



**Høgskulen  
på Vestlandet**

# **BACHELOROPPGAVE**

**Fra kataloghus til passivhus  
Residential to passive house**

**Fornybar Energi**

**FE403**

**Avdeling for Ingeniør- og Naturfag**

**31.5.17**

**20 208 Ord**

**ESTEN PERSVINGELEN, ØYSTEIN FOSSHEIM,**

**JOAKIM STORRØNNING, MARTIN HJETLAND**

**Veiledere: Bente Johnsen Rygg & August Hubert Wierling**

*Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jfr. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskolen på Vestlandet, § 10.*

## **Forord**

Denne bacheloroppgaven har som mål å effektivisere en enebolig fra katalogen til Nordbohus til å møte passivhuskrav. For å gjennomføre prosjektet har vi vært helt avhengig av god hjelp og godt samarbeid fra flere involverte, spesielt Nordbohus Sogn ved Frode Harberg. Vi vil også rette en stor takk til våre veiledere Bente Johnsen Rygg og August Hubert Wierling for kloke ord, tålmodighet, og god veiledning.

## Sammendrag

Denne oppgaven tar for seg å omprosjekttere et kataloghus til et passivhus ved å bruke materialer som er tilgjengelige for den gjennomsnittlige norske forbrukeren. Ved å forbedre byggetekniske komponenter, utnytte solenergi, og erstatte elektrisk romoppvarming med et varmpumpesystem, gjør oppgaven rede for et alternativ til omprosjektering av småhus til passivhusstandard. Ved å erstatte taksteinen på det sørvendte taket med solfangere og solcellemoduler, oppnår huset en omtrentlig halvering av energibehovet. For å få et godt bilde av prosjektets gjennomførbarhet, har også det økonomiske aspektet blitt vurdert.

Et batteri for kort- og langsiktig lagring av elektrisitet blir vurdert i sammenheng med solcelleanlegget, for å utnytte innstråling og produksjon av energi til tider hvor forbruket er lavt. Den høye investeringskostnaden og det lave utbyttet gjør det særdeles ulønnsomt.

Det viser seg at boligen kan tilfredsstillere de strenge passivhuskravene gitt i NS 3700, og oppnå en betydelig grad av energiuavhengighet. Energiløsninger og oppgradering på bygningskroppen førte til en prisøkning på litt over 11 %. Til tross for den relativt svake solinnstrålingen på norske breddegrader viser oppgaven at det er et stort potensiale for bedre utnyttelsen av solenergi.

## Summary

This thesis presents a conversion of a standard residential house to a passive house using materials that are available to the average Norwegian consumer. By improving building materials, utilizing solar energy solutions and replacing electric room heating with a heat pump system, the thesis describes an option for passive houses in Norway. By replacing the south-facing roof tiles with solar collectors and photovoltaic cells, the house is approximately able to halve its demand for water heating energy and electricity throughout the year. In order to get a view of the realism of the project, the financial aspect is also considered.

A battery is considered for short- and long term storage, in order to utilize insolation and energy production when the consumption is low. The large investment cost and relatively low payoff makes it unfeasible.

It turns out that the selected residential house is able to satisfy the strict passive house demands given in NS 3700, and reach a significant degree of energy independence. Improved energy solutions and structural upgrades led to a total increase in investment cost of just over 11 %. The thesis also demonstrates the large potential for use of solar energy, despite the relatively low level of solar insolation at Norwegian latitudes

# Innholdsfortegnelse

<b>Forord</b> .....	<b>III</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>IV</b>
<b>Summary</b> .....	<b>V</b>
<b>1. Introduksjon</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Problemstilling</b> .....	<b>2</b>
<b>2. Teori</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 Byggteknisk forskrift til Plan- og bygningsloven</b> .....	<b>3</b>
2.1.1 Lavenergihus.....	3
2.1.2 Nullhus.....	4
2.1.3 Plusshus .....	4
<b>2.2 Passivhuskrav</b> .....	<b>4</b>
2.2.1 Krav til bygningskomponenter.....	5
2.2.1.1 U-verdi .....	5
2.2.1.2 Kuldebro.....	6
2.2.1.3 Varmegjenvinning i ventilasjon.....	8
2.2.1.4 Luftlekkasjer .....	9
2.2.1.5 Spesifikk vifteeffekt.....	10
2.2.2 Krav til varmetapstall.....	11
2.2.3 Krav til oppvarming.....	11
2.2.4 Krav til energiforsyning.....	12
<b>2.3 Solenergi</b> .....	<b>13</b>
2.3.1 Passiv solvarme.....	14
2.3.2 Aktiv solvarme .....	15
2.3.3 F-chart.....	18
2.3.4 Solcelle.....	18
2.3.5 Lagring av energi.....	20
<b>2.4 Varmepumpe</b> .....	<b>21</b>
<b>2.5 SIMIEN</b> .....	<b>22</b>
<b>2.6 Kostnad</b> .....	<b>23</b>
<b>3. Metode</b> .....	<b>25</b>
<b>3.1 Valg av lokalitet og boligtype</b> .....	<b>25</b>
<b>3.2 Boligens utgangspunkt</b> .....	<b>26</b>
3.2.1 Energiforsyning.....	26
3.2.2 Konstruksjoner og U-verdier.....	26
<b>3.3 Tiltak, passivhuskrav</b> .....	<b>30</b>
3.3.1 Komponenter og varmetap .....	30
3.3.1.1 Yttervegg.....	30
3.3.1.2 Gulv mot grunn .....	33
3.3.1.3 Vinduer.....	35
3.3.1.4 Kuldebroberegning for Sans.....	36
3.3.2 Energibehov romoppvarming.....	38

3.3.2.1 Manuell beregning av varmetap .....	38
3.3.2.2 Romoppvarming.....	39
3.3.3 Oppvarming av forbruksvann .....	39
3.3.3.1 Solfanger .....	39
3.3.3.2 Beregning av innstråling.....	41
3.3.3.3 F-chart .....	42
<b>3.4 Elektrisitetsforsyning .....</b>	<b>46</b>
3.4.1 Solcelle .....	46
3.4.2 Lagring av elektrisk energi .....	47
<b>3.5 SIMIEN .....</b>	<b>48</b>
<b>3.6 Kostnad .....</b>	<b>49</b>
<b>3.7 Mulige feilkilder ved metoden .....</b>	<b>52</b>
<b>4. Resultater.....</b>	<b>53</b>
<b>4.1 Energiforsyning.....</b>	<b>53</b>
4.1.1. Innstråling.....	53
4.1.2 F-Chart .....	54
4.1.3 Solcelleanlegg .....	55
<b>4.2 Resultater fra SIMIEN .....</b>	<b>58</b>
4.2.1 Krav til bygningskomponenter.....	58
4.2.2 Krav til varmetapstall.....	58
4.2.3 Krav til oppvarming og energiforsyning.....	59
4.2.4 Temperaturer og inneklima .....	62
<b>4.3 Kostnader .....</b>	<b>64</b>
<b>5. Diskusjon.....</b>	<b>66</b>
<b>5.1 Mulige feilkilder ved oppgaven.....</b>	<b>66</b>
5.1.2 Byggeteknisk.....	66
5.1.3 Løsninger for oppvarming.....	67
5.1.4 Solinnstråling .....	68
5.1.5 Solcelle- og solfangeranlegg .....	68
5.1.6 Kostnad .....	69
<b>5.2 Resultater.....</b>	<b>70</b>
5.2.1 Solenergi .....	70
5.2.2 SIMIEN .....	70
5.2.3 Kostnad .....	71
<b>6. Konklusjon .....</b>	<b>72</b>
<b>7. Referanser .....</b>	<b>73</b>
<b>8. Tabell- og figurliste .....</b>	<b>80</b>
<b>8.1 Tabelliste.....</b>	<b>80</b>
<b>8.2 Figurliste.....</b>	<b>80</b>
<b>9. Vedlegg .....</b>	<b>82</b>

# 1. Introduksjon

Klimaforandringer er kanskje den største globale utfordringen man har stått ovenfor. Det krever et enormt internasjonalt samarbeid for at man skal klare å reversere den stigende temperaturen på jorda. Samtidig som man skal bekjempe global oppvarming må man arbeide for å løfte flere mennesker ut av fattigdom, dette skaper en situasjon hvor vi er nødt til å redusere energiforbruket. En stadig voksende global befolkning og utvikling i u-land fører til at vi trenger mer og renere energi. For at dette samspillet skal være mulig er man helt avhengig av å tenke nytt. Det er ikke mulig å opprettholde dagens ressursutnyttelse dersom en voksende befolkning skal få en bedre levestandard. I 2015 brukte verdens befolkning 1,6 jordkloder (WWF, 2016) for å dekke ressursbehovet. Vi lever altså på fremtidige generasjoners ressurser, det kreves derfor en endring i vår energibruk.

EU har innført spesifikke mål som krever at alle medlemmer, inkludert Norge gjennom EØS avtalen, skal gjennomføre 20-20-20-målene. Innen 2020 skal klimautslippene kuttes med 20 %, og fornybar energi skal dekke 20 % av all energi. I tillegg er det mål om at energieffektiviteten skal økes med 20 % (European Commission, 2017).

En måte å redusere energibehovet på vil være å fokusere på energi i bygg, som står for om lag 40 % av klimagassutslippene (ZERO, 2016). Det internasjonale energibyrådet (IEA) sier at dersom man skal klare å nå 2-gradersmålet må global byggsektor effektiviseres, og redusere klimagassutslippene med 90 % innen 2050 (Frøland-Larsen, et al., 2013). For å sette bilde på dette bør energiforsyning til bygg omtrent være karbonnøytralt, og bygg må generelt bli mye mer energieffektive.

For Norges del innebærer et lavere energiforbruk i byggsektoren at det kan frigjøres ren energi til å redusere klimagassutslipp i industri- og transportsektoren, ettersom 80 % av dette forbruket kommer fra elektrisitet produsert av norske vannkraftverk. Lavenergiprogrammet anslår at byggsektoren står for ca. 40 % av sluttforbruket av energi på fastlands-Norge. Dette tilsvarer at byggsektoren forbruker omtrent 82 TWt i året med energi, hvorav boliger står for 57 % og næringsbygg 43 % (Norsk Teknologi, Nelfo, Elektroforeningen, 2008). Anslagsvis er det et energibesparingspotensiale på mer enn 12 TWt innen år 2020 (Dokka, et al., 2009).

Dersom man skal klare å oppnå en så stor energireduksjon gjennom energieffektivisering av bygg krever det rehabilitering av gamle bygg og støtte til nye bygg (Dokka, et al.,2009). I Norge har begrep som lavenergihus, passivhus, nullhus og pluss hus blitt populært. For hver type stilles det minstekrav i form av energibehov og energiforsyning. Denne oppgaven tar, med utgangspunkt i disse kravene, for seg passivhus og løsninger for å redusere energibehovet til drift og oppvarming.

## **1.1 Problemstilling**

Kan et kataloghus tilfredsstillende passivhuskrav fra TEK 10 og oppnå delvis energiuavhengighet uten urealistisk merkost?



## 2. Teori

### 2.1 Byggteknisk forskrift til Plan- og bygningsloven

Alle nye hus i dag bygges etter lover og forskrifter som gir forskjellige minimumskrav som må oppfylles for at det kan bygges i Norge. Byggtekniske forskrifter bestemmes regionalt, og strekker seg stadig mot mer miljøvennlighet slik at bygg blir mer energieffektive. Dette ser man for hver gang det kommer nye reviderte forskrifter. Dersom man sammenligner den gjeldende TEK 10 med den tidligere lovpålagte forskriften TEK 97, fjerde utgave fra 2007 ser man at for småhus har TEK 10 et 20 % lavere krav til oppvarming enn det som var tilfellet i TEK 97 (Statens Bygningstekniske Etat, 2007, Direktoratet for byggkvalitet, 2016). Kravene blir strengere slik at bygg får et lavere energibehov gjennom for eksempel gitte tillatte varmetapstall fra vegger, vinduer og tak. Eldre boliger vil, sammenlignet med hus bygget etter dagens standard, ha mye større lekkasje av varme. For å oppnå de kravene som forskriftene krever, må bygg blant annet ha en tettere bygningskropp gjennom for eksempel mer isolasjon eller bedre utviklede bygningsmaterialer. Minimumskravene man finner i byggteknisk forskrift varierer ut ifra hvilket bygg som skal oppføres. Det vil for eksempel være forskjellige krav til et yrkesbygg mot en privatbolig, størrelse på bygget og lokalt klima påvirker også hvilke kriterier som er gjeldende.

For lavenergihus og passivhus er det nå etablert Norsk Standard som gir tillatte minsteverdier for varmetap fra bygget, samt oppvarmingsbehov og energiforsyning. I dag er det NS 3700 og NS3701 (næringsbygg) som gir en oversikt over kriteriene for passivhus og lavenergihus. Hvordan man regner seg frem til kriteriene er gitt i NS 3031. Byggebransjen blir altså mer miljøbevisst. Bevisstgjøringen har ført til at det har kommet flere bygg som bidrar til å redusere miljøpåvirkningen, eksempelvis lavenergihus, nullhus, plusshus, og passivhus.

#### *2.1.1 Lavenergihus*

Hus bygget etter lavenergistandard har strengere kriterier for byggets tekniske konstruksjon sammenlignet med hus bygget etter TEK 10. I 1996 ble det påbudt å energimerke enkelte elektriske apparater i Norge gjennom et EU-direktiv (Wikipedia, 2015). Tanken bak denne energimerkingen ble videreført til EUs bygningsenergidirektiv av 2003, som igjen førte til et påbud av å energimerke enkelte bygninger fra 1. januar 2010 i Norge (Enova, 2010).

Energimerking av bygg skaper en bevisstgjøring rundt miljø og klima. Dersom et bygg får en høy bokstavkarakter, A, er bygget mer miljø- og klimavennlig enn et bygg med lavere

karakter. Energimerkeskalaen går fra A til G i alfabetisk rekkefølge. Et lavenergihus har høy energimerking fordi det har et lavt energibehov. Det er to klasser med lavenergihus, klasse 1 og klasse 2, der klasse 1 har det laveste energibehovet.

### *2.1.2 Nullhus*

Dette er et hus som man sier går i null dersom man setter opp et miljøregnskap for bygget. Gjennom materialproduksjon og driftsfase ser man på husets miljøpåvirkning, og man finner byggets totale utslipp av klimagasser for hele husets livsløp. For at et hus skal kvalifisere som nullhus må det derfor produsere og gi tilbake fornybar energi. Klarer et hus å produsere like mye som det har krevd i anleggs- og driftsfasen har huset oppnådd nullhusstandard, man får et nullutslippsbygg. Tanken om nullutslippsbygg bygger opp om et nullutslippssamfunn. Det er et fremtidsrettet mål som gjør at vi reduserer vår påvirkning på miljø og klima.

### *2.1.3 Plusshus*

Plusshus eller aktivhus bygger på de samme prinsippene som nullhus med at det gjøres opp et totalt klimaregnskap for huset. Forskjellen fra nullhus er at huset skal klare å skape mer energi enn hva det vil bruke i løpet av husets livssyklus. Gjennom fornybare energikilder, som for eksempel solenergi, skal huset klare å produsere et energioverskudd. Dette overskuddet skal man kunne utnytte til andre formål som krever energi slik at huset blir en energikilde, ikke en energiforbruker.

## **2.2 Passivhuskrav**

I dagens boligmarked og planlegging av ny bebyggelse er det mye fokus på karbonutslipp og miljø, men en annen viktig faktor er termisk effektivitet av bygninger og materialer som brukes i husbygging. Det å utnytte materialer til besparelse av energi og å redusere varmetap er i dagens boligmarked veldig viktig for å redusere den totale miljøpåvirkningen. Tor Helge Dokka anslo i et intervju med Romerikes Blad i 2013 at det var omlag 2000 passivhus i Norge, enten ferdigstilte eller under bygging (Rønvold, 2013).

Et passivhus er et bygg med spesielle byggtekniske krav. Byggteknikken gjør at huset får et mindre årlig energibehov sammenlignet med andre bygg som er bygd etter andre byggtekniske forskrifter. Reduksjon for byggets energibehov er særlig tydelig for energi brukt til oppvarming. Det stilles fire kriterier for at en bolig kan klassifiseres som et passivhus (Standard Norge, 2013).

## 2.2.1 Krav til bygningskomponenter

Tabell 2. 1 Minstekrav til enkeltkomponenter (Standard Norge, 2013)

Energiltak	Minstekrav
U-verdi vinduer og dører	0,80 W/m <sup>2</sup> K
Normalisert kuldebroverdi	0,03 W/m <sup>2</sup> K
Varmegjenvinning i ventilasjon	80 %
Lekkasjetall ved 50 Pascal	0,6 luftvekslinger per time
SFP-faktor ventilasjonsanlegg	1,5 kW/(m <sup>3</sup> /s)

### 2.2.1.1 U-verdi

Varmetransmisjon eller U-verdi kan beskrives som evnen et materiale eller en struktur har til å holde på varme. En U-verdi er et forholdstall som beskriver hvor mye varmeenergi som forflytter seg gjennom en overflate på 1 m<sup>2</sup> ved en temperaturforskjell på 1 Kelvin, og har enheten W/m<sup>2</sup>K. Jo bedre isolert en bygningsstruktur er, desto lavere vil U-verdien være. Man beregner U-verdier for yttervegger, vinduer, dører, tak og gulv mot grunn. Hvor mye energi som går gjennom et materiale eller en flate er avhengig av omgivelsenes temperatur. Det betyr at med lave U-verdier blir boligens oppvarmingsbehov mindre.

For å finne U-verdien til en vegg, som ofte inneholder ulike typer materialer, må man først identifisere R-verdien til de aktuelle materialene. En R-verdi viser hvilken varmemotstand materialet har, og er gitt ved materialets tykkelse  $T_i$  og materialets termiske konduktivitet  $\lambda_i$ . U-verdien er gitt ved å dele 1 på summen av  $R_i$ -verdiene, som beskrevet i Likning 2. 1.

$$U_{tot} = \frac{1}{\sum_i R_i} \text{ hvor } R_i = \frac{T_i}{\lambda_i}$$

Likning 2. 1

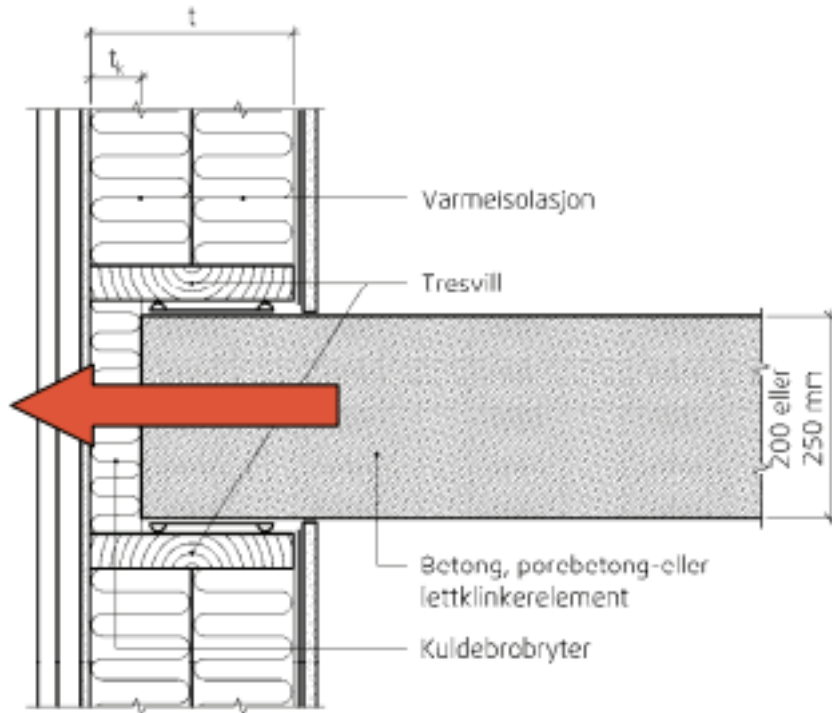
U-verdi for vinduer og dører er også viktig når det skal gjøres en helhetlig energiberegning. Typiske U-verdier vil være 1.1 for argonfylte tolagsvinduer, 0,7 for argonfylte trelagsvinduer, og 0,5 for trelagsvinduer fylt med krypton (Inoutic, 2017). Med dagens vindusteknologi er det hovedsakelig vinduer med tre eller flere lag som klarer passivhuskravet på 0,80 W/m<sup>2</sup>K. For dører er det ekstra isolasjon som gjør det mulig med så lav U-verdi. Komponenter som for eksempel karmen, rammer og sprosset skal være med i beregningen, og vil føre til at U-verdien blir høyere.

### 2.2.1.2 Kuldebro

Kuldebro er et begrep som omfatter hvordan deler av den alminnelige termiske konduktiviteten (varmeledningsevnen) i en konstruksjon endres. Selv om det heter kuldebro, er det i teorien en varmebro som leder varme ut av huset og fører til et varmetap. Varmetapet fører til at det oppstår et kaldere område på veggen hvor kuldebroen leder varme ut. Dette kan resultere i kondens og muggvekst. Vinduer og dører utgjør ofte en stor del av varmetapet i et hus, dette gjelder også når det kommer til kuldebroer. For å få minst mulig kuldebrovirkning bør vinduet plasseres innenfor vindsperra, noe som krever spesielle tiltak som fuktsikring med membran.

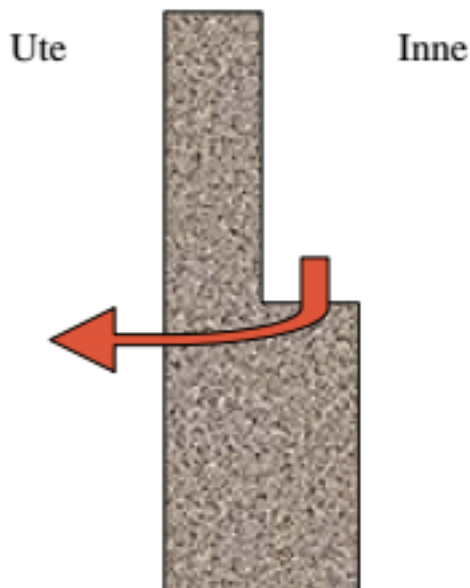
En del av utfordringen med passivhus er å isolere godt nok til at varmetapet er minimalt, og her møter man ofte et problem på grunn av at kuldebroverdiene i vegger øker i samsvar med veggtykkelsen. Det vil i prinsippet si at når U-verdien til en yttervegg går ned, så økes samtidig kuldebroverdien. Det er derfor viktig at potensielle kuldebroer i overgangen yttervegg til etasjeskiller reduseres med kuldebrobrytere (SINTEF Byggforsk, Enova (E), 2013; SINTEF Byggforsk; Enova (A), 2015). En kuldebrobryter har som hensikt å redusere effekten av kuldebroen, dette er i praksis et lag med isolasjon i bakkant av kuldebroen, og er illustrert i Figur 2. 1. Kuldebroer oppstår av tre forskjellige grunner (Gustavsen, et al., 2008).

1. Deler av den helhetlige konstruksjonen blir brutt av andre materialer med en høyere varmekonduktivitet. Figur 2. 1 visualiserer en etasjeskiller av betong som delvis gjennomtrenger isolasjonen i ytterveggen. På dette punktet ledes varmen ut av huset fordi betong har en høyere varmekonduktivitet enn isolasjonen i bindingsverket. Slike kuldebroer kan også oppstå ved overgang mellom skillevegg og yttervegg.



Figur 2. 1 Etasjeskiller som kuldebro (Gustavsen, et al., 2008)

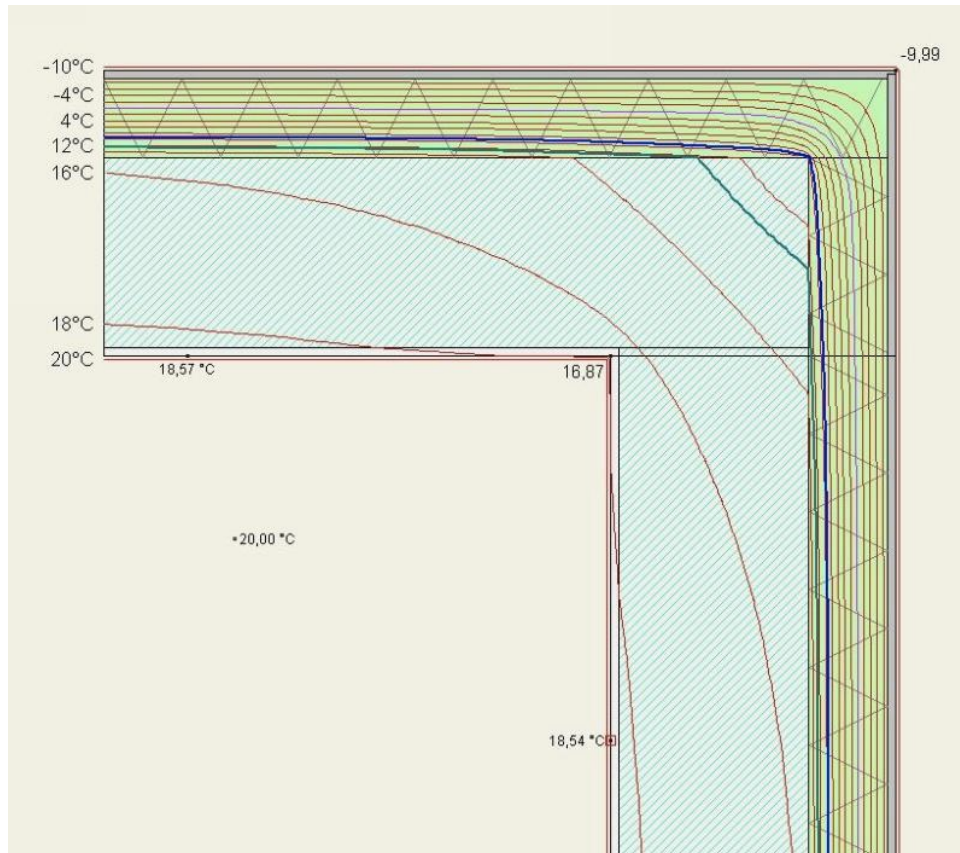
2. Endringer av en konstruksjons tykkelse, Figur 2. 2 viser en yttervegg som endrer tykkelse, og det oppstår kuldebro i overgangen.



Figur 2. 2 Kuldebro i form av endring av tykkelse (Gustavsen, et al., 2008)

3. Når det er forskjell i overflatearealet mellom innvendige og utvendige mål. Slike kuldebroer oppstår blant annet ved overgang mellom gulv og yttervegg,

overgang mellom yttervegg og tak, i mønet av huset, eller i hjørner av huset som Figur 2. 3 illustrerer.



Figur 2. 3 Kuldebrovirkning som følge av forskjell i innvendig og utvendig areal (Wikipedia, 2016)

Kuldebroverdien i Tabell 2. 1 er en normalisert kuldebroverdi ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$ ), denne beregnes ved å summere varmetapet fra alle kuldebroene og dele denne på den oppvarmede delen av bruksarealet  $A_{fl}$ . Typiske normaliserte kuldebroverdier er 0,05 for bygninger med bindingsverk av tre, og 0,09 for bygg med bæreværk av betong (SINTEF Byggforsk, 2008). Varmetapet fra hver enkelt kuldebro beregnes ved å multiplisere komponentens kuldebroverdi med kuldebroens lengde.

### 2.2.1.3 Varmegjenvinning i ventilasjon

Varmegjenvinneren i et ventilasjonsanlegg varmer opp den utvendige luften, tilluften, til en typisk komforttemperatur på 19-22 °C (Astma- og Allergiforbundet, 2017). Dette skjer ved at varmen i avtrekksluften fra huset gjenvinnes. Virkningsgraden øker desto mer varme varmegjenvinneren henter fra avtrekksluften. For passivhus må varmegjenvinnerens virkningsgrad være minimum 80 %, hvor virkningsgraden er andelen varme den gjenvinner fra varmen som blir tilført. I kaldere perioder reduseres derimot virkningsgraden til

varmegjenvinneren, derfor brukes det i tillegg et varmebatteri som ettervarmer tilluften til ønsket komforttemperatur.

#### *2.2.1.4 Luftlekkasjer*

Lekkasjer og mangelfull isolering er en belastning for både husholdningers økonomi og inneklima. Luftlekkasjer defineres av byggkontrollen som ”uønsket luftvandring gjennom eller langsetter vegger, gulv eller tak som følge av utettheter” (Byggkontrollen, 2017).

Ved måling av luftlekkasjer brukes en vifte for å oppnå undertrykk i huset, når undertrykket har nådd 50 Pascal leser man av hvor mange luftskiftninger huset har i timen, det vil si hvor mange ganger all luften i huset byttes ut. For passivhus er kravet 0,6 utskiftninger per time ( $t^{-1}$ ).

Lekkasjer avgjøres ikke av hvilke materialer som er brukt i bygningen, en studie utført av Sören Peper har bevist at lave lekkasjetall mellom 0,2 og 0,6  $t^{-1}$  kan oppnås med de fleste materialer (Passivhaus Institut, 2015). For å unngå mest mulig lekkasjer er det særdeles viktig at både damp- og vindspærren er helt tett. Dampspærren er en membran som legges på hele husets innside, og som forhindrer at fuktighet fra innsiden av huset trekkes inn i isolasjonen, gjennom veggen. God planlegging og godt håndverk er en forutsetning for å lykkes.

Det skilles mellom to ulike former for lekkasjer, gjennomblåsing og anblåsing. Luftstrømmer som går gjennom både vindspærre og dampspærre kalles for gjennomblåsing. For å unngå dette, og stoppe luftlekkasjene i konstruksjonen er det vanligvis nok med helt tett montert dampspærre. Ved anblåsing vil kald luft strømme inn gjennom en åpning et sted og ut et annet sted. Anblåsing vil øke varmetapet på grunn av at isolasjonen blir kjølt ned når luften siver gjennom, for å hindre dette er det viktig med en tett vindspærre. Det er i tillegg viktig at vindspærren er diffusjonsåpen, det vil si at den slipper fuktigheten ut av veggen fra innsiden, samtidig som den holder tett for vinden fra utsiden.

For inneklima er det flere faktorer som må vurderes, inneklimafaktorer som termisk miljø og atmosfærisk miljø er spesielt viktig for passivhus (Wigenstad, et al., 2012). Noe av grunnen for at disse faktorene er viktige for passivhus er byggemetoden som gjør at huset blir veldig tett. Termisk miljø omfatter temperaturer, luftfuktighet og luftbevegelser som påvirker inneklimaet. En tett bygningskropp gjør at inneklimaet ikke blir utsatt for uønsket luftgjennomstrømning, og innetemperaturen i huset blir mindre påvirket av utetemperaturen.

For innetemperaturer er det anbefalt å ikke overstige 50 timer med innetemperaturer over 26 grader (Thomsen, et al., 2014).

Relativ luftfuktighet sier hvor mye vanndamp som er i luften. Hva som føles som behagelig med relativ luftfuktighet er ofte individuelt, men det anbefales at det ikke er under 20 %. Ved for lav relativ luftfuktighet kan mennesker oppleve ubehag som følge av at det dannes flere partikler i luften, mens ved for høy relativ luftfuktighet vil det i bygg skape gode vekstforhold for muggsopp. For passivhus med lav gjennomtrengning av luft klarer ikke veggene å tørke ut soppen (SINTEF Byggforsk, 2016).

#### *2.2.1.5 Spesifikk vifteeffekt*

Utskiftningen av luft som fører til et godt inneklima i bygget kan skje ved ventilasjonsanlegg. Da får man for passivhus et krav om spesifikk vifteeffekt eller SFP-faktor. Når det er fokus på å gjøre bygg så energieffektive som mulig er det viktig at også ventilasjonssystemet kutter i energibruken. SFP-faktor gir en verdi for effekten som kreves for å flytte en kubikkmeter luft per sekund gjennom ventilasjonsanlegget. Dersom ventilasjonsanlegget effektivt flytter luften har det en lav SFP-faktor. Det maksimale kravet på  $1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$  er gjennomsnittlig for driftsfasen til anlegget. Passivhus som ofte har en veldig tett byggstruktur vil være avhengig av effektive ventilasjonssystemer for godt inneklima. Det er derfor viktig med anlegg som kan behovsstyres slik at SFP-faktoren ikke blir for høy (Lavenergiprogrammet, 2016). Neste delkapittel ser på bygningens krav til varmetap.



### 2.2.2 Krav til varmetapstall

Det totale varmetapstallet til et bygg tar hensyn til transmisjons- og infiltrasjonstap. Passivhuskravene for høyeste varmetapstall vises i Tabell 2. 2 og måles i  $W/m^2K$ , hvor  $A_{fl}$  er oppvarmet del av bruksareal.

Tabell 2. 2 Krav til varmetapstall (Standard Norge, 2013)

Varmetapstall for transmisjon- og infiltrasjonstap $W/(m^2 \cdot K)$			
	Boligbygning der $A_{fl} < 100 \text{ m}^2$	Boligbygning der $100 \text{ m}^2 \leq A_{fl} < 250 \text{ m}^2$	Boligbygning der $A_{fl} \geq 250 \text{ m}^2$
Passivhus	0,53	0,48	0,43

Varmetapstallet er summen av varmetap fra alle varmetapspostene. Transmisjonstapene i et bygg omhandler varmetap fra bygningsdeler, kuldebroer og ventilasjonsanlegget, mens infiltrasjonstapene dreier seg om varmetap fra luftlekkasjer gjennom utettheter.

Transmisjonstap fra bygningsdeler kan enten lede varme ut i det fri, eller til uoppvarmede rom som kryploft. Varmetapet fra ventilasjonsanlegg inngår ikke i kravene i Tabell 2. 2.

### 2.2.3 Krav til oppvarming

Det er strenge krav til hvor mye energi som kan brukes til oppvarming for passivhus.

Standardverdiene for oppvarmingsbehov i et passivhus vil variere med størrelse på boligen, om  $A_{fl}$  er større eller mindre enn  $250 \text{ m}^2$ , og årsmiddeltemperaturen. I Norge bruker man årsmiddeltemperaturer som er mer eller mindre enn  $6,3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Det er de lokale forholdene som avgjør hvilken standardverdi som blir gjeldende for bygget. Se Tabell 2. 3 for beregningsgrunnlag. Høyeste verdi for oppvarming skal også dekke oppvarming av ventilasjonsluft.

Tabell 2. 3 Krav til netto energibehov til oppvarming (Standard Norge, 2013)

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

For at det skal være komfortabelt å bo i en bolig, bør lufttemperaturen holdes på et ganske konstant nivå. Under normale forhold vil temperaturen ligge mellom 19 og 22 °C på dagtid (Astma- og Allergiforbundet, 2017), og noe lavere om natten. Oppvarming av rom i passivhus gjøres i stor grad gjennom passiv solvarme så lenge det er tilgjengelig. På dager med høy utvendig temperatur og mye direkte solinnstråling må solskjerming benyttes for å hindre den innvendige temperaturen i å stige for høyt. Siste krav til passivhus går på energiforsyning, beskrevet i kapittel 2.2.4.

#### 2.2.4 Krav til energiforsyning

Et viktig krav for passivhus er husets egen evne til å produsere energi. Mye varmeenergi leveres passivt i form av menneskelig aktivitet som matlaging eller bruk av småelektronikk, i tillegg til at menneskers kroppstemperatur gjør at vi stråler varmeenergi med en effekt tilsvarende 105 W (SINTEF Byggforsk, 1990). I dag er det hovedsakelig elektrisitet som står for oppvarming av varmtvann, men for at bygget skal kunne kvalifisere som et passivhus må summen av levert elektrisk energi til huset være mindre enn det totale energibehovet, fratrukket 50 % av oppvarmingsbehovet til varmtvann. Alternative fornybarkilder som kan brukes til å møte dette kravet vil for eksempel være solenergi, fjernvarme eller varmepumpe. Dette ser vi nærmere på i kapittel 2.3 og 2.4.

## 2.3 Solenergi

Ved ytterkanten av jordens atmosfære har solinnstrålingen en intensitet på  $1\,367\text{ W/m}^2$ , men denne varierer med  $\pm 3\%$  gjennom året ettersom jorden ikke går i en sirkulær bane rundt solen og avstanden fra jorden til solen dermed ikke er konstant (Holtet, 2014). Atmosfæren absorberer en del av solinnstrålingen og reflekterer noe ut igjen i rommet. Av den absorberte delen når noe av strålingen jordoverflaten som direkte stråling rett fra solen, resten av innstrålingen når jordoverflaten som diffus stråling. Diffus stråling betyr at strålingen er spredt i alle retninger fra partikler i atmosfæren, med skyer som den største spredningsfaktoren. Ved en klarværsdag vil mesteparten av jordoverflatens solinnstråling være direkte, mens den vil hovedsakelig være diffus ved overskyet vær (Universitetet i Oslo, 2011).

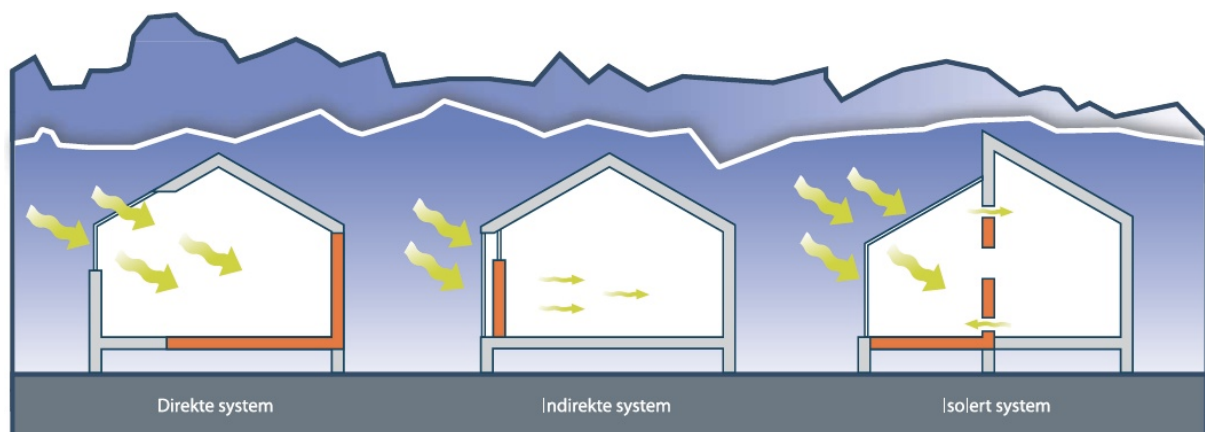
Et pyranometer måler solinnstråling fra alle retninger, og er derfor ofte foretrukket for å foreta målinger av globalstråling, som er summen av direkte og diffus stråling som når jordoverflaten (Meteorologisk Institutt, 2009). Globalstråling måles ofte i  $\text{W/m}^2$  eller i  $\text{kWt/m}^2$  på en horisontalflate. Solinnstrålingen som når jordoverflaten avhenger for det meste av hvilken breddegrad man befinner seg på, ettersom solen har en lavere vinkel mot jorden på høyere breddegrader. Solinnstrålingen må dermed bevege seg gjennom en lengre del av atmosfæren enn den gjør rundt tropene. Ved høyere breddegrader vil solinnstrålingen nå overflaten ved en lavere vinkel enn på ekvator der den er nærmere vinkelrett. På grunn av dette vil overflaten ved høyere breddegrader motta mindre solinnstråling per areal. Årstidene som forårsakes av jordens aksehelling gjør derfor at man har større variasjoner i solinnstråling gjennom et år ved høyere breddegrader enn ved tropene der det er tilnærmet 12 timer dag og 12 timer natt, hver dag gjennom et helt år. Mer spesifikke forhold som vær, skydannelser, landskapsformasjoner, bygninger og vegetasjon er også avgjørende for mengden av solinnstråling som kan benyttes (NVE, Enova, Innovasjon Norge & Forskningsrådet (A), 2016). Over et mye lengre tidsperspektiv spiller også relativt små endringer i jordens aksehelling og bane rundt solen inn, og forårsaker enorme variasjoner i jordoverflatens solinnstråling (Graham, 2000).

Ved de mest solrike stedene på jorden måles årlig solinnstrålingen til ca.  $2\,500\text{ kWt/m}^2$  mot horisontalplanet, mens i Norge varierer det fra rundt  $1\,100\text{ kWt/m}^2$  i sør, til rundt  $700\text{ kWt/m}^2$  i nord (NVE, Enova, Innovasjon Norge & Forskningsrådet (A), 2016). Den totale solenergien

som faller på jordkloden over ett år er 15 000 ganger større enn jordens årlige energiforbruk, tilsvarende tall for Norge sier at årlig solenergi som treffer landet har potensiale til å dekke 1 700 ganger vårt eget årlige energiforbruk. Solinnstrålingen kan enten benyttes til produksjon av elektrisk energi eller produksjon av varme (Rosvold & Hofstad, 2016).

### 2.3.1 Passiv solvarme

Passiv utnyttelse av solenergien går hovedsakelig inn på å slippe solvarmen inn i huset. Årlig solinnstråling på den norske bygningsmassen varierer rundt 3-4 TWt, noe som utgjør nesten 15 % av det årlige energibehovet for romoppvarming (Norsk Solenergiforening, 2017). Nye hus, inkludert passivhus, har derfor et stort potensiale for å utnytte solvarmen passivt ved å ta bevisste grep i planleggingsfasen. Hos eksisterende bygg ligger det et større potensiale med tanke på rehabilitering av bygningskroppen. Samtidig som man forsøker å passivt utnytte så mye som mulig av solinnstrålingen i vintersesongen, bør bygningens utsatte fasader skjermes mot solen i varmere perioder for å unngå overoppheting av bygningen.



Figur 2. 4 Illustrasjon av passiv utnyttelse av solvarme (Brandtenberg, 2016)

I dag kan man vanligvis dele opp passiv utnyttelse av solenergien i tre kategorier (NVE, Enova, Innovasjon Norge & Forskningsrådet (B), 2016).

#### 1. Direkte systemer

Den vanligste metoden for å passivt utnytte solenergien er å ha store og velutformede vindusarealer på de solutsatte fasadene av bygningen. Ved å tilpasse konstruksjonen i de solutsatte veggene med tanke på varmelagring og konduktivitet kan man dessuten sørge for at veggene avgir restvarme til oppvarming av huset når det ikke er sol. Både tre og betong har god varmekapasitet, men betongkonstruksjoner er å foretrekke ettersom et varmereservoar av betong kan varmes opp på dagtid og slippe ut varmen om natta.

## 2. Indirekte systemer

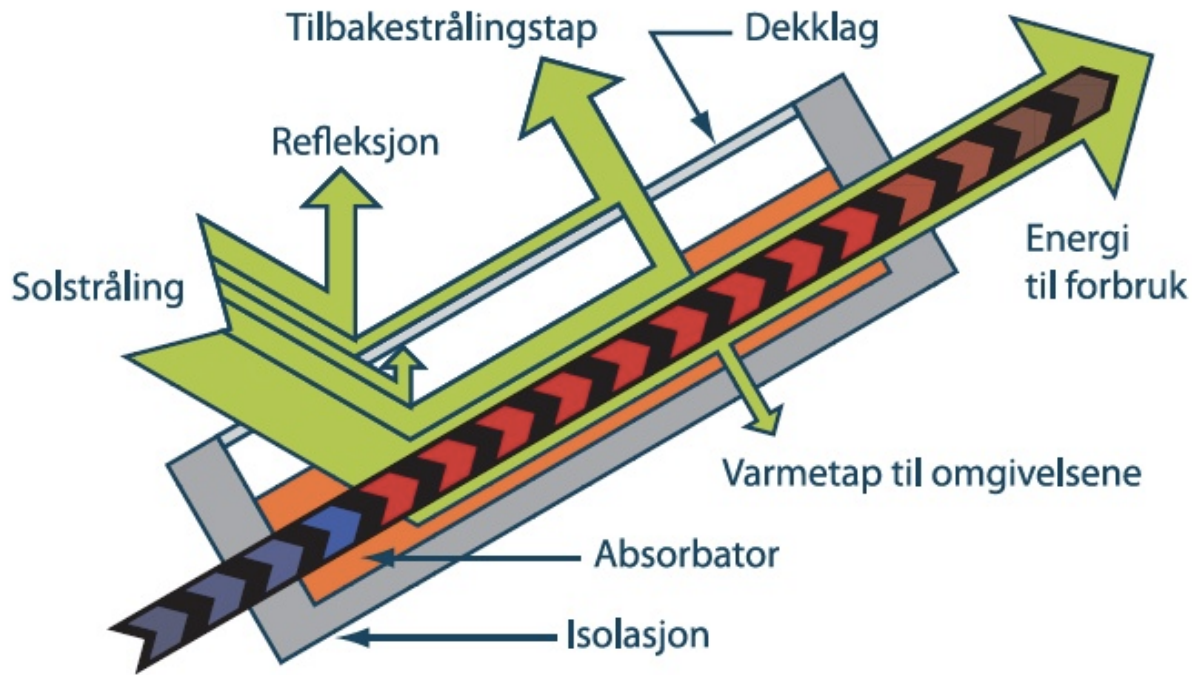
Solvegger som brukes i indirekte systemer bør også bestå av tunge materialer med høy varmekapasitet som kan lede varmen inn i huset når behovet er størst. Slike systemer krever mer solvarme enn ved direkte systemer der solvarmen slippes inn gjennom lysåpninger.

## 3. Isolerte systemer

I isolerte systemer konstruerer man et glassrom som fungerer på samme måte som en solfanger. Dette kan for eksempel gjøres ved å innglassere en vinterhage på en terrasse. Solvarmen som blir tilført glassrommet blir deretter brukt til å varme opp den tilhørende bygningen, eller andre nærliggende bygninger. Om vinteren kan slike glassrom fungere som ekstra isolasjon til det tilhørende bygget, og dermed minske varmetapet fra bygget.

### *2.3.2 Aktiv solvarme*

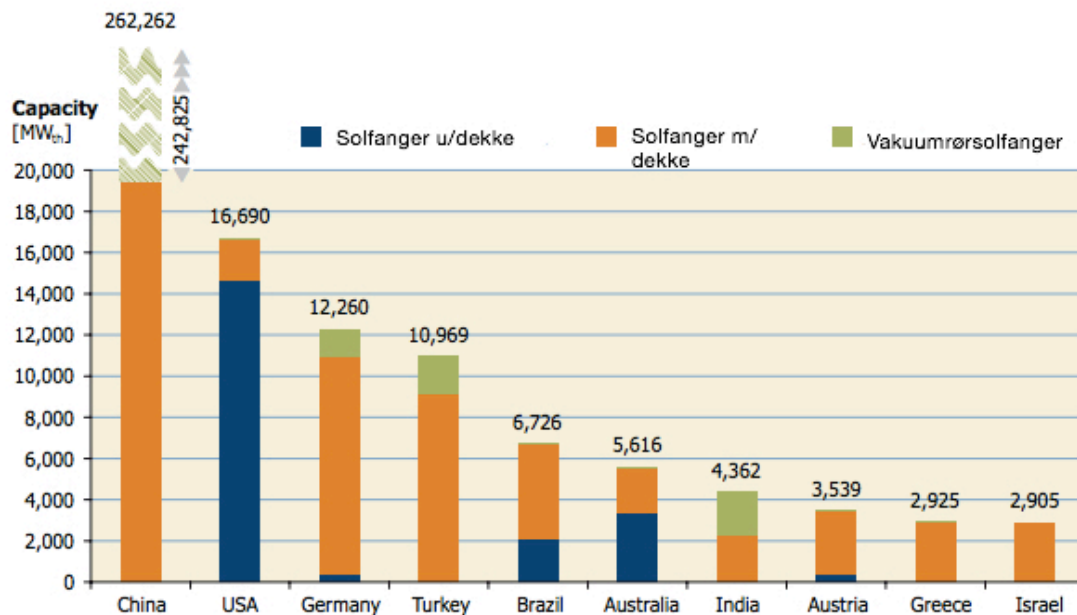
For å aktivt utnytte solvarmen benyttes solfangere. Solfangeren samler inn solinnstrålingen og omdanner den til nyttig varme. Den består ofte av en absorbator, et dekke, isolasjon og rør med varmemedium. Absorbatoren bør kunne absorbere så mye som mulig av solinnstrålingen, samtidig som den bør reflektere, og utstråle eller emittere så lite varme som mulig (NVE, Enova, Innovasjon Norge & Forskningsrådet (B), 2016). Absorbatoren er ofte svart, da den vil absorbere mest mulig og reflektere minst mulig lys. Problemet med svarte absorbatører er at de fortsatt kan emittere mye infrarød stråling, derfor er det aktuelt med en selektiv overflate på absorbatoren med en mye lavere emisjon enn en svartmalt flate (Andresen, 2008). Selv om man i praksis kun trenger en absorbator og rør, vil dekket og isolasjonen minske varmetapet, og dermed øke virkningsgraden. Det gjennomsluktige dekket, som ofte er av glass eller plast, fungerer som et drivhus ved at det slipper inn den kortbølgede strålingen, og samtidig hindrer den langbølgede strålingen i å slippe ut.



Figur 2. 5 Illustrasjon av plan solfanger (Brantenberg)

For å ytterligere minske varmetap i solfangeren kan man benytte seg av et lavemitterende belegg på dekket og gjennomsiktig isolasjon. Som varmemedium benyttes ofte rent vann, en blanding av frostvæske (glykol) og vann, eller luft. Luft har derimot større ulemper knyttet til dårligere varmekapasitet som gjør at det kreves større volum for å overføre varmen, og en dårligere varmetransport fra absorbatoren enn det vann har. Dersom det benyttes kun rent vann som varmemedium, må systemet kunne dreneres ved risiko for frost.

Absorbortemperaturen spiller også en stor rolle for solfangerens virkningsgrad ettersom varmetapet til omgivelsene blir større ved høyere absorbortemperaturer.



Figur 2. 6 Solfangertyper og deres bruk i forskjellige land (Mauthner, Weiss, & Spörk-Dür, 2015)

Dagens marked tilbyr en rekke varianter av solfangere, videre tar vi for oss de tre mest kommersielle typene (NVE, Enova, Innovasjon Norge & Forskningsrådet (B), 2016).

#### 1. Solfanger uten dekke

Solfangere uten dekke har som sagt et høyt varmetap fra absorbatoren til omgivelsene (Boyle, et al., 2012), men ved lave temperaturforskjeller mellom absorbatoren og omgivelser (høy utendørstemperatur) kan de oppnå høye virkningsgrader. Derfor egner de seg godt til blant annet oppvarming av svømmebasseng. Figur 2. 6 fra 2013 viser at denne typen utgjør en stor andel av den installerte kapasiteten i USA og til dels Australia og Brasil.

#### 2. Plan solfanger med dekke

Dette er den dominerende varianten i Europa inkludert Norge. Disse leverer en tilfredsstillende virkningsgrad ved lavere utetemperaturer og høyere absorbatortemperaturer grunnet dekket av glass eller polykarbonat som holder på den langbølgede strålingen, og fungerer godt for oppvarming av varmtvann og romoppvarming (Boyle, et al., 2012). Slike typer kan være både trykksatt og ikke-trykksatt. Dersom systemet ikke er trykksatt kan man benytte seg av rent vann som varmemedium ettersom vannet i solfangeren da skal kunne dreneres ut igjen av tyngdekraften ved for lave eller for høye temperaturer. Selv om denne solfangeren dominerer i Norge, hadde Norge til sammenlikning med Figur 2. 6 en total installert kapasitet på 31 MW i 2013 (NVE, 2017).

### 3. Vakuumsolfanger

Vakuumsolfangere har et betydelig lavere varmetap fra absorbatoren enn andre solfangere, grunnen til dette er at absorbatoren er plassert i sylindriske rør med vakuum, noe som isolerer mye bedre enn luft. Disse typene har en høy virkningsgrad ved lav utetemperatur og solinnstråling, men er relativt dyre å produsere. På grunn av sin gode isolasjon kan temperaturene i varmemediet benyttes til produksjon av prosessvarme, men det er også en større risiko for overoppheting. Absorbatoren kan være i direkte kontakt med metallrøret som frakter varmemediet, som ved en plan solfanger med dekket, men det kan også være et metallrør med vakuum i det opprinnelige vakuumsolfangeret. Varmemediet koker ved lave temperaturer grunnet det lave trykket i vakuumsolfangeret, og dampen stiger til en varmeveksler øverst i solfangeren som igjen kan varme opp varmtvannet. Den kaldere væsken vil alltid falle ned igjen grunnet høyere tetthet. Over 90 % av Kinas installerte solfangerkapasitet bestod ifølge Figur 2. 6 av vakuumsolfangere i 2013, noe som gjør dette til den dominerende solfangeren globalt.

#### 2.3.3 F-chart

Mengden varmtvann som kan leveres av en solfanger er avhengig av svært mange komponenter og prosesser. De mest avgjørende faktorene i energikjeden er solinnstråling, glass eller plastdekkets egenskaper, absorbatoren, de interne rørene i solfangeren, varmemediet, forsyningsrørene fra solfangeren til huset, varmtvannstankens egenskaper, og temperaturen på det kalde vannet som leveres til boligen. Dersom alle disse egenskapene er kjent, kan man beregne solfangeranleggets ytelse ved hjelp av f-chartmetoden (Duffie & Beckmann, 2013).

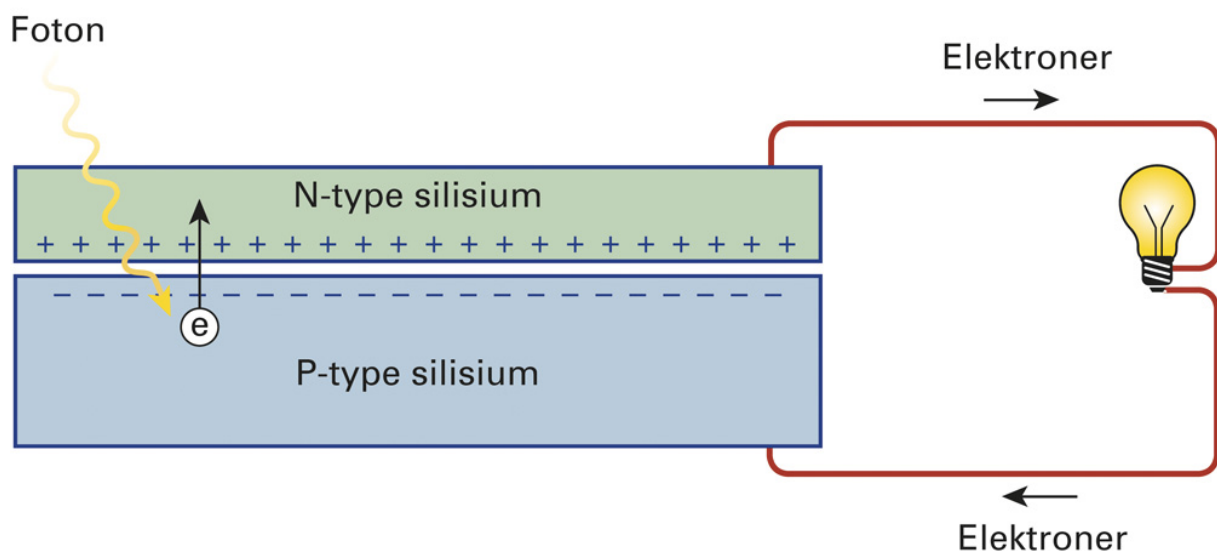
#### 2.3.4 Solcelle

For å gjøre boligen mindre avhengig av strøm fra nettet, kan man benytte seg av solcellepaneler. Det vil være fordelaktig å ikke være avhengig av elektrisitet levert fra strømmettet, i tillegg til at det kan være lønnsomt å installere. Dersom produksjonen av elektrisitet fra solcellepanelene overstiger boligens forbruk, vil det være mulig å selge strømmen tilbake til nettet.

Solceller består av tre hovedkomponenter. En todelt skive laget av silisium eller et annet halvledende materiale, en bakplate, og koblinger mellom silisiumskivens to sider. Den nedre



delen av silisiumskiven blir tilsatt svært små mengder fosfor, en prosess som kalles ”doping”. Mengden fosfor som tilføres er som regel så liten som  $\frac{1}{100000}$ . Ved å gjøre denne endringen gir man den nedre delen en overflod av elektroner og derfor en negativ ladning (n-type halvleder). Den øvre delen er ”dopet” med grunnstoffet bor, som fører til at denne siden er positivt ladet (p-type halvleder) og vi får en PN-overgang (Boyle, et al., 2012). Forskjellen i ladning skaper et elektrisk felt i PN-overgangen, og ved å tilføre fotoner fra sollyset får elektronene nok energi til å forflytte seg fra en side av overgangen til den andre. Dette foregår fra den negativt til den positivt ladde siden via koblingene, og resultatet er en strømkrets.



Figur 2. 7 Illustrasjon av PN-overgang i solcelle (Gyldendal)

Solcellepaneler er en teknologi i konstant utvikling, og teorien bak siste generasjon varierer litt fra det som er beskrevet i dette kapittelet. Det alle generasjoner har til felles er at de er laget av halvledende materiale, og benytter seg av forskjell i ladning mellom to deler. Nyere paneler benytter gjerne en kombinasjon av flere materialer og flere lag med flere PN-overganger.

Mengden tilført sollys varierer kraftig ut i fra vinkelen mellom solcellepanelet og sollyset, hvor 90 grader er optimalt. Siden solcellens ytelse varierer med solinnstråling, er det nyttig å kunne oppgi effekten ved optimale forhold. Dette er grunnen til at effekten til en solcelle oppgis i Wp (watt peak) istedenfor watt. Ytelsen beregnes som en funksjon av

solcellepanelets effektivitet, som regel rundt 15-20 % for kommersielle modeller, og innstrålingen som treffer panelet.

Bruk av solcellepaneler i Norge er i sterk vekst. Det ble i 2016 installert solcelleanlegg med en total effekt i overkant av 11 MWp, noe som er en økning på 366 % fra 2015. Samlet akkumulert effektkapasitet økte i 2016 med 75 % til rundt 27 MWp. Det meste av økningen kom i form av anlegg med nettilknytning, som ved utgangen av 2016 utgjorde 13,6 MWp (Norsk Solenergiforening, 2017).

### *2.3.5 Lagring av energi*

Siden solinnstrålingen som treffer Norge varierer mye med årstidene, vil en lagringsmulighet være svært gunstig for energiuavhengighet i vinterhalvåret og fra dag til dag. Solceller produserer klart mest strøm på dagtid når de aller fleste ikke er hjemme, og en mulighet til å lagre energien som produseres gjennom dagen gjør solceller mer attraktivt.

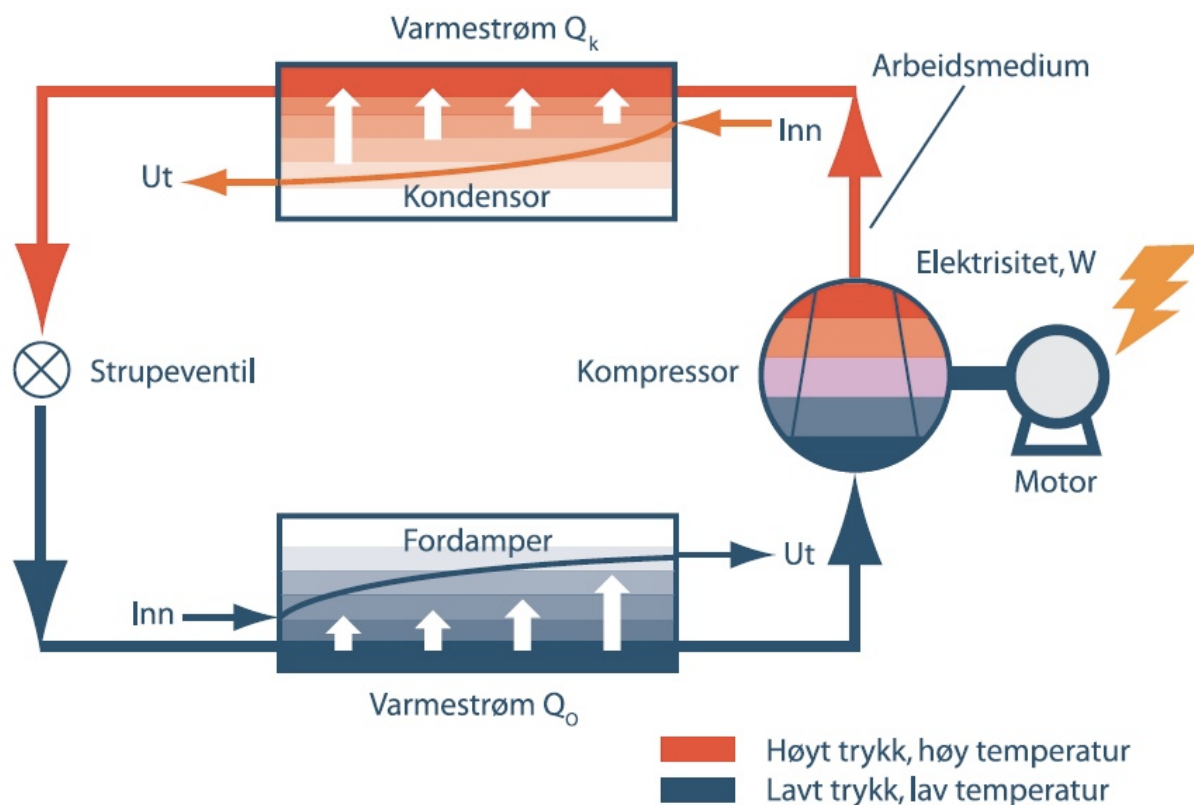
Ved å installere et batteri som har kapasitet til å lagre daglig produksjon av elektrisitet gjennom dagen og langtidslagre energi til bruk på vinterstid, kan boligens nettavhengighet reduseres kraftig. Redusert nettavhengighet vil også si at boligen har reduserte direkteutgifter på elektrisitet. Det norske vannkraftmarkedet har i utgangspunktet stor lagringskapasitet i vannmagasiner, noe som sikrer høy andel av bærekraftig energi gjennom hele året. Delkapittel 2.4 omhandler bruk av varmepumper til oppvarming.

## 2.4 Varmepumpe

En varmepumpe utnytter en ekstern energikilde og produserer varme. Varme fra energikilden med en lavere temperatur overføres til mottakeren med en høyere temperatur, noe som er mulig ettersom varmepumpen blir tilført elektrisk energi (NVE, Enova, Innovasjon Norge & Forskningsrådet (C), 2016). Varmepumper kan brukes til oppvarming av rom, ventilasjonsluft, varmtvannsberedning, men også til kjøling. Varmen kan hentes fra uteluft, avtrekksluft, grunnvann, sjøvann, jord, berggrunn, og gråvann eller avløpsvann. Typiske varmepumper i dag er derfor luft til luft, luft til vann og vann til vann.

Mengden termisk energi som overføres til mottakeren er større enn den tilførte drivenergien. Effektfaktoren til en varmepumpe beskrives med COP (Coefficient of Performance), eventuelt SCOP (Seasonal Coefficient of Performance), og forklarer hvor mye nyttbar varme som produseres per mengde tilført energi eller elektrisitet. Energibehovet er derfor det samme, men energiforbruket reduseres med 50-80 % sammenliknet med oppvarmingssystemer basert på elektrisitet (Stene, 2008). Effektfaktoren vil synke med større temperaturforskjeller, men varmepumper som er tilpasset nordisk klima skal kunne hente energi fra uteluft ned mot  $-25\text{ °C}$ . Av de 750 000 installerte varmepumpene i Norge i 2015, bestod 90 % av luft til luft (Ericson, et al., 2016). Det var først i EUs fornybardirektiv fra 2008 at varmekildene luft, vann og grunnvarme ble definert som fornybar energi, men årlig effektfaktor må være minimum 1,15 for at energiproduksjonen defineres som fornybar energi.

En varmepumpekrets som vist i Figur 2. 8 består av fire hovedkomponenter, en kald og en varm varmeveksler, henholdsvis fordampere og kondensatoren, en kompressor og en strupeventil. Arbeidsmediet som sirkulerer i varmepumpekretsen kan være en væske eller en gass, men kondensasjons- og koketemperaturen bør være tilpasset temperaturene til den eksterne varmekilden og varmemottakeren.



Figur 2. 8 Illustrasjonen av en varmepumpekrets (Barstad, 2016)

I fordamperen starter arbeidsmediet i væskeform under et lavt trykk. Siden temperaturen i arbeidsmediet er lavere enn omgivelsestemperaturen opptar det termisk energi fra varmekilden mens det føres gjennom fordamperen, noe som gjør at arbeidsmediet koker og fordamper til gassform. Ved hjelp av tilført energi komprimeres gassen i kompressoren slik at trykk og temperatur øker før den føres inn i kondensatoren. I kondensatoren overføres termisk energi til den kaldere mottakeren, og gassen kondenseres tilbake til væskeform. Væsken ekspanderer deretter i strupeventilen, og trykket og temperaturen reduseres til det opprinnelige. Under norske forhold må fordamperen avrimes fra tid til annen, da reverseres prosessen og den kalde fordamperen fungerer som den varme kondensatoren.

## 2.5 SIMIEN

Energibehov og –forbruk kan beregnes av programvaren SIMIEN. Programmet er utviklet av Programbyggerne som består av brødrene Tor Helge og Kjell A. Dokka. De har tidligere utviklet programmene *Energi i bygninger* og *Inneklima i bygninger*. SIMIEN er et simuleringprogram der man kan beregne energibruk, og vurdere inneklimaet i bygg. Programmet er validert etter NS-EN 15265:2007, en metode for å undersøke nøyaktigheten til dataprogrammer som beregner energibruk i bygninger, og er klassifisert med bokstaven B som sier at programmet har et maksimalt avvik på  $\pm 10\%$  (Programbyggerne, 2014). Bygg

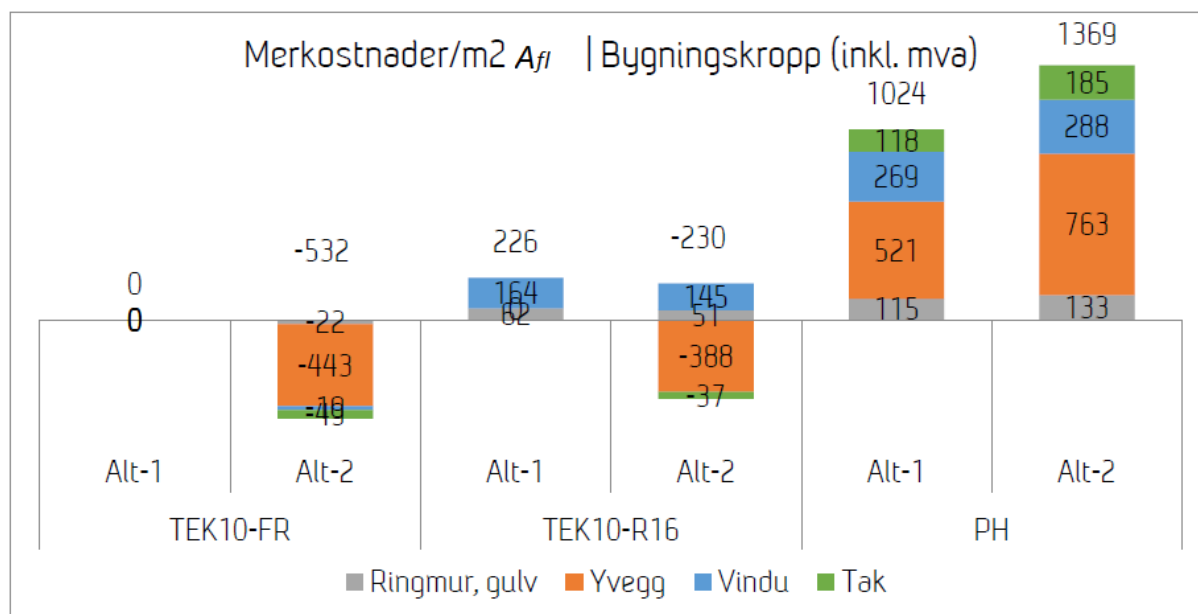
kan evalueres mot forskrifter i TEK 07, TEK 10, TEK 16 og mot passivhuskriteriene gitt i NS 3700. Man kan også energimerke bygninger, simulere bygningens ytelse over et år, eller simulere opp mot 20 dager på sommer- eller vinterhalvåret for å dimensjonere varme- og kjøleanlegget, og inneklimateet.

## 2.6 Kostnad

Det er vanskelig å vurdere kostnad og lønnsomheten for energieffektivisering av hus. Ved at energieffektiviseringen forbedres minsker utgiftene på levert energi, men byggekostnadene øker. Forskjellige faktorer som priser på materialer, lønnsutgifter eller produsentpris gjør at det er vanskelig å gi en eksakt merkostnad. Byggekostnadene vil variere fra utbygger til utbygger, transport og varierende priser på materialer.

Siden det er så vanskelig å beregne kostnadseffekten som følge av energieffektivisering av småhus baserer oppgaven seg på SINTEFs rapport, *Kostnader for nye småhus til høyere energistandard* (Stenerud Skeie, et al., 2016). Rapporten sammenliknes også med to andre utredninger, blant annet *Kostnadsoptimalitet, Energiregler i TEK* (Almås, 2012). De to utredningene beskriver lønnsomheten ved å oppgradere bygg, men lønnsomhetene har igjen blitt kritisert av forskjellige boligprodusenter som mener den er for høy. Prisberegninger for å oppgradere et småhus til passivhusstandard tar for seg tiltak som må gjøres med bygningskonstruksjonen og energiforsyning av interne energikilder til bygget.

Fra rapporten *Kostnader for nye småhus til høyere energistandard* kommer det frem at det er ytterveggene som har størst betydning for at kostnadene øker. Dersom man skal beholde det samme innvendige arealet krever det bedre utvendig kledning av ytterveggene. Veggarealet blir større, og krever derfor mer isolasjon og annet byggemateriale. Dette gjør at materialkostnadene stiger.



Figur 2. 9 Illustrasjon av merkostnad for passivhus. Redigert, basert på (Stenerud Skeie, et al., 2016)

Figur 2. 9 gir et bilde på merkostnad per  $m^2 A_{fl}$  for to passivhus etter NS 3700, relativt til to alternative nybygg etter henholdsvis TEK 10 og TEK 10 revidert i 2016. Grunnen til at det er to kostnadsvurderinger for passivhus fra SINTEF-rapporten, *Kostnader for nye småhus til høyere energistandard*, er fordi det ble gjort to utregninger. En hvor huset ligger i Sandnes, med årsmiddeltemperatur over  $6,3\text{ }^\circ\text{C}$ , og en i Oslo hvor temperaturen er under  $6,3\text{ }^\circ\text{C}$ . Det kommer frem at det høyeste estimatet er på litt under 1400 kroner per  $m^2 A_{fl}$ .

Siden det er krav om fornybar energiforsyning og for at energibehovet skal bli lavt nok, får man en høyere investeringskostnad. Lønnsomheten avhenger av type system som er i huset. Det er viktig å se på kostandene over en lengre tidsperiode ved energiforsyning. For eksempel vil et dyrt system som vannbåren romoppvarming som får sin energi fra en solfanger ha en høy engangsinvestering, men tilbakebetalingen vil kunne være bedre sammenlignet med et enklere system. Det er viktig med riktig type design på energiforsyningen til huset. Et dyrt, men godt system vil kunne produsere mer energi enn hva boligen klarer å utnytte. For å øke investeringsviljen hos huseiere har Enova innført flere økonomiske støtteordninger for energiproduksjon. Enova subsidierer også utfasing av gamle og miljøforurensende energisystemer som oljekjel. I Januar 2017 fornyet Enova en avtale med Olje- og Energidepartementet om at Enova skulle fortsette å forvalte Klima- og energifondet, et fond som fremmer overgangen fra gamle til nye og mer miljøvennlige energikilder (Rosvold K. A., 2011)

## 3. Metode

### 3.1 Valg av lokalitet og boligtype

Oppgavens teoretiske bolig plasseres i Sandefjord Kommune i Vestfold fylke, som ligger forholdsvis langt sør i Norge. Vi har valgt å plassere boligen på en lokalitet med relativt høy gjennomsnittlig innstråling og mange soltimer i løpet av et år, samtidig som topografien i området ikke gjør det utfordrende å benytte seg av solenergi. Tabell 3. 1 viser månedlig døgngjennomsnitt av innstråling og temperatur for værstasjon Tjølling, som ligger mellom Sandefjord og Larvik. Temperaturmålingene er beregnet ut i fra middeltemperaturer gjennom de siste 26 årene, hvor resultatet er et månedlig døgngjennomsnitt. Innstrålingen  $H$  er beregnet ut i fra de siste fire årene, og blir her oppgitt i megajoule MJ per kvadratmeter  $m^2$ .

Tabell 3. 1 Innstråling og temperatur fra værstasjonen Tjølling, tabell basert på (Landbruksmeteorologisk Tjeneste, 2017)

Måned	$H$ (MJ/m <sup>2</sup> )	Temperatur °C
Januar	1,35	-1,16
Februar	3,43	-1,1
Mars	8,75	1,44
April	15,05	5,59
Mai	17,85	10,52
Juni	21,58	14,13
Juli	20,98	16,58
August	15,53	16,03
September	10,28	12,19
Oktober	4,18	7,22
November	1,7	3,18
Desember	0,88	-0,21
Årlig snitt	10,13	7,04

Innstrålingen nord i landet er svakere enn i sør, og på Vestlandet er landskapet dominert av fjell og daler. Det er derfor en fordel, for en bolig som vil produsere energi fra solinnstråling, å søke mot sørlige deler av Østlandet.

## 3.2 Boligens utgangspunkt

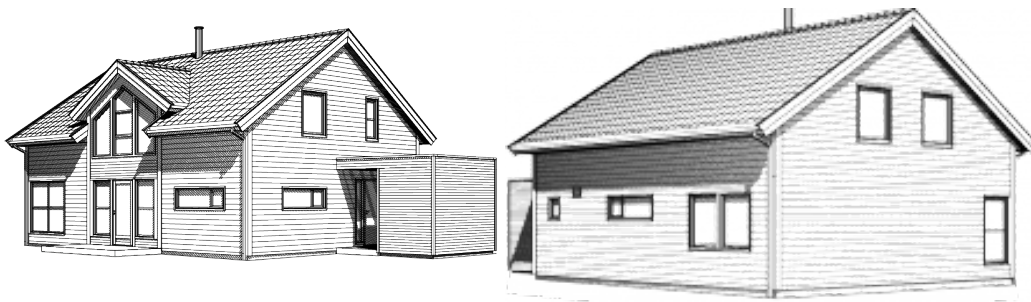
Boligen som er brukt i prosjektet heter *Sans* og er en husmodell fra Nordbohus sin huskatalog (Nordbohus, 2014). Grunnlaget for valg av dette huset er størrelse, pris og leverandørs samarbeidsvillighet. Boligen har tidligere blitt omprosjektert til passivhus Gjennom kontakt med Frode Harberg, byggleder hos Nordbohus Sogn, fikk vi tilgang til den nødvendige tekniske informasjonen om boligens energiforsyning og konstruksjon.

### 3.2.1 Energiforsyning

Husets energibehov er i Vedlegg 2 beregnet med utgangspunkt i Oslo, med en energiforsyning utelukkende fra elektrisitet og biobrensel (ved- eller peisovn). Biobrenselet som går til romoppvarming har gitt en systemvirkningsgrad på 63 %, og skal kunne dekke 39 % av energibehovet til romoppvarming. En systemvirkningsgrad skiller seg fra en alminnelig virkningsgrad ved at det tas høyde for alle tap i det aktuelle systemet. Husetes spesifikke årlige behov er  $101 \text{ kWt/m}^2$ , hvorav  $34,9 \text{ kWt/m}^2$  går til romoppvarming. Foruten biobrensel er huset helelektrisk med termostatstyrte el-radiatorer, varmtvannsbereder, forbruksstrøm og varmebatteri i ventilasjonsanlegg. Boligen har en energikarakter B, oransje, siden den bruker en relativ høy andel elektrisitet til oppvarming av rom og varmtvann (Enova, 2010).

### 3.2.2 Konstruksjoner og U-verdier

*Sans* er en toetasjes enebolig med saltak, hvor den ene langsiden har en utbygget ark. 2. etasje får et redusert romvolum på grunn av takets helning (se Vedlegg 8 for fasadeillustrasjoner). Bruksarealet har en oppvarmet del på  $144,3 \text{ m}^2$ , og et oppvarmet luftvolum på  $336 \text{ m}^3$ . 1. etasje har et oppvarmet bruksareal på  $82,2 \text{ m}^2$ , tilsvarende for 2. etasje er  $62,1 \text{ m}^2$ . Etasjehøyden i 2. etasje varierer fra 1,2 m til 2,4 m på grunn av skråtaket, mens etasjehøyden i 1. etasje er 2,4 m. Taket har en helning på  $32^\circ$ . Huset har bindingsverk av tre, og en samlet dør- og vindusandel på omtrent 20 %.



Figur 3. 1 Fasadeillustrasjon av Sans (Nordbohus, 2014)



Den normaliserte kuldebroverdien er  $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$  og lekkasjetallet er 1 luftveksling  $\text{t}^{-1}$  ved  $n_{50}$ . Ventilasjonsanlegget er mekanisk balansert, og har en SFP-faktor på  $1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ , og det leverer en luftmengde på  $1,2 (\text{m}^3/\text{t})/\text{m}^2$ , noe som tilsvarer  $173 \text{ m}^3/\text{t}$ . Varmegjenvinneren i anlegget har en virkningsgrad på 80 % og frostsikres ved  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vinduene har en lystransmisjon på 73 % og en solfaktor på 53 %, som vil si at henholdsvis 73 % av lyset og 53 % av solvarmen går gjennom. Bruttoarealet til de korte veggene er  $36,1 \text{ m}^2$ , bruttoarealet til langveggene med og uten glassfasade er på henholdsvis  $39,5 \text{ m}^2$  og  $35,7 \text{ m}^2$ . Sportsboden på  $5 \text{ m}^2$  er adskilt fra boligen, denne er ikke oppvarmet og inkluderes derfor ikke i oppgavens beregninger. Se Vedlegg 1 og Vedlegg 9.

Tabell 3. 2 til Tabell 3. 6 beskriver bygningsdelenes konstruksjon, med forbehold om at enkelte materialer kan variere mellom utbyggere.

## Yttervegg

Tabell 3. 2 Oppbygning og tykkelse av yttervegg

Materiale	Tykkelse (m)
Utluftet utvendig trekledning	0,019
Tilpasset lekt	0,026
Vindsperre, Gips	0,009
Isolasjon (Glava mineralull kl. 34) med	0,148
Isolasjon (Glava mineralull kl. 34) med	0,048
Dampsperre	0,00015
Gips	0,013
Total	0,263

Tabell 3. 2 viser oppbygning av yttervegg med tykkelse til hvert materiale. Merk at yttervegg på langsider i 2. etasje er inntrukket med dobbelt isolasjonslag. U-verdien til yttervegg er  $0,198 \text{ W/m}^2\text{K}$ , se Vedlegg 1 og Vedlegg 3.

## Skillevegg

Tabell 3. 3 Oppbygning og tykkelse av skillevegg

Materiale	Tykkelse (m)
Gips	0,013
Isolasjon (Glava mineralull kl. 34)	0,07
Gips	0,013
Total	0,096

Tabell 3. 3 viser oppbygning av skilleveggene i huset. I skilleveggen er det inkludert 36 x 98 mm stav og en 36 mm tykk bunnsvill. Merk at skilleveggene i 2. etasje mellom soverommene har ekstra isolasjon. Se Vedlegg 4.

## Gulv mot grunn

Tabell 3. 4 Oppbygning og tykkelse av gulv mot grunn

Materiale	Tykkelse (m)
EPS plate s80 kl. 38	0,20
EPS plate s80 kl. 38	0,17
Betongdekke	0,08
Gulvbelegg (parkett eller gulvbord)	0,014
Total	0,464

Tabell 3. 4 viser oppbygning av gulv mot grunn. U-verdien til gulvet er oppgitt til å være 0,09 W/m<sup>2</sup>K i Vedlegg 1, men grunnen under gir ekstra motstand. Derfor blir U-verdien tilnærmet lik 0,08 W/m<sup>2</sup>K.

### Skråtak mot friluft

Tabell 3. 5 Oppbygning og tykkelse av skråtak mot friluft

Materiale	Tykkelse (m)
Takstein	Valgfritt
Steinlekt	0,036
Sløyfelekt	0,036
Vindsperre	Ukjent
Isolasjon (Glava mineralull kl. 34)	0,20
Total	0,272

Tabell 3. 5 viser oppbygning av skråtak mot friluft. Merk at isolasjonstykkelsen er 350 mm der taket vender mot oppvarmede rom. Se Vedlegg 5.

### Kaldloft/tak mot kaldt loft

Tabell 3. 6 Oppbygning og tykkelse av tak mot kaldt loft

Materiale	Tykkelse (m)
Isolasjon (Glava mineralull kl. 34)	0,15
Takstol	0,048
Gips	0,013
Total	0,211

Tabell 3. 6 viser oppbygning av kaldloft mot kaldt loft. Merk at isolasjonstykkelsen er 350 mm der taket vender mot skråtak mot friluft, se Vedlegg 5.

Med dette som utgangspunkt, vil kapittel 3.3 fokusere på å få boligen til å møte passivhuskravene.

### 3.3 Tiltak, passivhuskrav

#### 3.3.1 Komponenter og varmetap

Etter å ha presentert bygningsdelenes konstruksjon vil dette delkapittelet gjøre rede for de endringene som må til for å møte kravene i delkapittel 2.2.1 og 2.2.2.

##### 3.3.1.1 Yttervegg

Tabell 3. 7 U-verdiberegning for yttervegg.  $\lambda$ -verdier er basert på (The Engineering Toolbox, 2017), (Tipperary Energy Agency, 2017), (Glava, 2017), (Lewald, 2016), (National Building Specification, 2015)

Materialer	Tykkelse $T_i$ (m)	Konduktivitet $\lambda_i$ (W/mK)	Resistanse $R_i = T_i/\lambda_i$ (m <sup>2</sup> K/W)
Utvendig varmemotstand ( $R_{se}$ )	-	-	0,040
Trekledning (Furu)	0,019	0,12	0,158
Tilpasset lekt (Luftlomme)	0,026	0,18	0,144
Icopal windbreak Vindsperre (polypropylen)	0,0004	0,22	0,0018
Glava Extrem kl. 32 (36x148 mm stender – c/c 60)	0,148	0,032	4,62
Glava Extrem kl. 32 (uavbrutt isolasjon)	0,098	0,032	3,06
Glava Extrem kl. 32 (36x148 mm stender – c/c 60)	0,098	0,032	3,06
Gips	0,013	0,25	0,052
Innvendig horisontal varmemotstand ( $R_{si}$ )	-	-	0,13
Total	0,402	-	11,07
U-verdi		1 / 11,07 =	0,09

Fra Tabell 3. 7 ser man forskjellen i varmemotstand mellom mineralull og andre bygningsmaterialer. Utvendig og innvendig varmeovergangsmotstand i henhold til NS-EN ISO 6946 (Standard Norge, 2007).

For å nå U-verdi- og varmetapstall for *Sans* må isolasjonen i vegg erstattes med Glava *Extrem klasse 32* ( $\lambda$  0,032), og det må ilegges 148 mm ekstra isolasjon. I tillegg til ekstra isolasjon byttes vindsperren fra gips til Icopal windbreak. Dette gjør at U-verdien i yttervegg kalkuleres til 0,09, ekskludert kuldebroer og bindingsverket mellom isolasjonslagene, se Tabell 3. 7. SINTEF byggforsk har i samarbeid med Enova, gjennom byggforskserien publisert tabeller med U-verdi for ulike typer konstruksjoner. I rapport 471.404, tabell for isolasjon med  $\lambda$  på 0,033 W/(mK) har de kalkulert at U-verdien vil være 0,107 for isolasjonstykkelse på 350 mm,



uavbrutt isolasjonslag oppnår man lavere treandel, og bidrar til å redusere U-verdi og kuldebroer for veggen.

For å unngå, og redusere luftlekkasjer i overgangen mellom vegg og gulv, samt etasjeskilleren, er det viktig med riktig montering av både vind- og dampsperreren. Det er veldig viktig at sperrene er helt tette for å unngå fukt og varmetap i isolasjonen. I overgangen vegg og etasjeskiller kan det oppstå en potensiell kuldebro, det er derfor viktig med en kuldebrobryter, se Figur 2. 1. Ved å montere etasjeskillet på det indre stenderverket vil isolasjonssjikt  $T_1$  og  $T_2$  fungere som en kuldebrobryter. I SINTEF rapport 472.301 – *Kuldebroverdier - bindingsverk av tre og trebjelkelag* viser tabell 31 at verdien for denne typen konstruksjon, med 350 mm isolasjon i vegg og 250 mm isolasjon mellom bjelkelaget og kledning, vil ha en kuldebroverdi på 0 (SINTEF Byggforsk, 2013). Dette forutsetter et bjelkelag på 48 x 198 mm.

Det er viktig at det gjennomføres godt håndverk i alle deler av byggeprosessen.

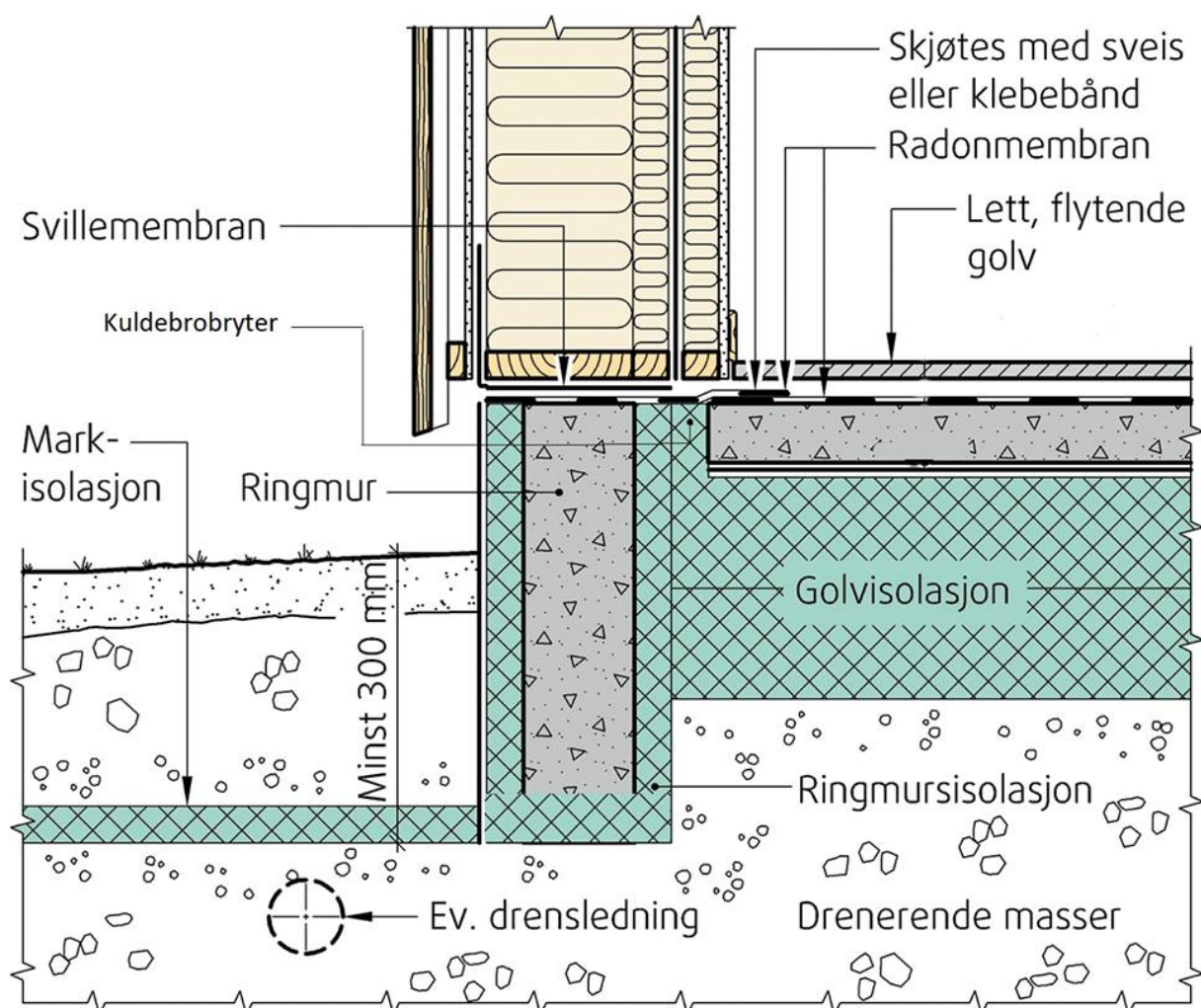
Gjennomføringer av rør og kanaler i yttervegger er en av de vanligste årsakene til luftlekkasjer, det er derfor svært viktig å tette disse godt før det isoleres og kles innvendig. Den enkleste og beste metoden for å tette gjennomføringer er med en mansjett som fungerer som en utvendig fuge, og kan trekkes utenpå rørene og klistres til veggen. Det er viktig at dette blir gjort på alle gjennomføringer i veggen. Overgangen yttervegg til yttertak er også et kritisk punkt med tanke på luftlekkasjer, og spesielt i tilfeller hvor taksperrene går gjennom ytterveggen. For å forhindre lekkasjer ved disse punktene brukes elastisk fugemasse rundt sperrene som går gjennom veggen. Neste del gjør rede for tiltak på gulv mot grunn.

### 3.3.1.2 Gulv mot grunn

Tabell 3. 8 U-verdiberegning gulv mot grunn.  $\lambda$ -verdier er basert på (Jackon) (Kährs, 2008) (Jernkontoret, u.d.).

Materialer	Tykkelse $T_i$ (m)	Konduktivitet $\lambda_i$ (W/mK)	Resistanse $R_i = T_i/\lambda_i$ (m <sup>2</sup> K/W)
Utvendig varmemotstand ( $R_{se}$ )	-	-	0,040
Jackon <i>Super EPS 150</i>	0,20	0,031	6,45
Jackon <i>Super EPS 150</i>	0,20	0,031	6,45
Betong	0,08	1,7	0,047
Parkett (Eik)	0,014	0,17	0,082
Innvendig nedadgående varmemotstand ( $R_{si}$ )	-	-	0,17
Total	0,494	-	13,04
U-verdi		1 / 13,04 =	0,076

Ved å endre isolasjon fra EPS 80 til 2 x 200 mm Jackon *Super EPS 150* reduserer vi U-verdien for gulv mot grunn, kalkulert U-verdi for gulvet ender da på 0,076 W/m<sup>2</sup>K. Dette er uten varmemotstand i grunnen.



Figur 3. 3 Illustrasjon av oppbygning, golv mot grunn Redigert, basert på (Lavenergiprogrammet, 2016)

Oppbyggingen av gulvet vil være 2 x 200 mm EPS 150 plater i bunn, med 80 mm betong, eventuelt radonmembran, og 14 mm parkett. Gulvet vil være i tilslutning til isolert ringmur med betong, ringmuren må i tillegg til isolasjon i grunn være isolert på begge sider for å redusere kuldebrotapet i overgangen. Markisolasjonen tilsluttes ringmuren i ytterkant og legges minimum 300 mm ned i bakken. Kuldebrobryter legges mellom tilslutningen til golv og ringmur, slik at varmetapet reduseres, se Figur 3. 3

For å unngå luftlekkasjer i overgangen mellom ringmur og yttervegg brukes svillemembran for å glatte ut ujevnheter i muren. Svillemembranen bør kunne ta opp en ujevnhet i grunnmuren på 8-10 mm. Svillemembranen hindrer også oppsuging og overføring av fuktighet fra muren til trevirket. Membranen kommer i tillegg med en 15-20 cm vindtett duk som skal festes inn til ytterveggen. Ovenpå svillemembranen legges en bunnsvill, som festes ned i den underliggende murkonstruksjonen. Det er viktig at vindsperren og vindduken overlapper og tettes godt for å hindre luftlekkasjer.



### 3.3.1.3 Vinduer

*Sans* leveres med vinduer med en maks U-verdi på 1,0 for dører og vinduer, uten mer konkret informasjon. For å nå passivhuskravet på 0,8 i U-verdi for vinduer og dører, og for å redusere oppvarmingsbehovet for boligen velger vi å bytte ut vinduene. Ved å erstatte de gamle vinduene med *Sanco Sun COMBI 51/26*, som er et argonfylt solskjermingsglass med tre lag, på sør-, vest- og soveromsvinduet i 2. etg på østfasaden reduseres U-verdien til 0,6 for selve glasset. Resterende vinduer erstattes med *Sanco Plus TRIII*, som er et trelags energiglass fylt med argon gass, og har en U-verdi på 0,7 for glasset (SANCO, 2014). I tillegg må det benyttes superisolerende trekarmen på alle vindusmonteringer. U-verdien for vinduene vil da ende på mellom 0,65 og 0,80 W/(m<sup>2</sup>K).

Total tykkelse på nye vinduer vil være 36 mm for *Sanco pluss* og 42 mm for *Sanco Sun*, solskjermingsvinduet består av 1 x 6 og 2 x 4 mm glass, pluss 2 x 14 mm lommer fylt med gass, mens energiglasset består av 3 x 4 mm glass og 2 x 12 mm lommer fylt med argongass. De nye vinduene på sør- og vestfasaden bør ha lav solfaktor, også kjent som g-verdi %, som er en benevnelse på hvor mye varme fra solen glasset slipper gjennom og inn i boligen. Dette er viktig for å unngå overoppheting og hjelper til med å holde temperaturene på et akseptabelt nivå. *Sanco Sun COMBI 51/26* modellen vi har valgt har en solfaktor på 26 %, som betyr at 26 % av solvarmen slipper inn i huset, mens energivinduene har en solfaktor på 51 %. Lystransmisjonen, som er andelen av lys som slipper inn er på henholdsvis 46 % for *Sanco Sun COMBI 51/26* og, 71 % for *Sanco Plus TRIII* (SANCO, 2014).

I tillegg til solskjermende glass på de ulike fasadene kreves ulike solskjermingstiltak montert på inn- og utsiden av huset. Innvendige persienner monteres på alle vinduer på nordfasaden, samt alle vinduene ekskludert balkongdøren på glassfasaden vendt mot sør. Resterende vinduer vil ha automatisk regulerbart solskjermingssystem, med utvendige lyse persienner som aktiveres ved høy solinnstråling. Vinduene må monteres 40-60 mm innenfor utvendig vindusperre, dette er for å redusere kuldebroverdien til et minimum. Ytterdør og balkongdør erstattes med henholdsvis superisolert ytterdør og balkongdør med tolags solreflekterende glass.

### 3.3.1.4 Kuldebroberegning for Sans

Ved utregning av kuldebroer skiller man mellom kuldebroverdi og normalisert kuldebroverdi. Der kuldebroverdien måles i watt W, per meter m, Kelvin K. Og normalisert kuldebro i W/m<sup>2</sup>K. Formelen for normalisert kuldebro kan skrives som summen av lineære kuldebroer  $\Psi_k$ , multiplisert med lengden av kuldebroene  $l_k$ , pluss summen av tredimensjonale kuldebroer  $X_j$  delt på oppvarmet del av bruksareal  $A_{fl}$ .

$$NKV = \frac{\sum_k \Psi_k l_k + \sum_j X_j}{A_{fl}}$$

#### Likning 3. 1

Vi har i vår beregning av normalisert kuldebroverdi brukt tabelloppslag fra SINTEF som kilde. Dette gir en relativt nøyaktig verdi av kuldebroene  $\pm 20\%$  (Gustavsen, et al., 2008). Ved utregning ved hjelp av tabelloppslag er det viktig at man finner verdien for den detaljen/konstruksjonen man i realiteten har. Selv om detaljene ofte fraviker fra realiteten, er det fortsatt mulig å bruke tabelloppslagene, så lenge det dokumenteres at man har en verdi som ikke er bedre enn valgte detalj.

Tabell 3. 9 Oversikt over kuldebroer (SINTEF Byggforsk, 2013)

Overgangsdetalj	Lengde (m)	Antall	Total lengde (m)	Kuldebro-verdi (W/(mK))	Varmetap (W/m <sup>2</sup> K)
Tak/langvegg, nord	10	1	10	0,026	0,26
Tak/langvegg, sør	10,5	1	10,5	0,026	0,273
Tak/kortvegg	9,4	2	18,8	0,026	0,489
Møne	10	1	10	0,016	0,16
Etasjeskiller/langvegg	10	2	20	0	0
Etasjeskiller/kortvegg	8	2	16	0	0
Vegg/ringmur/gulv*	36	1	36	0,061	2,412
Vindu/vegg**	90,4	1	90,4	0,012	1,085
Dør/vegg	6	1	6	0,012	0,072
Hjørner, 1. etg	2,4	4	9,6	0,033	0,317
Hjørner, 2. etg	1,2	4	4,8	0,033	0,158
Totalt varmetap					5,226
NKV (W/m <sup>2</sup> K)					0,036 $\approx$ 0,4

\* I overgang mellom gulv, ringmur og vegg er det tatt utgangspunkt i tabell 434. På grunn av at varmetapskoeffisienten i isolasjonen vi har brukt er lavere enn hva SINTEF har brukt i sine beregninger ( $\lambda$  0,031 mot  $\lambda$  0,035-0,040) vil varmetapet fra kuldebroen i realiteten være noe lavere.

\*\* Kuldebroer på sidene for balkongdør og midt vindu 2. etg i glassfasaden mot sør er beregnet som kuldebro i sidevinduene, vinduene ligger såpass tett at det vil være naturlig å beregne denne som én kuldebro og ikke to.

Kuldebroverdiene er hentet fra SINTEF byggforskserien.

Hjørner 1 og 2 etg: (SINTEF Byggforsk, Enova (A), 2013)– tabell 32; *Utovervendt hjørne mellom bindingsverksvegger av tre med kontinuerlig utvendig isolasjon.*

Vegg/ringmur/gulv: (SINTEF Byggforsk; Enova (B), 2013)– tabell 434; *Golv på grunnen med 80 mm betonggolv på 400 mm isolasjon.*

Etasjeskiller/langvegg og etasjeskiller gavlvegg: (SINTEF Byggforsk; Enova (C), 2013)– tabell 31; *Bjelkelag med 48 mm x 198 mm trebjelker.*

Møne: (SINTEF Byggforsk; Enova (D), 2013)– tabell 312; *Isolasjon med dimensjonerende varmekonduktivitet,  $\lambda_d$ , på 0,035 W/(mK).*

Vindu/vegg: (SINTEF Byggforsk; Enova (A), 2015)– tabell 511; *Bindingsverksvegg av tre.*

Tak langvegg og tak gavlvegg: (SINTEF Byggforsk; Enova (B), 2015)– tabell 511;

*Udgerter av tre med tykkelse på 36-48 mm.*

(SINTEF Byggforsk, Enova (E), 2013)

Som tabellen viser vil *Sans* ikke oppnå kravet om normalisert kuldebroverdi på 0,03 med utgangspunkt i denne beregningen. SINTEF bruker i sine beregninger isolasjon med høyere varmekonduktivitet enn hva vi har brukt i de fleste konstruksjonene i *Sans*. Det meste av varmetapet fra kuldebroer er som vi ser av tabellen, fra vinduer og overgangen mellom gulv til ringmur. Ved å redusere kuldebroen i overgang mellom gulv og ringmur til 0,061 W/m<sup>2</sup>K, som vil være sannsynlig med bedre isolasjon og tykkere kuldebrobryter i overgangen, vil kravet på 0,03 W/m<sup>2</sup>K oppnås.

### 3.3.2 Energibehov romoppvarming

#### 3.3.2.1 Manuell beregning av varmetap

For å få en forståelse for hvordan U-verdier og varmetap i bygg faktisk fungerer, gjennomførte vi en manuell utregning for boligen (se Vedlegg 10), basert på Likning 3. 2. For å gjøre den forholdsvis realistisk men samtidig enkel, tok vi utgangspunkt i en konstant innetemperatur i alle rom på 21 °C, og en konstant utetemperatur på 7 °C, gjennomsnittlig temperatur i Sandefjord de siste 26 år (Landbruksmeteorologisk Tjeneste, 2017).

$$Q = \Delta T U A$$

Likning 3. 2

Her er  $Q$  en effekt oppgitt i watt (W), og  $\Delta T$  er temperaturforskjellen mellom ute og inne. U-verdiene er oppgitt i SINTEF sin TEK-sjekk av *Sans*, og  $A$  er arealet med yttervegg for hvert enkelt rom. Enkelte deler av huset har tak- eller veggareal mot kreploft eller kaldloft, noe som gjør at utregningen av varmetap endrer seg. Her må først temperaturen på kreploftet eller i kaldloft beregnes, før den totale varmetapseffekten kan regnes ut. Varmetapet er derfor avhengig av varmebalansen i de uoppvarmede rommene. For dette formålet brukte vi Likning 3. 3, som er en utvidet versjon av Likning 3. 2.

$$\Delta T_1 U_1 A_1 = \Delta T_2 U_2 A_2$$

Likning 3. 3

Her er  $\Delta T_1$  lik innetemperaturen minus temperaturen i mellomrommet, og  $\Delta T_2$  er lik temperaturen i mellomrommet minus utetemperaturen. Dermed kan vi skrive om Likning 3. 3 til Likning 3. 4 på denne måten, for å finne temperaturen  $T_{mr}$  i mellomrommet.

$$T_{mr} = \frac{T_{ut} U_2 A_2 + T_{in} U_1 A_1}{U_1 A_1 + U_2 A_2}$$

Likning 3. 4

I Likning 3. 4 er  $U_1$  lik U-verdien for vegg eller tak mot kreploft eller kaldloft, og  $U_2$  er lik U-verdien for tak eller vegg som skiller mellomrommet fra utetemperaturen. Den resulterende temperaturen i mellomrommet ble deretter benyttet til å beregne den resulterende varmetapseffekten for rom med tak- og veggareal mot kaldloft og kreploft ved hjelp av Likning 3. 2.

### *3.3.2.2 Romoppvarming*

Romoppvarmingen i *Sans* er i utgangspunktet delvis dekket av en vedovn, men den velger vi å ikke benytte oss av. Den lave systemvirkningsgraden gjør den lite energieffektiv sammenlignet med andre oppvarmingsløsninger, for eksempel varmepumpe. Vi har i vårt prosjekt valgt å fokusere på luft til luft-pumpe produsert av LG, hvor vi har planlagt to separate varmepumper, en innedel i første etasje og en i andre etasje. Dette er tilstrekkelig for romoppvarmingen i vår omprosjektering av *Sans*, når vi inkluderer varmekabler for badrom i begge etasjer. Innelelene sprer varmen i boligen ved hjelp av en vifte, noe som fungerer bedre med en åpen planløsning slik at luften lett kan spres til de ulike rommene. Vår enebolig har en relativt lukket planløsning, og derfor har vi valgt to varmepumper. På grunn av varmepumpens relativt høye SCOP-faktor på 5,2 vil den levere mer energi enn det den bruker (se Vedlegg 11). Dette gjør at energibehovet til oppvarming blir mindre enn hva tilfellet hadde vært med radiatorbasert oppvarming.

### *3.3.3 Oppvarming av forbruksvann*

For å gjøre et anslag på forbruk av varmtvann for boligen *Sans* er det brukt en Svensk rapport om nødvendig varmtvannsbehov. Her ble det sett på vannforbruket hos 44 boliger i Sverige, hvorav 38 var småhus. Denne rapporten sier at man forbraker 42 liter varmtvann per person hver dag (Statens energimyndighet, 2009). For å finne det totale varmtvannsforbruket for hele boligen ble det brukt statistikk fra SSB på gjennomsnittlig personer per husstand. I 2016 ble det beregnet at det var 2,19 mennesker per privathusholdning (Statistisk sentralbyrå, 2016). Disse verdiene er utgangspunktet for delkapittel 3.3.3.

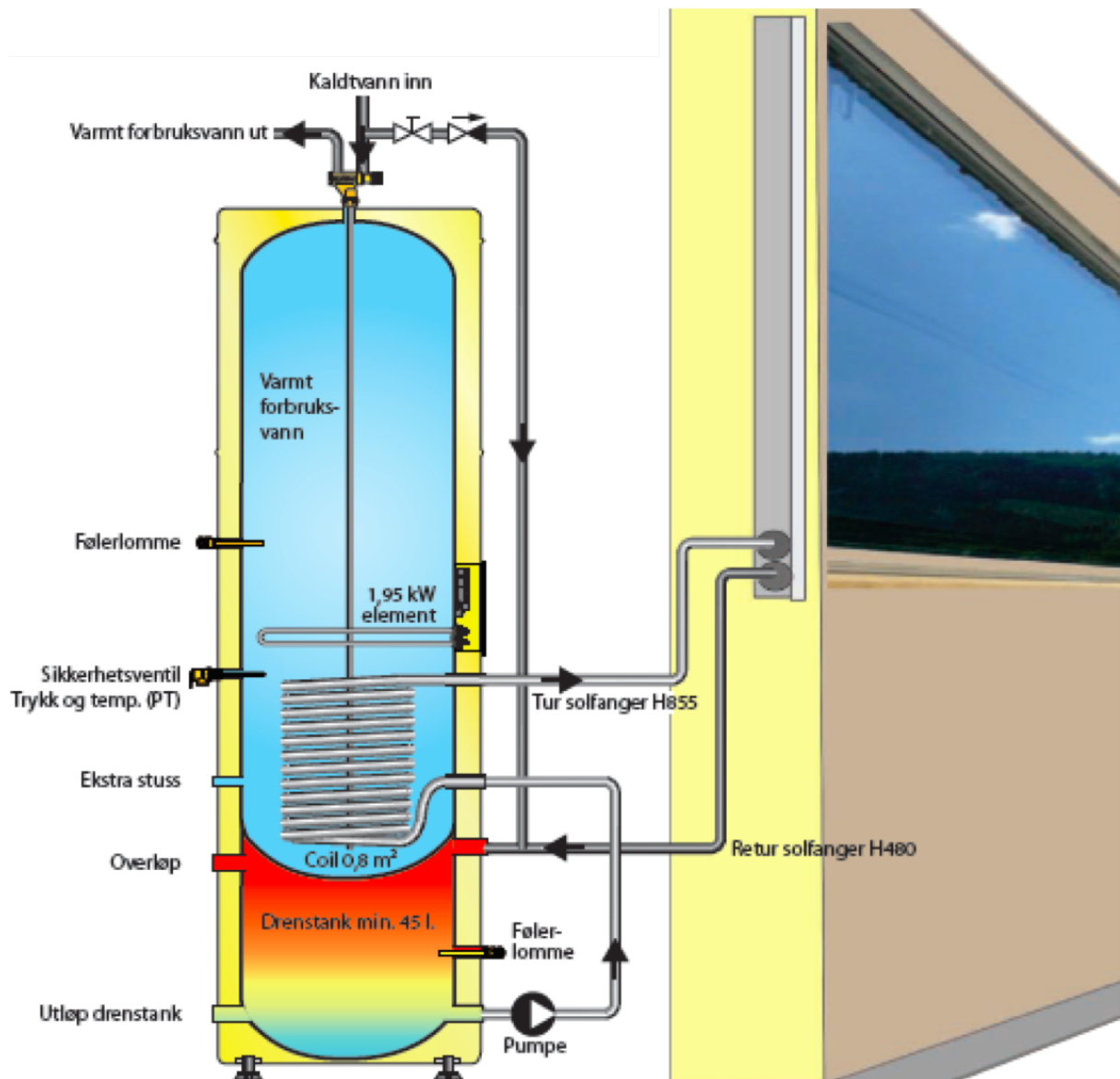
#### *3.3.3.1 Solfanger*

Videre i denne oppgaven er det valgt en plan solfanger fra Aventa som består av tre hovedkomponenter. Et 10 mm tykt dekke av UV-behandlet polykarbonat med en lystransmisjon på 85 %, en svart absorbatoren av polyfenylensulfid (PPS) uten selektivt belegg, og rør av metall som plasseres mellom dekket og absorbatoren. Solfangeren er isolert i bakkant med 25 mm isolasjon for å minske varmetapet (Aventa, 2014).

Temperaturføleren i solfangeren produsert av Aventa registrerer solinnstråling, og pumper deretter kaldt vann opp i solfangeren. Polykarbonatplaten slipper infrarød stråling inn, men ikke ut. Det fører til at absorbatoren varmes opp uten at varmen stråles tilbake til omgivelsene, men heller varmer opp rørene og vannet som passerer gjennom.

Rent vann fungerer som varmemedium for denne typen, og føres gjennom rørene ved hjelp av en termisk heverteffekt som benytter seg av konveksjon, noe som vil si at systemet ikke er trykksatt. Varmt vann inne i solfangeren beveger seg gjennom de vertikale rørene, og kaldt vann stiger opp i fangeren nedenfra. Når det kalde vannet kommer inn i solfangeren, varmes det opp av den varme absorbatoren og bidrar til videre konveksjon.

På innsiden av huset er varmtvannstanken *Solbereder Aventa Solar 330 L* valgt, med en dreneringstank i nedre del på 61 liter som fungerer som en varmeveksler, og en beredertank med forbruksvannet ovenfor på 270 liter (Aventa, 2016). Det soloppvarmede vannet føres inn i toppsjiktet i dreneringstanken, hvor det varmer opp hovedtanken over seg. Vannet på bunnsjiktet i dreneringstanken pumpes inn i en varmevekslercoil i forbrukstanken, så lenge vannet i dreneringstanken er varmere enn vannet i forbrukstanken. Sirkulasjonen stopper ved en forskjell på 3-4 °C. En differansetermostatstyrt pumpe tilkoblet to følerlommer sørger for at vannet i forbrukstanken ikke kjøles. Det er i tillegg installert et elektrisk varmeelement på 1,95 kW i beredertanken, for supplering av elektrisk energi i perioder med lite innstråling, og for å dekke topplastbehovet på dager med høyere forbruk.



Figur 3. 4 Illustrasjon av varmtvannsbereder (Aventa, 2016)

### 3.3.3.2 Beregning av innstråling

For å beregne gjennomsnittlig månedlig innstråling  $H_T$  per dag mot taket er det tatt utgangspunkt i kapittel 1 og 2 i *Solar engineering and thermal processes* (Duffie & Beckmann, 2013). Hele beregningsprosessen vises i Vedlegg 6.

Til å begynne med må den daglige solinnstrålingen  $H_0$  på en horisontalflate beregnes for hver dag gjennom et helt år, uten hensyn til partikler i atmosfæren, hvor dag én er 1. januar.

Formelen tar utgangspunkt i solarkonstanten, deklinasjonen, spesifikk dag mellom 1 og 365, breddegraden, og på hvilken vinkel solen går ned, målt fra sør. Videre angis det én spesifikk

dag hver måned som representerer en gjennomsnittlig dag for den aktuelle måneden, med tilhørende gjennomsnittlig deklinasjon og gjennomsnittlig vinkel for solnedgang, målt fra sør.

Ved å dele virkelig gjennomsnittlig månedlig solinnstråling  $H$  (Landbruksmeteorologisk Tjeneste, 2017) fra Tabell 3. 1 på  $H_0$ , får man en representativ månedlig klarværsfaktor  $K_T$  mellom 0 til 1. I vår utregning er denne høyest på våren og tidlig om sommeren, mens den er lavest fra oktober til januar. Klarværsfaktoren er gyldig så lenge den er over 0,3. Videre beregnes andelen av virkelig gjennomsnittlig månedlig solinnstråling som er diffus  $H_d/H$ , og det skilles mellom to formler ut ifra gjennomsnittlig vinkel for solnedgang, målt fra sør.  $H_d/H$  er høyest når månedlig  $K_T$  er lavest, og motsatt.

Neste steg er å finne forholdstallet  $R_b$  mellom direkte månedlig solinnstråling på en skrå sørvendt overflate for nordlige breddegrader, og direkte månedlig solinnstråling på en horisontalflate. Dette tar hovedsakelig hensyn til de nevnte verdiene og overflatens helning fra horisontalplanet, og er lavest fra mai til august. Det er dermed de kaldere månedene som har mest solinnstråling å hente på en skrå overflate, til sammenlikning med en horisontalflate.

Til slutt beregnes den gjennomsnittlige månedlige solinnstrålingen  $H_T$  per dag mot takoverflaten, denne formelen innebærer de nevnte verdiene og refleksjonen fra bakken. Refleksjonen er satt til 0,2 (Store Norske Leksikon, 2013) hver måned, ettersom det antas at Sandefjord som regel er snøfritt.

### 3.3.3.3 F-chart

For å estimere andelen av varmtvannsbehovet som kan suppleres av et solfangeranlegg, blir f-chartmetoden benyttet.

Ved normal drift av solfangeranlegget vil det alltid være tap av energi i alle ledd, som må tas med i beregningen for å få et realistisk bilde av anleggets faktiske kapasitet. Tapet kan deles inn i tre hoveddeler, solfangertap  $L_w$ , rørtap  $L_p$ , og beredertap  $L_t$ . Summen av disse tre er solfangeranleggets totale varmelast, som er den energien som går med til å opprettholde varmtvannstemperaturen. Utregning av de følgende likningene ble gjort med noen antagelser, herunder en varmtvannstemperatur på 75 °C, en rørlengde på 15 meter, rør laget av aluminium med en varmekapasitet på 205 J/KgK, og en temperatur på tilført vann som varierer fra 8 til 14 °C gjennom året.



Det månedlige solfangertapet beskrives av Likning 3. 5 (Okafor & Akubue, 2012).

$$L_w = C_p H_w (T_w - T_m) N_m$$

*Likning 3. 5*

Hvor  $L_w$  er varmelast (tap),  $C_p$  er varmemediets spesifikke varmekapasitet,  $H_w$  er det daglige varmtvannsforbruket i husstanden,  $T_w$  er ønsket varmtvannstemperatur,  $T_m$  er temperaturen på det leverte vannet fra vannforsyningen, og  $N_m$  er antall dager i måneden.

Rørtapet beregnes ved hjelp av Likning 3. 6 (Okafor & Akubue, 2012).

$$L_p = U_p l (T_w - T_a) N_m \Delta t_p$$

*Likning 3. 6*

Hvor  $L_p$  er tapet i rørene,  $U_p$  er rørmaterialets varmetapskoeffisient,  $l$  er den totale lengden på rør fra solfanger til bereder,  $T_a$  er temperaturen i rørenes omgivelser, og  $\Delta t_p$  er antall daglige brukstimer som er lik tilgjengelige soltimer (Meteorologisk Institutt, 2009).

Beredertapet beregnes med Likning 3. 7. Beredertapet i denne oppgaven er ikke beregnet på denne måten, men hentet fra en rapport fra Vestlandsforskning (Hille, Simonsen, & Aall, 2011).

$$L_t = A_t U_t (T_w - T_a)$$

*Likning 3. 7*

Hvor  $L_t$  er beredertapet,  $A_t$  er berederens overflateareal, og  $U_t$  er berederens U-verdi.

Til sammen utgjør alle disse komponentene det totale tapet  $L$  for solfangeranlegget ved Likning 3. 8.

$$L = L_w + L_p + L_t$$

*Likning 3. 8*

Når tapet  $L$  er etablert kan man ved hjelp av solfangeranleggets spesifikasjoner beregne to dimensjonsløse variabler  $x$  og  $y$ . Variabelen  $x$  relaterer solfangertap til varmelast, mens  $y$  relaterer varmelast til absorbert solinnstråling.

De to dimensjonsløse variablene  $x$  og  $y$  defineres av Likning 3. 9 og Likning 3. 10 (Duffie & Beckmann, 2013).

$$x = \frac{A_c F_r U_l \frac{F'_r}{F_r} (T_{ref} - T_a) \Delta t}{L}$$

Likning 3. 9

$$y = \frac{F_r (\tau\alpha)_n \frac{F'_r}{F_r} \frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n} N_m H_T A_c}{L}$$

Likning 3. 10

Hvor  $A_c$  er Solfangerarealet,  $F'_r$  er Solfangerens varmevekslereffektivitet mellom absorptor og rør,  $U_l$  er fangerens varmetapskoeffisient,  $\Delta t$  er antall sekunder i måneden,  $T_a$  er gjennomsnittlig utendørs lufttemperatur i den aktuelle måneden,  $T_{ref}$  er en empirisk referansetemperatur på 100 °C,  $L$  er varmelasten fra Likning 3. 8 i Joule,  $H_T$  er gjennomsnittlig månedlig innstråling per dag målt i  $J/m^2$ ,  $N_m$  er antall dager i den aktuelle måneden, og  $(\tau\alpha)$  er gjennomsnittlig produkt av solfangerdekkets transmisjon og absorpsjon. Likning 3. 9 og Likning 3. 10 kan skrives om til Likning 3. 11 og Likning 3. 12.

$$x = F_r U_l \times \frac{F'_r}{F_r} \times (T_{ref} - T_a) \times \Delta t \times \frac{A_c}{L}$$

Likning 3. 11

$$y = F_r (\tau\alpha)_n \times \frac{F'_r}{F_r} \times \frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n} \times H_T N_m \times \frac{A_c}{L}$$

Likning 3. 12

I våre beregninger er det Likning 3. 11 og Likning 3. 12 som har blitt benyttet for å bestemme  $x$  og  $y$ . Her vil  $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$ ,  $F_r U_l$  og  $F'_r/F_r$  ha simuleringsbestemte verdier på henholdsvis 0,96, 4 og 0,97 (Duffie & Beckmann, 2013), hvor  $F'_r/F_r$  korrigerer for eventuelle fluktuasjoner i temperaturforskjell mellom lagringstank og solfanger.  $F_r U_l$  har enheten  $W/m^2$ .  $F_r (\tau\alpha)$  er oppgitt av solfangerprodusenten, og har en verdi på 0,77.

For å få et helhetlig bilde av anleggets effektivitet, må  $x$ -verdiene korrigeres for lagringskapasitet og temperatur på levert kaldtvann. F-chartmodellen ble utviklet for anlegg med en standard lagringskapasitet på 75 liter per kvadratmeter solfanger, noe som gjør at  $x$ -verdiene må korrigeres. Korreksjonen utføres ved å multiplisere  $x$ -verdien fra Likning 3. 11

med en korreksjonsfaktor  $x_{cf1}$ . Korreksjonsfaktoren  $x_{cf1}$  finner vi ved hjelp av Likning 3. 13 (Natural Resources Canada, 2004).

$$x_{cf1} = \left( \frac{\text{Faktist lagring}}{\text{Standard lagring}} \right)^{-0,25}$$

*Likning 3. 13*

Hvor faktisk lagring er lik 270 liter (Aventa solar bereder), og standard lagring er lik 75 liter multiplisert med det totale solfangerarealet.

Korreksjon for temperatur på levert vann gjøres ved å multiplisere den lagringskorrigerede  $x$ -verdien med en korreksjonsfaktor  $x_{cf2}$  som tar høyde for vanntilførselstemperaturen, ønsket varmtvannstemperatur, og omgivelsestemperaturen. Den beskrives av Likning 3. 14 (Natural Resources Canada, 2004).

$$x_{cf2} = \frac{11,6 + 1,18T_w + 3,86T_m - 2,32T_a}{100 - T_a}$$

*Likning 3. 14*

Hvor  $T_w$  er ønsket varmtvannstemperatur,  $T_m$  er temperaturen på vannforsyningen, og  $T_a$  er lufttemperaturen utendørs.

Når både  $x$  og  $y$  er beregnet, kan man komme frem til den resulterende faktoren  $f$  som en funksjon av  $x$  og  $y$  ved hjelp av Likning 3. 15.

$$f = 1,029y - 0,065x - 0,245y^2 + 0,0018x^2 + 0,0215y^3$$

*Likning 3. 15*

Under betingelsene  $0 \leq x \leq 15$  og  $0 \leq y \leq 3$  (Okafor & Akubue, 2012).

Verdien på  $f$  beskriver andelen av varmtvannsforbruket som kan dekkes av det aktuelle solfangeranlegget, men modellen har begrenset rekkevidde. Dersom verdien  $f$  er lik eller større enn 1 vil verdien 1 bli brukt, og dersom den er mindre eller lik 0 blir 0 gyldig resultat.

## 3.4 Elektrisitetsforsyning

### 3.4.1 Solcelle

I denne oppgaven har vi tatt utgangspunkt i den monokrystallinske solcellemodellen *SunForte* produsert av BenQ Solar, som har en effektivitet på 20,4 % (BenQ Solar, 2014). Den høye effektiviteten kommer delvis av at ingen ledninger trekkes på forsiden av panelet, noe som øker mengden sollys den klarer å ta opp. Den høye effektiviteten gjør at den kan produsere relativt mye elektrisk energi ved relativt lite solinnstråling, noe som gjør den godt egnet for norske forhold.

For å dimensjonere et solcelleanlegg trenger man, på samme måte som ved solfangeranlegget, god kunnskap om solinnstrålingen i det området hvor anlegget skal plasseres. Ved å benytte oss av data oppgitt av solcelleprodusenten i kombinasjon med de samme teknikkene som i delkapittel 3.3.3.2, kan vi komme fram til en levert effekt for vårt anlegg. Først må innstrålingen gjøres om til en gjennomsnittlig døgneffekt  $H'_T$  ved hjelp av Likning 3. 16.

$$H'_T = \frac{H_T}{60 \times 60 \times 24}$$

Likning 3. 16

Hvor  $H_T$  er innstrålingen fra delkapittel 3.3.3.2, og  $60 \times 60 \times 24$  resulterer i antall sekunder per døgn. For å beregne effekten  $P$  benyttes Likning 3. 17 på følgende måte.

$$P = H'_T A_{PV} \mu_{PV}$$

Likning 3. 17 (Jysk Solenergi, u.d.)

$H'_T$  er den tiljusterte innstrålingseffekten i Watt per kvadratmeter,  $A_{PV}$  er solcelleanleggets areal, og  $\mu_{PV}$  er solcelleanleggets effektivitet, oppgitt av produsenten. Når den leverte effekten er beregnet, kan man finne den totale mengden levert energi  $E_{PV}$  (kWh) per måned ved hjelp av Likning 3. 18 på følgende måte.

$$E_{PV} = \frac{P \Delta t_m}{1000W/kW}$$

Likning 3. 18

Hvor  $P$  bestemmes ved hjelp av Likning 3. 17,  $\Delta t_m$  er antall timer per måned, og  $1000W/kW$  er antall watt per kilowatt.

Elektrisitetsforsyning fra solcellepaneler er svært gunstig på sommerstid, men på vinterstid når innstrålingen er lav vil det være en stor fordel å kunne lagre energien i batterier. Dette vil også være en stor fordel dersom forsyningslinjene fra strømmettet skulle skades eller

ødelegges av storm. For å få nytte av elektrisiteten produsert av solcelleanlegget, trengs det en inverter for å omforme fra direktestrøm til vekselstrøm. Siden det også vil være et tap i inverteren, beregnes den leverte energien  $E$  til boligens strømforsyning med Likning 3. 19.

$$E = E_{PV}\mu_{in}$$

*Likning 3. 19*

Hvor  $E_{PV}$  er energien levert av solcelleanlegget og  $\mu_{in}$  er inverterens effektivitet. *SunForte* trenger i følge produsenten ikke noen transformator (BenQ Solar, 2014). Inverteren som er valgt i denne oppgaven er en Fronius *Galvo 2.5*, som har en effektivitet på 96,1 % (Fronius, 2017).

### *3.4.2 Lagring av elektrisk energi*

Vi har i denne oppgaven tatt utgangspunkt i en *Powerwall 2 AC* produsert av Tesla, som er vekselstrømversjonen av andre generasjon litium-ion *Powerwall*. Batteriet har en oppgitt lagringskapasitet på 13,2 kWt, og en oppgitt Depth of Discharge (DoD) på 100 %. En DoD på 100 % betyr at batteriet kan utlades fullstendig i hver syklus før det lades opp igjen, uten at det tar mer skade av det enn ved normal bruk. Batteriet kommer med en ti års garanti som, ved vanlig bruk, ikke har noen begrensning på antall ladesykluser. Tesla definerer ”vanlig bruk” som opplading av batteriet ved hjelp av solceller, og kort- eller langsiktig lagring av energi. Dette inkluderer ikke opplading av batteriet ved hjelp av nettstrøm. (Peacock, 2016). Det kalles et vekselstrømbatteri fordi batteriet tar imot og leverer elektrisitet i vekselstrøm, selv om elektrisiteten internt i batteriet er direktestrøm.

Lagring av elektrisitet i batterier vil innebære et tap, siden elektrisiteten må omformes fra vekselstrøm til direktestrøm, og tilbake til vekselstrøm igjen. *Powerwall 2* gjør dette med en effektivitet på 89 %. I de fleste batterier vil det i tillegg være en del energi som ikke kan benyttes, fordi batteriet ikke kan utlades helt. *Powerwall 2* med sin DoD på 100 % vil i teorien kunne lades helt ut.

### 3.5 SIMIEN

I våre beregninger og inndata i SIMIEN har vi brukt en del forskjellige faktorer. Vi har valgt i å simulere hele huset som én sone. U-verdien i våre beregninger for vegg er delvis hentet fra SINTEF rapport 471.404 *U-verdier. Vegger over terreng – dobbelt bindingsverk av tre med kontinuerlig isolasjon imellom*. Tabell 41 i rapporten viser at vegger med totalt 350 mm isolasjon, hvorav 100 mm er kontinuerlig isolasjon, 13 % treandel, og 3,5 m treverk per m<sup>2</sup> vegg ( $U_{3,5}$ ) i tabell vil ha en U-verdi på 0,107 (SINTEF Byggforsk, 2013). På grunn av lavere varmekonduktivitet i vår isolasjon ( $\lambda$  0,032), og lavere treandel i indre stenderverk (36 mm tykkelse mot 46 mm brukt i SINTEF rapport) er U-verdien nedjustert og avrundet til 0,10 i SIMIEN.

U-verdi for gulv er tatt fra vår egen beregning. Beregningen har ikke tatt hensyn til ekstra varmemotstand i grunnen, dette gjøres automatisk av SIMIEN ved valg av type grunn i simuleringen. Se kapittel 3.3.1 for U-verdi beregning av gulv.

U-verdien for tak og himling er hentet fra TEK-sjekk av *Sans*, vi ikke har gjort noen tiltak for denne konstruksjonen og har valgt å bruke opprinnelig U-verdi. Se Vedlegg 1.

På vinduer har vi brukt reell U-verdi for glasset, og som konstruksjon karm/ramme har vi brukt alternativet *Superisolert trekarm, varmkant (superspacer)* i SIMIEN. Leverandør av vinduer oppga kun U-verdi på selve glasset, vi har derfor antatt at vinduene kan monteres med superisolert karm. U-verdien for denne typen konstruksjonen for karm og ramme er 0,065 W/m<sup>2</sup>K. SIMIEN regner automatisk ut total U-verdi for hele konstruksjonen med glass og karm. Når det kommer til varmetilskuddsegenskapene til vinduene, som hovedsakelig går på solskjerming, har vi brukt den verdien for *sofaktør ikke aktivisert stilling (g-verdi %)* som er nærmest reell verdi. Vi har brukt g-verdi % 24 for solskjermingsvinduene i simulering, mot g-verdi % 25 i reell verdi, og g-verdi % 51 for *Sanco Plus TRIII*-modellen i simulering, som er den verdien som er oppgitt fra leverandør (SANCO, 2014). SIMIEN regner automatisk ut g-verdi % inkludert solskjermingstiltaket, innvendige- og utvendige persienner er hovedsakelig tiltakene vi har valgt å bruke.

Normalisert kuldebroverdi er satt til 0,03. Dette stemmer ikke overens med egne beregninger, men er et krav for å oppnå passivhusstandard, og er derfor brukt i simulering. Se forklaring på normalisert kuldebroverdi i kapittel 3.3.1.

En fullstendig oversikt over inndata i SIMIEN finnes i Vedlegg 7.

### 3.6 Kostnad

For hvert element som legges til huset, må det beregnes en innkjøps- og monteringskostnad. Disse kostnadene vil variere fra leverandør til leverandør, våre oppgitte kostnader for energiforsyning og oppvarming kommer fra Aventa, Solcellespesialisten, Nordbohus og Tesla.

For energiforsyning har vi en kostnad ved innkjøp av 10 solcellemoduler på 5 490 kroner per modul (Solcellespesialisten, 2014). Forhandleren har ikke oppgitt noen installasjonskostnad, så vi velger å benytte samme kostnad som for solfangeranlegget på 5 000 kr.

Innkjøpskostnaden for en inverter av typen *Fronius Galvo 2.5* er på 12 270 kroner (Solcellespesialisten, 2014).

Solfangeranlegget fra Aventa kommer med en pakkepris for fire solfangermoduler på tilsammen 7 m<sup>2</sup>, varmtvannsbereder, røranlegg og elektrisk utstyr på 30 541 kroner. Effektivt solfangerareal er på 6,4 m<sup>2</sup>. Monteringskostnaden for hele anlegget er av Aventa beregnet til omtrent 5 000 kroner.

Varmepumpen har en innkjøpskostnad på 14 900 kroner per varmepumpe, med en installasjonskostnad på 5 000 kroner per pumpe.

Tesla *Powerwall* har en oppgitt innkjøpspris på 62 200 kroner per batteripakke inkludert styringsprogramvare. I tillegg kommer en monteringskostnad på mellom 8 000 og 20 000 kroner. Videre har vi antatt en monteringskostnad på 12 000 kroner i våre beregninger.

For å finne de fleste merkostnadene for oppgradering av bygningskroppen er det plukket ut de oppgraderingene som samsvarer best med de som blir gjort for *Sans*, basert på rapporten *Kostnader for nye småhus til høyere energistandard* (Stenerud Skeie, et al., 2016).

Yttervegger, gulv og vinduer er de bygningsdelene som er direkte berørt av tiltakene våre.

Fordi  $A_{fl}$  opprettholdes på alle nivåer, og veggtykkelsen øker, oppstår det også indirekte merkostnader til andre bygningsdeler, hvor etasjeskilleren og taket står for de største merkostnadene. For å anslå merkostnaden til yttervegg har vi valgt å fokusere på forskjell i isolasjonstykkelse. Blant de seks teoretiske husene i rapporten er to hus bygd under to forskjellige alternativer etter TEK 10. En endring fra TEK 10, alternativ 1, til passivhus-alternativ øst, ser vi på som det mest treffende alternativet for *Sans*. Noe vi mener selv om klimaet i passivhus-alternativ vest ligner mer på klimaet i Sandefjord med en årsmiddeltemperatur på over 6,3 °C. Merkostnad for yttervegg per  $m^2 A_{fl}$  er derfor 763 kroner, og innebærer materialer og arbeidstimer. Siden merkostnaden for yttervegg kommer fra passivhus-alternativ øst, benytter vi oss også av de indirekte merkostnadene fra dette alternativet. Indirekte merkostnader per  $m^2 A_{fl}$  er derfor 211 kroner.

For å beregne merkostnaden for vinduer, balkongdør og ytterdør, benytter vi oss også av tall fra tilsvarende endringer som i yttervegg. Dette gir en merkostnad for *Sans* på 289 kroner per  $m^2 A_{fl}$ . Merkostnadene for vinduene er antageligvis høyere i realiteten, ettersom tiltaket vårt innebærer to varianter, trelags solskjermingsglass og trelags energiglass fylt med argon, med U-verdier som varierer mellom 0,65 og 0,8 W/m<sup>2</sup>K.

For å beregne merkostnaden for gulv har vi benyttet oss av priser fra Coop (Coop, 2017) og Jackon (Jackon, 2015) for henholdsvis det opprinnelige og det oppgraderte gulvet. Det opprinnelige gulvet består av 370 mm EPS, klasse 80. I vårt tiltak for *Sans* benytter vi oss av 400 mm *Jackon Super EPS 150* med en betydelig lavere  $\lambda$ . Basert på gulvets areal på 82,2 m<sup>2</sup>, blir merkostnad for gulv totalt 23,7 kroner per  $m^2 A_{fl}$ . Vi har ikke inkludert arbeidstimer i dette anslaget, kun materialer. Som nevnt i delkapittel 3.3.1 er det også gjort tiltak for å redusere kuldebroer langs ringmuren ved å legge 50 mm innvendig isolasjon mellom tilslutningen i ringmur og gulv, merkostnader for dette er ikke beregnet. I *Kostnadsoptimalitet, Energiregler i TEK* (Almås, 2012) beregnes merkostnader for gulv per  $m^2 A_{fl}$  til 60 kroner for å oppnå passivhusstandard fra TEK 10, men denne kostnaden innebærer en endring i isolasjonstykkelse på 100 mm.

For å beregne merkostnaden for lekkasjetall benytter vi oss av samme beløp som de to passivhus-alternativene i *Kostnader for nye småhus til høyere energistandard*. Merkostnad



per m<sup>2</sup>  $A_{fl}$  settes derfor til 100 kroner. Dette anslaget tar høyde for arbeidstimer og materialer som mansjetter. Beregnet lekkasjetall gjelder en endring fra 2,5 til 0,6.

Fra den oppgitte boligprisen fra Nordbohus på 2 323 000 kroner, kan vi trekke fra prisen for vedovn på 48 000 kroner. Vi får også en innsparing fra opprinnelig pris fordi den allerede er medregnet kostnader for to varmtvannstanker. Når man tar varmtvannstakene ut får man en innsparing på 8000 kroner. Siden solceller og solfangere er takintegreerte, beregner vi en reduksjon i kostnader for takstein. Med utgangspunkt i priser fra Maxbo (Maxbo, 2017), beregner vi 179 kroner per kvadratmeter takstein. Solcelle- og solfangeranlegget dekker tilsammen et areal på 23,3 m<sup>2</sup>, reduksjon i kostnader blir derfor 4 170 kroner.

For å beregne kostnader og innsparing har vi valgt å sette strømprisen til 86 øre per kWt, som var gjennomsnittlig strømpris inkludert avgifter og nettleie de siste 13 årene (Statistisk Sentralbyrå (A), 2017, Statistisk Sentralbyrå (B), 2017). Ettersom noe av den leverte energien til *Sans* i utgangspunktet var biobrensel, antar vi en lik pris for ved per kWt.

$$\frac{K_i}{\dot{A}_{is}} = \Delta t_{TB}$$

*Likning 3. 20*

Hvor  $K_i$  er tiltakets investeringskostnad per m<sup>2</sup>  $A_{fl}$ ,  $\dot{A}_{is}$  er årlig innsparing i kroner per m<sup>2</sup>  $A_{fl}$  og  $\Delta t_{TB}$  er tilbakebetalingstiden i antall år. Den årlige innsparingen kan komme av reduksjon i levert energi fra strømmettet, og salg av overskuddsenergi fra solcelleanlegget.

En solfanger vil spare utgifter for oppvarming av varmtvann gitt solfangerens dekningsgrad på 57 %. Varmepumpe og bygningskroppsoppgradering vil gi en reduksjon av elektrisk energi brukt til romoppvarming, og solcelleanlegget vil gi innsparing ved strøm til elektriske apparater samt en del til oppvarming av varmtvann.

For et solfangeranlegg kan man søke om støtte hos Enova. Ved innstallering av et solfangeranlegg kan man få støtte på 10 000 kroner, i tillegg til 200 kroner for hver kvadratmeter med solfangermodul. Enova gir et maksbeløp på 15 000 kroner (Enova (A), 2016). For elektrisitetsproduksjon kan man få 10 000 kroner for installasjon av anlegg, men mer støtte avhenger av produksjonsevnen til anlegget. For hver kW installert effekt kan man få støtte på 1250 kroner. Det er kun opptil 15 kW effekt, totalt kan el-produksjon gi et beløp på 28 750 kroner (Enova (B), 2016). I vårt tilfelle vil vi få en utbetalt støtte fra Enova på

omtrent 10 250 kroner for solfangeranlegget og 13 750 kroner for solcelleanlegget, til sammen 24 000 kroner.

### **3.7 Mulige feilkilder ved metoden**

Vi mener de største svakhetene for metoden er knyttet til kombinasjonen av antagelser, kilder som opererer med ulike verdier, og egne beregninger. For eksempel er verdier for utregning av flere varmetap basert på ulike kilder som bruker ulike metoder. Ettersom oppgavens tema innebærer flere elementer som var relativt ukjent for oss, har det blitt utført flere endringer underveis i takt med en bedre forståelse av oppgaven.

I metoden har vi bestemt oss for ulike løsninger for energiforsyning og tiltak på bygningskroppen. Dette kunne nok vært gjort annerledes ved å sammenlikne flere løsninger for å finne de mest optimale. Svakheter og usikkerheter for hele oppgaven drøftes videre i kapittel 5.

## 4. Resultater

### 4.1 Energiforsyning

#### 4.1.1. Innstråling

Tabell 4. 1 Innstrålingsberegning for tak med hellning på 32° med data fra værstasjon Tjølling

Måned	$H_0$ (MJ/m <sup>2</sup> )	$H$ (MJ/m <sup>2</sup> )	$K_T$	$H_d/H$	$\beta$ (°)	$R_b$	$P_s$	$H_T$ (MJ/m <sup>2</sup> )
Januar	3,85	1,35	0,350	0,567	32	4,979	0,2	3,64
Februar	9,01	3,425	0,380	0,527	32	2,891	0,2	6,40
Mars	17,27	8,75	0,507	0,423	32	1,878	0,2	13,04
April	27,73	15,05	0,543	0,389	32	1,338	0,2	17,94
Mai	36,40	17,85	0,490	0,438	32	1,085	0,2	18,38
Juni	40,88	21,58	0,528	0,403	32	0,993	0,2	21,15
Juli	38,80	20,98	0,541	0,391	32	1,033	0,2	21,09
August	31,51	15,5	0,492	0,437	32	1,218	0,2	17,12
September	21,35	10,28	0,481	0,447	32	1,621	0,2	13,61
Oktober	11,66	4,18	0,358	0,555	32	2,468	0,2	6,79
November	5,15	1,70	0,330	0,595	32	4,197	0,2	3,85
Desember	2,74	0,88	0,320	0,611	32	6,240	0,2	2,63

Tabell 4. 1 viser noen av de viktigste variablene for å identifisere den gjennomsnittlige månedlige solinnstrålingen per dag  $H_T$ , mot det sørvendte taket på Sans som har en teoretisk plassering i Sandefjord på breddegraden 59,13.  $H_0$  er gjennomsnittlig månedlig solinnstråling per dag mot en horisontalflate, uten hensyn til partikler i atmosfæren.  $H$  er målinger av gjennomsnittlig månedlig solinnstråling per dag mot en horisontalflate.  $K_T$  er månedlig klarværsfaktor.  $H_d/H$  er månedlig andel diffus innstråling, per dag.  $\beta$  er helningen på det sørvendte taket fra horisontalplanet.  $R_b$  er forholdstallet mellom månedlig direkte solinnstråling på en skrå overflate, mot månedlig direkte solinnstråling på en horisontalflate, per dag.  $P_s$  er gjennomsnittlig månedlig refleksjonstall fra bakken. For fullstendig beregning se Vedlegg 6.

#### 4.1.2 F-Chart

Tabell 4. 2 Resulterende verdier fra f-chartberegningen

Måned	$H_T$ (MJ/m <sup>2</sup> )	$T_a$ (°C)	$A$ (m <sup>2</sup> )	$L$ (GJ)	$X$	$Y$	$f$	$fL$ (GJ)
Januar	3,64	-1,2	6,4	1,05	9,028	0,463	0,000	0,00
Februar	6,40	-1,1	6,4	0,97	9,073	0,796	0,246	0,23
Mars	13,04	1,4	6,4	1,05	9,179	1,664	0,709	0,72
April	17,94	5,6	6,4	1,02	8,710	2,270	0,909	0,91
Mai	18,38	10,5	6,4	1,04	8,292	2,351	0,943	0,97
Juni	21,15	14,1	6,4	1,01	7,949	2,694	1,000	1,01
Juli	21,09	16,6	6,4	1,03	7,999	2,745	1,000	1,03
August	17,12	16,0	6,4	1,03	7,782	2,218	0,931	0,94
September	13,61	12,2	6,4	1,00	8,093	1,754	0,780	0,76
Oktober	6,79	7,2	6,4	1,02	8,707	0,884	0,319	0,31
November	3,85	3,2	6,4	1,00	8,981	0,496	0,017	0,01
Desember	2,63	-0,2	6,4	1,04	9,256	0,339	0,000	0,00
Sum				12,26			0,57	6,89

Tallene i Tabell 4. 2 gir en oversikt over de viktigste resultatene fra f-chartmetoden, som viser at ett solfangeranlegg på 6,4 m<sup>2</sup> gir en total dekningsgrad på 56 % for oppvarming av varmtvann.  $T_a$  er månedlig gjennomsnittlig temperatur,  $A$  er solfangerarealet,  $L$  er den månedlige varmelasten som må dekkes (inkludert tap i rør og bereder),  $f$  viser månedlig dekningsgrad, og  $fL$  er produktet av andelen og varmelasten. Komplet utregning i Vedlegg 12.

### 4.1.3 Solcelleanlegg

Når man fyller inn de faktiske verdiene fra Likning 3. 16 og Likning 3. 17 for hver måned, ser det slik ut:

Tabell 4. 3 Beregning av solcelleanleggets effekt

Måned	$H'_T$ (W/m <sup>2</sup> )	$A_{PV}$ m <sup>2</sup>	$\mu_{PV}$	$P$ (W)
Januar	42,11	16,3	20,4 %	140,04
Februar	74,12	16,3	20,4 %	246,46
Mars	150,87	16,3	20,4 %	501,69
April	207,63	16,3	20,4 %	690,41
Mai	212,68	16,3	20,4 %	707,22
Juni	244,84	16,3	20,4 %	814,15
Juli	244,07	16,3	20,4 %	811,57
August	198,14	16,3	20,4 %	658,85
September	157,47	16,3	20,4 %	523,61
Oktober	78,58	16,3	20,4 %	261,30
November	44,56	16,3	20,4 %	148,16
Desember	30,44	16,3	20,4 %	101,23

Tabell 4. 3 gir verdier for effekten som kan leveres av det fullstendige solcelleanlegget, gitt månedlig solinnstrålingseffekt for Tjølling målestasjon, i nærheten av Sandefjord. Deretter kan den totale leverte energien for hver måned estimeres ved hjelp av Likning 3. 18.

Tabell 4. 4 Beregning av solcelleanleggets leverte energi, før inverter

<i>Måned</i>	<i>P (W)</i>	$\Delta t$	$E_{PV}$ (kWt)
<i>Januar</i>	140,04	744,00	104,19
<i>Februar</i>	246,46	672,00	165,62
<i>Mars</i>	501,69	744,00	373,26
<i>April</i>	690,41	720,00	497,10
<i>Mai</i>	707,22	744,00	526,17
<i>Juni</i>	814,15	720,00	586,19
<i>Juli</i>	811,57	744,00	603,81
<i>August</i>	658,85	744,00	490,18
<i>September</i>	523,61	720,00	377,00
<i>Oktober</i>	261,30	744,00	194,41
<i>November</i>	148,16	720,00	106,68
<i>Desember</i>	101,23	744,00	75,31

Tabell 4. 4 viser at solcelleanlegget kan levere forholdsvis ujevne mengder elektrisitet gjennom året, med desidert mest produksjon i sommermånedene. Boligen er derfor fortsatt avhengig av tilgang på elektrisk energi fra strømmettet i vinterhalvåret, men i mindre grad en før.

Tabell 4. 5 Beregning av solcelleanleggets leverte energi, etter inverter

<i>Måned</i>	$E_{PV}$ , kWt	$\mu_{in}$	$E$ , kWt
<i>Januar</i>	104,19	0,961	100,13
<i>Februar</i>	165,62	0,961	159,16
<i>Mars</i>	373,26	0,961	358,70
<i>April</i>	497,10	0,961	477,71
<i>Mai</i>	526,17	0,961	505,65
<i>Juni</i>	586,19	0,961	563,33
<i>Juli</i>	603,81	0,961	580,26
<i>August</i>	490,18	0,961	471,07
<i>September</i>	377,00	0,961	362,30
<i>Oktober</i>	194,41	0,961	186,82
<i>November</i>	106,68	0,961	102,52
<i>Desember</i>	75,31	0,961	72,38
<i>Årlig total</i>			3940

Tabell 4. 5 viser at invertertapet ikke reduserer produksjonsevnen nevneverdig. Den årlige totalverdien er den teoretiske maksverdien av solenergi som kan benyttes.

## 4.2 Resultater fra SIMIEN

Alle tabeller og figurer i delkapittel 4.2 er hentet fra SIMIEN.

### 4.2.1 Krav til bygningskomponenter

Tabell 4. 6 Enkeltkomponenters egenskaper sammenlignet med kravene til passivhus

Minstekrav enkeltkomponenter		
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m <sup>2</sup> K]	0,73	0,80
Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]	0,03	0,03
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	80	80
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m <sup>3</sup> /s]:	1,50	1,50
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	0,60	0,60

Boligen oppfylte allerede krav til spesifikk vifteeffekt og virkningsgrad i varmegjenvinner. Lekkasjetallet er satt til 0,60, ettersom dette er en verdi som beregnes med en lekkasjetest av ferdig bolig.

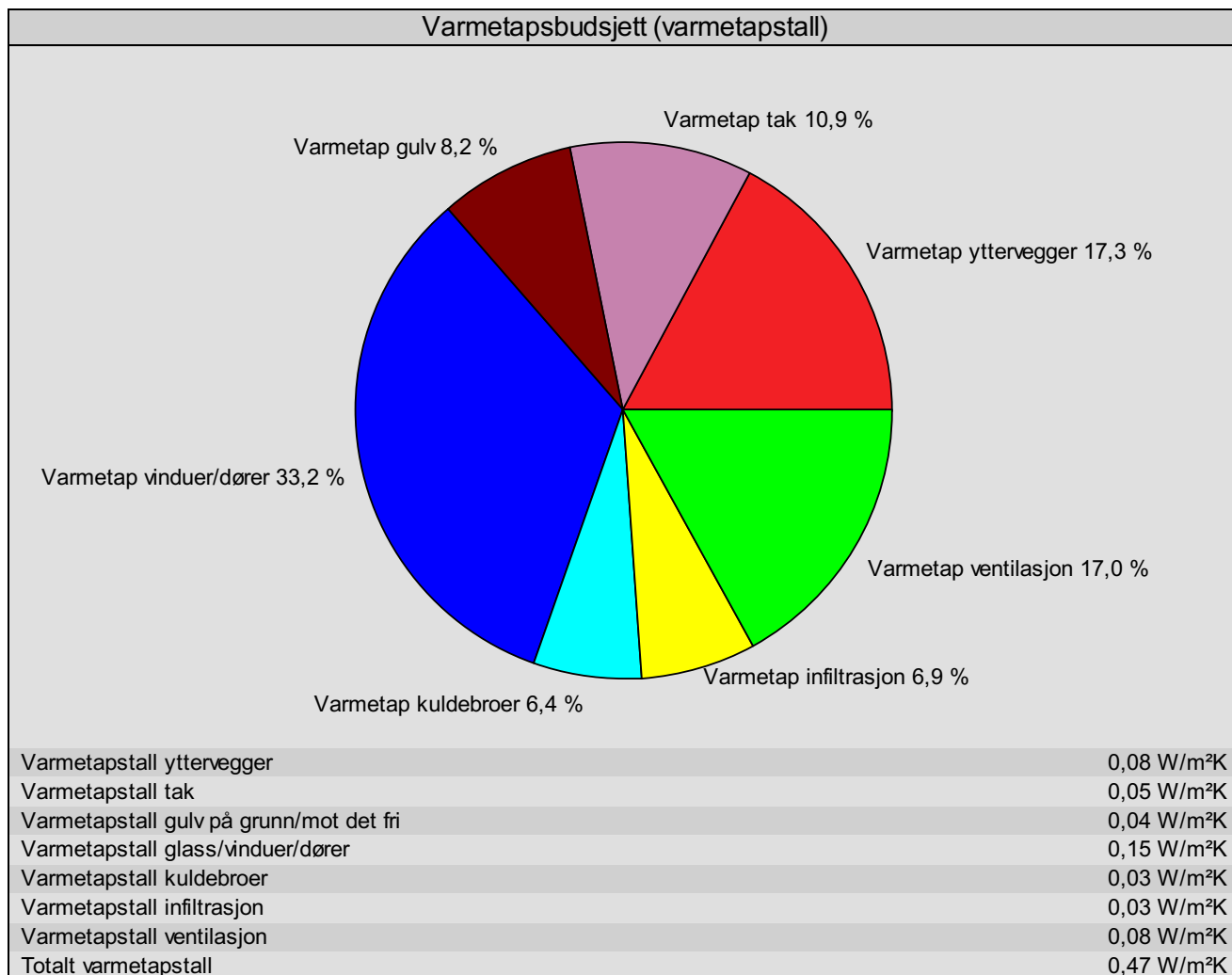
### 4.2.2 Krav til varmetapstall

Tabell 4. 7 Varmetapsbudsjett sammenlignet med passivhuskrav

Varmetapsbudsjett	
Beskrivelse	Verdi
Varmetapstall yttervegger	0,08
Varmetapstall tak	0,05
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,04
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,15
Varmetapstall kuldebroer	0,03
Varmetapstall infiltrasjon	0,03
Totalt varmetapstall	0,39
Krav varmetapstall	0,48

Tabell 4. 7 forteller at boligens varmetapstall fra bygningsdeler, kuldebroer og luftlekkasje er innenfor NS-kravene til passivhus.





Figur 4. 1 Varmetapstall og prosentvis fordeling av varmetap

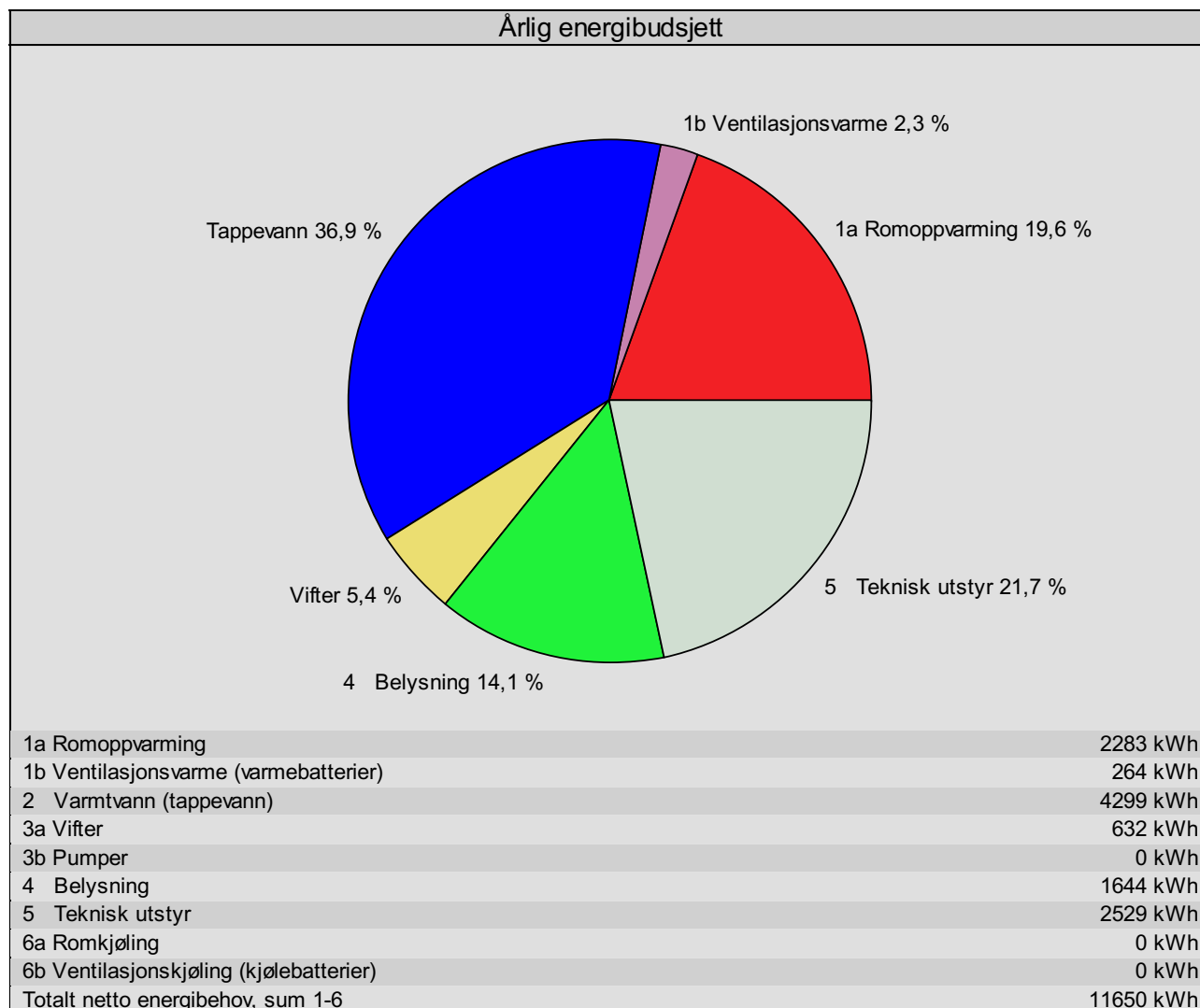
Figur 4. 1 viser prosentvis varmetap fra hver varmetapspost. Merk at varmetapet fra ventilasjonsanlegg også er med her. Dette er ikke en del av passivhuskravene. Det totale varmetapstallet vises derfor som 0,47 W/m<sup>2</sup>K, og ikke 0,39 som vist i Tabell 4. 7.

#### 4.2.3 Krav til oppvarming og energiforsyning

Tabell 4. 8 Netto oppvarmingsbehov og elektrisitetsforbruk

Beskrivelse	Energiytelse	
	Verdi	Krav
Netto oppvarmingsbehov	20,6 kWh/m <sup>2</sup>	20,7 kWh/m <sup>2</sup>
Netto kjølebehov	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Energibruk el./fossile energibærere	42,5 kWh/m <sup>2</sup>	68,8 kWh/m <sup>2</sup>

Kravene i 2.2.3 og 2.2.4 presenteres sammen i SIMIEN. For å nå krav til oppvarmingsbehov ble vindu, dør, yttervegg og gulv oppgradert. Effektfaktoren (SCOP) til varmepumpesystemet er avgjørende for å nå kravene til oppvarmingsbehov og energibruk fra elektrisitet. Som Tabell 4. 8 viser, tilfredsstilles kravet i 2.2.4 om energiforsyning fra elektrisitet.



Figur 4. 2 Årlig energibudsjett med prosentvis fordeling

Årlig energibehov fremstilles i Figur 4. 2 hvor energibehov til oppvarming av varmtvann er den største delen.

Tabell 4. 9 Beregnet levert energi til bygningen

Energivare	Levert energi til bygningen (beregnet)	
	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	7239 kWh	50,2 kWh/m <sup>2</sup>
1b El. til varmepumpesystem	395 kWh	2,7 kWh/m <sup>2</sup>
1c El. til solfangersystem	201 kWh	1,4 kWh/m <sup>2</sup>
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
7. Solstrøm til egenbruk	-1924 kWh	-13,3 kWh/m <sup>2</sup>
Totalt levert energi, sum 1-7	5911 kWh	41,0 kWh/m <sup>2</sup>
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Netto levert energi	5911 kWh	41,0 kWh/m <sup>2</sup>

Tabell 4. 9 viser levert energi til *Sans* gjennom et år. Vi ser at boligen kan benytte seg av 1 924 kWt med elektrisitet fra solcelleanlegget. Dette tilsvarer ca. 49 % av den maksimale teoretiske solenergien fra Tabell 4. 5.

Tabell 4. 10 Boligens energimerking før og etter tiltak. Kravene som er oppgitt gjelder for oppnådd karakter.

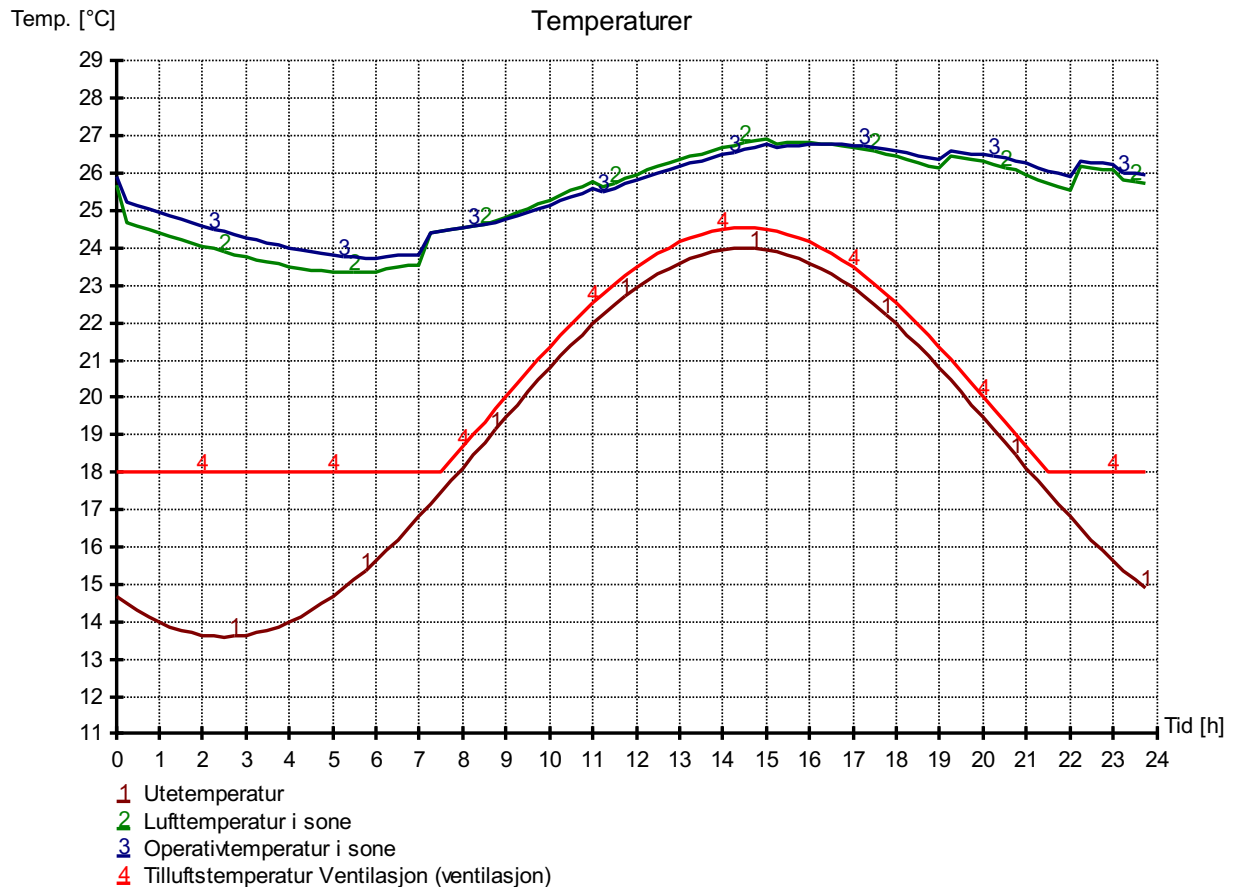
	Før	Etter
<i>Energimerking</i>	B	A
<i>Krav energiforbruk (bokstav)</i>	<131,09 kWt/m <sup>2</sup>	<100,54 kWt/m <sup>2</sup>
<i>Krav fossil/el. andel (farge)</i>	<82,5 %	<47,5 %

#### 4.2.4 Temperaturer og inneklima

Tabell 4. 11 Innvendig temperaturdata per måned

Måned	Månedlige temperaturdata (lufttemperatur)					
	Midlere ute	Maks. ute	Min. ute	Midlere sone	Maks. sone	Min. sone
Januar	-1,2 °C	7,4 °C	-15,5 °C	20,5 °C	21,2 °C	19,0 °C
Februar	-0,7 °C	9,2 °C	-13,2 °C	20,5 °C	21,7 °C	19,0 °C
Mars	1,9 °C	12,5 °C	-7,8 °C	20,7 °C	22,5 °C	19,0 °C
April	5,9 °C	16,4 °C	-2,1 °C	21,5 °C	24,8 °C	19,1 °C
Mai	11,6 °C	21,3 °C	1,7 °C	21,6 °C	25,8 °C	18,0 °C
Juni	15,0 °C	22,2 °C	7,9 °C	21,3 °C	25,7 °C	17,4 °C
Juli	17,7 °C	27,1 °C	10,4 °C	21,3 °C	27,1 °C	16,2 °C
August	17,9 °C	26,3 °C	10,1 °C	21,9 °C	27,8 °C	16,4 °C
September	12,9 °C	20,7 °C	4,8 °C	21,1 °C	25,9 °C	16,7 °C
Oktober	7,3 °C	15,6 °C	-1,2 °C	21,0 °C	23,0 °C	18,0 °C
November	2,5 °C	11,5 °C	-5,8 °C	20,6 °C	21,4 °C	19,0 °C
Desember	-0,8 °C	8,3 °C	-12,8 °C	20,5 °C	21,0 °C	19,0 °C

Tabell 4. 11 er en oversikt over temperaturforholdene innvendig og utvendig. Her ligger middeltemperaturene innvendig for hver måned stort sett innenfor innvendig komforttemperatur på 19-22 grader celsius. I resultater fra SIMIEN vises det at boligen holder en innvendig temperatur på over 26 grader i til sammen 57 timer av arbeidstiden.



Figur 4. 3 Temperaturoversikt fra sommersimulering

**Error! Reference source not found.** illustrerer temperatur utendørs, innendørs og i tilluft for et gjennomsnittlig sommerdøgn.

### 4.3 Kostnader

For å beregne en forenklet tilbakebetalingstid bruker vi merkostnadene og priser for levert energi av elektrisitet og ved i delkapittel 3.6. Det tas ikke hensyn til vedlikehold og fornyelse av energisystemer. Vi tolker den årlige innsparte energikostnaden fra *Powerwall* som differansen mellom maksimal levert energi fra solcelleanlegget i tabell 4.5 og den leverte nyttbare solcelleenergien fra SIMIEN i Tabell 4. 9, 2016 kWt, noe som innebærer at all energi fra solcelleanlegget benyttes. Når batteriets virkningsgrad på 89 % tas høyde for, får vi en årlig innsparing fra *Powerwall* på omtrent 1 543 kroner. Ved den gitte investeringskostnaden på 74 200 kroner resulterer dette i en tilbakebetalingstid på drøye 48 år. Vi har derfor all grunn til å forkaste batteriet som en videre del av oppgaven på grunn av den uhensiktsmessige høye investeringskostnaden.

I tabellen under presenteres merkostnaden for bygningskropp og energiforsyning per m<sup>2</sup>  $A_{fl}$ . Merkostnaden for solcelle- og solfangeranlegget er inkludert støtte fra Enova.

Tabell 4. 12 Merkostnad per m<sup>2</sup> for tiltak

Tiltak	Merkostnad (kr per m <sup>2</sup> $A_{fl}$ )
Yttervegg	763
Indirekte merkostnad	211
Vinduer og balkongdør	289
Gulv	24
Lekkasjetall	100
Solcelleanlegg	405
Solfangeranlegg	174
Varmepumpe	276
Peis og pipe	-333
Varmtvannsberedere	-55
Takstein	-29
Sum	1825

Tabell 4. 12 viser en merkostnad på 1 825 kroner per m<sup>2</sup>, eller totalt 263 347 kroner. Total levert energi før tiltaket er 111 kWt per m<sup>2</sup>  $A_{fl}$ . Etter tiltakene ligger denne på 41 kWt per m<sup>2</sup>  $A_{fl}$ , noe som gir en årlig energibesparelse på 70 kWt per m<sup>2</sup>  $A_{fl}$ . Vi antar at vi kan selge overskuddsenergien (2 016 kWt) fra solcelleanlegget tilbake til nettet. For enkelthets

skyld settes denne prisen til 50 % av den nevnte kraftprisen inkl. nettleie og avgifter, og blir dermed 0,43 øre per kWt.

*Tabell 4. 13 Beregning av tilbakebetalingstid, på grunnlag av energibesparelse*

Energibesparelse (kWt per m <sup>2</sup> A <sub>fl</sub> )	70
Besparelse i energikostnad (kr per m <sup>2</sup> A <sub>fl</sub> )	60,2
Overskuddsenergi fra PV (kWt per m <sup>2</sup> A <sub>fl</sub> )	14
Salg av overskuddsenergi (kr per m <sup>2</sup> A <sub>fl</sub> )	6
Sum, årlig besparelse (kr per m <sup>2</sup> A <sub>fl</sub> )	66,2
Merkostnad (kr per m <sup>2</sup> A <sub>fl</sub> )	1825
Tilbakebetalingstid (år)	27,5

Tabell 4. 13 gir en tilbakebetalingstid på 27,5 år under de nevnte antagelsene. Tabell 4. 12 og Tabell 4. 13 baserer seg på lignende tabeller fra (Almå, 2012 ).

## 5. Diskusjon

Kapittel 5 inneholder en grundig gjennomgang av resultatene og deres relevans til problemstillingen, samt en diskusjon av mulige feilkilder ved oppgaven.

### 5.1 Mulige feilkilder ved oppgaven

#### 5.1.1 Valg av bolig

Vår bolig kunne hatt et bedre design for omprosjektering til passivhus. Det sørvendte takarealet er på 23,3 m<sup>2</sup>, et større areal mot sør ville gitt bedre grunnlag for bruk av solenergi. Husets planløsning gjør at sollys slipper inn, men bygget kunne vært bedre til å holde på den passive oppvarmingen fra solen, for eksempel om huset hadde hatt bygningsdeler bestående av materialer med bedre varmekapasitet. *Sans* har i utgangspunktet en energimerkekarakter B, ved å ha valgt en enebolig med et lavere energimerke, større areal, og med et større potensiale for energieffektivitet ville tiltakene for boligen antageligvis gjort et større utslag i energibesparelsen.

#### 5.1.2 Byggteknisk

Når det gjelder den opprinnelige konstruksjonen i *Sans* har vi fått oppgitt enkelte materialer som ikke samsvarer med tabellene i Vedlegg 1. Her har vi valgt å se bort ifra denne forskjellen, og å beholde de materialene som er oppgitt i Vedlegg 1. Ulikhetene i materialer ville hatt minimal til ingen påvirkning for utregningen gjort i tiltakene på bygningskroppen.

Som nevnt i delkapittel 3.7 var det utfordrende å beregne nøyaktig varmetap ved U-verdier, eksempelvis på grunn av stenderverket i yttervegg. Når to forskjellige materialer ligger i samme sjikt, som stenderverk og isolasjon, blir det en mer komplisert beregning, noe som vi ikke har tatt hensyn til. Det faktum at vi kun har økt isolasjonstykkelse i yttervegg og gulv, og at taket forblir uforandret, kan være en svakhet fordi vi lettere kunne ha møtt passivhuskravene ved å fordele tiltakene i flere bygningsdeler. Normalisert kuldebroverdi er i metoden satt til 0.03 W/m<sup>2</sup>K, uten simuleringsprogram som kan bekrefte dette. Vi så det ikke hensiktsmessig å gjennomføre en slik simulering. For vinduene som er benyttet i oppgaven har vi antatt at de kan monteres med superisolerende karm, og at de kan åpnes da vi har benyttet oss av vinduslufting i SIMIEN for å unngå høye temperaturer innendørs.



For bruk av SIMIEN er hele boligen sonet i en del. Vi har valgt å ikke dele opp boligen i flere soner fordi det hadde vært svært tidkrevende, og forskjellen trolig ikke hadde vært veldig stor. Hadde vi delt opp boligen i flere soner kunne det blitt simulert en høyere temperatur på badet mot eksempelvis soverommet, noe som er nærmere realiteten enn lik temperatur i alle rom.

### *5.1.3 Løsninger for oppvarming*

Av energiforsyning fra fornybare energikilder har vi kun jobbet med solenergi og termisk energi fra uteluft. Ved å ikke sammenlikne andre løsninger for energibehovet i boligen kan vi ikke fastslå en optimal løsning for energiforsyningen, da dette ikke ble prioritert på grunn av prosjektets tidsløp. Selv om vi har antatt at to luft til luft-varmepumper kan dekke 90 % av romoppvarmingen, kunne vi ha valgt en løsning som sikrer en jevnere energiforsyning til oppvarming om vinteren, for eksempel et vannbårent system som henter varme fra berggrunnen. Med hensyn til utviklingen av fornybare oppvarmingssystemer gir vår oppgave et av mange eksempler på hvordan man kan dekke kravene for romoppvarming og fornybare energikilder for passivhus.

Beregningen for oppvarming av varmtvann er basert på en studie av forbruk i Sverige og kan dermed variere noe fra det faktiske tilfellet i Norge, men vi mener fortsatt at dette er et godt utgangspunkt for vår beregning, siden det antageligvis ikke er nevneverdig stor forskjell mellom norsk og svensk forbruk. Vi har også antatt at boligen skal være bosted for 2,19 mennesker, som er det Norske gjennomsnittet per bolig. Rommene i *Sans* gjør at boligen er passende for tre til fem personer. En varmtvannsbereder på 270 liter kan i så fall vise seg å være for lite for daglig forbruk. Varmetapet fra varmtvannsberederen er ikke beregnet ut i fra faktiske verdier i oppgaven, men tatt fra en rapport. Det vil derfor ikke være en reell verdi, men god nok for våre beregninger. Vi har estimert temperaturen på det kalde vannet som leveres til boligen til å variere fra 8 til 14 °C, uten grunnlag i reelle verdier for Sandefjord. Temperaturen på vannet i varmtvannsberederen er satt til 75 grader celsius for å hindre bakterievekst, i realiteten er det mulig å forhindre bakterievekst med en lavere temperatur som heves med jevne mellomrom. Temperaturen på både varmt og kaldt vann er derfor svakheter ved beregning av energibruk til oppvarming av vann.

#### 5.1.4 Solinnstråling

Produksjonsevnen fra solfanger- og solcelleanlegget baserer seg i stor grad på beregningen av innstrålt energi. I beregningen av innstråling på det sørvendte takarealet er det ikke tatt høyde for skyggelegging av taket fra den utbygde arken, og faktisk innstråling som kan benyttes vil derfor være lavere. Refleksjonstallet på bakken er i innstrålingsberegningen satt til en verdi på 0,2, som tilsvarer dyrket mark. Den vil i realiteten være noe høyere, siden huset sannsynligvis vil være omringet av en gressplen eller tilsvarende grønnsstruktur. Både solcelleanlegg og solfangere kan få en bedre effekt ved å optimalisere vinkelen gjennom året. Fra våre beregninger i vedlegg 6 utnyttes mest solinnstråling ved en vinkel på 42 grader. Løsningen ved å montere de parallelt med taket på 32 grader er billigere, og utgjør ikke en stor forskjell i  $H_T$ -verdiene.

#### 5.1.5 Solcelle- og solfangeranlegg

Solcellemodellen valgt i denne oppgaven har en effektivitet på 20,4 %, det finnes mer effektive solcellemoduler på markedet. Nyere modeller med andre sammensetninger enn den monokrystallinske strukturen i *SunForte* kan sannsynligvis gi en høyere effektivitet, men også en høyere pris. Modellen ble i stor grad valgt på grunnlag av tilgjengelighet, og det faktum at 20,4 % er en relativt høy effektivitet i dagens marked. Det ligger en svakhet i oppgaven i at beregningen for solcelleanlegget er veldig forenklet. For eksempel har vi ikke tatt hensyn til utendørstemperaturer ved beregning av effekten i Likning 3. 17. Det finnes metoder for å gjøre dette på en bedre måte som tar høyde for et mer reelt tap i flere ledd. Den forenklete utregningen gir derimot et godt anslag for hvor stort potensiale som ligger i solbasert elektrisitetsforsyning for boligen, vi vurderer derfor at den er god nok for å illustrere mulig elektrisitetsproduksjon fra solcellemodulene. Antagelsene våre angående overskuddsenergien fra solcelleanlegget anser vi som usikre, både i form av hvor mye elektrisitet som kan selges tilbake på nettet, og varierende muligheter for salg lokalt. Vi har ikke forhørt oss hos lokale kraftselskap om potensiale for kjøp av overskuddskraft og priser knyttet til dette.

Vi har basert oss på å utnytte absolutt hele det sørvendte takarealet til solenergi, noe som vil være utfordrende i praksis siden solcelle- og solfangermodulene har forhåndsbestemte størrelser og rektangulært design.

Ved valg av solfangeranlegg er det ikke sammenliknet ytelse med andre modeller. Vi bestemte oss tidlig for en plan solfanger med dekke på grunn av tilgjengelig teori om typen i sammenheng med norsk klima, og fordi denne har en høyest markedsandel i Norge. Ved testing av flere modeller kunne vi antageligvis oppnådd en høyere energiproduksjon til oppvarming av varmtvann med et tilsvarende solfangerareal. For å dimensjonere solfangeranlegget ligger den største svakheten i årlig energiforbruk til oppvarming av varmtvann. Solfangeranleggets dekningsgrad på 57 % som er brukt i SIMIEN er basert på ett årlig energibehov på 3 378 kWt, summen av varmelasten  $L$  i Tabell 4. 2. I SIMIEN er derimot årlig energibehov til oppvarming av varmtvann 4 299 kWt. Differansen på nesten 1 000 kWt har vi ignorert ettersom vi valgte å bruke egne beregninger for oppvarming av varmtvann. Vi har en bedre forståelse av hva varmelasten i våre beregninger innebærer, enn standardverdien i SIMIEN på 4 299 kWt. Dersom daglig varmtvannsbehov økes til 126 l, tre personer, i vedlegg 12, øker årlig varmelast til et energibehov som er mye nærmere energibehovet i SIMIEN. Årlig dekningsgrad for solfangeranlegget vil fortsatt være over 50 %. Ellers er det knyttet noe usikkerhet til de forhåndsbestemte simuleringsverdiene i Likning 3. 11 og Likning 3. 12 ettersom vi har benyttet oss av disse tallene uten å vite nøyaktige verdier for solfangermodulene våre.

#### *5.1.6 Kostnad*

I vårt prosjekt er merkostnad og tilbakebetalingsberegningene hovedsakelig basert på andre kilder hvor lignende tiltak er gjennomført, vi har ikke tatt hensyn til lokale forhold ved kostnader på arbeidstimer og byggematerialer. Det er krevende å fastsette konkrete merkostnader, i vår oppgave har vi for eksempel ikke medregnet merkostnad for innvendig isolering av ringmur mot gulv. Merkostnaden for yttervegg gjelder en annen type vegg enn i *Sans*, men merkostnaden ble valgt fordi endringene mellom utgangspunkt og tiltak ble vurdert som nærmest. Oppgavens beregninger tar heller ikke høyde for inflasjon og pengenes fremtidige verdi, men er heller et anslag som kan sees på som en illustrasjon av besparelse og lønnsomhet. Tilskudd fra Enova er basert på støttekalkulatoren på Enovas hjemmesider (Enova (A), 2016), (Enova (B), 2016), så disse støttebeløpene kan variere fra virkeligheten. Kostnadene for solskjerming i form av innvendige og utvendige persienner er ikke medregnet for tiltakets merkostnad. Den beregnede merkostnaden på 1 825 kr per  $m^2 A_{fl}$  kan derfor være noe høyere på grunn av dette. Merkostnaden hadde antageligvis blitt noe lavere dersom vi hadde økt isolasjonstykkelse i tak, i motsetning til å øke veggtykkelsen med 148 mm.

## 5.2 Resultater

### 5.2.1 Solenergi

Av innstrålingsberegningen i Tabell 4. 1 kan vi se at det er klart mest innstråling på takarealet i sommerhalvåret, noe som er som forventet. F-chart i Tabell 4. 2 viser at solfangeranlegget klarer å dekke 57 % av varmtvannsbehovet gjennom året, med en dekningsgrad på 0 i desember og januar. Dekningsgraden varierer gjennom året i takt med solinnstrålingen.

Energimengden som leveres fra solcelleanlegget varierer i takt med solinnstrålingen, og er størst i sommerhalvåret. Boligens forbrukstopp forekommer derimot i vinterhalvåret, så disse to samsvarer ikke helt.

### 5.2.2 SIMIEN

Resultatene fra SIMIEN er oppgavens beste målestokk for å vurdere om vi har nådd vår målsetning om å oppnå passivhusstandard. I tabellene og figurene i delkapittel 4.2 vises de estimerte verdiene for boligen sammenlignet med de aktuelle kravene. Enkeltkomponentenes egenskaper i Tabell 4. 6 og varmetapsbudsjettet i Tabell 4. 7 viser at våre endringer av isolasjonskvalitet og -mengde har ført til at boligens verdier nå tilfredsstiller kravene gitt i NS 3700.

Energibudsjettet fra Figur 4. 2 viser at oppvarming av varmtvann til tappevann har det største energibehovet. Dette behovet dekkes nå av solfangere med en dekningsgrad på 57 %, noe som bidrar til å redusere det eksterne energibehovet. Figur 4. 2 og Tabell 4. 9 illustrerer sammen hvor stor innvirkning solenergien har på eneboligens energiforsyning. Boligen har et totalt årlig netto energibehov på 11 650 kWt, men behøver kun 5 911 kWt levert fra strømmettet.

Energimerkingen i Tabell 4. 10 illustrerer forbedringen i energibruk på en svært enkel og god måte. Bokstavkarakteren "A" betyr at boligens årlige energiforbruk per  $A_{fl}$  er lavere enn 100,54 kWt. Denne verdien er i realiteten 80 kWt per  $m^2 A_{fl}$ . Boligen oppnår også fargen lys grønn, som er den nest høyeste fargekarakteren i energimerkingssystemet. Med en lavere andel elektrisitet fra strømmettet kunne boligen fått en høyere energimerkekarakter, men det forutsetter så klart at boligen klarer å produsere mer elektrisitet selv, noe som ville ført til en større investeringskostnad.

Ved årssimulering i SIMIEN var noe av det vanskeligste samspillet mellom lavt energibruk og innnetemperatur, gjennom prøving og feiling fant vi en løsning som er akseptabel med tanke på begge deler. Vi har tatt utgangspunkt i vinduer med solskjerming, uten å ta hensyn til hvor mye dagslys som slipper inn. I tillegg til solskjerming kreves det vinduslufting, spesielt i sommermånedene. Disse tiltakene er avgjørende for å holde temperaturen nede i boligen, og fører til at vi ender på omtrentlig samme antall timer over 26 °C som boligen hadde før omprosjekteringen.

### 5.2.3 Kostnad

Tabell 4. 12 viser merkostnadene for oppgradering til passivhusstandard, en kostnad på totalt 1 825 kroner per m  $A_{fl}$ . En av de største utgiftspostene fra Tabell 4. 12 er investering og montering av solcelleanlegg, en pris på 405 kroner per m<sup>2</sup>  $A_{fl}$ . Dette er en merkostnad som ikke er nødvendig for at *Sans* skal oppnå passivhusstandard, men graden av boligens energiselvstendighet blir større.

Det er verdt å nevne at tilbakebetalingstiden for hele oppgraderingen øker dersom vi ekskluderer solcelleanlegget. Dette gjelder også dersom det sammenliknes med et solcelleanlegg som ikke selger overskuddsenergi til strømmettet. For å produsere en betydelig mengde energi i solcellemoduler kreves det en høy engangsinvestering, men over en lengre tidsperiode ser det ut til å være lønnsomt.

Tilbakebetalingstiden på 27,5 år baserer seg som tidligere nevnt på flere antagelser, men det er ikke urealistisk til sammenlikning med beregnede tilbakebetalingstider i *Kostnader for nye småhus til høyere energistandard* (Stenerud Skeie, et al., 2016).

Merkostnaden for prosjekteringen utgjør en prisøkning i overkant av 11 % av opprinnelig prosjektering.

## 6. Konklusjon

Oppgaven baserer seg på en reell og populær bolig fra Nordbohus plassert på en lokalitet med godt grunnlag av værdata, og er derfor gjennomførbar i praksis, forutsatt tilgang på både bolig og tomt i Sandefjord. For å bevare realismen i prosjektet, benytter vi oss av faktiske produkter på markedet for bygningskropp og energiforsyning, i stedet for å ha en ren teoretisk tilnærming til oppgaven.

Oppgaven gjør rede for de gjeldende forholdene for den opprinnelige boligen med energibehov og varmetap. Videre forklares hvilke endringer som gjennomføres i boligens konstruksjon og energiforsyning for å nå passivhusstandard. Gjennom reduksjon av varmetap og oppvarmingsbehov går energiforbruket ned, og gjennom installasjon av solceller og solfangere blir energibehovet i stor grad dekket av andre kilder enn levert elektrisitet fra strømmettet.

Økt energiuavhengighet oppnås ved utnyttelse av solfanger- og solcelleanlegg, noe som tyder på at det ligger et stort potensiale for utnyttelse av solenergi, spesielt i sørlige deler av Norge. Dagens batteriteknologi gjør sesonglagring av solenergi urealistisk med tanke på kostnader, det er heller ikke egnet til døgnlagring ettersom solinnstrålingen er lavest når døgnforbruket er høyest i Norge.

Tidligere ble passivhus ofte assosiert med høye innendørstemperaturer og dårlig luftkvalitet, grunnet den tette og godt isolerte bygningskroppen. Oppgaven viser derfor viktigheten av effektiv solskjerming på utsatte fasader, sammen med et godt ventilasjonsanlegg.

Den totale spesifikke merkostnaden for endringene som utføres i denne oppgaven havner på 1 825 kroner per  $m^2 A_{fl}$ , noe som vi mener er realistisk for en forbruker som ønsker å bygge passivhus.

Tilsammen fører tiltakene i oppgaven til at boligen møter kravene til passivhus fra TEK 10 og oppnår en relativt stor grad av energiuavhengighet med en merkost som er oppnåelig.

## 7. Referanser

- Almås, A.-J. (2012). *Kostnadsoptimalitet, Energiregler i TEK*. Direktoratet for Byggkvalitet. Oslo: SINTEF, Multiconsult.
- Andresen, I. (2008). *Planlegging av solvarmeanlegg for lavenergiboliger og passivhus. En introduksjon*. Oslo: SINTEF Byggforst.
- Astma- og Allergiforbundet. (2017, May 9). *Inneklima.com*. Hentet fra Inneklima: <http://www.inneklima.com/index.asp?document=213>
- Aventa. (2014, Desember 12). *Produktinformasjon*. Hentet April 3, 2017 fra Aventa Solar: [http://www.avena.no/Media/Files/TDS\\_AVENTASOLAR\\_collector65V\\_v5\\_1\\_121214](http://www.avena.no/Media/Files/TDS_AVENTASOLAR_collector65V_v5_1_121214)
- Aventa. (2016, Februar 27). *Produktinformasjon*. Hentet April 15, 2017 fra Aventa Solar: <http://www.avena.no/Media/Files/Aventa-Solar-330L>
- Barstad, E. (2016, Mai 1). *Varmepumper*. Hentet fra Fornybar.no: <http://www.fornybar.no/andre-teknologier/varmepumper>
- BenQ Solar. (2014, November 1). *Data Sheet BenQ SunForte*. Hentet fra MG Solar Shop: [http://www.mg-solar-shop.de/media/products/111761\\_Data%20sheet-PM096B00\\_ds\\_en.pdf](http://www.mg-solar-shop.de/media/products/111761_Data%20sheet-PM096B00_ds_en.pdf)
- Boyle, G., Everett, B., Morris, D., Scurlock, J., Ramage, J., Elliot, D., . . . Alexander, G. (2012). *Renewable Energy - Power for a Sustainable Future* (3rd Edition. utg.). (G. Boyle, Red.) Oxford: Oxford University Press.
- Brandtenberg, K. (2016, Mai 1). *Passiv solvarme*. Hentet fra Fornybar.no: [http://www.fornybar.no/upload\\_images/3F1FC8552E1640E5B552BD961AED7640.jpg](http://www.fornybar.no/upload_images/3F1FC8552E1640E5B552BD961AED7640.jpg)
- Brantenberg, K. (u.d.). *Hvordan fungerer solfangeren*. Hentet Mai 8, 2017 fra Solvarmesenteret: [http://solvarmesenteret.no/index.php?route=information%2Finformation&information\\_id=22](http://solvarmesenteret.no/index.php?route=information%2Finformation&information_id=22)
- Christensen, A. (2008, August 23). *Forskning.no*. Hentet fra Forskning.no: <http://forskning.no/energi-fysikk/2008/02/se-hvordan-varmepumpa-virker>
- Coop. (2017, Mai 6). *Trelast og tyngre byggevarer - Isolasjon*. Hentet fra Coop OBS Bygg: <https://coop.no/sortiment/obs-bygg/trelast-og-tyngre-byggevarer/isolasjon/glava-eps-s80>
- Direktoratet for byggkvalitet. (2016). *Byggteknisk Forskrift (TEK10)*. Oslo: Direktoratet for byggkvalitet.

- Dokka, T. H., Hauge, G., Thyholt, M., Klinski, M., & Kirkhus, A. (2009). *Energieffektivisering i bygninger - mye miljø for pengene!* Oslo: SINTEF.
- Duffie, J. A., & Beckmann, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Enova (A). (2016, Desember 27). *Alle energitiltak - solfanger*. Hentet Mai 16, 2017 fra Enova: <https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/solenergi/solfanger/>
- Enova (B). (2016, Desember 27). *Enova alle enerigitiltak*. Hentet April 05, 2017 fra Enova el-produksjon: <https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/solenergi/el-produksjon/>
- Enova. (2010, Februar 9). *Energimerking*. Hentet fra Forskriften: <https://www.energimerking.no/no/energimerking-bygg/om-energimerkesystemet-og-regelverket/om-regelverket/forskriften/>
- EPS Cement. (2015). *Produktinformasjon - EPS Cement EC350M*. Gustavsberg: EPS Cement.
- Ericson, T., Fidje, A., Fonnelop, J. E., Langseth, B., Magnussen, I. H., Rode, W. W., & Saugen, B. (2016). *Varmepumper i energisystemet*. Oslo: NVE.
- Frøland-Larsen, A., Bramslev, K. T., & Hammer, E. A. (2013). *Nullutslippsbygg - er det mulig?* Oslo: Grønn Byggallianse.
- Fronius. (2017). *Grid connected inverters - Galvo 2.5*. Hentet fra Fronius International: [http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-1600D921-3F759483/fronius\\_international/hs.xsl/83\\_28032\\_ENG\\_HTML.htm#](http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-1600D921-3F759483/fronius_international/hs.xsl/83_28032_ENG_HTML.htm#)
- Glava. (2017, Mai 4). *Glava proff 34 rull*. Hentet fra Glava: <http://www.glava.no/bygg/produkter/byggisolasjon/glava-proff-34/glava-proff-34-rull/>
- Glava. (2017, Mai 8). *Yttervegg*. Hentet fra Glava: <http://www.glava.no/bygg/losninger/byggkonstruksjoner/yttervegg/dobbelt-bindingsverk-med-vempro-vindsperre/>
- Graham, S. (2000, Mars 24). *Features - Milutin Milankovitch*. Hentet fra Earth Observatory: <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/Milankovitch/>
- Gustavsen, A., Thue, J. V., Blom, P., Dalehaug, A., Aurlien, T., Grynning, S., & Uvsløkk, S. (2008). *Kuldebroer - Beregning, kuldebroverdier og innvirkning på energibruk*. Oslo: SINTEF.
- Gyldendal. (u.d.). *Energi og Framtid - Energiomforming*. Hentet Mai 18, 2017 fra Senit SF: [http://web2.gyldendal.no/undervisning/felles/pixdir20/?archive=senit\\_sf&menuitem=menu\\_6\\_5&resultsourc=menu\\_6\\_5&detailsourc=image\\_267](http://web2.gyldendal.no/undervisning/felles/pixdir20/?archive=senit_sf&menuitem=menu_6_5&resultsourc=menu_6_5&detailsourc=image_267)
- Hille, J., Simonsen, M., & Aall, C. (2011). *Trender og drivere for energibruk i Norske husholdninger*. Sogndal: Vestlandsforskning.



- Holtet, J. A. (2014, Januar 27). *Solarkonstanten*. Hentet fra Store Norske Leksikon: <https://snl.no/solarkonstanten>
- Inoutic. (2017). *U-value of window glazing*. Hentet Mai 5, 2017 fra The German Profile Engineers for windows and doors: <http://www.inoutic.de/en/tips-on-window-purchase/saving-energy/u-value-for-windows/>
- Jackon. (2015, April 1). *Jackon Prisliste Bygg og VA*. Hentet fra Takringen: <http://takringen.custompublish.com/getfile.php/3025339.1816.cfbyepvxcd/Prisliste+Jackon+Bygg+og+VA+Norge+01.04.2015+enkeltsider+pdfversjon.pdf>
- Jackon. (u.d.). *Produktdatablad*. Hentet Mai 18, 2017 fra Byggtjeneste: <http://media.byggtjeneste.no/media/dokument/261052>
- Jernkontoret. (u.d.). *Värmeledningsförmåga och U-värden för olika material*. Hentet Mai 19, 2017 fra energihandbok: <http://www.energihandbok.se/konstanter/varmeledningsformaga-och-u-varden-for-olika-material>
- Jysk Solenergi. (u.d.). *Lær selv at beregne den årlige ydelse på dit solcelleanlæg*. Hentet Mai 26, 2017 fra JyskSolenergi: [http://www.jysksolenergi.dk/Ydelsen\\_paa\\_dit\\_anlaeg.html](http://www.jysksolenergi.dk/Ydelsen_paa_dit_anlaeg.html)
- Kährs. (2008, November). *Tekniske Spesifikasjoner*. Hentet Mai 19, 2017 fra Kahrs: [http://www.kahrs.com/globalassets/no/kahrs\\_techspec\\_original\\_15mm\\_no.pdf](http://www.kahrs.com/globalassets/no/kahrs_techspec_original_15mm_no.pdf)
- Kolstad, E., & Skeie, P. (2017, April 23). *Suncurves*. Hentet fra Suncurves: <http://suncurves.com/no/v/4665/>
- Krog, B.-R., Harstad, P., & Schild, P. G. (2012). *Nordre Gran borettslag: Sanitæranlegget*. Oslo: SINTEF.
- Landbruksmeteorologisk Tjeneste. (2017, April 21). *Hent værdata*. Hentet fra LMT NIBIO: [http://lmt.nibio.no/agrometbase/getweatherdata\\_new.php?weatherStationId=50](http://lmt.nibio.no/agrometbase/getweatherdata_new.php?weatherStationId=50)
- Lavenergiprogrammet. (2016, Desember 22). *Løsninger for gulv på grunn*. Hentet fra Lavenergiprogrammet: <http://lavenergiprogrammet.no/prosjektering-av-passivhus/losninger-for-gulv-pa-grunn/>
- Lavenergiprogrammet. (2016, Desember 22). *Slik får du et effektivt ventilasjonsanlegg*. Hentet fra Lavenergiprogrammet: <http://lavenergiprogrammet.no/prosjektering-av-passivhus/derfor-er-ryddige-kompakte-ventilasjonsanlegg-mest-energieffektive/>
- Lewald, M. (2016). *Declaration of Performance*. Szarbków: Rigips Saint-Gobain.
- Mauthner, F., Weiss, W., & Spörk-Dür, M. (2015). *Solar Heat World Wide*. Gleisdorf: International Energy Agency.

- Maxbo. (2017). *Takstein Dobbelkrum Behandlet Svart Benders*. Hentet Mai 27, 2017 fra Maxbo: <https://www.maxbo.no/takstein-dobbelkrum-behandlet-svart-benders-palema-p950474>
- Meteorologisk Institutt. (2009, Desember 8). *Pyranometre*. Hentet fra Meteorologisk Leksikon: <https://metlex.met.no/wiki/Pyranometre>
- Meteorologisk Institutt. (2009, Desember 1). *Soltid*. Hentet Mai 6, 2017 fra MetLex: <https://metlex.met.no/wiki/Soltid>
- National Building Specification. (2015, Februar 1). *What is a U-value? NBS*. Hentet fra NBS: <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-a-u-value-heat-loss-thermal-mass-and-online-calculators-explained>
- Natural Resources Canada. (2004). *Solar water heating project analysis*. Ottawa: Minister of Natural Resources Canada.
- Nordbohus. (2014, Mai 1). *Sans*. Hentet fra Nordbohus.no: <http://www.nordbohus.no/sans>
- Norsk Solenergiforening. (2017). *Statistikk*. Hentet April 4, 2017 fra Solenergi.no: [solenergi.no/statistikk/](http://solenergi.no/statistikk/)
- Norsk Solenergiforening. (2017). *Teknologi - Norsk Solenergiforening*. Hentet fra Passiv Solvarme: <http://solenergi.no/om-solenergi/teknologi/passiv-solvarme/>
- Norsk Teknologi, Nelfo, Elektroforeningen. (2008). *Energibruk i bygg- rammer, krav og muligheter*. Osl: Norsk Teknologi.
- NVE. (2017, Mai 8). *Solenergi*. Hentet fra NVE - Energiforsyning og Konesjon: <https://www.nve.no/energiforsyning-og-konesjon/solenergi/>
- NVE, Enova, Innovasjon Norge & Forskningsrådet (A). (2016, Mai 1). *Energikilder - Solenergi, Ressursgrunnlag*. Hentet fra Fornybar Energi: <http://www.fornybar.no/solenergi/ressursgrunnlag#sol1.2>
- NVE, Enova, Innovasjon Norge & Forskningsrådet (B). (2016, Mai 1). *Termisk Energi Fra Solen*. Hentet fra Teknologi - Fornybar.no: <http://www.fornybar.no/solenergi/teknologi#sol2.2>
- NVE, Enova, Innovasjon Norge & Forskningsrådet (C). (2016, Mai 1). *Varmepumper*. Hentet fra Fornybar.no: <http://www.fornybar.no/andre-teknologier/varmepumper>
- Okafor, I., & Akubue, G. (2012, September). F-Chart Method For Designing Water Heating Systems. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 3(9), 1-7.
- Passivhaus Institut. (2015, September 14). *General Principles for improving airtightness*. Hentet fra Passipedia: [https://passipedia.org/planning/airtight\\_construction/general\\_principles/principles\\_for\\_improving\\_airtightness](https://passipedia.org/planning/airtight_construction/general_principles/principles_for_improving_airtightness)

- Peacock, F. (2016, November 25). *Powerwall 2 Full Spec Released: Low cost but 'unlimited cycles' warranty has limits*. Hentet Mai 20, 2017 fra Solar Quotes: <https://www.solarquotes.com.au/blog/powerwall-2-warranty/>
- Programbyggerne. (2014, Mai 13). *Validering*. Hentet Mai 28, 2017 fra Programbyggerne: [www.programbyggerne.no/SIMIEN/validering](http://www.programbyggerne.no/SIMIEN/validering)
- Rønvold, I. (2013, Januar 28). *Passivhus blir stadig mer populære*. Jessheim, Akershus, Oslo: Romerikes Blad.
- Rosvold, K. A. (2011, Desember 11). *Store Norske Leksikon*. Hentet Mai 20, 2017 fra Energifondet: <https://snl.no/Energifondet>
- Rosvold, K. A., & Hofstad, K. (2016, Mars 6). *Energi og ressurser*. Hentet fra Store Norske Leksikon: <https://snl.no/solenergi>
- SANCO. (2014). *Insulation & design with glass*. Nördlingen: Glas Trösch GmbH - SANCO Beratung. Hentet 2017
- SINTEF Byggforsk. (1990). *Oppvarming av boliger. Energiforbruk og kostnader nr 552.103*. Oslo: SINTEF.
- SINTEF Byggforsk. (2008). *Kuldebroer. Konsekvenser og dokumentasjon av energibruk nr 471.015*. Oslo: SINTEF.
- SINTEF Byggforsk. (2013). *Byggforskserien, Kuldebroverdier bindingsverk av tre og trebjelkelag nr 472.301*. Enova. Oslo: SINTEF. Hentet Mai 2017
- SINTEF Byggforsk. (2013). *Byggforskserien, U-verdier. Vegger over terreng - dobbelt bindingsverk av tre med kontinuerlig isolasjon imellom 471.404*. SINTEF. Oslo: Enova. Hentet Mai 2017
- SINTEF Byggforsk. (2016). *Byggforskserien, Godt inneklima i nye boliger nr 421.510*. Oslo: SINTEF.
- SINTEF Byggforsk, Enova (A). (2013). *Kuldebroverdier. Hjørne mellom bindingsverksvegger av tre nr 472.711*. Oslo: SINTEF. Hentet Mai 2017
- SINTEF Byggforsk, Enova (E). (2013). *Kuldebroverdier for tilslutninger mellom bygningsdeler. Grunnlag for beregninger nr 472.051*. Oslo: SINTEF. Hentet Mai 2017
- SINTEF Byggforsk; Enova (A). (2015). *Kuldebroverdier. Vindu i bindingsverksvegg av tre nr. 472.801*. Oslo: SINTEF. Hentet Mai 2017
- SINTEF Byggforsk; Enova (B). (2013). *Kuldebroverdier. Isolert ringmur med betong, bindingsverk av tre og betonggulv på grunnen nr 472.101*. Oslo: SINTEF. Hentet Mai 2017

- SINTEF Byggforsk; Enova (B). (2015). *Kuldebroverdier. Skrått tretak med kaldt loft og binginsverksvegg av tre nr 472.501*. Oslo: SINTEF. Hentet Mai 2017
- SINTEF Byggforsk; Enova (C). (2013). *Kuldebroverdier. Bindingsverk av tre og trebjelkelag nr 472.301*. Oslo: SINTEF. Hentet Mai 2017
- SINTEF Byggforsk; Enova (D). (2013). *Kuldebroverdier. Møne i isolerte skrå tretak nr 472.514*. Oslo: SINTEF. Hentet Mai 2017
- SINTEF; Enova. (2013). *U-verdier. Vegger over terreng - dobbelt bindingsverk av tre med kontinuerlig isolasjon imellom nr 471.404*. Oslo: Byggforskserien. Hentet 2017
- Solcellespesialisten. (2014). *BenQ PM096B00\_333 SunForte Monocrystalline Solar Module*. Hentet Mai 5, 2017 fra Solcellespesialisten:  
<http://www.solcellespesialisten.no/solcellepanel/benq-pm096b00-333-sunforte-monocrystalline-solar-module.html>
- Solcellespesialisten. (2014). *Fronius Galvo*. Hentet fra Solcellespesialisten:  
<http://www.solcellespesialisten.no/inverter-vekselretter/1-fase/fronius-galvo-2-5.html>
- Standard Norge. (2007). *Bygningskomponenter og -elementer - Varmemotstand og varmegjennomgang - Beregningsmetode*. Brussel: European Committee for Standardization.
- Standard Norge. (2013). *Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Boligbygninger*. Lysaker: Norsk Standard.
- Statens Bygningstekniske Etat. (2007). *Veiledning til teknisk forskrift til plan- og bygningsloven*. Oslo: Statens Bygningstekniske Etat. Hentet fra  
[https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere\\_regelverk/veiledning\\_til\\_teknisk\\_for\\_skrift\\_4.utg.2007.pdf](https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/veiledning_til_teknisk_for_skrift_4.utg.2007.pdf)
- Statens energimyndighet. (2009). *Mätning av kall- och varmvattenanvändning i 44 hushåll*. Eskildtuna: Statens energimyndighet.
- Statistisk Sentralbyrå (A). (2017). *Elektrisitetspriser*. Hentet Mai 29, 2017 fra SSB:  
<https://www.ssb.no/statistikkbanken/selectvarval/Define.asp?subjectcode=&ProductId=&MainTable=KraftPrisNettLeie&nvl=&PLanguage=0&nyTmpVar=true&CMSSubjectArea=energi-og-industri&KortNavnWeb=elkraftpris&StatVariant=&checked=true>
- Statistisk Sentralbyrå (B). (2017, Februar 24). *Elektrisitetspriser, 4. kvartal 2016*. Hentet Mai 24, 2017 fra Statistisk Sentralbyrå: <https://www.ssb.no/elkraftpris/>
- Statistisk sentralbyrå. (2016, Oktober 28). *Statistisk sentralbyrå*. Hentet April 5, 2017 fra Familier og husholdninger, 1. januar 2016:  
<https://www.ssb.no/befolkning/statistikker/familie>
- Stene, J. (2008). *Oppvarmingsystemer for boliger av lavenergi- og passivhusstandard*. Trondheim: SINTEF.

- Stenerud Skeie, K., Gunnarshaug Lien, A., Svensson, A., & Andresen, I. (2016). *SINTEF fag*. Hentet 05 12, 2017 fra SINTEF bokhandel:  
[https://www.sintefbok.no/book/index/1106/kostnader\\_for\\_nye\\_smaahus\\_til\\_hoeyere\\_energistandard](https://www.sintefbok.no/book/index/1106/kostnader_for_nye_smaahus_til_hoeyere_energistandard)
- Store Norske Leksikon. (2013, Desember 6). *Albedo*. Hentet Mai 15, 2017 fra Store Norske Leksikon: <https://snl.no/albedo>
- Struckmann, F. (2008). *Analysis of a Flat Plate Solar Collector*. Lund University, Department of Energy Sciences, Lund.
- The Engineering Toolbox. (2017, April 27). *Thermal Conductivity of common Materials and Gases*. Hentet fra The Engineering Toolbox:  
[http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d\\_429.html](http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html)
- Thomsen, J., Svensson, A., & Gullbrekken, L. (2014). *Evaluering av ni passivhusboliger på Rossåsen ved Sandnes*. Oslo: SINTEF.
- Tipperary Energy Agency. (2017, April 26). Hentet fra Tipperary Energy agency:  
<http://tea.ie/wp-content/uploads/2011/09/Module-3.2-Resistance-of-air-layers-and-surface-layers.pdf>
- Universitetet i Oslo. (2011, Februar 4). *Tjenester og Verktøy - Solstråling*. Hentet fra Universitetet i Oslo:  
<http://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/s/solstraaling.html>
- Wigenstad, T., Schild, P. G., Michael, K., & Simonsen, I. (2012). *Ventilasjons- og varmeløsninger i boliger med lavt energibehov*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Wikipedia. (2015, Desember 28). *Energimerking av forbruksartikler*. Hentet fra Wikipedia:  
[https://no.wikipedia.org/wiki/Energimerking\\_av\\_forbruksartikler](https://no.wikipedia.org/wiki/Energimerking_av_forbruksartikler)
- Wikipedia. (2016, Mars 14). *Kuldebro*. Hentet fra Wikipedia:  
<https://no.wikipedia.org/wiki/Kuldebro>
- WWF. (2016). *Living Planet Report 2016. Risk and resilience in a new era*. Gland: WWF International.
- ZERO. (2016, Januar 1). *Prosjekter Bygg: Zero*. Hentet fra Miljøstiftelsen Zero:  
<https://www.zero.no/prosjekter/bygg/>

## 8. Tabell- og figurliste

### 8.1 Tabelliste

#### Teori

Tabell 2. 1 Minstekrav til enkeltkomponenter (Standard Norge, 2013) .....	5
Tabell 2. 2 Krav til varmetapstall (Standard Norge, 2013).....	11
Tabell 2. 3 Krav til netto energibehov til oppvarming (Standard Norge, 2013).....	12

#### Metode

Tabell 3. 1 Innstråling og temperatur fra værstasjonen Tjølling, tabell basert på (Landbruksmeteorologisk Tjeneste, 2017) .....	25
Tabell 3. 2 Oppbygning og tykkelse av yttervegg .....	27
Tabell 3. 3 Oppbygning og tykkelse av skillevegg.....	28
Tabell 3. 4 Oppbygning og tykkelse av gulv mot grunn.....	28
Tabell 3. 5 Oppbygning og tykkelse av skråtak mot friluft .....	29
Tabell 3. 6 Oppbygning og tykkelse av tak mot kaldt loft.....	29
Tabell 3. 7 U-verdiberegning for yttervegg. $\lambda$ -verdier er basert på (The Engineering Toolbox, 2017), (Tipperary Energy Agency, 2017), (Glava, 2017), (Lewald, 2016), (National Building Specification, 2015) .....	30
Tabell 3. 8 U-verdiberegning gulv mot grunn. $\lambda$ -verdier er basert på (Jackon) (Kähns, 2008) (Jernkontoret, u.d.) .....	33
Tabell 3. 9 Oversikt over kuldebroer (SINTEF Byggforsk, 2013) .....	36

#### Resultat

Tabell 4. 1 Innstrålingsberegning for tak med hellning på 32° med data fra værstasjon Tjølling .....	53
Tabell 4. 2 Resulterende verdier fra f-chartberegningen .....	54
Tabell 4. 3 Beregning av solcelleanleggets effekt .....	55
Tabell 4. 4 Beregning av solcelleanleggets leverte energi, før inverter.....	56
Tabell 4. 5 Beregning av solcelleanleggets leverte energi, etter inverter .....	57
Tabell 4. 6 Enkeltkomponenters egenskaper sammenlignet med kravene til passivhus .....	58
Tabell 4. 7 Varmetapsbudsjett sammenlignet med passivhuskrav .....	58
Tabell 4. 8 Netto oppvarmingsbehov og elektrisitetsforbruk .....	59
Tabell 4. 9 Beregnet levert energi til bygningen.....	61
Tabell 4. 10 Boligens energimerking før og etter tiltak. Kravene som er oppgitt gjelder for oppnådd karakter.....	61
Tabell 4. 11 Innvendig temperaturdata per måned .....	62
Tabell 4. 12 Merkostnad per m <sup>2</sup> for tiltak.....	64
Tabell 4. 13 Beregning av tilbakebetalingstid, på grunnlag av energibesparelse .....	65

### 8.2 Figurliste

#### Teori

Figur 2. 1 Etasjeskiller som kuldebro (Gustavsen, et al., 2008) .....	7
Figur 2. 2 Kuldebro i form av endring av tykkelse (Gustavsen, et al., 2008).....	7
Figur 2. 3 Kuldebrovirkning som følge av forskjell i innvendig og utvendig areal (Wikipedia, 2016) .....	8
Figur 2. 4 Illustrasjon av passiv utnyttelse av solvarme (Brandtenberg, 2016).....	14
Figur 2. 5 Illustrasjon av plan solfanger (Brantenberg).....	16

Figur 2. 6 Solfangertyper og deres bruk i forskjellige land (Mauthner, Weiss, & Spörk-Dür, 2015) .....	17
Figur 2. 7 Illustrasjon av PN-overgang i solcelle (Gyldendal) .....	19
Figur 2. 8 Illustrasjonen av en varmepumpekrets (Barstad, 2016) .....	22
Figur 2. 9 Illustrasjon av merkostnad for passivhus. Redigert, basert på (Stenerud Skeie, et al., 2016) .....	24
<b>Metode</b>	
Figur 3. 1 Fasadeillustrasjon av Sans (Nordbohus, 2014) .....	26
Figur 3. 2 Illustrasjon av oppbygning av oppgradert yttervegg. Redigert, basert på (Glava, 2017). .....	31
Figur 3. 3 Illustrasjon av oppbygning, gulv mot grunn Redigert, basert på (Lavenergiprogrammet, 2016) .....	34
Figur 3. 4 Illustrasjon av varmtvannsbereder (Aventa, 2016) .....	41
<b>Resultat</b>	
Figur 4. 1 Varmetapstall og prosentvis fordeling av varmetap .....	59
Figur 4. 2 Årlig energibudsjett med prosentvis fordeling .....	60
Figur 4. 3 Temperaturoversikt fra sommersimulering .....	63

## 9. Vedlegg

### Vedlegg 1

TEK-sjekk av *Sans*, Byggteknisk og komponenter

### Vedlegg 2

TEK-sjekk av *Sans*, Energiforbruk og -behov

### Vedlegg 3

Konstruksjon av yttervegg *Sans*

### Vedlegg 4

Konstruksjon av innvendige vegger *Sans*

### Vedlegg 5

Konstruksjon av tak *Sans*

### Vedlegg 6

Beregning av  $H_0$  og  $H_T$

### Vedlegg 7

Inndata SIMIEN

### Vedlegg 8

Fasadeillustrasjon *Sans*

### Vedlegg 9

Plantegning *Sans*

### Vedlegg 10

Forenklet manuell varmetapsberegning

### Vedlegg 11

Datablad varmepumpe

### Vedlegg 12

f-chart- og solcelleberegning



## Boligen har energikarakter B (oransje oppvarmingskarakter)

<b>1: GENERELT</b>		Beskrivelse av bygning: 9019-16 Sans		Kunde / byggherre / referanse: Kunde/Forhandler/Prosjektnr.					
Bruksdelens bygningskategori: Småhus: Enebolig		Utførende		Beregningen utført av firma: Nordbohus AS					
Type beregning		Type kontrollberegning: Energimerke		Beregningen utført av person: SER (17.02.16)					
Beregningen omfatter: Hele bygningen		Lokal klima: Oslo		Vindeksponering: Landlig   Lave trær / boligstrøk / jordbruk					
Tilleggsinfo.		Antall boenheter i bygget: 1		Byggeår: 2016					
Ev. matrikelinfo:		Ytre klima		Jordart: Sand og grus					
<b>2: BRUKSDEL</b>									
Dokumentasjon / kommentar									
Dimensjoner	Oppvarmet del av bruksareal, BR	144,3	m <sup>2</sup>	144,3					
	Oppvarmet luftvolum	336	m <sup>3</sup>						
	Ekspontert omkrets	33,6	m						
Bygningskropp	Normalisert kuldebroverdi, $\psi^*$	0,05	W/(m <sup>2</sup> K)		NS 3031, tabell A4				
	Lekkasjetall (lekkasjetest), $n_{50}$	1	Luftvekslinger per time ved 50 Pa (h <sup>-1</sup> )	(tilsvarer ca. 0,16 (m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup> )					
	Bygningens varmekapasitet	32	Wh/(m <sup>2</sup> K)	(tidskonstant ca. 48 timer)					
Ventilasjon	Ventilasjonsprinsipp	Mek. balansert							
	Ventilasjon, luftmengde (normal)	1,2	(m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup> = 173 m <sup>3</sup> /h.	Spesifikk vitteeffekt (normal): 1,5	kW/(m <sup>3</sup> /s)				
	Ventilasjon, luftmengde (natt/helg)	som over		Spesifikk vitteeffekt (natt/helg): som over	kW/(m <sup>3</sup> /s)				
	Virkningsgrad, varmegjenvinning	80 %		Oppgitt virkningsgrad gjelder for: Varmeveksleren (EN 308)					
Klimatisering	Styring av belysning	-10	°C						
	Styring av tilluftstemperatur	18°C							
	Type kjøling (mekanisk eller lufting)	Vinduslufting		Arealandel vinduer som kan åpnes: 60 %					
Belysning	Nattsinking (utenom brukstid)	Ja							
	Styring av belysning	Vanlig manuell							
	Ønsket lysstyrke	300	Lux						
<b>3: KONSTRUKSJONSTYPER</b>									
Konstruksjonstype		Beskrivelse		U-verdi W/(m <sup>2</sup> K)	Ekstra motstand + $\Delta R$ , (m <sup>2</sup> K)/W	Type kledning (hulrom, farge)	Dokumentasjon / kommentar		
Yttervegg mot friluft		Bindingsv. 36mm (148+48)+12mm trefiberpl., 200mm iso. kl.34		0,198	-	Ventilert, lys	Glava.no Yttervegger		
Golv på grunnen		Betongdekke, 370 mm EPS Plate S80 kl.38		0,090	(+jord)	-	SBF2016F0056		
Skråtak (>20°) mot friluft		Tresperrer 36 mm, 350 mm isolasjon kl.34, varm loft		0,110	-	Ventilert, midd	Glava.no Takkonstruksjoner		
Tak/himling mot kaldt loft		Himling mot kaldt loft, 350 mm isolasjon kl.34, UG 48x148		0,101	0,30	-	Glava.no		
<b>4: TYPER VINDU / DØR</b>									
Vindus-/dørtype		U-verdi W/(m <sup>2</sup> K)	Lysåpning F, %	Glass lystransmisjon / solfaktor LT% / g%	Solskjerming type	Solskjerming Te% / Re%	Vindussmyg $\downarrow$ [;<-> [;->]]	Dokumentasjon / kommentar	
3-lags, Gj.snitt U-verdi maks 1,0 (vindu/balkongdør)		1,000	80 %	73/57	Ingen	-	0		
Ytterdør - tett uten glass 1,0		1,000	0 %	-	-	-	-	(Verdiene endret. Rediger beskrivelse?)	
<b>5: FASADER / BYGNINGSKROPPEN</b>									
Beskrivelse		Konstruksjonstype	Himmelretning (grader fra N.)	Bruttoareal m <sup>2</sup>	Vindus-/dørtype	Vindu/dør m <sup>2</sup>	Horisonten grader	Utspring $\uparrow$ [;<-> [;->]]	Dokumentasjon / kommentar
Vegg 1		Yttervegg mot friluft	S (180°)	35,7	3-lags, Gj.snitt U-verdi maks 1,0	4,36	10°	0	
Vegg 2		Yttervegg mot friluft	Ø (90°)	36,1	3-lags, Gj.snitt U-verdi maks 1,0	4,36	10°	0	
Vegg 3		Yttervegg mot friluft	N (0°)	39,5	3-lags, Gj.snitt U-verdi maks 1,0	14,89	10°	0	
Vegg 4		Yttervegg mot friluft	V (270°)	36,1	3-lags, Gj.snitt U-verdi maks 1,0	4,21	10°	0	
					Ytterdør - tett uten glass 1,0	2,10	-	-	
Golv		Golv på grunnen	-	82,6	-	-	-	-	
Tak		Tak/himling mot kaldt loft	-	30,3	-	-	-	-	
Tak		Skråtak (>20°) mot friluft	S (180°)	31,7	-	-	10°	0	
Tak		Skråtak (>20°) mot friluft	Ø (90°)	2,4	-	-	10°	0	
Tak		Skråtak (>20°) mot friluft	N (0°)	23,3	-	-	10°	0	
Tak		Skråtak (>20°) mot friluft	V (270°)	2,4	-	-	10°	0	
<b>6: ENERGIFORSYNING</b>									
Energivare		Systemtype (grunnforsyning øverst i listen, topplast-forsyning nederst)			Andel last dekket		Dokumentasjon / kommentarer		
Biobrensel		Vedovn, peisovn eller lukket peisinsats (i bolig med balansert ventilasjon)			20 %		NS 3031 Tillegg B (nv=0.63.)		
Elektrisitet		Helelektrisk bygning (termostatstyrte elektriske radiatorer, varmtvannsbereider, varmebatteri, forbruksstrøm)			100 %		SINTEF Byggforsk		

**Bygning / prosjekt:** 9019-16 Sans. Kunde/ref: Kunde/Forhandler/Prosjektnr.  
**Type beregning:** Energimerke. Hele bygningen (småhus: enebolig) er beregnet.

### NETTO ENERGIBEHOV (normalklima)

Energipost	Energibehov kWh/år	Spesifikt behov kWh/(m²år)
Romoppvarming	5035	34,9
Ventilasjonsvarme	380	2,6
Varmtvann	4298	29,8
Vifter	632	4,4
Pumper	-	-
Belysning	1643	11,4
Teknisk utstyr	2528	17,5
Romkjøling	-	-
Ventilasjonskjøling	-	-
<b>Sum denne bygning:</b>	<b>14516</b>	<b>101</b>
	-	-
	-	-

### VARMETAPSBUDSJETT

Varmetapspost	Netto areal m²	U-verdi [W/m²K]		Varmetap [(W/K)/m²]	
		Denne bygning	-	Denne bygning	-
Vegger	117,5	0,198	-	0,161	-
Tak	90,1	0,106	-	0,066	-
Gulv	82,6	0,081	-	0,046	-
Vinduer & dører	29,9	1,000	-	0,207	-
Kuldebro	144,3	$\psi=0,05$	-	0,050	-
Infiltrasjon	-	$n_{50}=1$	-	0,054	-
Ventilasjon	-	$\eta_{ar}\approx 79,9\%$	-	0,079	-
<b>Bygningens varmetapstall, H" [(W/K)/m²]:</b>				<b>0,660</b>	-
				-	-

### LEVERT ENERGI (normalklima)

Energivare	Lvert energi kWh/år	Spesifikk levert kWh/(m²år)	Fossilt / el. til varmebehov
Direktevirkende el.	12946	90,0	80,0 %
El. til VP & solenergi	-	-	-
Olje	-	-	-
Gas	-	-	-
Fjernvarme	-	-	-
Biobrensel	3101	21,0	0,0 %
Annen fornybar	-	-	-
<b>Sum denne bygning:</b>	<b>16047</b>	<b>111</b>	<b>80,0 %</b>
<b>Grunnlag for karakter:</b>	-	<b>&lt; 131</b>	<b>65% - 82,5%</b>
<b>Karakter:</b>	-	<b>B</b>	<b>oransje</b>

CO<sub>2</sub> utslipp cirka 36 kg/m² pr år ved normalklima.

### Tilleggsinfo, dekningsgrad pr energisystem (normalklima)

Energisystem	Dekning av netto energibehov, kWh/år						Dekningsgrad av egen last	Systemvirkningsgrad
	Romoppv.	Vent.varme	Varmtvann	Romkjøling	Vent.kjøl.	El.spesifikt		
Biobrensel	1943	-	-	-	-	-	<b>39 %</b>	0,63
Elektrisitet	3093	380	4298	-	-	4803	<b>87 %</b>	0,97
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Total behov:</b>	<b>5035</b>	<b>380</b>	<b>4298</b>	-	-	<b>4803</b>	-	-

### SAMMENDRAG

**Energi:** Lukkede vedovner antas å dekke maksimalt 20% av totalt varmebehov beregnet ved energimerking. Dette tilsvarer 39% av romoppvarming.

► Boligen har energikarakter B (oransje oppvarmingskarakter)

**Inneklima:** Boligen kan periodevis få stort solvarmetilskudd på fasader mot øst/sør/vest. Dette kan løses med bedre/mer solskjerming.

Innetemperatur overskrider komfortgrensen 59 timer i brukstiden i løpet av året, selv med vinduslufting (Inneklimakategori II i EN 15251:2007 §A.2) \*

- Høyeste operativ innetemperatur i brukstiden i løpet av året er 30,1°C (ved utetemperatur 29,6°C, kl.17:00 i juli), med vinduslufting. \*

\*) Det antas en væravhengig komfort-innetemperatur (ref. EN 15251:2007 §A.2) ved vinduslufting.

**Dagslys:** Estimert arealmidlet dagslysfaktor er N=5,7%; Ø=5,7%; S=5,7%; V=5,7%; og kjerne=0%; dvs. cirka 51% av BRA har en dagslysfaktor på minst 2%.

- Kjernen utgjør 49% av BRA. Vurder taklys e.l. som gir dagslys i kjernen.

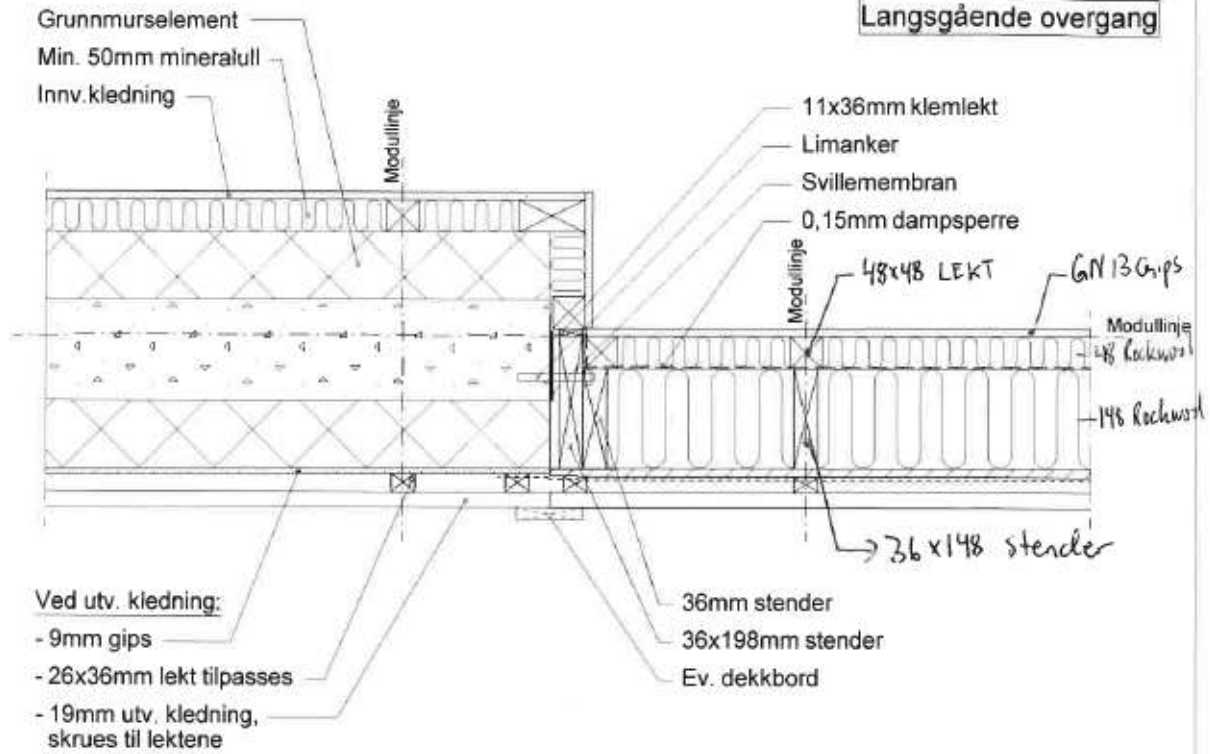
- Boligen får mye dagslys i minst en sone. Vurder å redusere vindusareal noe. En dagslysfaktor på 5% er normalt tilstrekkelig for å arbeide uten belysning på dagtid.

- Total glassareal (ekskl. karm) utgjør 15,4% av BRA.

Prosent av dagtid med brukbar dagslys inne er N=92%; Ø=77%; S=62%; V=75%; og kjerne=0%; (c.f. arealmidlet "Useful Daylight Illuminance" med ca. 100-3000 Lux).

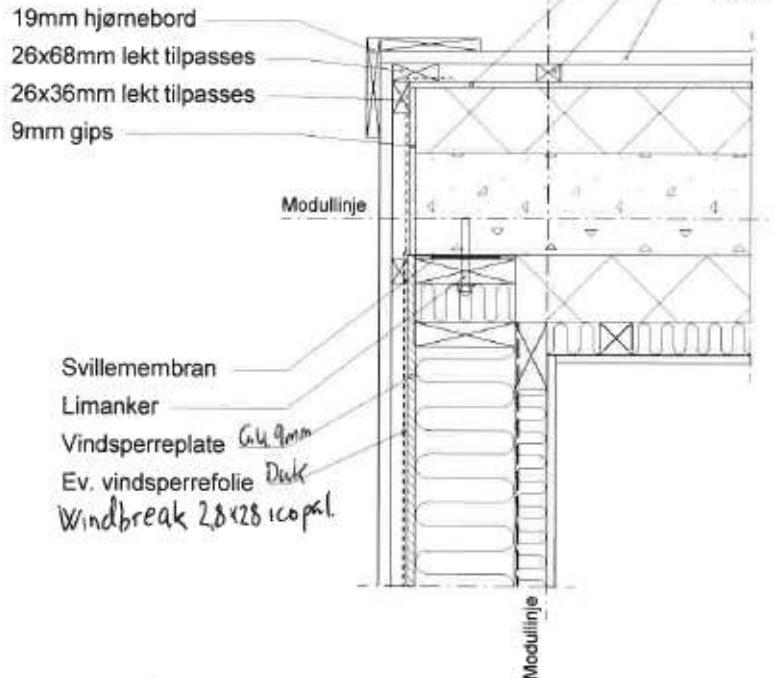
- Randsone S kan få problemer med blending (dagslys >3000 Lux) i 28% av dagtiden. Dette kan ev. løses med bedre solskjerming eller mindre vindusareal.

## Langsgående overgang

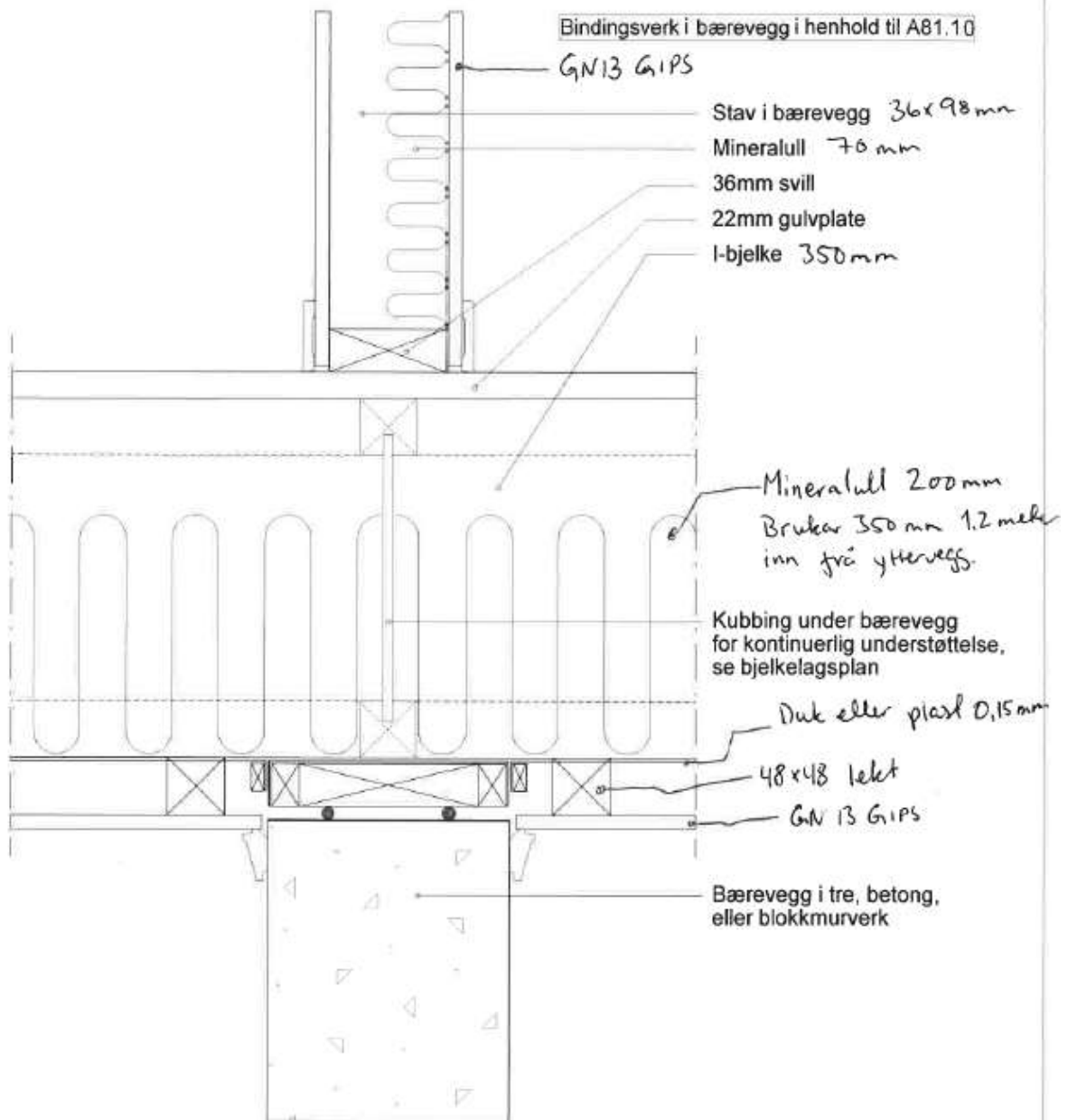


## Ved utv. kledning:

- 9mm gips
- 26x36mm lekt tilpasses
- 19mm utv. kledning, skrues til lektene



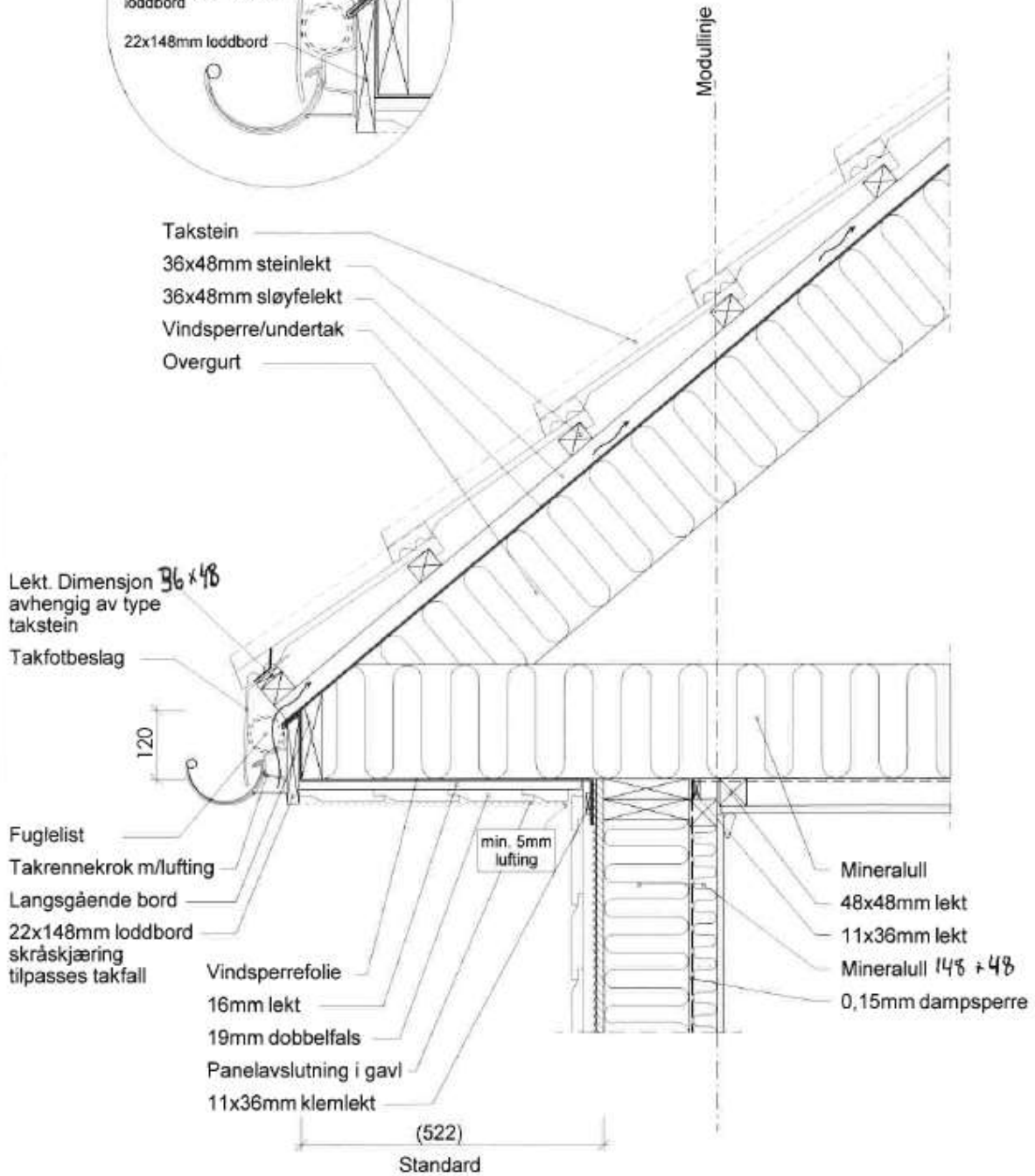
## Overgang i hjørne





Damp tett belegg på gulv må ikke benyttes ved bruk av sammenhengende dampspærre på undersiden av hele loftsbelegget.

Isolering av tak i henhold til varmetapsberegning.



Måned	N (dager per måned)	Gjennomsnittlig dag	Breddegrad	Deklinasjon
Januar	31	17	59,1312	-20,92
Februar	28	47	59,1312	-12,95
Mars	31	75	59,1312	-2,42
April	30	105	59,1312	9,41
Mai	31	135	59,1312	18,8
Juni	30	162	59,1312	23,09
Juli	31	198	59,1312	21,18
August	31	228	59,1312	13,45
September	30	258	59,1312	2,22
Oktober	31	288	59,1312	-9,6
November	30	318	59,1312	-18,91
Desember	31	344	59,1312	-23,05

Solnedgang, vinkel fra sør (°)	Ho (joule/m <sup>2</sup> )	H (joule/m <sup>2</sup> )	$K_T$
50,25	3851808,632	1350000	0,3504847
67,37	9009736,512	3425000	0,3801443
85,95	17268473,8	8750000	0,50670373
106,1	27728910,75	15050000	0,54275482
124,7	36400915,74	17850000	0,49037228
135,49	40884249,38	21575000	0,52770933
130,42	38798437,69	20975000	0,54061455
113,6	31513427,82	15500000	0,49185382
93,71	21351692,9	10275000	0,48122648
73,56	11656737,52	4175000	0,35816196
55,03	5145761,846	1700000	0,33036896
44,62	2737062,032	875000	0,31968585

Solnedgang, vinkel fra sør (°)	Hd/H	Formel 1	Formel 2	Minimum av formel 1 og 2
<81,4	0,566949731	50,24509916	78,70406666	50,24509916
<81,4	0,526942863	67,37535782	83,23317545	67,37535782
>81,4	0,422715103	85,94568147	88,75912517	85,94568147
>81,4	0,389177342	106,0963969	94,87150158	94,87150158
>81,4	0,438440926	124,7165455	100,0460524	100,0460524
>81,4	0,402998525	135,4980348	102,6184242	102,6184242
>81,4	0,391129827	130,4075951	101,4519592	101,4519592
>81,4	0,436998576	113,5841051	97,03910172	97,03910172
>81,4	0,447418834	93,71840709	91,13820173	91,13820173
<81,4	0,555123802	73,56320544	85,02804009	73,56320544
<81,4	0,595033999	55,03308646	79,89002233	55,03308646
<81,4	0,611210982	44,61464078	77,40638867	44,61464078



Takhelning (°)	Kalkulering av Rb -->		Rb, forholdstall	Refleksjon	Ht (joule/m <sup>2</sup> )	Ht (MJ/m <sup>2</sup> )
32	0,49629681	0,09967339	4,979230951	0,2	3638692,368	3,63869237
32	0,68040838	0,23534932	2,891057389	0,2	6403854,02	6,40385402
32	0,8580616	0,45696747	1,877730173	0,2	13035569,58	13,0355696
32	0,99827556	0,74619462	1,33782197	0,2	17939244,59	17,9392446
32	1,08618427	1,00134951	1,084720426	0,2	18375856,5	18,3758565
32	1,11921166	1,12689693	0,993180146	0,2	21154406,83	21,1544068
32	1,10506833	1,07013647	1,032642435	0,2	21087294,58	21,0872946
32	1,03867963	0,85310884	1,21752299	0,2	17119123,19	17,1191232
32	0,91722036	0,56599547	1,620543648	0,2	13605156,79	13,6051568
32	0,74399599	0,30142721	2,468244259	0,2	6789410,279	6,78941028
32	0,54799413	0,13057339	4,19682849	0,2	3849809,403	3,8498094
32	0,436118	0,06989069	6,240001569	0,2	2630261,304	2,6302613

145,628679

## Vedlegg 7 – inndata i SIMIEN

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m <sup>2</sup> ]:	116	
Areal tak [m <sup>2</sup> ]:	71	
Areal gulv [m <sup>2</sup> ]:	79	
Areal vinduer og ytterdører [m <sup>2</sup> ]:	31	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m <sup>2</sup> ]:	144	
Oppvarmet luftvolum [m <sup>3</sup> ]:	336	
U-verdi yttervegger [W/m <sup>2</sup> K]	0,10	
U-verdi tak [W/m <sup>2</sup> K]	0,10	
U-verdi gulv [W/m <sup>2</sup> K]	0,07	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m <sup>2</sup> K]	0,73	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	21,1	
Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]	0,03	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m <sup>2</sup> K]	38	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0,60	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	80	

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	80,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m <sup>3</sup> /s]:	1,50	
Luftmengde i driftstiden [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	1,20	
Luftmengde utenfor driftstiden [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	1,20	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	2,26	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m <sup>2</sup> ]:	65	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,3	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m <sup>2</sup> ]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	16,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	16,0	
Driftstid belysning (timer)	16,0	
Driftstid utstyr (timer)	16,0	
Oppholdstid personer (timer)	24,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	1,95	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	1,95	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	3,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	1,80	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m <sup>2</sup> ]	3,40	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m <sup>2</sup> ]	1,50	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,16	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/utspring (N/Ø/S/V):	0,92/0,95/0,97/0,95	

Inndata klima		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Klimasted	Sandefjord (Torp)	
Breddegrad	59° 12'	
Lengdegrad	10° 15'	
Tidssone	GMT + 1	
Årsmiddeltemperatur	7,6 °C	
Midlere solstråling horisontal flate	111 W/m <sup>2</sup>	
Midlere vindhastighet	3,6 m/s	

Inndata energiforsyning	
Beskrivelse	Verdi
1a Direkte el.	Systemvirkningsgrad romoppv.: 0,89 Systemvirkningsgrad varmtvann: 1,00 Systemvirkningsgrad varmebatterier: 0,92 Kjølefaktor romkjøling: 2,50 Kjølefaktor kjølebatterier: 2,50 Energipris: 0,80 kr/kWh CO2-utslipp: 395 g/kWh Andel romoppvarming: 10,0% Andel oppv, tappevann: 44,0% Andel varmebatteri: 100,0 % Andel kjølebatteri: 100,0 % Andel romkjøling: 100,0 % Andel el, spesifikt: 100,0 %
1b El. til varmepumpesystem	Systemvirkningsgrad romoppv.: 5,20 Systemvirkningsgrad varmtvann: 2,60 Systemvirkningsgrad varmebatterier: 2,67 Kjølefaktor romkjøling: 2,50 Kjølefaktor kjølebatterier: 2,50 Energipris: 0,80 kr/kWh CO2-utslipp: 395 g/kWh Andel romoppvarming: 90,0% Andel oppv, tappevann: 0,0% Andel varmebatteri: 0,0 % Andel kjølebatteri: 0,0 % Andel romkjøling: 0,0 % Andel el, spesifikt: 0,0 %
1c El. til solfangersystem	Systemvirkningsgrad romoppv.: 33,84 Systemvirkningsgrad varmtvann: 12,00 Systemvirkningsgrad varmebatterier: 36,85 Kjølefaktor romkjøling: 2,50 Kjølefaktor kjølebatterier: 2,50 Energipris: 0,80 kr/kWh CO2-utslipp: 395 g/kWh Andel romoppvarming: 0,0% Andel oppv, tappevann: 56,0% Andel varmebatteri: 0,0 % Andel kjølebatteri: 0,0 % Andel romkjøling: 0,0 % Andel el, spesifikt: 0,0 %

Inndata solcellepanel	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Solcelle
Effektivt areal	16.3 m <sup>2</sup>
Retning (0=Nord, 180=Sør)	180 °
Takvinkel	32 °
Nominell virkningsgrad	0.20
Tapsfaktor panel	0.89
Tapsfaktor inverter	0.96
Eksporterer overskudd til nett	Nei
Horisont	N-NØ: 9 ° NØ-Ø: 18 ° Ø-SØ: 18 ° SØ-S: 18 ° S-SV: 18 ° SV-V: 18 ° V-NV: 18 ° NV-N: 9 °

Inndata ekspertverdier	
Beskrivelse	Verdi
Konvektiv andel varmetilskudd belysning	0,30
Konvektiv andel varmetilsk. teknisk utstyr	0,50
Konvektiv andel varmetilskudd personer	0,50
Konvektiv andel varmetilskudd sol	0,50
Konvektiv varmoverføringskoeff. vegger	2,50
Konvektiv varmoverføringskoeff. himling	2,00
Konvektiv varmoverføringskoeff. gulv	3,00
Bypassfaktor kjølebatteri	0,25
Innv. varmemotstand på vinduruter	0,13
Midlere lufthastighet romluft	0,15
Turbulensintensitet romluft	25,00
Avstand fra vindu	0,60
Termisk konduktivitet akk. sjikt [W/m <sup>2</sup> K]:	20,00

Inndata rom/sone	
Beskrivelse	Verdi
Oppvarmet gulvareal	144,3 m <sup>2</sup>
Oppvarmet luftvolum	336,0 m <sup>3</sup>
Normalisert kuldebroverdi	0,03 W/(m <sup>2</sup> K)
Varmekapasitet møbler/interiør	4,0 Wh/m <sup>2</sup> (Middels møblert rom)
Lekkasjetall (luftskifte v. 50pa)	0,60 ach
Skjerming i terrenget	Moderat skjerming
Fasadesituasjon	Flere eksponerte fasader
Driftsdager i Januar	31
Driftsdager i Februar	28
Driftsdager i Mars	31
Driftsdager i April	30
Driftsdager i Mai	31
Driftsdager i Juni	30
Driftsdager i Juli	31
Driftsdager i August	31
Driftsdager i September	30
Driftsdager i Oktober	31
Driftsdager i November	30
Driftsdager i Desember	31

Inndata fasade/yttervegg	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Fasade Nord (fasade)
Totalt areal	41,5 m <sup>2</sup>
Retning (0=Nord, 180=Sør)	0°
Innv. akkumulerende sjikt	Gipsplate 13mm Varmekapasitet 2,4 Wh/m <sup>2</sup> K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,10 W/m <sup>2</sup> K

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu, lite (Vindu(er) på Fasade Nord)
Antall vinduer	2
Høyde vindu(er)	0,60 m
Bredde vindu(er)	0,50 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 0,65 W/m <sup>2</sup> K Kuldebroverdi: 0,03 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 0,70 W/m <sup>2</sup> K
Variabel (regulerbar) solskjerming	Innvendige persienner 28 mm lameller, 2-lags rute, 1 energiglass Total solfaktor v, maks, skjerming: 0,38 Total solfaktor v, min, skjerming: 0,51
Automatisk regulert avskjerming	Ja, aktiveres ved 100,0 W solintensitet

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu, medium (Vindu(er) på Fasade Nord)
Antall vinduer	2
Høyde vindu(er)	1,30 m
Bredde vindu(er)	1,10 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 0,65 W/m <sup>2</sup> K Kuldebroverdi: 0,03 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 0,70 W/m <sup>2</sup> K
Variabel (regulerbar) solskjerming	Innvendige persienner 28 mm lameller, 2-lags rute, 1 energiglass Total solfaktor v, maks, skjerming: 0,38 Total solfaktor v, min, skjerming: 0,51
Automatisk regulert avskjerming	Ja, aktiveres ved 100,0 W solintensitet

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu, stort (Vindu(er) på Fasade Nord)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	0,60 m
Bredde vindu(er)	1,50 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 0,65 W/m <sup>2</sup> K Kuldebroverdi: 0,03 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 0,70 W/m <sup>2</sup> K
Variabel (regulerbar) solskjerming	Innvendige persienner 28 mm lameller, 2-lags rute, 1 energiglass Total solfaktor v, maks, skjerming: 0,38 Total solfaktor v, min, skjerming: 0,51
Automatisk regulert avskjerming	Ja, aktiveres ved 100,0 W solintensitet

Inndata fasade/yttervegg	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Fasade Øst (fasade)
Totalt areal	34,1 m <sup>2</sup>
Retning (0=Nord, 180=Sør)	90°
Innv. akkumulerende sjikt	Gipsplate 13mm Varmekapasitet 2,4 Wh/m <sup>2</sup> K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,10 W/m <sup>2</sup> K

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu, stort, 1. etg (Vindu(er) på Fasade Øst)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	0,60 m
Bredde vindu(er)	1,50 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 0,65 W/m <sup>2</sup> K Kuldebroverdi: 0,03 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 0,70 W/m <sup>2</sup> K
Variabel (regulerbar) solskjerming	Lyse utvendige persienner 80 mm lameller, 2-lags rute, 1 energiglass Total solfaktor v, maks, skjerming: 0,06 Total solfaktor v, min, skjerming: 0,51
Automatisk regulert avskjerming	Ja, aktiveres ved 100,0 W solintensitet

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu, lite, 1. etg (Vindu(er) på Fasade Øst)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	0,60 m
Bredde vindu(er)	0,50 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 0,65 W/m <sup>2</sup> K Kuldebroverdi: 0,03 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 0,70 W/m <sup>2</sup> K
Variabel (regulerbar) solskjerming	Lyse utvendige persienner 80 mm lameller, 2-lags rute, 1 energiglass Total solfaktor v, maks, skjerming: 0,06 Total solfaktor v, min, skjerming: 0,51
Automatisk regulert avskjerming	Ja, aktiveres ved 100,0 W solintensitet

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu, høyt, 1. etg (Vindu(er) på Fasade Øst)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	2,00 m
Bredde vindu(er)	0,40 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 0,65 W/m <sup>2</sup> K Kuldebroverdi: 0,03 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 0,70 W/m <sup>2</sup> K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,51

Inndata ytterdør	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Ytterdør (ytterdør)
Areal inkl. karm/ramme	2,1 m <sup>2</sup>
Dørtype	Superisolert dør Uverdi: 0,80 W/m <sup>2</sup> K

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu, stort, 2. etg (Vindu(er) på Fasade Øst)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	1,30 m
Bredde vindu(er)	1,10 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 0,65 W/m <sup>2</sup> K Kuldebroverdi: 0,03 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 0,60 W/m <sup>2</sup> K
Variabel (regulerbar) solskjerming	Lyse utvendige persienner, 80 mm lameller, 2-lags rute, solreflekterende glass Total solfaktor v, maks, skjerming: 0,04 Total solfaktor v, min, skjerming: 0,24
Automatisk regulert avskjerming	Ja, aktiveres ved 100,0 W solintensitet

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu, lite, 2. etg (Vindu(er) på Fasade Øst)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	1,30 m
Bredde vindu(er)	0,60 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 0,65 W/m <sup>2</sup> K Kuldebroverdi: 0,03 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 0,70 W/m <sup>2</sup> K
Variabel (regulerbar) solskjerming	Lyse utvendige persienner 80 mm lameller, 2-lags rute, 1 energiglass Total solfaktor v, maks, skjerming: 0,06 Total solfaktor v, min, skjerming: 0,51
Automatisk regulert avskjerming	Ja, aktiveres ved 100,0 W solintensitet

Inndata fasade/yttervegg	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Fasade Vest (fasade)
Totalt areal	34,1 m <sup>2</sup>
Retning (0=Nord, 180=Sør)	270°
Innv. akkumulerende sjikt	Gipsplate 13mm Varmekapasitet 2,4 Wh/m <sup>2</sup> K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,10 W/m <sup>2</sup> K

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu, 1. etg (Vindu(er) på Fasade Vest)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	1,80 m
Bredde vindu(er)	1,00 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 0,65 W/m <sup>2</sup> K Kuldebroverdi: 0,03 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 0,60 W/m <sup>2</sup> K
Variabel (regulerbar) solskjerming	Lyse utvendige persienner, 80 mm lameller, 2-lags rute, solreflekterende glass Total solfaktor v, maks, skjerming: 0,04 Total solfaktor v, min, skjerming: 0,24
Automatisk regulert avskjerming	Ja, aktiveres ved 100,0 W solintensitet

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu, 2. etg (Vindu(er) på Fasade Vest)
Antall vinduer	2
Høyde vindu(er)	1,30 m
Bredde vindu(er)	1,10 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 0,65 W/m <sup>2</sup> K Kuldebroverdi: 0,03 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 0,60 W/m <sup>2</sup> K
Variabel (regulerbar) solskjerming	Lyse utvendige persienner, 80 mm lameller, 2-lags rute, solreflekterende glass Total solfaktor v, maks, skjerming: 0,04 Total solfaktor v, min, skjerming: 0,24
Automatisk regulert avskjerming	Ja, aktiveres ved 100,0 W solintensitet

Inndata fasade/yttervegg	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Fasade Sør (fasade)
Totalt areal	37,0 m <sup>2</sup>
Retning (0=Nord, 180=Sør)	180°
Innv. akkumulerende sjikt	Gipsplate 13mm Varmekapasitet 2,4 Wh/m <sup>2</sup> K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,10 W/m <sup>2</sup> K
Utvendig absorptionskoeffisient	0,80

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu, lite, 1. etg (Vindu(er) på Fasade Sør)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	0,60 m
Bredde vindu(er)	0,50 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 0,65 W/m <sup>2</sup> K Kuldebroverdi: 0,03 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 0,60 W/m <sup>2</sup> K
Variabel (regulerbar) solskjerming	Lyse utvendige persiener, 80 mm lameller, 2-lags rute, solreflekterende glass Total solfaktor v, maks, skjerming: 0,04 Total solfaktor v, min, skjerming: 0,24
Automatisk regulert avskjerming	Ja, aktiveres ved 100,0 W solintensitet

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu, medium, 1. etg (Vindu(er) på Fasade Sør)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	0,60 m
Bredde vindu(er)	1,50 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 0,65 W/m <sup>2</sup> K Kuldebroverdi: 0,03 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 0,60 W/m <sup>2</sup> K
Variabel (regulerbar) solskjerming	Lyse utvendige persiener, 80 mm lameller, 2-lags rute, solreflekterende glass Total solfaktor v, maks, skjerming: 0,04 Total solfaktor v, min, skjerming: 0,24
Automatisk regulert avskjerming	Ja, aktiveres ved 100,0 W solintensitet

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu, stort, 1. etg (Vindu(er) på Fasade Sør)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	1,80 m
Bredde vindu(er)	2,00 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 0,65 W/m <sup>2</sup> K Kuldebroverdi: 0,03 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 0,60 W/m <sup>2</sup> K
Variabel (regulerbar) solskjerming	Lyse utvendige persiener, 80 mm lameller, 2-lags rute, solreflekterende glass Total solfaktor v, maks, skjerming: 0,04 Total solfaktor v, min, skjerming: 0,24
Automatisk regulert avskjerming	Ja, aktiveres ved 100,0 W solintensitet

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu v/ balkongdør (Vindu(er) på Fasade Sør)
Antall vinduer	2
Høyde vindu(er)	1,80 m
Bredde vindu(er)	0,90 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 0,65 W/m <sup>2</sup> K Kuldebroverdi: 0,03 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 0,60 W/m <sup>2</sup> K
Variabel (regulerbar) solskjerming	Innvendige persiener, 28 mm lameller, 2-lags rute, solreflekterende glass Total solfaktor v, maks, skjerming: 0,18 Total solfaktor v, min, skjerming: 0,24
Automatisk regulert avskjerming	Ja, aktiveres ved 100,0 W solintensitet

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Balkongdør (Vindu(er) på Fasade Sør)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	2,10 m
Bredde vindu(er)	1,00 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 0,65 W/m <sup>2</sup> K Kuldebroverdi: 0,03 W/mK
Vindustype	3-lags, 2 energispareglass, argongass Uverdi: 0,60 W/m <sup>2</sup> K
Konstant (fast) solskjerming	Tolags solreflekterende glass, (50 % lystransmisjon) Total solfaktor: 0,24

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu, side, 2. etg (Vindu(er) på Fasade Sør)
Antall vinduer	2
Høyde vindu(er)	1,80 m
Bredde vindu(er)	0,90 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 0,65 W/m <sup>2</sup> K Kuldebroverdi: 0,03 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 0,60 W/m <sup>2</sup> K
Variabel (regulerbar) solskjerming	Innvendige persiener, 28 mm lameller, 2-lags rute, solreflekterende glass Total solfaktor v, maks, skjerming: 0,18 Total solfaktor v, min, skjerming: 0,24
Automatisk regulert avskjerming	Ja, aktiveres ved 100,0 W solintensitet

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu, midt, 2. etg (Vindu(er) på Fasade Sør)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	1,80 m
Bredde vindu(er)	1,00 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 0,65 W/m <sup>2</sup> K Kuldebroverdi: 0,03 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 0,60 W/m <sup>2</sup> K
Variabel (regulerbar) solskjerming	Innvendige persiener, 28 mm lameller, 2-lags rute, solreflekterende glass Total solfaktor v, maks, skjerming: 0,18 Total solfaktor v, min, skjerming: 0,24
Automatisk regulert avskjerming	Ja, aktiveres ved 100,0 W solintensitet

Inndata gulv mot friluft/kryprom/grunn	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Gulv, 1. etg (gulv)
Oppvarmet gulvareal	78,9 m <sup>2</sup>
Gulvtype	Gulv på grunn
Utvendig omkrets	38,17 m
Tykkelse grunnmur	0,30 m
Grunnforhold	Sand/grus Varmekapasitet: 556 Wh/m <sup>3</sup> K Varmeledningsevne: 2,00 W/mK
Ekstra kantisolering	Nei
Innv. akk. sjikt gulv	Parkett (14 mm) + betong Varmekapasitet 41,0 Wh/m <sup>2</sup> K
Gulvkonstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,08 W/m <sup>2</sup> K

Inndata yttertak	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Tak, nord (yttertak)
Totalt areal	22,5 m <sup>2</sup>
Retning (0=Nord, 180=Sør)	0°
Takvinkel	32,0°
Innv. akkumulerende sjikt	Gipsplate 13 mm Varmekapasitet 2,4 Wh/m <sup>2</sup> K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,11 W/m <sup>2</sup> K



Inndata yttertak	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Tak, sør (yttertak)
Totalt areal	16,5 m <sup>2</sup>
Retning (0=Nord, 180=Sør)	180°
Takvinkel	32,0°
Innv. akkumulerende sjikt	Gipsplate 13 mm Varmekapasitet 2,4 Wh/m <sup>2</sup> K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,11 W/m <sup>2</sup> K
Utvendig absorpsjonskoeffisient	0,80

Inndata yttertak	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Tak, øst (yttertak)
Totalt areal	1,5 m <sup>2</sup>
Retning (0=Nord, 180=Sør)	90°
Takvinkel	32,0°
Innv. akkumulerende sjikt	Gipsplate 13 mm Varmekapasitet 2,4 Wh/m <sup>2</sup> K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,11 W/m <sup>2</sup> K

Inndata yttertak	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Tak, vest (yttertak)
Totalt areal	1,5 m <sup>2</sup>
Retning (0=Nord, 180=Sør)	270°
Takvinkel	32,0°
Innv. akkumulerende sjikt	Gipsplate 13 mm Varmekapasitet 2,4 Wh/m <sup>2</sup> K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,11 W/m <sup>2</sup> K

Inndata skillekonstruksjon	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Himling, 2. etg (skillekonstruksjon)
Totalt areal	28,9 m <sup>2</sup>
Konstruksjonstype	Tak
Innv. akkumulerende sjikt	Gipsplate 13 mm Varmekapasitet 2,4 Wh/m <sup>2</sup> K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,10 W/m <sup>2</sup> K
Vendt mot annen sone	Uoppvarmet loftsrom/ventilert kaldt loft Varmetapsfaktor: 0,93

Inndata skillekonstruksjon	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Gulv, 2. etg (skillekonstruksjon)
Totalt areal	64,1 m <sup>2</sup>
Konstruksjonstype	Gulv
Innv. akkumulerende sjikt	Gulvbelegg (4 mm) + 22 mm sponplate Varmekapasitet 7,5 Wh/m <sup>2</sup> K
Vendt mot annen sone	Sone med lik temperatur

Inndata skillekonstruksjon	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Himling, 1. etg (skillekonstruksjon)
Totalt areal	78,9 m <sup>2</sup>
Konstruksjonstype	Tak
Innv. akkumulerende sjikt	Gipsplate 13 mm Varmekapasitet 2,4 Wh/m <sup>2</sup> K
Vendt mot annen sone	Sone med lik temperatur

Inndata skillekonstruksjon	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Skillevegger (skillekonstruksjon)
Totalt areal	244,6 m <sup>2</sup>
Konstruksjonstype	Vegg
Innv. akkumulerende sjikt	Gipsplate 13mm Varmekapasitet 2,4 Wh/m <sup>2</sup> K
Vendt mot annen sone	Sone med lik temperatur

Inndata CAV	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Ventilasjon (CAV ventilasjon)
Ventilasjonstype	Balansert ventilasjon
Driftstid	16:00 timer drift pr døgn
Luftmengde	I driftstiden: tilluft = 1.2 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> , avtrekk = 1.2 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> Utenfor driftstiden: tilluft = 1.2 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> , avtrekk = 1.2 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> Helg/feriedag: tilluft = 1.2 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> , avtrekk = 1.2 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>
Tilluftstemperatur	18.0 °C
Varmebatteri	Ja Maks. kapasitet: 30 W/m <sup>2</sup>
Kjølebatteri	Nei
Varmegjenvinner	Ja, temperaturvirkningsgrad: 0.80
Vifter	Plassering tilluftsvifte: Etter gjenvinner Plassering avtrekksvifte: Etter gjenvinner
SFP-faktor vifter	1.50 kW/m <sup>3</sup> /s

Inndata belysning	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlast (internlaster, belysning)
Effekt/Varmetilskudd belysning	I driftstiden; Effekt: 2,0 W/m <sup>2</sup> ; Varmetilskudd: 100 % Utenfor driftstiden; Effekt: 0,0 W/m <sup>2</sup> ; Varmetilskudd: 100 % På helg/feriedager; Effekt: 0,0 W/m <sup>2</sup> ; Varmetilskudd: 100 % Antall timer drift pr døgn: 16:00

Inndata teknisk utstyr (internlast)	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlast (internlaster, teknisk utstyr)
Effekt/Varmetilskudd teknisk utstyr	I driftstiden; Effekt: 3,0 W/m <sup>2</sup> ; Varmetilskudd: 60 % Utenfor driftstiden; Effekt: 0,0 W/m <sup>2</sup> ; Varmetilskudd: 60 % På helg/feriedager; Effekt: 0,0 W/m <sup>2</sup> ; Varmetilskudd: 60 % Antall timer drift pr døgn: 16:00

Inndata teknisk utstyr (internlast)	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlast (internlaster, teknisk utstyr)
Effekt/Varmetilskudd teknisk utstyr	I driftstiden; Effekt: 3,0 W/m <sup>2</sup> ; Varmetilskudd: 60 % Utenfor driftstiden; Effekt: 0,0 W/m <sup>2</sup> ; Varmetilskudd: 60 % På helg/feriedager; Effekt: 0,0 W/m <sup>2</sup> ; Varmetilskudd: 60 % Antall timer drift pr døgn: 16:00

Inndata oppvarming av tappevann	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlast (internlaster, tappevann)
Tappevann	Driftsdag; Midlere effekt: 3,4 W/m <sup>2</sup> ; Varmetilskudd: 0 %; Vanndamp: 0,0 g/m <sup>2</sup> Helg/feriedag; Midlere effekt: 0,0 W/m <sup>2</sup> ; Varmetilskudd: 0 %; ; Vanndamp: 0,0 g/m <sup>2</sup>

Inndata varmetilskudd personer (internlast)	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlast (internlaster, varmetilskudd personer)
Varmetilskudd personer	I arbeidstiden: 1,5 W/m <sup>2</sup> Utenfor arbeidstiden: 0,0 W/m <sup>2</sup> Ferie/helgedager: 0,0 W/m <sup>2</sup> Antall arbeidstimer: 24:00

Inndata oppvarming	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Romoppvarming (oppvarming)
Settpunkttemperatur i driftstid	21,0 °C
Settpunkttemperatur utenfor driftstiden	19,0 °C
Maks. kapasitet	35 W/m <sup>2</sup>
Konvektiv andel oppvarming	1,00
Driftstid	16:00 timer drift pr døgn
Annen driftsstrategi i sommermåned	Fra Mai til September
Settpunkttemperatur i driftstiden (sommer)	19,0 °C
Settpunkttemperatur uten driftstiden (sommer)	16,0 °C
Driftstid sommermåned	16:00 timer drift pr døgn
Vannbårent oppvarmingsanlegg	Nei

Inndata vinduslufting	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vinduslufting Soverom (vinduslufting)
Åpningsstørrelse vinduer	Totalt areal: 1,43 m <sup>2</sup> Åpningshøyde: 1,30 m Antall like åpninger: 5
Driftstid	15:00
Måneder med vinduslufting	Fra Mai til September
Type vinduslufting	Lufting i driftstiden
Beskrivelsesmetode	Prosentvis i driftstiden Mai: 3 % Juni: 10 % Juli: 30 % August: 25 % September: 6 %

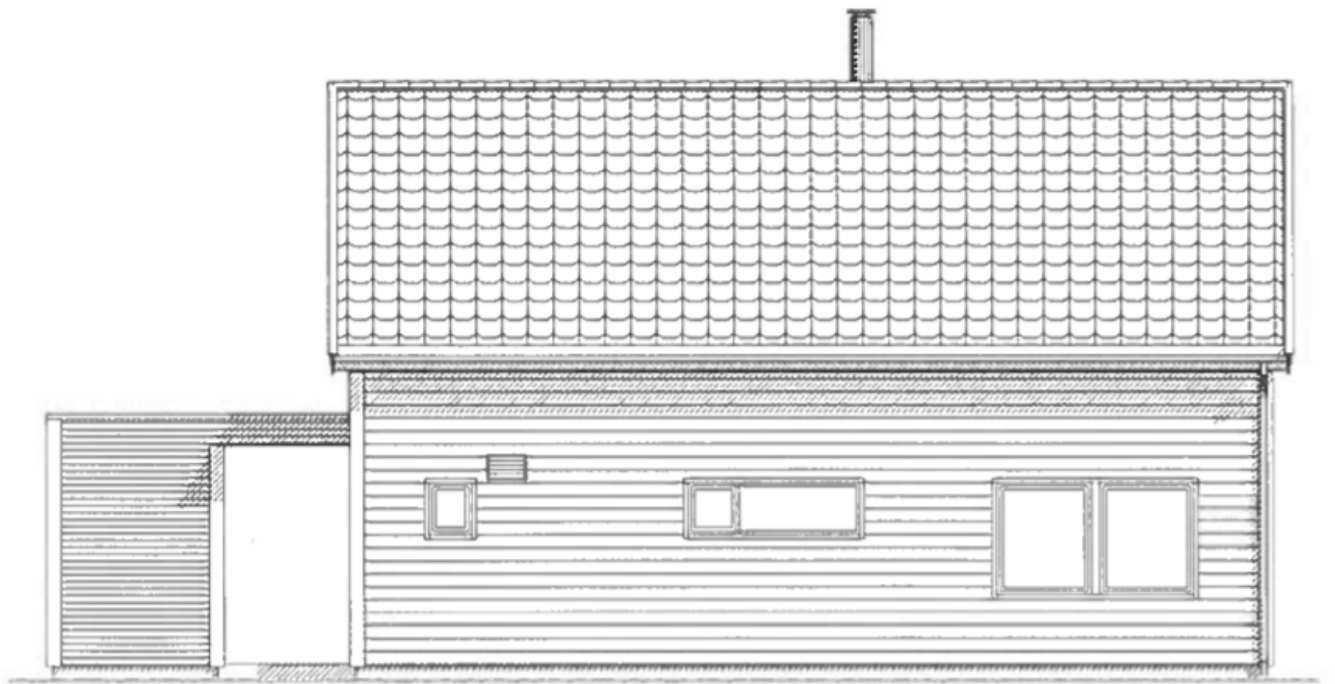
Inndata vinduslufting	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vinduslufting kjøkken/stue/bad (vinduslufting)
Åpningsstørrelse vinduer	Totalt areal: 1,20 m <sup>2</sup> Åpningshøyde: 0,60 m Antall like åpninger: 3
Driftstid	07:00
Måneder med vinduslufting	Fra Mai til September
Type vinduslufting	Lufting i driftstiden
Beskrivelsesmetode	Prosentvis i driftstiden Mai: 3 % Juni: 13 % Juli: 25 % August: 25 % September: 2 %

Inndata vinduslufting	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vinduslufting bad 2.etg (vinduslufting)
Åpningsstørrelse vinduer	Totalt areal: 0,78 m <sup>2</sup> Åpningshøyde: 1,30 m Antall like åpninger: 1
Driftstid	07:00
Måneder med vinduslufting	Fra Mai til September
Type vinduslufting	Lufting i driftstiden
Beskrivelsesmetode	Prosentvis i driftstiden Mai: 3 % Juni: 10 % Juli: 25 % August: 25 % September: 2 %

Inndata vinduslufting	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Lufting balkongdør (vinduslufting)
Åpningsstørrelse vinduer	Totalt areal: 2,10 m <sup>2</sup> Åpningshøyde: 1,00 m Antall like åpninger: 1
Driftstid	07:00
Måneder med vinduslufting	Fra Mai til September
Type vinduslufting	Lufting i driftstiden
Beskrivelsesmetode	Prosentvis i driftstiden Mai: 4 % Juni: 13 % Juli: 25 % August: 25 % September: 3 %



FASADE



FASADE



FASADE



FASADE







**Sans i utgangspunktet**

Rom	Etasje	Areal vegg og	Areal vegg (m	Areal vindu og	Areal gulv på	Areal tak mot
Stue	1	27,4	16,66	10,74	29,2	0
Kjøkken	1	16,1	13,7	2,4	11	0
Mediarom	1	19,34	16,48	2,86	14,6	0
Hall/trapp	1	5,4	2,5	2,9	14,7	0
Bod	1	10,54	10,24	0,3	4,5	0
Bad/vask	1	7,58	6,38	1,2	4,9	0
Soverom 1	2	6,936	5,506	1,43	0	7,73
Soverom 2	2	5,544	4,114	1,43	0	7,77
Soverom 3	2	7,92	6,49	1,43	0	7,77
Loftstue	2	6,392	1,532	4,86	0	1,43
Bod	2	0	0	0	0	5,36
Bad	2	6,936	6,156	0,78	0	7,73

**Sans etter omprosjektering**

Rom	Etasje	Areal vegg og	Areal vegg (m	Areal vindu og	Areal gulv på	Areal tak mot
Stue	1	27,4	16,66	10,74	29,2	0
Kjøkken	1	16,1	13,7	2,4	11	0
Mediarom	1	19,34	16,48	2,86	14,6	0
Hall/trapp	1	5,4	2,5	2,9	14,7	0
Bod	1	10,54	10,24	0,3	4,5	0
Bad/vask	1	7,58	6,38	1,2	4,9	0
Soverom 1	2	6,936	5,506	1,43	0	7,73
Soverom 2	2	5,544	4,114	1,43	0	7,77
Soverom 3	2	7,92	6,49	1,43	0	7,77
Loftstue	2	6,392	1,532	4,86	0	1,43
Bod	2	0	0	0	0	5,36
Bad	2	6,936	6,156	0,78	0	7,73

Areal himling	Areal kryploft	Temp. ute (°C	Temp. inne (°C	Δ temp. ute (°C	Δ temp. himli	Δ temp. kryploft
0	0	7,04	21	13,96	7,86	5,42
0	0	7,04	21	13,96	7,86	5,42
0	0	7,04	21	13,96	7,86	5,42
0	0	7,04	21	13,96	7,86	5,42
0	0	7,04	21	13,96	7,86	5,42
0	0	7,04	21	13,96	7,86	5,42
4,96	4,104	7,04	21	13,96	7,86	5,42
1,568	4,128	7,04	21	13,96	7,86	5,42
5,43	4,128	7,04	21	13,96	7,86	5,42
11,92	1,824	7,04	21	13,96	7,86	5,42
0,33	3,708	7,04	21	13,96	7,86	5,42
4,96	4,104	7,04	21	13,96	7,86	5,42

Areal himling	Areal kryploft	Temp. ute (°C	Temp. inne (°C	Δ temp. ute (°C	Δ temp. himli	Δ temp. kryploft
0	0	7,04	21	13,96	7,86	5,42
0	0	7,04	21	13,96	7,86	5,42
0	0	7,04	21	13,96	7,86	5,42
0	0	7,04	21	13,96	7,86	5,42
0	0	7,04	21	13,96	7,86	5,42
0	0	7,04	21	13,96	7,86	5,42
4,96	4,104	7,04	21	13,96	7,86	5,42
1,568	4,128	7,04	21	13,96	7,86	5,42
5,43	4,128	7,04	21	13,96	7,86	5,42
11,92	1,824	7,04	21	13,96	7,86	5,42
0,33	3,708	7,04	21	13,96	7,86	5,42
4,96	4,104	7,04	21	13,96	7,86	5,42

U-verdi vegg (	U-verdi vindu,	U-verdi gulv (	U-verdi tak (	U-verdi himlin	Q vegg (W)	Q vindu (W)
0,198	1	0,081	0,106	0,101	46,0495728	149,9304
0,198	1	0,081	0,106	0,101	37,867896	33,504
0,198	1	0,081	0,106	0,101	45,5520384	39,9256
0,198	1	0,081	0,106	0,101	6,9102	40,484
0,198	1	0,081	0,106	0,101	28,3041792	4,188
0,198	1	0,081	0,106	0,101	17,6348304	16,752
0,198	1	0,081	0,106	0,101	15,2190245	19,9628
0,198	1	0,081	0,106	0,101	11,3714251	19,9628
0,198	1	0,081	0,106	0,101	17,9388792	19,9628
0,198	1	0,081	0,106	0,101	4,23457056	67,8456
0,198	1	0,081	0,106	0,101	0	0
0,198	1	0,081	0,106	0,101	17,0156765	10,8888

U-verdi vegg (	U-verdi vindu,	U-verdi gulv (	U-verdi tak (	U-verdi himlin	Q vegg (W)	Q vindu (W)
0,09	0,73	0,07	0,106	0,101	20,931624	109,449192
0,09	0,73	0,07	0,106	0,101	17,21268	24,45792
0,09	0,73	0,07	0,106	0,101	20,705472	29,145688
0,09	0,73	0,07	0,106	0,101	3,141	29,55332
0,09	0,73	0,07	0,106	0,101	12,865536	3,05724
0,09	0,73	0,07	0,106	0,101	8,015832	12,22896
0,09	0,73	0,07	0,106	0,101	6,9177384	14,572844
0,09	0,73	0,07	0,106	0,101	5,1688296	14,572844
0,09	0,73	0,07	0,106	0,101	8,154036	14,572844
0,09	0,73	0,07	0,106	0,101	1,9248048	49,527288
0,09	0,73	0,07	0,106	0,101	0	0
0,09	0,73	0,07	0,106	0,101	7,7343984	7,948824

Q gulv (W)	Q tak (W)	Q himling (W)	Q kryploft (W)	Q total (W)
33,018192	0	0	0	228,9981648
12,43836	0	0	0	83,810256
16,509096	0	0	0	101,9867344
16,622172	0	0	0	64,016372
5,08842	0	0	0	37,5805992
5,540724	0	0	0	39,9275544
0	11,4385448	3,9375456	4,40424864	54,96216352
0	11,4977352	1,24477248	4,43000448	48,50673728
0	11,4977352	4,3106598	4,43000448	58,14007868
0	2,1160568	9,4628112	1,95744384	85,6164824
0	7,9315136	0,2619738	3,97927728	12,17276468
0	11,4385448	3,9375456	4,40424864	47,68481552
			Q total =	863,4027229

Q gulv (W)	Q tak (W)	Q himling (W)	Q kryploft (W)	Q total (W)
28,53424	0	0	0	158,915056
10,7492	0	0	0	52,4198
14,26712	0	0	0	64,11828
14,36484	0	0	0	47,05916
4,3974	0	0	0	20,320176
4,78828	0	0	0	25,033072
0	11,4385448	3,9375456	2,0019312	38,868604
0	11,4977352	1,24477248	2,0136384	34,49781968
0	11,4977352	4,3106598	2,0136384	40,5489134
0	2,1160568	9,4628112	0,8897472	63,920708
0	7,9315136	0,2619738	1,8087624	10,0022498
0	11,4385448	3,9375456	2,0019312	33,061244
			Q total	588,7650829

## LG NORDIC PRESTIGE PLUS - Tekniske data

Produktet inneholder fluorholdige klimagasser (F-gass)

Inomhusenhet				F09NAK	F12NAK
Kapasitet	Avkjøling	Min/Nom/Maks	kW	0,3 / 2,5 / 3,8	0,3 / 3,5 / 4,0
	Varme	Min/Nom/Maks	kW	0,3 / 3,2 / 6,6	0,3 / 4,0 / 7,0
	Varme -7°C	Maks	kW	4,5	4,9
	Varme -15°C	Maks	kW	3,8	4,4
Effekt	Avkjøling	Nom	kW	0,463	0,78
	Varme	Nom	kW	0,57	0,755
EER				5,4	4,5
COP				5,61	5,3
SEER				9,1	8,9
SCOP				5,2	5,1
Pdesign (@-10°C)			kW	3,2	4
Energiklasse	Avkjøling/Varme			A+++/A+++	A+++/A+++
Årlig energiforbruk	Avkjøling/Varme		kWh	96/862	138/1098
Luftstrøm	Varme	Høy/Middels/Lav	m <sup>3</sup> /min	16,5 / 12,5 / 9,5	16,5 / 12,5 / 9,5
Lydtrykknivå	Avkjøling/värme	Høy/Middels/Lav	dBA	38 / 33 / 25	39 / 33 / 25
Lydeffektnivå	Avkjøling	Maks	dBA	57	57
Avfukting			l/h	1,5	1,7
Størrelse		BxHxD	mm	875x295x235	875x295x235
Vekt			kg	11,5	11,5

Uteenhet				F09NAK	F12NAK
Kompressor	Typ			Twin Rotary	Twin Rotary
Lydtrykknivå	Avkjøling	Nom	dBA	45	45
	Varme	Nom	dBA	45	45
Lydeffektnivå	Avkjøling	Maks	dBA	65	65
Størrelse	BxHxD		mm	770x545x288	770x545x288
Vekt			kg	35	35
Kjølemiddel	Typ			R410A	R410A
	Fyllning		kg	1,15	1,15
Strømforsyning			ø/V/Hz	1 / 220-240 / 50	1 / 220-240 / 50
Avsikring			A	10	10
Driftsområde	Avkjøling	Min~Maks	°C	-10 ~ 48	-10 ~ 48
	Varme	Min~Maks	°C	-25 ~ 24	-25 ~ 24

Måned	$F_r U_1$	F`r/Fr	Tref (°C)	Ta (°C)	N	Sekunder per L (joule)	
Januar		4	0,97	100	-1,16	31	86400 1046677838
Februar		4	0,97	100	-1,1	28	86400 964619461
Mars		4	0,97	100	1,44	31	86400 1037529184
April		4	0,97	100	5,59	30	86400 1009905898
Mai		4	0,97	100	10,52	31	86400 1029878671
Juni		4	0,97	100	14,13	30	86400 999133721
Juli		4	0,97	100	16,58	31	86400 1010415237
August		4	0,97	100	16,03	31	86400 1017185114
September		4	0,97	100	12,19	30	86400 992551909
Oktober		4	0,97	100	7,22	31	86400 1018774188
November		4	0,97	100	3,18	30	86400 999621786
Desember		4	0,97	100	-0,21	31	86400 1033829301

Måned	$F_r(\tau\alpha)_n$	F`r/Fr	$(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$	Ht (joule/m <sup>2</sup> )	N	Ac (m <sup>2</sup> )	L (joule)
Januar	0,77	0,77	0,97	0,96	3638692,37	31	6,4 1046677838
Februar	0,77	0,77	0,97	0,96	6403854,02	28	6,4 964619461
Mars	0,77	0,77	0,97	0,96	13035569,6	31	6,4 1037529184
April	0,77	0,77	0,97	0,96	17939244,6	30	6,4 1009905898
Mai	0,77	0,77	0,97	0,96	18375856,5	31	6,4 1029878671
Juni	0,77	0,77	0,97	0,96	21154406,8	30	6,4 999133721
Juli	0,77	0,77	0,97	0,96	21087294,6	31	6,4 1010415237
August	0,77	0,77	0,97	0,96	17119123,2	31	6,4 1017185114
September	0,77	0,77	0,97	0,96	13605156,8	30	6,4 992551909
Oktober	0,77	0,77	0,97	0,96	6789410,28	31	6,4 1018774188
November	0,77	0,77	0,97	0,96	3849809,4	30	6,4 999621786
Desember	0,77	0,77	0,97	0,96	2630261,3	31	6,4 1033829301

Måned	f	$0 \leq f \leq 1$	L (GJ)	fL (GJ)
Januar	-0,013	0	1,047	0,000
Februar	0,246	0,24633224	0,965	0,238
Mars	0,709	0,70869403	1,038	0,735
April	0,909	0,90944898	1,010	0,918
Mai	0,943	0,94259199	1,030	0,971
Juni	1,020	1	0,999	0,999
Juli	1,026	1	1,010	1,010
August	0,931	0,93053416	1,017	0,947
September	0,780	0,77967253	0,993	0,774
Oktober	0,319	0,31909835	1,019	0,325
November	0,017	0,01685662	1,000	0,017
Desember	-0,130	0	1,034	0,000
Sum=		0,57110241	12,1601223	6,9340002

X	$x_{cf1}$	X	$x_{cf2}$	X	Måned	Cp (J/kg*C)
6,4281045	1,15470054	7,42253572	1,32138395	9,80801954	Januar	4186
6,29620137	1,15470054	7,27022711	1,35897132	9,8800301	Februar	4186
6,31811475	1,15470054	7,2955305	1,37336851	10,0194518	Mars	4186
6,0170523	1,15470054	6,94789352	1,37264273	9,53697553	April	4186
5,77865873	1,15470054	6,67262035	1,36358516	9,09868608	Mai	4186
5,53177546	1,15470054	6,3875441	1,36832887	8,74026099	Juni	4186
5,49107574	1,15470054	6,34054812	1,38665068	8,79212538	Juli	4186
5,49049238	1,15470054	6,33987451	1,34679528	8,53851309	August	4186
5,69426199	1,15470054	6,57516738	1,34539574	8,84620219	September	4186
6,05708365	1,15470054	6,99411775	1,35599914	9,48401764	Oktober	4186
6,23413299	1,15470054	7,19855672	1,35635612	9,76380649	November	4186
6,44687666	1,15470054	7,44421195	1,35043608	10,0529324	Desember	4186

Y	Måned	Up (J/kg*C)
0,49454711	Januar	205
0,85301585	Februar	205
1,78733126	Mars	205
2,44544649	April	205
2,53826457	Mai	205
2,91482279	Juni	205
2,96890525	Juli	205
2,39418046	August	205
1,88705798	September	205
0,94804615	Oktober	205
0,53019843	November	205
0,3619307	Desember	205

Måned	Beredertap (j)
Januar	240000000
Februar	240000000
Mars	240000000
April	240000000
Mai	240000000
Juni	240000000
Juli	240000000
August	240000000
September	240000000
Oktober	240000000
November	240000000
Desember	240000000



Hw (liter)	Tw (°C)	Tm (°C)	Tw-Tm (°C)	Ta (°C)	N	Solfangertap (joule)
91,98	75	75	8	67	-1,16	31 799703738
91,98	75	75	9	66	-1,1	28 711532261
91,98	75	75	10	65	1,44	31 775831984
91,98	75	75	11	64	5,59	30 739254298
91,98	75	75	12	63	10,52	31 751960231
91,98	75	75	13	62	14,13	30 716152601
91,98	75	75	14	61	16,58	31 728088477
91,98	75	75	13	62	16,03	31 740024354
91,98	75	75	12	63	12,19	30 727703449
91,98	75	75	11	64	7,22	31 763896108
91,98	75	75	10	65	3,18	30 750805146
91,98	75	75	9	66	-0,21	31 787767861

Rørlengde (m)	Tw (°C)	Ta (°C)	N	Solskinnstime	Solskinnstime	Rørtap (joule)
15	75	75	19	31	40,5	1,30645161 6974100
15	75	75	19	28	76	2,71428571 13087200
15	75	75	19	31	126	4,06451613 21697200
15	75	75	19	30	178	5,93333333 30651600
15	75	75	19	31	220,2	7,10322581 37918440
15	75	75	19	30	249,6	8,32 42981120
15	75	75	19	31	245,8	7,92903226 42326760
15	75	75	19	31	215,8	6,96129032 37160760
15	75	75	19	30	144,3	4,81 24848460
15	75	75	19	31	86,4	2,78709677 14878080
15	75	75	19	30	51,2	1,70666667 8816640
15	75	75	19	31	35,2	1,13548387 6061440

oule)	Måned	Total varmelast L (joule)
	Januar	1046677838
	Februar	964619461
	Mars	1037529184
	April	1009905898
	Mai	1029878671
	Juni	999133721
	Juli	1010415237
	August	1017185114
	September	992551909
	Oktober	1018774188
	November	999621786
	Desember	1033829301