

Analyse av oppvarmingsalternativer for frostsikring av en fritidsbolig

Sigmund Rimstad

Master i energi og miljø

Innlevert: juni 2014

Hovedveileder: Per Olaf Tjelflaat, EPT

Medveileder: Rasmus Høseggen, EPT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for energi- og prosesseteknikk

EPT-M-2014-96

MASTEROPPGAVE

for

Student Sigmund Rimstad

Våren 2014

Analyse av oppvarmingsalternativer for frostsikring av en fritidsbolig*Analyses of heating alternatives for frost securing of a leisure building***Bakgrunn og målsetting**

De fleste fritidsboliger som bygges i dag har sanitæranlegg og innlagt elektrisitet. I ubenyttede vinterperioder er de fleste rom i slike bygninger vanligvis elektrisk oppvarmet til 5-10 °C for å unngå frostskafer på sanitærinstallasjonene. En slik bruk av elektrisitet, og relaterte klimagassutslipp, synes unødvendig og bør kunne unngås. I meget kalde perioder vil slik oppvarming også føre til unødig effektbelastning på kraftlinjene. Det fokuseres på fritidsboliger beliggende i typiske fjellområder i Sør-Norge, og hvor bygningen er ubeboet.

Et bygningskonsept for en fritidsbolig, hvor sanitærinstallasjonene kan sikres mot frost med lave behov for effekt og energi til oppvarming, er utviklet for testing ved bruk av numeriske simuleringer.

Målsettingen i denne oppgaven er å vurdere ulike oppvarmingsalternativer for konseptbygningen. Det skal vurderes løsninger både for bygninger som er og som ikke er tilknyttet elektrisitetsnett. For de ytre sonene må det legges inn infiltrasjon tilsvarende kravene gjeldene for nye boliger. De indre sonene antas å være uten infiltrasjon mot omgivelsene. Mellom de to indre sonene antas det å være åpninger. Bygningskroppens U-verdier skal tilfredsstillende kravene.

Oppvarmingsalternativene for frostsikring skal vurderes med hensyn til klimagassutslipp og kostnader gjennom en 60 års levetidsbetraktning. Det skal i tillegg vurderes forventet driftssikkerhet og sikkerhet relatert til brann- og eksplosjonsfare. Energisimuleringsprogrammet ESP-r og andre nødvendige beregningsprogrammer tas i bruk for å løse oppgavene.

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter

- 1 Undersøke og gi en oversikt over strømforsynings- og oppvarmingsløsninger benyttet for små bygninger/stasjoner i områder uten tilknytning til elektrisitetsnett.
- 2 Analysere om U-verdien for isolasjonen av de indre sonene bør endres i det eksisterende bygningskonseptet.
- 3 Følgende oppvarmingskonsepter skal vurderes:
 - El.-tilknyttet bygning oppvarmet til 10°C.
 - El.-tilknyttet bygning med bare indre sone oppvarmet til 10°C.
 - El.-tilknyttet bygning med bare indre sone oppvarmet til 5°C.
 - Noen oppvarmingsalternativer for ikke-el.-tilknyttet bygning.

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 velskrevet. 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.

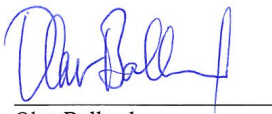
Risikovurdering av kandidatens arbeid skal gjennomføres i henhold til instituttets prosedyrer. Risikovurderingen skal dokumenteres og inngå som del av besvarelsen. Hendelser relatert til kandidatens arbeid med uheldig innvirkning på helse, miljø eller sikkerhet, skal dokumenteres og inngå som en del av besvarelsen. Hvis dokumentasjonen på risikovurderingen utgjør veldig mange sider, leveres den fulle versjonen elektronisk til veileder og et utdrag inkluderes i besvarelsen.

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.

Besvarelsen leveres digitalt i DAIM. Et faglig sammendrag med oppgavens tittel, kandidatens navn, veileders navn, årstall, institutt navn, og NTNUs logo og navn, leveres til instituttet som en separat pdf-fil. Etter avtale leveres besvarelse og evt. annet materiale til veileder i digitalt format.

- Arbeid i laboratorium (vannkraftlaboratoriet, strømningsteknisk, varmeteknisk)
 Feltarbeid

NTNU, Institutt for energi- og prosesseteknikk, 21. januar 2014



Olav Bolland
Instituttleder



Per O. Tjøflaot
Faglig ansvarlig/veileder

Medveileder: Førsteamanuensis II Rasmus Høseggen

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet av Sigmund Rimstad under det tiende semesteret av studieprogrammet Energi og Miljø på NTNU.

Målet med prosjektet har vært å analysere miljøvennlige løsninger for å frostsikre en fritidsbolig.

Jeg vil gjerne rette en stor takk til Professor Per O. Tjelflaat ved Institutt for energi- og prosessteknikk for veiledning og gode råd og Post. Doc Rasmus Z. Høseggen for veiledning i ESP-r.

Trondheim, 17 – 6 – 2014

Sigmund Rimstad

Summary

The following thesis takes into consideration the possibility of reducing energy consumption and use environmentally friendly heating methods to frost proof a leisure home. The study is based on a leisure home model designed by former students. It has a insulated inner zone where all the sanitary installations are kept. Different heating solutions, for the purpose of keeping the inner zone frost proof, have been evaluated. The evaluation has taken different elements in account, such as robustness, maintenance, environmental impacts and economy.

The leisure home with its insulated inner zone has been simulated in the building simulation software ESP-r. The exterior walls have in previous studies been simulated as massive wood. Here they have been simulated as modern insulated walls fulfilling the requirement of TEK 10. The thickness of the polyurethane foam insulating the inner zone has been evaluated, and a thickness of 25 cm gives a low U-value and is not at the expense of the floor space.

Climate data from Östersund in Sweden has been used, as it was the most appropriate one available for ESP-r. This climate is similar to the one in the mountain regions of southern Norway. There is a resemblance between the problem of frost proofing and heating solutions for low energy houses, the heating power needed is in both cases much lower than for normal houses. Infiltration has been set to fulfill TEK 10's requirement of $0.7 \frac{m^3/h}{m^2}$. With this ventilation the heating needed is 4078.1 kWh to keep the whole leisure home at 10°C with a variable power during the heating season. For the inner zone, a heating requirement of 182.69 kWh and 319.80 kWh are needed to keep temperatures at 5°C and 10°C.

Solutions utilizing solar energy have been emphasized. In addition to a passive solar design, solar collector and photovoltaic (PV) panel have been evaluated as heat and power sources for frostproofing the inner zone. In times when the sun's radiation is insufficient, extra heating is needed, and a gasoline power generator, fuel cell and pellet stove have been examined. The three solutions have been simulated in ESP-r placed in the inner zone of the leisure home. Because of the high heating power, a thermal mass has been heated to even out the temperature and decrease the number of startups. This was considered as an appropriate solution that can be combined with a solar collector and an accumulator tank.

A life cycle analysis over leisure home's lifespan of 60 years was performed with the simulation tool Arda 17.0 and calculations based on previous studies. Greenhouse gas emissions was assessed with a midpoint hierarchial ReCiPe method. Both pv panel and solar collector have low emissions at 719.6 and 755.4

kg CO₂ eq over this lifespan. Of the three heating solutions, the pellet stove produces the least amount of greenhouse gas emissions over 60 years. The reason for this is that the emissions during use are considered as carbon neutral. With a GWP factor of 0.44 for the use of pellets, there are less differences.

The life cycle cost analysis showed that the methanol fuel cell has by far the highest investment cost and operating expenses. Because of their long service life and no operating costs, pv panel and solar collector are the most affordable solutions. The pellet stove has the lowest operating expenses and therefore the lowest total cost of the three supporting heating solutions.

In total, the pv panel and a power generator is a robust and widely used combination. The pellet stove is a better solution in terms of greenhouse gas emission, but it requires more customization to work unmanned in a stand alone leisure home. The fuel cell is relatively simple and reliable, but is expensive and the fuel is based on fossil fuels.

Sammendrag

Masteroppgaven vurderer mulighetene for å senke energibruken og bruke miljøvennlige oppvarmingsmetoder til å frostsikre en fritidsbolig. Oppgaven tar utgangspunkt i en hyttmodell designet av tidligere studenter med en ekstra isolert indre sone hvor alt av sanitæranlegg har blitt plassert. Det har blitt foretatt en sammenligning av forskjellige oppvarmingsløsninger for denne hytta med tanke på å holde sanitæranlegget frostfritt. Her har robusthet, vedlikeholdsbehov, relaterte klimagassutslipp og økonomi blitt tatt i betraktning.

Hytta og dens ekstra isolerte indre sone har blitt simulert i simuleringsprogrammet ESP-r. Ytterveggene har i tidligere oppgaver vært simulert som laftede. Her har de blitt endret til mer moderne vegger med isolasjon. Isolasjonstykkelsen på indre sone er vurdert og det har blitt funnet at 25 cm polyuretanskum gir lav U-verdi samtidig som den ikke tar for mye av boligarealet.

Klimaet det er tatt utgangspunkt i er fra Östersund i Sverige, ettersom dette var det mest passende tilgjengelig for ESP-r. Dette skal tilsvare klimaet vi finner i fjellområder i Sør-Norge. Det er grunn til å nevne at oppgaven kan ha overføringsverdi til godt isolerte bygg som passivhus, hvor det er behov for oppvarming med lav effekt. Infiltrasjonen har blitt satt til å oppfylle TEK 10 sitt krav om $0.7 \frac{m^3/h}{m^2}$. Med denne ventilasjonen har det blitt funnet oppvarmingsbehov på 4078.1 kWh med flytende effekt for å holde hele hytta på 10°C gjennom vinteren. For indre sone er det blitt funnet et oppvarmingsbehov på 182.69 kWh og 319.80 kWh for termostattertemperaturer på henholdsvis 5°C og 10°C .

Det er i oppgaven lagt vekt på løsninger som solcellepanel og solfangere. For å støtte disse til frostsikringen har bensinaggregat, brenselcelle og pelletsovn blitt vurdert. De tre sistnevnte har blitt simulert i ESP-r plassert i indre sone. På grunn av høy oppvarmingseffekt har det blitt simulert hvordan en varmtvannstank kan jevne ut temperaturkurven og redusere antall oppstarter. Dette ble ansett som en god løsning som fint kan kombineres med et solfangeranlegg og akkumulatortank.

Livsyklussanalyse over hyttas levetid på 60 år av de fem nevnte oppvarmingsløsningene har blitt gjort med Arda 17.0 samt beregninger basert på tidligere studier. Her har klimagassutslippene blitt vurdert etter *midpoint hierarchical ReCiPe method*. Både solcellepanel og solfanger klarer seg bra i denne analysen med 719.6 og 755.40 kg CO₂ eq i klimagassutslipp. Av de tre andre oppvarmingsløsningene er det pelletsovn som gir minst klimagassutslipp i løpet av 60 år. Det er mye på grunn av at utslippene under bruk er vurdert som klimanøytrale, men

med en GWP-faktor på 0.44 for bruk av pellets blir resultatene jevnere.

Livsløpskostnadene er størst for det metanolbaserte brenselcelleaggregatet, både i investeringskostnad og driftskostnader. Solcelle- og solfangeranleggene er de rimeligste alternativene, ettersom de har lang levetid og ingen driftskostnader. Pelletsovn er rimeligst i drift og totalt av de støttevarmende løsningene.

Totalt sett er solcellepanel og bensinaggregat en enkel og utbredt løsning. Pelletsovn er en bedre løsning med tanke på klimagassutslipp og kostnader, men den krever derimot mer tilpasning for å kunne fungere i en ubebodd hytte. Brenselcellen er forholdsvis enkel og driftsikker, men kan ikke konkurrere på pris.

Innhold

Forord	i
Summary	ii
1 Introduksjon	2
1.1 Energibruk i bygninger	3
2 Bakgrunn	4
2.1 Kraftsituasjonen i Europa	5
2.2 Norsk hyttestandard	6
2.3 Krav til fritidsboliger	6
2.4 Frostsikring av sanitæranlegg	8
3 Hyttemodellen, klima og tidligere resultater	9
3.1 Hyttemodellen	10
3.2 Klima	10
3.3 Tidligere resultater	12
4 Energikilder og oppvarmingsløsninger	15
4.1 Solenergi	16
4.1.1 Solressurser i Norge	16
4.1.2 Passiv solvarme	18
4.1.3 Solcellepanel	18
4.1.4 Solfanger	20
4.1.5 Kombinert solcelle/solfanger-modul	22
4.1.6 Praktiske vurderinger og vedlikehold	23
4.2 Vindenergi	24
4.2.1 Horisontalt akslet vindturbin	24
4.2.2 Vertikalt akslet vindturbin	24
4.2.3 Praktiske vurderinger	25
4.3 Biobrensel	26
4.3.1 Pelletsovn	26

4.3.2	Praktiske vurderinger	28
4.4	Fossile brennstoff	28
4.4.1	Bensin eller dieseldrevet aggregat	28
4.4.2	Kogenerasjon med gass	32
4.4.3	Brenselcelledrevet aggregat	33
4.4.4	Praktiske vurderinger	35
4.5	Varmeveksling med luft og grunn	37
4.5.1	Luft-til-luft varmepumpe	37
4.5.2	Vann-til-vann og luft-til-vann varmepumpe	38
4.5.3	Praktiske betraktninger og vedlikehold	39
4.6	Sesonglagring, batteri og brenselceller	39
4.6.1	Sesonglagring	39
4.6.2	Batterier	41
4.6.3	Brenselcelle	41
4.7	Oversikt	42
5	ESP-r og simuleringer	44
5.1	ESP-r	45
5.2	Simuleringer	45
5.2.1	Konstruksjon	45
5.2.2	Varmetransporterende prosesser	47
5.2.3	Innstråling	48
5.2.4	Kontrollfil	49
5.2.5	Ventilasjon	50
5.2.6	Infiltrasjon	51
5.2.7	Varmeveksling og varmelagring	54
6	Livssyklusanalyse	60
6.1	Introduksjon	61
6.1.1	LCA	61
6.1.2	Arda 17.0	64
6.2	Litteraturanalyse og beregninger	65
6.2.1	Solcellepanel	65
6.2.2	Batterier	66
6.2.3	Aggregat	67
6.2.4	Brenselceller	68
6.2.5	Biobrensel	69
6.2.6	Solfanger	71
6.2.7	Oversikt	72
6.3	Livsløpskostnader	73
6.3.1	Oversikt	74

7	Resultater	77
7.1	Resultater fra ESP-r	78
7.1.1	Isolasjonstykkelse	78
7.1.2	Ventilasjon og infiltrasjon	79
7.1.3	Kogenerasjon med bensinaggregat	83
7.1.4	Kogenerasjon med brenselcelleaggregat	92
7.1.5	Oppvarming med pelletsovn	94
7.2	Resultater livssyklusanalyse	96
7.3	Resultater livsløpskostnader	97
8	Diskusjon	99
8.1	Oppvarmingsbehov	100
8.2	Varmelagring	101
8.3	Løsninger for oppvarmingsbehov	102
8.4	Livssyklusanalyse	104
8.5	Livsløpskostnader	106
8.6	Total vurdering	107
9	Konklusjon	108
9.1	Løsninger og oppvarmingsbehov	109
9.2	Livssyklusperspektiv	110
9.3	Samlet vurdering	110
10	Videre arbeid	111
10.1	ESP-r	112
10.2	Livssyklusanalyse	112

Figurer

2.1	Magasinfylling og gjennomsnittlig innstrålt solenergi i Oslo	5
2.2	Antall fritidsboliger i Norge og estimert forbruk per hytte	7
3.1	Plantegning av hyttemodellen	10
3.2	Utemperatur gjennom året i Östersund	11
3.3	Temperatur i de ulike sonene gjennom vinteren uten oppvarming	12
3.4	Ventilasjonsløsning for å fordele varmen i indre sone.	13
4.1	Innstrålt solenergi i Europa	16
4.2	Innstrålt solenergi på plan flate i Norge	17
4.3	Solinnstråling på en sørvendt vertikal vegg	17
4.4	Forskjellige design for passiv solvarme	18
4.5	Solinnstråling og skjerming sommer og vinter	19
4.6	Den fotovoltaiske effekt	19
4.7	Beste virkningsgrad, multikrystalinske solcellepanel	20
4.8	Solfangeroppsett og termiske forhold i en solfanger	20
4.9	Vakuumsolfanger forklart	21
4.10	Volther PowerVolt, kombinert solcelle/solfangeranlegg	22
4.11	Zolas solventilator som monteres rett på hytteveggen	23
4.12	Vindstyrke gjennom et år i Östersund	25
4.14	Turbulent område rundt en bygning	25
4.13	Vertikalt (a) og horisontalt (b) akslet vindturbin.	26
4.15	Pelletslagring og innmating.	27
4.16	Kipor IG770	29
4.17	Yamaha EF1000IS	29
4.18	Honda Eu10i	29
4.19	Hyundai HY1000Si	29
4.20	Smart Energy Station, energi-anneks fra Ålhytta og bio-sol-tank. .	31
4.21	Biosoltank på 25 kW fra Stocksbro	32
4.22	Mikro CHP med gass-turbin	33

4.23	Brenselcelleaggregat, Efoy Comfort 210	34
4.24	Luft-til-luft varmpumpe og vann-til-vann varmpumpe	37
4.25	Temperatur i grunnen ved forskjellige dybder gjennom året	38
4.26	Forskjell i størrelse og lagringskapasitet i batterier og drivstoff	40
4.27	Solcelleanlegg fra et forsøkshus i Sveits	42
5.1	Varmetransporterende mekanismer i hyttemodellen skissert	48
5.2	Innstrålt energi for ulike helningsvinkler	49
5.3	Meny over de ulike valgene av kontrollfiler en kan bruke i ESP-r.	50
5.4	Hyttemodellen slik den ser ut i ESP-r	52
5.5	Tenkt oppsett med varmveksling av røykgassen til et aggregat	54
5.6	Oppsett for varmtvannstank forsøkt simulert i ESP-r.	55
5.7	Oppsett for termisk masse simulert i ESP-r	55
5.8	Stående vegg markert i indre sone i ESP-r.	56
5.9	Termisk masse med 2cm glassull-isolasjon	57
5.10	Akkumulatortank med koblinger for solfanger og tilleggsvärmer	59
6.1	De ulike trinnene i en livssyklusanalyse etter ISO14040-standard	62
6.2	Nedbrytning av CO_2 , N_2O og CH_4 i atmosfæren	65
7.1	Oppvarmingsbehov gjennom et år for ulike isolasjonstykkelser	79
7.2	Oppvarming av hele hytta med flytende effekt, $10^\circ C$	80
7.3	Oppvarming av indre sone med flytende effekt, $10^\circ C$	80
7.4	Oppvarming av indre sone med flytende effekt, $5^\circ C$	81
7.5	Oppvarmingsbehov for forskjellige yttervegger og infiltrasjon	82
7.6	Oppvarming med fast effekt på 1000 W, $10^\circ C$	83
7.7	Oppvarming av termisk masse med fast effekt på 1000 W, $10^\circ C$	84
7.8	Veggtemperatur på veggen nærmest den termiske massen	86
7.9	Temperatur på innsiden og på overflaten til den termiske massen.	86
7.10	Temperaturprofiler, vegg i indre sone.	87
7.11	Temperatur på ytterveggen til den termiske massen	88
7.12	Temperaturprofiler gjennom den termiske massen	89
7.13	Oppvarming av termisk masse, 1000 W, $5^\circ C$	90
7.14	Oppvarming med fast effekt på 1000W, $5^\circ C$, 1.1 - 31.1	91
7.15	Oppvarming med fast effekt på 300W	92
7.16	Relativ luftfuktighet i indre sone i januar	93
7.17	Temperatur i indre sone med oppvarmingseffekt på 2500W	94
7.18	Utslipp fra ulike oppvarmingsløsninger.	96
7.19	Investerings- og driftskostnader for ulike oppvarmingsløsninger	98

Tabeller

2.1	Utvikling i størrelse på nybygde fritidsboliger i Norge [64].	6
2.2	§ 14-5. Minstekrav.	7
2.3	Bygninger med laftede vegger	8
4.1	Sammenligning av små aggregat	29
4.2	Effekt og forbruk på metanoldrevne brenselcelleaggregat	34
4.3	Sammenligning av Honda eu10i og EFOY Komfort 210	35
5.1	Konstruksjoner brukt i ESP-r	46
5.2	Produsert energi av et solcellepanel med årsvirkningsgrad på 10%	49
5.3	Luftbehov ved forbrenning	53
5.4	Egenskaper termisk masse	58
6.1	GWP-faktorer for ulike tidsperspektiv	64
6.2	LCA-studier på multikrytalinske silisium solcellepanel	66
6.3	Gjennomsnittlig utslipp forbundet med batterier	66
6.4	Utslipp for ulike størrelser på batteribanken	67
6.5	Inventaranalyse aggregat, skalert ned etter totalvekt	67
6.6	Livsyklusanalyse brenselcelleaggregat, skalert ned etter totalvekt	68
6.7	Inventaranalyse 15kW pelletsovn	69
6.8	Utslipp fra pelletsovn under drift	70
6.9	Utslipp for ulike solfangerløsninger	71
6.10	Utslipp for ulike størrelser av akkumulatortanker	71
6.11	Utslipp for ulike komponenter i et solfangeranlegg	72
6.12	Utslipp fra ulike energikilder	72
6.13	Kostnadsanalyse av ulike typer anlegg for oppvarming	75
7.1	Oppvarmingsbehov ved ulike isolasjonstykkelser på yttervegg	78
7.2	Oppvarmingsbehov ved ulike isolasjonstykkelser på indre sone	78
7.3	Maksimal oppvarmingseffekter ved ulike oppsett	82
7.4	Energiforbruk og driftstimer ved forskjellige oppsett	85

7.5	Geometri termisk masse	95
7.6	Beregning av strømforbruk for et pelletsaggregat gjennom vinteren	95
7.7	LCA resultater	96
7.8	Livsløpskostnader	97

Kapittel 1

Introduksjon

1.1 Energibruk i bygninger

Energibruk i bygninger står for nærmere 40% av den totale energibruken i Norge [107]. Det er den største enkeltstående posten og gir det største bidraget til CO₂-utslipp. Myndighetene i Norge har satt som mål å senke klimagassutslippene med 30% innen 2020, sammenlignet med 1990-nivå, og bli karbonnøytrale innen 2030 [85]. Her spiller energibruk i bygninger en viktig rolle. Enova anslo i 2012 at eksisterende boligmasse hadde potensiale til å redusere energiforbruket sitt med 30% (13,4 TWh)[40].

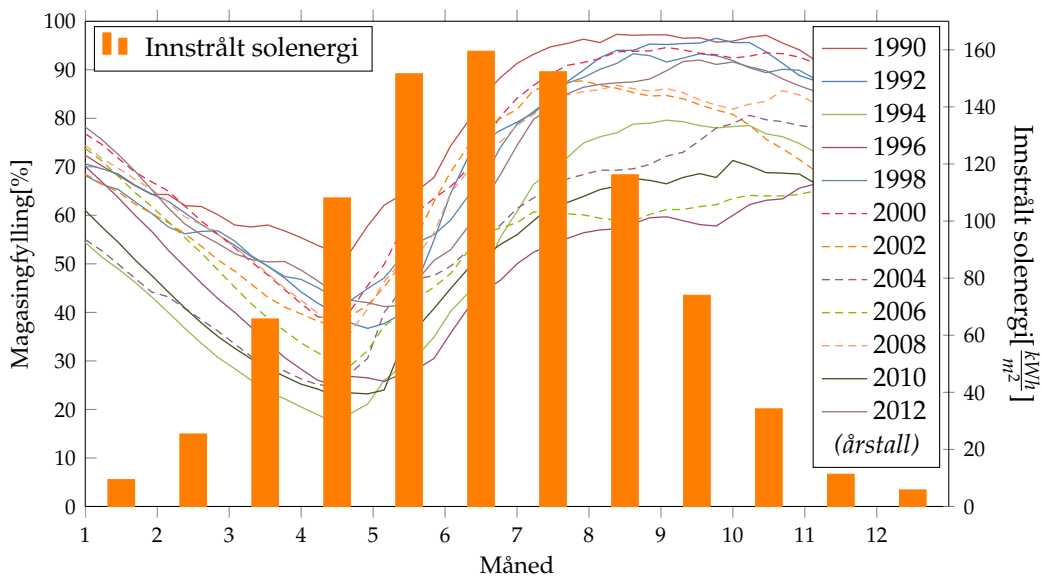
Med tanke på at antall hytter stadig øker, samtidig som at standarden og størrelsen på fritidsboligene blir forbedret, er konsekvensene et økende energiforbruk. Innlagt strøm og vann er mer vanlig i nye hytter samtidig som det blir lagt inn i flere gamle hytter.

Med innlagt vann kommer også faren for vannskader. Ifølge Finans Norge (FNO) er vannskader mer vanlig enn innbrudd i boliger. For vannskader på boliger, inkludert hytter, er det gjennomsnittlige erstatningsbeløpet på 87.000 kroner [105]. I hytter kan skadene ofte bli mer omfattende ettersom det normalt vil ta lengre tid å oppdage lekkasjen. Løsningen for mange blir å holde deler av hytta oppvarmet med elektrisitet gjennom ubebodde perioder av vinteren. Forsikringselskapene krever at man holder boligen tilstrekkelig oppvarmet og Sintef anbefaler å holde romtemperaturen konstant over 10 °C [71, 111]. Har man ikke holdt fritidsboligen tilstrekkelig oppvarmet vil erstatningen bli avkortet. Slik oppvarming krever mye strøm i deler av året hvor nettet er tungt belastet fra før av og burde kunne unngås.

Når man skal senke energibruk i bygninger er første steg å redusere behovet. Det vil si å øke isolasjon, hindre infiltrasjon og ta i bruk vinduer med lavere U-verdier og bedre egenskaper med tanke på strålingsvarme. Denne oppgaven har tatt utgangspunkt i en prototyp hytte laget av tidligere studenter hvor alt av sanitæranlegg har blitt plassert i en ekstra isolert indre sone for å redusere oppvarmingsbehovet.

Kapittel 2

Bakgrunn



Figur 2.1: Magasinfylling for hele landet og gjennomsnittlig innstrålt solenergi i Oslo [90, 42].

2.1 Kraftsituasjonen i Europa

Å gjøre norske hytter selvforsynte på elektrisk energi er fordelaktig for energisituasjonen i Europa ettersom det er de kaldeste periodene om vinteren at kraftmarkedet merker det største presset. Med stadig mer sol- og vindbasert strømproduksjon på kontinentet vil Norge med våre vannmagasiner kunne bli et batteri for våre naboer lenger sør. Da spesielt på de kaldeste dagene hvor det er lite sol og våre vannkraftturbiner kan kjøres for fullt.

Også her til lands kan solenergi erstatte tørre vannmagasiner i deler av året. I figur 2.1 ser vi hvordan standen i vannmagasinene og månedsproduksjonen fra et solcelleanlegg kan utfylle hverandre. Det skjer stadig utbygging av strømmnett på tvers av kontinentet og utvikling av smartere nett. Med oppblomstring av tiltak som opprinnelsesgaranti vil dermed ansvarsfølelsen for forurensende kraftverk lenger sør i Europa øke for strømkunder i Norge. Opprinnelsesgaranti er et "bevis på hvilke kilder en gitt mengde strøm er produsert fra" [89]. Det vil si at en kraftleverandør i Europa kan kjøpe en kvote av fornybar strøm av en norsk kraftprodusent og på den måten redusere klimautslippet sitt. I realiteten vil ikke strømmen sendes til Europa, men kvoten vil stå på kraftleverandøren

utenfor Norge.

2.2 Norsk hyttestandard

Hytter bygd i Norge i dag blir stadig større i areal og har høyere standard. I motsetning til et par tiår siden er særlig sanitæranlegg og innlagt elektrisitet idag blitt vanlig på hytta. Som vist i figur 2.2 øker stadig strømforbruket fra fritidsboliger. Her er utviklingen i antall fritidsboliger og det beregnede strømforbruket per hytte basert på det totale forbruket. Både antall hytter og strømforbruk har en jevnt stigende trend. For å holde disse hyttene frostfrie ved bruk av elektrisitet påfører man nettet ekstra belastning i kalde perioder hvor belastningen allerede er stor.

Det blir samtidig stadig færre hytter uten innlagt strøm. Fra 1990 til 2009 har tallet for hytter uten nettilkobling sunket fra 150 000 til 100 000, samtidig som det totale antallet hytter øker [64].

Tabell 2.1: Utvikling i størrelse på nybygde fritidsboliger i Norge [64].

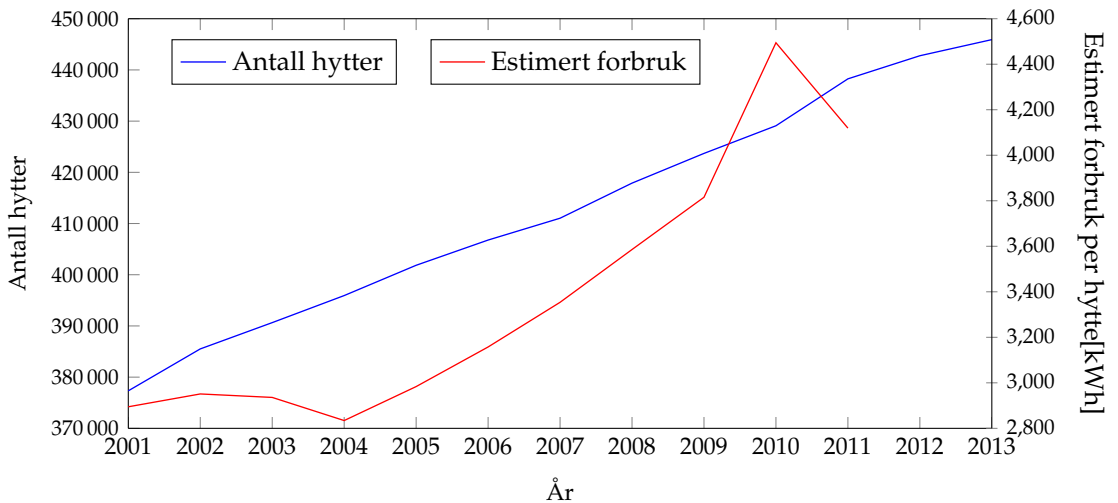
Periode	Antall	Totalt areal [1000 m ²]	Gjennomsnittlig areal [m ²]
1983-1990	20 129	1 263	62,70
1991-2000	29 675	2 028	68,30
2001-2010	42 292	3 723	88

Av tabell 2.1 ser vi av utviklingen at størrelsen på nybygde norske fritidsboliger er økende. Samtidig som vi vet at standarden øker og innlagt vann og strøm blir stadig mer vanlig.

2.3 Krav til fritidsboliger

Fritidsboliger har visse krav når det gjelder energieffektivitet. I byggteknisk forskrift av 2010 (TEK 10), med hjemmel i plan- og bygningsmiljøloven, er det satt krav til U-verdier og lufttetthet. U-verdi eller varmegjennomgangstall forteller oss hvor lett varme transporteres gjennom et medium. Den er gitt i $\frac{W}{m^2K}$ og vil sammen med bygningens lufttetthet fortelle oss noe om varmetapet, Q [W], i bygningen.

$$\frac{Q}{A} = U \times \Delta T \quad (2.1)$$



Figur 2.2: Antall fritidsboliger i Norge og estimert forbruk per hytte [118, 117].

Tabell 2.2: § 14-5. Minstekrav.

U-verdi yttervegg [$\frac{W}{m^2K}$]	U-verdi tak [$\frac{W}{m^2K}$]	U-verdi gulv på grunn og mot det fri [$\frac{W}{m^2K}$]	U-verdi vindu og dør, inkludert karm/ramme [$\frac{W}{m^2K}$]	Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell (luftveksling pr. time)
$\leq 0,22$	$\leq 0,18$	$\leq 0,18$	$\leq 1,6$	$\leq 3,0$

I ligning 2.1 [72] er A arealet av for eksempel en vegg og ΔT er temperaturforskjellen mellom hver side av vegg. For ren konduksjon gjennom vegg vil U være gitt av konduktiviteten k og tykkelsen på vegg L . Da blir uttrykket som vist i ligning 2.2.

$$\frac{Q}{A} = \frac{k}{L} \times \Delta T \quad (2.2)$$

For å støtte opp om tradisjonen med laftede bygg har disse egne krav til U -verdier. Hytta i denne oppgaven er bygget med panelvegg i tre og betong og må forholde seg til verdiene i tabell 2.3. Det er ventet at TEK 15 vil ha krav om passivhus-standard og krav til fornybarandel av varmebehovet [73].

Tabell 2.3: Bygninger med laftede vegger

Bygningskategori	Dimensjon yttervegg	U-verdi tak $[\frac{W}{m^2K}]$	U-verdi gulv på grunn og mot det fri $[\frac{W}{m^2K}]$	U-verdi vindu og dør, inkludert karm / ramme $[\frac{W}{m^2K}]$
Boligbygning, samt fritidsbolig med én boenhet og oppvarmet BRA over $150m^2$	$\leq 8''$ laft	$\leq 0,13$	$\leq 0,15$	$\leq 1,4$
Fritidsbolig med én boenhet og oppvarmet BRA under $150m^2$	$\leq 6''$ laft	$\leq 0,18$	$\leq 0,18$	$\leq 1,6$

2.4 Frostsikring av sanitæranlegg

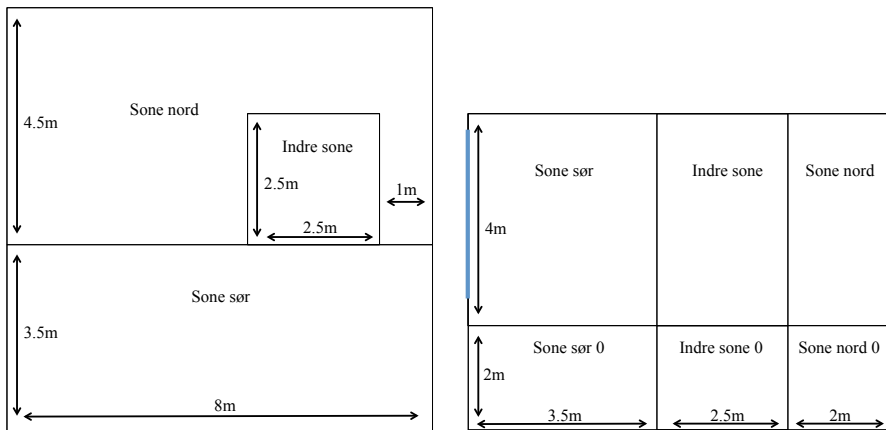
Det er flere måter en kan velge for å frostsikre sanitæranlegg i en hytte. For hytter som ikke blir brukt om vinteren kan det å tømme rørene for vann, eventuelt tilsette glykol være en løsning. Dette kan imidlertid være vrient for folk flest, siden vannlåser og andre hindre krever at man bruker trykkluft for å blåse ut alt vannet.

En annen løsning er å ha varmekabler direkte på rørene. Dette gjør at man kan varme opp rørene direkte med strøm, og en termostat kan avgjøre hvor mye varme som trenger å bli tilført.

I denne oppgaven er det tatt utgangspunkt i en løsning der en holder rommet med sanitæranlegg tilstrekkelig varmt. Da vil man kunne benytte hytta om vinteren uten å måtte gjøre kompliserte tiltak ved avreise. Ulempen med denne løsningen er at denne oppvarmingen "fyrer for kråka" og bruker strøm i tungt belastede perioder.

Kapittel 3

Hyttemodellen, klima og tidligere resultater



Figur 3.1: Plantegning av hytta og krysseksjon av hyttemodellen sett fra øst mot vest.

3.1 Hyttemodellen

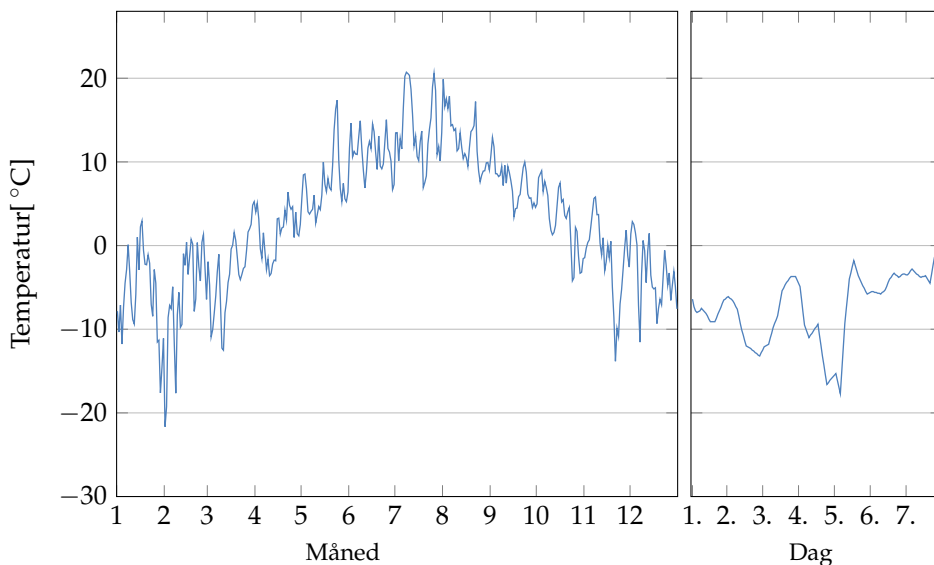
I den aktuelle problemstillingen har det blitt valgt å bruke samme oppsett på hyttemodellen som i tidligere oppgaver [4, 14, 16, 18, 80]. Årsaken er at det er enklere å sammenligne resultater og videreutvikle ideer som har blitt foreslått før. Hytta har en isolert indre sone hvor alle sanitæranlegg er plassert. Ideen her er å varme opp denne indre sonen over de 10°C forsikringsselskapene krever [71]. Designet gjør at den indre sonen er godt beskyttet fra forholdene som råder utenfor hytta med vind og lave temperaturer, samt at arealet som trenger oppvarming blir betydelig redusert.

I hytta er indre sone designet med vegger i tung betongkonstruksjon med isolasjon rundt for å jevne ut temperatursvingningene i sonen. Det antas at det er sanitæranlegg og utstyr som kan fryse både i kjeller og første etasje av indre sone. På den søndre veggen er det plassert et stort vindu som del av et passivt solenergidesign. I figur 3.1 er dette vinduet markert i blått.

3.2 Klima

I simuleringen er det blitt brukt klimafil fra Östersund. Filen er valgt siden det var det mest passende klimaet tilgjengelig fra U.S. Department of Energy (DOE) for en hytte plassert i fjellområdene i Sør-Norge. Klimafilene DOE leverer er i

utgangspunktet tiltenkt deres eget simuleringsprogram EnergyPlus, men de er også kompatible med ESP-r som er brukt her. Andre tilgjengelige klimafilene i Norge fra DOE er Fornebu og Bergen. Derfor er Östersund det beste alternativet for å simulere fjellområder i Sør-Norge hvor det er størst andel hytter i Norge.

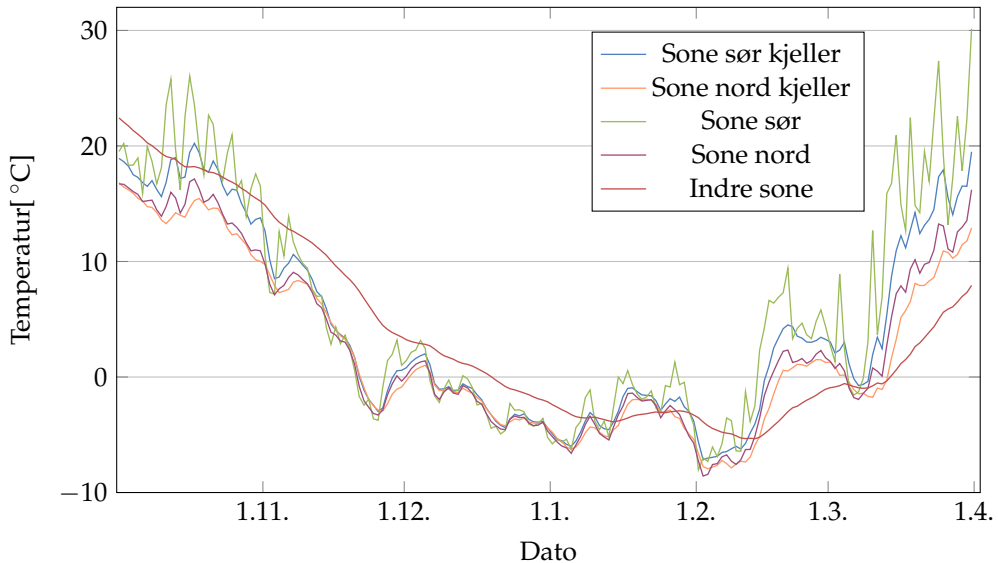


Figur 3.2: Til venstre: Utetemperatur gjennom året i Östersund, døgngjennomsnitt fra klimafilene i brukte i ESP-r. Til høyre: Timesverdier for den første uken av januar.

Som vi ser av figur 3.2 varierer utetemperaturen mellom 26.5°C og -25.7°C , med et årsgjennomsnitt på 3.15°C . Temperatur og vindforhold vil variere en del lokalt alt ettersom hvor i terrenget hytta ligger, men generelt gir disse tallene et passende bilde av klimaet i fjellområdene i Sør-Norge.

Klimafilene består av målinger på vind, temperatur, luftfuktighet og solinnstråling fra målingsåret 1995. Det er viktig når man skal tilpasse et oppvarmingssystem at man tar høyde for at det kan takle den kaldeste vinteren de 10-20 siste årene. Derfor kan 1995-klimaet være fint i en simuleringsprosess, men det bør alltid tas høyde for kaldere vintre når man velger oppvarmingssystem.

I figur 3.3 ser man hvordan temperaturene i de ulike sonene i hytta forløper seg igjennom vinteren når hytta står uten oppvarming. Simuleringen fra ESP-r viser at selv om indre sone er godt isolert vil temperaturen synke godt under frysepunktet der også. Designet med tung betong som termisk masse i tillegg til



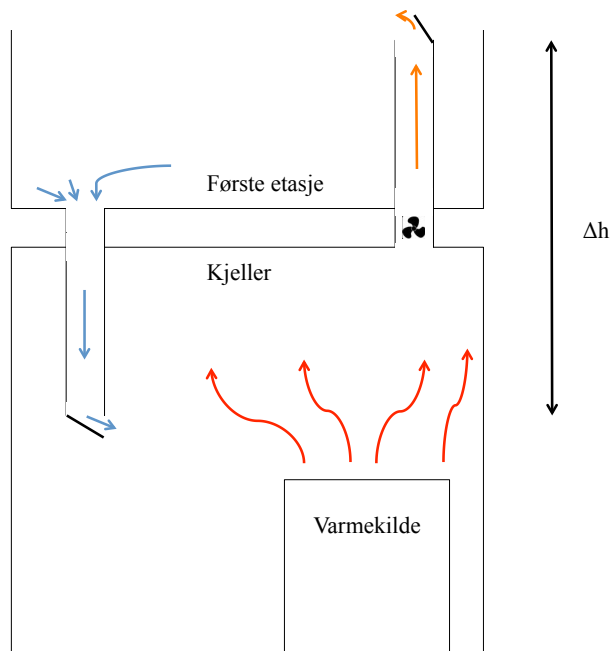
Figur 3.3: Temperatur i de ulike sonene gjennom vinteren uten oppvarming, døgngjennomsnitt.

isolasjonen gir derimot indre sone en jevnere temperatur enn de andre sonene.

3.3 Tidligere resultater

I prosjektoppgaven til undertegnede ble det simulert med en flytende oppvarmingseffekt i indre sone som holdt temperaturen konstant på ønsket nivå [108]. Dette kartla totalt oppvarmingsbehov [kWh] i løpet av vinteren samt maksimale oppvarmingseffekter [W] for de kaldeste periodene. Utifra dette ble forskjellige oppvarmingsløsninger og energikilder foreslått. Det ble gjort ent grundig litteraturstudie som denne oppgaven er en videreføring av. For å simulere en løsning med ventilasjon mellom førsteetasjen og kjelleren i indre sone ble de satt på oppvarmingseffekt i begge sonene.

For å spre varmen mellom etasjene i indre sone ble det, som vist i figur 3.4, foreslått en løsning hvor det var to åpninger eller ventiler i gulvet mellom de to indre sonene. Enten med høydeforskjell mellom ventilene eller med en liten vifte i den ene som drev luftgjennomstrømningen. I tillegg må det være klaffer som lukkes når varmekilden ikke er i bruk slik at konveksjon og varmetap med tak og kjellergulv reduseres. Varm luft er lettere enn kald luft og vil stige opp i



Figur 3.4: Ventilasjonsløsning for å fordele varmen i indre sone.

første etasjen på grunn av oppdrift eller skorsteinseffekten som det gjerne kalles. Høydeforskjellen Δh i figur 3.4 vil gjøre at det blir en trykkforskjell mellom de to ventilåpningene.

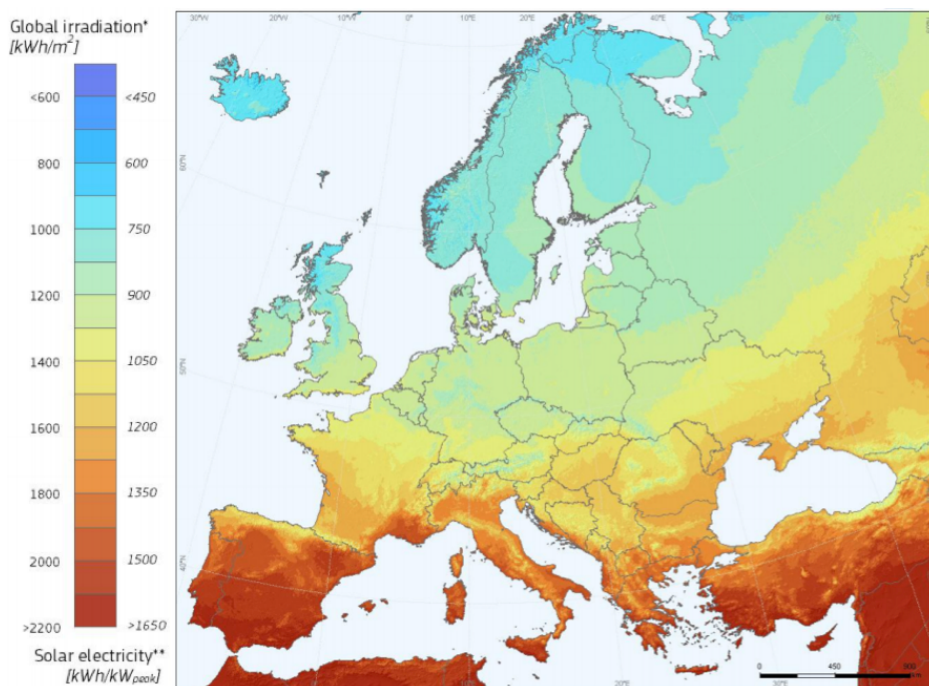
Både Børset og Løge simulerte en løsning hvor hytta ble holdt frostfri ved hjelp av et solfangeranlegg [16, 80]. Børset lagret varmen i en akkumulatortank og hadde en godt isolert hytte. Løge lagret varmen i en betongblokk under indre sone. Her var ytterveggene laftet, mens indre sone var godt isolert. Felles for disse studiene var at det er utfordrende å holde en viss temperatur i indre sone med en solfanger alene. Bratteberg gjorde en livssyklusanalyse av hytta og ulike løsninger for å holde den frostfri med SimaPro [18].

I prosjektoppgaven til Løge og Auråen fra høsten 2012 ble det benyttet en solfanger og et varmelager bestående av en massiv betongstøp med vannbåren varme under indre sone i kjelleretasjen. Der ble det funnet at et en solfanger på 4 m^2 var tilstrekkelig for å holde indre sone i første etasje over 5°C hele vinteren [79]. Det var riktignok med noen forenklinger og en spesialtilpasset *massive concrete mix*,

hvor de termiske egenskapene var justert. I samtaler med Løge høsten 2013 om hennes masteroppgave og videre beregninger kommer det frem at det fortsatt er vanskelig å holde indre sone av hytta frostfri med en vanlig betongblanding. Med *massive concrete mix* derimot fungerer det hensiktsmessig. Det er også fordelaktig å pumpe den begrensede varmen om vinteren direkte inn i indre sone i første etasje siden det er der det største varmetapet er.

Kapittel 4

Energikilder og oppvarmingsløsninger



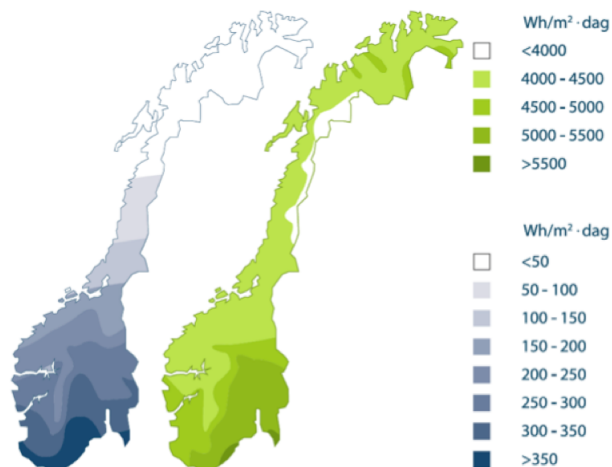
Figur 4.1: Innstrålt solenergi [$\frac{kWh}{m^2}$] i Europa [23].

4.1 Solenergi

4.1.1 Solressurser i Norge

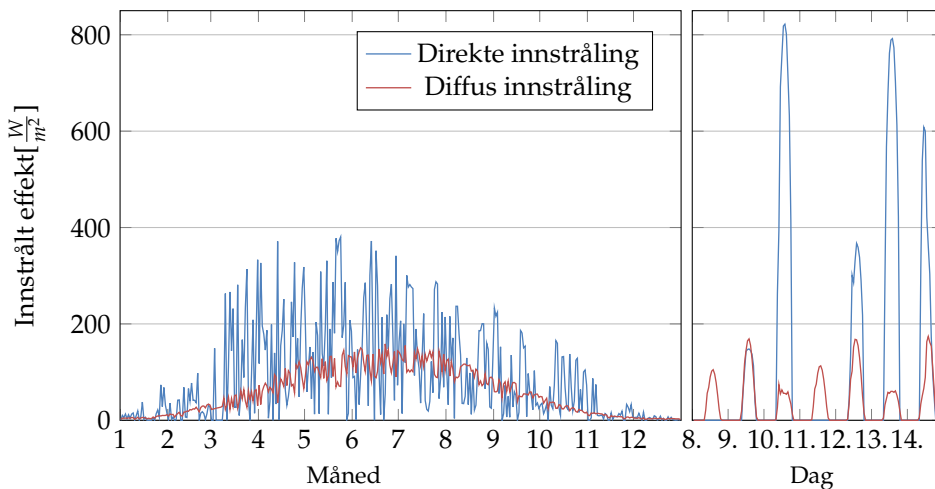
Utnyttelsen av solenergi har hatt en enorm vekst i sentrale deler av Europa de siste årene. I forhold til Norge ligger de aktuelle landene nærmere ekvator og har derfor sterkere innstråling gjennom året som vist i figur 4.1.

Til tross for manglende vekst er innstrålingen vi har her til lands mer enn sterk nok til å kunne dras nytte av som energikilde. Spesielt på tidlig på våren når det ennå er kaldt, og vannmagasinene er tomme kan vårsola gi oss ettertraktet energi enten som strøm eller som ren varme. Som vi ser i figur 4.2 under er det ikke bare breddegraden som avgjør innstrålingseffekten, men også lokale forhold. Vi ser at det generelt er mer innstråling i Sør-Norge, som vi skal se på i denne oppgaven, og at forskjellene mellom vinter og sommer er store.

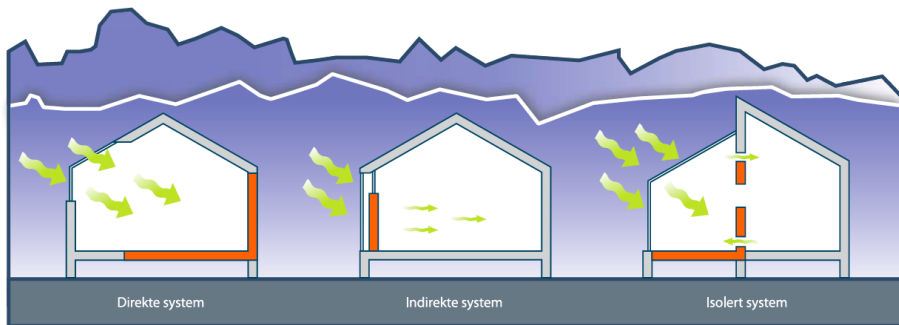


Figur 4.2: Innstrålt solenergi på plan flate i Norge, henholdsvis i januar og juli [52].

I Östersund er solinnstrålingen i løpet av et år som vist i figur 4.3. Direkte innstråling er den kortbølgede strålingen som kommer direkte fra sola. Den diffuse strålingen er langbølget stråling som har blitt spredt i det den treffer atmosfæren og skylaget. Som en kan se av figur 4.3 varierer den direkte innstrålingen fra dag til dag avhengig av skylaget.



Figur 4.3: Til venstre: Solinnstråling på en sørvendt vertikal vegg, døgngjennomsnitt fra klimafilen i brukt i ESP-r. Til høyre: Timesverdier for den andre uken av mars.



Figur 4.4: Forskjellige design for passiv solvarme [91].

4.1.2 Passiv solvarme

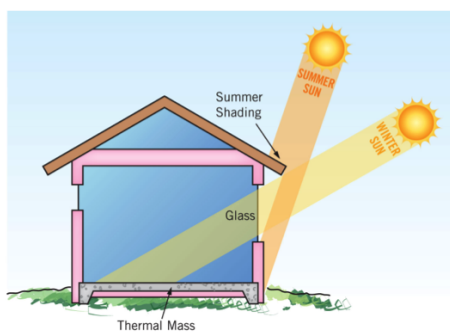
Det enkleste prinsippet for utnyttelse av solenergi er passiv solvarme. Ved å la solstrålene varme opp bygningsmassen direkte vil vi få tilført varme på solrike dager. Dette gjøres ved å åpne opp med større vindusarealer på søndre side av bygget slik at solstrålene slipper inn. Man kan også velge materialer og farger på resten av bygget som vil absorbere innstrålingen fremfor at den blir reflektert.

Som vi ser i figur 4.4 er det forskjellige design for å motta solvarmen. Et direkte system lar solen varme opp overflatene i det aktuelle rommet. I vedkommende oppgave er det er valgt en kombinasjon mellom direkte og indirekte system hvor en indre vegg er laget av glass slik at solinnstrålingen når videre inn i hytta. Det siste designet i figur 4.4 er basert på indirekte oppvarming av det fremste rommet og varmetransport til neste rom via konveksjon. Oppdrift sørger for at den varme luften stiger og trenger inn i det bakre rommet mens den kaldere luften flyter langs gulvet fra det bakre rommet inn i det fremste rommet.

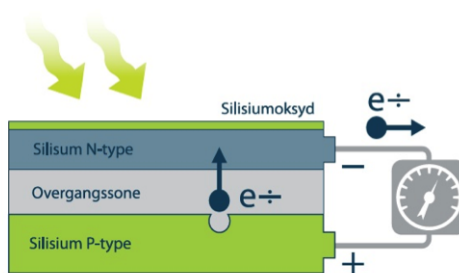
Som vi ser av figur 4.5 vil et takskjegg kunne skjerme for den sterkeste solen om sommeren da solen står høyest på himmelen. Om vinteren når det er kaldere og solen stå lavere vil alt sollys slippe inn i huset. I denne oppgaven er det ikke tatt slike hensyn da hyttemodellen er av et ganske enkelt design.

4.1.3 Solcellepanel

I tillegg til å være en fornybar energikilde er solcellepanel vanlig på hytter som ikke er tilknyttet strømmettet. Et solcellepanel produserer strøm ved å omdanne sollys til elektrisitet igjennom en fotovoltaisk prosess. Vanligst er en halvleder



Figur 4.5: Solinnstråling og skjerming sommer og vinter [112].



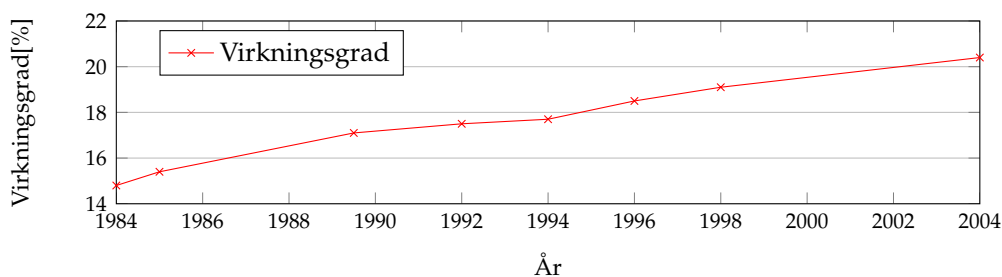
Figur 4.6: Den fotovoltaiske effekt [50].

med krystallinsk silisium vist i figur 4.6 under, hvor to silisiumslag er skilt med en halvleder. Det ene silisiumslaget er dopet med et stoff slik at det er i underskudd av elektroner, og det andre er dopet slik at det er i overskudd. Solen tilfører de frie elektronene energi slik at de løsriver fra laget med overskudd igjennom halvlederen til det laget i underskudd [49]. Resultatet er at det går strøm i kretsen som kan utnyttes direkte eller lagres.

De vanligste typene solceller er monokrystallinske, multikrystallinske og amorf. Et typisk solcellepanelanlegg består av en modul med flere solceller, regulator, vekselretter og batteri. Regulatoren kan fortelle brukeren om ladestrøm, batterispennning og forbrugsstrøm. I mange regulatorer sitter også en batterimåler som automatisk kobler ut strømmen ved lav batterispennning. Vekselretteren gjør om likestrømmen til vekselstrøm slik at den kan brukes i vanlige elektriske apparater [50]. Det er ikke alltid en har bruk for strømmen i det øyeblikket den blir laget, derfor vil det som regel være behov for å lagre strømmen et batteri. Batteri og andre energilagringmetoder er beskrevet mer i detalj senere i kapitlet. Virkningsgraden av et solcellepanel er forholdet mellom innstrålt effekt og elektrisk effekt produsert.

$$\eta = \frac{P_e}{E \times A} \quad (4.1)$$

Her er P_e elektrisk effekt produsert [W], E er innstrålt effekt per kvadratmeter [$\frac{W}{m^2}$] og A er arealet av solcellen [m^2]. Det produseres stadig billigere og bedre solcellepanel, og utviklingen av virkningsgraden på forskningsnivå øker stadig som vi kan se av figur 4.7. Vi kan se at det er en stor økning i virkningsgrad i solcellepanelene fra 80-tallet og frem til i dag. I denne oppgaven er det tatt utgangspunkt i et solcellepanel med årsvirkningsgrad på 10 % for hele anlegget.

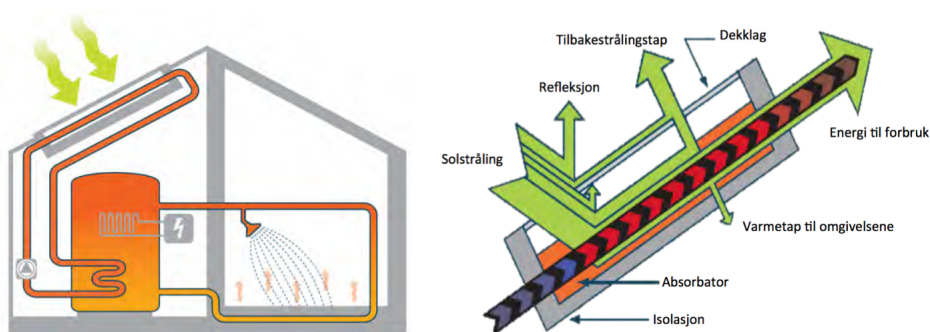


Figur 4.7: Beste virkningsgrad på forskningsnivå for multikrystalinske solcellepanel [87].

Dette vil være en realistisk løsning for et hytteprosjekt. Det vil alltid være litt tap i vekselretteren og regulatoren. Paneler med virkningsgrad på rundt 15 % er mulig å kjøpe i Norge idag [60].

4.1.4 Solfanger

En solfanger tar opp solens energi som varme og bruker den direkte i varmtvannsbereder, romoppvarming eller lagrer varmen. De to mest vanlige solfangerene brukt på bygninger er plane solfangerer og vakuummørsolfangerer. Solfangeranlegget kan også være selvsirkulerende, noe som er mest egnet i solrike land. Her utnyttes tetthetsforskjellen mellom varm og kald væske, for å skape sirkulasjon. Akkumulatortanken må imidlertid være plassert høyere enn fangeren, noe som passer dårlig for norske forhold.



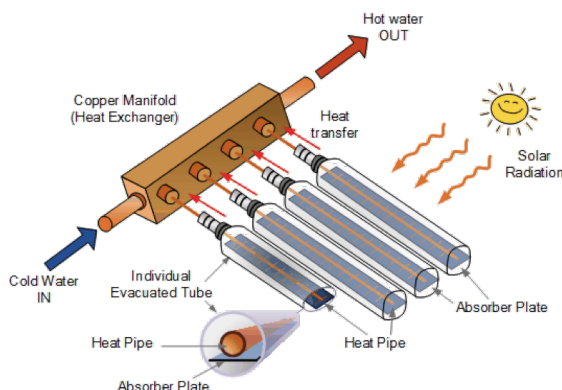
Figur 4.8: Solfangeroppsett og termiske forhold i en solfanger [109].

Solfangersystemer har tre hovedkomponenter: solfanger, distribusjonssystem

og varmelager [120]. Solfangeren, vist til høyre i figur 4.8, er laget av mørke materialer med høy absorpsjonsevne. Noe stråling vil reflekteres i dekklaget, og det vil være noe tilbakestrålingstap og varmetap til omgivelsene. Distribusjonssystemet fordeler varmen via rør enten med vann eller luft som varmetransporterende middel. I kaldere land som Norge tilsetter man glykol i vannet for å unngå at det skal fryse om vinteren. Varmelageret kan være en litt større varmtvannstank, slik at man kan dra nytte av varmtvannet når solen har gått ned. Anlegget trenger en elektrisk pumpe for å få den varmetransporterende væsken til å sirkulere. Strømmen til denne pumpen kan komme fra et solcellepanel hvis ikke anlegget er koblet til nettet. Virkningsgraden til solfangeren er gitt av ligning 4.2 [114].

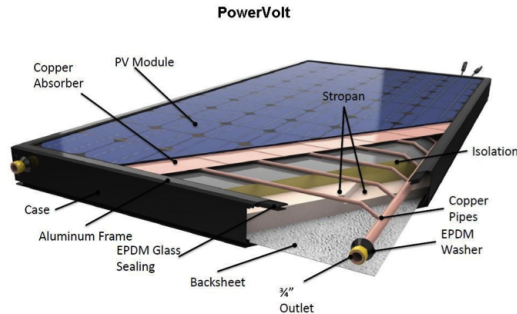
$$\eta = \frac{\dot{Q}_A}{G} \quad (4.2)$$

I ligning 4.2 er \dot{Q}_A [$\frac{W}{m^2}$] varmen produsert av solfangeranlegget og G [$\frac{W}{m^2}$] er innstrålt solenergi på glasset til solfangeren. Q_A er vist i figur 4.8 som energi til forbruk. Det er beregnet ut ifra innstrålt solenergi absorbert av solfangeren minus tap på grunn av konveksjon, konduksjon og stråling til omgivelsene.



Figur 4.9: Vakuumrørsolfanger forklart [126].

En vakuumrørsolfanger, som vist i figur 4.9, har absorberflaten plassert i et rør omgitt av vakuum. Vakuudet fungerer som isolasjon og lar mer av varmen absorberes på absorberflaten. Virkningsgraden til vakuumrørsolfangeren er mindre avhengig av omgivelsestemperaturen, noe som er positivt i nordiske forhold.



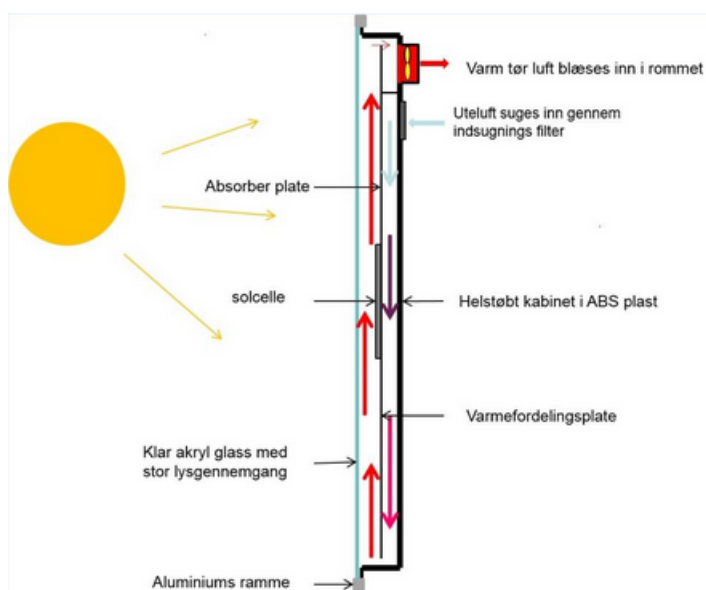
Figur 4.10: Volther PowerVolt, kombinert solcelle/solfangeranlegg [106].

En solfanger har gjerne betydelig høyere virkningsgrad enn solcellepaneler. Virkningsgraden ligger gjerne på 40 % - 75 % mot 5 % - 20 % på solcellepaneler. Solfangeren tar bedre nytte av både den direkte og diffuse strålingen enn solcellepanel. Skal man utnytte solenergien til direkte oppvarming er solfangeren absolutt å foretrekke. Utfordringene ligger i å lagre varmen over lengre perioder, dette tas opp i kapittel 4.5. Børset fant ut i sin masteroppgave fra 2009 at et solfanger areal på 9.6 m^2 og en akkumulatortank på 2000 l ville være tilstrekkelig for å holde hytta frostsikker, men det var riktignok med et litt annet design [16].

Løge fikk også i sin masteroppgave hyttmodellen til å bli frostsikker med et solfangeranlegg på 2 m^2 . Derimot var det vanskelig å få noe særlig høyere temperatur enn 3°C selv når solfangerarealet ble doblet til 4 m^2 [80].

4.1.5 Kombinert solcelle/solfanger-modul

En interessant løsning er et kombinert solcellepanel- og solfangeranlegg. Problemet med vanlige solcellepanel viser seg på de varmeste sommerdagene hvor solen er veldig sterk. Solcellepanelene kan da bli varmet opp mot 80°C og den optimale virkningsgraden kan synke med 25 %. Dette kan man unngå i et kombinert solcelle/solfanger-anlegg hvor solfanger-anlegget kjøler ned solcellepanelet slik at virkningsgraden blir optimal. Modulen i figur 4.10 skal visstnok produsere 15 % mer elektrisitet enn vanlige solcellepanelet på grunn av nedkjølingen. På sin maksimale effekt skal anlegget kunne produsere $200 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ elektrisitet og $460 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ varme. Det er med en innstråling på $1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ altså en total virkningsgrad på 66 % [131]. En kan få et slikt panel på 1.6 m^2 til drøyt 8000 kroner, men som nevnt tidligere er det mange kostnader forbundet ved å installere et solfangeranlegg [63].



Figur 4.11: Zolas solventilator som monteres rett på hytteveggen [135].

Det finnes også solventilatorer som kan henges på utsiden av hytteveggen som vist i figur 4.11. Luften trekkes inn i bakkant og passerer to ganger over et soloppvarmet absorberplate. Den varme luften blir blåst inn i hytta av en vifte drevet av et innebygd solcellepanel. Disse er først og fremst designet for å ventilere ut fuktig luft fra hytta etter bruk. Utånding, matlaging og rengjøring tilfører inneluften mye fuktighet. Når temperaturen i hytta synker vil fuktigheten i lufta kondenseres ut, noe som kan ødelegge inventar samt skape uønsket fremvekst av mikroorganismer. Derfor er det viktig å få ventiler ut denne fuktige lufta etter en forlater hytta.

4.1.6 Praktiske vurderinger og vedlikehold

Hyttmodellen benytter seg av et passivt solenergi - design, som vi kan se av figur 3.3 fungerer godt. Utfordringen med både solcellepanel og solfanger er, som vi kan se av figur 4.2 og 4.3, at det er lite innstråling på vinteren.

Sørnes og Hauge fra Sintef har gjort en studie på brukererfaringer av privateide solfangeranlegg [115]. De kom frem til at den typiske eieren var veletablerte menn med en stor interesse for ulike energiløsninger og solvarme og hadde teknisk kompetanse. Det er foreløpig liten kompetanse blant fagfolk til monte-

ring og vedlikehold av slike anlegg. Derfor har de fleste montert anleggene selv.

Et solcelleanlegg har enda mindre krav til vedlikehold enn at solfangeranlegg. Det har sammenheng med at et slikt anlegg har mindre faremomenter forbundet ved seg da energien fraktes i ledninger og ikke i rør. Virkningsgraden til et solcellepanel vil i motsetning til et solvarmeanlegg tape seg etter en stund, men flere produsenter garanterer samme virkningsgrad i 30 år. Generelt kan en si at solcellepanel har en levetid på 20 - 45 år. Batterier til solcellepanel har derimot gjerne en levetid på 8 - 12 år alt avhengig av bruken. Her avgjør type og kvalitet for hvor mange utladninger et batteri tåler.

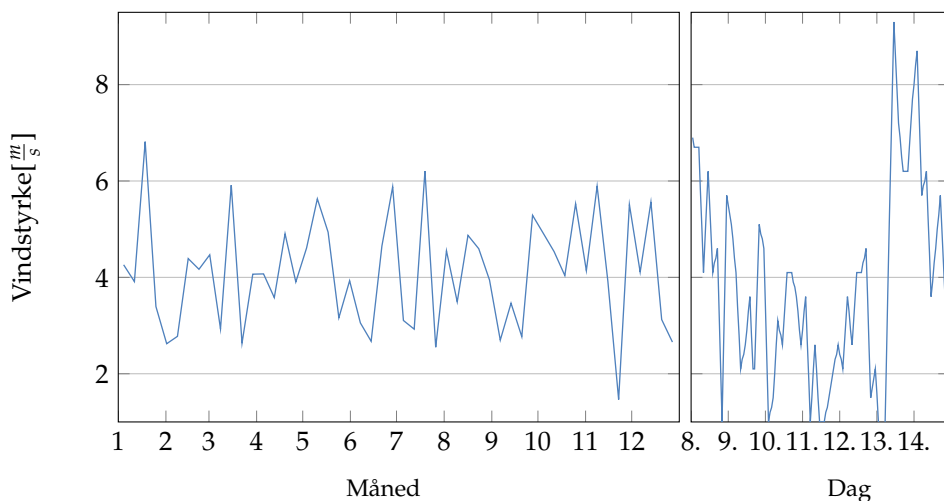
4.2 Vindenergi

4.2.1 Horisontalt akslet vindturbin

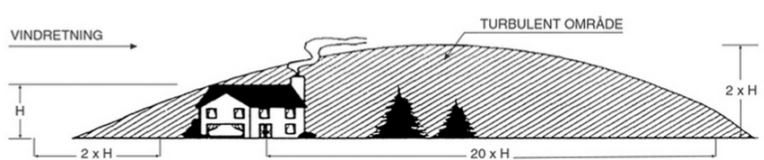
Horisontalt akslet vindturbin er den mest vanlige typen vindturbin og selges også i såkalt mikroformat til bruk på hytter, målestasjoner og lignende uten tilknytning til strømmettet. Det er stor forskjell på hvor mye effekt forskjellige turbiner leverer. For eksempel trenger Air Breeze en oppstartsvind på $2.7 \frac{m}{s}$, og leverer nominell effekt ved $12.5 \frac{m}{s}$ på 200 W. Maksimal effekt inntreffer ikke før full storm, noe som ikke er aktuelt for de værdataene vi har fra Frösön, Östersund. Disse dataene er sannsynligvis målt i et par meters høyde, og vinden vil øke noe hvis man monterer turbinen høyere. Da vil man også unngå turbulens, som vi kan se i figur 4.14 vil opptre rundt bygg trær og lignende. Med en gjennomsnittsvind på $5.4 \frac{m}{s}$ vil Air Breeze levere 456 kWh i året [6].

4.2.2 Vertikalt akslet vindturbin

En vertikalt akslet vindturbin er gjerne mer driftssikker på steder med ekstreme vindforhold, turbulens og ising. Finske WindSide leverer vertikale vindturbiner formet som en stående skrue. Disse stillegående turbinene leverer høy effekt i forhold til turbinarealet og har lang levetid (50år). WS 030B har et sveipet areal på $0.3 m^2$, er 1 meter høy og 0.3 meter i diameter. Den starter opp fra $2.8 \frac{m}{s}$ og tåler $40 \frac{m}{s}$ vind. Med en gjennomsnittsvind på $5 \frac{m}{s}$ vil WS 030B levere 80 kWh i løpet av et år.



Figur 4.12: Til venstre: Vindstyrke gjennom et år i Östersund, uksgjennomsnitt fra klima-filen i brukt i ESP-r. Til høyre: Timesverdier for den andre uken av januar.

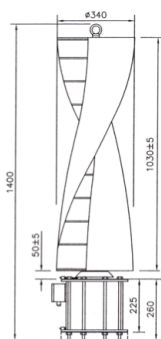


Figur 4.14: Turbulent område rundt en bygning [68].

Som vi ser av figur 4.14 vil det dannes et turbulent område rundt en bygning som ikke er ideelt for vindturbiner. På grunn av store variasjoner i lokale vindforhold og turbulens, er vindturbiner mer egnet som del av en hybrid løsning på radiostasjoner plassert høyt i terrenget.

4.2.3 Praktiske vurderinger

Plassering av vindturbinen kan gi utfordringer ettersom den ikke bør plasseres lengre enn 30 meter fra strømuttak eller batterier på grunn av spenningsfall i kablene. I tillegg bør den ikke monteres på taket på hytta da dette kan føre til mye støy. Prismessig koster vindturbiner fra under kr 10 000 for standard horisontalt akslet turbin til rundt kr 100 000 for WS030B vertikalt akslet vindturbin [56, 123]. WS030B har da en forventet levetid på 50 år, mens for horisontale vindturbiner er 20 - 30 år lang levetid [57, 58]. Det er generelt lite vedlikehold å snakke om med vindturbiner, men det er gjerne oppgitt maksimale vindhastig-



(a) WS030B



(b) Air Breeze

Figur 4.13: Vertikalt (a) og horisontalt (b) akslet vindturbin.

heter de vil tåle.

Vindforhold varierer i stor grad lokalt, derfor er det vanskelig å gjøre beregninger ut i fra klimadata fra et sted som kan brukes for større områder. I denne oppgaven er det derfor ikke blitt vurdert videre som en av løsningene.

4.3 Biobrensel

4.3.1 Pelletsovn

Biobrensel kan enten være i fast eller i flytende form. Vedfyring er den vanligste oppvarmingsmetoden med biobrensel, men i denne oppgaven hvor det blir sett på en ubebodd hytte vil ikke det fungere. Mer relevant er trepellets som er laget av flis med en diameter på 6.8 eller 12 mm. En pelletskamin for privatbruk ligger gjerne på 2 - 10 kW i varmeeffekt. Den beskjedne størrelsen på trepellets gjør at håndteringsegenskapene minner om fyringsolje, men energiinnholdet per volumenheter er om lag 30 % og 40 % lavere enn henholdsvis olje og propan [120]. Det er også vanlig med automatisk innmating av pellets og størrelsen på pelletstanken avgjør hvor mange dager ovnen kan fyre uten tilsyn. I tillegg må det tømmes aske og rengjøres etter visse perioder. Pelletsovner trenger heller ikke pipe, de kan ta inn frisk luft fra et hull i veggen, og føre røygassen ut samme veien slik som det er vist i figur 4.15.

Problemet med en pelletskamin i denne konkrete oppgaven er at den ikke kan fyres på lave effekter, og at den må etterfylles med pellets. Laveste effekttrinnet på kaminen er gjerne ikke under 2500 W noe som gjør at lastkurven og tempera-



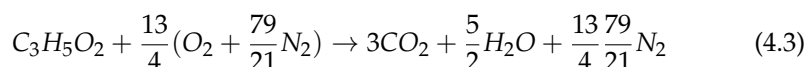
Figur 4.15: Til venstre: Eksempler på lagring av større mengder pellets med automatisk innmatning [75]. Til høyre: Forklaring av en pelletsovn: 1: Her blir pellets matet inn i fyren. 2: En vifte trekker frisk luft inn i forbrenningsrommet, og pumper eksosgasser ut av bygningen. 3: En konveksjonsvifte varmeveksler romluft og sender den ut i rommet, mateskruen avpasser foringen etter en termostat [83].

turkurven vil svinge mye opp og ned. I indre sone i hytta er det sjelden bruk for en tiendedel av det i oppvarmingseffekt, derfor vil en pelletskamin som leverer 2500 W dra temperaturen langt over termostatttemperaturen og bruke unødvendig mye energi. Trepellets kan ha en brennverdi på $4.8 \frac{kWh}{kg}$ og med en total virkningsgrad på 85 % vil dette gi $4.08 \frac{kWh}{kg}$. Et årlig oppvarmingsbehov på 400 kWh krever da om lag 100 kg trepellets. Med en vekt på $650 \frac{kg}{m^3}$ blir det behov for en brenselstank på $0.15 m^3$, noe som skulle gå fint i indre sone i hytta, med en løsning mindre enn de i figur 4.15. Om lag 0.7 % av brenselet blir aske, i en ubebodd hytte er man avhengig av en selvrensende pelletsovn. For vanlig bruk er det vanlig å rense hver 14. dag og tømme aske en til to ganger i året. Oppfyring krever også gjerne rundt 500 W i noen minutter og vifte og mateskruer krever 30 W – 40 W under bruk [95].

Med tanke på utslipp er biobrensler en fornybar energikilde så fremt skogen som hogges får gro opp igjen. Mange ser på biobrensler som klimanøytralt siden CO_2 - utslippene fra forbrenningen ville bli sluppet ut i atmosfæren om planten hadde råtnet. Når det gror opp en tilsvarende plante vil den binde til seg den samme mengden CO_2 som ble sluppet ut. Det vil imidlertid alltid være noen utslipp i forbindelse med produksjon og transport av biodrivstoff. Klimagassutslipp fra biobrensler blir sett nærmere på i kapittel 6.

Biopellets i Norge er som regel laget av biomasseflis. Biomasseflis består av (% av vekt): 50 % karbon, 44 % oksygen og 6 % hydrogen. I tillegg vil det være noe

fuktighet, den er ikke tatt med i forbrenningenreaksjonen under:



4.3.2 Praktiske vurderinger

Til rene oppvarmingsformål er en pelletskamin en god løsning. Det er også mulig å installere en pelletskamin med vannkappe slik at man kan ha vannbåren oppvarming eller støtte opp om varmtvannsbehovet. Problemet med en pelletskamin i denne sammenhengen er at den krever noe vedlikehold. Dette avhenger av størrelsen på brensels- og asketanken og hvor ofte den trenger rengjøring.

4.4 Fossile brennstoff

4.4.1 Bensin eller dieseldrevet aggregat

Det finnes mange løsninger på parafin-, diesel- og gassvarmeovner som kan fjernstyres til å varme hytta. Av miljøhensyn er det i den konkrete oppgaven sett bort fra rene oppvarmingskilder basert på fossile brennstoff. Men på grunn av begrensninger i strømproduksjon og strømlagring fra solceller og vindturbiner, kan det bli behov for et aggregat. Problemet med et solcellepanel for å holde en frostfri indre sone med elektriske ovner er at det ikke er sterk nok sol på den kaldeste perioden av året. Dette kan løses med å sette inn et aggregat som kjøres for å gi ekstra effekt og samtidig lade batteriene. Et av poengene bak denne løsningen er at det er allerede er en stor batteribank slik at aggregatet ikke trenger å starte så ofte. Virkningsgraden av aggregatet får ikke så stor betydning siden varmetap går rett til oppvarming av indre sone. Ufullstendig forbrenning vil en selvsagt unngå på grunn av dårligere virkningsgrad og miljøhensyn. Et aggregat montert i indre sone krever tilluft og eksosrør. Det kan være naturlig å legge dette i pipen til vedovn/peis som de fleste hytter har fra før av. Bensin- og dieseldrevne aggregat vil skape støy og vibrasjoner, men i ubebodde perioder vil ikke dette være et problem. Når hytta er i bruk regnes det med at det blir fyrst med ved eller brukt en annen oppvarmingsmetode.

I tabell 4.1 er varmetutviklingen beregnet ut ifra en nedre brennverdi på 9.1 [$\frac{kWh}{l}$]. Det er antatt en fullstendig forbrenning hvor all energi enten går til elektrisk effekt eller varme vist i ligning 4.4:

$$\text{Varme}[W] = \text{Forbruk}[\frac{l}{h}] \times \text{Nedre Brennverdi}[\frac{Wh}{l}] - \text{Elektrisk effekt}[W] \quad (4.4)$$



Figur 4.16:
Kipor IG770



Figur 4.17:
Yamaha EF1000IS



Figur 4.18:
Honda Eu10i



Figur 4.19:
Hyundai
HY1000Si

Tabell 4.1: Sammenligning av små aggregat

	Kipor IG770	Yamaha EF1000IS	Honda Eu10i	Hyundai HY1000Si
Maksiimal effekt[W]	770	1000	1000	1000
Kontinuerlig effekt[W]	700	900	900	950
Effekt "eco-mode"[W]	–	225	225	238
Drivstofftank[l]	1.55	2.5	2.3	2.7
Kjøretid kontinuerlig effekt[h]	3	4	4.5	6
Kjøretid "eco mode"[h]	–	12	8.3	9
Forbruk [$\frac{l}{h}$]	0.52	0.63	0.51	0.45
Forbruk "eco mode" [$\frac{l}{h}$]	–	0.21	0.28	0.30
Varmeutvikling [W]	4002	4788	3751	3145
Varmeutvikling "eco mode"[W]	–	1671	2297	2493
Levert varme(50%) [W]	2001	2394	1876	1573
Levert varme(50%) "eco mode" [W]	–	836	1149	1247
Elektrisk virkningsgrad[%]	14.9	15.8	19.4	23.2
Elektrisk virkningsgrad eco mode[%]	–	11.9	8.9	8.7
Vekt[kg]	10.5	12.7	13	13

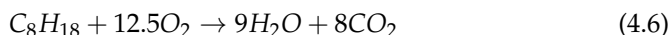
Det er antatt at 50 % av varmen forsvinner ut med eksosen i tillegg til at det kreves ekstra tilførsel av frisk luft utenfra for å kjøre aggregatet. Dette er basert på at vedovner gjerne har en virkningsgrad på 70 % hvor mesteparten av tapene forsvinner ut med røyken. Et aggregat vil fungere på en lignende måte ved at det varmer opp en del stål, altså motorblokken, og slipper røyken ut gjennom pipa. Den elektriske virkningsgraden er beregnet utifra følgende formel:

$$\eta_{el} = \frac{\dot{W}_{el}}{\dot{Q}_{drivstoff}} \quad (4.5)$$

Bensin- og dieseldrevne aggregat er de mest utbredte aggregatløsningen på hytter uten nettilkobling i dag. Aktuelt for den vedkommende oppgaven er små

aggregat som er gjerrige på drivstoff samtidig som de gir strøm til batterier og selv avleverer litt varme. For å gjøre det mer miljøvennlig kan man bruke et aggregat som går på biodiesel [61]. For å kunne kjøre på 100 % biodiesel (B100) må motoren tilpasses dette, men vanlige dieselmotorer fungerer normalt med en blanding av 20 % biodiesel og 80 % vanlig diesel (B20). Dette vil være en rimeligere løsning da både aggregat og drivstoff er billigere.

For å anslå drivstoff- og lagringsbehov kan en gjøre en grov beregning. Bensin har en nedre brennverdi på 9.1 kWh per liter bensin [36] og en firetakters motor som det gjerne er i aggregat har rundt 20 % virkningsgrad. Det er ikke så vesentlig i disse grove beregningene siden varmetap blir ansett som oppvarming av hytta. Noe tap vil det være gjennom røykgass og ufullstendig forbrenning, så en kan regne at 50 % av bensinen går til oppvarming til slutt. For å tilføre 400 kWh må da ha omtrent 88 l bensin, noe som skulle være mulig å lagre i en tank.



Det er mulig å gjøre de små bensinaggregatene noe mer miljøvennlige ved å kjøre dem med bensin iblandet noe etanol eller metanol. Honda eu10i kan for eksempel kjøres på E10, 10 % etanol, eller med 5 %-metanolblanding. Videre i oppgaven er det valgt å bruke Honda eu10i som eksempel. Dette aggregatet er velprøvd og får gode skussmål. Det lager lite støy, bare 59 dB på 7 meter på full effekt, noe som er mindre enn vanlig tale [130].

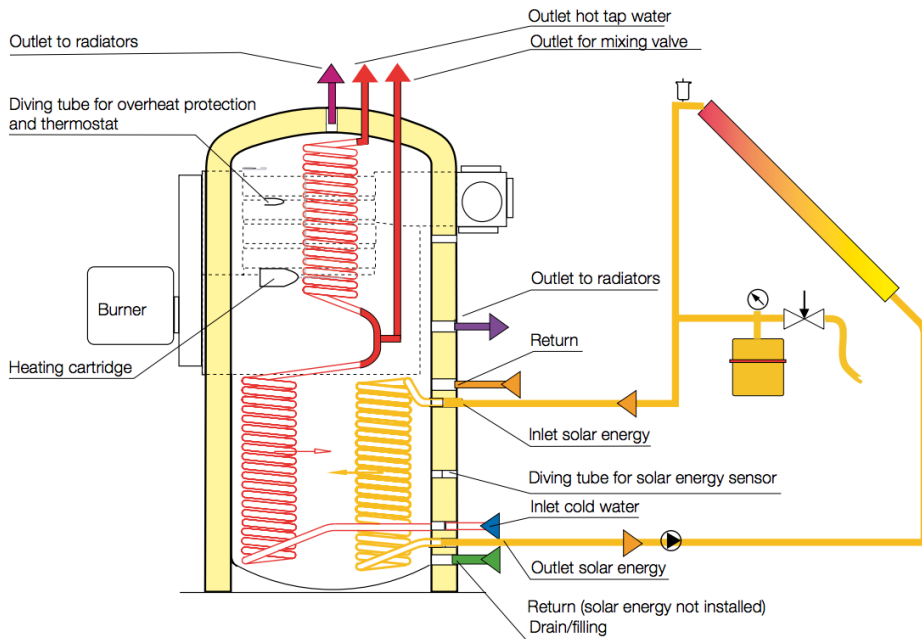


Figur 4.20: Øverst til venstre: Smart Energy Station® med solcellepanel og vindturbin [26]. Nederst til venstre: Energi-anneks med solceller på vegg og solfanger på tak [2]. Til høyre: Akkumulatortank for solfangeranlegg. Pelletsbrenner med tilhørende lager kobles inn i kaldere og mørkere tider av året [121].

Som vist i figur 4.20 leveres det egne “Smart Energy Stations” til hyttebruk i Norge i dag. Det er små energiverk bestående av solcellepanel, vindturbin, aggregat og elektronikk til fjernstyring. En lignende løsning kan være aktuell for denne oppgaven. Prisen er imidlertid forholdsvis høy, ferdig montert koster de 120 000 kroner og oppover [26]. Det viser ihvertfall at løsninger for automasjon fungerer i drift.

En enda mer ambisiøs løsning er “Energi-annekset” som Norsk solenergi har laget i samarbeid med hytteprodusenten Ålhytta. Løsningen inkluderer en egen bod med oppvarming av varmtvannstank via solfangere og pelletsbrenner [2].

En biosoltank fra svenske Stocksbro som vist i figur 4.21 er en miljøvennlig løsning som kan fungere godt i en hytte uten tilknytning til strømmettet. Her slår pelletsbrenneren inn med en gang temperaturen i tanken synker under en viss temperatur. Avgassen fra pelletsbrenneren varmeveksles direkte med vannet i akkumulatortanken. Dette er et konsept som kunne fungert godt i indre sone

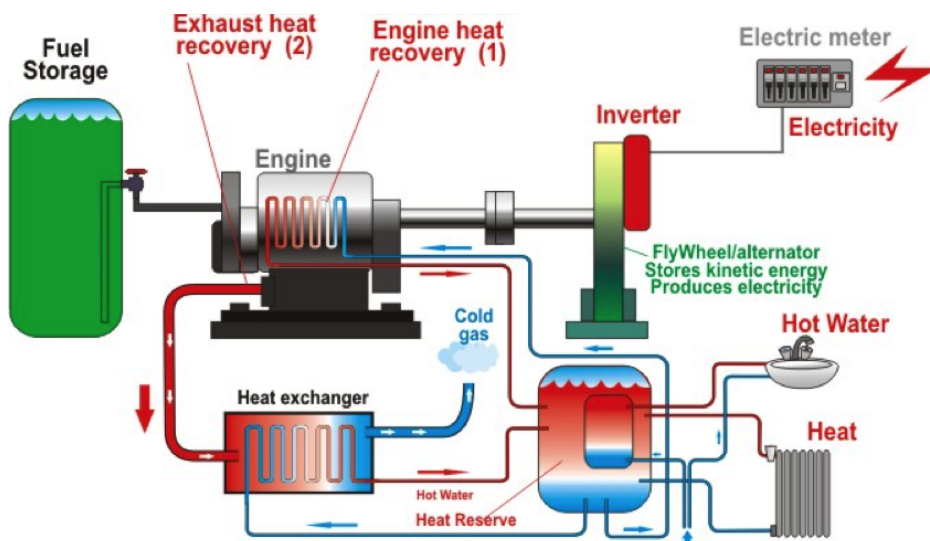


Figur 4.21: Biosoltank på 25 kW fra Stocksbro [121].

på hyttemodellen. En stor isolert akkumulatortank kan “lades” opp med varme når rommet når nedre termostattemperatur. Når det har kjørt en stund og nådd øvre termostattemperatur slås brenneren av og varmen kan gradvis lekke ut i rommet. Slik kan en få en jevnere temperatur i rommet sammenlignet med direkte oppvarming av luften. I en slik sammenheng er tanken altfor kraftig, med en oppvarmingseffekt som varierer i området 15 - 25 kW [121]. Som vi kan se av figur 4.21 blir tappevannet varmevekslet med tanken i en lukket krets, men ikke oppbevart der. Det gjør at en kan ha lavere temperatur på vannet i tanken da en ikke trenger å tenke på legionella i tappevannet. Da blir ΔT over varmevekslingen større og en får høyere virkningsgrad i pelletsbrenneren og solfangeren.

4.4.2 Kogenerasjon med gass

En såkalt kogenerasjon av varme og strøm er vanligst i større kraftverk, men kan også gjøres i mindre skala i blokker og eneboliger. Det kalles gjerne micro-CHP siden størrelsen på kraftverket er krympet betydelig. I figur 4.22 ser vi en gassdrevet turbin som varmer vann samtidig som den generer strøm. Fordelen med en turbin er at den er såpass liten av størrelse og brenner renere enn vanlige



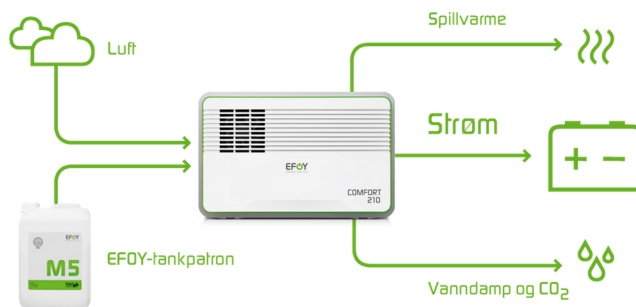
Figur 4.22: Micro CHP med gass-turbin [113]

motorer. Det er også enklere å varmeveksle ut varmen fra den til vann i og med at det i hovedsak er avgassene som leverer varme. I en forbrenningsmotor vil både avgasser og luft fra kjøling levere varme.

4.4.3 Brenselcelledrevet aggregat

En brenselcelle er en elektrokjemisk reaksjon hvor brenselet reagerer med oksygen og omformes til elektrisk energi. Brenselcellen kan være drevet av brensler som naturgass, alkohol, LPG eller ren hydrogen [49]. Ved bruk av ren hydrogen vil eneste utslipp være H_2O . Et brenselcelledrevet aggregat omdanner drivstoffet til hydrogen som blir drevet inn i brenselcellen hvor det reagerer med oksygen og skaper spenning. Sluttproduktene blir elektrisk strøm, varme, vann og CO_2 . Dermed unngås utslipp av sotpartikler, NO_x og CO . Aggregatene er relativt stillegående og har høy utnyttelse av drivstoffet, men modellene som leveres til hyttemarkedet i dag har lav elektrisk effekt (25 W – 105 W) [82]. De er i tillegg relativt dyre, 105 W-modellen koster rundt 50 000 kroner. Sammenlignet med diesel og bensindrevde aggregater er drivstoffprisen for disse brenselcellene høy, 300 kroner for 5 liter metanol. 1 liter metanol gir omtrent 1 kWh elektrisitet. Med en nedre brennverdi for metanol på 4.5 kWh gir dette en elektrisk virkningsgrad på 24.7 % [37].

Her er varmeutviklingen beregnet ut ifra formel 4.4, hvor alle tap er antatt om-

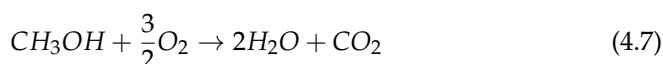


Figur 4.23: Brenselcelleaggregat, Efoy Comfort 210

Tabell 4.2: Effekt og forbruk på metanoldrevne brenselcelleaggregat [32].

Model	Kontinuerlig effekt [W]	Tank [l]	Forbruk [$\frac{l}{h}$]	Varmeutvikling [W]	Elektrisk virkningsgrad [%]
EFOY Comfort 210	105	10	0.095	320.3	24.7
EFOY Comfort 140	72	10	0.065	219.6	24.7
EFOY Comfort 80	40	10	0.036	122	24.7

formet til varme. Efoy oppgir selv at modellen *Comfort 80* produserer om lag 120 W restvarme, så disse beregningene treffer ganske bra [31]. En *direct methanol fuel cell* (DMFC) får temperaturer på 60°C - 130°C under drift [55]. Den elektriske virkningsgraden er beregnet ut ifra formel 4.5. Virkningsgraden her er en del høyere enn et vanlig bensinaggregat, men i denne sammenhengen er altså varmeutviklingen ikke negativt. Derfor legges det ikke så mye vekt på det.



Metanol har høyere energi enn "compressed hydrogen", noe som gjør den egnet til energilagring. Energitetthet er 15 ganger høyere enn lithium-batterier, som en kan se av figur 4.26. En 10 liters metanoldunk på 8.4kg vil kunne gi 920 Ah. Det tilsvarer 250 kg bly-baserte batterier.

Det norske firmaet Nordic Power Systems har utviklet et brenselcelleaggregat som kan gå på enten biodiesel eller vanlig diesel. Utviklet for Forsvaret og deres krav til universelle drivstoff har de laget et aggregat på 1 kW. Det er imidlertid ikke kommet i kommersielt salg, i alle fall ikke for det private markedet [124].

I Tyskland satses det via et forsøksprosjekt på CHP brenselceller som går på naturgass. Brenselcellene er til bruk i hjemmet og leverer både varme og elek-

triset med en virkningsgrad på 95 %. Dette er en spennende utvikling siden brenselcellene kan bruke eksisterende naturgassinfrastruktur samtidig som de er miljøvennlige. Ved hjelp av statlig støtte, skattelette og høy eksportpris på eventuelt overskuddsproduksjon av strøm er dette en gunstig ordning for de husholdningene som har vært med på prosjektet. For hyttebruk er brenselcelleanleggene litt store, de har gjerne en maksimal produksjon på rundt 1 kW elektrisk effekt og 2 kW varmeeffekt [20]. De kan riktignok moduleres ned til halv effekt, men fortsatt er det i overkant av hva som er behovet i denne oppgaven. Det er fortsatt relativt dyrt å installere, men i Japan har de allerede klart å kommersialisere teknologien med tung statlig støtte. I Tyskland koster et anlegg nå rundt 150 000 kroner, men de venter at prisene vil falle [86].

Tabell 4.3: Sammenligning av bensinaggregatet Honda eu10i og brenselcelleaggregat EFOY Comfort 210 [7, 32, 82, 103].

Egenskap	Honda eu10i	Efoy Comfort 210
Vedvarende elektrisk effekt	900 W	105 W
Utgang	230 V og 12 V	12 V
Operasjon	Ekstern ladekontroll nødvendig	Integrert automatisk ladekontroll
Oppstart	Manuell oppstart	Automatisk oppstart ved gitt spenningsnivå
Vedlikehold	Oljeskift etter 100 timer	Påfyll av <i>service fluid</i>
Støynivå	83 - 87 dB på 1 m 52 - 57 dB på 7 m	39 dB på 1 m 23 dB på 7 m
Tørrvekt	13 kg	8.5 kg
Pris	11 490	49 350
Kostnad 100 Ah batterilading	5.41 NOK	93.1 NOK

I tabell 4.3 ser vi en sammenligning mellom en bensinaggregatet Honda eu10i og Efoy Comfort 210 brenselcelle. Brenselcellen har lavest vekt og støy, og kommer med inkludert styringskontroll. Bensinaggregatet gir høyere elektrisk effekt og er rimeligere i innkjøp og drift.

4.4.4 Praktiske vurderinger

For bensin- og dieseldrevne aggregat er det viktig med godt avtrekk av røykgassen. Når forbrenningen skjer ufullstendig, altså med underskudd av oksygen, dannes det karbonmonoksid (CO) istedet for karbondioksid (CO₂). Karbonmonoksid, eller kullos, er giftig og uten lukt. Det er derfor farlig å få den inn i rom der folk oppholder seg. Tilfeller hvor det har skjedd har fått fatale følger [5]. Derfor anbefaler brann- og redningsetaten at det installeres CO-varslere for å

unngå forgiftning [17]. Bensinforbrenning kan lage mer kullos enn diesel, opptil 10 %, mens diesel kan gi rundt 1 % [77].

Det er også en viss brannfare knyttet til bruk av aggregater innendørs. Bensin lager antenkelig damp ved romtemperatur, mens diesel lager slik gass ved 60°C. Derfor er det viktig å unngå å søle med drivstoffet og holde det unna gnister og tennkilder. Det finnes oppsett med temperatursensorer og CO₂-dyse som kan rettes mot aggregatet ved fare for brann. Et bensinaggregat skaper generelt mer varme enn et diesellaggregat på grunn av lavere virkningsgrad, så en sier gjerne at diesellaggregat er mer brannsikkert. Det er derimot ikke ufarlig og en skal ta gode forhåndsregler også når en monterer og bruker diesellaggregat.

Diesellaggregat støyer en del mer enn bensinaggregat, og begge vil i direkte tilknytning til en hytte føre til noe vibrasjoner. I de små formatene det diskuteres i denne rapporten vil ikke det bli sett på som noe problem. Videre i denne oppgaven har det blitt valgt å fokusere på bensinaggregat siden de leveres med lavest effekt og er derfor mer egnet i indre sone.

Med tanke på eksos pipe bør en være forsiktig med metallrør koblet direkte på aggregatet. Det kan lede strøm og føre til og føre til kortslutning eller varmegang. Brenselcelleaggregatet EFOY comfort 210 kan drives i godt ventilerte motorrom. Derfor er det interessant om det kan drives i indre sone uten ekstra ventilasjon. Avgassen er bare vanndamp, H₂O, og karbondioksid, CO₂. Ut i fra reaksjonsligningen 4.7, og molar masse på 32.04 $\frac{\text{g}}{\text{mol}}$ og 18.02 $\frac{\text{g}}{\text{mol}}$, på henholdsvis CH₃OH og H₂O, kan en regne mengden vanndamp som dannes. Per liter metanol (840g, 26.22mol) dannes det 944.97 liter vanndamp (52.44 mol H₂O). Med et forbruk på 0.095 $\frac{\text{l}}{\text{h}}$ for EFOY comfort 210 gir dette 89.77 g H₂O i timen.

Efoy Comfort 210 er avhengig av frisk luft og O₂ for å drive den kjemiske reaksjonen i ligning 4.7. Når det går produserer det CO₂ som i første omgang vil stige på grunn av temperatur, men siden CO₂ er tyngre enn luft er det fare for at det legger seg langs gulvet i indre sone. Det kan redusere effekten av brenselcelleaggregatet, eventuelt kvele det helt. Med et forbruk på 0.095 $[\frac{\text{l}}{\text{h}}]$ og ifølge ligning 4.7 et mol metanol gir et mol CO₂ blir det 109.6 $\frac{\text{g CO}_2}{\text{time}}$. Med en tetthet på 1.9768 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ blir det et volum på 0.478 m³, noe som i indre sone tilsvarer 1.27% av luftvolumet eller 12,700 ppm. Dette er i tilfelle det ikke er noe infiltrasjon eller ventilasjon, og luften og karbondioksidet blander seg perfekt. Problemet er som nevnt at CO₂ har 1.5 ganger høyere tetthet enn luft og vil legge seg langs gulvet rundt brenselcelleaggregatet og mulig redusere eller stoppe den kjemiske reaksjonen. For å sette det i perspektiv så vil mennesker føle døsighet ved 1 %

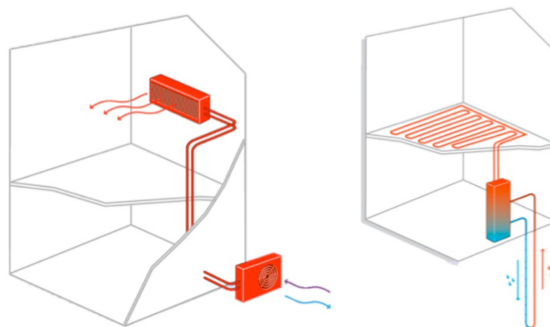
(10,000 ppm) CO_2 . 5,000 ppm CO_2 er maksimalt hva Arbeidstilsynet tillater i gjennomsnitt i lufta for en 8-timers arbeidsdag [47].

På grunn av produksjonen av utslippet av CO_2 , vil det sikreste være å bruke en pipe til avgassen samt ekstra ventilasjon når brenselcelleaggregatet går.

4.5 Varmeveksling med luft og grunn

4.5.1 Luft-til-luft varmepumpe

Bruken av luft-til-luft varmepumpe har hatt en utrolig stor framgang i Norge de siste årene. Fra 2004 og til 2009 gikk antall varmepumper i husholdninger fra 4 % til 18.5 % [116]. En slik varmepumpe vil kunne ta opp varme fra uteluften ned mot $-25^{\circ}C$ og gir gjerne en reduksjon i primærenergi behovet på 50 % til 80 % i forhold til ordinære oppvarmingssystemer som panelovner. Luft-til-luft varmepumper anbefales til husholdninger med et årlig strømforbruk over 15,000 kWh. I denne oppgaven hvor vi ser på en ubebodd hytte vil energibehovet bare være til oppvarming for å holde hytta frostfri og det tilsvarende strømforbruket til dette vil bli veldig lavt. Derfor vil nedbetalingstiden bli desto lengre.

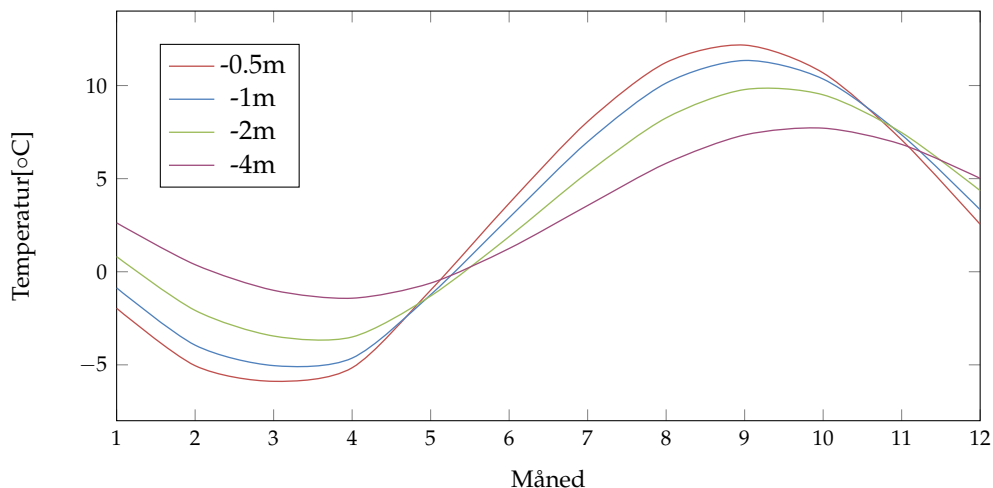


Figur 4.24: Til venstre: Luft-til-luft varmepumpe [39]. Til høyre: vann-til-vann varmepumpe, her en bergvarmepumpe [38]

Flere varmepumper har en frostvaktfunksjon slik at den kan stilles inn på $8^{\circ}C$ for å holde et rom eller en hytte frostfri. Det er imidlertid anbefalt å ha en back up-løsning med en panelovn stilt inn på $5 - 7^{\circ}C$, i tilfelle noe skulle skje. Ved et raskt temperaturfall kan en varmepumpe slite med å varme opp et helt hus, og vann kan fryse. På boliger hvor det er fare for snøføyk er det anbefalt at ute-enheten har en kappe rundt seg. Her må det også sørges for at ute-enheten får nok luft. Snør den ned vil varmepumpen slutte å fungere.

4.5.2 Vann-til-vann og luft-til-vann varmepumpe

Som vi ser av figur 4.25 holder grunnen under hytta en jevn temperatur gjennom året. Dette er beregnede verdier fra ESP-r.



Figur 4.25: Temperatur i grunnen ved forskjellige dybder gjennom året, beregnet i ESP-r

En vann-til-vann varmepumpe henter varme eller kjøling fra en 60 – 200 meters dyp brønn, eventuelt fra rør liggende under jorden eller i sjøen i nærheten av bygget. Effektbehov, grunnvannsstand, og bergarter avgjør hvor dypt ned det må bores. Fordelen med en brønn er at man kan dra nytte av den jevne temperaturen gjennom året, samt at det er mindre risiko for frost i rørene, telehiv eller lignende. Ulempen med slik boring er at det er kostbart, det kan fort koste 90 000 - 200 000 [129]. For å varme opp hele hytta er man avhengig av en vannbåren varmedistribusjon, noe som er vanlig i hytter. Derfor er det heller ikke vurdert luft-til-vann varmepumpe her, siden vi ser etter mindre og enklere løsninger.

Problemet med varmepumper i forhold til å holde et lite rom frostfritt slik som i denne oppgaven er at de har en minimumseffekt som er gjerne ned mot 500 W. Da vil de yte, avhengig av utetemperatur, i hvert fall 1500 W som er mer effekt enn hva indre sone trenger for å holdes frostfritt. Varmepumper er veldig energieffektiv oppvarmingsløsning som er miljøvennlig i drift så sant strømmen kommer fra fornybare energikilder. For en hytte uten nett-tilkobling krever en varmepumpe såpass mye strøm at den må støttes av et stort solcelleanlegg eller et aggregat for å holde hytta på termostattemperatur.

4.5.3 Praktiske betraktninger og vedlikehold

Norsk forening for varmepumper (Novap) anbefaler service annethvert år, men utenom det er det lite vedlikehold med en varmepumpe [48]. Prismessig er luft-til-luft varmepumpe den absolutt rimeligste løsningen med en pris i området 17 000 – 35 000 ferdig montert [95]. Både luft-til-vann- og vann-til-vann varmepumper er betydelig dyrere, noe avhengig av boring og rørarbeid vil de henholdsvis koste 100 000 – 170 000 og 150 000- 250 000 kroner [96, 99]. Felles for de forskjellige varmepumpene er at de har en levetid rundt 15 - 20 år, det vil si at det er stor forskjell i nedbetalingstid [96, 99].

Siden varmepumper krever relativt høy konstant effekt er de avhengig av tilknytting til strømmettet. Derfor er de ikke vurdert videre i denne oppgaven her når det gjelder hytte uten nett-tilkobling.

4.6 Sesonglagring, batteri og brenselceller

For å kunne utnytte overskuddet av energien som solen bringer om sommeren på de kaldere dagene er det behov for lagring. Et større solcelleanlegg kan eksportere strømmen ut på nettet i sommermånedene når det er overskudd, for så om vinteren importere strøm når det er underskudd. En slik løsning vil kunne gå i null i løpet av året, men det har vi altså sett bort ifra her siden hovedfokuset her er på hytter uten nett-tilkobling.

4.6.1 Sesonglagring

Sesonglagring av varme vil si å sende varme til lagring i perioder med overskudd for så å hente den ut igjen når det er underskudd på varme. Mest utbredt i Norge er bergvarmepumpe, som er beskrevet i forrige delkapittel, hvor det utnyttes at grunnen holder en jevnere temperatur gjennom året. Selve konstruksjonen på bygningen kan også holde på en del varme ved hjelp av termisk masse. Dette vil ikke lagre varme over lengre tid, men det vil la bygningsmassen tar opp varme på dagen og stråle den ut igjen om kvelden og natten når det er kaldere.

Fordelen med å pumpe varmen ned i grunnen kontra en varmtvannstank er at varmekapasiteten til jorda og grunnfjellet er mye høyere enn vann og vil derfor holde på varmen bedre. Av figur 4.25 kan vi se trenden til at temperaturkurven flater ut lenger ned i grunnen. På 10 meters dyp og lavere er temperaturen noenlunde jevn gjennom året.

Et sesonglagringsanlegg for solvarme i grunnen krever et anlegg av større dimensjoner, ellers vil varmetapene til omgivelsene bli relativt store. Som vi så av ligning 2.1 avhenger varmetapet av overflatearealet av lageret. Tenker vi oss et kubisk varmelager blir volumet lik:

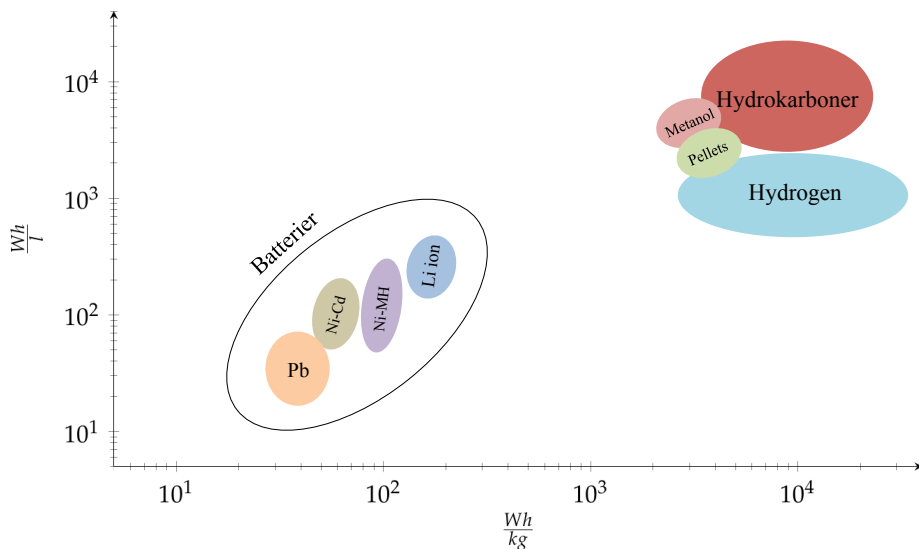
$$V = S^3 \quad (4.8)$$

Hvor S er lengden på sideflatene. Overflatearealet A derimot finner vi fra følgende ligning:

$$V = S^2 + S^2 + S^2 + S^2 + S^2 + S^2 = 6 \times S^2 \quad (4.9)$$

Volumet øker i tredjepotens, mens overflatearealet øker med annen potens. Det spesifikke varmetapet (W/m^3) minker derfor med økt volum. For at varmetapene skal være akseptabelt må lageret ha volum på flere $10\,000\ m^3$ [51]. Derfor blir dette meget kostbart og omfattende å bore såpass med hull for å sende solvarme ned i grunnen under hytta.

En løsning på dette kan være legge et sandlager under hytta med isolasjon rundt for å minske varmetapet. Tanken er at det termiske lageret skal gi ifra seg varme til hytta når det ikke blir tilført energi fra solfangeren. Dette kan gjøre vår- og høst-sesongen lunere inne i hytta, men om vinteren vil et solfangeranlegg få problemer med å levere nok varme til dette lageret for å holde hytta frostfri.



Figur 4.26: Forskjell i størrelse og lagringskapasitet i batterier og drivstoff [28]

4.6.2 Batterier

Batterier omdanner kjemisk energi til elektrisk energi via en oksidasjon-reduksjons-reaksjon. Vanligst ved bruk av solceller i hytter er blybatteriet, som er det eldste og mest kjente batteriet. Blybatteriet er forholdsvis tungt og tar opp mer plass. Lithium-ion batterier, som vi ser av figur 4.26, har en kapasitet som er rundt tre ganger så stor som blybatteriene, og de tar opp en tredjedel av plassen.

Prisen på Lithium-ion batterier er også betydelig høyere (125(Pb) og 500(Li) $\frac{\$}{kWh}$ lagringskapasitet [12]). Samtidig vil også forskjellen i hvor mange utladninger det tåler påvirke prisen. Det er ikke realistisk å kunne lagre hele oppvarmingsbehovet for en frostfri indre sone i en batteribank. Derfor trengs det støtte fra et aggregat, eventuelt et større solcelleanlegg som produserer høy effekt også om vinteren. For solcellepanel vil man ha batterier som tåler mange dyputladninger og generelt er vedlikeholdsfrie.

Størrelsen på batteribanken kan finnes etter følgende formel [1]:

$$E_{BAT} = \frac{E_L \times d}{\eta_{conv} \times V_s \times \eta_{BAT} \times DOD}$$

hvor

E_L : Energibehovet per dag [kWh]

d : Antall dager batteriet kan klare belastningen

V_s : Spenningen som kreves [V]

DOD : *Depth of discharge* – Hvor dypt batteriene kan utlades [%]

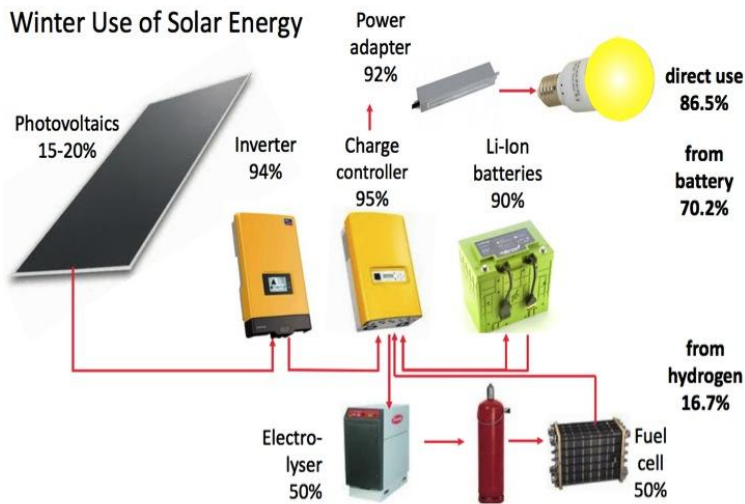
η_{BAT} : Virkningsgraden til batteriet [%]

For denne oppgaven er energibehovet per dag avhenging av klimaforhold som temperatur og solinnstråling. Derfor blir beregningen noe mer usikker siden en må basere seg på gjennomsnittlige værdata.

4.6.3 Brenselcelle

På samme måte som man kan lagre strøm i et batteri ved kjemiske reaksjoner kan man ved hjelp av elektrolyse lage hydrogen som igjen kan bli brukt i en brenselcelle senere. Hydrogenet lagres da på tanker, og en fordel i forhold til batterier er at energiinnholdet ikke ville tape seg like mye over lengre tid. Som vi ser av figur 4.26 er hydrogen en kompakt energibærer i forhold til batterier.

Virkningsgraden til solcelleanlegg med brenselceller og hydrogenlagring har en mye lavere total virkningsgrad enn solcelleanlegg med batterier. Som vi ser av



Figur 4.27: Solcelleanlegg fra et forsøkshus i Sveits, her ser vi tydelig forskjell mellom virkningsgraden i batteri og brenselcelle [134].

figur 4.27 er energien man står igjen med etter elektrolyse bare 16.7 % i forhold til 70.2 % i dette forsøket fra Sveits [134]. Den totale virkningsgraden for anlegget blir kun 2.5 - 3.3 % (elektrisk energi ut over innstrålt energi) med hydrogenlagring i dette tilfellet. Til sammenligning hadde lagring av strøm med batterier en total virkningsgrad på 10.5 % - 14.0 %. I andre forskningsprosjekt med varierende oppsett har den totale virkningsgraden med solcellepanel og lagring av hydrogen vært i området 4.5 % - 6.5 % [30, 84, 128].

Det tapet som skjer under strømproduksjonen i brenselcellen er stort sett varmeutvikling og er i den forstand ikke negativt hvis formålet uansett er å lage varme. Hydrogen kan også brukes til å brennes direkte for matlagingsformål, noe som kan være nyttig på en hytte.

4.7 Oversikt

Det er mange muligheter for å holde en hytte frostfri. For å begrense analysen har det videre i rapporten blitt sett nærmere på følgende egnede oppvarmingskilder:

- Solcellepanel
- Solfanger
- Bensinaggregat
- Brenselcelleaggregat
- Pelletsovn

Kapittel 5

ESP-r og simuleringer

5.1 ESP-r

ESP-r (Energy System Performance - Research) er et simuleringsprogram for simulering av energibruk i bygninger, samt kontroll og utslipp fra klimatiseringstiltak. Det er utviklet av Energy Systems Unit (ESRU) ved University of Strathclyde i Glasgow på 1970-tallet [92]. Det har en såkalt åpen kildekode slik at hvem som helst kan ta det i bruk og også legge til egne løsninger. ESP-r prøver å simulere omverden så grundig som mulig på et nivå som er forenlig med beste praksis i simuleringsmiljøet [29]. Beregningsmodellen er basert en *finite volume*-tilnærming hvor det løses et sett med bevaringsligninger. *Finite volume method* er en diskretiseringsmetode som deler opp modellen i noder eller soner og løser bevaringsligningene for disse numerisk. Dette gir gode resultater, men krever at brukeren har god innsikt i hvordan simuleringene i programmet fungerer.

ESP-r er utviklet for Unix operativsystemer og i denne oppgaven har det blitt kjørt i Ubuntu. Programmet inneholder database for materialer, konstruksjoner og klima. En kan også sette sammen egne materialer og konstruksjoner, noe det er gjort i denne oppgaven. Som nevnt i et tidligere kapittel har det også blitt importert en klimafil i det formatet ESP-r krever.

En fordel med ESP-r er at det er såpass fleksibelt og kan simulere et stort antall forskjellige prosesser. Den åpne kildekoden gjør at nye elementer stadig blir lagt til, noe som øker programmets fleksibilitet. Ulempen er at alt ikke har gjennomgått den samme kvalitetssikringen og testingen som et kommersielt simuleringsprogram er nødt til å gjøre. Brukergrensesnittet og brukervennligheten har heller ikke blitt oppdatert i forhold til andre simuleringsprogrammer. Programmet krever at brukeren må ha god kjennskap til modellen og beregningene. Dette gjør at ESP-r at det i stor grad foretrekkes av forsknings- og utviklingsmiljøer.

5.2 Simuleringer

5.2.1 Konstruksjon

ESP-r tar ikke hensyn til snø, så i simuleringene er det lagt på et 30 cm tykt lag på taket for isolerende effekt. Snølaget ligger på taket gjennom hele årssimuleringen, men i denne oppgaven ses det bare på effektbehovet om vinteren så den feilkilden anses som irrelevant. Det er ikke tatt hensyn til økt albedo effekt på tak og at bygningskroppen er mer utsatt for refleksjon stråling fra snø bakken rundt om vinteren. Snø vil også ha en isolerende effekt på grunnen rundt hytta, med mindre det har vært barfrost om høsten.

Tabell 5.1: Konstruksjoner brukt i ESP-r

Konstruksjonens navn i ESP-r	Beskrivelse	Materiale	Tykkelse [mm]	U-verdi [$\frac{W}{m^2K}$]
1external_wall	Utvendig vegg første etasje	Tre, edelgran Glassull	20 180	0,208
internal_wal	Indre skillevegg	Polyurethane skum Tung betongblanding	250 100	0,117
window	Vindu på sørveggen	Glassflate Luft Glassflate	6 16 6	1,458
part_wall_	Skillevegg mellom nordre og søndre sone	Glassflate Luft Glassflate	6 12 6	2,811
fl_separatio	Skillegulv mellom etasjene	Tung betongblanding	150	3,608
0extern_wall	Utvendig vegg kjelleretasjen	Tung betongblanding Mineral ull	200 300	0,128
base_floor	Kjellergulv	Gulvplank EPS Tung betongblanding	100 250 250	0,106
roof	Tak	Snø Tre, edelgran Polyurethane skum	300 160 350	0,052

I prosjektoppgaven var ytterveggene laget av 15 cm massivt tre. De hadde en høy U-verdi på $0,806 \frac{W}{m^2K}$ som tilsvarer en 6 tommers laftet vegg. Kravet i TEK10 for boliger under $150 m^2$ er veggtykkelse på 6 tommers for laftet vegg. Disse ytterveggene gjør at hytta taper en del varme til omgivelsene, men de gir et godt bilde på hvordan mange eldre hytter er i dag. En ny hytte derimot vil nok ha mer isolasjon selv med laftede vegger, og derfor har det her blitt endret på ytterveggene. Med et tynt lag tre og isolasjon er ytterveggene innenfor kravet til TEK 10 i tabell 2.2 på $0,22 \frac{W}{m^2K}$. Det store vinduet er har U-verdi innenfor kravet i TEK 10 ($1,458$ mot $1,6 \frac{W}{m^2K}$). Den store størrelsen på vinduet gjør at det vil tape en del varme til omgivelsene på grunn av konduksjon og konveksjonsstrømmer. Det bidrar imidlertid til det passive solenergi-designet beskrevet i kapittel 4.1.

Ytterveggene i kjelleretasjen er bygd opp av 20 cm tung betong og har 30 cm med isolasjon på innsiden. Disse veggene har derfor en lavere U-verdi og mindre varmetap til omgivelsene. Skilleveggen mellom søndre og nordre sone er laget av glass for å slippe sol igjennom slik at den treffer betonggulvet i nordre sone. Dette er en del av det passive solenergi-designet, som skal sørge for at solenergien spres til nordre sone. Da særlig om vinteren når solen står lavere på himmelen og oppvarmingsbehovet er større.

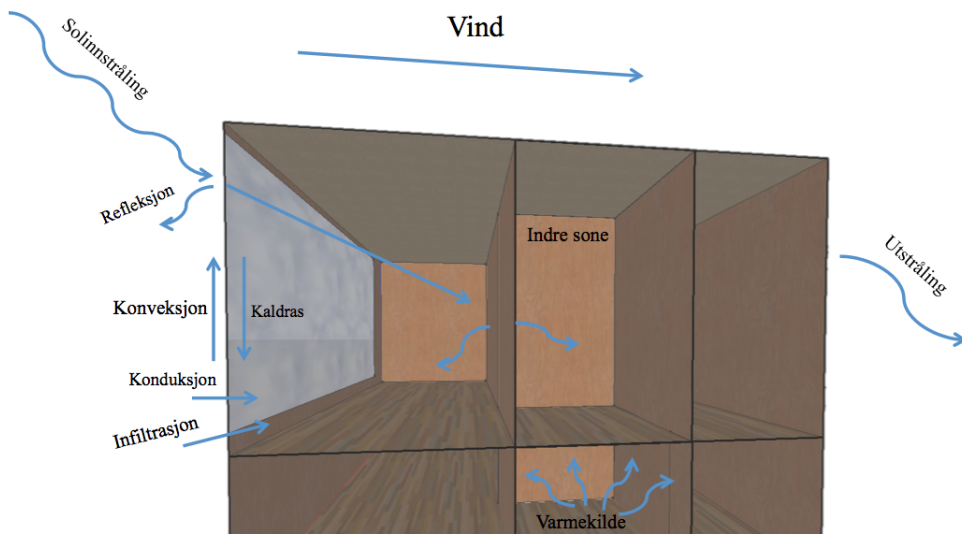
Start-up days – hvor mange dager modellen utsettes for tilsvarende klima og oppvarming er i denne simulering satt til standard verdi i ESP-r som er 74 dager. For en bygning med stor termisk masse vil det lønne seg å kunne simulere med så lang periode som mulig siden massen brukes såpass lang tid til å varmes opp og kjøles ned. Maksimalverdien for *start up days* i ESP-r er 100 dager. Skal man for eksempel simulere sesonglagring av varme er det ønskelig at denne perioden var lenger. For denne simuleringen antas det at 74 dager tilstrekkelig.

Indre sone er bygd opp av en tung betongblanding samt isolasjon i polyuretanskum. Skummet er blitt benyttet i tidligere studentoppgaver på grunn av sin gode k-verdi [79]. Det er ikke så vanlig å benytte i bygninger idag siden der er mer brannfarlig enn glassull, og det kan avgi en dødelig gass når det brenner. Derfor er det påbudt at det støpes inn i betongveggen i indre sone, slik at det ikke er eksponert ved en eventuell brann. I denne oppgaven er det som i tidligere oppgaver gjort en forenkling og lagt polyuretanskummet utenpå betongen i simuleringene.

Veggene rundt indre sone er satt opp for å simulere moderne passivhusvegger som er så og si lufttette. Derfor er veggene i indre sone lufttette, bortsett fra taket som har infiltrasjon for å simulere friskluft til oppvarmingsløsningene. Det er heller ingen dører inn til indre sone eller i de andre sonene. Dette er gjort for å forenkle modellen. Inn til indre sone vil en dør være en kuldebro og føre til mer infiltrasjon. Derfor, i en tenkt hytte, kan det være en ekstra dør som en legger utenpå når hytta er ubebodd for å unngå kuldebroer og infiltrasjon.

5.2.2 Varmetransporterende prosesser

For å simulere temperaturen inne i hytta gjennom året tar ESP-r hensyn til de ulike varmetransport-mekanismene som er skissert i figur 5.1. Hytta har et design for å ta opp mye passiv solvarme igjennom det store vinduet på den søndre veggen. Noe av denne strålingen vil gå igjennom vinduet og inn på veggen til indre sone og bidra med varme. Det er mange typer varmetap ESP-r tar hensyn til. Som nevnt over vil det være varmetap via konduksjon gjennom vindu og vegger. Infiltrasjon oppstår på grunn av trykkforskjell inne og ute og at bygningskonstruksjonen ikke er helt lufttett. Konveksjon langs vinduene oppstår på grunn av varmforskjeller som kaldras. Utenfor hytta er det konveksjon på grunn av vindavkjøling og bevegelser i luftmassene. ESP-r beregner ikke bevegelser i luftmasser med mindre man setter opp et ventilasjonssystem. Hver sone har samme temperatur overalt og konveksjon angis av brukeren for hver overflate. I tillegg til at bygningsmassen vil ta imot stråling fra sola vil den også



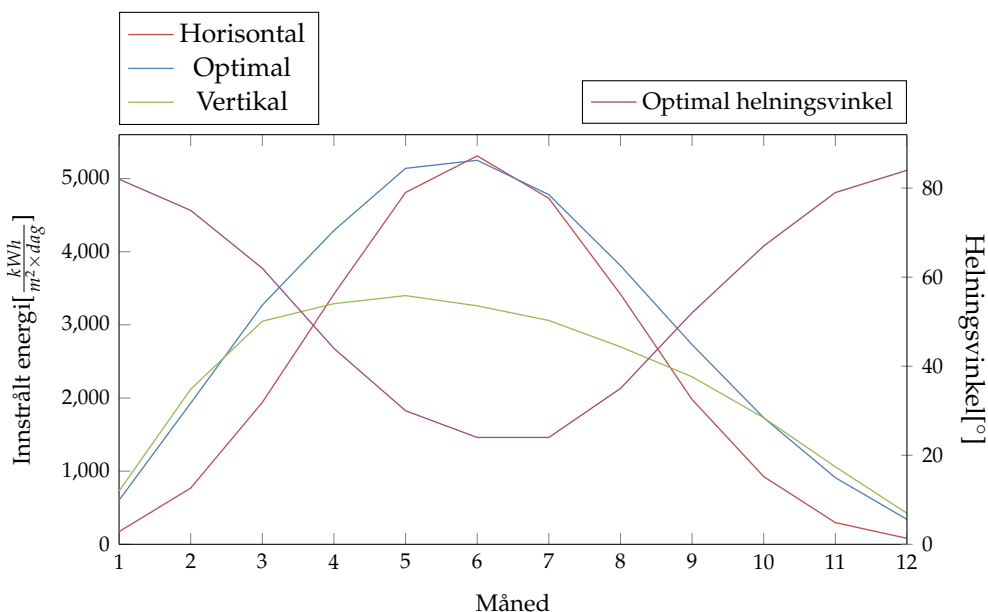
Figur 5.1: Tverrsnitt av hytteprosjektet med varmetransporterende mekanismer skissert.

stråle ut varme til omgivelsene på grunn av temperaturforskjeller.

5.2.3 Innstråling

I prosjektoppgaven til undertegnede ble det gjort en enkel vurdering av solinnstrålingen og hvilket potensiale et solcellepanel kunne ha i forhold til frostsikringen [108]. Innstrålingen på den søndre veggen av hytta ble funnet i ESP-r og potensiell strømproduksjon ble beregnet ut i fra en årsvirkningsgrad på 10 %. Innstrålingen det er tatt utgangspunkt i er fra perioden det kreves oppvarming for å holde 10°C i indre sone, 1. november til 31. mars. I tabell 5.2 ser vi hvordan økt areal på solcellene kan gi en betydelig strømproduksjon. Problemet med denne beregningen er at størsteparten av produksjonen skjer sent på vinteren, og i de kaldeste periodene i januar er det lite solinnstråling.

I figur 5.2 ser vi hvordan den optimale helningsvinkelen varierer igjennom året i Östersund. I perioden 1.november til 31.mars ser en at et vertikalt rettet panel ikke vil være langt fra optimalt. Dette er også mindre vedlikeholdskrevende med tanke på snø, rusk og blader. Skal en få utnytte mest mulig av solenergien i en solfanger eller solcellepanel bør en justere helningsvinkelen et par ganger i året.



Figur 5.2: Innstrålt energi for ulike helningsvinkler og optimal helningsvinkel gjennom et år, sørvendt flate i Östersund [24]

Det er mulig å simulere både solcellepanel og solfangeranlegg i ESP-r. Det har ikke blitt gjort i denne studien siden *plant*-funksjonen i versjon 12.0 ikke fungerer som den skal. Løge og Auråen løste dette i sin prosjektoppgave ved å hente inn data fra det europeiske råd sitt "Photovoltaic Geographical Information System" [25, 79]. Deretter regnet de ut gjennomsnittet for ti perioder og tilførte det via varmekabler inn i hytta.

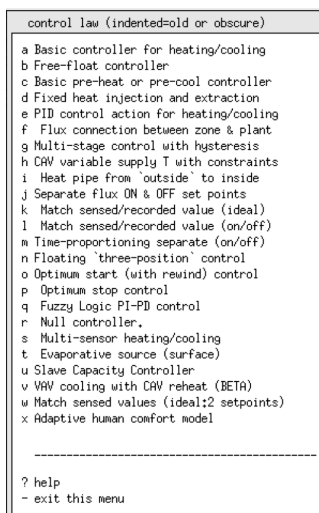
Tabell 5.2: Produsert energi av et solcellepanel med årsvirkningsgrad på 10%

Areal solcellepanel [m ²]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Produsert energi [kWh]	37.13	74.26	111.39	148.51	185.64	222.77	259.90	297.03	334.16	371.28

5.2.4 Kontrollfil

ESP-r åpner for å kunne styre klimasystemene etter mange parametere og deretter regulere ulike variabler. Her er det blitt brukt to enkle kontrollprinsipper, et som heter *Basic controller for heating/cooling* og *Separate flux ON & OFF set points*. Henholdsvis valg *a* og *j* i menyen i figur 5.3. *Basic controller* tilfører en flytende

oppvarmingseffekt, altså den minste effekten som skal til for å holde termostattertemperaturen. *Separate flux ON & OFF* skrur på en fast oppvarmingseffekt når temperaturen synker til et gitt punkt og skrur seg av igjen når temperaturen når en gitt maksimaltemperatur. Der er mulig å sette tilsvarende verdier for kjøling i begge kontrollfunksjonene, men det er ikke aktuelt her.



Figur 5.3: Meny over de ulike valgene av kontrollfiler en kan bruke i ESP-r.

5.2.5 Ventilasjon

I prosjektoppgaven til undertegnede ble det foreslått en ventilasjonsløsning mellom etasjene i indre sone som vist i figur 3.4. Høydeforskjellen mellom ventilåpningene skal skape en fortregningseffekt slik at den varme luften brer seg opp i første etasje. Viften ble foreslått hvis ikke fortregningseffekten ga god nok ventilasjon. Lukene skal hindre at det blir unødvendig trekk mellom etasjene i perioder hvor varmekilden er avslått.

For å simulere luftgjennomstrømningen i indre sone ble det først simulert et enkelt flow network med to åpninger mellom etasjene . ESP-r ville ikke la det flyte luft mellom etasjene uten at det var en vifte i den ene åpningen. Massestrømmen, \dot{m} , er gitt av ligning 5.1, volumstrømmen, \dot{V} , ble satt konstant.

$$\dot{m} = \rho \times \dot{V} \quad (5.1)$$

For å få konvergens i itereringen må massestrømbalansen oppfylles. ESP-r krever at luftstrømningsnettverket kobles til en sprekk i taket slik at luft fra omgivelsene kan trekke inn. Denne sprekken ble satt til 5 mm bred og 0.5 m lang på taket i indre sone. Dette vil føre til litt høyere effektbehov for oppvarmingen av indre sone.

Energibehovet for å drive ventilasjonsviftene rapporteres ikke i ESP-r, så en kan ta utgangspunkt i en spesifikk vifteeffekt (SFP) på $1.5 \frac{kW}{m^3/s}$ slik som Bøckman gjorde i 2011 [14]. Med en volumstrøm på $0.5 \frac{m^3}{s}$ og varmekilde i kjelleren, blir temperaturene i begge etasjene av indre sone jevne. Dette krever dog en del energi. Skal man ha viften gående i feks. 400 timer i løpet av vinteren tilsvarer det 300 kWh som vist i ligning 5.2.

$$E = SFP \times t \times \dot{V} = 1.5 \frac{kW}{m^3/s} \times 400 h \times 0.5 \frac{m^3}{s} = 300 kWh \quad (5.2)$$

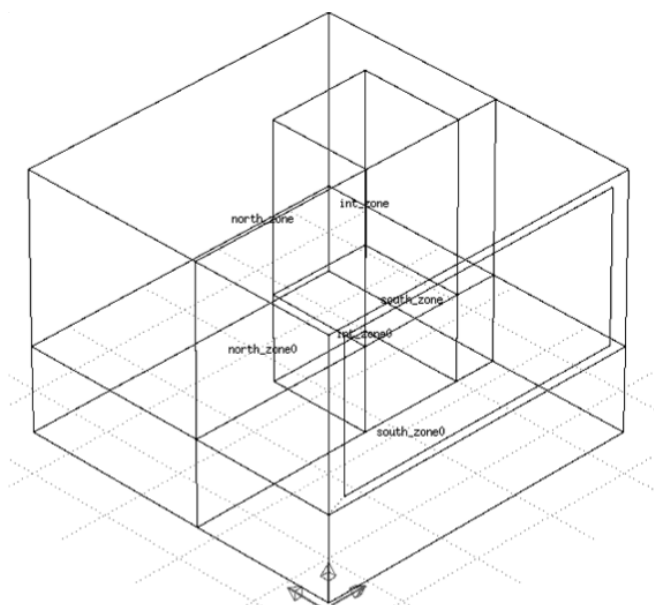
I realiteten er det en mye mindre vifteeffekt som skal være nødvendig for å hjelpe denne naturlige omrøringen av lufta mellom sonene som skjer på grunn av temperatur og derav trykkforskjeller. ESP-r beregner at hver sone har perfekt fordelt varme og ingen temperaturforskjeller innad i sonen. Den åpner ikke for oppdrift og naturlig ventilasjon i åpninger mellom kjeller og første etasje med mindre en presser lufta igjennom med en vifte. Derfor må det brukes stor volumstrøm og dertil mye energi for å få god omrøring.

I samråd med Rasmus Høseggen ble det bestemt å heller bruke en helt åpen indre sone som går over begge etasjer i simuleringene. Dermed vil det bli en perfekt omrøring, og en god tilnærming på å simulere en løsning med likevektsventilasjon og kaldras. I praksis kan denne omrøringen i hytta skje igjennom to større rister mellom sonene hvor lufta kan strømme fritt. Eventuelt kan en liten vifte hjelpe omrøringen slik som det ble vist i figur 3.4.

I figur 5.4 er modellen slik den ser ut ESP-r. Indre sone var opprinnelig som her delt i to etasjer. For å simulere en mer reell luftstrømning mellom etasjene ble disse to sonene slått sammen til en. Legg merke til det store sørvendte vinduet som er en del av det passive soldesignet, uten skjerming blir det veldig varmt i den søndre sonen som tidligere vist i figur 3.3.

5.2.6 Infiltrasjon

I prosjektoppgaven til undertegnede ble hyttemodellen simulert fullstendig lufttett. Dette er verken realistisk eller ønskelig ettersom fukt og avgasser vil hope



Figur 5.4: Hyttemodellen slik den ser ut i ESP-r, skillet mellom etasjene ble fjernet for å simulere fullstendig omrøring

seg opp i ubebodde perioder. Fukt kan være et problem i hytter, spesielt i de kaldere årstider. Når hytta er i bruk blir lufta varmet opp og tilført mye fuktighet fra blant annet utånding, matlaging og vasking. Etter at hytta er forlatt vil temperaturen synke, lufta vil ikke klare å holde på fuktigheten lenger, og det vil dannes kondens på kalde overflater. Bøckman gjorde en beregning på dette i sin prosjektoppgave ved hjelp av et Mollier-diagram. I et tilfelle i en hytte med luft på 20°C og 70 % luftfuktighet som kjøles ned til 3°C vil det kondensere $0.007\text{ kg vann per m}^3$ luft. I denne oppgaven har hytta et inneluft-volum på 384 m^3 , det vil si at 2.69 liter vann vil kondensere på kalde overflater som vinduer, dørhåndtak og kraner i et tilsvarende tilfelle. Dette kan føre til råte, mugg og skjolder. Siden luften er mettet med fuktighet vil ikke kondensen tørke, og vannet kan være der i en lange periode.

For å holde et sunt inneklime har TEK 10 satt krav til ventilasjon i rom som ikke skal brukes til varig opphold til $0.7 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{m}^2}$. Andre grep en kan ta for å bedre inneklimate er å benytte inventar som ikke gir i fra seg skadelige avgasser. Lufte man ut når en forlater hytta kan en også unngå at den varme fuktige luften kondenserer når man har dratt. Temperaturvariasjoner i ubebodde perioder kan også gi kondensproblemer, noe som kan løses med lufteventiler eller andre

typer ventiler. Disse temperatursvingningene kan også modereres med en stor termisk masse slik det er i indre sone i vedkommende oppgave.

Et Honda eu10i kjørt på *eco mode* (25 %) vil som tidligere nevnt bruke $0.28 \frac{l \text{ bensin}}{\text{time}}$. Antar man at gjennomsnittet av bensinen inneholder oktan får man en forbrenningsreaksjon tilsvarende den i ligning 4.6. Denne forbrenningen vil ha et luftbehov på $6.95 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$. TEK 10-kravet på $0.7 \frac{m^3/h}{m^2}$ blir for indre sone $1.215 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$.

Fra ligning 4.3 for forbrenningsreaksjonen til trepellets kan en finne luftmengden som behøves. Med en energitetthet på $4.8 \frac{kg}{kWh}$, effekt på 2.5 kW, virkningsgrad på $\eta = 85\%$ og en lufttetthet ved $15^\circ C$ på $\rho = 1.225 \frac{kg}{m^3}$, blir det et luftbehov på $8.28 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$.

Brenselcellen Efoy Comfort 210 har et forbruk på $0.095 \frac{l}{h}$. Fra reaksjonsligningen 4.7 finner en at det er behov for $6.43 \frac{kg \text{ luft}}{kg \text{ metanol}}$, med tettheten til metanol på $0.79 \frac{kg}{l}$, og luft som nevnt i forrige avsnitt får en til slutt et behov på $1.09 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$.

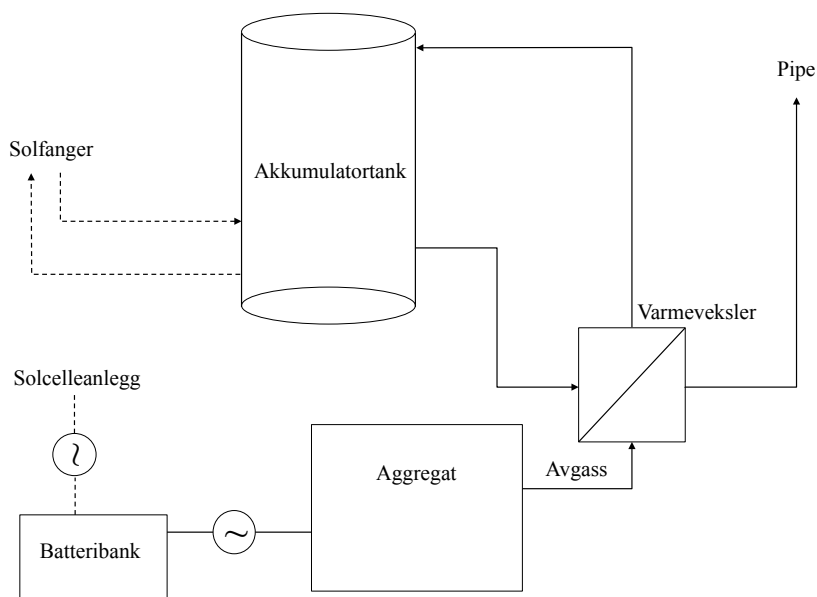
Tabell 5.3: Luftbehov ved forbrenning

Oppvarmingskilde	Luftbehov [$\frac{m^3}{s}$]
Brenselcelleaggregat – 250 W_{el} (<i>eco mode</i>)	1.09×10^{-4}
Bensinaggregat – 105 W_{el}	6.95×10^{-4}
Pelletsovn – 2500 W_{varme}	8.28×10^{-4}

I tabell 5.3 ser en oversikt over luftbehovet til de ulike oppvarmingskildene. Det er ikke store mengder frisk luft som skal til, men det er behov for ventilasjon i tillegg til infiltrasjonen som er satt. I de fleste hytter er det en pipe og en kan tenke seg at avgassen kan ledes ut gjennom et rør i pipen. For å unngå trekk når oppvarmingskilden ikke er i bruk bør det være et vippelekk på pipen som stenges. På samme måte kan det være et rør inne i pipa til frisklufttilførsel med et vippe lokk som også kan åpnes/lukkes ettersom oppvarmingskilden er på/av. Det er viktig at inntaket da er lavere og bort fra avgass røret slik at ikke noen avgasser blir trukket inn.

5.2.7 Varmevexling og varmelagring

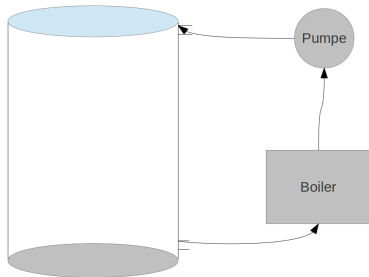
Siden flere oppvarmingsløsninger gir for høy effekt i forhold hva som er nødvendig i et lite rom som indre sone, gjelder det å ha en termisk masse som raskt kan ta imot varmen og la den "sive ut" i etterkant. En varmtvannstank tilkoblet en motstrøms gass/væske varmeveksler kan ta imot denne varmen og gi den fra seg når varmekilden har slått seg av. I figur 5.5 er det vist hvordan det kan se ut. Solcelleanlegg og solfanger kan også kombineres med en slik løsning, alt etter behov og økonomi.



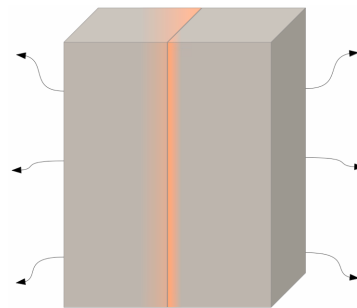
Figur 5.5: Tenkt oppsett med varmvexling av røykgassen til et aggregat. Kan enten drives sammen med solcellepanel eller solfangeranlegg.

Varmevexleren trenger ikke ha noe lite areal i og med at det ikke er noe arealmangel i indre sone. En radiator med vifte fra en bil kan for eksempel fungere som en varmeveksler. Hvis radiatordelen er koblet til varmtvannstanken og røykgassen viftes over denne vil vi kunne få varmet opp vannet i tanken relativt effektivt. Her er det behov for en liten pumpe til å drive vannet rundt i tillegg til viften. Disse trenger litt strøm, noe som enten kan komme fra kogenerasjon fra bensin eller brenselcelleaggregat eller et solcellepanel.

For å øke virkningsgraden kan en bruke en kondenserende kjel som kan ta ut den latente varmen til vanddampen som skapes i forbrenningsreaksjonen. I Danmark er gassfyrte kondenserende kjeler blitt vanlig ettersom energiprisene har steget og etterspørselen etter høy virkningsgrad øker. Grunnen til at det kondensator brukes på gasskjeler er at disse avgassene ikke inneholder svovel, som kan danne svovelsyre i kontakt med vanddamp og vann. Svovelsyren er korroderende og kan ødelegge varmeveksleren. Disse kjelene utnytter energien i drivstoffet godt og kan ha virkningsgrad over 90 % av øvre brennverdi [102]. Varmtvann oppvarmes gjerne til 60 – 70°C for å unngå legionella [46] og da blir ikke det fulle potensialet til en slik kjel utnyttet. Men har en vannbåren varme eller oppvarmingsformål slik om i denne oppgaven kan en ta ut enda mer varme fra avgassene og få høyere virkningsgrad.



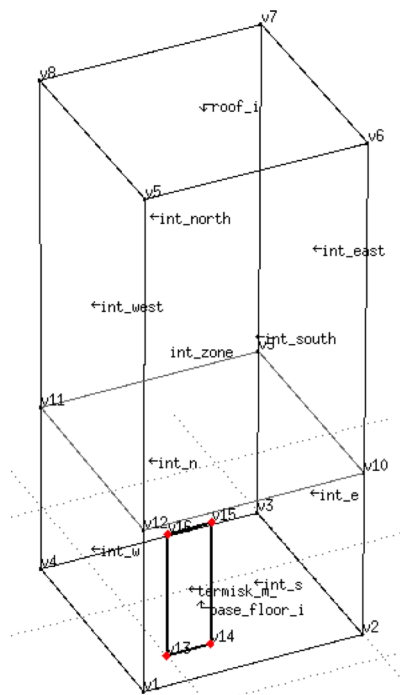
Figur 5.6: Oppsett for varmtvannstank forsøkt simulert i ESP-r.



Figur 5.7: Oppsett for termisk masse simulert i ESP-r ved hjelp av en tykk vegg. Pilene angir de to sidene som avgir varme.

Fordelen med en slik kjel er å få drenert ut fuktigheten her, slik at den ikke kondenseres ut et annet sted i pipen. Samtidig får en frigjort latent varme som bidrar til at en kan få ut mer energi enn hva nedre brennverdi vil tilsi. Derimot vil det være fare for svovel fra både bensinaggregat og pelletsovn. I bensin og diesel er det krav om at det skal være under 50 ppm svovel [53]. I trepellets er det mindre enn 0.01 % altså < 100 ppm [74]. Disse små mengdene svovel i tillegg til lav effekt på oppvarmingskildene vil nok ikke gjøre stor skade, men de kan korte ned levetiden på varmeveksler og tilhørende rør.

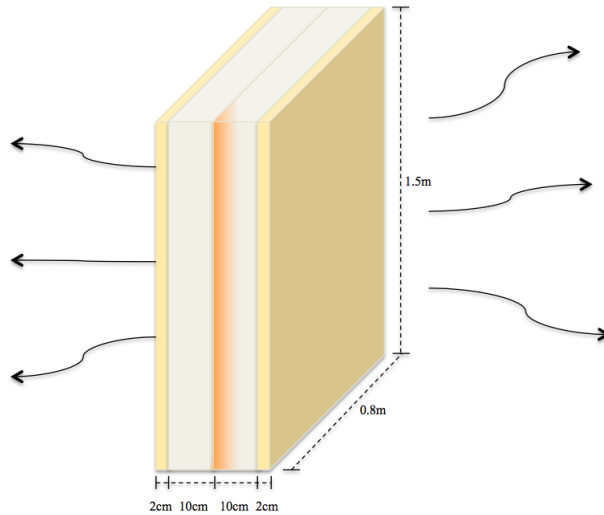
Avgass fra en Ottomotor har gjerne temperatur rundt 700°C – 900°C [81]. Mye av denne varmen går til å varme motoren og de nærliggende delene. Det har tidligere blitt antatt/anslått at 50% av varmen fra forbrenningen forsvinner ut med røykgassen og til oppvarming av tilluft. Temperaturen på 700°C – 900°C



Figur 5.8: Stående vegg markert i indre sone i ESP-r.

er rett etter forbrenningen og temperaturen vil synke betraktelig før den når eksosrøret. Mye av varmen vil sitte igjen i motorblokken og sive ut som et kortvarig varmelager når motoren er avslått. Temperaturen på røygassen fra et lite bensinaggregat er vanskelig å anslå, men det er ofte slik at en kan holde hånden i eksosen etter den kommer ut av lydtemperen. Når en vet eksostemperaturen kan en utifra tidligere nevnte reaksjonsligninger finne kjemisk sammensetning og eksosmengde. Sammen med den spesifikke varmekapasiteten til røygassen kan varmeeffekten til varmeveksleren beregnes utifra hvilken temperatur røygassen sendes ut av hytta med. I kondenserende gasskjeler senkes avgass-temperaturen ned til 20 – 40°C, det vil øke den totale virkningsgraden.

Det ble forsøkt å sette opp et veldig enkelt oppsett med varmtvannstank, kjel og pumpe som vist i figur 5.6 i ESP-r. Dette ville ikke fungere, simuleringen kortsluttet uten feilmeldinger når den ble kjørt. Det er usikkert om dette i det hele tatt fungerer i denne versjon 12.0 av ESP-r, så det ble forkastet. I samme versjon av ESP-r har både Løge og Auråen slitt med å få *plant*-funksjonen til



Figur 5.9: Termisk masse med 2cm glassull-isolasjon. Pilene viser hvilke flater som avgir varme.

å fungere [9, 80]. Løge antyder i sin masteroppgave at siden det er et program med åpen kildekode er det vanskelig å holde kontroll på feil, og det finnes mange eksempler på såkalte *hidden dragons* som kan tukle med systemet. Når det i tillegg er veldig få som bruker disse funksjonene er det lite dokumentasjon og litteratur å finne som kan hjelpe feilsøkingen.

Det ble derfor forsøkt en enklere tilnærming med en *hanging surface*, en stående skillevegg, med tilnærmede like termiske egenskaper som en varmtvannstank. De termiske egenskapene til den termiske massen er gitt i tabell 5.4. Som en ser av figur 5.7 varmer ESP-r opp flatene på de to veggelementene som står inntil hverandre. Det er ønskelig å lage en rektangulær kloss med overflateareal og volum lignende en sylindrerformet varmtvannstank. Derfor ble det først konstruert en termisk masse med formen vist i figur 5.7. Problemet med denne utformingen er at ESP-r bare regner denne stående veggen med to overflater som veksler varme vist med piler i figur 5.7. I figur 5.8 ser en hvordan den stående skilleveggen ser ut i ESP-r. For å få bedre simuleringsresultater må overflaten av disse to sidene tilsvare overflatearealet av en varmtvannstank. Derfor ble den termiske massen konstruert flatere slik at forholdet mellom arealet av varmevekslende overflate og volum kunne stemme overens med en sylindrisk varmtvannstank. I figur 5.9 ser vi hvordan dette vil se ut. Her er det også lagt på et tynt lagt isolasjon slik det er vanlig å ha på varmtvannstanker. Som en ser i både figur 5.7

Tabell 5.4: Den termiske massen av betong har fått følgende fysiske egenskaper for å tilnærme oppførselen til en varmtvannstank.

Varmekapasitet [$\frac{J}{kgK}$]	Tetthet [$\frac{g}{m^3}$]	Konduktivitet [$\frac{W}{mK}$]	Emissivitet, ϵ	Absorpsjon, α
2110	1000	0.5	0.8	0.9

og 5.9 tilføres varmen i ESP-r over mellom på den ene overflaten mellom de to veggelementene den termiske massen består av.

Veggene i indre sone er også tiltenkt en rolle som termisk masse, men disse tar lang tid å varme opp. Derfor klarer de ikke å ta imot alt for mye varme i den perioden oppvarmingskilden står på. Oppvarmingsløsningene som er foreslått i kapittel 3 har jevnt over for stor effekt for indre sone og de tunge betongveggene får ikke ut sitt potensiale som termisk masse.

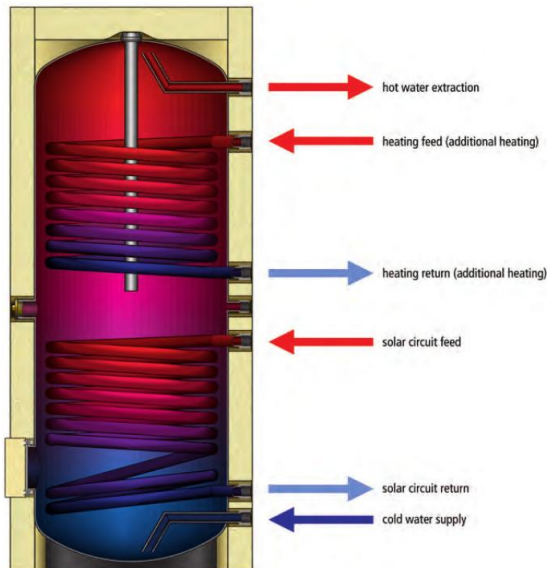
Simuleringen med oppvarming av en termisk masse vil gi en mer reel simulering siden selv uten varmelagring via en varmtvannstank vil de oppvarmingsløsningene som er nevnt her (*bensinaggregat, pelletsovn og brenselcelleaggregat*) gi en del strålingsvarme.

$$q'' = \epsilon\sigma(T_s^4 - T_{sur}^4) \quad \left[\frac{W}{m^2}\right] \quad (5.3)$$

Ut i fra ligning 5.3 kan en finne ut hvor mye varme som stråles fra enten oppvarmingskilden eller varmelageret. Strålingsvarmen er avhengig av overflate-temperaturen til den termiske massen opphøyd i fjerde. Derfor vil det gi stor forskjell i mengde stråling fra varmtvannstanken om den er dekket av isolasjon eller ikke.

Som nevnt tidligere er det usikkert om det er ideelt å la brenselcelleaggregatet Efoy Comfort 210 kjøres inne i indre sone uten ekstra ventilasjon. Derimot kan røykgassen varmeveksles og vanddampen kondenseres ut for å dra nytte av den latente varmen. Siden aggregatet kjøres på ren metanol vil det ikke oppstå problemer med svovel i eksosen/varmeveksleren. Derfor har det her blitt simulert med at det er mulig å få ut 100% av varmen utifra nedre brennverdi til metanol. For Efoy Comfort 210 vil det bli om lag 300W.

En varmtvannstank, som vist figur 5.10, kan kombineres med et solfangeranlegg. I tidligere oppgaver har det blitt simulert med et rent solfangeranlegg for å holde hytta frostfri. Dette er vanskelig å få til på grunn av den lave innstrålingen sola gir om vinteren. Om sommeren derimot er et slikt anlegg kapabelt til å levere varmtvann til en husholdning. I sin masteroppgave måtte Løge justere de



Figur 5.10: Akkumulatortank med koblinger for solfanger og tilleggsvarmer [114]

termiske egenskapene til betongen for å klare å holde 3°C i indre sone gjennom vinteren. Børset måtte bruke et solfangerareal på 9.6 m^2 i tillegg til en akkumulatortank på 2000 l.

I en hytte med sanitæranlegg er det nærliggende å anta at det finnes en varmtvannstank eller at det er behov for det i en ny hytte som settes opp. Skal en få varmevekslet avgasser slik det foreslås her, må det være nok stusser slik at en kan koble på varmeveksleren og få sjiktet de ulike lagene slik det er vist i 5.10. I simuleringen i ESP-r med en stående vegg som termisk masse vil varmen fordele seg annerledes enn i en varmtvannstank. ESP-r fordeler all varmen jevnt over flaten mellom de to veggelementene og derfra vil den spre seg utover via konduksjon. Som vist i figur 5.10 vil det kalde vannet i en akkumulatortank legge langs bunnen og det varme vannet som har lavere tetthet vil stige oppover. I tillegg vil varmen fordele seg jevnere på grunn av omrøring kontra ren konduksjon i den stående veggen, og overflatetemperaturen vil bli høyere på toppen. Det kan tenkes at dette medfører noe mer varmetap fra en slik tank, men i denne oppgaven er det viktigst å demonstrere at konseptet vil ha sin hensikt.

Kapittel 6

Livssyklusanalyse

6.1 Introduksjon

Med de miljømessige utfordringene dagens samfunn står ovenfor blir det stadig viktigere å finne de mest bærekraftige valgene for fremtiden. Livssyklusanalyse (LCA) er et godt verktøy for å identifisere de miljømessige konsekvensene av teknologiske valg og investeringer.

6.1.1 LCA

En livssyklusanalyse kan gi resultater om en mengde forskjellige typer utslipp og miljøskader. I denne rapporten har det kun blitt fokusert på klimagassutslipp, målt i *kg CO₂ ekvivalenter*, som bidrar til økt global oppvarming. Det er her brukt Arda 17.0 med Ecoinvent v2.2 bakgrunnsdatabase og resultatene er vurdert etter *midpoint hierarchial ReCiPe method*. Å senke klimagassutslippene er en av de viktigste globale utfordringene og her spiller energibruk i bygninger en viktig rolle.

Mer lokale utslipp som giftige gasser og forsurening av nedbøren er det ikke tatt hensyn til i denne oppgaven da det er snakk om utslipp langt utenfor tettbebygde områder. Dette er problemstillinger en dypere analyse kunne ha tatt for seg. For eksempel vil en pelletsovn gi mindre aske en vanlig vedovn, og nyere mer rentbrennende ovner gir mindre farlige gasser som kullos.

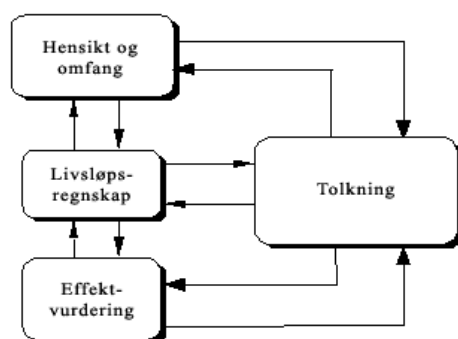
Livssyklusanalyse kan brukes til produktutvikling og markedsføring. Det finnes derfor ulike standarder slik som ISO 14040, som fastlegger prinsipper og rammer for en livssyklusanalyse. En livssyklusanalyse etter ISO 14040 standarden, som er benyttet her, består av følgende ledd:

- *Hensikt og omfang*
- *Inventaranalyse (LCI - Lifecycle inventory analysis)*
- *Effektvurdering (LCIA - Lifecycle impact assessment)*
- *Tolkning av LCA-resultater*

Ifigur 6.1 ser en hvor viktig fortløpene tolkning av prosessene er for å oppnå gode resultater i en livssyklusanalyse.

Hensikt og omfang

Det er nesten ubegrenset hvor omfattende en livssyklusanalyse kan gjøres. Derfor er det viktig å starte med å definere formålet med analysen, altså hvilket



Figur 6.1: De ulike trinnene i en livssyklusanalyse etter ISO14040-standarden [100].

aspekt av prosessen eller produktet som skal vurderes. Deretter må analysen avgrenses iforhold til omfang og produktets levetid for å oppnå gode og sammenlignbare resultater.

Når man snakker om ulike tidsperspektiv av produktets levetid er gjerne følgende uttrykk brukt:

- *Cradle to gate*
- *Cradle to grave*
- *Cradle to cradle*

Cradle to gate vurderer prosessen fra råvarene blir utvinnet og fremstilt, bearbejdet i ulike ledd, til produktet er klart til å leveres til forbruker. *Cradle to grave* vurderer prosessen fra råvarene blir fremstilt, gjennom dets levetid, til det blir avfall. *Cradle to cradle* er en type *Cradle to grave*-analyse som inkluderer den positive effekten resirkulering kan ha for miljøet etter produktets levetid.

Målet for denne livssyklusanalysen er å sammenligne klimagassutslipp forbundet med de ulike løsningene som er foreslått. Delvis på grunnlag av tidligere studier og delvis egne beregninger og tilpasninger. Som definert i oppgavebeskrivelsen vil levetiden for hytta være satt til 60 år. De ulike energi- og oppvarmingskildene vil dermed vurderes for samme tidsperiode. Analysen vil i hovedsak være en *Cradle to grave*-analyse ettersom resirkulering varier lokalt samt det er vanskelig å finne gode kilder på. Det ville ha blitt mange antagelser og større usikkerhet festet til resultatene. Derimot vil resirkulering redusere totale utslipp, og det kan forandre forholdet i utslipp mellom de ulike løsningene.

De ulike energikildene og lagringsløsningene som er analysert er:

- Solcellepanel
- Batteri
- Aggregat
- Pelletsovn
- Brenselcelle

Funksjonell enhet for denne oppgaven må kunne sammenligne de ulike oppvarmingsløsningene uavhengig av funksjon. Derfor er utslipp per MJ eller kWh varme levert et godt utgangspunkt. Dette vil derimot gi utfordringer med å sammenligne løsningene som har utslipp under bruk mot de som ikke har det. Derfor ble funksjonell enhet satt til utslipp per enhet levert samt 400 kWh levert hvert år i levetiden til hytta på 60 år.

Inventar analyse

Inventardataene for et produkt er “oppskriften” som tar for seg alle “ingrediensene” som blir benyttet og deres ressursbruk og belastning av miljøet. Utfordringen for denne analysen er at disse inventardataene kan være utfordrende å innhente hvis en ikke har et samarbeid med produsenten.

Effektvurdering

Når en vurderer miljøbelastningene eller konsekvensene av et utslipp finnes det ulike vinklinger for å tolke resultatene. Tidsperspektivet vil være avgjørende for hvor langt frem i tid utslippet skal beregnes for. I livsskussanalyse er det vanlig å skille mellom tre tidsperspektiv ut ifra kulturelle teorier:

- *Individualist*: En *individualist* tar kun hensyn til de konsekvenser som påvirker en selv og har bare interesser på kort sikt. Her er tidsperspektivet for GWP 20 år.
- *Egalitarian*: En *egalitarian* baserer seg på føre-var-prinsippet og bruker det lengste perspektivet. Her er tidsperspektivet for GWP 500 år.
- *Hierarchist*: En *hierarchist* har et perspektiv mellom de to andre, dette er den mest vanlige brukt i forskning og ofte ansett for å være standard-modellen. Her er tidsperspektivet for GWP 100 år

En skiller også konsekvens-indikatorene på hvilket nivå de legger seg. En *midpoint impact category* gjør en problemorientert tilnærming, det vil si den omformer utslipp til miljøtemaer slik som klimaendringer. Mens en *endpoint impact*

category gjør en mer skade-orientert tilnærming, slik som menneskers helse på grunn av klimaendringer.

I denne analysen er utslippene blitt vurdert utifra en midpoint impact category, med et *hierarchist* tidsperspektiv på 100 år. Som vi ser i figur 6.2 varierer nedbrytningstiden for klimagassene CO_2 , N_2O og CH_4 i atmosfæren. I tillegg har de ulike gassene ulike strålingspådriv, som avgjør hvor stor drivhuseffekt de gir. Derfor vil GWP-faktoren variere ut ifra hvilket tidsperspektiv en benytter seg av og i figuren er de tre ulike tidsperspektivene (TH) markert med grønn striplet linje.

$$GWP_{x,T} = \frac{\int_0^T \alpha_x \times [x(t)] dt}{\int_0^T \alpha_r \times [r(t)] dt} \quad (6.1)$$

α_x = Strålingspådriv-effektivitet for x [$\frac{W/m^2}{kg}$]

α_r = Strålingspådriv-effektivitet for r [$\frac{W/m^2}{kg}$]

$x(t)$: Konsentrasjon av utslipp x som funksjon av tid

$r(t)$: Konsentrasjon av utslipp r som funksjon av tid

T : Totalt tidsperspektiv

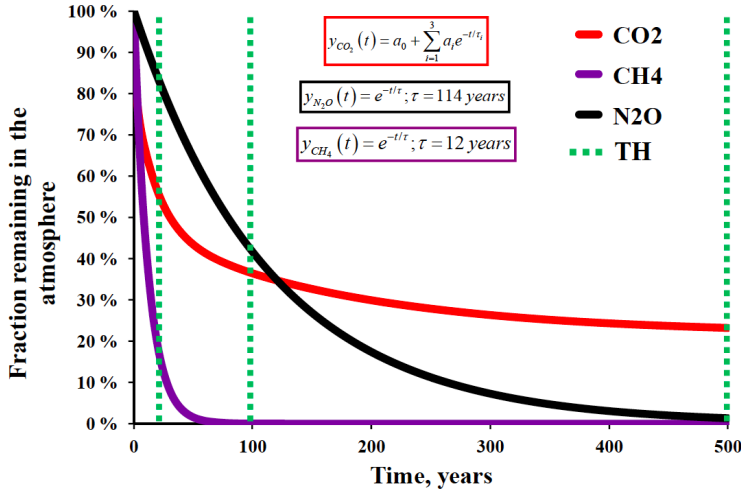
I ligning 6.1 ser vi hvordan GWP-faktoren blir regnet ut. r er referanse-substansen, i dette tilfellet CO_2 . Strålingspådrivet er hvor mye substansen påvirker netto irradians, differansen mellom inngående solstråling og utgående solstråling. Som en ser av tabell 6.1 får en med et *hierarchist*-tidsperspektiv på 100 år følgende GWP-faktorer: $CO_2=1$, $CH_4=25$, $N_2O=298$.

Tabell 6.1: GWP-faktorer for ulike tidsperspektiv

Stoff	20 år	100 år	500 år
CO_2	1.00	1.00	1.00
CH_4	72	25	7.6
N_2O	289	298	153

6.1.2 Arda 17.0

I denne oppgaven ble det valgt å gjøre en livssyklusanalyse med simuleringprogrammet Arda. Arda er en LCA-software utviklet på NTNU som gjør beregninger i Matlab. I sin masteroppgave i 2010 brukte Bratteberg SimaPro til LCA-beregninger [18]. SimaPro er mer viden kjent og har et enklere brukergrensesnitt, men siden lisensen er såpass ustabil ble Arda valgt i vedkommende



Figur 6.2: Konsentrasjon i prosent fra et utslipp av CO_2 , N_2O og CH_4 over tid [22]

oppgave. Arda hadde forfatter også kjennskap til fra før av, og beregningene herfra blir like gode som med SimaPro da det brukes samme database.

6.2 Litteraturanalyse og beregninger

6.2.1 Solcellepanel

I en meta-studie av Nugent og Sovacool basert på 153 tidligere studier ble det funnet et gjennomsnittlig utslipp på $49.9 \frac{\text{g } CO_2 \text{ eq}}{\text{kWh}}$ over livsløpet til et solcellepanel [88]. De største kildene til klimagassutslipp er elektrisitetsmiksen ved produksjon og fremstillingen av silisium. Det snittet er tatt over ulike typer solcellepanel fra de mest relevante studiene. I tabell 6.2 er det tatt et gjennomsnitt av resultatene fra denne studien for multikrystalinske silisiumpaneler. Deretter er det beregnet et totalt utslipp for *cradle-to-gate*.

Hvis en tar utgangspunkt i et panel med $170 W_p$ på $1.3 m^2$ får en en et utslipp på $351.1 \text{ kg } CO_2 \text{ eq}$ [66]. I tillegg kommer frakt med lastebil på 3000 km fra Sør-Europa med et utslipp på $8.7 \text{ kg } CO_2 \text{ eq}$. Totalt blir det $359.8 \text{ kg } CO_2 \text{ eq}$ for et slikt panel.

Tabell 6.2: Sammeligning av ulike LCA-studier på multikrytalinske silisium solcellepanel [88]

Referanse	Årlig innstråling [kWh/m ²]	Virkningsgrad [%]	Estimat [$\frac{g CO_2 eq}{kWh}$]	Levetid [år]	Beregnet totalt utslipp [$\frac{kg CO_2 eq}{m^2}$]
Alsema, 2006 [3]	1700	13.2	32	30	215.4
Beylot, 2014 [13]	1700	14	53.5	30	382.0
de Wild-Scholten, 2006 [27]	1700	13.2	38	30	255.8
Ftenakis, 2006 [54]	1700	13.2	37	30	249.1
Glockner, 2008 [62]	1700	13.2	30	30	202.0
Hsu, 2012 [65]	1700	13.2	47	30	316.4
Gjennomsnitt					270.1

6.2.2 Batterier

Sullivan og Gaines gjorde i 2010 en LCA av ulike batterier for å finne deres klimagassutslipp i et *cradle-to-gate*-perspektiv [122]. I tabell 6.3 ser vi at Lithium-ionebatterier har nesten fire ganger så mye klimagassutslipp forbundet til produksjon.

Lithium-baserte batterier krever mest energi i produksjonen og har de største klimagassutslippene forbundet med seg. Disse tåler derimot flere utladninger og har større lagringskapasitet per volum og vekt. På en annen side er de fire ganger dyrere enn bly-baserte batterier [12].

Som vi ser av tabell 6.4 har et batteri på 290Ah et utslipp på 197.7 kg CO₂ eq. Et slikt batteri kan lagre 3.48 kWh.

Tabell 6.3: Gjennomsnitt av studier gjort på utslipp forbundet med *cradle-to-gate* på bly-baserte og Li-ion batterier [122]. For å regne GWP er det brukt en faktor på 25 for CH₄ og 298 for N₂O.

Type batteri	Utslipp [$\frac{g}{kg_{batteri}}$] CH ₄ /N ₂ O/CO ₂	Beregnet totalt utslipp [$\frac{g CO_2 eq}{kg}$]	Utladninger/levetid
PbA	3.8/0.0/3,200	3,295	8-12 år
Li-ion	13.7/0.1/12,500	12,872	5000 sykluser

Tabell 6.4: Utslipp for ulike størrelser på batteribanken [122, 66]

Batterikapasitet [Ah]	Vekt [kg]	Beregnet totalt utslipp [kg CO ₂ eq]	Antatt levetid [år]	Utslipp over 60 år [kg CO ₂ eq]
140	32	105.44	10	632.64
170	38	125.21	10	751.26
290	65	197.7	10	1186.2
2 * 290	130	428.35	10	2570.1

6.2.3 Aggregat

Det er begrenset med litteratur som tar for seg livssyklusanalyse av aggregater til strømproduksjon for husholdninger. Fleck og Huot skrev en artikkel i 2008 hvor de sammenlignet et diesellaggregat mot en småskala vindturbin [45]. Her kom de frem til at et oppsett med en vindturbin kan redusere utslippet av klimagasser med 93 % i løpet av en levetid på 20 år. Da sammenlignet med strømproduksjon enestående av diesellaggregat.

I tabell 6.5 er det hentet inn inventardata for en analyse gjort i en masteroppgave om radiostasjoner uten nett-tilkobling [15]. Nedskaleres vi diesel-aggregatet på 500kg til et Honda eu10i på 13kg får vi tallene gitt i tabell 6.5. I tillegg gir EcoInvent-databasen at bensin levert i Europa har et utslipp på $0.058 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{liter bensin}}$ for produksjon og transport. Med et gjennomsnitt på oktan slipper støkiometrisk forbrenning av bensin ut $2.281 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{liter bensin}}$. Det gir totalt et utslipp på $2.34 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{liter bensin}}$ under kjøring av aggregatet.

I Arda ble det i tillegg til de skalerte inventardataene antatt strømforbruk på 3 kWh og varmebehov på 0.1 MJ under produksjon. Det ble også antatt en transport på 3000 km med lastebil. Dette gav et utslipp på $83.57 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{aggregat}}$.

Tabell 6.5: Inventaranalyse aggregat, skalert ned etter totalvekt

Materiale	Vekt[kg]	Nedskalert vekt[kg]
Aluminium	180	4.68
Kobber	25	0.65
Steel	300	7.8
Plastic	50	1.3
Effekt[W]	10 000	1000
Total vekt[kg]	500	13(Honda eu10i)

I EcoInvent har produksjon av bensin i Europa frem til lokal forhandler(*cradle-*

to-gate) et utslipp på $0.71 \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{kg}_{\text{bensin}}}$. Å brenne bensin gir et utslipp på $2.3 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{l}}$. Her er bare CO_2 tatt høyde for som klimagass, siden de andre klimagassene bare utgjør noen få prosenter av GWP (CH_4 , N_2O). Tar en med en nedre brennverdi på 9.1 kWh/l og en elektrisk virkningsgrad på Honda eu10i på 19.4% finner en et utslipp på $297.6 \frac{\text{g CO}_2 \text{ eq}}{\text{kWh}_{\text{el}}}$. I denne sammenheng er det tenkt at aggregatet skal gi kombinert varme og strøm generasjon. Alle tapene under drift er antatt som tilført varme, derfor kan man regne et utslipp under kogenerering på $57.7 \frac{\text{g CO}_2 \text{ eq}}{\text{kWh}_{\text{el+varme}}}$.

For å beregne utslipp forbundet med frostsikring kan en ta utgangspunkt i et oppvarmingsbehov på 400 kWh i løpet av vinteren. Regner en at et Honda eu10i leverer netto 1250 W (varme og strøm) under drift i *eco-mode* med forbruk på $0.28 \frac{\text{l}}{\text{h}}$ blir utslippet $0.63 \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{kWh}}$. Altså $253.16 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$ for et år eller $15,189.4 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$ for 60 år.

6.2.4 Brenselsceller

Pehnt gjorde i 2001 en LCA av PEFC (poly electrolyte fuel cell), hvor det globale oppvarmingspotensialet variert mellom $22\text{--}61 \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{kWh}_{\text{el}}}$ [104]. Dette avhenger av hvilken elektrisitetstype som blir brukt under produksjon og om det blir resirkulert metaller fra platina-gruppen.

Efoy komfort 210, som er nevnt i kapittel 4, er en DMFC, direct metanol fuel cell. Den har en *polymer membrane* mellom anoden og katoden. Denne membranen er laget av platina, et ressurskrevende metall å fremstille.

Tabell 6.6: Livsyklusanalyse brenselcelleaggregat, skalert ned etter totalvekt

Type aggregat	Nominell effekt [W]	Vekt [kg]	Utslipp produksjon [$\text{kg CO}_2 \text{ eq}$]	Utslipp transport [$\text{kg CO}_2 \text{ eq}$]	Totalt utslipp [$\text{kg CO}_2 \text{ eq}$]
EcoInvent, PEM fuel cell	2000	120	2318.74	41.87	2360.61
Efoy Comfort 210	105	8.5	164.24	2.97	165.21

Efoy komfort har mulighet for garanti i 5 år, levetiden til PEM brenselcellen er satt til 10 år. Derfor er det i denne oppgaven antatt en levetid på Efoy Comfort 210 på 10 år, uten noe mer vedlikehold enn å fylle på service fluid".

Ut i fra reaksjonsligningen til aggregatet i ligning 4.7, og tettheten til metanol på $790 \frac{\text{g}}{\text{l}}$, finner en et utslipp på 1085.14 g CO_2 per liter metanol brukt. I tillegg

har EcoInvent et utslipp til produksjon fra naturgass og transport på 211 g CO_2eq per liter metanol. Med et forbruk på 0.095 $\frac{l}{h}$ når det leverer 105W elektrisitet og 315W varme får en 0.293 $\frac{gCO_2}{kWh}$. For et årlig forbruk på 400 kWh blir det 117.27 kg CO_2 i året eller 7036.2 kg CO_2 på 60 år. Mye metanol blir produsert på Tjellbergodden i Norge og fraktet til Europa. EcoInvent har utslipp basert på metanol levert i Sveits, noe som blir feil i forhold til denne analysen her. Derimot har Eofy en egen metanol som brenselcellene kun kan benytte som drivstoff. Derfor kan EcoInvent sine tall være et godt beregningsgrunnlag siden Efoys veldig rene metanol mest sannsynlig blir importert til Norge.

6.2.5 Biobrensel

Det finnes få livssyklusanalyser i litteraturen på pelletsovner til privat bruk. I en studie gjort av Cespi og Passardi med flere sammenlignes en konvensjonell vedovn med en pelletsovn [21]. Pelletsovnen har en nominell effekt på 15 kW, med en total virkningsgrad på $\eta_{tot} = 64\%$ og levetid på 12-13 år. Inventaranalysen er gjengitt i tabell 6.7.

Tabell 6.7: Inventaranalyse 15kW pelletsovn [21] og skalert til 5kW 96kg tung ovn.

Materiale/prosess	Mengde[kg]	Skalert for 5kW ovn
Stål	500	91.6
Stålplater og ståltråd	5	0.92
Steinull	5	0.92
Aluminium	0.17	0.03
Støpejern	12	2.20
Polyetylene	1.2	0.22
Smøreolje	0.4	0.07
Sum	523.8	96

I denne studien ble ikke utslippene delt opp i andel fra henholdsvis produksjon, bruk og avhending. Derfor blir GWP100-verdien på 501.6 $\frac{gCO_2eq}{kWh}$ vanskelig å bruke når en ikke kan skalere ned de ulike prosessene til denne oppgaven. Artikkelforfatteren ble kontaktet uten å få svar og uten å finne mer detaljert inventar og bakgrunnsdata for denne studien.

Det ble således gjort en beregning i Arda 17.0 med de skalerte inventarverdiene, samt transport og energi til produksjon ble lagt til. Det ble antatt lastebiltransport fra fabrikken i Italia til østlandet i Norge (3000km). Energi til produksjonsprosesser, henholdsvis i form av varme og strøm er satt til 1 MJ og 5 kWh. *Cradle-to-gate* er det da forbundet 204.42 kg $CO_2 eq$. Her gir produksjon av stålet

(157.6 kg CO₂ eq, 77.1%) og transport (38.8 kg CO₂ eq, 19.0%) de største bidragene til det globale oppvarmingspotensialet (GWP100).

I artikkelen til Cespi og Passardi mfl. var det en antatt levetid på 12-13 år på pelletsovn [21]. På en hytte antas det her at bruken er mindre hyppig og at levetiden kan forlenges til 15 år. Det vil tilsi et utslipp over 60 år på 817.68 kg CO₂ eq. Da er ikke *end of life*-prosesser som resirkulering og avfallsbrenning tatt med.

Tabell 6.8: Utslipp for ulike driftsmodus av en 22kW pelletsovn, verdiene for CH₄ og CO er oppgitt per MJ levert

Effekt[kW]	Utslipp CO ₂ [%]	CH ₄ [mg]	CO [mg]
22	13	< 0.55	120
6	9.1	5.3	990
3	8.6	< 0.84	120

Når det gjelder bruk av ovnen og forbrenning av biomasse er det delte meninger om hvordan effekten fra utslippene skal beregnes. Argumentet for å regne biomasse som en karbonnøytral energikilde er at CO₂ innholdet i materialet vil sluppet ut i atmosfæren gjennom forråtnelse uansett. Nye planter som vokser opp samme sted vil kunne binde opp fra luften samme mengde CO₂ som forrige plante slapp ut ved forråtnelse eller forbrenning. Derimot kan denne omløpstiden være treg, med et *hierarchist* tidssyn på 100 år kan en GWP-faktor på 0.44 istedet for 0 være mer passende [19]. Det er i et område definert som *low productivity*, for tidsperspektiv på 20 og 500 år foreslår den samme studien en GWP-faktorer på henholdsvis 0.97 og 0.08. Til sammenligning har fossile brennstoff har en GWP-faktor på 1. For områder som er snødekte om vinteren må man i tillegg ta høyde for en økt albedo-effekt – altså vil en avskoget snødekt overflate reflektere mer av solas stråling og ha en kjølede effekt.

Johansson [74] har funnet utslipp for en pelletsovn vist i tabell 6.8. Vi ser der at en større pelletsovn har større prosentvis utslipp av CO₂ for maksimal effekt(22kW) enn for lavere effekter(6kW og 3kW). For CH₄ og CO er utslippet større ved lavere effekter per MJ varme levert. I denne livssyklusanalysen er det bare sett på utslipp av CO₂ fra pelletsovn, men det er interessant å se at hvordan utslippene varierer utifra ulike effekter.

I EcoInvent-databasen er forbrenning av tre-pellets definert med et utslipp på $55.2 \frac{\text{g CO}_2 \text{ eq}}{\text{kWh}_{\text{varme}}}$. Da er utslipp forbundet med produksjon av tre-pelletsen regnet med, men ikke utslipp under forbrenning. Med et årsforbruk på 400 kWh blir

det 22.06 kg CO₂ eq per år og 1323.3 kg CO₂ eq for 60 år. Her er det ikke medregnet noe transport av pelletsen da det er antatt at den kan produseres og leveres relativt lokalt i forhold til fossile brennstoff.

Ut ifra ligning 4.3 finner en at 1 kg pellet vil gi 1.763 kg CO₂. Med en brennverdi på 4.8 $\frac{kWh}{kg}$ og en virkningsgrad på $\eta = 85\%$ får en et CO₂-utslipp på 432.2 g per kWh varme levert. Bruker en da en GWP-faktor på 0.44 får en et utslipp på 190.17 $\frac{gCO_2}{kWh}$. Legger en da på utslipp forbundet med produksjon gir et årlig forbruk på 400 kWh, 98.12 kg CO₂ eq og 60 år 5887.4 kg CO₂ eq. Altså over en firedobling i globalt oppvarmingspotensiale.

6.2.6 Solfanger

Tabell 6.11 viser tall fra EcoInvent på utslipp forbundet med ulike solfangeroppsett. Dette er relativt store anlegg med varmtvannstanker, derfor har disse ikke blitt benyttet i denne analysen. Det er medregnet varmtvannsbereder på 204l samt varmelager på 1200 l. I "flat collector" er det ikke varmtvannsbereder, bare et 400 l varmelager.

Tabell 6.9: Utslipp for ulike solfangerløsninger

Oppsett	Solfangerareal[m ²]	Utslipp [kg CO ₂ eq]
Evacuated tube	10.5	2343.28
Flat collector	12.3	1323.36
Flat collector, combined	4	2749.59

Tabell 6.10: Utslipp for ulike størrelser av akkumulatortanker

Tankvolum [l]	Vekt [kg]	Utslipp [kg CO ₂ eq]	Transportutslipp [kg CO ₂ eq]	Totalt utslipp [kg CO ₂ eq]
400	271	624.51	94.80	719.31
600	283	650.53	98.75	749.28

I tabell 6.10 ser vi to eksempler på utslipp forbundet med akkumulatortanker ferdig levert i Norge. Disse er isolert og har nødvendige stusser for kunne sjikte lagene med vann som vist i figur 5.10.

I et solfangeranlegg med oppvarming av varmtvann er det naturlig med en akkumulatortank. I denne oppgaven er det antatt at dette finnes allerede koblet opp mot sanitæranlegget som skal holdes frostfritt.

I Løge sin masteroppgave ble det simulert med oppsett for solfangeranlegg

Tabell 6.11: Utslipp for ulike komponenter i et solfangeranlegg

Komponent	Vekt/mengde	Utslipp [$kg\ CO_2\ eq$]	Utslipp 60år [$kg\ CO_2\ eq$]
Vakuumsolfanger	2 m^2	180.9	434.16
Pumpe 40W	3.13 pr 25 år	21.77	52.25
Stålrør	8kg	69.41	166.58
Kobber	8kg	15.07	36.17
Transport	1800km	27.60	66.24
Totalt	79.1kg	314.75	755.4

og funnet at 2 m^2 eller 4 m^2 areal gjorde liten forskjell på hvor varmt det var i indre sone midt på vinteren [80]. Derfor er det vurdert et anlegg med 2 m^2 areal på selve fangeren.

6.2.7 Oversikt

Tabell 6.12: Oversikt over utslipp fra forskjellige energikilder funnet i litteraturen.

Energikilde	Type	Levetid[år]	Utslipp [$kgCO_2eq$]	Utslipp 60 år [$kgCO_2eq$]
Solcellemodul	1.3 m^2	30(Likeretter 15)	359.8	719.6
Batteri	290 Ah	10	197.7	1186.2
Aggregat	Honda eu10i	10	83.57	501.42
Brenselcelle	Efoy Comfort 210	10	165.21	991.28
Pelletsovn	Rosy 2.5kW-5kW	15	204.42	817.68
Solfanger	2 m^2	25	314.75	755.40
Akkumulatortank	400 l	25	719.31	1726.34
Akkumulatortank	600 l	25	749.28	1798.27

6.3 Livsløpskostnader

Kostnader er et viktig aspekt for mange, spesielt i en hytte som ikke blir mye anvendt. I mange sammenhenger der folk tar miljøvennlige valg er ofte økonomien hovedargumentet og miljødelen en bonus. Det er store forskjeller i pris på oppvarmingsløsninger for fritidsboliger både i investeringskostnad og driftskostnader. Dessuten kan tiltak som lønner seg i vanlige boliger få lang nedbetalingstid i fritidsboliger.

Solcellepanel

Enova har planer om å støtte solcellepanel til mindre private anlegg, men de avventer til prisene har sunket ytterligere [76]. I tillegg til at slike anlegg, koblet til nettet, kan selge strøm i ubebodde perioder, kan dette forkorte nedbetalingstiden.

Solcellemodulen er ikke den dyreste komponenten i solcellepanelet. Ser man på kostnadsstudien gjort av Multiconsult for Enova, er det 34.3 % av totalkostnaden [125]. Installasjon og andre komponenter står for 55.7 % av kostnaden. Vil en ha levert høyere effekt fra anlegget kan det dermed være lurt å vurdere en dyrere modul med høyere virkningsgrad, kontra en ekstra modul. Kostnaden til andre komponenter og montering vil være konstant. En dyrere og mer effektiv modul vil ikke dra totalprisen prosentvis så mye opp som et ekstra modul ville gjort. I samme studien beregnes prisen for solcelleanlegg i enebolig til å være 26 NOK per kW_p [42].

Ved bygging av hytte kan fasaden eller taket erstattes av innbygde paneler. Da kan kostnaden av ubenyttet yttervegg/tak trekkes fra materialkostnadene for bygget. Solcellepanel er selvfølgelig betydelig dyrere enn vanlig vegg eller tak, men det bidrar litt og er ofte en mer estetisk løsning enn panel utenpå fasaden.

Varmepumper har hatt en enorm vekst i Norge de siste årene. En årsak til veksten er at det i starten ble gitt gunstige subsidier som gjorde folket villige til å satse på denne teknologien. Når det gjelder solcelleanlegg har slike metoder hatt en kraftig vekst blant annet i Tyskland takket være gode statlige støtteordninger. I Norge derimot har vi foreløpig ingen slike ordninger, noe som resulterer i at prisene holdes oppe. Både solcelleanlegg og solvarmeanlegg i større skala blir nisjeprodukter, og det er ikke noe stort marked som presser prisene ned [133].

Sammenlignet med elektrisitet fra nettet er både solcelleanlegg og solfangeranlegg betydelig dyrere. Helt enkle solcelleanlegg som bare skal drifte leselys og

lignende kan koste under 10 000 kroner med batteri, vekselretter og regulator [67]. Jo flere solcellepanel og større batterikapasitet man trenger, desto dyrere blir det. Et solvarmeanlegg koster gjerne fra flere titalls tusen og oppover helt avhengig av om hvor stor varmelagringsstank og hvor mye rør man skal legge [11]. Vil man utvide kapasiteten ved å øke arealet til solfangermodulen er det ikke så dyrt relativt sett, det er elektronikken og varmelagringsbeholderen som drar opp totalprisen [10]. Levetiden til et solfangeranlegg i norske forhold er gjerne 30 år og det er lite vedlikehold å regne med [110]. Prisen avhenger av eksisterende varmeanlegg, men ligger fra 30 000 – 100 000 kroner ferdig montert [98].

Biobrensler og fossile brennstoff

Prisen på en pelletskamin ligger på fra 15 000 – 40 000 kroner [43]. Her kommer prisen på pellets i tillegg som ligger på rundt 77 øre per kWh levert (1000kg sekk fra Felleskjøpet, $\eta = 85\%$) [94].

Den mest økonomiske løsningen er et bensin- eller dieseldrevet aggregat. Disse koster gjerne fra fem tusen kroner og oppover, avhengig av kvalitet og kapasitet. Et 1 kW aggregat fra Honda koster 11 500 kroner, men da kommer elektronikk for automasjon og utvidelse av drivstofftank i tillegg [69]. Mindre aggregater kan også fungere. Et 650 W bensinaggregat kan fåes til 1500 kroner, da mer støyende og med to-takts motor [78]. Det er ikke den mest miljøvennlige løsningen, men ombygde motorer kan bli drevet på ren biodiesel. Aggregat krever som en vanlig forbrenningsmotor noe vedlikehold, men kan klare seg en hel vinter uten ettersyn.

Sesonglagring og batterier

Batterier varierer veldig i pris, for et 200 Ah 12 V batteri tilpasset solcelle anlegg koster det omtrent 5000 kroner [59]. Ved riktig bruk skal et slik batteri ha en levetid på 8-12 år [66]. Et 200 Ah 12 V batteri gir 2,4 kWh energi nok til å drive en varmpumpe på 600 W i 4 timer. For lagring av hydrogen ved hjelp av elektrolyse er teknologien fortsatt på forskningsstadiet og blir ikke vurdert videre i denne sammenheng.

6.3.1 Oversikt

Støtte fra Enova

For å bidra til at bygninger er energieffektive og bruker miljøvennlige energikilder har Enova en økonomisk støtteordning. Støtteordningen fra Enova til priva-

Tabell 6.13: Kostnadsanalyse av ulike typer anlegg for oppvarming og frostsikring

Type anlegg	Investerings- og installeringskostnad [NOK]	Støtte Enova [NOK]	fra	Drifts og vedlikeholdskostnader [NOK]	Drivstoffpris	Levetid [år]
Solcellepanel, med batterier og inverter	10 000 +	Nei		Lite	–	30
Solfangeranlegg med varmtvannstank	30 000 - 100 000	Ja, opptil 20 % (maks 10 000)	10	Lite	–	30
Pelletsovn	15 000 - 40 000	Nei		Service annethvert år	2,90 kr/kg	15
Bensinaggregat	10 000	Nei		Som en vanlig forbrenningsmotor	15.82 kr/l	10
Brenselcelleaggregat (metanol)	50 000	Nei		Lite	60 kr/l	10
Batteri	5000	Nei		Lite	–	8 – 12

te boliger gjelder også fritidsboliger [44]. Enova støtter solfangeranlegg i hytter samt vannbåret varmeanlegg i eksisterende bygg. Solfangeranlegg støttes med 20% av kostnaden oppad begrenset til 10 000 kroner [44]. I nye bygg støtter de kun sentralt styringssystem og solfangeranlegg. Tidligere hadde Enova støtteprogram for pellets-kamin, men det ble avsluttet. Ifølge Enova var en av grunnene manglende etterspørsel på slik støtte [101]. Tidligere støttet de alle tilfeller med varmpumpe, men i dag er støtten til varmpumpe begrenset til de tilfellene en skifter til vannbåren oppvarming i eksisterende bolig. Støtte til passivhus ble faset ut 15. november, men det kommer angivelig et nytt støtteprogram i 2014.

Økonomisk sammenligning

I tabell 6.13 ser vi en sammenligning av priseksempel for de mest egnede oppvarmingsløsningene og energikildene for denne hytta. Generelt er prisen for miljøvennlige oppvarmingsløsninger høy, men de fleste løsningene her er også overdimensjonert i forhold til å bare holde en indre sone frostfri. Prismessig er et lite aggregat den billigste løsningen.

Prisene i tabell 6.13 er på dagens nivå og kan endre seg i fremtiden. Solcellepanel har falt betraktelig i pris de siste tiårene og vil fortsette å falle i tillegg til at virkningsgraden blir stadig høyere.

Både solcellepanel og solfanger har en betydelig kostnad forbundet med montering og installasjon. Mindre solcelleanlegg på hytter kan riktignok monteres på

egenhånd. Større etterspørsel gjør at prisene faller. I Norge er solcellepanel 50% dyrere enn i Tyskland og 40% dyrere enn i Danmark [132]. I rapporten til Sørnes og Hauge kommer det frem at de fleste brukerne av private solfangeranlegg har slitt med å finne kompetanse og har dermed ofte montert anlegget selv [115].

Brenselcellen fra Efoy har en platinum-membran, noe som drar prisen opp. Siden Efoy brenselcellen er basert på et slikt kostbart metall vil prisen på den også holde seg forholdsvis stabil. Det er riktignok et nisjemarked foreløpig og kommer det flere konkurrenter kan prisene presses ned der og.

Batterier blir også stadig billigere, lithium-batterier har som nevnt høyere energikapasitet og tåler flere utladninger enn vanlige bly-baserte batterier. De er derimot rundt fire ganger dyrere [12].

Kapittel 7

Resultater

7.1 Resultater fra ESP-r

7.1.1 Isolasjonstykkelse

I prosjektoppgaven til undertegnede høsten 2013 ble det brukt samme hytte-modell som i tidligere studentoppgaver hvor ytterveggene på 15 cm edelgran skulle tilnærme en 6 tommers laftet yttervegg [80, 108]. Som nevnt tidligere ble ytterveggene i denne konkrete simuleringen bedre isolert for å komme under U-verdi kravene for vanlige yttervegger i TEK10 (se tabell 2.2). Som vi ser av tabell 7.1 er det en betydelig nedgang i oppvarmingsbehovet med isolerte vegger.

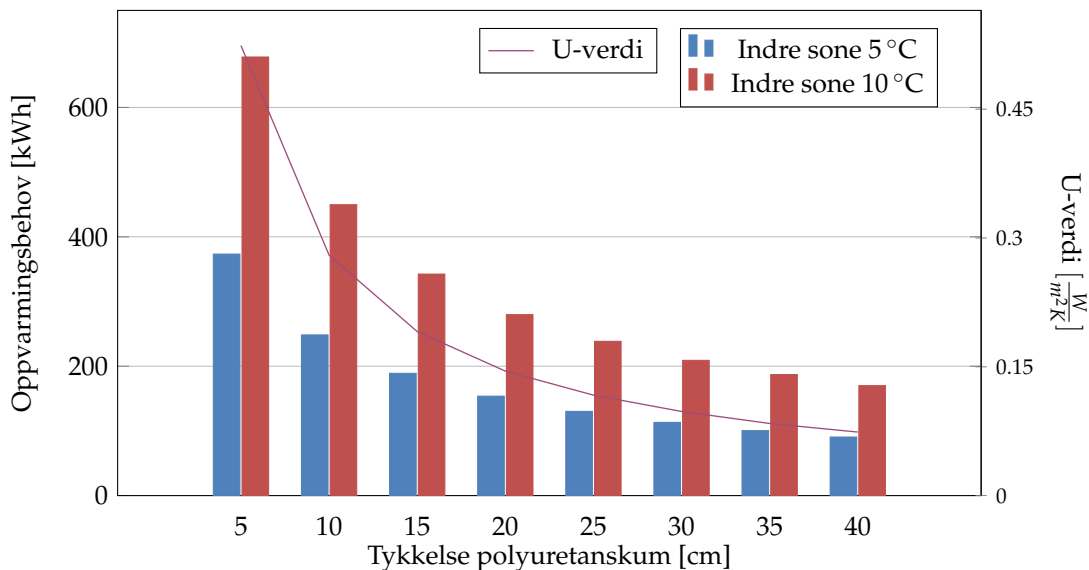
Tabell 7.1: Oppvarmingsbehov ved ulike isolasjonstykkelser på yttervegg

Konstruksjon	Tykkelse [mm]	U-verdi yttervegg [$\frac{W}{m^2K}$]	Oppvarmingsbehov for 10 °C i hele hytta [kWh]	Oppvarmingsbehov for 10 °C i indre sone [kWh]	Oppvarmingsbehov for 5 °C i indre sone [kWh]
Edelgran	150	0.806	4481	154.3	270.74
Edelgran Glassull	20 180	0.208	2083.6	203.73	104.33

Det ble også simulert med ulike tykkelser på isolasjonen av indre sone. Som vi ser av tabell 7.2 og figur 7.1 øker oppvarmingsbehovet eksponentielt med tynnere lag polyuretanskum. En kan se at det ikke er så mange kWh å spare på å legge tykkere isolasjon, mens oppvarmingsbehovet øker raskt hvis en reduserer isolasjonstykkelsen. Økt isolasjonsmengde reduserer bruksarealet i hytta og øker kostnader samt miljøpåvirkningen til bygningsmassen. I figur 7.1 ser vi at U-verdien følger samme trend som oppvarmingsbehovet, og øker raskt når isolasjonen blir tynn. Det stemmer med ligning 2.1 hvor varmetapet er lineært avhengig av U-verdien. 25 cm isolasjon anses som passende tykkelse på isolasjonen da dette er blitt benyttet i tidligere oppgave. Besparelsene i oppvarmingsbehov for isolasjonstykkelse utover dette er beskjedne.

Tabell 7.2: Oppvarmingsbehov ved ulike isolasjonstykkelser på indre sone

Isolasjonstykkelse [cm]	U-verdi indre sone [$\frac{W}{m^2K}$]	Oppvarmingsbehov for 10 °C i indre sone[kWh]	Oppvarmingsbehov for 5 °C i indre sone[kWh]
40	0.074	169.96	90.53
35	0.084	187.10	100.45
30	0.098	209.09	113.21
25	0.117	238.50	130.16
20	0.145	279.73	153.74
15	0.191	342.42	189.04
10	0.280	449.68	248.36
5	0.524	677.95	373.33



Figur 7.1: Oppvarmingsbehov gjennom et år for ulike isolasjonstykkelser

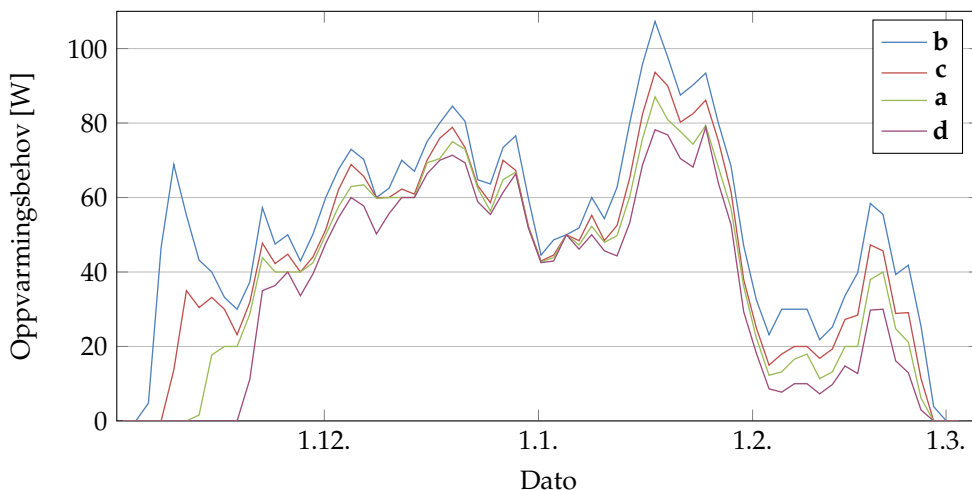
7.1.2 Ventilasjon og infiltrasjon

I en parameterstudie i for å sammenligne ulike infiltrasjonsmengder og yttervegger ble følgende oppsett simulert:

-
- a *Yttervegger i 6''luft*: Lufttett (samme som i prosjektoppgaven til undertegnede [108])
 - b *Isolerte yttervegger*: Infiltrasjon med samme utskiftning av lufta som kravet til ubebodde rom i TEK10 ($0.7 \frac{m^3}{h m^2}$)
 - c *Isolerte yttervegger*: 0.1 luftutskiftninger per time
 - d *Isolerte yttervegger*: Lufttett
-

I figur 7.2 er oppsettet a fra prosjektoppgaven det minst energiøkonomiske til tross for at ytterveggene er lufttette. En ser også at oppvarmingsbehovet stiger betydelig fra d (lufttett) til b ettersom infiltrasjonen øker. Videre i oppgaven har det blitt simulert med infiltrasjon ekvivalent med kravet i TEK 10 på $0.7 \frac{m^3}{h m^2}$.

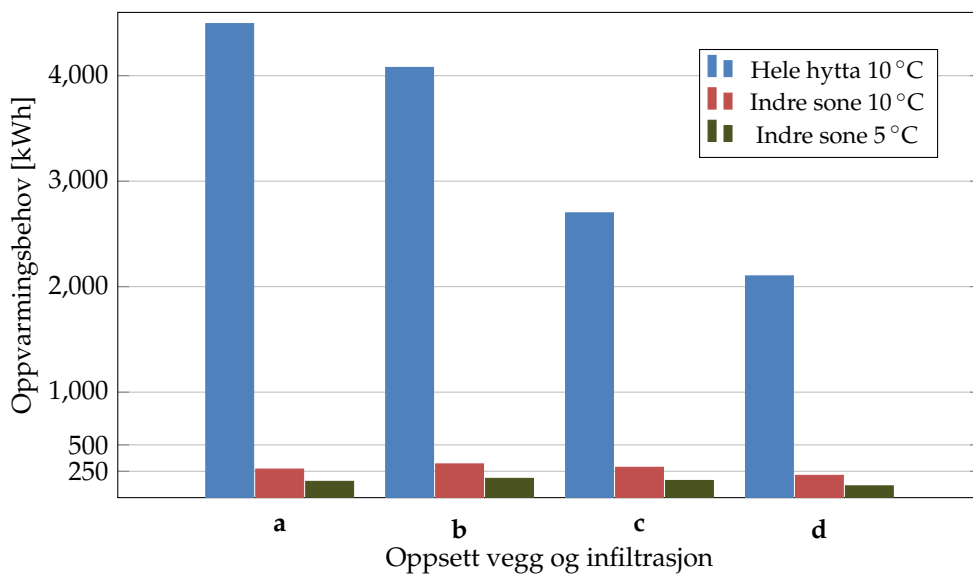
I figur 7.3 og 7.4 er forskjellene mellom de ulike oppsettene mindre. Oppvarmingsbehovet til indre sone er mindre påvirket av egenskapene til ytterveggene, og det er bare satt opp med infiltrasjon gjennom taket i indre sone. Veggene til indre sone er helt lufttette.



Figur 7.4: Oppvarming av indre sone med flytende effekt og termostattertemperatur på 5°C. Bokstavene angir de ulike oppsettene for yttervegger og infiltrasjon.

I tabell 7.3 ser vi at de maksimale effektene det er behov for i indre sone er relativt lave. Det er oppsett **b**, infiltrasjon på $0.7 \frac{m^3/h}{m^2}$, som krever høyest effekt for de indre sonene. Det er dog ikke behov for mer enn 150 W og 110 W for å holde henholdsvis 10°C og 5°C i indre sone. Som vi også så i figur 7.2, er det oppsett **a** som er mest energikrevende og som krever høyest maksimal oppvarmingseffekt når hele hytta skal varmes opp. Det er viktig å ha i bakhodet at disse oppvarmingseffektene er den marginale effekten det er behov for å holde de respektive termostattertemperaturene. Oppvarmingen i denne simuleringen skjer med direkte oppvarming av lufta med perfekt omrøring av lufta i sonen. Derfor kan to glødepærer på 60 W være litt knapt for å holde alle deler av indre sone på 5°C. I praksis vil noe av varmen stråles og varme opp veggene mer enn den direkte oppvarmingen av lufta her vil gjøre.

I figur 7.5 er de ulike oppvarmingsbehovet satt opp i et stolpediagram for å vise forskjellen mellom oppvarming av bare den indre sone og hele hytta. Som en kan se er oppvarmingsbehovet for å holde hele hytta på 10°C betraktelig mye høyere enn bare indre sone. Her er det simulert med en kontrollfunksjon i hver



Figur 7.5: Oppvarmingsbehov gjennom et år for forskjellige yttervegger og infiltrasjon

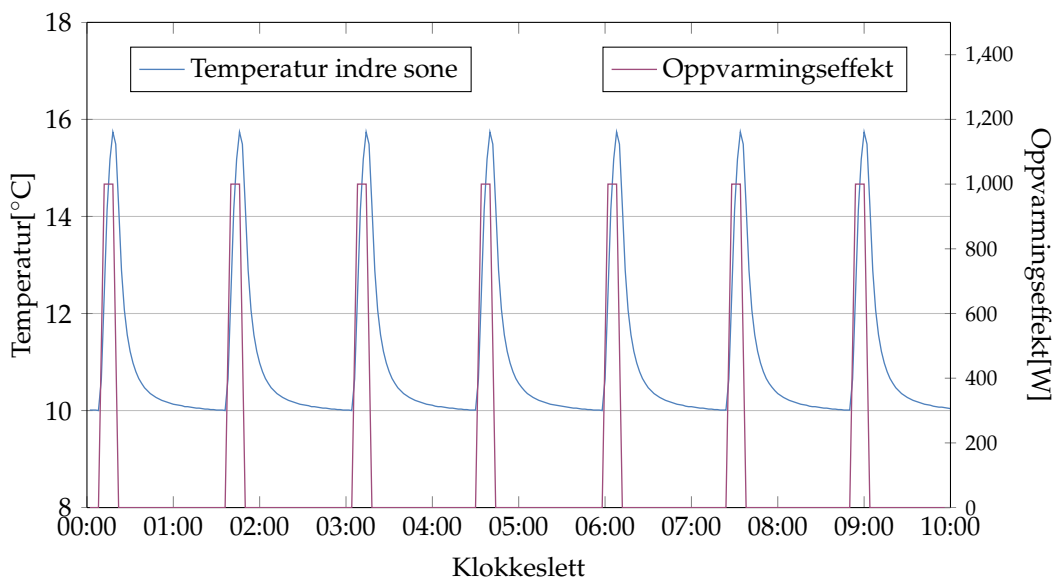
Tabell 7.3: Maksimale oppvarmingseffekter ved ulike yttervegger og infiltrasjonsmengder

Termostattemperatur [C]	Oppsett for vegg og infiltrasjon	Totalt oppvarmingsbehov[kWh]	Maksimal oppvarmingseffekt [W]
5 °C i indre sone	a	154.30	90
	b	182.69	110
	c	162.70	100
	d	111.67	80
10 °C i indre sone	a	270.74	120
	b	319.80	150
	c	288.10	130
	d	211.33	120
10 °C i hele hytta	a	4493.5	2780
	b	4078.1	2250
	c	2699.6	2140
	d	2102.0	1830

sone som leverer flytende effekt for å holde 10 °C. Dette vil simulere en hytte som har sanitærutstyr eller rør spredt rundt slik at alle rom må holdes frostfrie. Her ser en klart hvor energisparende en hyttemodellen med isolert indre sone er.

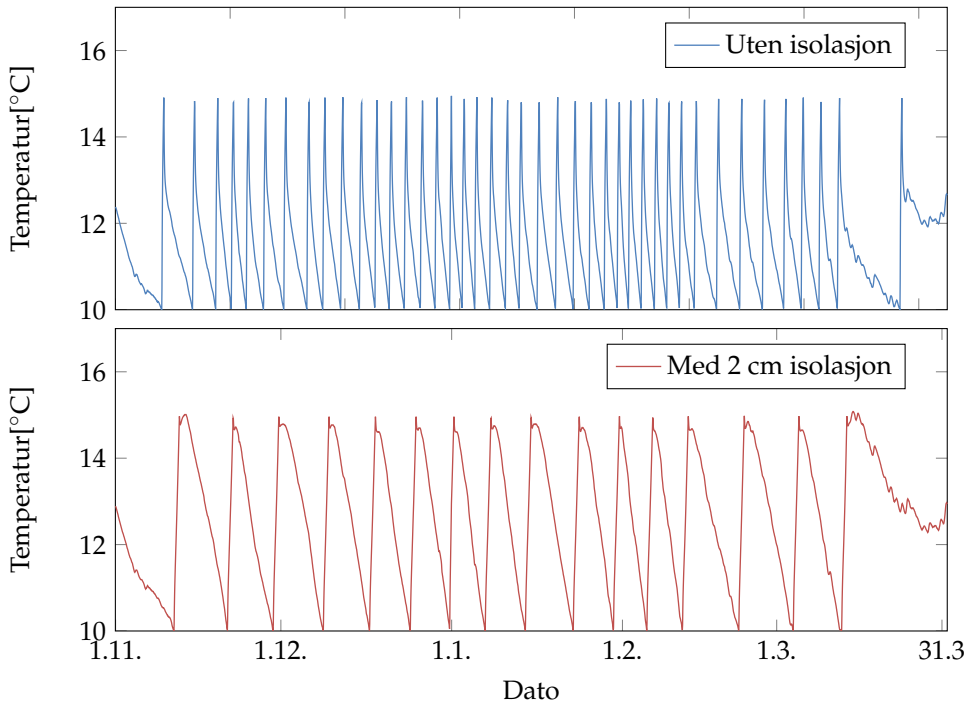
7.1.3 Kogenerasjon med bensinaggregat

Som nevnt i kapittel 4 kan et lite aggregat som Honda eu10i kjørt på lav effekt gi ifra seg rundt 1000 W varme. Derfor har det her først blitt simulert med en konstant effekt på 1000 W som skrur seg på når temperaturen når 10°C og av når den er 15°C.



Figur 7.6: Oppvarming med fast effekt på 1000 W som skrur seg på under 10°C, og skrur seg av over 15°C. Fra kl 00:00 til kl 10:00 1. januar.

Som vi ser av figur 7.6 må aggregatet slås av og på ofte for å holde 10°C i indre sone. For å jevne ut varmetapet over tid, vil det lønne seg å la røykgassen fra aggregatet varmeveksles med en varmtvannstank eller lignende termisk masse. Som nevnt tidligere kan tanken for en kortere periode fungere som et varmelager, mens den sakte gir ifra seg varme til omgivelsene.



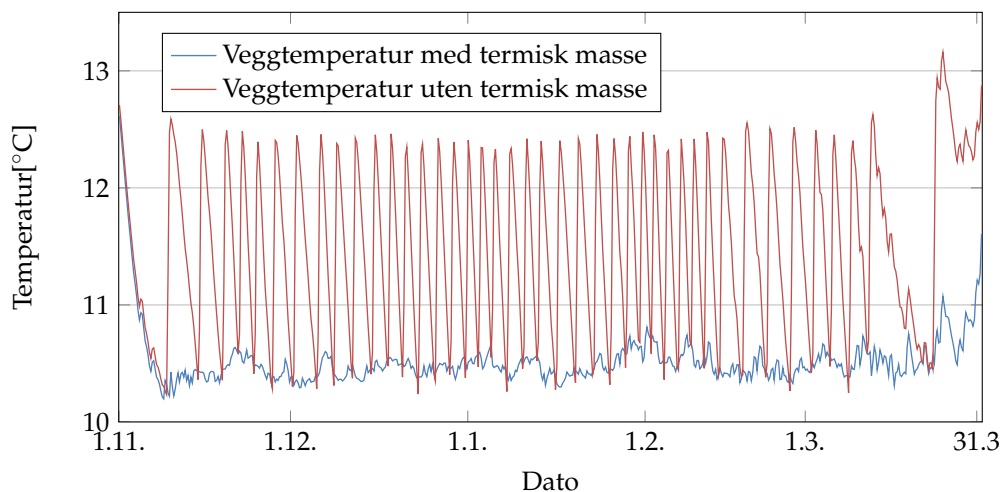
Figur 7.7: Øverst: Oppvarming av en termisk masse uten isolasjon med fast effekt på 1000 W som skruer seg på under 10°C , og skruer seg av over 15°C . Fra 1. november til 31. mars. Nederst: Oppvarming av en termisk masse uten isolasjon med fast effekt på 1000 W som skruer seg på under 10°C , og skruer seg av over 15°C

Øverst i figur 7.7 er det simulert med en termisk masse som forklart i kapittel 5. En kan se at den termiske massen lagrer varmen og reduserer behovet for oppstarter på aggregatet betraktelig. 42 oppstarter gjennom hele vinteren for å holde indre sone på 10°C er mer akseptabelt enn omtrent 15 oppstarter på de kaldeste dagene uten termisk masse som varmelager. Nederst i figur 7.7 er de ytterste 2 centimeterene av den termiske massen byttet ut med isolasjon. Isolasjonen reduserer behovet for antall oppstarter og den termiske massen kan ta imot mer varme før indre sone når maksimaltemperatur. Dette er en mer realistisk løsning siden de fleste varmtvannstanker har isolasjon.

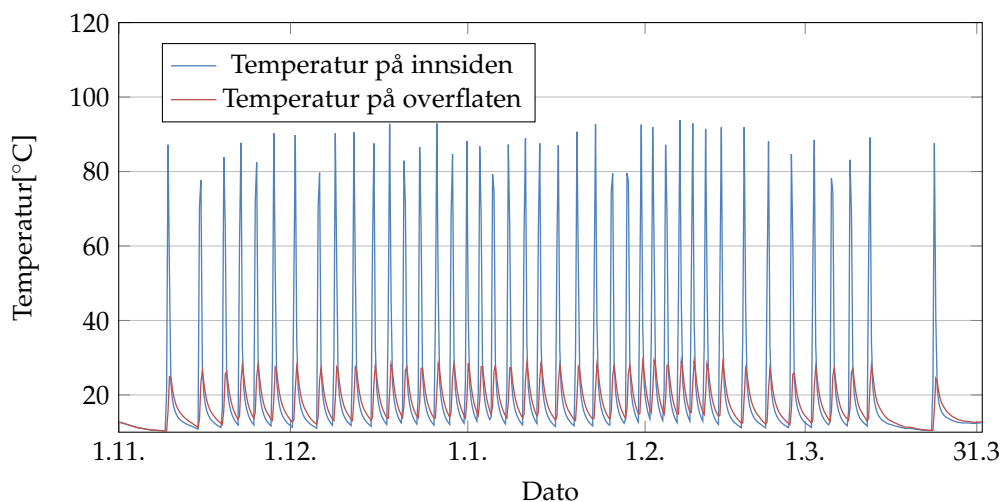
Tabell 7.4: Energiforbruk og driftstimer ved forskjellige oppsett

Oppsett	Termostatterperatur[°C]	Energiforbruk[kWh]	Driftstimer[h]
Oppvarming av lufta med overskuddsvarme fra aggregat på 1000W	5	292.53	305
Oppvarming av termisk masse uten isolasjon med overskuddsvarme fra aggregat på 1000W	5	225.00	273
Oppvarming av termisk masse med isolasjon med overskuddsvarme fra aggregat på 1000W	5	268.33	269.3
Oppvarming av lufta med overskuddsvarme fra aggregat på 1000W	10	318.40	363.3
Oppvarming av termisk masse uten isolasjon med overskuddsvarme fra aggregat på 1000W	10	393.40	436
Oppvarming av termisk masse med isolasjon med overskuddsvarme fra aggregat på 1000W	10	392.00	408

I tabell 7.4 ser vi at oppvarmingsbehovet gjennom vinteren er større i de oppsettene der en termisk masse blir oppvarmet i stedet for direkte luftoppvarming. Det er fordi stråling fra veggene til den termiske massen varmer opp veggene inne i den indre sone mer enn ren luftoppvarming gjør. Dette kan en se av figur 7.8, hvor veggtemperaturer på den søndre vegg i indre sone blir varmet opp. Dette er positivt for varmelagringen ettersom veggene er laget av en tung betongblanding som vil lagre noe varme og bidra til å jevne ut temperaturkurven.



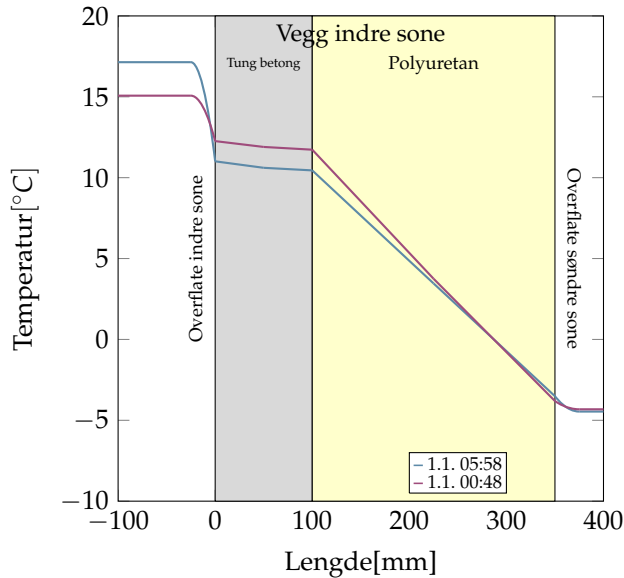
Figur 7.8: Veggtemperatur på veggen nærmest den termiske massen. Grafene illustrerer både luftoppvarming og oppvarming igjennom den termiske massen.



Figur 7.9: Temperatur på innsiden og på overflaten til den termiske massen.

Som vi ser i figur 7.9 får overflaten på den termiske massen høyere temperatur enn lufta, og det vil overføres varme via stråling til veggen i indre sone. Denne oppvarmingen av veggene i indre sone fører til økt oppvarmingsbehov, men de tunge betongveggene i indre sone vil også bidra til å jevne ut temperaturkurven

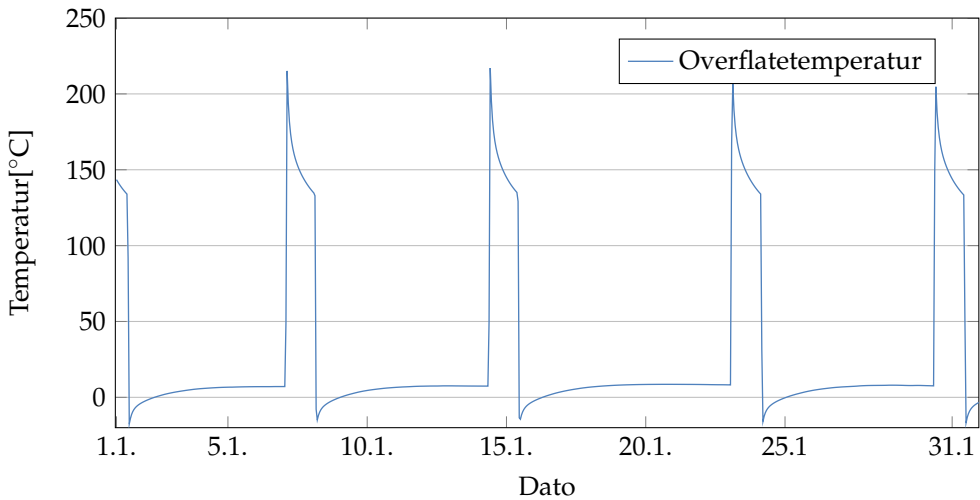
i indre sone.



Figur 7.10: Temperaturprofiler gjennom den søndre vegg i indre sone. I blått vises temperaturprofilen i det temperaturen i indre sone sin maksimale verdi (17.14°C) 1. januar kl. 05:58. Rommet er da oppvarmet med luftoppvarming. I lilla vises temperaturprofilen i det temperaturen når sitt maksimale verdi (15.07°C) 1. januar kl. 00:48

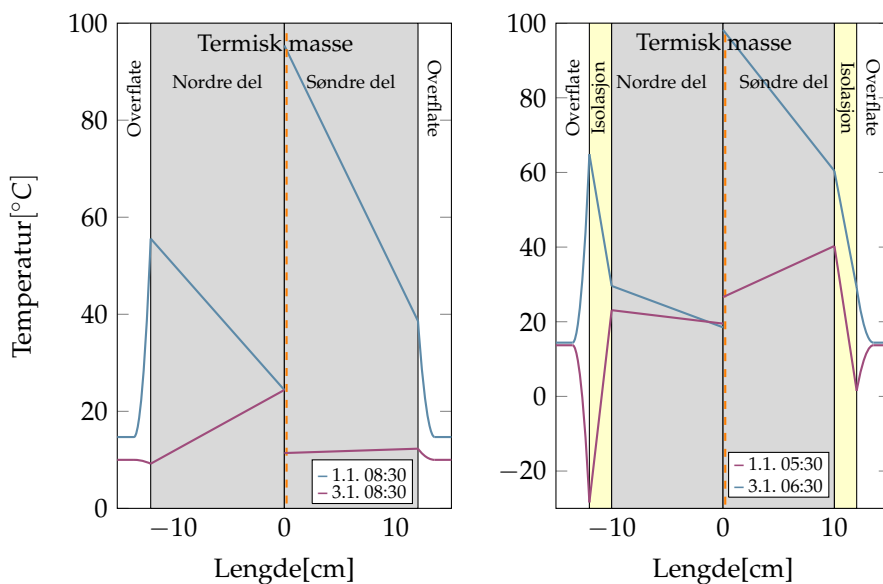
I figur 7.10 er temperaturprofilen til den søndre vegg tegnet for to ulike simuleringer. Den blå grafen er viser hvordan temperaturen forløper seg når det nåes maksimal romtemperatur med direkte oppvarming luften i rommet. Den lilla grafen viser hvordan temperaturen i vegg blir når det er en termisk masse som blir oppvarmet i indre sone. Den lilla grafen er også plottet idet romtemperatur når sin maksimale verdi. Vi ser at med en termisk masse vil det nåes høyere temperatur i den tunge betongen og dermed lagres mer varme der. En kan også se hvor godt isolasjonen av polyuretan fungerer. Det er stor forskjell i temperaturen på de ulike sidene.

Som vist blir det strålt mer varme mot veggene i indre sone med oppvarming av en termisk masse. Utifra ligning 5.3 vet en at det er overflatetemperaturen på den termiske massen som i stor grad avgjør hvor mye varme som stråles. Etter å ha undersøkt overflatetemperaturene i rommet og på den termiske massen ble det funnet noen unormale temperaturer på overflaten til den termiske massen.



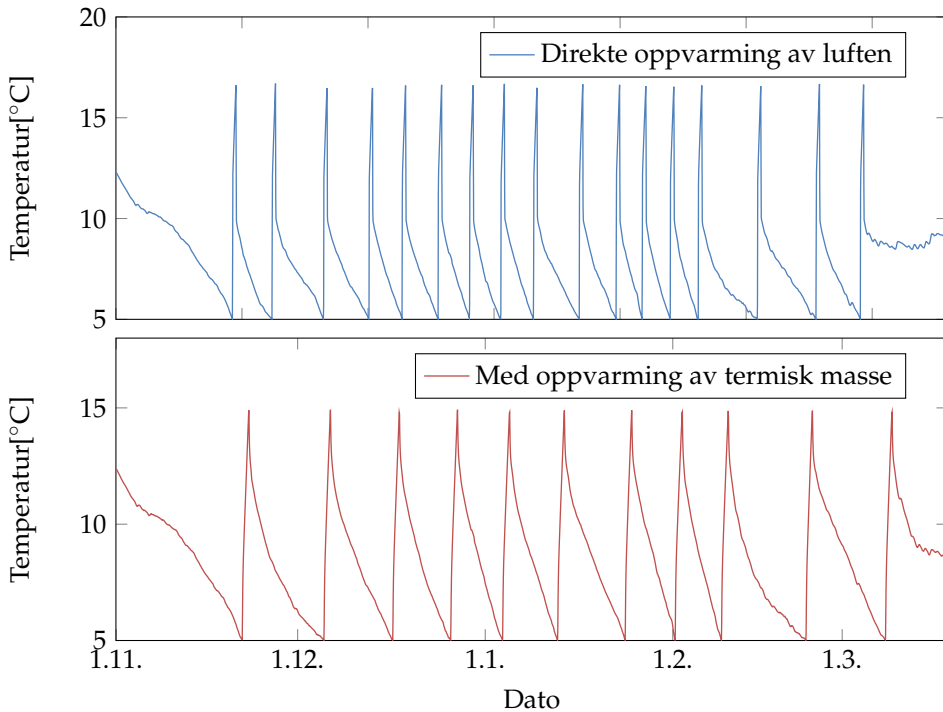
Figur 7.11: Temperatur på “outside face” av det ene veggelementet til den termiske massen.

Som vi ser i figur 7.11, får det veggelementet uten oppvarming merkelige temperaturer på overflaten ut mot sonen. Temperaturen på går fra over 200°C til under -20°C på kort tid. For å finne ut av dette ble det gjort en mengde feilsøk og kontroller. Resultatene er logiske sammenlignet med direkte oppvarming av rommet. Den stående veggen ble delt opp i 20 mindre elementer for å analysere nærmere bit for bit, men de nøyaktig samme resultatene ble oppnådd. Det ble heller ikke funnet noe feil med kontrollfilen, ESP-r tilførte varme imellom de to veggelementene til den termiske massen som den skulle. I samråd med Rasmus Høseggen ble det kommet frem til at dette er verdier som oppstår for at ESP-r skal få bevaringsligningene til å oppfylles. Sjiktet mellom de to stående veggene er definert som en adiabatisk grense hvor ingen varme blir overført. For å varmebalanse i simuleringen, blir overflatetemperaturene på det ene veggelementet som ikke får tilført varme uregelmessig.



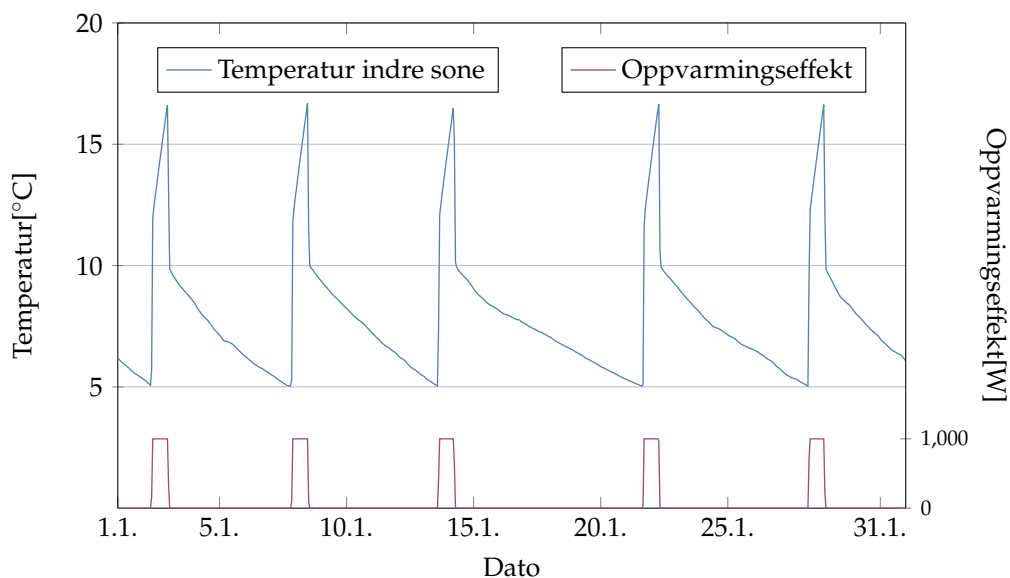
Figur 7.12: Temperaturprofiler for gitte tidspunkt i simuleringen, med og uten isolasjon på den termiske massen. *Til venstre:* Temperaturprofilen gjennom den termiske massen 1.jan kl 08:30 etter av den har blitt varmet opp med 1000 W i 7 timer (i blått). I lilla vises temperaturprofilen 3. jan kl 08:30 rett før temperaturen i rommet blir 10°C og oppvarmingen starter. Markert med orange strek er der varmen blir tilført. *Til høyre:* Temperaturprofilen gjennom den termiske massen (i blått) 3. jan kl 06:30 etter av den har blitt varmet opp med 1000W i 6 timer. Markert med orange strek er der varmen blir tilført. Temperatur 1. jan 05:30, her gjør temperaturen et stup på utenpå isolasjonen til det nordre veggelementet (i lilla).

I figur 7.12 ser vi hvordan temperaturen forløper seg gjennom den stående veggen under simuleringen. De negative temperaturene fra figur 7.11 unngås når det ikke er isolasjon på den termiske massen. Til venstre i figur 7.12 ser en i blått at grafen er mer normal, bortsett fra at temperaturprofilen stiger i feil retning. Når oppvarmingseffekten har vært avslått en stund ser en på den lilla grafen, at varmen på veggelementet uten oppvarming har trukket inn i veggen. I temperaturprofilen til venstre i figur 7.12 ser en i lilla de merkelige overflatetemperaturene som oppstår rett etter oppvarmingseffekten har slått seg av. Også her ser en at temperaturprofilen i veggelementet stiger feil vei, noe som kan skyldes den adiabatisk grensen og ESP-r's bevaringsligninger.



Figur 7.13: Øverst: Direkte oppvarming av lufta med 1000 W som skurrer seg på under 5°C, og skurrer seg av over 15°C. Nederst: Oppvarming av en kloss med lignende termiske egenskaper som en varmtvannstank. Inne i klossen tilføres en fast effekt på 1000W som skurrer seg på under 5°C, og skurrer seg av over 15°C.

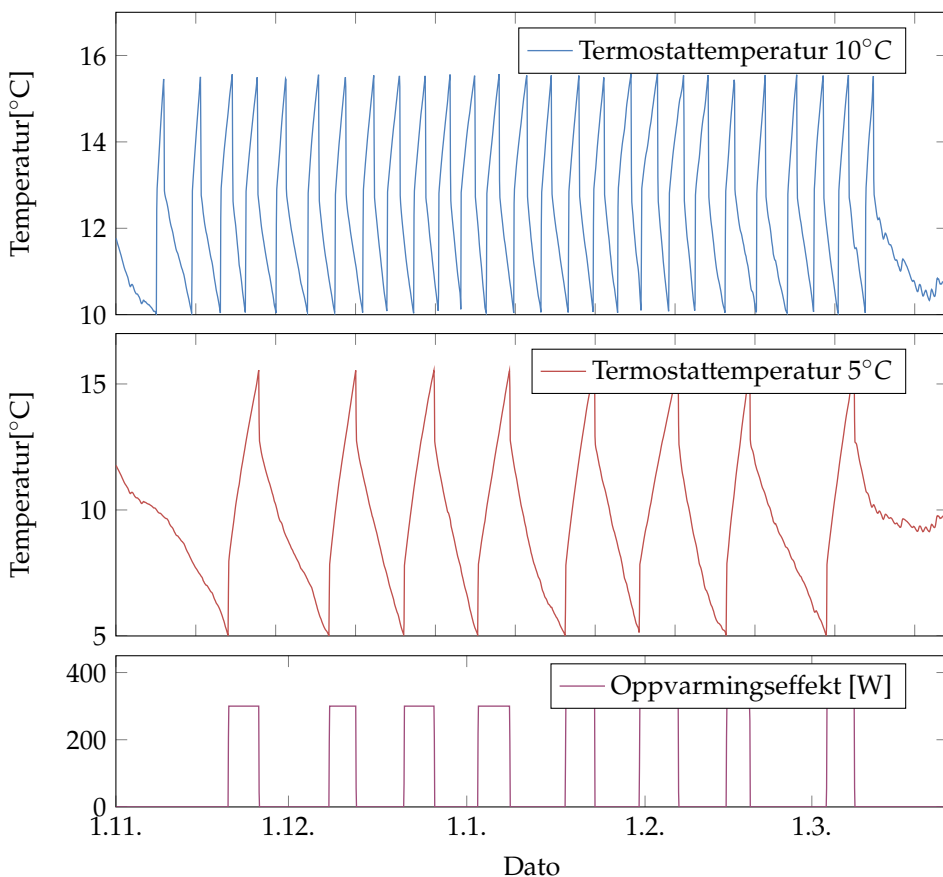
I figur 7.13, og 7.14 ser vi hvordan temperaturen i indre sone vil forløpe seg hvis en har termostattemperaturen på 5°C. Temperaturen synker relativt raskt ned til 10°C og derifra flater grafen noe ut. Derfor er det mer ideelt å ha en lavere termostattemperatur for å unngå så mange oppstarter på aggregatet i løpet av vinteren. Øverst i figur 7.13 og 7.14 er det simulert med oppvarming av en termisk masse. Som vi ser får en lagret mer varme i varmtvannstanken uten at romtemperaturen blir for høy, og den kan varme rommet i en lengre periode i etterkant.



Figur 7.14: Oppvarming med fast effekt på 1000W som skruer seg på under 5°C, og skruer seg av over 15°C. Fra 1. til 31. januar.

I figur 7.14 ser vi hvordan temperaturen forløper seg i januar. Det er en klar tendens til at temperaturkurven flater ut når den synker under 10°C. I forhold til en termostattemperatur på 10°C er 5°C mer passende for denne hyttemodellen og klimaet siden indre sone bruker lang tid å synke fra 10°C til 5°C. Når en ser her hvor lang tid temperaturen bruker på å synke i indre sone burde 5°C være en tilstrekkelig buffer frostsikring. Hvis en blir varslet når temperaturen synker under dette vil det være flere dager før indre sone når 0°C.

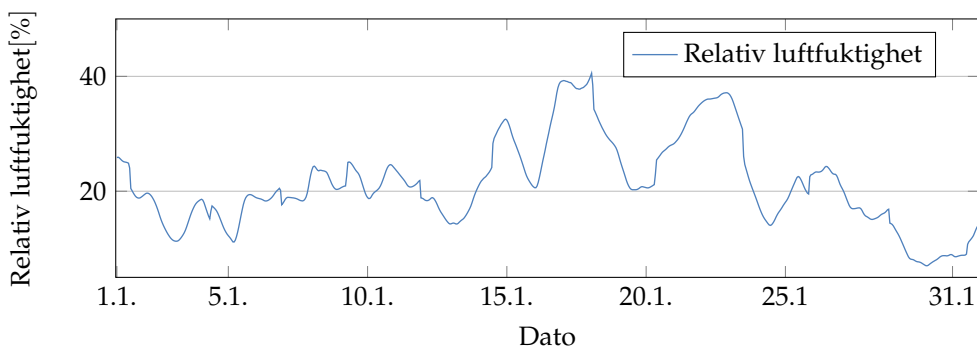
7.1.4 Kogenerasjon med brenselcelleaggregat



Figur 7.15: Øverst: Oppvarming med fast effekt på 300W som skruer seg på under 10°C, og skruer seg av over 15°C. Fra 1. november til 31. mars. I midten: Oppvarming med fast effekt på 300W som skruer seg på under 5°C, og skruer seg av over 15°C. Nederst: Den tilhørende effektkurven når termostattemperaturen er på 5°C.

I figur 7.15 er det simulert oppvarming fra brenselcelleaggregatet Efoy Comfort 210, som gir rundt 300 W oppvarming. Som nevnt tidligere antas det her at all varmen blir i rommet ut i fra nedre brennverdi kan varmeveksles og holdes i indre sone. Øverst i figur 7.15 med termostattemperatur på 10°C må den ha 27 oppstarter i løpet av vinteren. I midten av figur 7.15 med 5°C trenger den bare 8 oppstarter. Dette er en mer ideell oppvarmingseffekt, som ikke er avhengig av å

varme opp en termisk masse for å jevne ut temperaturkurven. Nederst i figur 7.15 ser vi hvordan oppvarmingseffekten slår seg av og på for en termostattemperatur på 5°C.

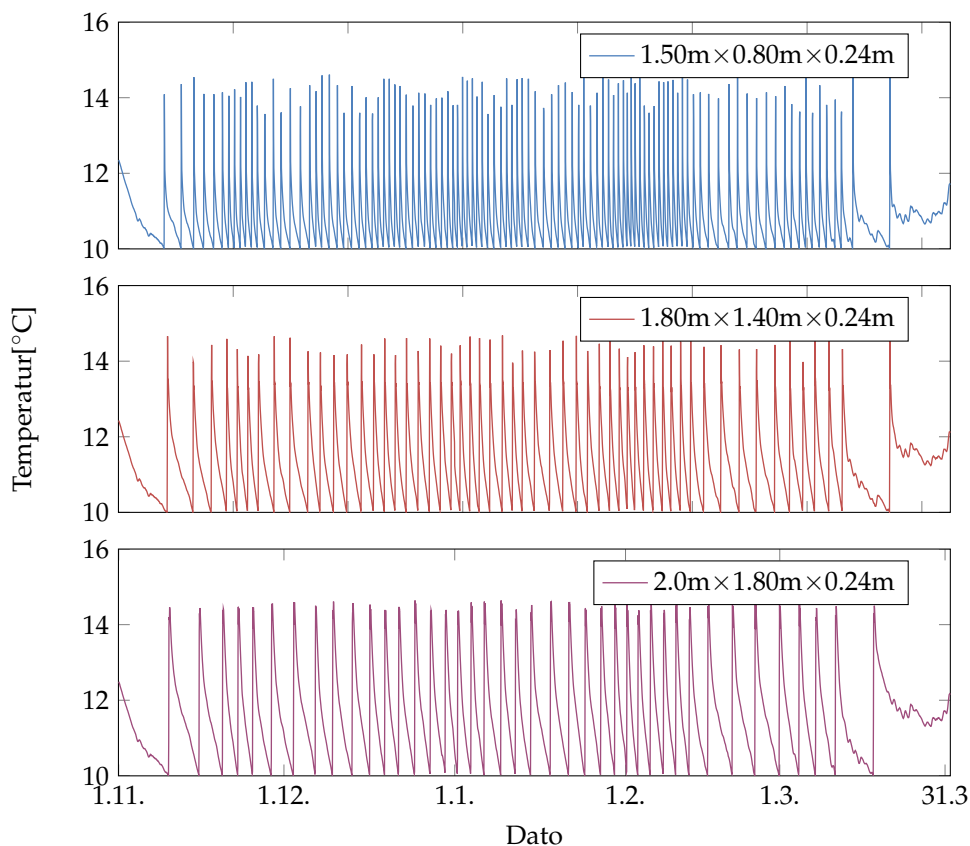


Figur 7.16: Relativ luftfuktighet i indre sone i januar. Her er det simulert med en konstant effekt på 300W som slår seg på under 10°C, og skruer seg av over 15°C. Fra 1. til 31. januar.

I figur 7.16 ser vi hvordan den relative luftfuktigheten varierer i indre sone. Som vi ser er det ingen stor fare for kondens da fuktigheten stort sett varierer mellom 10 % og 40 %. Her er det simulert med en konstant effekt på 300 W som slår seg på under 10°C og skruer seg av over 15°C. Dette skal simulere et brenselcelleaggregatet Efoy Comfort 210.

Utifra ligning 4.7 er det her tidligere funnet ut at brenselcelleaggregatet produserer $89.77 \frac{g_{H_2O}}{h}$. Fra 3. til 5. januar, vist nederst i figur 7.15, er aggregatet på i 60 timer før det er avslått i 65 timer. Om aggregatet skulle sluppet avgassen rett ut i rommet vil det produseres omtrentlig 5.39 liter vann i løpet av den perioden. Ut ifra et Mollier-diagram med en luftfuktighet på 20 % og temperatur på 15°C har lufta i indre sone mulighet til å ta opp $0.09 \frac{kg_{H_2O}}{kg_{luft}}$ før den når 100 % luftfuktighet og vil ikke kunne ta opp mer fuktighet. For indre sone med et volum på $37.5 m^3$ ($\rho_{luft} = 1.225 \frac{kg}{m^3}$ ved 1 atm, 15°C) tilsvarer det 4.13 liter vann. Men før lufta når 100 % luftfuktighet vil vanndamp kondensere på alle kjølige overflater og kuldebroer. Dessuten gror muggsopp i omgivelser med høyere luftfuktighet enn 75 % [70]. Astma- og Allergiforbundet anbefaler derfor en relativ luftfuktighet på 20 % til 40 % i oppholdsrom om vinteren [93]. Når aggregatet er avslått vil infiltrasjonen sørge for en del utluftning, men på grunn av all denne fuktigheten bør det være en form for ventilasjon. Som tidligere nevnt vil det også bli produsert store mengder CO₂ som ikke er gunstig.

7.1.5 Oppvarming med pelletsovn



Figur 7.17: Temperatur i indre sone med oppvarmingseffekt på 2500W og ulike størrelser på termisk masse.

I figur 7.17 er det simulert et tenkt oppsett med en pelletsovn med vannkappe som kan varme opp vannet i en varmtvannstank. Selv om pelletsovnen leverer laveste oppvarmingseffekt på 2500 W så kan man øke volumet på den termiske massen slik at antall oppstarter reduseres. Da anses dette som en mulig løsning for å holde indre sone frostfri. Her er tykkelsen holdt konstant for å holde forholdet mellom volum og varmeoverføringsareal lignende en sylindrisk varmtvannstank. Dette gjør at geometrien ligner mer på en tykk radiator enn en varmtvannstank.

Tabell 7.5: Volum, varmeoverføringsareal, driftstimer, oppvarmingsenergi og antall oppstarter

Høyde[m]	Bredde[m]	Dybde[m]	Volum[l]	Overflateareal [m ²]	Driftstimer [t]	Oppvarmingsenergi [kWh]	Antall oppstarter
1.50	0.80	0.24	288	2.40	140.5	329.38	105
1.80	1.40	0.24	605	5.04	96.3	229.17	56
2.00	1.80	0.24	864	7.20	76.3	182.29	41

I tabell 7.5 ser vi hvordan antall oppstarter reduseres med størrelsen på varmelageret. Oppvarmingsbehovet går ned ettersom størrelsen på den termiske massen blir større. Ut i fra disse tallene kan en beregne strømforbruket til pelletsoven. En pelletsovn krever også 30 - 60 W under bruk samt 500 W i 3 - 4 minutter under oppstart [97]. I tabell 7.6 er det regnet med 45 W til drift av vifte og matekrue samt 500 W i 4 minutter for hver oppstart.

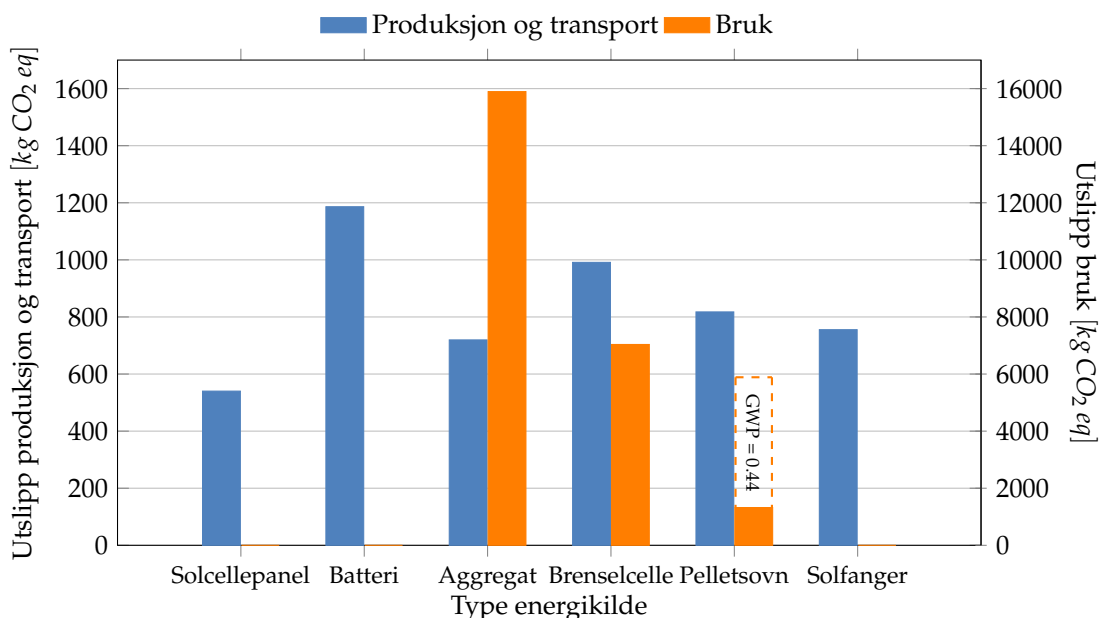
Tabell 7.6: Beregning av strømforbruk for et pelletsaggregat gjennom vinteren

Volum[l]	Oppstartsstrøm[Wh]	Driftsstrøm[Wh]	Totalt forbruk[Wh]
288	3499.65	6322.50	9822.15
605	1866.48	4333.50	6199.98
864	1366.53	3433.50	4800.03

Fra tabell 7.6 ser vi at strømforbruket går ned når varmelageret blir større. I en hytte uten netttilkobling må dette dekkes av andre løsninger som er diskutert her. Et 290 Ah og 12 V batteri tilsvarer 3480 Wh. Derfor må det en større batteribank til å dekke oppvarmingsbehovet når akkumulatortanken blir mindre.

7.2 Resultater livssyklusanalyse

I figur 7.18 er resultatene fra livssyklusanalysen presentert i et stolpediagram. Her er det viktig å legge merke til at klimagassutslippene fra bruk av bensinaggregat, brenselcelle og pelletsovn er koblet mot den høyre y-aksen. Det er fordi utslippene for bruk gjennom 60 år er en tierpotens større enn utslippene til produksjon av oppvarmingsløsningene og har derfor en egen akse.



Figur 7.18: Utslipp fra ulike oppvarmingsløsninger.

Tabell 7.7: Oversikt over livssyklusanalysen av de ulike energikildene.

Energikilde	Levetid[år]	Utslipp 60 år [kgCO ₂ eq]	Utslipp bruk [kgCO ₂ eq]
Solcellemodul 1.3m ²	30	719.6	–
Batteri 290 Ah	10	1186.2	–
Aggregat Honda eu10i	10	501.42	15895
Brenselcelle Efoy Comfort 210	10	991.28	7036.2
Pelletsovn Rosy 2.5kW-5kW (GWP=0.44)	15	817.68	1323.3
	15	817.68	5887.4
Solfanger 2m ²	25	755.40	–

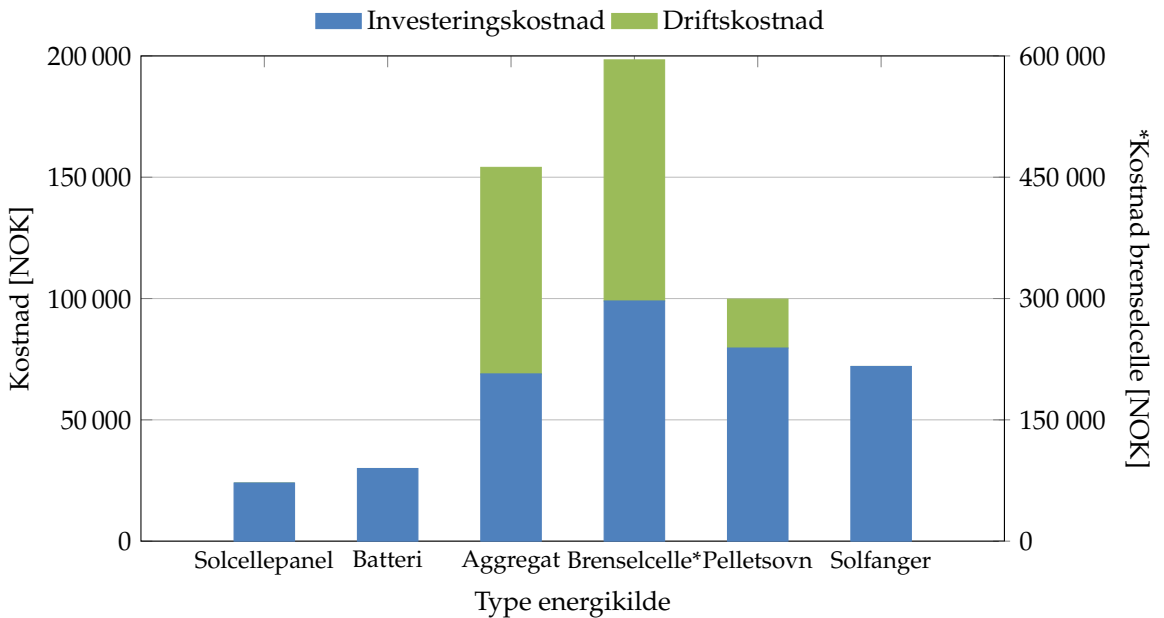
Både solcellepanel, pelletsovn og solfanger er større installasjoner som krever mer energi under produksjon. Derfor har de større utslipp forbundet til produksjon og transport til kunde, men levetiden er lenger enn bensin- og brenselcelleaggregat. Det er dermed ikke så stor forskjell i utslipp for en 60 års periode forbundet med produksjon av de ulike energikildene. Derimot er det stor forskjell i utslipp under bruk, og de to utslippsfrie solbaserte energikildene kan ikke sammenlignes med de to andre.

7.3 Resultater livsløpskostnader

I tabell 6.13 vises hovedresultatene fra analysen av livsløpskostnader. Her er solfangeranlegget basert på billigste estimat fra Enova [41]. Dette er et anslag for et større anlegg, men det er en stor kostnad forbundet med montering av anlegget. Som studien til Sørnes og Hauge fastslo er det liten kompetanse på montering av solfangeranlegg, så dette er priser som kan falle i fremtiden når etterspørselen blir større. De øvrige løsningene er det ikke medregnet monteringskostnader.

Tabell 7.8: Oversikt over livsløpskostnader for de ulike energikildene.

Energikilde	Levetid [år]	Kostnad [NOK]	Driftsutgifter 400 kWh levert [NOK]	Kostnad 60år [NOK]
90W _p , batteri og inverter [67]	30	11 990	–	23980
Batteri 290 Ah [67]	10	4990	–	29940
Aggregat Honda eu10i [7]	10	11490	1418.8	68940 + 85128 = 154068
Brenselcelle Efoy Comfort 210 [82]	10	49500	4968.5	297000 + 298110 = 595110
Pelletsovn Wodtke Frank [34]	15	19900	336	79600 + 20160 = 99760
Solfanger(anslag)	25	30 000	–	72000



Figur 7.19: Investerings- og driftskostnader for ulike oppvarmingsløsninger

I figur 7.19 ser vi at kostnaden forbundet med brenselcellen må plottes på en egen akse da den er over tre ganger som de andre alternativene. Solcelleanlegget på 1.3 m^2 og 90 W_p er forholdsvis lite og vil bidra minimalt til frostsikring i de kaldeste periodene. Derfor må det påregnes høyere kostnad skal en ha et anlegg som kan bidra til oppvarmingsformål i indre sone. Dette anlegget er derimot kapabelt til å drive mindre vifter og annen småelektronikk de andre løsningene er avhengige av.

Kapittel 8

Diskusjon

8.1 Oppvarmingsbehov

Som nevnt i kapittel 7 anses det som tilstrekkelig med 25 cm isolasjon i kledningen til den indre sonen. Det er lite å spare i å legge noen tykkere isolasjon. Polyuretan er sådan også isolasjonsmaterialet med lavest U-verdi i materialdatabasen til ESP-r. Men som nevnt tidligere avgir det giftige gasser ved brann og er påbudt å støpe inn i betongen. Her er det simulert en løsning som vil ha samme U-verdi og tilnærmet de samme egenskapene som innstøpt skum.

Ytterveggene ble derimot endret for å etterligne en mer moderne hytte. Selv om hytter leveres laftet idag er de gjerne bedre isolert enn bare 6 tommers massivt tre som er kravet i TEK 10. I figur 7.5 i kapittel 7.1.2 ser vi tydelig den store besparelsen av å ha en ekstra isolert indre sone hvor alt av sanitæranlegg er plassert. I de ulike oppsettene **a - d** kreves det 9 - 16 ganger så mye energi for å holde hele hytten på 10°C kontra bare indre sone. Her er det et enormt potensiale for energieffektivisering hvis frostsikring tas i betraktning når nye hytter blir tegnet og bygget.

Mellom termostattemperatur på 5°C og 10°C er forskjellen mindre. Oppvarmingsbehovet øker med en faktor på 1.75 til 1.89 når man setter opp termostattemperaturen i de ulike oppsettene **a - d**. Er det en godt isolert indre sone i hytten med et pålitelig oppvarmingssystem som fordeler varmen godt burde 5°C holde som sikkerhetsmargin. Derimot er det mange forsikringsselskaper som krever at det holdes 10°C i de rom det er fare for frostskafer [71].

I prosjektoppgaven til undertegnede ble hytta simulert som lufttett, det er ikke helt realistisk siden det alltid vil være noe infiltrasjon fra omgivelsene. I figur 7.5 og tabell 7.3 ser en hvordan økt infiltrasjon påvirker oppvarmingsbehovet i oppsettene **d - b**. Rom som ikke er beregnet for varig opphold har et krav til minimum $0.7 \frac{m^3}{m^2 \cdot h}$ i TEK 10, og dette er blitt tilført gjennom infiltrasjon i oppsett **b**. For oppvarming av hele hytta til 10°C betyr det en økning i energibehovet på 94.0 % kontra det lufttette oppsett **d**. For oppvarming av indre sone til 10°C er det en økning på 51.3 % fra oppsett **b** til **d**. Det er ganske naturlig at det er en prosentvis større økning i oppvarmingsbehovet for hele hytta kontra indre sone siden sistnevnte bare har litt infiltrasjon igjennom taket og har et lite gulvareal.

Som nevnt tidligere kan en slik infiltrasjon være viktig for fuktproblematikk samt avgasser og lukt fra inventar og oppvarmingskilder. Selv om infiltrasjonen til indre sone teoretisk skal være nok luft til forbrenningsreaksjonene i de ulike oppvarmingskildene er en avhengig av å fjerne avgassene. Det på grunn av vanndamp og fuktskader samt CO₂ fra brenselcellen. I tillegg vil det kunne

bli uønsket lukt og skitt på grunn av sot fra bensinaggregatet og pelletsovnene. Kullos er som nevnt en giftig gass det viktig å få luftet godt ut.

8.2 Varmelagring

Et lite bensinaggregat kan kogenerere strøm og varme og kan i denne sammenheng være et fint supplement til et solcelleanlegg. Problemet med et slikt aggregat i indre sone er at det vil gi for høy oppvarmingseffekt i forhold til hva som er nødvendig. Som en ser av figur 7.6 vil det måtte skru seg av og på veldig ofte. Derimot når en lar varmen gå til å varme opp en termisk masse vil det tilføre en treghet i systemet som gjør at antall oppstarter reduseres drastisk som vist i figur 7.7. Dette midlertidige varmelageret gjør denne løsningen mer aktuell. Hvis en tenker seg at den strømmen fra aggregatet lader opp en eventuell batteribank, kan den senere levere en lav oppvarmingseffekt. I deler av de periodene aggregatet er avslått vil denne lave batteribaserte oppvarmingseffekten redusere fallet i temperatur og antall oppstarter og drivstoffbruk vil gå ned.

Denne *hanging surface* som den termiske massen er konstruert utifra er i ESP-r i første rekke ment som et passivt element som for eksempel et møbel. Formålet med den er å kunne simulere et mer reelt med innemiljø hvor møbler har en viss termisk masse må varmes opp og kan igjen gi fra seg varme. Å legge til en varmeeffekt midt inni denne stående veggen er nok ikke helt ideelt, men resultatene var logiske og poenget med midlertidig varmelagring ble demonstrert.

Når det ble lagt på isolasjon på den termiske massen ble det funnet uregelmessige overflatetemperaturer, men alt i alt virker simuleringen å virke etter sin hensikt. Med isolasjon på den termiske massen kan den lagre mer varme og levere den ut i rommet i en lengre periode etterpå. Dette virker som en ideell og tilgjengelig løsning da velutstyrte hytter med sanitæranlegg gjerne har en isolert varmtvannstank. Når en varmer opp en termisk masse i indre sone vil også de tunge betongveggene kunne lagre mer varme som vist i figur 7.10. Dersom en hadde økt tykkelsen på de tunge betongveggene rundt indre sone ville en kunne lagre mer varme i disse. Det ville tatt lenger tid å varme dem opp, men den ville også avgitt varme i en lenger periode i etterkant. Skulle en gjort dette burde det også vært like tykk isolasjon rundt indre sone slik at varmetapet fra disse veggene reduseres. Som vi ser av figur 7.1 øker oppvarmingsbehovet raskt når en reduserer tykkelsen på polyuretanskummet. Problemet blir da at veggene tar mye plass i indre sone, dobler en tykkelsen på betongen fra 10 cm til 20 cm tar det opp rundt 1 m^2 av boligarealet.

Når en varmer opp med 1000 W i indre sone er det en fordel å ha termostattemperatur på 5°C istedet for 10°C. Da slipper en å måtte varme opp en termisk masse for å unngå for mange oppstarter. Som vist i figur 7.14 bruker indre sone lang tid på å synke fra 10°C til 5°C grunn av den gode isolasjonen.

Det siste oppvarmingsalternativet som ble simulert er en pelletsovn som kjøres på laveste effekt, 2500 W. Dette er en enda større utfordring enn bansinaggregatet siden den leverte varmeeffekten er alt for stor for indre sone. I figur 7.17 ser vi hvordan temperaturen forløper seg dersom en endrer størrelsen på den termiske massen. Når volumet øker fra 288 l til 605 l reduseres antall oppstarter med 46.7 %. Mens når en øker volumet fra 605 l til 864 l reduseres antall oppstarter bare med 26.8 %. For å holde overflatearealet tilsvarende en sylindrisk varmtvannstank er tykkelsen på den termiske massen her holdt konstant på 24 cm. Hadde en økt tykkelsen ville varmen brukt lenger tid på å bevege seg igjennom og det ville resultert i færre oppstarter. Det ble her ikke simulert med isolasjon på den termiske massen, det kunne også bidratt med å jevne ut temperaturkurven. Hovedpoenget var å demonstrere at en stor varmtvannstank kan ta imot varmen pelletsovnene og lagre den for en periode.

Biosoltanken, som er nevnt i kapittel 4, vil være en god løsning for direkte oppvarming av varmtvannstanken. Hvis den kunne lages med en variabel oppvarmingseffekt ned mot 1-2 kW hadde den vært et godt supplement til et solfangeranlegg. Den leveres foreløpig med en effekt på 15-25 kW, men det burde fint gå an å lage en med lavere effekt.

8.3 Løsninger for oppvarmingsbehov

For en el-tilknyttet hytte vil det være tilstrekkelig med et par glødepærer eller en tilsvarende liten elektrisk ovn for å holde indre sone på henholdsvis 5°C og 10°C. Av figur 7.4 og 7.3 ser vi at det er konstante lave effekter som det er behov for. Derfor vil det være helt unødvendig å installere en varmpumpe for kun å holde indre sone frostfri.

Når det gjelder å holde hele hytta på 10°C er det mer aktuelt med en varmpumpe med såkalt frostvakt. Fra figur 7.2 ser en at oppvarmingseffekten det er behov for ligger mye i området rundt 1000 W - 1500 W. For en hytte tilkoblet nettet kan en luft-til-luft-varmpumpe møte behovet for å holde hytta på termostattemperatur. Også en pelletsovn kan være en god løsning her. Den krever derimot mer vedlikehold hvis man ikke har laget løsninger for pelletslager og fjerning av aske.

For en hytte uten tilkobling til nettet er det vanskeligere å finne en løsning som er miljøvennlig og driftssikker i den forstand at den kan klare å holde ønsket termostattemperatur. Solcellepanel og solfanger kan være mulige løsninger, men de leverer for liten energi når det er på det kaldeste. De er avhengige av en form lagring eller helst en støttevarme som kan trå til i perioder av vinteren. Effektivitet til ren oppvarming er en solfanger helt klart å foretrekke, spesielt en vakuumsolfanger som ikke er like påvirket av omgivelsestemperaturen som en plan solfanger. En solfanger har høyere virkningsgrad og kan utnytte mer av vintersolen enn et solcellepanel. Problemet som er diskutert i andre oppgaver er at det er vanskelig å lagre varmen et lite solfangeranlegg produserer over lengre perioder. Et solcellepanel kan lagre energi i batterier med mindre tap over lengre tid.

En slik støttevarmer kan være et lite bensinaggregat. Det kan kombineres med et solcelleanlegg og startes opp når spenningen i batteriene eller temperaturen i indre sone er for lav. For å unngå så mange oppstarter bør avgassen varmeveksles slik at overskuddsvarmen varmer opp en termisk masse. Dette kan være en eksisterende varmtvannstank eller en akkumulatortank i et solfangeranlegg. Et solfangeranlegg er avhengig av en pumpe. Er denne drevet av batterier kan aggregatet lade dem ved behov.

Har en et solcelleanlegg med batteribank kan en sette en termostattemperatur på feks 11°C hvor en elektrisk ovn eller glødepære slås på. Når spenningen i batteriene når et visst utladningsnivå eller spenningsnivå kan aggregatet slås på for å lade dem opp og varme rommet.

En mer miljøvennlig løsning for å støtte et solfangeranlegg er en pelletsovn. Enten med vannkappe eller direkte oppvarming av akkumulatortanken. Pelletsovner er ikke utbredt i stor skala i Norge og Enova har tatt bort støtten til innkjøp. Selv om det er få leverandører er det god tilgang til pellets i hele landet. Utfordringen for problemstillingen her er at det ikke er vanlig med pelletsovner som kan kjøres med mindre enn 2 kW levert varme. Hvis en allerede har en stor akkumulatortank kan dette være en mulig løsning. Både solfanger og pelletsovn krever litt strøm når de brukes og det blir av den grunn fort aktuelt å kombinere dem med et solcelleanlegg med batterier. I tabell 7.6 ble det vist at avhengig av størrelsen på varmelageret varierte dette behovet mellom 4.8 - 9.8 kWh. Noe som bør være mulig å få levert fra et solcellepanel ifølge beregningene i tabell 5.2. Størrelsen på batteribanken er ikke vurdert her, men den bør nok være av en viss størrelse siden solcellepanelet leverer lite strøm i de kaldeste periodene. Et solfangeranlegg har enda mindre behov for strøm ettersom det bare er en liten

pumpe som skal drives i tillegg til noe styringselektronikk. I livssyklusanalysen var denne pumpen på 40 W.

Brenselcellen Efoy Comfort 210 leverer rundt 300 W varme når det går. Som en kan se av figur 7.15 er dette en mer ideell oppvarmingseffekt for indre sone. Her er det ikke lenger nødvendig med et varmelager for å jevne ut temperaturkurven, og således en enklere løsning. Enda jevnere blir temperaturkurven når en senker termostattertemperaturen til 5°C. Det blir tatt opp i denne oppgaven om et slikt brenselcelleaggregat kan drives i indre sone uten ekstra ventilasjon. Utslippet består av CO₂ og vanndamp. Får en kondensert og fuktigheten vil en frigjøre ekstra varme til indre sone, men fortsatt kan CO₂-nivået skape problemer for brenselcellen. Derfor er den avhengig å få tilført ekstra luft når den kjøres, og aller helst en pipe som kan lede avgassene ut.

Alle de tre støttevarmende tiltakene har en viss brannfare. Bensin er kategorisert som ekstremt brannfarlig og metanol er meget brannfarlig [8, 35]. Begge har en damp som vil legge seg langs bakken siden den er tyngre enn luft, noe som er uheldig i en kjeller som i indre sone av hyttemodellen. Bensinaggregatet har flere antennelseskilder siden det er drevet av en forbrenningsreaksjon og opererer på en høyere temperatur. Begge aggregatene har elektrisk anlegg som kan skape gnister eller varme ved feil. Ved dannelse av slik damp er det også fare for eksplosjonsartet brann. Det er ikke tilfelle for en pelletsovn, men den operer også på høy temperatur og er ikke uten risiko for brann. Skal en drive oppvarmingen i en ubemannet hytte er det behov for en viss størrelse på drivstofflageret. Da gjelder det å ta gode forhåndsregler med tanke på plassering og eksponering av drivstoffet i forhold til tennkilder. I tillegg kan et termometer tilkoblet en CO₂-dyse rettet mot anlegget avverge branntilløp.

8.4 Livssyklusanalyse

Denne livssyklusanalysen har måttet gjøre noen tilnærminger der det er lite tidlige studier og data. Derimot gir den en god oversikt over utslipp og en pekepinn på forholdet mellom de ulike løsningene. Det er flere faktorer som kan vippe resultatet i flere retninger, størrelse på solcellepanel og batteribank eller hvilken GWP-faktor man benytter i forhold til forbrenning av pellets, avgjør i stor grad effekten av utslippet.

En interessant problemstilling for oppgaven er hva som lønner seg miljømessig og med tanke på frostsikring når det gjelder solcellepanel og batteribank. Stort areal på solcellepanelet vil kunne produsere mer strøm, mens en større

batteribank kan lagre mer energi. Siden det er såpass lite solinnstråling i januar og solcellepanel generelt har lav virkningsgrad vil det bli vanskelig å produsere den lave, men konstante effekten som behøves for å holde indre sone på en viss temperatur. Skal en holde det frostfritt med denne løsningen må en ha en stor batteribank. Av resultatene fra livssyklusanalysen ser en at dette er mye utslipp forbundet med produksjon av bly-baserte batterier samt at disse har kortere levetid enn solcellepanel. Lithium-batterier har som nevnt bedre energikapasitet og lenger levetid og er derfor snart konkurransedyktige på pris ovenfor bly-baserte batterier. De har derimot store utslipp forbundet med produksjon som vist i tabell 6.3. Men med en vektbasert energitetthet tre ganger så høy og en levetid som er over tre ganger så lang som bly-baserte batterier gjør at klimagassutslippene faktisk blir lavere basert på energilagring levert [127].

En kombinasjon av solcellepanel og bensin-/brenselcelleaggregat vil kunne kutte utslippene forbundet med drift av aggregatet. Er det for eksempel montert 6 m^2 med solcellepanel på sørveggen vil det ifølge tabell 5.2 bidra med 222.77 kWh. I figur 7.18 ser vi at hvis en halverer utslippene til bruk for bensin- og brenselcelleaggregat (fra 15 895 til 7 948 og fra 7036 til 3 518 $\text{kg CO}_2 \text{ eq}$) er de fortsatt ikke i nærheten av hva pelletsovn slipper ut under bruk (rundt 1303 $\text{kg CO}_2 \text{ eq}$). Dersom en regner med at utslippene har en GWP-faktor på 0.44 vil resultatet bli jevnere.

Relativt sett er utslipp forbundet med produksjon av de ulike oppvarmingsløsningene små i forhold til utslipp fra de støttevarmende tiltakene som bensinaggregat, brenselcelle og pelletsovn. Derfor gjelder det å redusere bruken av disse ved å maksimere utbyttet av de utslippsfrie løsningene som solcellepanel og solfanger. En pelletsovn er den løsningen som kommer desidert best ut av de støttevarmende tiltakene under bruk. Derfor er det den løsningen som bør velges med tanke klimagassutslipp og global oppvarming.

Som vist i tabell 6.10 er det for en 400 l akkumulatortank et utslipp på 719.31 $\text{kg CO}_2 \text{ eq}$, *cradle-to-grave*. Et solfangeranlegg er avhengig av en slik tank for å kunne lagre varme. Det er imidlertid regnet med her at en form for varmtvannstank finnes i hytta. Derfor er den ikke regnet med som en del av solfangeranlegget i livssyklusanalysen.

Bensinaggregatet har blitt regnet med at kan produsere 1000 W varme netto medregnet ekstra ventilasjon. Ved å varmeveksle effektivt, eventuelt kondensere ut noe av vanddampen, kan det være mulig å øke den termiske virkningsgraden betraktelig. Da vil også utslippet og kostnaden forbundet med drift reduseres noe.

Brenselcellen inneholder metaller som krever mye energi å utvinne. Grunnen til at den ikke har mer utslipp forbundet til produksjon, er den lave totale vekten (8.5 kg). Pelletsovn har betraktelig mye høyere totalvekt (96 kg), men på grunn av lenger levetid har den mindre klimagassutslipp enn brenselcellen over 60 år.

En stor kilde til klimautslipp på de fleste av løsningene som er blitt diskutert, er elektrisitetsmiksen som blir brukt under produksjonen. I en studie av Ellingsen rundt lithium-baserte batterier til elbiler blir det foreslått å bruke en elektrisitetsmiksbasert på fornybare energikilder [33]. Ifølge studien vil dette vil være den mest effektive måten å redusere klimagassutslippene på. Sånn sett er Norge et ideelt land å produsere i med vår fornybarbaserte elektrisitetsmiksbasert. Jostedal produserte tidligere pelletsovner i Norge og med tanke på elektrisitetsmiksbasert og transport er dette mer ideelt enn Italia som ble brukt i denne oppgaven.

8.5 Livsløpskostnader

Det er ikke alltid det lønner seg å gjøre miljøvennlige valg. Noen ganger må en ofre komfort eller økonomi for å redusere klimagassutslipp. Av de tre alternativene som kan levere varme uavhengig av hvor mye sol det er (bensinaggregat, pelletsovn og brenselcelleaggregat), er det bensinaggregatet som er rimeligst i innkjøp. Derimot er utslippene av klimagasser også større under bruk, det støyer mer og er brannfarlig. Bensinprisene er ikke forventet å synke, derimot kan prisene på pellets og Efoy-metanol synke dersom etterspørselen øker. Av de tre nevnte er det pelletsoven som er rimeligst i drift.

Brenselcelleaggregatet er ikke konkurransedyktig kostnadmessig og prisen vil trolig ikke falle i fremtiden. Siden membranen er laget av platina, som er et dyrt metall å fremstille, vil ikke økt produksjon påvirke prisen like mye. Drivstoffet er halvparten av den høye kostnaden og det må være mulig å produsere like ren metanol, til en lavere kostnad eventuelt bruke et form for filter. Halveres metanolprisen er den fortsatt dobbelt så dyr som bensin, men gir ihvertfall mindre utslipp under bruk. Andre typer brenselceller kan bli mer tilgjengelig i fremtiden. Som nevnt i kapittel 4 har Japan og Tyskland store prosjekter med gassbaserte brenselceller for private hjem som kogenerer både strøm og varme. Der forventes prisene å falle etterhvert, og det kan være en interessant løsning for hytter uten nett-tilkobling.

Pelletsovn er relativt dyrt i innkjøp, men drivstoffet er billig og miljøvennlig.

Skal den kombineres med solfanger eller solcelleanlegg blir fort totalprisen fort høy. Både solcellepanel og solfangeranlegg vil kunne falle i pris. Spesielt hvis det blir større etterspørsel og flere spesialaktører som kan utføre montering og installasjon.

8.6 Total vurdering

Når en skal legge de tre kriteriene til grunn (ytelse/brukervennlighet, utslipp og kostnad) gjør pelletsovn den bra både på pris og klimagassutslipp. Den krever derimot en del tilpasninger for å kunne fungere i en ubebodd hytte uten nettilkobling. Det finnes som nevnt løsninger for større pelletslagere med automatisk innmating og askehåndtering. Ideelt sett skulle det vært levert ovner som kunne kjøres på lavere effekt slik at det ikke var behov for en stor akkumulator-tank.

En enkel og vanlig løsning i hytter er solcellepanel kombinert med et lite aggregat. For denne løsningen er både investeringskostnad og produksjonsutslipp relativt lave, men kostnader og utslipp forbundet med bruk er høye i forhold til pelletsovn. Som det ble foreslått i prosjektoppgaven til undertegnede hadde det vært ideelt med et lite biodieselaggregat[108]. Ren biodiesel (B100, 100 %) vil kunne være sammenlignbart med pellets i utslipp under bruk, og totalt vil da klimagassutslippene være jevne mellom aggregatet og pelletsovn. Biodiesel er noe billigere per liter siden det slipper CO_2 -avgift ($13.85 \frac{kr}{T}$ [119]).

Hvis brenselcellen Efoy Comfort 210 kunne vært drevet i indre sone uten ekstra ventilasjon ville den vært meget enkel i drift. Den har allerede selvstart utifra spenningsnivå i batteribanken slik at den kan drives ubevoktet. Beregningene som er gjort viser derimot at selv om det er lite frisk luft som behøves vil det hope seg opp med vanndamp og CO_2 . Fukt kan føre til råte og vekst av mikroorganismer. Bli mye av denne fuktigheten kondensert og drenert kan det derimot løse noe av problematikken. Problemet med CO_2 -utslippet er det vil legge seg langs bakken i kjelleretasjen og skape problemer for brenselcellen. Det er ikke store utslipp det er snakk om her, men over tid kan konsentrasjonen nærme seg 10 000 ppm i snitt. Brenselcellens største ulempe er investeringskostnad og drivstoffpris, sammen med de nevnte utslippene er dette ikke en optimal løsning. Med den lave vekten og det kompakte drivstoffet er den derimot en populær løsning for strømproduksjon båt.

Kapittel 9

Konklusjon

9.1 Løsninger og oppvarmingsbehov

Det har i den konkrete rapporten blitt funnet et oppvarmingsbehov for å holde en termostattertemperatur i hele hytta på 10°C på 4078.1 kWh. Da er infiltrasjonen satt til å oppfylle TEK 10 sitt krav om $0.7 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{m}^2}$ ventilasjon i rom som ikke er beregnet for varig opphold. For en hytte koblet til strømmettet kan dette oppvarmingsbehovet møtes av en varmepumpe eller pelletsovn.

Oppvarmingsbehovet reduseres betraktelig når alt av sanitærutstyr er plassert i en isolert indre sone. Med samme ventilasjon på $0.7 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{m}^2}$ reduseres behovet med 92.1 % til 319.8 kWh. Maksimaleffekten på 150 W betyr at i teorien kan tre glødepærer på 60 W holde indre sone på termostattertemperatur. Når en setter termostattertemperaturen til 5°C vil oppvarmingsbehovet synke til 182.69 kWh, med en maksimaleffekt på 110 W. Skal det holde å varme opp indre sone med bare noen lyspærer er det avhengig av at varmen blir fordelt mellom etasjene. Det kan gjøres med to åpninger i etasjeskillet samt en vifte til å hjelpe likevektsventilasjonen. Dette er vist i figur 3.4 og ble simulert i ESP-r ved at de to etasjene i indre sone ble slått sammen slik at det ble fullstendig omrøring av luften.

Det ble funnet at isolasjonstykkelsen fra tidligere oppgaver med 25 cm polyuretanskum rundt indre sone gir lav U-verdi samtidig som den ikke tar unødvendig mye plass. Ytterveggene i laft fra prosjektoppgaven til undertegnede ble gjort om til panel med isolasjon for en mer realistisk modell av en moderne hytte [108].

For en hytte uten tilkobling til strømmettet ble det vurdert en rekke oppvarmingsløsninger og tiltak. Solcelle- og solfangeranlegg er utslippsfrie under bruk og krever lite vedlikehold. Svakheten til disse løsningene er at det er svakest solinnstråling når utetemperaturen er på det laveste. Derfor er det behov for ekstra oppvarming uavhengig av solen. Det ble her simulert og vurdert tre slike tiltak: Bensinaggregat, metanoldrevet brenselcelleaggregat og pelletsovn. De to første er drevet av fossile brennstoff, men lager i tillegg strøm som kan lade opp batteriene. Det er behov for noe strøm til å drive ventilasjonsvifte i indre sone samt solfangeranlegg og pelletsovn krever noe strøm under bruk.

Felles for de tre tiltakene er at de leverer høyere oppvarmingseffekt enn det det er behov for i indre sone. For å unngå for mange oppstarter av oppvarmingskilden ble det foreslått å varmeveksle med en varmtvannstank som vil kunne lagre varme for en kortere periode. Dette ble simulert ved hjelp av en såkalt *hanging surface* i ESP-r, og viste seg å fungere etter sin hensikt. For pelletsovn som har relativt høy effekt på laveste trinn ble det funnet at en burde øke størrelsen på

den termiske massen for å redusere antall oppstarter. Luftmengden til forbrenningsreaksjonene ble beregnet og det ble vurdert at det vil være nødvendig med ekstra ventilasjon for utluftning av avgassene. Brannfaren anses størst med et bensinaggregat, men for alle tre støttevarmende løsningene må man gjøre forebyggende tiltak.

9.2 Livssyklusperspektiv

De ulike oppvarmingsløsningene ble vurdert opp imot en 60 års levetid på hytta. Utslipp til produksjon av solcelle- og solfangeranlegg er ganske jevne over 60 år. Avhengig av størrelsen på anlegget er solcellepanel, en rimeligere og mer miljøvennlig løsning enn et solfangeranlegg. Klimagassutslipp fra solcelleanlegg avhenger av størrelsen på batteribanken. Bly-baserte batterier har relativt store utslipp og kort levetid.

Det er under bruk at aggregatene gir fra seg de største utslippene. Pelletsovn bidrar minst til global oppvarming under bruk på grunn av sitt klimanøytrale drivstoff. Regner en med en GWP-faktor på 0.44 for forbrenningen av pellets blir forskjellene mindre. Metanolbrenselcellen er dyrest i drift og i innkjøp, den legger seg mellom bensinaggregatet og pelletsovn i klimagassutslipp. Det er usikkert hvor mye prisen her vil synke i fremtiden sammenlignet med solcellepanel og solfangeranlegg.

9.3 Samlet vurdering

Det er vist her at med en godt isolert indre sone reduseres oppvarmingsbehovet for frostsikring betraktelig. For en hytte uten tilkobling til nettet er solcellepanel og solfanger miljøvennlige energikilder. For økt pålitelighet om vinteren bør de kombineres med et aggregat eller pelletsovn. Selv om brenselcellen har den mest ideelle oppvarmingseffekten og styringselektronikk integrert, blir den fort uaktuell på grunn av kostnadene. Pelletsovn krever en del tilpasninger, men har lavest klimagassutslipp og er rimeligst av de tre støttevarmende tiltakene. Med en termostattemperatur på 5°C kan bensinaggregatet monteres uten ekstra varmeveksling. Det gjør den til en enkel løsning, derimot gir den mest klimagassutslipp.

Kapittel 10

Videre arbeid

10.1 ESP-r

ESP-r har mange muligheter, og en videreføring fra denne oppgaven kan være å ta i bruk *plant*-funksjonen til å simulere solfangeranlegg og solcelleanlegg. Denne funksjonen kan også brukes til å sette opp en varmtvannstank for å simulere varmeveksling av avgass fra oppvarmingsløsninger. Dette har vist seg vanskelig å få til i versjon 11.0 og umulig i versjon 12.0. Derfor bør en avvente neste versjon i håp om at de har oppdatert denne *plant*-funksjonen.

10.2 Livssyklusanalyse

I denne studien var livssyklusanalysen basert på mange antagelser og tilnærminger. Dersom en får tak i nøyaktige data fra de aktuelle leverandørene vil det bli mulig å redusere usikkerheten rundt denne studien betraktelig. Hvis en i tillegg får gode data på resirkulering vil analysen bli mer reell. Når en har nøyaktige tall over materialer og prosesser kan en bruke disse sammen med prognoser for fremtiden til å estimere livsløpskostnader.

Bibliografi

- [1] Benjamin O. Agajelu. Life cycle cost analysis of a diesel/photovoltaic hybrid power generating system. *Industrial Engineering Letters*, 2013.
- [2] Ålhytta. Demo - energianneks. <http://www.norsk-solenergi.no/sol/Demo.html>, 2014.
- [3] E.A. Alsema, M.J. de Wild-Scholten, and V.M. Fthenakis. Environmental impacts of pv electricity generation - a critical comparison of energy supply options. *European Photovoltaic Solar Energy Conference*, 2006.
- [4] Anne Kristine Amble. Analyses of energy use for building with solar heating and heat exchange with the ground. Thesis, NTNU, 2008.
- [5] Ingvar Skattebu (Oppland Arbeiderblad). To døde av kullos. <http://www.oa.no/nyheter/valdres/article5868409.ece>, 1 2012.
- [6] Alternativ Energi AS. Air breeze. <http://www.mamut.net/alternativenerginno/newsdet16.htm>, 2013.
- [7] Berema AS. Honda strømaggregat eu 10i. <http://www.berema.no/Aggregater/Stromaggregater/EU/EU-10i.aspx>, 2014.
- [8] Hydro Texaco AS. Hms datablad - metanol. http://www.unox.no/chess/d1/bcdata/001/www/chess/ooge_1425/00000611.htm, 12 2005.
- [9] Ida Karin Auråen. Modeling of heat exchange with the ground and analyses of energy use for a frost proof leisure building with active solar heating. Master's thesis, NTNU, 6 2013.
- [10] Aventa. Case-eksempel enebolig. <http://www.avena.no/Priser/Pris-solfanger/case-eksempel-enebolig>, 2013.

- [11] Aventa. Pris solfanger. <http://www.avena.no/Priser/Pris-solfanger>, 2013.
- [12] AZoM.com. The future of the lithium-ion opportunity in solar energy storage. {<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=9891>}, 8 2013.
- [13] Antoine Beylot. Environmental impacts of large-scale grid-connected ground-mounted pv installations. *Renewable Energy*, 2012.
- [14] Rasmus Bøckman. Climatization for a leisure home building with sanitary installations - focusing on avoidance of moisture problems, frost problems and ghg-emissions. Thesis, 2011.
- [15] Anna Bondesson. Comparative lca model on renewable power solutions for off-grid radio base stations. Master's thesis, Royal Institute of Technology, 2010.
- [16] Are Siljan Børset. Development of a zero emission leisure home with a thermally insulated, frost-free, inner zone and solar-heated water storage. Thesis, 2009.
- [17] Oslo kommune Brann-og redningsetaten. Sørg for en trygg påske. <http://www.brann-og-redningsetaten.oslo.kommune.no/article276884-716.html>, 4 2014.
- [18] Torbjørn Bratteberg. Lca evaluation of concepts for leisure a home build. Thesis, 2010. Livssyklusanalyse av forskjellige bygningsmaterialer for hytter med tanke på frostsikring og lave klimautslipp.
- [19] Ryan M. Bright, Francesco Cherubini, and Anders H. Strømman. Climate impacts of bioenergy: Inclusion of carbon cycle and albedo dynamics in life cycle impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 2012.
- [20] Callux. Field test of residential fuel cells - background and activities. http://www.callux.net/files/medien/Callux_Standard_13-09-19_engl.pdf, 2013.
- [21] Daniele Cespi. Heating systems lca: comparison of biomass-based appliances. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2013.
- [22] Francesco Cherubini. Life-cycle assessment(lca) of biomass and bioenergy systems. In *TEP4223 Lecture*, 2013.

- [23] Joint Research Centre European Commission. Photovoltaic solar electricity potential in European countries. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>, 2006.
- [24] Joint Research Centre European Commission. Optimal slope. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>, 2007.
- [25] Joint Research Centre European Commission. Photovoltaic geographical information system - interactive maps. {<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>}, 6 2014.
- [26] Power Controls. Smart energy stations. <http://www.powercontrols.no/html/fritid.html>, 2013.
- [27] M.J. de Wild-Scholten. A cost and environmental impact comparison of grid-connected rooftop and ground-based pv systems. *European Photovoltaic Solar Energy Conference*, 2006.
- [28] Peter Van den Bossche, Frédéric Vergels, Joeri Van Mierlo, Julien Matheys, and Wout Van Autenboer. Subat: An assessment of sustainable battery technology. *Journal of Power Sources*, 162(2):913 – 919, 2006. Special issue including selected papers from the International Power Sources Symposium 2005 together with regular papers.
- [29] U.S. Department-of Energy. Esp-r. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=39/pagename=alpha_list, 2011.
- [30] Salwan Dihrab. On the performance of hybrid pv. *International Journal of Photoenergy*, 2012.
- [31] Efoy. Ofte stilte spørsmål. <http://www.efoy-comfort.com/nn/ofte-stilte-sp%C3%B8rsm%C3%A5l-faq>, 2014.
- [32] Efoy. Tekniske data. <http://www.efoy-comfort.com/nn/tekniske-data>, 2014.
- [33] Linda Ager-Wick Ellingsen. Life cycle assessment of a lithium-ion battery vehicle pack. *Journal of Industrial Ecology*, 2013.
- [34] Eneghuset. Wodtke frank flat dør. <http://www.energihuset.no/index.php?valg=pellets4&id=1>, 2014.
- [35] Esso Energi. Hms datablad -esso blyfri bensin 95. <http://www.essoenergi.no/userfiles/file/pdf/Esso%20Blyfri%20Bensin%2095.pdf>, 10 2005.

- [36] Energilink. Bensin. <http://energilink.tu.no/leksikon/bensin.aspx>, 2013.
- [37] Energilink. Metanol. <http://energilink.tu.no/leksikon/metanol.aspx>, 2013.
- [38] Enova. *Hjelp til deg som skal kjøpe væske/vann-varmepumpe*. Enova SF, 2010.
- [39] Enova. *Hjelp til deg som skal kjøpe luft/luft-varmepumpe*, 2012.
- [40] Enova. *Potensial- og barrierestudie - energieffektivisering av norske boliger*. Report, Enova SF, 2012.
- [41] Enova. Solfanger. <http://www.enova.no/radgivning/privat/rad-om-produkter-og-losninger/oppvarmingsalternativ/solfanger/solfanger-/116/138/>, 2 2012.
- [42] Enova. *Kostnadstudie, solkraft i norge 2013*. Technical report, Enova, 2013.
- [43] Enova. Pelletskamin. <http://www.enova.no/radgivning/privat/rad-om-produkter-og-losninger/oppvarmingsalternativ/pelletskamin/pelletskamin-/114/136/>, 2013.
- [44] Enova. Støtte til energitiltak i bolig. <http://www.enova.no/finansiering/privat/tilskuddsordningen/130/0/>, 2013.
- [45] Brian Fleck and Marc Huot. Comparative life-cycle assessment of a small wind turbine for residential off-grid use. *Renewable Energy*, 34(12):2688 – 2696, 2009.
- [46] Folkehelseinstituttet. Legionellose. <http://www.fhi.no/artikler/?id=82774>, 2 2014.
- [47] Direktoratet for arbeidstilsynet. *Administrative normer for forurensning i arbeidsatmosfære*. Arbeidstilsynet, Postboks 4720, Sluppen, 7468 Trondheim, 15 edition, 12 2011.
- [48] Forbrukerrådet. Flere spørsmål og svar om varmepumper. <http://www.forbrukerradet.no/annet/tester-og-kj%C3%B8petips/produkter/7.flere-sp%C3%B8rsm%C3%A5l-og-svar-om-varmepumper>, 2012.
- [49] Fornybar.no. Brenselcelle. <http://fornybar.no/andre-teknologier/brenselceller>, 2013.

- [50] Fornybar.no. Den fotoelektriske effekten. <http://fornybar.no/solenergi/elektrisk-energi-fra-solen/den-fotoelektriske-effekten>, 2013.
- [51] Fornybar.no. Energibærere og lagring. <http://fornybar.no/energibærere-og-lagring#e19>, 2013.
- [52] Fornybar.no. Ressursgrunnlag. <http://fornybar.no/solenergi/ressursgrunnlag#sol1.1>, 2013.
- [53] Norges Forskningsråd. Drivstoffalternativer for vegtransport. {http://www.forskningsradet.no/prognett-hydrogen/Artikkel/Drivstoffalternativer_for_vegtransport/1232959159398}, 6 2006.
- [54] Vasilis Fthenakis. Photovoltaics energy payback times, greenhouse gas emissions and external costs: 2004–early 2005 status. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 2006.
- [55] FuelCellToday. Dmfc. <http://www.fuelcelltoday.com/technologies/dmfc>, 2014.
- [56] Getek. Prisliste. <http://generator.firmanett.no/g/getekas/doc/Getekprisliste2009.pdf>, 2009.
- [57] Getek. Ampair pacific 100. <http://generator.firmanett.no/g/getekas/doc/Ampair100.pdf>, 2013.
- [58] Getek. Getek ws vindturbiner. <http://generator.firmanett.no/g/getekas/doc/GETEKWSvindturbiner.pdf>, 2013.
- [59] Getek. Nettbutikk - batterier. <http://getek.mamutweb.com/Shop/List/Batterier/57/1>, 2013.
- [60] Getek. Rec solcellemoduler. <http://www.getek.no/brosjyrer/RECSolcellemoduler.pdf>, 2013.
- [61] Getek. Strømaggregat. http://www.getek.no/aggregat_getek.html, 2013.
- [62] R. Glöckner. Environmental life cycle assessment of the elkem solar metallurgical process route to solar grade silicon with focus on energy consumption and greenhouse gas emissions. *Silicon for the Chemical and Solar Industry IX*, 2008.
- [63] Wee gruppen. Sol ecowee 2i1 hybridpanel. http://www.wee-trading.no/index.cfm?tmpl=butikk&a=product_inline&&b_kid=636874&b_id=1119588, 2013.

- [64] John Hille, Morten Simonsen, and Carlo Aall. Trender og drivere for energibruk i norske husholdninger. Report, NVE, 2011.
- [65] David D. Hsu. Life cycle greenhouse gas emissions of crystalline silicon photovoltaic electricity generation. *Journal of Industrial Ecology*, 2012.
- [66] Hyttebutikken. Energiløsninger - brosjyre. <http://www.hyttebutikken.no/>, 2013.
- [67] Hyttebutikken. Katalog 2013. http://www.hyttebutikken.no/web-content/katalog_pageflip_2013_3/katalog_2013.html, 2013.
- [68] Hyttebutikken. Air - x vindvifte. <http://www.hyttebutikken.no/produktervindkraft.html>, 2014.
- [69] Hyttelivsenteret. Honda eu 10i bensinaggregat. <http://www.hyttelivsenteret.no/honda-eu-10i-bensinaggregat--p-479-c-137.aspx>, 2013.
- [70] Klimatilpasning i norske kommuner. Muggsopp. <http://www.klimakommune.no/kulturarv/Muggsopp.shtml>, 2008.
- [71] IF. Bygningsforsikring - villa/fritidsbolig. <http://w1.if.no/web/vilkaar.nsf/WebVilkaarPrGrp/48CCFC0656CE3A1EC1257941002E2FA4?OpenDocument>, 2013.
- [72] Frank P. Incropera. *Fundamentals of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons, 2007.
- [73] Solveig Irgens. Tek 15-rapporten er klar. <http://www.lavenergiprogrammet.no/nyheter-fra-lavenergiprogrammet/tek-15-rapporten-er-klar-article2144-122.html>, 2013.
- [74] Linda Johansson. Emission characteristics of modern and old-type residential boilers fired with wood logs and wood pellets. *Atmospheric Environment*, 2004.
- [75] Knut Olav Knudsen. Alternative løsninger til oljekjel. In *Fornybar oppvarming*.
- [76] Audhild Kvam. Utviklingstrender for energismarte bygg, enovakonferansen 2014. Technical report, Enova SF, 2014.
- [77] Store Norske Leksikon. Bilavgasser. <http://snl.no/bilavgasser>, 2007.
- [78] Listengros. Aggregat 650w. <http://www.listerengros.no/products/aggregat-650w>, 2013.

- [79] Ragnhild Haukland Løge. Analyses of energy use for a frost proof leisure building with solar heating and heat exchange with the ground. Thesis, 2012.
- [80] Ragnhild Haukland Løge. Modeling and analysis of a frost proof leisure building with active solar heating and heat exchange with the ground. Master's thesis, NTNU, 1 2014.
- [81] Leif Lundby. *Forbrenningsmotorer*. Universitetsforlaget, 1968.
- [82] Maxfritid. Aggregat brenselcelle. http://www.maxfritid.no/index.php?page_id=1168, 2013.
- [83] Popular Mechanics. Is wood the best renewable fuel for heating. <http://www.popularmechanics.com/home/improvement/energy-efficient/is-wood-the-best-renewable-fuel-for-heating-2>, 2011.
- [84] Mehdi Mehrpooya and Samaneh Daviran. Dynamic modeling of a hybrid photovoltaic system with hydrogen/air pem fuel cell. *IJEE*, 4(2):104–109, 2013.
- [85] Miljøverndepartementet. Norske miljømål. <http://www.regjeringen.no/pages/35176012/T-1508.pdf>, 2013.
- [86] ModernPowerSystems. Microchp and the municipalities. <http://www.modernpowersystems.com/features/featuremicrochp-and-the-municipalities/>, 2013.
- [87] NREL. Best research-cell efficiencies. http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg, 2013.
- [88] Daniel Nugent and Benjamin K. Sovacool. Assessing the life cycle greenhouse gas emissions from solar pv and wind energy: A critical meta-survey. *Energy Policy*, 2014.
- [89] NVE. Opprinnelsesgarantier. 2009.
- [90] NVE. Fyllingsgrad. <http://vanmagasinfylling.nve.no/Default.aspx?ViewType=AllYearsTable&Omr=N0,04> 2014.
- [91] NVE, Enova, Norges Forskningsråd, and Innovasjon Norge. Fornybar energi 2007. Report, 2007.
- [92] University of Strathclyde-Energy-Systems-Research-Unit. Esp-r development history and future plans. http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r_history.htm, 2013.

- [93] Norges Astma og Allergi Forbund. Luftfukt i boliger. <http://www.naaf.no/Documents/1.%20Inneklima/Fukt%20og%20mugg/LuftfuktIBoliger20110906.pdf>, 2011.
- [94] Oljefri. Lønnsomt å bli oljefri? {<http://oljefri.no/bolig/oekonomi/category1163.html>}, 1 2013.
- [95] Oljefri. Luft/luft-varmepumpe - kostnader. <http://oljefri.no/bolig/kostnader/category1545.html>, 2013.
- [96] Oljefri. Luft/vann - varmepumpe. <http://oljefri.no/bolig/luft-vann-varmepumpe/category1530.html>, 2013.
- [97] Oljefri. Slik fungerer pelletsaminer. <http://oljefri.no/bolig/slik-fungerer-den/category1117.html>, 2013.
- [98] Oljefri. Solvarme. <http://oljefri.no/bolig/solvarme/category1535.html>, 2013.
- [99] Oljefri. Væske/vann-varmepumpe. <http://oljefri.no/bolig/vaeske-vann-varmepumpe/category1531.html>, 2013.
- [100] Stiftelsen Østfoldforskning. Fasene i en lca. <http://www.sto-projects.com/lcakurs/index3.asp>, 2002.
- [101] Trond Paasche. Enova - epostkorrespondanse - se appendiks, 2013.
- [102] Michel De Paepe, Peter DâHerdt, and David Mertens. Micro-chp systems for residential applications. *Energy Conversion and Management*, 2006.
- [103] Ben Ellison (Panbo.com). Efoy fuel cell, a winner? http://www.panbo.com/archives/2009/09/efoy_fuel_cell_a_winner.html, 9 2009.
- [104] Martin Pehnt. Life-cycle assessment of fuel cell stacks. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2001.
- [105] Dine Penger. Styr unna vannfellen på hytta. <http://www.dinepenger.no/bruke/styr-unna-vannfellen-paa-hytta/21620702>, 2013.
- [106] Smiths Environmental Products. Pvt hybrid panel - newform energy. <http://www.smithsenv.co.uk/products/pv-t-panels/pvt-hybrid-panel---newform-energy>, 2013.
- [107] Regjeringen.no. Miljøvennlige boliger og bygg. http://www.regjeringen.no/nb/dep/krd/tema/bolig-og_bygningspolitikk/byggeskikk-miljo-og-universell-utforming/miljovennlige-boliger-og-bygg.html?id=512582, 2013.

- [108] Sigmund Rimstad. Mulige oppvarmingsløsninger for frostsikring av sanitærinstallasjoner i en fritidsbolig. NTNU, 2013.
- [109] Liv Bjørhovde Rindal and Fritjof Salvesen. Solenergi for varmeformål - snart lønnsomt. Report, KanEnergi, 2009 2009.
- [110] Enøk senteret. Enøk i hjemmet. http://www.husogheim.no/1/1_40.html, 2013.
- [111] Sintef. Unngå vannskader på hytta, 2013.
- [112] Nate Skow. Passive solar design basis. <http://www.motherearthnews.com/green-homes/passive-solar-design-zm0z12jjzphe.aspx#axzz2nAZWxS9q>, 2012.
- [113] Justin Smoker and Jacob Pessia. Small scale cogeneration including automotive applications. <http://me1065.wikidot.com/small-scale-cogeneration-including-automotive-applications>, 2008.
- [114] The German Solar Energy Society. *Planning and Installing Solar Thermal Systems: A guide for installers, architects and engineers*. James and James, London, 1 edition, 2005.
- [115] Kari Sørnes and Åshild Lappegard Hauge. Brukererfaringer fra privateide solfangeranlegg, solenergidagen 2014. Technical report, SINTEF, 2014.
- [116] SSB. Energibruk i husholdningene 2009. <http://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/husenergi/hvert-3-aar/2011-04-19#content>, 7 2011.
- [117] SSB. Elektrisitet, årstal. <https://www.ssb.no/statistikkbanken/SelectVarVal/Define.asp?MainTable=NtoForbKraftGrupp&KortNavnWeb=elektrisitetaar&PLanguage=0&checked=true>, 2012.
- [118] SSB. Bygningsmassen. <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom>, 2013.
- [119] Statoil. Drivstoffpriser - veiledende priser uten transportpåslag hos statoil. <http://www.dinepenger.no/bruke/styr-unna-vannfellen-paa-hytta/21620702>, 6 2014.
- [120] Jørn Stene. Oppvarmingssystemer for boliger av lavenergi- og passivhusstandard. Report, 2008.

- [121] Stocksbro. Bio-sol boiler. <http://www.stocksbro.se/products/bio-sol-boiler.aspx>, 2014.
- [122] J.L. Sullivan and L. Gaines. A review of battery life-cycle analysis: State of knowledge and critical needs. Technical report, Center for Transportation Research Energy Systems Division, Argonne National Laboratory, 2010.
- [123] Sunwind. Vindenergi. <http://www.sunwind.no/content/pages/catalog/productindex.asp?mc=6&sc=10>, 2013.
- [124] Nordic Power Systems. The cool flame fuel cell generator. <http://nordicpowersystems.com/>, 2013.
- [125] Bjørn Thorud. Kostnader og lønnsomhet i et voksende solenergimarked, solenergidagen 2014. Technical report, Multiconsult og Enova, 2014.
- [126] Alternative Energy Tutorials. Evacuated tube collector. <http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/evacuated-tube-collector.html>, 2014.
- [127] UltraLife. Li-ion vs. lead acid. <http://ultralifecorporation.com/download/275/>, 6 2014.
- [128] Power Generation University. Pv power unitized regenerative fuel cell system performance in malaysia. http://www.powergenu.com/courses/23/PDF/PGU_PvPoweredFuelCell.pdf, 2013.
- [129] Varmepumpeinfo. Pris på varmpumpe. http://www.varmpumpeinfo.no/pris_varmpumpe, 2009.
- [130] Vetah. Honda power generators. <http://www.vetah.net/hondagenerators.htm>, 2014.
- [131] Volther. Datasheet powertherm and powervolt. http://www.smithsenv.co.uk/uploads/products/products/pvt/newform/volther_datasheet.pdf, 2013.
- [132] Einar Wilhelmsen. Gi meg solen, enova! <http://blogg.zero.no/2014/01/gi-meg-solen-enova/>, 1 2014.
- [133] Einar Willhelmsen. Må vi betale for solstrøm på nettet? In *ZEB-konferansen*.
- [134] Mark Zimmermann. Technologies for future plus-energy-buildings. In *ZEB-konferansen*.

[135] Zolas. Slik fungerer zolas solventilator. http://www.zolasenergi.com/index.php?option=com_content&view=article&id=26&Itemid=177, 2014.

Personlig kommunikasjon med Per Olaf Tjelflaat og Rasmus Z. Høseggen, våren 2014.

Epost-korrespondanse med stipendiat Tuva Grytli på Institutt for energi- og prosessteknikk, Program for industriell økologi, våren 2014.

Appendiks

LCA

Kjemisk innhol i bio-pellets [74]

Element	Innhold[%]
Aske	0.5
Fuktighet	9.1
Nedre brennverdi[$\frac{MJ}{kg}$]	19.0
<i>Innhold</i>	
Karbon	50.2
Oksygen	43.2
Hydrogen	5.9
Nitrogen	0.08
Svovel	<0.01

ESP-r

Synopsis

Synopsis of the model Model of cabin with an insulated inner zone defined in Hytteprosjekt01.cfg generated on Sun May 25 19:31:56 2014. Notes associated with the model are in ../doc/Hytteprosjekt01.log

The model is located at latitude 63.18 with a longitude difference of -0.50 from the local time meridian. The year used in simulations is 1995 and weekends occur on Saturday and Sunday.

The site exposure is typical city centre and the ground reflectance is 0.20.

Simulationist name: not yet defined

Simulationist telephone: not yet defined

Simulationist address: not yet defined

Simulationist city: not yet defined

Simulationist postcode: not yet defined

The climate is: OSTERSUND/FROSON - SWE and is held in: ../dbs/ostersund.clm with hour centred solar data. annual weather : ../dbs/ostersund.clm

Calculated ground temp at 0.5m depth -1.9597 -5.0454 -5.8853 -5.1568 -0.99080
3.6750 8.0648 11.243 12.171 10.678 7.0813 2.5468

Calculated ground temp at 1.0m depth -0.86512 -3.9428 -5.0408 -4.6372 -1.2336

2.8999 6.9788 10.134 11.347 10.349 7.3528 3.3290
Calculated ground temp at 2.0m depth 0.81430 -2.0766 -3.4534 -3.5032 -1.3041
1.8879 5.3212 8.2645 9.7855 9.5010 7.4716 4.3546
Calculated ground temp at 4.0m depth 2.6250 0.38079 -0.99802 -1.4214 -0.60971
1.2485 3.5568 5.8234 7.3466 7.7115 6.8402 5.0151

An Integrated Performance View is incomplete or missing.

Databases associated with the model:
standard pressure distr: pressc.db1
materials : ../dbs/Hytteprosjekt01.materialdb
constructions : ../dbs/Hytteprosjekt01.constrddb
standard plant comp : plantc.db1
standard event profiles: profiles.db2.a
optical properties : ../dbs/Hytteprosjekt01.opticdb
standard UK NCM data : SBEM.db1
standard mould isopleth: mould.db1

The model includes ideal controls as follows:
Control description:
To keep int_zone above 5 degrees celsius

Zones control includes 1 functions. no zone control description supplied

The sensor for function 1 senses the temperature of the current zone.
The actuator for function 1 is at inside face of termisk_m in int_zone.
There have been 1 day types defined.
Day type 1 is valid Sun-01-Jan to Sun-31-Dec, 1995 with 1 periods.
Per | Start | Sensing | Actuating | Control law | Data
1 0.00 db temp > flux separate ON/OFF flux: heating capacity 2500.00W cooling
capacity 0.00W heating on below 10.00C heating off above 15.00C cooling on
above 100.00C cooling off below 90.00C.

Zone to control loop linkages:
zone (1) south_zone0 « control 0
zone (2) north_zone0 « control 0
zone (3) south_zone « control 0
zone (4) north_zone « control 0
zone (5) int_zone « control 1

ID Zone Volume | Surface Name m^3 | No. Opaque Transp Floor
 1 south_zone0 56.0 8 102.0 0.0 28.0 south_zone0 describes a basement
 2 north_zone0 59.5 10 119.5 0.0 29.8 north_zone0 describes a basement
 3 south_zone 112.0 9 122.4 25.6 28.0 south_zone describes a first floor living room
 4 north_zone 119.0 10 179.5 0.0 29.8 north_zone describes a first floor living room
 5 int_zone 37.5 12 74.9 0.0 6.3 int_zone describes a insulated internal zone
 all 384. 49 598. 26. 122.

Zone south_zone0 (1) is composed of 8 surfaces and 12 vertices.
 It encloses a volume of $56.0m^3$ of space, with a total surface area of $102.m^2$ &
 approx floor area of $28.0m^2$ south_zone0 describes a basement
 There is $58.000m^2$ of exposed surface area, $30.000m^2$ of which is vertical.
 Outside walls are 207.14% of floor area & avg U of 0.117 & UA of 6.8071

A summary of the surfaces in south_zone0(1) follows:

Surf	Area	Azim	Elev	surface	geometry	construction	environment
m^2	deg	deg	name	optical	locat	use	name other side
1	16.0	180.	0.	south0	OPAQUE VERT	- 0extern_wall	< external
2	7.00	90.	0.	east0	OPAQUE VERT	- 0extern_wall	< external
3	7.00	270.	0.	west0	OPAQUE VERT	- 0extern_wall	< external
4	28.0	0.	90.	sep_floor_s	OPAQUE CEIL	- fl_separatio	< sep_floor_s:south_zone
5	28.0	0.	-90.	base_floor_s	OPAQUE FLOR	- base_floor	< external
6	2.00	0.	0.	part0_east	OPAQUE VERT	- part_wall	< part0_east:north_zone0
7	9.00	0.	0.	part0_west	OPAQUE VERT	- part_wall	< part0_west:north_zone0
8	5.00	0.	0.	int_s	OPAQUE VERT	- internal_wal	< int_s:int_zone

All surfaces will receive diffuse insolation (if shading not calculated).
 No shading analysis requested.
 No insolation analysis requested.

Air schedule notes: no operations notes (yet)
 Control: no control of air flow

Scheduled air infiltration and ventilation:
 Daytype Period Infiltration Ventilation From Source
 id Hours Rate ac/h m^3/s Rate ac/h m^3/s Zone DegC
 weekdays 1 0 - 24 0.35 0.0054 0.00 0.0000 0 0.00
 saturday 1 0 - 24 0.35 0.0054 0.00 0.0000 0 0.00
 sunday 1 0 - 24 0.35 0.0054 0.00 0.0000 0 0.00

Notes:

no operations notes (yet)

Daytype Gain Type Period Sensible Latent Radiant Convec
No. label Hours Magn.(W) Magn.(W) Fraction Fraction

Zone north_zone0 (2) is composed of 10 surfaces and 16 vertices.
It encloses a volume of $59.5m^3$ of space, with a total surface area of $120.m^2$ &
approx floor area of $29.8m^2$ north_zone0 describes a basement
There is $63.750m^2$ of exposed surface area, $34.000m^2$ of which is vertical.
Outside walls are 214.29% of floor area & avg U of 0.118 & UA of 7.5046

A summary of the surfaces in north_zone0(2) follows:

Sur	Area	Azim	Elev	surface	geometry	construction	environment
	m^2	deg	deg	name	optical	locat	use name other side
1	9.00	90.	0.	east0	OPAQUE	VERT - 0extern_wall	< external
2	16.0	0.	0.	north0	OPAQUE	VERT - 0extern_wall	< external
3	9.00	270.	0.	west0	OPAQUE	VERT - 0extern_wall	< external
4	29.8	0.	90.	sep_floor_n	OPAQUE	CEIL - fl_separatio	< sep_floor_n:north_zone
5	29.8	0.	-90.	base_floor_n	OPAQUE	FLOR - base_floor	< external
6	2.00	180.	0.	part0_east	OPAQUE	VERT - part_wall	< part0_east:south_zone0
7	9.00	180.	0.	part0_west	OPAQUE	VERT - part_wall	< part0_west:south_zone0
8	5.00	270.	0.	int_e	OPAQUE	VERT - internal_wal	< int_e:int_zone
9	5.00	180.	0.	int_n	OPAQUE	VERT - internal_wal	< int_n:int_zone
10	5.00	90.	0.	int_w	OPAQUE	VERT - internal_wal	< int_w:int_zone

All surfaces will receive diffuse insolation (if shading not calculated).
No shading analysis requested.
No insolation analysis requested.

Air schedule notes:

Flow schedules imported. No other notes (yet).

Control: no control of air flow

Scheduled air infiltration and ventilation:

Daytype	Period	Infiltration	Ventilation	From Source			
id	Hours	Rate ac/h	m^3/s	Rate ac/h	m^3/s	Zone	DegC
weekdays	1 0 - 24	0.35	0.0058	0.00	0.0000	0	0.00
saturday	1 0 - 24	0.35	0.0058	0.00	0.0000	0	0.00

sunday 1 0 - 24 0.35 0.0058 0.00 0.0000 0 0.00

Notes:

Flow schedules imported. No other notes (yet).

Daytype	Gain	Type	Period	Sensible	Latent	Radiant	Convec
No.	label	Hours	Magn.(W)	Magn.(W)	Fraction	Fraction	
weekdays 1	OccuptW	0-24	0.0	0.0	0.60	0.40	
weekdays 2	LightsW	0-24	0.0	0.0	0.30	0.70	
weekdays 3	EquiptW	0-24	0.0	0.0	0.40	0.60	
weekdays 4	OccuptW	0-24	0.0	0.0	0.60	0.40	
weekdays 5	LightsW	0-24	0.0	0.0	0.30	0.70	
weekdays 6	EquiptW	0-24	0.0	0.0	0.40	0.60	
saturday 1	OccuptW	0-24	0.0	0.0	0.60	0.40	
saturday 2	LightsW	0-24	0.0	0.0	0.30	0.70	
saturday 3	EquiptW	0-24	0.0	0.0	0.40	0.60	
saturday 4	OccuptW	0-24	0.0	0.0	0.60	0.40	
saturday 5	LightsW	0-24	0.0	0.0	0.30	0.70	
saturday 6	EquiptW	0-24	0.0	0.0	0.40	0.60	
sunday 1	OccuptW	0-24	0.0	0.0	0.60	0.40	
sunday 2	LightsW	0-24	0.0	0.0	0.30	0.70	
sunday 3	EquiptW	0-24	0.0	0.0	0.40	0.60	
sunday 4	OccuptW	0-24	0.0	0.0	0.60	0.40	
sunday 5	LightsW	0-24	0.0	0.0	0.30	0.70	
sunday 6	EquiptW	0-24	0.0	0.0	0.40	0.60	

Zone south_zone (3) is composed of 9 surfaces and 16 vertices.

It encloses a volume of $112.m^3$ of space, with a total surface area of $148.m^2$ & approx floor area of $28.0m^2$ south_zone describes a first floor living room

There is $88.000m^2$ of exposed surface area, $60.000m^2$ of which is vertical.

Outside walls are 122.86% of floor area & avg U of 0.208 & UA of 7.1475

Flat roof is 100.00% of floor area & avg U of 0.052 & UA of 1.4581

Glazing is 91.428% of floor & 42.667% facade with avg U of 1.458 & UA of 37.329

A summary of the surfaces in south_zone(3) follows:

Sur	Area	Azim	Elev	surface	geometry	construction	environment		
	m^2	deg	deg	name	optical	locat	use	name	other side
1	6.40	180.	0.	south1	OPAQUE	VERT	- 1extern_wall		< external
2	14.0	90.	0.	east1	OPAQUE	VERT	- 1extern_wall		< external

3 14.0 270. 0. west1 OPAQUE VERT - 1extern_wall ||< external
 4 28.0 0. 90. roof_s OPAQUE CEIL - roof ||< external
 5 28.0 0. -90. sep_floor_s OPAQUE FLOR - fl_separatio ||< sep_floor_s:south_
 zone0
 6 25.6 180. 0. window_south DCF7671_VERT C-WIN window ||< external
 7 4.00 0. 0. part_east OPAQUE VERT - part_wall ||< part_east:north_zone
 8 18.0 0. 0. part_west OPAQUE VERT - part_wall ||< part_west:north_zone
 9 10.0 0. 0. int_south OPAQUE VERT - internal_wal ||< int_south:int_zone

All surfaces will receive diffuse insolation (if shading not calculated).
 No shading analysis requested.
 No insolation analysis requested.

Air schedule notes:

Flow schedules imported. No other notes (yet).

Control: no control of air flow

Scheduled air infiltration and ventilation:

Daytype	Period	Infiltration Rate ac/h	Infiltration Rate m^3/s	Ventilation Rate ac/h	Ventilation Rate m^3/s	Zone	DegC
weekdays	1 0 - 24	0.17	0.0054	0.00	0.0000	0	0.00
saturday	1 0 - 24	0.17	0.0054	0.00	0.0000	0	0.00
sunday	1 0 - 24	0.17	0.0054	0.00	0.0000	0	0.00

Notes:

Flow schedules imported. No other notes (yet).

Daytype	Gain Type	Period	Sensible Magn.(W)	Latent Magn.(W)	Radiant Fraction	Convec Fraction
weekdays	1 OccuptW	0-24	0.0	0.0	0.60	0.40
weekdays	2 LightsW	0-24	0.0	0.0	0.30	0.70
weekdays	3 EquiptW	0-24	0.0	0.0	0.40	0.60
weekdays	4 OccuptW	0-24	0.0	0.0	0.60	0.40
weekdays	5 LightsW	0-24	0.0	0.0	0.30	0.70
weekdays	6 EquiptW	0-24	0.0	0.0	0.40	0.60
saturday	1 OccuptW	0-24	0.0	0.0	0.60	0.40
saturday	2 LightsW	0-24	0.0	0.0	0.30	0.70
saturday	3 EquiptW	0-24	0.0	0.0	0.40	0.60
saturday	4 OccuptW	0-24	0.0	0.0	0.60	0.40
saturday	5 LightsW	0-24	0.0	0.0	0.30	0.70
saturday	6 EquiptW	0-24	0.0	0.0	0.40	0.60

sunday 1 OccuptW 0-24 0.0 0.0 0.60 0.40
sunday 2 LightsW 0-24 0.0 0.0 0.30 0.70
sunday 3 EquiptW 0-24 0.0 0.0 0.40 0.60
sunday 4 OccuptW 0-24 0.0 0.0 0.60 0.40
sunday 5 LightsW 0-24 0.0 0.0 0.30 0.70
sunday 6 EquiptW 0-24 0.0 0.0 0.40 0.60

Zone north_zone (4) is composed of 10 surfaces and 16 vertices.
It encloses a volume of 119.m³ of space, with a total surface area of 180.m² &
approx floor area of 29.8m² north_zone describes a first floor living room
There is 97.750m² of exposed surface area, 68.000m² of which is vertical.
Outside walls are 228.57% of floor area & avg U of 0.208 & UA of 14.129
Flat roof is 100.00% of floor area & avg U of 0.052 & UA of 1.5492

A summary of the surfaces in north_zone(4) follows:

Surf	Area	Azim	Elev	surface	geometry	construction	environment
m ²	deg	deg	name	optical	locat	use	name other side
1	18.0	90.	0.	east1	OPAQUE VERT WALL	1extern_wall	< external
2	32.0	0.	0.	north1	OPAQUE VERT WALL	1extern_wall	< external
3	18.0	270.	0.	west1	OPAQUE VERT WALL	1extern_wall	< external
4	29.8	0.	90.	roof_n	OPAQUE CEIL - roof		< external
5	29.8	0.	-90.	sep_floor_n	OPAQUE FLOR - fl_separatio		< sep_floor_n:north_zone0
6	10.0	270.	0.	int_east	OPAQUE VERT - internal_wal		< int_east:int_zone
7	10.0	90.	0.	int_west	OPAQUE VERT - internal_wal		< int_west:int_zone
8	10.0	180.	0.	int_north	OPAQUE VERT - internal_wal		< int_north:int_zone
9	4.00	180.	0.	part_east	OPAQUE VERT - part_wall		< part_east:south_zone
10	18.0	180.	0.	part_west	OPAQUE VERT - part_wall		< part_west:south_zone

All surfaces will receive diffuse insolation (if shading not calculated).
No shading analysis requested.
No insolation analysis requested.

Air schedule notes:
Flow schedules imported. No other notes (yet).
Control: no control of air flow

Scheduled air infiltration and ventilation:
Daytype Period Infiltration Ventilation From Source

id	Hours	Rate ac/h	m^3/s	Rate ac/h	m^3/s	Zone	DegC
weekdays 1	0 - 24	0.17	0.0058	0.00	0.0000	0	0.00
saturday 1	0 - 24	0.17	0.0058	0.00	0.0000	0	0.00
sunday 1	0 - 24	0.17	0.0058	0.00	0.0000	0	0.00

Notes:

Flow schedules imported. No other notes (yet).

Daytype	Gain	Type	Period	Sensible	Latent	Radiant	Convec
No.	label	Hours	Magn.(W)	Magn.(W)	Fraction	Fraction	
weekdays 1	OccuptW	0-24	0.0	0.0	0.60	0.40	
weekdays 2	LightsW	0-24	0.0	0.0	0.30	0.70	
weekdays 3	EquiptW	0-24	0.0	0.0	0.40	0.60	
weekdays 4	OccuptW	0-24	0.0	0.0	0.60	0.40	
weekdays 5	LightsW	0-24	0.0	0.0	0.30	0.70	
weekdays 6	EquiptW	0-24	0.0	0.0	0.40	0.60	
saturday 1	OccuptW	0-24	0.0	0.0	0.60	0.40	
saturday 2	LightsW	0-24	0.0	0.0	0.30	0.70	
saturday 3	EquiptW	0-24	0.0	0.0	0.40	0.60	
saturday 4	OccuptW	0-24	0.0	0.0	0.60	0.40	
saturday 5	LightsW	0-24	0.0	0.0	0.30	0.70	
saturday 6	EquiptW	0-24	0.0	0.0	0.40	0.60	
sunday 1	OccuptW	0-24	0.0	0.0	0.60	0.40	
sunday 2	LightsW	0-24	0.0	0.0	0.30	0.70	
sunday 3	EquiptW	0-24	0.0	0.0	0.40	0.60	
sunday 4	OccuptW	0-24	0.0	0.0	0.60	0.40	
sunday 5	LightsW	0-24	0.0	0.0	0.30	0.70	
sunday 6	EquiptW	0-24	0.0	0.0	0.40	0.60	

Zone int_zone (5) is composed of 12 surfaces and 16 vertices.

It encloses a volume of $37.5m^3$ of space, with a total surface area of $74.9m^2$ & approx floor area of $6.25m^2$

int_zone describes a insulated internal zone

There is 12.500m2 of exposed surface area.

Outside walls are 100.00% of floor area & avg U of 0.106 & UA of 0.66234

Flat roof is 100.00% of floor area & avg U of 0.052 & UA of 0.32546

A summary of the surfaces in int_zone(5) follows:

Sur	Area	Azim	Elev	surface	geometry	construction	environment
-----	------	------	------	---------	----------	--------------	-------------

	m^2	deg	deg	name	optical	locat	use	name	other side
1	10.0	90.	0.	int_east	OPAQUE	VERT	- internal_wal	<	int_east:north_zone
2	10.0	0.	0.	int_north	OPAQUE	VERT	- internal_wal	<	int_north:north_zone
3	10.0	270.	0.	int_west	OPAQUE	VERT	- internal_wal	<	int_west:north_zone
4	6.25	0.	90.	roof_i	OPAQUE	CEIL	- roof	<	external
5	10.0	180.	0.	int_south	OPAQUE	VERT	- internal_wal	<	int_south:south_zone
6	5.00	90.	0.	int_e	OPAQUE	VERT	- internal_wal	<	int_e:north_zone0
7	5.00	0.	0.	int_n	OPAQUE	VERT	- internal_wal	<	int_n:north_zone0
8	5.00	270.	0.	int_w	OPAQUE	VERT	- internal_wal	<	int_w:north_zone0
9	5.00	180.	0.	int_s	OPAQUE	VERT	- internal_wal	<	int_s:south_zone0
10	6.25	0.	-90.	base_floor_i	OPAQUE	FLOR	- base_floor	<	external
11	1.20	180.	0.	termisk_m	OPAQUE	VERT PARTN	Thermal_mass	<	termisk- _m:int_zone
12	1.20	0.	0.	termisk_m_	OPAQUE	VERT PARTN	Thermal_mass	<	termisk- _m:int_zone

All surfaces will receive diffuse insolation (if shading not calculated).
No shading analysis requested.
No insolation analysis requested.

Air schedule notes:

Flow schedules imported. No other notes (yet).
Control: no control of air flow

Scheduled air infiltration and ventilation:

Daytype	Period	Infiltration Rate ac/h	Ventilation Rate ac/h	From Source m^3/s	Rate ac/h m^3/s	Zone	DegC
weekdays	1 0 - 24	0.12	0.0012	0.00	0.0000	3	0.00
saturday	1 0 - 24	0.12	0.0012	0.00	0.0000	3	0.00
sunday	1 0 - 24	0.12	0.0012	0.00	0.0000	3	0.00

Notes:

Flow schedules imported. No other notes (yet).

Daytype	Gain Type	Period	Sensible Magn.(W)	Latent Magn.(W)	Radiant Fraction	Convec Fraction
weekdays	1 OccuptW	0-24	0.0	0.0	0.60	0.40
weekdays	2 LightsW	0-24	0.0	0.0	0.30	0.70
weekdays	3 EquiptW	0-24	0.0	0.0	0.40	0.60
weekdays	4 OccuptW	0-24	0.0	0.0	0.60	0.40
weekdays	5 LightsW	0-24	0.0	0.0	0.30	0.70

weekdays 6 EquiptW 0-24 0.0 0.0 0.40 0.60
 saturday 1 OccuptW 0-24 0.0 0.0 0.60 0.40
 saturday 2 LightsW 0-24 0.0 0.0 0.30 0.70
 saturday 3 EquiptW 0-24 0.0 0.0 0.40 0.60
 saturday 4 OccuptW 0-24 0.0 0.0 0.60 0.40
 saturday 5 LightsW 0-24 0.0 0.0 0.30 0.70
 saturday 6 EquiptW 0-24 0.0 0.0 0.40 0.60
 sunday 1 OccuptW 0-24 0.0 0.0 0.60 0.40
 sunday 2 LightsW 0-24 0.0 0.0 0.30 0.70
 sunday 3 EquiptW 0-24 0.0 0.0 0.40 0.60
 sunday 4 OccuptW 0-24 0.0 0.0 0.60 0.40
 sunday 5 LightsW 0-24 0.0 0.0 0.30 0.70
 sunday 6 EquiptW 0-24 0.0 0.0 0.40 0.60

Project floor area is $121.75m^2$, wall area is $230.40m^2$, window area is $25.600m^2$.
 Sloped roof area is $0.00m^2$, flat roof area is $64.000m^2$, skylight area is $0.00m^2$.
 In contact with ground $0.00m^2$.
 There is $320.00m^2$ of outside surface area, $192.00m^2$ of which is vertical.

Outside walls are 189.24% of floor area & avg U of 0.157 & UA of 36.250 & max
 MLC thickness 0.500
 Flat roof is 52.567% of floor area & avg U of 0.052 & UA of 3.3327
 Glazing is 21.027% of floor & 13.333% facade with avg U of 1.458 & UA of 37.329

Multi-layer constructions used:

Details of opaque construction: roof and overall thickness 0.111

Layer	Matr	Thick	Conduc-	Density	Specif	IR	Solar	Diffu	R	Description
db	(mm)	tivity	heat	emis	abs	resis	m^2K/W			
Ext 43	3.0	210.000	2700.	880.	0.22	0.20	19200.	0.00		aluminium : Aluminium
2 0	25.0	0.000	0.	0.	0.99	0.99	1.	0.17	0.17	0.17
3 281	80.0	0.040	12.	840.	0.90	0.65	30.	2.00		glass fibre quilt : Glass Fibre Quilt
Int 43	3.0	210.000	2700.	880.	0.22	0.20	19200.	0.00		aluminium : Aluminium

ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 0.427 0.433 0.420
 (partition) 0.412
 Total area of roof is 64.00

Details of opaque construction: 1extern_wall and overall thickness 0.200

Layer | Matr | Thick | Conduc- | Density | Specif | IR | Solar | Diffu | R | Description
 | db | (mm) | tivity | | heat | emis | abs | resis | m^2K/W
 Ext 64 20.0 0.140 419. 2720. 0.90 0.65 12. 0.14 fir : Fir (20% mc)
 Int 211 180.0 0.040 250. 840. 0.90 0.30 4. 4.50 glasswool : Glasswool (generic)
 ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 0.208 0.209 0.206
 (partition) 0.204
 Total area of 1extern_wall is 102.40

Details of opaque construction: internal_wal and overall thickness 0.350

Layer | Matr | Thick | Conduc- | Density | Specif | IR | Solar | Diffu | R | Description
 | db | (mm) | tivity | | heat | emis | abs | resis | m^2K/W
 Ext 205 250.0 0.030 30. 837. 0.90 0.50 90. 8.33 Polyurethane foam bd : Polyuret-
 hane foam board
 Int 32 100.0 1.400 2100. 653. 0.90 0.65 19. 0.07 heavy mix concrete : Heavy mix
 concrete
 ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 0.117 0.117 0.116
 (partition) 0.115
 Total area of internal_wal is 120.00

Details of transparent construction: window with DCF7671_06nb optics and over-
 all thickness 0.028

Layer | Matr | Thick | Conduc- | Density | Specif | IR | Solar | Diffu | R | Description
 | db | (mm) | tivity | | heat | emis | abs | resis | m^2K/W
 Ext 242 6.0 0.760 2710. 837. 0.83 0.05 19200. 0.01 plate glass : Plate glass with
 placeholder single layer optics
 2 0 16.0 0.000 0. 0. 0.99 0.99 1. 0.50 air 0.50 0.50 0.50
 Int 242 6.0 0.760 2710. 837. 0.83 0.05 19200. 0.01 plate glass : Plate glass with
 placeholder single layer optics
 ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 1.458 1.525 1.378
 (partition) 1.289

Clear float 76/71, 6mm, no blind: with id of: DCF7671_06nb with 3 layers [in-
 cluding air gaps] and visible trn: 0.76

Direct transmission @ 0, 40, 55, 70, 80 deg 0.611 0.583 0.534 0.384 0.170

Layer | absorption @ 0, 40, 55, 70, 80 deg

1 0.157 0.172 0.185 0.201 0.202

2 0.001 0.002 0.003 0.004 0.005

3 0.117 0.124 0.127 0.112 0.077

Total area of window is 25.60

Details of opaque construction: part_wall and overall thickness 0.024

Layer	Matr	Thick	Conduc	Density	Specif	IR	Solar	Diffu	R	Description
db	(mm)	tivity		heat	emis	abs	resis	m^2K/W		
Ext 242	6.0	0.760	2710.	837.	0.83	0.05	19200.	0.01		plate glass : Plate glass with placeholder single layer optics
	2 0	12.0	0.000	0.	0.99	0.99	1.	0.17	air	0.17 0.17 0.17
Int 242	6.0	0.760	2710.	837.	0.83	0.05	19200.	0.01		plate glass : Plate glass with placeholder single layer optics
ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 2.811 3.069 2.527 (partition) 2.243 Total area of part_wall is 66.00										

Details of opaque construction: fl_separatio and overall thickness 0.150

Layer	Matr	Thick	Conduc	Density	Specif	IR	Solar	Diffu	R	Description
db	(mm)	tivity		heat	emis	abs	resis	m^2K/W		
1 32	150.0	1.400	2100.	653.	0.90	0.65	19.	0.11		heavy mix concrete : Heavy mix concrete
ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 3.608 4.046 3.153 (partition) 2.724 Total area of fl_separatio is 115.50										

Details of opaque construction: 0extern_wall and overall thickness 0.500

Layer	Matr	Thick	Conduc	Density	Specif	IR	Solar	Diffu	R	Description
db	(mm)	tivity		heat	emis	abs	resis	$^2K/W$		
Ext 32	200.0	1.400	2100.	653.	0.90	0.65	19.	0.14		heavy mix concrete : Heavy mix concrete
Int 211	300.0	0.040	250.	840.	0.90	0.30	4.	7.50		glasswool : Glasswool (generic)
ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 0.128 0.128 0.127 (partition) 0.127 Total area of 0extern_wall is 64.00										

Details of opaque construction: base_floor and overall thickness 0.600

Layer	Matr	Thick	Conduc	Density	Specif	IR	Solar	Diffu	R	Description
db	(mm)	tivity		heat	emis	abs	resis	m^2K/W		
Ext 65	100.0	0.140	600.	1210.	0.91	0.65	14.	0.71		flooring : Flooring (source does not clarify what it is)

2 214 250.0 0.030 25. 1000. 0.90 0.30 67. 8.33 EPS : EPS (expanded polystyrene)
 Int 32 250.0 1.400 2100. 653. 0.90 0.65 19. 0.18 heavy mix concrete : Heavy mix
 concrete
 ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 0.106 0.107 0.106
 (partition) 0.105
 Total area of base_floor is 64.00

Details of opaque construction: roof and overall thickness 0.860

Layer	Matr	Thick	Conduc	Density	Specif	IR	Solar	Diffu	R	Description
db	(mm)	tivity	heat	emis	abs	resis	m^2K/W			
Ext 12	300.0	0.049	110.	1.	0.90	0.13	10.	6.12		Snow : no documentation (yet)
2 21	50.0	0.380	1200.	653.	0.90	0.65	6.	0.13		light mix concrete : Light mix concrete
3 64	160.0	0.140	419.	2720.	0.90	0.65	12.	1.14		fir : Fir (20% mc)
Int 205	350.0	0.030	30.	837.	0.90	0.50	90.	11.67		Polyurethane foam bd : Polyuret- hane foam board
ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 0.052 0.052 0.052 (partition) 0.052 Total area of roof is 64.00										

Details of opaque construction: Thermal_mass and overall thickness 0.120

Layer	Matr	Thick	Conduc	Density	Specif	IR	Solar	Diffu	R	Description
db	(mm)	tivity	heat	emis	abs	resis	m^2K/W			
Ext 211	20.0	0.040	250.	840.	0.90	0.30	4.	0.50		glasswool : Glasswool (generic)
2 52	20.0	0.500	1000.	1524.	0.85	0.80	19.	0.04		Termisk_m_vann : Vann
3 52	20.0	0.500	1000.	1524.	0.85	0.80	19.	0.04		Termisk_m_vann : Vann
4 52	20.0	0.500	1000.	1524.	0.85	0.80	19.	0.04		Termisk_m_vann : Vann
5 52	20.0	0.500	1000.	1524.	0.85	0.80	19.	0.04		Termisk_m_vann : Vann
Int 52	20.0	0.500	1000.	1524.	0.85	0.80	19.	0.04		Termisk_m_vann : Vann
ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)= 1.149 1.190 1.099 (partition) 1.042 Total area of Thermal_mass is 2.40										