

Energibruk og inneklima i passiv- og lavenergihus

Oddvar Nesland

Master i energi og miljø
Oppgaven levert: Juli 2010
Hovedveileder: Hans Martin Mathisen, EPT

Oppgavetekst

Målet med oppgaven er å framskaffe data for opplevd inneklima og virkelig energibruk i norske passiv- og lavenergihus, slik at det kan gjøres sammenligninger med planlagt energibruk og forventninger til inneklima. Årsaken til eventuelle avvik skal beskrives.

Oppgavens problemstilling har stort omfang, kandidaten skal derfor i samråd med veileder lage en plan for oppgaven med beskrivelse av detaljerte mål og hvilke avgrensninger som skal gjelde. To hovedpunkter i oppgaven vil være:

1. Målinger av energibruk knyttet hovedsaklig opp mot lavenergi- og passivhus i Løvåshagen i Bergen.
2. Det gjennomføres intervjuer av beboere for kartlegging av inneklima.

Oppgaven gitt: 16. februar 2010

Hovedveileder: Hans Martin Mathisen, EPT

MASTEROPPGAVE

for

Stud.techn. Oddvar Nesland

Våren 2010

Energibruk og inneklime i passiv- og lavenergihus

Energy consumption and indoor environment in passive and low energy houses

Bakgrunn

Innen bygningssektoren kan betydelige reduksjoner i energibruk og derigjennom utslipp av klimaskadelige gasser nås med relativt lave kostnader. Store reduksjoner kan oppnås gjennom utbedring av eksisterende bygningsmasse. For nybygg har det kommet betydelig skjerpede forskrifter, men det er også økende interesse for bygninger som går lengre enn forskriftskravene, slik som passiv- og lavenergihus. Disse bygningene stilles blant annet strengere krav til luftetting, isolasjon og energibruk til ventilasjon.

I utlandet har man bygget passivhus gjennom flere år, i Norge er dette relativt nytt og det eksisterer så langt få bygninger. Lavenergihus har blitt bygd i noe større omfang.

Kandidaten har hatt sommerjobb hos SINTEF Energiforskning, Avdeling energiprosesser hvor han har gjennomført en litteraturundersøkelse knyttet til helse, inneklime og energibruk i lavenergi- og passivhus. Resultatene tyder på at det generelt er relativt lite dokumentasjon av hvilke resultater som er oppnådd, for norske bygninger er det funnet svært få publikasjoner. Det er derfor behov for mer kartlegging og dokumentasjon for å bekrefte at målene for energibruk og inneklime nås. Høsten 2009 gjennomførte kandidaten en prosjektoppgave som inneholdt innledende målinger og spørreundersøkelse. Denne masteroppgaven skal bygge videre på dette grunnlaget.

Mål

Målet med oppgaven er å framskaffelse av data for opplevd inneklime og virkelig energibruk i norske passiv- og lavenergihus, slik at det kan gjøres sammenligninger med planlagt energibruk og forventninger til inneklime. Årsaken til eventuelle avvik skal beskrives.

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter

Oppgavens problemstilling har stort omfang, kandidaten skal derfor i samråd med lage en plan for oppgaven med beskrivelse av detaljerte mål og hvilke avgrensninger som skal gjelde. To hovedpunkter i oppgaven vil være:

1. Målinger av energibruk knyttes hovedsakelig opp mot lavenergi- og passivhus i Løvåshagen i Bergen.
2. Det gjennomføres intervjuer av beboere for kartlegging av inneklime.

Senest 14 dager etter utlevering av oppgaven skal kandidaten levere/sende instituttet en detaljert fremdrift- og eventuelt forsøksplan for oppgaven til evaluering og eventuelt diskusjon med faglig ansvarlig/veiledere. Detaljer ved eventuell utførelse av dataprogrammer skal avtales nærmere i samråd med faglig ansvarlig.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velkrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte, og at de er diskutert utførlig.

Alle benyttede kilder, også muntlige opplysninger, skal oppgis på fullstendig måte. For tidsskrifter og bøker oppgis forfatter, tittel, årgang, sidetall og eventuelt figurnummer.

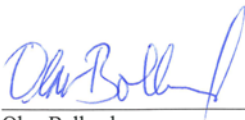
Det forutsettes at kandidaten tar initiativ til og holder nødvendig kontakt med faglærer og veileder(e). Kandidaten skal rette seg etter de reglementer og retningslinjer som gjelder ved alle (andre) fagmiljøer som kandidaten har kontakt med gjennom sin utførelse av oppgaven, samt etter eventuelle pålegg fra Institutt for energi- og prosesseteknikk.

I henhold til ”Utfyllende regler til studieforskriften for teknologistudiet/sivilingeniørstudiet” ved NTNU § 20, forbeholder instituttet seg retten til å benytte alle resultater og data til undervisnings- og forskningsformål, samt til fremtidige publikasjoner.

Ett -1 komplett eksemplar av originalbesvarelsen av oppgaven skal innleveres til samme adressat som den ble utlevert fra. Det skal medfølge et konsentrert sammendrag på maksimalt én maskinskrevet side med dobbel linjeavstand med forfatternavn og oppgavetittel for evt. referering i tidsskrifter).

Til Instituttet innleveres to - 2 komplette kopier av besvarelsen. Ytterligere kopier til eventuelle medveiledere/oppgavegivere skal avtales med, og eventuelt leveres direkte til de respektive. Til instituttet innleveres også en komplett kopi (inkl. konsentrerte sammendrag) på CD-ROM i Word-format eller tilsvarende.

NTNU, Institutt for energi- og prosesseteknikk, 16. februar 2010



Olav Bolland
Instituttleder



Hans Martin Mathisen
Faglig ansvarlig/veileder

Forord

Denne rapporten er skrevet som besvarelse på masteroppgaven ”Energibruk og inn klima i passiv- og lavenergihus” våren 2010. Oppgaven er gjennomført ved Institutt for energi- og prosessteknikk ved NTNU og inngår som en del av masterstudiet Energi og miljø. Oppgaven er knyttet til KMB – prosjektet ”Reduced energy consumption in buildings – impact on indoor air quality and health” gjennom SINTEF Energiforskning AS.

Jeg ønsker å rette en stor takk til de beboerne i Løvåshagen borettslag som har deltatt i denne studien. Takk for at dere har åpnet deres hjem og vært positivt innstilt til målearbeidet. En takk rettes også til Kjetil Helland i ByBo AS som har bidratt med informasjon om borettslaget og vært behjelpelig med å opprette kontakt med beboerne.

Jeg ønsker også å takke alle som har hjulpet til med tips og veiledning rundt bruken av måleutstyr. Her vil jeg spesielt nevne Jostein Bakken ved SINTEF Energiforskning AS.

Sist, men ikke minst, vil jeg takke min veileder ved NTNU/SINTEF Energiforskning AS, Hans Martin Mathisen, for kyndig veiledning og god hjelp under arbeidet med oppgaven.

Trondheim 13.7.2010



Oddvar Nesland

Sammendrag

Det er gjennomført målinger av energibruken til ulike formål i fem leiligheter i Løvåshagen borettslag i Bergen. Tre av leilighetene er av lavenergistandard, mens de to siste er av passivhusstandard. Hovedmålsetningen med oppgaven har vært å framskaffe data for virkelig energibruk i norske passiv- og lavenergihus, slik at det kan gjøres sammenligninger med planlagte verdier.

Resultatene viser til dels store variasjoner i energiforbruket i leilighetene. Energiforbruket til oppvarming av varmt tappevann var blant energipostene som viste størst variasjoner. I en av passivhusleilighetene var tappevannsforbruket omtrent dobbelt så stor som i enkelte av lavenergileilighetene. Energitilskuddet fra solfangerne i passivhusleilighetene så også ut til å være mindre enn forventet.

Energiforbruket til ventilasjon viste seg å være markant større i lavenergileilighetene enn i passivhusleilighetene. Årsaken til dette er ulikt ventilasjonsaggregat i de to leilighetstypene.

Årlig spesifikt energiforbruk i leilighetene er blitt estimert på grunnlag av måleresultatene. Energiforbruket i de to passivhusleilighetene ville gitt henholdsvis karakter C og D på energimerkeskalaen, mens lavenergileilighetene trolig ville endt opp med karakteren C. Forbruket ser generelt ut til å ligge over det som var forventet. Dette gjelder spesielt for leilighetene av passivhusstandard.

De store variasjonene i det totale energiforbruket og variasjonen i forbruket til oppvarming av varmt tappevann, viser at energiforbruket i passiv- og lavenergihus i stor grad er brukeravhengig.

Abstract

Measurements have been carried out to find the energy consumption for different purposes in five apartments in “Løvåshagen borettslag” in the city of Bergen. Three of the apartments are low energy houses, and the last two are passive houses. The main objective with this thesis has been to collect data for the energy consumption in Norwegian passive houses and low energy dwellings, so that comparisons with planned consumption can be made.

The results are showing rather big variations between the energy consumption in the different apartments. The energy consumption for water heating turned out to be one of the main reasons for the variations. In one of the passive houses the consumption for water heating appeared to be about twice as big as in some of the low energy houses. In the passive houses, the amount of energy achieved from the solar water heaters, seemed to be smaller than expected.

The energy consumption for ventilation was clearly bigger in the low energy dwellings than in the passive houses. Different types of air-handling unit is the explanation for this.

Based on the results from the measurements, the specific annual energy consumption in the apartments has been estimated. The two passive houses would have been given the grades C and D in the new Norwegian system for energy certification, while the low energy houses probably would have been given a C. Generally, the consumption in all of the dwellings, seems to be higher than expected.

The big variations in the total energy consumption, and the variations in the consumption for water heating, show us that the energy consumption in passive houses and low energy dwellings are largely depending on the users.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	1
2	Energibruk i boliger	3
2.1	Krav og standarder for boliger	4
2.2	Passiv- og lavenergihus	6
2.3	Energimålinger i passiv- og lavenergihus	10
3	Løvåshagen borettslag	13
4	Målinger	15
4.1	Totalt elektrisitetsforbruk	17
4.2	Total romoppvarming	17
4.2.1	Målemetode	17
4.2.2	Beregningsmetoder	20
4.3	Panelovn	22
4.3.1	Målemetode	22
4.3.2	Beregningsmetoder	24
4.4	Radiator	25
4.4.1	Målemetode	25
4.4.2	Beregningsmetoder	27
4.5	Gulvvarme	29
4.5.1	Beregningsmetoder:	29
4.6	Ventilasjon	30
4.6.1	Målemetode	30
4.6.2	Beregningsmetoder	31
4.7	Solfangere	33
4.7.1	Målemetode	33
4.7.2	Beregningsmetoder	34
4.8	Varmt tappevann	36
4.8.1	Målemetode	37
4.8.2	Beregningsmetoder	37
4.9	Restpost	38
4.10	Temperatur og relativ fuktighet	38

4.11	Kontrollmålinger	38
4.11.1	Målemetode	39
4.11.2	Beregningsmetoder	39
4.12	Beregning av årlig energibruk.....	39
4.13	Problemer og utfordringer i forbindelse med målearbeidet	46
5	Resultater	49
5.1	Energiforbruk i måleperioden	49
5.2	Energiforbruk januar – juni 2010	59
5.3	Energiforbruk i et normalår.....	66
6	Diskusjon	71
6.1	Romoppvarming.....	72
6.2	Tappevann.....	72
6.3	Ventilasjon	74
6.4	Restpost.....	75
6.5	Estimert årlig energiforbruk.....	76
7	Konklusjon.....	79
8	Videre arbeid.....	81
9	Referanser	83

Figurliste

Figur 1. Skisse av prinsipp for festing av termoelement utenpå rør.	19
Figur 2. Løsning for tilkobling av tangamperemeter.	23
Figur 3. Panelovn med måleutstyr og logger.....	24
Figur 4. Plassering av termoelementer på radiatoroverflaten.	26
Figur 5. Illustrasjon av beregningsmetode for å skille energiforbruket til ventilasjonsvarme fra det resterende forbruket til ventilasjon.	32
Figur 6. Totalt spesifikt strømforbruk i perioden f.o.m. 24.3.2010 t.o.m. 4.5.2010.	50
Figur 7. Totalt spesifikt strømforbruk i perioden f.o.m. 6.4.2010 t.o.m. 4.5.2010.	50
Figur 8. Totalt spesifikt strømforbruk i perioden f.o.m. 20.4.2010 t.o.m. 25.4.2010.	56
Figur 9. Totalt spesifikt strømforbruk i perioden f.o.m. 27.4.2010 t.o.m. 3.5.2010.	57
Figur 10. Gjennomsnittlig romtemperatur i perioden f.o.m. 6.4.2010 t.o.m. 3.5.2010.	58
Figur 11. Energiforbruk til tappevann i perioden f.o.m. 27.4.2010 t.o.m. 3.5.2010 og andelen dette står for av det totale energiforbruket i leilighetene.	59
Figur 12. Spesifikt strømforbruk i lavenergileilighetene de seks første månedene av 2010.	60
Figur 13. Spesifikt strømforbruk i passivhusleilighetene de seks første månedene av 2010.	61
Figur 14. Gjennomsnittlig romtemperatur i perioden f.o.m. 20.4.2010 t.o.m. 25.4.2010.	89
Figur 15. Gjennomsnittlig romtemperatur i perioden f.o.m. 27.4.2010 t.o.m. 3.5.2010.	89

Tabelliste

Tabell 1. Energirammekrav for boliger gitt i TEK [6-7].....	5
Tabell 2. Energimerkeskalaen for boliger i den nye energimerkeordningen for bygg [8].....	6
Tabell 3. Krav til høyeste beregnede netto energibehov til oppvarming gitt av årsmiddeltemperatur, θ_{ym} , og oppvarmet del av BRA, A_{η} , for passivhus [9].	7
Tabell 4. Krav til høyeste beregnede netto energibehov til oppvarming gitt av årsmiddeltemperatur, θ_{ym} , og oppvarmet del av BRA, A_{η} , for lavenergihus [9].....	8
Tabell 5. Minstekrav til bygningsdeler, komponenter og lekkasjetall [7, 9].....	9
Tabell 6. Isolasjonstykkelser benyttet i Løvåshagen borettslag.....	13
Tabell 7. Oversikt over måleleiligheter.....	16
Tabell 8. Verdier for ρ_v og $C_{p,v}$ benyttet i beregningene av energiforbruket til oppvarming.....	21
Tabell 9. Avvik i endelig akkumulert energibruk ved bruk av lign. (5) i stedet for sammenhengen gitt i lign. (2).....	28
Tabell 10. Tetthet og spesifikk varmekapasitet for frostvæskeblandingen [19].	35
Tabell 11. Graddagsavhengighet benyttet for de ulike energipostene.	40
Tabell 12. Global solinnstråling og forbruk av varmt tappevann [24, 26].....	44
Tabell 13. Energiforbruket [kWh] i lavenergileilighetene for perioden f.o.m. 20.4.2010 t.o.m. 25.4.2010.....	51
Tabell 14. Strømforbruk [kWh] i passivhusleilighetene for perioden f.o.m. 20.4.2010 t.o.m. 25.4.2010.....	52
Tabell 15. Strømforbruk [kWh] for perioden f.o.m. 20.4.2010 t.o.m. 25.4.2010 i leilighetene hvor det ble gjennomført kontrollmålinger.	52
Tabell 16. Energiforbruket [kWh] i lavenergileilighetene i perioden f.o.m. 27.4.2010 t.o.m. 3.5.2010.	52
Tabell 17. Energiforbruket i passivhusleilighetene i perioden f.o.m. 27.4.2010 t.o.m. 3.5.2010.	53

Tabell 18. Strømforbruk [kWh] for perioden f.o.m. 27.4.2010 t.o.m. 3.5.2010 i leilighetene hvor det ble gjennomført kontrollmålinger.	53
Tabell 19. Graddagstall benyttet i estimering av energiforbruket for første halvår av 2010.	62
Tabell 20. Global innstråling samt andelen som kan utnyttes i de to måleperiodene.	62
Tabell 21. Estimert spesifikt energiforbruk [kWh/m ²] i lavenergileilighetene i første halvdel av 2010 basert på måleresultatene gitt i Tabell 13.	63
Tabell 22. Estimert spesifikt energiforbruk [kWh/m ²] i lavenergileilighetene i første halvdel av 2010 basert på måleresultatene gitt i Tabell 16.	63
Tabell 23. Estimert spesifikt energiforbruk [kWh/m ²] i passivhusleilighetene i første halvdel av 2010 basert på måleresultatene gitt i Tabell 17.	64
Tabell 24. Avviket mellom estimert og målt verdi for totalt strømforbruk i lavenergileilighetene i første halvdel av 2010.	66
Tabell 25. Avviket mellom estimert og målt verdi for totalt strømforbruk i passivhusleilighetene i første halvdel av 2010.	66
Tabell 26. Graddagstall benyttet i estimering av energiforbruket i et normalår.	66
Tabell 27. Global innstråling samt andelen som kan utnyttes i de to måleperiodene.	67
Tabell 28. Estimert årlig spesifikt energiforbruk [kWh/m ²] i lavenergileilighetene i et normalår basert på måleresultatene gitt i Tabell 13.	67
Tabell 29. Estimert årlig spesifikt energiforbruk [kWh/m ²] i lavenergileilighetene i et normalår basert på måleresultatene gitt i Tabell 16.	68
Tabell 30. Estimert årlig spesifikt energiforbruk [kWh/m ²] i passivhusleilighetene i et normalår basert på måleresultatene gitt i Tabell 17.	68
Tabell 31. Totalt estimert strømforbruk [kWh/m ²] i lavenergileilighetene i et normalår. Korrigert for feil gitt i Tabell 24.	69

Tabell 32. Totalt estimert strømforbruk [kWh/m ²] i passivhusleilighetene i et normalår. Korrigert for feil gitt i Tabell 25.	69
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Vedleggsliste

Vedlegg 1. Plot av resultater fra forsøk på radiator.	86
Vedlegg 2. Oversikt over datagrunnlag.....	88
Vedlegg 3. Gjennomsnittlige romtemperaturer i måleleilighetene.	89

1 Innledning

Målet med denne oppgaven er å påbegynne fremskaffelsen av data for opplevd inneklima og virkelig energibruk i norske passiv- og lavenergihus. Innhenting av data er blitt gjort i Løvåshagen borettslag i Bergen hvor det er blitt gjennomført et måleopplegg i et lite utvalg leiligheter. Målingene har kun foregått over en kort periode og hatt som mål å finne energibruken fordelt på oppvarming, ventilasjon og varmt tappevann i den aktuelle perioden. Det resterende energiforbruket i leilighetene er samlet i en restpost. Data fra målingene er videre blitt bearbeidet, og ut fra resultatene er det forsøkt å anslå det årlige energiforbruket i leilighetene.

I forbindelse med et doktorgradsarbeid ved NTNU som omhandler samspillet mellom energieffektivitet, arkitektur og bokkvalitet, er det denne våren allerede blitt gjennomført en intervjurunde i Løvåshagen. Det skal også foregå oppfølgende intervjurunder utover høsten/vinteren. Av hensyn til beboerne og med tanke på oppslutningen rundt disse intervjuene, er det, i samråd med veileder, bestemt å droppe intervjudelen i denne masteroppgaven.

Den første delen i rapporten tar for seg dagens krav til energibruk i boliger. Begrepene «passiv- og lavenergihus» forklares, og den nye norske standarden for passiv- og lavenergiboliger presenteres. Her omtales også energimerkeordningen for bygninger, som trådte i kraft 1. juli 2010.

De neste tre delene tar for seg gjennomføring og resultater fra datainnsamlingen i Løvåshagen borettslag, samt den videre bearbeidningen av disse dataene. Her omtales blant annet utstyr, måleopplegg og benyttede beregningsmetoder i tillegg til at resultatene presenteres. Selve målingene og arbeidet med planlegging og gjennomføring av disse har vært den største og mest tidkrevende delen av denne oppgaven og vil derfor bli viet en relativt stor del av denne rapporten.

Til slutt i rapporten diskuteres resultatene. Det blir her sett på ulikheter mellom forbruket i måleleilighetene og gjort sammenligninger med planlagte verdier og mål for energibruken. Resultatene vurderes også opp mot energimerkeskalaen i den nye energimerkeordningen for bygninger.

2 Energibruk i boliger

Bygningssektoren står i dag for om lag 40 % av Norges innenlands energibruk, og man ser de samme tallene i EU-landene [1-2]. En reduksjon i denne sektoren vil derfor ha stor betydning for den totale energibruken og følgelig også utslippet av klimagasser. Bygningssektoren ses på som en av de sektorene hvor det er mest realistisk og mest kostnadseffektivt å gjøre store reduksjoner i klimautslippene på kort sikt.

Innen bygningssektoren står boliger for om lag 55 % av energibruken. Det har de siste 20 årene vært en reduksjon i den spesifikke energibruken (forbruk/areal), men en økning i antall boliger og oppvarmet boligareal, gjør at den totale energibruken i boligsektoren har holdt seg relativt stabil [3].

Det er flere faktorer som påvirker energibruken i boliger. Grovt sett kan disse faktorene deles inn i to hovedgrupper:

- Bygningstekniske faktorer
- Brukeravhengige faktorer

Blant de bygningstekniske faktorene er bygningskroppens isolerende egenskaper og tetthet, samt de tekniske installasjonenes energieffektivitet avgjørende. I tillegg vil bygningens plassering og utnyttelse av solinnstråling være viktige faktorer.

Når det gjelder brukeravhengige faktorer, vil antall beboere, beboernes alder og livssituasjon være viktige faktorer for energibruken. Flere beboere betyr normalt større bruk av tappevann, men vil samtidig gi noe ekstra internt varmetilskudd. Boliger med barn vil normalt bruke mer varmt tappevann og ha et større forbruk til vasking av klær. Beboernes livssituasjon vil også spille inn; eksempelvis vil en pensjonist normalt ikke dusje like mange ganger pr. uke som en tenåring.

Pensjonisten vil til gjengjeld ofte tilbringe flere timer i hjemmet, noe som gir flere brukstimer og dermed økt energibruk.

Holdninger og vaner blant beboerne vil også være av avgjørende betydning. Bruk av varmt tappevann og energi til belysning er energiposter som er svært avhengige av dette. Valg av innnetemperturnivå er et annet eksempel som har stor betydning for boligens energiforbruk.

2.1 Krav og standarder for boliger

I mars 2010 ble det vedtatt nye forskrifter til plan- og bygningsloven. Den nye tekniske forskriften, TEK10, trer i kraft 1.juli 2010, med en overgangsperiode på ett år. I denne overgangsperioden velger man selv, med enkelte unntak, hvorvidt man vil følge ny eller gammel forskrift [4].

Forskriften ble sist endret i 2007 hvor det ble innført nye energikrav med en overgangsperiode fram til 1. august 2009. Det er i tiden fremover varslet langt oftere innskjerpninger av energikravene til bygg enn det som har vært tilfellet tidligere, og regjeringa har som mål at passivhus skal være standard for nye bygg innen 2020 [5].

Det finnes to ulike metoder som kan benyttes for å godkjenne en bygning i henhold til TEK. "Energiltaksmodellen" (§ 14-3 i TEK10, § 8-21a i TEK07) krever at bygningen skal tilfredsstillere en rekke energiltak for å bli godkjent. Enkelte av disse energiltakene kan fravikes dersom kompenserende tiltak gjør at bygningens varmetapstall ikke økes. "Rammekravsmodellen" (§ 14-4 i TEK10, § 8-21b i TEK07) stiller krav til at samlet netto energibehov ikke skal overskride rammekravet for den gjeldende bygningskategorien [6-7].

Tabell 1 viser rammekravet for boliger gitt i TEK07 og i TEK10.

Tabell 1. Energirammekrav for boliger gitt i TEK [6-7].

Bygnings- kategori	Totalt netto energibehov [kWh/m ² oppvarmet BRA ¹ pr. år]	
	TEK07	TEK10
Småhus ²	125 + 1600/m ² oppv. BRA	120 + 1600/m ² oppv. BRA
Boligblokk	120	115

Også tiltakene i ”Energitiltaksmodellen” skjerpes ved at det blant annet innføres ufravikelige³ krav til spesifikk vifteeffekt (SFP) i ventilasjonsanlegg, krav til natt- og helgesenking av innetemperatur og krav til tiltak som eliminerer behovet for lokal kjøling for alle bygg.

En del av bakgrunnen for endring i forskriftskravene de siste årene er EUs energidirektiv, ”Energy Performance of Buildings Directive” (EPBD), som Norge er pålagt å følge gjennom EØS – avtalen. Et av hovedpunktene i EPBD omhandler også implementeringen av en ordning for energisertifisering av bygninger [2]. Fra og med 1. juli 2010 blir det obligatorisk å energimerke alle boliger og yrkesbygg som skal selges eller leies ut. Yrkesbygg over 1000 m² skal alltid ha gyldig energiattest. I motsetning til TEK som tar utgangspunkt i netto energibehov, tar den nye energimerkeordningen utgangspunkt i beregnet levert energi. De fleste nye bygg bygget etter minimumskravene gitt i TEK, og som ikke benytter solenergi eller varmepumpe til oppvarming, vil normalt få karakteren C på energimerkeskalaen [8]. Skalaen for boliger er gitt i Tabell 2.

¹ Bruksareal

² Småhus inkluderer fritidsboliger over 150 m² oppvarmet BRA.

³ Ufravikelige dersom ”Energitiltaksmetoden” benyttes.

Tabell 2. Energimerkeskalaen for boliger i den nye energimerkeordningen for bygg [8].

Bygningskategori	Levert Energi						
	A	B	C	D	E	F	G
	Lavere enn	Lavere enn	Lavere enn	Lavere enn	Lavere enn	Lavere enn	Lavere enn
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²
Småhus	79	118	158	231	305	458	Ingen grense
Boligblokker	67	100	134	184	235	353	Ingen grense

Et av hovedmålene med energimerkeordningen er at den skal bidra til større bevissthet rundt energibruken i bygninger. Ordningen vil trolig gjøre bygninger med god energistandard mer attraktive på eiendomsmarkedet og være et insentiv til å bygge mer energieffektive bygg.

2.2 Passiv- og lavenergihus

Passiv- og lavenergihus går lengre enn forskriftskravene og oppnår lavere energibehov gjennom å stille strengere krav til bygningskropp og tekniske installasjoner.

Passivhus-konseptet ble utviklet i Tyskland på slutten av 80-tallet av Bo Adamson og Wolfgang Feist. Blant de viktigste kriteriene for passivhus gitt av det tyske passivhusinstituttet i Darmstadt, er at oppvarmingsbehovet ikke skal overstige 15 kWh/(m²år), samtidig som maksimalt effektbehov til oppvarming ikke skal overstige 10 W/m² [9, 10]. Det totale primærenergibehovet skal ikke overskride 120 kWh/(m²år) [9].

Det har fram til nylig ikke eksistert noen egen definisjon av hva som regnes som passiv- og lavenergihus for norske forhold, og dette har derfor vært noe uklart. 1.april 2010 fastsatte imidlertid Standard Norge en ny norsk standard, ”NS 3700. Kriterier for passivhus og lavenergihus. Boligbygninger.” Standarden inneholder en norsk definisjon av passiv- og lavenergihus hvor det blant annet gis kriterier

for varmetapstall, oppvarmingsbehov og energiforsyning. Den inneholder også minstekrav til bygningsdeler, komponenter og lekkasjetall som må overholdes for at bygningen skal kunne klassifiseres som passiv- eller lavenergihus etter denne standarden. I standarden deles definisjonen av lavenergihus opp i to nivåer, klasse 1 og 2, hvor kravene for å tilfredsstille klasse 1 er strengere enn de for klasse 2. Kravene i standarden gjelder for hele bygninger, men kriteriene kan også benyttes til å prosjektere deler av bygninger, som for eksempel en enkelt leilighet. Standarden gjelder både for nye boligbygninger og for rehabilitering av eksisterende boligbygninger til lavenergi- eller passivhusstandard [9].

Energibehovet til oppvarming skal beregnes etter reglene i NS 3031, men det skal benyttes lokale klimadata⁴. Kravene til høyeste beregnede netto energibehov til oppvarming for passiv og lavenergihus, er gitt i henholdsvis Tabell 3 og Tabell 4.

Tabell 3. Krav til høyeste beregnede netto energibehov til oppvarming gitt av årsmiddeltemperatur, θ_{ym} , og oppvarmet del av BRA, A_{η} , for passivhus [9].

Årsmiddeltemperatur, θ_{ym}	Høyeste beregnede netto energibehov til oppvarming kWh/(m ² ·år)	
	Boligbygning der $A_{\eta} < 250 \text{ m}^2$	Boligbygning der $A_{\eta} \geq 250 \text{ m}^2$
$\geq 6,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$15 + 5,4 \times \frac{(250 - A_{\eta})}{100}$	15
$< 6,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$15 + 5,4 \times \frac{(250 - A_{\eta})}{100} + \left(2,1 + 0,59 \times \frac{(250 - A_{\eta})}{100} \right) \times (6,3 - \theta_{ym})$	$15 + 2,1 \times (6,3 - \theta_{ym})$

⁴ Med lokale klimadata menes standardisert gjennomsnittsklima for den aktuelle kommunen.

Tabell 4. Krav til høyeste beregnede netto energibehov til oppvarming gitt av årsmiddeltemperatur, θ_{ym} , og oppvarmet del av BRA, A_{η} , for lavenergihus [9].

Årsmiddeltemperatur, θ_{ym}		Høyeste beregnede netto energibehov til oppvarming kWh/(m ² ·år)	
		Boligbygning der $A_{\eta} < 250 \text{ m}^2$	Boligbygning der $A_{\eta} \geq 250 \text{ m}^2$
$\geq 6,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$	klasse 1	$30 + 8 \times \frac{(250 - A_{\eta})}{100}$	30
	klasse 2	$45 + 10 \times \frac{(250 - A_{\eta})}{100}$	45
$< 6,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$	klasse 1	$30 + 8 \times \frac{(250 - A_{\eta})}{100} + \left(3,3 + 0,75 \times \frac{(250 - A_{\eta})}{100} \right) \times (6,3 - \theta_{ym})$	$30 + 3,3 \times (6,3 - \theta_{ym})$
	klasse 2	$45 + 10 \times \frac{(250 - A_{\eta})}{100} + \left(4,8 + 1,05 \times \frac{(250 - A_{\eta})}{100} \right) \times (6,3 - \theta_{ym})$	$45 + 4,8 \times (6,3 - \theta_{ym})$

Et viktig tiltak for å oppnå passivhus- og lavenergistandard er å redusere varmetapet gjennom bygningskroppen. Dette oppnås ved å benytte tilstrekkelig isolasjon og ved å unngå kuldebroer. Det settes også strenge krav til tetthet. En tett bygningskropp oppnås ved å bruke doble vindtettelag, færrest mulig gjennomføringer og høy grad av nøyaktighet ved tetting ved overganger og rundt vinduer og dører.

Energieffektiv ventilasjon er også et viktig tiltak for å redusere energibruken i bygningssektoren og vil relativt sett få mer å si for den totale energibruken i passiv- og lavenergihus enn i andre bygg på grunn av det lave oppvarmingsbehovet. NS 3700 setter krav til årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner og spesifikk vifteeffekt (SFP – faktor) for boliger som skal oppfylle kriteriene for å kunne klassifiseres som ”passivhus” eller ”lavenergihus klasse 1”.

Tabell 5 viser minstekravene til bygningsdeler, komponenter og lekkasjetall gitt i NS 3700 og TEK10. I TEK gis det ingen minstekrav til varmegjenvinner virkningsgrad eller SFP-faktor. ”Energiltaksmetoden” (§14-3) setter imidlertid krav til en årsmidlere temperaturvirkningsgrad på over 70 % og en SFP – faktor

på maksimum 2,5 kW/(m³/s) dersom denne metoden skal benyttes for godkjenning av bygningen. *Det er viktig å understreke at man er lovpålagt å overholde kravene i TEK for alle bygg, mens NS 3700 kun er en standard og ikke et regelverk.*

Tabell 5. Minstekrav til bygningsdeler, komponenter og lekkasjetall [7, 9].

	Passivhus	Lavenergihus		TEK10
		Klasse 1	Klasse 2	
U-verdi yttervegg [W/(m ² ·K)]	≤ 0,15	≤ 0,18	≤ 0,22	≤ 0,22
U-verdi tak [W/(m ² ·K)]	≤ 0,13	≤ 0,13	≤ 0,18	≤ 0,18
U-verdi gulv [W/(m ² ·K)]	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,18	≤ 0,18
U-verdi vindu [W/(m ² ·K)]	≤ 0,80	≤ 1,2	≤ 1,6	≤ 1,6
U-verdi dør [W/(m ² ·K)]	≤ 0,80	≤ 1,2	≤ 1,6	≤ 1,6
Normalisert kuldebroverdi, ψ " [W/(m ² ·K)]	≤ 0,03	≤ 0,04	-	-
Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner [%]	≥ 80	≥ 70	-	-
SFP-faktor ventilasjonsanlegg [kW/(m ³ /s)]	≤ 1,5	≤ 2,0	-	-
Lekkasjetall ved 50 Pa, n50 [h ⁻¹]	≤ 0,60	≤ 1,0	≤ 3,0	≤ 3,0

I tabellen ser man at minstekravene for lavenergihus klasse 2 er identiske med minstekravene gitt i TEK10.

I tillegg til krav til selve bygningskroppen, settes det i NS 3700 også krav til energiforsyningen til passiv- og lavenergihus. Det fastsettes her at "beregnet mengde levert elektrisk og fossil energi skal være mindre enn totalt netto energibehov fratrukket 50 % av netto energibehov til varmtvann".

Passiv- og lavenergihus vil normalt få karakter A og B i den nye energimerkeordningen [10]. Det viser seg imidlertid at det selv for passivhus kan bli vanskelig å oppnå karakter A uten stor tilførsel av lokal energi gjennom solfangere eller varmepumpe [11].

2.3 Energimålinger i passiv- og lavenergihus

I Norge er konseptet med passiv- og lavenergihus fremdeles relativt nytt. Interessen for bygging av denne typen bygg har imidlertid økt kraftig de siste årene, og med tanke på den planlagte fremtidige innskjerpingen av energikravene til bygg, vil antallet passiv- og lavenergihus trolig øke kraftig i årene som kommer.

En litteraturstudie gjennomført sommeren 2009 viste at det foreløpig finnes svært lite dokumentasjon omkring den faktiske energibruken i norske passiv- og lavenergihus. Den samme studien viste at energisparingen i en del utenlandske prosjekter var blitt mindre enn det som på forhånd var forventet. Grunnen til dette var som regel en kombinasjon av årsaker relatert til selve bygningen og årsaker relatert til bruken av den [12].

Et av hovedmålene med denne oppgaven har derfor vært å fremskaffe data for den virkelige energibruken i norske passiv- og lavenergihus. Det finnes flere grunner til å gjennomføre energimålinger i denne typen bygg. For det første er det viktig å kontrollere om målsetningene som er satt virkelig nås. Dersom dette ikke er tilfellet, bør man forsøke å finne svar på hvorfor. Med den nye passivhus- og lavenergistandard, NS 3700, på plass, vil kontroll av virkelig energiforbruk opp mot kriterier gitt her også være en naturlig motivasjon.

Det totale energiforbruket i en bolig forteller mye om hvordan energistandarden på boligen er, men skal man kunne si noe om hva som forårsaker dette forbruket, må man finne ut hva energien benyttes til. En formålsdeling av energibruken gir mer informasjon om forbruket til beboerne og kan legge grunnlag for å bestemme eventuelle sparetiltak. Dette vil også i større grad bevisstgjøre folk om hva de bruker energi til, og hva de bør gjør for å spare.

I forbindelse med denne oppgaven er det blitt gjennomført energimålinger i et lite utvalg leiligheter av passivhus- og lavenergistandard i Løvåshagen borettslag i Bergen. Videre i denne rapporten presenteres de måle- og beregningsmetoder som er benyttet, i tillegg til resultatene fra målingene. Men først kommer en liten presentasjon av Løvåshagen borettslag.

3 Løvåshagen borettslag

Løvåshagen borettslag var Norges første lavblokkbebyggelse med passivhusstandard da det stod innflyttingsklart i siste halvdel av 2008 [13]. Borettslaget består av i alt 80 leiligheter fordelt på fire ulike bygg. Bygg 1 og 2 består av til sammen 52 leiligheter av lavenergistandard, mens bygg 3 og 4 består av i alt 28 passivhusleiligheter. Borettslaget består av 3- til 5-roms leiligheter hvor bruksarealet varierer fra 50,6 m² til 95,8 m².

For å oppnå et lavt energiforbruk er det blant annet fokusert på reduksjon av varmetapet gjennom bygningskroppen og effektiv varmegjenvinning i ventilasjonssystemene. Tabell 6 viser isolasjonstykkelsene benyttet i de to ulike bygningstypene i borettslaget.

Tabell 6. Isolasjonstykkelser benyttet i Løvåshagen borettslag.

	Passivhusleiligheter [14]	Lavenergileiligheter [15]
Gavlvegger [mm]	400	300
Langsidevegger [mm]	350	250
Gulv på grunn [mm]	350	300
Tak [mm]	500	400

I begge bygningstypene er det benyttet 3 – lags vinduer av typen NorDan N – tech med en U-verdi på 0,7 – 0,8 W/(m²K) [16].

Hver av passivhusleilighetene er tilkoblet to solfangere som er plassert på taket av passivhusbyggene. Varmen fra disse dekker deler av behovet til varmt tappevann og romoppvarming. Det resterende forbruket dekkes av elektrisitet. I lavenergileilighetene er energitilførselen helelektrisk. Alle leilighetene i borettslaget har i tillegg balansert ventilasjon med roterende varmegjenvinner

med en oppgitt virkningsgrad på opp mot 80 % [14]. Mer informasjon om de tekniske systemene i leiligheten vil bli gitt i kapitel 4.

Beregninger av energiforbruket til leilighetene gjennomført før ferdigstillelse viser et behov for levert energi (elektrisititet) på 74 kWh/(m²·år) for passivhusene og 101 kWh/(m²·år) for lavenergihusene. Målsetningen for det maksimale oppvarmingsbehovet var på forhånd satt til 15 kWh/(m²·år) for passivhusene og om lag 25 kWh/(m²·år) for lavenergihusene. Solvarmen fra solfangerne er beregnet til å dekke 17 kWh/(m²·år) av energibehovet i passivhusene [14].

4 Målinger

I perioden 24. mars til 4. mai ble ulike parametre logget i fem leiligheter i Løvåshagen borettslag. Av disse fem er to av leilighetene av passivhusstandard og tre av lavenergistandard. Formålet med måleopplegget var å framskaffe data for energibruken fordelt på ulike energiposter. Ved valg av energiposter, ble det tatt utgangspunkt i postene gitt i tabell 5 i NS 3031. Av praktiske årsaker så man seg imidlertid nødt til å slå sammen en del av disse. Målsetningen før oppstart ble derfor å forsøke å måle energibruken fordelt på:

- Romoppvarming
 - Panelovn/radiator
 - Gulvvarme
- Ventilasjon
 - Drift av vifter og varmevekslermotor
 - Ventilasjonsvarme
- Varmt tappevann
- Restpost (det resterende energiforbruket)

I tillegg til målingene i disse fem leilighetene ble det gjennomført forenklete kontrollmålinger av energibruken til tappevann/akkumulatortank og ventilasjon i fire andre leiligheter i borettslaget. Av disse er én av passivhusstandard og tre av lavenergistandard.

Tabell 7 gir en oversikt over leilighetene hvor det ble gjennomført målinger. Det ble gjennomført detaljerte målinger i leilighet L1, L2, L3, P1 og P2, mens det ble gjennomført kontrollmålinger i de resterende. Av hensyn til beboernes anonymitet, må noe informasjon angående leilighetenes beliggenhet i bygningen utelates. I stedet er leilighetene inndelt i tre ulike kategorier avhengig av hvor

mye ytterflate de har. Dette gir ”lavt”, ”middels” og ”høyt” transmisjonsvarmetap.

Tabell 7. Oversikt over måleleiligheter.

		BRA [m ²]	Antall beboere	Varmetap
Lavenergihus	Leilighet L1	80,3	3	Lavt
	Leilighet L2	75,1	2	Lavt
	Leilighet L3	75,1	1	Middels
	Leilighet L4*	80,3	2	Middels
	Leilighet L5*	75,1	2	Middels
	Leilighet L6*	95,8	4	Middels
Passiv- hus	Leilighet P1	75,1	2	Middels
	Leilighet P2	75,1	2	Høyt
	Leilighet P3*	75,1	1	Høyt

*Kontrollmålinger

I tillegg til målingene i selve leilighetene, ble også utetemperaturen logget i den aktuelle perioden.

Videre i kapittelet beskrives måleopplegget og de metodene som er benyttet i feltarbeidet i Løvåshagen borettslag. De forenklete kontrollmålingene blir beskrevet mot slutten av kapitelet, i delkapitel 4.11. Metodene beskrevet før dette gjelder de detaljerte målingene utført i leilighet L1, L2, L3, P1 og P2.

For å komme fram til verdier for energibruken i boligene, måtte de innsamlede data bearbeides en god del, og det måtte utføres beregninger hvor de målte parametrene inngår. I dette kapittelet presenteres derfor også de beregningsmetodene som er benyttet. Microsoft Excel er brukt som verktøy under databearbeidingen.

I forbindelse med måleopplegget oppstod det en god del utfordringer og problemer (se kapittel 4.13), noe som resulterte i at mye data gikk tapt. Under bearbeidingen ble det derfor tidvis gjort en del antagelser og benyttet alternative metoder for å fremskaffe anslagsvise tall for energibruken. Disse metodene og

antagelsene blir ikke presentert her, men det blir i stedet gjort rede for hvordan resultatene fremkommer da disse presenteres under resultatdelen (kapitel 5).

4.1 Totalt elektrisitetsforbruk

Timesverdier for det totale elektrisitetsforbruket i leilighetene i måleperioden ble mottatt fra strømlleverandøren, BKK Energimåling AS.

4.2 Total romoppvarming

Begrepet oppvarming omfatter som regel både varme avgitt fra varmeanlegget (romoppvarming) og fra varmebatteri i ventilasjonsanlegget (ventilasjonsvarme). Denne energiposten er tradisjonelt sett den største i de fleste eksisterende, norske boliger. Redusert energibruk til oppvarming er det som klart skiller passiv- og lavenergihus fra hovedvekten av den eksisterende bygningsmassen, og det er derfor svært interessant å undersøke hva slags energisparing som faktisk oppnås for denne energiposten i norske passiv- og lavenergihus. Dette kapitlet omfatter kun romoppvarming, mens kapittel 4.6 tar for seg ventilasjonsvarmen. Når det videre i delkapittel 4.2 snakkes om oppvarming, menes derfor kun energi til romoppvarming.

4.2.1 Målemetode

I leilighetene i Løvåshagen borettslag er det to typer oppvarmingssystem. Oppvarmingssystemet i lavenergileilighetene er helelektrisk, mens det i passivhusleilighetene er vannbåren oppvarming basert på en kombinasjon av solvarme og elektrisitet.

Lavenergileiligheter

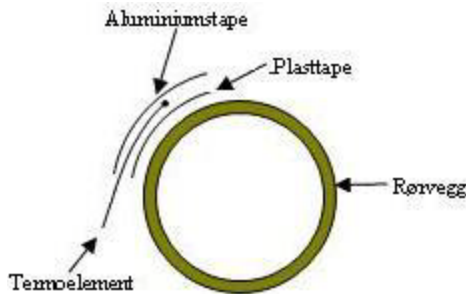
Oppvarmingssystemet i lavenergileilighetene består av gulvvarme på bad, samt én sentralt plassert panelovn i stue/kjøkken. Strømforsyningen til disse to

oppvarmingskildene deler én felles kurs i det elektriske anlegget. For å måle strømforbruket ble en elektrisitetmåler av typen ODINsingle OD1365 fra ABB koblet inn på kursen. En datalogger av typen Mitec AT40/AT40g ble benyttet på elektrisitetmålerens pulsutgang for å kunne logge forbruket.

Passivhusleiligheter

Oppvarmingssystemet i passivhusleilighetene er vannbårent og består av gulvvarme på bad, samt én sentralt plassert radiator i stue/kjøkken. Tur- og returtemperaturene i varmekretsen ble målt med utenpåliggende termoelementer av type T på rørene og ble logget ved hjelp av en Mitec AT40/AT40g. I tillegg ble sirkulert vannmengde i kretsen logget ved hjelp av en TA - CBI. Dette gir til sammen muligheten for å beregne det samlede energiforbruket i varmekretsen (gulvvarme og radiator). Det ble benyttet et loggeintervall på ett minutt på temperaturmålingene og 2,5 minutter på vannmengdemålingene. Årsaken til forskjell i loggeintervall var ulik lagringskapasitet på loggerne.

Ved montering av utstyret ble det først forsøkt å feste termoelementene direkte på overflaten av rørene. Dette viste seg imidlertid å gi fullstendig feilaktige måleverdier. Løsningen på dette problemet var å legge et tynt lag elektrisk isolerende plasttape (elektrikertape) mellom selve røret og elementet (se Figur 1). Termisk sett er dette isolerende laget uheldig da man ønsker å måle overflatetemperaturen på selve røret, men med tanke på tapens begrensede tykkelse, vil dette antakelig gi relativt liten påvirkning på måleresultatene.



Figur 1. Skisse av prinsipp for festing av termoelement utenpå rør.

Siden tur- og returtemperaturene ble målt med termoelementer festet på utsiden av rørene, er det flere aspekter å ta hensyn til når man skal vurderer de virkelige tur- og returtemperaturene, altså temperaturene i det gjennomstrømmende mediet.

Temperaturen som termoelementet registrerer vil være gitt av en varmebalanse hvor varme tilføres elementet fra omgivelser med høyere temperatur og avgis til omgivelser med lavere temperatur. Utenpå termoelementet ble det lagt aluminiumstape. Denne innelukingen gjør at varmeutveksling med omgivelsene i form av konveksjon og stråling unngås. All varmeutveksling vil derfor foregå i form av varmeledning (konduksjon).

Utenpå aluminiumstapen ble det i tillegg lagt et lag skumplastisolasjon. Stor forskjell mellom isolasjonens og rørets konduktivitet, gjør at man kan anta at lufttemperaturens påvirkning på termoelementet relativt sett er svært liten og at termoelementet derfor holder omtrent samme temperatur som røroverflaten. Rør benyttet i denne typen varmeanlegg har normalt også relativt tynne rørvegger, noe som gjør at røret vil varmes og avkjøles relativt raskt i takt med temperaturendringene i vannet som strømmer gjennom. At det er temperaturdifferansen som er av betydning i energiberegningene (se delkapittel 4.2.2), vil også redusere feilen med å måle utenpå rørene i stedet for inni.

Nøyaktigheten i temperaturmålingene vil være et resultat av nøyaktigheten i både termoelement, logger og tilkoblingskabelen mellom disse. Det ble derfor gjennomført en samkalibrering av termoelementene hvor det ble benyttet de samme kabler og loggere som ble benyttet i målingene i Løvåshagen borettslag. Termoelementene ble plassert i en lukket termos og temperaturforløpet ble deretter logget. Resultatene viste en variasjon i målingene på omkring $\pm 0,85$ °C.

4.2.2 Beregningsmetoder

Lavenergileiligheter:

Energiforbruket til oppvarming i løpet av et loggeintervall er gitt av antall pulser fra ODINsingle elektrisitetmåleren, pulsverdien og lengden på loggeintervallet:

$$E_{oppv.} = f_p \times v_p \times \tau \quad (1)$$

hvor

$$E_{oppv.} = \text{energiforbruket til romoppvarming [kWh]}$$

$$f_p = \text{gjennomsnittlig pulsfrekvens} \left[\frac{\text{pulser}}{s} \right]$$

$$v_p = \text{pulsverdi} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{puls}} \right]$$

$$\tau = \text{loggeintervall [h]}$$

Passivhusleiligheter:

Energiforbruket til oppvarming i løpet av et loggeintervall er gitt av følgende sammenheng:

$$E_{oppv.} = \rho_v \dot{V} C_{p,v} (T_{tur} - T_{retur}) \tau \quad (2)$$

hvor

$$\rho_v = \text{vannets tetthet} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\dot{V} = \text{volumstrøm} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

$$C_{p,v} = \text{vannets spesifikke varmekapasitet} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$$

$$T_{tur} = \text{turtemperatur} \left[\text{K} \right]$$

$$T_{retur} = \text{returtemperatur} \left[\text{K} \right]$$

$$\tau = \text{loggeintervall} \left[\text{h} \right]$$

I beregningene ble verdiene for tetthet og spesifikk varmekapasitet gitt i Tabell 8 benyttet:

Tabell 8. Verdier for ρ_v og $C_{p,v}$ benyttet i beregningene av energiforbruket til oppvarming.

ρ_v (50°C) [17]	988,1 kg/m ³
$C_{p,v}$ (50°C) [17]	4,181 kJ/(kg·K)

Temperaturen som lagres på et registreringstidspunkt er gjennomsnittet av temperaturer registrert hvert sekund siden forrige registreringstidspunkt. De registrerte vannmengdene, derimot, er momentanverdier. Under beregningene av den avgitte effekten ble derfor gjennomsnittet av vannmengdene i starten og slutten av et loggeintervall benyttet. De beregnede effektverdiene på et gitt registreringstidspunkt er derfor et slags gjennomsnitt av den avgitte effekten siden forrige registreringstidspunkt.

I beregningene er det i lign. (2) benyttet tur- og returtemperaturer fra samme registreringstidspunkt. Transportforsinkelsen til vannet vil derfor være en feilkilde her.

På grunn av forskjellen i loggeintervall for vannmengdemålingene og temperaturmålingene, ble det ved beregningene benyttet lineær interpolasjon for å justere måleverdiene til sammenfallende tidspunkter.

4.3 Panelovn

I lavenergileilighetene består romoppvarmingssystemet av gulvvarme på badet og én panelovn sentralt plassert i stue/kjøkken. Energibruken til panelovnen er normalt mer avhengig av utetemperaturen enn hva energibruken til gulvvarmen på badet er, og gjenspeiler derfor i større grad transmisjonstapet i leiligheten.

4.3.1 Målemetode

Panelovnene i lavenergileilighetene er av typen Siemens 2NC8 102 4F og har en såkalt variabel senkeplugg hvor en styreleder er koblet til et koblingsur i sikringsskapet. Dette benyttes for å styre ovnen mellom komforttemperatur og sparetemperatur [18].

Elektrisitetsforbruket til panelovnen ble logget ved hjelp av tangamperemeter og datalogger. I to av leilighetene ble et HIOKI 9010 tangamperemeter benyttet sammen med en Mitec AT40/AT40g datalogger, mens det i den siste leiligheten ble benyttet et Kistock KPIJ 20 tangamperemeter sammen med en Kistock KT 100 datalogger. Kistock – amperemeteret gir strømstyrken direkte, mens HIOKO – amperemeteret gir strømstyrkens prosentvise andel av full styrke. Tangen var innstilt på en full styrke på 10 A. Det ble brukt et loggeintervall på 5 minutter på Kistock - loggeren og én time på de to Mitec - loggerne. I begge tilfellene er loggeverdiene gjennomsnittet av målinger utført én gang pr. sekund siden forrige registreringstidspunkt.

For å kunne benytte et tangamperemeter er man avhengig av å skille lederne i strømforsyningen fra hverandre slik at tangen kan festes rundt én enkelt strømførende leder. For å gjøre dette forsvarlig med tanke på berøringsfare, ble det på forhånd laget til en løsning hvor en av lederne ble lagt i en isolert sløyfe ut av en tilkoblingsboks (se Figur 2). Denne ekstra boksen/ledningen kunne da enkelt kobles inn på stedet og ble hovedsakelig skjult bak selve panelovnen (se Figur 3). Løsningen ble kontrollert og godkjent av autorisert elektriker.



Figur 2. Løsning for tilkobling av tangamperemeter.



Figur 3. Panelovn med måleutstyr og logger.

4.3.2 Beregningsmetoder

Antar jevn nettspenning på 230 V. Midlere effekt over loggeintervallet er gitt av produktet mellom strøm og spenning:

$$P_{\text{middel}} = I_{\text{middel}} \times U \quad (3)$$

hvor

$$P_{\text{middel}} = \text{midlere effekt [W]}$$

$$I_{\text{middel}} = \text{midlere strømstyrke [A]}$$

$$U = \text{nettspenningen [V]}$$

Energiforbruket i løpet av et loggeintervall er videre gitt av:

$$E_{\text{ovn}} = P_{\text{middel}} \times \tau \quad (4)$$

hvor

$E_{ovn} = \text{energiforbruket til panelovnen [kWh]}$

$P_{middel} = \text{midlere eggekt [kW]}$

$\tau = \text{loggeintervall [h]}$

4.4 Radiator

I passivhusleilighetene er det én sentralt plassert radiator i stue/kjøkken.

4.4.1 Målemetode

For å finne avgitt effekt fra en radiator trenger man i utgangspunktet tur- og returtemperatur, samt vannmengden som strømmer gjennom radiatoren. Volumstrømmen i hele varmekretsen (radiator + gulvvarme) ble logget ved hjelp av en TA - CBI. Det er mulig å skille ut og kun måle volumstrømmen gjennom radiatoren dersom man stenger termostatventilen til gulvvarmen. Av praktiske årsaker og begrenset tilgang på utstyr, lyktes det imidlertid ikke å finne noen metode for å skille ut og logge den gjennomstrømmende vannmengden samtidig som gulvvarmen var aktiv. I løpet av måleperioden ble derfor kun overflatetemperaturen på radiatorens øvre og nedre del, samt tur- og returtemperatur logget (se Figur 4). Det ble benyttet en datalogger av typen Mitec AT40/AT40g sammen med termoelementer av type T. Det ble brukt et loggeintervall på fem minutter. I tillegg ble lufttemperaturen i rommet logget (målemetode blir beskrevet i kapittel 4.10).

Termoelementene på tur- og returrørene ble plassert ved innløpet og utløpet av selve radiatoren og ble festet på samme måte som på rørene i varmekretsen (se delkapittel 4.2). Det ble imidlertid ikke benyttet skumplastisolasjon utenpå

aluminiumstapen, noe som kan ha ført til at de målte temperaturene er blitt noe mer påvirket av lufttemperaturen enn hva som var tilfellet i varmekretsen.

Termoelementene på radiatorens overflate ble festet direkte på overflaten med aluminiumstape. Dette gir relativt god termisk kontakt mellom elementet og radiatoroverflaten.



Figur 4. Plassering av termoelementer på radiatoroverflaten.

I tillegg til målingene i leilighet P1 og P2 ble det gjennomført fire korte forsøk i en tom leilighet hvor termostatventilen til gulvvarmen ble stengt, samtidig som vannmengden og de nevnte temperaturene ble logget. I tillegg ble også lufttemperaturen i rommet logget. Det ble benyttet ett minuttis loggeintervall. Radiatoren i denne leiligheten var identisk med radiatoren i de to måleleilighetene. Tanken med dette var å forsøke å utarbeide en modell for avgitt effekt som funksjon av de fem nevnte temperaturene.

4.4.2 Beregningsmetoder

Ut fra dataene fremskaffet gjennom forsøkene i den tomme leiligheten beskrevet ovenfor, ble det forsøkt å finne en sammenheng mellom avgitt effekt fra radiatoren og temperaturdifferansen mellom radiatoroverflaten og lufttemperaturen i rommet.

Avgitt effekt fra radiatoren ble beregnet ut fra sammenhengen gitt i ligning (2), men med tur- og returtemperaturene målt ved radiatorens inn- og utløp. Verdiene for vannets tetthet og spesifikke varmekapasitet gitt i Tabell 8 ble benyttet i beregningene.

I den aktuelle radiatortypen strømmer vannet inn øverst i det ene hjørnet (se Figur 4). Det fordeler seg deretter langs radiatorens bredde og strømmer vertikalt nedover i radiatoren før det strømmer ut igjen nederst. Radiatoroverflaten vil derfor være varmest øverst og avta i temperatur nedover ettersom vannet avgir varme og kjøles ned. Gjennomsnittet av de to temperaturene målt på den øvre og den nedre delen av radiatoroverflaten ble benyttet som gjeldende overflatetemperatur.

Det ble forsøkt ulike fremgangsmåter for å finne en matematisk sammenheng mellom den beregnede avgitte effekten og temperaturdifferansen mellom radiatoroverflaten og romluften. Ulike regresjonsverktøy i Microsoft Excel ble benyttet. En radiator avgir hovedsakelig varme via konveksjon og stråling. Varmen avgitt via konveksjon er proporsjonal med den omtalte temperaturdifferansen, mens varmen avgitt via stråling er proporsjonal med differansen mellom temperaturene i fjerde potens. Det ble derfor først tatt utgangspunkt i dette ved utarbeidelsen av en beregningsmodell. Dette førte imidlertid ikke fram, da det ikke lyktes å finne en modell som gav tilfredsstillende resultater for alle de fire forsøkene samtidig. Det ble derfor utarbeidet en rent empirisk, matematisk modell:

$$\dot{Q} \approx 111,91152 \times (T_o - T_{rom}) - 16,07455 \times (T_o - T_{rom})^2 + 0,68620 \times (T_o - T_{rom})^3 - 0,00858 \times (T_o - T_{rom})^4 \quad (5)$$

Kriteriet som ble brukt for å finne modellen var at de endelige akkumulerte energimengdene estimert med lign. (5) skulle avvike minst mulig fra de beregnet med sammenhengen i lign. (2). Avviket for de fire forsøkene er gitt i Tabell 9.

Tabell 9. Avvik i endelig akkumulert energibruk ved bruk av lign. (5) i stedet for sammenhengen gitt i lign. (2).

Forsøk 1	Forsøk 2	Forsøk 3	Forsøk 4
-0,4 %	-0,7 %	-0,5 %	-0,4 %

I Vedlegg 1 kan man se plot av avgitt effekt og akkumulert energibruk beregnet med de to metodene. Verdiene som er ”målt på vannside” er beregnet på grunnlag av vannmengde, samt tur- og returtemperatur ut fra lign. (2), mens verdiene som er ”estimert fra flatetemp.” er funnet med lign. (5). Som det fremgår av disse figurene er modellen kun egnet til å finne en tilnærmet verdi for den akkumulerte energibruken til radiatoren. Modellen klarer derimot ikke å ”følge” effektvariasjonene spesielt bra. Dette er naturligvis en svakhet med modellen, og som man ser, gir dette også varierende størrelse på avviket mellom akkumulert energibruk fra de to ulike metodene. En annen svakhet med modellen er at leddene av høyere orden er svært følsomme; en liten endring i koeffisienten foran fjerdegradsleddet gir store utslag i akkumulert energibruk.

Modellen er utarbeidet på data fra korte forsøk i en periode hvor utetemperaturen var relativt høy. Det var derfor vanskelig å få til en jevn avgitt effekt fra radiatoren. For å finne en mer generell sammenheng som med bedre sikkerhet kunne vært benyttet til å finne avgitt effekt og energibruk til leilighetenes radiator, burde det vært gjennomført langt mer testing under ulike forhold.

4.5 Gulvvarme

Det er i målingene forsøkt å skille mellom varmen fra panelovn/radiator og gulvvarmen. Det er i dag blitt svært vanlig med gulvvarme på badet i norske hjem. Dette omtales gjerne som såkalt komfortvarme fordi det ofte i like stor grad benyttes for å tilfredsstille et ”krav” om å kunne ha det komfortabelt når man går barbeint på badegulvet, som for å dekke et varmebehov. Mye av varmen fra gulvet trekkes direkte ut gjennom avtrekk på badet og kommer derfor bare resten av leiligheten indirekte til gode gjennom varmegjenvinneren i ventilasjonsaggregatet.

Det ble ikke gjort noen målinger på selve gulvvarmesystemet i noen av leilighetene. For både passiv- og lavenergileilighetene fremkommer energien til gulvvarme som differansen mellom den totale energibruken til romoppvarming og energibruken til panelovn/radiator.

4.5.1 Beregningsmetoder:

Energibruken til gulvvarmen er gitt av:

$$E_{gulv} = E_{oppv.} - E_{ovn/radiator} \quad (6)$$

4.6 Ventilasjon

4.6.1 Målemetode

I leilighetene i Løvåshagen borettslag er det installert to ulike typer ventilasjonsaggregater. I utgangspunktet har de fleste lavenergileilighetene et aggregat av typen Flexit S3, mens passivhusleilighetene har et aggregat av typen Flexit SL4 EC. I enkelte av lavenergileilighetene er det imidlertid av ulike årsaker valgt å oppgradere til modell SL4 EC. Begge aggregatene har elektrisk ettervarmebatteri. De samme målemetodene er benyttet uavhengig av aggregattype og beskrives derfor i det videre felles.

Elektrisitetsforbruket til ventilasjonsaggregatet ble logget ved hjelp av en Power kWh Detective energimåler levert av det danske firmaet SL Energi Teknik. Loggeintervallet ble satt til ett minutt⁵. Det ble valgt et relativt kort loggeintervall med det formålet å kunne registrere når ettervarmebatteriet var koblet inn.

På grunn av problemer med Power kWh Detective – loggerne og manglende tid til testing av disse, ble det fra 26. april og ut loggeperioden også benyttet energimålere fra Clas Ohlson av type EMT707CTL og PM300 plassert i serie med Power kWh Detective-loggerne. Dette ble gjort for å ha en slags backup siden erfaringen så langt tilsa at det var stor sannsynlighet for at de opprinnelige loggerne skulle stanse. Clas Ohlson – målerne måler kun akkumulert energibruk, og man må lese av verdien manuelt på et display. De gir ikke muligheter for å logge forbruksmønsteret.

I fire av leilighetene ble temperaturer på inntaks-, til-, avtrekks- og avkastluft målt ved hjelp av type T termoelementer plassert i kanalene. Verdiene ble logget ved hjelp av Mitec AT40/AT40g dataloggere. På grunn av mangel på Mitec –

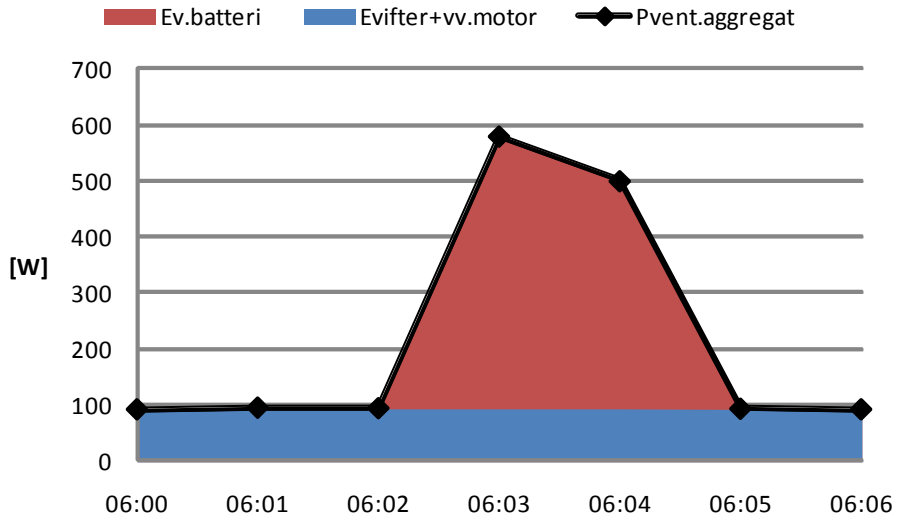
⁵ Unntak: Loggeren i leilighet L2 ble ved feiltak innstilt på 15 min. loggeint. i perioden 19. – 26.april.

loggere ble det i leilighet P2 benyttet en logger av typen HOBO H08-006-04 sammen med temperaturfølere av typen TMC6 – HA.

4.6.2 Beregningsmetoder

For ventilasjonsaggregatet i boligene var det ønskelig å skille fra hverandre energien brukt til ettervarming av tilluften (ventilasjonsvarmen) og energien brukt til drift av vifter og varmeveksler. Det ble som nevnt ovenfor benyttet en Power kWh Detective – logger for å logge det totale energiforbruket til ventilasjonsaggregatet. For hver registrering blir blant annet en effektverdi og en verdi for den akkumulerte energien logget. Effektverdien som logges er et gjennomsnitt av effekten i det foregående loggeintervallet. Ved å plote effektforbruket til ventilasjonsaggregatet langs en tidslinje, vil man kunne se når ettervarmebatteriet har vært koblet inn.

Dersom effektverdien ved et registreringstidspunkt skiller seg nevneverdig fra de omkringliggende verdiene, ble denne fjernet og erstattet med gjennomsnittsverdien av de omkringliggende effektverdiene. Deretter ble en tilnærmet verdi for summen av energi til viftemotorer og varmevekslermotor beregnet ved å multiplisere effekt og loggeintervall. Differansen mellom det reelle energiforbruket og denne beregnede verdien blir da en tilnærming til energiforbruket til varmebatteriet. Figur 5 illustrerer prinsippet for å skille ventilasjonsvarmen fra det resterende forbruket til ventilasjonsaggregatet.



Figur 5. Illustrasjon av beregningsmetode for å skille energiforbruket til ventilasjonsvarme fra det resterende forbruket til ventilasjon.

Ligning (7) og (8) viser de benyttede beregningsmetoder:

$$E_{vifter+vv.motor} = P \times \tau \quad (7)$$

$$E_{v.batteri} = E_{vent.} - E_{vifter+vv.motor} \quad (8)$$

hvor

$E_{vifter+vv.motor}$ = energiforbruk vifter
+ varmevekslermotor [kW]

$E_{v.batteri}$ = energiforbruk varmebatteri [kW]

$E_{vent.}$ = energiforbruk ventilasjonsaggregat [kW]

P = effekt vifter + varmevekslermotor [kW]

τ = loggeintervall [h]

4.7 Solfangere

Oppvarmingssystemet i hver av passivhusleilighetene i Løvåshagen borettslag er tilkoblet to solfangere som er plassert på taket av passivhusbyggene. Solfangerne er av typen vakuumrørsolfangere og er produsert av Apricus Solar Company. Solfangerne avgir varme til en sirkulerende blanding av vann og frostvæske som igjen avgir varme til vannet i akkumulatortanken gjennom en spiral i denne. Frostvæsken som benyttes i solfangeranleggene i Løvåshagen er av typen Tyfocor® L produsert av det tyske firmaet Tyforop Chemie GmbH. Dette er en frostvæske basert på propylenglykol [19].

4.7.1 Målemetode

Tur- og returtemperaturen i solfangerkretsen ble målt ved hjelp av utenpåliggende termoelementer av type T. Elementene ble festet på rørene og isolert inne på samme måte som i varmekretsen (se kapittel 4.2).

I leilighet P2 ble det også installert en volumstrømsmåler i solfangerkretsen. Måleren var av typen Istameter® m (Q_n 1,5) levert av firmaet Ista. Signalet fra målerens pulsutgang ble logget ved hjelp av en Mitec AT40/AT40g.

I begge passivhusleilighetene ble det også koblet inne en Power kWh Detective på sirkulasjonspumpen i solfangerkretsen. Hovedformålet med dette var å forsøke å registrere når pumpa gikk i leiligheten hvor det ikke var installert volumstrømsmåler.

4.7.2 Beregningsmetoder

Energitilskuddet fra solfangerne i løpet av et loggeintervall ble funnet fra følgende sammenheng:

$$E_{sol} = \rho_b \dot{V} C_{p,b} (T_{tur} - T_{retur}) \tau \quad (9)$$

hvor

E_{sol} = energitilskuddet fra solfangerne [kWh]

ρ_b = tetthet frostvæskeblanding $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$

\dot{V} = gj.snt. volumstrøm $\left[\frac{m^3}{s} \right]$

$C_{p,b}$ = spesifikk varmekapasitet frostvæskebl. $\left[\frac{kJ}{kgK} \right]$

T_{tur} = gj.snt. turtemp. på frostvæskebl. [K]

T_{retur} = gj.snt. returtemp. på frostvæskebl. [K]

τ = loggeintervall [h]

I leiligheten P2 ble det under monteringen av volumstrømsmåleren tappet ut en liten del av den opprinnelige frostvæskeblandinga i kretsen. Andelen frostvæske i denne blandinga ble målt til å være omtrent 41,5 % ved hjelp av et Leica DC60 Hand – Held Refractometer. Målingen ble gjennomført som om det var en blanding av ren propylenglykol og vann. Frostvæsken inneholder ulike korrosjonsinhibitorer, men det antas at mengden av disse stoffene er små sammenlignet med mengden propylenglykol. Under monteringen av volumstrømsmåleren ble det etterfylt noe frostvæskeblanding. Andelen glykol i blandinga kan derfor ha endret seg noe i forhold til den målte verdien. Under beregningene i denne rapporten er det imidlertid antatt det målte glykolinnholdet i solfangeranleggene i begge passivhusleilighetene.

Verdier for tetthet og spesifikk varmekapasitet for blandingen av frostvæske og vann er gitt i Tabell 10. Verdiene er funnet ved avlesning fra i diagram gitt i [19]:

Tabell 10. Tetthet og spesifikk varmekapasitet for frostvæskeblandingen [19].

$\rho_b (50^\circ\text{C})$	1021 kg/m ³
$C_{p,b} (50^\circ\text{C})$	3,77 kJ/(kg·K)

I leiligheten med volumstrømsmåler er gjennomsnittlig volumstrøm av frostvæskeblanding i det aktuelle loggeintervallet gitt av:

$$\dot{V} = f_p \times v_p \quad (10)$$

hvor

$$\dot{V} = \text{gj.n.snt. volumstrøm} \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

$$f_p = \text{gj.n.snt. pulsfrekvens} \left[\frac{\text{pulser}}{h} \right]$$

$$v_p = \text{pulsverdi} \left[\frac{m^3}{\text{puls}} \right]$$

Pumpen i solfangerkretsen reguleres av og på, avhengig av temperaturen i solfangerens samlestock og temperaturen i akkumulatortanken, og volumstrømmen er temmelig konstant når pumpa går. Den installerte volumstrømsmåleren viste at pumpa i leilighet P2 leverer omtrent $0,49 \text{ m}^3/\text{h}$ når det er sirkulasjon. Måleverdiene fra denne leilighet viser også at pumpa trekker omtrent $0,7 - 0,8 \text{ W}$ når den står. I leilighet P1, hvor det ikke var installert noen volumstrømsmåler, ble $P > 1,0 \text{ W}$ derfor benyttet som kriterium for at pumpa gikk. Det ble videre antatt at pumpa da leverte en konstant volumstrøm på $0,49 \text{ m}^3/\text{h}$ fram til neste registrering. Energitilskuddet fra solfangerne ble så beregnet ut fra sammenhengen gitt i lign. (9).

Beregninger gjort fra måleresultatene i leilighet P2 viser at metoden med å benytte Power kWh Detective og konstant volumstrøm gir om lag 2 % høyere energitilskudd enn ved å benytte verdier fra volumstrømsmåleren. Man kan derfor anta at beregningene for leilighet P1 også gir relativt gode resultater. Det må imidlertid tas forbehold om at volumstrømmen i anlegget i denne leiligheten, av ulike årsaker, kan være noe forskjellig fra den målt i leilighet P2.

Selv om Power kWh Detective – loggerne var innstilt på et loggeintervall på ett minutt, viste det seg at dette intervallet varierte noe. For å tilpasse de målte temperaturene til registreringstidspunktene gitt av Power kWh Detective – loggerne, ble det benyttet lineær interpolasjon.

4.8 Varmt tappevann

Energiforbruket til oppvarming av varmt tappevann vil typisk være relativt uavhengig av bygningskroppens isolerende egenskaper. Forbruket vil naturligvis være avhengig av den tekniske standarden på varmtvannstank og rør, men dette er en energipost som i stor grad varierer med antall beboere og beboernes brukervaner.

4.8.1 Målemetode

Oppvarmingen av varmt tappevann foregår på forskjellig vis i lavenergi- og i passivhusleilighetene. I lavenergileilighetene varmes vannet av et 2 kW elektrisk varmeelement i en varmtvannstank av typen CTC HI 200 S. I passivhusleilighetene er det installert en akkumulatortank av typen CTC 300 KEK 9/2/3. Vannet i akkumulatortanken varmes med en kombinasjon av varme fra de to solfangerne på taket og et 2 kW elektrisk varmeelement i tanken.

I begge tilfellene ble elektrisitetsforbruket til varmtvanns-/akkumulatortanken logget ved hjelp av en Power kWh Detective – logger. Loggeintervall ble satt til 15 minutter. Det ble også her koblet inn en Clas Ohlson energimåler i serie etter Power kWh Detective – loggeren fra den 26. april og ut måleperioden. Når det videre i oppgaven snakkes om energiforbruket til tappevann eller tappevannsforbruket, menes energiforbruket til oppvarming av varmt tappevann.

4.8.2 Beregningsmetoder

For den helelektriske vannvarmingen i lavenergileilighetene gir loggeren forbruket direkte, mens forbruket til varmt tappevann i passivhusleilighetene framkommer som differansen mellom tilført energi (el.kolbe og solfangere) og energien til varmekretsen (gulvvarme og radiator).

$$E_{\text{tappev.}} = E_{\text{tilført}} - E_{\text{oppv}} = (E_{\text{el}} + E_{\text{sol}}) - E_{\text{oppv}} \quad (11)$$

4.9 Restpost

Denne posten blir brukt som en oppsamlingspost for det resterende elektrisitetsforbruket i leilighetene. Størsteparten av denne posten vil være såkalt el-spesifikt forbruk og omfatter blant annet energi til belysning, hvitevarer og andre elektriske artikler. Størrelsen på energiposten framkommer som differansen mellom det totale elektrisitetsforbruket i leiligheten og det målte elektrisitetsforbruket i de resterende energipostene.

4.10 Temperatur og relativ fuktighet

Temperatur og relativ fuktighet ble i måleperioden logget i ulike rom i leilighetene ved hjelp av loggere av typen TinyTag Plus, modell TGP-1500, fra INTAB Interface-Teknik AB. Dette er en to-kanals logger som måler temperatur og relativ fuktighet (RH) ved en gitt frekvens.

Utetemperatur og relativ fuktighet i uteluften ble også logget ved hjelp av samme typen loggere i måleperioden. Det ble benyttet to loggere plassert på to forskjellige steder på borettslagets uteområder. Begge loggerne var skjermet for direkte solinnstråling. Det ble benyttet et loggeintervall på 5 minutter både for loggerne inne og ute.

4.11 Kontrollmålinger

I tillegg til de detaljerte målingene som foregikk i fem leiligheter i Løvåshagen borettslag, ble det også forsøkt å gjennomføre kontrollmålinger av strømforbruket til tappevann/akkumulatortank og ventilasjonsaggregat i fire andre leiligheter i borettslaget. Dette ble gjort med tanke på å bedre kunne

vurdere hvorvidt resultatene fra de detaljerte målingene var typiske for borettslaget eller ikke.

4.11.1 Målemetode

Det ble benyttet energimålere fra Clas Ohlson av typen PM300. Disse har trolig en dårligere nøyaktighet enn dyrere energimålere som Power kWh Detective - loggerne, men gir en god pekepinn på størrelsen på energiforbruket. Målerne kobles mellom stikkontakt og lastens støpsel. De har ingen loggefunksjon og man er derfor nødt til å lese av akkumulert energibruk manuelt. Dette ble gjort ved to anledninger i løpet av måleperioden og i tillegg ved innhenting av utstyret ved måleperiodens slutt.

4.11.2 Beregningsmetoder

Målerne ble startet og avlest på noe ulike tidspunkt, og det var derfor nødvendig å justere det målte forbruket til å gjelde de ønskede måleperioder. Dette ble gjort ved å anta jevnt forbruk i den aktuelle perioden og basere forbruket på de avleste verdiene.

$$E_{\text{ønsket periode}} = E_{\text{avlest}} \times \frac{\text{Tidsrom ønsket periode}}{\text{Tidsrom mellom avlesninger}} \quad (12)$$

4.12 Beregning av årlig energibruk

Det vil være ønskelig å forsøke å anslå det årlige energiforbruket ut fra resultatene av de gjennomførte målingene. En del av energiforbruket vil være mer eller mindre konstant over hele året, mens noe vil variere avhengig av ytre forhold som temperatur og solinnstråling.

En mye brukt metode for å anslå det årlige temperaturavhengige energiforbruket basert på målinger gjennomført i en kortere periode, er såkalt graddagskorrigering. Graddagstallet, G, defineres vanligvis som tidsintegralet av temperaturdifferansen mellom ønsket innetemperatur og utetemperaturen i den delen av året hvor denne differansen er positiv (normalt størsteparten av året). I beregningene blir ofte 17 °C benyttet som innetemperatur. Denne verdien er valgt med utgangspunkt i at solinnstråling, teknisk utstyr, lys og menneskelige aktiviteter skal bringe temperaturen opp i om lag 20 °C [20].

Ikke alle energipostene presentert tidligere i kapitel 4 er i like stor grad avhengig av utetemperaturen. Tabell 11 gir en oversikt over verdier benyttet for de ulike postenes graddagsavhengighet i denne rapporten. Begrunnelse for valg av verdier følger under tabellen.

Tabell 11. Graddagsavhengighet benyttet for de ulike energipostene.

	Graddags- avhengighet
Panelovn/radiator	100 %
Gulvvarme	0 %
Tappevann	0 %
Vifter + vv.motor	15/30 %
Ventilasjonsvarme	100 %
Restpost	0 %

Panelovn/radiator:

Energiforbruket til panelovn/radiator er direkte avhengig av varmetapet gjennom bygningskroppen og dermed av utetemperaturen. Det regnes derfor med 100 % graddagsavhengighet for denne energiposten.

Gulvvarme:

Som nevnt i delkapitel 4.3, blir gulvvarme på bad i stor grad benyttet av komfort hensyn. I de fleste av leilighetene i Løvåshagen borettslag grenser badet kun mot andre oppvarmede rom, noe som gjør transmisjonsvarmetapet fra rommet lite. Det kan naturligvis argumenteres for at en viss andel av gulvvarmen går med til å varme opp leiligheten og derfor er graddagsavhengig. I beregningene her er det imidlertid valgt å si at denne energiposten er fullstendig graddagsuavhengig.

Tappevann:

Forbruket av varmt tappevann varierer lite over året og regnes derfor som fullstendig graddagsuavhengig.

Vifter + varmevekslermotor:

Energiforbruket til drift av viftene i ventilasjonsaggregatet vil hovedsakelig være uavhengig av utetemperaturen. Motoren til varmeveksleren derimot vil naturlig nok ha flere driftstimer om vinteren enn om sommeren. Denne posten vil dermed være delvis graddagsavhengig. Opplysninger mottatt fra Flexit antyder at varmevekslermotoren i S3 - aggregatet trekker 20 – 30 W når den er i drift [21]. Målingene som er gjennomført i leilighetene i Løvåshagen borettslag (resultatene presenteres i kapittel 5) tyder på at vifteeffekten til aggregatet er om lag 100 – 105 W på trinn 2, som normalt er den mest brukte viftehastigheten. Dette betyr at effekten til varmevekslermotoren står for ca. 20 % av aggregatets effektforbruk når man ser bort fra ettervarmebatteriet.

I SL4 – aggregatet tyder målingene på at den gjennomsnittlige vifteeffekten ligger så lavt som om lag 30 W, mens effektforbruket til varmevekslermotoren er omtrent den samme som i S3 - aggregatet. Dette betyr at effekten til varmevekslermotoren her står for over 40 % av effektforbruket når man ser bort fra varmebatteriet.

Med tanke på at antallet driftstimer er større for viftene enn for varmevekslermotoren, anslås det at varmevekslermotoren står for en noe mindre andel av energiforbruket til aggregatet. Graddagsavhengigheten settes derfor lik 15 % i lavenergileilighetene og lik 30 % i passivhusleilighetene.

Ventilasjonsvarme:

Energiforbruket til ettervarming av ventilasjonslufta er direkte avhengig av utetemperaturen. Graddagsavhengigheten settes derfor lik 100 % for denne energiposten.

Restpost:

Denne posten inneholder blant annet energi til belysning, teknisk utstyr og andre elektriske artikler. Energiforbruket til belysning vil til dels være noe avhengig av dagslysforholdene og derfor normalt være noe høyere i vinterhalvåret enn i sommerhalvåret. Det ses her bort fra dette og forbruket i denne posten settes til å være fullstendig graddagsuavhengig.

Soltilskudd til akkumulatortank:

Når det gjelder energitilskuddet fra solfangeranlegget, vil man ikke kunne anslå årlig tilskudd ved hjelp av graddagskorrigeringsmetoden. Denne energiposten er avhengig av solinnstrålingen, som vil variere over året. Det er her forsøkt å bruke forholdet mellom den globale solinnstrålingen i måleperioden og den totale globale solinnstrålingen i et normalår for å anslå det årlige tilskuddet fra solfangerne. Global stråling er summen av direkte og diffus stråling fra sola

[22]. Solfangere av typen benyttet i Løvåshagen borettslag vil kunne nyttiggjøre seg av begge typene stråling, men vil ha mest nytte av den direkte strålingen [23]. I mangel på data for direkte stråling er det her valgt å benytte global solinnstråling i beregningene.

I sommermånedene vil det ikke være noe oppvarmingsbehov i leilighetene og man vil ikke ha bruk for all solvarmen til å varme tappevann. En del av solinnstrålingen vil derfor ikke utnyttes. Tabell 12 viser anslagsvis gjennomsnittlig solinnstråling pr. dag i Bergen fordelt på månedene i et normalår (gjennomsnitt 1965 – 2003) [24]. Tabellen viser også global solinnstråling på et areal tilsvarende solfangerarealet for hver passivhusleilighet, samt antatt forbruk av varmt tappevann. Hver av de to måleleilighetene av passivhusstandard er tilknyttet to solfangere med en absorberende overflate på 1,6 m² [25]. Antatt forbruk av varmt tappevann er basert på tall hentet fra ”Manual for ENØK Normtall” [26]. Det er antatt null oppvarmingsbehov fra mai til august. De resterende månedene er det antatt at solinnstrålingen på solfangerne kan nyttes fullt ut. Dette gir til resultat at om lag 64 % av den innstrålte energien over året kan utnyttes.

Tabell 12. Global solinnstråling og forbruk av varmt tappevann [24, 26].

	Global solinnstråling [MJ/(m ² ·dag)]	Global solinnstråling på solfanger [kWh]	Tappevanns - forbruk [kWh]	Utnyttbar solinnstråling [kWh]
Jan	0,8	22	191	22
Feb	2,6	65	173	65
Mar	5,9	163	191	163
Apr	9,1	243	185	243
Mai	15,5	427	191	191
Jun	17,0	453	185	185
Jul	15,2	419	191	191
Aug	11,9	328	191	191
Sep	7,0	187	185	187
Okt	3,2	88	191	88
Nov	1,2	32	185	32
Des	0,4	11	191	11
Hele året	7,6	2437	2253	1569

I et forsøk på å anslå energitilskuddet fra solfangerne over et helt år, ble følgende metode benyttet:

$$E_{sol, \text{år}} = \frac{E_{sol, per} \cdot \bar{I}_{G, \text{år}} \cdot 365 \cdot a_{\text{år}}}{\bar{I}_{G, per} \cdot d_{per} \cdot a_{per}} \quad (13)$$

hvor

$E_{sol, \text{år}}$ = Energitilskudd fra solfanger-
anlegg over ett år [kWh]

$E_{sol, per}$ = Energitilskudd fra solfanger-
anlegg i en gitt periode [kWh]

$\bar{I}_{G, \text{år}}$ = Gj.snittlig global innstråling
pr.dag over året $\left[\frac{MJ}{m^2 \cdot dag} \right]$

$I_{G, per}$ = Gj.snittlig global innstråling
pr.dag i en gitt periode $\left[\frac{MJ}{m^2 \cdot dag} \right]$

d_{per} = Antall dager i perioden [$dager$]

$a_{\text{år}}$ = Utnyttbar andel innstråling over året [-]

a_{per} = Utnyttbar andel innstråling i en gitt periode [-]

Ligning (13) er kun benyttet i et forsøk på å finne et grovt anslag for det årlige tilskuddet fra solfangerne, og det er ikke gjort noe forsøk på å verifisere ligningen gjennom forsøk eller simuleringer.

Timesverdier for den gjennomsnittlige globale solinnstrålingen i Bergen i måleperioden ble mottatt fra Geofysisk Institutt i Bergen [27]. Global innstråling i Bergen i et normalår (gjennomsnitt i perioden 1966 – 2003) er funnet fra figurer gitt i [24].

Akkumulatortank (el)

Årlig estimert strømforbruk til akkumulatortanken framkommer som det nødvendige energitilskuddet for å opprettholde energibalansen i tanken. Altså differansen mellom tappevann/romoppvarming og tilskudd fra solfangerne.

4.13 Problemer og utfordringer i forbindelse med målearbeidet

I leilighetene i Løvåshagen borettslag er det fra utbyggers side ikke lagt opp til noen form for detaljert overvåkning av energibruken. Dette gjorde at det raskt dukket opp utfordringer da det skulle planlegges og utvikles et måleopplegg. Av økonomiske årsaker ble det i størst mulig grad forsøkt å benytte utstyr som SINTEF Energiforskning allerede hadde tilgjengelig.

I de fem leilighetene hvor det ble gjennomført detaljerte energimålinger, ble det i alt benyttet 28 dataloggere, i tillegg til 18 temperatur/RH – loggere. Videre var det koblet 46 sensorer til disse loggerne. Å få alt utstyret til å fungere samtidig viste seg å bli en utfordring. For å finne flere av de tidligere omtalte energipostene var man i tillegg avhengig av parametre fra flere ulike dataloggere. Dette kunne eksempelvis føre til at man hadde tur- og returtemperatur i varmekretsen, men manglet gjennomstrømmet vannmengde, eller vice versa, noe som uansett gjør det umulig å beregne avgitt effekt i kretsen.

Det var under loggingen ingen muligheter for fjernavlesning/-overvåkning. Dette var en stor svakhet med måleopplegget, og mye tap av data kunne antakelig vært unngått med mulighet for overvåkning av loggeprosessen. At målearbeidet foregikk i Bergen, mens de involverte var lokalisert i Trondheim, gjorde naturligvis også sitt til å redusere muligheten for å kontrollere og gjøre justeringer av måleopplegget.

Målingene i Bergen ble som tidligere nevnt, startet den 24. mars, like før påske. Det ble i starten opplevd en del innkjøringsproblemer, noe som førte til at det meste av data gikk tapt i den første perioden. At påskeferien kom like etter

oppstart av målingene, gjorde også sitt til at det gikk relativt lang tid før problemene ble oppdaget og utbedret.

Det ble til måleprosjektet kjøpt inn 14 stk. Power kWh Detective energimålere (se omtale tidligere i kapitlet). På grunn av problemer med leveringen nådde ikke disse fram til oppstart av måleperioden og ble derfor ikke installert i leilighetene før den 19. april. På grunn av den sene leveringen ble det også lite tid til uttesting av målerne før installeringen. Det viste seg dessverre at de fleste målerne ikke fungert som de skulle, noe som resulterte i at de stoppet av seg selv midt i loggingen. Det er fremdeles uklart hva som var feil med loggerne, men et tips fra forhandleren antyder at det muligens er SD – kortene (hvor dataene lagres) som er problemet.

I leilighetene i Løvåshagen borettslag er det installert en såkalt ”alt-av-funksjon”. En bryter ved leilighetenes utgangsdør setter leilighetene i ”hvilemodus”; alt lys og alle stikkontakter, bortsett fra to doble stikkontakter i teknisk nisje, skrus av. Dette var det ikke tatt høyde for ved montering av utstyret. Belastningen på Mitec AT40 – loggernes backupbatteri ble derfor langt større enn forventet, noe som resulterte i stopp og tap av data. Dette problemet ble løst ved å lage og ta i bruk ekstra store batteripakker.

Erfaringene fra og problemene med målingene som ble opplevd i denne studien, vil forhåpentligvis kunne gi lærdom til andre som skal gjennomføre lignende prosjekter senere. Blant de viktigste lærdommene fra gjennomføringen av dette måleprosjektet, kan viktigheten av å benytte pålitelig og velutprøvd utstyr trekkes fram. Muligheten for overvåkning/fjernavlesning er et annet viktig punkt.

5 Resultater

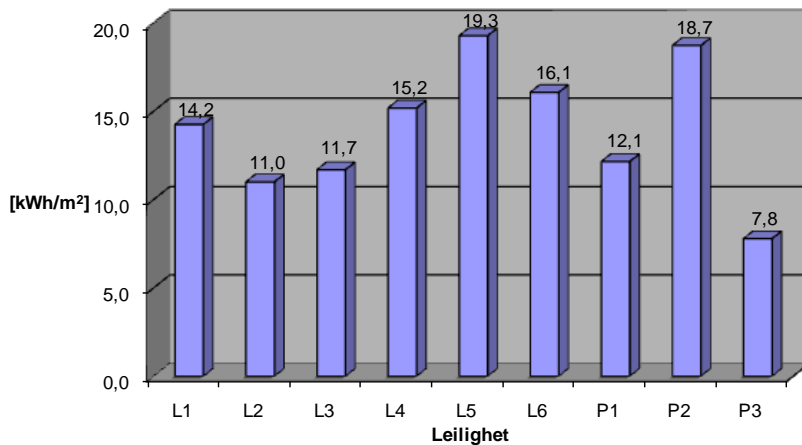
Av ulike årsaker ble det opplevd en god del problemer i forbindelse med målearbeidet (se kapittel 4.13). Dette resulterte i at det i store deler av måleperioden ikke ble registrert noe data på mange av loggerne. En del loggere har også hatt stopp underveis for deretter å fortsette registreringen, men med feil dato og tidspunkt. En del av disse dataene er forsøkt rekonstruert med de antakelige registreringstidspunkt, men her er det naturligvis en ekstra usikkerhet knyttet til resultatene.

I en del tilfeller mangler enkelte nødvendige parametre for å kunne beregne energibruken, mens resten eksisterer. I noen av disse tilfellene har det ved å gjøre enkelte antagelser og forenklinger, vært mulig å finne anslagsvise verdier for energibruken i en periode.

Det vil videre i teksten bli gjort rede for dersom de presenterte resultater er blitt fremskaffet på annet vis enn ved bruk av de beregningsmetoder som er beskrevet i kapittel 4. Det vil naturlig nok være knyttet større usikkerhet til disse resultatene, men de vil forhåpentligvis være gode indikatorer på det reelle energiforbruket i en del av tilfellene hvor noe av datagrunnlaget mangler.

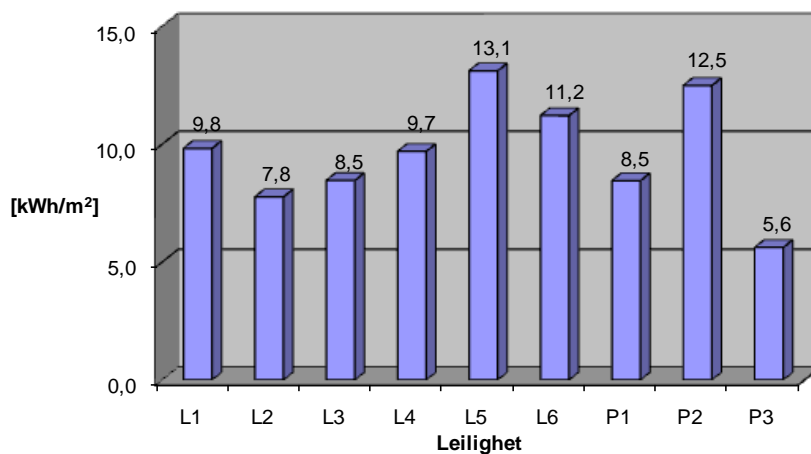
5.1 Energiforbruk i måleperioden

Figur 6 viser det totale strømforbruket for de aktuelle leilighetene i perioden hvor måleutstyret var installert. Det er valgt å presentere forbruket som spesifikt forbruk (forbruk pr. m² gulvareal (BRA)) for lettere å kunne sammenligne leiligheter av ulik størrelse.



Figur 6. Totalt spesifikt strømforbruk i perioden f.o.m. 24.3.2010 t.o.m. 4.5.2010.

Perioden i Figur 6 starter like før påske. Høytider og ferier er perioder hvor forbruket og forbruksmønsteret ofte er noe atypisk i forhold til resten av året. I Figur 7 er derfor de to første ukene, fram til etter påske, utelatt. Man ser imidlertid tilsvarende ulikheter mellom leilighetene her som i Figur 6.



Figur 7. Totalt spesifikt strømforbruk i perioden f.o.m. 6.4.2010 t.o.m. 4.5.2010.

I leilighet L1, L2, L3, P1 og P2 er det som tidligere nevnt gjennomført målinger for å kunne finne formålsdelt energibruk. Størrelsen på de enkelte energipostene vil forhåpentligvis kunne gi en pekepinn på hva som forårsaker de store variasjonene i forbruket. Måle- og beregningsmetoder for å fremskaffe verdier for de ulike energipostene, er beskrevet i kapittel 4. Som allerede nevnt, oppstod det en del problemer med målingene mens disse pågikk. Vedlegg 2 gir en oversikt over hvilke perioder det er tilstrekkelig data tilgjengelig til å fremskaffe resultater for de ulike energipostene.

Tabell 13 viser energiforbruket i lavenergileilighetene fordelt på ulike energiposter for perioden f.o.m. 20.4.2010 t.o.m. 25.4.2010. I passivhusene mangler det for mye data til å kunne utarbeide en formålsdelt oversikt. Tabell 14 gir imidlertid det totale strømforbruket og strømforbruket til akkumulatortanken i den samme perioden. Energiforbruket til leilighetene hvor det ble gjennomført kontrollmålinger er gitt i Tabell 15. (Samlet oversikt over merknadene i tabellene gis på side 54)

Tabell 13. Energiforbruket [kWh] i lavenergileilighetene for perioden f.o.m. 20.4.2010 t.o.m. 25.4.2010.

	Leilighet L1	Leilighet L2	Leilighet L3
Romoppvarming	31,0	6,0 ^b	15,4 ^b
<i>Panelovn</i>	0,0	7,9 ^b	1,4 ^b
<i>Gulvvarme</i>	31,0	0,0	14,0
Tappevann	18,1	32,9	42,4
Ventilasjon	16,3 ^a	15,2	42,1 ^a
<i>Vifter + varmevekslermotor</i>	13,4 ^a	13,4	12,8 ^a
<i>Ventilasjonsvarme</i>	2,9 ^a	1,8	29,3 ^a
Restpost	115,5	51,6	36,5
Totalt strømforbruk	180,8	105,7	136,5

Tabell 14. Strømforbruk [kWh] i passivhusleilighetene for perioden f.o.m. 20.4.2010 t.o.m. 25.4.2010.

	Leilighet P1	Leilighet P2
Akkumulatortank (el)	61,3	118,9
Totalt strømforbruk	130,0	174,7

Tabell 15. Strømforbruk [kWh] for perioden f.o.m. 20.4.2010 t.o.m. 25.4.2010 i leilighetene hvor det ble gjennomført kontrollmålinger.

	Leilighet L4	Leilighet L5	Leilighet L6	Leilighet P3
Tappevann/akkumulatortank (el)	37,0	60,8	68,6	56,3
Ventilasjon	12,9	18,8	5,3	5,3
Totalt strømforbruk	171,9	199,7	212,9	93,4

Tabell 16 viser forbruket i lavenergileilighetene f.o.m. 27.4.2010 t.o.m. 3.5.2010. Tabell 17 viser forbruket i passivhusleilighetene i den samme perioden, mens Tabell 18 gir strømforbruket i leilighetene hvor det ble gjennomført kontrollmålinger. (Samlet oversikt over merknadene i tabellene gis på side 54).

Tabell 16. Energiforbruket [kWh] i lavenergileilighetene i perioden f.o.m. 27.4.2010 t.o.m. 3.5.2010.

	Leilighet L1	Leilighet L2	Leilighet L3
Romoppvarming	114,7 ^c	25,4	29,6
Panelovn	0,0	9,2	1,6
Gulvvarme	114,7	16,2	28,1
Tappevann	23,5 ^d	45,4 ^d	54,1 ^d
Ventilasjon	20,0 ^d	15,6 ^d	48,1 ^d
Vifter + varmevekslermotor			
Ventilasjonsvarme			
Restpost	4,7	65,5	39,1
Totalt strømforbruk	162,9	151,9	171,0

Tabell 17. Energiforbruket i passivhusleilighetene i perioden f.o.m. 27.4.2010 t.o.m. 3.5.2010.

	Leilighet P1	Leilighet P2
Akkumulatortank (el)	95,36 ^d	121,20 ^d
Akkumulatortank (solfanger)	31,15 ^e	27,00
Romoppvarming	15,67	
<i>Radiator</i>		1,10
<i>Gulvvarme</i>		
Tappevann	110,85	147,10 ^f
Ventilasjon	7,60	6,78 ^d
<i>Vifter + varmevekslermotor</i>	7,57	
<i>Ventilasjonsvarme</i>	0,02	
Restpost	58,14	69,92
Totalt strømforbruk	161,10	197,90

Tabell 18. Strømforbruk [kWh] for perioden f.o.m. 27.4.2010 t.o.m. 3.5.2010 i leilighetene hvor det ble gjennomført kontrollmålinger.

	Leilighet L4	Leilighet L5	Leilighet L6	Leilighet P3
Tappevann/akkumulatortank (el)	34,0	88,1	72,5	55,2
Ventilasjon	15,0	22,3	5,8	5,3
Totalt strømforbruk	170,8	231,8	256,7	111,5

Merknader:

- a: Det eksisterer kun data for perioden fram til 20.4.2010, kl. 23:59. Tallene er derfor estimerer som er basert på antagelse om at døgnforbruket resten av perioden er det samme som forbruket den 20.4.2010.
- b: Dataloggeren hadde tidligere stanset og ble startet igjen den 19.4.2010. Loggeren ble imidlertid startet igjen med feil innstilt dato og klokkeslett. Starttidspunktet er i ettertid blitt justert til det omtrentlige starttidspunktet.
- c: Basert på verdier avlest fra displayet til ODINsingle strømmåleren som var plassert i sikringsskap. Måleren ble avlest 26.4.2010 og 4.5.2010. Verdien er justert til den aktuelle måleperioden ved å anta jevnt forbruk i hele perioden.
- d: Basert på målinger gjort med energimålere fra Clas Ohlsson. Forbruket er justert til å gjelde like lange måleperioder ved å anta jevnt forbruk i hele perioden.
- e: Antagelse om konstant volumstrøm når sirkulasjonspumpa i solfangerkretsen går. Vurderingen av når pumpa går er basert på profilet til de målte tur- og returtemperaturene i kretsen.
- f: Verdien er basert på lign. (11) og er derfor for høy da energibruken til romoppvarming mangler.

I Tabell 13 ser man at det målte forbruket til panelovnen i leilighet L2 er større enn det totale målte forbruket til romoppvarming, noe som ikke er mulig. Man må derfor stille et spørsmålstegn ved riktigheten av verdiene i begge disse postene. Gulvvarmen er her satt lik null, men en evt. feil i postene for romoppvarming og panelovn vil også medføre feil i denne posten. Energiforbruket til romoppvarming og panelovn i leilighet L3 er basert på de samme antagelser og forutsetninger som i leilighet L2. Det knyttes dermed en ekstra usikkerhet til disse resultatene også.

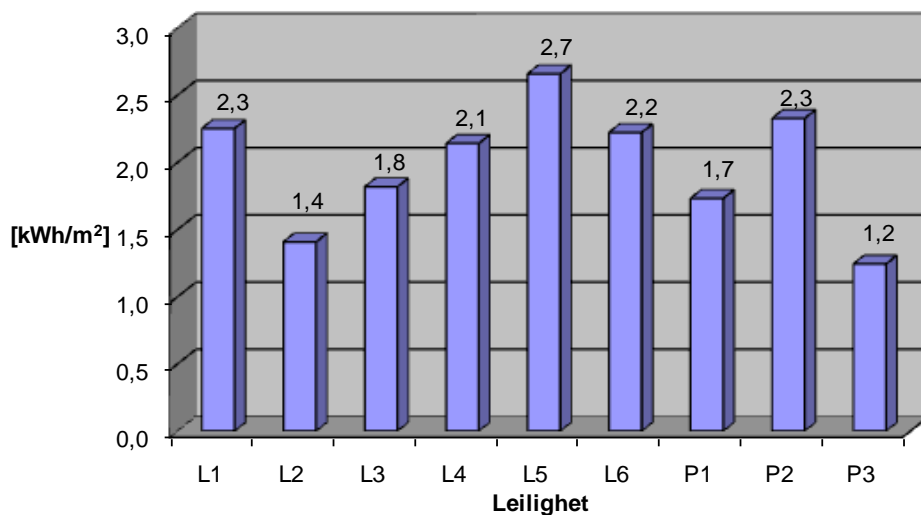
Resultatene i Tabell 16 viser en svært stor romoppvarmingspost i leilighet L1 i det aktuelle tidsrommet. På grunn av svikt i dataloggeren i denne perioden, er verdien for leilighet L1 basert på avlesning fra displayet på ODINsingle energimåleren som var plassert i sikringsskapet. Verdien virker unaturlig høy i forhold til hva som er tilfellet i de andre leilighetene, og man må derfor sette et spørsmålstegn ved riktigheten av denne. Den store forskjellen i romoppvarmingsposten i de to periodene i denne leiligheten resulterer også i tilsvarende variasjon i restposten.

Beregningene av energibruken til radiatoren i leilighet P1 viste seg å gi negativt svar og er derfor utelatt i Tabell 17. Som nevnt i kapittel 4.4.2 er den benyttede beregningsmodellen svært følsom for endringer i temperaturdifferansen mellom radiatoroverflaten og romluften, og det negative resultatet i leilighet P1 bekrefter at modellen ikke fungerer tilstrekkelig godt til sitt formål. Usikkerheten i beregningen av energiforbruket til radiatoren i leilighet P2 vil derfor naturligvis også være stor. Målingene viser imidlertid at gjennomsnittlig temperatur på radiatoroverflaten i perioden mellom 27.4 og 3.5 var 45,7 °C i leilighet P2 og 22,7 °C i leilighet P1, noe som indikerer at energiforbruket til radiatoren er langt lavere i leilighet P1 enn i leilighet P2.

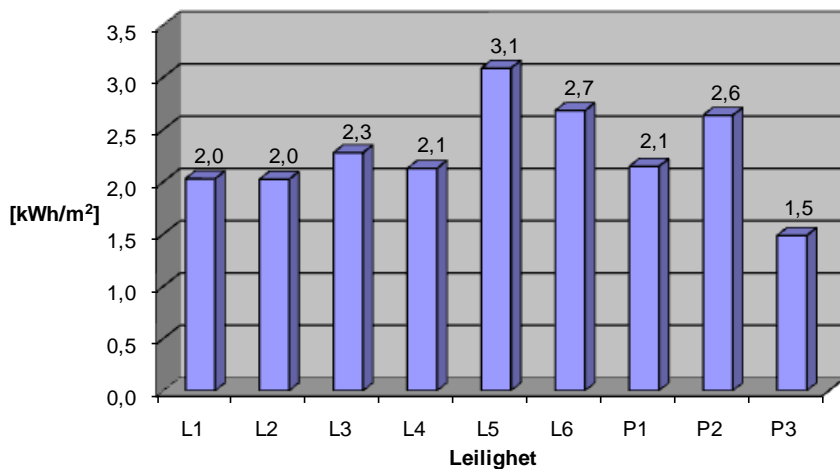
I leilighet P2 mangler data for den totale energibruken til romoppvarming. I Tabell 17 er forbruket til tappevann i denne leiligheten derfor beregnet som om

romoppvarmingsposten er lik panelovnposten. Dette resulterer i at det oppgitte tappevannsforbruket er en del større enn det som er reelt. Det høye energitilskuddet til akkumulatortanken tyder imidlertid allikevel på at forbruket er høyt.

Figur 8 og Figur 9 gir en samlet oversikt over det totale spesifikke strømforbruket i de to periodene. I den første perioden ser man at forskjellene mellom leilighetene følger omtrent det samme mønster som det man så i Figur 6 og Figur 7. I den siste av de to måleperiodene er det en mye større utjevning i forbruket blant leilighetene L1 – L4.

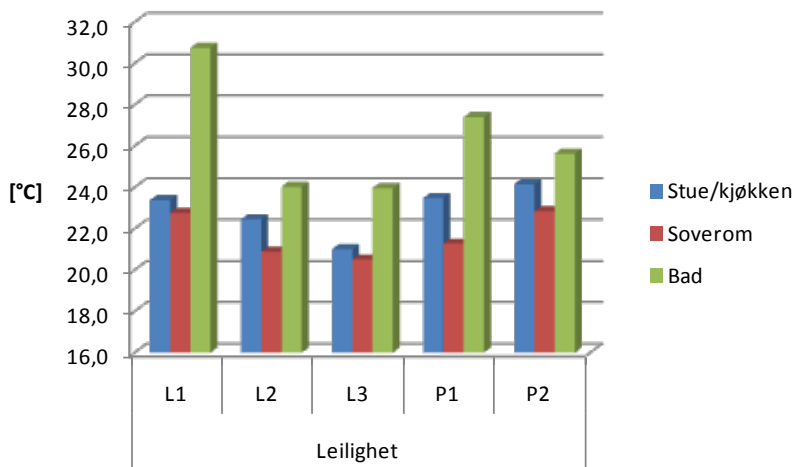


Figur 8. Totalt spesifikt strømforbruk i perioden f.o.m. 20.4.2010 t.o.m. 25.4.2010.



Figur 9. Totalt spesifikt strømforbruk i perioden f.o.m. 27.4.2010 t.o.m. 3.5.2010.

Valg av innendørs settpunkttemperatur vil være en avgjørende faktor for energiforbruket til romoppvarming. Figur 10 viser gjennomsnittlig romtemperatur i perioden f.o.m. 6.4.2010 t.o.m. 3.5.2010 i de fem leilighetene hvor det ble gjennomført detaljerte målinger. Tilsvarende figurer for snittemperaturene i de to kortere måleperiodene kan ses i Vedlegg 3. Disse avviker lite fra Figur 10 og er derfor ikke presentert her.



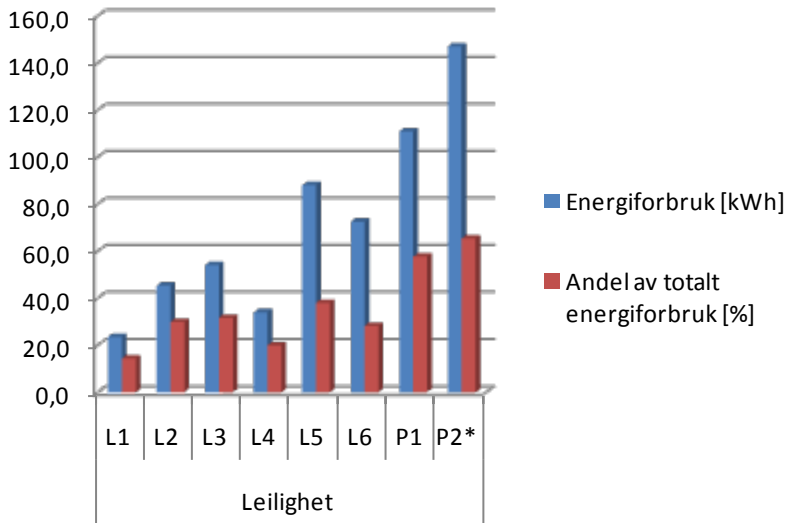
Figur 10. Gjennomsnittlig romtemperatur i perioden f.o.m. 6.4.2010 t.o.m. 3.5.2010.

I leilighet L1 var beboerne bortreist hele perioden mellom den 12.4 og den 3.5. Allikevel ser man at denne leiligheten er blant de med det høyeste totale strømforbruket i perioden presentert i Figur 8. Av Tabell 13 ser man at energibruken til gulvvarme i perioden er stor sammenlignet med de to andre lavenergileilighetene. Forklaringen på dette er trolig at beboerne har reist fra leiligheten med termostaten til gulvvarmen innstilt på en høy temperatur, noe målingene presentert i Figur 10 (og Figur 14 og Figur 15 i Vedlegg 3) bekrefter.

Det er relativt store variasjoner i energiforbruket til varmt tappevann i leilighetene. Ser man bort i fra leilighet L1 som stod tom i store deler av måleperiodene, varierer forbruket i lavenergileilighetene fra 32,9 til 68,6 kWh i perioden fra 20.4 til 25.4 og fra 34,0 til 88,1 kWh i perioden fra 27.4 til 3.5.

Figur 11 viser variasjonen i forbruket for de ulike leilighetene i den andre av disse periodene. Figuren viser også hvor stor andel av det totale energiforbruket tappevannet står for i leilighetene. I passivhusleilighetene regnes det totale energiforbruket som summen av totalt strømforbruk og energitilskudd fra

sofangerne. Det finnes ikke data for tappevannsforbruket i leilighet P3. Denne er derfor utelatt i figuren.



Figur 11. Energiforbruk til tappevann i perioden f.o.m. 27.4.2010 t.o.m. 3.5.2010 og andelen dette står for av det totale energiforbruket i leilighetene.

**figuren viser for høy verdi (se merknad i Tabell 17).*

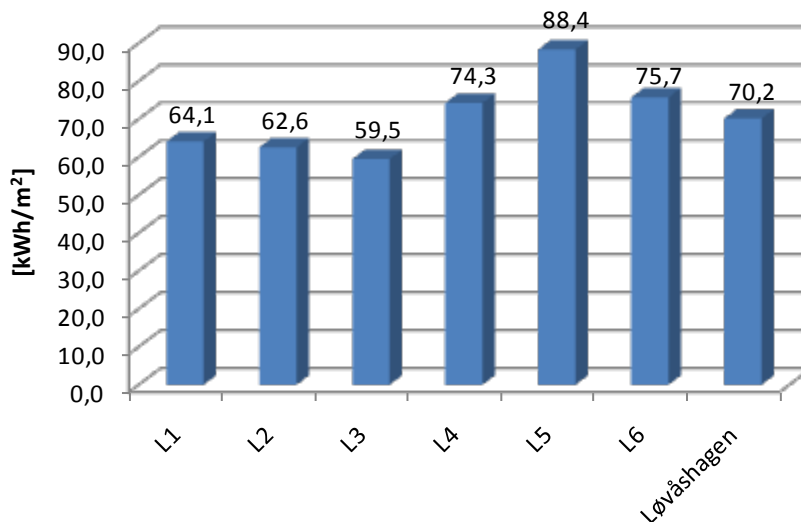
5.2 Energiforbruk januar – juni 2010

Da utvalget av leiligheter er relativt lite i denne studien, spesielt for leiligheter av passivhusstandard, er det ønskelig å gjøre en vurdering på hvorvidt de undersøkte leilighetene er representative for energibruken i borettslaget. Løvåshagen borettslag stod, som tidligere nevnt, ferdig i siste halvdel av 2008 og flere av leilighetene ble først bebodd i løpet første halvdel av 2009. På grunn av usikkerheten rundt innflyttingstidspunkt, er det vanskelig å benytte strømforbruket fra 2009 som sammenligningsgrunnlag. Det er derfor valgt å se på forbruket for månedene januar til og med juni 2010. Dette er mottatt fra strømleverandøren, BKK Energimåling AS.

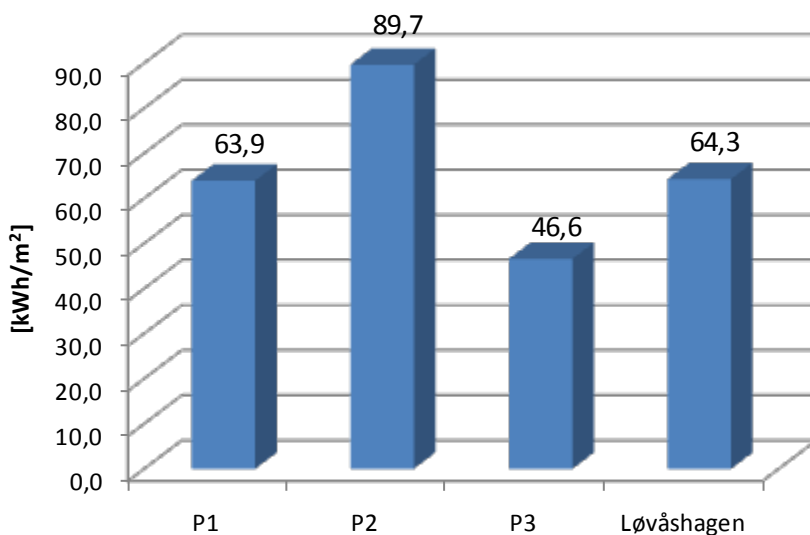
Figur 12 viser det spesifikke strømforbruket for de seks første månedene av 2010 i lavenergileilighetene som har inngått i denne studien. Figuren inneholder i tillegg det gjennomsnittlige spesifikke strømforbruket blant lavenergileilighetene i Løvåshagen borettslag. Figur 13 viser det tilsvarende for passivhusleilighetene.

Som man ser ligger elektrisitetsforbruket i de tre lavenergileilighetene hvor det ble utført detaljerte målinger noe under gjennomsnittet, mens de tre hvor det ble gjennomført kontrollmålinger ligger noe over.

Blant passivhusleilighetene ser man at leilighet P1 ligger omtrent på snittet, mens leilighet P2 og P3 ligger henholdsvis relativt langt over og under snittet.



Figur 12. Spesifikt strømforbruk i lavenergileilighetene de seks første månedene av 2010.



Figur 13. Spesifikt strømforbruk i passivhusleilighetene de seks første månedene av 2010.

Basert på måleresultatene presentert i delkapitel 5.1 er det videre gjort en estimering av det formålsdelte energiforbruket i måleleilighetene i de første seks månedene av 2010. Metodene beskrevet i kapittel 4.12 ble benyttet. Beregningene er imidlertid tilpasset til å gjelde et halvt år i stedet for et helt. Estimeringen er, som sagt, basert på måleresultatene gitt i delkapitel 5.1 og de samme antagelser, forutsetninger og usikkerhetsmomenter vil derfor være knyttet til de ulike energipostene.

Tabell 19 viser graddagstallet for de to periodene presentert i delkapitel 5.1. Gjennomsnittet av målingene fra de to utetemperaturloggerne er benyttet i beregningene. I tillegg viser tabellen også graddagstallet for Bergen for første halvdel av 2010 [28].

Tabell 19. Graddagstall benyttet i estimering av energiforbruket for første halvår av 2010.

	Graddagstall
Løvåshagen 20.4.2010 - 25.4.2010	67,9
Løvåshagen 27.4.2010 - 3.5.2010	67,5
Bergen (stnr. 50540), jan – juni 2010 [28]	2268

Tabell 20 viser gjennomsnittlig global innstråling i den andre av de to måleperiodene, samt andelen av dette som kan utnyttes (basert på antagelser gitt i kapittel 4.12). I mangel på data for mesteparten av solinnstrålingen i de seks første månedene i 2010, er gjennomsnittlig global solinnstråling for første halvdel av et normalår (gjennomsnitt i perioden 1966 – 2003) benyttet i estimeringen. Verdien er funnet fra figurer i [24] og er gitt i Tabell 20 sammen med andelen av dette som kan utnyttes. Energitilskuddet fra solfangerne i løpet av et halvt år er videre estimert fra ligning (13).

Tabell 20. Global innstråling samt andelen som kan utnyttes i de to måleperiodene.

	Gjennomsnittlig global solinnstråling [MJ/(m ² ·dag)]	Andelen som kan utnyttes [%]
Bergen 27.4.2010 - 3.5.2010 [27]	13,4	76
Bergen, jan - juni (normalår) [24]	8,5	63

Tabell 21 og Tabell 22 viser det estimerte spesifikke energiforbruket i måleleilighetene for første halvdel av 2010. Tallene er basert på måleresultatene presentert i Tabell 13 og Tabell 16. Som tidligere nevnt, viste måleresultatene i Tabell 13 at energiforbruket til panelovnen var høyere enn den totale romoppvarmingen i leilighet L2, noe som tyder på feil i målingene. I Tabell 21 er energibruken til romoppvarming i denne leiligheten satt lik energibruken til

panelovnen. I Tabell 22 er graddagsavhengigheten til det totale ventilasjonsforbruket basert på fordelingen mellom energi til vifter/varmevekslermotor og ventilasjonsvarme i den første måleperioden (se Tabell 13).

Tabell 21. Estimert spesifikt energiforbruk [kWh/m²] i lavenergileilighetene i første halvdel av 2010 basert på måleresultatene gitt i Tabell 13.

	Leilighet L1	Leilighet L2	Leilighet L3
Romoppvarming	11,6	3,5	6,2
Panelovn	0,0 _g	3,5	0,6
Gulvvarme	11,6	0,0	5,6
Tappevann	6,8	13,2	17,0
Ventilasjon	6,3	6,3	18,3
Vifter + varmevekslermotor	5,1	5,5	5,2
Ventilasjonsvarme	1,2	0,8	13,0
Restpost	43,4	20,7	14,7
Totalt strømforbruk	68,1	43,7	56,2

g: Verdien blir null fordi årsforbruket er basert på målinger i en mild årstid. Se forklaring nedenfor.

Tabell 22. Estimert spesifikt energiforbruk [kWh/m²] i lavenergileilighetene i første halvdel av 2010 basert på måleresultatene gitt i Tabell 16.

	Leilighet L1	Leilighet L2	Leilighet L3
Romoppvarming	36,9	9,7	10,4
Panelovn	0,0 _g	4,1	0,7
Gulvvarme	36,9	5,6	9,7
Tappevann	7,6	15,6	18,6
Ventilasjon	7,0	5,8	20,2
Vifter + varmevekslermotor			
Ventilasjonsvarme			
Restpost	1,5	22,5	13,5
Totalt strømforbruk	53,0	53,7	62,7

g: Verdien blir null fordi årsforbruket er basert på målinger i en mild årstid. Se forklaring nedenfor.

Tabell 23 viser estimert spesifikt energiforbruk i første halvdel av 2010 i passivhusleilighet P1 og P2 basert på målt energiforbruk gitt i Tabell 17. Da data for fordelingen mellom energi til vifter/varmevekslermotor og ventilasjonsvarme mangler for leilighet P2, er beregningen av det totale ventilasjonsforbruket basert på fordelingen i leilighet P1.

I leilighet P1 mangler data for fordelingen mellom energi til radiator og gulvvarme. Med tanke på bygningskroppens isolerende egenskaper skyldes trolig det meste av energibruken i romoppvarmingsposten i den aktuelle perioden komfortvarmen på badet. I estimeringen av det halvårige energiforbruket antas det derfor at 90 % av romoppvarmingsposten tilfaller gulvvarme.

Tabell 23. Estimert spesifikt energiforbruk [kWh/m²] i passivhusleilighetene i første halvdel av 2010 basert på måleresultatene gitt i Tabell 17.

	Leilighet P1	Leilighet P2
Akkumulatortank (el)	39,4	46,2
Akkumulatortank (solfanger)	5,6	4,9
Romoppvarming	6,8	
Radiator		0,5
Gulvvarme		
Tappevann	38,2	50,6
Ventilasjon	2,9	2,5
Vifter + varmevekslermotor	2,8	
Ventilasjonsvarme	0,01	
Restpost	20,0	24,1
Totalt strømforbruk	62,2	72,9

I Tabell 21 og Tabell 22 ser man at det estimerte energiforbruket til panelovnen i leilighet L1 er lik null. Årsaken til dette er at målingene som ligger til grunn for estimeringen, ble gjennomført i en relativt mild periode av året hvor

det ikke var noe energiforbruk til panelovnen i leiligheten. I tilfeller som dette, da man har null forbruk i en periode, vil metoden med graddagskorrigering ikke fungere.

En mulig metode som kunne vært benyttet og som antakeligvis hadde gitt bedre og mer realistiske verdier, hadde vært å bruke et simuleringsprogram for å estimere energiforbruket. I dette tilfellet, hvor man ønsker å finne forbruket til panelovnen i løpet av et halvt år, ville man ved å legge inn utetemperaturen i løpet av måleperioden, kunne simulere seg fram til et nødvendig varmetapstall⁶ for den aktuelle sonen for å opprettholde den faktiske innnetemperaturen uten tilskudd av varme fra panelovnen. Videre ville man da kunne benytte dette varmetapstallet for å finne et estimat for nødvendig varmetilskudd fra panelovnen for å opprettholde ønsket innnetemperatur gjennom hele halvåret. Det er i denne oppgaven ikke blitt benyttet noe simuleringsverktøy.

Verdien for energiforbruket til tappevann i leilighet P2 gitt i Tabell 23 er, som tidligere nevnt, basert på verdien for samme energipost i Tabell 17 og er derfor, i likhet med denne, noe for høy.

Siden måledata for romoppvarmingen mangler for leilighet P2, er romoppvarmingen satt lik energibruken til radiatoren i beregningen av årlig strømforbruk til akkumulatortanken.

Ved å sammenligne de estimerte verdiene for det totale strømforbruket med verdiene målt av strømleverandøren, vil man kunne få et mål på hvor godt estimeringen har fungert. Tabell 24 og Tabell 25 viser avviket mellom de estimerte verdiene for det totale strømforbruket i første halvdel av 2010 og de målte verdiene mottatt fra strømleverandøren. Som man ser er det en del variasjon i avvikene. Det er uvisst hvor stor del av disse som skyldes selve

⁶ For definisjon av varmetapstall: se NS 3031.

estimeringsmetodene og hvor stor del som skyldes feil i måleresultatene som er lagt til grunn for estimeringen.

Tabell 24. Avviket mellom estimert og målt verdi for totalt strømforbruk i lavenergileilighetene i første halvdel av 2010.

	Leilighet L1	Leilighet L2	Leilighet L3
Tabell 21	6,2 %	-30,2 %	-5,5 %
Tabell 22	-17,3 %	-14,2 %	5,4 %

Tabell 25. Avviket mellom estimert og målt verdi for totalt strømforbruk i passivhusleilighetene i første halvdel av 2010.

	Leilighet P1	Leilighet P2
Tabell 23	-2,7 %	-18,7 %

5.3 Energiforbruk i et normalår

Det er også forsøkt å estimere energiforbruket i et normalår for de fem leilighetene hvor det ble utført detaljerte målinger. Også her er metodene presentert i kapittel 4.12 benyttet, og måleresultatene gitt i delkapittel 5.1 ligger til grunn for estimeringen. De samme antagelser, forutsetninger og usikkerhetsmomenter vil derfor også her være knyttet til de ulike energipostene.

Tabell 26 viser graddagstallet for de to periodene presentert i delkapitlet 5.1, i tillegg til graddagstallet for et normalår i Bergen (gjennomsnitt 1961 – 1990) [28].

Tabell 26. Graddagstall benyttet i estimering av energiforbruket i et normalår.

	Graddagstall
Løvåshagen 20.4.2010 - 25.4.2010	67,9
Løvåshagen 27.4.2010 - 3.5.2010	67,5
Bergen (stnr. 50540), normalår 1961 - 1990	3455,9

Tabell 27 viser gjennomsnittlig global innstråling i den andre av de to måleperiodene og i et normalår (gjennomsnitt i perioden 1966 – 2003), samt andelen av dette som kan utnyttes (basert på antagelser gitt i kapitel 4.12). Årlig energitilskudd fra solfangerne er videre estimert fra ligning (13).

Tabell 27. Global innstråling samt andelen som kan utnyttes i de to måleperiodene.

	Gjennomsnittlig global solinnstråling [MJ/(m ² ·dag)]	Andelen som kan utnyttes [%]
Bergen 27.4.2010 - 3.5.2010 [27]	13,4	76
Bergen, normalår [24]	7,6	64

Tabell 28 - Tabell 30 viser det estimerte spesifikke energiforbruket i et normalår i måleleilighetene basert på målt formålsdelt energibruk gitt i henholdsvis Tabell 13, Tabell 16 og Tabell 17. De samme antagelser og forutsetninger som ble gjort i beregningen av det halvårige forbruket i delkapitel 5.2, er også gjort her.

Tabell 28. Estimert årlig spesifikt energiforbruk [kWh/m²] i lavenergileilighetene i et normalår basert på måleresultatene gitt i Tabell 13.

	Leilighet L1	Leilighet L2	Leilighet L3
Romoppvarming	23,5	5,4	12,3
Panelovn	0,0 _g	5,4	1,0
Gulvvarme	23,5	0,0	11,3
Tappevann	13,7	26,6	34,4
Ventilasjon	11,7	11,8	30,0
Vifter + varmevekslermotor	9,9	10,6	10,1
Ventilasjonsvarme	1,9	1,2	19,9
Restpost	87,5	41,8	29,6
Totalt strømforbruk	136,4	85,6	106,3

g: Verdien blir null fordi årsforbruket er basert på målinger i en mild årstid.

Tabell 29. Estimert årlig spesifikt energiforbruk [kWh/m²] i lavenergileilighetene i et normalår basert på måleresultatene gitt i Tabell 16.

	Leilighet L1	Leilighet L2	Leilighet L3
Romoppvarming	74,5	17,5	20,6
Panelovn	0,0 ^g	6,3	1,1
Gulvvarme	74,5	11,3	19,5
Tappevann	15,2	31,5	37,6
Ventilasjon	12,9	10,8	33,0
Vifter + varmevekslermotor			
Ventilasjonsvarme			
Restpost	3,0	45,5	27,1
Totalt strømforbruk	105,7	105,3	118,2

g: Verdien blir null fordi årsforbruket er basert på målinger i en mild årstid.

Tabell 30. Estimert årlig spesifikt energiforbruk [kWh/m²] i passivhusleilighetene i et normalår basert på måleresultatene gitt i Tabell 17.

	Leilighet P1	Leilighet P2
Akkumulatortank (el)	77,3	93,9
Akkumulatortank (solfanger)	10,3	9,0
Romoppvarming	10,7	
Radiator		0,7
Gulvvarme		
Tappevann	77,0	102,1
Ventilasjon	5,2	4,7
Vifter + varmevekslermotor	5,2	
Ventilasjonsvarme	0,02	
Restpost	40,4	48,5
Totalt strømforbruk	122,9	147,1

De samme måleresultater ligger til grunn for beregningen av forbruket både i et normalår og i første halvdel av 2010. I tillegg er også de samme estimeringsmetoder benyttet. Det er derfor sannsynlig at det totale

strømforbruket for leilighetene presentert i Tabell 28 - Tabell 30 inneholder feil i samme størrelsesorden som det som var tilfellet for det halvårige strømforbruket. Dersom man korrigerer for dette, får man følgende totale strømforbruk i leilighetene:

Tabell 31. Totalt estimert strømforbruk [kWh/m²] i lavenergileilighetene i et normalår. Korrigert for feil gitt i Tabell 24.

	Leilighet L1	Leilighet L2	Leilighet L3
Basert på Tabell 13	127,9	111,4	112,2
Basert på Tabell 16	124,0	120,3	111,8

Tabell 32. Totalt estimert strømforbruk [kWh/m²] i passivhusleilighetene i et normalår. Korrigert for feil gitt i Tabell 25.

	Leilighet P1	Leilighet P2
Basert på Tabell 17	126,2	174,7

6 Diskusjon

Oversikten over strømforbruket i Løvåshagen borettslag mottatt fra BKK Energimåling AS, viser til dels store variasjoner blant leilighetene. Tallene viser at det gjennomsnittlige strømforbruket i leilighetene av passivhusstandard er noe lavere enn gjennomsnittet i lavenergileilighetene⁷. Med tanke på passivhusenes bedre isolerte bygningskropp og energitilskuddet fra solfangerne, er dette som forventet. Forskjellen er imidlertid ikke spesielt stor.

Dersom man ser på energiforbruket i leilighetene hvor det ble gjennomført målinger, ser man også her store forskjeller. Blant utvalget av måleleiligheter med lavenergistandard, ser man av Figur 12 at omtrent halvparten ligger under snittet i borettslaget og halvparten over. Alle leilighetene hvor det ble gjennomført detaljerte målinger ligger imidlertid under snittet.

Blant passivhusleilighetene ser man fra Figur 13 at spredningen er stor, én ligger omtrent på snittet, mens de to andre ligger henholdsvis relativt langt over og under. Dette gir et interessant utvalg med tanke på å kunne finne årsaker til variasjoner i forbruket.

I de fire lavenergileilighetene med høyest forbruk (L1, L4, L5 og L6), bor det personer med barn. Dette er en faktor som kan spille inn når det gjelder energiforbruket. Barn i husstanden kan blant annet føre til økt forbruk av tappevann og hyppigere bruk av vaskemaskin/tørketrommel. Med små barn i huset, ønsker man kanskje også å holde en noe høyere innetemperatur enn man ellers ville hatt.

De tre passivhusleilighetene er alle like store og har alle en eller to voksne beboere. Både leilighet P2 og P3 har mye ytterflater (se Tabell 7), men som

⁷ Det er ikke tatt hensyn til at enkelte leiligheter muligens står tomme.

man ser, er det stor forskjell i energibruken i de to leilighetene, leilighet P2 har omtrent dobbelt så stort strømforbruk som leilighet P3. Én ekstra beboer i leilighet P2 vil naturligvis føre til noe økt forbruk, spesielt med tanke på bruk av varmt tappevann, men forskjellen er uansett oppsiktsvekkende.

6.1 Romoppvarming

Problemer med måleutstyret førte til en del usikkerhet rundt enkelte av de målte verdiene for romoppvarmingen i leilighet L1 – L3. Resultatene tyder imidlertid uansett på at forbruket til romoppvarming var en del større i leilighet L1 enn i de to andre, og at dette skyldtes høyere energiforbruk til gulvvarme.

I den andre av de to måleperiodene, ser man at forbruket til romoppvarming i passivhusleiligheten P1 er en del lavere enn i lavenergileilighetene. Størrelsesordenen på romoppvarmingen i leilighet P1 i forhold til i leilighet L2 og L3 er omtrent som man på forhånd kunne forvente ut fra de målsetninger som er satt når det gjelder oppvarmingsbehov i leilighetene.

Leilighet L2 og L3 er de to leilighetene som har de laveste romtemperaturene. Disse to leilighetene er også de som jevnt over har lavest totalt strømforbruk. Resultatene fra den andre måleperioden, viste imidlertid at leilighet P1 hadde det laveste energiforbruket til romoppvarming selv om romtemperaturen i leiligheten var jevnt over høyere enn i leilighet L2 og L3. Dette er et tegn på at leiligheten som er av passivhusstandard, holder bedre på varmen enn lavenergileilighetene.

6.2 Tappevann

Resultatene viste at det var stor variasjon i energiforbruket til varmt tappevann i måleleilighetene. I passivhusleilighet P1 ser man at energiforbruket til tappevann er over dobbelt så høyt som for de fleste av lavenergileilighetene.

Tappevannsförbruket presentert for leilighet P2, er som tidligere nevnt ikke reelt (se merknad i Tabell 17), men det høye strømforbruket til akkumulatortanken tyder på at også det virkelige tappevannsförbruket er relativt høyt. I Tabell 14 ser man at forskjellen mellom elektrisitätsförbruket til akkumulatortanken i leilighet P1 og P2 står for mer enn hele forskjellen i det totale elektrisitätsförbruket i leilighetene. Det er imidlertid uvisst hvor mye av dette som kan tilskrives tappevannsposten.

Som nevnt tidligere i rapporten, er tappevannsförbruket en energipost som hovedsakelig er brukeravhengig. En del av de variasjonene man ser mellom leilighetene skyldes antakelig faktorer som antall beboere og sammensetningen av beboerne (barn/voksne, alder osv). Imidlertid vil også brukernes vaner og bevissthet rundt sitt eget förbruk spille en viktig rolle. Et eksempel er de to lavenergileilighetene L2 og L3. Leilighet L2 har to beboere, mens leilighet L3 kun har én. Beboerne tilhører også omtrent samme aldersgruppe. Allikevel ser man at tappevannsförbruket er en del lavere i leilighet L2. Det er trolig at en del av denne forskjellen skyldes ulike vaner.

Det er uvisst hvorfor tappevannsförbruket i passivhusleilighetene P1 og P2 ser ut til å være så høyt. Förbruket i leilighet P3 ser imidlertid ut til å være langt lavere, og det er derfor ikke noe grunnlag for å si at høyt tappevannsförbruk er typisk for passivhusleilighetene i borettslaget. En overbevisning blant enkelte beboere om at alt tappevannet varmes med ”gratis” solvarme, kan naturligvis tenkes å være en forklaring på høyt tappevannsförbruk i enkelte leiligheter. Hvorvidt dette er tilfellet her, er uvisst.

Uansett hva som ligger til grunn for variasjonene i tappevannsförbruket, tyder måleresultatene på at denne energiposten er en viktig årsak til forskjellene i det totale energiförbruket i leilighetene.

6.3 Ventilasjon

Når man studerer ventilasjonsforbruket i måleleilighetene, legger man merke til to ting. For det første har leilighet L3 et langt høyere energiforbruk til ventilasjonsvarme enn resten av leilighetene. Tabell 13 viser at mens leilighet L1 og L2 har et forbruk til ventilasjonsvarme på henholdsvis 2,9 kWh og 2,3 kWh i den første måleperioden, ligger forbruket i leilighet L3 på 30,0 kWh. I den andre måleperioden mangler det data for å kunne skille ventilasjonsvarmen fra vifte- og motordrift, men størrelsen på ventilasjonsforbruket antyder også her et langt høyere forbruk til ventilasjonsvarme i leilighet L3 enn i de andre leilighetene.

Årsaken til dette er antakeligvis høy temperatur på tilluften, eller rettere sagt liten forskjell mellom temperaturen på tilluften og avtrekksluften. I begge de to måleperiodene ligger den gjennomsnittlige tilluftstemperaturen i leilighet L3 på 22,0 °C. Snittemperaturen på avtrekksluften i de to periodene ligger på 22,9 °C og 23,1 °C. Det er altså en temperaturredifferanse mellom avtrekksluft og tilluft på omkring 1 °C. I leilighet L1 og L2 ligger denne differansen på omkring henholdsvis 7 °C (periode 1)⁸ og 10 °C (periode 2)⁸. Den beskjedne forskjellen mellom temperaturene på tilluft og avtrekksluft gjør at varmeveksleren dekker en mindre andel av den nødvendige varmemengden som må til, enn hva som hadde vært tilfellet dersom differansen var større. Ved å ha høy temperatur på tilluften, vil man imidlertid redusere behovet for oppvarming via romoppvarmingssystemet. Sammenlignet med leilighet L2, ser energibruken til panelovnen ut til å være noe lavere i leilighet L3. Innetemperaturen i stue/kjøkken er imidlertid også lavere i leilighet L3, og det er derfor vanskelig å si hvor stor andel av dette som skyldes den høye tilluftstemperaturen.

Det andre man legger merke til i ventilasjonsforbruket er at leilighetene med ventilasjonsaggregat av typen Flexit SL4 har et markant lavere energiforbruk

⁸ Data for den andre perioden mangler.

enn de med Flexit S3. Dette gjelder alle passivhusleilighetene og i tillegg noen få lavenergileiligheter som har fått oppgradert ventilasjonsanlegget med denne modellen. Av lavenergileilighetene som inngår i denne studien er leilighet L6 den eneste med aggregat av typen SL4, noe man ser klart på leilighetens ventilasjonsforbruk. Ekstra energieffektive vifter med EC⁹ – teknologi i dette aggregatet er en forklaring på det lave energiforbruket.

6.4 Restpost

Størrelsen på restposten i leilighet L2, P1 og P2 ser ut til å være i samme størrelsesorden, mens denne posten er noe mindre i leilighet L3. Medvirkende årsaker til dette kan være bruk av mer energieffektiv belysning eller bedre vaner med å slukke lys og skru av annet elektrisk utstyr, men andre faktorer som tilstedeværelse, interesser og antallet elektriske artikler i hjemmet, kan naturligvis også forklare forskjellene.

I leilighet L1 ser man at restposten er svært stor i den første måleperioden, mens den er svært liten i den andre. Årsaken til dette er den tidligere omtalte forskjellen i romoppvarmingsposten i de to periodene. Den store forskjellen gjør at man må stille spørsmålstegn ved måleresultatene, og det er derfor vanskelig å trekke noen slutninger rundt størrelsen på restposten i denne leiligheten. Dersom de presenterte resultatene i den første perioden (Tabell 13) stemmer, vil imidlertid størrelsen på restposten kunne sies å være oppsiktsvekkende i en leilighet hvor beboerne er bortreist. Dette tyder i så fall på at en last av et slag står og trekker strøm.

⁹ Electronically Commutated

6.5 Estimert årlig energiforbruk

En av begrunnelsene for å studere energiforbruket i leilighetene var for å se om de målsetningene som var satt med tanke på energibruk er oppnådd. Dersom man ser på de beregningene som ble gjennomført og de målsetningene som på forhånd ble satt (se kapittel 3), ser man at både passivhusleilighet P1 og P2 er langt fra å nå målene for levert energi. Leilighet P2 ligger, som man så, relativt lang over gjennomsnittet for passivhusleilighetene når det gjelder strømforbruk. Men også leilighet P1, som så ut til å ligge omtrent på snittet, ligger langt over det beregnede behovet for levert energi. Høyt forbruk av energi til oppvarming av varmt tappevann ser ut til å være årsaken til dette.

Kravet om et maksimalt oppvarmingsbehov¹⁰ i passivhusene på 15 kWh/(m²·år) ser imidlertid ut til å overholdes for leilighet P1. For leilighet P2 mangler for mye data til å kunne vurdere dette.

Solfangerne ser ut til å tilføre en del mindre energi til passivhusleilighetene enn det som på forhånd var blitt beregnet. Det er imidlertid i etterkant av målingene oppdaget en feilinnstilling i styringsenheten for solfangerne i borettslaget. Sirkulasjonspumpa i solfangerkretsen var innstilt til å stoppe dersom temperaturen i solfangernes samlestock oversteg 60 °C. Dette er en for lav temperatur, som resulterer i at for lite solinnstråling utnyttes på solrike dager. Den innstilte temperaturen er nå endret til 90 °C [29]. Dette har trolig hatt en innvirkning på resultatet av målingene.

Dersom man ser på det årlige energiforbruket presentert i Tabell 28 og Tabell 29 for lavenergileilighetene, ser man at det kun er resultatet for leilighet L2 basert på den første måleperioden som ligger under det som på forhånd ble beregnet for lavenergileilighetene (se kapittel 3). Velger man i stedet å ta utgangspunkt i de korrigerede verdiene for strømforbruket presentert i Tabell 31,

¹⁰ Romoppvarming og ventilasjonsvarme.

er det ingen av måleleilighetene som kommer under den beregnede verdien på 101 kWh/(m²·år). Trolig vil disse korrigererte verdiene være de mest riktige. De tre aktuelle lavenergileilighetene lå alle noe under snittet for energibruken blant lavenergileilighetene i borettslaget.

Noe høyere energibruk til vifter og varmevekslermotor i ventilasjonsaggregatet enn beregnet, ser ut til å være en faktor som bidrar til for høy energibruk i lavenergileilighetene. Utenom dette ser det ikke ut til å være noen andre entydige forklaringer. Målsetningen om et maksimalt energiforbruk til oppvarming på om lag 25 kWh/(m²·år), ser ut til å være overholdt i leilighet L2, men ikke i leilighet L3. Usikkerheten rundt måleresultatene gjør det vanskelig å vurdere hva som er tilfellet i leilighet L1. Totalt sett gjør dette det vanskelig å vurdere hvorvidt målsetningen generelt ser ut til å være nådd eller ikke i lavenergileilighetene.

Dersom man vurderer leilighetene opp mot energimerkeskalaen for boligblokker i den nye energimerkeordningen (se Tabell 2), ender passivhusleilighet P1 og P2 opp med henholdsvis karakter C og D. Dette må sies å være et svært skuffende resultat.

Dersom man baserer seg på de korrigererte verdiene for strømforbruket i lavenergileilighetene (se Tabell 31) ender samtlige av de tre lavenergileilighetene L1 – L3 opp med karakter C. Dersom man i stedet baserer seg på resultatene gitt i Tabell 28, oppnår leilighet L2 karakter B, mens leilighet L1 akkurat faller ned til karakter D.

Ettersom standarden ”NS 3700. Kriterier for passivhus og lavenergihus. Boligbygninger” (se omtale i kapittel 2.2) ble fastsatt tidligere dette året, er det naturlig å stille spørsmålet om hvorvidt boligblokkene i Løvåshagen borettslag tilfredsstillere kriteriene gitt for passiv- og lavenergihus her. En vurdering av måleresultatene opp mot NS 3700 er imidlertid vanskelig, da standarden setter

krav til høyeste beregnede netto energibehov til oppvarming. Standarden setter også blant annet krav til høyeste varmetapstall, noe som heller ikke er beregnet. Kravene i standarden gjelder i tillegg bare for hele bygninger og ikke for enkeltleiligheter.

Kravet til energiforsyning gitt i kapitel 4.4 i NS 3700, kan i hvert fall med sikkerhet sies å ikke være oppfylt i lavenergileilighetene i Løvåshagen borettslag i og med at denne er helelektrisk.

7 Konklusjon

Tall for det totale strømforbruket i passivhus- og lavenergileilighetene i Løvåshagen borettslag i Bergen, viser at det er stor variasjon i forbruket. Målinger av energiforbruket til ulike formål i et lite utvalg av leiligheter i borettslaget, bekrefter dette.

En av energipostene hvor det ble funnet stor variasjon, var energi til oppvarming av varmt tappevann. I noen av passivhusleilighetene viste denne energiposten seg å være omtrent dobbelt så stor som i enkelte av lavenergileilighetene. På grunn av det lille utvalget av leiligheter og stor variasjon mellom leilighetene, er det imidlertid ikke grunnlag for å si at høyt tappevannsforbruk er typisk for passivhusleilighetene i borettslaget.

Energibruken til ventilasjon viste seg å være svært avhengig av typen ventilasjonsaggregat. Leilighetene med aggregat av typen Flexit SL4 hadde et markant lavere energiforbruk enn de med Flexit S3. Årsaken til dette er trolig bruk av EC – teknologi i Flexit SL4. Dette viser at det er mye energi å spare på å benytte aggregater med energieffektiv viftedrift. Valg av høy temperatur på tilluften i en av lavenergileilighetene viste seg å gi stort utslag for energibruken til ettervarmebatteriet.

Usikkerhet rundt en del av måleresultatene gjør det vanskelig å komme med noen sikker konklusjon når det gjelder energiforbruket til romoppvarming. Resultatene tyder imidlertid på at det kan opprettholdes en høyere innendørs temperatur ved bruk av mindre energi til oppvarming i passivhusleiligheten enn i lavenergileilighetene. Dette er helt som forventet med tanke på forskjellen i isolasjonsstandard for de to leilighetstypene.

Resultatene viser også at det er stor variasjon i energiforbruket til gulvvarme på badet i en del av leilighetene og at dette har relativt stor betydning for det totale

forbruket til romoppvarming. I en av lavenergileilighetene hadde beboerne reist bort med termostaten for gulvvarmen innstilt på om lag 30 °C. Dette resulterte i det høyeste energiforbruket blant de lavenergileilighetene hvor dette ble målt, til tross for at leiligheten stod tom i hele den aktuelle måleperioden. Dette understreker viktigheten av å skru ned innetemperaturen når man drar bort og taler også for å i større grad ta i bruk sentrale styringssystemer hvor all varme for eksempel styres via et styringspanel ved utgangsdøren.

Energitilskuddet fra solfangerne i passivhusleilighetene så ut til å være en del mindre enn forventet. En feilinnstilling i anleggenes styringsenhet kan ha vært en mulig årsak til dette.

Energiforbruket i måleleilighetene så generelt ut til å ligge over det som på forhånd var forventet. Dette gjaldt spesielt for leilighetene av passivhusstandard. Resultatene fra målingene ville gitt de to leilighetene henholdsvis karakter C og D på energimerkeskalaen for boliger. Leiligheten som hadde oppnådd karakter C, ser ut til å ha et omtrent gjennomsnittlig strømforbruk blant passivhusleilighetene i borettslaget. I denne leiligheten er høyt forbruk til oppvarming av tappevann årsaken til det høye energiforbruket. Ut fra måleresultatene ville de tre lavenergileilighetene trolig fått karakteren C.

Det er, ut fra måleresultatene, ikke mulig å konkludere med at energiforbruket til oppvarming er høyere enn målsetningene som er satt for borettslaget.

Måleresultatene tyder på at det totale energiforbruket i boliger av passivhus- og lavenergistandard i stor grad er brukeravhengig, og at det i tillegg til gode byggtekniske løsninger er viktig å bevisstgjøre brukerne om deres rolle, for at målsetninger om stor reduksjon i energibruken skal nås.

8 Videre arbeid

Som beskrevet tidligere i rapporten ser energibruken i Løvåshagen borettslag ut til å være en del høyere enn det som var forventet. Dette viser viktigheten av å undersøke det virkelige energiforbruket i passiv- og lavenergiboliger.

Målingene gjennomført i forbindelse med denne oppgaven ble kun gjennomført i et lite utvalg av leiligheter i ett enkelt borettslag. Det vil i fremtidige studier være interessant å forsøke å gjennomføre målinger i et større omfang for bedre å kunne gjøre sammenligninger mellom leiligheter og ulike boligprosjekter.

I forbindelse med dette måleprosjektet, ble det opplevd mye problemer med å få måleutstyret til å virke som det skulle. Man var også avhengig av å være fysisk til stede i boligene for å kontrollere og avlese utstyret. Det bør i fremtidige måleprosjekter utvikles målemetoder og prosedyrer som er lettere å gjennomføre i stort omfang. Med tanke på å kunne gjennomføre målinger i lengre perioder, bør måleopplegget i minst mulig grad være sjenerende for beboerne. Muligheter for fjernavlesning- og overvåkning av måleutstyret vil være å foretrekke.

Å integrere løsninger for måleutstyr i de tekniske anleggene under byggeprosessen, vil ofte være rimeligere og gi langt bedre løsninger enn å skulle montere dette i ettertid. Det vil derfor kunne være hensiktsmessig med samarbeid på et tidlig stadium mellom forskningsinstitusjoner og utbyggere med tanke på finansiering og gjennomføring av måleprosjekter.

Det ble i denne oppgaven ikke gjennomført noen undersøkelser rundt det opplevde innklimaet i passiv- og lavenergihus. Dette er noe det bør jobbes med i fremtiden.

9 Referanser

1. Novakovic, V. Forelesning i faget "Energibruk i bygninger". 2008.
2. Ekberg, L.E., *Air*. Kvänum: Swegon Air Academy. 2008.
3. Lavenergiutvalget. Energieffektivisering. Del 1. Hovedrapport. 2009.
4. Statens bygningstekniske etat. *Nye byggeregler - hva så? Informasjon 21.mai 2010*. 2010.
<http://www.be.no/beweb/info/pressem/100521nyeregler.html>
(29.05.2010).
5. Navarsete, L.S. (2010) *Eg vonar mange blir inspirerte*.
<http://www.regjeringen.no/nn/dep/krd/Aktuelt/taler-og-artiklar/ministeren/ministerens-taler-og-artikler-/2010/--Eg-voner-mange-blir-inspirerte.html?id=592011>
6. Statens bygningstekniske etat. Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk (TEK). 2007.
<http://www.lovdato.no/for/sf/kr/xr-19970122-0033.html>
7. Statens byggtkniske etat. Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggtknisk forskrift). 2010.
<http://lovdato.no/for/sf/kr/xr-20100326-0489.html>
8. Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). *Energimerking.no*.
<http://energimerking.no/> (29.6.2010).
9. Standard Norge. Norsk Standard NS 3700. Kriterier for passivhus og lavenergihus. Boligbygninger. 2010.
10. Norges vassdrags- og energidirektorat. *Energimerking av bygg. Faktaark ENERGIMERKING: BYGG nr. 2 2009 OPPDATERT januar 2010*. 2009.

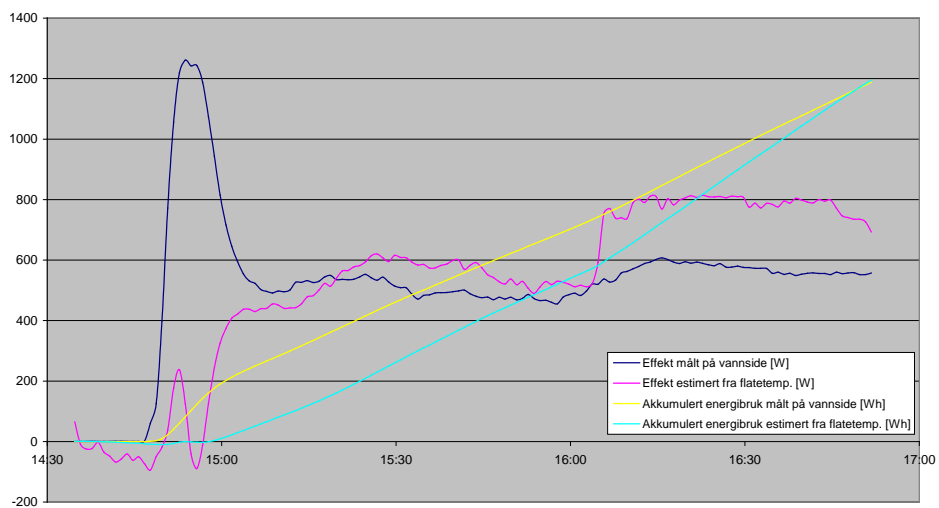
<http://energimerking.no/Global/energimerking/Dokumenter/Faktaark%202-09%20A4.pdf>

11. Passivhus - standard klar, i Norsk VVS nr. 3.2010, s. 19. Skarland Press AS.
12. Nesland, O., *En litteraturstudie av lavenergiløser og passivhus - Helse, innelima og energibruk. Notat i forbindelse med prosjekt "16X860 e-CONIAQU"*. 2009, SINTEF Energiforskning AS.
13. Dokka, T.H., et al. Prosjektrapport 40. Energieffektivisering i bygninger - mye miljø for pengene! 2009, SINTEF Byggforsk.
14. Løvåshagen Borettslag. Banebrytende Energisparing. (Energirapport enova forbildeprosjekter). 2008, enova.
<http://naring.enova.no/file.axd?fileDataID=3b440a5f-e2a1-4753-9c41-2f3d657cc0b2>
15. Detaljtegninger mottatt fra Kjetil Helland (Bybo AS). 30.6.10.
16. Helland, K. Informasjon mottatt pr. telefon. 30.6.10.
17. Cengel, Y.A., *Heat And Mass Transfer: A Practical Approach*. 3. ed: McGraw - Hill. 2006.
18. Glen Dimplex Nordic AS. *Datablad Dimplex Unique Varmeovn*.
<http://www.glendimplex.no/filarkiv/2010/03/23/14ba898dca70be.pdf>
(27.05.2010).
19. *Tyfocor® L. Technical Information (Datasheet)*. 2009, Tyforop Chemie GmbH.
20. *ENØK i bygninger: effektiv energibruk*. Oslo: Gyldendal undervisning. 2007.
21. Skogstad, K. Telefonsamtale. 5.7.2010.
22. Kroken, S. *Stråling og energi*. 2009.
<http://www.umb.no/fagklim/artikkel/straling-og-energi> (12.7.2010).
23. Greentech. *Solar Water Heating*.
<http://www.techstore.ie/Renewable-Energy/Solar-Energy/Solar-Water-Heating.htm> (12.7.2010).

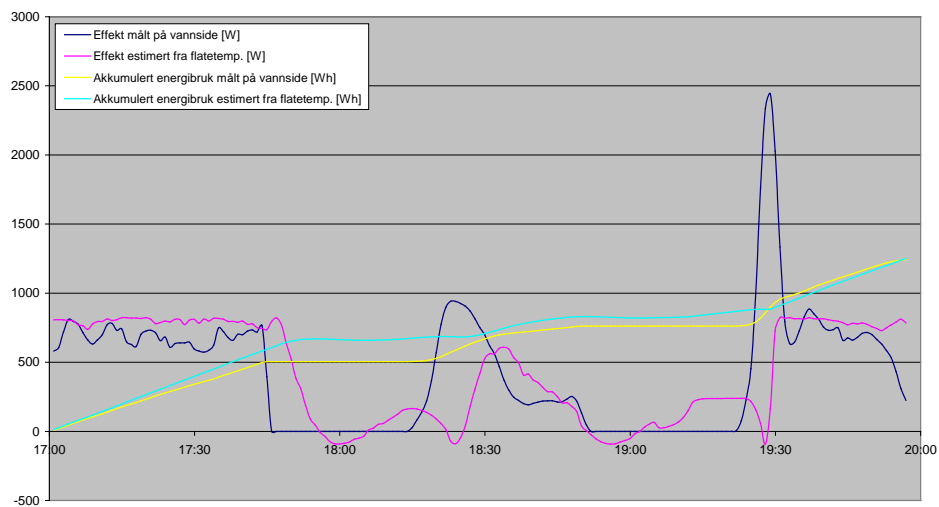
24. Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen. *Været i Bergen. Globalstråling. 2010.*
<http://veret.gfi.uib.no/?action=timeseries&prod=9> (6.7.2010).
25. Apricus Solar Company. *Apricus Solar Hot Water. Modell Specifications.*
http://www.apricus.com/html/solar_collector_technical_info.htm
(7.7.2010).
26. *Manual for Enøk normtall: enova. 2004.*
27. Olseth, J.A. Motatt pr.mail. 1.6.10. 2010.
28. *Data fra målestasjon "Bergen - Florida" (stnr. 50540).* Meteorologisk institutt.
29. Rosendahl, T. (Olav Grevstad AS). Informasjon mottat pr. telefon. 2.7.10. 2010.

Vedlegg 1. Plot av resultater fra forsøk på radiator.

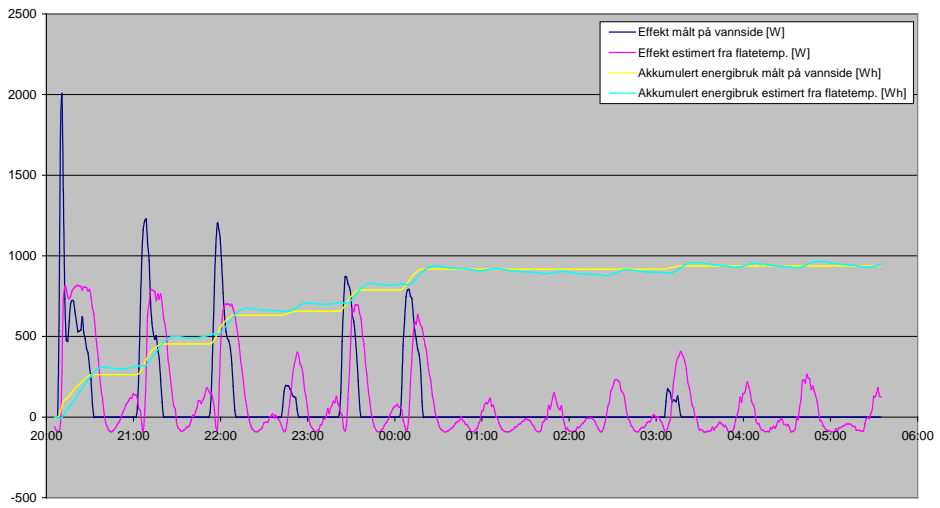
Forsøk 1



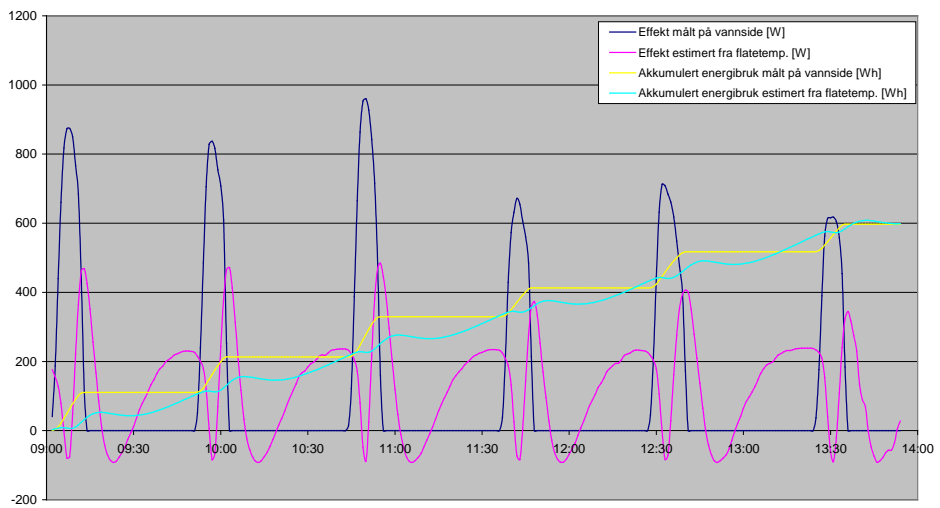
Forsøk 2



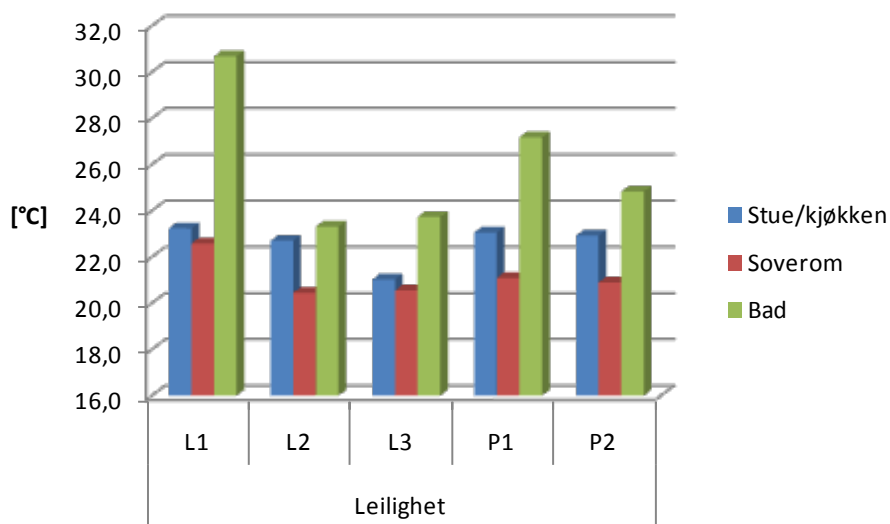
Forsøk 3



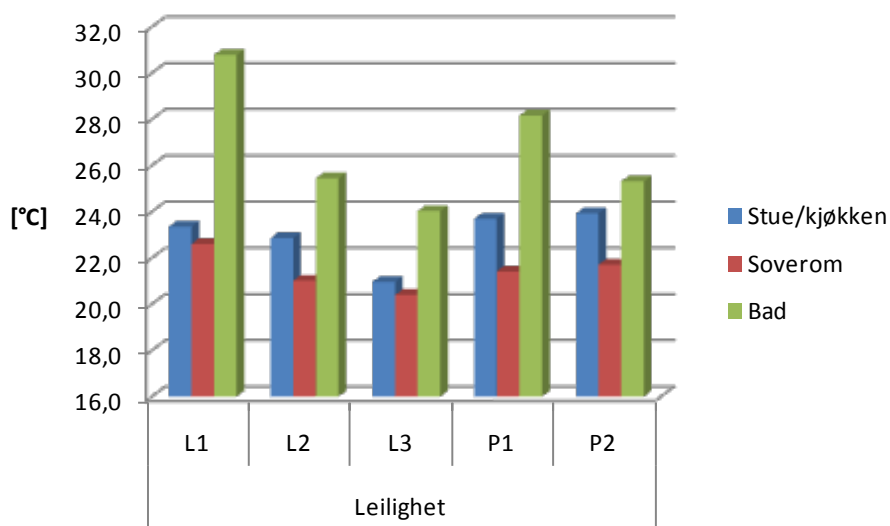
Forsøk 4



Vedlegg 3. Gjennomsnittlige romtemperaturer i måleleilighetene.



Figur 14. Gjennomsnittlig romtemperatur i perioden f.o.m. 20.4.2010 t.o.m. 25.4.2010.



Figur 15. Gjennomsnittlig romtemperatur i perioden f.o.m. 27.4.2010 t.o.m. 3.5.2010.