eneboliger |
| Areal per bolig | 123–129 m$^2$ |
| Totalt antall enheter / EBLE-enheter | 15/8<br>Energimålinger (antall enheter): 6<br>Inneklimamåling (antall enheter): 7<br>Intervju, beboere (antall enheter): 5 |
| Hva er målt? | Energimålinger blir utført på oppvarming og varmt vann. Det er elektrisk oppvarming med panelovner i boenheten, varmekabler på begge bad og i gang. Boenheten har også en peis i stua.<br>Total strøm måles av Hafslund. Pulsmålere skal sitte på kurser for oppvarming. Grunnet plassmangel i sikringsskapet skal minst 3 stk. instrumenteres i prioritert rekkefølge.<br>• Ventilasjon<br>• Bad 1. et.<br>• Bad u. et.<br>• Gang<br>VVB<br>Inneklima:<br>I ordinære hus er temperatur og relativ fuktighet i innelufta målt i følgende rom:<br>• 3 soverom<br>• Stue |
| Måleperiode | 1.5.2015–30.4.2016 |
| Konstruksjon yttervegg | Bindingsverk 48 mm x 198 mm, 200 mm mineralull<br>U-verdi: 0,22 W/(m$^2$K) |
| Konstruksjon yttervegg sokkel | 200 mm EPS, 200 mm betong<br>U-verdi: 0,20 W/(m$^2$K) |
| Gulv på grunn: | 300 mm EPS isolasjon, 100 mm betong<br>U-verdi: 0,10 W/(m$^2$K) |
| Tak | Kompakt tak, 350 mm mineralull<br>U-verdi: 0,13 W/(m$^2$K) |
| Vinduer | U-verdi: 1,2 W/(m$^2$K) |
| **Bolig**<br>Varmesystem/ energiforsyning/ventilasjon | Elbasert med panelovner og gulvvarme på bad og bad/vaskerom og hall<br>Balansert ventilasjon, varmegjenvinner med virkningsgrad 80 % |
| Energiforsyning og dekningsgrader (%) brukt i energiberegninger (prosjekterte verdier) | Tappevann: Elektrisitet 100; Varmepumpe; Fornybar<br>Oppvarming: Elektrisitet 100; Varmepumpe; Fornybar |
| Normalisert kuldebroverdi | 0,05 W/(m$^2$K) (ikke dokumentert) |
| Lekkasjetall (gjennomsnitt) | 2,5 h$^{-1}$ v/50 Pa trykkforskjell (prosjektert verdi) |
| SFP-faktor (Specific Fan Power) | 2,5 kW/(m$^3$/s) |

# Målemetodikk

## Energimålinger

### *Utstyr til energimålinger*

Elektrisk energi er målt med kursmålere på de enkelte kursene i sikringsskapet. For å måle energibruk til oppvarming samt energibruk til varmtvann brukes en vannmengdemåler som måler flow og temperatur, slik at energimengden kan beregnes. For å logge energibruken brukes pulsmålere som er koblet til kursmålerne og energimåleren. Det benyttede utstyret er vist i figur 5. Målinger av total levert energi til boligene er innhentet fra strømleverandør (netteier).

*Figur 5. Fra venstre: Kursmåler fra ABB. Vannmåler fra Kamstrup. Pulsmåler. Eksempel på basestasjon.*

### *Metode for energimålinger*

Hva som er målt og hvordan det er målt, er gjengitt i tabell 1–9, der også boligprosjektene er nærmere beskrevet.

## Beregningsmetodikk

### *Metode*

Energiberegning for boligene er blitt utført av SINTEF Byggforsk med SIMIEN v. 5.503 (Programbyggerne, 2016). SIMIEN bygger på en dynamisk modell av bygningen hvor tilstanden beregnes med intervaller på 15 minutter. Simuleringen følger modellen for dynamisk simulering av energibehov beskrevet i NS 3031:2014 (Norsk Standard, 2014).

### *Datagrunnlag*

For passivhusene ble beregningene gjennomført med inndata for belysning, utstyr, varmtvann og personer i henhold til Norsk Standard NS 3700 (Norsk Standard, 2013). For boliger oppført etter TEK10-standard er det benyttet normerte verdier fra NS 3031:2014 (Norsk Standard, 2014). Beregningene er basert på tilgjengelig prosjekteringsgrunnlag for komponenter og systemer fra utbygger. I prosjekter hvor energiberegninger har vært tilgjengelig fra rådgiver, har disse beregningene blitt benyttet som utgangspunkt. Det er brukt målte lekkasjetall ($n_{50}$) for de boligene der utbygger har tilgjengeliggjort disse tallene. Inndata til energiberegningene som er utført for de ulike prosjektene, fins i tabellene 1–9. En oppsummering av data for beregninger etter Norsk Standard (NS) og korrigerte beregninger er vist i tabell 10.

*Tabell 10. Inndata for energiberegninger etter Norsk Standard (NS) og korrigerte beregninger (korrigert).*

| | **Beregning «NS»** | **Beregning «korrigert»** |
|---|---|---|
| Utetemperaturer | Fra statistisk (standardisert) klimadata for nærmeste værstasjon | Fra målte klimadata fra nærmeste værstasjon, for samme periode som målingene av energibruk i boligene ble gjort |
| Solstråling | Fra statistisk (standardisert) klimadata for nærmeste værstasjon | Fra statistisk (standardisert) klimadata for nærmeste værstasjon |
| Innetemperaturer | 21 °C i driftstiden<br>19 °C utenfor driftstiden | Målt gjennomsnittlig temperatur i stua i oppvarmingssesongen (oktober–mars) |
| Brukstid | Standard verdier fra NS 3031/3700 | Standard verdier fra NS 3031/3700 |
| U-verdier for ytterkonstruksjoner | Prosjekterte verdier | Prosjekterte verdier |
| Normalisert kuldebroverdi | Prosjekterte verdier | Nye beregninger utført av SINTEF |
| Lekkasjetall | Prosjekterte verdier | Målte verdier |
| Ventilasjonsluftsmengder | Standard verdier fra NS 3031/3700 (1,2 $m^3/(m^2\ h)$) | Standard verdier fra NS 3031/3700 (1,2 $m^3/(m^2\ h)$) |
| Varmegjenvinning og SFP-faktor for ventilasjonsanlegg | Prosjekterte verdier | Prosjekterte verdier |
| Vinduslufting | Ingen vinduslufting | Ingen vinduslufting |
| Belysning | Standard verdier fra NS 3031/3700 | Standard verdier fra NS 3031/3700 |
| Teknisk utstyr | Standard verdier fra NS 3031/3700 | Standard verdier fra NS 3031/3700 |
| Tappevann | Standard verdier fra NS 3031/3700 | Standard verdier fra NS 3031/3700 |
| Varmetilskudd fra personer | Standard verdier fra NS 3031/3700 | Standard verdier fra NS 3031/3700 |
| Energiforsyningssystem | Prosjekterte verdier for dekningsgrader og virkningsgrader | Prosjekterte verdier for dekningsgrader og virkningsgrader |

***Klima og temperaturkorreksjoner***

Energiberegningene er utført i to trinn. I første trinn er det for TEK10-boligene benyttet standardiserte klimadata for Oslo, som spesifisert i NS 3031:2014 (Norsk standard, 2014), og standardiserte verdier for innetemperatur på 21 °C dagtid og 19 °C nattestid. I andre trinn er det benyttet målte utetemperaturer for stedet og målte innetemperaturer i boligene for samme periode som energimålingene. Årsmiddeltemperaturer for uteklimaet i de ulike prosjektene er vist i tabell 1–9. En begrensning er at det i beregningsprogrammet ikke er mulig å variere set-punkt-temperaturer for oppvarming over året. Denne begrensningen i programvaren gjør at det ikke er mulig å korrigere for faktiske temperaturer i de enkelte tidsintervallene for beregningene. Det er derfor gjort beregninger med konstant innetemperatur, som er et gjennomsnitt av målte verdier i oppvarmingssesongen (september–mars). Dette er således også en kilde til mulige avvik mellom målte og beregnede verdier for energibruk til oppvarming.

Fordi måledata om faktiske solforhold ikke er tilgjengelige for prosjektenes eksakte lokalisering og for de aktuelle tidsperiodene, er det i alle beregninger brukt solstrålingsverdier fra standardiserte klimadata fra nærmeste tilgjengelige værstasjon. Dette er også en kilde til avvik mellom beregnet og målt energibruk til oppvarming. Avviket vil spesielt knytte seg til perioder av året med lave utetemperaturer, men med forholdsvis høye innstrålte solnivåer, som vår og høst.

## Intervju

Datainnsamling om byggeprosess og beboeropplevelse ble gjennomført som dybdeintervju. Dybdeintervju er nyttig når en har få respondenter og man ønsker å undersøke personlige erfaringer, motivasjoner og forklaringer. May (1993) beskriver intervju som en av hovedmetodene i samfunnsvitenskapene. Intervjuene som er gjennomført i EBLE, er semi-strukturerte intervjuer hvor spørsmålene er gitt i en intervjuguide. Spørsmålene er spesifisert, men ikke standardisert, det vil si at intervjusituasjonen er fleksibel og intervjupartneren kan svare fritt. Intervjueren har innflytelse på situasjonen, og det er viktig å være bevisst egen rolle og unngå ledene spørsmål (Kvale, 1996). Intervjuene som er gjennomført i EBLE, gir forklaringer og bakgrunnskunnskap basert på intervjupartnernes opplevelse og erfaring.

Fordelen med intervjuer sammenliknet med spørreundersøkelser er at det er mulig å følge opp hvis det er ubesvarte spørsmål. En typisk utfordring med dybdeintervjuer er å få tak i intervjupartnere som er villige til å stille opp. I EBLE har vi gjennomført 38 beboerintervjuer (av totalt 72 boligenheter). Intervjuer med litt over halvparten av beboerne er et tilfredsstillende høyt antall for kvalitative studier. Videre ble det gjennomført intervjuer med totalt 18 personer involvert i byggeprosess. Disse intervjuene foregikk delvis som gruppeintervjuer. Gruppeintervjuer gjenspeiler gruppedynamikk og er interaktive, hvor de ulike representantene kan snakke sammen (May, 1993).

## Inneklimamålinger

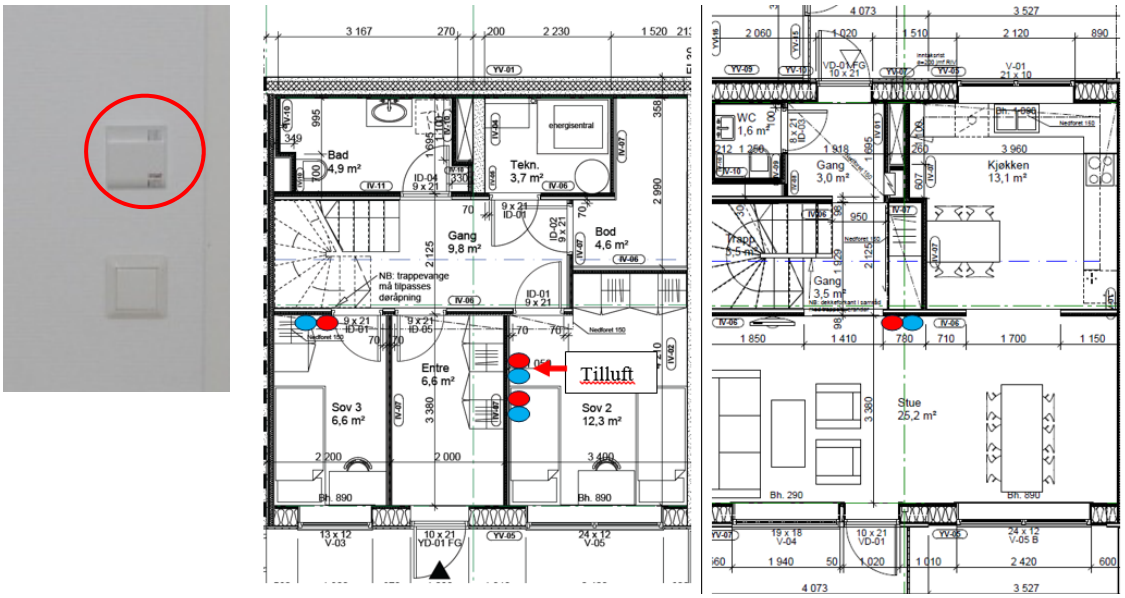
### *Utstyr til inneklimamålinger*

For logging av inneklima er det i de fleste prosjektene brukt utstyr fra leverandøren Intab. Inneklimamålerne kan logge temperatur, kombinasjon av temperatur og relativ fuktighet eller kombinert temperatur, relativ fuktighet og $CO_2$. Måleusikkerheten er ±1 °C i området 0 °C–40 °C. For RF er måleusikkerheten ±3,5 % i området 20 %–80 %. For $CO_2$ er måleusikkerheten ±40 ppm + 3 % av avlest verdi ved 22 °C.

I PH 6 er det brukt loggere av typen Tinytag. Slike loggere har internt minne som lastes ned manuelt når måleperioden er ferdig. Måleusikkerheten er av produsenten oppgitt til ±0,4 °C og ± 3 % RF. Ved kalibrering gjennomført i SINTEF Byggforsks laboratorier ble det imidlertid funnet maksimalt avvik på ±0,2 °C og ±1,5 % RF. I PH 7 ble det benyttet loggere av typen Scanmatic, da dette prosjektet ble instrumentert i samarbeid med FME ZEB.

### *Metode for inneklimamålinger*

Loggeutstyret er plassert i stue, soverom og bad i de ulike prosjektene. For vegg i stue og soverom er loggerne montert i en høyde på 1,2 meter. Av visuelle hensyn er loggerne plassert i nærheten av for eksempel lysbrytere. For soverom betyr det at loggerne er plassert ved døra. Så langt det er mulig er loggerne plassert for å unngå direkte sollys. På bad er loggerne plassert oppe i avtrekkskanalen for ventilasjonsanlegg. Typisk plassering av loggere er vist i figur 6. I denne enheten er stue og to soverom instrumentert. Loggeintervallet er satt til én time. Soverom (minst ett), bad og stue instrumenteres med temperatur og RF-logger som vist i figur 6.




: Kombinert temperatur- og RF-logger

*Figur 6. Bildet til venstre: Rød ring viser temperatur og RF-logger plassert i overkant av en lysbryter. Bildet til høyre: Blå og røde prikker viser typisk plassering av inneklimaloggerne (temperatur og RF).*

## Trefuktmålinger

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

### *Utstyr til trefuktmålinger*

Målesystemet Hygrotrack (GE, 2006) er benyttet for å kunne fjernavlese trefuktigheten i konstruksjonene.

### *Metode for fuktmålinger*

Loggerne monteres med to skruer inn i trevirket. Skruene fungerer også som elektroder for trefuktighetsmåleren. Lufttemperatur og luftfuktighet logges 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.

Loggerne korrigerer selv for temperatur. Måleområdet for trefuktighetsmålingen er oppgitt til 8–40 % med en måleusikkerhet på ±1 % (GE, 2006).

For å undersøke trefuktnivå i konstruksjonen ved lukketidspunktet og hvordan det endrer seg over tid, har vi valgt å instrumentere fire ulike bindingsverksvegger med ulike orienteringer i husene i tillegg til takkonstruksjonen. Loggerne måler trefuktighet i en dybde på 6–18 mm inn i treverket. Måleren måler den høyeste trefuktigheten i dette dybdeintervallet. Gitt 36 mm bindingsverkstykkelse og stender eller toppsvill, måler trefuktmåleren i den mest kritiske posisjonen. For bunnsvill vil den mest kritiske plasseringen med tanke på trefuktmålingene være lenger ned mot underkant bunnsvill. Denne effekten er størst i tilfellene med dobbel bunnsvill, der trefuktmålingene er plassert i den øverste bunnsvilla og ikke i den nederste som vil være mest kritisk.

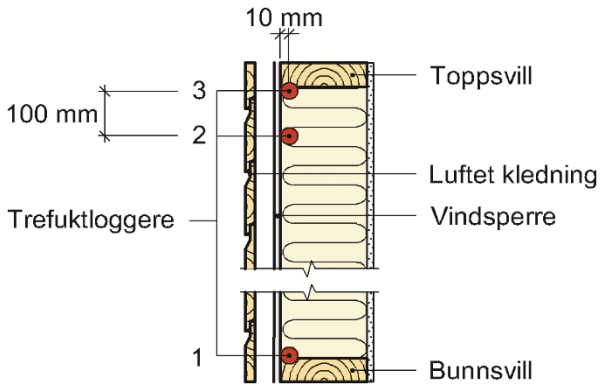
Målesystemet ble installert etter at byggene var vindtettet, men før dampsperra ble montert. Byggfuktnivået ved lukking var avhengig av oppfuktingen under byggeprosessen, samt

uttørkingen etter at bygget var ferdig vindtettet. De ulike prosjektene har blitt isolert og lukket til ulike tider på året. Flest prosjekter har blitt lukket om vinteren/våren.

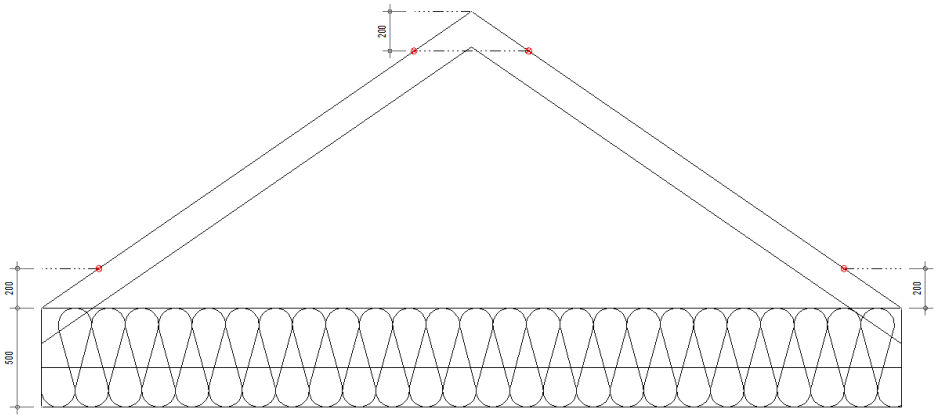
Veggene instrumenteres med tre trefuktloggere per vegg, se figur 7. Plasseringen tilsvarer forsøkene utført av Geving og Uvsløkk (2000). Med denne plasseringen er det mulig å undersøke omfordelingen av fukt på grunn av konveksjon i veggen (Geving og Uvsløkk 2000). Alle loggerne plasseres i en avstand på 10 mm fra vindsperra. Målepunkt 2 på figur 7 er i stender og 1/3 er i bunnsvill/toppsvill. De er dermed ikke plassert på det mest kritiske stedet i konstruksjonen, som vi kan anta er like bak vindsperra. Det er ikke gjennomført beregninger for å undersøke hvilken effekt denne plasseringen har på målingene.

Takene instrumenteres med fire trefuktloggere, se figur 8. Loggerne plasseres 10 mm fra vindsperra, samt 200 mm fra topp av isolasjon/møne. Alle loggerne monteres på samme takstol.

Loggerne har en størrelse på ca. 60 mm x 50 mm x 40 mm. Skruene som loggerne er festet med, er også elektroder for fuktmålingene. Loggerens plassering i konstruksjonen vil til en viss grad forstyrre forholdene inne i veggen fordi det er vanskelig å isolere rundt måleren og fordi måleren i seg selv representerer en kuldebro. Vi kjenner ikke til effekten av dette.




*Figur 7. Instrumentering av veggene i prosjektet. Punkt 2 er i stender. Punkt 1/3 er i bunnsvill/toppsvill.*




*Figur 8. Instrumentering av taket.*

# DEL 2 – Resultater og diskusjoner

## Beboerstudie

**Forskningsspørsmål:**

- Hvilke forventninger har beboerne til inneklimaet?
- Hvordan samsvarer forventningene med beboernes opplevelse av inneklimaet?
- Hvordan reflekterer beboerne rundt energisparing og miljøspørsmål?
- Hvor tilfreds er beboerne med bruk av ventilasjons- og oppvarmingssystemet?
- Hvordan ble beboerne informert om bruk av hus og teknologi, og om passivhus?

I det følgende avsnittet presenterer vi en oppsummering av funn fra totalt 38 beboerintervjuer (32 passivhusbeboere og seks beboere av TEK10-boliger). Målet er å vise overordnede tendenser i beboeropplevelsen. Kapitlet kan derfor ikke ta høyde for enkelt-individets opplevelse. Oppsummeringen danner bakgrunnen for kapitlene som presenterer energi- og inneklimamålingene. I disse kapitlene vil også data fra brukerundersøkelsen trekkes inn. Eksempler fra enkeltpersoner i form av sitater brukes for å illustrere funn.

Sammendrag*:

- Beboerne har høye forventninger til inneklima, både luftkvalitet og termisk komfort.
- Ønsket innetemperatur under oppvarmingssesongen er høy (22–24 grader).
- De fleste opplever at luftkvaliteten er god, men at lufta kan virke noe tørr (om vinteren).
- Opplevelsen av innetemperatur er i all hovedsak positiv. I de tilfellene hvor beboerne ikke var fornøyd med innetemperaturen, skyldtes det oftest feil med de tekniske løsningene.
- Egen komfort vektlegges høyere enn energisparing.
- Lav energibruk i passivhus er sjelden et kjøpsargument alene, men ses på som en bonus i form av mulighet for å kunne spare litt penger til oppvarming.
- Strømregningen er redusert sammenliknet med tidligere bolig. Noen synes allikevel de bruker mer enn forventet.
- Beboerne anser seg selv som gjennomsnittlig miljøinteresserte.
- Ventilasjons- og oppvarmingssystemene oppleves i hovedsak som enkle å bruke/justere. Unntak var systemer som var nye for brukerne, eller hvor det var feil som måtte utbedres.
- Erfaringene med informasjonsformidling om bruk, teknologi og passivhus var delt. Flere kunne ønske seg mer brukervennlig informasjon.
- Kunnskap og ønske om energisparing og atferd henger ofte ikke sammen.
- Funnene i EBLE bekrefter i hovedsak andre studier av beboeropplevelse.

** Utvalget er ikke stort nok til å representere et statistisk utvalg. Dette er likevel den mest omfattende studien som er gjennomført i Norge på denne tematikken.*

### Vurdering av beboerstudien

Kunnskap om beboernes forventninger, nivå på forståelse av bolig og dens teknologi, og kunnskap om bruk og etablerte vaner er relevant bakgrunnsinformasjon for å forstå hvordan beboerne påvirker boligen (Gram-Hanssen, 2010). Beboerpraksis er sammensatt. Brown og Cole (2009) beskriver tre områder som kan forklare hvorfor beboerpraksis er vanskelig å forutse, og hvorfor forventet praksis ofte ikke samsvarer med observert/kartlagt praksis:

*1. Praktiske og designrelaterte aspekter* sier noe om hvordan boligen og de tekniske systemene brukes, for eksempel hvordan brukergrensesnittet og valgmulighetene i systemet fungerer. I tillegg handler det om beboernes forståelse av funksjon.

*2. Atferd og situasjonsrelaterte aspekter* inkluderer hvilke tidligere erfaringer beboerne tar med seg fra andre boliger, konteksten og hvor lenge beboerne har bodd i den nye boligen, samt hvilke vaner beboerne har etablert.

*3. Sosiale og psykologiske aspekter* omfatter forventninger til boligen, hvordan beboerne ser på seg selv og sine egne handlinger, for eksempel relatert til miljøspørsmål. Også sosialt fellesskap, meningsfeller og normative verdier påvirker individuelle holdninger. Gap mellom ønsketenkning (hvordan det bør være) og handling (hvordan det er) er et annet fenomen som vises i beboerstudier.

Beboernes tilfredshet med boligen er også sterkt preget av opplevelsen av termisk komfort. Hvorvidt en beboer opplever at innetemperaturen i boligen er tilfredsstillende, avhenger av tidligere erfaringer, kultur, type bolig, forventning, aktivitet, dagsform, utetemperatur og påkledning (se for eksempel Nicol og Roaf, 2005). Som en tommelfingerregel kan man si at temperaturen kan variere +/-2 grader fra gjennomsnittstemperaturen beboerne har opplevd over tid før det kjennes ukomfortabelt eller unormalt av et stort antall respondenter (Nicol og Roaf, 2005).

## Resultater fra beboerstudien

### *Forventninger til inneklima*

Alle beboere i EBLE som flyttet til en helt ny bolig, har generelt høye forventninger. Spesielt gjelder dette forventninger til behagelig innetemperaturer sommer og vinter. Omtale av godt termisk inneklima i passivhus gjennom salgsprosess og delvis i offentlig debatt bidrar også til å forme forventninger. Forventet godt termisk inneklima nevnes som en grunn for valg av den nye boligen. Andre grunner er beliggenhet, overkommelig pris og planløsning som passer beboernes livssituasjon. Spesielt beboerne som kommer fra eldre boliger har en forventning om at man kan ha høyere innetemperatur i alle oppholdsrom i nyere boliger, og samtidig med lavere oppvarmingskostnader.

Generelt gjenspeiler intervjuene et ønske om å ha en innetemperatur på 22–24 °C i oppholdsrom. Det bekreftes av målingene som viser temperaturer i dette området (se kapitlet om inneklima). Én person avviker fra dette og ønsker 19 °C, mens tre personer ønsker 23–24 °C. Alle intervjuede beboere ønsker å ha det kjøligere på soverommet (15–19 °C) enn i oppholdsrom.

Det er høye forventninger om å kunne ha det varmt i oppholdsrom om vinteren. Flere beboere sier at de ønsker å gå i t-skjorte innendørs, sommer og vinter. Varm bekledning som tøfler og tykke gensere forbinder flere med gamle hus.

Videre forventes det at temperaturen kan justeres slik at alle typer preferanser kan dekkes. Fleksibilitet i systeminnstillinger er noe som en ny bolig burde kunne oppfylle.

Beboernes forventninger til inneluft i boliger med balansert ventilasjon var blandet. Noen tenkte ikke så mye over forventet luftkvalitet, noen var spent på hvordan balansert ventilasjon ville oppleves, mens andre hadde bodd i boliger med balansert ventilasjon tidligere.

*Funnene i EBLE bekrefter i hovedtrekk funn fra andre studier om beboernes forventninger og opplevelse av energieffektive boliger. Brukere av energieffektive boliger som ble intervjuet i ZEB (The Research Centre on Zero Emission Buildings), hadde også høye forventninger til nye energieffektive bygg (både boliger og yrkesbygg). Forventningene var tydelig påvirket av*

*media og informasjon som brukerne hadde fått før innflytting (Thomsen* et al.*, 2013). Brown og Cole (2009) fant at høye forventninger i kombinasjon med opplevelse av lavere enn forventet ytelse har en negativ effekt på brukernes evaluering av bygget. Når man opplever lavere innetemperatur enn forventet, kan det for eksempel resultere i at man setter inn en ekstra oppvarmingskilde. Flere andre studier bekrefter forventninger om høy innetemperatur i evaluering av energieffektive boliger (Gram-Hanssen, 2010; Galvin, 2016).*

***Opplevelse av inneklima***

Funn fra interjuene viser at de fleste EBLE-beboerne er fornøyd eller veldig fornøyd med opplevd innetemperatur både sommer og vinter. Målingene som presenteres i kapitlet om inneklimamålinger, viser dessuten at boligene oppfyller ønsket om å ha høy innetemperatur, med noen unntak grunnet i byggetekniske og oppvarmingstekniske utfordringer. I bolig-prosjekter der det oppsto utfordringer, opplevde beboere temperaturen som for kald den første vinteren. Problemene ble i hovedsak rettet opp, og det resulterte i økt tilfredshet påfølgende vinter. I de tilfellene hvor oppvarmingssystemet utgjør en begrensning, det vil si at man ikke har mulighet til å varme opp boligen ytterligere, oppleves det som lite tilfredsstillende.

Noen sommerdager når utetemperaturen er høy, opplever de fleste høye innetemperaturer som lite problematisk. Lufting, solavskjerming og bekledning brukes for å tilpasse seg. Varm temperatur over lengre perioder om våren og sommeren, som er vanskelig å justere, kan oppleves som plagsomt. Utfordringer med sommertemperatur ble spesielt rapportert av beboerne i ett prosjekt, noe som ble bekreftet av måleresultatene.

Temperaturdifferensiering mellom ulike rom er et gjennomgående tema hvor det er for-bedringspotensial. Beboerne ytrer et ønske om å regulere temperaturen på soverommet uavhengig av resten av boligen. Alle ønsker å ha lavere temperatur her enn i resten av boligen.

Justering av temperatur som ikke er knyttet til oppvarmingssystem, skjer gjennom å åpne og lukke dører og vinduer. Døra til soverom brukes ofte for å regulere temperaturen. På soverommet er det ønskelig å ha det kaldere, og vinduslufting brukes aktivt for å oppnå lavere temperatur.

Ellers differensieres innetemperaturen lite mellom ulike oppholdssoner. Mange boliger har relativt åpne planløsninger, noe som gjør det vanskelig å stenge av soner ved å lukke dørene.

Beboerne bemerker at teknisk utstyr og personer også bidrar til oppvarming. Det kan være kjølig i en etasje, men når man tar rommene i bruk, for eksempel når flere personer ser på TV, varmes det fort opp.

Generelt er de fleste positivt overrasket over luftkvalitet og luftskifte. Alle ventilerer i tillegg gjennom vinduer, om enn i ulik grad, men generelt sier beboerne at det er mindre behov for vinduslufting i den nye boligen enn i den tidligere boligen uten balansert ventilasjon, spesielt i de kalde årstidene. Når det oppleves som varmt i boligen om sommeren, velger beboerne å lufte ut gjennom vinduene.

Omtrent halvparten av respondentene sier at de sover med åpent vindu. Hovedgrunner som nevnes, er ønsket om å senke temperaturen ytterligere og gamle vaner. Flere som tidligere sov med åpent vindu, har endret vaner etter å ha flyttet til den nye boligen. Disse sier at de ikke lenger tenker over det fordi luftkvaliteten holder seg på et såpass bra nivå gjennom natta at det ikke føles nødvendig å åpne vinduet.

Mange informanter opplever tørr luft om vinteren. Beboere som tidligere hadde bodd i boliger med balansert ventilasjon, hadde også opplevd samme problematikk der.

I enkelte tilfeller opplever beboerne at lyden fra ventilasjonen er sjenerende, spesielt om natta hvis det står på "normalt" luftskifte. Opplevd lyd fra ventilasjonsanlegget kan deles i to

kategorier – lyd fra aggregatet og susing fra ventilene. Susing fra ventilene bemerkes i hovedsak på maksimalt luftskiftenivå (nivå/trinn 3). Nivå 3 brukes sjelden, og i hovedsak når man har besøk, det vil si med flere personer enn vanlig i boligen. Luftskiftenivå "normalt" (nivå/trinn 2) skal dekke vanlig behov.

I to boliger hvor beboerne er plaget av pollenallergi, opplever de at belastningen fra pollen har minsket etter at de flyttet til den nye boligen.

*Studier av opplevelse av innetemperatur i energieffektive boliger har kommet fram til ulike resultater. Flere studier konkluderer med at innetemperaturen generelt oppleves som behagelig både sommer og vinter (eksempelvis Staepels* et al.*, 2013, Schnieders og Hermelink, 2006). I noen prosjekter oppleves sommertemperaturen som for varm (Larsen, Jensen og Daniels, 2012), i andre prosjekter har noen beboere opplevd kald temperatur om vinteren (Isaksson og Karlsson 2006; Zalesjka-Jonsson, 2014). Berge, Thomsen og Mathisen (2016a) skriver at varm sommertemperatur i hovedsak oppleves som problematisk på soverommet. Sammenliknet med eldre boliger med lite isolasjon og lav tetthet, opplever beboerne høyere termisk komfort i nye energieffektive boliger; dette forutsatt at oppvarmingssystemet fungerer som det skal (Schnieders og Hermelink, 2006; Berndgen-Kaiser, Fox-Kämper og Holtmann, 2010; Danner og Vittar, 2001). Det som er utfordringen i nyere boliger, er kontroll av sommertemperatur og differensiering av temperatur i ulike rom (Berge, Thomsen og Mathisen, 2016a).*

*Generelt oppleves innetemperaturen på soverommet ofte som for høy (Streicher et al., 2004; Berge, Thomsen og Mathisen, 2016a). Berge, Thomsen og Mathisen (2016a) bekrefter at beboere foretrekker ulike temperaturer i oppholdsrom, bad og soverom, noe som begrenses av reguleringsmuligheter for oppvarmingssystemet.*

*Beboerintervjuer i et norsk passivhusområde viser at luftkvaliteten oppleves som god. Ved behov åpner beboerne vinduene for å justere temperatur (Klinski et al., 2012). Berge, Thomsen og Mathisen (2016a) bekrefter at hovedgrunnen til å åpne vinduet på soverommet er at man ønsker å senke temperaturen heller enn at man er misfornøyd med luftskiftet gjennom ventilasjonsanlegget. Opplevelse av god luftkvalitet i passivhus og mindre behov for vindusventilering bekreftes også av Kah et al. (2010) og Ebel et al. (2003). Ebel sammenliknet luftskiftet i boliger med balansert ventilasjon og i boliger med konvensjonell vindusventilasjon. Balansert ventilasjon sikret konstant og høyt luftskifte (i denne studien: 0.5 h-1), samtidig som målt $CO_2$-nivå var gjennomgående mye lavere i boligene med balansert ventilasjon (Ebel et al., 2003).*

*I en foreløpig upublisert studie av Zero Emission Buildings' "living lab"-bolig viser beboerintervjuer en positiv effekt på pollenallergi av å oppholde seg hus med lavt lekkasjetall og kontrollert luftskifte gjennom ventilasjonsanlegg (ZEB, 2016), forutsatt jevnlig filterskift og vedlikehold.*

*Zalejska-Jonsson (2014) fant i en studie i Sverige at opplevelse av tørr luft var den faktoren som bidro til flest klager fra beboere i boliger med balansert ventilasjon. Også i EBLE er det flere beboere som opplever lufta som for tørr. Utover luftfuktigheten er beboerne i Zalejska-Jonssons studie tilfreds med opplevd luftkvalitet. Det samsvarer i hovedsak med våre funn.*

***Energibruk og miljøspørsmål***

Energi og miljø var ikke blant de mest nevnte grunnene for å kjøpe passivhus. Passivhusstandard anses i hovedsak som en bonus ved kjøp av boligen. Bonusen er da at man forventer å spare strøm og dermed penger. Kun fem av 32 passivhusbeboere nevner at passivhusnivå var et viktig og avgjørende kjøpsargument.

Alle de intervjuede i passivhusene og TEK10-boligene sier at strømregningen er lavere enn i boligene de bodde i før. Det oppleves som positivt. Noen synes likevel ikke at strømregningen er så lav som forventet. En effekt av å få lav strømregning er også at flere synes at de ikke trenger å spare så mye energi.

Få beboere sier at de har endret energirelaterte vaner etter de flyttet til den nye boligen. Beboerne som bor i boliger med solceller er et unntak, og to husstander forteller at de delvis har tilpasset bruk av oppvaskmaskin og vaskemaskin til tidspunkter hvor strømproduksjonen er høyest.

Når det gjelder miljøspørsmål, er hovedtendensen at beboerne karakteriserer seg som "litt opptatt av miljøet". Når de blir spurt om hva de legger i begrepet miljøinteresse, er typiske svar at man kildesorterer, slår av lyset og har byttet pærer til LED, kjøper A+++ produkter og holder dører lukket til rom som ikke er i bruk. "Å bidra med det lille man kan" og "vi er ikke miljøentusiaster, men gjør det som er «normalt»" er utsagn som illustrer tendensen.

Åtte av informantene sier at de har blitt mer opptatt av miljøspørsmål etter de flyttet inn i den nye boligen. Det knyttes i hovedsak til at det er positivt for miljøet at man kan bruke mindre strøm til oppvarming ved å bo i passivhus. De fleste synes at strømsparing er en positiv bieffekt av passivhus. Den positive effekten knyttes dog i hovedsak ikke til miljøet, men til å spare penger.

*Intervjuene illustrerer også godt et misforhold mellom bevissthet og kunnskap om miljøpåvirkning, et ønske om å bidra med det man kan for å spare miljøet, og det man gjør i praksis. Egen komfort kommer helt tydelig før energisparing. At boligen bruker lite energi til oppvarming, benyttes delvis som argument for at man ikke trenger å fokusere på å spare enda mer. Tilsvarende funn er gjort i andre studier (Gram-Hanssen, 2010; Galvin, 2016). Energisparingsønsker i den daglige praksisen er ikke noe som beboerne etterlever konsekvent.*

*I brukerundersøkelsen i ZEB var det tendenser til at brukerne ble mer opptatt av miljøet i nullenergihus (Thomsen et al., 2013). Denne tendensen ser vi ikke like tydelig i EBLE. I hovedsak har ikke beboerne endret sine vaner for å spare energi etter at de flyttet til ny bolig. Energieffektivitet er heller ikke blant hovedargumentene for boligkjøpet. Andre studier har funnet tilsvarende, det vil si at energistandard ikke er det viktigste argumentet for kjøp, men at energistandard kan ha en positiv bieffekt ved valg av bolig ("bonus") (Isaksson og Karlsson, 2006; Haavik og Aabrekk, 2007).*

***Informasjonsbehov ved bruk av ventilasjons- og oppvarmingssystem***

I seks av prosjektene opplever beboerne at oppvarmingssystemet er enkelt å håndtere: "det er ikke mye å lære seg". Det gjelder prosjektene som har elektrisk oppvarming (varmekabler), radiatorer og vannbåret varme i noen soner. I prosjektene der det er utstrakt bruk av vannbåret varme, er brukeropplevelsen mer delt. Innjustering og tilvenning til type oppvarmingssystem tok mer tid i disse tilfellene. Opplevelsen av treg responstid førte til at folk opplevde at temperaturjustering er vanskelig. Intervjuene viser også at når tekniske systemer er nye for brukeren (utstrakt bruk av vannbåret varme, solfangere, solceller), blir informasjonsbehovet større.

Temperaturen justeres av alle beboere gjennom valgmulighetene de ulike systemene tilbyr. Valgmulighetene for temperaturjustering er definert enten i trinn eller grader Celsius. Flere har valgt display som viser grader Celsius istedenfor trinn.

Gjennomgående ytrer beboerne et ønske om mer differensierte reguleringsmuligheter for innetemperaturen. Det gjelder spesielt temperaturen på soverommet. Her oppleves det at temperaturen ikke blir så lav som ønsket.

Ventilasjonsanlegg i boligen er nytt for de fleste intervjuede. Kun få beboere har kunnskap om bruk av ventilasjon fra tidligere bolig. Her er det et tydeligvis et større behov for informasjon om innstillinger og bruk enn når det gjelder oppvarmingssystemet. Regulering av lufttilførsel gjennom tretrinnsmodellen oppleves som enkelt i bruk. Regulering av tilluftstemperatur, hvordan og hvorfor, er det mindre kunnskap og bevissthet rundt. Noen bruker det aktivt, mens andre ikke har hørt om at det er muligheter for å regulere tilluftstemperatur før det nevnes i intervjusammenheng.

Brukergrensesnitt er ikke evaluert i EBLE. Men beboernes fortellinger viser tydelig at lett forståelige og ikke minst tilgjengelige justeringsmuligheter av for eksempel tilluftstemperatur spiller en stor rolle for bruken. I noen tilfeller er ikke bruk og funksjon (og nødvendigheten) forstått.

I alle prosjektene har beboerne fått overlevert en perm med informasjon og bruksanvisninger. Det er i tillegg vanlig med en kort gjennomgang ved overlevering. Enkelte har fått en gjennomgang av ventilasjonssystem med leverandør. I prosjektene som har flere nyskapende teknologier, viser det seg i ettertid at det er større behov for bedre tilrettelagt informasjon. Beboerne påpekte at det var for lite fokus på formidling av funksjon og bruk, noe som kan skape usikkerhet, irritasjoner, prøving og feiling og uhensiktsmessig bruk av for eksempel sensorer, solceller og solfangere.

Behovet avhenger også av "type brukere". Det fins beboere som liker å sette seg inn i funksjon og bruk, mens andre ikke orker eller evner det. De som ikke setter seg inn i bruksanvisninger, men heller prøver seg fram, bruker ofte ikke de mulighetene som tilbys av de tekniske systemene.

Flere beboere foreslo mer brukervennlig informasjon, ikke bare bruksanvisning fra produsent for de som ønsker å lese seg opp. Beboerne forslo nettsider, apper, supporttjeneste og interaktiv formidling av bruk. Bedre forståelse kan forebygge feilbruk og misforståelser i innkjøringsfasen.

Utbyggerne har ulike tilnærminger til informasjonsformidling. I tre bedrifter har filosofien vært at passivhus ikke er annerledes enn andre boliger, og at det heller ikke er behov for annen type informasjon. Det fungerer så lenge det ikke er uvante løsninger. Generelt var det mange beboere som ønsket at de hadde fått mer informasjon om hva passivhus er. Selv om systemene ble forstått, var det undring over forskjellen fra "andre" typer / tidligere bolig. Riktignok var det få som valgte boligen på grunn av passivhusstandard, men informasjonsbehovet om passivhus økte etter man hadde forpliktet seg gjennom et kjøp.

En utbyggerrepresentant påpeker at opplæring av selgere og formidling av "hva boligen kan og er" allerede i salgsprosessen kan bidra til å øke kundenes forståelse av hvilken type bolig de kjøper.

Tendenser blant beboerne tyder videre på at utbyggere med et relativt gjennomarbeidet system for informasjonsformidling og oppfølging har kunder som sier at de forstår bruk av boligen og de tekniske systemene godt, for eksempel i PH 6. Minst fornøyd med informasjonsformidling er de som har kjøpt boliger med nyskapende løsninger og opplever at de vet for lite om vedlikehold, feilsøking og bruk (PH 7, nullenergiboliger).

*Kontroll over omgivelsene og kunnskap om muligheter og begrensninger er tidligere beskrevet som avgjørende faktorer som påvirker tilfredshet (Leaman og Bordass, 2007). Også det man er vant til fra tidligere boliger er av betydning for tilfredshetsvurderinger (Brown og Cole, 2009). Zalejska-Jonsson (2014) har funnet at beboere i energieffektive boliger i Sverige har opplevd problemer med å finjustere oppvarmingssystemet slik at de opplever tilfredsstillende termisk komfort. Stevenson, Carmona-Andreu og Hancock (2013) anbefaler blant annet mer*

*detaljert evaluering av produkter/brukergrensesnitt i praksis, tydeligere formidling i overleveringsprosessen, demonstrasjon av kontrollmulighetene, samt bedre kunnskap om funksjonene blant de som skal installere og selge produktene. Økt forståelse vil kunne påvirke bruksmåter og gi bedre opplevelse av kontroll.*

*Zalejska-Jonsson (2014) har funnet at lite tilgjengelige brukermanualer bidro til misnøye med blant annet oppvarmingssystem. Beboere i energieffektive boliger i studien opplevde store utfordringer med hensyn til å forstå hvilke innstillinger oppvarmingssystemet hadde å tilby. Gill* et al. *(2010) tilføyer at feilbruk og misforståelser også vil ha konsekvenser for energibruken.*

***Opplevelse og forventninger til passivhus versus TEK10-boliger***

Intervjuene gir ikke tydelige indikasjoner på at beboere som flytter til passivhus i utgangspunktet har høyere forventninger til boligene enn beboere som flytter til TEK10-bolig. Energistandarden er et tema som løftes opp mer i passivhusprosjektene, noe som skaper en større bevissthet rundt det å bo i en energieffektiv bolig, og dermed vil det påvirke forventninger og bevissthet. Intervjuene tyder dessuten på at de som bor i passivhus, etterspør mer informasjon om passivhus etter innflytting ut fra et ønske om å forstå hva standarden innebærer.

Beboere som flyttet til nullenergiboliger (PH 7), er blant dem som uttrykker at energistandarden er av betydning for dem og at de har en noenlunde idealistisk holdning til boligen: "Det er ikke mulig å få tilbakebetalt for dette, men noen må gå foran. Det blir sikkert flere nullutslippsboliger i framtiden".

Det at energistandarden er høyere enn dagens krav og at boligen er nyskapende kan ha positiv effekt på beboernes bevissthet rundt sitt energibruk.

*Brukerstudier gjennomført i ZEB finner at brukerne i bygninger som er nyskapende, for eksempel nullenergiboliger, kan oppleve stolthet og føle at de er del av noe betydningsfullt, spesielt når andre viser oppmerksomhet for bygget, som media (Thomsen* et al.*, 2013). En slik opplevelse kan ha innflytelse på hvordan beboerne evaluerer bygningen. Tidligere ble dette diskutert av Leaman og Bordass (2007).*

## Energi

**Forskningsspørsmål:**

- Bruker passivhusboligene mindre energi enn boligene oppført etter TEK10?
- Hvordan er samsvaret mellom målt og beregnet energibruk?
- Hvordan er sammenhengen mellom målt innetemperatur og energibruk?
- Hvordan er samsvaret mellom formålsdelt energimåling (oppvarming, tappevann og annet) i boligene og de standardiserte verdiene i NS 3031?

Dette kapitlet gir en oversikt over energimålinger og -beregninger, der energi- og innetemperaturmålinger også analyseres i sammenheng. Det presenteres først en overordnet vurdering av energibruk og en introduksjon til funnene der forskjeller mellom passivhus og TEK10-boliger diskuteres. Deretter presenteres funn om forholdet mellom målte og beregnede verdier. Til sist redegjøres det for mulige årsaksforklaringer til avvikene mellom formålsdelte målinger og beregnede verdier for boligene. De faktorene som kan bidra til å forklare forskjeller mellom målinger og beregninger, er identifisert på bakgrunn av grunnleggende bygningsfysiske fenomener knyttet til varmetap, til tekniske installasjoner og til brukere. Resultatene i denne rapporten ses i sammenheng med tidligere forskning, som presentert i litteraturdelen i del 1. Faktorene, som alle diskuteres i sine respektive delkapitler, er som følger:

- Oppvarming:
  - Ønskede og målte innetemperaturer
  - Målte (faktiske) klimadata vs. et standard klimadata-år
  - Avvikende innetemperaturer fra standardverdier i NS 3031
  - Oppvarmingssystem: virkningsgrader og systemtap
  - Byggeteknisk; *virkelige* vs. prosjekterte verdier for lufttetthet
  - Soltilskudd gjennom vinduer
- Ventilasjon
  - Ventilasjonsanleggets effektivitet (varmegjenvinner, luftmengder og tilluftstemperatur)
  - Vinduslufting
- Tappevann:
  - Bruk: mengde vann og temperatur
- Annet
  - Teknisk utstyr og belysning
  - Elbil
- Lokale energiforsyningskilder
  - Varmepumpe
  - Solcelleanlegg
  - Solfangeranlegg

Sammendrag*:

- Det er målt betydelig lavere energibruk i passivhus enn i boliger oppført etter TEK10-standard. Gjennomsnittlig målt energibruk for passivhusboligene er ca. 30 % lavere enn for TEK10-boligene.
- Målt levert energi til boligene er gjennomsnittlig 23 % høyere enn beregnede behovsverdier for passivhusene og 4 % høyere for TEK10-husene.
- Oppvarmingsbehovet underestimeres i energiberegningene og er en viktig forklaringsfaktor for avvik mellom målt energibruk og beregnet energibehov.
- Omtrent halvparten av de intervjuede beboerne sier de lufter med vinduer også i oppvarmingssesongen, noe som kan ha stor innvirkning på oppvarmingsbehovet.
- Målingene viser høyt målt energibruk til varmepumper sammenliknet med beregnede (prosjekterte) verdier, noe som indikerer at faktiske systemvirknings-grader er lavere enn de prosjekterte. Forskjellen er en faktor som påvirker avvikene mellom målinger og beregninger i høy grad.
- I prosjektet hvor det er brukt solceller (PV), er det målt høyere verdier for levert strøm fra PV-anlegget enn de prosjekterte verdiene.
- Det er store forskjeller i målt energibruk til varmtvann.

* Utvalget er ikke stort nok til å representere et statistisk utvalg. Dette er likevel den mest omfattende studien som er gjennomført i Norge på denne tematikken.

## Vurdering av energibruk

Det er i prosjektet foretatt sammenlikninger av energimålinger og energiberegninger for 33 passivhusboliger og 10 boliger oppført etter krav i byggteknisk forskrift (TEK10). Differanser i målte verdier mellom boligene, så vel som differanser mellom målinger og beregninger, er analysert. Beregningene er gjort med as-built-dokumentasjon på komponenter og systemer, som diskutert i metodekapitlet. De mest relevante inndataene for beregninger er vist i tabell 1–9. Beregningene er utført med inputdata som spesifisert i norsk standard NS 3031 (Standard Norge, 2014) for TEK10-boligene og NS 3700 (Standard Norge, 2013) for passivhusboligene. Beregningene er korrigert for målte utetemperaturer og innetemperaturer, der gjennomsnittlige målte innetemperaturer i oppvarmingssesongen er brukt som set-punkt for oppvarming. De målte innetemperaturene er vist i avsnittet om inneklima. Årsmiddeltemperaturer og hvilke klimastasjoner for uteklimaet som er brukt ved beregninger er vist i tabell 1–9. På grunn av manglende måledata om faktiske solforhold er det i alle beregninger brukt standardiserte solstrålingsdata fra nærmeste tilgjengelige værstasjon. I tillegg er det gjennomført energiberegninger for boligene med målte utetemperaturer, inndataverdier for inne-temperaturer og standardiserte klimaår for nærmeste tilgjengelige klimastasjon for å dokumentere boligenes energiytelse. Disse beregnede verdiene er vist i figur 11–14.

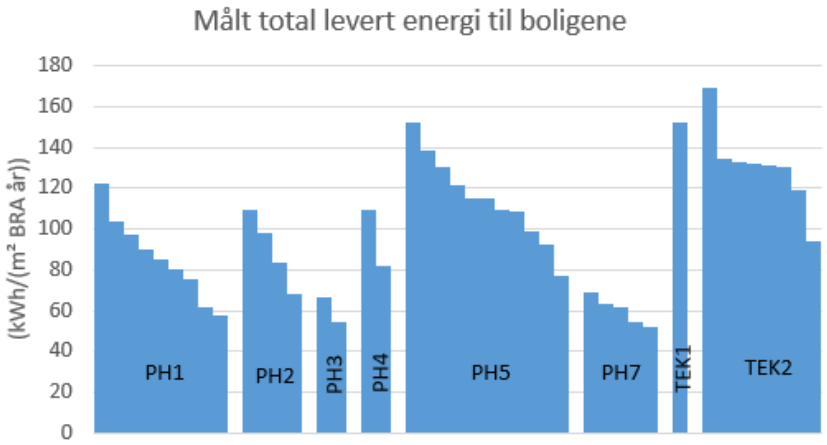
Det har vært store utfordringer med energimålingene i de fleste prosjektene. Prosjektene har ulike løsninger for oppvarming og tappevannsoppvarming, noe som har medført ulik instrumentering i prosjektene. Koordinering av de ulike fagene (rørlegger, elektriker, måle-teknikere) i byggeprosessen har medført komplikasjoner for installering av energimålere. Trådløse systemer har vist seg å være lite pålitelige, på grunn av manglende signalstyrke. I flere av prosjektene har det ikke vært mulig å komme i inngrep med planlegging av eksempelvis det elektriske anlegget tidlig nok til å sikre at målingene fra de ulike prosjektene er sammenliknbare på alle punkter.

## Overordnede funn

Figur 9 viser målt, levert energi til alle boligene som er analysert. Figuren viser at det er store forskjeller i energibruken mellom boligene, også innad i hvert av prosjektene med boliger av samme størrelse og tekniske standard. Forskjellene gir et tydelig bilde av at bruksmønstret til beboerne er avgjørende for hvor mye energi som brukes i boligene.

Av figur 9 og 10, tabell 11 og i figur 11–14 ser man at det er store avvik mellom målte og beregnede verdier for levert energi til boligene. De beregnede verdiene vist i tabell 11 er verdier for korrigerte beregninger (korreksjoner er beskrevet i metodekapitlet). Verdier for målt total levert energi i tabell 11 er den gjennomsnittlige leverte energien til boligene i hvert prosjekt. Dette er altså levert strøm fra nettet. De resterende postene i tabell 11 er målte og beregnede forbruksverdier. Eksempelvis angir forbruk til varmtvann den energimengden som er levert fra varmtvannsberederen. Summen av forbrukspostene vil ikke være lik den totale leverte energien og vil avhenge av energikilden (f.eks. varmepumpe) i boligen. Tabell 11 viser bare beregnede verdier der det er målte verdier for samme forbrukspost.

Dersom man sammenlikner det gjennomsnittlige avviket for alle passivhusboligene med gjennomsnittlig avvik for alle TEK10-boligene, er dette størst for passivhusene.

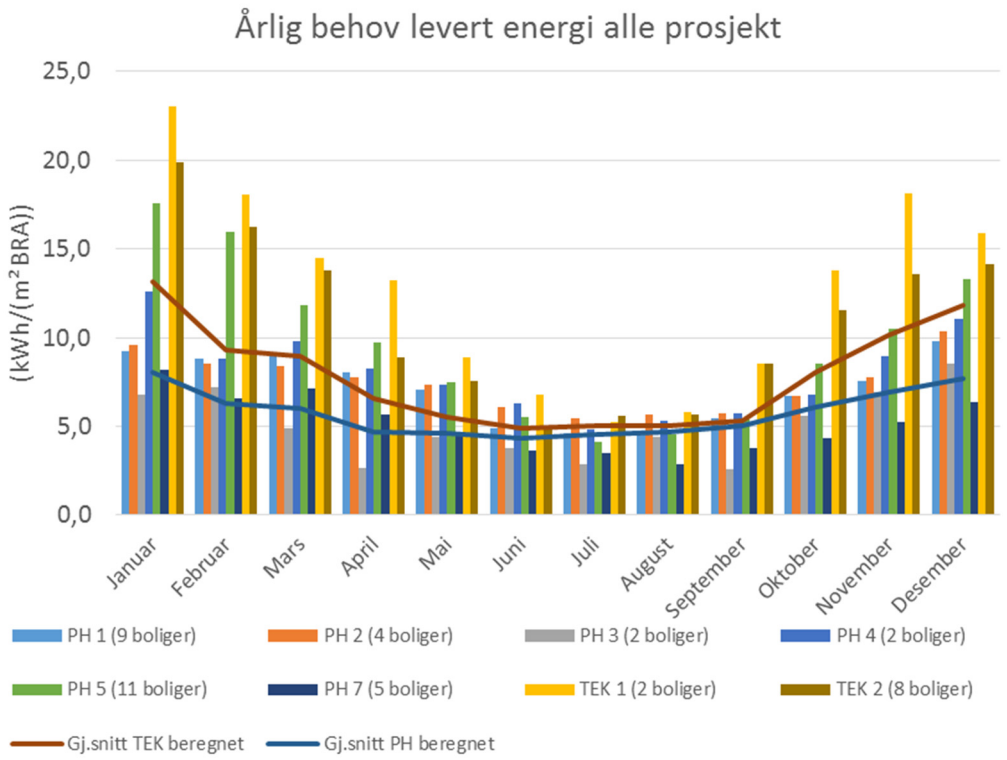



*Figur 9. Målt levert energi til enkeltboliger i passivhusprosjektene PH 1–PH 5 og PH 7, samt TEK10-prosjektene TEK 1 og TEK 2*

*Tabell 11. Målte (kolonner merket med M) og beregnede (kolonner merket med B) gjennomsnittlige årsverdier for boligene i passivhusprosjektene PH 1–PH 5 og PH 7, samt TEK10-prosjektene TEK 1 og TEK 2. De beregnede verdiene er basert på korrigerte beregninger. Tallene i parentes bak hvert av prosjektnumrene angir i hvor mange boliger det er gjort målinger. For TEK 2-prosjektet er det vist gjennomsnittlig målt verdi for de to boligene. Kolonner merket B viser beregnet behov til de ulike postene.*

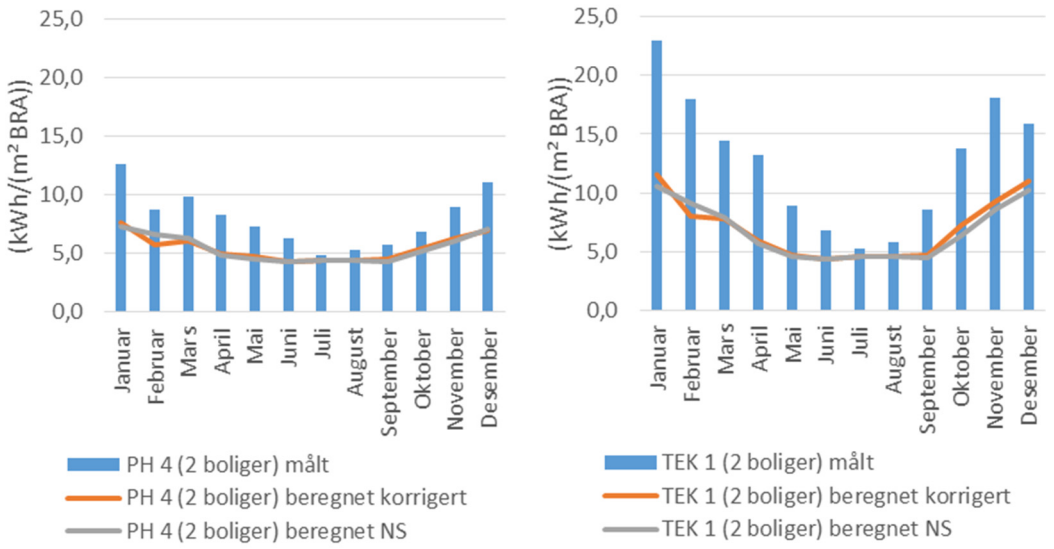
| kWh/ (m² år) | PH 1 (9) | | PH 2 (4) | | PH 3 (2) | | PH 4 (2) | | PH 5 (11) | | PH 7 (5) | | TEK 1 (2) | | TEK 2 (8) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | M | B | M | B | M | B | M | B | M | B | M | B | M | B | M | B |
| Total levert energi[1] | 86 | 68 | 89 | 59 | 61 | 62 | 96 | 66 | 114 | 80 | 62 | 60 | 152 | 82 | 130 | 135 |
| Oppvarming[2] | – | – | – | – | 23 | 14 | 48 | 15 | 58 | 22 | 46 | 10 | – | – | – | – |
| Varmtvann[3] | – | – | 42 | 30 | 19 | 30 | 24 | 30 | 26 | 30 | 18 | 30 | – | – | 22 | 30 |
| Elektrisk[4] | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | 38 | 34 | – | – | – | – |
| Ventilasjon[5] | – | – | 5 | 4 | 10 | 7 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Varme-pumpe[6] | – | – | 31 | 22 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Energi-produksjon[7] (kWh/år) | – | – | – | – | – | – | – | – | 2839 | 4958 | 7235 | 6999 | – | – | – | – |

*1 Målt levert energi er levert energi fra strømnettet (fra strømleverandør). Beregnede verdier er netto energibehov (se metodekapittel for nærmere beskrivelse).*
*2 Beregnede verdier viser netto oppvarmings behov. Målt energibruk er brutto verdier inkl. systemtap.*
*3 Målt verdi er brutto levert ut fra varmtvannsbereder som tilsvarer levert energi til varmtvannsbereder multiplisert med berederens produksjonsvirkningsgrad. For PH 2 foreligger det måling av VV for bare en bolig.*
*4 Elforbruk til belysning, utstyr, vifter i ventilasjon og pumper i vannbårent oppvarmingsanlegg*
*5 Beregnet behov ventilasjon inkluderer strøm til drift av vifter i ventilasjonsanlegg og ev. varmebatteri.*
*6 Målt verdi er strømforbruket i varmepumpa, beregnet likeså (se kapittel om fornybar energiproduksjon).*
*7 Nærmere beskrevet i kapittel om fornybar energiproduksjon*

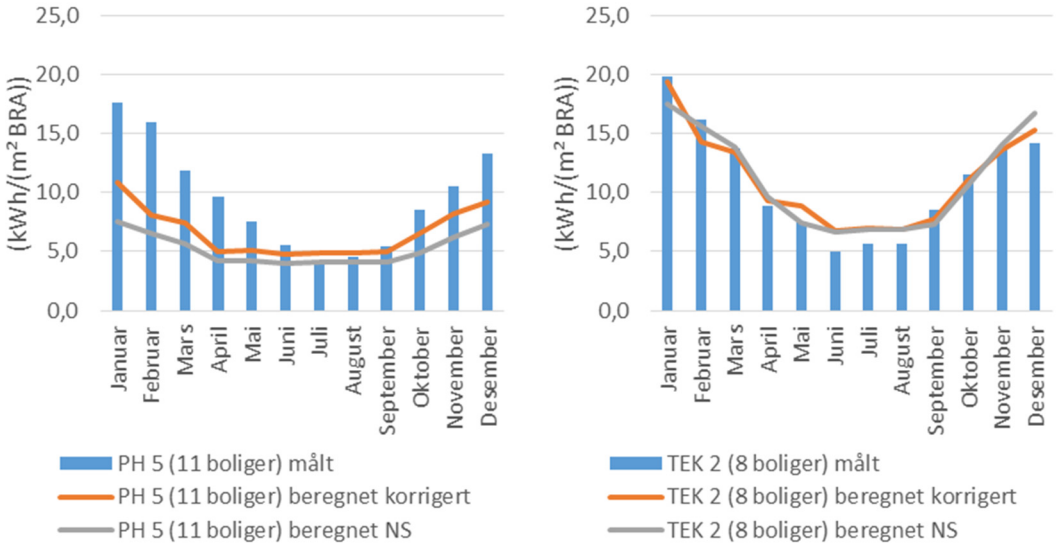



*Figur 10. Månedlig målt levert energi (søyler) og beregnet behov (linjer) for levert energi til de ulike boligene. Figuren viser gjennomsnittlige verdier for hvert av prosjektene. Beregnede og målte verdier er ikke direkte*

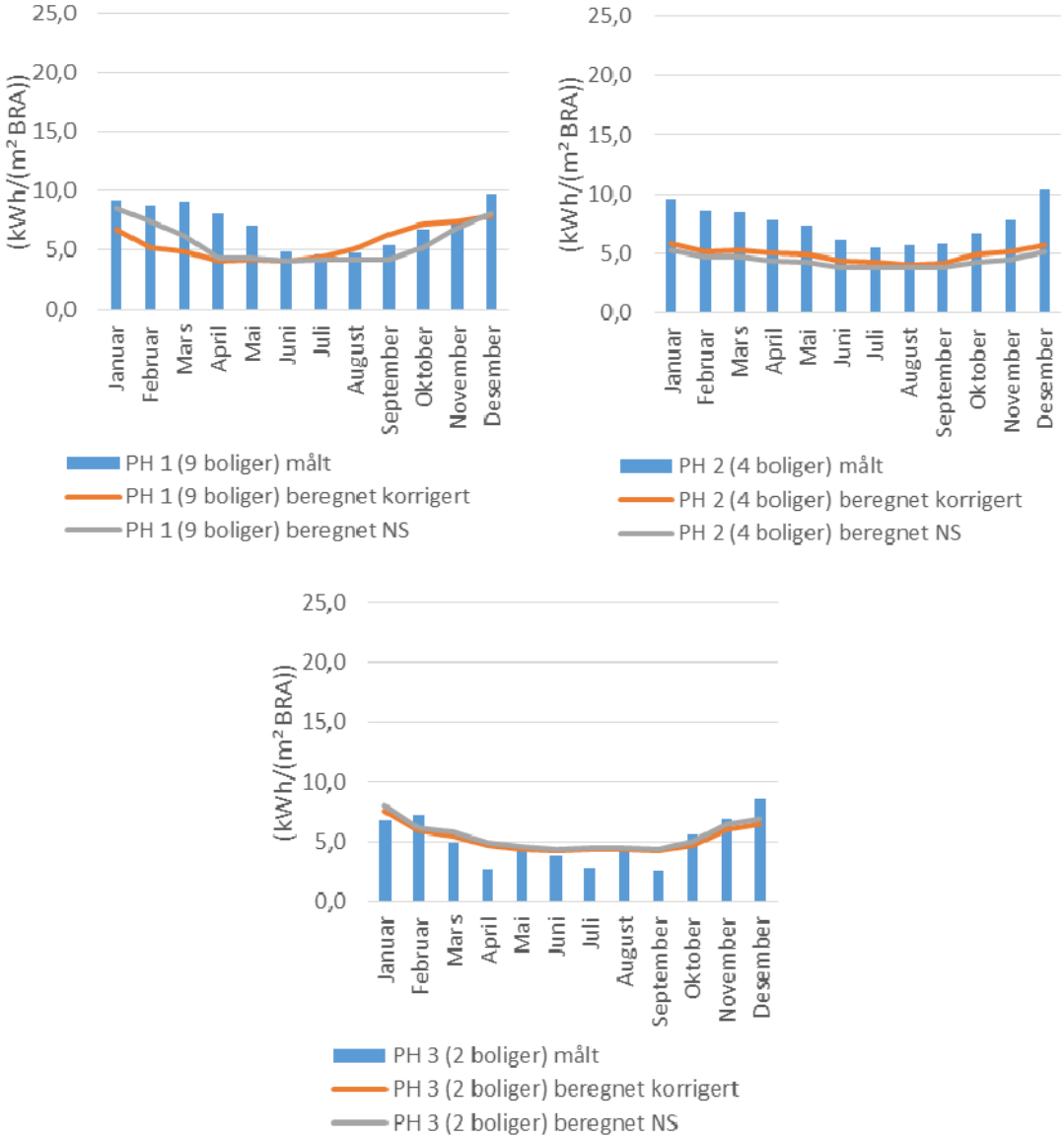
*sammenliknbare på grunn av geografisk spredning, ulik størrelse av boligene etc., men de er vist for å illustrere at de generelle trendene for PH og TEK-boliger. Figurene 11–14 viser mer detaljer for de ulike prosjektene.*



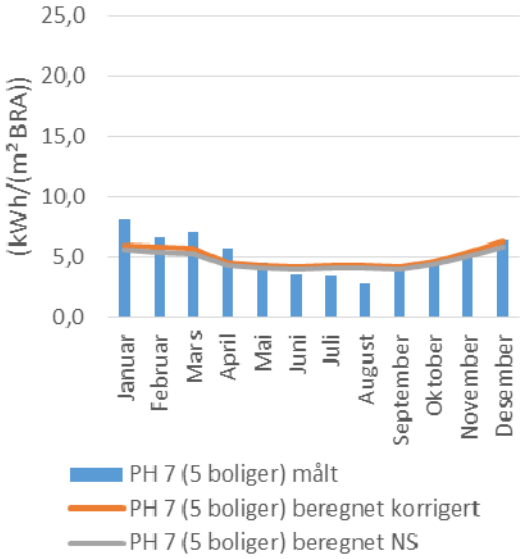

*Figur 11. Månedlig målt levert energi og beregnet behov for levert energi for PH 4 (venstre). Tilsvarende målinger for gjennomsnittet av de to boligene i TEK 1-prosjektet (høyre). Begge disse prosjektene ligger på Snåsa, de har sammenliknbare størrelser og de samme klimaforholdene.*




*Figur 12. Månedlig målt og beregnet levert energi for PH 5- (venstre) og TEK 2- (høyre) prosjektene. Prosjektene ligger langs samme gate utenfor Oslo og har de samme klimaforholdene.*




*Figur 13. Månedlig målt og beregnet levert energi for PH 1- (øverst venstre), PH 2- (øverst høyre) og PH 3- (nederst) prosjektene. Alle disse prosjektene ligger utenfor Sandnes og har sammenliknbare klimaforhold.*




*Figur 14. Månedlig målt og beregnet levert energi for PH 7.*

*Tabell 12. Oversikt over målt levert energi (gjennomsnittsverdier for alle boligene i hvert prosjekt).*

| (kWh/m² BRA) | PH 1 (9) | PH 2 (4) | PH 3 (2) | PH 4 (2) | PH 5 (11) | PH 7 (5) | TEK 1 (2) | TEK 2 (8) | PH (gj.snitt) | TEK (gj.snitt) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Januar | 9 | 10 | 7 | 13 | 18 | 8 | 23 | 20 | 12 | 21 |
| Februar | 9 | 9 | 7 | 9 | 16 | 7 | 18 | 16 | 11 | 17 |
| Mars | 9 | 8 | 5 | 10 | 12 | 7 | 14 | 14 | 9 | 14 |
| April | 8 | 8 | 3 | 8 | 10 | 6 | 13 | 9 | 8 | 10 |
| Mai | 7 | 7 | 4 | 7 | 8 | 5 | 9 | 8 | 7 | 8 |
| Juni | 5 | 6 | 4 | 6 | 5 | 4 | 7 | 5 | 5 | 5 |
| Juli | 5 | 5 | 3 | 5 | 4 | 4 | 5 | 6 | 4 | 6 |
| August | 5 | 6 | 4 | 5 | 5 | 3 | 6 | 6 | 5 | 6 |
| September | 5 | 6 | 3 | 6 | 5 | 4 | 9 | 9 | 5 | 9 |
| Oktober | 7 | 7 | 6 | 7 | 9 | 4 | 14 | 12 | 7 | 12 |
| November | 8 | 8 | 7 | 9 | 11 | 5 | 18 | 14 | 8 | 15 |
| Desember | 10 | 10 | 9 | 11 | 13 | 6 | 16 | 14 | 11 | 14 |
| Total | 86 | 89 | 61 | 96 | 114 | 62 | 152 | 130 | 91 | 135 |

*Tabell 13. Oversikt over beregnet behov for levert energi. Kolonner merket K viser beregninger hvor det er gjort korreksjoner for målte innetemperaturer, utetemperaturer, målte luftlekkasjetall etc. Kolonner merket NS er verdier beregnet med standardverdier i henhold til Norsk Standard. Beregningsmetodikk og korreksjoner er beskrevet mer detaljert i metodekapitlet.*

| | PH 1 (9) | | PH 2 (4) | | PH 3 (2) | | PH 4 (2) | | PH 5 (11) | | PH 7 (5) | | TEK 1 (2) | | TEK 2 (8) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | K | NS | K | NS | K | NS | K | NS | K | NS | K | NS | K | NS | K | NS |
| Januar | 8 | 7 | 6 | 5 | 8 | 8 | 8 | 7 | 11 | 8 | 6 | 6 | 11 | 10 | 20 | 18 |
| Februar | 7 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 7 | 8 | 7 | 6 | 5 | 8 | 9 | 14 | 16 |
| Mars | 6 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | 6 | 6 | 5 | 8 | 8 | 14 | 14 |
| April | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4 | 6 | 5 | 9 | 10 |
| Mai | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 9 | 7 |
| Juni | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 7 | 7 |
| Juli | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 7 | 7 |
| August | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 7 | 7 |
| September | 4 | 6 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 8 | 7 |
| Oktober | 5 | 7 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 7 | 5 | 5 | 4 | 7 | 6 | 11 | 11 |
| November | 7 | 7 | 5 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 6 | 5 | 5 | 9 | 8 | 14 | 14 |
| Desember | 8 | 8 | 6 | 5 | 6 | 7 | 7 | 7 | 9 | 7 | 6 | 6 | 11 | 10 | 15 | 17 |
| Total | 68 | 68 | 59 | 52 | 62 | 65 | 66 | 66 | 80 | 63 | 60 | 56 | 82 | 79 | 135 | 134 |

## Sammenlikning av passivhus og TEK10-boliger

Alle de intervjuede i passivhusene og TEK10-boligene sier at strømregningen er lavere enn i boligene de bodde i tidligere. Enkelte synes imidlertid at strømregningen ikke er så lav som forventet. En effekt av å få lav strømregning er også at flere mener de ikke trenger å spare så mye energi. En beboer i en av TEK10-boligene sier:

> *Når man bor i et så godt hus som dette, er det ikke vits i å være opptatt av å spare strøm da det går så lite strøm uansett.*

Av figurene 11–14, samt tabellene 12 og 13 ser man at det er til dels store avvik mellom de målte månedlige verdiene for levert energi til boligene og de tilhørende beregnede verdiene både for passivhus og TEK10-boliger. PH 3, TEK 2 og PH 7 viser relativt godt samsvar mellom målte og beregnede verdier. Figur 11 og 12 viser gjennomsnittlig målt levert energi og beregnet behov for levert energi til boligene i to av passivhusprosjektene. Figurene viser også det samme for de to TEK10-prosjektene. Av disse figurene ser man at den målte energibruken i passivhusprosjektene er betydelig lavere i vintermånedene enn for TEK10-prosjektene. Som forventet er forskjellen mellom TEK10 og PH lavere i sommerhalvåret (utenfor oppvarmingssesongen), da oppvarmingsbehovet uansett er lavere i denne perioden av året enn i vinterhalvåret.

Videre kan man se at energibruksprofilene til TEK10-boligene følger den "klassiske" U-formen, med en høyere energibruk i oppvarmingssesongen enn i de varmere månedene av året. For passivhusboligene er energibrukskurven flatere (med unntak av PH 5). Disse kurveforløpene er en indikasjon på at oppvarmingsbehovet i TEK10-boligene er høyere enn i passivhusene. Spesielt blir dette synlig når man sammenlikner prosjektene PH 4 og TEK 1. Disse prosjektene ligger på samme tomt og har dermed det samme uteklimaet. De er også av sammenliknbar størrelse, da PH 4-boligene har oppvarmet areal $A_{BRA}$ = 99,5 m$^2$ og TEK 1-boligene har $A_{BRA}$ = 68,4 m$^2$. Den målte leverte energien til TEK10-boligene er omtrent dobbelt så stor i oppvarmingssesongen som i PH-boligene. I sommerhalvåret er imidlertid forskjellen mellom de to prosjektene mindre.

Målingene viser at passivhusboligene i snitt bruker mindre energi enn TEK10-boligene. Gjennomsnittlig energibruk (levert energi) i passivhusene er målt til 91 kWh/(m$^2$ BRA), noe som er 30 % lavere enn målt gjennomsnittlig energibruk i TEK10-boligene, som er på 135 kWh/(m$^2$ BRA).

PH 5 og TEK 2 har samme geografiske beliggenhet. Boligene i PH 5-prosjektet består av rekkehus i rekke på to, tre og fire enheter. Seks av boligene i PH5 har oppvarmet bruksareal $A_{BRA}$ = 106 m$^2$, to har oppvarmet bruksareal $A_{BRA}$ = 107 m$^2$, og de resterende har $A_{BRA}$ = 132 m$^2$. I boligene i TEK 2-prosjektet hvor det er gjort målinger, har alle $A_{BRA}$ = 123 m$^2$, så boenhetene er av sammenliknbar størrelse med passivhusene i PH 5. Her er det målt en lavere årlig energibruk i passivhusboligene, men energibruken i TEK10-boligene er bare 14 % høyere enn i passivhusboligene. Beregninger indikerer at behovet for levert energi til en enebolig med tilsvarende standard som de i PH 5-prosjektet med $A_{BRA}$ = 106 m$^2$ vil ha et behov for levert energi som er ca. 7 kWh/(m$^2$ BRA) høyere på grunn av et økt oppvarmingsbehov grunnet større areal av ytterkonstruksjonene. Selv om man korrigerer målingene for dette, vil behovet for levert energi være lavere i passivhusene enn i TEK-boligene. Boligene i PH5 oppfyller heller ikke alle krav til passivhus i henhold til standard, noe som gjør at boliger som oppfyller alle krav til passivhus kan forventes å ha ytterligere lavere behov til levert energi enn hva som er gjort i disse funnene.

## Sammenlikning av målte og beregnede verdier

Figur 9 viser målt levert energi for alle boligene i passivhus- og TEK10-prosjektene. Figur 10 viser gjennomsnittlig månedlig levert energi for passivhus- og TEK10-prosjektene (hvert

prosjekt består av flere bygg). Linjene i figur 10 viser gjennomsnittlig beregnet behov for levert energi til kategorien passivhus og TEK10-boliger.

Figur 11–14 viser målt, total levert energi og beregnede, korrigerte verdier (korreksjoner i beregningene er diskutert i eget kapittel) for prosjekter som har samme geografiske beliggenhet og har et sammenliknbart uteklima. For passivhusene er det beregnet et gjennomsnittlig årlig behov for levert energi til boligene på 70 kWh/($m^2$ BRA). Gjennomsnittet av målingene er 91 kWh/($m^2$ BRA)). For TEK10-boligene er det beregnede årlige behovet for levert energi på 129 kWh/($m^2$ BRA). Gjennomsnittlig målt levert energi til boligene er 135 kWh/($m^2$ BRA). Som vist i tabell 14 er det store variasjoner internt i de ulike prosjektene.

*Tabell 14. Forskjellene i målt levert energi til boligene innad i prosjektene er store. TEK 1-prosjektet består av to boliger som har felles varmepumpe, og har derfor ikke noe spenn.*

| Prosjekt | Høyeste målte verdi levert energi kWh/($m^2$ BRA) | Laveste målte verdi levert energi kWh/($m^2$ BRA) |
|---|---|---|
| PH 1 | 123 | 58 |
| PH 2 | 109 | 68 |
| PH 3 | 67 | 54 |
| PH 4 | 109 | 82 |
| PH 5 | 152 | 77 |
| PH 7 | 70 | 54 |
| TEK 1 | 152 | 152 |
| TEK 2 | 169 | 94 |

Det kommer fram av figurene 9–14 og tabell 12 og 13 at passivhusboligene i de fem prosjektene i gjennomsnitt over året har 23 % lavere beregnet energibruk enn det målte. Forholdet mellom målt og beregnet energibruk i TEK10-boligene er i gjennomsnitt noe mer sammenfallende med et avvik på 4 %. Det ene prosjektet (TEK 2) viser godt samsvar mellom de beregnede og målte energibruksverdiene (årlig beregnet behov til levert energi er 3 % høyere enn målt). I det andre TEK10-prosjektet (TEK 1) derimot, er beregnet verdi 45 % lavere enn målt.

Figur 11 viser målte og beregnede verdier for ett passivhusprosjekt (PH 4) og ett TEK10-prosjekt (TEK 1). Boligene i begge prosjekter er av sammenliknbar størrelse og ligger inntil hverandre i Snåsa. De er således direkte sammenliknbare når det gjelder uteklimaforhold. Målingene viser at passivhusboligene bruker ca. 30 % mindre energi på årsbasis enn TEK10-boligene. Videre viser figuren at målt levert energi til boligene i PH 4-prosjektet er 45 % høyere enn det beregnede behovet for levert energi. Man kan også observere at beregnet og målt levert energi for TEK 1-prosjektet stemmer dårlig overens. Spesielt er dette iøynefallende i vinterhalvåret, da målt levert energi til boligene er omtrent dobbelt så høy som det beregnede behovet. På årsbasis er målt levert energi til TEK10-boligen 86 % høyere enn det beregnede behovet.

Figur 12 viser målte og beregnede verdier for ett passivhusprosjekt (PH 5) og ett TEK10-prosjekt (TEK 2). Boligene i begge prosjektene har omtrentlig samme oppvarmet bruksareal, og de ligger langs samme gate i utkanten av Oslo. De er således direkte sammenliknbare med hensyn til uteklimaforhold og størrelse. Figuren viser at beregnet behov for levert energi for PH 5-prosjektet er langt lavere enn målt levert energi. Man kan også observere at beregnet og målt levert energi for TEK 2-prosjektet stemmer godt overens. På årsbasis ligger målingene for PH 5 43 % over beregnede verdier. TEK 2 har beregnede verdier som er 3 % høyere enn de målte.

Figur 13 viser målte og beregnede verdier for levert energi til PH 1-, PH 2- og PH 3-prosjektene, som alle ligger i nærheten av hverandre utenfor Stavanger. Målt levert energi til PH 1 (86 kWh/($m^2$ BRA)) og 2 (89 kWh/($m^2$ BRA)) er i samme størrelsesorden. Energiberegningene gir verdier som er noe mer ulike. Beregnet korrigert behov for levert energi i PH

1 (68 kWh/($m^2$ BRA)) er ca 30 % høyere enn i PH 2 (52 kWh/($m^2$ BRA)). Målt levert energi til PH 3-prosjektet (61 kWh/$m^2$ BRA) er lavere enn for de to andre. PH 1 har beregnede verdier 21 % under målte verdier. For PH 2 ligger beregnede verdier 34 % lavere enn målinger, og beregnede verdier for PH 3 ligger 3 % høyere enn de målte.

Figur 14 viser målte og beregnede verdier for levert energi til PH 7-prosjektet som ligger i nærheten av Arendal. Av figuren ser man at prosjektet har relativt god overensstemmelse mellom målinger og beregninger. De målte verdiene er i gjennomsnitt 4 % høyere enn de beregnede.

## Oppvarmingsbehov

***Forskjeller mellom beregnet og målt energibruk***

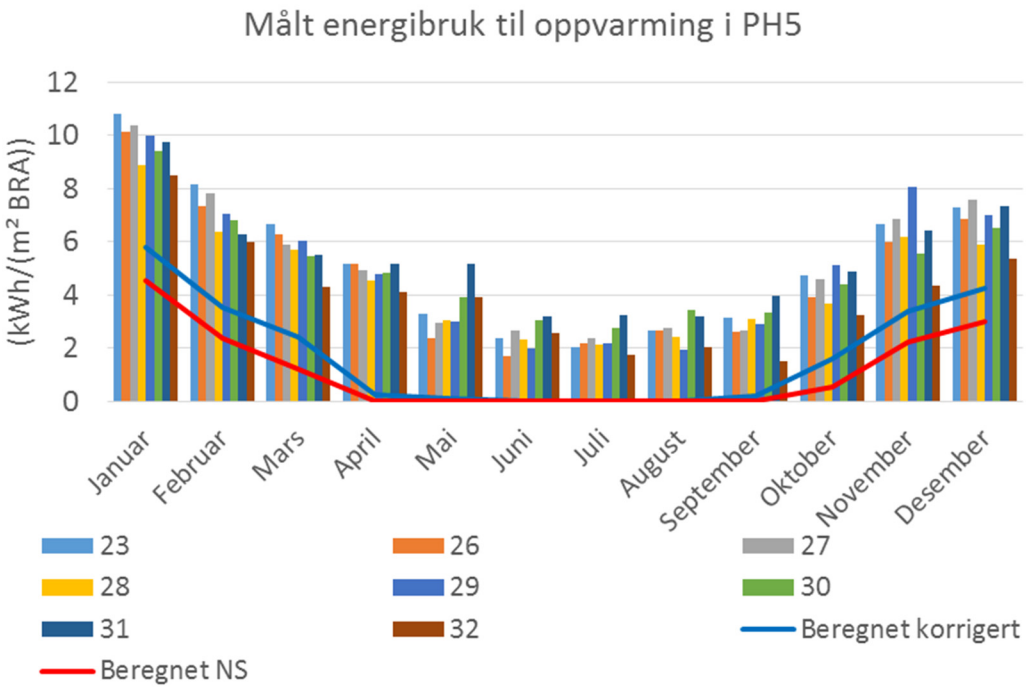
Som vist i tabell 11 ble det funnet store forskjeller mellom målte verdier for energibruk til oppvarming og verdier til oppvarmingsbehov basert på energiberegninger for fire av passivhusprosjektene. Den målte energibruken inkluderer tap i distribusjonsnett (distribusjonssystem) og er målt med flow/temperaturdifferanse-målere montert på hovedtilførselsrør til varmefordeler (som beskrevet i metodekapitlet) etter varmepumpe. Det ble funnet at gjennomsnittlig målt energibruk (51 kWh/$m^2$) var nærmere tre ganger så stort som det forventede fra beregningene (18 kWh/$m^2$). Avviket kan skyldes en rekke faktorer, som vil bli belyst i det følgende.

***Temperaturkorreksjoner – inne- og uteklima***

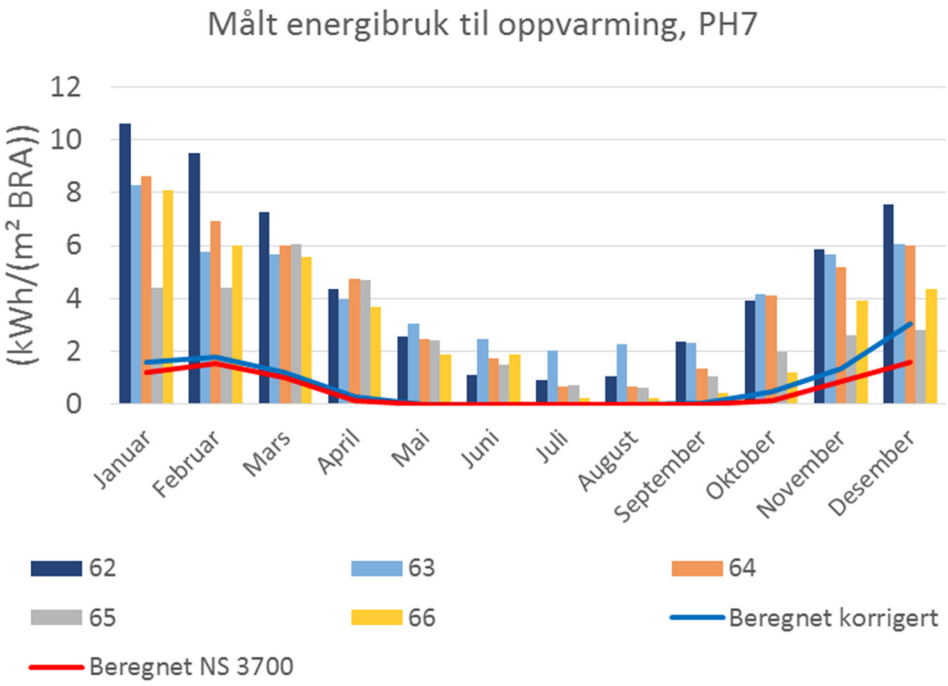
Det er en gjennomgående tendens at man ikke ønsker å ofre komfort for å spare energi. Utsagn fra beboere kan virke noe selvmotsigende når det gjelder ønsket om å spare energi:

> *Vi tenker nok litt over strømbruken, men justerer lite i atferden. Vi liker å ha høy innetemperatur, 23–24 grader. Gulvvarme på badet på 26 grader, også om sommeren.*

Ønsket om å ha høy temperatur på badet, relativt høy temperatur i stue/oppholdsrom og lavere temperatur på soverommet er et av hovedtrekkene fra intervjuene. Dette ønsket vil være en av faktorene som vil påvirke energibruken.




*Figur 15. Målt energibruk til oppvarming og korrigert beregnet oppvarmingsbehov (korreksjonene i innetemperatur er basert på målte temperaturer i stuene) samt ukorrigerte beregninger som i NS 3700 for boligene 23, 26–32 (PH 5-prosjektet)*




*Figur 16. Målt energibruk til oppvarming og korrigert beregnet oppvarmingsbehov (korreksjonene i innetemperatur er basert på målte temperaturer i stuene) samt ukorrigerte beregninger som i NS 3700 for boligene 62–66 (PH 7-prosjektet)*

For enkelte av boligene i prosjektene er det gjort målinger av energibruk til oppvarming. Figur 15 viser målt energibruk til det vannbårne oppvarmingssystemet for boligene 23 og 26–32. Figuren viser det gjennomsnittlige beregnede behovet til oppvarming med inndataverdier for utstyr, belysning og andre interne laster hentet fra NS3700, og med standardiserte set-punkt-temperaturer for oppvarming (21 °C i driftsperiode og 19 °C utenfor driftsperiode). Figur 15 viser også resultater fra beregninger der det er korrigert for målte innetemperaturer

og målte luftlekkasjetall for hver enkelt bolig. Beregningene er utført med målte utetemperaturer og gjennomsnittlige målte innetemperaturer i oppvarmingssesongen som set-punkt-temperaturer for oppvarming.

Figur 15 viser at målt energibruk til oppvarming er langt større enn det beregnede behovet. I perioden april til september er det målt energibruk til oppvarming i størrelsesorden 2-4 kWh/($m^2$ BRA), det tilhørende beregnede behovet til oppvarming i den samme perioden er 0 kWh/$m^2$. Figuren viser også at det er energibruk til oppvarming selv i de varmeste sommermånedene, noe som kan skyldes at beboerne lar varmekabler i baderom stå på hele året. Andre mulige forklaringer kan være at boligene har høyere varmetapstall i virkeligheten enn det som er lagt til grunn i beregningene, at beboerne lufter med vinduer, tap i varmesystem og usikkerheter knyttet til virkningsgrader/effektfaktorer for varmepumper og varme-gjenvinnere i ventilasjonsanlegg. Det er imidlertid ikke gjort målinger i noen av prosjektene som kan gi entydige svar på hva de faktiske varmetapstallene er for boligene.

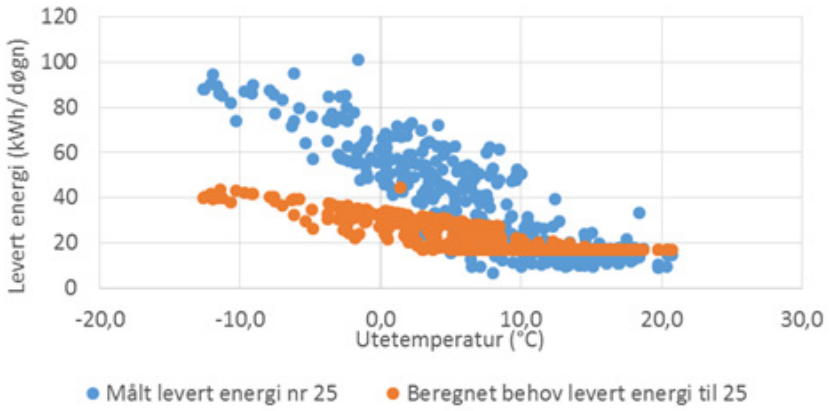
For boligene 23–32 (alle i PH 5-prosjektet) er gjennomsnittlig årlig målt energibruk til oppvarming 58,4 kWh/$m^2$. Beregnet oppvarmingsbehov med målt lokalt uteklima og set-punkt-temperaturer for oppvarming fra NS 3031 (21 °C i driftsperioden og 19 °C utenfor driftstiden) er 14 kWh/$m^2$. Dersom korreksjoner gjøres for målte innetemperaturer (temperaturer er vist i kapitlet om inneklima), øker det beregnede behovet til 22 kWh/$m^2$ i gjennomsnitt for alle boligene. Av dette kan man slutte at beboernes ønske om å ha høye inne-temperaturer fører til en økning i det beregnede oppvarmingsbehovet på ca. 60 %. Differansen mellom målt energibruk og beregnet energibehov til oppvarming er 37 kWh/$m^2$. Differansen mellom målt og beregnet levert energi til boligene er 34,5 kW/$m^2$. For disse boligene er altså forskjellene i energibruk til oppvarming tilnærmet lik forskjellen mellom målt og beregnet levert energi til boligene. Målt energibruk til oppvarming utgjør i gjennomsnitt ca. 50 % av den totale målte leverte energien (114,5 kWh/$m^2$) til boligene.

For boligene 62–66 i PH 7-prosjektet er målt energibruk til oppvarming svært høyt sammenliknet med det beregnede oppvarmingsbehovet, som vist i figur 16. I gjennomsnitt er målt energibruk tre og en halv gang høyere enn det beregnede behovet for oppvarming. PH 7-prosjektet har en systemløsning for energiforsyningen der det benyttes en varmepumpe for å dekke grunnlasten til det vannbårne varmeanlegget samt til tappevann. For å dekke topplasten er det montert en elektrisk varmekolbe i berederen. Den målte energibruken til oppvarming måles med væskestrøms- og temperaturmålere (som beskrevet i metodekapitlet) på varmekrets til gulvvarme og radiator. På grunn av en komplisert systemløsning har det ifølge prosjekterende/rådgiver imidlertid vært avvikende situasjoner i flere av boligene. Ventila-sjonsaggregatet har vært kjørt med maksimale luftmengder i den ene boligen, noe som vil medføre en kraftig økning av energibruk til vifter, samt stor energibruk til oppvarming av de store luftmengdene i ventilasjonen. Det har dessuten vært problemer med varmepumper i to av boligene, noe som har medført lengre perioder med feilsøking og forsøk på feilretting. Figur 16, viser tilsvarende vedier som i figur 16, for boligene 62–66 (alle i PH 7-prosjektet).

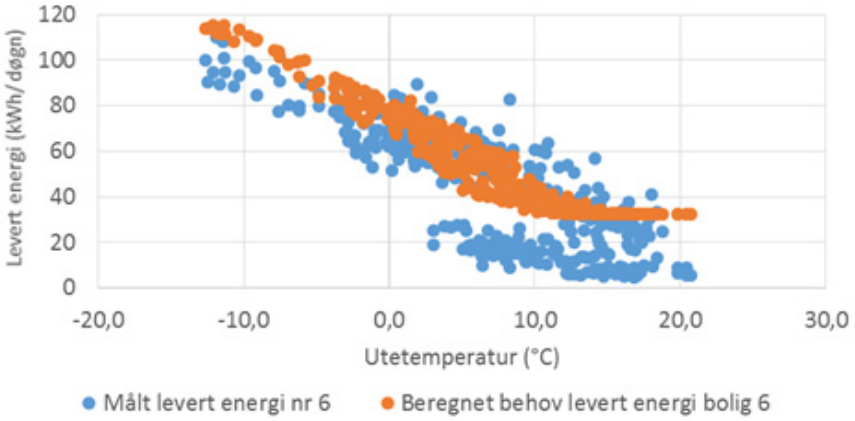
For prosjektene der det ikke er målt energibruk til oppvarming direkte, har vi utarbeidet ET-kurver for passivhusboliger og TEK10-boliger. I denne rapporten er ET-kurvene basert på døgnmiddeltemperaturer og samlet levert energi for den tilhørende dagen. Figurene viser midlere døgn-utetemperatur langs den horisontale aksen med tilhørende målt energibruk for det samme døgnet på den vertikale aksen. Eksempler på kurver for passivhus og TEK10-boliger er vist i figurene 17 og 18. Dette er figurer som viser målt energibruk til boligen plottet mot målt utetemperatur i den samme perioden. ET-kurver for de andre passivhusboligene, viser de samme trendene som i figur 17 og 18 og er derfor ikke inkludert i rapporten. For TEK10-boligene er trenden vist i figur 18.

ET-kurvene i figur 17 og 18 gir en indikasjon på at oppvarmingsbehovet underestimeres noe i PH sammenliknet med TEK10-boligene, der avviket mellom målte og beregnede kurver er mindre.

Denne store forskjellen mellom målinger og beregninger kan henge sammen med at dette er første driftsår og at man har måttet løse flere tekniske utfordringer og gjort innjusteringer. Men det gir like fullt en indikasjon på at oppvarmingsbehovet er betydelig underestimert i beregningene. Det bekreftes i ET-kurvene for passivhusboligene, der det framkommer at den målte energibruken er langt mer avhengig av utetemperatur enn det beregnede behovet for levert energi. For TEK10-boligene er det større samsvar mellom målte og beregnede verdier.




*Figur 17. ET-kurver for bolig 25 (i passivhusprosjekt PH 5). Kurvene for de andre passivhusboligene viser tilsvarende forhold mellom målte og beregnede verdier og er derfor ikke vist i rapporten.*




*Figur 18. ET-kurver for bolig 5 (TEK 2). Kurvene for de andre TEK10-boligene viser tilsvarende forhold mellom målte og beregnede verdier og er derfor ikke gjengitt i rapporten.*

***Systemløsning for varmedistribusjon***

Basert på målingene gjort i EBLE kan det ikke trekkes noen entydig konklusjon om hvilken type oppvarmingsanlegg som er mest effektivt. Det ble funnet store forskjeller i målt levert energi for boliger med like oppvarmingssystemer. Forskjellene i målt levert energi for boliger med ulikt oppvarmingssystem var ikke større enn de individuelle forskjellene for boliger med likt oppvarmingssystem. Det er ikke mulig å se klare tendenser basert på målingene som er gjort, annet enn at betydningen av type oppvarmingssystem på oppvarmingsbehovet ser ut til å være underordnet betydningen av andre faktorer. Det betyr imidlertid ikke at valg av oppvarmingssystem og oppvarmingsanleggets effektivitet ikke vil påvirke energibruk til oppvarming. Se også avsnittet "Informasjonsbehov ved bruk av ventilasjons- og oppvarmingssystem" i kapitlet om beboerstudiet.

***Solforhold***
De faktiske solforholdene under måleperioden er en ytterligere faktor som vil kunne påvirke oppvarmingsbehovet. Solforhold er svært stedsavhengig, og det fins ikke tilgjengelige målte solstrålingsdata utover standardiserte klimaår for noen av prosjektene. Modellene for beregning av solstrålingens effekt på oppvarmingsbehovet i beregningsverktøyet er dessuten basert på forenklede geometriske vurderinger, og boligene er i beregningene representert som en sone (Programbyggerne, 2016). Disse forholdene medfører at de beregnede resultatene ikke nødvendigvis gir et godt bilde av reelle, opptredende forhold.

## Ventilasjon

***Ventilasjonsanleggets effektivitet***
Videre kan man anta at varmetap knyttet til boligenes ventilasjonssystem er en faktor som kan påvirke oppvarmingsbehovet betydelig. I bolig 15 ble det målt levert strøm til ventilasjons-aggregatet som var i størrelsesorden 3–5 ganger større enn de beregnede verdiene. Det indikerer at ventilasjon i praksis ble brukt som oppvarmingskilde i større grad enn det som var antatt i beregningene. Men det kan også være en indikasjon på at varmegjenvinneren ikke er like effektiv som antatt i beregningene. I bolig 10 og 11 ble det målt samlet levert energi til ventilasjonsaggregatet (til både vifter og varmebatteri). De målte verdiene for bolig 10 var ca. 20 % lavere enn det samlede beregnede behovet til vifter og ettervarme av ventilasjonsluft. For bolig 11 ble det målt 70 % høyere energibruk enn det beregnede. Disse målingene viser at oppvarmet ventilasjonsluft i svært varierende grad ble benyttet til oppvarming i de to boligene. Man kan imidlertid ikke si noe entydig om varmegjenvinnernes virkningsgrad. Dersom man ser på beregnet energibehov til forvarming av ventilasjonsluft, så varierer det fra prosjekt til prosjekt. I alle prosjektene i EBLE er det brukt varmegjenvinnere med høy deklarert virkningsgrad. Tidligere forskning viser at faktiske årsvirkningsgrader for varmegjenvinnere kan være lavere enn de deklarerte man gjerne bruker som input i beregninger. Wen (2015) målte temperaturvirkningsgrad på 73 % for en av leilighetene i PH 6-prosjektet. Luftmengdemålinger viser til ubalanserte luftmengder. Ubalanserte luftmengder påvirker målt virkningsgrad. I tillegg kan avvikende faktiske og prosjekterte verdier for vifter i ventilasjonsanlegget (SFP-faktor), luftmengder og temperaturstyring bidra til en høyere energibruk i praksis enn det som er prosjektert. Funnene i EBLE understreker at det er et stort behov for videre studier for å kunne si noe mer definitivt om dette. Det pågår flere forskningsprosjekter som undersøker denne tematikken.

Dersom man antar en redusert virkningsgrad av varmegjenvinneren i beregninger, kan dette altså forklare noe av forskjellene mellom målte og beregnede verdier. Beregninger for bolig 11 (som har det høyeste målte energibruket til ventilasjonsanlegget) viser at virkningen av å redusere effektivitet på varmegjenvinneren fra 87 til 70 % gir ca. 5 % økning i behovet for levert energi til boligen og en økning i oppvarmingsbehovet på ca. 35 %. Dette er basert på teoretiske vurderinger uten datagrunnlag for å kunne si noe om de faktiske virkningsgradene av varmegjenvinnerne.

***Vinduslufting***
Studier viser at mange mennesker liker å sove med relativt lave temperaturer på soverommet (Berge, Thomsen og Mathisen, 2016a; Berge, Georges og Mathisen, 2016b; Halvorsen og Dalen, 2013; Peeters *et al.*, 2009). I boliger med balansert ventilasjon, hvor behovet for friskluft skal være dekket gjennom ventilasjonsanlegget, er det observert et moderat omfang av vinduslufting i stuer, men derimot et betydelig omfang av vinduslufting på soverom (Berge, Thomsen og Mathisen, 2016a). I en separat spørreundersøkelse utført i PH 6-prosjektet oppgir 37 % av respondentene at soveromsvinduet er åpent hele natta eller hele døgnet om vinteren (Berge, Thomsen og Mathisen, 2016a). Den dominerende drivkraften for vinduslufting på soverommet oppgis å være ønsket om å redusere temperaturen. Det bekreftes av at omtrent halvparten av de intervjuede beboerne i EBLE-prosjektet svarer at de liker å sove med vinduet åpent for å holde temperaturen på et behagelig nivå. Tidligere forskning har vist at det å sove

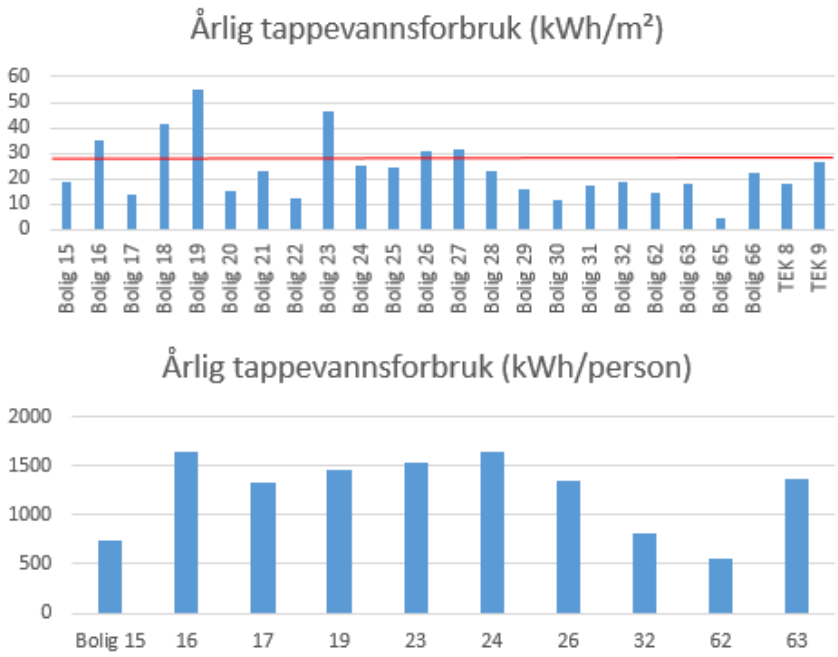
med åpent vindu kan føre til et betydelig økt varmetap for boligen, og dermed økt oppvarmingsbehov (Berge, Thomsen og Mathisen, 2016a). I den samme studien er det vist at oppvarmingsbehovet stiger ytterligere dersom vinduslufting kombineres med høye set-punkt-temperaturer for tillufta i ventilasjon.

Det er mange faktorer som virker inn på hvordan oppvarmingsbehovet påvirkes av vinduslufting. Én faktor er størrelsen på luftskiftet via vinduet, som blant annet avhenger av vinduets åpningsposisjon og vindforhold, samt temperaturforhold inne og ute. I EBLE mangler vi detaljerte målinger av faktorene som er nevnt ovenfor. Derfor er det ikke grunnlag for å gjennomføre kvantitative analyser av sammenhengen mellom vinduslufting og energibruk direkte.

I en parameterstudie for en lavenergibolig ble sammenhengen mellom vinduslufting og energibruk analysert (Berge, Georges og Mathisen, 2016b). Resultatene viser at opp-varmingsbehovet i boligen nesten firedobles i et *worst-case* tilfelle hvor vinduer er åpne i alle tre soverom og alle soveromsdører står åpne på dagtid. Det påpekes videre at det er et betydelig lavere tilleggs-oppvarmingsbehov hvis vinduer i bare ett eller to soverom er åpent nattestid. Det konkluderes med at effektive tiltak for å redusere behovet for vinduslufting er å isolere innervegger mot soverom, holde soveromsdøra lukket mest mulig og ikke minst styre tilluftstemperaturen til soverommet uavhengig av andre rom.

### Tappevann

Den normerte verdien på 29,8 kWh/(m$^2$ BRA) for netto energibehov til varmtvann som brukes som inndata ved kontrollberegning etter NS 3031 og NS 3700 tar ikke høyde for individuelle variasjoner i bruksmønster. Grafen øverst i figur 19 viser at energibruken til varmtvann varierer fra ca. 5 kWh/(m$^2$ BRA) til 55 kWh/(m$^2$ BRA). I den nedre grafen i figur 19 er den målte energibruken fordelt på antall beboere i boligen, for de boligene hvor vi har informasjon om antall beboere. Grafen viser at det også er stor variasjon i energibruk per beboer.

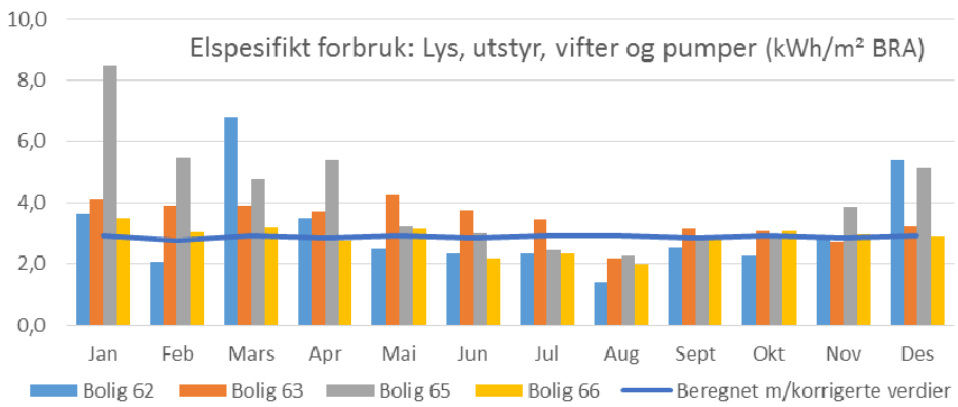



*Figur 19. Øverst: Målt energibruk til varmtvann for 24 av boligene i prosjektet (søyler). Den horisontale, røde linjen viser standardverdien på 29,8 (kWh/m$^2$ BRA) som brukes i normerte beregninger i henhold til NS 3031/3700. Nederst: Målt energibruk til tappevann per beboer for de ti boligene der det fins informasjon om antall beboere i huset*

## Annet

***Utstyr og belysning***

Elspesifikk energibruk til belysning, utstyr vifter og pumper er målt i fire passivhusboliger. Utstyr omfatter teknisk utstyr som TV og PC, hvitevarer og annet elektrisk utstyr, samt drift av vifter og pumper. Figur 20 viser en oversikt over det målte forbruket. Dette er sammenliknet med standardiserte verdier for belysning og utstyr på 28,9 kWh/($m^2$ år) hentet fra NS 3031:2014, samt drift av vifter i ventilasjonsanlegg (én SFP = 1,5 kW/($m^3$s) gir et årlig beregnet behov til vifter på 4,4 kWh/($m^2$ år)) og pumper i det vannbårne oppvarmingsanlegget (SPP = 0,5 kW/(l/s) gir et årlig beregnet behov til pumper på 0,4 kWh/($m^2$ år). Av figuren framkommer det at målt energibruk til disse postene i fire av boligene i gjennomsnitt er ca. 18 % høyere enn den beregnede verdien på 33,7 kWh/($m^2$ år). Målingene omfatter imidlertid kun fire boliger, og det er ikke et omfattende nok grunnlag til å kunne gi noen entydige konklusjoner om hvor stor andel av avviket mellom målinger og beregninger som kan forklares av denne posten. En norsk studie (Sartori *et al.*, 2016) har – basert på data fra SSB og målinger fra flere norske og europeiske prosjekter samt data fra NVE – konkludert med at spesielt standardverdiene for belysning i NS 3031 og 3700 ser ut til å være noe konservative. Da det i EBLE ikke er gjort målinger utelukkende av belysning, kan det ikke trekkes entydige konklusjoner vedrørende dette, annet at det er en variasjon i de tre boligene.



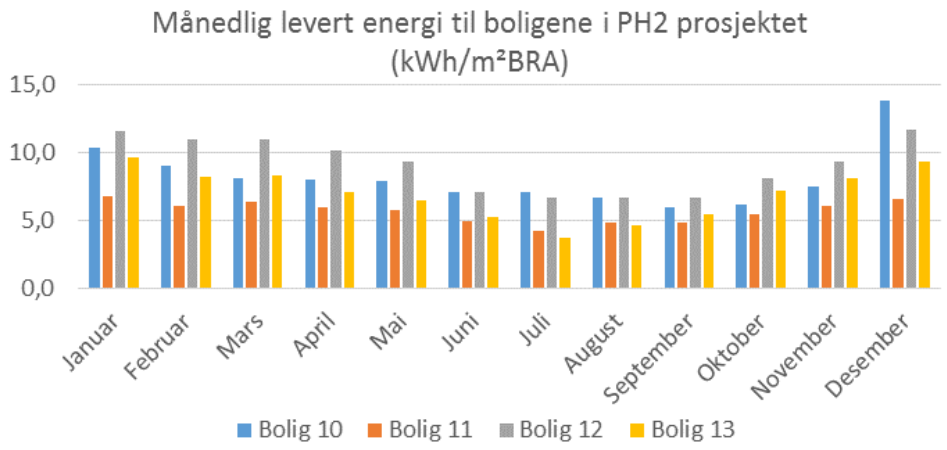

*Figur 20. Målt elspesifikt energibruk til utstyr, belysning, vifter og pumper i fire av boligene i PH 7-prosjektet. Linjen viser beregnet elspesifikt behov (til utstyr og belysning hentet fra NS 3031:2014, samt bruken til vifter og pumper).*

***Elbil***

I 2015 var den gjennomsnittlige kjørelengden for elbiler ifølge Statistisk Sentralbyrå ca. 13 000 km (SSB, 2016). Typisk bruker en elbil i størrelsesorden 0,2 kWh/km (Hawkins *et al.*, 2013). Det gir et gjennomsnittlig strømforbruk på ca. 2 600 kWh/år. Dersom elbilen lades hjemme, vil dette kunne gi utslag på det samlede elspesifikke forbruket i boligen. Beboerne i bolig 13 sier at de lader elbilen hjemme, men vi vet ikke hvor mange kilometer i året beboerne bruker bilen:

> *Jo, vi er opptatt av miljøet, bra at man kan spare strøm. Men vi prøver nok ikke bevisst å holde energibruken lavt. Vi lader elbilen hjemme, har bedre samvittighet siden det er passivhus (PH 2, bolig 13).*

Målingene i PH 2-prosjektet, der beboerne i bolig 13 har elbil, gir imidlertid ikke grunnlag for å konkludere med at elbilen har en betydelig innvirkning på strømforbruket. Som vist i figur 21, har bolig 13 lavest levert energi i alle måneder av året. Beboerne i bolig 5 har også elbil, men heller ikke her ble det funnet betydelig høyere energibruk enn i de andre boligene i det samme prosjektet.




*Figur 21. Målt månedlig levert energi til boligene 10–13*

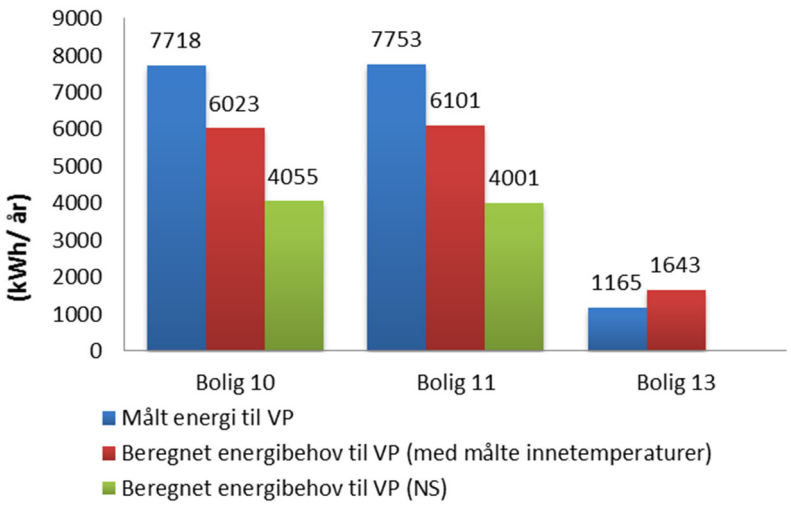
## Lokale energiforsyningskilder

***Varmepumpe***

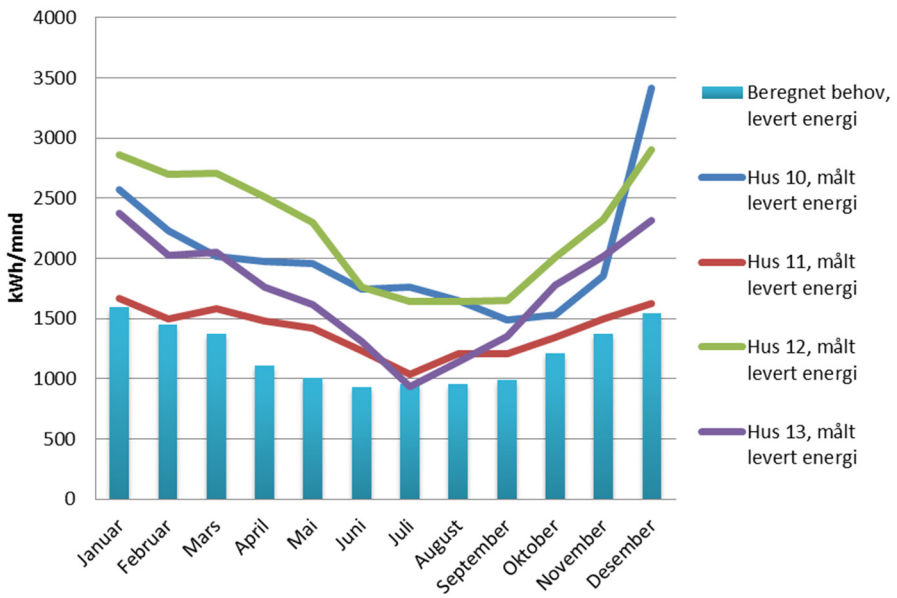
For å kunne si noe om årsgjennomsnittlig effektfaktor (SCOP) til varmepumper ble varmepumpene i fem av boligene instrumentert for å måle levert energi til varmepumpa. En sammenlikning av målt og beregnet energibruk til tre av disse er vist i figur 22. Figuren viser at målt energibruk i bolig 10 og 11 er cirka 30 % større enn det beregnede. Det gir en indikasjon på at varmepumpas effektivitet er langt lavere i virkeligheten enn den prosjekterte verdien som er brukt i beregningene. Dette er således en mulig årsak som kan bidra til å forklare avvikene mellom målt og beregnet oppvarmingsbehov for boligene. Funnet er i tråd med tidligere arbeider, der det konkluderes med at årsvirkningsgrader for varmepumpene, basert på målinger og beregninger, er langt lavere i praksis enn det som deklareres av leverandørene av slike systemer (Stene og Alonso, 2016; Aashammer, 2016). Noe av dette kan skyldes at varmepumpene for bolig 10 og 11 er plassert i garasjen, som medfører et reelt systemtap ved at overskuddsvarme (som kunne vært brukt til oppvarming) går tapt. Det ekstra tapet er i utgangspunktet ikke tatt hensyn til i systemets beregnede systemvirkningsgrad (i beregningene er det brukt standardiserte verdier fra beregningsprogrammet SIMIEN). Dersom man antar 20 % lavere systemvirkningsgrad (for eksempel som følge av et større distribusjonstap), slik at det i beregningene brukes en verdi for energibehov til varmepumpa tilsvarende den målte, vil det beregnede behovet for total levert energi til boligene øke med ca. 10 %. Lavere faktiske verdier for systemvirkningsgrader enn de prosjekterte kan således være en betydelig forklaringsårsak for avvikene mellom forventede (beregnede) verdier og faktiske (målte) verdier for energibruken i boliger.

Bolig 11 har vann/vann varmepumpe, og selv om den målte energibruken til varmepumpa er tilnærmet lik den i bolig 10, ser man i figur 23 at denne boligen har lavere målt totalt levert energi enn de andre boligene i prosjektet: 20–40 % lavere over året. Behovet er markant lavere i oppvarmingssesongen, som vist i figur 23, noe som gir en indikasjon på at væske/væske-varmepumpa i denne boligen dekker en større andel av det reelle oppvarmingsbehovet enn i de andre boligene i PH 2-prosjektet, hvor det benyttes luft/væske varmepumper og beboerne muligens supplerer med andre varmekilder for å opprettholde ønsket temperatur i boligene.

I bolig 13 er situasjonen annerledes, da varmepumpa her kun produserer varme til tappevann. Det lave målte energibruket kan forklares ved at bolig 13 har en lav målt energibruk til tappevann på 19 kWh/(m$^2$ BRA år). I beregningene er det brukt standardverdi fra NS 3031 på 29,8 kWh/(m$^2$ BRA år).




*Figur 22. Målt og beregnet tilført energi til varmepumpe i tre av boligene. For boligene 10 og 11 er det vist beregnede verdier for en situasjon med målte innetemperaturer og med set-punkt-temperaturer for oppvarmingen hentet fra NS 3700.*




*Figur 23. Målt (linjer) og beregnet (søyler) månedlig levert energi til boligene i PH 2-prosjektet.*

I tillegg til boligene 10, 11 og 13 ble varmepumpene i bolig 63, 64 og 65 instrumentert slik at årsgjennomsnittlig effektfaktor for varmepumpa (SCOP) kunne måles. Målingene ga verdier som vist i tabell 15.

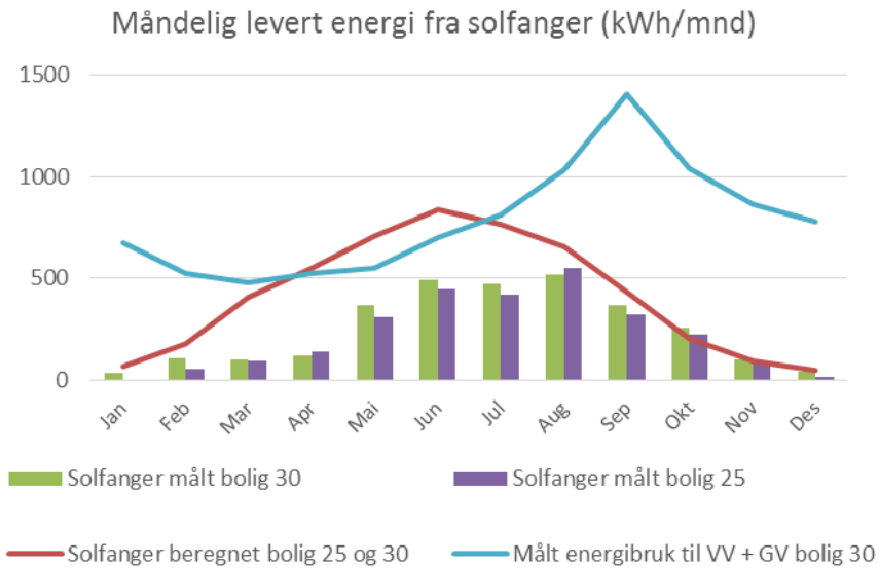
*Tabell 15. Målte årsgjennomsnittlige effektfaktorer for varmepumpa (SCOP) i bolig 63–65 (alle i PH 7-prosjektet).*

| **Bolig nummer** | 63 | 64 | 65 |
|---|---|---|---|
| **Målt SCOP** | 3,0 | 2,2 | 2,4 |

### *Solfangersystem*

I PH 5-prosjektet er det montert solfangere på taket av boligene. Solfangerne skal dekke deler av behovet til både oppvarming og tappevann. I prosjekteringsunderlaget og i beregningene er det antatt at solfangerne skal levere ca. 5 000 kWh i løpet av ett år. Således skal de dekke 62 % av det samlede prosjekterte behovet til tappevann og oppvarming over året. I forbildeboligene i dette prosjektet ble det målt levert energi fra solfangere som vist i figur 24.

Figuren illustrerer at den leverte energien fra solfangere som er antatt i beregningene, er høyere enn det som vises i målingene. Over året ser man at det bare er i mai, juni og juli at den målte andelen av energibruken som dekkes av solfangere (dekningsgraden), overstiger 60 %. Resten av året ligger dekningsgraden mellom 5 og 20 %. Gjennomsnittlig dekningsgrad over året er målt til 32 %. I bolig 30 er den målte årlige energibruken til tappevann og oppvarming 9 400 kWh. I beregningene er det antatt at solfangerne skal levere 5 000 kWh av dette. Målingene viser en levert energi fra solfangerne på 2 800 kWh. Det fins ikke målinger av det totale forbruket i bolig 30, men i snitt for de boligene i prosjektet der dette er målt, er det målte forbruket 40 % høyere enn det beregnede.




*Figur 24. Målt og beregnet levert energi fra solfangerne i bolig 25 og 30, samt målt energibruk til varmtvann (VV) og gulvvarme (GV) i bolig 30*

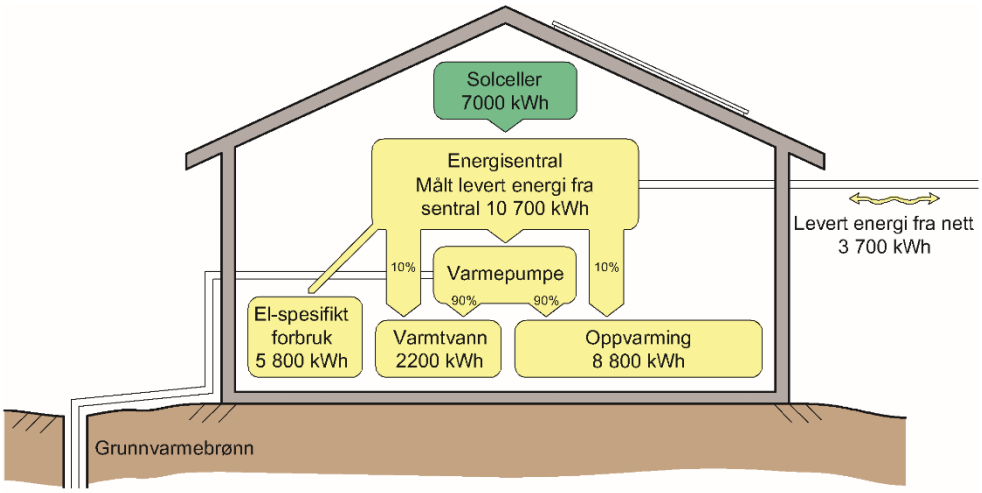
***Solcellesystem***

I PH 7-prosjektet er det montert solcellepaneler på taket av samtlige boliger, som beskrevet i tabell 7. En skjematisk illustrasjon av energiflyten fra PV, grid og varmepumpe er vist i Figur 25a.

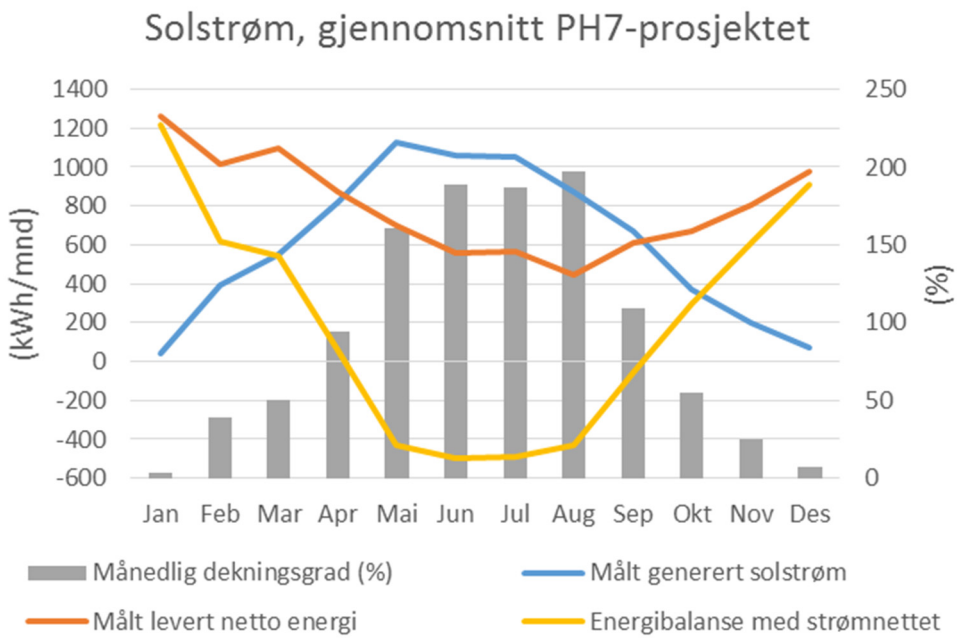
Intervjuene i EBLE-prosjektet viser at det generelt er få av beboerne som sier at de har endret energirelatert atferd og vaner etter de flyttet til den nye boligen. Beboerne som bor i boliger med solceller, er et unntak, da beboerne i to husstander forteller at de delvis har tilpasset bruk av elektrisk utstyr til tidspunkter hvor strømproduksjon er høyest:

> *Vi har tilpasset noen av våre vaner for å utnytte solenergien, for eksempel setter vi på vaskemaskin og oppvaskmaskin (med timer) når det er sol på dagen.*

Samtlige boliger har installert det samme solcellesystemet. Figur 25 viser elproduksjonen fra PV-anlegget samt bruksprofiler for bolig 62 i PH 7-prosjektet. Målingene viser at den leverte strømmen fra solcelleanlegget er høyere enn forbruket i perioden april til september. Beregningene for energiproduksjon fra anleggene er gjort med programmet *PVSyst* (Sørensen *et al.*, 2017). Figur 25b viser også beregnede månedlige dekningsgrader, der dekningsgraden er beregnet ved å dividere total levert strøm fra solcelleanlegget med behovet for levert energi i boligen. Det gjøres oppmerksom på at beregningene er basert på månedsverdier. De gir således ikke et korrekt bilde av momentane dekningsgrader, som må baseres på kortere tidsintervaller. Solcellesystemet leverte i løpet av ett år ca. 7 000 kWh. Samlet målt levert energi til boligen er 10 700 kWh/år. Det gir et energiregnskap over året der det må benyttes 3 700 kWh levert fra strømnettet.




*Figur 25 a. Illustrasjon av energiflyt fra PV, strømnett og varmepumpe.*




*Figur 25 b. Målt levert solstrøm og levert energi samt kjøpt energi (fra AMS-måler) til boligen og beregnet månedlig dekningsgrad fra solstrøm*

## Inneklima

**Forskningsspørsmål:**
- Hva er målt innetemperatur og relativ luftfuktighet sommer og vinter?
- Hvilken variasjon er det mellom prosjektene og mellom passivhus- og TEK10-boligene?
- Hvordan kan variasjonen forklares?
- Hvordan er sammenhengen mellom målt innetemperatur og beboernes opplevelse av termisk komfort?

Det følgende avsnittet presenterer målinger av inneklima og data basert på intervjuer med beboere. Innetemperaturen er i hovedsak presentert for stue/kjøkkenareal. Stua er hoved-oppholdsrommet og har et variabelt bruksmønster. Tilsammen har vi analysert inneklima i 56 passivhusenheter og 9 TEK10-enheter. Antallet er noe lavere enn de 64 passivhusboliger og 10 TEK10-enheter som er inkludert i studien totalt. Årsaken til differansen er manglende måledata blant annet på grunn av inneklimaloggere som har blitt fjernet av beboere.

Sammendrag*:
- Det har ikke blitt funnet noen typisk forskjell i innetemperatur mellom TEK10-hus og passivhus.
- Ønsket innetemperatur under oppvarmingssesongen er 22–24 °C.
- Årlig gjennomsnittlig innetemperatur i oppvarmingssesongen i stue var 21,8 °C for passivhusene og 22,0 °C for TEK10-husene.
- Opplevelse av innetemperatur er i hovedsak positiv, men med unntak.
- Utvendig solavskjerming er gunstig for å redusere problemer med overtemperatur om sommeren.
- Ønske om bedre differensiering av innetemperatur mellom ulike rom. Alle som ble intervjuet, vil ha det kaldere på soverommet.
- Målinger viser lav RF i innelufta om vinteren.
- De fleste opplever god luftkvalitet. Luftkvaliteten bekreftes av målingene av $CO_2$-konsentrasjon på 13 av soverommene.

* Utvalget er ikke stort nok til å representere et statistisk utvalg. Dette er likevel den mest omfattende studien som er gjennomført i Norge på denne tematikken.

### Vurderingskriterier

Byggteknisk forskrift (TEK10) stiller krav til inneklima: "Termisk inneklima i rom for varig opphold skal tilrettelegges ut fra hensyn til helse og tilfredsstillende komfort ved forutsatt bruk." I veiledningen er det anbefalt at innetemperaturen holdes under 22 °C så langt det lar seg gjøre. Videre er det angitt at individuelle reguleringsmuligheter bør tilstrebes. Temperaturintervallet 19–26 °C er anbefalt innetemperatur for aktivitetsgruppa "Lett arbeid". For boligbygninger uten installert kjøling bør noe høyere innetemperatur kunne aksepteres i korte perioder.

Resultatene er vurdert ut fra anbefalte temperaturkrav angitt i NS-EN ISO 7730 (Norsk Standard, 2005) og NS-EN 15251:2007+NA:2014 (Norsk Standard, 2014b). Disse standardene oppgir grenser for operativ temperatur. Siden boligene i studien er godt isolert, vil lufttemperaturen og den operative temperaturen være svært like. I dette arbeidet vil vi forholde oss til lufttemperaturen.

Det fins per i dag ingen norsk standard for vurdering av termisk komfort i boliger. Derfor er NS-EN ISO 7730, som egentlig gjelder for vurdering av termisk komfort i arbeidsmiljø, brukt som grunnlag for vurderingene. Litteraturen viser imidlertid at opplevelsen av inneklima er annerledes i eget hjem enn i en arbeidssituasjon (Karjalainen, 2009; Hong *et al.*, 2009). I tillegg har Leung og Ge (2013) vist at ønsket innetemperatur under søvn skiller seg fra ønsket

inneklima når man er våken. Ingen av studiene nevnt ovenfor har likevel foreslått andre justerte termiske komfortkriterier for boliger.

Standarden NS-EN 15251 (Norsk Standard, 2014b) beskriver at mindre strenge temperaturkrav kan stilles i bygg uten kjøling når brukerne kan lufte ved å åpne vinduer og tilpasse bekledning til temperatur. Standarden gjør også rede for en temperatur-tilpasningseffekt (adaptiv termisk effekt) som gjør at vi tolererer høyere innetemperaturer når det er varmt ute. Det gir også mulighet til å bruke adaptiv standard tilpasset årstid/utetemperatur.

Det er ikke lett å fastsette hva som er akseptabel maksimumstemperatur i boliger. Enkeltindivider oppfatter temperatur forskjellig. Det som er varmt for noen, er kaldt for andre. De ovenfor nevnte standardene tar utgangspunkt i et minste forventet antall misfornøyde på 6 %. I den videre studien er det derfor valgt å bruke intervallet 22–24 °C, som også er i henhold til NS-EN ISO 7730.

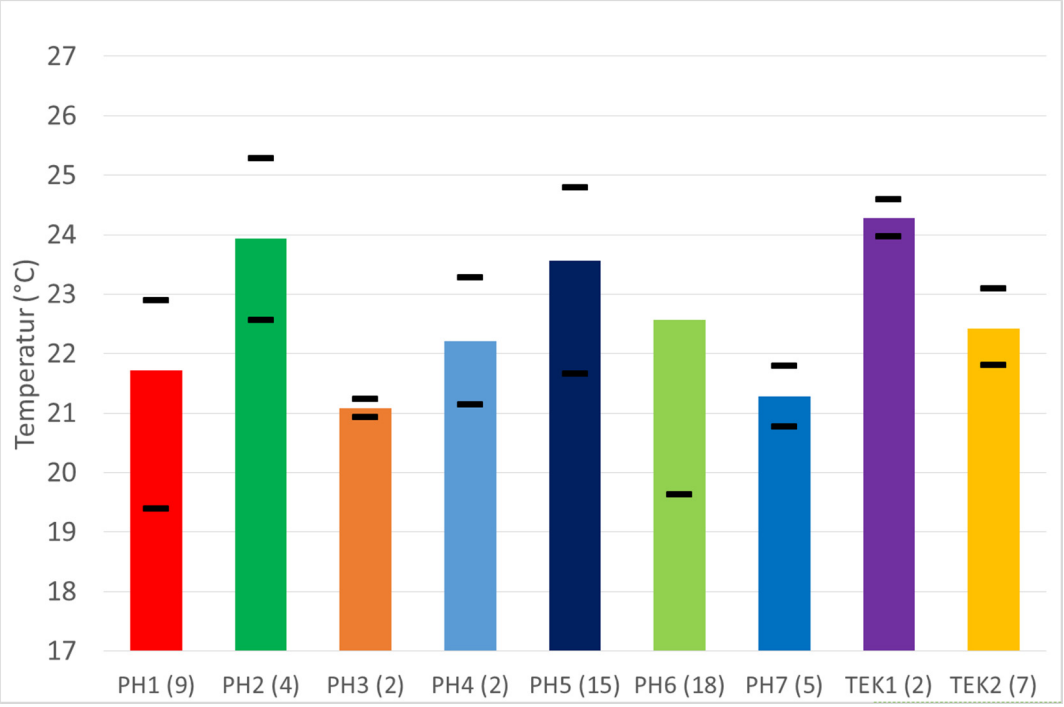
I henhold til NS-EN 15251(Norsk Standard, 2014b) kan innelufta klassifiseres i fire ulike nivåer (IDA 1–IDA 4) basert på forskjellen i innendørs $CO_2$-nivå sammenliknet med $CO_2$-nivået i utelufta. Høyt $CO_2$-nivå er ikke funnet å utløse helseskader ved de målte nivåene. $CO_2$-nivå har imidlertid blitt brukt som en generell hygienisk indikator på luftskifte for å hindre ubehagelig nivå av kroppslukt, ettersom studier fra testkammer har vist korrelasjon mellom $CO_2$-nivå og intensitet av kroppslukt. Uteluft inneholder 350–400 ppm $CO_2$ (Liddament, 1996). Folkehelseinstituttet har en anbefalt normverdi (øvre grense) for $CO_2$-nivå i innelufta på 1 000 ppm. Det tilsvarer IDA 2 i henhold til NS-EN 13379. Høye $CO_2$-nivåer følges av følelse av tung luft og sjenerende lukt som i varierende grad vil plage enkeltindivider (Folkehelseinstituttet, 2015). Ved en konsentrasjon på ca. 1 000 ppm vil ca. 20 % av personene som kommer inn i et rom, oppleve sjenerende lukt. Konsentrasjonen må om lag dobles for at 20 % av personene som allerede oppholder seg i rommet, skal oppleve luktintensiteten som sjenerende (Folkehelseinstituttet, 2015).

En luftmengde i henhold til TEK10 på 26 $m^3/h$ per person balanserer med et maks $CO_2$-nivå på 1 000 ppm ved stillesittende aktivitet. $CO_2$-nivåer over 1 000 ppm indikerer at luftmengden er under minimumskravene i TEK10. I EBLE er $CO_2$-nivå på under 1 000 ppm brukt som en indikator på godt luftskifte.

Opplevelse av inneklima er også avhengig av nivået på relativ fuktighet i innelufta. Anvisning 421.510 i Byggforskserien (SINTEF Byggforsk, 2016) anbefaler at den relative fuktigheten innendørs om vinteren bør ligge i området 20–40 %.

### Temperatur i stua

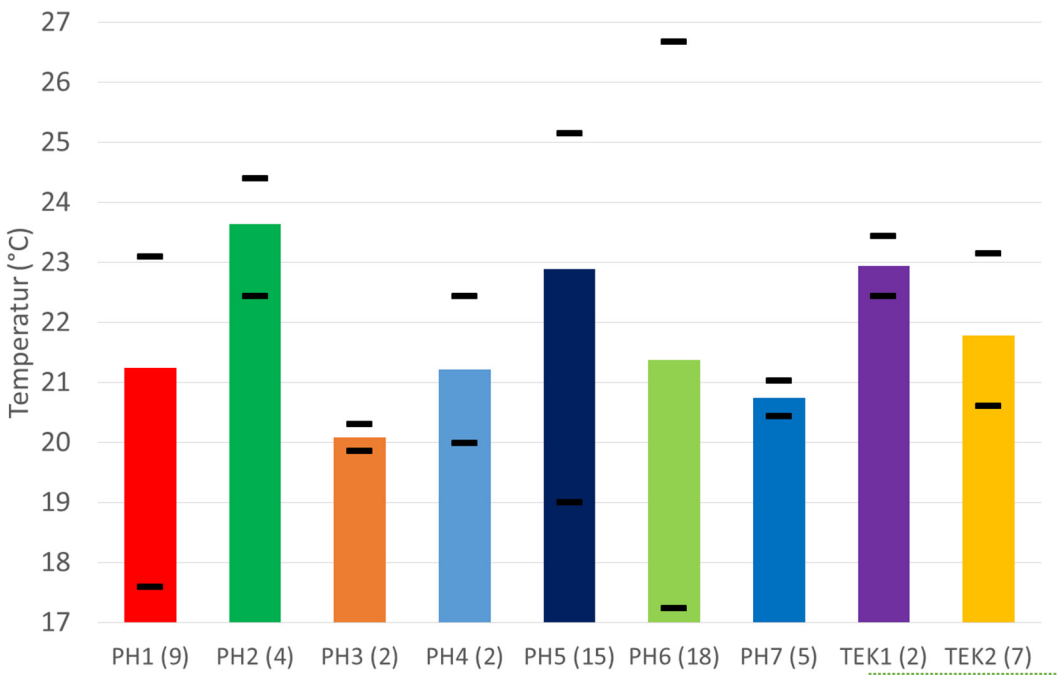
Figur 26 viser målt gjennomsnittstemperatur i stua over ett år i de ulike prosjektene. Strekene på figuren angir boligene i prosjektet med høyeste og laveste gjennomsnittstemperatur over året. Når vi ser på alle prosjektene samlet, har de en gjennomsnittlig målt innetemperatur som ligger mellom 19,4 °C (lavest) og 27,2 °C (høyest). Passivhusprosjektene (PH) har en gjennomsnittlig målt innetemperatur i stua på 22,7 °C, hvor laveste er 19,4 °C og høyeste er 27,2 °C. Tilsvarende årlig gjennomsnitt for TEK10-husene (TEK 1 og TEK 2) er 22,8 °C, hvor laveste temperatur er 21,8 °C og høyeste er 24,6 °C.




*Figur 26. Målt gjennomsnittstemperatur i stua over ett år i de ulike prosjektene. Strekene på figuren angir boligene i prosjektet med høyeste og laveste gjennomsnittstemperatur. Tallene i parentes er antallet analyserte boliger i hvert prosjekt. PH er passivhusprosjekter, mens TEK 1 og TEK 2 er prosjekter bygd etter kravene i byggeteknisk forskrift (TEK10). Maksimumsverdien for PH 6 er 27,2 °C.*

## Innetemperatur i oppvarmingssesongen

Gjennomsnittlig temperatur over døgnet i stua i vinterhalvåret (oktober–mars) er vist i figur 27. Strekene på figuren angir boligene i prosjektet med høyeste og laveste gjennomsnittstemperatur i perioden. Ser vi på alle prosjektene samlet, har vi en gjennomsnittlig innetemperatur i stua i oppvarmingssesongen som varierer mellom 20,5 °C som den laveste og 23,7 °C som den høyeste. Gjennomsnitt for passivhusprosjektene er 21,9 °C. Lavest er PH 3 med 20,5 °C, og høyest er PH 2 med 23,7 °C. TEK10-prosjektene har et gjennomsnitt på 22,0 °C, hvor TEK 2 er lavest med 21,8 °C og TEK 1 er høyest med 22,9 °C. Innetemperaturen i TEK10-husene er på linje med innetemperaturen i passivhusene. En av boligene i PH 6 skiller seg ut med høyest temperatur for vinterhalvåret og flest timer over 26 grader. Gjennomsnittstemperaturen i boligen er 26,7 °C som vist med strek i figur 27. Beboeren i boligen sier at radiator pleier å stå på maksimum effekt når det er minusgrader ute. Beboeren sier også at komfortabel innetemperatur ligger på ca. 24 °C. Lave minimumstemperatur for PH 1 skyldes at en av boligene var ubebodd i deler av perioden.



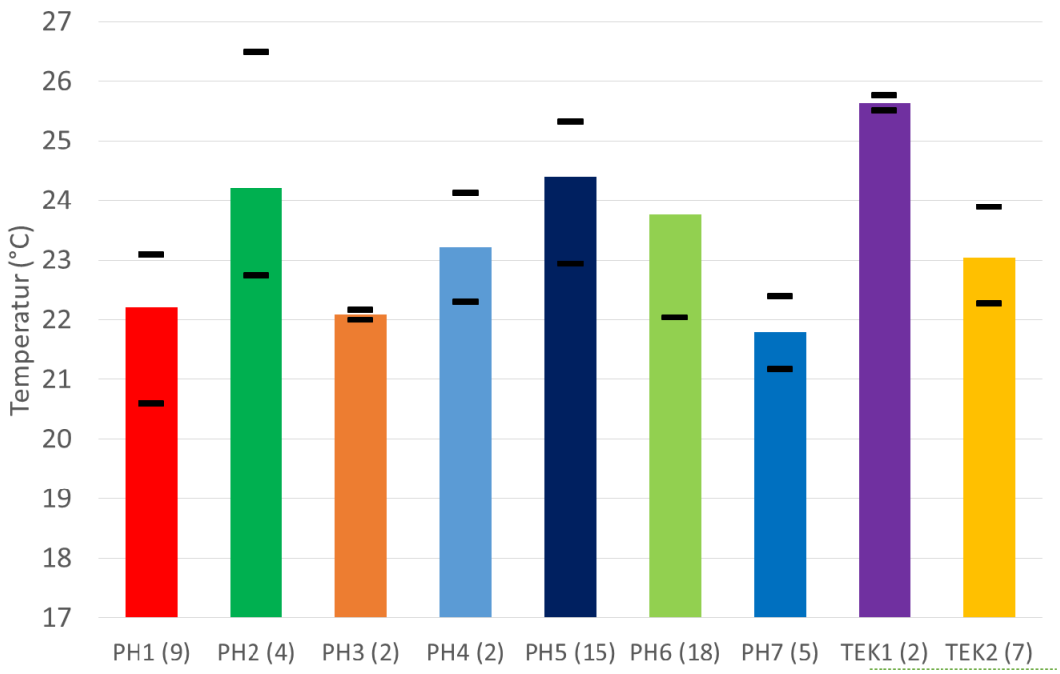

*Figur 27. Målt gjennomsnittstemperatur i stua i de ulike prosjektene i vinterhalvåret, oktober til mars. Strekene på figuren angir boligene i prosjektet med høyeste og laveste gjennomsnittstemperatur. Tallene i parentes er antallet analyserte boliger i hvert prosjekt. PH er passivhusprosjekter, mens TEK 1 og TEK 2 er prosjekter bygd etter kravene i byggteknisk forskrift (TEK10).*

## Innetemperatur i sommerhalvåret

### *Gjennomsnitt*

Figur 28 viser gjennomsnittlig innetemperatur i stua i sommerhalvåret (april–september) for de ulike prosjektene. Strekene på figuren angir boligene i prosjektet med høyeste og laveste gjennomsnittstemperatur i perioden. Ser vi på alle prosjektene samlet, har vi en gjennomsnittlig innetemperatur i stua i sommerhalvåret som varierer mellom 21,8 °C som den laveste og 25,6 °C som den høyeste. Gjennomsnitt for passivhusprosjektene er 23,6 °C. Lavest er PH 7 med 21,8 °C og høyest er PH 5 med 24,3 °C. TEK10-prosjektene har et gjennomsnitt på 23,6 °C, hvor TEK 2 er lavest med 23,0 °C og TEK 1 er høyest med 25,6 °C. Innetemperaturen om sommeren er lik i passivhusprosjektene og TEK10-prosjektene. Sammenliknet med vinterhalvåret ser vi at temperaturene i sommerhalvåret i gjennomsnitt er ca. 2 °C høyere.

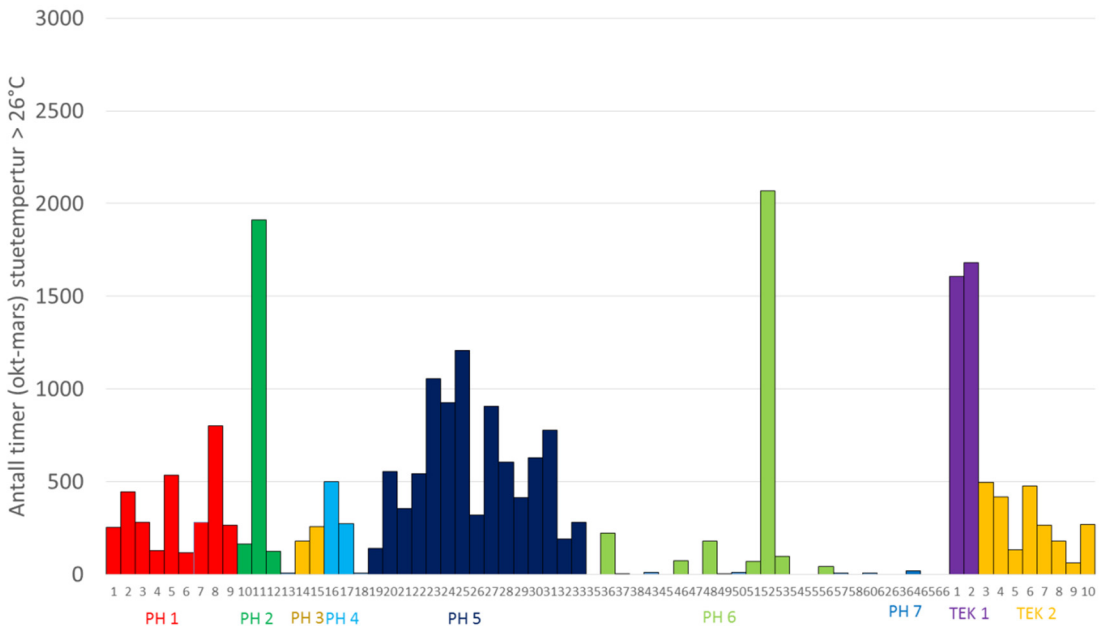
PH 7 har den laveste gjennomsnittlige innetemperaturen i perioden. En sannsynlig forklaring er at boligene i prosjektet har utvendig solavskjerming. I PH 6 er det utvendig solavskjerming i form av innvendige lameller i innglasset balkong. Balkongen på sørfasaden i PH 6 vil skjerme for direkte solinnstråling inn i stua i sommerhalvåret. For PH 6 er det svært stor spredning i innetemperaturen. En bolig i PH 6 skiller seg ut med meget høy innetemperatur i perioden (29 °C). Beboeren er fornøyd med temperaturen. Det indikerer at det er stor spredning i individuelle preferanser hva angår ønsket innetemperatur.




*Figur 28. Gjennomsnittlig innetemperatur i stua i alle boligene i sommerhalvåret (april til september). Strekene på figuren angir boligene i prosjektet med høyeste og laveste gjennomsnittstemperatur. Tallene i parentes er antallet boliger i hvert prosjekt. PH er passivhusprosjekter, men TEK 1 og TEK 2 er prosjekter bygd etter kravene i byggteknisk forskrift (TEK10). Maksverdi for PH 6 er 27,7 °C.*

***Overtemperatur***

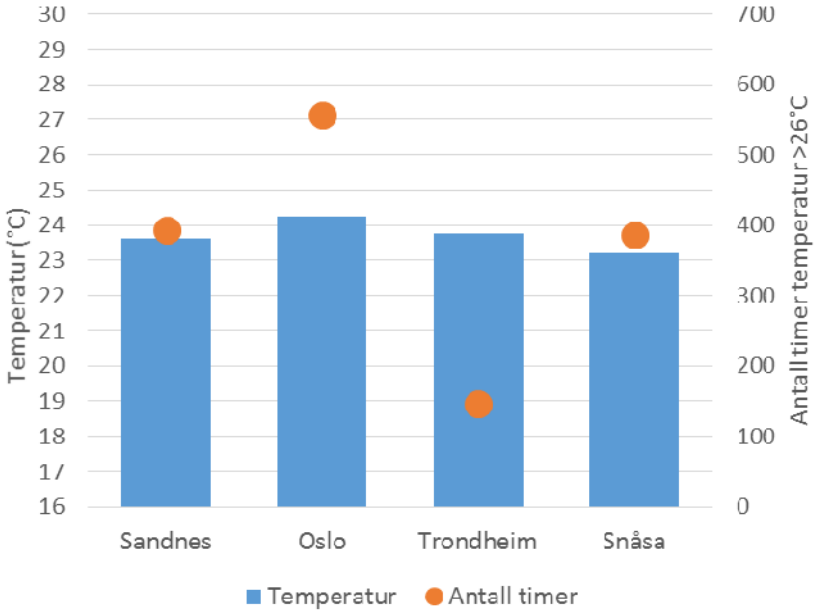
Figur 29 viser antall timer i perioden april–september hvor stue-/kjøkkentemperaturen er høyere enn 26 °C. TEK 1 og PH 5 har i gjennomsnitt flest timer over 26 °C, henholdsvis 1 840 timer og 555 timer. PH 7, som har utvendig solavskjerming, har derimot få timer med temperatur over 26 °C. PH 6 har også utvendig solavskjerming og forholdsvis lavt antall timer over 26 °C, bortsett fra i én bolig.




*Figur 29. Antall timer i perioden april–september i de ulike boligene hvor stuetemperaturen er høyere enn 26 °C*

***Geografisk plassering***

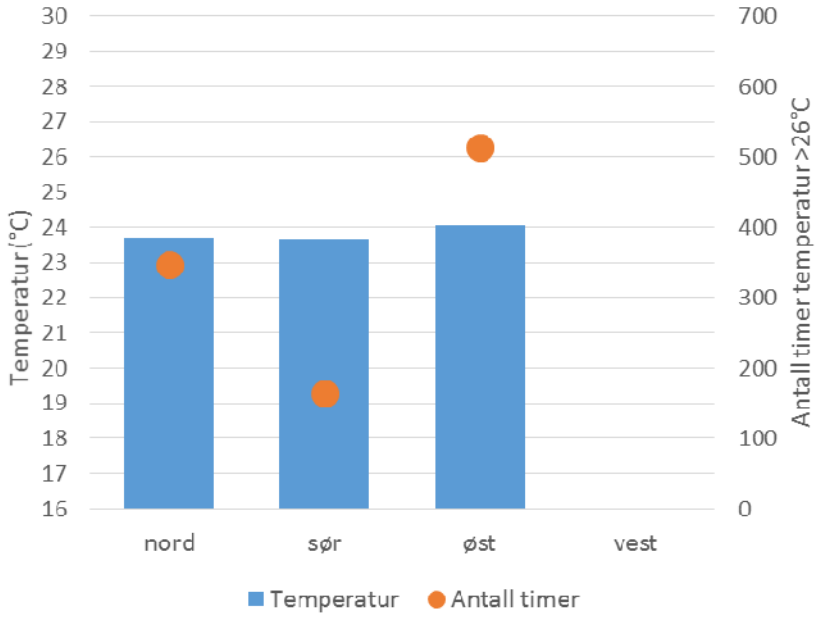
Figur 30 viser gjennomsnittstemperaturen og antall timer over 26 °C på stue/kjøkken i perioden april–september for passivhusene. Resultatene er sortert på geografisk plassering av boligene. Som figuren viser, er det liten forskjell i gjennomsnittlig temperatur for de ulike geografiske plasseringene. Boligene i Oslo og Sandnes har flest timer over 26 °C. Trondheim har færrest timer over 26 °C. Utvendig solavskjerming og skjerming på grunn av utvendige balkonger på sørfasaden vil påvirke antallet timer med overtemperatur for boligene i Trondheim.




*Figur 30. Gjennomsnittstemperatur og gjennomsnittlig antall timer over 26 °C for perioden april–september i passivhusene plassert i Sandnes, Oslo, Trondheim og Snåsa*

***Orientering***

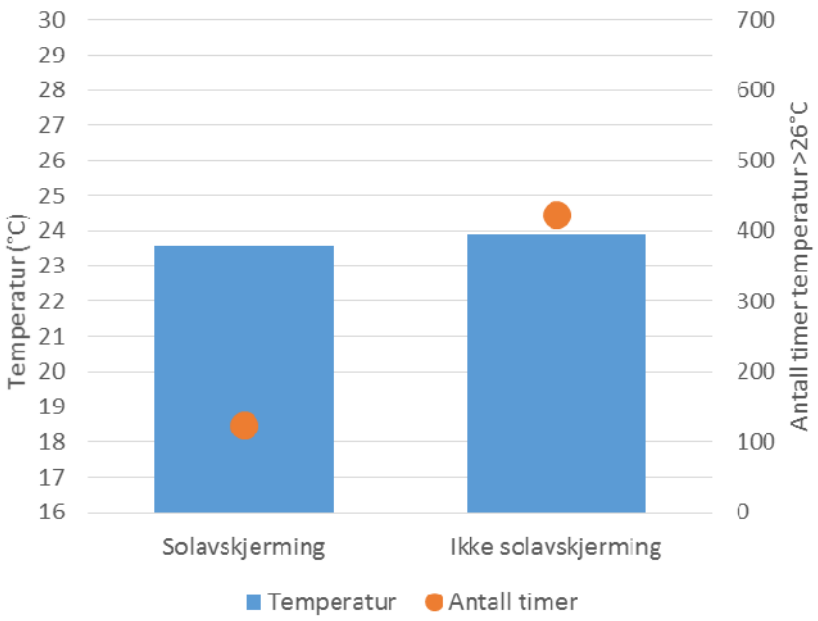
Figur 31 viser gjennomsnittlig temperatur for ulike hovedorienteringer av stue/kjøkken for perioden april–september. Hovedorientering mot sør betyr for eksempel at hoveddelen av vindusarealet i boligen er orientert mot sør. Ingen av prosjektene er orientert slik at de har mye solinnslipp fra vest. For de øvrige orienteringene er gjennomsnittstemperaturene forholdsvis like. Sørlig hovedorientering av stua gir vesentlig mindre timer med overtemperatur sammenliknet med østlig og nordlig orientering. Det har sammenheng med at det kun er ett prosjekt med sørlig hovedorientering og at dette prosjektet har utvendig solavskjerming.




*Figur 31. Gjennomsnittstemperatur og gjennomsnittlig antall timer med temperatur over 26 °C i stue/kjøkken i perioden april–september sortert på hovedorientering av vindu i stue/kjøkken*

***Solavskjerming***

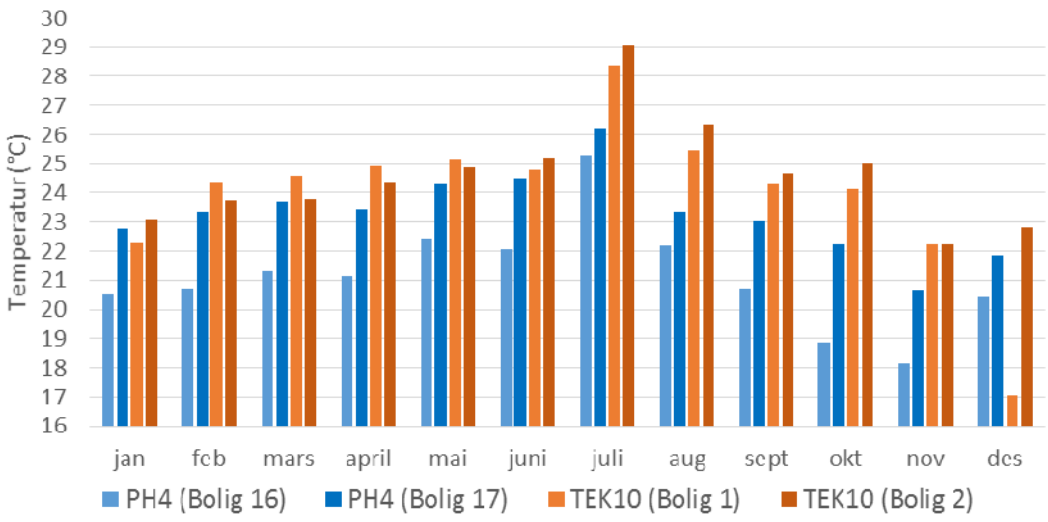
Figur 32 viser gjennomsnittstemperatur og antall timer over 26 °C på stue/kjøkken i perioden april–september for boligene med utvendig solavskjerming og boligene uten utvendig solavskjerming. Figuren tyder på at solavskjerming ikke innvirker på gjennomsnittstemperaturen i perioden. Figuren tyder imidlertid på at solavskjerming har en innvirkning på antall timer over 26 °C og at solavskjerming gir færre timer med temperaturer over 26 °C.




*Figur 32. Gjennomsnittstemperatur i stue/kjøkken og gjennomsnittlig antall timer over 26 °C i perioden april–september sortert i kategoriene boliger med og uten utvendig solavskjerming*

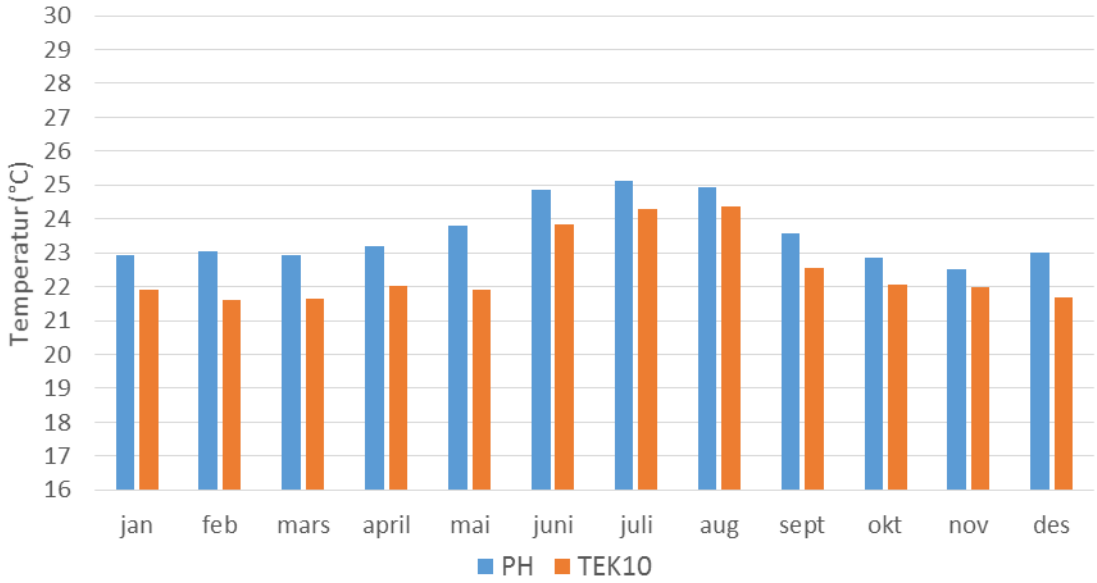
## Innetemperatur i passivhus og TEK10-boliger

Figur 33 viser gjennomsnittstemperaturen i stua i passivhus og boliger bygd etter TEK10. Boligene er små eneboliger plassert i Snåsa. TEK10-boligene har hovedorientering mot sør og har en BRA på 68 m$^2$. Passivhusene er orientert mot sør og øst og har en BRA på 99 m$^2$. For passivhuset med lavest temperatur (PH 4, Bolig 16) er stua orientert mot sør. PH 4, Bolig 17 har stue orientert mot øst. TEK10-husene har svært høy gjennomsnittstemperatur i sommermånedene sammenliknet med passivhusene. Gjennomsnittstemperatur på 29 °C i juli for TEK 2 er svært høyt, men utetemperaturen var også spesielt høy i samme periode. En mulig årsak til forskjellen på passivhusene og TEK10-husene er forskjell i areal av vinduer og dører delt på BRA. For TEK-10 husene er arealandelen 29 % og for passivhusene er arealandelen 20 %. I tillegg er det sannsynlig at et stort takutstikk foran stuevinduer i passivhusene virker gunstig for å begrense direkte solinnstråling.




*Figur 33. Gjennomsnittstemperaturen i stua i ulike måneder over ett år for to passivhus og to TEK10-boliger.*

Figur 34 viser gjennomsnittstemperaturen i stua for passivhus og for TEK10-boliger plassert i Oslo. Størrelsen på Passivhus-boligene er 106 og 107 $m^2$ for toetasjes hus og 132 $m^2$ for treetasjes hus. TEK10-boligene har bruksareal mellom 123 $m^2$ og 129 $m^2$. Orienteringen av boligene i de to prosjektene er relativt lik, med stua hovedsakelig orientert mot sør og vest. Temperaturmålingene viser høyere temperatur i passivhusene enn i TEK10-boligene. Vindusandelen for stua i de to prosjektene er imidlertid forskjellig. I passivhusprosjektet er det en vindusandel i stua for de ulike enhetene på mellom 30–40 %. For TEK10-prosjektet er den tilsvarende vindusandelen mellom 13–20 %. Forskjellig oppvarmingssystem i de to prosjektene kan også virke inn på innetemperaturen. Passivhuset har vannbåret varme i gulv, mens TEK10-boligene har panelovner og vedovn i stua.

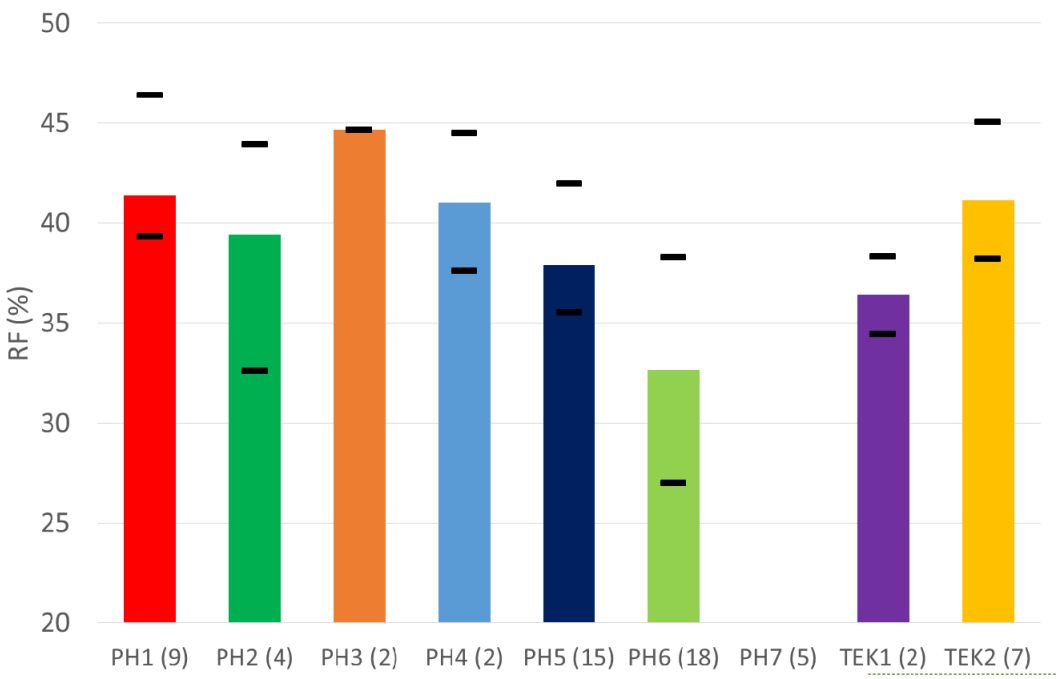



*Figur 34. Gjennomsnittstemperaturen i stua i ulike måneder over ett år for passivhus og TEK10-boliger plassert i Oslo.*

## Relativ fuktighet i innelufta

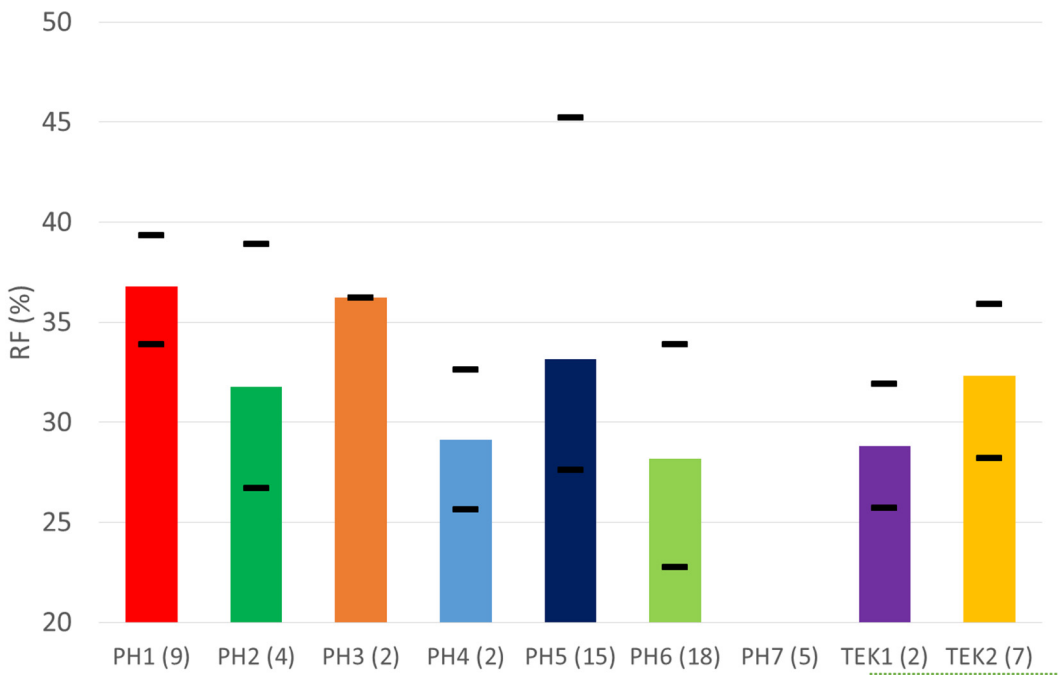
Relativ luftfuktighet (RF) er den vanndampmengden en luftmengde inneholder ved en viss temperatur, i prosent av det luftmengden maksimalt kan inneholde ved samme temperatur. Vanndampinnholdet i innelufta bestemmes av vanndampinnholdet i lufta man ventilerer med (utelufta), luftskiftet og fuktproduksjon/tilførsel. Lavt fukttilskudd, det vil si liten forskjell mellom absolutt fuktinnhold i inneluft og uteluft, gir økt robusthet mot kondensskader i ytterkonstruksjonene, spesielt tak. Ved luftlekkasjer i takkonstruksjonen vinterstid vil varm luft med høyt fuktinnhold kunne kondensere og medføre fuktskade.

Målt gjennomsnittlig relativ fuktighet i innelufta i de ulike boligene i sommerhalvåret er vist i figur 35. Data for PH 7 er utelatt på grunn av manglende data. Gjennomsnittlig relativ luftfuktighet i de ulike prosjektene varierer fra 33 til 45 %. Den relative fuktigheten i PH 6 er noe lavere enn i de øvrige prosjektene.




*Figur 35. Målt gjennomsnittlig relativ luftfuktighet (RF) i stua i sommerhalvåret (april–september) i de ulike boligene. Strekene på figuren angir boligene i prosjektet med høyeste og laveste RF. Tallene i parentes er antallet boliger i hvert prosjekt. PH er passivhusprosjekter, mens TEK 1 og TEK 2 er prosjekter bygd etter kravene i byggteknisk forskrift (TEK10). PH 7 er utelatt på grunn av manglende data.*

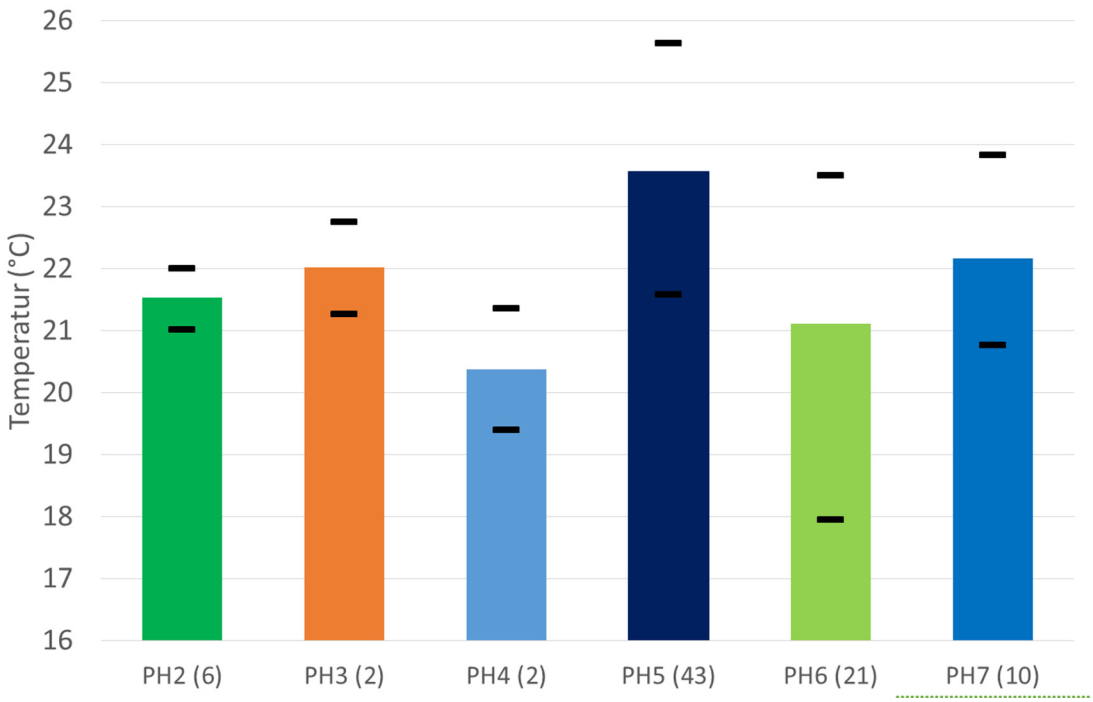
Målt gjennomsnittlig relativ fuktighet i innelufta i de ulike boligene i vinterhalvåret er vist i figur 36. PH 7 er utelatt på grunn av manglende data. Gjennomsnittlig relativ luftfuktighet i perioden for de ulike enhetene varierer fra 27 til 37 %. PH 1 har den høyeste målte RF for perioden med 41 %. PH 6 har den laveste målte RF for perioden med 32 %. Lavere RF for PH 6 enn i PH 1 kan forklares med høyere innetemperatur i perioden.




*Figur 36. Målt gjennomsnittlig RF i stua i de ulike boligene i oppvarmingssesongen (oktober–mars). Strekene på figuren angir boligene i prosjektet med høyeste og laveste RF. Tallene i parentes er antallet boliger i hvert prosjekt. PH er passivhusprosjekter, mens TEK 1 og TEK 2 er prosjekter bygd etter kravene i byggteknisk forskrift (TEK10). PH 7 er utelatt på grunn av manglende data.*

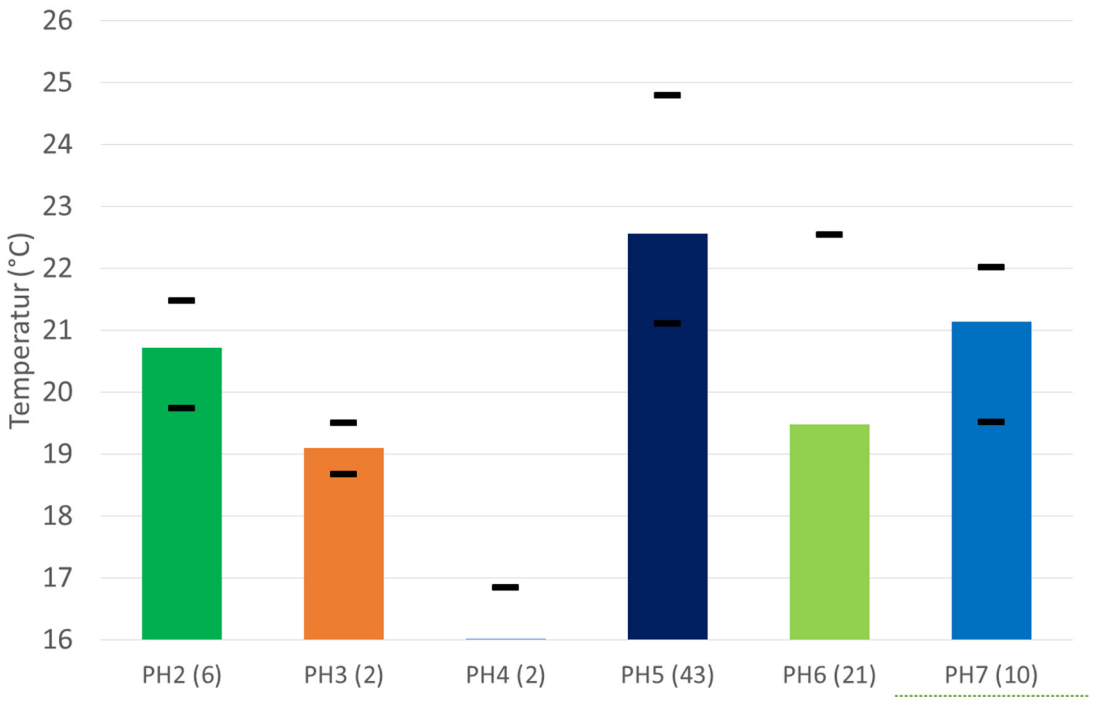
## Temperatur på soverom

Innetemperaturen på soverommene i sommerhalvåret er vist i figur 37. PH 5 har jevnt over den høyeste innetemperaturen på soverommene. I PH 5 har de fleste soverommene vindu mot sørvest. Ettermiddags- og kveldssol vil da medføre en høyere innetemperatur fordi disse enhetene ikke har utvendig solavskjerming. Tallet i parentes bak hvert prosjekt angir antallet soverom i hvert prosjekt som er analysert. For enkelte av prosjektene er det presentert data for flere enn ett soverom per enhet.




*Figur 37. Målt gjennomsnittstemperatur på soverommene i sommerhalvåret (april–september). Strekene på figuren angir boligene i prosjektet med høyeste og laveste temperatur. Tallene i parentes er antallet soverom hvor det foreligger måledata i hvert prosjekt.*

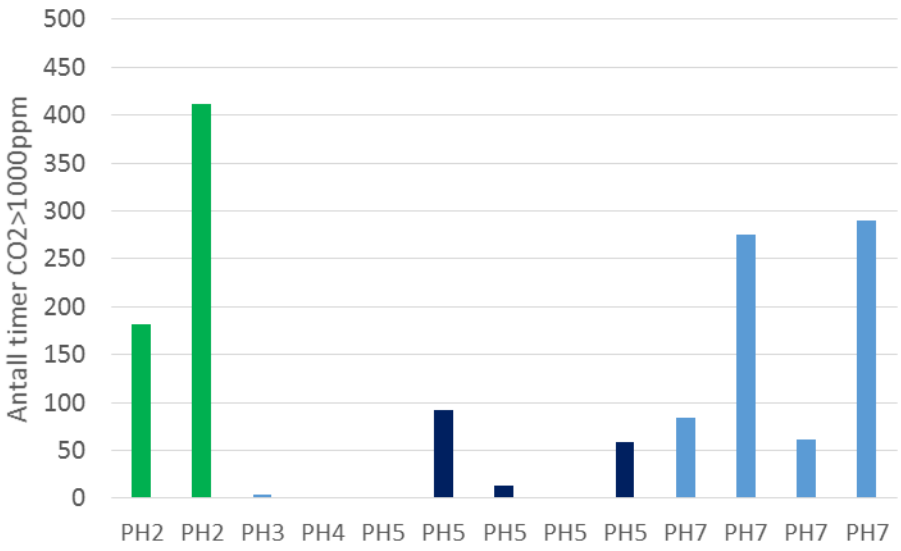
Gjennomsnittlig innetemperatur på soverommene i vinterhalvåret (oktober–mars) er vist i figur 38. Lave temperaturer for PH 4 tyder på at beboerne sover med vinduet åpent og at vinduet er åpent mer eller mindre hele døgnet. Høye innetemperaturer i enkelte av soverommene i PH 5 kan tyde på at enkelte av rommene brukes til oppholdsrom.




*Figur 38. Målt gjennomsnittstemperatur på soverommene i vinterhalvåret (oktober–mars). Tallene i parentes er antallet soverom hvor det foreligger måledata i hvert prosjekt. Streker angir maksimum og minimum månedsgjennomsnittlige temperaturer for de ulike soverommene i prosjektet.*

***$CO_2$***

Figur 39 viser årlig akkumulerte timer med $CO_2$-nivå høyere enn 1 000 ppm på soverom i de ulike prosjektene. Til sammen er det 13 soverom som er instrumentert. Maksimalt antall timer over 1 000 ppm per år er 412, noe som tilsvarer 14 % av tiden, forutsatt bruksperiode på soverommet kl. 23–07. Gjennomsnittlig antall timer over 1 000 ppm i de ulike soverommene er 114, noe som tilsvarer 4 % av brukstiden. Svært lavt antall timer kan tyde på begrenset bruk av det aktuelle soverommet.




*Figur 39. Akkumulert antall timer over ett år med $CO_2$-nivå høyere enn 1 000 ppm på soverommene i de ulike prosjektene.*

## Inneklima og beboertilfredshet

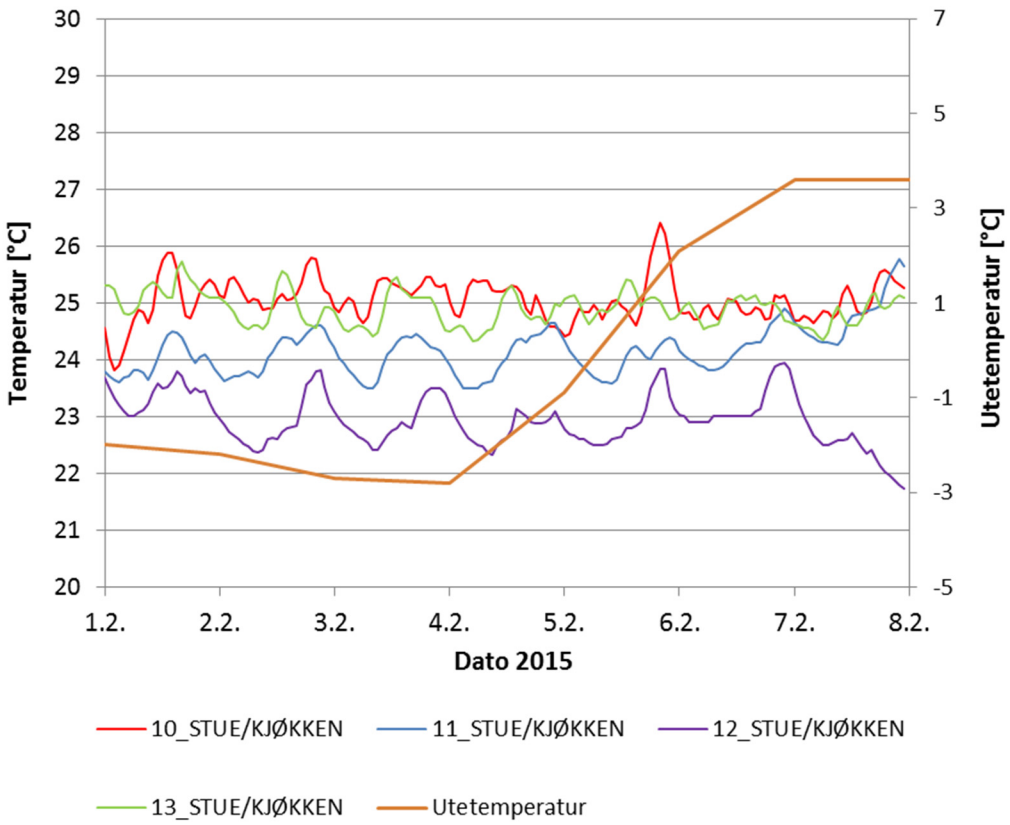
***Termisk komfort***

Intervjuene viser at de fleste av de 38 intervjuede beboerne er fornøyd og veldig fornøyd med opplevd innetemperatur både sommer og vinter. Målingene viser også at boligene i de ulike prosjektene oppfyller ønsket om å ha høy innetemperatur, med noen unntak grunnet i byggtekniske og oppvarmingstekniske utfordringer, som beskrives lengre ned i dette avsnittet. Der det oppsto slike utfordringer, opplevde beboere temperaturen periodevis som for kald.

Gjennomsnittlig målt innetemperatur var relativt høy om både vinteren og sommeren i alle boligene (se figur 26). Gjennomsnittstemperaturen over året gir dog ikke noe informasjon om ekstremverdiene og opplevd innetemperatur i utvalgte perioder med kald eller varm utetemperatur. Ved å sammenlikne målinger og utsagn fra beboerne i utvalgte perioder kan vi se på sammenheng mellom måleresultater og opplevelse. I noen tilfeller finner vi godt samsvar mellom opplevelse av kald eller varm innetemperatur, mens vi i andre tilfeller ikke kan se tydelig sammenheng mellom individuell opplevelse og måleresultatene.

*Eksempler, oppvarmingssesong*

Figur 40 viser målinger over en uke under oppvarmingssesongen i fire boliger hvor beboerne ytret tilfredshet med innetemperaturen om vinteren og hvor vi målte høye innetemperaturer.




*Figur 40. Temperatur i stue/kjøkken i fire passivhusboliger i en periode med lav utetemperatur.*

Døgngjennomsnittlig utetemperatur i perioden varierte fra -3 til +3,5 °C. Diagrammet viser stabilt høy innetemperatur i perioden. Temperaturen er høyest på ettermiddagen og kvelden når beboerne er hjemme, og lavest tidlig på morgenen. Hus 10 har jevnt over den høyeste temperaturen, som varierer fra 24–26 °C i perioden. Hus 12 har den laveste temperaturen i peroden som varierer fra 21–23 °C i perioden. Som resultatene viser, er oppvarmingsanlegget i huset tilstrekkelig dimensjonert til å holde temperaturen komfortabel når utetemperaturen er -3 grader.

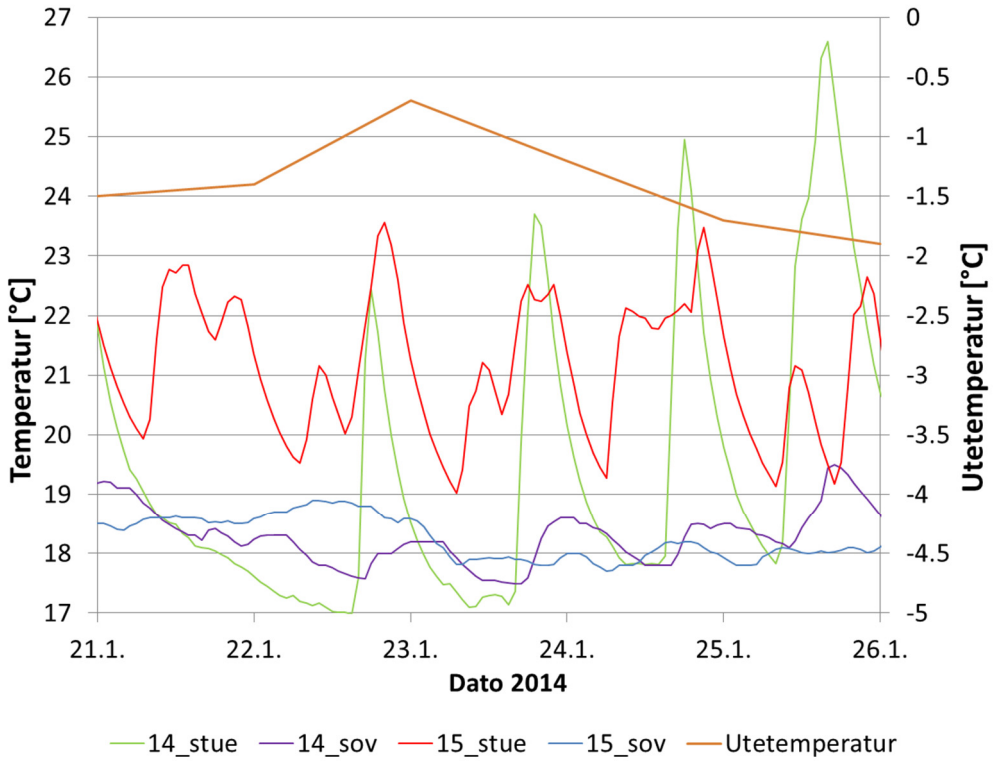
Beboerne i dette prosjektet opplever gjennomgående god og jevn innetemperatur der hvor målingene ble utført. Ingen kommenterte at temperaturen er relativt høy. Beboerne i en av boligene anslår selv at det er ca. 23 grader, noe de er fornøyde med. Beboerne i denne enheten regulerer temperaturen med display som skal vise innstilt innetemperatur:

> *Vi har valgt å ha temperaturstyring med display som viser grader, ikke bare trinn. Da er det lettere å justere temperaturen. Og så ser man at det faktisk er ganske varmt selv om man en dag tror at det er kaldt.*

Displayet korrigerer/bevisstgjør opplevelse til en viss grad.

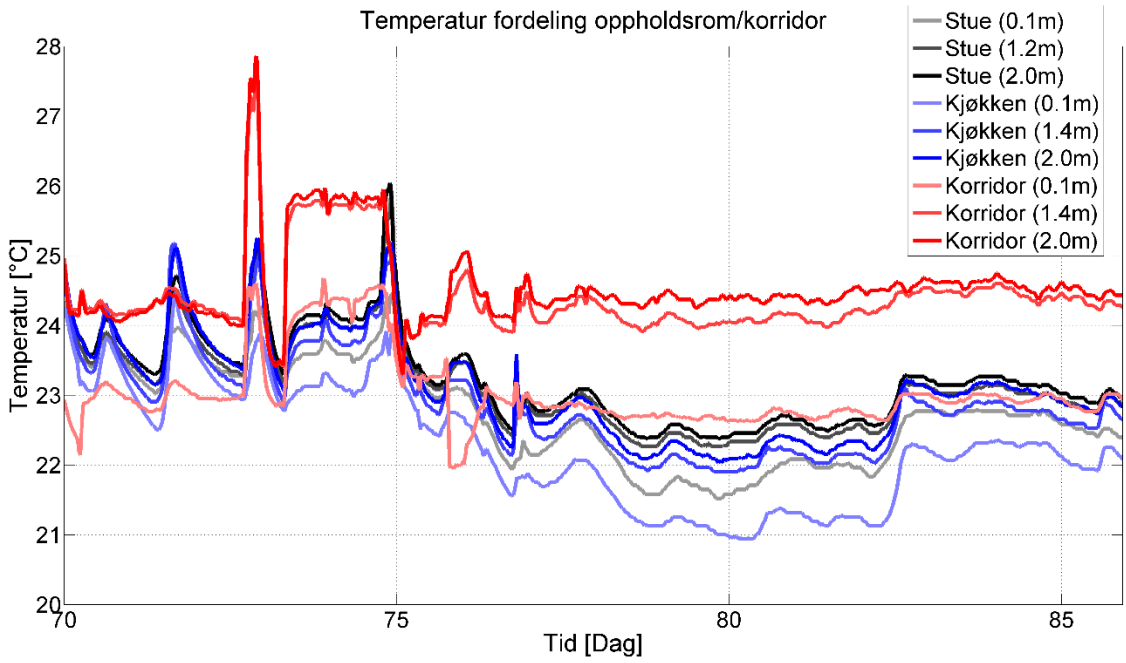
Neste eksempel, se figur 41, viser også temperaturmålinger for beboere som er fornøyde. Beboeren i hus 14 er unntaket i intervjuene. Han sier at ønsket innetemperatur ligger på 19–20 grader. Han fyrer i vedovnen om ettermiddagen, noe som vises tydelig gjennom temperaturtoppene i målingene. Beboerne i hus 15 har høyere innetemperatur enn hus 14 (gjennomsnitt på ca. 21 grader). De er også fornøyde. Sammenliknet med de andre prosjektene i EBLE ligger temperaturen i dette prosjektet (PH 4) lavere. Prosjektet har et minimalisert oppvarmingssystem som består av elvarmekabler i gangen og på badet og vedovn i stua. I tillegg brukes ventilasjonsanlegget til oppvarming. Til tross for at oppvarmingssystemet er

minimalisert, ser det ut til å oppfylle forventningene og gi nok muligheter for regulering. Høye temperatursvingninger og temperaturtopp om ettermiddagene bekrefter beboernes utsagn om at de fyrer i vedovnen når de kommer hjem.




*Figur 41. Temperatur i stua og på soverommet i to passivhusboliger.*

Det neste eksemplet viser målinger av innetemperatur på ulike plasser i en bolig i PH 6 over to uker under oppvarmingssesongen. De detaljerte målingene gir et differensiert bilde av temperaturfordeling i boligen og bidrar til å forklare opplevd ujevnt fordelt temperatur. Se figur 42.




*Figur 42. Figuren viser målt innetemperatur i stua, kjøkkenet og på gangen i en bolig i PH 6 i en periode over to uker.*

Beboeren i boligen vist i figur 42 opplever at temperaturen er ujevnt fordelt mellom gang hvor radiatoren er plassert, og stua/kjøkkenet. Beboeren forteller at temperaturen justeres med radiator plassert i gangen. Her måler beboeren høy temperatur (sier 25 grader, bekreftes av EBLE-måler i gangen), mens temperaturen i stue-/kjøkkenområdet oppleves som kjølig, spesielt når man står ved skyvedøra til terrassen. Detaljerte målinger på ulike områder i leiligheten ble utført over to uker i mars–april 2015. Målingene skjedde etter at det var satt inn radiator med større effekt. Utetemperaturen i løpet av de to ukene varierte mellom 0 til +5 grader. Temperaturfordelingen i boligen vises i figur 42. Temperaturfordelingen er relativt jevn mellom stua og kjøkkenet, mens korridoren skiller seg ut med 1–2 grader høyere temperatur. Målingene gjenspeiler beboernes opplevelse av lavere temperatur i kjøkken–stueområdet.

Forklaringer på ulik temperaturfordeling i boligen kan være plassering av radiator i gangen i kombinasjon med byggtekniske utfordringer. Pakningen i skyvedøra til terrassen ble byttet ut i flere boenheter. Sju beboere i boliger i samme prosjektet rapporterte kald trekk fra denne skyvedøra. Målingene vist i figur 42 er gjennomført etter at pakningen er byttet, men beboeren kjenner fortsatt at det er kjølig ved skyvedøra.

> *Fra verandadøra var det trekk. Jeg tok en lighter og filmet det, så ble det ny pakning og noe silikon. Fortsatt kjennes det kaldt i hjørnene på vinduene. Måtte ha ullsokker på om vinteren når jeg sitter framfor verandadøra.*

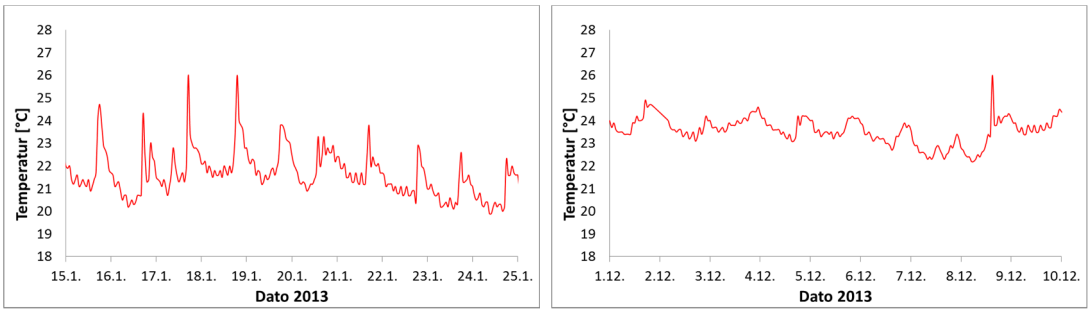
Utbyggeren forteller i ettertid at skyvedørene for passivhus var for tunge for pakningene som de ble levert med. Pakningene ble i løpet av kort tid presset ned. Blant norske produsenter av skyvedører til passivhus er det ifølge utbyggeren fortsatt ingen gode løsninger på markedet. Skyvedøra ble produsert i utlandet.

Innetemperaturopplevelsen etter den første vinteren deles langt på vei av de andre informantene (ti av tolv). Ni av de intervjuede beboere i dette prosjektet (PH 6) har klaget til utbyggeren over kald innetemperatur den første vinteren. Sju har satt inn radiator med større effekt, to bruker ekstra vifteovn og én har takket nei til større radiator. De som har fått ny radiator / ekstra ovn, opplever at temperaturen var bedre vinter nummer to.

*Per i dag (oktober) er det veldig godt og varmt etter radiatoren ble skiftet. Nå har vi mellom 23–24 grader, og radiatoren står på trinn 4. Det betyr den kan gi på enda mer (trinn 5) når det blir vinter. Vi er fornøyd nå, men man blir usikker etter det har vært feil først.*

I totalt tre prosjekter, inkludert prosjektet nevnt ovenfor, ble det rapportert av beboere at ønsket innetemperatur i stua ikke kunne oppnås den første vinteren (ønsket temperatur: 22–23 grader). I disse tilfellene ble det foretatt utbedringer av oppvarmingssystemet, grunnet feil/feildimensjonering. Utbedringer i løpet av det første året har ført til økt beboertilfredshet med innetemperaturen om vinteren.

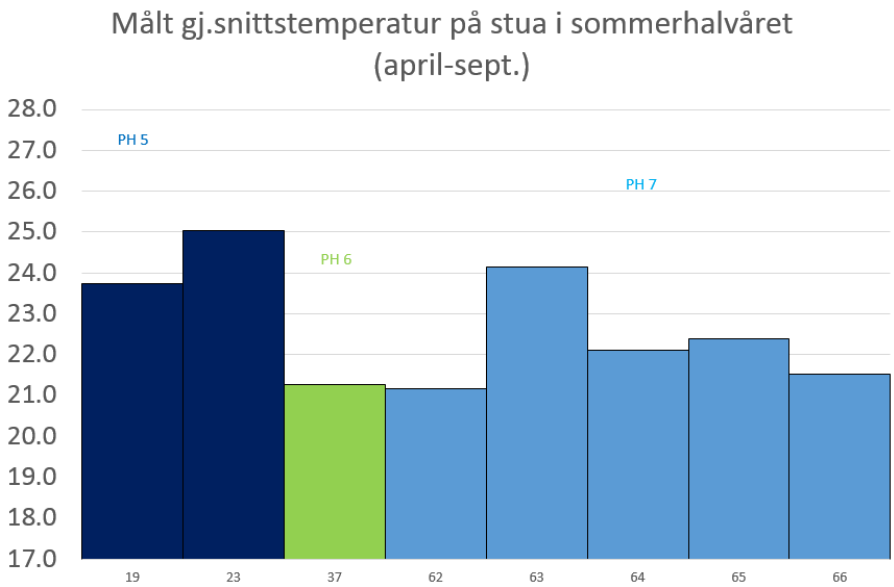
Figur 43 viser målt innetemperatur i PH 1 i to perioder om vinteren, før og etter at leverandøren har byttet ut radiator med viftekonvektor i denne boligens første etasje. Beboerne i denne boligen sier at det har hjulpet betydelig på varmen i huset. De var mer fornøyd med innetemperaturen denne vinteren enn den første vinteren.

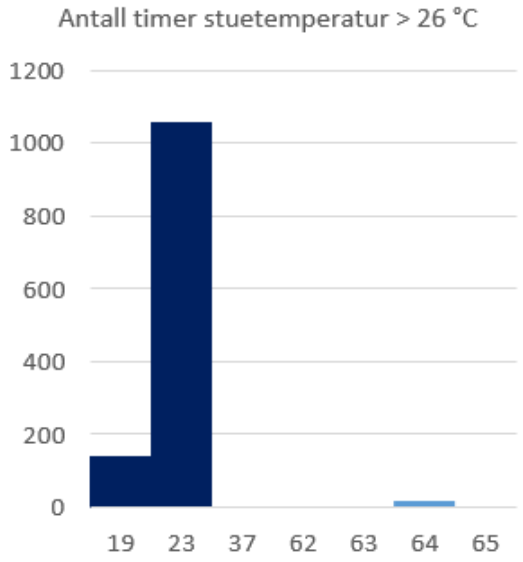



*Figur 43. Målt innetemperatur over en periode om vinteren i PH 1 før (venstre) og etter (høyre) utbedring av oppvarmingssystemet.*

*Eksempel, sommertemperatur*

Sommertemperaturen oppleves som behagelig med noen varme dager. At det kan bli varmt over korte perioder, opplevdes som lite problematisk i prosjektene generelt. Når det er et gjentakende problem, oppleves det som plagsomt. PH 5 virker å skille seg ut i fortellingene – her er det tre av fem intervjuede som forteller at det blir veldig varmt om sommeren. Noen utvalgte enheter illustrerer forskjeller mellom prosjektene, se figur 44.






*Figur 44. Målt gjennomsnittstemperatur i stua i sommerhalvåret og antall timer over 26 grader i ulike boenheter i tre passivhusprosjekter.*

Målingene samsvarer med opplevelsen, og gjenspeiler at prosjektet hvor beboerne opplever høye innetemperaturer om sommeren har høyere målte verdier og flere timer over 26 grader. I bolig 23 opplever beboerne at det er for varmt både sommer og vinter. Beboerne i bolig 19 sier at det er litt for varmt om sommeren. Både bolig 19 og 23 har et høyt antall timer over 26 grader, mens antallet er betraktelig lavere i bolig 19.

I bolig 23 sier beboerne at temperaturen varierer med solinnfall. PH 5-prosjektet har store soveroms- og stuevinduer orientert mot vest og ikke utvendig solavskjerming, noe som er en sannsynlig årsak til at det varmes opp mer her om sommeren enn i de andre prosjektene. Boligene i PH 6 og PH 7, som er mindre utsatt for direkte solstråling på grunn av utvendig solavskjerming, har minimalt med timer over 26 grader, og gjennomsnittlig målt sommer-temperatur er lavere enn i PH 5. Et unntak er bolig 63, hvor beboerne ønsker å ha ca. 24 grader. Til tross for det, er det målt få timer over 26 grader, noe som tyder på at temperaturen kan kontrolleres og holdes på ønsket nivå. Bolig 63 har utvendig solavskjerming som er styrt automatisk når sola står på. Beboerne har mulighet til å overstyre den, noe de gjør når de er hjemme. Boligen i PH 6 har også solavskjerming i form av store takutstikk og innglassede balkonger med innvendig solavskjerming. Det kan bli varmt på den innglassede balkongen. Beboerne i bolig 37 forteller om sine rutiner for å styre temperaturen:

> *Det er stabilt og behagelig temperatur om sommeren. Vi bruker å sette ventilasjon på høyere luftskifte på svært varme dager, og holder vinduene lukket for å unngå å slippe utendørs varme inn i leiligheten. I tillegg bruker vi innvendig solavskjerming på balkongen.*

Eksemplene tyder på at solavskjerming er et viktig redskap for å kontrollere sommer-temperaturen på en tilfredsstillende måte og kan redusere antall timer over 26 grader.

**Temperaturregulering**

Temperaturregulering foretas ved å justere innstillinger på systemet i kombinasjon med at dører og vinduer brukes aktivt for å lufte ut eller holde en annen temperatur på ulike rom. Det skjer i ulik grad og etter behov. Lufting er vanlig om sommeren. Under oppvarmingssesongen beskriver beboerne behovet for vindusventilering som mindre enn i boliger de har bodd i tidligere – boliger uten mekanisk ventilasjon. Bekledning kan også brukes for å tilpasse seg

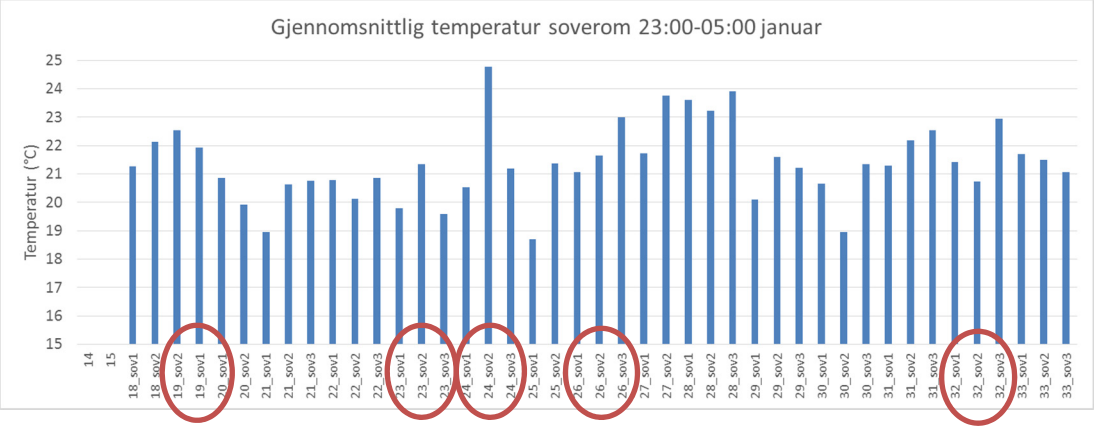
innetemperaturen. I intervjuene kom det fram at tøfler og varm bekledning ofte forbindes med gamle boliger.

> *Vi liker å ha det varmt. Kunne hatt det en grad kaldere, men da må vi ha på ekstra genser.*

Påkledning som mulighet for temperaturregulering virker ikke å være like naturlig som tidligere. Flere beboere kommenterer at de ønsker å gå i t-skjorte året rundt. Temperaturen under oppvarmingssesongen skal holde et nivå som tilsier at det er mulig. Når det ikke skjer, kan man oppleve at boligen ikke oppfyller sitt løfte:

> *I mine øyne innebærer komfort god standard, planløsning for å trives, og viktig er også å kunne sitte inne i t-skjorte på vinterhalvåret. Det var litt skuffende her siden det ikke ble varmt nok. Ønsker minst 22 på stua. Det må vel gå an i nye boliger?*

*Eksempel, temperatur på soverommet*
Litt under halvparten av de intervjuede beboerne opplyser at de lufter på soverommet om natta. Grunnen er at de ønsker å senke temperaturen. Figur 45 viser nattetemperatur i PH 5 i januar.




*Figur 45. Målt gjennomsnittstemperatur på soverom på nattestid (kl. 23–05) i januar i PH 5. I boligene som er markert med rød ring, er det også utført intervjuer.*

Temperaturen varierer til dels sterkt mellom soverommene i samme bolig. Det kan tyde på at ikke alle er brukt som soverom eller at beboerne ønsker ulik temperatur. Videre har beboerne rapportert temperaturforskjeller mellom etasjene (tre etasjer). Vi har informasjon om opplevelse av soveromtemperatur fra beboere i bolig 23 og 32.

Beboerne i bolig 23 synes det er (for) varmt året rundt. De pleier å justere innetemperatur med vinduslufting – "vi lufter mye" – og de ønsker frisk uteluft på soverommet. På to av soverommene holder de en temperatur under 20 grader på nattestid.

Beboerne i bolig 32 sier at:

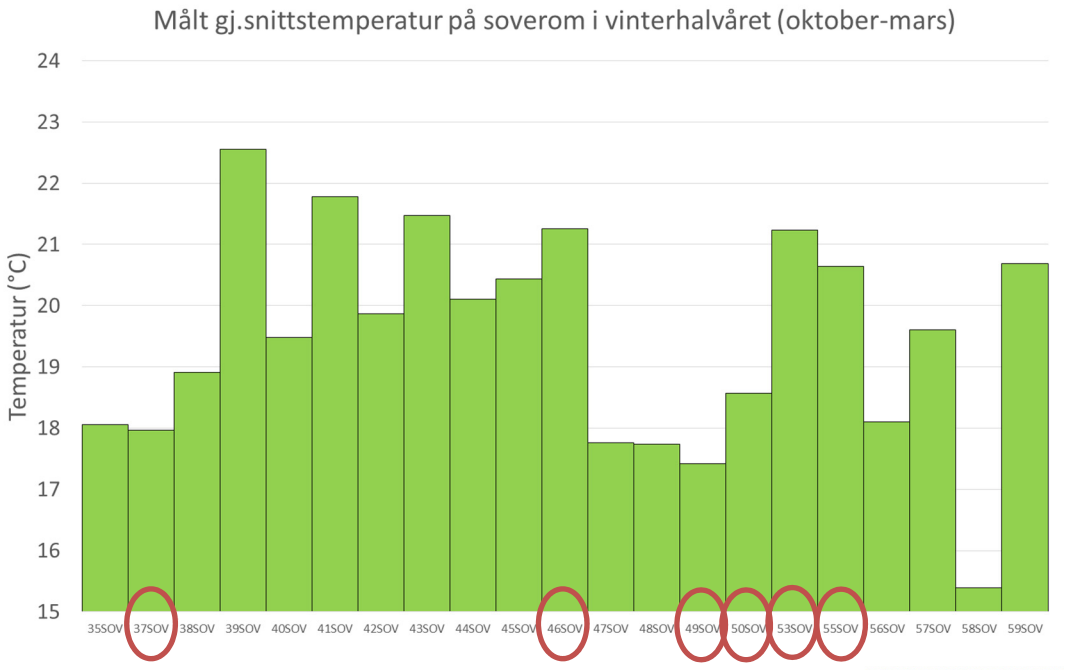
> *Temperaturen blir ikke perfekt i alle etasjer. I øverste etasje blir det litt varmt, nede i 1. etasje litt kaldt, og greit i midten. Vi sover ikke lenger i overetasjen, da det ble for varmt på sommeren.*

Målingene viser høyest temperatur, 23 grader, på soverom 3 i bolig 32 og lavest temperatur på soverom 2, i underkant av 21 grader.

De andre boligene (19, 24 og 26) har hatt problemer med kald innetemperatur første vinteren (2014–15). Det ble gjennomført utbedringer av feil i systemet, og beboerne sier i intervjuene som ble gjennomført i september/oktober, at det var fornøyde nå. Noen var likevel spent på

temperaturen neste vinter, da målingene våre er gjennomført (2015–16). Som målingene fra januar 2016 viser, er innetemperaturen på samme nivå som de andre boligene, det vil si mellom 19–24 grader på nattestid. Hvis man plukker ut de soverommene som har lavest temperatur per bolig, kan man gå ut ifra at beboerne sover i rom med temperatur mellom 19–22 grader. Unntaket er bolig 28, hvor alle soverom holder en temperatur over 23 grader. Fra denne enheten har vi dessverre ingen beboerintervjuer.

Figur 46 viser gjennomsnittstemperaturen målt i PH 6, og så to boliger i PH 6 hvor det ble gjennomført mer detaljerte målinger av innetemperatur.




*Figur 46. Målt gjennomsnittstemperatur på soverom i vinterhalvåret for PH 6. I boligene som er markert med rød ring, er det også utført intervjuer.*

Beboerne i bolig 37, 49, 53 (og 51, se figur 48 med målinger over to uker for bolig 51) er de intervjuede som har vinduet på soverommet åpent om natta eller døgnet rundt også om vinteren (49 og 51). Boligene som har vinduet åpent om natta eller døgnet rundt, har med unntak av bolig 53 gjennomsnittlig lavere temperatur enn de boligene hvor beboerne ikke åpner vinduet om natta (bolig 46 og 55). Vi kan anta at de andre enhetene som ikke er intervjuet og som viser lavere gjennomsnittstemperatur, også åpner vinduet på soverommet om natta eller døgnet rundt.

Beboeren i bolig 46 opplever "soverom som varmt året rundt, men åpner ikke vinduet regelmessig. Bolig 55:

> *Jeg liker å ha det like varmt i alle rom. Det var det jeg ventet meg her, det er komfort. Soverommet er unntak, der vil jeg ha det kaldest mulig. Der har jeg igjen døra og lufter før jeg legger meg. Men det er over 20 grader på soverommet, varmt, det er jeg ikke vant til. Litt bråk utendørs, så best å lukke vindu. Har ikke dundyna lenger. Før var det godt med veldig kaldt soverom, nå har jeg nesten blitt vant til et varmere soverom. Jeg er litt usikker om man burde åpne vinduet på soverommet? Hvis du skal ligge med vindu åpent, så ødelegger man jo varmen på stua på grunn av sprekken under døra? Jeg ønsker å kunne ha bedre styring på temperaturen på soverommet.*

Bolig 53 har ikke lavere gjennomsnittstemperatur til tross for åpent vindu:

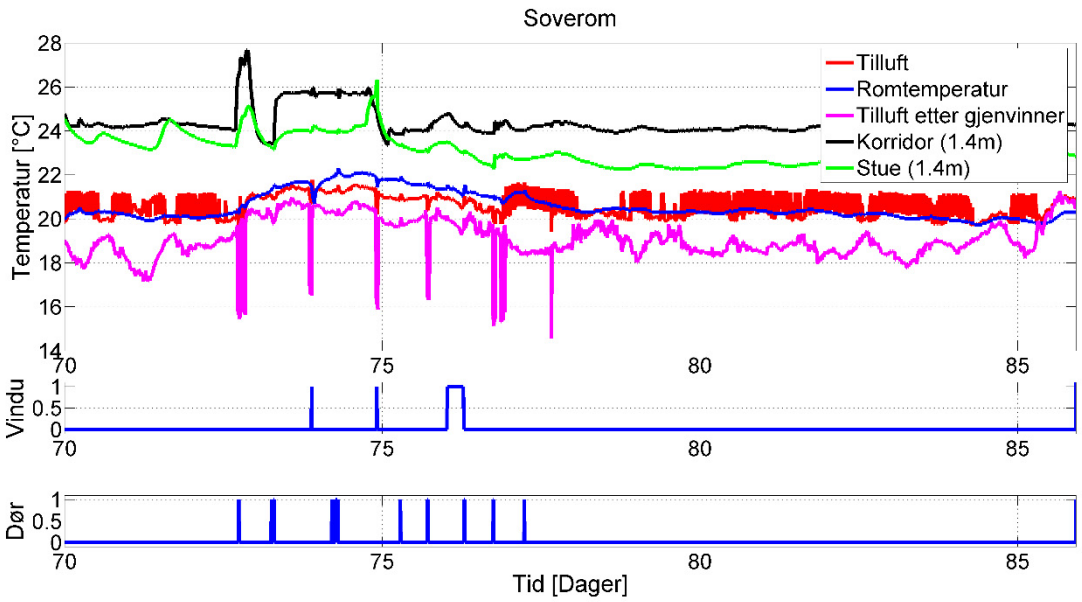
*Luften på soverommet opplever vi som bra, men vi har vinduet oppe om natta for å justere temperatur. Ellers blir det for varmt.*

At bolig 53 holder på relativt høy innetemperatur til tross for åpent vindu, kan henge sammen med tilluftstemperaturen de har innstilt på ventilasjonsanlegget. Dessverre har vi ikke målinger av den. Det neste eksemplet illustrerer sammenheng mellom lufting og innstilt tilluftstemperatur på innetemperatur på soverommet.

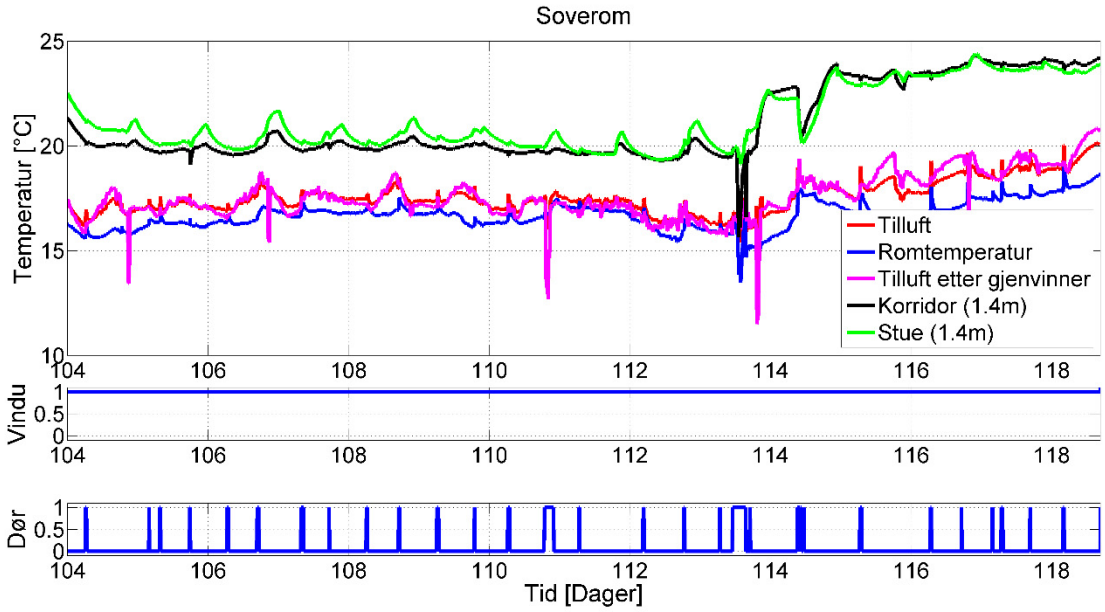
Innstilt tilluftstemperatur på ventilasjonslufta er den samme for hele boligen. Høy tilluftstemperatur kan motvirke et ønske om lavere temperatur på soverommet, eller motsatt. En beboer forteller at det blir kaldt i stua når hun justerer ned tilluftstemperaturen for ikke å varme opp soverommet for mye. Det er ulik kunnskap om at det er mulig å justere tilluftstemperatur. Noen benytter seg ikke av muligheten, og i ett tilfelle hadde beboeren ikke hørt om at innstillingen kunne endres.

I figur 47 og 48 er det sammenliknet målinger av temperatur i to boliger (bolig 55 og bolig 51) hvor tilluftstemperaturen er ulikt innstilt. I tillegg er det kartlagt vindus- og døråpning til soverommet. Disse detaljerte målingene har blitt gjennomført i Husbankprosjektet "Evaluation of simplified space-heating hydronic systems". Husbankprosjektet og EBLE har studert et fellesprosjekt (PH 6) og delvis delt data (Georges *et al.*, 2016).

I PH 6, bolig 55 (se også figur 27 for gjennomsnittstemperatur) står tilluftstemperaturen på 20 grader. Beboeren sier at vinduer og dører i hovedsak er lukket, noe som bekreftes av målingene. Soveromtemperatur ligger på mellom 20–22 grader, som er en høyere temperatur enn beboeren ønsker seg (ønsker 18–19 grader). Lukket soveromsdør bidrar til å holde temperaturen 2 grader lavere enn i stua. Til tross for at beboeren ønsker lavere temperatur på soverommet, senker hun ikke tilluftstemperaturen på ventilasjonslufta. Tilsvarende atferd ble funnet av Berge, Thomsen og Mathisen (2016a), som har studert andre enheter i det samme prosjektet: "mange beboere kontrollerer ikke tilluftstemperaturen slik at den bidrar til økt termisk komfort på soverommet" (oversatt fra engelsk).




*Figur 47. Bolig 55, PH 6: temperatur i ulike rom, dør- og vinduåpning, temperatur på tilluft etc. over en periode på to uker i februar.*




*Figur 48. Bolig 51, PH 6: Temperatur i ulike rom, dør- og vinduåpning, temperatur på tilluft etc. over en periode på to uker i februar.*

Beboeren i bolig 51 sier:

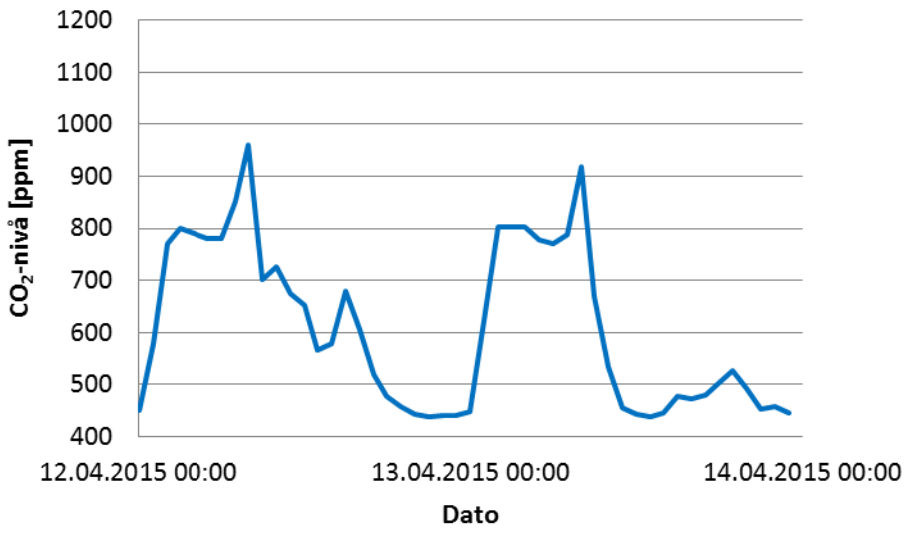
> *Inneluften er generelt god, men på vinteren har han vinduet på soverommet åpent hele tiden for å få ned temperaturen. Døra til gang/stua tar jeg igjen. Det har jeg lært meg nå. Første året sto døra åpen til stua, og da blir det enten varmt på soverommet eller kaldt på stua hvis vinduet på soverommet sto åpent. At vinduet står litt på gløtt, gir en behagelig luft på soverommet.*

Beboerens utsagn i bolig 51, om at vinduet på soverommet står åpent døgnet rundt, bekreftes av målingene (fig. 48). Døra til soverommet er stort sett lukket. Varmegjenvinningen er slått av. Målingene viser at beboeren oppnår 4–5 grader lavere temperatur på soverommet enn i oppholdsrommene. Det antas å være et resultat av kombinert vinduåpning og lav tilluftstemperatur. Beboeren har et ønske om lav temperatur på soverommet, ca. 15 grader, som han oppnår.

***Luftkvalitet***

*Målte $CO_2$-verdier på soverom*

Figur 49 viser målinger for en bolig i PH 2, hvor beboerne opplyser at de sover med lukket vindu om natta. I tillegg skrus ventilasjonsanlegget om natta ned på nivå 1 på grunn av lyd fra aggregatet som er plassert på loft nært soverommet. Målte verdier fra dette soverommet over to døgn viser ingen timer med verdier over 1 000 ppm.



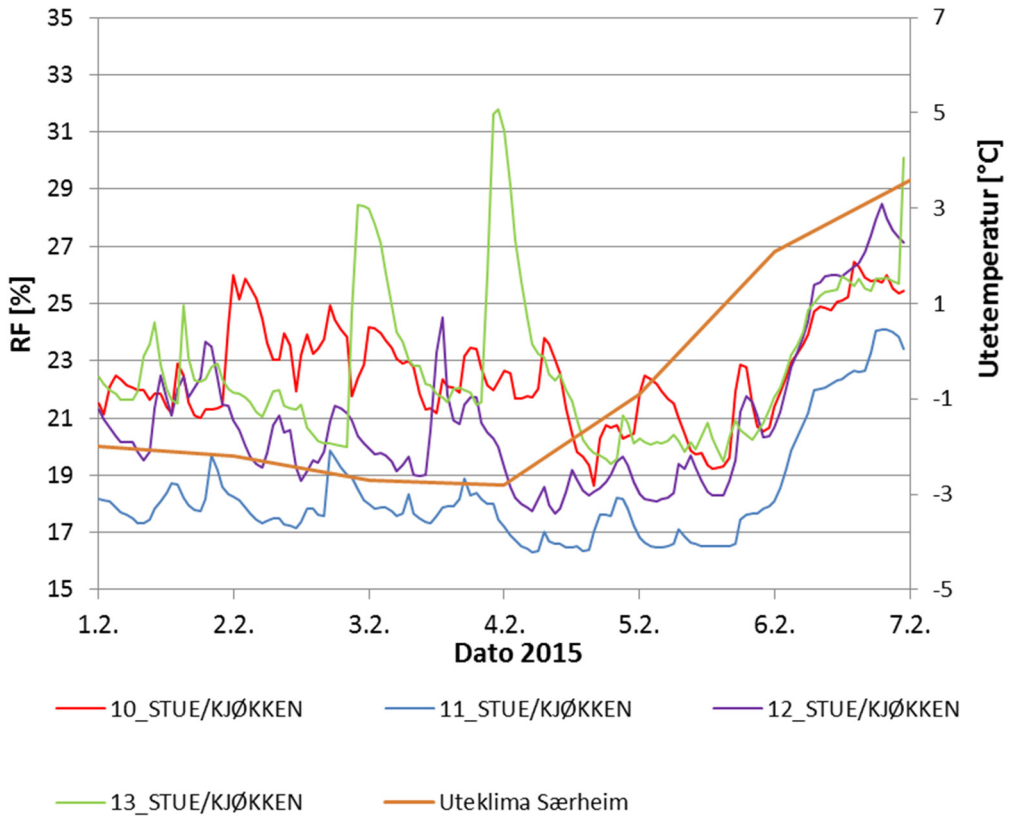

*Figur 49. Målte $CO_2$-verdier på soverommet i en bolig i PH 2 over to døgn. (Beboerne i boligen er to voksne, ett barn.)*

*Relativ luftfuktighet*

Mange informanter opplever ikke relativ luftfuktighet som optimal om vinteren. EBLE-målingene bekrefter i hovedsak beboernes opplevelse av perioder med lav relativ fuktighet om vinteren. Målingene viser også lav fuktighet i noen tilfeller hvor beboerne ikke reagerer på det. Verdier under 20 % relativ fuktighet kan oppleves som for tørr luft ifølge anvisning 421.510 i Byggforskserien (SINTEF Byggforsk, 2016). Lufta utendørs er generelt tørrere om vinteren, og hvis man har høyt luftskifte i huset som ytterligere reduserer fuktigheten i lufta, vil det være lav relativ fuktighet innendørs. Redusert luftskifte om vinteren kan øke den relative luftfuktigheten noe og dermed også komfortopplevelsen (SINTEF Byggforsk, 2016). Dette gjelder ikke bare passivhus, men alle nyere hus med mekanisk ventilasjon. Enkelte beboere har opplevd tørr luft i tidligere boliger og i den nye boligen:

> *Jeg opplever tørr luft om vinteren og får tørr og irritert hud. Mannen min opplever ikke de samme plagene med huden, men begge opplever tørr hals. Vi vil også presisere at luften var tilsvarende tørr i den forrige boligen vi bodde i, som var oppført i 2009 og også hadde mekanisk ventilasjon.*

Figur 50 viser målinger for PH 3 hvor beboerne i bolig 11 opplever tørr luft. Målingene viser relativ fuktighet i innelufta i stue / på kjøkken i en kald periode. Døgngjennomsnittlig temperatur i perioden varierte fra -3 til +3,5 °C. Diagrammet viser at relativ fuktighet varierer noe over døgnet, samt fra bolig til bolig. Gjennomgående viser imidlertid resultatene tørr inneluft i perioden. Bolig 11 har den laveste relative fuktigheten (16–20 %).

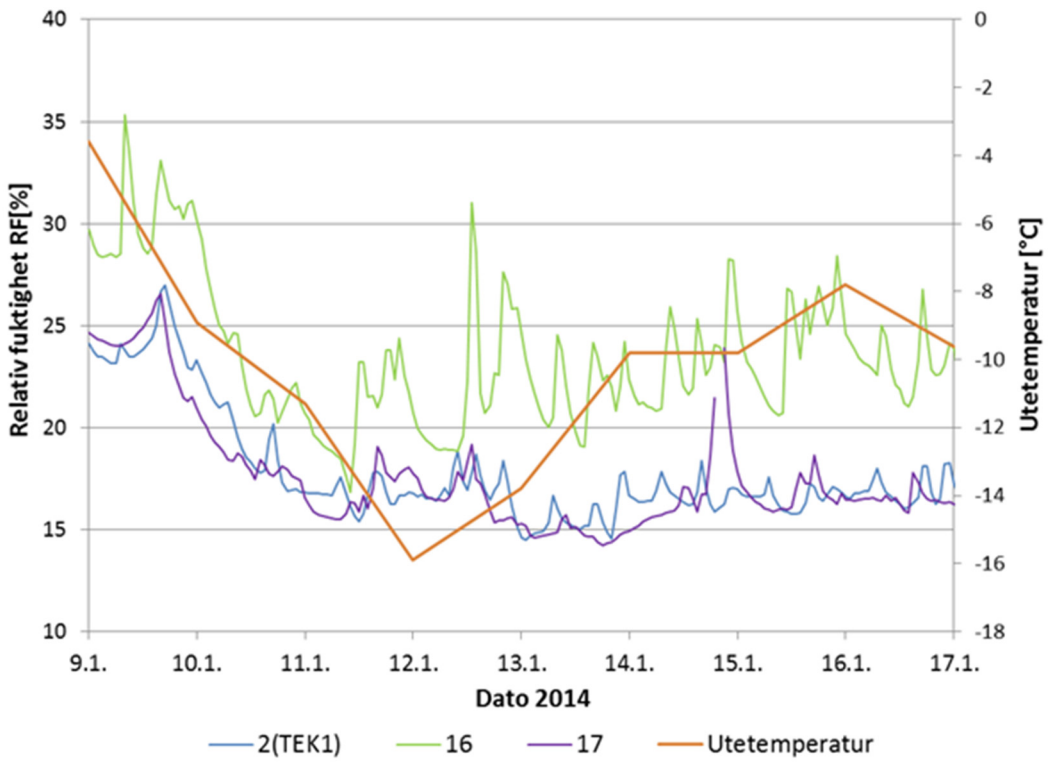



*Figur 50. Målt RF i fire passivhusboliger i PH 3 over en uke i februar. Målt utetemperatur (værstasjon).*

Figur 51 viser målinger av relativ fukt i to boliger i PH 4 og én bolig i TEK10-prosjektet TEK 1 i en periode om vinteren. Utetemperaturen i perioden ligger i området mellom -5 og -16 °C, noe som medfører at utelufta har et lavt fuktinnhold. Beboeren i passivhusbolig 17 sier at:

> *Generelt opplever jeg luftkvaliteten i huset som god. På vinteren oppleves imidlertid luften som for tørr.*

Dette bekreftes av målingen, som viser en RF på 15–20 % for passivhusbolig 17. Samtidig viser målingene at RF-forløpet for TEK-boligen TEK 2 er parallelt med forløpet til passivhusboligen. Passivhusbolig 16 har i hovedsak verdier mellom 20–30 % RF.




*Figur 51. Målt RF i to passivhusboliger i PH 4 og én TEK-10 bolig i TEK 1 over en uke i januar. Målt utetemperatur (værstasjon).*

***Bruk, valgmuligheter og informasjon***

Temperaturen justeres av alle beboere gjennom valgmulighetene de ulike systemene tilbyr. Valgmulighetene for temperaturjustering er definert enten i trinn eller grad Celsius. Det er flere som har valgt display som viser °C istedenfor trinn (PH 2). Det oppleves som enklere og mer visuelt å koble innstilling til temperatur. Det hjelper også å "korrigere" opplevelse til en viss grad:

> *Vi har valgt å ha temperaturstyring med display som viser grader, ikke bare trinn. Da er det lettere å justere temperaturen. Og så ser man at det faktisk er ganske varmt, selv om man en dag tror at det er kaldt, avhengig av dagsform og bekledning (PH 2).*

I tillegg bruker flere beboere tilluftstemperatur på ventilasjonslufta til oppvarming av oppholdsrom. Få har forsøkt å justere innstillingene for å senke temperatur på soverommet. Spesielt tydelig vises det i PH 3, som har lagt det inn i oppvarmingskonseptet. I de andre prosjektene er det noen som bruker det aktivt, mens andre ikke har hørt om at temperaturen på tilluftsvarme kan innstilles før de snakker med oss (TEK 2).

> *Jeg har lært meg et par ting med fjernkontrollen til ventilasjonsanlegget, men kjenner ikke behov for å kunne alt (...). Vi har ikke mye å sammenlikne med, men vi er enige om at det er genialt å kunne regulere varme med et ventilasjonsanlegg (TEK 2).*

> *Jeg kan ikke huske å ha fått informasjon om at man kan endre tilluftstemperatur på ventilasjonsanlegget (TEK 2).*

Det kommenteres også at tilgjengeligheten til å justere tilluftstemperaturen noen ganger ikke oppleves som spesielt brukervennlig:

*Man kan sette ventilasjonsanlegget for å produsere varmluft, da må man bruke en skrutrekker og bruke knapper med "rare symboler". Informasjonspermen om ventilasjonsanlegget er tjukk og tunglest.*

Lufttilførselen justeres gjennomgående med tre trinn (lav, normalt, høy/maks). Det virker som om det er enkelt nok å forholde seg til. Flere bruker aldri trinn 3, enten fordi de ikke kjenner behov eller på grunn av lydnivået. Det er ulik praksis og hyppighet. Vanligst er å bruke normalinnstillingen, trinn 2. Noen bruker kun trinn 1 (enslige).

Justering av temperatur som ikke er knyttet til ventilasjons- og oppvarmingssystem, skjer gjennom å åpne og lukke dører og vinduer. Døra til soverom brukes ofte aktivt for å regulere temperaturen. På soverommet er det ønskelig å ha det kaldere. Vinduer brukes aktivt for å oppnå lavere temperaturer, spesielt på soverommet.

Ellers differensieres det ikke mellom ulike oppholdssoner, fordi man der ønsker en gjennomgående komfortabel temperatur. I tillegg har mange boliger relativt åpne planløsninger som gjør det vanskelig å stenge av soner.

Teknisk utstyr bidrar også til oppvarming. I noen tilfeller sier beboerne at det kan være kjølig i en etasje, men når man tar rommene i bruk, for eksempel ser på TV med flere personer, varmes det fort opp (PH 2).

## Byggeteknikk- og prosess

**Forskningsspørsmål:**

- Hvilke byggetekniske utfordringer opplever utbyggerne ved bygging av passivhus?
- Hvordan erverver bedriften kunnskap om PH?

For å få svar på forskningsspørsmålene har følgende nøkkelpersoner fra byggeprosessen i passivhusprosjektene blitt intervjuet om sine erfaringer:

| | **Nøkkelpersoner** |
|---|---|
| PH 1 | Teknisk sjef, byggeleder, to arkitekter, bas/formann byggeplass |
| PH 2 | Teknisk leder, prosjektutvikler, byggeleder, formann byggeplass |
| PH 3 | Teknisk sjef, prosjektleder |
| PH 4 | Daglig leder, byggeleder |
| PH 5 | Prosjektleder, anleggslederassistent |
| PH 6 | Prosjektleder, assisterende prosjektleder utførende |
| PH 7 | Prosjektleder, arkitekt, rådgivende ing. vvs |

Spørsmålene omhandlet opplevelse og håndtering av de byggetekniske utfordringene. Alle intervjupartnere ble også spurt om hvordan de ervervet kunnskap om passivhusbygging. Utfordringer generelt og utfordringer knyttet til passivhusnivå er andre temaer som ble belyst i intervjuene. Tabell 1–7 angir gulv-, vegg- og takoppbygning i de ulike prosjektene.

**Sammendrag*:**

- Valg av oppvarmingssystem var noe de fleste utbyggerne anså som en utfordring. Godt dokumenterte løsninger ble opplevd som en mangel.
- Tetthetskrav opplevdes som utfordringer av flere utbyggere. Tetthetskrav ble oppnådd gjennom skarpere fokus på kvalitet og kontroll.
- Flere prosjekter mangler dokumentasjon på normalisert kuldebroverdi.
- Krav om kvalitetssikring har økt med høyere energikrav. Det gjelder detalj-utførelse, trykktesting, fuktkontroll, og teiping. Kravet blir vurdert å ha bidratt til å øke kvalitet i utførelsen av bygget generelt.
- Konstruksjonstype ble i hovedsak valgt ut fra et ønske om å minimere isolasjons-tykkelsen.
- Generelt var det i oppstarten av prosjektene (mellom 2011 og 2014) behov for mer informasjon om passivhusløsninger.
- Økt tidsbruk og kostnader knyttes til større usikkerhet, dyrere vinduer, tykkere vegger med mer materialer, økt monteringstid. Tidsbruk og kostnader går noe ned ved innarbeidede prosesser.
- Ressurspersoner, kurs, intern opplæring og pilotprosjekter ble nevnt som de viktigste kunnskapskildene.

* Utvalget er ikke stort nok til å representere et statistisk utvalg. Dette er likevel den mest omfattende studien som er gjennomført i Norge på denne tematikken.

***Tetthet***

Høye krav til tetthet og etterprøving av oppnådd tetthet er spesielt for passivhus. De fleste informantene trekker fram tetthetskrav som noe de anså som vanskelig å løse før byggestart. Tetthet ble imidlertid funnet å være oppnåelig i byggeprosjektene, og målingen dokumenterer dette. Tetthetskrav medfører et skarpere fokus på gjennomføring av detaljløsninger og teiping. Skjerpet egenkontroll er trukket fram som suksesskriteriet for å tilfredsstille krav. Andre fag som kommer inn etter at klimaskallet er bygd, som elektriker og rørlegger, må også ha kunnskap om at eventuelle gjennomføringer må tettes. Noen sier at ikke "alle fag er på samme

kunnskapsnivå" hva angår krav til å opprettholde tettheten. Informantene er enige i at skjerpet egenkontroll for å oppnå tetthetskrav også har bidratt til å øke kvalitet i utførelsen av bygget generelt og kan bidra til å unngå andre byggefeil.

***Kuldebrokrav***
Utbyggerne anser kuldebrokravene i NS 3700 som strenge, og de er strengere enn kravene i TEK10. Dessverre ble det ikke dokumentert av utbyggerne om de valgte løsningene holder mål i forhold til krav. Kontrollberegninger forfatterne har gjennomført, tyder på at kuldebrokravet i henhold til passivhusstandard ikke oppnås i flere av prosjektene. Det skyldes for eksempel kuldebroer ved vindusinnsetting og skorstein, noe som bekreftes i tidligere studier (Gullbrekken, Kvande og Roald, 2012).

***Byggfukt***
Byggfukt er et annet område som informantene har skjerpet fokus på, som en følge av kunnskapen om at uttørkingstid øker med økt isolasjonstykkelse (Geving og Holme, 2010). Informantene måler trefuktnivå før dampsperre monteres. Det at byggfukt kontrolleres er likevel ikke et nytt tiltak, men en prosedyre som også utføres i bygg etter TEK10. I avsnittet om trefukt går vi nærmere inn på resultater av målinger.

***Økt tidsbruk og kostnader***
I alle intervjuer rapporterer informantene om økt tidsbruk og kostnader ved bygging av passivhus sammenliknet med tilsvarende TEK10-hus. Kostnadsdrivere kontra TEK10 oppsummeres som summen av små ting: flere møter og større usikkerhet rundt valg av nye løsninger for bedriftene, litt dyrere vinduer og tykkere vegger med mer materialer og lengre monteringstid. Også valg av det tekniske anlegget er en variabel for kostnader. Videre ble det påpekt at timebruken senkes noe når prosessene er innarbeidet.

Noen informanter har forsøkt å uttrykke erfaringsbaserte merkostnader i tall og prosent. Én informant estimerer at tømrerarbeidene i passivhus tok ca. 90 timer mer enn for TEK10-hus, og grunnmurarbeidene ca. 25 timer. En annen informant anslår 6–7 % høyere kostnader for bygging av et passivhus enn for et tilsvarende TEK10-hus. Den største ekstrakostnaden er tidsbruken. Se også kostnadsrapporten fra EBLE-prosjektet (Skeie *et al.*, 2016).

***Konstruksjonsløsninger***
I prosjektene er det forsøkt å finne enkle og kostnadseffektive løsninger for vegger med tykke isolasjonssjikt. Det er ingen løsninger som er spesielt utviklet for passivhus, men kjente løsninger som tilpasses til isolasjonstykkelsen. Løsninger som Iso3-stendere, prefabrikkerte ytterveggselementer og -moduler, dobbeltvegger og vegger med I-profil er benyttet i prosjektene. Iso3-stendere er brukt i ulike prosjekter og vurderes som en god løsning, men med for høyt kostnadsnivå. Selv om kvalitet og funksjonalitet vurderes som god, så spiller pris en såpass stor rolle at utbyggerne vurderer å ikke bruke disse løsningene i påfølgende prosjekter.

Dobbeltveggen var for komplisert å bygge og ble byttet ut med en tradisjonell bindingsverksvegg i løpet av prosessen.

Prefabrikkerte løsninger ble valgt på grunn av forutsigbar økonomi og lav risiko for byggfukt. Passivhuselementvegger opplevdes som vanskelige å heise på plass siden de er tykkere og tyngre enn andre vegger.

Neste kapittel, om trefukt, viser at ingen av de valgte løsningene hadde markante fuktproblemer. Resultatene fra fuktmålingene kan tyde på at Iso3- og I-profilløsninger har det mest gunstige uttørkingsforløpet blant de vurderte løsningene.

Når man tar hensyn til blant annet økonomi, fuktmålinger og byggbarhet, er det ikke kommet fram klare nok resultater i prosjektet til å kunne anbefale en bestemt løsning for vegg-konstruksjoner. Løsninger som er kompliserte å bygge, har ikke vist seg fordelaktige sammenliknet med tradisjonelle løsninger med gjennomgående heltre bindingsverk.

***Kvalitet***
God kvalitet krever byggteknisk riktig utførte løsninger, uansett byggeteknisk standard. Det er likevel enighet om at kvaliteten som leveres i passivhusene blir høyere enn i hus bygd etter en eldre og dårligere teknisk standard. Det skyldes som tidligere nevnt egenkontroll opp mot tetthetskrav, fuktmålinger, og fokus på detaljløsninger. Høye krav til tetthet i passivhusstandard medfører en ekstra terskel å forsere. Uavhengig kontroll av lufttetthet er et generelt krav i alle nye boliger.

***Oppvarmingssystemer***
I intervjuene om byggeprosessen kom det tydelig fram at det ikke var de rent konstruksjons-tekniske løsningene som opplevdes som mest utfordrende, men valg av oppvarmingssystem. I alle prosjektene er det valgt ulike løsninger og kombinasjoner. Også innenfor samme prosjekt er det forskjellige løsninger.

Grunnlaget for valg under byggeprosessen var ikke helt tydelig for informantene, og flere brukte mye tid på det. Flere sier at det var mangel på oversikt, dokumentasjon og veiledning for valg av system. "Hvilke oppvarmingssystemer funger godt i passivhus og er mest energibesparende", spør en informant. Etterprøving av løsninger og dokumentasjon framstilt på en enkel og tilgjengelig, uavhengig måte (det vil si ikke fra selger) var etterspurt.

***Kunnskap om passivhus***
Intervjuene tyder på at det på intervjutidspunktet mellom 2012 og 2014 var usikkerhet blant mange aktører i byggebransjen om hva passivhuskravet innebærer av byggetekniske løsninger. Det var variasjon blant intervjupartnerne: Noen hadde god kunnskap og erfaring, mens for andre var EBLE-casene det første passivhusprosjektet de var involvert i. Generelt ble det ytret at det ikke opplevdes som en stor utfordring å sette seg inn krav til passivhus. De deltakende bedriftene hadde i alle tilfeller én til flere ressurspersoner tilgjengelig.

Intervjuene tyder på at opplæring foregår mye internt gjennom ressurspersoner som videreformidler kunnskapen. Det skjer også en del læring gjennom "learning-by-doing" i bygging av pilotprosjekter, søk etter informasjon på internettet og i Byggforskserien. Flere bedrifter har også holdt interne kurs og dratt på befaringer og studieturer.

Bedriftene som deltar i EBLE, kan på mange måter regnes som framtidsrettede bedrifter, og kunnskapsnivået kan antas å være over gjennomsnittet. Det er ikke noen automatikk i at ny kunnskap som noen foretak har ervervet, sprer seg til andre bedrifter.

## Trefukt

**Forskningsspørsmål:**
- Hvordan håndterer de ulike utbyggerne utfordringer med byggfukt under byggeprosessen?
- Hvordan utvikler byggfukt seg over tid i vegg- og takkonstruksjoner?
- Hvilke faktorer påvirker utviklingen av byggfukt?

Data i følgende avsnitt er basert på intervjumateriale fra nøkkelpersoner i byggeprosessen om håndtering av fukt i byggeprosessen (utførende/utbyggere) og måledata av byggfukt/trefukt over tid. Målinger av byggfukt blir også vurdert i sammenheng med type konstruksjonsløsning. Sju av prosjektene er bygd på tradisjonell måte, i ett prosjekt er det brukt moduler og i ett prosjekt er det brukt veggelementer. Seks av de prosjektene som er plassbygd, er instrumentert sammen med prosjektet med veggelementer. Prosjektet med moduler var bygd med bygningsmaterialer av stål istedenfor tre og var derfor ikke interessant. Prosjektene som er plassbygd, er spesielt utsatt for fuktpåvirkning over lengre tid inntil konstruksjonene er lukket på utvendig side. Modul- og elementbyggeriet er utsatt for værpåvirkning i kortere perioder under monteringsfasen.

Sammendrag:
- Utbyggerne har fuktsikring som et av kvalitetssikringsområdene. Det ble i alle caser målt trefukt før lukking av veggen. I noen tilfeller ble det målt høyere verdier i prosjektet enn det utbyggerne har målt selv. Det kan henge sammen med måleutstyr og hvor det er målt.
- Utbyggerne vurderer bygging under tak som ikke lønnsomt og noen ganger ikke egnet fordi det kan være værutsatt.
- Utbyggerne setter av tid til uttørking i framdriftsplanen og til at det ved behov brukes avfukter.
- Målingene av trefuktighet i passivhusprosjektene viser at passivhuskonstruksjoner kan bygges etter kjente prinsipper, dokumentert for eksempel i Byggforskserien 523.255 Bindingsverk av tre. Varmeisolering og tetting.
- Det meste av byggfukten tørker ut i løpet av den første uttørkingsperioden.
- Bunnsvillen er typisk den mest kritiske plasseringen, særlig ved dobbel bunnsvill og plassering ned mot betong.

### Intervjuer om fukthåndtering

***Generelt***

Ingen av intervjupartnere i de evaluerte prosjektene har bygd under telt. Det begrunnes med høye kostnader og delvis vindutsatte tomter. Generelt er det heller ikke ansett som nødvendig å bygge under tak når man er seg bevisst fukthåndteringen i byggeprosessen. Flere sier at de satser på rask tetting av bygningskroppen, og at de prøver å utnytte perioder med fint vær så langt som mulig. Det er vanlig å sette av tid til uttørking i framdriftsplanen (ca. to uker). Hvis det er behov for ytterligere uttørking før dampsperra monteres, brukes det avfukter. Det påpekes også av intervjupartnerne at håndtering av byggfukt ikke er noe nytt kontrollområde som oppsto i forbindelse med passivhusbygging, men at det er et viktig kvalitetssikringsområde som man har vært bevisst på lenge. Fuktproblemer kan oppstå i alle byggeprosesser, men jo tykkere isolasjon, desto lengre tid tar tørkeprosessen og jo viktigere er det å sikre tilstrekkelig uttørking før bygget tettes (Geving og Holme, 2010).

Alle utfører måling av fuktprosent i treverket før isolasjon og lukking av veggen med dampsperre. Hvis det er for høye verdier (20 vektprosent eller over), settes det i gang tiltak.

Verdiene som intervjupartnerne målte selv i de ulike prosjektene, varierer mellom 13–19 vektprosent.

Utbyggerne har hatt fokus på byggfukt, uttørking og måling av fuktprosent før veggene ble lukket. Alle setter av noe tid til uttørking. I et presset marked er det vanskelig å bare bygge i tørre perioder, selv om det foretrekkes.

***Vurderingskriterier for trefuktmålinger***
I trevirke vil det alltid være et visst vanninnhold. Fuktigheten er definert som vekt vann i forhold til vekt tørt trevirke.

Trevirke innstiller seg på en bestemt fuktighet avhengig av relativ fuktighet og temperatur i omgivende luft. Dette trefuktnivået blir kalt trevirkets likevektsfuktighet.

Sopp fører til misfarging og i verste fall nedbryting av trevirke hvis forholdene ligger til rette for det. Sopper som kan angripe trevirke, kan klassifiseres i tre grupper: muggsopper, blåvedsopper og råtesopper. Felles for alle sopper er at de krever visse betingelser for å utvikle seg og vokse. For å begynne å vokse trenger soppene gunstige forhold for vann, tid, næring, temperatur og oksygennivå. Størst fare for soppangrep er det når temperaturen er omkring 30 °C og trefuktigheten er 30–40 %. Trevirke i bygg vil vanligvis ha en temperatur mellom -10 og 25 °C. I praksis vil det være liten fare for soppangrep dersom trefuktigheten i trevirket holdes under 20 vektprosent (Tronstad, 2006).

Undersøkelser gjort av Viitanen (1997) viser at for at muggvekst skal starte på trevirke, må den relative fuktigheten være høyere enn 80 % (det vil si ca. 20 vektprosent ved 20 °C) i ca. fem måneder ved 20 °C. Dersom RF heves til 90 % ved samme temperatur, er en eksponeringstid på fire uker tilstrekkelig for å starte muggvekst. Ved å senke temperaturen til 5 °C må RF økes til 95 % for å få vekst etter fire uker. På bakgrunn av undersøkelsene til Viitanen (1997) og informasjon i Byggforskserien er følgende konservative kriterier for oppstart av muggvekst brukt ved vurdering av resultatene:

- Trefuktnivå (minimum 20 vektprosent)
- Periode for oppfukting (minimum fire uker)
- Temperatur (minimum 5 °C)

Kriteriene vurderes som konservative.

Trefuktmålingene viser resultater fra utvalgte deler av konstruksjonen. Loggerne er plassert i posisjoner som antas å være kritiske med tanke på fuktnivå. Likevel er det kun små andeler av de totale konstruksjonene som er instrumentert. Tabell 16 angir veggoppbygning i de ulike prosjektene. Tabell 17 angir takoppbygning i de ulike prosjektene.

*Tabell 16. Beskrivelse av veggoppbygning i de ulike prosjektene.*

| **Vegg-konstruksjon** | **Prosjekt** | **Oppbygning** | **U-verdi W/(m²K)** | **Sd-verdi vindsperre (m)** | **Sd-verdi dampsperre (m)** |
|---|---|---|---|---|---|
| I-profil | PH 1 | 300 mm I-profil + 48 mm påfôring, enkel bunnsvill | 0,12 | 0,22 | 70 |
| Iso 3 | PH 2 | 200 mm Iso3 + 48 mm påfôring, enkel bunnsvill | 0,15 | 0,13 | 70 |
| Iso 3 | PH 3 | 200 mm Iso3 + 48 mm påfôring, dobbel bunnsvill | 0,15 | 0,13 | 70 |
| Dobbeltvegg | PH 4 | 400 mm isolasjons-tykkelse, 36 mm x 98 mm indre, 36 mm x 148 mm utvendig, enkel bunnsvill | 0,10 | 0,25 | 70 |
| Laminerte stendere | PH 5 | 48 mm x 300 mm bindingsverk + 48 mm påfôring, dobbel bunnsvill | 0,13 | 0,13 | 70 |
| Dobbeltvegg | PH 7 | 300 mm isolasjons-tykkelse, 48 mm x 98 mm ytre vange, 36 mm x 98 mm indre vange, enkel bunnsvill | 0,15 | 0,22 | 70 |
| Heltre | TEK 1 | 36 mm x 198 mm heltre + 48 mm påfôring, enkel bunnsvill | 0,17 | 0,22 | 70 |

*Tabell 17. Beskrivelse av takoppbygning i de ulike prosjektene.*

| Tak<br><br>Konstruksjon | Prosjekt | Oppbygning | U-verdi<br><br>W/(m²K) | Sd-verdi vindsperre (m) | Sd-verdi dampsperre (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| Kaldt, uluftet loft | PH 3 | 500 mm isolasjon | 0,08 | 0,23 | 70 |
| | PH 4 | 500 mm isolasjon | 0,08 | 0,25 | 70 |
| | PH 7 | 400 mm isolasjon | 0,10 | 0,23 | 70 |
| Sperretak | PH 1 | 400 mm I-profiler | 0,10 | 0,23 | 70 |
| | PH 2 | 400 mm I-profiler | 0,10 | 0,23 | 70 |
| | PH 5 | 400 mm heltre sperrer | 0,10 | 0,05 | 70 |

## Resultater fra trefuktmålingene

### *Generelle funn*

Konstruksjoner med mer treverk, som heltrevegger eller vegger med tykkere bindingsverk og dermed mer isolasjon, inneholder mer byggfukt som skal tørkes ut. Geving og Holme (2010) gjennomførte beregninger og laboratorieforsøk for å undersøke om risikoen for fuktskader øker med økende isolasjonstykkelse. Konklusjonen fra rapporten er at risikoen for fuktskader og muggvekst øker noe, men at dette i de fleste tilfeller lett kan motvirkes ved riktige material- og konstruksjonsvalg. Spesielle tiltak i forbindelse med bindingsverksvegger ble vurdert som unødvendig. Både beregninger og laboratoriemålinger viste imidlertid økt uttørkingstid ved høye trefuktnivåer ved lukking av veggen.

De fleste av prosjektene har begrenset isolasjonstykkelse (rundt 250 mm) på kald side av dampsperra. Prosjektene i EBLE representerer dermed ikke noen "worst-case" hva angår isolasjonstykkelse. PH 4 og PH 5 er prosjektene med tykkest isolasjonstykkelse og mest treverk i ytterveggen. I PH 4 er det benyttet en yttervegg med en total isolasjonstykkelse på 400 mm. Veggen er bygd opp som en dobbeltvegg med 150 mm kontinuerlig isolasjon mellom en bindingsverksramme på 148 mm og en bindingsverksramme på 98 mm tykkelse. Mengden treverk i veggen tilsvarer en veggtykkelse på 250 mm. Resultatene av målingene for PH 4 viste trefuktighetsnivå mellom 20 og 25 % ved montering av loggerne og ved montering av isolasjon og dampsperre. Veggen ble lukket og isolert i starten av mars. I løpet av april har trefuktigheten i de målte punktene sunket til under 20 vektprosent. I PH 5 er det benyttet heltre laminerte stendere med en dimensjon på 48 mm x 300 mm. Trefuktnivået ved isolering og montering av dampsperre er 15–25 % i de ulike veggene. Trefuktigheten synker utover våren og sommeren, men øker til over 20 vektprosent påfølgende vinter. I perioder med kritiske trefuktnivåer er imidlertid temperaturen så lav at faren for muggvekst er liten. Stendere av heltre inneholder mer treverk og dermed potensielt mer byggfukt enn andre stendere som I-stender eller Iso-3.

Resultatene indikerer at økende isolasjonstykkelse og dermed økt mengde treverk gir mer byggfukt og kaldere ytre del av veggen, som igjen fører til lengre uttørkingstid. Det er også i samsvar med tidligere erfaringer, se for eksempel Geving og Holme (2010). Generelt viser resultatene at mesteparten av byggfukten tørker ut i løpet av den første uttørkingsperioden (vår og sommer) etter lukking av veggen. Spesielle tiltak er vurdert som unødvendig. For flere resultater, se vedlegg 3.

### *Klima*

Ifølge Gullbrekken et al. (2015) gir kaldere klima generelt mer kritiske forhold med tanke på oppstart av muggvekst i bindingsverksvegger. Ingen av de undersøkte boligene er plassert i et

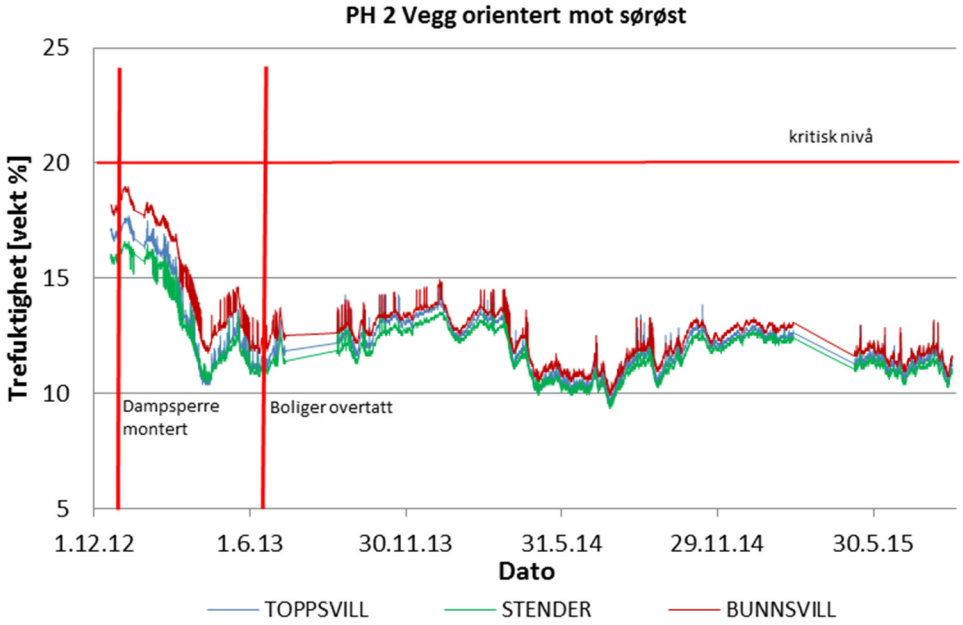
ekstremt kaldt klima. PH 1, 2, 3 er lokalisert på Rossåsen i Sandnes kommune, som har en årsmiddeltemperatur på 7,6 °C (SINTEF Byggforsk, 2012). PH 6 er lokalisert er lokalisert på Skarpnes i Arendal som har en årsmiddeltemperatur på 7,7 °C (SINTEF Byggforsk, 2012). Årsmiddeltemperaturen for PH 4/TEK 1 er 3,1 °C, mens årsmiddeltemperaturen for PH 5 er 6,1°C (SINTEF Byggforsk, 2012). Til sammenlikning er årsmiddeltemperaturen -2,1°C i Kautokeino og Karasjok, som er av de kaldeste stedene i Norge (SINTEF Byggforsk, 2012).

Resultatene tyder på at de ulike tak- og veggkonstruksjonene fungerer godt i de aktuelle klimaene. Ut fra resultatene er det ikke mulig å vurdere om ett klima er mer gunstig enn et annet klima. I tillegg vil blant annet ulike valg av konstruksjonsoppbygning, startfuktnivå og sd-verdi på vindsperra virke inn på resultatene og dermed gjøre det vanskelig å sammenlikne de ulike klimaene direkte. For mer informasjon om hvordan, se Gullbrekken *et al.* (2015) og Geving og Holme (2010).

***Tidspunkt for lukking av konstruksjonen***

De ulike prosjektene har blitt isolert og lukket i høst-, vinter-, vår- og sommerperioder. Ved høyt trefuktnivå og dermed mye byggfukt vil uttørkingshastigheten blant annet være avhengig av i hvilken årstid veggen eller taket ble lukket. Geving og Holme (2010) har vist at sommersituasjon gir en lavere uttørkingshastighet enn øvrige årstider. I EBLE har vi ikke hatt mulighet til å styre når veggene ble lukket.

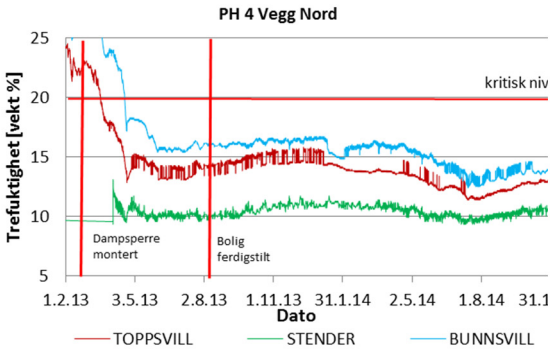
Figur 52 viser typisk utvikling av trefuktighet for de instrumenterte konstruksjonene. Som beskrevet i metodekapitlet, er loggerne plassert ca. 10 mm fra vindsperra på varm side av konstruksjonen. Når veggen blir isolert og dampsperre montert om høsten, vil trefuktigheten på kald side av trekonstruksjonen øke utover vinteren grunnet flere effekter. En effekt er lavere temperatur og høyere RF i utelufta om vinteren. En annen effekt er fukttransport inne i veggen forårsaket av damptrykkforskjeller, diffusjon og naturlig konveksjon som skyldes luftstrømmer internt i veggen på grunn av densitetsforskjeller i lufta. Som figuren viser, avtar nivået for trefuktighet hurtig utover våren når temperaturen øker. Noe av årsaken er at utetemperaturen er høyere og RF i utelufta er lavere. Neste høst og vinter øker trefuktnivået i måleområdet på kald side av vindsperra, igjen på grunn av omfordeling av fukt i veggen. Fuktnivået er nå typisk lavere sammenliknet med den første vinteren fordi en del fukt tørket ut av veggen. Kritiske fuktforhold kan oppstå i løpet av den første høsten, før temperaturen blir for lav, og den første våren, før trefuktigheten synker under den kritiske verdien.



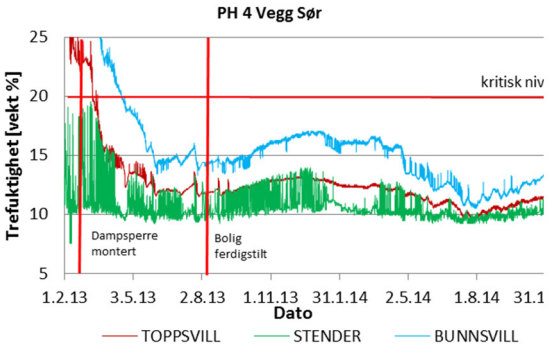

*Figur 52. Typisk utvikling av trefuktighet over året. Høyest trefuktnivå i bunnsvilla. Trefuktigheten minker den første sommeren, før den øker noe mot vinteren igjen.*

***Orientering av vegger og tak***

Fukttekniske beregninger gjennomført av Geving (1995) viser at nordlig orientering av bindingsverksvegger gir konservative verdier sammenliknet med andre orienteringer. Det har sammenheng med at direkte sol på vegger fører til at kledningen, luftespalten bak denne og resten av veggen blir varmet opp. Temperaturen påvirker videre fuktforholdene inne i veggen dersom vi forutsetter at damptrykket er så å si det samme, temperaturen går opp, RF synker og likevektsfuktnivået blir noe lavere. Som vi har angitt i metodekapitlet, er alle orienteringer av ytterveggene i de ulike prosjektene instrumentert. I PH 4 samt TEK 1 er det en tendens til at sørlig orientering av veggen har en lavere trefuktighet enn nordlig orientering. Det er særlig om sommeren at trefuktigheten er lavere for vegger orientert mot sør, noe som kan forklares med at kledningen og veggen for øvrig varmes opp av sola, se figur 53 og 54. I PH 3, PH 4, PH 5 samt TEK 1 er det benyttet en mørk farge på kledningen, noe som medfører en høyere temperatur sammenliknet med en lysere farge. Resultatene bekrefter til en viss grad at sørlig orientering gir lavere trefuktighetsnivå i veggen. Det er sannsynlig at detaljer som farge på kledning har innvirkning på resultatene. Kun i et fåtall av prosjektene stemmer himmelretninger (nord, sør, øst og vest) og fasaderetninger perfekt, noe som medfører at et begrenset utvalg av prosjektene kan vurderes.




*Figur 53. Utvikling av trefukt for vegg orientert mot nord i PH 4*




*Figur 54. Utvikling av trefukt for vegg orientert mot sør i PH 4*

Til sammen er to sperretak og fire kalde, uluftede tak instrumentert, se tabell 15. Resultatene viser ingen entydige forskjeller mellom ulike orienteringer av taksidene. For de kalde, uluftede loftene er all isolasjon plassert mellom og over undergurtene i takstolen. Det fører til forholdsvis ensartede temperatur- og fuktforhold inne på loftsrommet, som vil være på kald side av konstruksjonen. Dermed er det ikke forventet at orienteringen av taket betyr så mye for denne typen konstruksjoner.

Resultatene for konstruksjonene med sperretak gir ikke grunnlag for å vurdere problem-stillingen på grunn av manglende måledata.

***Sperretak / kaldt, uluftet loft***

Tre av takene i undersøkelsen er sperretak, og tre av takene er bygd opp som kalde, uluftede loft. Isolasjonstykkelsen varierer fra 400 til 500 mm. I de fleste prosjektene er sd-verdien på vindsperra 0,23 m og sd-verdien på dampsperra er 70 m.

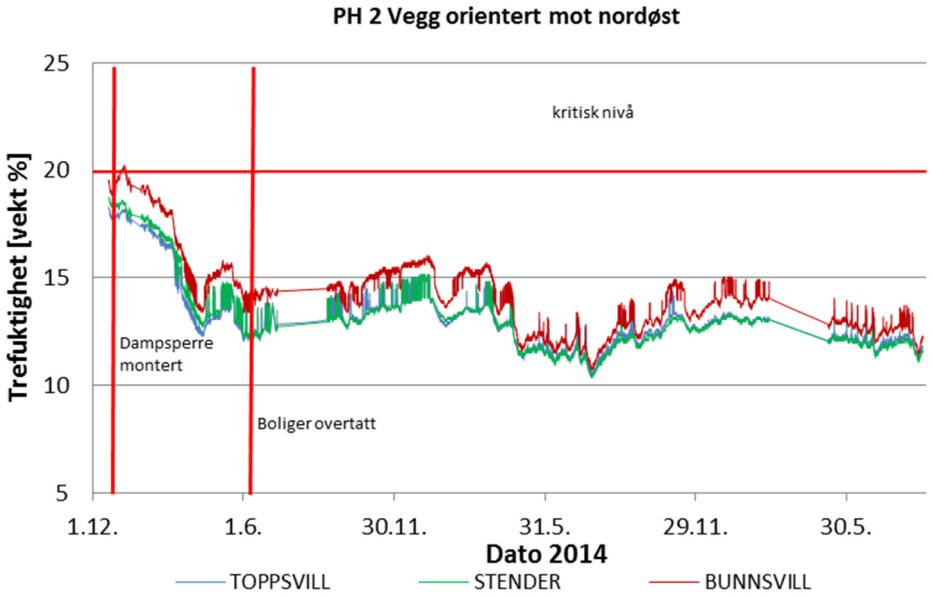
Generelt viser resultatene at både sperretak og kalde, uluftede loft fungerer godt. I enkelte av prosjektene som er lukket på vårparten, er trefuktigheten opp mot 20 %, og i enkelte tilfeller over. Resultatene viser at når temperaturen øker utover våren, synker trefuktigheten raskt, tilsvarende som vist for vegger. Temperaturforholdene for kalde, uluftede loft er mer avhengig av ytre forhold som temperatur og solforhold på taket. Sol og svart taktekning fører til høye temperaturer på loftet om sommeren, som igjen er gunstig for uttørkingshastigheten.

***Trefuktighet ved isolering og montering av dampsperre***
Trefuktnivået ved isolering og montering av dampsperre varierer mellom de ulike prosjektene. I PH 1 er trefuktnivået mellom 10–15 % ved isolering og montering av dampsperre. I dette prosjektet er trefuktigheten lav i hele måleperioden. I PH 4 ble veggene isolert og dampsperre montert ved en trefuktighet på mellom 20–25 %. Veggen ble lukket om vinteren, noe som er gunstig med tanke på uttørkingshastigheten. Etter ca. fire uker er trefukten for vegg mot nord og sør under kritisk nivå. Generelt viser resultatene at mesteparten av trefukten tørker ut i løpet av den første uttørkingsperioden (vår og sommer) etter lukking av veggen. Etter uttørkingsperioden stabiliserer trefuktigheten seg på et ukritisk nivå, med noe omfordeling over året. Ved høyt trefuktnivå vil uttørkingshastigheten være avhengig av hvilken tid på året veggen ble lukket. Ved eventuell lukking om sommeren er uttørkingshastigheten lavere samt at temperaturen er mer gunstig for muggvekst sammenliknet med lukking om vinteren. Byggfukt tørker spesielt raskt om vinteren.

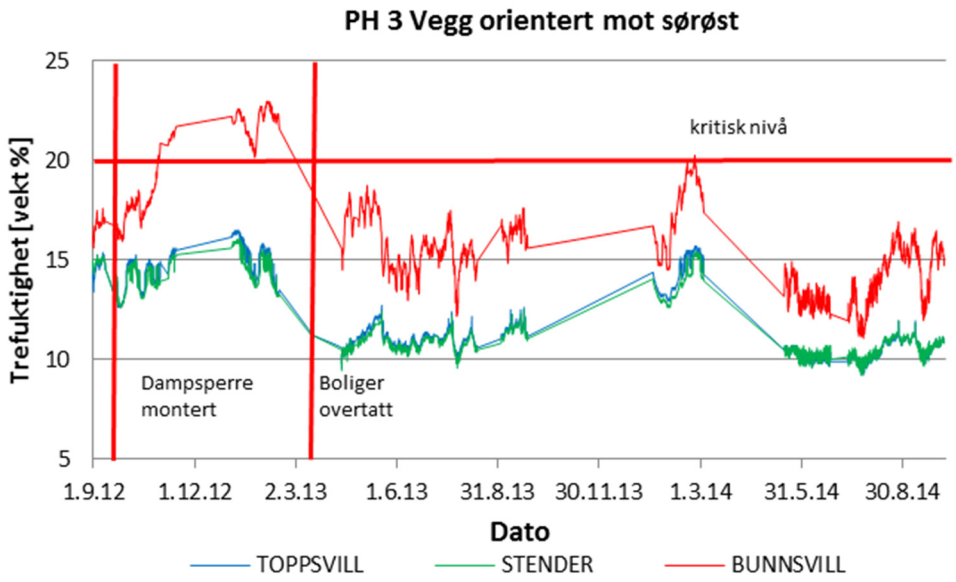
***Bunnsvill versus toppsvill og stender***
Spesielt ved dobbel bunnsvill og der bunnsvilla er plassert ned mot ringmur, se figur 54, viser resultatene at bunnsvilla i veggen er den mest kritiske plasseringen. For øvrige konstruksjoner er det ingen av målepunktene som typisk skiller seg ut. Ved plassering ned mot ringmur vil uttørkingshastigheten begrenses fordi undersiden av svilla kan betraktes som damptett på grunn av damptett svillemembran. I byggefasen er også bunnsvilla mest utsatt for fukt, da vann kan bli stående mot bunnsvilla ved regnvær – før taket og veggene er ferdig vindtettet.

I PH 3 er det benyttet dobbel bunnsvill. Figur 55 og 56 er fra ett prosjekt med hus i to etasjer og hvor begge etasjene er instrumentert. Veggene har samme orientering. Trefuktmålingene for bunnsvilla viser at plassering ned mot betong i 1. etasje er mer kritisk enn plassering ned mot sponplate i 2. etasje. Fuktmåleren er plassert i den øverste bunnsvilla. Det vil si at måleren ikke er plassert i det mest kritiske punktet, som vil være i underkant av den nederste bunnsvilla.

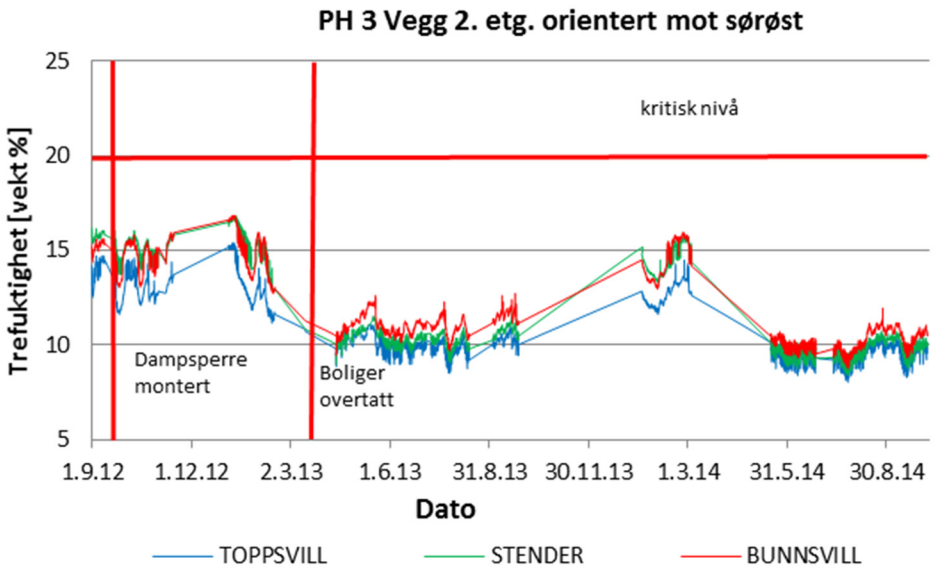
Resultatene fra Geving og Uvsløkk (2010) viste at toppsvilla var den mest kritiske plasseringen. Resultatene fra EBLE viser ikke samme tendens. Det er vanskelig å si noe klart om årsaken til denne forskjellen. En årsak kan være tidspunkt for lukking av veggene, som ikke sammenfaller i de to studiene. Forklaringen på oppfuktingen og omfordelingen av fukt i Geving og Uvsløkk (2010) var naturlig konveksjon inne i isolasjonssjiktet. Bruk av inntrukket dampsperre, som er brukt i alle prosjekter unntatt PH 4, gir mindre temperaturfall over isolasjonen som er plassert mellom bindingsverket. I tillegg er naturlig konveksjon avhengig av temperaturdifferansen og luftpermeabiliteten på isolasjonen. Dette gjør det vanskelig å vurdere effekten av naturlig konveksjon i hvert enkelt prosjekt. Studien i Geving og Uvsløkk (2010) ble gjennomført som et feltforsøk på et testhus hvor en hadde full kontroll på blant annet startfuktighet og fuktfordeling for bindingsverket i veggene. I målingene som er gjennomført i denne studien, har vi ikke hatt full kontroll på fuktfordelingen og dermed det totale fuktinnholdet i veggen, da vi kun har målt enkelte punkter i veggene.




*Figur 55. Utvikling av trefuktnivå for vegg i 1. etasje orientert mot nordøst i PH 2.*




*Figur 56. Utvikling av trefuktnivå for vegg i 1. etasje orientert mot sørøst i PH 3.*




*Figur 57. Utvikling av trefuktnivå for vegg i 2. etasje orientert mot sørøst i PH 3.*

***Passivhus versus TEK10-hus***

Prosjektene PH 4 og TEK 1 er lokalisert i samme område og er bygd i samme periode av samme firma. Trefuktighetsnivået ved installering og lukking av veggen var for TEK10-boligen 20–25 vektprosent. For PH 4 var trefuktnivået ved tilsvarende tidspunkt 15–25 vektprosent. Begge boligene ble isolert og lukket i begynnelsen av mars. Begge prosjektene tørket fort ut i løpet av den første våren og stabiliserte seg på et ukritisk område. Ut fra resultatene er det ikke mulig å se at passivhusveggen tørker raskere/tregere ut enn TEK10-veggen. Passivhusveggen var bygd opp som dobbeltvegg med totalt 400 mm isolasjon og en total bindingsverkstykkelse på 246 mm. Tilsvarende hadde TEK10-veggen 200 mm isolasjon og bindingsverkstykkelse på 198 mm. Både beregninger og laboratorieforsøk har tidligere vist at mer bindingsverk betyr lengre uttørkingstid. Resultatene for dette prosjektet tyder imidlertid på at forskjellen i mengden treverk, og dermed mengden trefukt som skal tørke ut, ikke er stor nok til at vi måler en forskjell i uttørkingshastighet. Undersøkelsene til Geving og Holme (2010) fant imidlertid svært høyt nivå av byggfukt både i beregningene (30 vektprosent) og i målingene (dels over 30 %). Effekten av senere uttørking er reell, men målingene kan tyde på at effekten er mindre ved mer moderate nivåer av byggfukt (for eksempel under 25 vektprosent, og i hvert fall under 20 vektprosent).

Målingene i EBLE bekrefter funnene i Geving og Holme (2010) om at økende isolasjonstykkelse gir økt mengde treverk, mer byggfukt og lengre uttørkingstid. Det ble funnet at tak- og veggkonstruksjonene fungerte godt i de aktuelle klimaene. Det gjaldt både sperretak og kalde, uluftede loft. Bunnsvilla ble funnet å være den mest kritiske konstruksjonsdelen i veggene. Det gjaldt særlig ved dobbel bunnsvill.

## Kostnader (utdrag fra tidligere rapport fra EBLE)

**Forskningsspørsmål:**
- Hvilke merkostnader og besparelser oppstår ved å bygge boliger på passivhusnivå sammenliknet med boliger etter dagens forskriftsstandard?

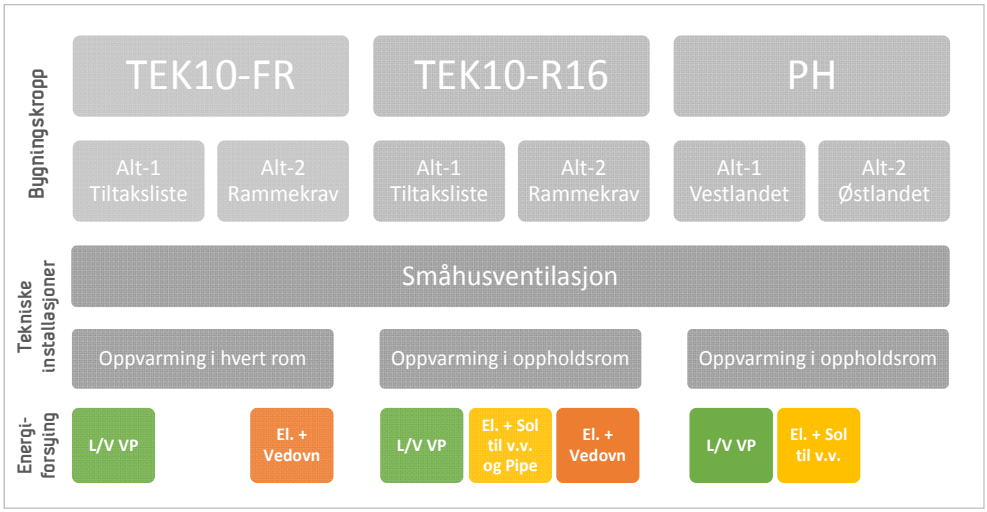
I en tidligere, egen rapport (Skeie *et al.*, 2016) har vi undersøkt hvor mye det koster å bygge én hustype i seks ulike varianter:

- to varianter bygd i tråd med de tidligere energikravene i byggteknisk forskrift (TEK10)
- to varianter bygd etter de nye energikravene i TEK10
- to varianter bygd i tråd med standarden for passivhusboliger (NS 3700)

Boligen som er brukt til kostnadsberegningene, har et oppvarmet bruksareal (BRA) på 130 m$^2$. Dette er en liten, arealeffektiv enebolig hvor ytterflatene er relativt store i forhold til gulvarealet. Et kostnadsgrunnlag er utarbeidet basert på ulike løsninger for bygningskropp og energiforsyning. Bruksarealet er det samme for alle beregningene og gir konstant salgbart areal. Kostnader for ventilasjons- og energiforsyningsløsninger er innhentet fra leverandører.

I TEK10 (før og etter revisjonen i 2016) kan kravet til energieffektivitet tilfredsstilles enten ved bruk av tiltaksmetoden eller rammekravsmetoden. Det reviderte forskriftskapitlet åpner for at kravet til energiforsyning kan nås med skorstein, eller vannbåret varme i stue eller tilsvarende rom. Hvis oppvarmingsbehovet er innenfor kravet i passivhusstandarden, bortfaller kravet til energiforsyning. De ulike kombinasjonene som det er regnet på, er illustrert i figur 58. Hovedforskjellen mellom alternativ 1 og 2 er veggtykkelsen, som er redusert med rammekravsmetoden for å sette sammen mest mulig kostnadseffektive tiltakspakker.

Merkostnadene er vist delt mellom materialer og arbeidskostnader. Antall arbeidstimer som er brukt i kalkylene til oppføring av bygningskroppen, er vist, og hvordan størrelsesforholdet endres med de ulike nivåene.




*Figur 58. Illustrasjon av løsningsalternativer som er vurdert i studien for å oppnå energikravene i TEK 10 før revisjon (TEK10-FR), etter revisjon i 2016 (TEK10-R16) og passivhus etter Norsk Standard 3700 (PH) (Skeie et al., 2016).*

Resultatene viser at de største variasjonene gjelder kostnader for tykkere yttervegger. Merkostnaden for bygningskroppen i eneboligen er beregnet til 1 100–1 500 kr/m$^2$ for

passivhusnivå og til ca. 320 kr/m$^2$ for revidert TEK-nivå dersom man deler den beregnede merkostnaden på gulvarealet (130 m$^2$ BRA). Sammenliknet med andre studier fra de siste fire årene, er merkostnaden for passivhusnivå ca. 100–500 kr/m$^2$ høyere i våre beregninger.

Variasjonene i resultatene kan delvis forklares med ulike forutsetninger. Den beregnede merkostnaden for å bygge denne hustypen etter de reviderte energiforskriftene er i samme størrelsesforhold som i utredningene gjennomført av blant andre Rambøll og Multiconsult for DiBK i perioden 2012–2015.

Det er store variasjoner i innhentede pristilbud på oppvarmingsløsninger. Siden boligen er en arealeffektiv enebolig med tre til fire soverom, vil det være avgjørende for lønnsomheten å dimensjonere varmesystem etter beregnet oppvarmingsbehov og forventet varmtvanns-forbruk. Resultatene viser at forenklet vannbåret system med varmeavgivelse kun i noen rom, kan være besparende.

Et viktig funn er at beregningene viser at oppbygning av ytterveggen betyr mest for kostnadene. Det kan tyde på at det er et potensial for å redusere kostnadene ved gjennomtenkt utforming av ytterveggene. De mest kostnadseffektive TEK10-variantene (Alt-2 i figur 58) som er beregnet i studien, synliggjør også at kostnadene kan bli lavest ved å bruke rammekravsmetoden, ved å omfordele U-verdier mellom tak, vegg, vindu og gulv, samt å optimalisere vindusarealet. I TEK10 før revisjonen var det rom for omfordeling, men for det reviderte nivået gir rammekravsmetoden mest spillerom. Å følge tiltakslista vil imidlertid gi en mer energieffektiv bygningskropp.

## Diskusjon

Beboerne er i hovedsak fornøyd med boligene sine. Den generelle passivhusbeboer skiller seg ikke nevneverdig ut som verken spesielt miljøopptatt eller særlig opptatt av energibruk. Energistandarden hadde lite betydning for valg av bolig for både passivhus og TEK10-boliger. Bonusen med passivhus og tilhørende lavt energibruk er verdsatt av mange kjøpere, selv om det for de færreste er et kjøpsargument. Beboerne ser på seg selv som gjennomsnittlig miljøinteressert. Det samsvarer med studier av for eksempel Isaksson og Karlsson (2006), hvor det også ble funnet at det kun var et fåtall beboere som så på seg selv som miljøopptatt når de kjøpte en bolig med lavt energibehov. De forventet dog å spare energi og redusere sin miljøpåvirkning.

Uavhengig av beboernes forventninger og holdninger til miljø og energibruk ble det i EBLE-prosjektet funnet at boligene bygd etter passivhusstandard bruker mindre energi enn TEK10-boligene. Gjennomsnittlig energibruk (total levert energi) i passivhusene er målt til 91 kWh/($m^2$ BRA år), noe som er ca. 30 % lavere enn det målte gjennomsnittlige energiforbruket i TEK10-boligene på 135 kWh/($m^2$ BRA år). For passivhusboligene er det beregnet et gjennomsnittlig behov for levert energi på 70 kWh/($m^2$ BRA), som er 23 % lavere enn målingene. For TEK10-boligene er det beregnede gjennomsnittlige behovet for levert energi 129 kWh/($m^2$ BRA). Dette er 4 % lavere enn målt levert energi til boligene. Målingene er imidlertid utført på boliger av ulik typologi og med forskjellig geografisk beliggenhet, og de er i så måte ikke direkte sammenliknbare. Dersom man sammenlikner TEK10- og PH-prosjekter med samme beliggenhet og sammenliknbar typologi, ser man fortsatt at passivhusene bruker mindre energi enn TEK10-boligene. I boligene på Snåsa brukte passivhusboligene ca. 40 % mindre enn TEK10-boligene. I prosjektene utenfor Oslo brukte passivhusene ca. 12 % mindre. Basert på EBLE-målingene kan vi si at passivhuskonseptet fungerer slik det er tiltenkt, og at boligene bruker relativt lite energi sammenliknet med boliger oppført etter kravene i byggteknisk forskrift (TEK10). Funnet bekreftes også av blant andre Kragh (2016).

Måleresultatene i EBLE har vist at boligenes beregnede energibruk (total levert energi) underestimerer det faktiske forbruket, selv om beregningene – i så stor grad det har latt seg gjøre – er korrigert for å gjenspeile hvordan boligene faktisk er bygd og klimaet de står i. Målinger av energibruk til oppvarming i boligene viser at også dette (vist i figur 16 og 17) er betydelig høyere enn det beregnede oppvarmingsbehovet. En medvirkende faktor til et økt oppvarmingsbehov er beboernes ønske om å ha innetemperaturer i området 22–24 °C. Utover dette er det funnet at faktisk (målt) energibruk til varmepumper er høyere enn prosjekterte verdier. Videre opplyser omlag halvparten av beboerne at de ventilerer gjennom vinduer også i oppvarmingssesongen, noe som medfører et økt oppvarmingsbehov. Andre faktorer som kan bidra til å forklare avvikene i energibruken til oppvarming, kan være at virkningsgrader for varmegjenvinnere i de balanserte ventilasjonsanleggene er lavere i virkeligheten enn i prosjekteringsunderlaget. Et positivt bidrag til boligenes energiytelse som ble funnet, var at solcellene i PH 7-prosjektet leverte mer strøm enn det som ble antatt i prosjekteringen.

Det er generelt knyttet høye forventninger til å flytte til en ny bolig, uavhengig av energistandard. Forventninger omfatter gode planløsninger, god luftkvalitet og termisk komfort. Økonomiske besparelser som forventes i energieffektive boliger gjennom innsparing til oppvarming, er generelt viktigere enn miljøaspektet. Opplevelse av høy termisk komfort vektlegges også høyere enn energisparing. Målingene viser at ønsket temperatur i stue og oppholdsrom på 22–24 °C er oppfylt i de fleste prosjektene, mens den målte soveromstemperaturen er noe høyere enn den ønskede innetemperaturen på 15–19 °C. Spesielt ett av prosjektene har utfordringer hva angår overtemperaturer om sommeren. Larsen, Jensen og Daniels (2012) viser at overtemperatur er et problem også i et sammenliknbart dansk prosjekt. Mulighet for gjennomlufting samt utvendig solavskjerming ble pekt på som nødvendige tiltak

for å oppnå komfortable sommertemperaturer. Resultatene fra EBLE viser også at utvendig solavskjerming er gunstig for å redusere problemer med overtemperatur om sommeren.

Resultatene i EBLE viser ingen systematisk høyere temperatur i stue i passivhus enn i TEK10-boliger. To sammenliknbare prosjekter hva angår størrelse og geografisk plassering i Snåsa viser noe høye innetemperatur i TEK10-boligene. Resultatene fra de to sammenliknbare prosjektene i Oslo viser imidlertid noe høyere temperatur i passivhusene.

Beboerne som flyttet til de fem nullenergiboligene som EBLE har studert, har et bevisst forhold til boligens energistandard. Nullenergistandard framstår som nyskapende og framtidsrettet. Andre studier har diskutert at det å oppleve å være i fronten av utviklingen kan øke bevisstheten og gi motivasjon til for eksempel å spare energi. Det er offentlig interesse og omtale i media knyttet til nyskapende løsninger som nullenergiboliger. Slik oppmerksomhet kan bidra til å skape stolthet blant beboerne. Dette gjenspeiles også til dels i intervjuene som er gjennomført i EBLE. Det som går utover dagens standard, tiltrekker seg antakelig også en viss type kjøper. Mest sannsynlig vil ikke nullenergiløsningene være økonomisk lønnsomme ved videresalg, og nedbetalingstiden er lang. Dette var også beboerne tydelig bevisst på. I daglig drift forventet beboerne i nullenergiboligene at de sparer utgifter til strøm med egenprodusert strøm fra solceller.

I EBLE finner vi videre at hvordan beboerne beskriver sine idealer kontra det man gjør i dagliglivet, ofte ikke står i forhold til hverandre. Et slikt misforhold gjelder alle beboerne i vår studie, uavhengig av energistandarder. Det er for eksempel greit å spare strøm, men ikke når det går utover komfort. Videre kan man, fordi man sparer strøm og dermed penger, bruke mer en annen plass (dusje mer, kjøpe mer elektrisk utstyr, etc.). Dette beskrives i annen litteratur som re-bound-effekten (Galvin, 2016; Gram-Hanssen og Hansen, 2016). Økte energikrav bidrar til en viss innsparing, men bruk, holdninger, atferd, kultur og type teknologier har minst like stor påvirkning – og det kan påvirke besparelsen negativt. Andre studier presenterer i hovedsak liknende funn som i EBLE (Kragh, 2016; Larsen, Jensen og Daniels, 2012; Gram-Hanssen og Hansen, 2016).

Galvin (2016) påpeker at re-bound-effekten i nye eller oppgraderte bygninger er et vanlig og gjennomgående fenomen. Funnene i EBLE knyttet til dette temaet føyer seg inn i rekken av andre studier. Det er hittil bare konstatert at re-bound-effekten er et vanlig problem, men det er gjort få forsøk på å motvirke den (Galvin 2016). Hvordan misforholdet mellom holdninger og praksis og utvikling av nye energikulturer kan formes og påvirkes, er en pågående diskusjon (Godbolt, 2014).

I boligene som er undersøkt i EBLE, er det vist gode erfaringer med luftkvaliteten og spesielt med luftskiftet. Generelt viser resultatene at soverommene er godt ventilert, noe som tyder på at ventilasjonsanleggene har tilstrekkelig kapasitet og at anleggene er godt nok innstilt. Lave nivåer av $CO_2$ og relativ luftfuktighet er gode indikasjoner på det. Resultatene er i samsvar med funn i Langer *et al.* (2015), som fant en overskridelse av $CO_2$-nivået i 6 % av måleperioden for 20 svenske passivhus. Om vinteren lufter beboerne mindre med vindu sammenliknet med boligen de bodde i tidligere. I varme perioder om sommeren brukes vinduslufting fortsatt aktivt for å regulere innetemperaturen, men sjelden fordi de opplever dårlig luftkvalitet. Noen beboere klager på tørr luft i oppvarmingssesongen, og målingene viser periodevis lav RF i innelufta (ned mot 20 % RF). Resultatene indikerer sammenheng mellom oppfattelse av tørr luft og lav RF, og det bør studeres nærmere. De som klager, har RF på ca. 20 %, men samme RF måles også i boliger hvor beboerne ikke har reagert negativt. Individuell opplevelse er en viktig faktor som spiller inn her. Noen reagerer sterkere på opplevelse av lav RF enn andre. Tørr inneluft og lav RF om vinteren er sterkt knyttet til bruk av ventilasjonsanlegg og ikke et fenomen knyttet til passivhus generelt. En mulig løsning for å øke RF i innelufta er å senke luftskiftet i spesielt kalde perioder. Dette er i tråd med anbefalinger fra

SINTEF Byggforsk (SINTEF Byggforsk, 2016*)*. En slik reduksjon av luftskiftet kan også redusere energibruken til oppvarming av ventilasjonsluft i de kalde periodene.

En utfordring med ventilasjonsanlegg viste seg å være plassering av ventilasjonsaggregatet. Erfaringene fra ett prosjekt viser at plassering av aggregat på loftet over soverommet medfører utfordringer med støy.

Beboerne er fornøyd med bruk av oppvarmingssystemene i boligene. Unntak finner vi hvor det har vært feil i design og dimensjonering av oppvarmingssystem, som påvirker opplevelse av termisk inneklima. Dette er et generelt problem knyttet til varmetekniske løsninger som også kan oppstå i andre boliger.

Det har blitt hevdet at vannbåret varme i gulv gir et oppvarmingssystem som responderer tregt og derfor er vanskelig å regulere, spesielt dersom varmerørene er støpt ned i betong. Et "tregere" system kan lettere gi problemer med over-/undertemperaturer. Det er valgt ulike oppvarmingsløsninger i EBLE-prosjektene. I prosjekt PH 2 og PH 5 er det brukt vannbåret varme i gulv. I kjelleren på disse boligene ligger varmerørene i betong. I førsteetasjen ligger varmerørene under platene i gulvet. I de øvrige prosjektene er det i de fleste tilfellene valgt et vannbåret system med en varmekilde per etasje, enten konvektor eller radiator. I gjennomsnitt har de to prosjektene med vannbåret varme i gulv 1,7 °C høyere innetemperatur enn de øvrige husene. Vi har imidlertid ikke målt forskjell i energibruk avhengig av oppvarmingssystem.

Beboerne kommenterer treghet i vannbårne systemer og vanskeligheter med å styre temperaturen raskt. Videre har intervjuene avdekket at forventninger til og forståelse av systemer som beboerne ikke har brukt tidligere, burde forklares bedre ved overlevering. I forhold til informasjonsformidling om bruk av ventilasjons- og oppvarmingssystemet og eventuelt annen teknologi, var det delte erfaringer. Flere ønsker seg mer brukervennlig informasjon, spesielt hvor det er nyskapende løsninger. Bedre informasjon kan redusere usikkerhet og feilbruk som ofte oppstår det første året, i innkjøringsfasen.

Tradisjonelt har punktvarmekilder blitt plassert under vinduene for å redusere kaldras og forbedre den termiske komforten. På grunn av bedre isolerte vinduer er imidlertid problemene med kaldras betydelig redusert i moderne boliger, og spesielt i passivhus (Heiselberg, 1994). I noen prosjekter er det valgt en varmekilde per etasje i tillegg til oppvarming på badet. Det er positive erfaringer med dette, forutsatt riktig dimensjonering og en fornuftig plassering, for eksempel sentralt i oppholdsrom. Plassering av radiator i gangareal har vist seg å være ugunstig i to prosjekter. Erfaringer fra PH 1 og PH 6 tilsier at bytte av radiator med vifte-konvektor forbedret varmefordeling i boligen. Beboerne opplevde likevel også ulemper med viftekonvektor. Viftekonvektor lager lyd, så plasseringen bør vurderes nøye. Resultatene indikerer sammenheng mellom høy innetemperatur og vannbåret gulvvarme. Det kan skyldes problemer med temperaturstyringen, og bør studeres nærmere.

Bedre differensiering av temperatur mellom oppholdsrom og soverom kom fram som et tydelig ønske fra beboerne. Alle ønsker å ha det kjøligere på soverommet, noe som er utfordrende rent praktisk på grunn av bruk av balanserte ventilasjonsanlegg (Berge, Thomsen og Mathisen, 2016a; Staepels *et al.*, 2013; Georges *et al.*, 2016).

I EBLE ble det også evaluert byggeprosess og fukt i konstruksjoner. Utbyggerne i EBLE har fuktsikring som et uttalt kvalitetssikringsområde (egenkontroll). For alle bygg ble det målt trefuktighet før veggene ble lukket. Sju av ni prosjekter ble oppført med tradisjonell plassbygging. Ett av prosjektene ble oppført med bruk av prefabrikkerte elementer. Ett annet prosjekt ble oppført med bruk av moduler. Utbyggerne vurderer bygging under tak som ulønnsomt. Utbyggerne setter av tid til uttørking i framdriftsplanen.

Både laboratorieforsøk og beregninger (Geving og Holme, 2010) viser at passivhus-konstruksjoner bruker lengre tid på å tørke ut fukt. Det gjelder både uttørking av byggfukt og

uttørking av eventuell fukt fra lekkasjer. Årsaken er at tykkere konstruksjoner vanligvis inneholder mer treverk og dermed mer fukt som må tørke ut. Uttørkingshastigheten er avhengig av blant annet dampåpenheten til vindsperra, i tillegg til klimaforhold på varm og kald side av konstruksjonen. Vår erfaring er at så dampåpne vindsperrer som mulig er effektivt for å sikre høy uttørkingshastighet. Strenge krav til lufttetthet i passivhus krever bedre utførelse av vind- og dampsperresjiktene og detaljer knyttet til disse. I tillegg gir godt ventilert inneluft, og dermed lavt fukttilskudd til innelufta, en økt sikkerhet mot fuktinntrenging, luftlekkasjer og byggskader.

Målingene av trefuktighet i passivhusprosjektene bekrefter at passivhuskonstruksjoner kan bygges etter kjente prinsipper dokumentert i blant annet *Trehus* (Edvardsen og Ramstad, 2014) og ulike anvisninger i Byggforskserien. Det meste av byggfukten tørker ut i løpet av den første uttørkingsperioden etter lukking av konstruksjonen. Utbyggerne måler fuktnivå før de monterer dampsperre, og forholder seg til anbefalt fuktnivå på under 20 vektprosent ved lukking. Bunnsvilla er typisk den mest kritiske plasseringen i veggen, særlig ved dobbel bunnsvill og plassering ned mot betong.

Alle utbyggere rapporterer økt tidsbruk og økte kostnader ved passivhusbygging. Oppbygning av ytterveggen betyr mest for kostnadsøkningen. Økt tidsbruk og økte kostnader knyttes primært til større usikkerhet under prosessen, dyrere vinduer, tykkere vegger, høye krav til lufttetthet, økt materialbruk og økt monteringstid. Tidsbruk og kostnader går noe ned ved innarbeidede prosesser. Utsagn fra intervjuene er sammenliknbare med det Skeie *et al.* (2016) kom fram til i sine kostnadsberegninger av ulike energistandarder.

## Konklusjoner

- Beboerne har høye forventninger til inneklima og komfort. Forventningene innfris til en høy grad.
- Generelt er energibruken i passivhusboliger lavere enn i TEK10-boliger.
- For både passivhus og TEK10-boliger underestimeres energibehovet i beregninger.
- Målt energibruk til oppvarming er høyere enn det beregnede for begge kategorier av boliger.
- Beboerne ønsker høyere innetemperaturer enn det som legges til grunn for energi-beregninger etter gjeldende standarder. Målingene bekrefter at beboerne velger å ha høyere innetemperaturer.
- Bruk av utvendig solavskjerming samt tilrettelegging for gjennomlufting av boligene reduserer faren for overtemperatur sommerstid.
- Beboere trenger god og lett tilgjengelig informasjon om styring, regulering og vedlikehold av de tekniske installasjonene.
- Målingene av trefuktighet i passivhusprosjektene bekrefter at passivhuskonstruk-sjoner kan bygges etter kjente, dokumenterte prinsipper.
- Kostnader for bygging av passivhus er noe høyere enn for TEK10-hus.

# Erfaringer

## Gjennomføring av evalueringsprosjektet

I EBLE var det et ønske om å se boliger fra ulike byggeprosjekter i sammenheng og å belyse spørsmål fra ulike forskningsperspektiver. I løpet av prosjektperioden ble tallet på prosjekter økt for å opprettholde antall boliger som skulle evalueres. Enkelte av boligeierne i de ulike prosjektene ville ikke delta i studien, og vi fikk dermed færre respondenter enn planlagt. I ettertid ser vi også at håndterbarheten av et stort antall ulike prosjektområder bød på utfordringer. Koordinering av aktører, tilpassing av målesystem, geografisk avstand til prosjektene, forsinkelse i byggeprosess og problematisk datakommunikasjon er noen av utfordringene som oppsto i løpet av EBLE-prosjektet.

Erfaringene i EBLE har understreket at jo flere prosjekter som skal evalueres, desto mer tid går på det organisatoriske. Det ville ha vært en fordel med flere boliger i færre prosjekter, da dette er tids-, planleggings- og arbeidsbesparende, samt at det reduserer kompleksiteten knyttet til datainnsamling og behandling. Evaluering av data mot slutten av prosjektet viser også tydelig hvor man burde ha forbedret/utvidet målingene eller hvor man burde ha gått tilbake for å snakke med beboerne for å få bedre forklaring på måleresultatene. Resultatene kan til dels fortsatt ikke forklare sammenhenger tydelig nok.

Utvalget av prosjekter på passivhusnivå var naturlig begrenset på grunn av et fortsatt lite antall prosjekter ved oppstarten av EBLE i 2012. Til tross for ønsket om en viss sammenliknbarhet, har alle prosjektene ulike løsninger som vi måtte forholde oss til. Sammenliknbarheten er begrenset, da den ikke kan baseres på like løsninger og må ses i sammenheng med konteksten.

Ønsket om å sammenlikne TEK10-boliger med boliger på passivhusnivå bød også på metodiske utfordringer siden kun få av boligene var byggteknisk og klimatisk direkte sammenliknbare. Kun et lite antall TEK10-boliger ble studert i EBLE. Studien gir likevel et inntrykk av likheter og ulikheter.

## Lærdom – framtidige måleprosjekter

Måleopplegget ble forskjellig fra prosjekt til prosjekt siden det ble tilpasset type oppvarmingssystem og tilgjengelighet i prosjekterings- og byggefasen. Særlig måtte energimålingene tilpasses hvert enkelt prosjekt.

I EBLE er det brukt måle- og datainnsamlingsløsninger levert av kommersielle aktører, og det har blitt benyttet løsninger der prosjektdeltakerne selv har planlagt, fått installert og stått ansvarlig for drift og datakommunikasjon. Erfaringene viser utfordringer med begge typer løsninger. Å få eksterne til å samle inn data medfører at man mister mye av kontrollen og er avhengig av gode kontrakter og god kommunikasjon for å få ut tilfredsstillende resultater. Endringer i personell, konkurs av bedrifter og utydelige kontrakter bidro i noen tilfeller til at det var vanskelig å få hentet inn data. Bedre og mer enhetlig planlagte måleprosesser og måleopplegg ville ha redusert tidsbruken for oppfølging og datainnsamling. Å ha anledning og tid til å forbedre måleopplegg underveis hadde vært en fordel for å kunne hente inn ytterligere forklaringer av resultater. Det ville innebære at man har god kontakt med beboerne og får tilgang til boligene. Tilgang og lyst til å delta i evalueringen har vært problematisk i flere tilfeller. Beboerdeltakelse er en av forutsetningene for å kunne lykkes.

Vi takker de beboerne som har stilt opp i EBLE! Vi setter pris på deres innsats.

## Referanser


Aashammer H. (2016) *Analyse av termisk energiforsyning ved Hotell Scandic Lerkendal*. M.SC thesis, NTNU.

Alvesson, M. og Sköldberg, K. (2000) *Reflexive Methodology, New Vistas for Qualitative Research*. Los Angeles: Sage Publications

Bekø, G., Lund, T., Nors, F., Toftum, J. og Clausen, G. (2010) Ventilation rates in the bedrooms of 500 Danish children. *Building and Environment*, 10 (45): 2289–2295.

Berndgen-Kaiser, A, Fox-Kämper, R., Holtmann, S. (2010) *Leben im Passivhaus – Baukonstruktion, Baukosten, Energieverbrauch, Bewohnererfahrungen*. ILS – Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung.

Berge, M., Thomsen, J. og Mathisen, H.M. (2016a) The need for temperature zoning in high-performance residential buildings. *Journal of Housing and Built Environment*, online: May 2016.

Berge, M., Georges, L. og Mathisen, H.M. (2016b) On the oversupply of heat to bedrooms during winter in highly insulated dwellings with heat recovery ventilation. *Building and Environment*, 106: 389–401.

Berge M. og Mathisen, H.M. (2015) The suitability of air-heating in residential passive house buildings from the occupants point of view a review. *Advances in Building Energy Research*, 9 (2): 175–189.

Berge, M. og Mathisen, H.M. (2016) Perceived and measured indoor climate conditions in high-performance residential buildings. *Energy and Buildings*, 127: 1057–1073.

Boligprodusentenes Forening (2011) *Mal for gjennomføring og oppfølging av passivhusprosjekter*. Oslo: Boligprodusentenes forening.

Brown, Z. og Cole, R. (2009) Influence of occupants' knowledge on comfort expectations and behavior. *Building Research & Information*, (7)3: 227–245.

Charmaz, K. (2004) Grounded theory. I: S.N. Hesse-Biber og P. Leavy (red.), *Approaches to qualitative research*, s. 496–521. New York: Oxford University Press.

Danner, M. og Vittar, C. (2001) *Wohnen in der Passivhaussiedlung Lummerlund im Neubaugebiet Hannover-Kronsberg*. Abschlußbericht zur sozialwissenschaftlichen Evaluation.

Dobbs, R., Oppenheim, J., Thompson, F., Brinkman, M. og Zornes, M. (2011) *Resource revolution: Meeting the worlds' energy, materials, food and water needs.* Seoul: MacKenzie Global institute.

Dokka, T.H., Wigenstad, T., Andresen, I., Berg, T.F., Svensson, A. og Simonsen, I. (2011) *Energibruk i bygninger*. SINTEF Byggforsk Rapport 76. Oslo: SINTEF Byggforsk.

Ebel, W., Großklos, M., Knissel, J., Loga, T. og Müller, K. (2003) *Wohnen in Passiv- und Niedrigenergiehäusern; Eine vergleichende Analyse der Nutzerfaktoren am Beispiel der "Gartenhofsiedlung Lummerlund" in Wiesbaden-Dotzheim*. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt.

Edvardsen, K.I. og Ramstad T.Ø. (2014) *Trehus*. Håndbok 5. Oslo: SINTEF akademisk forlag.

Flyvbjerg, B. (2004) Five misunderstandings about case-study research. I: Seale *et al.* (red.), *Qualitative Research Practice*, s. 420–434. London: Sage Publications.

Folkehelseinstituttet (2015); "Anbefalte faglige normer for inneklima", Rapport 2015:1, ISBN: 978-82-8082-655-8 elektronisk utgave.

Galvin, R. (2016) *The re-bound effect in home heating. A guide for policymakers and practitioners*. London: Routledge.

GE (2006) Datablad for måleloggerne. [online] Tilgjengelig på: <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).

Georges, L. *et al.* (2016) Simplified Space-Heating Distribution using Radiators in Super-Insulated Apartment Buildings. *Energy Procedia*, 96, Sept.: 455–466.

Geving, S. (1995) Choice of representative weather data for moisture design calculations. Working report 6 – Moisture in building materials and constructions. Trondheim: Norges byggforskningsinstitutt.

Geving, S. og Holme, J. (2010) *Høyisolerte konstruksjoner og fukt*. SINTEF Byggforsk Prosjektrapport 53. Oslo: SINTEF Byggforsk.

Geving, S. og Uvsløkk, S. (2000) *Moisture conditions in timber frame roof and wall structures*. Project report 273. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt.

Gill, Z., Tierney, M., Pegg, I. og Allan, N. (2010) Low-energy dwellings: the contribution of behaviours to actual performance. *Building Research and Information*, 38 (5): 491–508.

Godbolt, Å.L. (2014) *Market, Money and Morals: The Ambiguous Shaping of Energy Consumption in Norwegian Households*. Doktoravhandling, NTNU.

Goodhew, S. (2016) *Sustainable Construction Processes – A Resource Text*. Chichester: Wiley Blackwell.

Gram-Hanssen, K. (2010) Residential heat comfort practices: Understanding users. *Building Research and Information*, 38 (2): 175–186.

Gram-Hanssen, K. og Hansen, R.A. (2016) *Forskellen mellem målt og beregnet energiforbrug til opvarmning af parcelhuse*. SBI 2016:09. København: Statens Byggeforskningsinstitut.

Gullbrekken, L., Kvande, T. og Roald, B. (2012) Geometriske kuldebroers innvirkning på normalisert kuldebroverdi. *Passivhus Norden 2012*, Trondheim, 2012.

Gullbrekken, L. *et al.* (2015) Moisture conditions in well-insulated wood-frame walls. Simulations, laboratory measurements and field measurements. *Wood Material Science & Engineering*, 10(3): 232–244.

Haavik, T. og Aabrekk, S.E. (2007) Business opportunities in sustainable housing. A Marketing guide based on experiences from 10 countries. *SHC task 28 / ECBCS Annex 38*. Oslo: Husbanken.

Halvorsen, B. og Dalen, H.M. (2013) Ta hjemmetempen. Rapport 2013/19. Oslo: Statistisk sentralbyrå.

Hawkins *et al*. (2013) Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Convectional and Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 17 (1): 53–64.

Heiselberg, P. (1994) Draught Risk from Cold Vertical Surfaces. *Building and Environment*, 29 (3): 297–301.

Hong, S.H. *et al.* (2009) A field study of thermal comfort in low-income dwellings in England before and after energy efficient refurbishment. *Building and Environment*, 44 (6): 1228–1236.

Isaksson, C. og Karlsson, F. (2006) Indoor climate in low-energy houses – an interdisciplinary investigation. *Building and Environment*, 41 (12): 1678–1690.

Jansson, U. (2010) *Passive houses in Sweden. From design to evaluation of four demonstration projects.* Report EBD-T-10/12. Lund: Lund University.

Johansson, R. (2002) Ett explikativt angreppssätt – fallstudiemetodikens utveckling, logiska grund og betydelse i arkitekturforskning. *Nordisk Arkitekturforskning*, 15 (2): 19–29.

Johansson, R. (2006) Case study methodology, kursmateriell. Stockholm: KTH Infrastruktur.

Kah, O., Peper, S., Ebel, W., Kaufmann, B., Feist, W. og Bastian, Z. (2010) *Untersuchung zum Außenluftwechsel und zur Luftqualität in sanierten Wohnungen mit konventioneller Fensterlüftung und mit kontrollierter Lüftung*. Report. Darmstadt: Passivhaus Institut Darmstadt.

Karjalainen, S. (2009) Thermal comfort and use of thermostats in Finnish homes and offices. *Building and Environment*, 44 (6): 1237–1245.

Klinski, M. *et al.* (2012) *Systematisering av erfaringer med passivhus*. Prosjektrapport 90. Oslo: SINTEF Byggforsk.

Kotol, M., Rode, C., Clausen, G. og Nielsen, T.R. (2014) Indoor environment in bedrooms in 79 Greenlandic households. *Building and Environment*, 81, Nov.: 29–36.

Kragh, J. (2016) *Varmeforbrug i nye bygninger opført i perioden 2010–2013*. SBI 2016:08. København: Statens Byggeforskningsinstitut.

Kvale, S. (1996) *InterViews. An Introduction to Qualitative Research Interviewing*. London: Sage Publications.

Langer, S., Bekö, G., Bloom, E., Widheden, A. og Ekberg, L. (2015) Indoor air quality in passive and conventional new houses in Sweden. *Building and Environment*, 93 (P1): 92–100.

Larsen, T.S., Jensen, R.J. og Daniels, O. (2012) *Komforthusene – Målinger og analyse av inneklima og energiforbruk i 8 passivhus 2008–2011.* Aalborg: Aalborg Universitet, Institut for Byggeri og Anlæg.

Larsen, T.S., Knudsen, H.N., Kanstrup, A.M. et al. (2010) *Occupants influence on the energy consumption of Danish Domestic Buildings*. DCE Technical Report No. 110. Aalborg: Department of Civil Engineering, Aalborg University.

Leaman, A. og Bordass, B. (2007) Are users more tolerant of "green" buildings? *Building Research and Information*, 35 (6): 662–673.

Leung, C. og H. Ge. (2013) Sleep thermal comfort and the energy saving potential due to reduced indoor operative temperature during sleep. *Building and Environment*, 59: 91–98.

Liddament, M.W., "A Guide to Energy Efficient Ventilation". 1996: Air Infiltration and Ventilation Centre, Coventry, U.K.

May, T. (1993) *Social research: issues, methods and process*. Buckingham: Open University press.

Meld. St. 21 (2011–2012). [online] Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld-st-21-2011-2012/id679374/?ch=1&q=>.

Meld. St. 13 (2014–2015). [online] Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-13-2014-2015/id2394579/?ch=1&q=>.

Morgenbladet (29.04.–05.05.2016) Passiv-aggressiv miljøkamp: 8–11.

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

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

Norsk Standard (2005), ISO 7730:2005, "Ergonomi i termisk miljø - Analytisk bestemmelse og tolkning av termisk velbefinnende ved kalkulering av PMV- og PPD-indeks og lokal termisk komfort", Oslo: Standard Norge.

Norsk Standard (2013) NS 3700:2013, Kriterier for passivhus og lavenergibygninger – boligbygninger. Oslo: Standard Norge.

Norsk Standard (2014) Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data. NS 3031:2014. Oslo: Standard Norge.

Norsk Standard (2014b), NS-EN 15251:2007+NA:2014, Inneklimaparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk, , Oslo: Standard Norge.

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

Peeters, L., Dear, R.d., Hensen, J. og D'haeseleer, W. (2009) Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation. *Applied Energy*, 86 (5): 772–780.

Pilkington, B., Roach, R. og Perkins, J. (2011) Relative benefits of technology and occupant behaviour in moving towards a more energy efficient, sustainable housing paradigm. *Energy Policy*, 39 (9): 4962–4970.

Programbyggerne (2016) SIMIEN. [online] Tilgjengelig på: <http://programbyggerne.no/#SIMIEN>, besøkt 05.11.2016.

Rydock, J.P., Lisø, K.R., Førland, E.J., Nore, K. og Thue, J.V. (2005) A driving rain exposure index for Norway. *Building and Environment*, 40 (11): 1450–1458.

Sartori, I., Merlet, S., Thorud, B., Haug, T. og Andresen, I. (2016) *Zero Village Bergen. Aggregated loads and PV generation profiles*. ZEB Project report 28. Oslo: SINTEF Academic Press, Norwegian University of Science and Technology.

Schnieders, J. og Hermelink, A. (2006) CEPHEUS results: measurements and occupants' satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building, 2004. *Energy Policy*, 34: 151–171.

SINTEF Byggforsk (2005) Muggsopp i bygninger. Forekomst og konsekvenser for inneklimaet. *Byggforskserien*, 701.401.

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

SINTEF Byggforsk (2016) Godt inneklima i nye boliger. *Byggforskserien*, 421.510.

Skeie, K., Lien, A.G., Svensson, A. og Andresen, I. (2016) *Kostnader for nye småhus til høyere energistandard*. SINTEF Fag 37. Oslo: SINTEF akademisk forlag.

Staepels, L., Verbeek, G., Roels, S., Van Gelder, L. og Bauwens, G. (2013) Evaluation of indoor climate in low energy houses. *Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design 7–10.03.2013, San Diego USA*.

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

Stene, J. og Alonso, Maria J. (2016) Field Measurements – Heat Pump Systems in NZEB. *ZEB Project report no 27,* ISBN 978-82-536-1507-3 (pdf).

Stevenson, F., Carmona-Andreu, I. og Hancock, M. (2013) The usability of control interfaces in low carbon housing. *Architectural Science Review*, 56 (1): 70–82.

Streicher, W., Mach, T., Schweyer, K., Heimrath, R., Kouba, R., Thür, A. *et al.* (2004) *Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser*. IWT, TU Graz, 01/2004. Graz: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

SSB (2016) Kjørelengder, 2015. [online] Tilgjengelig på: <https://www.ssb.no/klreg/>, besøkt 08.10.2016 kl.12:19

Sørensen, Å.L., Imenes, A.g:, Grynning, S., Dokka, T.H. (2017) Energy measurements at Skarpnes zero energy homes in Southern Norway: Do the loads match up with the on-site energy production? *11th Nordic Symposium on Building Physics*, NSB2017, 11–14 June 2017, Trondheim, Norway.

Thomsen, J., Berker, T., Hauge, Å.L., Denizou, K., Wågø, S.I. og 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*, 2 (1): 43–59.

Thomsen, J., Svensson, A. og Gullbrekken, L. (2014) *Evaluering av 9 passivhusboliger på Rossåsen ved Sandnes*. SINTEF Notat 13. Oslo: SINTEF akademisk forlag.

Tronstad, S. 2006. *Tre og fuktighet – fra produsent til forbruker*. Teknisk håndbok nr. 2. Oslo: Norsk Treteknisk Institutt.

Uvsløkk, S. og Gustavsen, A. (2006) *Vurdering av sammenheng mellom isolasjons-tykkelse og risiko for fuktskader i lette yttervegger.* Rapport 50105900. Trondheim: SINTEF Byggforsk.

Uvsløkk, S. 2008. Ny TEK – mer isolasjon – mindre fuktskader? Resultater fra en teoretisk parameterstudie. *Norsk bygningsfysikkdag, 25. november 2008, Thon Hotell Vika Atrium, Oslo*.

Viitanen, H.A. (1997) Modelling the time factor in the development of mould fungi –The effect of critical humidity and temperature conditions on pine and spruce sapwood. *Holzforschung – International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood*, 51 (1): 6–14.

Wen, K. (2015) *Simplified space-heating distribution in highly-insulated apartment buildings*. M.Sc project-assignment, NTNU.

Xrgia (2011) *Energibruk i lavenergi og passivbygg. En sammenligning av forventet og målt energibruk*. Utarbeidet for Energi Norge 31.01.2011.

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

Zalejska-Jonsson, A. (2014) Parameters contributing to occupants' satisfaction. *Facilities*, 32 (7/8): 411–437.

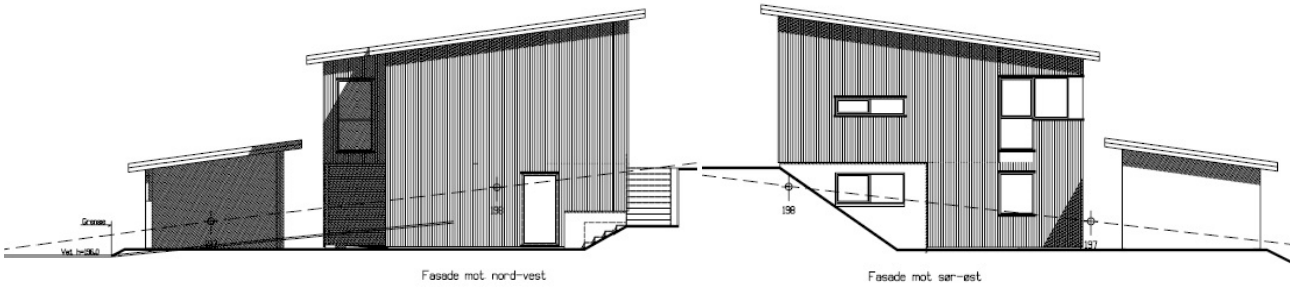
ZEB (2016) *Evaluation of ZEB living lab*. Ikke publisert.

Øie, L., Stymne, H., Boman, C.A. og Hellstrand, V. (1998) The Ventilation Rate of 344 Oslo Residences. *Indoor Air*, 8 (3): 190–196.

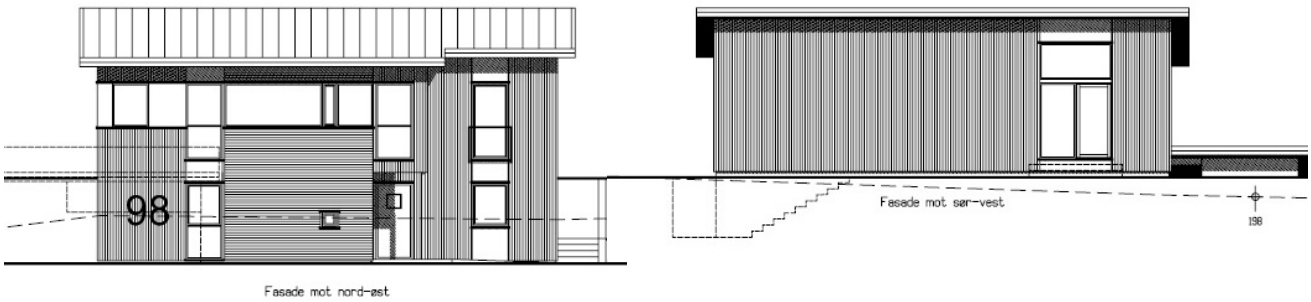
# Vedlegg 1: Presentasjon av casene i tegninger og bilder

## Passivhusprosjekt 1

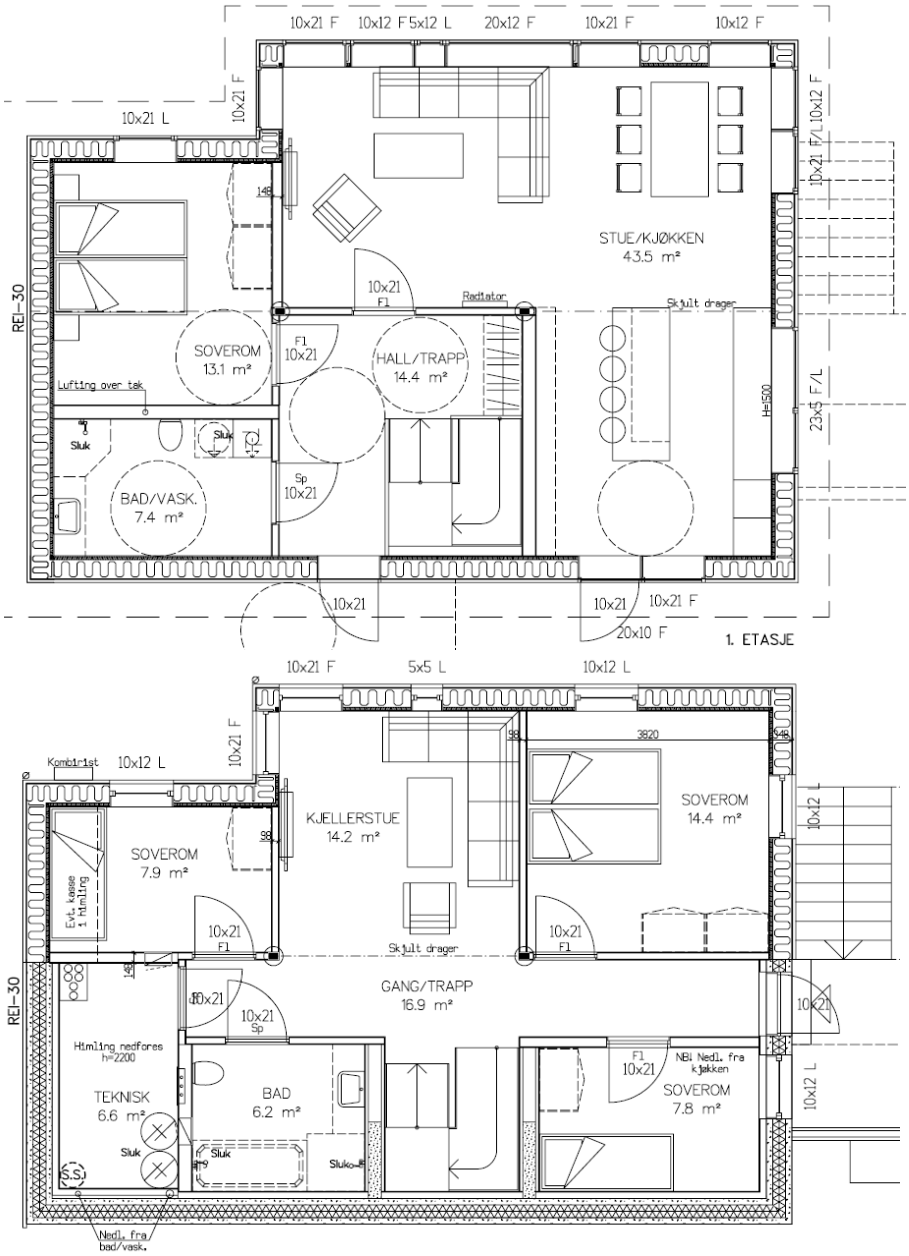
*Figur V 1. Plassering og orientering av husene på tomten og bilde av passivhusprosjekt PH 1 (SINTEF).*




*Figur V 2. Sør-øst og nord-vest fasaden passivhusprosjekt PH 1.*



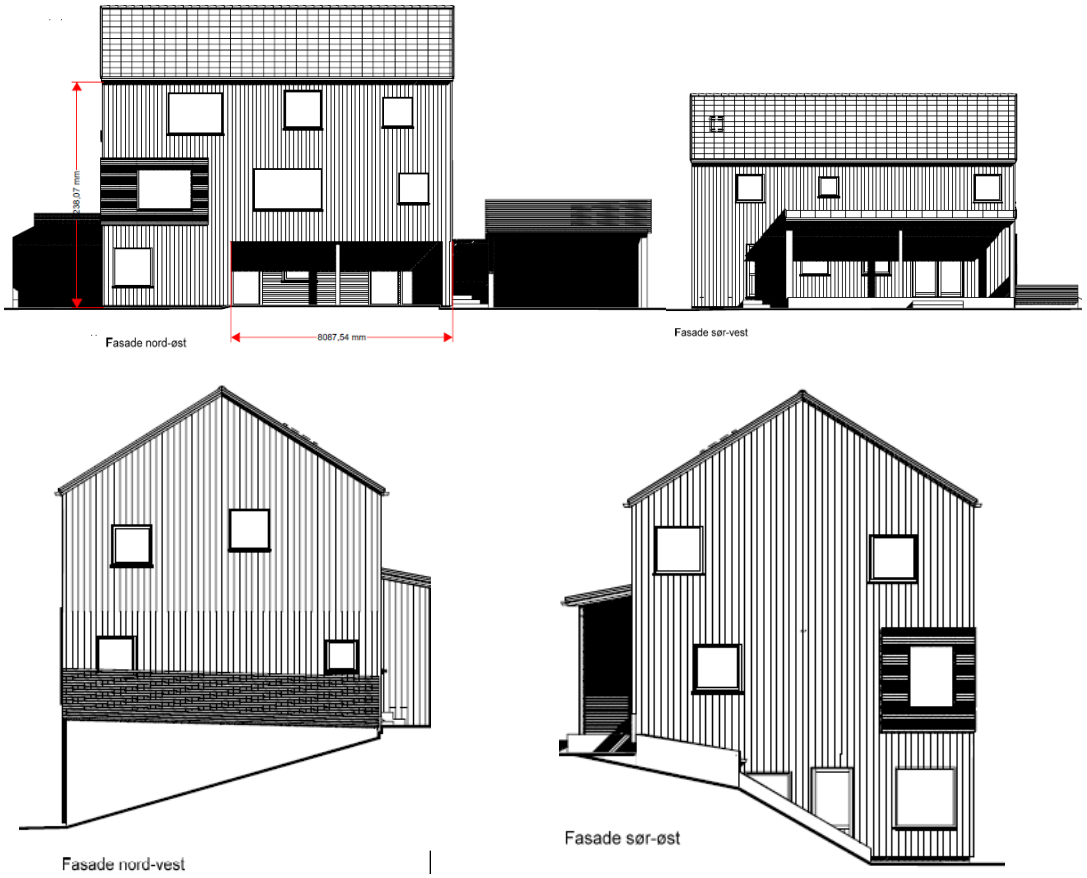

*Figur V 3. Nord-øst og sør-vest-fasaden passivhusprosjekt PH 1.*



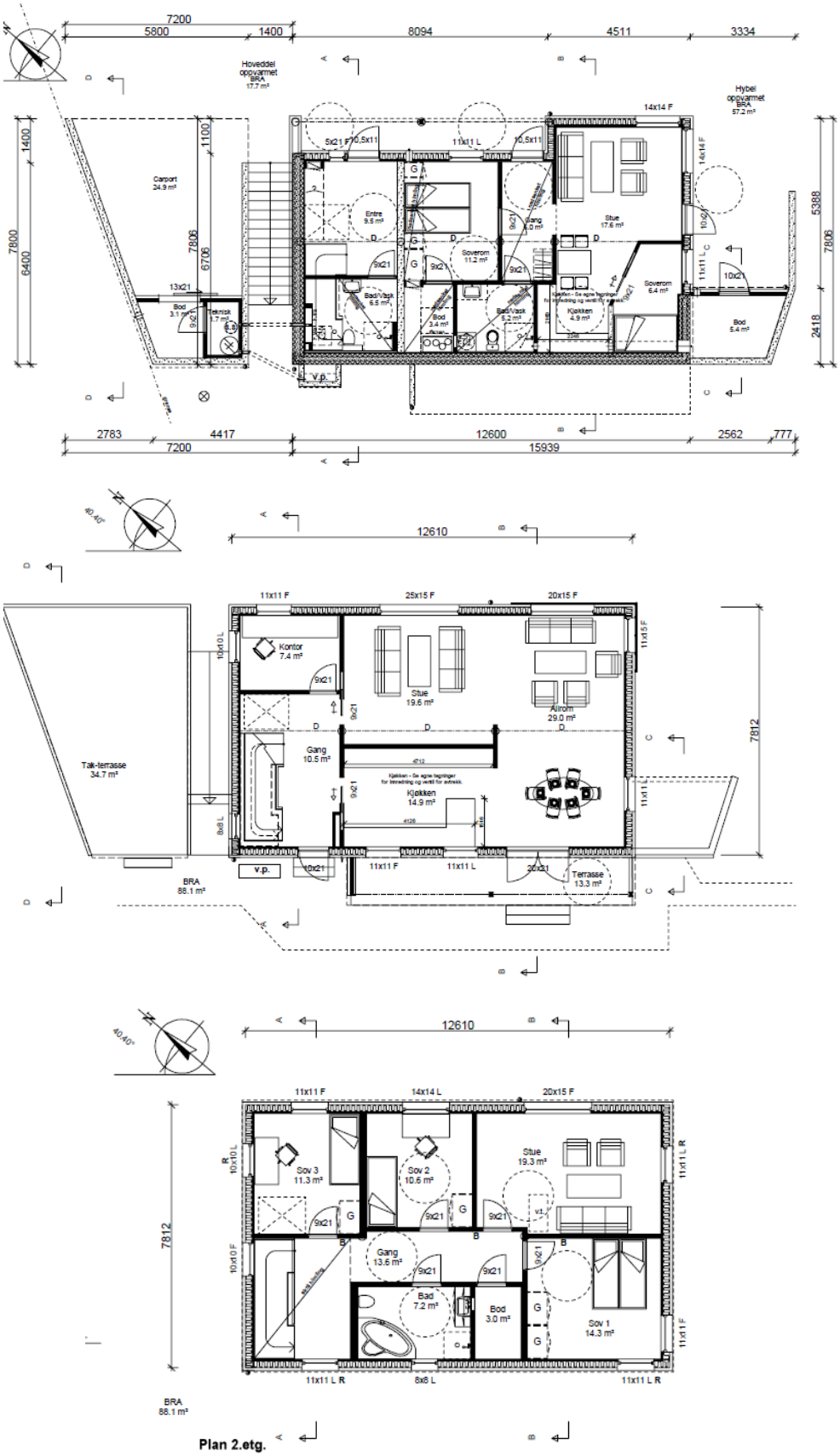

*Figur V 4. Øverst: Eksempel plantegning 1. etasje Nederst: eksempel sokkeletasje, passivhusprosjekt PH.*

## Passivhusprosjekt PH 2

*Figur V 5. Situasjonsplan og bilde, passivhusprosjekt PH 2*

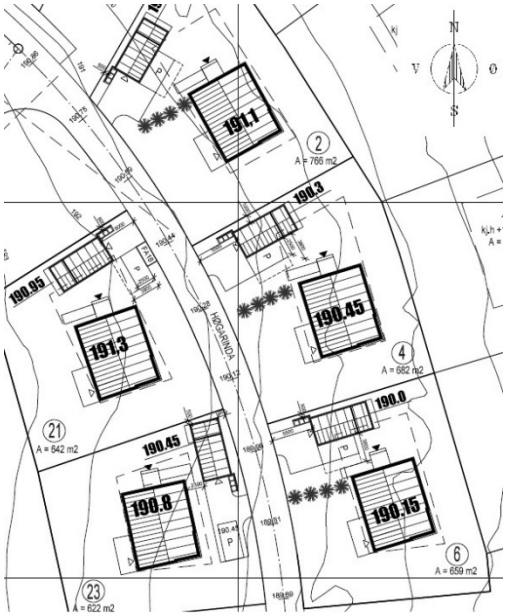



*Figur V 6. Fasadetegninger, passivhusprosjekt PH 2.*

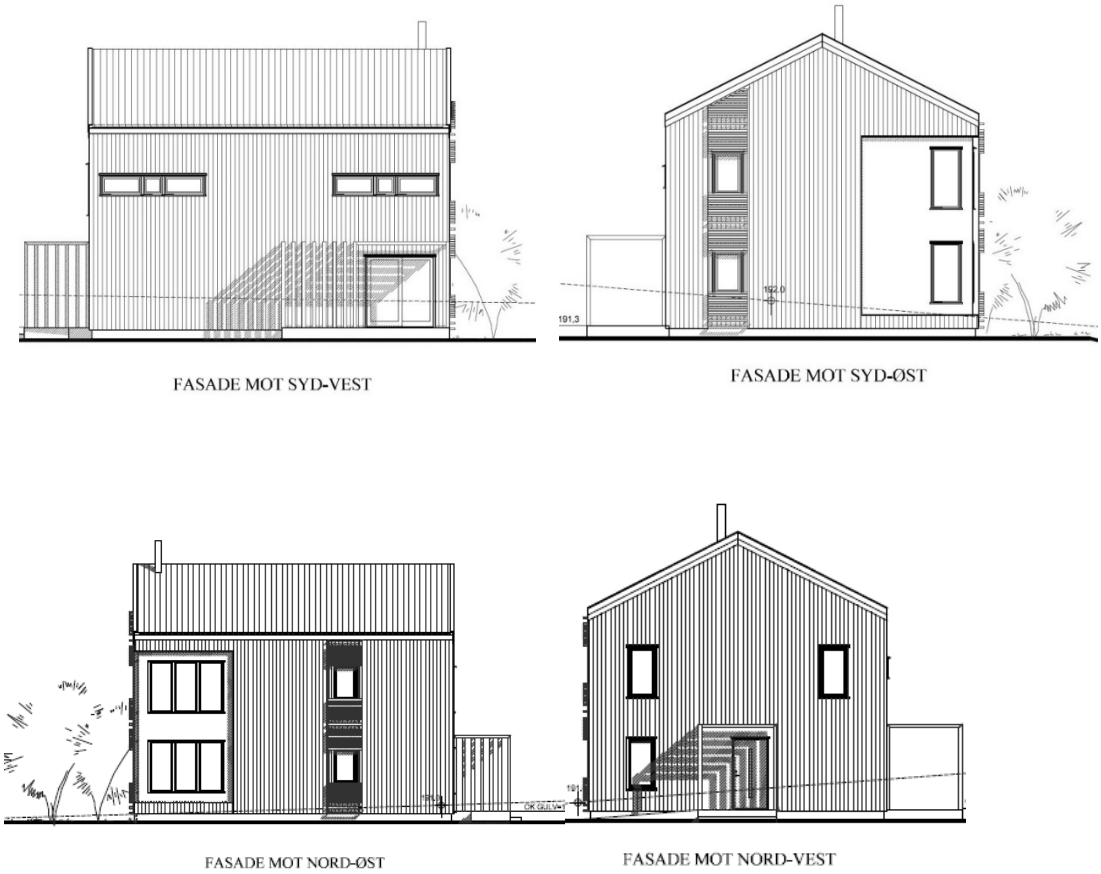



*Figur V 7. Plantegninger, passivhusprosjekt PH 2. Plantegninger av kjeller øverst 1. etasje i midten og 2. etasje nederst.*

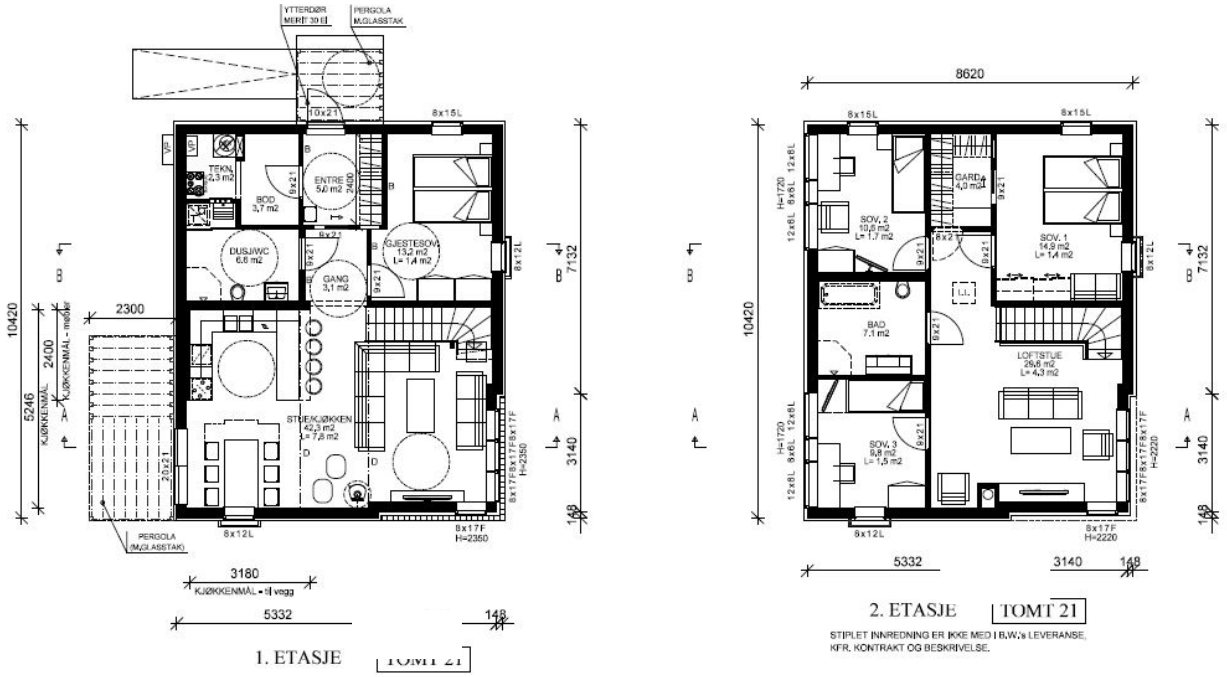
## Passivhusprosjekt PH 3




*Figur V 8. Situasjonsplan og bilde, passivhusprosjekt PH 3.*




*Figur V 9. Fasadetegninger, passivhusprosjekt PH 3.*




*Figur V 10. Plantegninger, passivhusprosjekt PH 3.*

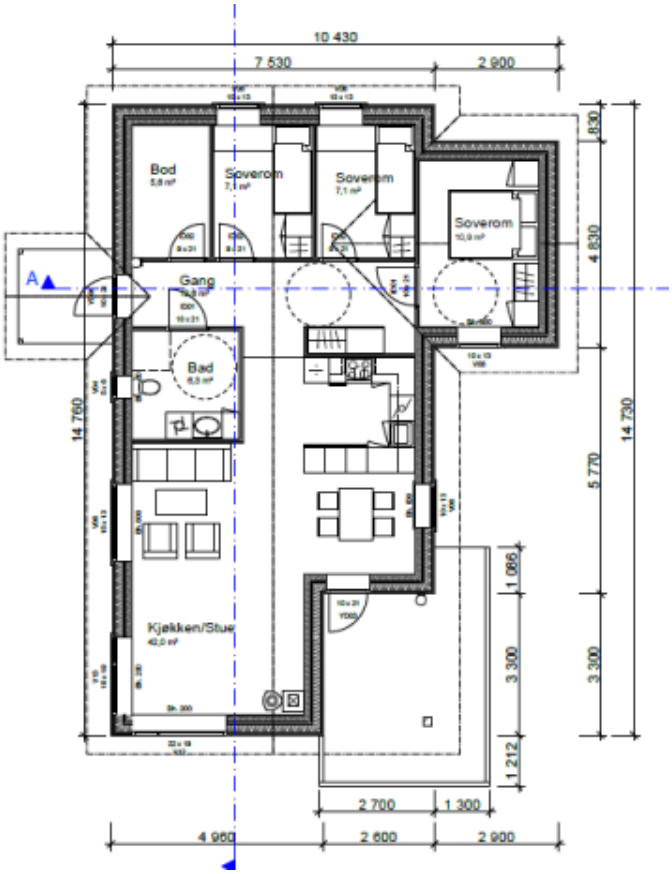
## Passivhusprosjekt PH 4 og TEK10-prosjekt TEK 1

*Figur V 11. Situasjonsplan og bilde, passivhusprosjekt PH 4.*

*Figur V 12. Fasadetegninger TEK10-prosjekt, TEK 1.*

*Figur V13. Fasadetegninger passivhusprosjekt PH 4.*

*Figur V 14. Plantegning, TEK10-prosjekt, TEK 1.*




*Figur V 15. Plantegning passivhusprosjekt PH 4.*

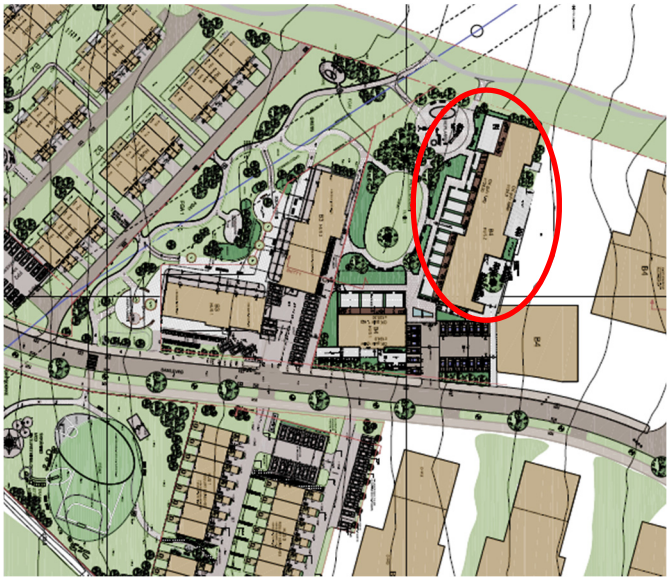
## Passivhusprosjekt PH 5

*Figur V 16. situasjonsplan og bilde, passivhusprosjekt PH 5.*

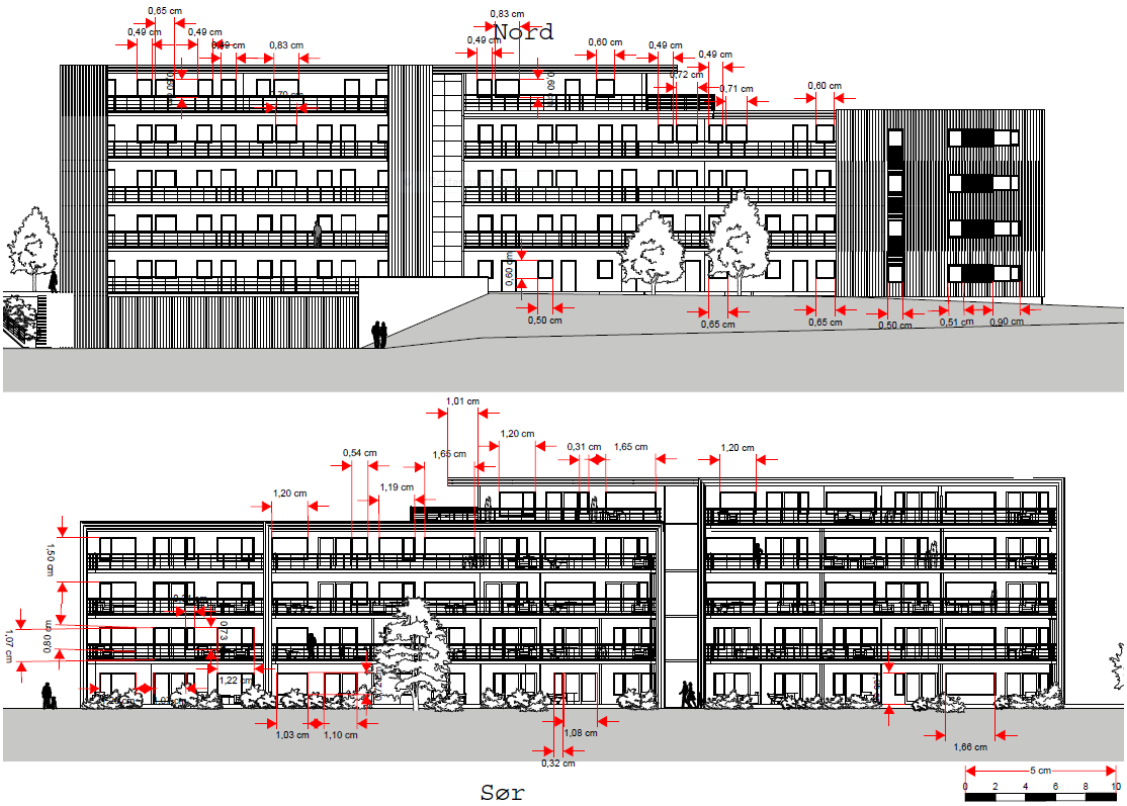
*Figur V 17. Fasade vest, type B, passivhusprosjekt PH 5.*

*Figur V 18. Plantegninger – Rekkehus Type B, passivhusprosjekt PH 5.*

## Passivhusprosjekt PH 6



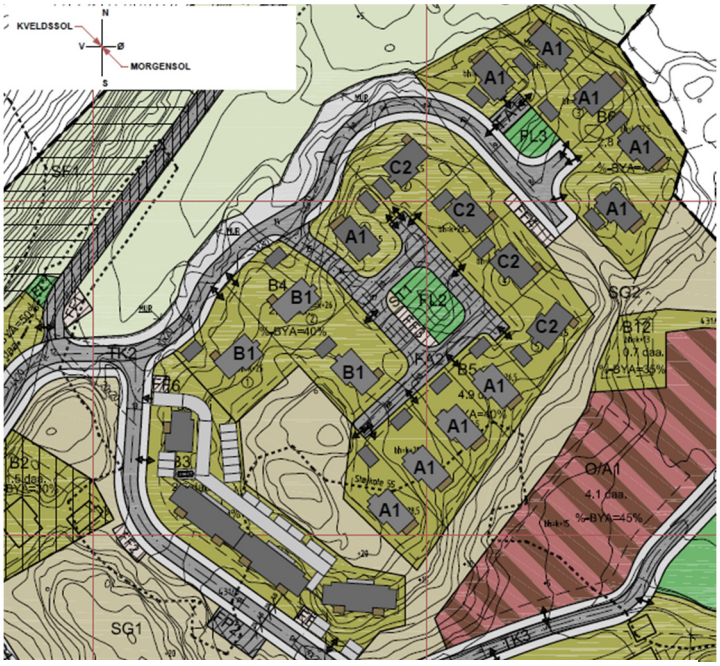
*Figur V 19. Situasjonsplan (rød ring) og bilde, passivhusprosjekt PH 6*



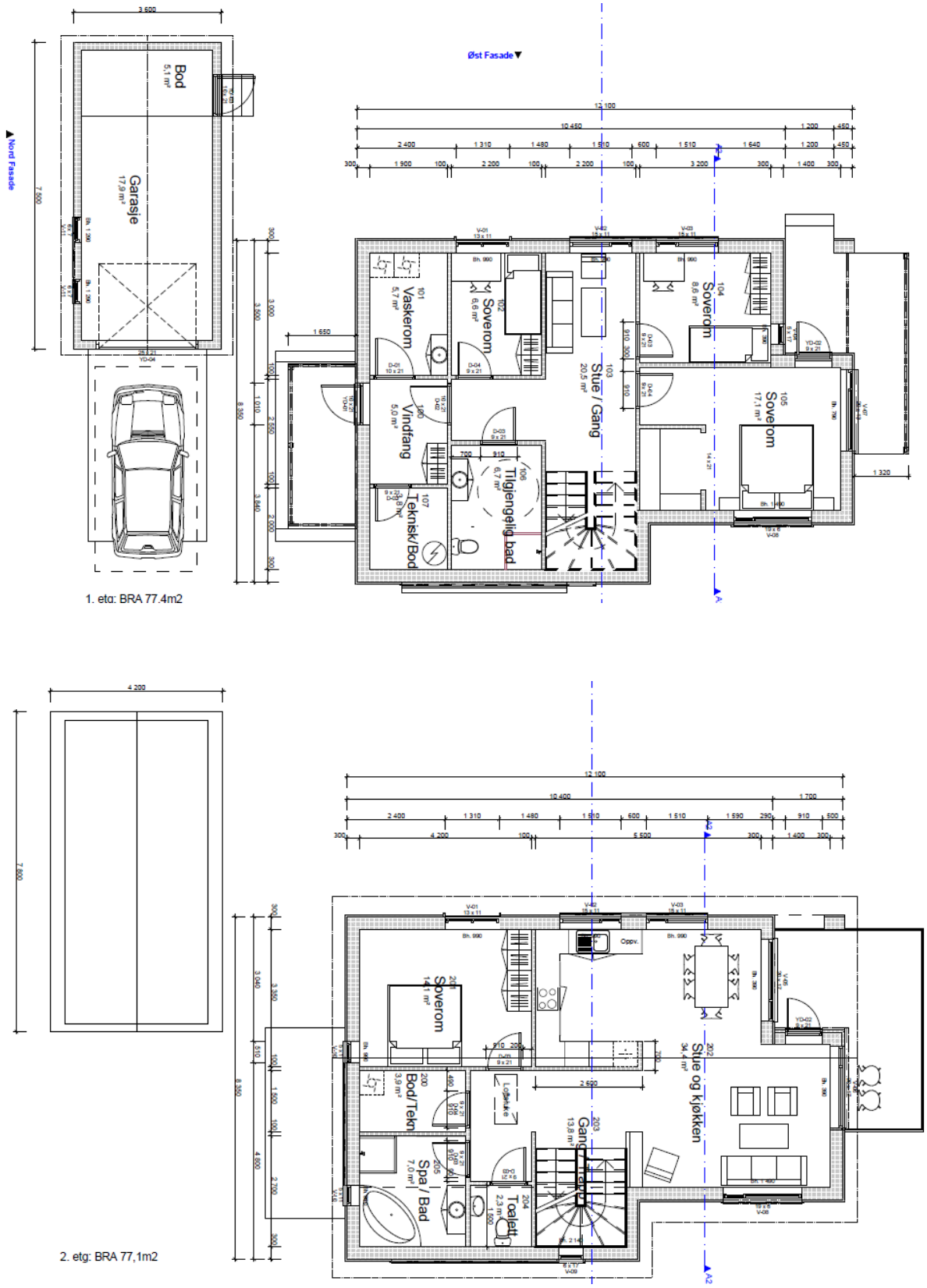

*Figur V 20. Fasade nord og sør, passivhusprosjekt PH 6*

*Figur V 21. Plantegning eksempler: 2. og 4. etasje, passivhusprosjekt PH 6*

## Passivhusprosjekt PH 7



*Figur V 22. Situasjonsplan og bilde, passivhusprosjekt PH 7*

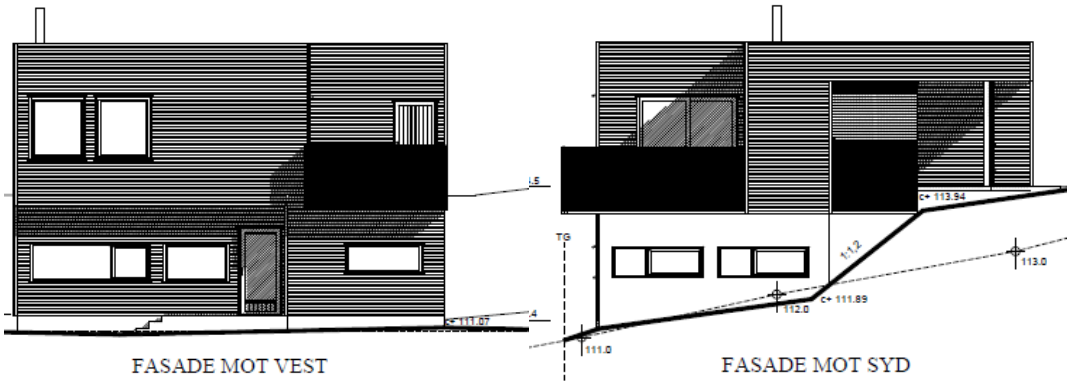



*Figur V 23. Plantegning 1. og 2. etasje, passivhusprosjekt PH 7*

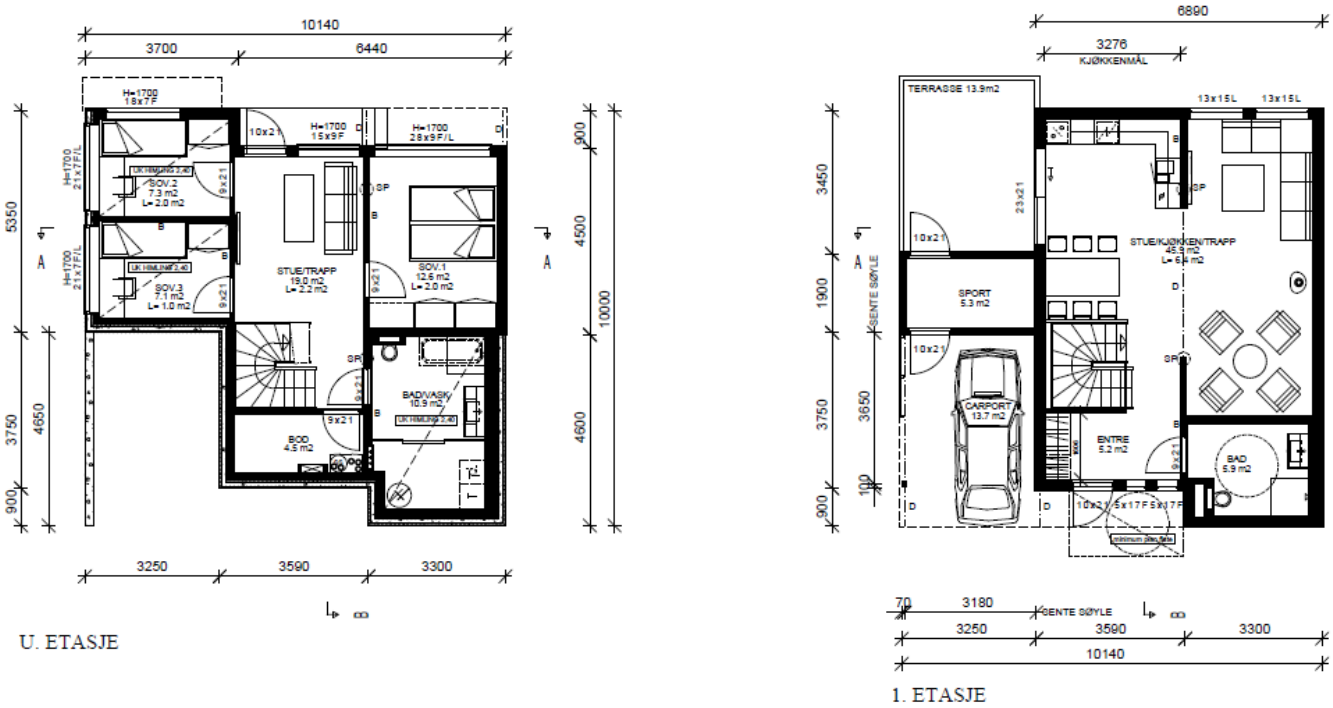
## TEK10-prosjekt TEK 2

*Figur V 24. Situasjonsplan TEK10-prosjekt TEK 2*

*Figur V 25. Bilde under bygging, TEK10-prosjekt TEK 2*




*Figur V 26. Fasade mot vest og mot syd, TEK10-prosjekt TEK 2*




*Figur V 27. Plantegning, underetasje og 1. etasje, TEK10- prosjekt TEK 2*

# Vedlegg 2: Byggeteknikk og -prosess: oppsummering av intervjuer

*Tabell V 1: byggetekniske og andre utfordringer. Ervervet kunnskap. PH relaterte funn.*

| | Byggetekniske utfordringer i PH | Hvordan ervervet kunnskap om PH | Andre utfordringer | PH-relaterte utfordringer |
|---|---|---|---|---|
| **Utbygger 1** | **Største utfordringer:** strenge kuldebrokrav og tetthetskrav.<br>Generelt: mindre utfordrende enn forventet.<br><br>**Konstruksjon:**<br>I-stendere i tre, minimere isolasjonstykkelse.<br>Vurdert kritisk etterpå, for tidkrevende.<br>-Utviklet nytt produkt i samarbeid med leverandør.<br>-ellers få nye løsninger brukt, PH ikke langt unna TEK 10. | -Opplevde lav kunnskapsnivå i bransjen i 2013<br><br>-Mye intern kunnskap i bedriftene som er vanskelig å spre.<br><br>-Learning-by-doing<br><br>-For lite dokumentasjon av løsninger.<br><br>-Kurs og opplæring, utdanne egne folk. | -Valg av varmetekniske løsninger. Lite tilgjengelig dokumentasjon og etterprøving. | -Valg av egnede konstruksjonssystem for å få plass til isolasjon i vegg, gulv og tak.<br><br>**Økt tidsbruk og kostnader:** Høyere kostnader enn for tilsvarende TEK'10 hus. Tidsbruk: estimerer at tømmerarbeidene i passivhus tok ca. 90 timer mer enn for TEK'10 hus, og grunnmur-arbeidene ca. 25 timer. Timebruken kan senkes når prosessene er innarbeidet. |
| **Utbygger 2** | **Største utfordringer:** oppfylle tetthetskrav og energikrav.<br>For lite dokumentasjon av gode løsninger.<br>Plassering av rør til vannbåren varme i flere etasjer.<br><br>**Konstruksjon**:<br>ISO-3 stendere for å holde isolasjonstykkelse ned. –Testet nytt produkt grunnmur, mål: oppfylle kuldebro og tetthetskrav. | -Kompetanseheving i bransjen vil skje gjennom å bygge flere passivhus.<br><br>-Hjelp og løsningsforslag: Ressursperson i egen bedrift. | -Valg av varmetekniske løsninger: hvordan velge og å finne fram til de gode produktene?<br><br>-Nye folk i prosessen, usikkerhet pga. lite kunnskap. | - Energieffektivitet som spesifikt kontrollområde.<br><br>-Mer kontroll, høyere kvalitet.<br><br>**Økt tidsbruk og kostnader** konstruksjon, passivhus-vinduer, varmeløsninger og rør, og prosess som tar lengere tid når det er mye nytt og ukjent. |
| **Utbygger 3** | -**Største utfordringer:** å få til passivhusnivå innenfor eget byggesystemet. Flere nye detaljer.<br>Forventet at tetthetskravet skulle bli den største utfordringen, men gikk bra.<br><br>**Konstruksjon**:<br>ISO-3 stendere for å holde isolasjonstykkelse ned. Dører med lav U-verdi var i starten vanskelig tilgjengelig. | -Eget produksjons-opplegg drilles med alle arbeidere og detaljene gjennomarbeides.<br><br>-Intern opplæring | - Valg av varmetekniske løsninger: det blir alltid noe annerledes i forhold til tidligere prosjekter.<br><br>- mangler dokumentasjon på hvilke oppvarmingssystemer som fungerer godt og er mest energibesparende.<br><br>-Lite samkjørt utvikling av kunnskap med andre fag, f.eks. elektriker / rør etc. | - bedre kvalitetssikring: (trykktesting, teiping, fuktkontroll etc.).<br><br>**Økt tidsbruk og kostnader:** Byggeprosess tar lengere tid: høyere kostnader. Materialer koster mer. |

| | Byggetekniske utfordringer i PH | Hvordan ervervet kunnskap om PH | Andre utfordringer | PH-relaterte utfordringer |
|---|---|---|---|---|
| **Utbygger 4** | **Største utfordringer:** Beregninger og oppfylling av kuldebro. Skorstein. Strenge krav til tetthet (men ser positivt på det, vil sikre god kvalitet).<br><br>**Konstruksjon:** utviklet veggløsning med doble yttervegger med et ubrutt isolasjonslag. Tykk isolasjonslag utfordrende. | - opplæringen og kompetansebygging i bedriften<br><br>-mangler noen på forståelse for detaljer og løsninger hos fagarbeiderne. | - valg av tekniske løsninger og koordinering mellom de tekniske leverandørene.<br><br>-krevende er å ta hånd om hele prosessen og å kvalitetssikre den.<br><br>-kunnskapsnivå på nyansatte og innleid personell. | **Økt tidsbruk og kostnader:** anslår 6-7 % over tilsvarende TEK 10 hus. Største ekstrakostnad: tidsbruk. |
| **Utbygger 5** | **Største utfordringer:** tetthetskrav. Få til PH nivå på tomten/rekkehus. Ellers "byggeteknisk enkelt".<br>PH elementer tykkere og tyngre, vanskeligere å heise på plass.<br><br>**Konstruksjon:** Prefabrikkerte ytter-veggselementer, taket bygges på plass. Tak tilpasses solfangere. Prefab valgt pga: ingen byggfukt, forutsigbar økonomi, produseres fort, settes sammen fort. | - Kunnskapsbehov i bransjen<br><br>-Må være aktiv å lære selv, man lærer ikke av å være passive.<br><br>- Må teste ut løsninger. Ikke nok med teori.<br><br>- Kurs har de gått på. Man lærer også av at byggherren krever. | -Tomten var kostnadsdriver, sprenging.<br><br>- Markedet betaler ikke mer for PH | **Økt tidsbruk og kostnader:** PH elementene er tyngre, utfordring å få heise de på plass, tar lengre tid. Tetting. Kostnadsdrivere kontra TEK 10 er summen av små ting: dyrere vinduer, tykkere vegger med mer materialer og mer montasjetid.<br><br>-kvalitetskontroll mer omfattende pga. tetthetskrav |
| **Utbygger 6** | **Største utfordringer:** Å få til flat overgang til takterrasse i toppetasje. Løsning: vakuumisolasjon. Teoretisk optimale løsninger testes i praksis, ofte ikke rasjonelt.<br><br>**Konstruksjon:** Moduler med stålskjellet. Bygget under tak. Isolert. Diffusjonsåpen vindsperre. Modul bedre kvalitet enn plassbygget. Fukthåndtering og kostnadsnivå avgjørende for valg. | -samarbeid med kunnskapsmiljøer: Kvalitetssikre løsninger. Rådgivning.<br><br>- learning-by-testing: Første ph de bygget var urasjonelle vegg konstruksjon. Kan ikke gjøres på den måten. | -I planleggingsfasen: viktig å tenke ph fra første strek. Utfordring: urasjonelle fotavtrykk lagt fast i reguleringsplan.<br><br>-utforming: forsprang og svalgang/balkong. Det er vanskelig å få til ph.<br><br>–Valg av varmeteknisk løsning. Utredet: Fjernvarme kom best ut men vises ikke i energimerkeordning, klasse B.<br><br>-vanskelig å forklare valg /energimerke for kjøperne. | **Økt tidsbruk og kostnader:** Markedet betaler ikke ekstra for PH. Prøver å holde kostnader nede gjennom kostnadseffektive løsninger (modul).<br><br>-Økt fokus på kvalitet pga. kontroll. Ringvirkning på alle involverte fag: leverer bedre kvalitet. |

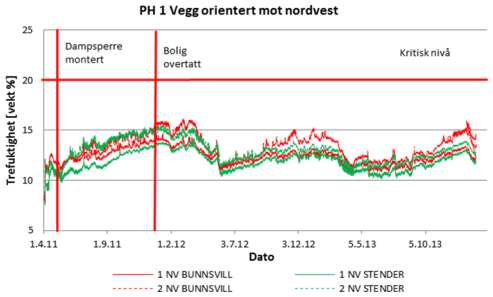
| | Byggetekniske utfordringer i PH | Hvordan ervervet kunnskap om PH | Andre utfordringer | PH-relaterte utfordringer |
|---|---|---|---|---|
| **Utbygger 7** | **Største utfordringer:**<br>**-**finne de gode løsningene. Ble endringer underveis**.**<br><br>**Konstruksjon:**<br>Konstruksjonsmåten ble endret. Trelagsvegg til dobbelvegg.<br>Trelagsvegg for komplisert å bygge.<br>Tidsbruk høy.<br>Forenkling.<br>-Produkt utvikling: Glava murplate, utviket. | -Kurs, reiser, intern opplæring.<br><br>-Pilotprosjekter ikke lønnsomme men verdifulle for kunnskapsnivået i bedriften | -Valg av varmetekniske og energiforsyningsløsninger for å få til nullenergihus. Flere runder og vurderinger.<br><br>-Tidsbruk.<br><br>- Salg. Markedet på valgt sted ikke villig å betale for PH/nullenergi.<br><br>-ennå ikke lønnsomt med egen energiproduksjon | - Bedre kvalitet: tetthetskrav, fuktmålinger og fokus på detaljløsninger gjør at kvaliteten på husene er bedre, færre reklamasjoner.<br><br>**Økt tidsbruk og kostnader:**<br>-Tekniske anlegg og nye løsninger: største kostnadsforskjellen sammenlignet med TEK 10.<br>Høyere salgspris.<br>Tidsbruk: lang prosjekteringstid, treig salg, forsinkelse. |

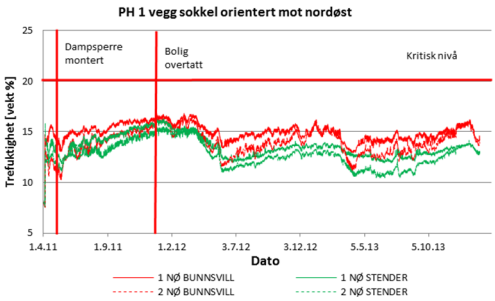
*Tabell V 2: Hvordan håndterer utbyggerne kontrollområde byggfukt på byggeplassen?*

| | Kontrollområde byggfukt. |
|---|---|
| **Utbygger 1** | - Ikke bygget under telt. Kostnader. Værutsatt tomt.<br>- Måling av trefukt før dampsperre montert. Har målt 15%.<br>- Økt fokus på fuktsikkerhet.<br>- Økt kontrollområde, bidrar til bedre kvalitet. |
| **Utbygger 2** | - Ikke bygget under telt.<br>- Lav fuktprosent før lukking av veggen. Målt 13 %.<br>- Uttørking tok tid: Satt inn avfukter og vifte. |
| **Utbygger 3** | - Ikke bygget under telt<br>- Standardprosedyre er å måle fuktprosent.<br>- Satser på rask tetting.<br>- Har opplegg for uttørking. Alltid utfordring når det er mye nedbør, utnytte finværsperioder. |
| **Utbygger 4** | - Ikke bygget under telt.<br>- Avfukter og måler fuktprosent i bunnsvill. Målt: 14-19 %<br>- Tørke ut eventuell fukt i konstruksjonene før den lukkes.<br>- Må regne med å gjennomføre en uttørking av alle materialer. |
| **Utbygger 5** | - Ikke bygget under telt.<br>- Målt fuktprosent. Målt: 17%. Hvis fuktnivået høyt: tiltak.<br>- Satser på rask tetting.<br>- 2 uker satt av til uttørking. |
| **Utbygger 6** | - Ikke bygget under telt.<br>- Moduler: produsert under tak. Ingen byggfukt. Stålkonstruksjon.<br>- Bedre trygghet for dem som byggherre med moduler.<br>- Raskt bygging. Unngår regnperioder. |
| **Utbygger 7** | - Ikke bygget under telt.<br>- Måler fuktinnhold i konstruksjon. Ble lukket på 12%.<br>- Hvis dårlig vær: sette av tid for å tørke ut. |

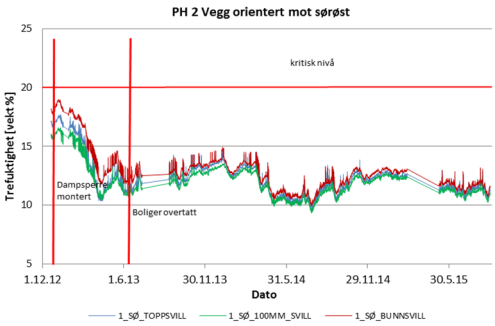
# Vedlegg 3: Resultater fra trefuktmålinger – alle figurer

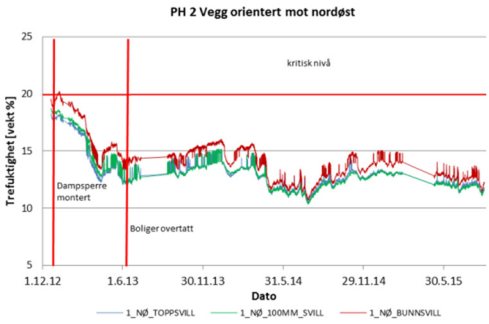
*Passivhus 1: vegger*

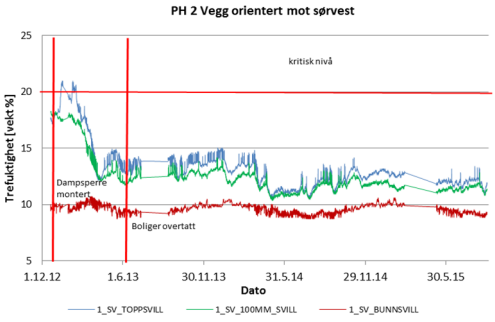


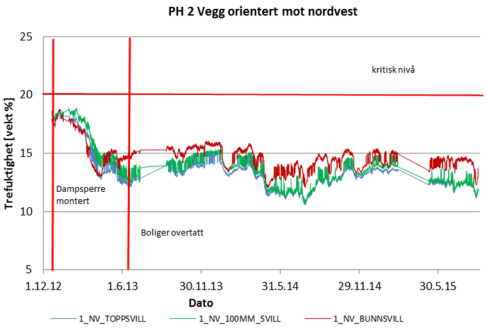



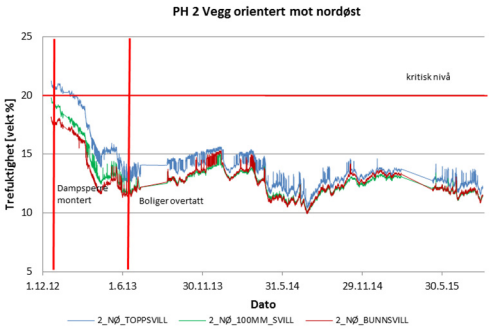

*Passivhus 2: vegger*

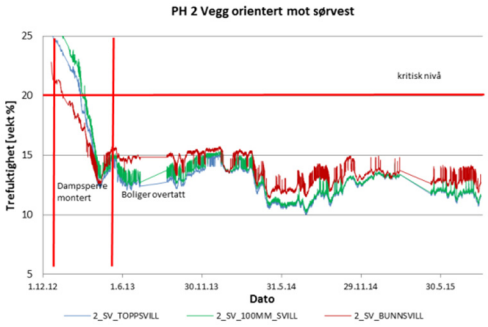


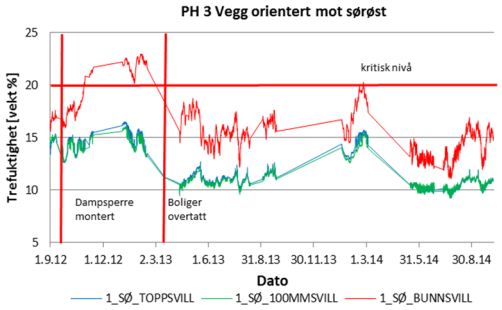



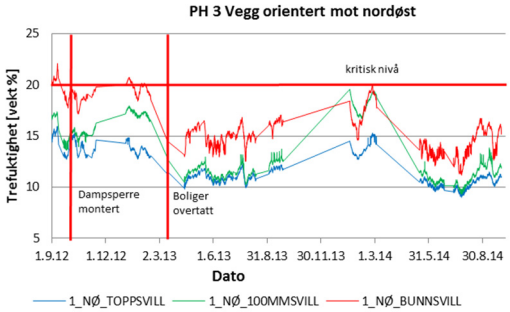



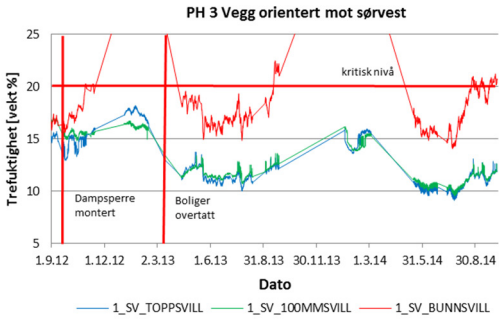



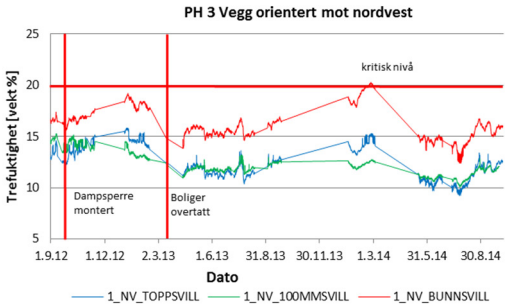



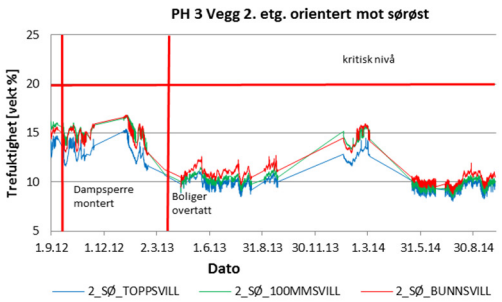
*Passivhus 3: vegger*

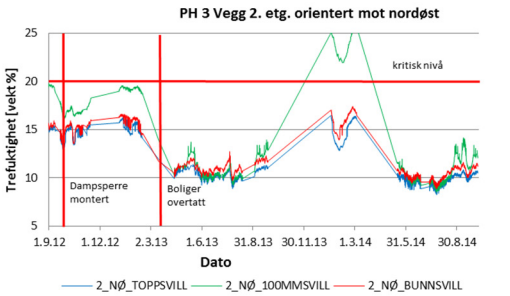


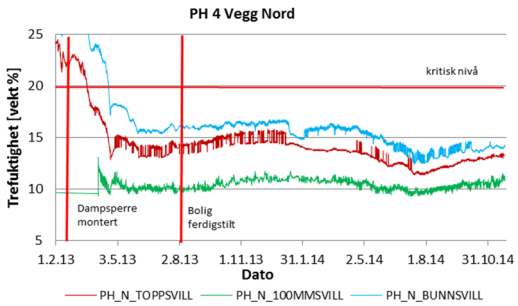



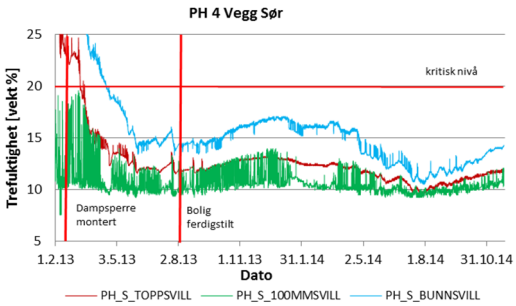



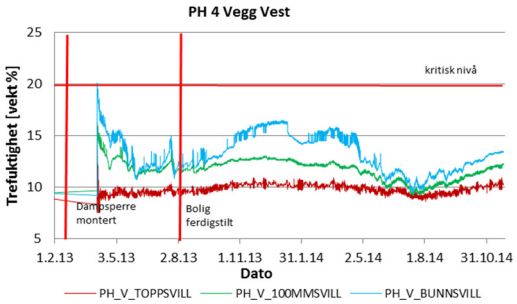



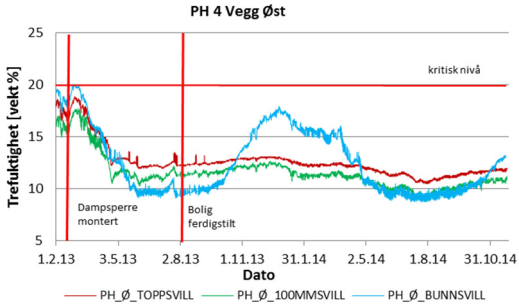




*Passivhus 4: vegger*

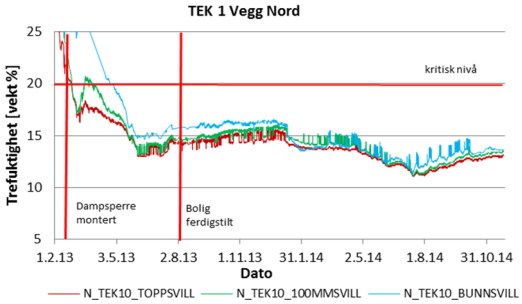


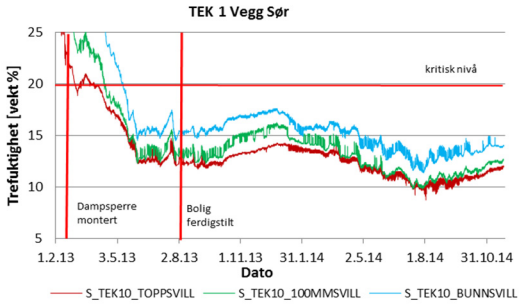



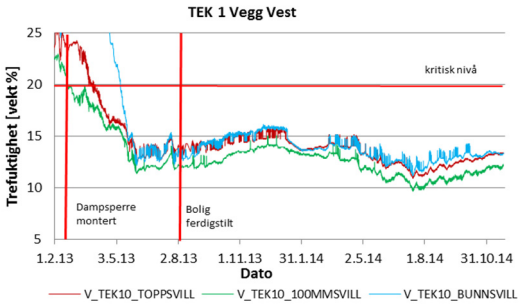


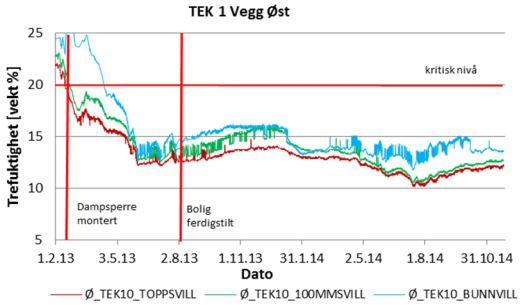




*TEK 1: vegger*



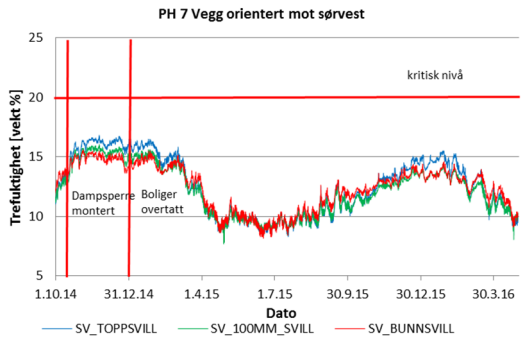



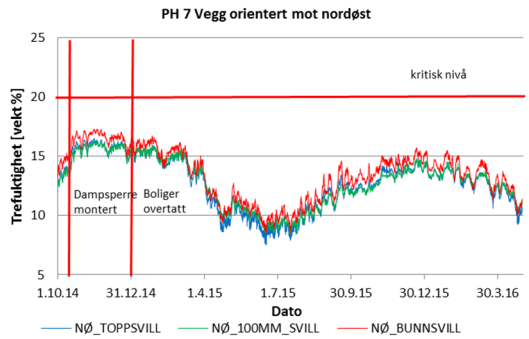



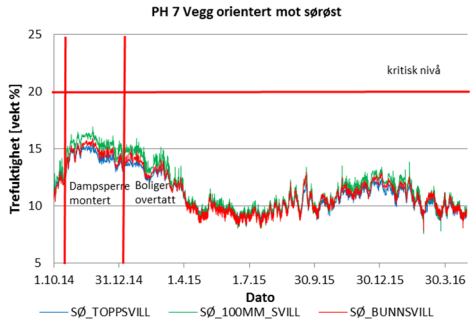

Passivhus 5: Figuerene er tatt ut. Utbyggeren ønsket ikke å vise disse i rapporten.

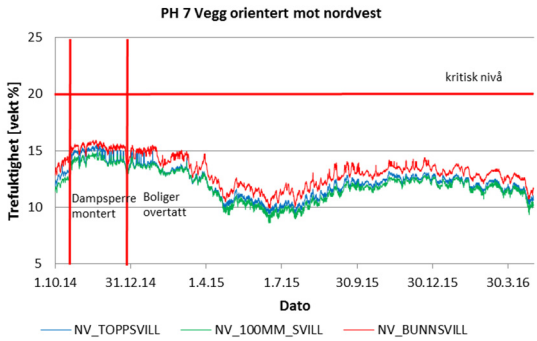
Passivhus 6: Bygget med vegger med bindingsverk av stål. Trefuktighetsmålinger derfor ikke relevant

*Passivhus 7: vegger*

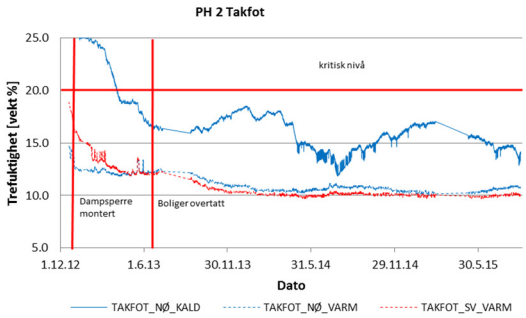


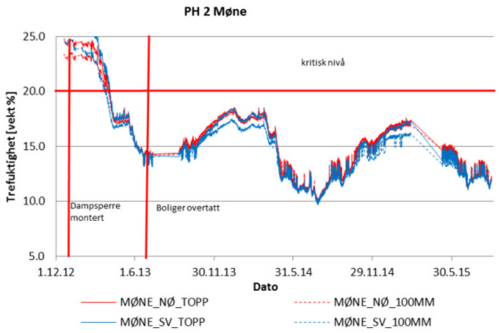



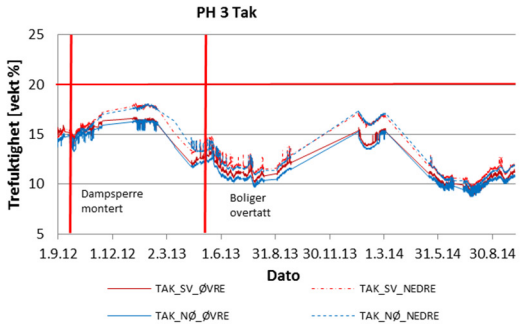


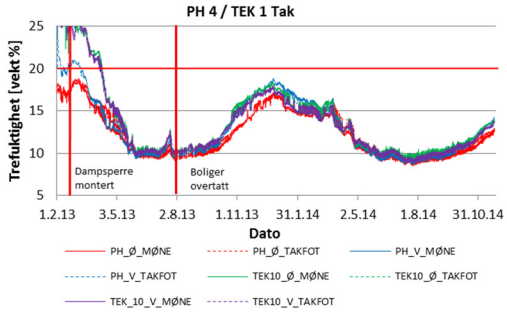



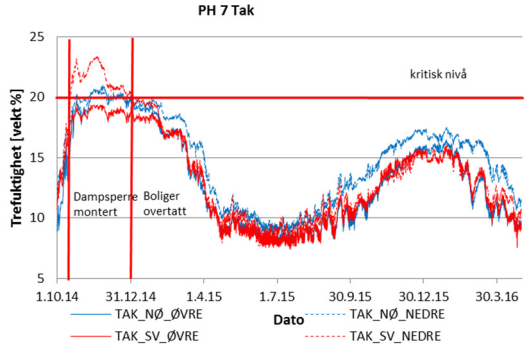

*Fuktmålinger i taket: passivhus 2, 3, 4/TEK1, 7.*



# EVALUERING AV BOLIGER MED LAVT ENERGIBEHOV (EBLE) – SAMLERAPPORT

Målet med prosjektet Evaluering av boliger med lavt energibehov (EBLE) har vært å øke kunnskapen om boliger på passivhusnivå og nesten nullenerginivå. Rapporten presenterer resultater fra evaluering av 64 passivhus og ti TEK10-boliger. Undersøkelsen bygger på omfattende instrumentering og måling, samt intervjuer med beboerne.

- Beboerne har høye forventninger til inneklima og komfort. Forventningene innfris til en høy grad.
- Generelt er energibruken i passivhusboliger lavere enn i TEK10-boliger.
- For både passivhus og TEK10-boliger underestimeres energibehovet i beregninger.
- Målt energibruk til oppvarming er høyere enn det beregnede for begge kategorier av boliger.
- Beboerne ønsker høyere innetemperaturer enn det som legges til grunn for energi-beregninger etter gjeldende standarder. Målingene bekrefter at beboerne velger å ha høyere innetemperaturer.
- Bruk av utvendig solavskjerming samt tilrettelegging for gjennomlufting av boligene reduserer faren for overtemperatur sommerstid.
- Beboere trenger god og lett tilgjengelig informasjon om styring, regulering og vedlikehold av de tekniske installasjonene.
- Målingene av trefuktighet i passivhusprosjektene bekrefter at passivhuskonstruksjoner kan bygges etter kjente, dokumenterte prinsipper.
- Kostnader for bygging av passivhus er noe høyere enn for TEK10-hus.

SINTEF akademisk forlag