



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2018 30 stp**

Fakultet for realfag og teknologi

Petter H. Heyerdahl

# **Sesonglagring av solvarme i kombinasjon med varmepumpe for bolig**

Seasonal storage of solar heat in combination with  
heat pump for residence

**Gunnar Norås**

Miljøfysikk

Fakultet for realfag og teknologi



## Forord

Denne masteroppgaven er gjennomført som siste del av studieretningen Miljøfysikk ved Institutt for teknologi og realfag ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Jeg startet på miljøfysikk med ønske om å drive med energiløsninger i bygg, og med denne masteroppgaven fikk jeg lov til akkurat det.

Takk til hovedveileder Petter H. Heyerdahl som gav meg muligheten til å skrive om dette prosjektet, og gav meg god hjelp gjennom hele masterkjøret. Han har et smittende engasjement og har vist meg et veldig spennende fagfelt gjennom denne masteroppgaven. Jeg vil også takke biveilederen min, Wilhelm Huus-Hansen for motivasjon og presise og gode svar underveis.

Ås, 11. mai 2018

.....

Gunnar Norås



## Sammendrag

Det er et økende sosialt og politisk press for å redusere klimautslipp. Reduserte klimautslipp fra boliger er et viktig bidrag til en klimavennlig politikk. Solveien 5 på Nesbru er en stor eldre bolig som i hovedsak bruker oljekjel og vedovn til oppvarming. Innen 2020 må oljekjelen fjernes på grunn av forbud mot bruk av mineralolje til oppvarming av boliger. Et godt alternativ til oljefyring er sesonglagring av solvarme. Dette er et miljøvennlig alternativ som kan dekke opp til 75% av energibehovet til boligen. I kombinasjon med en varmepumpe og solcellemoduler vil denne energiløsningen kunne dekke hele varmebehovet til boligen. Varmepumpa vil driftes når det er behov for det, spesielt når effekttoppene om vinteren er store. Varmepumpa plasseres utendørs og kjøres med propan som kjølemedium. Dette vil gi en høy «Coefficient of performance» på 5, og har lav «Global Warming Potential» på 3.

Boligen har en god lokasjon for denne type løsning. Den ligger på en høyde med lite skyggelegging fra nærliggende objekter og et tak som egner seg godt til solfangere. Det er alltid usikkerhet knyttet til boring av brønnpark, med tanke på varmetap. For denne boligen er risikoen for grunnvann liten, men mengden løsmasse varierer i området. Dette er faktorer som påvirker varmetapet i en brønnpark.

Boligen har 168 m<sup>2</sup> tilgjengelig areal på taket til solfangere og en parkflate på 80 m<sup>2</sup> som er egnet til en brønnpark. Solfangerne på taket vil kunne levere energi til lagring i brønnparken, eller direkte til boligen. PV-modulene vil bli plassert på taket over terrassen som er på 34 m<sup>2</sup>. Disse vil kunne dekke energiforbruket til anlegget i driftsperioden mars til oktober. På denne måten vil boligen være mindre avhengig av elektrisitet fra kraftnettet.

Nettonåverdianalyse av seks forskjellige alternativer av løsningen viser at prosjektet er en god investering, selv uten støtte fra statseide Enova. Det alternativet av de seks alternativene som er vurdert som best gir en nyttbar energi fra solfangerne på 52 MWh, en lagringskapasitet i brønnparken på 37 MWh og 4000 kWh energi fra PV-modulene. Alternativet har en investeringskostnad på 957 000 kr og en nettonåverdi på om lag 22 000 kr, uten støtte fra Enova.

Prosjektet tilbyr en miljøvennlig og økonomisk gunstig løsning for denne boligen. Det er en løsning som passer bra for store boliger med et stort varmebehov, og for boliger som blir nødt til å fjerne oljekjelene sine.



## Abstract

There is a socio-political push for more climate friendly solutions such as renewable residence heating. Solveien 5 at Nesbru is a large older residence depending mainly on oil and wood stoves for heating. By 2020, the use of oil for heating residences will be illegal. Though, good alternatives exist such as seasonal storage of solar heating. Solar heating is an environmentally friendly alternative that can cover up to 75% of the energy requirement in a residence. Combined with a heat pump and photovoltaic(PV) modules, this energy solution will cover the resident's entire heating requirement. The heat pump will be operated only when needed, expected to be during the power peaks in the winter. The heat pump will be placed outdoors and will be powered by propane. This will give the heat pump a high coefficient of performance and low Global Warming Potential.

The property is located on a hill with little shadow from nearby objects and a roof that is suitable for solar collectors, thus being an ideal location for solar heating. The chance of reaching groundwater when drilling is small, but the length of soil in the ground is uncertain. These are factors that affect the heat loss of boreholes.

The property has 168 m<sup>2</sup> of available space on the roof for solar collectors and a park area of 80 m<sup>2</sup> suitable for boreholes. The solar collectors will be able to supply energy for storage in the boreholes, or directly to the house. The PV modules will be placed on the roof above the 34m<sup>2</sup> terrace. These will cover the energy system's electricity need during the operating period March to October. This way the home will be less dependent on electricity from the power grid.

Net present value analysis of six different alternative project solutions demonstrate that it is a good investment, even without Enova's subsidies. The best solution provides 52 MWh from the solar collectors, a storage capacity of 37 MWh in the boreholes, and 4000 kWh from the PV modules.

The project offers an environmentally friendly and economically beneficial solution for Solveien 5. Furthermore, it is a suitable option for other large homes with high energy consumption for heating, and for homes currently dependent on oil-based solutions.

## Innhold

Figurer .....	x
Tabeller.....	x
Symbolliste .....	xi
1. Innledning.....	2
2. Teori.....	3
2.1 Termodynamikk.....	3
2.1.1 Varme .....	3
2.1.2 Konveksjon .....	3
2.1.3 Konduksjon .....	3
2.1.4 Stråling.....	3
2.1.5 Varmekapasitet .....	4
2.1.6 Termisk diffusivitet .....	4
2.2 Solenergi.....	4
2.2.1 Solinnstråling .....	4
2.2.2 Utnyttelse av solenergi.....	4
2.2.3 Solinnstråling i Norge .....	5
2.2.4 Solvinkler .....	5
2.2.5 Skyggelegging .....	6
2.2.6 Solfangere.....	6
2.2.7 Solcellemoduler .....	8
2.3 Geotermisk energi .....	9
2.3.1 Grunn og dyp geotermisk energi.....	9
2.3.2Energibrønner .....	9
2.3.3 Varmetap i energibrønner .....	10
2.3.4 Termisk responstest .....	11
2.4 Varmepumpe.....	12
2.4.1 Grunnleggende om varmpumpe .....	12
2.4.2 Valg av varmpumpe.....	13
2.5 Varmebehov i bolig.....	14
2.6 Varmetapsberegning for bolig.....	14
2.7 Økonomi .....	15
2.7.1 Strømpris .....	15
2.7.2 Nettonåverdi .....	16
3. Metode .....	17
3.1 Boligen .....	17



3.1.1 Boligen .....	17
3.1.2 Klima i Asker .....	17
3.1.3 Geologiske forhold .....	17
3.1.4 Energiforbruk i boligen .....	18
3.2 Værdata .....	20
3.3 Varmebehovet til boligen .....	20
3.4 Varmepumpeløsning .....	21
3.5 Formål med brønnpark.....	23
3.6 Dimensjonering av brønnpark.....	24
3.7 Faser i brønnparken .....	24
3.8 Energitransport fra og til brønnpark .....	25
3.9 Solfangerløsning .....	25
3.10 Solcelleløsning .....	26
3.11 Endringer i boligen .....	27
3.12 Økonomisk støtte .....	28
4 Resultat.....	29
4.1 Solenergi.....	29
4.1.1 Solfangere.....	29
4.1.2 Solceller .....	29
4.2 Brønnpark.....	30
4.3 Løsningsforslag på systemet.....	31
4.4 Økonomi .....	31
4.4.1 Investeringskostnader .....	31
4.4.2 Nettonåverdi .....	32
5 Diskusjon .....	33
5.1 Usikkerhet knyttet til brønnparken.....	33
5.2 Solenergi.....	33
5.3 Svømmebasseng for sommerhalvåret .....	34
5.4 Energiforbruk i 2017 .....	34
5.5 Veien videre.....	35
6 Konklusjon .....	37
7 Referanser .....	I
8 Vedlegg.....	V
8.1 Meteorologiske data for Ås i 2004 .....	V
8.2 U-verdi beregninger .....	VI
8.3 Nettonåverdiberegninger.....	VI

8.4 Foreslått varmepumpe og akkumulatortank til systemet.....	X
---	---

## Figurer

Figur 1: Høyde- og azimuthvinkel. (Adaramola, S., u.d.).....	6
Figur 2: Illustrasjon av en flatplate solfanger. (Quaschnig, V., 2004) .....	7
Figur 3: Virkningsgraden for flatplate solfangere som funksjon av temperaturdifferansen mellom gjennomsnittlig temperatur i absorbatoren og omgivelsene. (Quaschnig, V., 2004).....	8
Figur 4: Illustrasjon av hoveddelene i en varmepumpe. (Free Energy, u.d.) .....	12
Figur 5: COP til en varmepumpe og en omvendt Carnotsyklus (Teoretisk COP) som funksjon av temperaturdifferansen mellom reservoarene. (Stene, J., 2000) .....	13
Figur 6: Berggrunnskart av Solveien på Nesbru, eiendommen er markert i rødt (NGU, u.d.). .....	18
Figur 7: Graf over energiforbruket til boligen per måned i 2017 med antatt oljeforbruk. ....	19
Figur 8: Graf over gjennomsnittlig utetemperatur i Ås i 2004. (Kroken, S., 2009).....	20
Figur 9: Skisse av systemet uten solcellemoduler. ....	22
Figur 10: Virkningsgrad til plate solfangere som funksjon av temperaturdifferanse. Driftsområde er vist i svart omriss (Quaschnig, V., 2004). ....	23
Figur 11: Skisse av systemet med to temperaturer i brønnparken.....	25
Figur 12: Graf over innstrålt energi per måned for de gitte azimuthvinklene. ....	26
Figur 13: Flyfoto av Solveien 5, planlagt solfanger- og solcellemodulflate er markert (Gule Sider, u.d.). ....	27
Figur 14: Nyttbar og innstrålt energi per måned for boligen med solfangere på hele taket.....	29
Figur 15: Månedlig nyttbar elektrisk energi fra solcellemodulene. ....	30
Figur 16: Beregnet varmebehov og nyttbar energi fra solfangerne for hver måned.....	30
Figur 17: Energiforbruk for året 2017 og for prosjektet.....	35

## Tabeller

Tabell 1: Termiske egenskaper til forskjellige bergarter og løsmasser. (Eppelbaum, L., Kutasov, I., Pilchin, A., 2014. Cabeza, L., 2015).....	10
Tabell 2: Antatt oljeforbruk for boligen for hver måned.....	19
Tabell 3: Dimensjoner på hoveddeler av huset.....	21
Tabell 4: Årlig varmebehov for boligen og varmetapet forårsaket av hoveddeler på huset. ....	21
Tabell 5: Fordeler og ulemper for propan som kjølemedium (NTH, Sintef, 1990, AGA, u.d.). ....	22
Tabell 6: Dimensjoner for størst mulige brønnpark med brønner på 40 m.....	24
Tabell 7: Støtte gitt av Enova for hver av komponentene (Enova, u.d.). ....	28
Tabell 8: Forslag til systemløsning.....	31
Tabell 9: Investeringskostnad for hver komponent (Huus-Hansen, W., 2018). ....	31
Tabell 10: Total investeringskostnad for hvert forslag uten støtte.....	32
Tabell 11: Nettonåverdi for hvert forslag uten støtte.....	32
Tabell 12: To forslag til løsning med forskjellig antall brønner. ....	33
Tabell 13: Innstrålt energi for forskjellige solvinkler. ....	34

## Symbolliste

Symbol	Enhet	Forklaring
A	m <sup>2</sup>	Tverrsnitt
A <sub>s</sub>	m <sup>2</sup>	Overflate
A <sub>sol</sub>	m <sup>2</sup>	Aktivt areal
c	Wh/m <sup>3</sup> K	Luftens varmekapasitet
<b>COP<sub>VP</sub></b>		“Coefficient of performance” til varmepumper
C <sub>p</sub>	J/KgK	Spesifikk varmekapasitet
C <sub>v</sub>	J/m <sup>3</sup> K	Volumetrisk varmekapasitet
d	m	Materialsjiktets tykkelse
E <sub>VP</sub>	kWh	Årlig elektrisk forbruk
G	W/m <sup>2</sup>	Innstrålt energi
h	W/m <sup>2</sup> K	Konveksjonskoeffisient
H	m	Høyde
k	W/mK	Varmeledningsevne
K <sub>t</sub>	NOK	Kontantstrøm
m	kg	Masse
n	år	Levetid
n	ganger/time	Boligens luftskifte
NNV	NOK	Nettonåverdi
p <sub>t</sub>	W	Teoretisk effektbehov
P <sub>el</sub>	W/m <sup>2</sup>	Elektrisk effekt
q <sub>k</sub>	J	Varme avgitt i kondensator
q <sub>per</sub>	W/m <sup>2</sup>	Spesifikt gjennomsnittlig varmetilskudd personer
q <sub>uts</sub>	W/m <sup>2</sup>	Spesifikt gjennomsnittlig varmetilskudd utstyr
Q	kWh	Termisk energi
Q <sub>nyttbar</sub>	kWh	Energi avgitt av solfangeren
Q <sub>tap</sub>	kWh	Varmetap gjennom ytterflater
Q <sub>tilskudd</sub>	kWh	Varmetilskudd
$\dot{Q}_{tap}$	W	Varmetap i brønn
$\dot{Q}_{kond}$	W	Varmestrøm konduksjon
$\dot{Q}_{konv}$	W	Varmestrøm konveksjon
$\dot{Q}_{strål}$	W	Varmestrøm stråling
R	m <sup>2</sup> K/W	Varmemotstand
R <sub>D</sub>		Diskonteringsrente
r	m	Radius
SPF		Årsvarmefaktor
t		Tid
T	K	Temperatur
T <sub>a</sub>	K	Omgivelsestemperatur
T <sub>lager</sub>	K	Gjennomsnittstemperatur i brønnpark
T <sub>s</sub>	K	Overflatetemperatur
T <sub>∞</sub>	K	Upåvirket temperatur
U	W/m <sup>2</sup> K	Varmegjennomgangskoeffisienten

$U_0$	NOK	Investeringsutgift
$V$	$m^3$	Volum
$w$	J	Tilført arbeid
$\alpha$	$m^2/s$	Termisk diffusivitet
$\beta$	$^\circ$	Høydevinkel
$\lambda$	W/mK	Materialets dimensjonerende varmeledningsevne
$\gamma$	$^\circ$	Azimuthvinkel
$\Delta T$	K	Temperaturdifferanse
$\Delta x$	m	Avstand
$\varepsilon$		Emissivitet
$\eta_0$		Initial virkningsgrad
$\eta_{sc}$		Solcellemodulens virkningsgrad
$\eta_{sf}$		Solfangerens virkningsgrad
$\rho$	$kg/m^3$	Tetthet
$\sigma$	$W/m^2K^4$	Stefan-Boltzman konstant



## 1. Innledning

I 2017 innførte Stortinget forbud mot bruk av mineralolje til oppvarming av bygninger. Dette vil tre i kraft fra og med 2020. Dette er et av flere tiltak som blir gjort for å nå lavutslippssamfunnet. Alle de 100 000 oljekjelene og 75 000 parafinkaminene som finnes i Norge i dag må erstattes med andre bedre og fornybare alternativer (Miljødirektoratet, 2015).

Dette forbudet vil påvirke boligen i Solveien 5 på Nesbru. Dette er en stor bolig på om lag 300 m<sup>2</sup> bruksareal. Boligen bruker i dag primært oljekjel og vedovn til oppvarming. Det blir brukt relativt mye energi på oppvarming på grunn av stort oppvarmingsareal, store luftskiftninger, relativt lite isolasjon i veggene og stort vindusareal. Eierne av boligen har et ønske om en økonomisk konkurransedyktig energiløsning med lite vedlikehold.

Bruk av solenergi er på vei opp og investeringskostnaden går ned, spesielt for solceller. Solceller er en fornybar og bærekraftig energiløsning, men begrenses av dårlige lagringsmuligheter. Dermed må energien brukes med en gang, eller leveres til el-nettet. Det kan være problematisk for et el-nett som er konstruert for å levere energi, ikke motta energi.

Et lite utprøvd konsept, som også er på vei opp her i Norge er sesonglagring av solvarme. Ved å ha solfangere i kombinasjon med et termisk varmelager kan en dekke varmebehovet til en bolig med solenergi hele året. Brønnenparken lades opp i sommerhalvåret og leverer den lagrede energien når den trengs mest – om vinteren. Dette kan dekke opp til 75 % av energiforbruket til en bolig (Norsk Solenergiforening, 2018). Det elektriske forbruket om vinteren gjør det vanskelig å dekke 100% av energiforbruket. Solcellemodulene vil ikke klare å dekke dette elektriske forbruket alene.

Det termiske varmelageret skal holde lave temperaturer, med en temperatur inn til boligen på 40-45 °C. Dette vil bidra til mindre varmetap til omgivelsene på grunn av lavere temperaturdifferanse. Dermed vil en ha mer nyttbar energi til å ta ut når vinteren kommer.

Sesonglagring av solvarme kan kombineres med en varmepumpe for å dekke effekttoppene i energiforbruket til en bolig på en rimeligere måte enn ved bruk av elektrisitet. I tillegg vil varmepumpa ha gode driftsforhold ved sesonglagring.

Denne energiløsningen er et godt alternativ for den store boligen i Solveien 5. Tomta har god plass til en brønnenpark og stort takareal som egner seg godt for høsting av solenergi.

Denne oppgaven vil ta for seg de viktigste faktorene for denne energiløsningen på et idé-nivå.

Temaene som vil være i fokus er:

- Energiforbruk og varmebehov i boligen
- Dimensjonering og plassering av solenergianlegget og brønnenparken
- Lønnsomheten til prosjektet

## 2. Teori

### 2.1 Termodynamikk

#### 2.1.1 Varme

Varme er definert som energi som transporteres fra et system med en gitt temperatur til et annet system med lavere temperatur. Energitransporten skjer på grunn av temperaturdifferansen mellom de to systemene.

Energitransporten skjer ved konveksjon, konduksjon og stråling.

#### 2.1.2 Konveksjon

Konveksjon er varmetransport som oppstår når et medium med en gitt temperatur strømmer i nærheten av, eller i kontakt med et annet stoff med en annen temperatur. For eksempel ved at en kald vind blåser over en bygning og kjøler den ned.

Konveksjon defineres som:

$$\dot{Q}_{konv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (1)$$

Der  $\dot{Q}_{konv}$  er varmestrømmen ved konveksjon,  $h$  er en konveksjonskoeffisient,  $A_s$  er overflatearealet der konveksjonen skjer,  $T_s$  er temperaturen til overflatearealet og  $T_\infty$  er temperaturen til den delen av mediet som ikke er påvirket av varmetransporten.

#### 2.1.3 Konduksjon

Konduksjon er varmetransport på partikkelnivå. Varmen transporteres forskjellig etter hvilken form stoffet har. I væske- og gassform skjer dette ved diffusjon og kollisjon mellom molekylene. I faste stoff skjer det ved vibrasjoner mellom atomene.

Konduksjon defineres som:

$$\dot{Q}_{kond} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2)$$

Der  $\dot{Q}_{kond}$  er varmestrømmen ved konduksjon,  $k$  er varmeledningsevnen til stoffet,  $A$  er tverrsnittet som er vinkelrett på varmestrømretningen,  $\Delta T$  er temperaturdifferansen og  $\Delta x$  mellom de to temperaturene. Minustegnet viser til at varmestrømmen går fra høy temperatur til lav temperatur.

#### 2.1.4 Stråling

Stråling er varmetransport i form av elektromagnetisk stråling. Dersom et medium har en temperatur over det absolutte nullpunktet vil det gi fra seg varme gjennom stråling.

Stråling defineres som:

$$\dot{Q}_{strål} = \epsilon\sigma A_s T_s^4 \quad (3)$$



Der  $\dot{Q}_{strål}$  er varmestrømmen ved stråling,  $\varepsilon$  er emissiviteten til mediet,  $\sigma$  er Stefan-Boltzmann konstant,  $A_s$  og  $T_s$  er temperaturen til overflaten.

Emissivitet er forholdet mellom emittert stråling fra mediet og den strålingen et svart legeme emitterer ved samme temperatur. Emissivitet har en verdi mellom 0 og 1, der 1 er verdien et sort legeme har. Et sort legeme vil emittere maksimal stråling i forhold til temperaturen (Twidell, J. & Weir, T., 2006). For en solfanger er det ønskelig med høy absorpsjon og lav emissivitet.

### 2.1.5 Varmekapasitet

Spesifikk varmekapasitet kan forklares som energien som skal til for å øke temperaturen til et material med en masse på 1 kg med 1 kelvin. Vann har en spesifikk varmekapasitet på 4,18 kJ/kgK, det vil si at en må tilføre 4,18 kJ til vannet for å øke temperaturen på vannet med 1 kelvin. Den spesifikke varmekapasiteten avhenger litt av trykk og temperatur.

### 2.1.6 Termisk diffusivitet

Termisk diffusivitet er et mål på hvor kjapt temperaturforskjeller sprer seg i et material, fra den varme siden til den kalde siden. Termisk diffusivitet blir målt i  $m^2/s$ . Det er spesifikt for hvert material.

Termisk diffusivitet er definert som:

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p} \quad (4)$$

Der  $\alpha$  er den termiske diffusiviteten til materialet,  $k$  er varmeledningsevnen til materialet,  $\rho$  er tettheten til materialet og  $c_p$  er spesifikk varmekapasiteten til materialet.

## 2.2 Solenergi

### 2.2.1 Solinnstråling

Solinnstråling er stråling fra sola som treffer atmosfæren. Avstanden mellom sola og jorda varierer med 1,7% på grunn av jordas bane, noe som påvirker innstrålingen. Solarkonstanten brukes ved beregning av solinnstråling, og er 1367 W/m<sup>2</sup>. Strålingen som treffer jordoverflaten er en del lavere enn den som treffer atmosfæren. 30 % av solinnstrålingen blir reflektert tilbake til rommet og 20 % blir absorbert av molekyler i atmosfæren (Twidell, J. & Weir, T., 2006).

Solstrålingen som blir utnyttet av solfangere er direkte og diffus stråling, der diffus stråling er stråling som har blitt spredt av molekyler og skyer gjennom atmosfæren.

### 2.2.2 Utnyttelse av solenergi

Solinnstråling kan utnyttes både passivt og aktivt. Passivt ved oppvarming av for eksempel boliger gjennom direkte solstråling. Det kan aktivt utnyttes ved bruk av solfangere til å varme opp vann som kan brukes til oppvarming av rom og tappevann, eller ved bruk av solceller til å produsere strøm.

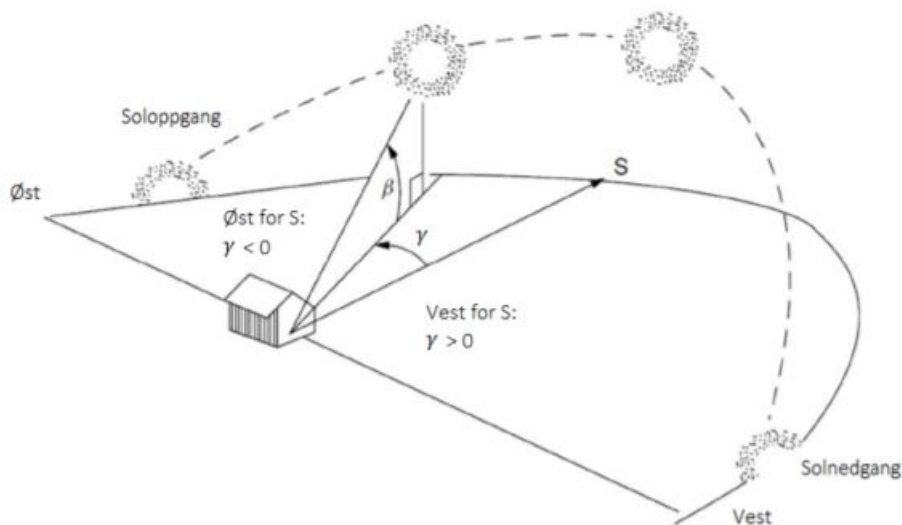
For innhenting av data og prosjektering av solfanger- og solcelleanlegg kan programmer som *PVgis* og *PVsyst* bli tatt i bruk, i denne oppgaven vil *PVgis* bli brukt. *PVgis* er et nettbasert program som kan gi estimater på klimatiske parametere og månedlig og daglig innstrålt effekt for de aller fleste stedene i verden. Innstrålingsdataene blir beregnet ved hjelp av satellittbilder. Parametere som må være kjent er lokasjonen, helningen og azimuthvinkelen til solfangerne og/eller solcellemodulene (*PVgis*, 2017). Programmene er i utgangspunktet bare for prosjektering av solcelleanlegg. Derfor er det bare dataen for innstrålingen fra sola og optimal vinkling som er relevante for prosjektering av et solfangeranlegg.

### 2.2.3 Solinnstråling i Norge

Norge er ikke blant de landene med mest solinnstråling i verden. Solinnstrålingen i Norge påvirkes av den høye breddegraden, da avstanden til sola er lenger. Den høyest målte solinnstrålingen i verden ligger på rundt 2200 kWh/m<sup>2</sup> per år, mens Norges solinnstråling på en horisontal flate ligger mellom 700-1000 kWh/m<sup>2</sup> per år. Et nytt bygg i Norge har et energibehov på 95-225 kWh per oppvarmet areal per år (Norsk Solenergiforening, 2018). Det vil si at solinnstrålingen i Norge er mye høyere enn energibehovet, og er mer enn nok dersom en kan utnytte energien når den trengs mest og med høy nok virkningsgrad. Det er store variasjoner i solinnstrålingen i Norge gjennom året. Innstrålingen er høyest mellom mai og juli, og lavest i desember og januar. Når solinnstrålingen er lavest, er energibehovet størst.

### 2.2.4 Solvinkler

Når solstrålingen treffer jordoverflaten brukes vinkler for å bestemme hvor sola er på himmelen i forhold til sin posisjon. Dette kan brukes til å bestemme hvor stor andel av solinnstrålingen som faktisk treffer f. eks en solfanger. Vinklene som brukes vises i figur 1. Solas posisjon kan beskrives ved hjelp av azimuthvinkelen,  $\gamma$ , og solhøydevinkelen,  $\alpha$ . Azimuthvinkelen er den horisontale vinkelen til sola i forhold til sør. Sør er lik 0°, og nord er lik 180°. Vest er definert som positiv retning, mellom 0° og 180°, og øst er negativ retning mellom 0° og -180°. Solhøydevinkelen er vinkelen mellom horisonten og sola, mellom 0° og 90°.



Figur 1: Høyde- og azimuthvinkel. (Adaramola, S., u.d.)

Solhøyden varierer med tiden og med hvor på jorda en er. Jo nærmere ekvator en er, jo flatere kan en montere for eksempel solfangeren og få optimale forhold. Her i Akershus vil en vinkel på rundt  $40^\circ$  være optimal siden vi er så langt nord. Dermed vil optimale forhold for en solfanger i Akershus være med en solhøydevinkel rundt  $40^\circ$  og en azimuthvinkel på  $0^\circ$ . En vil alltid prøve å plassere solanlegget så rett sør som mulig.

### 2.2.5 Skyggelegging

Skyggelegging er et viktig tema både for solfangerer og solcellepaneler. For solcellepaneler kan skyggelegging av en solcelle ødelegge for effektproduksjonen i en hel streng av solceller. For solfangerer betyr det at varmeproduksjonen blir lavere, men det vil ikke påvirke de delene av solfangeren som ikke er skyggelagt på noen spesiell måte.

Skyggelegging oppstår ved at blader, støv, snø og lignende legger seg direkte på solfangeren, eller på grunn av plasseringen til solfangeren. Det er derfor viktig å plassere solfangeren mest mulig mot sør, og med minst mulig trær, hus og andre skyggeobjekt som kan blokkere for solinnstrålingen.

### 2.2.6 Solfangere

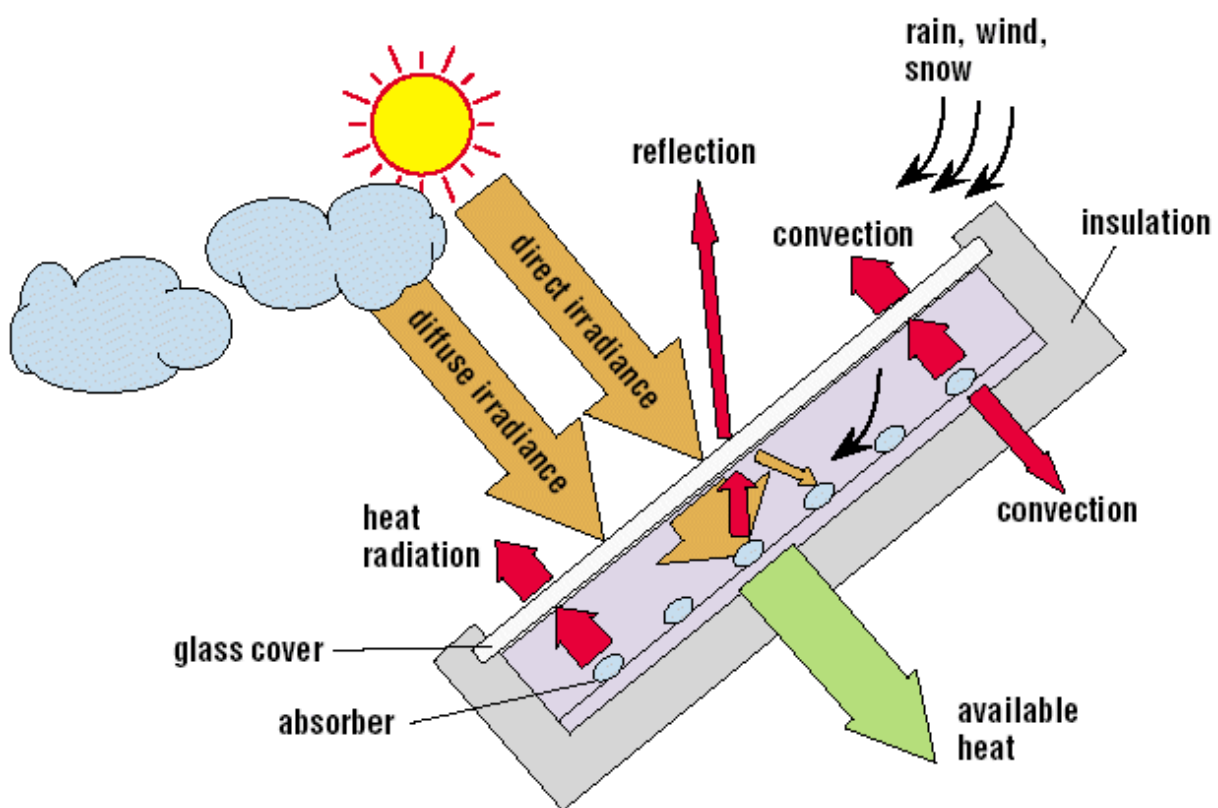
#### 2.2.6.1 Teori om solfangerer

Solfangere gjør strålingsenergien fra sola om til varme ved hjelp av væske som strømmer gjennom solfangeren. Væsken absorberer varmen som deretter brukes til oppvarming av bygninger og varmt vann. Dette kan gjøres direkte fra solfangeren, eller at vannet først lagres i et termisk varmelager.

Et solfangersystem kan kjøres enten som et trykksatt system, eller et trykkløst system. I et trykksatt system vil mediet være en blanding av vann og frostvæske. Frostvæsken som vanligvis brukes er glykol. Dette blir brukt for å unngå at mediet fryser i systemet og ødelegger komponentene, dermed minskes vedlikeholdskostnadene (Yogi Goswami, D., 2015). I et trykkløst system brukes rent vann som medium. I stedet for å bruke frostvæske, tappes solfangeren for vann dersom temperaturen enten er for lav eller for høy for å unngå frysing og koking av vannet. Tappingen gjøres ved hjelp av

tyngdekraften. Vannet tappes også dersom temperaturen i solfangeren er for lav til å øke temperaturen i lageret (Norsk Solenergiforening, 2018).

Figur 2 er en skisse av en flatplatesolfanger. De viktigste komponentene i en solfanger er absorbatoren, dekklaget og isolasjonen. Absorbatoren er vanligvis laget av plast, aluminium eller kobber. I et trykksatt system vil den være av aluminium eller kobber for å tåle høye temperaturer. Materialet er sort for å absorbere mest mulig varme og dermed øke effektiviteten til solfangeren. Emissiviteten til materialet vil være tilnærmet lik 1 dersom det er sort. Man ønsker så lav emissivitet som mulig for å unngå varmetap fra strålingen. Rundt absorbatoren ligger isolasjonen og dekklaget. Disse skal minske varmetapet til omgivelsene som kommer av konveksjon. I tillegg beskytter dekklaget absorbatoren mot støv, nedbør og lignende. Dekklaget er av glass eller plast. Det slipper inn kortbølget stråling fra sola, og holder på den langbølgete strålingen fra absorbatoren. Innimellom isolasjonen ligger det rør som transporterer energibæreren inn og ut av solfangeren. Det er viktig at røret har god termisk kontakt for å ta opp mest mulig av energien.

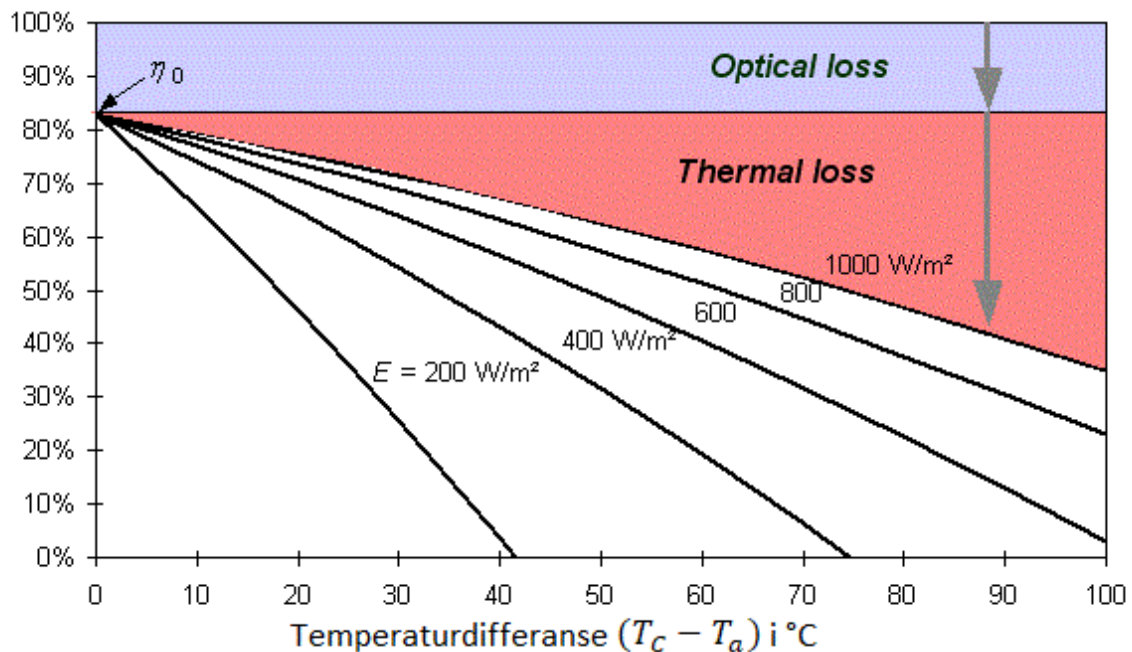


Figur 2: Illustrasjon av en flatplate solfanger. (Quaschnig, V., 2004)

#### 2.2.6.2 Virkningsgraden til solfangere

Virkningsgraden for solfangere påvirkes av innstrålt effekt, temperaturforskjeller, refleksjon av solinnstråling og varmeutveksling med omgivelsene. I figur 3 nedenfor vises gjennomsnittlig virkningsgraden til 30 forskjellige flatplate solfangere, som er den mest brukte typen solfangere per i dag. Hver kurve i plottet representerer en verdi for innstrålt effekt. Y-aksen er virkningsgraden for solfangeren og x-aksen er temperaturforskjellen mellom absorbatoren i solfangeren,  $T_c$ , og omgivelsene rundt,  $T_a$ .  $\eta_0$  er initial virkningsgraden til solfangerne. Grafen viser at lavere temperaturdifferanse gir høyere virkningsgrad for solfangerne. Høy innstrålt effekt gir høy

virkningsgrad over et større spekter enn lav innstrålt effekt. De optiske tapene som er refleksjon er konstante, men de termiske tapene til omgivelsene øker med temperaturdifferansen.



Figur 3: Virkningsgraden for flatplate solfangere som funksjon av temperaturdifferansen mellom gjennomsnittlig temperatur i absorbatoren og omgivelsene. (Quaschnig, V., 2004)

Virkningsgraden er gitt som

$$\eta_{sf} = \frac{Q_{nyttbar}}{GA_{sol}} \quad (5)$$

Der  $\eta_{sf}$  er virkningsgraden for solfangeren,  $Q_{nyttbar}$  er solenergi som treffer solfangeren,  $G$  er innstrålt effekt fra sola og  $A_{sol}$  er det aktive arealet til solfangeren.

### 2.2.7 Solcellemoduler

En solcellemodul er en modul med flere solceller montert på, som er seriekoblet sammen. Solcellemoduler er koblet i parallell og omformer energi akkurat som solfangere, men istedenfor varme blir det omgjort til elektrisk energi. Dette blir gjort ved hjelp av den fotovoltaiske effekten, derfor kalles modulene også for PV-moduler. Effekten oppstår ved at elektromagnetisk stråling fra sola treffer en solcelle. Solceller er vanligvis laget av silisium, og når strålingen treffer silisiumet løsner elektroner i stoffet, og på grunn av et elektrisk felt i solcellen dannes det en ladningsseparasjon som skiller de positive fra de negative ladningene. Denne separasjonen danner en elektromagnetisk spenning som driver en strøm som kan utnyttes i en ekstern elektrisk krets (J. Twidell, T. Weir).

Virkningsgraden for solceller er lavere enn for solfangere. Kommersielle solceller har en virkningsgrad på mellom 15 - 20% (UngEnergi.no, 2018). Virkningsgraden kan beregnes ved formel 6

$$\eta_{sc} = \frac{P_{el}}{GA_{sol}} \quad (6)$$

Der  $\eta_{sc}$  er virkningsgraden til PV-modulen,  $P_{el}$  er elektrisk effekt,  $G$  er innstrålt energi fra sola og  $A_{sol}$  er det aktive arealet til PV-modulene.

## 2.3 Geotermisk energi

### 2.3.1 Grunn og dyp geotermisk energi

Geotermisk energi er energi som ligger i bakken. Energien kan tas opp og utnytte som varme. Geotermisk energi kan deles opp i to deler, grunn geotermisk og dyp geotermisk energi. Dyp geotermisk energi dannes av radioaktiv nedbryting av grunnstoffer som forekommer i bergartene. Energien blir hentet fra 300 meter og nedover (NGU, 2015).

Grunn geotermisk energi kommer hovedsakelig fra sola, i form av lagret solvarme. Temperaturen i bakken er stabil og er i gjennomsnitt varmere enn årlig gjennomsnittlig lufttemperatur i Norge. I Oslo-området ligger fjelltemperaturen på rundt 7 °C. Mellom 10 – 20 meter under overflaten blir ikke temperaturen påvirket av årlige variasjoner, og etter 20 meter øker temperaturen med 1 K per 35 meter (Lee, K. S., 2013). Dette gjør det til et godt alternativ for lagring av varme. Energien tas enten ut ved hjelp av luft, vann eller frostvæske som energibærere.

Ved lagring av varme i fjell er det ønskelig at varmetransporten i fjellet er lav. For å oppnå dette må den termiske diffusiviteten til fjellet være lav og varmekapasiteten høy.

### 2.3.2 Energibrønner

En energibrønn er et borehull med en kollektor som henter ut termisk energi fra grunnen, og/ eller lagrer termisk energi i grunnen. Den vanligste typen energibrønn er indirekte varmeopptak. Da vil varmemediet være i en lukket krets i kollektoren. Kollektoren er den viktigste komponenten i en energibrønn. Det er et rør som fører energibæreren ned i brønnen og holder den adskilt fra vannet og fjellet som skal varmes opp. U-rør kollektor og koaksial kollektor er de to vanligste kollektorene (NTNU, 2002).

U-rør kollektoren er et rør som er formet som en U. For at kollektoren skal være mest mulig effektiv er det viktig med god avstand mellom innstrømmingen og utstrømmingen av energibæreren for å unngå termisk kortslutning. U-rør kollektoren er den rimeligste og enkleste typen kollektor.

Koaksial kollektoren består av et stort ytterør med et mindre rør i midten. Det minste røret returnerer energibæreren. Derfor må dette røret isoleres godt for å minske varmeveksling mellom energibæreren på vei inn og ut av brønnen (Gehlin, S., 2002).

Effektuttaket i en energibrønn varierer mye, og avhenger av typen bergart, bakketemperatur og grunnvannsforhold på stedet. Tommelfingerregel brukt for dimensjonering av brønnparker er et effektuttak på 40 W per meter energibrønn (Sintef, 2011).

### 2.3.3 Varmetap i energibrønner

Varmetapet i energibrønner kommer blant annet av temperaturredifferansen mellom lageret og omkringliggende jord. Varme vil alltid flytte seg fra høy temperatur til lavere temperatur, dermed vil varme gå i fra lageret til omkringliggende jord så sant jorda har en lavere temperatur.

Varmetapet kan beskrives ved Fourier's lov:

$$\dot{Q} = \frac{kA(T_{lager} - T_{omgivelse})}{\Delta x} \quad (7)$$

Der  $\dot{Q}$  er varmetapet,  $k$  er varmeledningsevnen til jorda,  $A$  er overflatearealet  $T_{lager}$  er gjennomsnittstemperaturen på lageret,  $T_{omgivelse}$  er gjennomsnittstemperaturen på omkringliggende jord og  $\Delta x$  er avstanden mellom gjennomsnittstemperaturen i lageret til omkringliggende jord.

Energibrønner deles opp i to temperaturnivåer, lavtemperaturlager mellom 0-40°C, og høytemperaturlager mellom 40-80°C. Lavtemperaturlager har mindre varmetap enn høytemperaturlager på grunn av lavere temperaturgradient til omkringliggende jord.

En kan minske varmetapene ved å bygge brønnparken på sylindrerform eller sfæreform. Denne formen vil gi en mindre omkrets enn for en firkantet brønnpark med samme areal. Mindre kontakt til nærliggende jord som har en lavere temperatur vil gi mindre varmetap.

Omkringliggende jord kan bestå av ulike bergarter og løsmasser med forskjellige termiske egenskaper. I tabell 1 nedenfor, vises relevante termiske egenskaper som termisk varmeledningsevne, volumetrisk varmekapasitet og termisk diffusivitet for forskjellige jordtyper.

	Termisk varmeledningsevne [W/mK]	Volumetrisk varmekapasitet [kWh/m <sup>3</sup> K]	Termisk diffusivitet [mm <sup>2</sup> /s]
<b>Bergarter</b>			
Kalkstein	1,5 – 3,0	0,53 – 0,67	0,80 – 1,2
Sandstein	2,0 – 6,5	0,56 – 0,58	1,0 – 3,1
Gneis	2,5 – 4,5	0,58 – 0,72	1,2 – 1,7
Granitt	3,0 – 4,0	0,44 – 0,86	1,3 – 1,9
Leirskifer	1,5 – 3,5	0,64	0,65 – 1,5
Mergelstein	1,8	0,611 – 0,623	0,99 -1,4
Kvartsitt	5,5 – 7,5	0,53 – 0,75	2,8
<b>Løsmasser</b>			
Grus	0,7 – 1,7	0,33	0,58 – 1,4
Sand	0,7 – 2,5	0,33	0,58 – 2,1
Silt	0,9 – 1,7	0,36	0,69 – 1,3
Leire	0,5 – 1,7	0,36	0,38 – 1,3

Tabell 1: Termiske egenskaper til forskjellige bergarter og løsmasser. (Eppelbaum, L., Kutasov, I., Pilchin, A., 2014. Cabeza, L., 2015)

Det er ønskelig å ha lavest mulig termisk diffusivitet, høy varmekapasitet og lav termisk varmeledningsevne. Dersom det er store grunnvannsstrømninger i området vil varmetransport i form av konveksjon øke, noe som er ugunstig for et varmelager. For et system med bare bergvarmepumpe som bare tar ut energi fra bakken er det gunstig. Da vil en kunne unngå frysing i brønnen.

For hver oppladingsperiode vil temperaturen i bakken rundt øke, så lenge varmetilførselen til lageret er høyere enn varmeuttaket. Dermed vil det bli mer varmetap til omkringliggende jord de neste

periodene på grunn av høyere temperaturredifferanse (Nordell, B., 1994). Omkringliggende jord vil bli oppvarmet og fungere som isolasjon for brønnen. Lav temperaturgradient gir mindre varmetap som igjen gir høyere gjenvinningsgrad på brønnen.

Det er viktig å ikke underdimensjonere energibrønnene. Ved underdimensjonering kan bakken fryse ved for høye energiuttak. Dersom bakken er fryser må det tilføres mye energi for at bakken skal tine. På grunn av latent varme ved faseovergang.

#### 2.3.4 Termisk responstest

En termisk responstest er et nyttig verktøy for riktig dimensjonering av en brønnpark. Det aller viktigste ved dimensjonering av en brønnpark er å ikke underdimensjonere den. Ved underdimensjonering av brønner kan en risikere at brønnen fryser og dermed vil virkningsgraden på systemet synke. Boring av brønner er kostbart og det kan derfor være lønnsomt å gjøre en termisk responstest før en bestemmer seg for å bygge brønnpark.

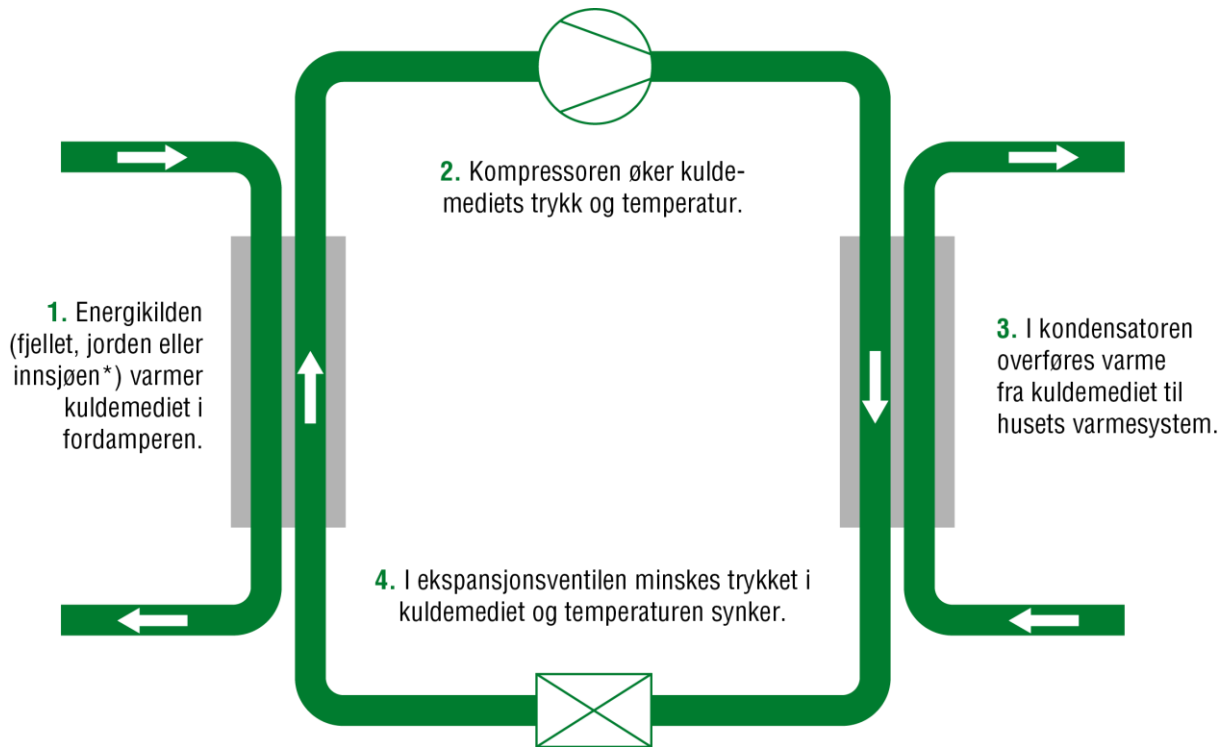
Testen utføres ved å bore en testbrønn hvor brønnparken er planlagt å plasseres. Igjennom testbrønnen sendes det en oppvarmet væske for å måle den urørte temperaturen og temperaturen over tid i brønnen og omkringliggende fjell. Testen kan ta alt fra 12 til 250 timer, men vil gi gode verdier på viktige parametere som termisk konduktivitet, termisk motstand og termisk varmekapasitet (Energy Rent as, u.d.).



## 2.4 Varmepumpe

### 2.4.1 Grunnleggende om varmepumpe

Oppgaven til en varmepumpe er å levere energi fra et kaldt reservoar til et varmt reservoar ved hjelp av arbeid. Det finnes mange typer varmepumper, for eksempel luft-til-luft-varmepumpe, luft-til-vann-varmepumpe og bergvarmepumpe. I denne oppgaven blir det sett nærmere på bergvarmepumpe.



Figur 4: Illustrasjon av hoveddelene i en varmepumpe. (Free Energy, u.d.)

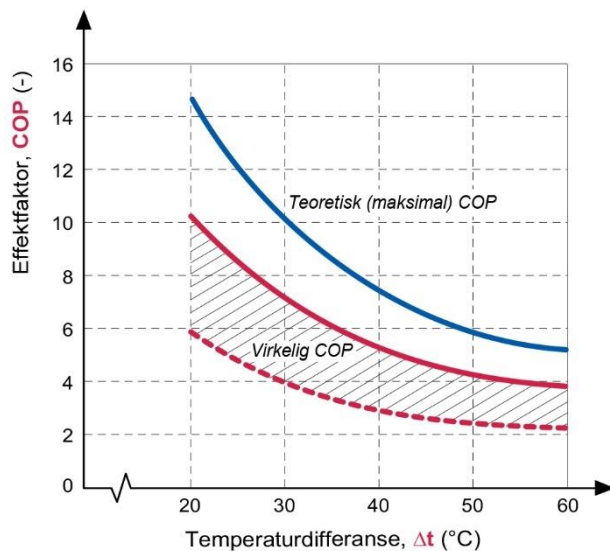
Oppbygningen til en varmepumpe vises i figur 4, den består av fire hoveddeler, fordamperen, kondensatoren, kompressoren og ekspansjonsventilen. Fordamperen og kondensatoren er varmevekslerne i varmepumpen. Fordamperen bruker temperaturforskjellen mellom det kalde reservoaret, som i dette tilfellet er vann i fra borehullene, og kjølemediet til å fordampe kjølemediet og avgi varmen til det. Hvor stor andel av mediet som er gass blir målt i gasskvalitet,  $x$ . Gasskvaliteten er et tall imellom 0 og 1, der 1 er mettet damp og 0 er mettet væske. Deretter går kjølemediet igjennom en kompressor som øker trykket til gassen. Ifra kompressoren går gassen videre til kondensatoren, hvor temperaturforskjellen mellom det varme reservoaret og kjølemediet i varmepumpen blir brukt til å kondensere mediet til mettet væske og avgi latent varme til det varme reservoaret som for eksempel kan være en bolig.

Effekten til en varmepumpe forklares ofte ved hjelp av  $COP$ , «Coefficient of Performance». Den sier hvor godt tilført energi blir utnyttet i forhold til tilført arbeid.  $COP$  blir definert som

$$COP_{VP} = \frac{q_K}{w} \quad (8)$$

Der  $COP_{VP}$  er  $COP$  til en gitt varmepumpe,  $q_K$  er varme avgitt i kondensatoren og  $w$  er tilført arbeid.  $COP$  er en momentanverdi som kan variere mye over et år på grunn av temperaturforskjeller i det

kalde reservoaret, som vist i figur 5. Dette er en av fordelene med en bergvarmepumpe, der fjellet har en relativt stabil temperatur gjennom hele året. Ved å holde temperaturen ut av kondensatoren lav kan man få en veldig høy COP.



Figur 5: COP til en varmepumpe og en omvendt carnotsyklus (Teoretisk COP) som funksjon av temperaturdifferansen mellom reservoarene. (Stene, J., 2000)

På grunn av vær og klima kan det derfor være nyttig å se på årsvarmefaktoren til varmepumpe, SPF (Seasonal Performance Factor). Årsvarmefaktoren er forholdet mellom hvor mye elektrisk energi varmepumpa bruker og hvor mye varme varmepumpa leverer. SPF er gitt som

$$SPF = \frac{Q_{VP}}{E_{VP}} \quad (9)$$

Der  $Q_{VP}$  er årlig varme levert av varmepumpa og  $E_{VP}$  er årlig elektrisk energiforbruk til varmepumpa.

En utfordring med bergvarmepumper er at dersom borehullet er underdimensjonert og det blir tatt opp mer energi enn det blir tilført. Da vil bakketemperaturen synke og varmepumpen sin COP vil synke gradvis.

#### 2.4.2 Valg av varmepumpe

For å velge varmepumpe er det viktig å vite hvor stort effektbehovet er, og om varmepumpen skal dimensjoneres til å dekke hele effektbehovet. For å dimensjonere en varmepumpe riktig brukes dimensjonerende utetemperatur, DUT. DUT beregnes ut fra de tre kaldeste dagene i året der varmepumpa skal stå (Stene, J., Brånås, M., 2004). For en bergvarmepumpe vil denne utetemperaturen være temperaturen i varmelageret, ettersom dette er det kalde reservoaret til varmepumpa.

Det er viktig å ta hensyn til varmetap i boligen, U-verdier til tak, vinduer og dører. Her går mye varme tapt og vil påvirke energiforbruket til boligen, og varmepumpa må dimensjoneres deretter.

## 2.5 Varmebehov i bolig

På grunn av de lave energiprisene i Norge er energiforbruket per innbygger i Norge mye høyere enn resten av verden. I 2013 hadde vi et elektrisk forbruk på omlag 120 TWh, der 41 TWh gikk til husholdning og jordbruk. Av disse 41 TWh blir om lag 60% brukt til oppvarming av bolig. (SSB, 2018)

Varmebehovet til en bolig består av romoppvarming og tappevann, der romoppvarmingen er den mest varierende og energikrevende. Energibehovet med tanke på romoppvarming påvirkes av både ytre og indre faktorer som fungerer som både varmetap og varmetilskudd til boligen. Varmetapet avhenger av ytre faktorer som vind og utetemperatur og indre faktorer som ventilering og U-verdier på tak, vegger, vinduer og dører. Varmetilskuddet til boligen avhenger av elektrisk utstyr, solinnstråling inn i boligen og personer samt deres aktivitetsnivå. Varmetapet til boligen øker med temperaturdifferanse mellom omgivelsene og ønsket innetemperatur.

For å sørge for energieffektive boliger har *Direktoratet for byggkvalitet (DiBK)* forskrifter med krav til byggverk her i Norge. Som nevnt tidligere er TEK17 den nåværende tekniske byggeforskriften. TEK17 §14-2 gir krav til energieffektivitet for alle typer bygninger (Direktoratet for byggkvalitet, 2017).

For tappevann er det viktig å holde høy nok temperatur for å unngå spredning og vekst av legionellabakterien. Disse bakteriene har optimale forhold mellom 20 – 45 °C. Derfor anbefaler *DiBK* en minimumstemperatur på 65 °C på varmt tappevann (Direktoratet for byggkvalitet, 2017).

## 2.6 Varmetapsberegning for bolig

For å beregne varmetapet i en bolig må det bli tatt hensyn til de faktorene som ble nevnt i avsnittet ovenfor. Ved hjelp av bladet fra Byggforskserien kan en med enkle beregninger finne et sannsynlig energibehov, som avhenger av boligens størrelse, varmeisolasjon, beliggenhet og luftskiftet (SINTEF, Byggforsk, 1990).

Ved beregning av varmetap i en bolig er varmegjennomgangskoeffisienten, også kalt U-verdien, en veldig mye brukt verdi. Det er et mål på hvor lett en bygningsdel slipper gjennom varme. Det vil si at en lav U-verdi gir en bra isolert bygningsdel og motsatt (Edvardsen, K., Ramstad, T., 2007). Den beregnes ved hjelp av formel 10.

$$U = \frac{1}{R} \quad (10)$$

Der  $R$  er den totale varmemotstanden til bygningsdelen. Varmemotstanden gitt ved formel 11:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (11)$$

Der  $d$  er materialsjiktets tykkelse og  $\lambda$  er materialets dimensjonerende varmeledningsevne.

Når U-verdien til bygningsdelene er kjent kan en bruke formel 12 til å beregne varmetapet ved transmisjon gjennom bygningens ytterflater.

$$p_t = \sum (U * A)(T_{inne} - T_{ute}) \quad (12)$$

Der  $p_t$  er det totale teoretiske effektbehovet,  $U$  er varmegjennomgangskoeffisienten til de forskjellige ytre bygningsdelene,  $A$  er arealet for hver av bygningsdelene,  $T_{inne}$  er ønsket innetemperatur og  $T_{ute}$  er middeltemperatur for hver måned. For beregning av varmetapet gjennom

gulvet antas en konstant temperatur på 7 °C i grunnen, som vil være  $T_{ute}$  ved beregning av varmetap til grunnen.

Varmetapet gjennom ytterflatene til bygningen for hver måned kan beregnes med formel 13:

$$Q_{tap} = p_t * t \quad (13)$$

Der  $t$  er antall timer i måneden delt på 1000 for omregning til kWh. Siden energibehovet vil variere fra måned til måned er det ønskelig å kunne se på forholdet mellom energiforbruk og energiproduksjon for hver måned.

Beregning av varmetilskudd til boligen kan beregnes ved hjelp av formel 14:

$$Q_{tilskudd} = (q_{uts} + q_{per}) * t \quad (14)$$

Der  $q$  er spesifikt gjennomsnittlig varmetilskudd fra henholdsvis utstyr og personer.

For å beregne varmetap på grunn av luftskifte i boligen brukes formel 15:

$$p_t = c * n * V \quad (15)$$

Der  $c$  er luftens varmekapasitet (0,35 Wh/m<sup>3</sup>K),  $n$  er boligens luftskifte og  $V$  er boligens volum. Luftskiftet til boliger varierer veldig, og er avhengig av værforhold og hvor tett boligen er. For eldre boliger dekkes en del av friskluftbehovet uten ekstra ventilasjon. Boligens luftskifte ligger vanligvis mellom 0,5 – 0,8 ganger/time (SINTEF, Byggforsk, 1990).

## 2.7 Økonomi

### 2.7.1 Strømpris

Grunnet lave strømpriser har ikke satsningen på fornybar energi tatt av i den private sektoren i Norge. Det kan være relativt dyrt å dekke spisslasten på grunn av ekstra kostnader tilknyttet effektbruken. Andre energiløsninger bidrar gjerne til å dekke spisslasten samtidig som strømprisen er høyere ved spisslast.

Den totale strømprisen kan bestemmes ved formel 16

$$Total\ strømpris = energipris + nettleie + avgifter \quad (16)$$

Energiprisen er kostnad per energi, den avhenger av hvilken energileverandør en bruker og hva slags kontrakt en har med leverandøren. Nettleie er en kostnad som betales til nettselskapet for transport av strøm og drift og vedlikehold av strømmettet. Avgifter består av merverdiavgift, forbrukeravgift og tilskudd til Enova (SSB, 2018).

I 4.kvartal av 2017 var den totale strømprisen 98,4 øre/kWh, der 36,0 øre/kWh av dette var energipris, 27,9 øre/kWh var nettleie og avgifter var 34,5 øre/kWh (SSB, 2018).

### 2.7.2 Nettonåverdi

Ved å beregne nettonåverdien for et prosjekt kan en se om det er lønnsomt å investere i prosjektet. Dette gjøres ved å slå sammen investeringsutgiftene og nåverdien av fremtidige kontantstrømmer. Nettonåverdi kan beregnes ved formel 17:

$$NNV = -U_0 + \sum_{t=1}^n \frac{K_t}{(1 + R_D)^t} \quad (17)$$

NNV er nettonåverdi,  $U_0$  er investeringsutgiftene,  $K_t$  er fremtidige kontantstrømmer ved år  $t$ ,  $n$  er levetid og  $R_D$  er diskonteringsrenten.

## 3. Metode

### 3.1 Boligen

#### 3.1.1 Boligen

Huset ligger på Nesbru i Asker kommune. Det er en enebolig med 306 m<sup>2</sup> bruksareal. Eierne av boligen ønsker en miljøvennlig løsning som trenger lite vedlikehold, leverer ønsket energibehov og er økonomisk konkurransedyktig med andre løsninger på markedet. De har også et ønske om et basseng på sørsiden av huset dersom dette er mulig med tanke på dimensjonering av brønnparken og solfangerne. Takarealet på boligen er på omlag 168 m<sup>2</sup>.

Boligen ble bygget i 1966, og er bygget i henhold til byggeforskrifter fra 1949. Varmetapene til huset er derfor en del høyere enn dagens nybygg og krever da mer energi for å holde ønsket innetemperatur.

#### 3.1.2 Klima i Asker

Asker kommune har et typisk innlandsklima, med lite vind, moderat nedbør og lav luftfuktighet. Det er store temperaturforskjeller både i løpet av dagen og året. Det er kalde vintre og varme somrer (SNL, 2013).

Dette gir gode forhold for solfangerne om sommeren og på grunn av den stabile temperaturen i bakken vil ikke den kalde vinteren ha så stor påvirkning på brønnparken. Det vil derimot øke varmetapet i boligen.

#### 3.1.3 Geologiske forhold

Berggrunnen i Asker er en del av Oslofeltet, og består i store deler av kalk- og leirskifer (Store norske leksikon, 2013). I figur 6 nedenfor er et berggrunnskart av eiendommen fra Norges geologiske undersøkelse. Ved hjelp av dette ble det vist at berggrunnen på eiendommen består i hovedsak av kalkstein, leirskifer og litt mergelstein. Deres termiske egenskaper er gitt i tabell 1. Den volumetriske varmekapasiteten til grunnen vil bli antatt å være 0,62 kWh/m<sup>3</sup>K, dette er tall som ble beregnet ved å anta at grunnen består av 50% leirskifer, 45% kalkstein og 5 % mergelstein.



Figur 6: Berggrunnskart av Solveien på Nesbru, eiendommen er markert i rødt (NGU, u.d.).

I møte med hydrolog ved NMBU, Helen French, ble berggrunnen og grunnvannsbevegelse på Nesbru diskutert. Andel løsmasse varierer mye, i Solveien har det blitt utført brønnboring for dype energibrønner fire ganger. Dybden på løsmassen i disse brønnene varierer fra 0,5 meter til 7,5 meter (NGU, u.d.). Løsmassen består i hovedsak av leire. Vår bolig ligger på en høyde om lag 20 meter over havet, dette kan være gunstig med tanke på kortere avstand til fjell og lang avstand til havoverflaten.

Grunnvannsbevegelse oppstår i hovedsak i sjikt mellom to bergart felt (French, H., 2018). Der vil det være flere sprekker som vil virke som kanaler for grunnvannet. Ved boring kan en lett se berggrunnsendringer ved at fargen på massen som blir tatt bort endrer seg. Problem med grunnvannet kan til dels bli unngått ved utføre termisk responstest før boring og å bore på skrå dersom det er nødvendig.

På møtet ble det konkludert med at det sannsynligvis ikke ville oppstå store problemer med tanke på grunnvannsbevegelser, men det vil alltid være litt usikkerhet med hvordan bergartene ligger under bakken. Boligen ligger på en høyde og det er ikke store bergartforskjeller rundt tomten, dette gir mindre usikkerhet ved boring av brønnparken.

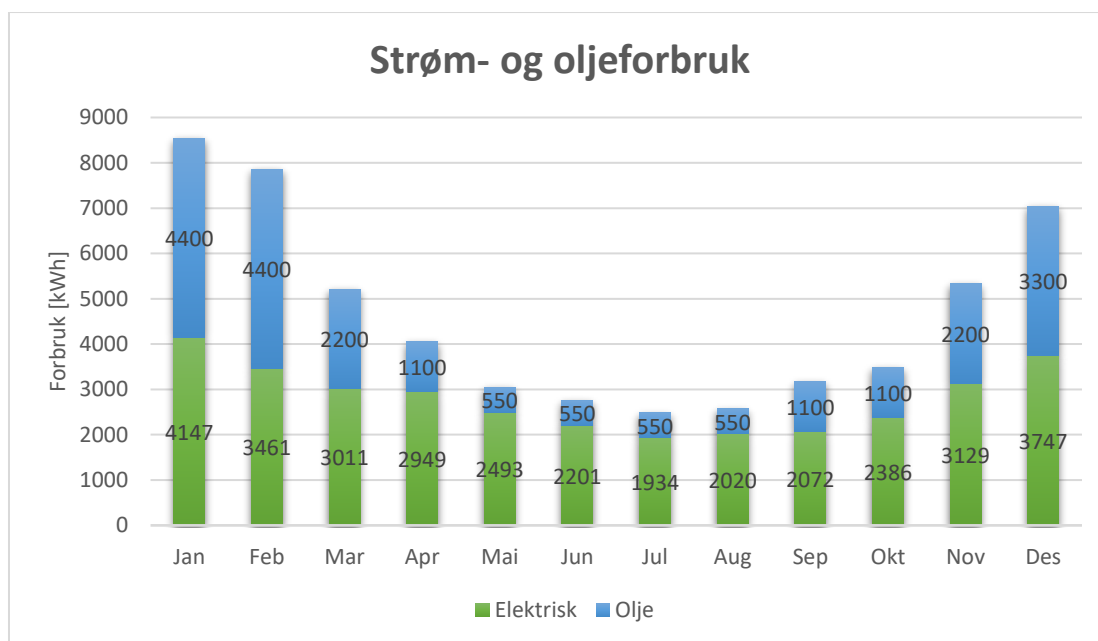
### 3.1.4 Energiforbruk i boligen

I samtale med eierne av boligen ble energiforbruket deres diskutert. De gav tilgang til deres strømabonnement ved Hafslund, samt sa at de brukte i snitt 2500-3000 liter fyringsolje per sesong. 1 liter olje kan gi 10 kWh (Gasnor, u.d.), men avhenger av virkningsgraden på oljefyringen. I figur 7 er energiforbruket for boligen i 2017 gitt. Det ble antatt en virkningsgrad på 80% ved oljefyring, samt en antatt fordeling av olje per måned gitt i tabell 2. Forbruket i kWh er 80 % av oljeforbruket i liter på grunn av antatt virkningsgrad til oljefyren.

Oljeforbruk per måned	Forbruk i liter	Forbruk i kWh
Januar	550	4400
Februar	550	4400
Mars	275	2200
April	138	1100
Mai	68.8	550
Juni	68.8	550
Juli	68.8	550
August	68.8	550
September	138	1100
Oktober	138	1100
November	275	2200
Desember	413	3300
<b>Totalt</b>	<b>2752</b>	<b>22000</b>

Tabell 2: Antatt oljeforbruk for boligen for hver måned.

I figur 7 er energiforbruket i 2017 gitt. Det er antatt oljeforbruk for hver måned i tillegg til strømforbruket deres.



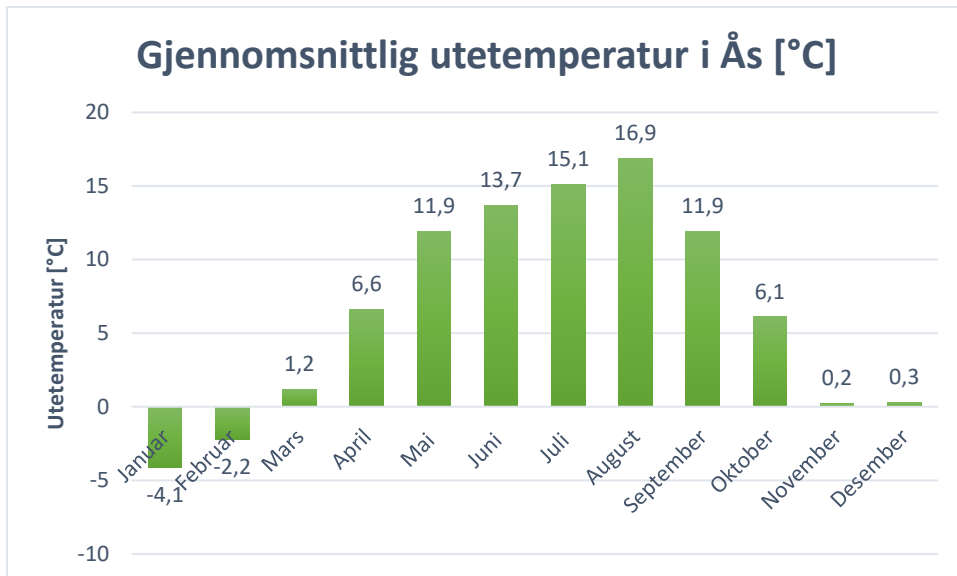
Figur 7: Graf over energiforbruket til boligen per måned i 2017 med antatt oljeforbruk.

Energiforbruket gitt i figur 7 er det totale energiforbruket til boligen, ikke bare oppvarming av boligen. Oppvarming av bolig står for 60 % av det totale energiforbruket i en gjennomsnittlig norsk bolig, og oppvarming av tappevann står for 15-20 % (Direktoratet for byggkvalitet, 2017). Boligen hadde et energiforbruk på omlag 44 MWh i 2017. Dersom dette hadde vært en ny bolig som følger TEK17-forskriftene kunne energiforbruket maksimalt vært på 110kWh/BRA, som gir om lag 34 MWh i året (Direktoratet for byggkvalitet, 2017).



### 3.2 Værddata

For å beregne varmetapet til boligen trengs utetemperaturer rundt boligen for et helt år. Dette ble funnet med hjelp fra Signe Kroken, avdelingsingeniør på Fakultet for realfag og teknologi ved NMBU. På grunn av gode målinger fra den meteorologiske stasjonen på Søråsfeltet i Ås regnes dette som en god nok tilnærming for utetemperaturer på Nesbru. Middeltemperaturen for hver måned er gitt i figur 8. Målingene er fra 2004, ettersom dette var et år med temperaturer som er nærme et normalår på Ås, med en middeltemperatur på 6,5 °C, 1,2°C høyere enn normalen (Kroken, S., 2009).



Figur 8: Graf over gjennomsnittlig utetemperatur i Ås i 2004. (Kroken, S., 2009)

### 3.3 Varmebehovet til boligen

Ved hjelp av formlene i avsnitt 2.5 ble varmebehovet for boligen beregnet. U-verdiene til de forskjellige ytterflatene ble funnet med hjelp av verdier og dimensjoner fra *Trehus* og arbeidsblad fra Byggforsk (SINTEF, Byggforsk, 1990, Edvardsen, K., Ramstad T., 2007). Verdiene og dimensjonene som er brukt vises i vedlegg 8.2. Varmetapet som blir forårsaket av luftskifte ble beregnet ved å anta et luftskifte på 0,5 ganger/time. Dimensjonene på boligen er gitt i tabell 3. Disse ble brukt for varmebehovsberegningene.

Dimensjoner på deler av huset	
Yttervegg, underetasje [m <sup>2</sup> ]	134
Yttervegg, første etasje [m <sup>2</sup> ]	114
Gulv [m <sup>2</sup> ]	153
Tak [m <sup>2</sup> ]	168
Dører [m <sup>2</sup> ]	12
Vinduer [m <sup>2</sup> ]	26
Bruksareal (BRA) [m <sup>2</sup> ]	306
Høyde, inne [m]	2,4
Høyde [m]	2,7
Volum [m <sup>3</sup> ]	734

Tabell 3: Dimensjoner på hoveddeler av huset.

Varmetilskuddet fra belysning, personer og elektrisk utstyr ble beregnet ved å anta det er to personer i boligen, at det brukt LED-pærer og at elektrisk utstyr gir et gjennomsnittlig varmetilskudd på 4000 kWh per år, elektrisk utstyr ligger mellom 2500 – 8000 kWh i året for eneboliger i Norge (SINTEF, Byggforsk, 1990). Ved bruk av LED-pærer er varmetilskudd så lavt at det kan bli sett bort i fra. To personer vil bidra med 104 kWh i måneden ved å anta at de er i huset 16 timer i døgnet.

Beregningene gjort for varmebehovet til boligen er vist i tabell 4 nedenfor.

Varmebehov i bolig [kWh]	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	Årlig
Gulv	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	5105
Yttervegg underetasje, halvparten er under terreng	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207	2483
Yttervegg underetasje, halvparten er over terreng	383	351	295	206	118	88	65	35	118	214	312	310	2494
Yttervegg første etasje	652	598	502	350	200	150	110	59	200	364	530	528	4243
Tak	695	638	536	373	214	159	117	63	214	388	566	563	4525
Dører	619	568	477	332	190	142	104	56	190	346	504	501	4028
Vinduer	1072	984	826	576	330	246	181	97	330	599	873	868	6982
Luftskifte	2209	2027	1702	1186	679	507	373	201	679	1233	1798	1788	14381
Varmetilskudd (Personer og el-utstyr)	-354	-354	-354	-354	-354	-354	-354	-354	-354	-354	-354	-354	-4248
Oppvarming av varmtvann	765	765	765	765	765	765	765	765	765	765	765	765	9180
Månedstotal	6673	6210	5381	4065	2774	2335	1994	1555	2774	4187	5625	5601	49174

Tabell 4: Årlig varmebehov for boligen og varmetapet gjennom hoveddeler på huset.

Varmebehovet fra desember til februar er på omlag 24 MWh. Dette er ønsket lagringsmengde i brønnparken. Resten av energibehovet blir dekket av nyttbar energi direkte fra solfangeranlegget.

### 3.4 Varmepumpeløsning

I møte med varmpumpeleverandør, Klimax, ble valg av varmpumpe og varmpumpemedium diskutert. Foreslått løsning fra Klimax vil bli brukt videre og vurdert i denne oppgaven, benyttet kjølemedium er R290, propan.

Siden denne løsningen plasserer varmpumpen utendørs vil bygningskrav om teknisk rom og eksplosjonssikkert rom i huset utgå (Løvoll, R., 2018). Ved å plassere den over brønnparken kan varmetap fra sesonglagringen utnyttes til en viss grad til å bedre forholdene til rørsystemet inn til huset. I tillegg vil plasseringen av varmpumpa forsterke fordelene med å ha R290, propan, som

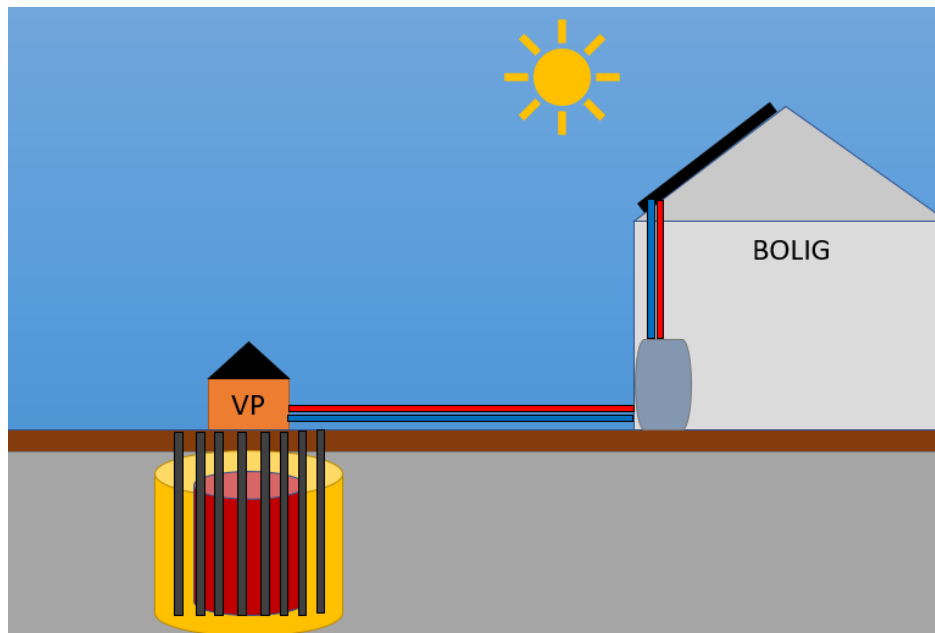
kjølemedium. I tabell 5 nedenfor beskrives de generelle fordelene og ulempene med bruk av R290 som kjølemedium.

Fordeler med R290	Ulemper med R290
Naturlig kjølemedium	Brennbar
Ingen ozonnedbrytende potensial (ODP)	Strengt krav til sikkerhet
Lav Global Warming Potential (3 GWP)	Smogdannelse i storbyer ved gitte værforhold
God termodynamisk ytelse	
Ikke giftig	
Lett oppløsende i atmosfæren	
Liten fyllingsmengde (<1 kg)	
Energisparende	

Tabell 5: Fordeler og ulemper for propan som kjølemedium (NTH, Sintef, 1990, AGA, u.d.).

Fordelene og ulempene i tabellen er i forhold til andre populære kjølemedier som R134a, R407c og R410a. Ulempene med R290 kan til dels utelukkes på grunn av utendørs plassering.

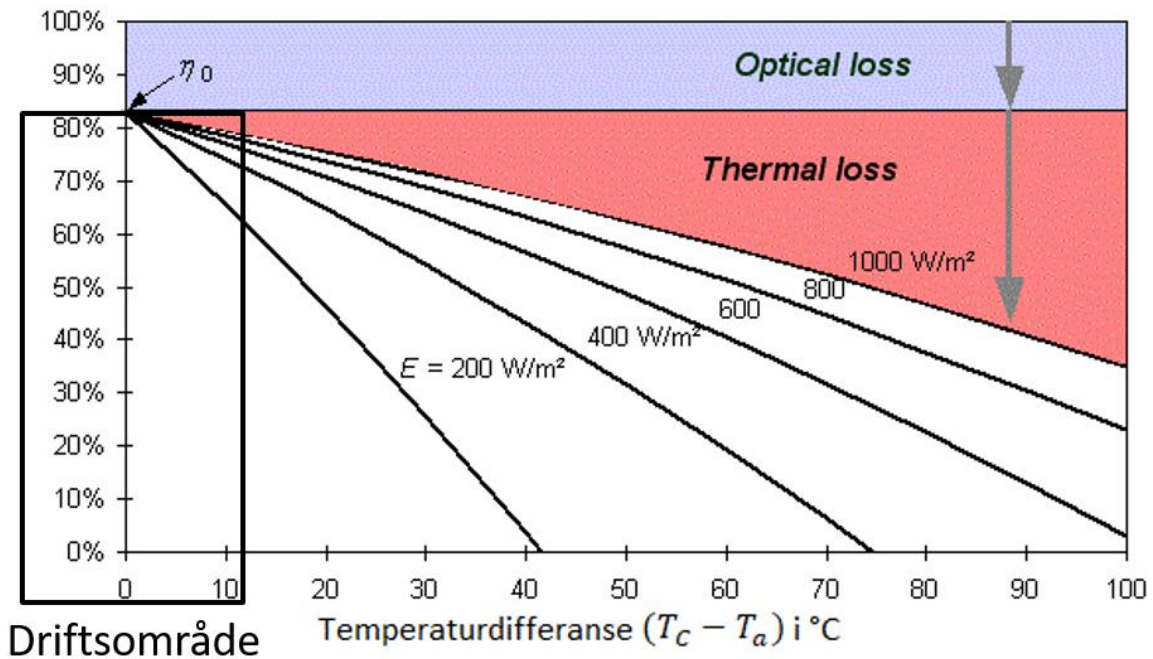
Figur 9 er en skisse over systemet i sin helhet, der solfangerne enten kan levere varme direkte til en buffertank, til romoppvarming, eller til lagring i brønnenparken. Varmepumpen skal være i drift så lenge temperaturen opp fra brønnenparken er lavere enn 25 °C. Varmepumpen som skal brukes har god yteevne ved en temperatur inn på 20-25 °C, og leverer vann med en temperatur på 40-45 °C til huset. Varmepumpa som ble tilbudt av Klimax er gitt i vedlegg 8.3.



Figur 9: Skisse av systemet uten solcellemoduler.

### 3.5 Formål med brønnpark

Brønnparken som skal konstrueres for denne boligen skal brukes til lagring av energi. På grunn av de lave temperaturene i et lavtemperatursystem vil temperaturdifferansene mellom brønnparken og solfangerne være liten. Da vil virkningsgraden til solfangerne øke og en vil få et mer effektivt system. Dersom en sender opp vann fra brønnparken på 7 °C og har en temperatur ut av solfangerne på 30 °C vil gjennomsnittstemperaturen i solfangerne være 23 °C. En solrik dag i mai med en utetemperatur på 15°C vil da gi en temperaturforskjell mellom omgivelsene og solfangerne på 8°C. Ved å se på grafen i figur 10 kan en se at virkningsgraden til solfangerne da vil ligge på over 65%, også ved en lav innstrålt effekt på 200 W/m<sup>2</sup>. Dette gjør det gunstig å drifte solfangerne fra mars til og med oktober. På grunn av lav temperaturdifferanse mellom omgivelsene og solfangerne kan en anta et driftsområde for solfangerne med en minimums virkningsgrad på 65 %. Driftsområde er gitt i figur 10 nedenfor.



Figur 10: Virkningsgrad til plate solfangere som funksjon av temperaturdifferanse. Driftsområde er vist i svart omriss (Quaschnig, V., 2004).

Vannet som blir levert til brønnparken fra solfangerne har en mye høyere temperatur enn brønnen, mellom 25-55 °C. Dette vannet vil varme opp brønnen og over tid kunne øke urørttemperaturen i brønnen. Etter første sesong er det ønskelig at urørttemperaturen skal øke fra 7°C til 12°C. Med å ha en høyere energitilførsel enn energiuttak vil denne temperaturøkningen fortsette til det likevekt mellom energitilførsel, -tap og -uttak.

Første vinteren kan en dermed ta opp vann fra brønnparken med en temperatur på 12°C i slutten av februar, og dette vil være fjelltemperaturen ved neste oppvarmingsperiode.

Dette vannet leveres til varmepumpen som har en virkningsgrad som påvirkes av temperaturdifferansen mellom innløpet til fordamperen og utløpet til kondensatoren. I et lavtemperatursystem kan en bruke en utløpstemperatur i kondensatoren på 35 °C til romoppvarming. Da vil temperaturdifferansen være 23 °C som vil gi en COP på varmepumpa på minst 5 med utgangspunkt i figur 5. På denne måten vil brønnparken fungere som et energilager som gir solfangerne og varmepumpa gode driftsforhold. Ved å ha en relativt konstant innløpstemperatur til kondensatoren vil en samtidig kunne øke levetiden til varmepumpa.

### 3.6 Dimensjonering av brønnpark

Boligen ligger på en liten topp med et flatt uteareal på østsiden av huset, her kan brønnparken plasseres. Brønnparken skal ha utformingen til en sylinder med to temperaturnivåer, der det er varmest i midten og blir gradvis kaldere utover. Ved å ha flere temperaturnivåer i brønnparken kan en utnytte en større del av den lagrede energien, og har muligheten til å levere energi fra solfangerne med forskjellige temperaturer. Temperaturforskjellen mellom fjellet og ytterkantene på brønnparken vil være lavere, noe som gjør at det vil bli mindre varmetap til omgivelsene. Brønnparken dimensjoneres utfra energibehovet til boligen, den kan finnes ved formel 18.

$$Q_{\text{tilført}} = C_v V \Delta T \quad (18)$$

$V$  er volumet til brønnparken,  $Q_{\text{tilført}}$  er levert energi til brønnparken,  $C_v$  er volumetrisk varmekapasitet til lagringsmediet og  $\Delta T$  er temperaturdifferansen mellom maksimal og minimal gjennomsnittlig temperatur over en sesong i den aktive delen av brønnparken. Tilgjengelig parkflate til brønnparken er 80 m<sup>2</sup>. Dersom dette ikke er nok er eneste mulighet for å øke størrelsen å bore dypere. En parkflate på 80 m<sup>2</sup> og 40 m dype brønner gir et volum på 3200 m<sup>3</sup>. Tabell 6 viser størst mulige dimensjoner på brønnparken som kan være et alternativ, men er overdimensjonert. Det kan bores flere borehull, men erfaring fra andre prosjekter viser at en avstand mellom brønnene på 2-3 meter er optimalt.

Brønnparkdimensjoner	
Parkflate	80 m <sup>2</sup>
Brønndybde	40 m
Antall brønner	20 stk
Brønndiameter	140 mm
Parkflate per brønn	4 m <sup>2</sup>
Avstand mellom brønnene	2 m
Volum	3200 m <sup>3</sup>

Tabell 6: Dimensjoner for størst mulige brønnpark med brønner på 40 m.

Det er også mulig å bore skråbrønner, det kan være nødvendig dersom en har lite overflateareal tilgjengelig, eller på grunn av grunnvannsstrømninger. Dette vil minske bruk av isolasjon på overflaten av brønnen, men kan minske volumet. Dersom parkflaten i tabell 6 skulle reduseres til 50 m<sup>2</sup> måtte parkflaten på bunn av brønnparken vært 110 m<sup>2</sup> for å få samme volumet ved 45° skråboring.

### 3.7 Faser i brønnparken

Som nevnt i avsnitt 3.6 er målet med brønnparken å ha en høyere leveranse av energi enn uttak av energi. Da vil utrørttemperaturen i brønnparken øke og dermed vil gjenvinningsgraden øke. Sesonglagring uten varmepumpe har forskjellige faser i brønnparken. Det vil si at de første 2-4 årene blir brukt til å øke urørttemperaturen til en temperatur som boligen kan utnytte, helt opp til 40-45 °C i tillegg til å bidra med oppvarming av boligen. Ved bruk av en varmepumpe slik som i denne boligen vil brønnparken være i drift med en gang, samtidig som den lades opp. Ved høy nok energitilførsel til

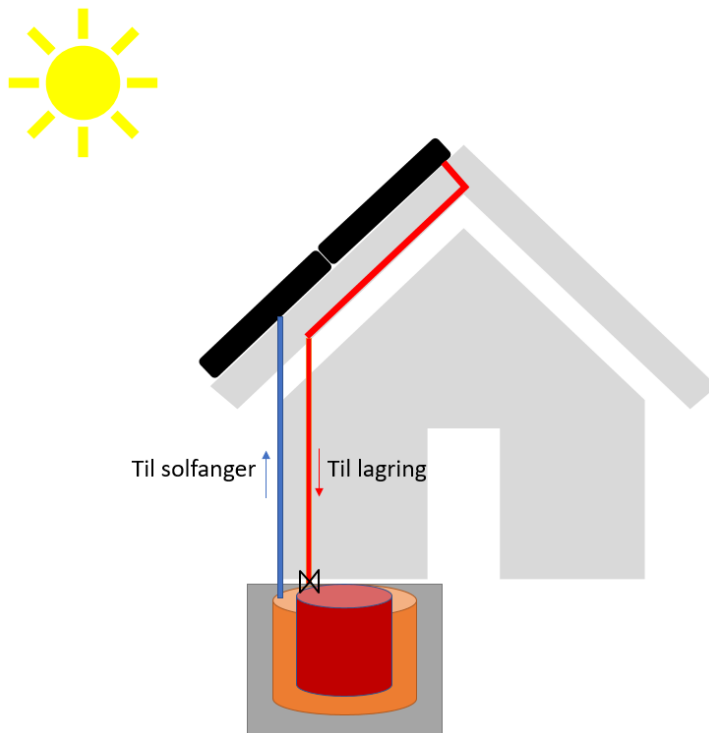
brønnparken vil forskjellen over tid være at systemet får bedre driftsforhold, og en større andel av den lagrede energien kan brukes direkte i boligen.

### 3.8 Energitransport fra og til brønnpark

Energitransporten til brønnparken skal styres av en ventil på returvannet fra solfangerne. På den måten kan solfangerne levere energi både til de ytterste og innerste brønnene. Vannet opp til solfangerne vil alltid komme fra de ytterste brønnene, ettersom dette er den lavest ønskede temperaturen på returvannet.

Temperaturen på vannet som kommer i retur skal styres ved hjelp av strømningshastigheten. Jo lavere strømningshastighet, jo høyere vil temperaturen på returvannet være. Dette gjelder så lenge omgivelsene har nok solinnstråling og/eller høyere temperatur enn vannet i solfangerne.

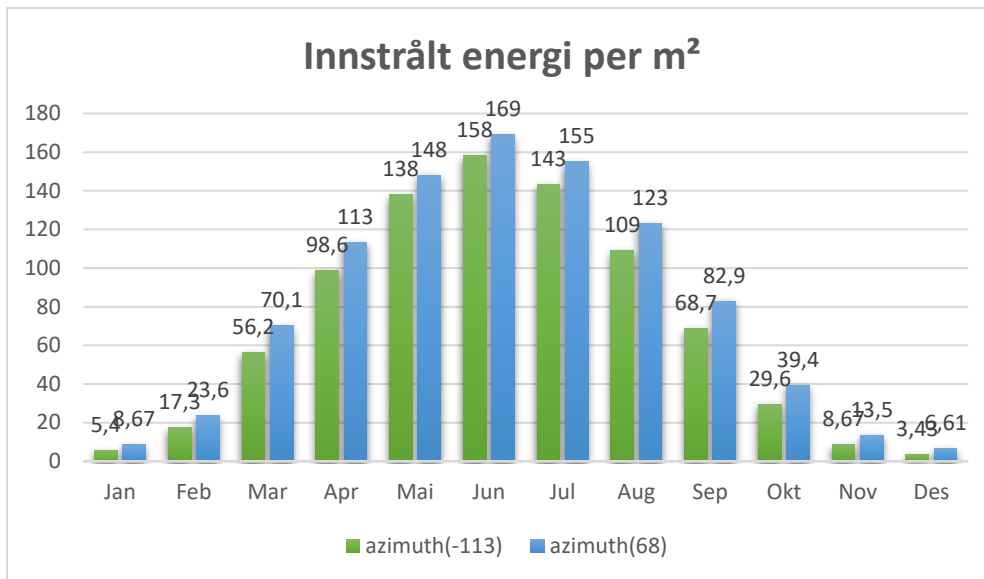
Ved å regulere strømningshastigheten på daglig basis kan systemet kjøres større deler av døgnet, og så lenge omgivelsestemperaturen er høyere enn temperaturen i brønnparken kan en høste energi selv om solen har gått ned.



Figur 11: Skisse av systemet med to temperaturer i brønnparken.

### 3.9 Solfangerløsning

Solfangerne skal plasseres på taket av boligen. Dette er et skråtak, som gir to forskjellige azimuthvinkler, 68° og -113° som er definert i henhold til definisjonen for horisontalvinkler i avsnitt 2.2.4. Innstrålingsdata ble funnet ved hjelp av *PVGis*. Innstrålt energi per m<sup>2</sup> per måned for hver azimuthvinkel er gitt i figur 12. Solfangerne vil være i drift fra mars til og med oktober.



Figur 12: Graf over innstrålt energi per måned for de gitte azimuthvinklene.

For å finne total nyttbar energi fra solfangerne på taket blir formel 5 brukt, med en virkningsgrad på 65 % og et aktivt solfangerareal på 90% av det totale solfangerarealet. Taket på hovedboligen er på 168 m<sup>2</sup>, der 166 m<sup>2</sup> kan brukes til solfangere, 2 m<sup>2</sup> utgår på grunn av pipen på østvendt side. Det vil dermed være mulig å ha 82 m<sup>2</sup> med solfangere med en azimuthvinkel på 68° og 84 m<sup>2</sup> med -113°. Takets helning er på 15° og vil være den samme for solfangerne. Dette er for å unngå at solfangerne skygger for hverandre og dermed utnytte takarealet mest mulig. Det vil i tillegg vekke mindre oppsikt med å ha samme helning som taket, med tanke på estetikken.

### 3.10 Solcelleløsning

Solcellemodulene skal plasseres på overhenget over terrassen, sør for hovedhuset. Overhenget har samme helningen og azimuthvinklene som taket, og har et areal på om lag 34 m<sup>2</sup>. Aktivt areal for solcellemoduler er det samme som for solfangere, 90%. Det vil gi et aktivt areal på 30,6 m<sup>2</sup>. Flyfoto av eiendommen, samt plassering for solfangerne og solcellemodulene er gitt i figur 13. Solfangerflate er markert i rødt, og solcelleflate er markert i gult.





Figur 13: Flyfoto av Solveien 5, planlagt solfanger- og solcellemodulflate er markert (Gule Sider, u.d.).

Ved hjelp av PVgis ble den årlige innhøsta energien for solcellemodulene funnet. Solcellemodulene skal i hovedsak hjelpe med å drifte sirkulasjonspumpene i brønnparken og varmpumpa. Overskuddet går til elektrisk utstyr i huset.

### 3.11 Endringer i boligen

Når en bolig skal bytte fra et høytemperatursystem til et lavtemperatursystem kan det være nødvendig å gjøre endringer i boligen. Ettersom varmen som blir levert har en lavere temperatur nå enn før er det viktig at distribusjonssystemet er mer effektivt. For denne boligen vil det si å fjerne radiatorene og erstatte de med en til to viftekonvektorer. I tillegg er det viktig at distribusjonsrørene har samme dimensjon for at varmen skal bli distribuert likt over alt.

Radiatorene erstattes av viftekonvektorer for å effektivisere systemet. En viftekonvektor kan erstatte opp til 5 radiatorene, men det kommer an på størrelsen av radiatorene. Viftekonvektorene er mer



driftsøkonomiske og kan gi økt komfort på grunn av innebygde vifter som distribuerer varmen i lufta likt i hele rommet (Novema Kulde, u.d.).

Innen 01. januar 2019 skal det installeres avanserte måle- og styresystemer (AMS) i alle boliger i Norge (NVE, 2015). Dette er smarte strømmålere som skal kunne måle energiforbruket for hver time, i tillegg til å vise spotprisen til enhver tid. Dette gjør at strømrregningen vil reflektere det reelle forbruket i mye større grad enn før.

AMS er med på å gjøre forbrukerne mer bevisste på sitt eget forbruk, minske energiforbruket og å fjerne store effekttopper i strømmettet. Ved å se på sitt eget forbruk og strømprisen kan en lettere minske forbruket og betale mindre for strømmen en bruker. På den måten blir effekttoppene i strømmettet utjevnes, og strømprisen vil til en viss grad jevne seg ut over døgnet.

For dette prosjektet vil dette si at strømforbruket kan bli enda lavere. Ved å utnytte den lagrede energien i brønnparken når strømprisen er høy, og bruke varmepumpa mer når strømprisen er lav kan en spare penger.

### 3.12 Økonomisk støtte

Ved å installere fornybare og miljøvennlige løsninger på boligen kan en få økonomisk støtte fra Enova. Enova er et statsforetak som jobber med Norges omstilling til lavutslippssamfunnet (Enova, u.d.). For denne boligen kan denne støtten bli nokså stor i forhold til den totale investeringen. Grunnen til dette er at en får økonomisk støtte for hver miljøvennlig løsning som blir installert, i tillegg til støtte for fjerning av oljefyr og oljetank, med tanke på utfasing av oljefyr innen 2020. Dersom en fjerner oljefyr og oljetank før 2019 får en 20 000 kroner i støtte, dersom en venter til 2019 vil denne støtten bli halvert og etter 2019 vil en ikke få noe støtte (Enova, u.d.). Minste støtten for dette prosjektet er gitt i tabell 7, med 5,2 kW solcellemoduler og maksimalt antall solfangere installert.

Løsning	Støtteordning
<b>Solfangere</b>	10 000 kr + 200 kr/m <sup>2</sup> installert, (maks 25 m <sup>2</sup> )
<b>Solceller</b>	10 000 kr + 1250 kr/kW installert, (maks 15 kW)
<b>Væske-til-vann-varmepumpe</b>	20 000 kr + 10 000 kr ved installering av energimåler for strøm og varme
<b>Fjerning av oljefyr og oljetank</b>	20 000 kr
<b>Totalt</b>	81500 kr

Tabell 7: Støtte gitt av Enova for hver av komponentene (Enova, u.d.).

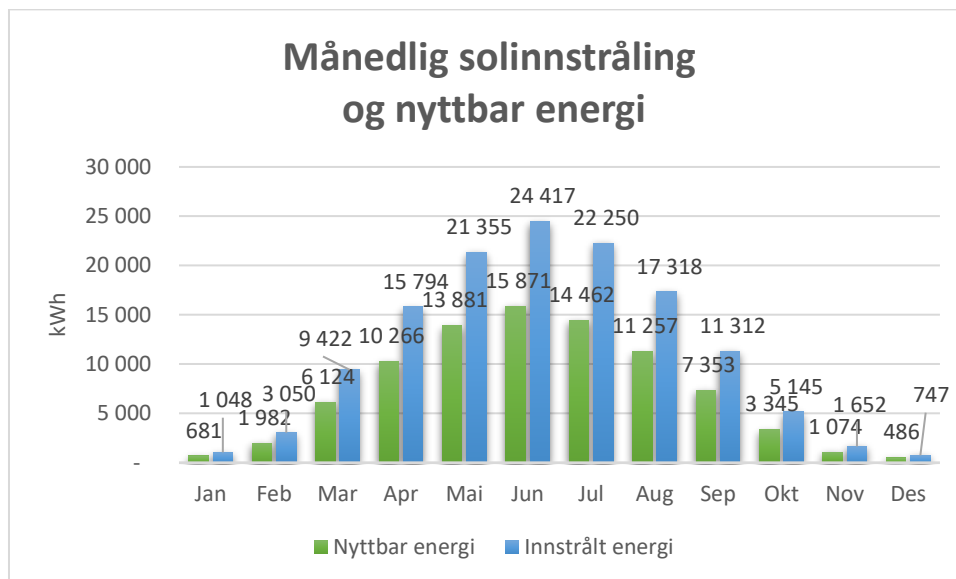
Dersom Enova finner prosjektet som nyskapende og innovativt kan de ønske å støtte prosjektet mer.

## 4 Resultat

### 4.1 Solenergi

#### 4.1.1 Solfangere

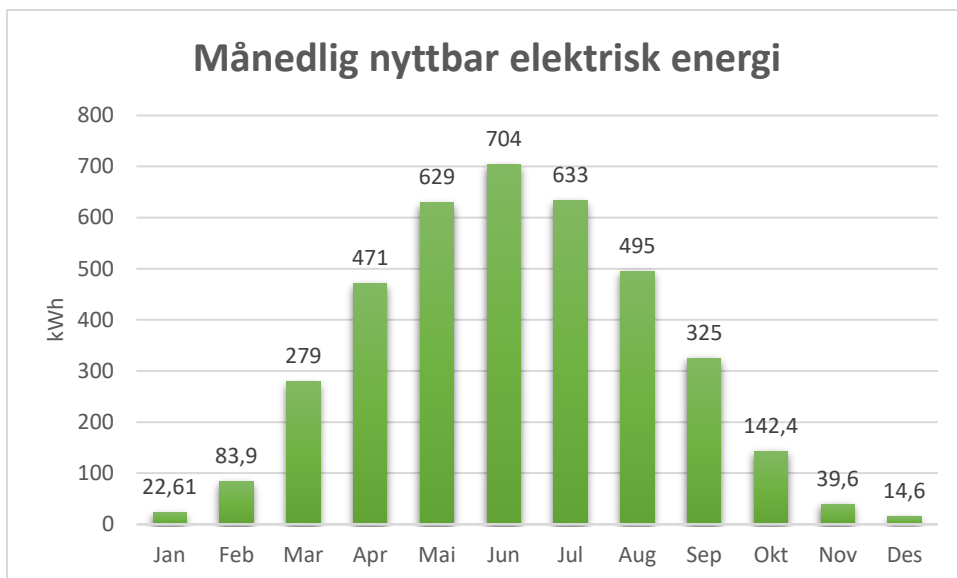
Ut fra dataene gitt av PVgis ble det vist at innstrålingen fra sola gir 837 kWh/ m<sup>2</sup> i året på det østvendte taket, og 953 kWh/m<sup>2</sup> på det sør-vestvendte taket. Dette gir en total innstråling per år på om lag 134 MWh med 168 m<sup>2</sup> solfangere. Total nyttbar energi i året fra solfangerne er på om lag 87 MWh, med en virkningsgrad på 65%. Solinnstråling og nyttbar energi per måned er gitt i figur 14 nedenfor.



Figur 14: Nyttbar og innstrålt energi per måned for boligen med solfangere på hele taket.

#### 4.1.2 Solceller

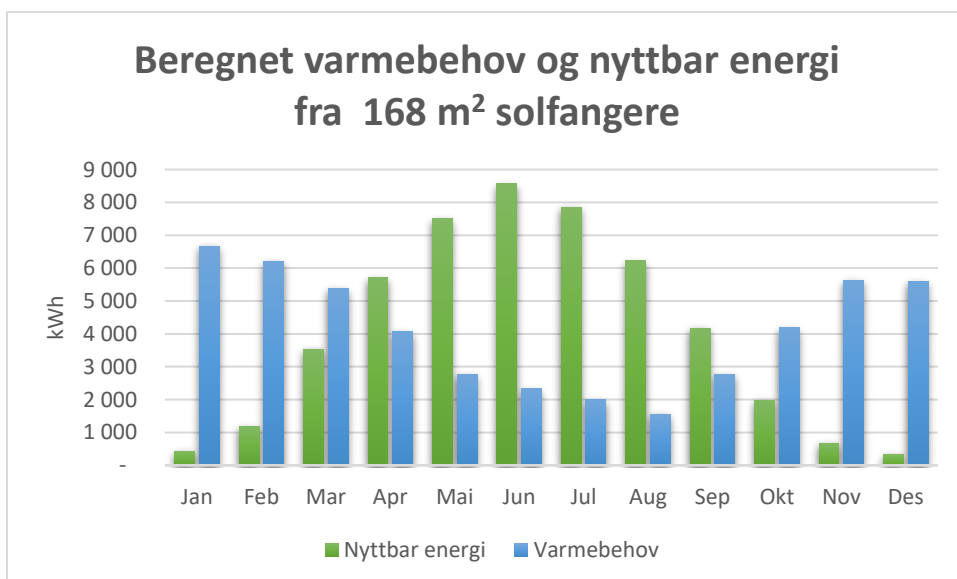
Solcelleanlegget vil ifølge PVgis ha samme solinnstråling som solfangeranlegget, ettersom takene har de samme azimuthvinklene og samme helning. Ved å montere solcellemoduler på 34 m<sup>2</sup>, som tilsvarer hele taket over terrassen vil årlig nyttbar elektrisk energi komme på 3840 kWh. Dette er for solcellemoduler med en virkningsgrad på 16 %. 1780 kWh er fra det østvendte taket, og 2060 kWh er fra det sør-vestvendte taket. I figur 15 er månedlig nyttbar elektrisk energi gitt.



Figur 15: Månedlig nyttbar elektrisk energi fra solcellemodulene.

## 4.2 Brønnpark

Ved å sette temperaturdifferansen i brønnparken lik 20 K og et volum på 3200 m<sup>3</sup> beregnes  $Q_{\text{tilført}}$  ved hjelp av formel 18. Dette gir en tilført energi på 40 MWh, som er lagringskapasiteten til brønnparken. Dette er mer enn varmebehovet til boligen i de kaldeste månedene i året, det gir et energioverskudd på om lag 15 MWh. Det vil si at 15 MWh går til oppvarming av brønnparken og tap til omgivelsene. Dette er så lenge solfangerne klarer å levere 40 MWh til brønnparken etter å ha dekket varmebehovet til boligen i driftsperioden mars til oktober. Figur 16 viser beregnet varmebehov og nyttbar energi fra solfangerne for hver måned. Grafen viser for nyttbar energi fra 168 m<sup>2</sup> solfangere.



Figur 16: Beregnet varmebehov og nyttbar energi fra solfangerne for hver måned.

### 4.3 Løsningsforslag på systemet

Tabell 8 viser alternativer til løsning på systemet. Nødvendig gjenvinningsgrad i brønnparken vil si hvor mye energi som må være igjen når varmen skal tas opp de månedene det er på det kaldeste.  $VB_{\text{nov-feb}}$  er varmebehovet til boligen fra november til februar som er de kaldeste månedene. Arealet på solcelleanlegget er 34,2 m<sup>2</sup> for alle alternativene.

	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt. 6
<b>Parkflate [m<sup>2</sup>]</b>	70	70	70	60	60	60
<b>Volum [m<sup>3</sup>]</b>	2800	2800	2800	2400	2400	2400
<b>Antall brønner</b>	17	15	17	15	12	15
<b>Avstand mellom brønner [m]</b>	2	2,5	2	2	2,5	2
<b>Solfangere [m<sup>2</sup>]</b>	102	102	92	102	102	92
<b>Nyttbar energi fra solfangere [MWh]</b>	52	52	48	52	52	48
<b>Kapasitet i brønnpark [MWh]</b>	35	35	35	30	30	30
<b>Nødvendig gjenvinningsgrad brønnpark</b>	67%	67%	67%	83%	83%	83%
<b><math>\frac{VB_{\text{Nov-Feb}}}{\text{Energi}_{\text{Nov-Feb}}} * 100</math></b>	113%	113%	95%	113%	113%	95%

Tabell 8: Forslag til systemløsning.

På grunn av usikkerheter med brønnpark kan det være nødvendig å ha lav gjenvinningsgrad, og stor andel tilført energi i forhold til varmebehovet i boligen.

### 4.4 Økonomi

#### 4.4.1 Investeringskostnader

Investeringskostnaden og levetiden for hele prosjektet, samt for hver komponent er gitt i tabell 9 og 10 nedenfor. Har antatt en levetid 5 år mer enn vanlig for solfangerne og varmepumpa på grunn av gode driftsforhold.

KOMPONENTER	KOSTNAD	LEVETID
<b>SOLCELLEMODULER</b>	78 000 kr (for 34 m <sup>2</sup> )	25-30 år
<b>SOLFANGERE</b>	2500 kr/m <sup>2</sup>	25-30 år
<b>MONTERING AV SOLFANGERE</b>	500 kr/m <sup>2</sup>	
<b>BRØNNPARK</b>	18 000 kr/brønn	100 år
<b>AUTOMASJON</b>	75 000 kr	25-30 år
<b>VARMEPUMPE OG BUFFERTANK</b>	178 000 kr	25-30 år
<b>PUMPER, VENTILER OG RØR TIL BRØNNPARK</b>	50 000 kr	25-30 år

Tabell 9: Investeringskostnad for hver komponent (Huus-Hansen, W., 2018).

<b>FORSLAG</b>	<b>INVESTERINGSKOSTNAD UTEN STØTTE</b>
<b>ALT.1</b>	993 000 kr
<b>ALT. 2</b>	957 000 kr
<b>ALT. 3</b>	963 000 kr
<b>ALT. 4</b>	957 000 kr
<b>ALT. 5</b>	903 000 kr
<b>ALT. 6</b>	927 000 kr

Tabell 10: Total investeringskostnad for hvert forslag uten støtte.

Tabellene viser en investeringskostnad på opp mot en million uten støtte. Verdien på prosjektet er høyere enn kostnadene. Dette er på grunn av lovpålagt fjerning av oljefyr, og en god energiløsning med lang levetid som gjør at verdien på boligen øke.

#### 4.4.2 Nettonåverdi

Nettonåverdi ble beregnet ved hjelp av formel 17 og investeringskostnaden gitt i tabell 10. Det ble antatt en levetid på 30 år for hele prosjektet og en diskonteringsrente på 5%. Nettonåverdi for hvert forslag er gitt i tabell 11.

<b>FORSLAG</b>	<b>NETTONÅVERDI UTEN STØTTE</b>
<b>ALT. 1</b>	-13775 kr
<b>ALT. 2</b>	22225 kr
<b>ALT. 3</b>	-63712 kr
<b>ALT. 4</b>	22225 kr
<b>ALT. 5</b>	76225 kr
<b>ALT. 6</b>	-27712 kr

Tabell 11: Nettonåverdi for hvert forslag uten støtte.

Uten støtte er nettonåverdien negativ for løsningsforslag 1, 3 og 6. Med minimumsstøtte på 80 000 kr er alle løsningsforslagene positive.

## 5 Diskusjon

### 5.1 Usikkerhet knyttet til brønnparken

Brønnparken ble dimensjonert utfra tilgjengelig parkflate og varmebehovet til boligen. På grunn av lite grunnvannsbevegelser og lave temperatursforskjeller vil det være høyere gjenvinningsgrad i denne brønnparken enn i tidligere installerte brønnparker som har mye høyere temperaturer i brønnene. På Drake Landing Solar Community har de en kjernetemperatur på 65°C, og en temperaturdifferanse på 20 °C, fra 44 - 65°C (Drake Landing Solar Community, 2017). Siden energisystemet tiltenk denne boligen er et kombinasjonssystem med varmepumpe er det ikke behov for like høy temperatur i brønnparken.

Volumet som er brukt er beregnet ut fra parkflaten som brønnene kommer til å oppta og dybden på brønnene. Volumet til brønnparken vil kunne øke når temperaturen i brønnparken øker. Det kan antas at avstanden til sentrum av brønnparken vil øke med halvparten av avstanden mellom hver brønn, 1 - 1,5 meter (Heyerdahl, P., 2018). Det vil si at en kan minske antall brønner og øke avstanden mellom dem og dermed kunne få et større energilager over tid. Det vil da være mindre energibærende væske som sirkulerer i brønnene og dermed mindre energi som kan tas ut på en gang, dermed minske effektuttaket. I tabell 12 vises det to forslag som passer godt for dette prosjektet, et forslag med høyere effektuttak, og et med større avstand mellom brønnene og da potensielt større energilager.

<b>ANTALL BRØNNER</b>	<b>17 STK</b>	<b>15 STK</b>
<b>DIAMETER PER BRØNN</b>	140 mm	140 mm
<b>PARKFLATE</b>	70 m <sup>2</sup>	70 m <sup>2</sup>
<b>VOLUM</b>	2800 m <sup>3</sup>	2800 m <sup>3</sup>
<b>DYBDE PER BRØNN</b>	40 m	40 m
<b>AVSTAND MELLOM BRØNNENE</b>	2 m	2,5 m
<b>EFFEKTUTTAK</b>	27,2 kW	24,0 kW
<b>INVESTERINGSKOSTNADER</b>	306 000 kr	270 000 kr

Tabell 12: To forslag til løsning med forskjellig antall brønner.

Ved å bore 15 brønner i stedet for 17 vil investeringskostnadene reduseres med 36 000 kr og en kan få et større energilager. Ulempen er at effektuttaket vil bli lavere. Dersom en har behov for høyere effektuttak vil det lønne seg over tid å bore 17 brønner. Effekttoppene vil bli håndtert av varmepumpa, dermed vil ikke et høyt effektuttak være nødvendig i dette prosjektet.

Når solfangerne leverer mer effekt enn det brønnparken kan ta opp om sommeren kan buffertanken fungere som et sekundært energilager for dette, i tillegg vil en del gå til oppvarming direkte til boligen.

### 5.2 Solenergi

Å bestemme størrelsen på solfangeranlegget er en utfordring, spesielt med tanke på samspillet mellom anlegget og brønnparken. Det er knyttet stor usikkerhet til gjenvinningsgraden i brønnparken, og resultatet vil ikke vise seg før det blir bort, eller gjort en termisk responstest.

I tabell 13 nedenfor vises solinnstråling per m<sup>2</sup> per år for en solfanger på boligen, en horisontal solfanger og en solfanger med en optimal helning på 45°. Ettersom dette er solinnstrålingen, gjelder disse tallene også for en solcellemodul. Tallene viser en forskjell mellom de optimale forholdene og

boligens forhold på 15-25% i solinnstråling. Det viser også til at det ikke er takhelningen som gjør det største utslaget, men takets retning i forhold til sør. Det optimale hadde vært å ha 168 m<sup>2</sup> solfangere rettet direkte mot sør. For å få samme solinnstrålingen på taket som ved optimale forhold må en derfor installere flere solfangere. For dette prosjektet er taket mer enn stort nok til å dekke de behovene boligen har.

Innstrålt effekt [kWh/m <sup>2</sup> ]			
	Azimuth (0°)	Azimuth (-113°)	Azimuth (68°)
<b>Horisontal flate (0°)</b>	909	909	909
<b>Optimal helning (44°)</b>	1130	707	961
<b>Aktuell helning (15°)</b>	1030	837	953

Tabell 13: Innstrålt energi for forskjellige solvinkler.

PVGIS tar hensyn til skygglegging som kommer av høydeforskjeller i terrenget som er 90 meter eller mer i fra taket, men ikke nærliggende trær og bygninger. Dette er ikke et stort problem for denne boligen ettersom den ligger på en høyde med lite trær og hus som skygger for solinnstråling. Tallene i tabell 13 viser til at det er mer gunstig å bruke det sør-østvendte taket (azimuthvinkel 68°) på grunn av høyere solinnstråling per kvadratmeter.

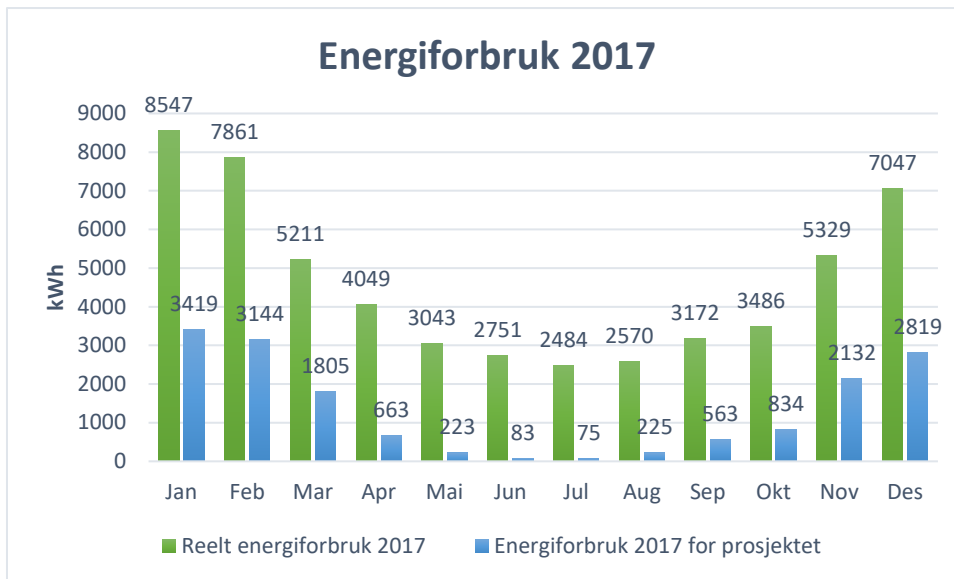
### 5.3 Svømmebasseng for sommerhalvåret

Eieren av boligen spurte om muligheten for et svømmebasseng i hagen som skulle være i drift fra mai til august, det ble derfor tatt kontakt med bassengleverandøren Pahlèn International. De oppgav 400 W/m<sup>2</sup> som et anslag de brukte for å bestemme best mulig oppvarmingsmetode for et utendørs svømmebasseng (Semb, F., 2018). For beregning av energibehovet til svømmebassenget ble det antatt et areal på 30 m<sup>2</sup> som skal være i drift fra mai til august som er om lag 3000 timer. Dette gav et energibehov på om lag 36 MWh. Dette er om lag 10 MWh mer enn varmebehovet til boligen fra november til februar som er de kaldeste månedene i året.

På grunn av det høye energibehovet ble det ikke sett mer på, men heller som en fremtidig oppgradering som kan gjøres når systemet har vært i drift i 4-5 år. Eventuelt installere flere solfangere på taket på huset eller på garasjen som går direkte til oppvarming av bassenget på sommerstid. Tildekking med duk som rulles ut mellom badingene bør vurderes for å redusere varmetapet. For å redusere bassengarealet kan det også installeres et motstrømsbasseng.

### 5.4 Energiforbruk i 2017

For eierne av boligen er økonomisk lønnsomhet viktig, å investere i noe som ikke vil lønne seg er bortkasta penger. I figur 17 er en graf over energiforbruket i 2017 samt energiforbruket for 2017 dersom energisystemet for dette prosjektet har vært i bruk.



Figur 17: Energiforbruk for året 2017 og for prosjektet.

Energiforbruket i 2017 er de samme verdiene som i figur 7. For energiforbruket til prosjektet ble fordelingen gjort ved disse antagelsene:

- 60% går til romoppvarming hver måned
- 15% går til varmtvann hver måned
- 25% går til teknisk utstyr og annet hver måned
- Varmepumpa har en COP på 5 når den er i drift
  - Er i drift fra oktober til mars
- Levert energi fra solcellemodulene ble trukket i fra de 25% som går til teknisk utstyr og annet fra mars til oktober (relevant driftsperioden til PV-anlegget)

Med disse antagelsene ble vist en nedgang på om lag 45 MWh i året i energi fra el-nettet. Dette er en besparelse på 58 500 kr i året. Dette gjelder for strømpris på 1,3 kr/kWh og en oljepris på 1,25 kr/kWh på grunn av oljekjelen sin virkningsgrad på 80%.

## 5.5 Veien videre

Veien mot lavutslippssamfunnet er i full anmarsj i Norge, med smarte og digitale løsninger som blir installert og lovpålagte tiltak for å sørge for en miljøvennlig fremtid. Fjerning av oljefyr er et av flere eksempel på dette. Det blir økt samarbeid med nabolandene og EU ved import og eksport av energi. Nå som Norge skal bli integrert i EU sitt energimarked er det mye usikkerhet knyttet til energiprisene. Sannsynligheten er stor for at prisen vil øke.

Ved økt strømpris vil energiløsningen til denne boligen bli mer gunstig, med tanke på at nesten 80 % av energiforbruket kan bli dekket uten bruk av strøm fra el-nettet. Det kan vurderes å forbedre isoleringen for å minske energiforbruket til oppvarming, ettersom dette er relativt høyt.

Løsningen har stort potensial, spesielt på grunn av brønnparken sin lange levetid. Brønnparken kan for eksempel utvides i samarbeid med naboer slik at investeringen per bolig reduseres og lønnsomheten øker. Brønnparken blir da brukt som et felles termisk varmelager, slik som de har gjort i Drake Landing Solar Community i Canada. Der har de per dags dato kommet opp mot 95 % dekningsgrad av varmebehovet bare med solfangere og en brønnpark. Drake Landing består av 52



boliger (Drake Landing Solar Community, 2017). Klimaet i Canada har mange likheter med Norge, så det er ingenting i veien for at vi ikke kan gjøre det samme her.

Når varmepumpen har nådd sin levetid kan dette være et alternativ. Enten for en bolig, eller som et samarbeid med boliger. Dette vil bidra til et grønnere nabolag og ikke minst reduserte kostnader med tanke på energiforbruk, investering og drift av energisystemet.

## 6 Konklusjon

Å ha sesonglagring av solvarme i kombinasjon med en varmepumpe er en god løsning for denne boligen. Det er en miljøvennlig og økonomisk løsning som vil dekke minst 75% av energiforbruket til boligen gjennom hele året. Store deler av distribusjonssystemet brukt ved oljefyring kan fortsatt brukes i denne energiløsningen. Av de seks løsningsforslagene som er gitt vil alternativ 2 være det sikreste. Løsningen vil levere 52 MWh nyttbar energi fra solfangerne, 4000 kWh fra PV-modulene og ha en lagringskapasitet i brønnparken på 37 MWh. Dette gir en god sikkerhetsmargin til vinteren, med en nødvendig gjenvinningsgrad på 65% i brønnparken. Investeringskostnaden for dette alternativet er på 957 000 kr. Nettonåverdien til prosjektet er på 22 000 kr som viser at det er et lønnsomt prosjekt, selv uten støtte fra Enova. Med støtte vil nettonåverdien komme på minst 100 000 kr.

Løsningen har fokus på lagring av energi, med bare 15 brønner installert. Effekttuttak er ikke så viktig siden den har en varmepumpe som trer inn når effektbehovet blir for høyt for solenergien å dekke alene.

Prosjektet har stort potensial med tanke på oppgradering. Ved å installere flere solfangere og å utvide brønnparken kan løsningen brukes uten varmepumpe. Det kan være relevant med tanke på den korte levetiden til varmepumpa i forhold til brønnparken sin levetid.

Prosjektet kan også utføres i samarbeid med naboer, ved å montere solfangere på takene og ha en felles brønnpark til sesonglagring av solvarmen. På den måten vil det bli mindre drifts- og investeringskostnader per bolig.

Energiløsningen presentert i denne oppgaven er en innovativ løsning som representerer en god miljøvennlig løsning for store eldre boliger som før har brukt oljekjel eller parafinkamin for å dekke energibehovet sitt.

## 7 Referanser

Adaramola, S., u.d. *Solar energy resources*.

AGA, u.d. *R290 (CARE 40) Propan*. [Internett]

Tilgjengelig på:

[http://www.aga.no/no/products\\_ren/refrigerants/natural\\_refrigerants/r290\\_care\\_propane/index.html](http://www.aga.no/no/products_ren/refrigerants/natural_refrigerants/r290_care_propane/index.html)

[Funnet: 06/03/2018].

Cabeza, L., 2015. *Advance in Thermal Energy Storage Systems – Methods and applications*. Woodhead Publishing.

Direktoratet for byggkvalitet, 2017. *Byggteknisk forskrift (TEK17)*.

Tilgjengelig på: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/>

[Funnet: 12/03/2018].

Drake Landing Solar Community, 2017. *Drake landing Solar Community*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.dlsc.ca/>

[Funnet: 15/02/2018].

Duffie, J. A. & Beckman, W. A., 2013. *Solar Engineering of Thermal Process*. Fourth edition red. New Jersey: John Wiley & Sons.

Edwardsen, K., Ramstad, T., 2007. *Trehus, håndbok 53*. Byggforsk.

Energy Rent as, u.d.. *Hvorfor trenger jeg en Termisk Respons Test?* [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.energyrent.no/aktuelt/hvorfor-trenger-jeg-en-termisk-respons-test?page=all>

[Funnet: 01/03/2018].

Eppelbaum, L., Kutasov, I., Pilchin, A., 2014. *Applied Geothermics*.

Enova, u.d.. *Hjemmesiden til Enova*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.enova.no/>

[Funnet: 18/04/2018].

Free Energy, u.d.. *Varmepumpeteknologi – generelt*. [Internett]

Tilgjengelig på: <http://www.free-energy.com/varmepumpe-1>

[Funnet: 25/04/18].

French, H., 2018. [Intervju] (13.04.2018).

Gasnor, u.d.. *Noen typiske data for energibærere*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://gasnor.no/naturgass/typiske-data-energi/>

[Funnet: 07/05/2018].

Gehlin, S., 2002. *Thermal response test - Method development and evaluation*, s.l.: Luleå University of technology.

Gule Sider, u.d. *Kart over eiendommen*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://kart.gulesider.no/>

[Funnet: 07/05/2018].

Heyerdahl, P. 2018. [Veiledning].

Huus-Hansen, W., 2018. [Veiledning].

Kroken, S., 2009. *Meteorologiske data for Ås*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.nmbu.no/fakultet/realtek/laboratorier/bioklim/meteorologiske-data>

[Funnet: 27/02/2018].

Lee, K. S., 2013. *Underground Thermal Energy Storage*.

Løvoll, R., 2018. [Møte] (28/02/2018).

Miljødirektoratet, 2015. *Foreslår forskrift om forbud mot oljefyring*. [Internett]

Tilgjengelig på: <http://www.miljodirektoratet.no/no/Nyheter/Nyheter/2015/Mars-2015/Foreslar-forskrift-om-forbud-mot-oljefyring/>

[Funnet 05/04/2018].

NGU, u.d. *Nasjonal berggrunnsdatabase*. [Internett]

Tilgjengelig på: <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/>

[Funnet: 05/03/2018].

NGU, 2015. *Grunnvarme*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.ngu.no/emne/grunnvarme>

[Funnet: 02/03/2018].

NGU, u.d. *Nasjonal grunnvannsdatabase*. [Internett]

Tilgjengelig på: <http://geo.ngu.no/kart/granada/>

[Funnet: 13/04/2018].

NGU, u.d. *Nasjonal løsmassedatabase*. [Internett]

Tilgjengelig på: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>

[Funnet: 13/04/2018].

Nordell B., 1994. *Borehole heat store design optimization*. s.l.: Luleå University of technology

Tilgjengelig på: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:999609/FULLTEXT01.pdf>

[Funnet: 28/02/18].

Norsk Solenergiforening, 2018. *Solvarme – i kombinasjon med andre varmekilder*. [Internett]

Tilgjengelig på:

[https://static1.squarespace.com/static/597512eb579fb3d3de0207aa/t/59afb36de3df28513645e6dd/1504686997570/NorskSolenergi\\_ha%CC%8Andbok\\_solvarme\\_A4\\_web.pdf](https://static1.squarespace.com/static/597512eb579fb3d3de0207aa/t/59afb36de3df28513645e6dd/1504686997570/NorskSolenergi_ha%CC%8Andbok_solvarme_A4_web.pdf)

[Funnet: 01/02/18].

Novema Kulde, u.d., *Radiatorer eller lavtemperatur viftekonvektor*. [Internett]

Tilgjengelig på: [http://www.novemakulde.no/01/dot04\\_75.pdf](http://www.novemakulde.no/01/dot04_75.pdf)

[Funnet: 20/04/18].

NTH, Sintef, 1990. *Varmepumper – grunnleggende varmepumpeteknikk*. [Internett]

Tilgjengelig på: [https://www.nb.no/items/URN:NBN:no-nb\\_digibok\\_2010112509017](https://www.nb.no/items/URN:NBN:no-nb_digibok_2010112509017)

[Funnet: 02/02/18].

NTNU, 2002. *Grunnvarmebasert oppvarming av bolighus*.

[Funnet: 26/03/2018].

NVE, 2015. *Smarte strømmålere (AMS)* [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.nve.no/stromkunde/smartestrommalere-ams/>

[Funnet: 25/04/2018].

NVE, 2016. *Varmepumper i energisystemet* [Internett]

Tilgjengelig på: [http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016\\_60.pdf](http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_60.pdf)

[Funnet: 14/02/2018].

PVGIS, 2017. *PVgis users manual*. [Internett]

Tilgjengelig på: [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_static/en/manual.html](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_static/en/manual.html)

[Funnet: 10/04/2018].

Quaschnig, V., 2004. *Solar thermal water heating*. [Internett]

Tilgjengelig på: <http://www.volker-quaschnig.de/articles/fundamentals4/index.php>

[Funnet: 01/04/2018].

Semb, F., 2018. [Intervju] (18.04.2018).

SINTEF, Byggforsk, 1990. *Oppvarming av boliger. Energiforbruk og kostander, Byggforskserien 552.103*.

Sintef, 2011. *Grunnvarme*. [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.sintef.no/Projectweb/Annex29/Grunnvarme/>

[Funnet: 20/02/18].

SNL, 2013. Store norske leksikon - *Askers natur*. [Internett]

Tilgjengelig på: [https://snl.no/Askers\\_natur](https://snl.no/Askers_natur)

[Funnet: 15/03/18].

SSB, 2018. *Elektrisitetspriser* [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.ssb.no/elkraftpris>

[Funnet: 02/04/2018].

SSB, 2018. *Elektrisitet, årstal, 2013* [Internett]

Tilgjengelig på: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/elektrisitetaar/aar/2015-03-25#content>

[Funnet: 24/03/18].

Stene, J., 2000. *Varmepumper for oppvarming og kjøling av bygninger*. [Internett]

Tilgjengelig på:

<http://www.ivt.ntnu.no/ept/fag/tep4115/innhold/Laboppgaver/Varmepumpe%20Notat%20J%20Stene.pdf>

[Funnet: 01/03/2018].

Stene, J., Brånås, M., 2004. *Varmepumper i boliger*. Teknisk rapport. [Internett]

Tilgjengelig på: [http://bronnboring.com/old\\_site\\_2/pdf/sintef.pdf](http://bronnboring.com/old_site_2/pdf/sintef.pdf)

[Funnet: 06/03/2018].

Store norske leksikon, 2013. Store norske leksikon - *Askers geologi og landformer*. [Internett]

Tilgjengelig på: [https://snl.no/Askers\\_geologi\\_og\\_landformer](https://snl.no/Askers_geologi_og_landformer)

[Funnet: 15/03/2018].

Twidell, J. & Weir, T., 2006. *Renewable Energy Resources*. Second edition. Taylor & Francis.

UngEnergi.no, 2018. *Solceller*. [Internett]

Tilgjengelig på: <http://ungenergi.no/energikilder/solenergi/solceller/>

[Funnet: 15/03/2018].

Yogi Goswami, D., 2015. *Principles of Solar Engineering*. Third edition. Taylor & Francis.

## 8 Vedlegg

### 8.1 Meteorologiske data for Ås i 2004

#### METEOROLOGISKE DATA FOR ÅS

#### **TEMPERATUR 2004 OG NORMAL 1961-90**

Måned	Temperatur °C	
	1961-1990	2004
Januar	-4.8	-4.1
Februar	-4.8	-2.2
Mars	-0.7	1.2
April	4.1	6.6
Mai	10.3	11.9
Juni	14.8	13.7
Juli	16.1	15.1
August	14.9	16.9
September	10.6	11.9
Oktober	6.2	6.1
November	0.4	0.2
Desember	-3.4	0.3
Året	5.3	6.5

## 8.2 U-verdi beregninger

Kilde: (Edvardsen, K., Ramstad, T., 2007)									
U-verdiene ganges med $\Delta T$ og arealet for å få varmetapet									
Yttervegg første etasje	d(m)	Lambda (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)	Vinduer	Fra 1970	Antar U = 2			
Trekledning	0.019	0.13	0.15	Dører					
Vindspærre			0.03	Inngangsdører		Antar U = 3			
Isolasjon	0.1	0.04	2.70	Terraassedører		Antar U = 3			
PE-folie (plastfolie, fuktsperre)	0.013		0.03						
Trebasertplate, OSB-plate	0.013	0.13	0.10						
Rtot			3.01						
U-verdi			0.33						
Yttervegg underetasje	d(m)	Lambda (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)	Gulv på grunn	d(m)	Lambda (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)		
Knotteplast				Isolasjon (XPS)	0.100	0.03	2.94		
Grunnmur, betong (armert)	0.15	2.50	0.06	(plastfolie,	0.020		0.03		
Isolasjon (mineralull)	0.1	0.04	2.70	Betong (armert)	0.100	2.50	0.04		
PE-folie (plastfolie, fuktsperre)	0.13		0.03	Gulvbelegg	0.013	0.07	0.20		
Trebasertplate, OSB-plate	0.013	0.13	0.10	Rtot			3.21		
Rtot			2.89	U-verdi (W/Km <sup>2</sup> )			0.31		
U-verdi (W/Km <sup>2</sup> )			0.35						
Tak	d(m)	Lambda (W/mK)	R (m <sup>2</sup> K/W)	Boligens volum	734.40	m <sup>3</sup>			
Takstein				Luftens					
Taklekker				varmekapasitet	0.35	Wh/m <sup>3</sup> K			
Lufting				Boligens luftskifte	0.50	ganger/time			
Isolasjon	0.15	0.04	4.05	Effektbehov		W/K			
Dampspærre		0.04							
Trebasertplate, OSB-plate	0.013	0.13	0.10						
Rtot			4.15						
U-verdi (W/Km <sup>2</sup> )			0.24						

## 8.3 Nettonåverdiberegninger

Levetid		30	år
Strømforbruk		7000	kWh
El-pris		1.3	kr/kWh
Solceller		4000	kWh/år
Diskonteringsrente		0.05	



År	Utgift	Sparing	Kontant	Nåverdi	År	Utgift	Sparing	Kontant	Nåverdi
0	-993 000		-993 000	-993000	0	-957000		-957000	-957000
1		63 700	63700	60667	1		63700	63700	60667
2		63 700	63700	57778	2		63700	63700	57778
3		63 700	63700	55026	3		63700	63700	55026
4		63 700	63700	52406	4		63700	63700	52406
5		63 700	63700	49911	5		63700	63700	49911
6		63 700	63700	47534	6		63700	63700	47534
7		63 700	63700	45270	7		63700	63700	45270
8		63 700	63700	43115	8		63700	63700	43115
9		63 700	63700	41062	9		63700	63700	41062
10		63 700	63700	39106	10		63700	63700	39106
11		63 700	63700	37244	11		63700	63700	37244
12		63 700	63700	35471	12		63700	63700	35471
13		63 700	63700	33781	13		63700	63700	33781
14		63 700	63700	32173	14		63700	63700	32173
15		63 700	63700	30641	15		63700	63700	30641
16		63 700	63700	29182	16		63700	63700	29182
17		63 700	63700	27792	17		63700	63700	27792
18		63 700	63700	26469	18		63700	63700	26469
19		63 700	63700	25208	19		63700	63700	25208
20		63 700	63700	24008	20		63700	63700	24008
21		63 700	63700	22865	21		63700	63700	22865
22		63 700	63700	21776	22		63700	63700	21776
23		63 700	63700	20739	23		63700	63700	20739
24		63 700	63700	19751	24		63700	63700	19751
25		63 700	63700	18811	25		63700	63700	18811
26		63 700	63700	17915	26		63700	63700	17915
27		63 700	63700	17062	27		63700	63700	17062
28		63 700	63700	16249	28		63700	63700	16249
29		63 700	63700	15476	29		63700	63700	15476
30		63 700	63700	14739	30		63700	63700	14739
			<b>Alt. 1</b>	<b>-13775</b>				<b>Alt. 2</b>	<b>22225</b>

År	Utgift	Sparing	Kontant	Nåverdi	År	Utgift	Sparing	Kontant	Nåverdi
0	-963000		-963000	-963000	0	-957000		-957000	-957000
1		58500	58500	55714	1		63700	63700	60667
2		58500	58500	53061	2		63700	63700	57778
3		58500	58500	50534	3		63700	63700	55026
4		58500	58500	48128	4		63700	63700	52406
5		58500	58500	45836	5		63700	63700	49911
6		58500	58500	43654	6		63700	63700	47534
7		58500	58500	41575	7		63700	63700	45270
8		58500	58500	39595	8		63700	63700	43115
9		58500	58500	37710	9		63700	63700	41062
10		58500	58500	35914	10		63700	63700	39106
11		58500	58500	34204	11		63700	63700	37244
12		58500	58500	32575	12		63700	63700	35471
13		58500	58500	31024	13		63700	63700	33781
14		58500	58500	29546	14		63700	63700	32173
15		58500	58500	28140	15		63700	63700	30641
16		58500	58500	26800	16		63700	63700	29182
17		58500	58500	25523	17		63700	63700	27792
18		58500	58500	24308	18		63700	63700	26469
19		58500	58500	23150	19		63700	63700	25208
20		58500	58500	22048	20		63700	63700	24008
21		58500	58500	20998	21		63700	63700	22865
22		58500	58500	19998	22		63700	63700	21776
23		58500	58500	19046	23		63700	63700	20739
24		58500	58500	18139	24		63700	63700	19751
25		58500	58500	17275	25		63700	63700	18811
26		58500	58500	16453	26		63700	63700	17915
27		58500	58500	15669	27		63700	63700	17062
28		58500	58500	14923	28		63700	63700	16249
29		58500	58500	14212	29		63700	63700	15476
30		58500	58500	13536	30		63700	63700	14739
			<b>Alt. 3</b>	<b>-63712</b>				<b>Alt. 4</b>	<b>22225</b>

År	Utgift	Sparing	Kontant	Nåverdi	År	Utgift	Sparing	Kontant	Nåverdi
0	-903000		-903000	-903000	0	-927000		-927000	-927000
1		63700	63700	60667	1		58500	58500	55714
2		63700	63700	57778	2		58500	58500	53061
3		63700	63700	55026	3		58500	58500	50534
4		63700	63700	52406	4		58500	58500	48128
5		63700	63700	49911	5		58500	58500	45836
6		63700	63700	47534	6		58500	58500	43654
7		63700	63700	45270	7		58500	58500	41575
8		63700	63700	43115	8		58500	58500	39595
9		63700	63700	41062	9		58500	58500	37710
10		63700	63700	39106	10		58500	58500	35914
11		63700	63700	37244	11		58500	58500	34204
12		63700	63700	35471	12		58500	58500	32575
13		63700	63700	33781	13		58500	58500	31024
14		63700	63700	32173	14		58500	58500	29546
15		63700	63700	30641	15		58500	58500	28140
16		63700	63700	29182	16		58500	58500	26800
17		63700	63700	27792	17		58500	58500	25523
18		63700	63700	26469	18		58500	58500	24308
19		63700	63700	25208	19		58500	58500	23150
20		63700	63700	24008	20		58500	58500	22048
21		63700	63700	22865	21		58500	58500	20998
22		63700	63700	21776	22		58500	58500	19998
23		63700	63700	20739	23		58500	58500	19046
24		63700	63700	19751	24		58500	58500	18139
25		63700	63700	18811	25		58500	58500	17275
26		63700	63700	17915	26		58500	58500	16453
27		63700	63700	17062	27		58500	58500	15669
28		63700	63700	16249	28		58500	58500	14923
29		63700	63700	15476	29		58500	58500	14212
30		63700	63700	14739	30		58500	58500	13536
			<b>Alt. 5</b>	<b>76225</b>				<b>Alt. 6</b>	<b>-27712</b>

## 8.4 Foreslått varmepumpe og akkumulatortank til systemet



### Example unit design

Crankcase electrical heater

Compressor intercepting valves

Pressure gauges

ATEX exhaust fan for compressor room ventilation and R290 Propane gas detector





## Housing

Base made of painted galvanised steel. Aluminium frame and preplastified galvanized steel panels. They are equipped with a fan that allows the refrigerant circuit room ventilation. The electrical board is separate and hinged to the unit. For outdoor installation, or indoor with ATEX exhaust fan / gas detector ( if locally approved ).

## Compressor

Reciprocating SEMIHERMETIC type, fixed on anti-vibration system and complete with lubrication system; oil crankcase heater, integral electronic protection and discharge valve; flexible joints on suction and discharge. The compressor is mechanically optimized for use with Hydrocarbons and built in according to Directive ATEX 94/9/EC for the safety requirements: Zone 2, Gas group IIB. Some components are ATEX certified.

## Water heat exchangers

Plate-type made of AISI 316 steel complete with water differential pressure switch. Closed cell insulation vapor barrier, designed for low temperatures.

## Electrical board

Switchboard according to the IEC 204-1/EN60204-1 standards, complete with contactor and protection for all components. Main isolator and door inter-lock safety device. **The cabinet is hung on one side of the unit.**

## Control

The microprocessor controls the unit capacity by starting timing and checks the operating alarms with the possibility to connect to BMS.

## Frigorific circuit

Filter drier, sight glass and liquid moisture, solenoid valve, **electronic** expansion valve, safety pressure high / low switch,. Some components are ATEX certified.



**REFRIGERANT GAS: type and indicative quantity**

**R290 <1Kg**

**UNIT PERFORMANCES**

**Heating capacity**

**kW 19,50**  
**COP 5,27**

**COMPRESSORS**

Power input		kW	3,7
Independent refrigerant circuits			1
Compressors quantity			1

**POWER SUPPLY**

400/3/50+230/1/50

**WATER CONDENSER**

Fluid type			<b>water</b>
Fluid flow		m3/h	3,4
Fluid pressure drop		kPa °C	40
Inlet temperature		°C	40
Outlet temperature			45

**EVAPORATOR**

Fluid type			<b>water</b>
Fluid flow		m3/h kPa	2,7
Fluid pressure drop		°C	40
Inlet fluid temperature		°C	25
Outlet fluid temperature			20

**ELECTRICAL DATA**

Max current		A	9
Starting current		A	44

**EVAPORATOR PUMP**

Useful head		kPa	-
Water pump motor power input		kW	-
Type			Not included

**SOUND PRESSURE LEVEL**

								<b>dB(A)</b>
								<b>60</b>

Sound pressure level at 1m in free field.

**INDICATIVE DIMENSIONS AND INDICATIVE WEIGHT**

Length (L)	Height	mm	mm	1000
(H)		mm		1450
Depth (P)		Kg		680
Weight				230



KXEKO.W -B/ST/SP 31 S R290

## SELECTED ACCESSORIES SUMMARY

Compressor intercepting valves

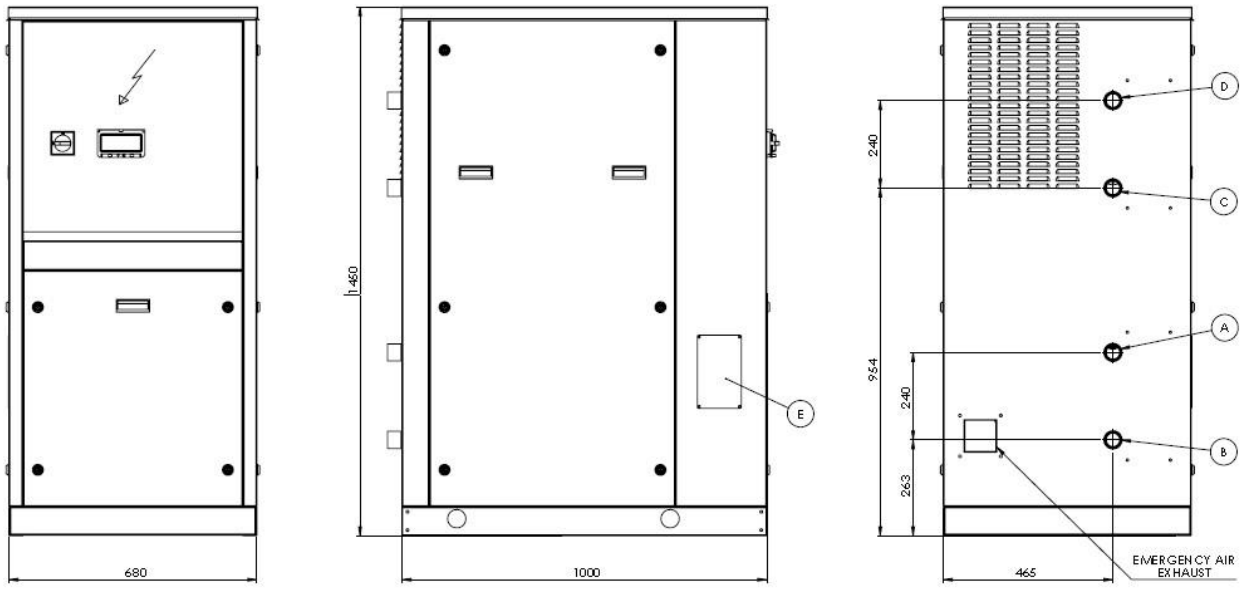
Additional capacity step

Grilled casing +exhaust ATEX fans

MODBUS RS485

Flow switch supplied loose

Antivibrations rubber

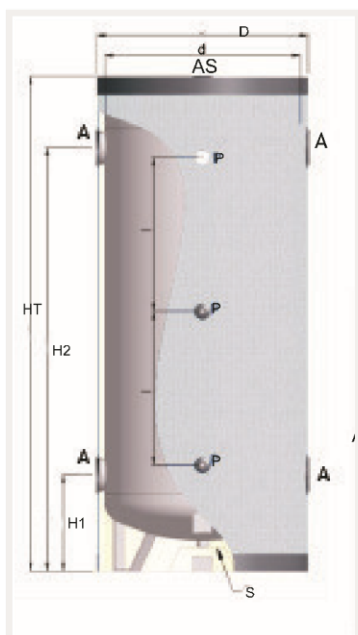




- 100 til 5000 liter
- 4 tilkoblinger som standard
- 30 mm isolasjon, kondenssperre.
- Maks arb trykk 6 bar
- Maks vann temp 100°C


**AR/N**
**AKKUMULATORTANK STÅL**

Volum	D	HT	L	IS	H1	H2	A	Pris	Tillegg for alu. kapsling
100	460	1000	950	630	240	870	G2"		
200	510	1400	1250	840	290	1170	G2"		
300	610	1410	1300	840	310	1160	G3"		
500	710	1750	1580	1090	360	1460	G3"		
800	860	1800	1700	1010	400	1470	G4"		
1000	860	2100	1950	1230	395	1735	G4"		
1500	1010	2400	2250	1510	415	2005	G4"		
2000	1160	2500	2330	1510	440	2030	G4"		
2500	1310	2550	2400	1470	505	2085	G4"		
3000	1310	2800	2620	1720	565	2285	G4"		
4000	1440	2820	2720	1720	510	2350	G4"		
5000	1640	2850	2790	1720	510	2350	G4"		



Flens	Pris pr. stk
DN 25 / PN6	
DN 32 / PN6	
DN 40 / PN6	
DN 50 / PN6	
DN 65 / PN6	
DN 80 / PN6	
DN 100 / PN6	
DN 125 / PN6	
DN 150 / PN6	
DN 200 / PN6	
DN 250 / PN6	
DN 300 / PN6	
DN 350 / PN6	



### Beregning av væskefylling i kjøle/varme system

#### Forursetninger i systemet:

Varmepumpe kW	19,5
Differanse regulering °k	3
Min gangtid min	10
Kapasitet laveste trinn kW	9,75
Spesifikk varmekap.glykol MJ/m3*k	3,85

#### Beregning av nødvendig væskevolum i systemet:

Volum min = ( Min.Kapasitet x Min.ståtid x 60 min/t ) / ( C x TD )			
Volum min =	506		

#### Vekslerer /

#### Fan-coils /

#### Romkjølere:

#### Ford.batteri

#### Fancoils

#### Romkjølere

	Stk	kW	L / Stk	L Total
	0	1	1	0
	0	1	1	0
	0	1	1	0

#### Røranlegg :

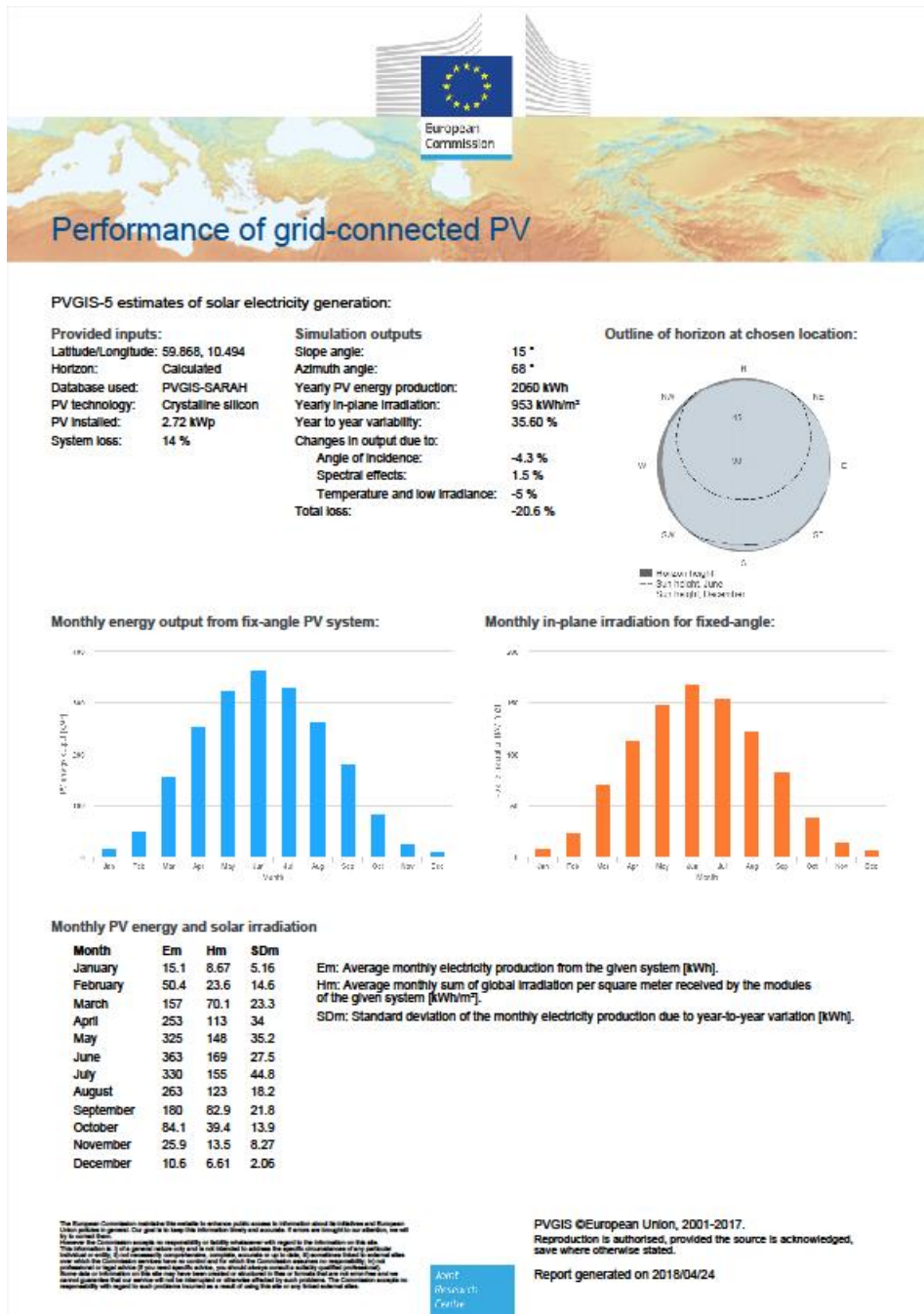
Dimensjon	Dimensjon	Dimensjon	Lengde	Phi	Invendig Volum
Ø mm	DN	Ø dm	m	3,14	L
323,9	DN300	3,239	0	3,14	0
273,0	DN250	2,73	0	3,14	0
219,1	DN200	2,191	0	3,14	0
168,3	DN150	1,683	0	3,14	0
139,7	DN125	1,397	0	3,14	0
114,3	DN100	1,143	0	3,14	0
88,9	DN80	0,889	0	3,14	0
76,1	DN65	0,761	0	3,14	0
54	Mannesmann	0,54	0	3,14	0
42	Mannesmann	0,42	0	3,14	0
35	Mannesmann	0,35	0	3,14	0
22	Mannesmann	0,22	0	3,14	0
				Sum Rørvolum	0
				=	

#### Nødvendig Volum buffertank:

Buffervolum	506	L
-------------	-----	---

<b>Valgt Volum buffertank:</b>		
Buffervolum	<b>500</b>	L
<b>Total Glykolfylling:</b>		L
Total væskefylling		500
Blandingsforhold 30%		0,3
Totalt konsentrert glykol		150

## 8.5 Data fra PVGIS





## Performance of grid-connected PV

PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

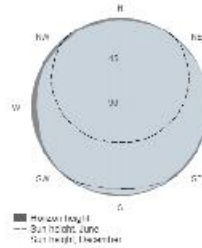
Provided inputs:

Latitude/Longitude: 59.868, 10.494  
 Horizon: Calculated  
 Database used: PVGIS-SARAH  
 PV technology: Crystalline silicon  
 PV installed: 1 kWp  
 System loss: 14 %

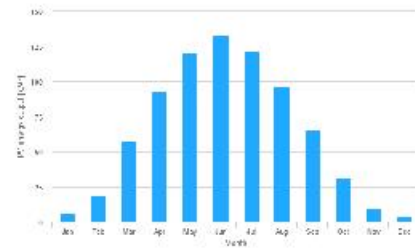
Simulation outputs

Slope angle: 15 °  
 Azimuth angle: 68 °  
 Yearly PV energy production: 756 kWh  
 Yearly in-plane irradiation: 953 kWh/m<sup>2</sup>  
 Year to year variability: 13.10 %  
 Changes in output due to:  
 Angle of incidence: -4.3 %  
 Spectral effects: 1.5 %  
 Temperature and low irradiance: -5 %  
 Total loss: -20.6 %

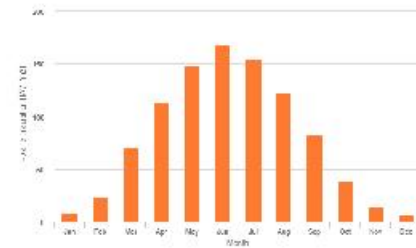
Outline of horizon at chosen location:



Monthly energy output from fix-angle PV system:



Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:



Monthly PV energy and solar irradiation

Month	Em	Hm	SDm
January	5.54	8.67	1.9
February	18.5	23.6	5.36
March	57.9	70.1	8.56
April	92.8	113	12.5
May	120	148	12.9
June	133	169	10.1
July	121	155	16.5
August	96.8	123	6.68
September	66.1	82.9	8
October	30.9	39.4	5.1
November	9.51	13.5	3.04
December	3.88	6.61	0.756

Em: Average monthly electricity production from the given system [kWh].  
 Hm: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m<sup>2</sup>].  
 SDm: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

The European Commission makes the available to enhance public access to information about its activities and European Union policies and programs. Our goal is to keep this information timely and accurate. Feedback is sought for our efforts, we will be happy to receive it.

PVGIS ©European Union, 2001-2017.  
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2018/04/13

Joint  
 Research  
 Centre









**Norges miljø- og biovitenskapelige universitet**  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway